

# Mjerni instrumenti na bušačem postrojenju

---

Šimić, Robert

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:918762>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-05**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Preddiplomski studij naftnog rudarstva

# **MJERNI INSTRUMENTI NA BUŠAĆEM POSTROJENJU**

Završni rad

Robert Šimić

N-4206

Zagreb, 2020.

## MJERNI INSTRUMENTI NA BUŠAĆEM POSTROJENJU

ROBERT ŠIMIĆ

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

### Sažetak

U ovom završnom radu su obrađeni mjerni instrumenti na bušaćem postrojenju. Mjerni instrument je uređaj koji mjeri promjenu fizikalne veličine te tu izmjerenu vrijednost indicira na indikatoru. Pomoću njih se mjere parametri bušenja kako bi se izradila što ekonomičnija i što sigurnija bušotina. Mjerene veličine koje se prate su težina alata na kuki i opterećenje na dlijeto, torzija u bušaćem nizu i moment dotezanja bušačkih šipki, tlak, protok, gustoća i razina isplake, odklon kanala bušotine, rad bušačeg užeta i mnoge druge. Mjerenja specifična za odobalna postrojenja se sastoje od praćenja razine mora i količini balastne vode u spremnicima kod plutajućih platformi te praćenje stanja nogu kod samopodižućih platformi. Na modernim postrojenjima svi ti podaci se kombiniraju s manevriranjem alatki tijekom procesa bušenja, automatizacijom postrojenja te pripadajućom softverskom i hardverskom podrškom u integrirani sustav upravljanja bušenjem.

Ključne riječi: Mjerni instrumenti, drilometar, transformator tlaka, bušaća soba  
Završni rad sadrži: 38 stranica, 32 slike i 43 reference.  
Jezik izvornika: Hrvatski  
Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta  
Pierottijeva 6, Zagreb  
Mentor: Dr. sc. Zdenko Krištafor, redoviti profesor u trajnom zvanju RGNF  
Ocjenjivači: Dr. sc. Zdenko Krištafor, redoviti profesor u trajnom zvanju RGNF  
Dr. sc. Borivoje Pašić, docent RGNF  
Dr. sc. Lidia Hrnčević, izvanredna profesorica RGNF

Datum obrane: 11.09.2020., Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. MJERNI INSTRUMENTI NA BUŠAĆIM POSTROJENJIMA.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Drilometar .....</b>	<b>2</b>
<b>2.2. Indikator težine.....</b>	<b>3</b>
<b>2.3. Torziometar.....</b>	<b>7</b>
<b>2.4. Tahometar .....</b>	<b>8</b>
<b>2.5. Indikator brzine i kapaciteta isplačne sisaljke .....</b>	<b>9</b>
<b>2.6. Manometar .....</b>	<b>10</b>
<b>2.7. Dinamometar .....</b>	<b>11</b>
<b>2.8. Drilogram .....</b>	<b>12</b>
<b>2.9. Mjerač protoka .....</b>	<b>14</b>
<b>2.10. Mjerači gustoće i razine isplake .....</b>	<b>15</b>
<b>2.11. Inklinometar .....</b>	<b>18</b>
<b>2.12. Indikator pozicije podesivih sapnica .....</b>	<b>20</b>
<b>2.13. Mjerač rada bušaćeg užeta .....</b>	<b>21</b>
<b>2.14. Uređaj za sprječavanje udara pomičnog koloturja u nepomično koloturje... </b>	<b>22</b>
<b>3. BUŠAĆA SOBA.....</b>	<b>24</b>
<b>4. MJERENJA SPECIFIČNA ZA ODOBALNA POSTROJENJA .....</b>	<b>27</b>
<b>5. INTEGRIRANI SUSTAV UPRAVLJANJA BUŠENJEM.....</b>	<b>30</b>
<b>6. POZICIJA MJERNIH INSTRUMENATA .....</b>	<b>32</b>
<b>7. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>34</b>
<b>8. LITERATURA .....</b>	<b>35</b>

## POPIS SLIKA

<b>Slika 2-1.</b> Drilometar.....	3
<b>Slika 2-2.</b> Indikator težine .....	4
<b>Slika 2-3.</b> Različite izvedbe transformatora tlaka .....	5
<b>Slika 2-4.</b> Sidra s transformatorom tlaka .....	6
<b>Slika 2-5.</b> Električni indikator težine .....	6
<b>Slika 2-6.</b> Torziometar .....	7
<b>Slika 2-7.</b> Električni torziometar (ERT).....	8
<b>Slika 2-8.</b> Dijelovi tahometra .....	9
<b>Slika 2-9.</b> Shema sustava mjerenja broja hodova isplačne sisaljke .....	10
<b>Slika 2-10.</b> Dijelovi manometra koji se koriste za mjerenje tlaka na stojci i na tlačnom vodu .....	11
<b>Slika 2-11.</b> Dinamometar .....	12
<b>Slika 2-12.</b> (a) Kružni drilogram, (b) Linijski drilogram.....	13
<b>Slika 2-13.</b> Električni drilogram.....	14
<b>Slika 2-14.</b> Mjerač protoka za mjerenje protoka povratnog toka isplake .....	15
<b>Slika 2-15.</b> Coriolisov mjerač protoka .....	16
<b>Slika 2-16.</b> Senzori za mjerenje gustoće fluida.....	17
<b>Slika 2-17.</b> Shema sustava mjerenja razine isplake u isplavnim bazenima .....	18
<b>Slika 2-18.</b> Dijagram papir i film inklinometra.....	19
<b>Slika 2-19.</b> Dijelovi elektroničkog inklinometra.....	20
<b>Slika 2-20.</b> Indikator i senzor pomaka podesive sapnice .....	21
<b>Slika 2-21.</b> Mjerač rada bušaćeg užeta.....	21
<b>Slika 2-22.</b> Crown-O-Matic .....	22
<b>Slika 2-23.</b> Elektronički uređaj za sprečavanje sudara pomičnog i nepomičnog koloturja .....	23
<b>Slika 3-1.</b> Moderna bušaća soba s digitalnim prikazom parametara bušenja .....	24

<b>Slika 3-2.</b> Analogni kontrolni i pripadajuća regulacijska oprema .....	25
<b>Slika 3-3.</b> Shema instaliranih indikatora na tipičnoj konzoli .....	26
<b>Slika 4-1.</b> Uporaba radarskog mjernog pretvornika razine za određivanje visine vode .....	28
<b>Slika 4-2.</b> Senzori za mjerenje razine fluida .....	28
<b>Slika 4-3.</b> Softver za praćenje stanja nogu samopodizujuće platforme .....	29
<b>Slika 5-1.</b> Shema integriranog sustava upravljanja bušenjem .....	30
<b>Slika 5-2.</b> Primjer softverskog sučelja kompanija (a) Cameron i (b) Nabors .....	31
<b>Slika 6-1.</b> Položaj mjernih instrumenata na kopnenom bušačem postrojenju .....	32

## **POPIS KORIŠTENIH OZNAKA**

EMS – engl. *Electronic multi-shot system*

ERT – Električni torziometar

GPS – engl. *Global Positioning System*

LCD – engl. *Liquid Crystal Display*

LVDT – engl. *Linear Variable Differential Transformer*

MWD – engl. *Measurement While Drilling*

PVT – engl. *Pit Volume Totalizer*

## 1. UVOD

Glavni zadatak koji se tijekom izrade bušotine postavlja je napraviti bušotinu što je moguće ekonomičnije u što kraćem vremenu i izvesti to što sigurnije. Za postizanje takvog cilja potrebna je konstantna kontrola parametara bušenja. Pod njima se podrazumijeva brzina rotacije dlijeta, opterećenje na dlijeto i dobava isplake. Promjenom tih parametara utječe se na brzinu bušenja, nagib bušotine, kvalitetu isplačnog obloga, ali i na brzinu trošenja dlijeta i ostale opreme.

Kako bi se parametri uopće mogli mijenjati mora ih se najprije izmjeriti. U tu se svrhu koriste različiti mjerni instrumenti koji su obrađeni u ovom završnom radu. Mjerni instrument je uređaj koji mjeri promjenu fizikalne veličine te tu izmjerenu vrijednost indicira na indikatoru. Mjerni pretvornik je dio mjernog instrumenta koji pomoću senzora mjeri određenu fizikalnu veličinu (tlak, temperatura, razina, sila), vrednuje ju i pretvara u signal. S obzirom na vrstu signala koji stvara, mjerni pretvornici mogu biti pneumatski, hidraulički ili električni. U slučaju da indikator mjerene veličine nije na istom mjestu kao i pretvornik (na primjer indikatori na bušaćoj konzoli), signal je moguće prenositi visokotlačnim crijevom, električnim kabelom ili, u novije doba, bežičnim signalom.



## **2. MJERNI INSTRUMENTI NA BUŠAĆIM POSTROJENJIMA**

Najčešća mjerenja koja se obavljaju na bušačem postrojenju su težina bušačkog niza na kuki, torzija rotirajućeg bušačkog niza te moment potreban za dotezanje cijevi u bušačem nizu, broj okretaja vrtaćeg stola, broj hodova isplačne sisaljke, protok i volumen isplake u isplačnom sustavu, tlak isplačnih pumpi te još mnoga druga (Rachain, 2010). Sva navedena mjerenja te pripadajući mjerni instrumenti će biti opisani u narednim poglavljima.

### **2.1. Drilometar**

Jedan od najbitnijih uređaja za kontrolu procesa bušenja na postrojenju je drilometar (Slika 2-1.). Američka kompanija „Martin-Decker“ je jedna od najrenomiranijih kompanija koja se bavi izradom mjernih instrumenata i kao takva postala sinonim za mjerne instrumente na bušačem postrojenju, iako u svijetu postoje brojne kompanije koje proizvode instrumente u istu svrhu. Drilometar omogućava na jednom mjestu istodobno praćenje više parametara bušenja, koji se dobivaju pomoću nekoliko mjernih instrumenata: indikatora težine, manometra, torziometra, tahometra i mjerača broja hodova klipa sisaljke. Može biti izveden u manjem kućištu, koje je ovješeno na nosač ili u većem kućištu koje se učvršćuje na postolje. U stražnjem dijelu kućišta nalazi se prostor za prijenosne kanale (razvodne vodove). Indikatori težine, torzije i tlaka isplake su spojeni hidrauličnim vodovima (crijevima), dok su indikatori broja okretaja vrtaćeg stola i broja hodova klipa sisaljke spojeni električnim vodovima (kablovima), zbog načina rada njihovih mjernih uređaja koji će kasnije biti opisani.



