Bušaće šipke izrađene od kompozitnih materijala

Goluža, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:742948

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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



Repository / Repozitorij:

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







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Preddiplomski studij naftnog rudarstva

BUŠAĆE ŠIPKE IZRAĐENE OD KOMPOZITNIH MATERIJALA

Završni rad

Karlo Goluža

N4237

Zagreb 2020.

Sveučilište u Zagrebu Završni rad

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

BUŠAĆE ŠIPKE IZRAĐENE OD KOMPOZITNIH MATERIJALA

KARLO GOLUŽA

Završni rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Bušaće, teške bušaće i teške šipke uz dlijeto čine osnovni dio niza bušaćih alatki prilikom izrade bušotine. Osim standardnih čeličnih bušaćih šipki u novije vrijeme se sve više pojavljuju šipke izrađene od drugih materijala kao što su kompoziti, aluminij ili titan, ali njihova primjena u naftnoj industriji je još uvijek mala. Stoga je osnovni zadatak ovog završnog rada istaknuti prednosti i nedostatke bušaćih šipki izrađenih od kompozitnih materijala te istaknuti situacije i uvjete kada ih je poželjno koristiti.

Ključne riječi: bušaće šipke, kompozitni materijali

Završni rad sadrži: 29 stranica, 12 slika, 4 tablice, 17 referenci

Jezik izvornika: Hrvatski

Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Borivoje Pašić, docent RGNF-a

Ocjenjivači: 1. Dr. sc. Borivoje Pašić, docent RGNF-a (mentor)

2. Dr. sc. Zdenko Krištafor, redoviti profesor RGNF-a

3. Dr. sc. Nediljka Gaurina-Međimurec, redovita profesorica RGNF-a

Datum obrane: 28.9. 2020., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

SADRŽAJ

POPIS SLIKA…….I

POPIS TABLICA…….....……...……...II

POPIS KORIŠTENIH KRATICA.....III

1. **UVOD** 3

2. **KOMPOZITNI MATERIJALI** 4

2.1.**Razvoj kompozitnih materijala** 4

2.1.1. Matrica 5

2.1.2. Ojačalo 6

2.2. **Podjela kompozita** 6

2.2.1. Kompoziti s česticama 8

2.2.2. Kompoziti s vlaknima 9

2.2.3. Hibridni kompoziti 10

2.3. **Prednosti kompozitnih materijala** 10

2.4. **Nedostaci kompozita** 11

2.5. **Kompozitni materijali u naftnoj industriji** 12

3. **BUŠAĆE ŠIPKE** 13

3.1. **Niz bušaćeg alata** 13

3.2. **Kompozitne bušaće šipke** 15

3.2.1. Test usporedbe kompozitnih i čeličnih bušačih šipki 19

3.2.2. Proces proizvodnje CDP-a 23

3.2.3. Prednosti CDP-a 23

3.2.4. Nedostatci CDP-a 26

4. **ZAKLJUČAK** 27

5. **LITERATURA** 28

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Primjer tradicionalnog kompozitnog materijala.....5
Slika 2-2. Zadaće ili uloge matrice.....6
Slika 2-3. Izgled kompozita s obzirom na njihovu podjelu.....9
Slika 3-1. Bušaće šipke.....14
Slika 3-2. Prikaz niza bušaćih alatki za izradu bušotine.....15
Slika 3-3. Priprema kompozitnih bušaćih šipki za spuštanje u bušotinu 17
Slika 3-4. Fleksibilnost kompozitne bušaće šipke.....18
Slika 3-5. Ostvarena vlačna sila za dvije vrste bušaćih šipki.....20
Slika 3-6. Ostvareni zakretni moment za dvije vrste bušaćih šipki.....20
Slika 3-7. Presjek bušaće šipke od kompozitnog materijala.....22
Slika 3-8. Moguće modifikacije CDP-a.....25
Slika 3-9. Usporedba moguće primjene kompozitnih i čeličnih šipki u praksi.....26

