

# Mogućnost primjene digitalne tehnologije u proizvodnim sustavima nafte i plina

---

Štefanek, Dorian

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

*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:169:224079>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-18**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Prije diplomski studij naftnog rudarstva

**MOGUĆNOST PRIMJENE DIGITALNE TEHNOLOGIJE U PROIZVODNIM  
SUSTAVIMA NAFTE I PLINA**

Završni rad

Dorian Štefanek

N4561

Zagreb, 2024.

MOGUĆNOST PRIMJENE DIGITALNE TEHNOLOGIJE U PROIZVODNIM SUSTAVIMA NAFTE I  
PLINA

Dorian Štefanek

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

Sažetak

U završnom radu su opisani pojmovi digitizacije, digitalizacije i digitalne transformacije, kao i razlike između ta tri pojma. Osim toga, obrazložene su prednosti korištenja digitalnih tehnologija i izazovi do kojih dolazi uporabom digitalne tehnologije. Opisano je zašto naftna i plinska industrija zaostaje kod primjene digitalnih tehnologija i kakav učinak digitalna transformacija ima na naftnu i plinsku industriju. Dan je primjer kompanija Equinor i Saudi Aramco, koje su uspješno iskoristile pogodnosti digitalnih tehnologija u naftnoj i plinskoj industriji.

Ključne riječi: digitalna tehnologija, proizvodni sustavi nafte i plina

Završni rad sadrži: 23 stranice, 1 tablicu, 9 slika i 22 reference.

Jezik izvornika: Hrvatski

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

Mentori: doc. dr. sc. Sonja Koščak Kolin

Ocjenjivači: doc. dr. sc. Sonja Koščak Kolin  
izv. prof. dr. sc. Vladislav Brkić  
izv. prof. dr. sc. Borivoje Pašić

## SADRŽAJ

<b>POPIS SLIKA</b> .....	<b>I</b>
<b>POPIS TABLICA</b> .....	<b>II</b>
<b>POPIS KORIŠTENIH KRATICA</b> .....	<b>III</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ŠTO JE TO DIGITALNA TRANSFORMACIJA?</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1. Razlika između digitizacije i digitalizacije</b> .....	<b>2</b>
2.1.1. Digitizacija.....	2
2.1.2. Digitalizacija .....	3
<b>2.2. Poteškoće i izazovi digitalne transformacije</b> .....	<b>3</b>
<b>3. DIGITALNA TRANSFORMACIJA U NAFTNOJ I PLINSKOJ INDUSTRIJI</b> ..	<b>5</b>
<b>3.1. Izazovi digitalne transformacije u naftnoj i plinskoj industriji</b> .....	<b>5</b>
3.1.1. Analiza relevantnih podataka za digitalnu transformaciju.....	6
3.1.2. Kibernetička sigurnost i prijenos podataka.....	6
<b>3.2. Digitalna transformacija u „upstream-u“</b> .....	<b>7</b>
3.2.1. Sektor istraživanja.....	7
3.2.2. Sektor bušenja.....	7
3.2.3. Sektor proizvodnje .....	8
<b>3.3. Digitalna transformacija u „midstream-u“</b> .....	<b>8</b>
<b>4. PRIMJERI USPJEŠNO PRIMIJENJENIH DIGITALNIH TEHNOLOGIJA U NAFTNOJ I PLINSKOJ INDUSTRIJI</b> .....	<b>9</b>
<b>4.1. Equinor – vodeća kompanija u primjenama digitalnih tehnologija u naftnoj i plinksoj industriji</b> .....	<b>9</b>
4.1.1. Digitalne tehnologije u Equinoru.....	10
4.1.2. Proizvodnja na polju Oseberg Vestflanken 2 .....	10
4.1.3. Primjena robota i dronova.....	11
4.1.4. Digitalni blizanci (Digital twins) .....	12
4.1.5. 3D printanje .....	13
4.1.6. Umjetna inteligencija .....	16
<b>4.2. Primjer Saudi Aramco</b> .....	<b>17</b>
4.2.1. Laboratorij SAIL i model umjetne inteligencije AramcoMETABRAIN .....	17
<b>4.3. Digitalna naftna polja i pametne bušotine</b> .....	<b>19</b>
4.3.1. Digitalno naftno polje .....	19

4.3.2. Pametne bušotine .....	19
<b>5. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>21</b>
<b>6. LITERATURA .....</b>	<b>22</b>

## **POPIS SLIKA**

Slika 4-1. Naftna polja u Norveškoj .....	9
Slika 4-2. Equinorova Oseberg-H platforma .....	11
Slika 4-3. Equinorov Sapiem Hydrone-R podvodni dron .....	12
Slika 4-4. Equinor Echo uređaj .....	13
Slika 4-5. Privremeni pokretni uređaj za 3D printanje .....	14
Slika 4-6. Najveći objekt izrađen 3D printanjem u naftnoj industriji .....	15
Slika 4-7. Mreža digitalnih zaliha .....	16
Slika 4-8. Al-Midra Tower .....	18
Slika 4-9. Prva pametna bušotina s 12 zona .....	20

## **POPIS TABLICA**

Tablica 4-1. Primjena digitalizacije i tehnoloških inovacija kompanije Equinor.....	10
---	----

## POPIS KORIŠTENIH KRATICA

SLC (engl. *Standards Leadership Council*) organizacija čiji je cilj stvoriti jedinstvene podatkovne standarde u naftnoj i plinskoj industriji

PPDM (engl. *Professional Petroleum Data Management*) organizacija koja se bavi razvojem podatkovnih standarda u energetskej industriji

WITSML (engl. *Wellsite Information Transfer Standard Markup Language*) standard za prijenos tehničkih podataka u naftnoj industriji

LWD (engl. *logging while drilling*) karotaža u procesu bušenja

AIR (engl. *Autonomy, Interoperability and Robotics*) Equinorov projekt korištenja robota i dronova

IoT (engl. *Internet of Things*) Internet stvari

ARAMCO (engl. *Arabian American Oil Company*) saudijska naftna kompanija

SOCAL (engl. *Standard Oil Company of California*) američka naftna kompanija, danas poznata kao Chevron

CASOC (engl. *California Arabian Standard Oil Company*) prijašnji naziv Aramca

POWERS (engl. *Parallel Oil-Water-Gas-Reservoir Simulator*) Aramcov simulator ležišta

SAIL (engl. *Saudi Accelerated Innovation Lab*) Aramcov laboratorij u Dharmi

ICV (engl. *Interval Control Valve*) ventil koji služi za kontrolu pojedinih zona u bušotini



## 1. UVOD

Naš životni vijek trenutno se odvija u doba četvrte industrijske revolucije. Digitalna transformacija je prisutna svugdje, a to uključuje i naftnu i plinsku industriju. Još od druge industrijske revolucije, nafta i plin imali su ključnu ulogu u svjetskom gospodarstvu te pri unapređivanju kvalitete života ljudi.