**Slika 2-1.** Drilometar (Forum Energy Technologies, 2020 d)

## **2.2. Indikator težine**

Indikator težine (Slika 2-2.) je mjerni uređaj koji pokazuje promjenu težine bušačkog niza. Sadrži dvije skale, vanjsku, koja pokazuje opterećenje na dlijeto, i unutarnju, koja pokazuje opterećenje na kuki. Svaka od tih skala ima svoju kazaljku, koja je spojena na Bourdonovu cijev. Bourdonove cijevi su spojene preko razdjelnika indikatora težine visokotlačnim crijevom na pretvornik (transformator) tlaka. Mjerno područje i preciznost skale ovisi o broju radnih struna u pomičnom koloturnom bloku. Naime, svaka kolotura u pomičnom koloturju preko sebe ima prebačeno uže, koje ide od jedne nepomične koloture do druge, čime se dobivaju dvije radne strune po koloturi. Broj radnih struna određuje za koliko će se smanjiti ukupno opterećenje bušačkog niza na bušaće uže, što se mora kompenzirati izborom odgovarajuće skale za taj broj radnih struna. Skala za opterećenje na dlijeto je specifična po tome što pokazuje i negativne vrijednosti opterećenja. Naime, prilikom izvlačenja alata iz bušotine, može doći do zaglave alata u bušotini tj. do natega alata, što se na skali pokazuje

kao negativna vrijednost opterećenja. Preciznost skale može se podesiti za pokazivanje u tisućama kilograma (jedna tona).

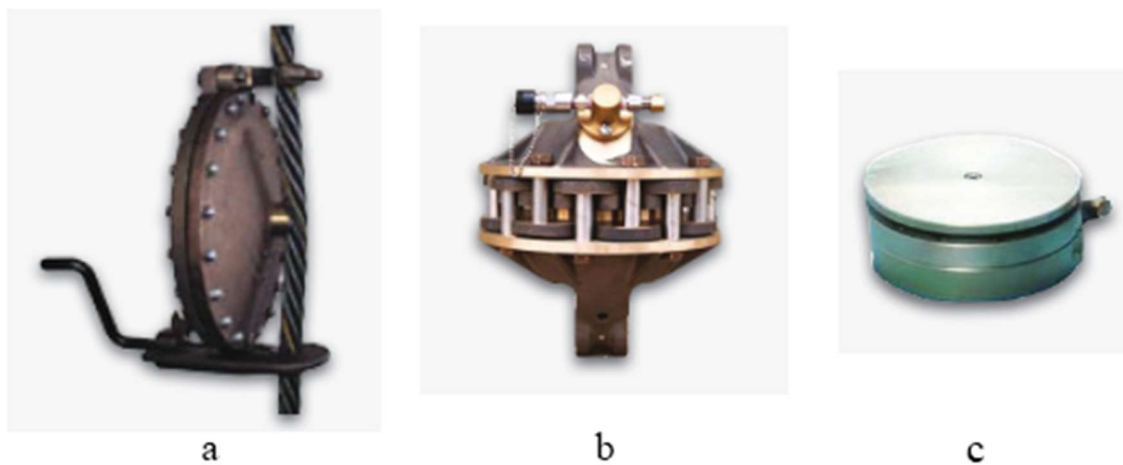


**Slika 2-2.** Indikator težine (AOI Instrumentation, 2003)

Sam pretvornik (transformator) tlaka može biti izveden na dva načina: u obliku dviju metalnih okruglih ploča između kojih se nalazi membrana, koji se postavlja na mrtvi kraj bušačkog užeta pomoću dviju kuka (ušica) te u obliku transformatora s membranom koji se instalira na sidro mrtvog kraja užeta, a s njegovom konzolom se spaja pomoću zgloba. U prvom slučaju, kada se bušaće užo optereti, ono se nastoji izravnati čime stvara opterećenje, koje se prenosi na membranu, koja onda to opterećenje prenosi preko visokotlačnog crijeva do Bourdonove cijevi unutar indikatora težine. Kod ovakve izvedbe potrebno je paziti da centar transformatora tlaka bude postavljen na istoj visini kao i centar indikatora težine, jer se u protivnom, zbog razlike visina, dobije manji ili veći rezultat od točnog. Ako to ipak nije moguće izvesti, postoje tablice za korigiranje rezultata zbog razlike visina, koje u suštini kažu da je za svakih 66 cm visinske razlike očitanoj težini potrebno dodati (ako je transformator tlaka niže od indikatora težine) ili oduzeti (ako je transformator tlaka iznad indikatora težine) ekvivalent težine iz tablice (Tarandek, 1972).

Drugi spomenuti način izvedbe transformatora tlaka je njegovo instaliranje na sidro mrtvog kraja užeta, pri čemu postoje dva tipa. Prvi tip je transformator s membranom, koji radi na principu razvlačenja. Težina bušačkog alata na kuki prenosi se na užu, koje je provučeno kroz sidro i pritom pokušava zadignuti koloturu sidra. Kolotura sidra je zajedno s transformatorom tlaka spojena s nepomičnim dijelom, koji drži sidro na mjestu. Time se transformator tlaka razvlači i djeluje na membranu koja se u njemu nalazi, a prilikom rastezanja tlači hidrauličko ulje u visokotlačnom crijevu, čime se tlak prenosi na indikator težine (Tarandek, 1972).

Drugi tip transformatora tlaka na sidru radi na principu kompresije. U ovom je slučaju sidro instalirano na način da nateg u užetu također pokušava zadignuti sidro, ali je, u ovom slučaju, transformator tlaka spojen s gornjim dijelom sidra. Time sidro tlači membranu unutar transformatora tlaka, čime se ostvaruje tlak na hidrauličko ulje unutar crijeva. Slika 2-3 prikazuje izvedbu transformatora tlaka na mrtvom kraju užeta, (a), transformatora tlaka na principu razvlačenja, (b) na sidru i na principu kompresije (c) na sidru.



**Slika 2-3.** Različite izvedbe transformatora tlaka (Wagner Instrumentation, 2018)

Na slici 2-4 je prikazano sidro s transformatorom tlaka na razvlačenje (a) i sidro s kompresijskim transformatorom tlaka (b).



**Slika 2-4.** Sidra s transformatorom tlaka (Lake Petro, 2020)

Električna verzija indikatora težine (Slika 2-5) zamjenjuje klasične hidraulične indikatore težine i umjesto njih ima minijaturno računalo unutar zaštitnog kućišta od nehrđajućeg čelika, koje ima ulaze za visokotlačna crijeva. Tlak unutar tih crijeva se pretvara u električni signal koji se prikazuje na zaslonu računala u digitalnom ili u analognom obliku zbog bolje preglednosti. Prednost ovakvog sustava nad klasičnim je ta što je mjerenje točnije, ne ovisi o trenju kazaljke ili vibracijama, ima memoriju u koju se spremaju zapisi, omogućuje postavljanje graničnih vrijednosti iznad kojih će se aktivirati alarm i još mnogo toga.



**Slika 2-5.** Električni indikator težine (Matherne Instrumentation, 2020 f)

### 2.3. Torziometar

Torziometar (Slika 2-6.) mjeri torziona naprezanja u bušaćim šipkama. Praćenje torzije je u tehnološkom smislu vrlo bitno, jer se njenom promjenom mogu prepoznati promjene stanja unutar bušotine, neka od kojih su blokiranje žrvnjeva dlijeta, smanjenje promjera dlijeta, promjena bušene formacije, odvrtnanje ili lom niza bušaćih alatki i drugo (Tarandek, 1972). Sam torziometar se sastoji od postolja na kome je pomoću ručice ugrađen kotač. Kotač se postavlja ispod pogonskog lanca na vrtačem stolu. Tijekom bušenja snaga za okretanje bušaćih šipki prenosi se preko lanca na vrtaći stol pri čemu se, zbog naprezanja, lanac nastoji istegnuti. Time lanac stvara pritisak na kotač torziometra koji taj pritisak prenosi na hidraulički klip povezan hidrauličkom vodom (crijevom) s Bourdonovom cijevi unutar manometra.



**Slika 2-6.** Torziometar (M/D Totco, 2017 c)

Torziometar također može biti izveden u električnoj verziji za električne vrtače stolove (Slika 2-7.), koji, umjesto mehaničkog sustava zupčanika i lanaca, za rotaciju koriste elektromotor. Električni torziometar radi na taj način da se mjerni pretvornik torziometra postavi oko žice koja vodi struju do elektromotora te on pretvara jakost struje u žici u moment torzije koju onda prikazuje na analognom registratoru ili digitalnom zaslonu (Matherne Instrumentation, 2018).



**Slika 2-7.** Električni torziometar (ERT) (Matherne Instrumentation, 2018 c)

## 2.4. Tahometar

Tahometar služi za mjerenje broja okretaja vrtaćeg stola, izraženo u okretajima po minuti ili metrima u sekundi. Postoje tri načina izvedbe tahometra: mehanički, magnetski i električni (Tarandek, 1972). Mehanički tahometri nisu prikladni za bušača postrojenja jer su glomazni i osjetljivi na vibracije i razne udare. Magnetski tahometri rade na način da se fleksibilna osovina tahometra spoji s osovinom čije se okretaje želi izmjeriti. Okretanjem glavne osovine okreće se i osovina tahometra čime magnet, koji se nalazi unutar tahometra, rotira te stvara magnetsko polje. Silnice tog magnetskog polja svladavaju otpor spiralne opruge te disk s kazaljkom rotira i pokazuje okretaje. Najčešće je u upotrebi električni tahometar. Električni generator priključen je zupčastim remenom ili direktnom vezom na osovinu čiji se okretaji mjere. Rotacijom osovine u električnom generatoru dolazi do stvaranja napona, koji je proporcionalan broju okretaja osovine. Napon se u obliku signala izmjenične struje provodi kroz električni kabel do ispravljača koji taj signal pretvara u istosmjernu struju. Jakost te struje pomiče kazaljku na registratoru (dijelu za bilježenje) broja okretaja. Prednost električnog tahometra je u tome kad se jednom instalira, odnosno podese, ne mora se ni održavati niti se kablovi moraju mijenjati, osim u slučaju fizičkog oštećenja (Forum Energy

Technologies, 2020). Slika 2-8 prikazuje električni generator tahometra (a) te registrator broja okretaja (b).