POPIS TABLICA

Tablica 2-1. Upotreba svojstava kompozita prema materijalu matrice.....7
Tablica 2-2. Podjela kompozita po ojačalu.....8
Tablica 3-1. Usporedba svojstava bušaćih šipki izrađenih od kompozitnih materijala.....23
Tablica 3-2. Prednosti CDP-a.....24

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH SI JEDINICA

γ_{pipe}- specifična težina bušaće šipke, N/m^3

γ_{mud}- specifična težina isplake, N/m^3

V_{pipe}- volumen bušaće šipke, m^3

α- kut otklona (stupnjevi);

μ- koeficijent trenja

F- vlačna sila, N

T- zakretni moment, Nm

d_{pipe}- vanjski promjer bušaće šipke (m)

POPIS KRATICA

MMC (engl. *Metal Matrix Composites*) - Kompoziti s metalnom matricom

PMC (engl. *Polimer Matrix Composites*) - Kompoziti s polimernom matricom

CMC (engl. *Ceramic Matrix Composites*) - Kompoziti s keramičkom matricom

API (engl. *American Petroleum Institute*)- Američki naftni institut

NIST ATP (engl. *Nist Advanced Technology Program*) - Napredni tehnološki programi

CDP (engl. *Composite Drill Pipe*) - Kompozitne bušaće šipke

MWD (engl. *Measuring While Drilling*) - Mjerenje tijekom bušenja

1. UVOD

Kompozitni materijali u svojoj osnovi sastoje se od dva elementa, odnosno ojačala i matrice. Ova dva gradivna elementa međusobno su povezani i na taj način čine višeslojni materijal. Svaki od tih elemenata ima svoju funkciju. Ojačala su osnovni nosivi element kompozitnog materijala, te osnovno svojstvo vezano uz njih je čvrstoća. Matrica ima karakteristiku povezivanja slojeva ojačala (Marić, 2011).

Matrica osim povezivanja vlakana ili čestica obavlja još nekoliko funkcija u cjelokupnoj građi kompozitnog materijala odnosno prenosi opterećenje na vlakno, daje vanjsku formu kompozitu, te određuje njegovo ponašanje s obzirom na vanjske uvjete. U današnje doba ojačala se tvore najčešće od sljedećih tvari: ugljika, stakla, aramida i različitih metala.

Matrice se pojavljuju u obliku polimera (duromeri i plastomeri), kao ugljične, metalne (engl. *Metal Matrix Composites*- MMC) ili keramičke (Marić, 2011). Uobičajena konfiguracija vlakana je dugi oblik, no na tržištu se u zadnje vrijeme pojavljuje i kratki oblik vlakana. Najčešće se tada spominju visker vlakna (igličasti kristal), čija je glavna karakteristika izrazito velika čvrstoća.

Najsuvremeniji oblik kompozitnih materijala jesu nanomaterijali ugljičnog podrijetla, kod kojih su dvodimenzionalne ravnine savijene u obliku cijevi. One ovisno o potrebi mogu biti sa jednom ili više stijenki, a krasi ih iznimna elastičnost .

Osim toga nanomaterijali još uvijek predstavljaju određenu novinu, te su kao takvi ograničeni proizvodnom količinom, a posljedica toga osim nedostatne količine je i skupoća. Stoga nanomaterijali predstavljaju budućnost proizvodnje kompozita, te su kao takvi predmet brojnih istraživanja. U praksi primjena nanomaterijala nije još zaživjela u većoj mjeri.

Kada se govori o bušaćem alatu, bušaća dlijeta su najvažniji element niza bušaćih alatki, jer o njihovoj efikasnosti (mehaničkoj brzini bušenja koju mogu ostvariti) i trajnosti ovise svi tehnološko-ekonomski parametri bušenja. To se prvenstveno odnosi na broj operacija spuštanja i izvlačenja alatki, što neposredno utječe na vrijeme potrebno za zamjenu dlijeta i skraćuje vrijeme „čistog“ bušenja. Cijeli niz bušaćeg alata može se izrađivati od različitih materijala, ovisno o njegovoj primjeni. Primjerice, bušaće šipke izrađuju se u većini slučajeva od čelika, ali se sve češće koriste i bušaće šipke izrađene od aluminijskih legura, titanovih legura i, u najnovije vrijeme, od kompozitnih materijala. U ovom radu biti će opisani kompozitni materijali, njihova svojstva i podjela te primjena u naftnoj industriji, prije svega za izradu bušaćih šipki.