U današnjem svijetu se naftna i plinska industrija suočava s brojnim izazovima, kao što su klimatske promjene, oscilacije cijena sirove nafte i poteškoće pri privlačenju i zadržavanju talentiranog osoblja. Digitizacijom, digitalizacijom i digitalnom transformacijom, naftna i plinska industrija je u mogućnosti nadvladati navedene poteškoće. Osim toga, očekuje se da će digitalna transformacija naftne i plinske industrije pridonijeti i povećanju efikasnosti, sigurnosti na radu i zaštiti okoliša (Strategic Gears, 2024).

Cilj je ovog završnog rada objasniti što digitalna transformacija znači za naftnu i plinsku industriju, koji su najnoviji trendovi digitalne transformacije u industriji te predstaviti potencijal koji digitalna transformacija ima za naftne i plinske kompanije.

## **2. ŠTO JE TO DIGITALNA TRANSFORMACIJA?**

Digitalna transformacija se opisuje kao primjena tehnologije kako bi se izgradili novi poslovni modeli, procesi, softveri i sustavi koji pridonose većem profitu, većoj prednosti na tržištu i većoj učinkovitosti proizvodnog procesa (Prestidge, 2021).

Četiri vodeće grane u primjeni digitalne transformacije su financijske usluge, transport i logistika, industrijski sektor i zdravstvo. Primjenom digitalne transformacije ova četiri sektora danas imaju veću učinkovitost i manju potrebu za ručnim radom. Ukratko rečeno, imaju povećanu automatizaciju (Strategic Gears, 2024).

Brojna istraživanja pokazala su da digitalno transformirane kompanije imaju veće profite. Jedno istraživanje MIT-a pokazuje da su profiti digitalno transformiranih kompanija čak i 26 % veći od kompanija koje imaju tradicionalan način poslovanja (Prestidge, 2021), dok istraživanja Oxford-a pokazuju da 80 % voditelja kompanija kažu da je digitalna transformacija povećala profite njihovih kompanija (Strategic Gears, 2024).

### **2.1. Razlika između digitizacije i digitalizacije**

Iako na prvi pogled digitizacija, digitalizacija i digitalna transformacija zvuče kao istoznačnice, zapravo su tri različita tehnološka koncepta. Digitizacija pretvara analogne podatke u digitalni format, digitalizacija pretvara analogne procese u digitalne, a digitalna transformacija je potpuna preobrazba organizacije pomoću primjene tehnologije (Kimachia, 2023). Digitalna transformacija je transformacija poslovnih aktivnosti, procesa, proizvoda i modela koji u potpunosti iskorištavaju mogućnosti digitalnih tehnologija. Glavni cilj je poboljšanje efikasnosti, upravljanje rizikom ili otkrivanje novih mogućnosti monetizacije podataka.

#### *2.1.1. Digitizacija*

Digitizacija je općenito proces pretvaranja informacija iz fizičkog formata u digitalni. To znači pretvaranje nečega što nije digitalno u digitalni prikaz koji će koristiti informacijski sustavi i automatizirati procese ili tokove rada. Digitizacija se odvija u nekoliko koraka. Analogne signale moguće je snimiti u određenom rasponu te ih prikazati u numeričkom obliku. Na primjer, analogni signal frekvencije 44,1 kHz može se prikazati kao 16-bitna vrijednost, pa je na taj način signal u digitalnom formatu općenito dostupan za uporabu korisnicima. Digitalni podaci mogu se komprimirati te pohraniti na tvrdom disku ili u

oblaku, a može ih se i prenijeti drugim korisnicima putem interneta uz minimalan gubitak kvalitete (Kimachia, 2023).

### 2.1.2. Digitalizacija

Digitalizacija je proces iskorištavanja digitizacije za poboljšanje poslovnih procesa, a pojam se odnosi na korištenje digitalnih tehnologija i podataka radi stvaranja prihoda, poboljšanja poslovanja i stvaranja digitalne kulture u kojoj su digitalne informacije najvažniji segment svih procesa. Digitalizacija je ključna za efikasnija i profitabilnija poslovanja. Digitalizacijom se postiže automatiziranje procesa koji su se prije obavljali ručno (Kimachia, 2023).

## 2.2. Poteškoće i izazovi digitalne transformacije

Unatoč pozitivnim stranama koje digitalna transformacija može pridonijeti kompanijama, jedno McKinsey istraživanje pokazalo je da je samo jedna trećina pokušaja digitalizacije uspješna, a naftne i plinske kompanije imaju još manji postotak uspješnosti. Glavni razlog malim stopama uspjeha je protivljenje zaposlenika prema promjenama. Veličina kompanije također ima veliku ulogu ovdje, što je kompanija veća, to su vjerojatnosti da će zaposlenici prihvatiti promjene manja (Prestidge, 2021).

Ostali izazovi koji predstavljaju prepreku uspješnoj digitalizaciji uključuju:

1. Modernizacija proizvodnih sustava, kao što je primjerice zamjena starijih tehnologija novijima;
2. Cijene novih tehnologija, jer neke kompanije odgađaju investirati u nove digitalne tehnologije kako bi uštedjele novac, što može rezultirati raznim problemima u budućem poslovanju, od ekonomske do energetske uspješnosti;
3. Obrazovanje zaposlenika, jer bi zaposlenicima morala biti omogućena podrška u usavršavanju, kako bi se što lakše privikli na korištenje novih tehnologija;
4. Regulatorne usklađenosti na tržištu;
5. Sakupljanje i korištenje podataka, temeljem kojih se ostvaruje uvid u mogućnosti povećanja učinkovitosti proizvodnih procesa (Dennis, 2024).

Kako bi digitalizacija i digitalna transformacija bila što uspješnija, kompanije moraju imati jasno definiranu strategiju, moraju biti predane promjenama, motivirati zaposlenike u procesu i usredotočiti se na promjene interesa potrošača (Prestidge, 2021).

### **3. DIGITALNA TRANSFORMACIJA U NAFTNOJ I PLINSKOJ INDUSTRIJI**

Naftna i plinska industrija, unatoč svojim potencijalima, uglavnom malo ulažu u digitalnu transformaciju u odnosu na ostale industrije. Naftne i plinske kompanije nemaju tzv. „right to fail“ kulturu, još od davnih dana Rockefellera i Standard Oil Company-a, jer su oduvijek nastojale izbjegavati rizike. Zbog toga se javio fenomen gdje, pri svakoj promjeni koja se javlja kao rezultat novih tehnoloških inovacija, naftna i plinska industrija ove promjene prihvaćaju relativno kasnije (Strategic Gears, 2024).

