

Kontrola rada dubinskih sisaljki s klipnim šipkama koristeći dinamometarski zapis

Šućur, Stipe

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:169:157044>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-21**



Repository / Repozitorij:

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



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

**KONTROLA RADA DUBINSKIH SISALJKI S KLIPNIM ŠIPKAMA KORISTEĆI
DINAMOMETARSKI ZAPIS**

Završni rad

Stipe Šućur

N4518

Zagreb, 2022.

Sveučilište u Zagrebu

Završni rad

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

KONTROLA RADA DUBINSKIH SISALJKI S KLIPNIM ŠIPKAMA KORISTEĆI DINAMOMETARSKI ZAPIS

Stipe Šućur

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

S obzirom da su dubinske sisaljke s klipnim šipkama jedan od najčešćih mehaničkih metoda podizanja kapljevine, potrebno je kontinuirano kontrolirati ispravnost njihova rada. Dinamometarski zapisi (dinamogrami) se pri tome nameću kao jedna od najzahvalnijih. Naime, dinamometarski zapis prikazuje zavisnost opterećenja o položaju glatke šipke, a tako iscrtan dijagram otkriva mnogo korisnih informacija. Iz njega se može očitati minimalno i maksimalno opterećenje glatke šipke te ga usporediti sa izračunatim. Također, ispravnom interpretacijom moguće je prepoznati mnoge kvarove dubinske sisaljke kao što su propuštanje tlačnog ili usisnog ventila, odvajanje ili lom klipnih šipki, prekomjerna zaplinjenost fluida u cilindru, povećano trenje zbog nakupljanja parafina te mnoge druge. Kontrolirajući rad dubinskih sisaljki na taj način, moguće je izbjeći tekući i kapitalni remont proizvodne bušotine, izbjeći prekid rada dubinske sisaljke s klipnim šipkama (za koji je poželjno da bude kontinuiran) te na kraju, nepotrebne troškove svesti na minimum.

Ključne riječi: dinamometarski zapis, kontrola rada dubinske sisaljke, opterećenje glatke šipke, idealni dinamogram, realni dinamogram

Završni rad sadrži: 40 stranica, 3 tablice, 30 slika i 15 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

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

Mentor: Dr. sc. Vladislav Brkić, izvanredni profesor RGNF

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

Datum obrane: 09.09.2022., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilišta u Zagrebu

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	I
POPIS TABLICA	III
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH MJERNIH JEDINICA.....	IV
1. UVOD.....	1
2. INSTRUMENT ZA MJERENJE OPTEREĆENJA NA GLATKOJ ŠIPKI.....	3
2.1. Opis dinamometra	3
2.2. Princip rada hidrauličkog modela dinamometra	4
2.3. Uloga dinamometarskog zapisa u kontroli rada dubinske sisaljke	5
3. INTERPRETACIJA DINAMOMETARSKOG ZAPISA.....	7
3.1. Idealni dinamogram.....	7
3.2. Stvarni ili realni dinamogram.....	9
3.2.1. Utjecaj opterećenja zbog vibracija.....	11
3.2.2. Utjecaj trenja na oblik krivulje dinamograma	13
3.2.3. Utjecaj prihvata klipa na oblik krivulje dinamograma	15
3.2.4. Utjecaj nedovoljnog punjenja klipa na oblik krivulje dinamograma	15
3.2.5. Utjecaj izazvan promjenom duljine kretanja klipa	18
3.2.6. Utjecaj loma/odvajanja klipnih šipki.....	19
3.2.7. Utjecaj načina uravnoteženja	20
4. PRIMJENA DINAMOGRAMA.....	22
4.1. Provjera rada ventila	22
4.1.1. Provjera rada tlačnog ventila.....	22
4.1.2. Provjera rada usisnog ventila.....	24
4.2. Određivanje trenutačnog momenta torzije	25
4.3. Utjecaj uravnoteženja	27
4.4. Određivanje tlaka na razini dubinske sisaljke	29
4.5. Primjena dinamograma na konkretnom primjeru iz prakse	31
5. PRORAČUN OPTEREĆENJA GLATKE ŠIPKE.....	33
6. ZAKLJUČAK	38
7. LITERATURA.....	40

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Shematski prikaz dinamometra	3
Slika 2-2. Dinamometar DYN 77	5
Slika 2-3. Prikaz glavnih elemenata dubinske sisaljke s klipnim šipkama u vertikalnom nizu alatki	6
Slika 3-1. Potpuno idealni dinamogram.....	8
Slika 3-2. Idealni dinamogram.....	9
Slika 3-3. Stvarni dinamogram	10
Slika 3-4. Stvarni dijagram za bušotine u kojima je podizanje nafte ostvareno sinkronom brzinom drugog reda; $n=2$	12
Slika 3-5. Teoretski (lijevo) i stvarni (desno) dinamogram trećeg reda; $n=3$	12
Slika 3-6. Teoretski (lijevo) i stvarni (desno) dinamogram četvrtog reda; $n=4$	13
Slika 3-7. Dinamogram koji ukazuje na pojavu trenja u bušotini.....	13
Slika 3-8. Dinamogram koji pokazuje povećano trenje u sustavu podizanja fluida	14
Slika 3-9. Dinamogram koji pokazuje isprekidano povećanje trenja u sustavu podizanja fluida	14
Slika 3-10. Dijagrami koji ukazuju na prihvat klipa sisaljke	15
Slika 3-11. Dinamogram koji ukazuje na nedovoljno punjenje cilindra fluidom	16
Slika 3-12. Dinamogram za slučaj djelomičnog ispunjenja plinom	16
Slika 3-13. Dinamogram za slučaj potpunog ispunjenja sisaljke plinom	17
Slika 3-14. Dinamogram koju ukazuje na skraćeno kretanje klipa.....	18
Slika 3-15. Dinamogram koju ukazuje na produljeno kretanje klipa.....	19
Slika 3-16. Dijagram koji ukazuje na lom (odvajanje) klipnih šipki	19
Slika 3-17. Izgled dinamograma pri uravnoteženju protuutegom.....	20
Slika 3-18. Izgled dinamograma pri uravnoteženju zračnim cilindrom.....	21
Slika 4-1. Prikaz usisnog i tlačnog ventila uz dinamogram koji ilustrira propuštanje tlačnog ventila	23
Slika 4-2. Prikaz tlačnog i usisnog ventila uz dinamogram koji karakterizira propuštanje usisnog ventila	24
Slika 4-3. Približna metoda za određivanje trenutnog momenta torzije.....	25
Slika 4-4. Krivulja momenta torzije za bušotinu kada uravnoteženje nije dovoljno	27

Slika 4-5. Krivulja momenta torzije za bušotinu kad je uravnoteženje preveliko	28
Slika 4-6. Krivulja momenta torzije za bušotinu kad je uravnoteženje pravilno projektirano .	28
Slika 4-7. Prikaz konkretnog primjera dinamograma iz prakse	31
Slika 4-8. Izvještaj o stanju dubinske sisaljke.....	32
Slika 5-1. Dinamogram kojim su uspoređeni rezultati proračuna i tipski izgled krivulje	37

POPIS TABLICA

Tablica 5-1. Prikaz udjela duljina kombiniranih nizova klipnih šipki u %	34
Tablica 5-2. Jedinične težine klipnih šipki različitog promjera	35
Tablica 5-3. Tablica koja prikazuje ukupna i stvarna opterećenje fluida te stvarnu površinu poprečnog presjeka klipa za različite klipne šipke	35

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH MJERNIH JEDINICA

OZNAKA	MJERNA JEDINICA	OPIS
N	m^{-1}	sinkrona brzina podizanja
n	-	bilo koji cijeli broj
L_k	m	duljina klipnih šipki
W_r	N	težina klipnih šipki
w_r	N/m	jedinična težina klipnih šipki
W_f	N	težina fluida
w_f	N/m	jedinična težina fluida
L_s	m	dubina sisaljke
γ_f	-	relativna gustoća fluida
L_h	m	duljina hoda klipa
SPM	min^{-1} ili s^{-1}	broj hodova u minuti
T	m/min^2	impuls faktor
W_{\max}	N	maksimalno opterećenje glatke šipke
W_s	N	statičko opterećenje
W_{\min}	N	minimalno opterećenje glatke šipke
M_t	Nm	trenutačni moment torzije
W_p	N	opterećenje glatke šipke
C	N	opterećenje zbog protuutega
S/2	m	krak djelovanja sile
$\sin \theta$	-	faktor momenta torzije

M_{netto}	Nm	neto moment torzije
M	Nm	maksimalni moment radilice i protuutega
W_{fm}	N	mjereno opterećenje fluidom
W_{rfm}	N	težina klipnih šipki i fluida zajedno
W_{rm}	N	težina klipnih šipki iz rada usisnog ventila
W_{rc}	N	izračunata težina klipnih šipki
ρ_f	kg/m^3	gustoća fluida
ρ_r	kg/m^3	gustoća materijala klipnih šipki
W_{fc}	N	izračunato opterećenje fluidom
g	m/s^2	akceleracija sile teže ($9,81 \text{ m/s}^2$)
A_p	m^2	površina poprečnog presjeka klipa
A_r	m^2	površina poprečnog presjeka klipnih šipki
p_s	Pa	tlak na dubini sisaljke
A_k	m^2	površina prstenastog prostora

1. UVOD

Dubinske sisaljke s klipnim šipkama su najzastupljenije, ali i najstarije metode za mehaničko podizanje kapljevine iz ležišta na površinu (Zelić i Čikeš, 2006). Kako bi se osigurala ispravnost dubinskih sisaljki s klipnim šipkama, nužno je kontrolirati njihov rad. To se može učiniti mjerenjem razine kapljevine u prstenastom prostoru, pomoću zvučnog uređaja-sonologa i mjerenjem opterećenja na glatkoj šipki pomoću dinamometra. Primjerice, mjerenje sonologom omogućava da sisaljka uvijek bude uronjena u kapljevinu što je prijeko potrebno za njezin ispravan rad. Također, potrebno je obavljati i mjerenja dinamičkog tlaka na dnu bušotine, kao jednog od bitnijih proizvodnih parametara.

Glatka šipka (zvana još i polirana šipka) jedan je od najbitnijih elemenata dubinske sisaljke s klipnim šipkama. Ona čini spoj između dubinske sisaljke i klipnih šipki te samim time preuzima kompletnu težinu dubinske opreme koja se nalazi ispod nje, a pod tim se ubraja: težina same glatke šipke, težina niza klipnih šipki, težina klipa sisaljke te težina kapljevine koju preuzima klip. Zbog te činjenice, jasno je da je glatka šipka onaj element dubinske sisaljke koji je izložen najvećim opterećenjima u cijelom sustavu. Stoga je kontrola rada dubinskih sisaljki s klipnim šipkama pomoću dinamometra jako bitan faktor.

Dinamometar je uređaj koji ispisuje dijagrame opterećenja koja se ostvaruju na glatkoj šipki tijekom radnog ciklusa. Tako dobiven dijagram zove se dinamometarski zapis tj. dinamogram. Pravilnom interpretacijom, dinamogram omogućava u bilo kojem trenutku odrediti opterećenja glatke šipke, ali i neke kvarove opreme poput oštećenja ventila ili loma klipnih šipki. Samim time dinamometarski zapis otkriva i kada je potrebno izvršiti remont bušotine (Brown, 1980). Nadalje, potrebno je pravilno dimenzionirati pogonski mehanizam njihalice kao i pravilno uravnoteženje sustava. Na posljetku, ono što je bitno jest da se mjerenjem maksimalnog opterećenja glatke šipke, točnije očitavanjem opterećenja sa dinamograma, može utvrditi režim rada dubinske sisaljke s klipnim šipkama (Zelić i Čikeš, 2006).

Svaka od navedenih metoda je jako korisna i one sve zajedno sudjeluju u donošenju konačnih odluka pri kontroli rada bušotine opremljene dubinskom sisaljkom s klipnim šipkama. Bez obzira na tu činjenicu, najbitnija metoda za mjerenja, analize i kontrolu radnih uvjeta, pri

crpljenju nafte koristeći dubinske sisaljke s klipnim šipkama, ima dinamometar koji se nalazi pričvršćen na glatkoj šipki (Takacs, 2015).

Ovim završnim radom biti će ukratko opisan sam uređaj-dinamometar, princip njegova rada kao i uloga dobivenih dinamograma, koje dinamometar ispisuje na vrpici. Poblje će biti obrađene interpretacije dinamograma, kako idealnog, tako i različitih oblika realnih dinamograma. Zatim će biti opisana i primjena tako dobivenih dinamometarskih zapisa, te će na posljetku biti opisan način kako se analitički može izračunati minimalno i maksimalno opterećenje glatke šipke.

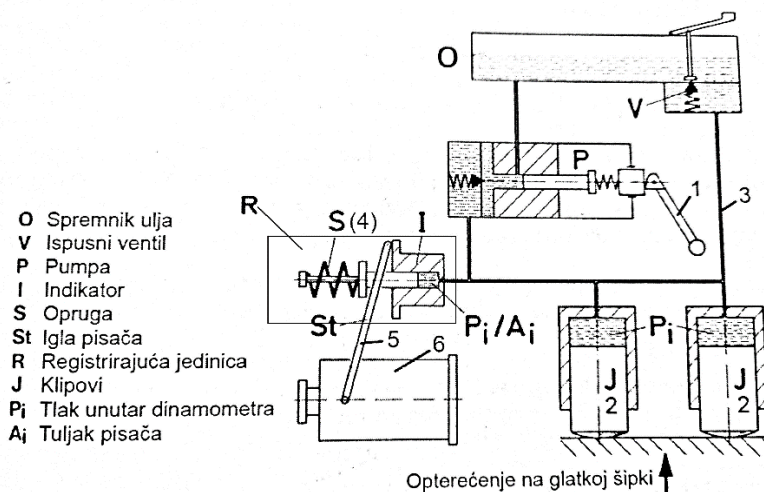
2. INSTRUMENT ZA MJERENJE OPTEREĆENJA NA GLATKOJ ŠIPKI

U ovome poglavlju biti će opisan dinamometar te navedeni svi dijelovi koji sudjeluju u zapisu dinamograma. Također, biti će opisan princip rada hidrauličkog modela dinamograma te ukratko opisana uloga dinamometarskog zapisa.