2. KOMPOZITNI MATERIJALI

Suvremena tehnologija u bilo kojem području zahtjeva određene vrste materijala koji će biti izdržljivi, lagani, koji će ubrzati procese rada, te ono najvažnije smanjiti troškove projekata. Sve te predispozicije nisu se mogle objedinjeno naći unutar tradicionalnih materijala poput legura, polimera ili keramičkih materijala. Kao najčešći primjer industrije u kojoj se koriste novi materijali, objedinjeni pod nazivom kompozitni materijali u stručnoj literaturi najčešće se navodi avio industrija. Zbog specifičnosti avio industrije, zbog potreba tržišta za većim skladišnim prostorom unutar aviona, odnosno avionima koji dosežu već brzinu bilo je potrebno pronaći materijal kojega će odlikovati velika krutost i čvrstoća, a s druge strane izuzetno mala gustoća. Kao odgovor na takve potrebe javljaju se kompozitni materijali. Takvi materijali sastoje se od nekoliko slojeva, najčešće dva ili tri sloja različitog materijala.

2.1. Razvoj kompozitnih materijala

Proizvodnja modernih kompozitnih materijala počela se primjenjivati tek u suvremenome dobu. Napretkom znanosti, razvojem tehnologije i IT sektora čovjek, ali i civilizacija dolazi do novih znanja, ali se stvaraju i nove potrebe. Prvi kompozitni materijali koje je čovjek sam proizveo bili su napravljeni od smjese koja je u kompoziciji s materijalima davala veću čvrstoću. Jedan od najstarijih kompozitnih materijala koji je u primjeni i danas je armirani beton. Kombinacijom ova dva materijala, uzimaju se prednosti jednoga i drugoga te se stvara novi poboljšani materijal. Beton ima zadovoljavajuću gustoću i čvrstoću, a kada ga se kombinira s željezom dobiva potrebnu elastičnost.

Na ovome primjeru vrlo jednostavno se vidi bit i svrha kompozitnoga materijala. Svaki materijal zasebno ima svoje prednosti i mane, kombinacijom dva ili više materijala nastoje se nadmašiti pojedinačne mane i stvoriti novi „superproizvod“. Slika 2-1. prikazuje tradicionalni kompozitni materijal beton i željezo. Beton je matrica, a pletivo ojačalo.



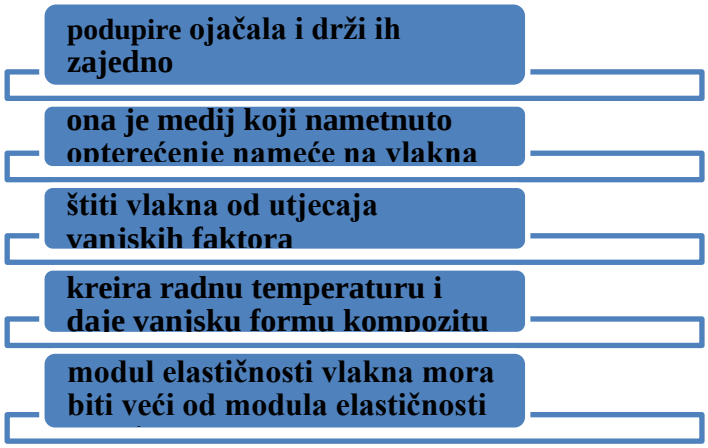
Slika 2-1. Primjer tradicionalnog kompozita (https://hr.emtutodesign.com)

Suvremeni kompozitni materijali kakve danas struka poznaje nastaju tijekom 60-tih godina prošloga stoljeća pojavom borovih vlakana. Odlika borovih vlakana je izuzetno velika gustoća i tvrdoća. S druge strane taj prvotni suvremeni kompozit bio je izuzetno veliki zagađivač, te je sam proces proizvodnje bio relativno neisplativ. Daljnji razvoj tekao je u smjeru pronalaska manje zagađujućih, jeftinijih materijala koji imaju odlike jednostavnije izrade i mogućnosti ponovne upotrebe.