U naftnoj i plinskoj industriji digitalna transformacija ima potencijal za stvaranje i do trilijun dolara profita, od kojih bi \$600 milijardi pripalo tzv. „upstream“ kompanijama, \$100 milijardi tzv. „midstream“ kompanijama, a \$275 milijardi tzv. „downstream“ kompanijama. Samo neke od digitalnih tehnologija za koje se predviđaju spomenuti profiti uključuju 4D seizmiku, zatim tzv. „big data and analytics“, automatizaciju te robotiku. Primjenom digitalnih tehnologija predviđeno je i smanjivanje emisija CO<sub>2</sub>, ušteda vode i smanjivanje rizika od izlivanja nafte (Haouel et al., 2023).

Unatoč tome, čak jedna trećina naftnih i plinskih kompanija smatraju sebe tek kao početnice u procesu digitalizacije. Većina stručnjaka smatra da će digitalizacija naftne i plinske industrije u ovome desetljeću biti jednako značajna kao što su bili napredci u razvoju horizontalnog bušenja i hidrauličkog frakturiranja na ležištima šejlova u SAD-u (Prestidge, 2021).

#### **3.1. Izazovi digitalne transformacije u naftnoj i plinskoj industriji**

Iako su do sada milijuni dolara bili potrošeni na neuspjelim pokušajima digitalizacije to ne znači da se naftna i plinska industrija ne može uspješno digitalno transformirati. Naftna i plinska industrija nije jedina koja se suočava s izazovima i poteškoćama digitalne transformacije, međutim iskustva primjene rješenja iz ostalih industrijama ovdje nisu uvijek sasvim primjenjiva. Prema istraživanju Oil and Gas IQ-a u kojem je sudjelovalo više od 200 stručnjaka, najveći izazovi za digitalnu transformaciju naftne i plinske industrije su kultura i integracija s postojećim sustavima. Kao i s mnogo drugih tradicionalnih industrija, korporativna kultura je najveća prepreka koja se mora prijeći da bi se digitalna transformacija uspješno postigla (Prestidge, 2021).

### *3.1.1. Analiza relevantnih podataka za digitalnu transformaciju*

Veliki izazov u naftnoj i plinskoj industriji je analiza podataka, odnosno svrhovitost interpretacije odgovarajućih podataka, kako bi kompanije učinkovito primijenile rezultate prikupljenih podataka, za što uglavnom nemaju dovoljno stručnjaka za područje digitalne transformacije. Prema anketi Upstream Oil and Gas Digitization Survey-a, 66 % ispitanih kompanija je tvrdilo da analiza podataka predstavlja transformacijski potencijal za kompaniju, dok samo 13 % njih tvrdi da imaju potpuno razvijene kapacitete za primjenu analiziranih podataka u digitalnoj transformaciji. Dobro implementirana analiza podataka omogućava kompanijama da, primjerice, uspješnije dovrše projekt unutar predviđenog budžeta, da bolje predvide rizike vezane uz projekt te omogućuje kompanijama da budu fleksibilnije u poslovanju uz što manji broj zaposlenih (Prestidge, 2021) .

### *3.1.2. Kibernetička sigurnost i prijenos podataka*

Kibernetički napadi se u zadnjih nekoliko godina sve češće događaju, pa su kompanije i njihova imovina sve više izloženi ovim napadima. Korištenjem oblaka, odnosno zaštitnih usluga putem oblaka, kompanije općenito imaju 60 % manje sigurnosnih problema, jer nemogućnost fizičkog pristupa sprječava neovlašten pristup privatnim tj. poslovnim podacima.

Prijenos podataka također je izazov u naftnoj i plinskoj industriji, jer bilo da se radi o odobalnom ili kopnenom postrojenju, prenošenje velikih količina podataka do neke središnje jedinice za analizu podataka nije uvijek praktično. Prosječna odobalna platforma dnevno može sakupiti i do 2 terabajta podataka, a prenosi ih u prosjeku brzinom od 64 Kbps do 2 Mbs preko satelitske veze. To znači da prijenos podataka sakupljenih u samo jednom danu do središnje jedinice može trajati i do 12 dana. Osim toga, u naftnoj i plinskoj industriji se realizacija projekata odvija vrlo često kroz ugovore različitih kompanija, pa je važno pitanje postalo i vlasništvo tih podataka.

Stoga su proteklih godina, naftne i plinske kompanije, posebno u „upstream-u“, uvele noviji pristup podacima, odnosno smatra ih se dodatnom fizičkom imovinom, a ne samo proizvodom na tržištu, koja ima određenu vrijednost (Prestidge, 2021).

### 3.2. Digitalna transformacija u „upstream-u“

Kako se kompanije međusobno razlikuju po digitalnoj zrelosti, tako se i pojedini segmenti industrije razlikuju po digitalnoj zrelosti. Sektor istraživanja, kao dio industrije je digitalno još uvijek puno razvijeniji od proizvodnog sektora i od sektora bušenja i opremanja bušotina. Većina digitalnih rješenja koja su trenutno dostupna na tržištu imaju za glavni cilj smanjiti operativne troškove u svim sektorima industrije (Mittal et al., 2022).

#### 3.2.1. Sektor istraživanja

Seizmika je proces koji se u industriji koristi već više od 80 godina kako bi se dobila geološka slika potencijalnih formacija zasićenih ugljikovodicima. Standardizacijom geoloških podataka, velikim ulaganjima u složene algoritme te razvitkom brzih računala koja mogu analizirati geološke podatke tisuća bušotina u samo nekoliko sekundi, objašnjava se zašto sektor istraživanja prednjači u odnosu na ostale sektore. Pritom, najznačajniji utjecaj imaju one kompanije koje koriste 4D seizmiku u praćenju promjena u naftnim i plinskim ležištima (Mittal et al., 2022).

#### 3.2.2. Sektor bušenja

Stotine različitih softvera i tehnologija više od 300 različitih servisnih firmi i nedostatak standardizirano povezanih podataka kod bušenja rezultira ogromnom količinom podataka koji nisu učinkovito korišteni. Stoga je jedan od ciljeva uspješnije digitalne transformacije u budućnosti, udruživanje „upstream“ kompanija sa servisnim kompanijama. Justin Rounce iz Schlumbergera navodi kako je teško nastaviti ulagati u nove tehnologije kada je nemoguće ostvariti povrat vrijednost vezane uz to ulaganje. Da bi ostvarili ravnotežu, sudionici u industriji moraju zajednički povećati ulaganja u opće standardiziranje podataka. Poznajući složenost i dugo vrijeme potrebno za provođenje takvog procesa - SLC-u (engl. *Standards Leadership Council*), je bilo potrebno četiri godine da bi dovrši pilot projekt integriranja PPDM-a (engl. *Professional Petroleum Data Management*) i WITSML-a (engl. *Wellsite Information Transfer Standard Markup Language*) podatkovnih modela. Nadalje, Apache Corp. u SAD-u trenutno provodi podatkovno integriranje na 21 različitih bušačih postrojenja kako bi omogućili monitoring i analizu podataka iz različitih operacija, od LWD-a (engl. *logging while drilling*) do cementacije, itd. (Mittal et al., 2022).