2.1. Opis dinamometra

Dinamometar je uređaj koji se sastoji od sljedećih dijelova, shematski prikazanih na slici ispod (slika 2-1.) (Zelić i Čikeš, 2006):

- poluga za podešavanje (1),
- uporišni klipni sustav za preuzimanje opterećenja (2),
- kapilarna cijev koja služi za hidraulički prijenos opterećenja (3),
- menometarska helikoidalna opruga na koju se prenosi opterećenje (4),
- pero za bilježenje (5),
- nosač samopišućeg pribora (valjak) (6).



Slika 2-1. Shematski prikaz dinamometra (Zelić i Čikeš, 2006)

Ukratko rečeno, dinamometar se sastoji od tri sustava, a to su nosivi sustav (kojem pripadaju dva klipa sa cilindrima te pumpa, spremnik ulja i ispusni ventil), sustav za registriranje (opruga, indikator, tuljak pisača) i sustav za zapisivanje (igla za zapisivanje te valjak sa vrpcom za zapisivanje).

Nadalje, postoje tri vrste dinamometara, a to su: mehanički, hidraulički i električni modeli. Električni registriraju digitalni zapis opterećenja i položaja u funkciji vremena, a to omogućuje da doznamo potrebne informaciju o opterećenju ili položaju u stvarnom vremenu. Isto tako, moguća je digitalizacija konvencionalnog mehaničkog ili hidrauličkog zapisa koji registriraju opterećenje kao funkciju položaja glatke šipke (Takacs, 2015). U sljedećem podnaslovu biti će pobliže opisan princip rada hidrauličnog dinamometra koji se kroz praksu koristio najčešće, a koji ispisuje dijagram opterećenja u ovisnosti o položaju glatke šipke.

2.2. Princip rada hidrauličkog modela dinamometra

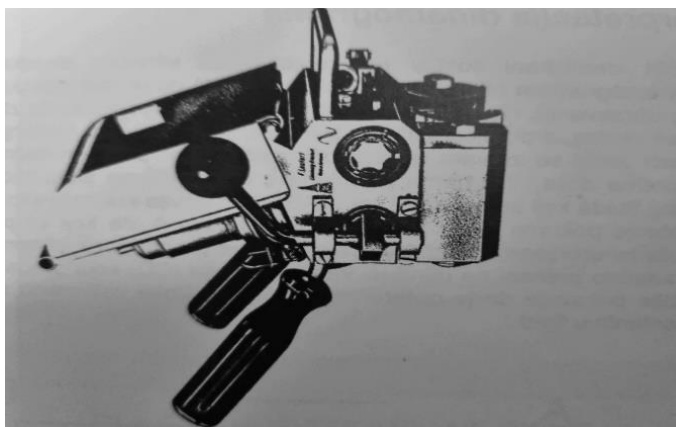
Ono što je nužno da bi se mjerenje ovim dinamometrom uopće moglo obaviti je opremanje glatke šipke priključnim sklopom koji se sastoji od nosača, manžete (obujmice), međuprstena i bazne ploče. Dinamometar (slika 2-2.) se stavlja između nosača i bazne ploče, dok priključni sklop ostaje trajno postavljen na glatku šipku kako bi mjerenje bilo moguće u bilo kojem trenutku i to bez zaustavljanja rada sisaljke (Matanović i Moslavac, 2011). Cijeli sustav se ukratko može opisati na sljedeći način: klipne šipke djeluju kao prijenosni vod opterećenja, dubinska sisaljka kao odašiljač opterećenja, a dinamometar kao prijemnik opterećenja (Brown, 1980).

Nadalje, princip rada prema ranije prikazanoj slici 2-1 temelji se na činjenici da se maksimalno opterećenje glatke šipke, koja se po položaju nalazi između dva klipa (2), prenosi na klipove pri hodu prema gore. Opterećenje se dalje prenosi tlakom fluida (koji se nalazi u kapilarnim cijevima), kroz kapilarnu cijev (3) sve do manometarske helikoidalne opruge (4) koja se nalazi na registrirajućem sustavu (R). To bi značilo da promjena opterećenja izaziva promjenu hidrauličkog tlaka u sustavu (Takacs, 2015). Uslijed dolaska opterećenja na oprugu, ona se steže. Dok se sve to odvija, valjak (6) se okreće pri hodu glatke šipke prema gore, čime

se omogućava da sustav za zapisivanje zapiše to opterećenje dok se istodobno pomiču pero (5) zbog stezanja opruge i papir zbog rotacije valjka.

Pisač osigurava vertikalne promjene položaja na papiru dok se opruga više ili manje steže, ovisno o opterećenju njihalice. S druge strane valjak osigurava vodoravne pomake na papiru, a zakretanje valjka ovisi o duljini hoda glatke šipke (Mandić i Peharda, 1988).

Pri hodu prema dolje, odvija se suprotan proces. Opruga se uslijed rasterećenja rasteže i nosač na kojem se nalazi pero se vraća u prvobitan položaj. Cijeli sustav je kalibriran za određeni raspon opterećenja koji ovisi o primijenjenim oprugama. Također, kako bi se prilagodili različitim uvjetima bušotine, valjci različitih veličina mogu se koristiti za različite duljine hoda (Takacs, 2015).



Slika 2-2. Dinamometar DYN 77 (Matanović i Moslavac, 2011)

2.3. Uloga dinamometarskog zapisa u kontroli rada dubinske sisaljke

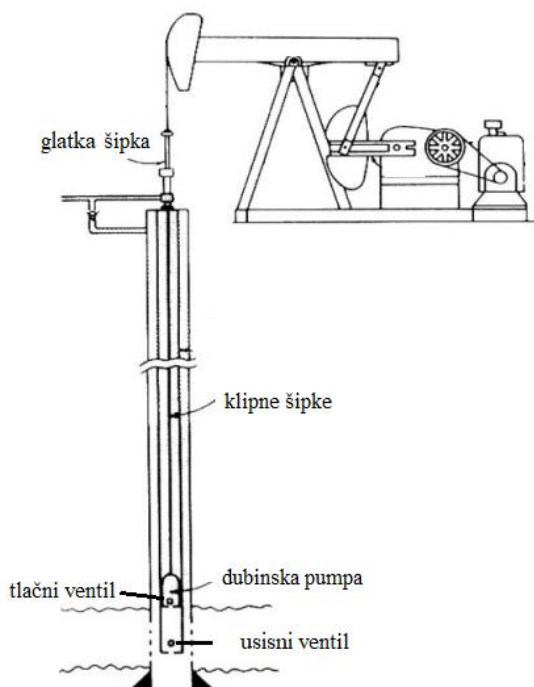
Već je navedeno kako je dinamometar uređaj koji ispisuje dijagram koji se zove dinamogram. Također, navedeno je i kako interpretacija dinamograma može pomoći pri utvrđivanju režima rada dubinske sisaljke s klipnim šipkama, što uvelike olakšava siguran i usklađen rad naj bitnih komponenata u vertikalnom nizu sisaljke (slika 2-3.). U nastavku teksta pobliže su navedene najbitnije uloge interpretacije dinamometarskog zapisa.

Tri glavne uloge dinamometarskog zapisa (Boyun et al., 2007):

- dobivanje informacija koje se mogu koristiti za određivanje opterećenja i zakretnog momenta,
- dobivanje informacije o potrebnoj snazi sustava za podizanje fluida,
- podešavanje parametara sisaljke kao što su brzina i duljina hoda.

Koristeći prethodno dobivene rezultate, moguće je (Zelić i Čikeš, 2006):

- smanjiti gubitke u proizvodnji, odnosno povećati davanje bušotine,
- otkrivanje i sprječavanje kvarova opreme - npr. zaglava klipa, oštećenje ventila ili propuštanje tubinga,
- olakšati izbor i primjenu opreme,
- smanjiti troškove podizanja fluida.



Slika 2-3. Prikaz glavnih elemenata dubinske sisaljke s klipnim šipkama u vertikalnom nizu alatki (Boyun et al., 2007)

3. INTERPRETACIJA DINAMOMETARSKOG ZAPISA

Dinamometarski zapis predstavlja kontinuirani zapis rezultante svih sila koje djeluju na glatku šipku u bilo kojem trenutku tijekom ciklusa crpljenja i bilježi se s obzirom na položaj glatke šipke (Brown, 1980).

U osnovi, dinamogrami se dijele u dvije skupine, a to su idealni i stvarni ili realni dinamogrami. Razlika je u činjenici da idealni dinamogram postoji samo teoretski te ga nije moguće dobiti u praksi jer je nemoguće zanemariti sve čimbenike koji imaju utjecaj u njegovoj interpretaciji. On služi samo zbog lakšeg razumijevanja ukoliko se u obzir uzme činjenica da je pregledniji.

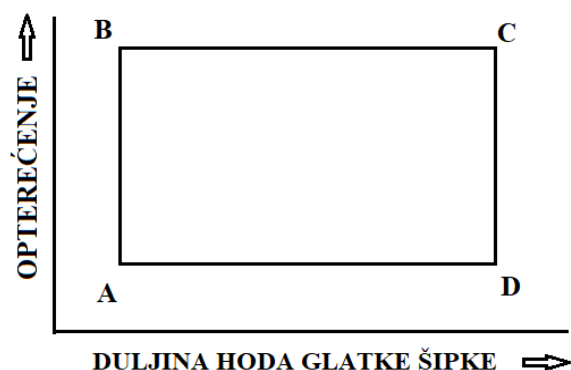
S druge strane, realni dinamogram uvažava djelovanje svih sila koje utječu na opterećenje, a samim time i na izgled krivulje. Također je važno napomenuti i utjecaj efekta istežanja, odnosno stežanja klipnih šipki, što za posljedicu daje različitu duljinu hoda glatke šipke u odnosu na duljinu hoda klipa te se kao takvo odražava na dinamogram (Zelić i Čikeš, 2006) Svi čimbenici koje realni dinamogram uzima u obzir, definiraju konačan oblik krivulje.

3.1. Idealni dinamogram

Potpuno idealni dinamogram (slika 3-1.) zanemaruje sve čimbenike koji utječu na njegov izgled. To bi značilo da je rad sisaljke toliko spor da nema utjecaja sila zbog ubrzanja odnosno usporavanja klipa sisaljke, zanemarene su vibracije u sustavu, nema utjecaja sila nastalih zbog trenja, fluid koji se podiže je nestlačiv, a glatka šipka je apsolutno kruta. Nadalje, usisni ventil (koji se još zove i mirujući ventil jer se nalazi na cilindru) se zatvara, a tlačni ventil (koji se još zove i putujući ventil jer putuje zajedno sa klipom) se otvara točno u trenutku kada klip krene u hod prema dolje. U suprotnom smjeru, usisni ventil se otvara, a tlačni zatvara točno u trenutku kada klip kreće u hod prema gore.

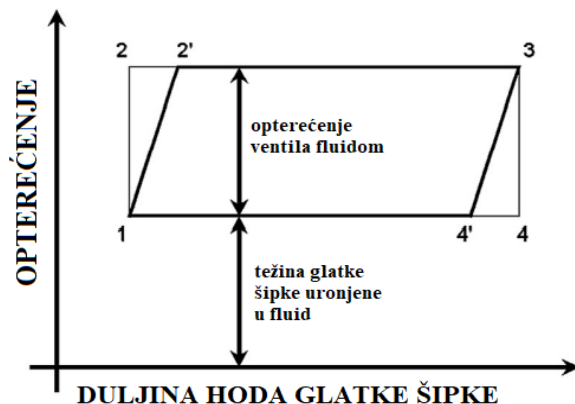
Na slici 3-1. prikazan je idealan dinamogram. Pošto se u idealnom primjeru tlačni ventil zatvara trenutačno (na početku hoda gore), opterećenje ne raste postepeno već naglo od točke A do točke B gdje je maksimalno i jednako je zbroju težine uronjenih klipnih šipki i težine fluida. Linija BC predstavlja hod prema gore dok je opterećenje glatke šipke i dalje maksimalno. Na

kraju hoda prema gore, opterećenje trenutačno prelazi sa tlačnog na usisni ventil te se opterećenje glatke šipke opet naglo smanjuje na minimalno (točka D) i jednako je samo težini uronjenih klipnih šipki. Linija DA predstavlja hod klipa prema dolje dok je opterećenje glatke šipke minimalno.



Slika 3-1. Potpuno idealni dinamogram

Nadalje, postoji i idealni dinamogram (slika 3-2.) koji uzima u obzir promjenu duljine klipnih šipki, preciznije rečeno, njihovo istežanje i stežanje. Istežanje i stežanje je posljedica elastičnosti materijala šipki te zbog toga, opterećenje počinje postupno rasti od točke 1 do točke 2', odnosno postupno opadati od točke 3 do točke 4' (Brown, 1980). Na toj slici linija 1-2' predstavlja istežanje klipnih šipki zbog opterećenja njihovom težinom i težinom fluida, linija 2'-3 kretanje klipa prema gore pri maksimalnom opterećenju, linija 3-4' prikazuje stežanje klipnih šipki jer dolazi do njihova rasterećenja te linija 4'-1 koja definira kretanje klipa prema dolje uz minimalno opterećenje. Ovakav dijagram je čak moguće pronaći na plitkim bušotinama kod kojih je brzina crpljenja izrazito mala (Takacs, 2015).