Kompozitni materijal kao proizvod predstavlja ujedinjenje dva ili više osnovnih materijala s ciljem nastanka novoga materijala kojega će krasiti bolja i jača svojstva, manja cijena nabave ili izrade, manja cijena transporta. Sukladno navedenome može se reći da je za nastanak kompozitnog materijala visoke razine isplativosti potrebno vrijeme i tim stručnjaka različitog profila.

2.1.1. Matrica

Matrica predstavlja osnovni materijal na koji se potom nadograđuju ojačala sa svrhom dizanja razine jednoga ili više svojstava materijala. Zadaća matrice prikazane su na slici 2-2.



Slika 2-2. Zadaće ili uloge matrice (Smojver i Alfirević, 2003)

Matrica se kreira iz različitih materijala. Na tržištu ipak najčešće se pojavljuju matrice izrađene od polimera, metala i keramike. Najviše se koriste epoksi smole, no zbog relativne skupoće često se pojavljuje zamjenski materijal u vidu poliestera.

2.1.2. Ojačalo

Ojačalo kao sastavni dio kompozita preuzima opterećenje te služi kao nosivi element u strukturi. Također povećavaju čvrstoću te smanjuju trošenje samog materijala. Ona mogu biti u obliku vlakana, čestica te sendvič konstrukcije (strukturni laminati).

2.2. Podjela kompozita

Osnovna podjela kompozita obuhvaća kategorizaciju prema matrici ili ojačalu. Ako se govori o podjeli kompozita prema materijalu od kojega je izrađena matrica u praksi se susreću slijedeći kompoziti (Marić, 2011):

- **metalna matrica** (MMC): odlikuju se iznimnim mehaničkim karakteristikama. Za matrice struka koristi izrazito lake materijale poput aluminija ili njegovih legura, legure titanskoga podrijetla, magnezij i slično. Osiguravaju visoku temperaturnu izloženost, čak do 700 stupnjeva Celzijusa. No takvi rezultati praćeni su izrazito kompliciranim načinom izrade i vrlo visokom cijenom;

- **polimerna matrica** - (engl. *Polimer Matrix Composites - PMC*): kod izrade polimerne matrice koriste se duromeri i plastomeri. Obje solucije imaju svoje prednosti i nedostatke. Najveći problem plastomera je nemogućnost topljenja. Stoga se teško recikliraju kao i duromeri. Recikliranje plastomera i duromera se odvija isključivo usitnjavanjem materijala na granulat, a stvoreni granulat nema mogućnost odvajanja vlakana i matrice. Duromeri su po svojim karakteristikama značajno bolji izbor: relativno niska cijena, niska proizvodna temperatura i mala viskoznost;
- **keramička matrica**- (engl. *Ceramic Matrix Composites - CMC*): ove matrice otporne su na oksidacijske procese i svojstva im ne slabe sa povećanjem temperature. Najveća mana im je što imaju izrazito nisku lomnu žilavost. Ovaj problem nastoji se riješiti ugradnjom vlakana ili čestica keramičkih vlakana koje odlikuje visoka razina lomne žilavosti. Postupci pomoću kojih se proizvode jesu postupak vrućega prešanja, vrućeg izostatičkoga prešanja i sintetiziranjem tekuće faze.

Osim podjele po vrsti matrice, kompozite se dijeli prema vrsti ojačala. Tablica 2.-1 prikazuje usporedbu svojstava kompozita materijala matrice.