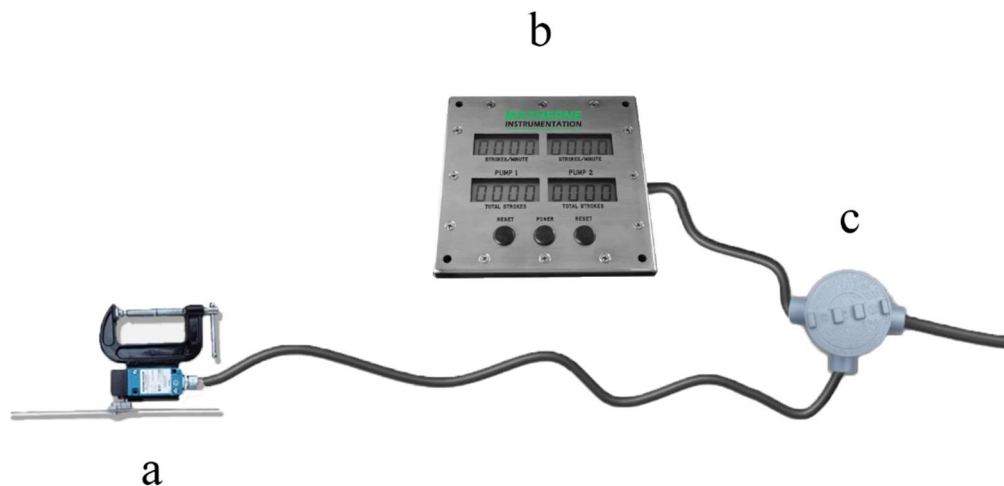


**Slika 2-8.** Dijelovi tahometra (Forum Energy Technologies, 2020 b)

## 2.5. Indikator brzine i kapaciteta isplačne sisaljke

Indikator brzine i kapaciteta isplačne sisaljke radi na istom principu kao i prethodno opisani električni tahometri. Generator se spoji na rotirajuću osovinu isplačne sisaljke, pri čemu se napon proporcionalan rotaciji pretvara u broj hodova klipa u minuti i protok isplake u minuti. Na integriranoj skali vanjska skala pokazuje broj hodova klipa u minuti, dok unutrašnje skale, ovisno o ugrađenim cilindar košuljicama odnosno klipovima, pokazuju dobavu. Novija varijanta indikatora brzine i kapaciteta isplačne sisaljke je električne izvedbe, koja se temelji na upotrebi graničnih prekidača s metalnim štapićem ili magnetskih senzora, koji se postavljaju na kućište klipnjače. Kada se klip sisaljke pomakne i prođe ispod štapića ili magnetskog senzora, prekidač registrira pomak klipa i povećava vrijednost na brojilu. U tom slučaju, umjesto indikatora s kazaljkom, nalazi se digitalni LCD (eng. *Liquid Crystal Display*) ekran koji automatski ispisuje broj hodova svakog klipa u minuti i ukupan broj hodova od početka rada (ili posljednjeg poništavanja brojača). Na slici 2-9 je prikazan granični prekidač (a) koji je preko razdjelnika (c) spojen s monitorom s digitalnim ispisom broja hodova (b).



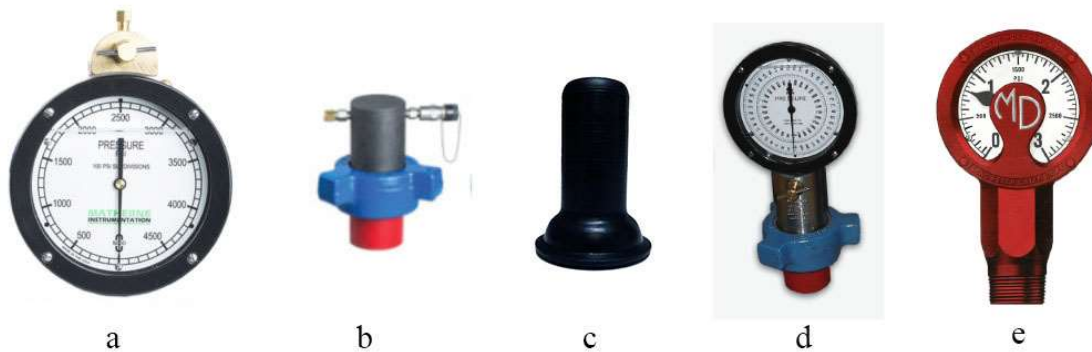


**Slika 2-9.** Shema sustava mjerenja broja hodova isplačne sisaljke (Matherne Instrumentation, 2017 b)

## 2.6. Manometar

Manometar je uređaj za mjerenje tlaka. Na bušaćim postrojenjima koriste se deformacijski manometri, točnije manometri s Bourdonovom cijevi te membranski manometri, jer su takvi manometri jednostavne izvedbe i lako se primjenjuju. Za potrebe mjerenja tlaka isplačne pumpe najčešće se koristi manometar s Bourdonovom cijevi, ali uz dodatak zaštitnog gumenog membranskog čepa. Taj membranski čep se koristi kako bi se Bourdonova cijev unutar samog manometra zaštitila od štetnog djelovanja krhotina unutar isplačnog fluida. Umjesto čepa može se koristiti i klip. U prostor manometra gdje se nalazi pokazivač (kazaljka) se radi ublažavanja utjecaja vibracija može staviti fluid, dok se izvan manometra na tlačni ulaz stavlja prigušivač pulzacija. Tlak se mjeri na stojci i na tlačnom vodu, dok mjerni uređaj (indikator tlaka) može biti unutar drilometra ili izravno na mjernom mjestu. Manometri na stojci i na tlačnom vodu mogu biti izrađeni od jednog komada, s već ugrađenim membranskim čepom. Oni su namijenjeni brzom i jednostavnom očitavanju tlaka s većih udaljenosti, kako bi se utvrdilo je li tlak prevelik ili premali, bez potrebe da se utvrdi precizna vrijednost tlaka. To se postiže tako da su na mjernom uređaju (indikatoru tlaka) istaknute kazaljka, a na skali, radi lakšeg uočavanja, samo cijele vrijednosti koje označavaju tlak u odgovarajućim jedinicama ( $10^3$  psi) (Martin-Decker, 1959). Slika 2-10 prikazuje (a) manometar, (b) „Hammer Union“ nastavak unutar kojeg je membranski čep, (c) gumeni

membranski čep, (d) sastavljeni manometar s membranskim čepom i (e) manometar s tvornički ugrađenim membranskim čepom (e).



**Slika 2-10.** Dijelovi manometra koji se koristi za mjerenje tlaka na stojci i na tlačnom vodu (M/D Totco, 2017 c)

## 2.7. Dinamometar

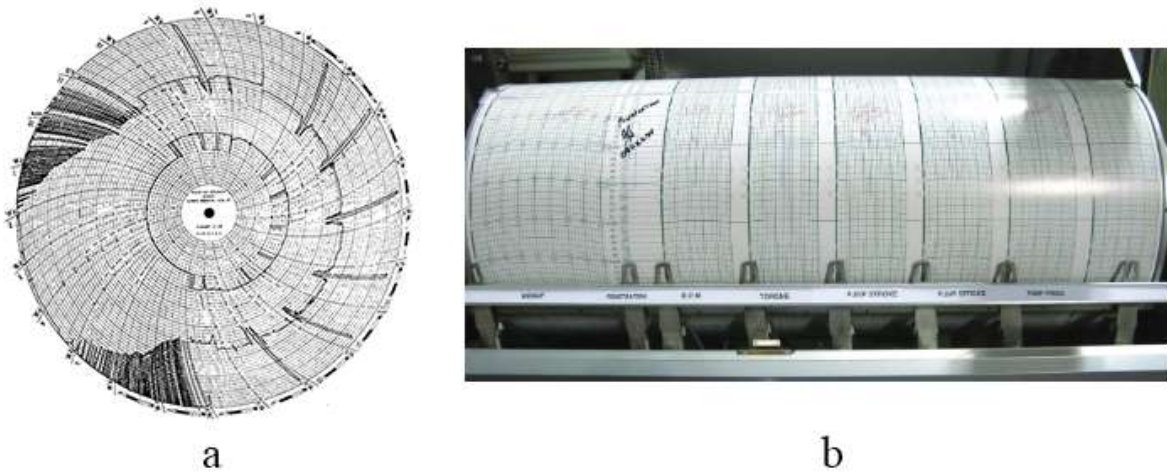
Dinamometar (Slika 2-11.) služi za mjerenje zakretnog momenta pri navrtanju bušaćih šipki. Praćenje momenta je bitno, jer zakretni moment ovisi o dužini kraka kliješta koja se koriste; što je krak kliješta duži, veći je zakretni moment. Dinamometar se sastoji od hidrauličkog transformatora, manometra i fleksibilnog crijeva. Hidraulički transformator se spaja na kliješta i na užu pomoćnog vitla. Okretanjem kliješta klip unutar hidrauličkog transformatora tlači fluid unutar crijeva koje je spojeno s Bourdonovom cijevi unutar manometra, pri čemu zbog narinutog tlaka dolazi do pomicanja slobodnog dijela Bourdonove cijevi, a preko sustava zupčanika i pomicanja kazaljke koja pokazuje kiloponde, libre ili njutne, ovisno proizvođaču uređaja te namijenjenom tržištu. Zakreni moment se dobiva množenjem vrijednosti tlaka s dužinom kraka kliješta. Noviji modeli imaju dodatnu kazaljku za označavanje maksimalnog dopuštenog momenta (Forum Energy Technologies, 2020).



**Slika 2-11.** Dinamometar (Forum Energy Technologies, 2020 c)

## 2.8. Drilogram

Drilogram je zapis koji služi za bilježenje bušaćih parametara. Mehanički drilogrami mogu bilježiti podatke o bušenju na papir u obliku kružnog dijagrama ili u obliku dugačke trake. Na kružni dijagram se bilježe podaci o opterećenju na kuki, zakretnom momentu na bušaći alat i radnom tlaku isplachnih sisaljki. Kružni dijagram je radijalnim linijama podijeljen na 24 sata, a satovi na 4 dijela od 15 minuta. Skala opterećenja na kuki počinje na obodu dijagrama i kreće se prema središtu, dok su skale zakretnog momenta i tlaka sisaljki obrnute. Linijski dijagrami, osim prethodno navedenih podataka, mogu prikazati dodatne parametre po izboru, npr. dubinu bušenja, broj okretaja vrtaćeg stola, broj hodova klipa isplachne sisaljke u minuti, protok isplachnog fluida na izlazu iz bušotine i drugo. Prethodno opisani kružni dijagram (a) i linijski dijagram (b) su predočeni na slici 2-12.



**Slika 2-12.** (a) Kružni drilogram, (b) Linijski drilogram (M/D Totco, 2017 c)

Drilogrami su vrlo važan zapis, jer promjenama težine alata na kuki, torzije bušačeg niza ili tlaka isplake, u jednostavnom obliku daju pregled bušenja kroz cijeli dan, pri čemu se u svakom trenutku vidi trenutno stanje odgovarajućih pokazatelja i stanja u bušotini i može se po potrebi pravovremeno reagirati. Neke od pojava koje se mogu uočiti promjenom težine alata na kuki su trenutak kada dlijeto dolazi u kontakt s dnom bušotine te dodavanje bušaće šipke što može dati informacije o brzini bušenja. Promjenom torzije se indicira zapinjanje alata u bušotini ili pojava dotoka. Promjena tlaka ukazuje na hermetičnost sustava (propuštanje) niza alata, a ukoliko se radi o dlijetu indicira začepljenje ili ispadanje mlaznice. (M/D Totco, 2017).