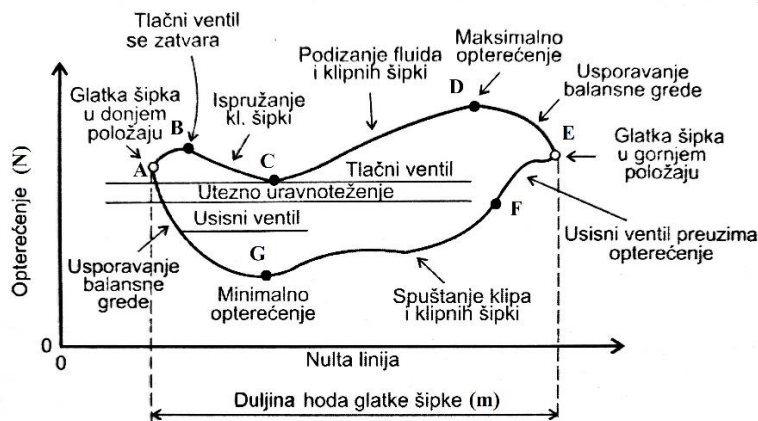


Slika 3-2. Idealni dinamogram (Takacs, 2015)

Pošto dinamogram na slici 3-2. uvažava elastičnost klipnih šipki, važan zaključak je da je hod klipa manji od duljine hoda glatke šipke. Dakle, duljina hoda klipa 2–3, koja je jednaka duljini hoda glatke šipke za potpuno krute klipne šipke, smanjuje se na 2'–3 ako se uzme u obzir elastičnost niza. To za posljedicu ima da se na kraju hoda glatke šipke prema dolje tlačni ventil još uvijek ne zatvara jer klip zaostaje za glatkom šipkom te još uvijek putuje. Stoga slijedi da se tlačni ventil zatvara tek nakon početka hoda glatke šipke prema gore. Ista stvar se događa i na kraju hoda glatke šipke prema gore; klip opet zaostaje te se tlačni ventil otvara tek na početku hoda glatke šipke prema dolje (Takacs, 2015).

3.2. Stvarni ili realni dinamogram

Stvarni dinamogram (slika 3-3.) se izgledom u potpunosti razlikuje od idealnog. Naime, njegov izgled prvenstveno ovisi o uvjetima koji vladaju u bušotini prilikom podizanja kapljevine te o režimu podizanja kapljevine. (Zelić i Čikeš, 2006). Uključuje djelovanje svih sila koje djeluju na njegov izgled. Pod tim ubrajamo: vibracije niza klipnih šipki, dinamičke efekte, trenje i sile koje nastaju kao posljedica samog rada sisaljke (Priručnik za dubinske sisaljke Axelson, INA-Naftaplin, 1993). Nadalje, ventili se ne otvaraju i ne zatvaraju trenutačno pri hodu klipa prema gore odnosno prema dolje. I na kraju, uvažava se i promjena duljine klipnih šipki uslijed prenošenja opterećenja fluida koji se podiže.



Slika 3-3. Stvarni dinamogram (Zelić i Čikeš, 2006)

Linija od točke A do točke E predstavlja kretanje sustava klipnih šipki prema gore. Točka A na slici 3-3. predstavlja prestanak kretanja klipa prema dolje, odnosno početak kretanja prema gore. Pri kretanju klipa prema gore, tlačni ventil se zatvara te glatka šipka preuzima opterećenje fluidom. Taj dio je prikazan linijom od A do B. Zatim slijedi linija od točke B do točke C koja predstavlja smanjenje opterećenja uslijed produljenja klipnih šipki zbog opterećenja fluidom koji se podiže. Kada se šipke kreću prema gore (približno harmoničnim kretanjem), opterećenje se povećava s ubrzanjem. Povećanje opterećenja slijedi sve do točke D kada postaje maksimalno. Kao što se i vidi na slici 3-3., to se događa otprilike na polovici puta hoda prema gore (Matanović i Moslavac, 2011). Od točke D do točke E slijedi usporavanje klipnih šipki te dolazi do smanjenja ukupnog opterećenja glatke šipke.

Linija od točke E do točke A predstavlja kretanje klipa prema dolje. Točka E predstavlja kraj kretanja klipa prema gore, odnosno početak kretanja prema dolje. Pri kretanju klipa prema dolje, usisni ventil se zatvara i preuzima opterećenje fluidom, dok se tlačni ventil otvara. Navedeni proces dovodi do smanjivanja ukupnog opterećenja glatke šipke. Daljnje smanjivanje opterećenja se nastavlja sve do točke G, a to se događa zbog ubrzavanja klipa pri kretanju prema dolje. Minimalno opterećenje se događa otprilike na pola puta kretanja glatke šipke prema dolje (Matanović i Moslavac, 2011). Od točke G do točke A se događa usporavanje sustava, što pri kretanju prema dolje povećava ukupno opterećenje glatke šipke.

Više o utjecaju ubrzanja na opterećenje, kao i utjecaju težine fluida koji se podiže, slijedi u petom poglavlju kada će biti prikazan proračun opterećenja glatke šipke.

3.2.1. Utjecaj opterećenja zbog vibracija

Utjecaj vibracija ponekad može biti zanemariv, no onda kada se kretanje klipa ostvaruje sinkrono s prirodnom frekvencijom klipnih šipki, utjecaj je osobit (Matanović i Moslavac, 2011). Naime, ako se na vrhu klipnih šipki ostvari impuls, on putuje kroz klipne šipke brzinom kretanja zvuka u metalu do dna klipnih šipki te se na kraju reflektira. Dva su rezultirajuća ishoda: reflektirani val će biti u fazi sa odaslanim valom i pojačat će ga ili će reflektirani val biti sa odaslanim u protufazi pa će se poništiti. Ishod ovisi o položaju točke reflektiranja vala.

U prvom slučaju, kada je rezultanta pojačavanje vala, klipna šipka će vibrirati svojom prirodnom frekvencijom, a opterećenje će zbog vibracije biti pojačano (Matanović i Moslavac, 2011). Jednostavnije rečeno, može doći čak do rezonancije koja nastaje pri sinkronoj brzini podizanja koja je definirana jednadžbom:

$$N = \frac{1204}{n \cdot L_k} \quad (3-1.)$$

gdje su:

N - sinkrona brzina podizanja, (m^{-1})

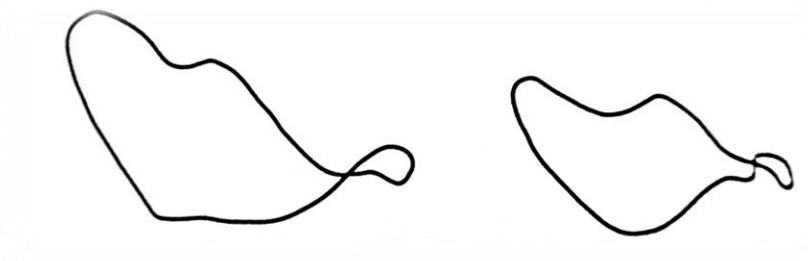
n – broj koji ovisi o brzini (sinkrona ili nesinkrona) podizanja kapljevine, (-)

L_k – duljina klipnih šipki, (m)

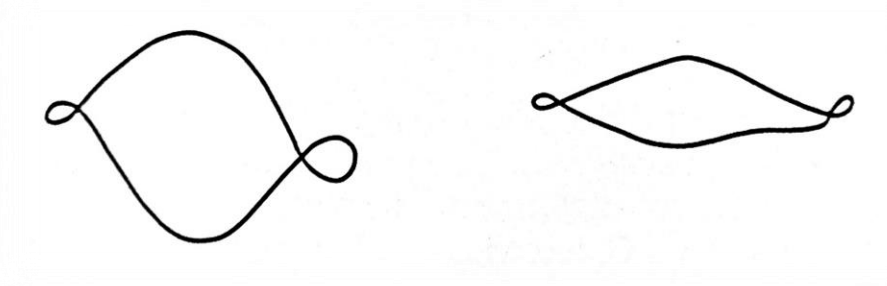
Ako se sinkrono ponašanje definira kao čimbenik oštećivanja klipnih šipki, tada su neželjene brzine podizanja one koje za "n" u gornjem izrazu imaju cijele brojeve, a svaka druga brzina će biti nesinkrona. Stoga se "n" odabire kao n=1,5; 2,5; 3,5 itd. kako bi brzine podizanja bile što dalje od sinkronih (Matanović i Moslavac, 2011). Također, s obzirom da se glatka šipka giba sporije na kraju hoda prema gore i na kraju hoda prema dolje, promjene opterećenja zbog vibracija će imati tendenciju da se primijete baš na tim mjestima (Boyun et al., 2007).

Sljedeći dijagrami će pokazati kako sinkrono kretanje klipa s prirodnom frekvencijom utječe na izgled dinamograma.

Na dinamogramima drugog (slika 3-4.) i trećeg (slika 3-5.) reda je očito kako nakon točke "sjecišta" krivulje opterećenje, umjesto da nastavi opadati, naglo raste pa pada te stvara "trbuhe" (na dinamogramu prikazani krajnje desno kod $n=2$ tj. i lijevo i desno kod $n=3$). Ti "trbusi" su posljedica naglog pojačavanje opterećenja zbog vibracije.

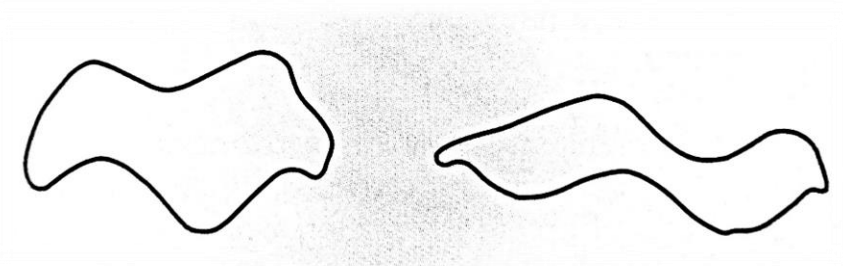


Slika 3-4. Stvarni dijagram za bušotine u kojima je podizanje nafte ostvareno sinkronom brzinom drugog reda; $n=2$ (Matanović i Moslavac, 2011)



Slika 3-5. Teoretski (lijevo) i stvarni (desno) dinamogram trećeg reda; $n=3$ (Matanović i Moslavac, 2011)

Na dinamogramu četvrtog reda (slika 3-6.) se vide dva uzastopna pojačavanja opterećenja na gornjoj strani krivulje (poput dva vala na slici) pri hodu klipa prema gore, a zatim i na donjoj strani krivulje pri hodu klipa prema dolje. To je također rezultat vibracije.

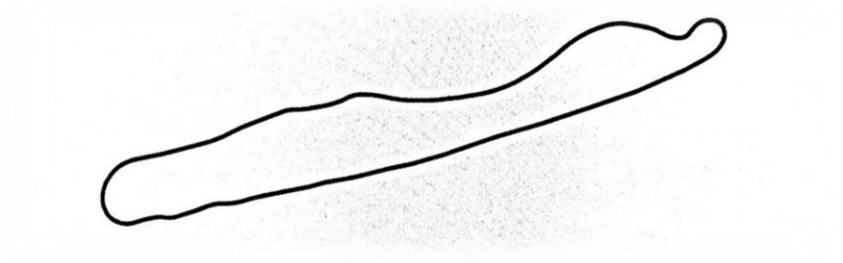


Slika 3-6. Teoretski (lijevo) i stvarni (desno) dinamogram četvrtog reda; $n=4$ (Matanović i Moslavac, 2011)

3.2.2. Utjecaj trenja na oblik krivulje dinamograma

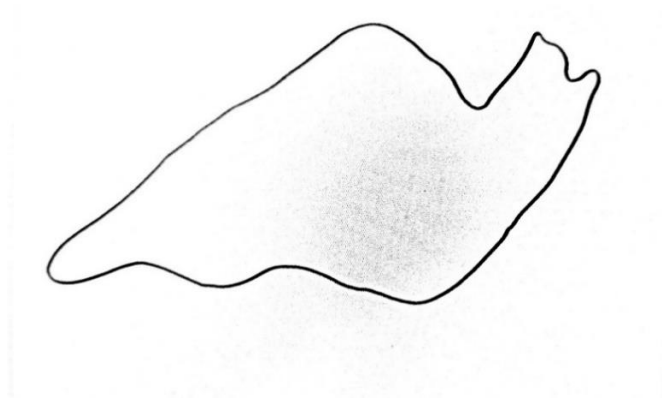
Povećano trenje kod rada dubinskih sisaljki s klipnim šipkama može se ostvariti zbog nekoliko razloga.

Jedan od njih nastaje kada se pojavi nekakva prepreka u bušotini. U tom slučaju će dijagram biti približno ovalnog oblika te će biti nagnut prema gore sa lijeve u desnu stranu. Točnije, pri hodu klipa prema gore, opterećenje će se kontinuirano povećavati. Takav izgled dijagrama ukazuje na neki oblik ograničenja unutar bušotine (slika 3-7.).



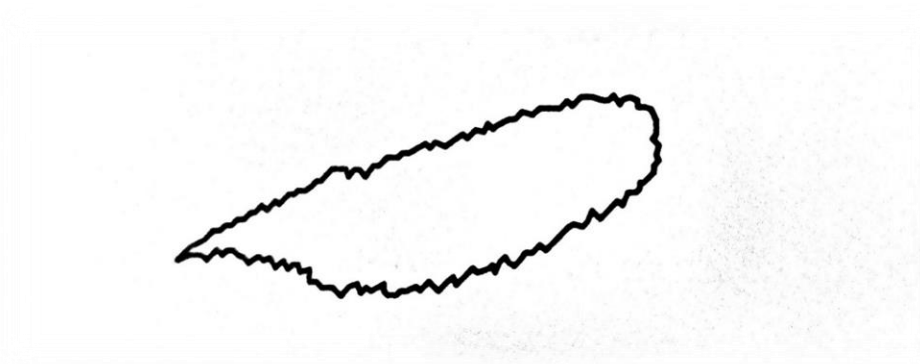
Slika 3-7. Dinamogram koji ukazuje na pojavu trenja u bušotini (Matanović i Moslavac, 2011)

Sljedeći primjer dinamograma koji ukazuje na povećano trenje je kada krivulja zahvaća široko područje (slika 3-8.). Takva krivulja je jako izdužena u visinu i ima oblik koji predstavlja velik rad ostvaren tijekom ciklusa (linija krivulje omeđuje veliku površinu), dok se ostvaruje mala proizvodnja.