Tablica 2-1. Svojstva matrica koja se koriste za izradu kompozitnih materijala (Marić, 2011)

Svojstvo	**Metali**	**Polimeri**	**Keramike**
Gustoća	2-16 g/cm^3	1-2 g/cm^3	2-17 g/cm^3
Talište	200-3500 ^{o}C	70-200 ^{o}C	2000-4000 ^{o}C
Električna provodljivost	Visoka	Vrlo niska	Vrlo niska
Tvrdoća	Srednja	Niska	Visoka
Vlačna čvrstoća	100-2500 MPa	30-300 MPa	

U tablici 2-2. prikazane su vrste ojačala te moguće verzije kompozita s obzirom na vrstu ojačala.

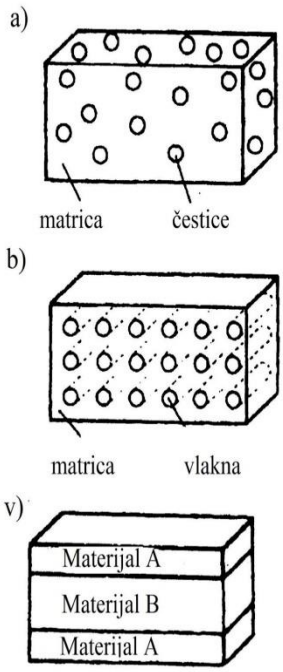
Tablica 2-2. Podjela kompozita po ojačalu (Marić, 2011.)

Vrsta ojačala	**Kompoziti**
Vlakna	Kontinuirana vlakna Diskontnuirana vlakna Kompoziti u obliku tkanine (pleter)
Čestice	Velike čestice Disperzivno ojačani
Strukturirani kompoziti	Sendvič konstrukcije Laminati

Svaki kompozit može nastati spajanjem različitih kompozicija materijala i ojačala. Ovisno o vrsti ojačala i matrice stvaraju se kompoziti različiti karakteristika i uporabnih funkcija. Unazad 10 do 15 godina na tržištu se pojavljuje još jedna vrsta kompozita, a to su ugljični kompoziti. S obzirom na matricu koja je izrađena od ugljika ovaj tip kompozita može dugotrajno izdržati izuzetno visoke temperature oko 1700 °C, a kratkotrajno do 2700 °C.

2.2.1. Kompoziti s česticama

Karakteristika kompozita s česticama je da se sastoje od matrice s česticama različitog oblika, ali približno istih dimenzija u svim pravcima. Njihov izgled, kao i izgled kompozita s vlaknima te laminata vidljiv je na slici 2-3. Ukoliko su čestice ravnomjerno raspoređene takvi kompoziti su izotropni. Najpoznatiji kompoziti iz ove grupe su kermeti koji predstavljaju mješavinu keramičkih materijala i metala.



Slika 2-3. Izgled kompozita s obzirom na njihovu podjelu (https://ironlady003.wordpress.com/2014/05/12/kompozitni-materijali/)

Ovisno o njihovoj primjeni, kompoziti se izrađuju kombinacijom različitih materijala koja im daju i različita svojstva.

2.2.2. Kompoziti s vlaknima

Kod mekanih i duktilnih matrica postoji problem s čvrstoćom. Kako bi se taj problem riješio matrice se ojačavaju vlaknima. Vlakna su značajnije kruća i čvršća u odnosu na matricu. Kombinacijom ova dva elementa poboljšava se čvrstoća, elastičnost, žilavost i krutost krajnjega kompozitnoga materijala. Spona vlakna i matrice izuzetno je važna s obzirom na činjenicu da je matrica zadužena za prenošenje opterećenja na vlakno. Stoga matrica ima zadatak povezati vlakna te na njih prenijeti opterećenje, a vlakno podnosi opterećenje, osigurava čvrstoću i krutost te električnu vodljivost ili izolaciju ovisno o njihovoj namjeni.

Kompoziti koji su ojačani vlaknima spadaju u kategoriju anizotropnih kompozita. To znači da su im svojstva mnogo bolja u smjeru vlakana. Oni sadrže različita vlakna koji potom imaju različite duljine, oblike i orijentacije.

Vlakna koja se najčešće koriste su ugljična, metalna, aramidna, staklena te poliesterska.