### 3.2.3. Sektor proizvodnje

Oko 40 % globalne proizvodnje sirove nafte i plina dolazi s polja koja su sada već aktivna više od 25 godina, a postoji čak oko 175 polja koja proizvode dulje od 100 godina. Uzimajući u obzir takvu kontinuiranost proizvodnje, industrija se uvijek nalazi u beskonačnom ciklusu nadogradnje i naknadnog opremanja te zbog toga još uvijek postoji veliki broj postrojenja koja su digitalno zaostala, pa su time i lakše mete za kibernetičke napade. Praćenje proizvodnih podataka je nešto što su si većinom samo najveće kompanije mogle priuštiti, no i tu se radi o slučajevima gdje se moglo pratiti maksimalno do 70 % sveukupnog bušotinskog fonda. Digitalna ulaganja trebala bi biti personalizirana za svako pojedino polje ili bušotinu, ovisno o proizvodnom potencijalu. Primjerice, jedan operater u Kazahstanu bio je suočen s nedovoljnim tlakom pumpe u nekoliko plinsko-kondenzatnih ležišta, ali instalacijom novog ESP-a i analizom podataka u stvarnome vremenu omogućile su operateru podešavanje proizvodnih parametara ESP-a ovisno o različitim uvjetima proizvodnje (Mittal et al., 2022).

### 3.3. Digitalna transformacija u „midstream-u“

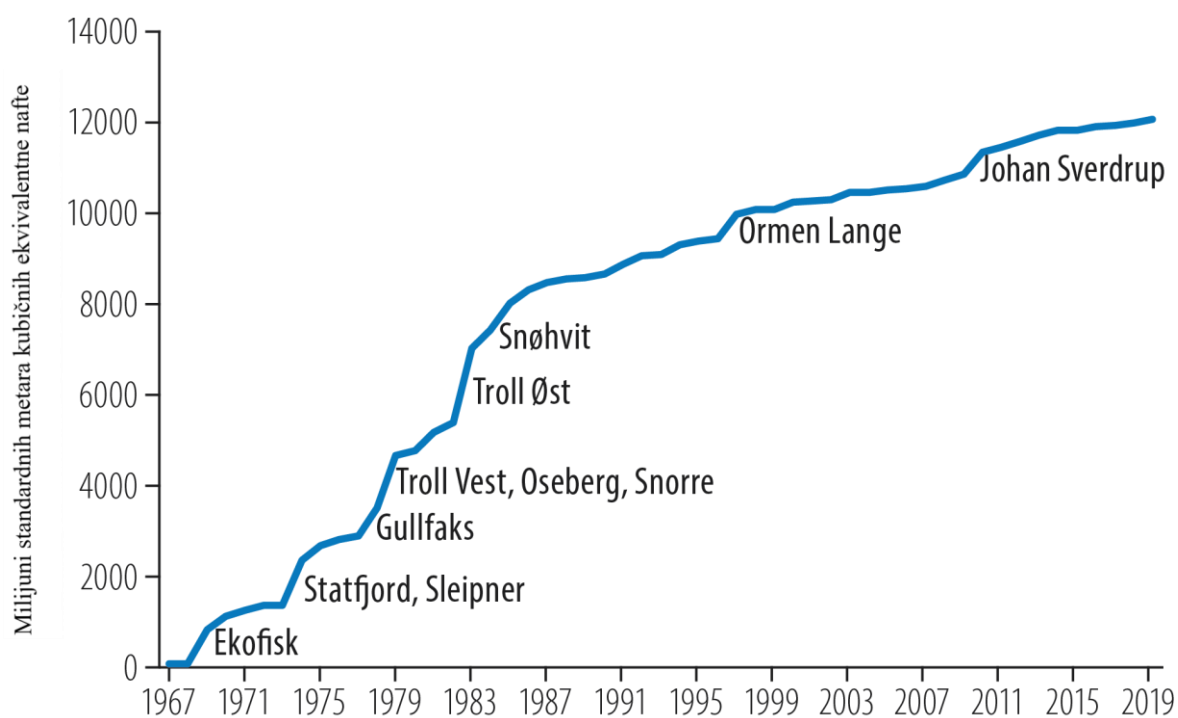
U SAD-u ima više od 2,7 milijuna milja naftovoda i plinovoda, a prosječna starost im je 20 godina. Što je infrastruktura starija, također je sklonija kibernetičkim napadima i ostalim potencijalnim opasnostima koje predstavljaju dodatani trošak operaterima. Pad cijena digitalnih tehnologija u „midstream-u“ rezultirao je činjenicom da ih čak i manje kompanije mogu priuštiti. Unatoč tome, u proteklih osam godina 90 % novih poslova u „midstream-u“ bilo je u izgradnji i održavanju, a samo nekoliko poslova bilo je za digitalne stručnjake. Trenutačno postoji puno nesigurnosti oko toga gdje se isplati digitalno ulagati i koje tehnologije odgovaraju za specifične potrebe poslovanja. Ulaganjem u digitalna rješenja tijekom planiranja i izgradnje može smanjiti intenzitet ulaganja u industriji (Slaughter et al., 2021).



#### 4. PRIMJERI USPJEŠNO PRIMIJENJENIH DIGITALNIH TEHNOLOGIJA U NAFTNOJ I PLINSKOJ INDUSTRIJI

##### 4.1. Equinor – vodeća kompanija u primjenama digitalnih tehnologija u naftnoj i plinksoj industriji

Otkriće polja Ekofisk u Sjevernom Moru 1969. godine bio je značajan događaj za naftnu i plinsku industriju Norveške. Ekofisk je karbonatno ležište koje se sastoji od dvije zone; Ekofisk i Tor. Te dvije zone su vrlo porozne, a efektivna propusnost im se kreće u rasponu od 1 do 50 mD. 23. prosinca 1969. godine, američka kompanija Phillips Petroleum javila je norveškoj vladi kako su otkrili naftu u norveškom dijelu Sjevernog Mora, odnosno u polju Ekofisk, nakon brojnih neuspjelih pokušaja (Prestidge, 2021). Zbog tog otkrića norveška je vlada 1972. godine osnovala kompaniju Statoil, danas poznatu kao Equinor, koja je u to vrijeme bila u stopostotnom vlasništvu norveške vlade. Nakon Ekofiska uslijedila su i otkrića brojnih drugih naftnih polja na norveškom kontinentalnom zaljevu, uključujući Statfjord, Gullfaks, Oseberg i Troll (Slika 4-1) (Equinor, n.d.a).