Slika 3-8. Dinamogram koji pokazuje povećano trenje u sustavu podizanja fluida (Matanović i Moslavac, 2011)

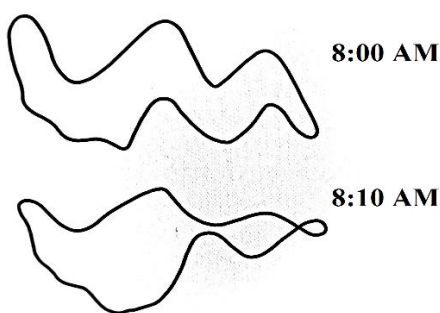
Postoji još jedan slučaj koji ukazuje na povećano trenje. Krivulja je tada isprekidana ili krivudava (slika 3-9.), točnije, različita je od ciklusa do ciklusa na što primjerice utječe količina nakupljenog parafina na stijenkama kanala bušotine (Matanović i Moslavac, 2011)



Slika 3-9. Dinamogram koji pokazuje isprekidano povećanje trenja u sustavu podizanja fluida (Matanović i Moslavac, 2011)

3.2.3. Utjecaj prihvata klipa na oblik krivulje dinamograma

Na slici 3-10. prikazan je prihvata klipa. Na slici su prikazana dva zapisa registrirana u istoj bušotini u razmaku od 10 minuta; jedno u 8:00 h, a drugo u 8:10 h. Na prvom dijagramu može se uočiti kako opterećenje za trenutak naglo pada pa se opet povećava i tako naizmjenice nekoliko puta. Na drugom dijagramu može se uočiti još čudnije ponašanje jer se na kraju hoda klipa prema gore stvara trbuh (opterećenje u kratkom vremenu naglo pada pa raste), dok na početku hoda prema dolje opterećenje ostaje poprilično veliko da bi zatim naglo palo. To naglo opadanje opterećenja se događa zato što u trenutku prihvata usisni ventil preuzima opterećenje na sebe.

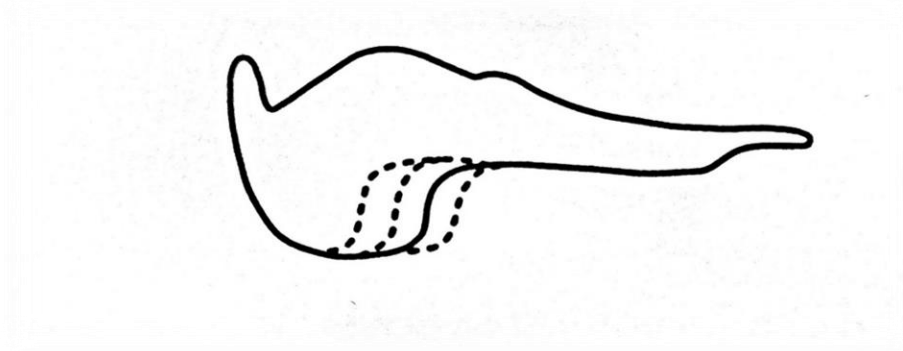


Slika 3-10. Dijagrami koji ukazuju na prihvata klipa sisaljke (Brown, 1980)

3.2.4. Utjecaj nedovoljnog punjenja klipa na oblik krivulje dinamograma

Nedovoljno punjenje klipa nastaje kada se klip giba prema dolje i pri tom kroz usisni ventil ne prođe dovoljna količina fluida koja bi popunila klip. Tada nastaje opasnost od hidrauličkog udara, a uslijed toga može doći do nepotrebnog izvijanja ili produljivanja klipnih šipki čime se smanjuje njihova trajnost (Matanović i Moslavac, 2011).

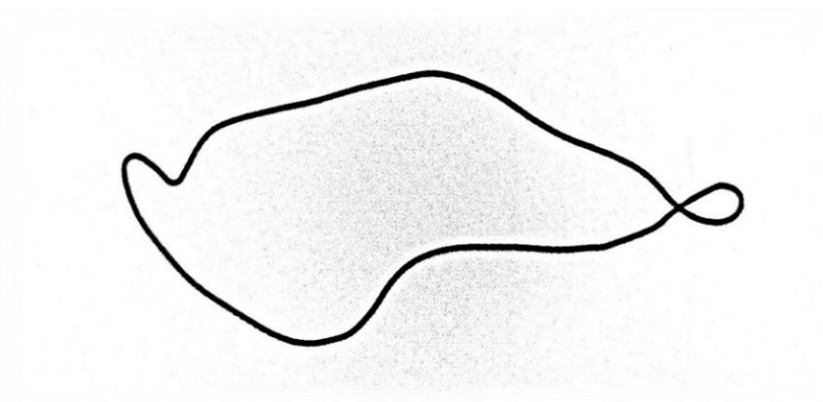
Dinamogram koji ukazuje na nedovoljno punjenje cilindra fluidom ima tzv. krnji izgled, kao da mu fali jedan dio „trbuha“ (slika 3-11.). To se događa zbog naglog pada opterećenja na kraju kretanja klipa prema dolje.



Slika 3-11. Dinamogram koji ukazuje na nedovoljno punjenje cilindra fluidom (Matanović i Moslavac, 2011)

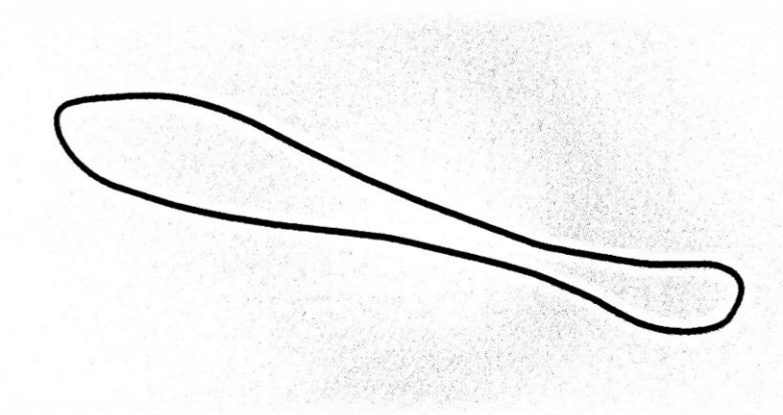
U slučaju da je sisaljka uronjena na dovoljnoj dubini, navedeni problem nastaje zbog prevelike brzine crpljenja fluida, točnije zbog prekomjernog crpljenja (Rischmüller, 2021). Kao potencijalna rješenja moguće je smanjiti broj hodova sisaljke ili smanjiti promjer klipa. Jednostavnije rečeno, problem je moguće riješiti podešavanjem bilo kojeg parametra koji može smanjiti dobavu.

Drugi slučaj nedovoljnog punjenja sisaljke je punjenje klipa plinom. Plin može sisaljku ispuniti djelomično i potpuno. Ako plin ispuni sisaljku djelomično (slika 3-12.), krivulja izgleda jako slično prethodnoj. Postoji samo mala razlika u tome što nema naglog opadanja opterećenja pri kraju kretanja klipa prema dolje.



Slika 3-12. Dinamogram za slučaj djelomičnog ispunjenja plinom (Matanović i Moslavac, 2011)

Kada je sisaljka potpuno ispunjena plinom (slika 3-13.), to je rezultat nepravilnog rada ventila (Matanović i Moslavac, 2011). Takva krivulja ima spljošten izgled te je nagnuta prema gore sa desne u lijevu stranu i prekriva jako malo područje tijekom rada, što ukazuje na gotovo nikakav rad. To se događa iz razloga što se ostvaruje samo komprimiranje i ekspanzija plina unutar komore.



Slika 3-13. Dinamogram za slučaj potpunog ispunjenja sisaljke plinom (Matanović i Moslavac, 2011)

Postoje dva potencijalna uzroka zapunjenja komore sisaljke plinom. U oba slučaja riječ je o tlačnom ventilu. Prvi nastaje kada se tlačni ventil ne otvara na početku kretanja prema dolje. Suprotno tome, ventil dok je zatvoren prvo komprimira plin do razine statičkog tlaka fluida u tubingu, a tek se onda otvori.

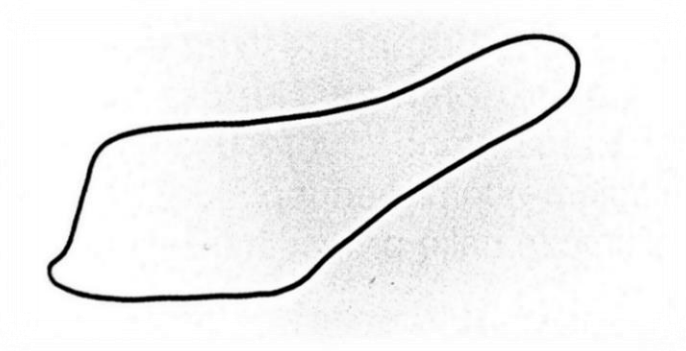
Drugi slučaj nastaje pri kretanju tlačnog ventila prema gore. Umjesto da se zatvori na početku kretanja prema gore, ventil se zatvori tek kada se tlak unutar sisaljke smanji na tlak iz ležišta.

Za dva navedena problema, postoje i dva moguća rješenja. Prvi je da se udaljenost između tlačnog i usisnog ventila smanji na minimum. Drugi je primjena alatke koja će ograničiti ulazak plina u radnu komoru. Alatka koja će ograničiti ulazak plina u radnu komoru zove se "plinsko sidro" ili dubinski separator. Sastoji se od koncentričnog tubinga koji se postavlja ispod radne komore (Uren, 1939). Cijeli princip odjeljivanja temelji se na gravitaciji. Plin koji je lakši se izdvaja te odlazi u prstenasti prostor između tubinga i zaštitnih cijevi dok nafta koja je teža, ostaje.

3.2.5. Utjecaj izazvan promjenom duljine kretanja klipa

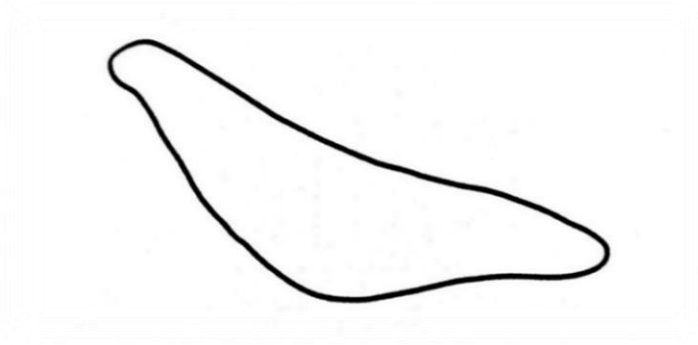
Bilo da je kretanje klipa produljeno, bilo da je skraćeno, oba slučaja je moguće uočiti na dinamogramu.

Kada dinamogram ukazuje na skraćeno kretanje klipa (slika 3-14.), krivulja je nagnuta prema gore s lijeva u desno, a rezultat toga je preopterećivanje klipa i duljina hoda klipa je smanjena u usporedbi s duljinom hoda glatke šipke. Skraćeno kretanje klipa obično je posljedica prevelikog trenja, a neki od uzroka mogu biti: upotreba prevelikih klipova, odnosno preuzak tubing, nakupljanje pijeska kao i nakupljanje parafina i sl.



Slika 3-14. Dinamogram koju ukazuje na skraćeno kretanje klipa (Matanović i Moslavac, 2011)

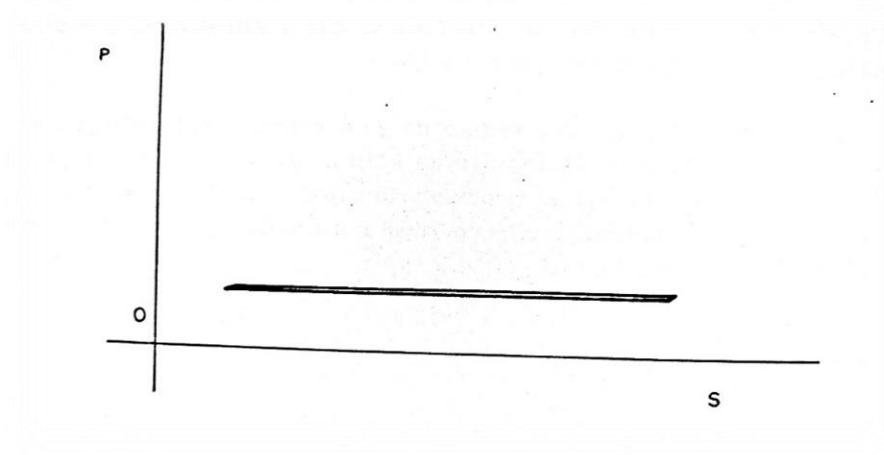
S druge strane, kada dinamogram ukazuje na produljeno kretanje klipa (slika 3-15.), krivulja je nagnuta prema dolje s lijeve u desnu stranu. Produljeno kretanje klipa obično je prisutno kada je broj hodova veći od $0,33 \text{ s}^{-1}$ (brzina podizanja je prevelika), ako se koriste klipne šipke od kompozitnih materijala ojačanih staklenim vlaknima ili ako se sisaljka iznenada isključi tijekom rada.



Slika 3-15. Dinamogram koju ukazuje na produljeno kretanje klipa (Matanović i Moslavac, 2011)

3.2.6. Utjecaj loma/odvajanja klipnih šipki

Dijagram koji ukazuje na lom ili odvajanje klipnih šipki (slika 3-16.) izgleda jako spljošteno. Opterećenje raste jako kratko pri hodu prema gore te odmah zatim slijedi ravna linija koja govori da je opterećenje konstantno. To znači da je glatka šipka opterećena samo težinom dijela klipnih šipki iznad točke loma (odvajanja) i vlastitom težinom.