Brojne su vrste vlakana, te je njihova zastupljenost u primjeni zbilja različita. U industriji se najviše koriste staklena, metalna i aramidna vlakna. Razlozi zašto se baš ova vlakna najviše primjenjuju jesu brojni, a kao najbitnije ističe se: visoka razina mehaničkih svojstava, visoka razina fizikalnih svojstava, široka primjena te niža cijena proizvodnje.

Ugljična vlakna također u novije doba imaju relativno široku primjenu. Sudjeluju kao ojačalo u brojnim novim kompozitnim materijalima. Specifičnost ugljika leži u najvećem modulu elastičnosti i najvećoj čvrstoći. Svoje karakteristike zadržavaju i pri izuzetno visokim temperaturama, no tada zahtijevaju anaerobne uvjete, odnosno na njihova svojstva štetno djeluju procesi oksidacije.

Pri normalnim temperaturama su gotovo neuništivi. Odnosno njihova fizikalna svojstva ne mijenjaju utjecaji iz okoline: vlaga, otapala ili kiseline. Procesi njihove proizvodnje su relativno jeftini i jednostavni, te je i krajnji proizvod stoga lako dostupan.

2.2.3. Hibridni kompoziti

Hibridni ili strukturni kompoziti su oni koji su sastavljeni u slojeve ili popularno zvane „sendviče“. Sastavljeni su od materijala koji osim što su kompozitni moraju biti i homogeni.

Razlika između hibridni kompozita i drugih je u tome što njihova svojstva ne ovise samo o konstitutivnim elementima nego ovise i o načinu na koji su ti elementi složeni. Pojavljuju se u dva osnovna oblika: slojeviti ili laminat oblik i sendvič oblik. Laminatne konstrukcije građene su isključivo od laminata (laminatna kompozitna ploča) i smole, a sendvič konstrukcija načinjena je od jezgre koja je smještena između dva tanka sloja laminata. Međusobnim povezivanjem postaju jedna cjelina.

2.3. Prednosti kompozitnih materijala

Primjena kompozita u industriji; zrakoplovnoj, naftnoj, proizvodnoj, građevinskoj i drugim industrijama svoje početke ima od 60-tih godina prošloga stoljeća. Uz specifičnosti svake industrije ponaosob, zajednički razlog je racionaliziranje troškova poslovanja i olakšavanje proizvodnih

procesa, te poboljšanje kvalitete fizikalnih svojstava ulaznih materijala i sirovina. Kod gotovo svih djelatnosti, upotreba kompozitnih materijala donijela je benefite u optimalizaciji procesa poslovanja i smanjenju troškova. Jasno je da se radi o relativno mladoj znanstvenoj disciplini, koja je u stalnom razvoju i čiji se najveći stupanj iskoristivosti tek očekuje.

Razvoj materijala, potencijalni problemi i premošćivanje istih teklo je paralelno s razvojem upotrebe kompozita u praksi. Danas gotovo da nema industrije u kojoj se kompoziti ne koriste. Najveća upotreba kompozita je ipak u avio, građevinskoj i naftnoj industriji. Prednosti kompozita su sljedeće (Hossain, 2011):

- otporni su na većinu vanjskih faktora u normalnim uvjetima (tipa korozija, oksidacije);
- relativno laki materijali;
- mogućnost kreiranja novih materijala s točno određenim svojstvima;
- proces obrade značajno je kraći (u odnosu na primjer na metale);
- relativno su laki za oblikovanje;
- mogućnost izrade odvojenih dijelova u proizvodnji, koji se poslije spajaju u kompleksnije elemente;
- mehanička svojstva su ista ili bolja od do tada najčešće upotrebljavanih metala;
- visoka izdržljivost materijala.

Karakteristika kompozita jesu različita fizikalna i mehanička svojstva koja djeluju u različitim smjerovima. Sukladno tome prilično su složeniji od materijala tradicionalne primjene: čelik, aluminij, željezo, itd. Metali pod silom pucaju, dok kompozit zahvaljujući prilagođenim svojstvima izdržava silu opterećenja koristeći svojstvo elastičnost.