Električni drilogrami (Slika 2-13.) predstavljaju najmoderniju implementaciju sustava praćenja mjerenja bušenja, jer oni zapravo prikazuju sva mjerenja na bušotini na jednom mjestu. Sva obavljena mjerenja spremaju se u memoriju te je moguće vidjeti sve relevantne podatke danima unatrag u bilo kojem trenutku. Takav drilogram se također može spojiti na internetsku mrežu, čime se svi podaci o bušenju šalju na servere kojima se može pristupiti bilo gdje s bilo kojeg uređaja koje ima pristup internetu (mobitel, tablet, laptop, računalo...).



Slika 2-13. Električni drilogram (Weatherford, 2015 a)

## 2.9. Mjerač protoka

Mjerač protoka na bušačem postrojenju (Slika 2-14.) je uređaj koji prati protok isplačnog fluida. Postavlja se na izljevnu cijev jer se na tom mjestu može najranije prepoznati postoje li gubici isplake u bušotini ili dotok fluida u kanal bušotine. Uređaj se instalira na način da se na vrhu izljevne cijevi izreže rupa i na tu rupu se zavari tijelo mjerača protoka tako da lopatica (leptirasti zaklopac) bude unutar cijevi. Sam uređaj radi na način da povratni tok isplačnog fluida iz bušotine prolaskom kroz izljevnu cijev udara u lopaticu mjerača protoka, koja se odmiče od početne pozicije, proporcionalno toku fluida. Svojom odmakom lopatica pokreće potenciometar koji stvara signal istosmjerne struje od 0 do 10 V. Taj signal se pretvara u postotno smanjenje ili povećanje toka fluida od baždarenog punog protoka (100%), koji se prikazuje na kontrolnom panelu stanja isplake na postrojenju, tj. panelu za prikaz protoka isplake, izgubljenog/ dobivenog volumena isplake te ukupnog volumena isplake u sustavu (engl. *Pit Volume Totalizer, PVT*). Informacije o protoku na izljevnoj cijevi se mogu zapisivati na 24-satnom drilogramu, a kada podešena promjena premaši prethodno zadanu visoku ili nisku razinu aktiviraju se zvučni i svjetlosni alarmi. Kod izbora mjerača protoka treba pripaziti na promjer cijevi kako bi se odabralo lopaticu odgovarajuće veličine.



**Slika 2-14.** Mjerač protoka za mjerenje protoka povratnog toka isplake (RCPAT, 2020)

## **2.10. Mjerači gustoće i razine isplake**

Mjerač gustoće isplake dostupan je u mnogo verzija. Prvotne verzije su se sastojale od kugle u željeznoj rešetci, čime se mjerio uzgon i preračunavao u gustoću. Od novijih verzija jedan od tipova, koji se sve više počinje koristiti, je Coriolisovo mjerilo protoka (Slika 2-15.). Ovaj mjerni pretvornik radi na principu Coriolisove sile, koja nastaje protokom fluida kroz oscilirajuće cijevi te daje protok isplačnog fluida, ali i gustoću fluida, jer je ona funkcija frekvencije pri kojoj cijevi osciliraju. Ovakav tip mjerila se postavlja na izlazu iz isplačnih sisaljki te na izljevnoj cijevi iz bušotine umjesto prethodno opisanog mjerača protoka.



**Slika 2-15.** Coriolisov mjerač protoka (Jacobs, 2015)

Koriste se još i senzori na principu diferencijalnog tlaka. Oni imaju dvije membrane razmaknute za fiksnu udaljenost u zaštitnom kućištu koje mjere tlak, uronjene u isplačni fluid. Razlika tlakova između tih dviju membrana je funkcija gustoće fluida, koja se temeljem toga izračunava (Weatherford, 2015). Postavljaju se na ista mjesta kao i Coriolisov mjerač protoka, s tim da se mogu postaviti i izravno u isplačni bazen. Treći, često korišten način mjerenja gustoće fluida, je upotrebom ultrazvučnog mjerača protoka. On radi na način da predajnik emitira ultrazvučni val kroz fluid do prijelnika. Prolaskom kroz fluid mijenja se brzina ultrazvučnog vala zbog akustičke impedancije fluida te se iz formule za akustičku impedanciju uz poznatu brzinu vala može dobiti gustoća fluida. Senzor za mjerenje gustoće fluida na bazi dviju membrana (a) i ultrazvučni mjerač gustoće fluida (b) prikazani su na slici 2-16.

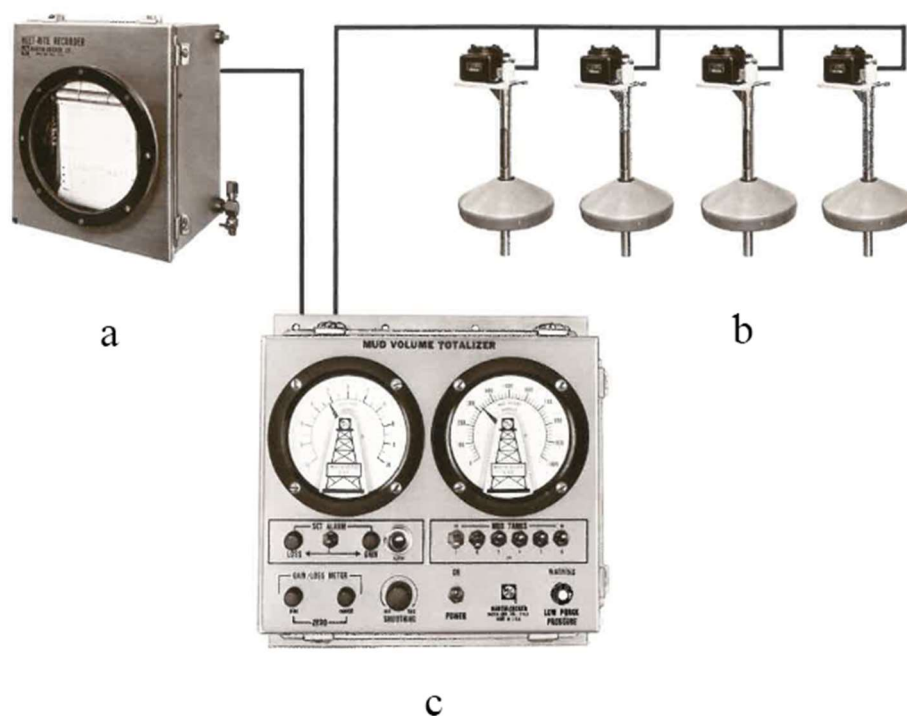


**Slika 2-16.** Senzori za mjerenje gustoće fluida (Rhosonics, 2020)

Kako bi se znala točna količina isplake u bazenima te točan volumen izgubljenog ili dobivenog fluida bitno je pratiti i razinu isplake u isplačnim bazenima. To se postiže postavljanjem mjerača razine u svaki od isplačnih bazena. Najčešće se koristi mehanički mjerni pretvornik razine tipa plovak. Ovaj mjerni pretvornik se sastoji od metalne cijevi koja se proteže od vrha bazena do dna, kućišta sa potenciometrom, koji se nalazi na vrhu cijevi i prstenastog plovka (prstenasti disk). Kako se razina isplake u bazenu mijenja, tako se mijenja i pozicija plovka koji pluta na površini isplake. Unutar cijevi se nalazi senzor pozicije koji prati plovak pomoću magneta. Sam plovak ima ulogu kliznika potenciometra, koji, pomicanjem plovka, daje električni signal koji se putem električnih vodova prenosi do kontrolnog panela za isplačna mjerenja. Kontrolni panel, ovisno o modelu, podržava od šest, pa naviše mjerača razine isplačnih bazena, zatim mjerač protoka, nivo regulator s postavljanim gornjim i donjim vrijednostima razine iznad kojih se aktivira alarm te ispis izmjerenih vrijednosti na drilogram (Martin-Decker 1980). Noviji kontrolni paneli imaju LCD ekran s informacijama i vizualni prikaz razine u svakom bazenu odvojeno. Na slici 2-



17 je prikazana shema jednog sustava mjerenja razine isplake, koji se sastoji od (a) drilograma, (b) mjeraca razine i (c) kontrolnog panela za isplačna mjerenja.

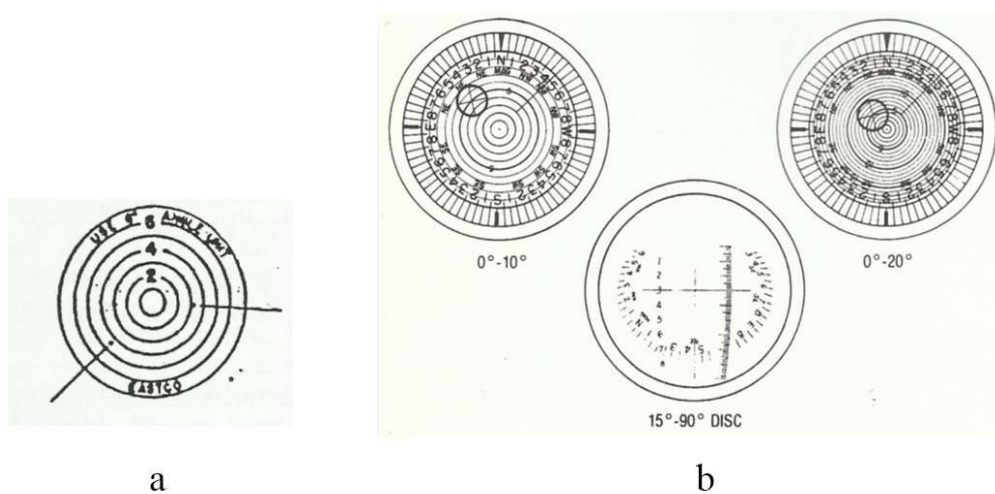


Slika 2-17. Shema sustava mjerenja razine isplake u isplačnim bazenima (TOTCO, 1980)

## 2.11. Inklinometar

Inklinometar je uređaj za mjerenje kuta otklona kanala bušotine. Najstariji tip inklinometra je mehanički inklinometar. On se sastoji od kućišta, uređaja za mjerenje kuta otklona i satnog mehanizma. Unutar instrumenta se nalazi šiljasti visak i ispod njega dijagram papir. Kada se inklinometar spusti na željenu dubinu unutar bušotine sačeka se kratko vrijeme da satni mehanizam aktivira postolje u koje je umetnut kružni dijagram. Pomicanjem na gore udara u šiljak viska i na papiru ostaje otisak. Za jedno spuštanje uređaja rade se dva mjerenja tako da se nakon prvog otiska na papiru sjedište s dijagramom zarotira za  $180^\circ$  kako bi se drugim otiskom potvrdio kut otklona. Kada se inklinometar izvadi na površinu na papiru se vide dvije rupe na kružnom papiru koje pokazuju kut otklona kanala bušotine (Tarandek, 1972).