**Slika 4-1.** Naftna polja u Norveškoj (NORWEGIAN PETROLEUM DIRECTORATE, 2020)

Do 2007. godine, Statoil se proširio u Alžir, Angolu, Azerbajdžan, Brazil, Veliku Britaniju i Meksički zaljev. 2018. godine Statoil mijenja ime u Equinor. Do 2050. godine planiraju biti tzv. „net zero“ kompanija, tj. planiraju potpuno eliminirati emisije stakleničkih

plinova (Equinor, n.d.a). Sjedište Equinora nalazi se u Stavangeru i kompanija ima više od 20000 zaposlenika. Osim istraživanja i proizvodnje nafte i plina, bave se i proizvodnjom vjetroelektrana i solarne energije (Haouel et al., 2023).

#### 4.1.1. Digitalne tehnologije u Equinoru

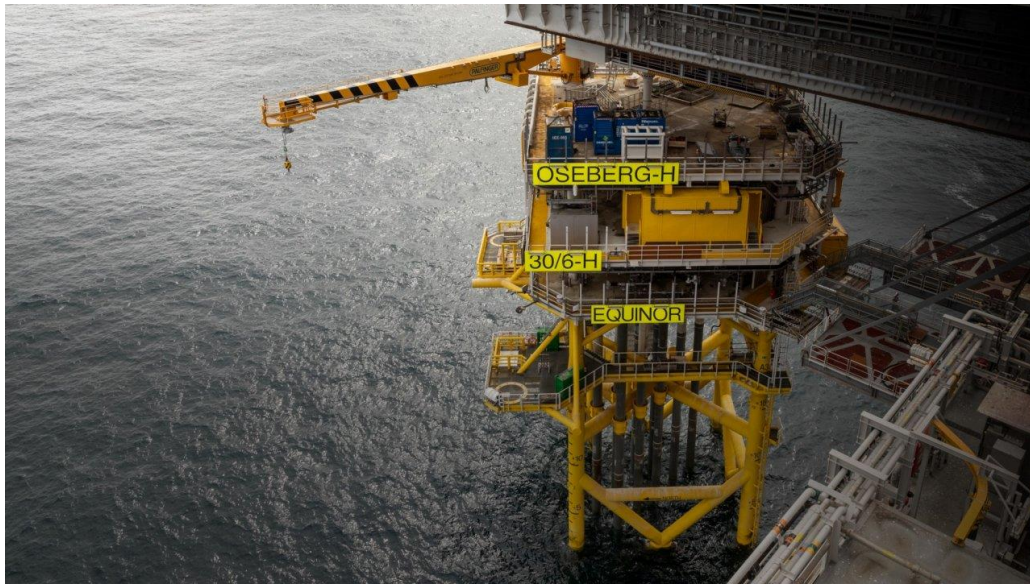
Equinor tvrdi da digitalizacija i tehnološke inovacije stvaraju put prema budućim zalihama energije i ostvarivanju nultih emisija. Equinor pod digitalizacijom prvenstveno podrazumijeva zamjenu fizičkih poslova digitalnim rješenjima, pojednostavljivanju raznih procesa, naprednu analizu podataka, robotizaciju i daljinsko upravljanje (Equinor, n.d.b). Equinor je 2017. godine osnovao vlastiti centar digitalne izvrsnosti u kojeg je uložio između 128 i 257 milijuna američkih dolara. Osim digitalnog centra izvrsnosti Equinor je osnovao i vlastitu digitalnu akademiju kako bi pripremio zaposlenike za digitalnu budućnost (Haouel et al., 2023).

**Tablica 4-1.** Primjena digitalizacije i tehnoloških inovacija kompanije Equinor (Prestidge, 2021)

Područje primjene	Uštede
Proizvodna polja	> \$4 milijardi USD
Automatizirano bušenje	~15 %
Integrirane operacije na daljinsko upravljanje	~\$500 milijuna USD
Povećani Cash Flow zbog digitalizacije	\$1 milijardi USD

#### 4.1.2. Proizvodnja na polju Oseberg Vestflanken 2

14. listopada 2018. godine, polje Oseberg Vestflanken 2 pušteno je u proizvodnju. Oseberg-H platforma prva je platforma na daljinsko upravljanje u Sjevernom moru (Slika 4-2). Upravlja se preko središnje jedinice koja se također nalazi u polju Oseberg. Zahtjeva samo dva posjeta godišnje radi održavanja. Projekt je stajao čak 20 % manje od projektirane cijene, a očekivani iscrpak iznosi oko 110 milijuna barela. Automatizirane platforme bez ljudske posade poput Oseberg-H platforme mogu povećati sigurnost radnika, smanjiti emisije stakleničkih plinova te općenito smanjiti troškove (Tablica 4-1). Nedostatak takvih automatiziranih platformi su potencijalni kibernetički napadi (Haouel et al., 2023).



**Slika 4-2.** Equinorova Oseberg-H platforma (Offshore Energy, 2018)

#### *4.1.3. Primjena robota i dronova*

Equinor je započeo projekt pod nazivom AIR (engl. *Autonomy, Interoperability and Robotics*) koji podrazumijeva korištenje robota i dronova u zraku, na kopnu i pod vodom (Slika 4-3). Korištenje dronova umjesto brodova i helikoptera ispunjava Equinorov cilj u smanjenju emisija CO<sub>2</sub>. Roboti i dronovi mogu češće obavljati inspekcije i davati obavijesti o stanju instalacija. Equinor testira robote za varenje, čišćenje, pjeskarenje, 3D skeniranje, detektiranje propuštanja cijevi i monitoring i kvantifikaciju fuge emisija. Procjenjuje se da će primjenom robota i dronova Equinor uštedjeti više od milijardu norveških kruna godišnje (Tablica 4-1). Roboti također služe za prikupljanje podataka i obavljanje rizičnih poslova, što znači da će manje radnika biti izloženo nepovoljnim situacijama (Equinor, n.d.c).

#### 4.1.3.1. *Podvodni dronovi*

Saipem Hydrone-R (Slika 4-3) aktivan je u Norveškom moru, na polju Njord, i može provesti i do 165 dana ispod vode na dubini od 330 metara. Pomaže pri praćenju operacija bušenja i proizvodnje te daje bitne informacije o potencijalnim opasnostima. Equinor planira nabaviti oko 10 podvodnih dronova do 2030. godine, koji bi služili za rad po cijelom norveškom kontinentalnom zaljevu (Equinor, n.d.c).