2.4. Nedostaci kompozita

Nedostaci koji su vezani za kompozite prvenstveno se odnose na skupoću proizvodnje jer još uvijek su to relativno novi materijali. Sama vlakna s obzirom na podrijetlo pretežito su skuplja od svojih matičnih materijala. Kao primjer može biti metalno vlakno koje je značajno skuplje od samoga metala. Proizvodnja kompozita predstavlja izuzetno zahtjevan posao, što proizvodno, što financijski. Na primjer proizvodnja određenih kompozita može potrajati i do 9 mjeseci.

Popravak kompozita gotovo je nemoguć. Ukoliko oštećenje nastane ispod površine, vrlo je štetno za taj materijal, a gotovo ga je nemoguće uočiti. S druge strane oštećenja koja nastaju na površini kompozita vidljiva su golim okom, a za njih se najveći problem pokazala vlaga. Vlaga

kada jednom dođe na površinu kompozita, najčešće prodire i u njegove druge slojeve (Hossain, 2011).

Kada se takav kompozit i popravi, nikada se ustvari ne može sanirati potpuna šteta. Testiranja su pokazala da po popravljanju takav kompozit ima puno slabija svojstva od prvotnoga. Stoga kao najveća zapreka upotrebi kompozita nameće se izrazito nerazvijena tehnologija njegovog popravka.

2.5. Kompozitni materijali u naftnoj industriji

Kompozitni materijali javnosti su najčešće poznati kao materijal od kojega se proizvodi avion, no to nije jedina njihova primjena. Unazad 30 do 40 godina stručnjaci iz naftne industrije prepoznali su prednosti kompozita i uklopili ih u vlastitu industriju. Uz određenje modifikacije i prilagođavanje vlastitim potrebama naftna industrija putem upotrebe kompozita osigurala si je smanjenje troškova proizvodnje nafte i plina (Wang, 2006). Primjena kompozita unutar naftne industrije prvotno je započela u SAD-u na bušotinama unutar Meksičkoga zaljeva. Potreba za novim tehnologijama naravno je financijske prirode. Naftnoj industriji cilj je primijeniti tehnologiju koja će istovremeno smanjiti troškove kod ulaganja te povećati prihode u proizvodnji.

U Sjedinjenim američkim državama dogodila se situacija u kojoj su zbog neisplativosti i nemogućnosti eksploatacije mnoge rezerve plina i nafte ostale neiscrpljene. Stoga su mnoge kompanije pokrenule vlastita istraživanja putem kojih su nastojale doći do nisko budžetnih rješenja i metoda kako bi eksploatirali naftu na poljima gdje je to do sada bilo nemoguće.

Kompozitni materijali identificirani su i prepoznati od strane stručnjaka iz naftne industrije kao materijali budućnosti. Centar za inženjering i primjenu kompozita proveo je veliku studiju koja se provodila na naftnim bušotinama u Meksičkome zaljevu, a čija je svrha bila utvrditi potencijal primjene kompozitnih materijala u naftnoj industriji. Glavni kriterij prihvatljivosti je smanjenje operativnih troškova poslovanja.

Studija između ostalog promatra potencijalne prednosti korištenja bušaćeg alata izrađenog od kompozitnih materijala, a to su (Wang, 1996):

- smanjenje težine ukoliko bi došlo do zamjene čelika kao postojećeg materijala s kompozitnim;
- dulje vrijeme upotrebe pri istim uvjetima korištenja;
- otpornost na koroziju;

- mala toplinska vodljivost;
- velika čvrstoća;
- veća otpornost na zamor materijala.

Sama analiza prvenstveno proučava primjenu takve opreme na platformama s nategom u nogama (engl. *Tension-leg platform*), koja se koristi za bušenje i proizvodnju u dubokim vodama kao što je Meksički zaljev gdje se istraživanje i provodilo. Utvrđeno je da korištenje kompozitnih materijala za izradu raznih dijelova alata koji se koristi na ovakvim platformama donosi brojne uštede. Samim time, mnoge naftne kompanije prepoznale su prednosti korištenja komponenti izrađenih od kompozitnih materijala te počele sa njihovom primjenom.