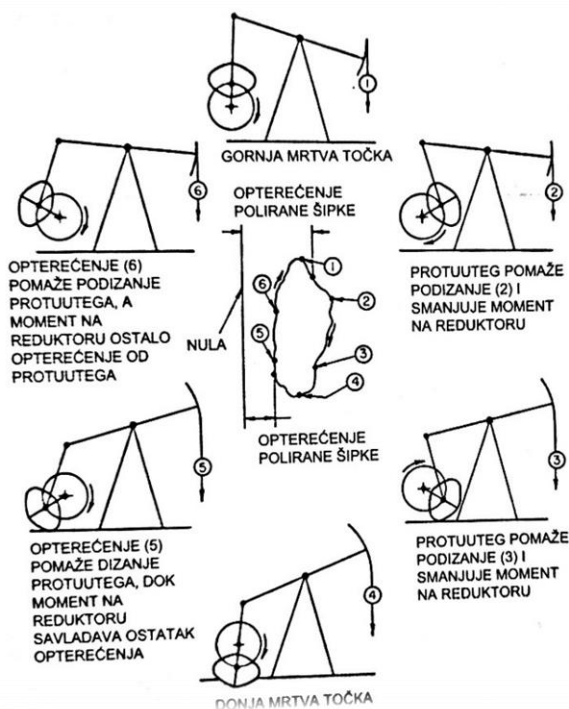
Slika 3-16. Dijagram koji ukazuje na lom (odvajanje) klipnih šipki (Mandić i Peharda, 1988)

3.2.7. Utjecaj načina uravnoteženja

Postoje i utjecaji koji pozitivno djeluju na rad dubinske sisaljke s klipnim šipkama. Tako na njezin rad djeluje pravilna primjena uravnoteženja. Ako ono nije ispravno urađeno, ostaviti će posljedicu na pogonski motor koji pokreće sisaljku. Shodno tome, bitno je znati dobro interpretirati postojeće dinamograme kako bi se izbjegle neželjene posljedice. Dva najčešća načina uravnoteženja vrše se primjenom protuutega koji se postavlja na ručicu te uravnoteženje zračnim cilindrom.

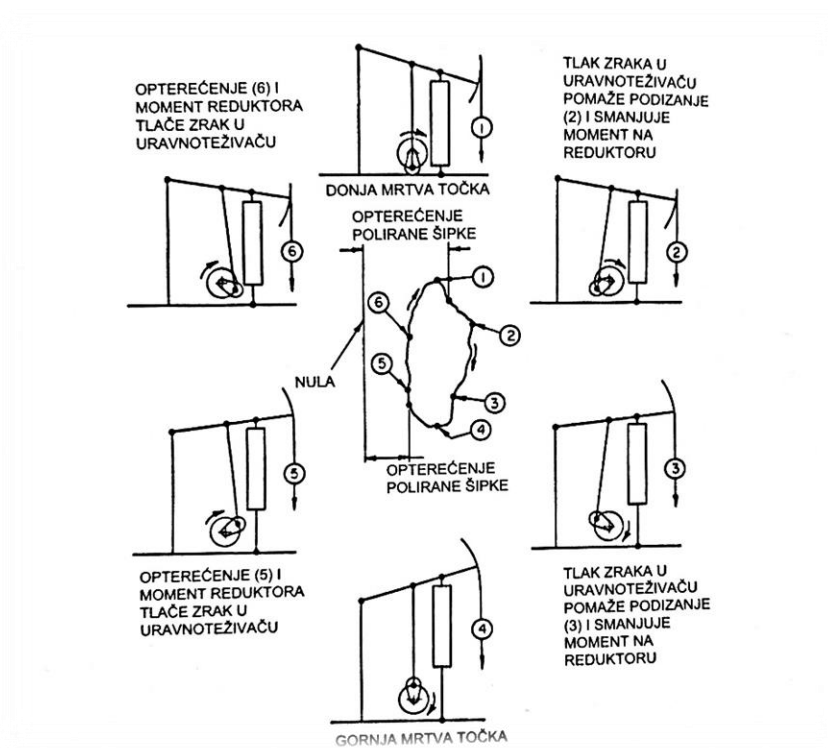
Protuutezi imaju ulogu uravnoteženja opterećenja mehanizma, s obzirom na opterećenje na strani dubinske sisaljke, sa svrhom smanjivanja velikih razlika opterećenja koja djeluju na pogonski motor (Družinec, 2010).

Na slici 3-17. prikazuje izgled dijagrama pri uravnoteženju protuutegom te opisuje kako protuuteg u skladu s kretanjem klipa utječe na izgled pravilnog dinamograma (kako protuuteg potpomaže ispravnom radu dubinske sisaljke).



Slika 3-17. Izgled dinamograma pri uravnoteženju protuutegom (Frick, 1962)

Drugi način uravnoteženja koji će se ovdje spomenuti je uravnoteženje zračnim cilindrom. Svrha je opet ista kao i kod prethodnog primjera. Cilj je potpomaganje ispravnog rada dubinske sisaljke. Uravnoteženje se postiže cilindrom i klipom pod djelovanjem komprimiranog zraka. Također, nužno imati na raspolaganju zračni kompresor kojim se održava odgovarajući tlak u cilindru (Družinec, 2010). Slika 3-18. prikazuje izgled dinamograma pri uravnoteženju zračnim cilindrom te također opisuje princip po kojem zračni cilindar utječe na pravilan izgled dinamograma.



Slika 3-18. Izgled dinamograma pri uravnoteženju zračnim cilindrom (Frick, 1962)

4. PRIMJENA DINAMOGRAMA

U ovom poglavlju, navedene su informacije koje se utvrđuju na temelju iscrtanog dinamograma. Na temelju tih informacija, dinamogrami mogu biti primijenjeni za rješavanje nekih specifičnih problema. Također, iz ispravno snimljenog dinamograma može se odrediti i osnovna opterećenja koja je nužno znati pri dimenzioniranju sustava.

Neke od najčešćih primjena dinamograma slijede u nastavku.

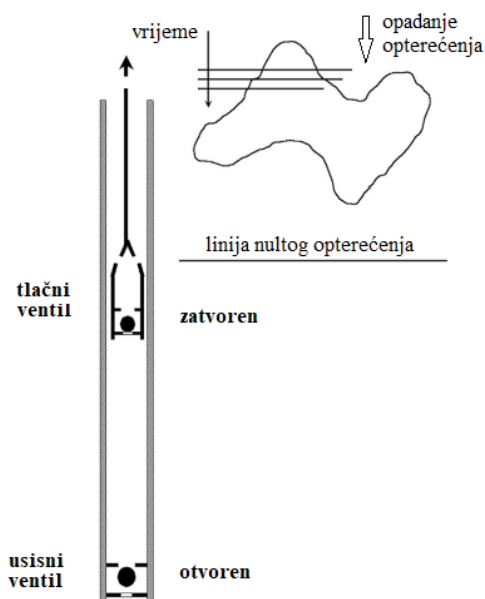
4.1. Provjera rada ventila

Iako prema veličini postrojenja maleni, ventili su jedan od ključnih dijelova dubinskih sisaljki s klipnim šipkama. Njihova ispravnost na neki način određuje učinkovitost dubinske sisaljke. Stoga je važno raditi provjeru ventila jer zbog mehaničkih oštećenja, erozije tekućine, korozije ili drugih operativnih problema, ventili mogu lako izgubiti savršeno brtvljenje potrebno za pravilan rad sisaljke (Takacs, 2015).

4.1.1. *Provjera rada tlačnog ventila*

Za provjeru tlačnog ventila, dubinska sisaljka se zaustavlja isključivanjem motora i aktiviranjem kočnice na drugoj polovici hoda prema gore (približno na sredini hoda ili pri vrhu hoda prema gore). Također, jako je bitno da se jedinica zaustavi lagano kako bi se izbjegli dinamički utjecaji na opterećenje (Takacs, 2015). Ako se pri tom povuče konop pisača, na dijagramu će se ucrtati vodoravna linija koja označava ukupno opterećenje glatke šipke u tom trenutku (opterećenje uzrokovano težinom klipnih šipki olakšanih zbog uzgona te težinom fluida). Zatim se konop pisača povlači još nekoliko puta u određenim intervalima dok njhalica još uvijek miruje (Fagg, 1950). Ako tlačni ventil dobro brtvi, ponovnim povlačenjem konopa crtati će se ista linija na istom mjestu (opterećenje se ne mijenja). S druge strane, u slučaju da opterećenje glatke šipke s vremenom opada, na dijagramu će se to očitovati u pomicanju vodoravnih linija prema dolje. Takvo pomicanje linija, odnosno opadanje opterećenja, ukazuje na propuštanje tlačnog ventila pri čemu fluid izlazi iz klipa. Opisanu situaciju prikazuje slika 4-1.

U slučaju da tlačni ventil jako propušta, tlak u prostoru između dva ventila raste što za posljedicu ima zatvaranje usisnog ventila koji na sebe preuzima opterećenje izazvano težinom fluida. Zbog svega navedenoga, na dijagramu će se iscrtati linija koja prikazuje opterećenje glatke šipke izazvano samo težinom uronjenih klipnih šipki. Važno je naglasiti da se opisani problem propuštanja fluida može dogoditi i u slučaju oštećenja tubinga ili klipa sisaljke.

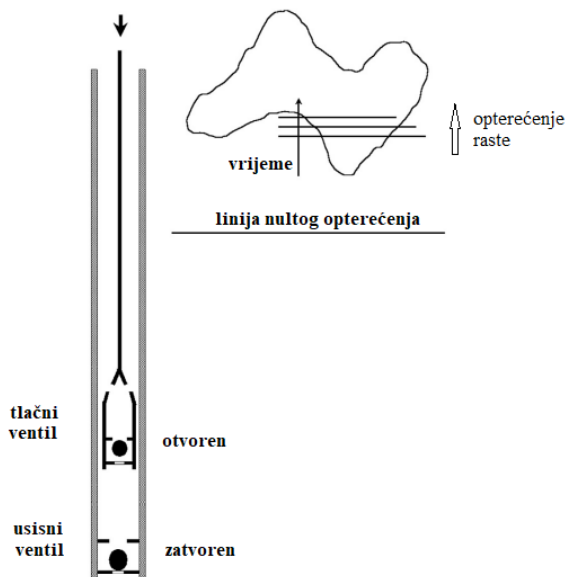


Slika 4-1. Prikaz usisnog i tlačnog ventila uz dinamogram koji ilustrira propuštanje tlačnog ventila (Takacs, 2015)

Količina propuštanja izravno je proporcionalna ozbiljnosti oštećenja ventila, odnosno brtve ventila. Iznos propuštanja određuje se preko vremena koje je potrebno da se stvori opterećenje sustava izazvano samo težinom uronjenih klipnih šipki (Matanović i Moslavac, 2011).

4.1.2. Provjera rada usisnog ventila

Postupak provjere rada usisnog ventila sličan je prethodnom postupku, samo što se izvodi pri hodu prema dolje. Naime, njihalica se ponovno polagano zaustavlja isključivanjem motora i aktivacijom kočnice. Razlika je u tome što se sada njihalica zaustavlja približno na kraju hoda prema dolje (otprilike na tri četvrtine hoda prema dolje) (Takacs, 2015). Ponavlja se proces povlačenja konopa pisača te se na dinamogramu bilježi vodoravna linija koja označava opterećenje glatke šipke izazvano samo uronjenima klipnim šipkama. To znači da je usisni ventil zatvoren, dok je tlačni ventil potpuno otvoren. U slučaju da usisni ventil dobro brtvi, pri ponovnom povlačenju konopa pisača crtati će se opet ista linija i opterećenje će biti nepromijenjeno. Suprotno tome, ako usisni ventil propušta, ponovnim povlačenjem konopa pisača, linije će se pomicati prema gore i opterećenje glatke šipke će rasti. To se događa zato što pri propuštanju usisnog ventila, tlak u prostoru između dva ventila pada, a posljedica je zatvaranje tlačnog ventila. U trenutku kada se tlačni ventil počinje zatvarati, on preuzima opterećenje zbog težine fluida na sebe te automatski i opterećenje glatke šipke raste. Opisani postupak prikazuje dinamogram na slici 4-2.



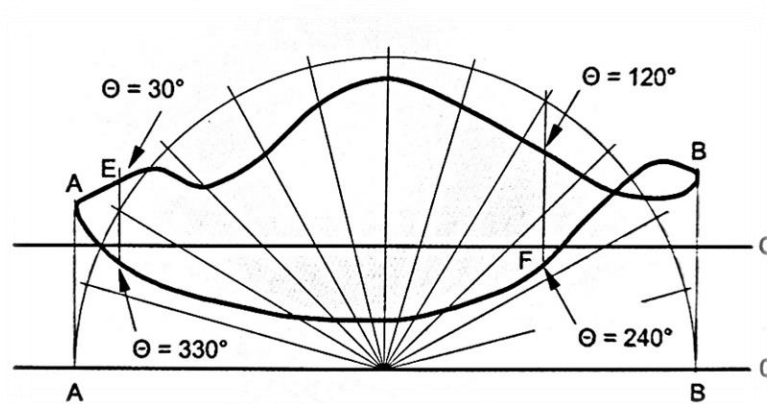
Slika 4-2. Prikaz tlačnog i usisnog ventila uz dinamogram koji karakterizira propuštanje usisnog ventila (Takacs, 2015)

Opterećenje je kao i u prethodnom slučaju, proporcionalno ozbiljnosti propuštanja ventila.