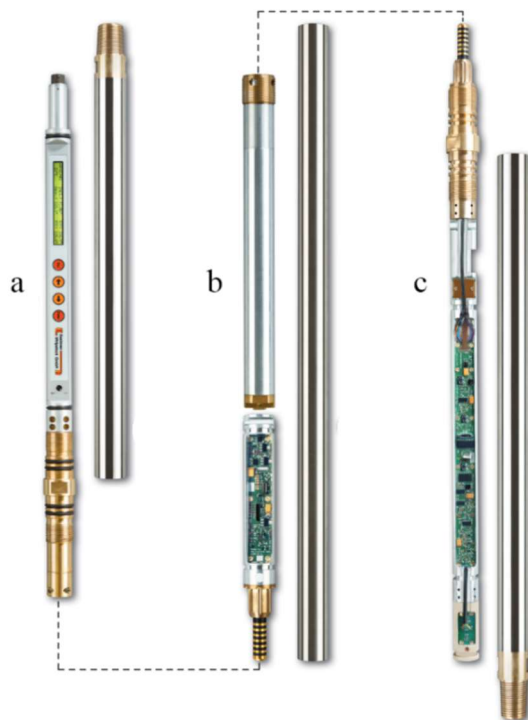
Drugi tip inklinometra je foto-inklinometar koji osim kuta otklona, pokazuje i azimut. On može biti izveden u tzv. engl. „*single shot*“ ili „*multiple shot*“ verziji, tj. izveden za jedno mjerenje jednim spuštanjem ili više mjerenja jednim spuštanjem. Foto-inklinometar radi na način da se na površini namjesti satni mehanizam (kao i kod mehaničkog inklinometra), inklinometar se spusti na željenu dubinu i pričekava da satni mehanizam aktivira kameru, koja na filmu zabilježi kut otklona i azimut. Očitavanje se izvodi na površini po vađenju foto-inklinometra. Dijagram papir (a) mehaničkog inklinometra i (b) film foto-inklinometra su prikazani na slici 2-18.



**Slika 2-18.** Dijagram papir i film inklinometra (Cirković, 2012)

U novije doba se koristi inklinometar s elektroničkim tzv. engl. „*multi-shot*“ sustavom (engl. *Electronic Multi-shot System*, EMS). Kod takvog inklinometra na površini se podesi satni mehanizam do prvog mjerenja i tajmer za uzastopna mjerenja. Inklinometar se spusti do željene dubine i pričekava se da se obavi prvo mjerenje, nakon kojeg se nastavi spuštati inklinometar za određeni interval dubine za naredna mjerenja. Prednost ovog sustava je što je, pomoću inklinometra, jednim spuštanjem moguće dobiti informacije o dubini mjerenja, azimutu, kutu otklona i temperaturi duž cijele bušotine. Jednim je spuštanjem na ovakav način moguće napraviti nekoliko tisuća mjerenja, pri čemu je jedino ograničenje veličina memorije i baterija uređaja. Dobivene informacije se mogu očitati na LCD prikazu inklinometra, po njegovom vađenju iz bušotine ili se na površinu mogu dobiti odmah pomoću posebno zaštićenog kabla i automatski unijeti u računalne programe, čime se dobiva

prikaz 3D modela cijele bušotine. Elektronički inklinometar se sastoji od (Micon Drilling, 2016): (a) jedinice za prikaz, (b) jedinice s baterijom i (c) jedinice sa sensorima, a prikazan je na slici 2-19.



**Slika 2-19.** Dijelovi elektroničkog inklinometra (Micon Drilling, 2016)

## 2.12. Indikator pozicije podesivih sapnica

Indikator pozicije podesivih sapnica se koristi za indikaciju otvorenosti pojedine sapnice. Indikator može biti analogni sa skalom ili digitalni s očitanjima udjela od 0 do 100%, kod kojeg 100% znači da je sapnica potpuno otvorena, a 0% da je sapnica potpuno zatvorena. Kod električnog tipa uređaja koristi se senzor pomaka (engl. *Linear-Variable-Differential-Transformer*, LVDT) koji daje električni signal, koji se pretvara u postotnu vrijednost i prikazuje na LCD ekranu. Na slici 2-20 je prikazan (a) digitalni indikator podesive sapnice i (b) senzor pomaka podesive sapnice.



**Slika 2-20.** Indikator i senzor pomaka podesive sapnice (Matherne Instrumentation, 2020 e)

### 2.13. Mjerač rada bušačkog užeta

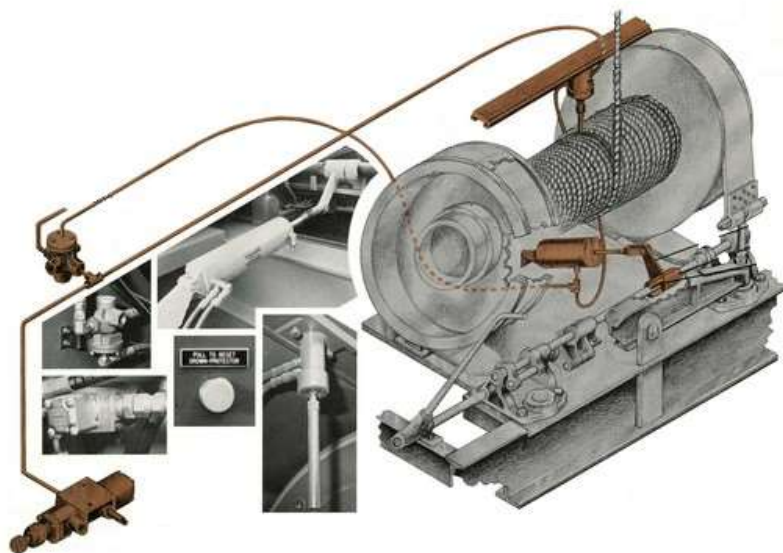
Mjerač rada bušačkog užeta (Slika 2-21.) služi za kontrolu istrošenosti bušačkog užeta, odnosno upozorava na potrebu povlačenja ili zamjenu bušačkog užeta. Uređaj u isto vrijeme bilježi put (duljinu) užeta pomoći enkodera i težinu na užetu pomoću ranije opisanog mjernog pretvornika (transformatora) tlaka. Uređaj ta dva podatka integrira u umnožak obavljenog rada užeta, izražen u tonama, i kilometara ili milja i prikazuje na ekranu. Kod nekih uređaja postoji mogućnost postavljanja granične vrijednosti nakon koje uređaj daje vizualno upozorenje da je premašena postavljena granica.



**Slika 2-21.** Mjerač rada bušačkog užeta (Matherne Instrumentation, 2017 a)

## 2.14. Uređaj za sprečavanje udara pomičnog koloturja u nepomično koloturje

Uređaj za sprječavanje udara pomičnog koloturja u nepomično koloturje služi za, kako mu samo ime kaže, sprječavanje kontakta nepomičnog i pomičnog koloturja prilikom manevara kako se ne bi oštetila oprema ili ozlijedilo osoblje. Prva verzija ovog uređaja se zove „*Crown-O-Matic*“ (Slika 2-22.) i sastoji se od pneumatskog ventila koji se postavlja na bubanj dizalice i dodatnog komada užeta na bubnju. Kada se taj komad užeta namota na bubanj dizalice on otvori ventil koji pokreće automatski mehanizam kočenja bubnja dizalice.



**Slika 2-22.** „Crown-O-Matic“ (USA Oilfield Supply, 2008)

Novije, elektroničke verzije ovog uređaja (Slika 2-23.) konstantno prate poziciju i brzinu pomičnog koloturja. Ako se koloturje kreće prebrzo, uređaj uspori koloturje smanjivanjem signala gasa papučice, dok u slučaju prelaska prethodno zadane visine, automatski aktivira kočnicu bubnja dizalice. Uređaj koristi enkoder na bubnju dizalice kako bi pretvorio kutnu brzinu bubnja u pređeni put užeta i dobio visinu pomičnog koloturja, a kao provjeru koristi senzor pokreta u tornju, koji provjerava visinu koloturja koje ga prođe, te tu visinu vraća uređaju.



**Slika 2-23.** Elektronički uređaj za sprječavanje sudara pomičnog i nepomičnog koloturja (Matherne Instrumentation, 2019 d)

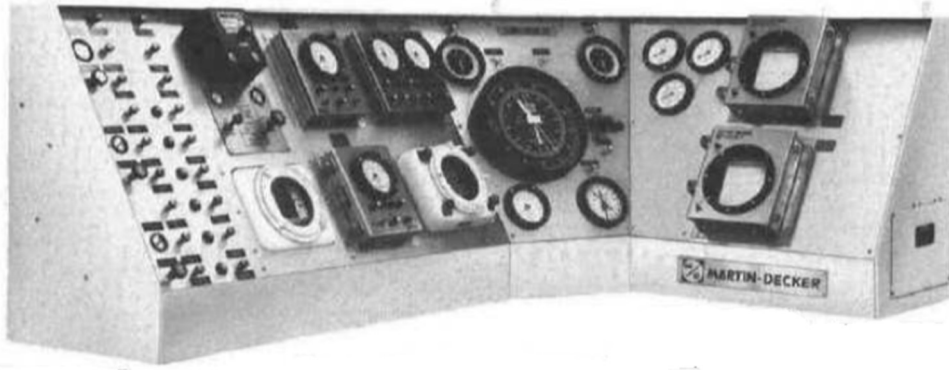
### 3. BUŠAĆA SOBA

Kao što se može vidjeti iz prethodno opisanih mjernih instrumenata, svaki tradicionalni (analogni) instrument ima svoju električnu verziju koja ima mogućnost prijenosa podataka do udaljenih uređaja. Električni mjerni instrumenti su skuplji, ali mnogo praktičniji u radu s podacima te u mnogim slučajevima točniji i izdržljiviji, ponajviše zbog manje pokretnih elemenata. Njihova glavna upotreba je kako bi se izmjereni podaci objedinili na jednom mjestu te kako bi se omogućio jednostavan pregled i pristup prethodno dobivenim podacima. Zbog toga na bušaćim postrojenjima postoji tzv. „bušaća soba“ (Slika 3-1.), tj. prostor na podištu tornja u kojem radi vođa smjene i/ili pomoćnik vođe smjene. Vođa smjene upravlja radom pogonskih motora, dizalice, isplačnih sisaljki u procesu bušenja i manevriranja alatki, raspoređuje ostalo osoblje i koordinira njihovim radom (Matanović, 2007).