**Slika 4-3.** Equinorov Saipem Hydrone-R podvodni dron (Equinor, n.d.c)

#### 4.1.4. *Digitalni blizanci (Digital twins)*

Equinor koristi Echo, digitalni uređaj koji pomaže zaposlenicima i na terenu i u uredu pri navigiranju instalacija i pri pronalaženju dijelova opreme (Slika 4-4). Echo radi na osobnim računalima, pametnim telefonima, tabletima i Microsoftovom HoloLens-u. Trenutno sadrži podatke i 3D modele 53 kopnenih i odobalnih postrojenja.

Osim navigacije, Echo u kombinaciji s drugim digitalnim alatima daje i mogućnosti:

- Analiziranja i utvrđivanja tzv. „uskih grla“ u proizvodnom sustavu.
- Analiziranja hipotetskih scenarija, kako bi se pripremili za neočekivane događaje.
- Utvrđivanja uzroka i analiza kvara opreme.
- Korištenje komunikacijskih alata za veću učinkovitost na terenu (Equinor, n.d.d).



**Slika 4-4.** Equinor Echo uređaj (Equinor, n.d.d)

#### 4.1.5. 3D printanje

Tzv. 3D printanje, poznato kao i trodimenzionalni ispis, se ubrzo pretvara u nužnu tehnologiju u naftnoj i plinskoj industriji. Equinor već sada koristi 3D printanje kako bi riješili probleme lanca opskrbe, kako bi brže inovirali, povećali proizvodnju i smanjili troškove od naftnog polja do rafinerije.

3D printanje je općenito proces proizvodnje fizičkih objekata, kao što su mehanički dijelovi, tako što se u printer dodaje materijal sloj-po-sloj, na temelju postojećeg 3D modela. To također znači da se s pomoću 3D printanja mogu eliminirati kompleksni procesi proizvodnje. 3D printanje omogućuje i proizvodnju komponenata po potrebi i na licu mjesta, što eliminira potrebu za skladištenjem i transportom. Osim toga, većinu materijala moguće je koristiti za 3D printanje, a Equinor je do sada testirao titanij, 316L nehrđajući čelik, inconel 625 i 718, Super Duplex nehrđajući čelik te razne polimere i kompozitne materijale. Equinor sa svojim digitalnim inventarom (Slika 4-7) može kupiti i naručiti specifični dio iz bilo kojeg dijela svijeta.

Jedan primjer Equinorovog korištenja 3D printanja je za popravak ventilatora za hlađenje električnog motora u Tjeldbergodden, industrijskom objektu u općini Møre og Romsdal. Normalna procedura bila bi zamjena cijelog motora, za što bi bilo potrebno 4,4 tone emisija CO<sub>2</sub>, ubrajajući korištenje sirovih materijala i transporta na točnu lokaciju. Naručivanjem ventilatora s digitalnog inventara i printajući ga uz pomoć lokalnog dobavljača, emisije CO<sub>2</sub> bi se smanjile s 4,4 tone na samo 3,8 kg.

Drugi primjer je brod Johan Castberg koji se nalazi u Stordu, u zapadnoj Norveškoj (Slika 4-5). Kako bi spriječili odgađanje operacije, unajmljen je mobilni uređaj za 3D printanje i postavljen je u luci, nekoliko metara od trupa broda. Metalni prah koji se koristi u 3D printeru sačinjen je od 100 % recikliranog materijala (Equinor, n.d.e).



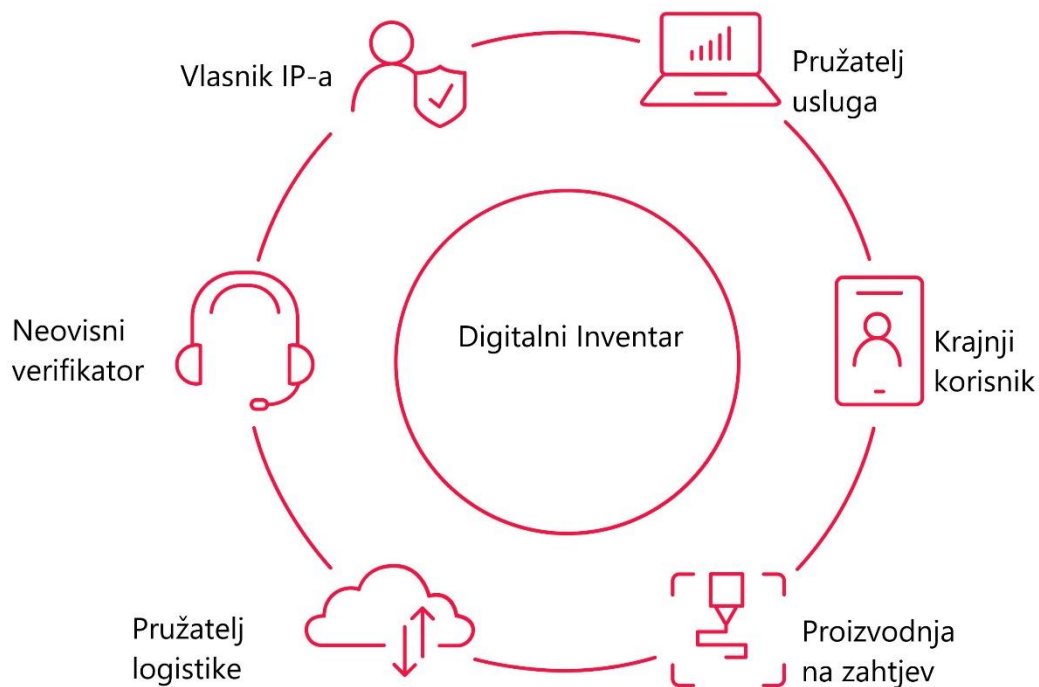
**Slika 4-5.** Privremeni pokretni uređaj za 3D printanje (Equinor, n.d.e)

Treći primjer, koji je ujedno i do sada najveći objekt proizveden 3D printanjem u naftnoj i plinskoj industriji, je prirubnica korištena na brodu na naftnome polju Norne (Slika 4-6). 3D printanje je smanjilo vrijeme operacije s 40 tjedana na 10 tjedana. Prirubnica je printana u Larviku, Norveškoj, promjera je tri metara i teži tri tone (Equinor, n.d.e).



**Slika 4-6.** Najveći objekt izrađen 3D printanjem u naftnoj industriji (Equinor, n.d.f)

Kako bi 3D printanje uopće bilo moguće, potrebne su lokacije na kojima je moguće proizvesti potrebne dijelove, kada dođe do njihove narudžbe. Equinor planira stvaranje novih centara u Hammerfestu, na Helgeland obali i u Bergenu. To će pridonijeti stvaranju novih poslova i novih vrijednosti (Slika 4-7) (Equinor, n.d.f).