4.2. Određivanje trenutačnog momenta torzije

Pomoću dinamograma je, također, moguće odrediti i trenutačni moment torzije. Metoda koja opisuje proces određivanja momenta torzije naziva se *Metoda faktora zakretnog momenta*. Navedena metoda je dobila takav naziv zato što se jednadžba koja definira moment torzije temelji na poznavanju faktora momenta torzije.

Faktor momenta torzije se određuje grafoanalitički, korištenjem dinamometarskog zapisa. (slika 4-3.). Dinamogram je pri tom najbitniji izvor informacija za ispravno određivanje faktora momenta jer opisuje ovisnost položaja koljenaste osovine njihalice u odnosu na okomicu, kut (θ), koji je nužno poznavati da bi se odredio navedeni faktor. Također, dinamogram uključuje linije koje označavaju utjecaj protuutega (linija C na slici) te liniju nultog opterećenja (linija označena brojem 0 na slici) koje će kasnije biti važne za cjelokupnu jednadžbu trenutačnog momenta torzije.



Slika 4-3. Približna metoda za određivanje trenutačnog momenta torzije (Matanović i Moslavac, 2011)

Nadalje, na dinamogramu točka (A) označava početak hoda klipa prema gore, a točka (B) kraj hoda klipa prema gore (početak hoda klipa prema dolje). Spuštanjem okomica iz točaka A i B na liniju nultog opterećenja, dobivamo promjer polukružnice. Kada je polukružnica definirana, ona se dijeli na jednake segmente, svakih 15° . Zatim se, na krivulju dinamograma povuku projekcije sjecišta polukružnice i linije koja označava određeni stupanj (kao što je npr. za 30° točka E). Tim postupkom se sa dinamograma mogu očitati trenutačne vrijednosti

opterećenja glatke šipke, za različite kutove koljenaste osovine (θ). Koristeći navedene podatke, trenutačni moment torzije na osovini reduktora se dobije koristeći jednadžbu:

$$M_t = (W_p - C) \cdot \left(\frac{S}{2}\right) \cdot \sin \theta \quad (4-1.)$$

gdje su:

M_t – trenutačni moment torzije (Nm)

$(W_p - C)$ – neto vrijednost opterećenja glatke šipke (N)

$S/2$ – krak djelovanja sile (opterećenja) (m)

$\sin \theta$ – faktor momenta torzije (-)

Ova metoda je aproksimativna te zahtjeva informacije koje se mogu očitati sa dinamograma koji je prikazan na slici 5-3. te se pretpostavlja harmonično kretanje klipnih šipki (Fagg, 1950). Iako je ova metoda približna i aproksimativna metoda (pretpostavlja određene uvjete uz zanemarivanje geometrije površinskog sustava), dovoljno je točna za veliki postotak slučajeva te je lako primjenjiva na terenu.

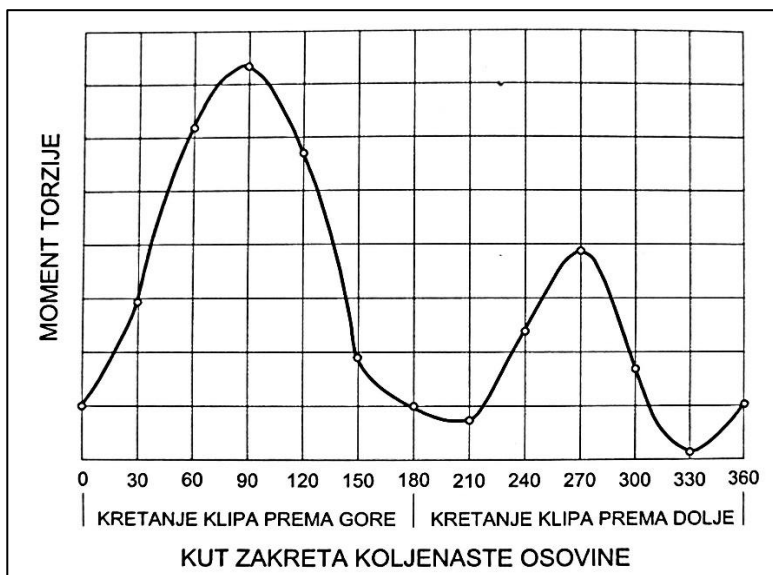
Osim trenutačnog momenta torzije, moguće je izračunati i neto moment torzije na osovini reduktora. On je definiran razlikom trenutačnog momenta torzije uzrokovanog zbog opterećenja glatke šipke i momenta nastalog zbog rotacije protuutega. Za moment zbog rotacije protuutega potrebno je znati maksimalni moment radilice i protuutega (M), koji isporučuje proizvođač (Brown, 1980). Neto moment torzije opisan je jednadžbom:

$$M_{netto} = M_t - M \sin \theta \quad (4-2.)$$

4.3. Utjecaj uravnoteženja

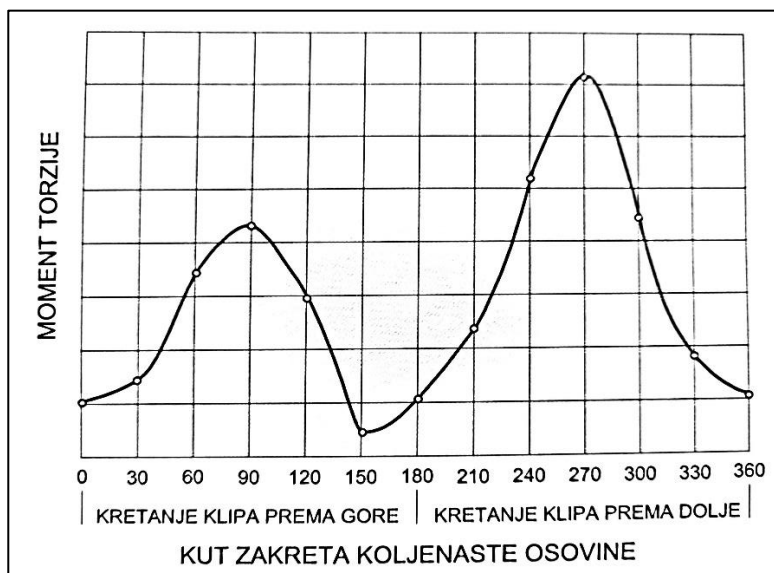
Na temelju izračunatog momenta torzije, čiji je postupak opisan u prethodnom podnaslovu, moguće je grafički prikazati ovisnost momenta torzije u odnosu na kut koljenaste osovine tijekom cijelog ciklusa rada sisaljke. Interpretacijom tako dobivenih krivulja može se odrediti je li uravnoteženje nedovoljno, preveliko ili pak zadovoljavajuće.

Ako je uravnoteženje nedovoljno (slika 4-4.), krivulja će prikazivati puno veći moment torzije pri kretanju klipa prema gore, kako je prikazano na slici. Ista situacija se može na terenu provjeriti i kratkim mjerenjem. Naime, ako se zaustavi pogonski motor sisaljke te aktivira kočnicu dok je koljenasta osovina u vodoravnom položaju (kut 90° ili 270°), glatka šipka će podići protuutege (Takacs, 2015)



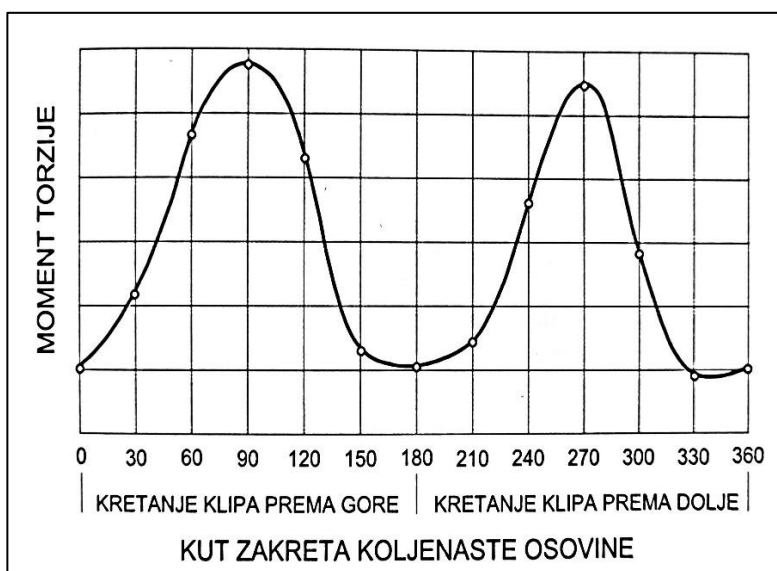
Slika 4-4. Krivulja momenta torzije za bušotinu kada uravnoteženje nije dovoljno (Matanović i Moslavac, 2011)

Ako je uravnoteženje preveliko (slika 4-5.), krivulja će pokazivati puno veći moment torzije pri kretanju klipa prema dolje, kako je prikazano na slici. I u ovom slučaju moguće je kratko obaviti mjerenje kako bi se provjerilo je li uravnoteženje zaista preveliko. Isključivanjem sisaljke te aktiviranjem kočnice dok je koljenasta osovina u vodoravnom položaju, protuutezi će podizati glatku šipku (Takacs, 2015)



Slika 4-5. Krivulja momenta torzije za bušotinu kad je uravnoteženje preveliko (Matanović i Moslavac, 2011)

Kada je uravnoteženje pravilno projektirano (slika 4-6.), moment torzije će biti približno jednak i pri hodu klipa prema gore i pri hodu klipa prema dolje.



Slika 4-6. Krivulja momenta torzije za bušotinu kad je uravnoteženje pravilno projektirano (Matanović i Moslavac, 2011)

4.4. Određivanje tlaka na razini dubinske sisaljke

Koristeći podatke sa dinamometarskog zapisa, točnije opterećenja glatke šipke, moguće je odrediti tlak na razini dubinske sisaljke (Agnew, 1957). Podaci koji su nam potrebni, dobiju se testiranjem ispravnosti rada tlačnog, odnosno usisnog ventila, kako je prije u ovom poglavlju opisano. Jedan od potrebnih podataka je mjereno opterećenje fluidom koje je opisano jednadžbom:

$$W_{fm} = W_{rfm} - W_{rm} \quad (4-3.)$$

gdje su:

W_{fm} – izmjereno opterećenje fluidom (N)

W_{rfm} – težina klipnih šipki uz težinu fluida (N)

W_{rm} – težina klipnih šipki iz rada usisnog ventila (N)

W_{rfm} i W_{rm} su određeni iz praćenja rada tlačnog, odnosno usisnog ventila (N)

Uzevši u obzir da ne postoji idealna situacija na dnu te da tubing može biti ispunjen mješavinom slane vode, nafte i plina, stvarna (srednja) (ρ_f) gustoća fluida ne može se tek tako odrediti iz rezultata dobivenih na površini (Agnew, 1957). Stvarna gustoća je bitna za određivanje izračunatog opterećenja fluidom, a ono je bitno za određivanje tlaka na dubini sisaljke. Nadalje, vrijednost stvarne gustoće moguće je odrediti iz mjerenja opterećenja usisnog ventila jer je razlika između računске i mjerene vrijednosti težine klipnih šipki (mjerene iz rada usisnog ventila), težina istisnutog fluida prosječne gustoće:

$$W_{rc} \cdot \frac{\rho_f}{\rho_r} = W_{rc} - W_{rm} \quad (4-4.)$$

gdje su:

W_{rc} – izračunata težina klipnih šipki na zraku (N)

W_{rm} – težina klipnih šipki iz rada usisnog ventila (N)

$W_{rc} \cdot (\rho_f / \rho_r)$ – težina istisnute tekućine prosječne gustoće (N)

ρ_f – stvarna gustoća fluida kojeg podižemo

ρ_r – gustoća materijala klipnih šipki

Iz navedene jednadžbe se odredi stvarna gustoću (ρ_f) te se dobije izračunato opterećenje fluidom opisano jednadžbom:

$$W_{fc} = \rho_f \cdot g \cdot L_s \cdot (A_p - A_r) \quad (4-5.)$$

gdje su:

W_{fc} – izračunato opterećenje fluidom (N)

L_s – dubina sisaljke (m)

A_p – površina poprečnog presjeka klipa (m^2)

A_r – površina poprečnog presjeka klipnih šipki (m^2)

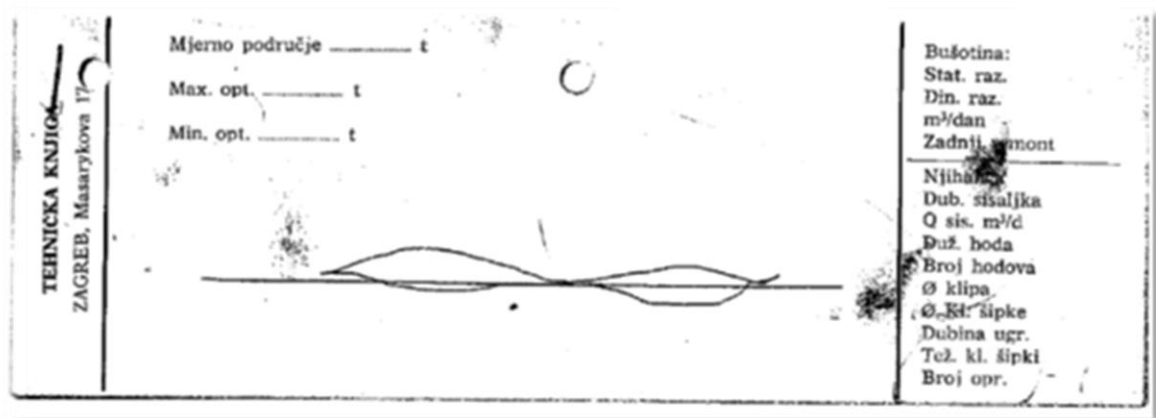
Pa je, konačno, rezultatni tlak na dubini sisaljke (p_s) razlika između izračunatog i izmjerenog opterećenja fluidom koje djeluje na razlici površine poprečnog presjeka cilindra i klipnih šipki (A_k):

$$p_s = \frac{W_{fc} - W_{fm}}{A_k} \quad (4-6.)$$

4.5. Primjena dinamograma na konkretnom primjeru iz prakse

Na slici 4-7. prikazan je dinamogram koji je dinamometar iscrtao nakon provedenih mjerenja u bušotini. Nakon što je mjerenje u cijelosti obavljeno, interpretacijom dinamograma zaključeno je da je došlo do oštećenja obaju ventila (tlačni i usisni). To se može uočiti u promjeni opterećenja pri hodu prema gore, odnosno hodu prema dolje. Pri hodu prema gore opterećenje raste, zatim opada da bi se na kraju hoda prema gore ponovno povećalo. Slično se događa i pri hodu prema dolje; opterećenje opada, zatim postepeno raste i ponovno pada.