**Slika 3-1.** Moderna bušaća soba s digitalnim prikazom parametara bušenja (Schlumberger, 2020)

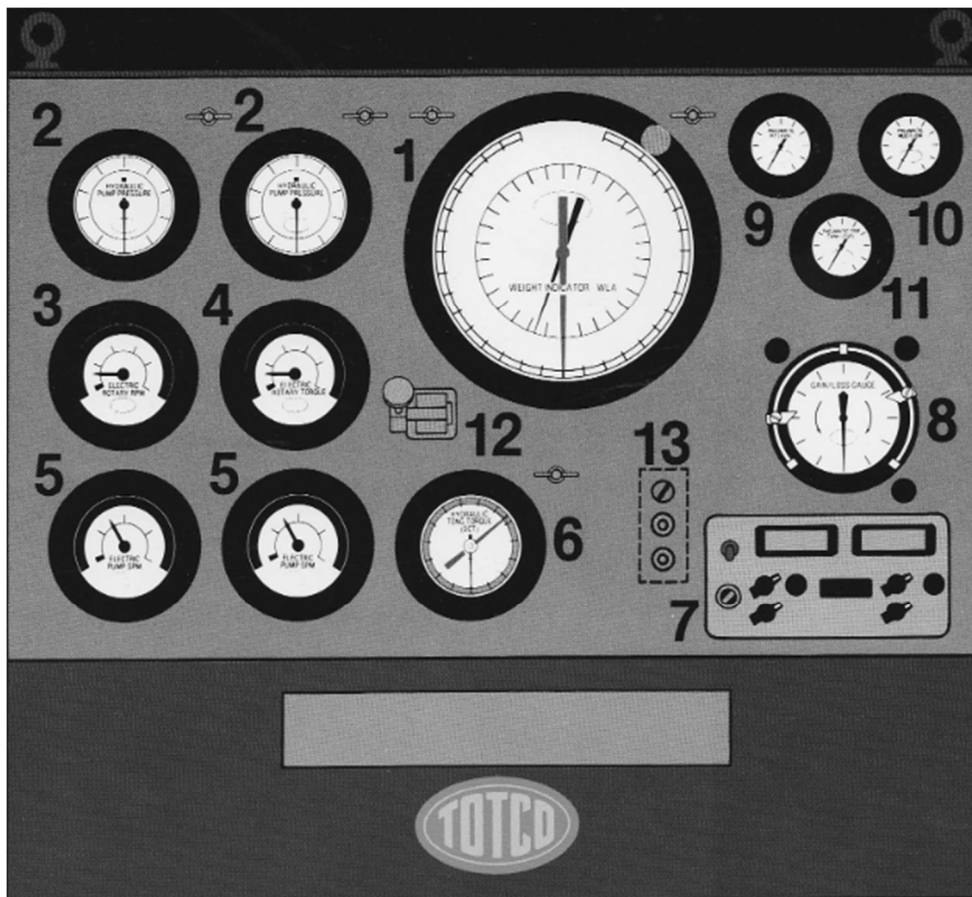
Unutar sobe ili kabine nalazi se upravljački sklop, kontrolna i regulacijska oprema s indikatorima prethodno opisanih mjernih instrumenata, kraće nazvano konzola (Slika 3-2.). Prvotne verzije konzola su bile analogne, dok su moderne konzole ili kombinacija analognog i digitalnog okruženja ili potpuno digitalne, ovisno o starosti postrojenja.



**Slika 3-2.** Analogni kontrolni i pripadajuća regulacijska oprema (Martin-Decker, 1986)

Konzola u suštini ima istu ulogu kao i drilometar, a to je objedinjenje bitnih informacija o parametrima bušenja na jednom mjestu, no konzole su mnogo veće i obično uključuju sva mjerenja koja se rade na postrojenju u kompaktnom obliku kako bi se uštedio prostor što ih čini praktičnima na odobalnim postrojenjima. Konzole se izrađuju od čelika debljine pola centimetra i iznutra su šuplje kako bi se mogli provesti svi hidraulički i električni vodovi na postrojenju. Izrađuju se u dimenzijama po narudžbi, iako je u ponudi i nekoliko osnovnih tipova. Jedna takva konzola je prikazana na slici 3-3 s prikazom označenih mjernih instrumenata.





**Slika 3-3.** Shema instaliranih indikatora na tipičnoj konzoli (Totco, 1980)

Na slici su redom prikazani:

1. Indikator težine,
2. Manometri tlaka isplačne pumpe,
3. Indikator broja okretaja vrtaćeg stola – tahometar,
4. Torziometar,
5. Mjerač broja hodova pumpe,
6. Dinamometar,
7. Digitalni brojač ukupnog broja hodova pumpe,
8. Indikator promjene volumena u bazenima,
9. Volumen isplake u isplačnim bazenima,
10. Mjerač protoka,
11. Razina isplake u trip spremniku,
12. Ručica za uključivanje/isključivanje drilograma,
13. Kontrolna kutija alarmnog sustava.

#### 4. MJERENJA SPECIFIČNA ZA ODOBALNA POSTROJENJA

Uz sva prethodno navedena mjerenja, odobalna bušaća postrojenja, zbog svoje lokacije na otvorenom moru, moraju provoditi dodatna mjerenja radi svoje sigurnosti, ali i kako bi se zaštitilo okoliš. Jedno od bitnijih mjerenja za naftne platforme, pogotovo ako se radi o plutajućim postrojenjima, je određivanje njihove pozicije pomoću engl. „*Global Positioning System*“. Sustav se sastoji od GPS prijemnika, koji se nalazi na naftnoj platformi, a koji prima signal od 4 ili više satelita i uspoređujući vrijeme dolaska signala od svakog satelita može precizno odrediti svoju lokaciju na Zemlji. GPS se koristi zajedno sa anemometrima (uređajima za mjerenje brzine vjetra), sensorima pokreta i žirokompasima u sustavu dinamičkog pozicioniranja, kako bi plutajuća platforma održavala svoju poziciju na otvorenom moru.

Plutajuće platforme također moraju pratiti i visinu valova, kao i dubinu gaza kako bi se znalo koliko je platforma uronjena i, u slučaju evakuacije, koliko su valovi visoki. Podaci o tome se dobivaju pomoću radarskog mjernog pretvornika razine (Slika 4-1.), koji iz antene emitira signal visoke frekvencije. Taj se signal odbija od površine vode, vraća u prijemnik uređaja i vrijeme potrebno do povratka pretvara u visinu. Ovakvi se uređaji koriste i za mjerenje razine raznih fluida i krutih tvari u spremnicima na naftnoj platformi jer su jednostavni za upotrebu i prikladni za mjerenje udaljenosti od bilo kakvog fluida ili čvrste tvari. Ovim se uređajima još mjeri i razina isplake u isplačnim spremnicima, razina krutih tvari i tekućih aditiva, koji se dodaju u isplaku radi poboljšanja njenih svojstava, zatim razina isplake i krhotina nakon odvajanja na vibracijskim sitima, razina tekućine u otpadnim spremnicima i drugo (Vega, 2020).



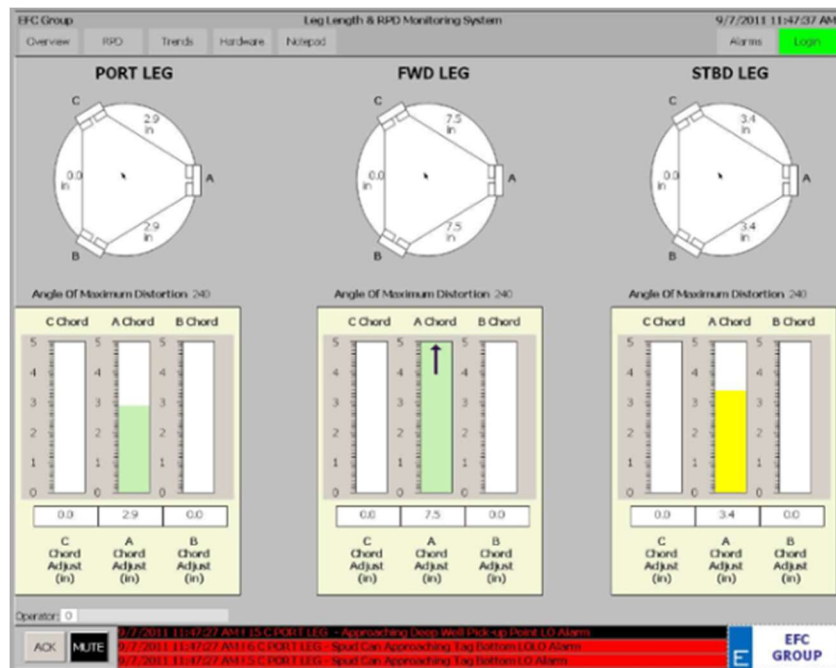
**Slika 4-1.** Uporaba radarskog mjernog pretvornika razine za određivanje visine vode (Vega, 2020)

Još jedno mjerenje povezano sa stabilizacijom plutajuće platforme je mjerenje razina vode u balastnim spremnicima. Naime, takve platforme se održavaju na određenoj visini iznad razine vode punjenjem i pražnjenjem balastnih spremnika morskom vodom. Kako bi se znalo koliko vode treba dodati ili ispustiti, potrebno je znati koja je razina već prisutne vode u spremnicima (Novosel, 2015). U tu se svrhu koristi mjerni pretvornik, čiji je senzor na štapu uronjen u spremnik i koji mjeri hidrostatički tlak vode koji djeluje na njega. Taj tlak se šalje električnim signalom do uređaja koji signal pretvara u visinu vode. Senzor (a) na principu radara i (b) senzor za mjerenje tlaka na dnu spremnika su prikazani na slici 4-2.



**Slika 4-2.** Senzori za mjerenje razine fluida (Vega, 2020)

Mjerenja specifična za samopodizuću platformu su uglavnom vezana uz njene noge. Naime, samopodizuća platforma je platforma koja se sastoji od čeličnog trupa i tri ili četiri noge kvadratnog ili trokutastog presjeka, koje se, dolaskom platforme na odabranu lokaciju, spuštaju do morskog dna kako bi se ostvario oslonac platformi za izdržavanje svih sila koje djeluju na nju tijekom operacija bušenja. Baš zbog toga je, tijekom spuštanja nogu, bitno pratiti brzine spuštanja kako bi se spuštale istom brzinom da se platforma ne nagne ili ne prevrne (Fadiga, 2015). Brzina spuštanja nogu regulira se sustavom za dizanje i spuštanje nogu i pontona. Kretanjem nogu zupčanicima se okreću i prenose informaciju o svojim okretajima na glavno računalo, koje ta mjerenja pretvara u podatke o brzini spuštanja ili podizanja noge te o duljini noge. Računalo podržava spremanje podataka o kretanjima noge, tako da se mogu vidjeti prethodni zapisi o kretanju nogu. Sustav raspolaže alarmima, koji se aktiviraju ako se premaši zadana vrijednost bilo kojeg promatranog parametra (Slika 4-3.). Za promatranje stanja nogu, postavljaju se još i senzori za mjerenje inklinacija nogu te senzori za mjerenje opterećenja pojedine noge.