**Slika 4-7.** Mreža digitalnih zaliha (Equinor, n.d.f)

#### 4.1.6. Umjetna inteligencija

Equinor je razvio uređaj pod nazivom Omnia.Prevent, koji uz pomoć raznih algoritama strojnog učenja, služi za predviđanje kvarova opreme. Samo 2022. godine Omnia.Prevent je pomogao pri pronalazanju više od 200 kvarova na opremi. Na taj način Equinor je uspeo ne samo uštedjeti milijune norveški kruna, nego i povećati sigurnost radnika.

Omnia.Prevent radi uz pomoć IoT (engl. *Internet of Things*) uređaja instaliranog na rotacijskoj opremi, primjerice turbini ili generatoru. IoT uređaj može osjetiti promjene u temperaturi i tlaku te prenijeti te podatke putem interneta ili neke druge mreže. Algoritmi su programirani tako da traže promjene u navedenim podacima. Primjerice, ako generator pri normalnim uvjetima rada ima temperaturu 75 °C i ako ta temperatura neočekivano poraste na 125 °C, model će primijetiti tu promjenu i obavijestiti djelatnike, koji će primijeniti odgovarajuće intervencije. Danas Omnia.Prevent analizira podatke s više od 18000 senzora koji se nalaze na više od 30 naftnih i plinskih kopnenih i odobalnih instalacija. Omnia.Prevent koristi više od 520 modela koje stvaraju milijune scenarija svaki dan (Equinor, n.d.g).



## 4.2. Primjer Saudi Aramco

Aramco ima svoje korijene još u 1933. godini, kada je nastao koncesijski ugovor između Saudijske Arabije i SOCAL-a (engl. *Standard Oil Company of California*). Uslijed tog ugovora, SOCAL je osnovao novu podružnicu pod nazivom CASOC (engl. *California Arabian Standard Oil Company*). 1938. godine započinje prva komercijalna proizvodnja nafte u Arapskoj pustinji. Krajem 1940-ih CASOC mijenja ime u ARAMCO (engl. *Arabian American Oil Company*) i postiže rekordne brojeve u proizvodnji sirove nafte. 1962. godine dostiže kumulativnu proizvodnju nafte od 5 milijardi barela. 1980. godine Saudijska vlada postaje vlasnikom 100 % Aramcovih dionica te je 1988. godine osnovan Saudi Aramco, kao nova kompanija koja preuzima sve odgovornosti originalnog Aramca. 1997. godine Aramco je razvio POWERS (engl. *Parallel Oil-Water-Gas-Reservoir Simulator*), simulator ležišta koji omogućuje modeliranje i predviđanje ponašanja ležišta. 2010. godine razvijen je i GigaPOWERS, a 2016. godine i TeraPOWERS, koji omogućava simulaciju ležišta s trilijun ćelija.

Slično poput i Equinora, Aramco se koristi robotikom, dronovima, umjetnom inteligencijom i 3D printanjem, kako bi povećali učinkovitost procesa, povećali održivost i smanjili izloženost zaposlenika rizicima. Primjerice na naftnom polju Khurais Aramco koristi tisuće senzora za promatranje i predviđanje ponašanja naftnog ležišta. Na taj način smanjili su potrošnju električne energije za 18 %, cijene održavanja za 30 % te su smanjili vrijeme nadgledanja za 40 %. 2023. Aramco osniva novu podružnicu, Aramco Digital, koja se bavi isključivo projektiranjem i stvaranjem digitalnih rješenja (Aramco, n.d.a).

### 4.2.1. Laboratorij SAIL i model umjetne inteligencije AramcoMETABRAIN

U studenom 2023. godine Aramco je pokrenuo SAIL (engl. *Saudi Accelerated Innovation Lab*). Nalazi se u gradu Dhrami, u zgradi Al-Midra Tower, gdje se ujedno nalazi i Aramcovo globalno sjedište kompanije.



**Slika 4-8.** Al-Midra Tower (Aramco, n.d.b)

SAIL je napravljen sa svrhom povezivanja Aramcove imovine, transformativnih tehnologija i mogućnosti s potrebama tržišta. SAIL cilja postati inovativna mreža istraživanja i razvoja koja će unaprijediti digitalnu ekonomiju (Aramco, n.d.b). Osim SAIL-a, Aramco je u ožujku 2024. predstavio AramcoMETABRAIN, najnoviji model umjetne inteligencije čiji je cilj primjena u industrijskom sektoru. AramcoMETABRAIN ima preko 250 milijardu podesivih parametara koji mogu generirati izlazne podatke ili stvarati prognoze. AramcoMETABRAIN se služi sa sedam trilijuna podatkovnih točaka, sakupljenih tijekom 90 godina postojanja Aramca. Može analizirati planove bušenja, geološke podatke, vrijeme bušenja, cijenu koštanja projekata i preporučiti najbolje rješenje za bušotinu. Osim za korištenje u „upstream-u“, planira ga se koristiti i u „downstream-u“, kako bi prognozirao

cijene naftnih derivata, dinamiku tržišta i geopolitičke prilike. Do kraja 2024. godine Aramco planira razviti verziju METABRAIN-a s trilijun podesivih parametara (Nadig, 2024).

### **4.3. Digitalna naftna polja i pametne bušotine**

#### *4.3.1. Digitalno naftno polje*

Digitalno polje može se opisati kao koncept koji obuhvaća ne samo prikupljanje i prijenos podataka s bušotina, nego i integraciju i analizu tih podataka. Za digitalna naftna polja vrlo je bitno automatizirati procese kako bi se eliminiralo potrebu za ljudskim radom. Na taj način stručnjaci su slobodni baviti se analitičkim poslovima koji pomažu pri optimiziranju proizvodnje. Glavna prepreka za digitalna naftna polja su same kompanije koje se opiru promjenama (Groden-Morrison, 2020).

#### *4.3.2. Pametne bušotine*

Glavne komponente pametne bušotine su paker, manometar za mjerenje tlaka i temperature i ICV (engl. *Interval Control Valve*), ventil koji služi za kontrolu pojedinih zona. Kod ovakvih bušotina operater može promatrati podatke u stvarnom vremenu i na temelju tih podataka podešavati ventile kako bi povećao konačan iscrpak. Elektronika koja se danas koristi u pametnim bušotinama je vrlo male veličine i može podnijeti temperature veće od 200 °C. Osim povećanja proizvodnje, pametne bušotine eliminiraju potrebu slanja ljudi na lokaciju bušotine, jer se mogu upravljati daljinski. Tehnologija pametnih bušotina danas se koristi u više od 1500 bušotina diljem svijeta. U početku su se pametne bušotine mogle koristiti za kontrolu samo četiri zone u ležištu, a danas se mogu koristiti i za više od 10 zona. Prva instalacija s 12 zona dovršena je 2023. godine na Bliskom istoku (Pallanich, 2023).