Oštećenje se u ovom slučaju očitivalo u bubrenju i začepljenosti materijala sisaljke, a uzrok oštećenja je bio pijesak. To je za posljedicu dalo neispravan rad sisaljke koji se očituje u naglim promjenama opterećenja glatke šipke na priloženom dinamogramu.



Slika 4-7. Prikaz konkretnog primjera dinamograma iz prakse (Tehnička dokumentacija INA d.d., 2015)

Nakon interpretacije dinamograma sisaljka je zaustavljena s radom te izvađena iz bušotine. Zatim je slijedila defektaža sisaljke (sisaljka se rastavi na dijelove i pregleda u radioni) te se provjerila oštećenost ventila. Nakon što je pregled rastavljene sisaljke obavljen do kraja, ustanovile su se lokacije oštećenja: tijelo klipa, cilindar, kućišta usisnog i tlačnog ventila te klipnjača.

S obzirom da se pregledom sisaljke potvrdilo oštećenje koje je predviđeno interpretacijom dinamograma, sisaljka je opovrgnuta remontu te je cijela postojeća pumpa otpisana i

zamijenjena novom. Svi gore navedeni podaci se trebaju zapisati u izvještaj o stanju dubinske sisaljke koji je prikazan na slici 4-8.

STS		Izveštaj o stanju dubinske sisaljke		Cznaka: 4000551-____/2017	
Servis: 01 Grab: 01	Polje: 20	Dubina ugradnje: _____			
Datum defekta: 1 3 17	Broj bušotine: 265	Dubina do mjesta oštećenja: _____			
Proizvođač: HF	Oznaka pumpe: 20 125 2HAN 22 6				
Broj pumpe: 1178	Zazor klip-cilinar: -2	Brtve klipa: _____			
Napomena: Podatke upisati u kodirane rublike. Gdje postoji mogućnost označiti podatke sa X					
Promatana oprema	Vrsta radova u bušotini	Tip oštećenja	Lokacija oštećenja		
<input checked="" type="checkbox"/> Usadna pumpa <input type="checkbox"/> Tubing pumpa <input type="checkbox"/> Hidrau. pumpa <input type="checkbox"/> Hidraul. pumpa jet <input type="checkbox"/> Uronjena električna <input type="checkbox"/> Centrifugalna pumpa	<input type="checkbox"/> Kiselinska obrada <input type="checkbox"/> Frakturiranje sloja <input type="checkbox"/> Testiranje <input type="checkbox"/> Novi režim i opreme <input type="checkbox"/> Tretman parom <input type="checkbox"/> Inhibiranje <input checked="" type="checkbox"/> Zamjena pumpe <input type="checkbox"/> Ispiranje bušotine <input type="checkbox"/> Ostalo (ispiši)	<input type="checkbox"/> Lom <input type="checkbox"/> Pukotine ili naprsline <input checked="" type="checkbox"/> Začepijenost <input type="checkbox"/> Istrošenost <input checked="" type="checkbox"/> Bubrenje <input type="checkbox"/> Uzdužno procurivanje <input type="checkbox"/> Deformacije <input type="checkbox"/> Odvrtanje dijelova <input type="checkbox"/> Nečistoće u pumpi <input type="checkbox"/> Potpuna nepokretnost klipa	<input checked="" type="checkbox"/> Tijelo klipa <input type="checkbox"/> Brtve klipa <input type="checkbox"/> Navoji oštećeni <input type="checkbox"/> Spojnice cilindara <input checked="" type="checkbox"/> Cilindar <input checked="" type="checkbox"/> Kudiš e usisnog ventila <input checked="" type="checkbox"/> Kudiš e tlačnog ventila <input type="checkbox"/> Kugla i sjedište <input type="checkbox"/> Sjedište pumpe <input type="checkbox"/> Brava pumpe <input checked="" type="checkbox"/> Klipnjača <input type="checkbox"/> Prijelaz klip – klipnjača <input type="checkbox"/> Potisna korpa <input type="checkbox"/> Ostalo (upiši)		
Uzrok oštećenja	Metoda popravka	Defektaža izvršena	Izveštaj sastavio		
<input type="checkbox"/> Kiseline <input type="checkbox"/> Isplaka <input type="checkbox"/> Kamenac <input checked="" type="checkbox"/> Pijesak <input type="checkbox"/> Abrazija <input type="checkbox"/> Korozija <input type="checkbox"/> Zamor materijala <input type="checkbox"/> Metalne krhotine <input type="checkbox"/> Parafin <input type="checkbox"/> Guma ili plastika <input type="checkbox"/> Moment dotezanja <input type="checkbox"/> Neprisustvo nafte u pumpi <input type="checkbox"/> Nestručno rukovanje <input type="checkbox"/> Pad pumpe u bušotinu <input type="checkbox"/> Nepravilno odabrana pumpa	<input type="checkbox"/> Zamjena sa novim dijelovima <input type="checkbox"/> Popravak dijelova <input type="checkbox"/> Ispiranje od nečistoća <input checked="" type="checkbox"/> Pumpa otpisana <input type="checkbox"/> Pumpa ispravna prilikom defektaže	<input checked="" type="checkbox"/> U radionici <input type="checkbox"/> Na bušotini	Potpis: <i>[Signature]</i> Napomena uz izvještaj: <i>12.12.15</i>		
Ostale napomene (upisuje proizvodno polje): _____					

Slika 4-8. Izvještaj o stanju dubinske sisaljke (Tehnička dokumentacija INA d.d., 2015)

5. PRORAČUN OPTEREĆENJA GLATKE ŠIPKE

U ovom poglavlju će biti prikazan proračun opterećenja glatke šipke na konkretnom primjeru proizvodne bušotine.

Zadani su sljedeći parametri:

-dubina bušotine $L_B=1800$ m

-dubina ugradnje sisaljke, odnosno razina kapljevine, $L_S=1400$ m

-gustoća fluida $\rho_f =900$ kg/m³

-maksimalna duljina hoda sisaljke, kao tisućiti dio dubine, iznosi $L_h=1,40$ m

-usadna sisaljka debele stijenke promjera $D_s=38,1$ mm

-kombinacija klipnih šipki 25,40 x 22,22 x 19,05 mm

-treći stupanj sinkrone brzine njihalice.

Prvo je potrebno izračunati duljine pojedinih sekcija klipnih šipki prema njihovu udjelu koji je prikazan u tablici 5-1. Tražena duljina je umnožak udjela pojedinih klipnih šipki u ukupnoj duljini i ukupne duljine niza. Kako je u ovom primjeru odabrana kombinacija od tri različita promjera klipnih šipki, potrebno je izračunati duljinu tri sekcije (L_1 , L_2 i L_3) pa slijedi:

$$L_1 = 0,211 * 1400 = 295,4 \text{ m}$$

$$L_2 = 0,239 * 1400 = 334,6 \text{ m}$$

$$L_3 = 0,550 * 1400 = 770,0 \text{ m}$$

Tablica 5-1. Prikaz udjela duljina kombiniranih nizova klipnih šipki u % (Brkić, 2021)

Klip		Kombinacija klipnih šipki								
Promjer klipa	Površina poprečnog presjeka	19,0×15,9	22,2×19,0	22,2×19,0×15,9			25,4×22,2	25,4 × 22,2×19,0		
mm	cm ²									
19,0	2,9	27,0	23,8	-	-	-	-	-	-	-
23,8	4,4	28,9	24,6	-	-	-	-	-	-	-
25,4	5,1	29,6	25,0	19,3	23,0	57,7	22,7	16,7	19,0	64,3
27,0	5,7	30,5	25,5	20,3	23,4	56,3	23,1	17,2	19,5	63,3
31,8	7,9	33,2	27,3	22,6	26,1	51,3	24,3	18,7	21,2	60,1
38,1	11,4	37,4	29,6	26,5	30,2	43,3	26,2	21,1	23,9	55,0
44,5	15,5	42,3	32,9	30,6	35,2	34,2	28,4	23,9	27,0	49,1
50,8	20,3	48,2	36,5	35,7	41,0	23,3	30,9	27,1	30,7	42,2
57,2	25,7	54,4	40,6	42,0	47,0	11,0	33,8	30,9	34,8	34,3
61,9	30,1	59,8	44,0	-	-	-	36,2	33,0	38,0	29,0
63,5	31,7	63,0	45,0	-	-	-	37,0	35,0	39,5	25,5
69,9	38,7	69,7	50,2	-	-	-	40,6	39,5	44,6	15,9
95,3	71,3	-	75,4	-	-	-	58,2	44,5	50,2	5,3
101,6	81,0	-	-	-	-	-	58,5	-	-	-

Zatim slijedi izračun težine pojedinih nizova, kao umnožak duljine (m) i jedinične težine (N/m) koja je očitana iz tablice 5-2. te ukupne težine kao zbroj pojedinih težina, kako slijedi:

$$W_{R1} = L_1 * w_{R1} = 295,4 * 41,44 = 12241,38 \text{ N}$$

$$W_{R2} = L_2 * w_{R2} = 334,6 * 31,52 = 10546,59 \text{ N}$$

$$W_{R3} = L_3 * w_{R3} = 770,0 * 23,79 = 18318,30 \text{ N}$$

$$W_R = W_{R1} + W_{R2} + W_{R3} = 12241,38 + 10546,59 + 18318,30 = 41106,27 \text{ N}$$

Tablica 5-2. Jedinične težine klipnih šipki različitog promjera (Priručnik za dubinske sisaljke Axelson, INA-Naftaplin, 1993)

Promjer kl. šipki duljine 7,62 m (mm)	12,70	15,88	19,05	22,22	25,40	28,57
Prosječna težina* u N/m	10,22	16,64	23,79	31,52	41,44	52,39

* u prosječnu težinu uključena je težina spojnica

Slijedeći potreban podatak je iznos stvarnog opterećenja fluidom. Da bi se dobio taj podatak potrebno je znati jedinično opterećenje fluidom. Ono se očitava iz tablice 5-3. na temelju poznavanja promjera sisaljke te promjera najniže sekcije klipnih šipki, što je u ovom slučaju 19,05 mm. Očitano jedinično opterećenje fluidom iznosi 8,32 N/m. Jednadžba za stvarno opterećenje fluidom umnožak je jediničnog opterećenja fluidom (w_f), duljine klipnih šipki (L_s) te relativne gustoće fluida (γ_f):

$$W_f = w_f \cdot L_s \cdot \gamma_f \quad (5-1.)$$

$$W_f = 8,32 \cdot 1400 \cdot 0,9 = 10483,2 \text{ N}$$

Tablica 5-3. Tablica koja prikazuje ukupna i stvarna opterećenje fluida te stvarnu površinu poprečnog presjeka klipa za različite klipne šipke (Priručnik za dubinske sisaljke Axelson, INA-Naftaplin, 1993)

UKUPNA OPTEREĆENJA FLUIDA, STVARNA POVRŠINA POPREČNOG PRESJEKA KLIPA I STVARNA OPTEREĆENJA FLUIDA ZA RAZLIČITE KLIPNE ŠIPKE

KLIP			KLIPNE ŠIPKE							
			promjer: 25,40 mm površina: 506,71 mm ²		promjer: 22,22 mm površina: 387,95 mm ²		promjer: 19,05 mm površina: 285,02 mm ²		promjer: 15,87 mm površina: 197,93 mm ²	
PROMJER (mm)	UKUPNA POVRŠINA POPREČ. PRESJEKA (mm ²)	UKUPNO OPTEREĆENJE FLUIDA (N/m)	STVARNA POVRŠINA POP. PRESJ. (mm ²)	STVARNO OPTEREĆENJE FLUIDA (N/m)	STVARNA POVRŠINA POP. PRESJ. (mm ²)	STVARNO OPTEREĆENJE FLUIDA (N/m)	STVARNA POVRŠINA POP. PRESJ. (mm ²)	STVARNO OPTEREĆENJE FLUIDA (N/m)	STVARNA POVRŠINA POP. PRESJ. (mm ²)	STVARNO OPTEREĆENJE FLUIDA (N/m)
26,99	571,73	5,55	65,29	0,58	184,06	1,75	286,97	2,77	374,06	3,65
31,75	791,33	7,73	285,03	2,77	403,81	3,94	505,42	4,96	593,80	5,69
38,10	1139,51	11,24	633,35	6,13	752,13	7,30	855,03	8,32	942,13	9,19
44,45	1551,00	15,18	1045,09	10,22	1163,87	11,38	1266,77	12,40	1353,87	13,28
50,80	2025,80	19,85	1520,12	14,89	1638,90	16,05	1741,80	17,07	1828,90	17,95
57,15	2563,91	25,10	2058,51	20,14	2177,28	21,31	2280,19	22,33	2367,28	23,20
63,50	3165,31	31,08	2660,19	26,12	2778,96	27,14	2881,86	28,31	2968,96	29,04
69,85	3830,03	37,51	3325,28	32,54	3444,06	33,71	3546,96	34,73	3634,06	35,61
76,20	4556,05	44,66	4053,67	39,70	4172,44	40,86	4275,35	41,88	4362,44	42,78
82,55	5349,38	52,54	4845,41	47,43	4964,18	48,16	5067,09	49,62	5154,18	50,49
88,90	6204,02	60,86	5700,44	55,75	5819,21	57,06	5922,12	58,08	6009,21	58,81
95,25	7121,96	68,91	6619,08	64,80	6737,86	66,11	6840,76	67,13	6927,86	67,86
120,65	11426,79	112,08	10926,17	106,97	11044,94	108,29	11147,84	109,31	11234,94	110,04

Konačno, slijedi izračun maksimalnog opterećenja glatke šipke koje se događa otprilike na pola hoda prema gore. Za taj izračun, prethodno je potrebno izračunati impuls faktor (T). Impuls faktor (koji je posljedica maksimalnog ubrzanja šipki) ovisi o duljini hoda sisaljke (L_h) te stupnju sinkrone brzine njihalice, što je u ovom slučaju treći stupanj. Za treći stupanj sinkrone brzine, broj hodova njihalice (SPM) iznosi 14 hodova u minuti.