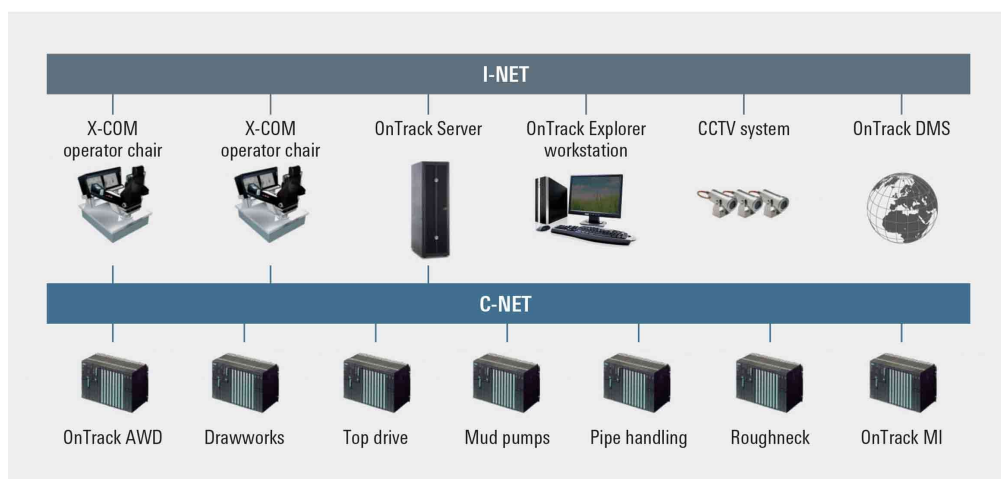


**Slika 4-3.** Softver za praćenje stanja nogu samopodizuće platforme (Electro-Flow-Controls, 2020)

## 5. INTEGRIRANI SUSTAV UPRAVLJANJA BUŠENJEM

Integrirani sustav upravljanja bušenjem (engl. *Integrated drilling controls system*) kombinira manevriranje alatki tijekom procesa bušenja, podatke s mjernih instrumenata na cijelom bušačem postrojenju, automatizaciju postrojenja te softversku i hardversku podršku u jedan integrirani sustav koji omogućava brži proces bušenja (Slika 5-1.). Ovakav sustav je sastavni dio modernog odobalnog postrojenja, jer takva postrojenja rade dublje bušotine, i to nerijetko više njih, pa se vrijeme izrade bušotine znatno skraćuje. Još jedna prednost korištenja ovog sustava je da se kod pomicanja platforme sama platforma ne mora rastavljati, pa instaliranje ovakvog sustava ima svoju svrhu.

Sustav se sastoji od mjernih instrumenata koji imaju mogućnost prijenosa izmjenjenih podataka električnim kablom ili bežičnim signalom, zatim servera spojenog na internet, na koji se spremaju podaci, nadalje nadzornih kamera za praćenje stanja na postrojenju, digitalnog upravljačkog sklopa te bilo kojeg uređaja, koje je putem interneta spojeno sa serverom kako bi imalo pristup podacima s bilo kojeg mjesta.



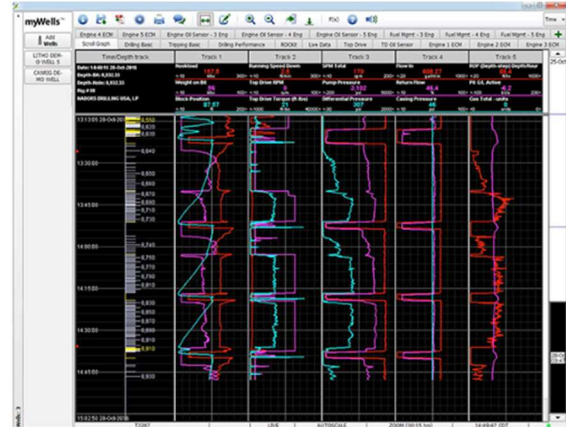
**Slika 5-1.** Shema integriranog sustava upravljanja bušenjem (Schlumberger, 2020)

Integrirane sustave upravljanja bušenjem te pripadajuće programske pakete za praćenje stanja bušačkog postrojenja razvija svaka međunarodna servisna kompanija (Slika 5-2.). Neke od značajki ovih paketa su alarmi, koji se aktiviraju kada se pređe unaprijed postavljena vrijednost mjernog instrumenta, kao i inteligentni alarmi, koji prate trendove bušenja te

upozoravaju na istrošenost dljetja, užeta i slične opreme, integracija karotažnih mjerenja i mjerenja parametara u bušotini s pridobivanjem informacija u stvarnom vremenu (engl. „*Measurement while drilling*“, MWD), kako bi se izradio 3D model slojeva i bušotine, dnevnik ugrađenih alatki, vizualizacija ušća bušotine i pripadajući tlakovi, mogućnost automatskog bušenja te mnoge druge opcije (Schlumberger, 2020).



a

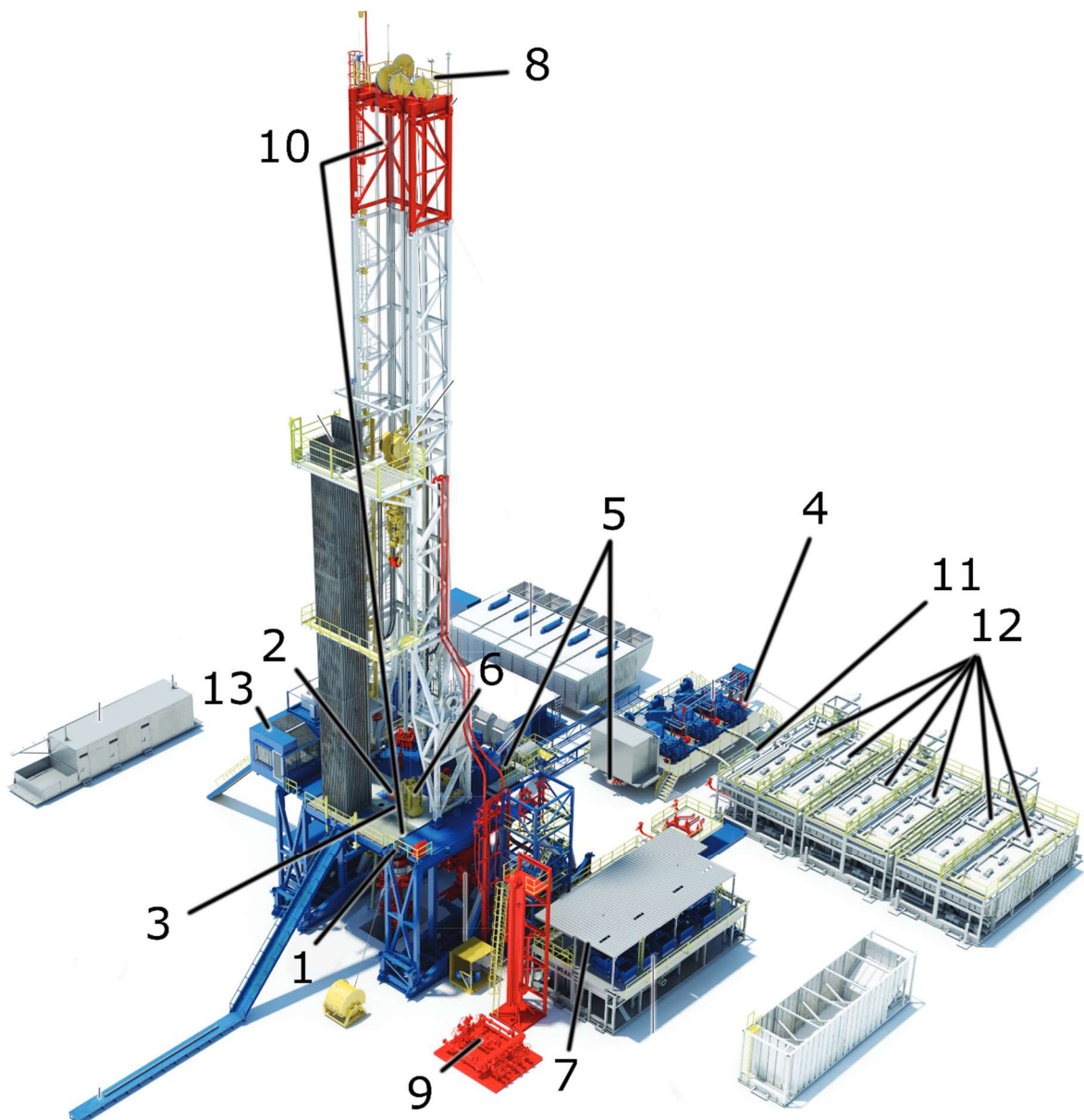


b

**Slika 5-2.** Primjer softverskog sučelja kompanija (a) Cameron (Cameron, 2020) i (b) Nabors (Nabors, 2020)

## 6. POZICIJA MJERNIH INSTRUMENATA

Na Slici 6-1. je prikazana lokacija svih prethodno opisanih mjernih instrumenata na modernom kopnenom bušačem postrojenju.



**Slika 6-1.** Položaj mjernih instrumenata na kopnenom bušačem postrojenju  
(Schlumberger, 2020)

Numerirani mjerni instrumenti na slici su:

1. Transformator tlaka indikatora težine,
2. Torziometar,
3. Tahometar,
4. Broj hodova i dobava isplačne sisaljke,
5. Manometri isplačnog fluida,
6. Dinamometar,
7. Mjerač protoka,
8. Uređaj za sprječavanje udaranja pomičnog koloturja u nepomično,
9. Senzor podesivih sapnica,
10. Senzori za rad bušaćeg užeta,
11. Gustoća isplake,
12. Razina fluida u isplačnom bazenu,
13. Bušaća soba s drilometrom,
14. Inklinometar – unutar bušotine.



## 7. ZAKLJUČAK

Korištenjem mjernih instrumenata dobivaju se informacije o parametrima bušenja, stanju opreme i uređaja za kontrolu snage, tlaka, opterećenja na kuki, momenta torzije i ostalih potrebnih pokazatelja tijekom izrade kanala bušotine. Mjerni instrumenti se sastoje od mjernog pretvornika koji mjeri fizikalnu veličinu pomoću senzora te koji šalje njenu vrijednost u obliku signala do indikatora fizikalne veličine koji može biti u obliku skale s kazaljkom ili digitalni sa LCD ekranom. Prvotne verzije mjernih instrumenata su analogne, dok novije verzije šalju podatke do računala, koja prikazuju izmjerene veličine na jednom mjestu, olakšavajući pristup relevantnim podacima.

Od mjerenja, koja se provode, neophodna su mjerenja težine alata na kuki i opterećenja na dljeto, za što se koristi transformator tlaka s prikladnim indikatorom težine, torzija primijenjena na alatke u bušačem nizu, koja se registrira torziometrom, torzija pri navrtanju kliještima pomoću dinamometra te brzina rotacije vrtaćeg stola dobivena tahometrom spojenim na rotirajuću osovinu.