**Slika 4-9.** Prva pametna bušotina s 12 zona (Halliburton, 2023)

Za instalaciju pametne bušotine s 12 zona korišten je Halliburtonov tzv. SmartPlex Downhole Control System kako bi se maksimizirala proizvodnja bušotine. Bušotina je također opremljena optičkim vlaknima za što brži prijenos podataka do površine (Halliburton, 2023).

## **5. ZAKLJUČAK**

Digitalna transformacija naftne i plinske industrije, a samim time i proizvodnih sustava, je proces kojeg će sve naftne i plinske kompanije morati prihvatiti ukoliko žele opstati u današnjem svijetu četvrte industrijske revolucije.

Pravilna primjena digitalnih tehnologija uvelike pomaže naftnim i plinskim kompanijama ne samo u proizvodnji, nego i u cijelom „upstream-u“, „midstream-u“ i „downstream- u“. Od predvodnika digitalnih tehnologija u naftnoj i plinskoj industriji poput Equinora i Saudi Aramca može se naučiti kako dobro ulagati i pravilno primijeniti digitalne tehnologije. Ulaganjem u jedinstvena tehnološka rješenja i digitalnim obrazovanjem zaposlenika te kompanije nisu samo povećale profite, nego su i povećale sigurnost radnika na poslu, a uz sve to, cilj im je da budu sve više ekološki prihvatljivi. Upravo takvim razmišljanjem se naftna i plinska industrija može digitalno transformirati na optimalan način.

## 6. LITERATURA

- 1) ARAMCO, n.d.a Our history. URL: <https://www.aramco.com/en/about-us/our-history> (31.5.2024.)
- 2) ARAMCO, n.d.b. Digitalization. URL: <https://www.aramco.com/en/what-we-do/energy-innovation/digitalization> (31.5.2024.)
- 3) DENNIS, A. 2024. Digital Transformation of the Oil & Gas Industry. URL: <https://whatfix.com/blog/oil-gas-digital-transformation/> (24.4.2024.)
- 4) EQUINOR, n.d.a. Our History. URL: <https://www.equinor.com/about-us/our-history> (4.5.2024.)
- 5) EQUINOR, n.d.b. The digital energy company. URL: <https://www.equinor.com/energy/digitalisation> (9.5.2024.)
- 6) EQUINOR, n.d.c. Drones and robots in Equinor. URL: <https://www.equinor.com/energy/drones-and-robots> (16.5.2024.)
- 7) EQUINOR, n.d.d. Digital twins in Equinor. URL: <https://www.equinor.com/energy/digital-twin> (25.5.2024.)
- 8) EQUINOR, n.d.e. 3D printing and metal additive manufacturing. (AM) URL: <https://www.equinor.com/energy/3d-printing> (27.5.2024.)
- 9) EQUINOR, n.d.f. 3D printing – from science fiction to industrial reality. URL: <https://www.equinor.com/magazine/3d-printing> (27.5.2024.)
- 10) EQUINOR, n.d.g. Machine learning against the machine. URL: <https://www.equinor.com/energy/machine-learning> (28.5.2024.)
- 11) GRODEN-MORRISON, A. 2020. What Is A Digital Oil Field & How Does It Work? URL: <https://www.alphasoftware.com/blog/the-digital-oil-field-is-the-future-of-energy.-learn-all-about-it> (23.5.2024.)
- 12) HALLIBURTON, 2023. 12-zone intelligent completion installed with ZERO issues. URL: <https://www.halliburton.com/en/resources/first-twelve-zone-smartwell> (1.6.2024.)

- 13) HAOUEL, C., NEMESLAKI, A. 2023. Digital Transformation in Oil and Gas Industry: Opportunities and Challenges.  
URL: <https://doi.org/10.3311/PPso.20830> (27.6.2024.)
- 14) KIMACHIA, K. 2023. [What Is Digitization vs Digitalization vs Digital Transformation?](https://www.channelinsider.com/) URL: <https://www.channelinsider.com/> (22.4.2024.)
- 15) MITTAL, A., SLAUGHTER, A., BANSAL, V. 2022. [From bytes to barrels, The digital transformation in upstream oil and gas.](https://www.deloitte.com/) URL: <https://www.deloitte.com/> (1.5.2024.)
- 16) NADIG, S., 2024. [Saudi Aramco unveils industry's first generative AI model.](https://www.offshore-technology.com/) URL: <https://www.offshore-technology.com/> (27.6.2024.)
- 17) NORWEGIAN PETROLEUM DIRECTORATE, 2020. [Exploration trends on the NCS.](https://www.sodir.no/en/) URL: <https://www.sodir.no/en/> (4.5.2024.)
- 18) OFFSHORE ENERGY, 2018. Higher oil prices lift Equinor's 3Q profit. URL: <https://www.offshore-energy.biz/higher-oil-prices-lift-equinors-3q-profit/> (9.5.2024.)
- 19) PALLANICH, J. 2023. [The Future of Intelligent Wells? Even Smarter.](https://cdn.brandfolder.io/) URL: <https://cdn.brandfolder.io/> (17.5.2024.)
- 20) PRESTIDGE, K. 2021. Digital Transformation in the Oil and Gas Industry: Challenges and Potential Solutions. Diplomski rad. Boston: Massachusetts Institute of Technology
- 21) SLAUGHTER, A., MITTAL, A., BANSAL, V. 2021. [The new frontier, Bringing the digital revolution to midstream oil and gas.](https://www2.deloitte.com)  
URL: <https://www2.deloitte.com> (1.5.2024.)
- 22) STRATEGIC GEARS 2024. [Digital Transformation in the Oil & Gas Industry.](https://www.linkedin.com/)  
URL: <https://www.linkedin.com/> (24.6.2024.)

## IZJAVA

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

*Dorian Ištvanek* \_\_\_\_\_

Ime Prezime





KLASA: 602-01/24-01/38  
URBROJ: 251-70-12-24-2  
U Zagrebu, 27. 6. 2024.

Dorian Štefanek, student

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/24-01/38, URBROJ: 251-70-12-24-1 od 26.02.2024. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### MOGUĆNOST PRIMJENE DIGITALNE TEHNOLOGIJE U PROIZVODNIM SUSTAVIMA NAFTE I PLINA

Za mentoricu ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Doc. dr. sc. Sonja Koščak Kolin nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentorica

(potpis)

Doc. dr. sc. Sonja Koščak Kolin

(titula, ime i prezime)

Predsjednica povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Karolina  
Novak Mavar

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)