Jednadžba koja opisuje impuls faktor glasi:

$$T = \frac{L_h \cdot SPM^2}{1791} \quad (5-2.)$$

Stoga slijedi da impuls faktor iznosi:

$$T = (1,40 \cdot 14^2) / 1791 = 0,153$$

Jednadžba koja opisuje maksimalno opterećenje glasi:

$$W_{max} = (1 + T) \cdot W_R + W_f \quad (5-3.)$$

U zagradi se impuls faktor zbraja sa konstantom 1, zato što je vektor inercijske sile nastale zbog maksimalnog ubrzanja pri hodu glatke šipke prema gore usmjeren u suprotnom smjeru, prema dolje, te dodatno povećava opterećenje glatke šipke.

Uvrštavanjem vrijednosti za maksimalno opterećenje slijedi:

$$W_{max} = (1 + 0,153) \cdot 41106,27 + 10483,20 = 57878,73 \text{ N}$$

Također, moguće je izračunati i statičko opterećenje glatke šipke koje je zbroj težine klipnih šipki i težine fluida u mirovanju:

$$W_s = W_R + W_f = 41106,27 + 10483,2 = 51589,53 \text{ N}$$

Na kraju, moguće je dobiti i minimalno opterećenje glatke šipke koristeći jednadžbu:

$$W_{min} = (0,76 - T) \cdot W_R \quad (5-4.)$$

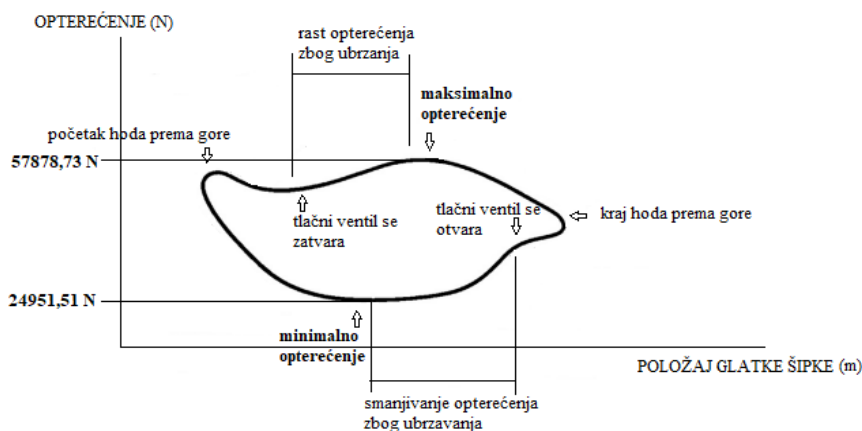
U ovom slučaju, impuls faktor se oduzima od konstante 0,76, zato što vektor inercijske sile nastale zbog maksimalnog ubrzanja pri hodu glatke šipke prema dolje, ima smjer okrenut prema gore, što zapravo smanjuje ukupno opterećenje na glatku šipku. Uvrštavanjem slijedi:

$$W_{\min} = (0,76 - 0,153) * 41106,27 = 24951,51$$

Na temelju proračuna vidi se kako reaktivne sile utječu na opterećenje. U slučaju mirovanja šipki, opterećenje iznosi gotovo 6,3 kN manje nego u slučaju kretanja glatke šipke prema gore. Razlog tomu je inercijska sila koja nastaje kao posljedica ubrzavanja sustava. Naime, na otprilike polovici puta kretanja prema gore (slika 5-1.), ubrzanje ima najveći iznos. S obzirom da je inercijska sila umnožak mase i ubrzanja sustava, logičan je zaključak da je baš na polovici puta prema gore opterećenje glatke šipke najveće. Kako je prethodno navedeno, inercijska sila djeluje suprotno od smjera gibanja pa se zbraja sa ukupnim opterećenjem.

Slično vrijedi za kretanje glatke šipke prema dolje. Pri tom se ostvaruje minimalno opterećenje na sustav baš zato što inercijska sila djeluje suprotno od smjera kretanja. Ukupno opterećenje zbog gravitacije djeluje prema dolje, ali isto tako i smjer gibanja sustava je prema dolje pa zbog maksimalnog ubrzanja na polovici kretanja prema dolje nastaje i najveća inercijska sila koja sada "olakšava" sustav, a posljedica je minimalno opterećenje glatke šipke.

Na kraju je važno naglasiti da su sve navedene sile koje djeluju na sustav jako bitne jer definiraju izgled krivulje (Napomena: dinamogram ispod nije nacrtan koristeći podatke iz proračuna, već služi samo kao usporedba rezultata i izgleda tipske krivulje)!



Slika 5-1. Dinamogram kojim su uspoređeni rezultati proračuna i tipski izgled krivulje

6. ZAKLJUČAK

Da bi dubinska sisaljka s klipnim šipkama učinkovito radila i pridobivanje kapljevine bilo kontinuirano, potrebno je kontrolirati njen rad. Pri radu pod konstantnim opterećenjem, koje je ovisno o dubini, sasvim je jasno da će s vremenom doći do trošenja materijala, ali i kvarova te zatajenja pojedinih dijelova dubinske sisaljke. Prateći opterećenje glatke šipke i sve sile koje djeluju na nju, može se na vrijeme spriječiti velik broj kvarova i remont opreme. Pri tome, dinamometrički zapisi (dinamogrami) uvelike olakšavaju kontrolu rada dubinske sisaljke jer daju informaciju o svim bitnim parametrima rada dubinske sisaljke.

Kvalitetnom interpretacijom pojedinih dinamograma, može se uočiti kako razni čimbenici utječu na rad sisaljke. Ti čimbenici prvenstveno utječu na oblik krivulje dinamograma po čijem izgledu se može zaključiti u kojem dijelu sustava je nastao određeni problem. Tako vibracije klipnih šipki, kao jedan od najnepoželjnijih čimbenika, uvelike utječu na rad dubinske sisaljke. Vibracija klipnih šipki se događa pri sinkronoj brzini podizanja koja je nepoželjna jer uzrokuje iznenadno i naglo povećanje opterećenja glatke šipke. Isto tako trenje izazvano dodiranjem klipa i cilindra utječe na trošenje njegove stijenke nakon čega se događa propuštanje fluida što dalje za sobom vodi do nepravilnog rada i neočekivanog povećanja u opterećenju glatke šipke. Nadalje, u slučaju da usisni ventil nenadano preuzme opterećenje na sebe, uslijed čega opterećenje glatke šipke opada, primijetit će se naizmjenice skokoviti rast i pad opterećenja. Nedovoljno punjenje cilindra također stvara veliki problem u bušotini jer može izazvati hidraulički udar, koji osim produljenja klipnih šipki, može izazvati čak i njihov lom. Nakon što se dogodio lom šipki, potreban je remont bušotine, a to uzrokuje dodatani operativni trošak. U slučaju nakupljanja parafina, odnosno pijeska, na stijenkama cilindra ili tubinga, ovisno o tipu dubinske sisaljke, događa se promjena u duljini hoda klipa što nije poželjno jer je poremećen normalan ciklus rada dubinske sisaljke. Sve navedene situacije ostavljaju utjecaj na izgled dinamograma. Pravilnom interpretacijom dinamometričkog zapisa te djelovanjem na vrijeme, smanjit će se trošak, davanje bušotine ostaviti u zadovoljavajućim granicama i ono najbitnije, izbjeći remont te održati pravilan ciklus rada dubinske sisaljke.

Osim što ukazuje na pogreške u radu, dinamometarski zapis ima i svoju primjenu pri analizi rada. Tako, koristeći dinamograme, mogu se izvesti ispitivanja ispravnosti rada tlačnog i usisnog ventila, može se provjeriti ispravnost uravnoteženja, odrediti moment torzije na osovini reduktora i sl.

Na kraju, bitno je naglasiti i važnost proračuna opterećenja glatke šipke. Osim što se pomoću njega može precizno odrediti maksimalno i minimalno opterećenje, pomoći će i pri interpretaciji dinamograma. Kada je poznat iznos opterećenja, može ga se usporediti sa onom vrijednosti koja je očitana sa dinamograma. Ako se opterećenja previše razlikuju, može se otkriti da neki dio sustava ne funkcionira kako treba ili u krajnjem slučaju da dinamometar nije ispravan jer ne prenosi tj. ne bilježi točno opterećenje na vrpcu.

Zbog svih tih činjenica dinamometarski zapis se opravdano nameće kao jedno od najbitnijih mjerenja pri kontroli rada dubinskih sisaljki s klipnim šipkama što nije nimalo lagan zadatak. Navedeni primjeri u trećem poglavlju predstavljaju najočitije situacije, dok su stvarne situacije još dosta složenije. Stoga je jasno da uspjeh u vizualnoj interpretaciji krivulja dobivenih dinamogramom izravno ovisi o vještini analitičara dinamometarskog zapisa. Ponekad čak i iskusni inženjeri proizvodnje teško određuju uzrok kvara dubinske sisaljke prije vađenja iste i obavljene dijagnoze uzroka kvara. Zato se kao krajnji zaključak nameće činjenica da, iako dinamogrami pomažu u održavanju pravilnog rada dubinske sisaljke, bez stručnosti proizvodnog inženjera nema uspjeha jer je interpretiranje dinamograma zahtjevan posao koji traži mnogo znanja i iskustva.

7. LITERATURA

1. AGNEW, B. G., 1957. *The Dynamometer as Production tool, Drilling and Production Practice*, API, Dallas, str. 161-168.
2. BOYUN, G., WILLIAM, C. L., GHALAMBOR, A., 2007. *Petroleum Production Engineering*. Gulf Professional Publishing is an imprint of Elsevier.
3. BRKIĆ, V., 2021.: Predavanje iz kolegija Proizvodnja nafte i plina 1 - neobjavljeno.
4. BROWN, K. E., 1980. *The Technology of Artificial Lift Methods*. The University of Tulsa, Oklahoma: PennWell Publishing Company Tulsa.
5. DRUŽINEC, J. D. 2010. *Analiza mehanizama dubinske pumpe za naftu*. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, FSB.
6. FAGG, L. W., 1950. *Dynamometer Cards and Well Weighing*, Trans. AIME, 189.
7. FRICK, T. C., 1962. *Petroleum Production Handbook, Volume I, Mathematics and Production Equipment, Chapter 9, Pumping Units nad Prime Movers for Pumping Units*, McGraw Hill Book Company, Inc., New York.
8. MANDIĆ, M., PEHARDA, J., 1988. *Tehnologija proizvodnje, sabiranja, pripreme i transporta nafte i plina*. Zagreb: INA-Naftaplin.
9. MATANOVIĆ, D., MOSLAVAC, B., 2011. *Opremanje i održavanje bušotina*. 1. izdanje. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
10. PRIRUČNIK ZA DUBISNKE SISALJKE AXELSON, 1993. INA-Naftaplin, Zagreb.
11. RISCHMULLER, H., 2021. *Oil Production with Subsurface Sucker Rod Pumps*, ppt. (neobjavljeno).
12. TAKACS G., 2015. *Sucker Rod Pumping Handbook*. Petroleum Engineering Department, University of Miskolc, Hungary: Gulf Professional Publishing is an imprint of Elsevier.
13. TEHNIČKA DOKUMENTACIJA INA d.d. 2015. INA-Naftaplin, Zagreb.
14. UREN, L. C., 1939. *Petroleum Production Engineering (Oil Piled Exploitation)*, 2nd Ed., McGraw-Hill Book Company, Inc, New York, str. 241-242.
15. ZELIĆ, M., ČIKEŠ, M., 2006. *Tehnologija proizvodnje nafte i plina*. 1. izdanje. Zagreb: INA Industrija nafte d.d., Biblioteka INA.

IZJAVA

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

Stipe Šućur

Stipe Šućur



KLASA: 602-01/22-01/67
URBROJ: 251-70-12-22-2
U Zagrebu, 29.08.2022.

Stipe Šućur, student

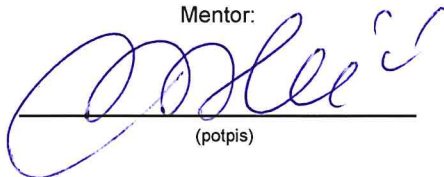
RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/67, URBROJ: 251-70-12-22-1 od 27.04.2022. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

KONTROLA RADA DUBINSKIH SISALJKI S KLIPNIM ŠIPKAMA KORISTEĆI DINAMOMETARSKI ZAPIS

Za mentora ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Izv.prof.dr.sc. Vladislav Brkić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentor:



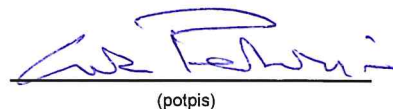
(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Vladislav Brkić

(titula, ime i prezime)



Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

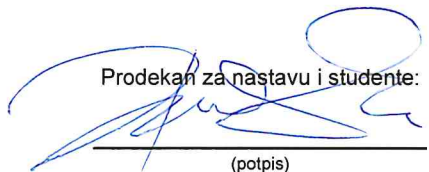


(potpis)

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)