Kod isplačnog sustava prati se gustoća i razina isplake u isplačnim bazenima, protok isplake na izljevnoj cijevi pomoću mjerača protoka te tlak isplake na stojci i na tlačnom vodu pomoću manometara sa zaštitnim gumenim čepom.

Mjerenja specifična za odobalna postrojenja se sastoje od mjerenja razine različitih fluida i krutina u spremnicima na platformi te mjerenje pozicije pomoću GPS-a, anemometra, žirompasara i drugih senzora. Plutajuće platforme mjere razinu vode u balastnim spremnicima radi održavanja gaza te visinu valova pomoću radarskog mjernog pretvornika razine, dok se na samopodižućim platformama mjere pozicije i brzine podizanja/ spuštanja nogu te opterećenja na njih.

S poboljšanjem internetskih veza i uvođenjem satelitskog interneta, uporaba interneta je sve veća u sklopu modernih bušačkih postrojenja, pogotovo na postrojenjima u izoliranim područjima te odobalnim postrojenjima. Najnovija primjena je u sustavu integriranog bušenja, gdje se svi parametri bušenja šalju na centralni server na postrojenju te u oblak (engl. „*cloud*“) server odakle je moguć pregled podataka s bilo kojeg računala na postrojenju, ali i računala u uredima naftnih kompanija udaljenih stotinama, pa i tisućama kilometara.

## 8. LITERATURA

AOI INSTRUMENTATION, 2003. *Anchor-type Weight Indicator Systems*. Lafayette: AOI Instrumentation

CIRKOVIĆ, S., 2012. *Uređaji za mjerenje kuta i smjera otklona kanala bušotine – inklinometri*. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet

FADIGA, R., 2015. *Rekonstrukcija samopodizujuće platforme Labin*. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

MATANOVIĆ, D., 2007. *Tehnika izrade bušotina*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

MARTIN-DECKER, 1959. *Martin-Decker Ezy-Vue gauge*. Santa Ana: Martin-Decker Corporation

NOVOSEL, M., 2015. *Platforme za bušenje u dubokom moru*. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

TARANDEK, J., 1972. *Priručnik za duboko bušenje prvi dio: Mjerni instrumenti*. Zagreb: Ina-Naftaplin

TOTCO, 1980. *1980-1981 Composite Catalog*. Rock Creek Rd.: Totco

## WEB IZVORI

BERTHOLD TECHNOLOGIES, Solutions for oil and gas production. URL: <https://www.berthold.com/en/process-control/industries/oil-gas-measurement-solutions/> (4.6.2020.)

CAMERON, 2018. Land Drilling Packages. URL: <https://www.products.slb.com/-/media/productsslbf/files/brochure/drilling/land-drilling-packages-br.ashx> (22.6.2020.)

DRILLING CONTRACTOR, 2011. Coriolis sensors open lines to real-time data. URL: <https://www.drillingcontractor.org/coriolis-sensors-open-lines-to-real-time-data-10682> (19.6.2020.)

DRILLMEC, Control System and Drilling Instrumentation. URL: <http://www.drillmec.com/en/p/offshore-control-system-drilling-instrumentation/> (9.6.2020.)

ELECTRO-FLOW-CONTROLS, Rack Phase Difference (RPD) and Leg Length Monitoring System. URL: <http://www.efcgroup.net/products/instrumentation-controls/marine-imms/rack-phase-difference> (11.7.2020.)

FORUM ENERGY TECHNOLOGIES, Pressure Gauges. URL: <https://www.f-e-t.com/drilling/drilling-instrumentation/pressure-gauges/> (22.6.2020.)

FORUM ENERGY TECHNOLOGIES, Tachometer Systems. URL: <https://www.f-e-t.com/drilling/drilling-instrumentation/tachometer-systems/#rpm-and-spm-tachometer-systems> (4.6.2020.), b

FORUM ENERGY TECHNOLOGIES, Torque Indicators. URL: <https://www.f-e-t.com/drilling/drilling-instrumentation/torque-indicators/> (21.6.2020.), c

FORUM ENERGY TECHNOLOGIES, Weight Indicators. URL: <https://www.f-e-t.com/drilling/drilling-instrumentation/weight-indicators/> (4.6.2020.), d

HONEYWELL, 2017. Sensors and Switches in Oil Rig Applications. URL: <https://sensing.honeywell.com/honeywell-sensors-switches-oil-rig-application-note-000756-4-en.pdf> (4.6.2020.)

INNOVATIVE ELECTRONICS, 2001. Electronic Crown Protector. URL: <http://www.innelect.com/PDF/Letter/ECPLett.pdf> (22.6.2020.)

JACOBS, T., 2015. Ultrasonic Drilling Mud Measurement to Improve Drilling. URL: <https://pubs.spe.org/en/print-article/?art=1244> (19.6.2020.)

M/D TOTCO, 1998. SD and SW series load cell systems. URL: <https://pslcolombia.com/documentos/manual%20martib%20decker.pdf> (4.6.2020.)

M/D TOTCO, 2002. Instrumentation, Controls, Data Acquisition and Sensor Products Catalog. URL: <http://docshare01.docshare.tips/files/29147/291479610.pdf> (4.6.2020.)

M/D TOTCO, 2017. Instrumentation Products. URL: <https://www.nov.com/-/media/nov/files/products/wbt/md-totco/e-totco-electronic-drift-survey-tool/md-totco-instrumentation-products-catalog.pdf> (9.6.2020.), c

M/D TOTCO, Drilling Recorders. URL: <https://www.nov.com/-/media/nov/files/products/wbt/md-totco/drilling-and-chart-recorders/drilling-recorders-flyer.pdf> (9.6.2020.)

MARTIN-DECKER, 1986. Instrumentation Catalog. URL: [https://kupdf.net/download/martin-decker\\_59e4fc7108bbc56837e65302\\_pdf](https://kupdf.net/download/martin-decker_59e4fc7108bbc56837e65302_pdf) (16.4.2020.)

MATHERNE INSTRUMENTATION, 2017. Ton-Mile Monitoring System. URL: <http://matherneis.com/wp17/wp-content/uploads/2017/11/Ton-Mile-Monitoring-Flyer-Matherne.pdf> (21.6.2020.), a

MATHERNE INSTRUMENTATION, 2017. Two-Pump Digital Stroke Rate Meter. URL: <http://matherneis.com/wp17/wp-content/uploads/2017/11/Two-pump-digital-Stroke-rate-meter-Model-1104-PS102-brochure-Matherne.pdf> (19.6.2020.), b

MATHERNE INSTRUMENTATION, 2018. Electric Rotary Torque (ERT) System. URL: <http://matherneis.com/wp17/wp-content/uploads/2018/04/Electric-Rotary-Torque-ERT-brochure-Matherne.pdf> (21.6.2020.), c

MATHERNE INSTRUMENTATION, 2019. Electronic Crown Protector. URL: <http://matherneis.com/wp17/wp-content/uploads/2019/01/Electronic-Crown-Protector-I-Stop-Model-Flyer-Matherne-2019.pdf> (21.6.2020.), d

MATHERNE INSTRUMENTATION, 2020. Choke Position Indicator Systems. URL: <http://matherneis.com/wp17/wp-content/uploads/2020/05/Choke-Position-Indicator-System-Flyer-Matherne-2020.pdf> (21.6.2020.), e

MATHERNE INSTRUMENTATION, 2020. Electronic Weight Indicator. URL: <http://matherneis.com/wp17/wp-content/uploads/2020/05/i-Weight-Flyer-Matherne-2020-May12.pdf> (21.6.2020.), f

MATHERNE INSTRUMENTATION, 2020. Mud Flow Sensor. URL: <http://matherneis.com/wp17/wp-content/uploads/2017/11/Mud-Flow-Sensors-Flyer-Matherne.pdf> (19.6.2020.)

MICON DRILLING, 2016. Electronic Multishot System (EMS). URL: [https://www.micon-drilling.de/Download/Catalog\\_EMS\\_EN\\_170317.pdf](https://www.micon-drilling.de/Download/Catalog_EMS_EN_170317.pdf) (19.6.2020.)

RACHAIN, J., 2010. Sensors that you should have installed on the rig. URL: <http://www.drillingformulas.com/sensors-that-you-should-have-installed-on-the-rig/> (4.6.2020.)

RCPAT, Mud Flow Transmitter (MFT). URL: <https://rcpat.com/pdf/Mud-Flow-Transmitter.pdf> (19.6.2020.)

RHOSONICS. Non-Nuclear Density Measurement. URL: <https://www.rhosonics.com/models/sdm-slurry-density-meter/> (19.6.2020.)

SCHLUMBERGER, Drilling control rooms. URL: <https://www.products.slb.com/rig-equipment/cabins-and-controls/drilling-control-rooms> (7.6.2020.)

SCHWAB'S OILFIELD INSTRUMENTATION, Oilfield instruments. URL: <https://www.schwaboilfieldinstrumentation.com/instruments> (4.6.2020.)

USA OILFIELD SUPPLY, 2008. Crown-O-Matic Safety Device. URL: <http://www.usaoilfieldsupply.com/crown-o-matic.html> (21.6.2020.)

VEGA, Level and pressure instrumentation for the offshore industry. URL: <https://www.vega.com/-/media/PDF-files/Industry-brochures/28745-EN-Level-and-pressure-instrumentation-for-the-offshore-industry.pdf> (10.7.2020.)

WAGNER INSTRUMENTATION, 2018. Wagner Instrumentation Catalog. URL: <https://www.nov.com/-/media/nov/files/products/wbt/md-totco/wagner-instrumentation/wagner-instrumentation-product-catalog.pdf> (4.6.2020.)

WEATHERFORD, 2015. Electronic Drilling Recorder. URL: <https://www.weatherford.com/getattachment/ff27c4a5-81d0-46d4-ab77-ce5282e28cf4/Electronic-Drilling-Recorder.pdf> (19.6.2020.), a

WEATHERFORD, 2015. Mud Density In/Out Sensor. URL: <https://www.weatherford.com/getattachment/7e4bd9cb-3437-4764-a04e-52f5db8d58db/Mud-Density-In-Out-Sensor.pdf> (22.6.2020.)

## **Izjava**

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



---

Robert Šimić



KLASA: 402-04/20-01/85  
URBROJ: 251-70-03-20-3  
U Zagrebu, 04.09.2020.

**Robert Šimić, student**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM: 602-04/20-01/85, UR.BROJ: 251-70-12-20-1 od 24.04.2020. godine priopćujemo temu završnog rada koja glasi:

### MJERNI INSTRUMENTI NA BUŠAĆEM POSTROJENJU

Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o završnom ispitu dr. sc. Zdenko Krištafor, redoviti profesor Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

**Voditelj**

(potpis)

Prof. dr. sc. Zdenko Krištafor

(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)