3. BUŠAĆE ŠIPKE

U sastavu bušaćeg niza za izradu bušotine u pravilu prevladavaju bušaće šipke. One služe za prijenos rotacije na dlijeto i transport bušaćeg fluida od površine do dna bušotine (Matanović, 2007). One se prema API standardu najčešće izrađuju od čelika kvalitete E75, X95, G105 i S135. U zadnjih 30 godina započinje primjena kompozitnih materijala za izradu bušaćih šipki. Takvi materijali donose određene prednosti i nove mogućnosti, međutim njihova cijena još uvijek predstavlja problem. Budući da bušaće šipke čine najvećio dio niza bušaćeg alata, faktor cijene nikako se ne može zanemariti.

3.1. Niz bušaćeg alata

Niz bušaćih alatki najvećim dijelom sačinjavaju bušaće šipke. To su cijevi manje debljine stijenki s obzirom na ostatak bušaćeg alata. Duljina pojedine cijevi ovisi o klasi prema API

standardu, ali su najčešće prosječne duljine 9,14 m (30 ft). Na svakoj strani cijevi urezuje se navojni spoj. Kraj cijevi na kojem je navoj izrađen iznutra zove se ženskim dijelom spojnice, a kraj na kojem je izrađen vanjski navoj zove se muški dio spojnice.

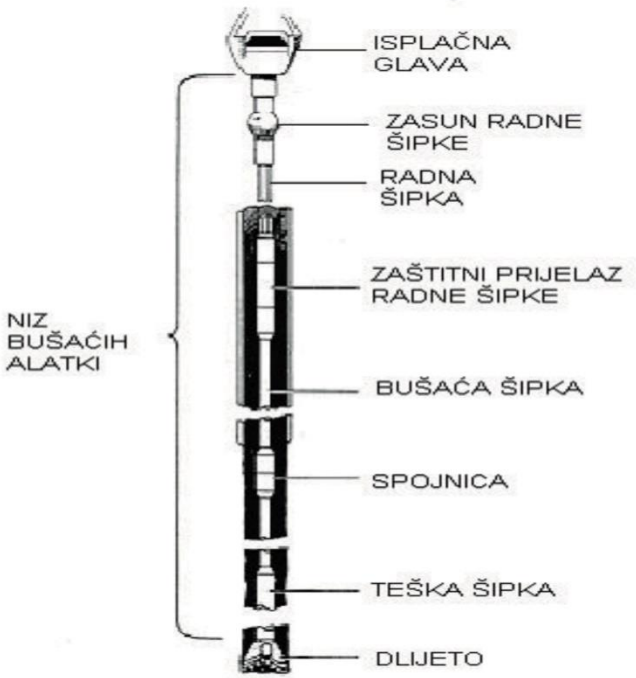
Pri međusobnom spajanju cijevi muški navojni spoj postavlja se unutar ženskog i navrće klještima, potrebnim momentom dotezanja. Dijelovi cijevi s izrađenim navojnim spojevima zovu se spojnice, a obično se izrađuju zasebno od tijela cijevi i nakon toga na njega zavaruju. Teške šipke su također čelične, ali s puno debljim stijenkama. Primjenjuju se u donjem dijelu niza za ostvarivanje opterećenja na dlijeto. I one su najčešće duljine 9,14 m (30 ft), a navojni spojevi izrađuju se kod njih na samom tijelu same cijevi (Matanović, 2007). Na slici 3-1 prikazane su bušaće šipke koje se nalaze na odlagalištu bušaćeg postrojenja.



Slika 3-1. Bušaće šipke (https://en.wikipedia.org/wiki/Drill_pipe#/media/File:Drill_pipe.jpg)

Ako se općenito promatraju bušaće šipke, one u praksi predstavljaju najteži dio bušaćeg niza i ostvaruju veliko opterećenje na samo bušaće postrojenje. Do zadnjih deset godina pravile su se gotovo uvijek od čelika. Unazad deset godina brojna istraživanja idu ka tome da će se upotrebom kompozita značajno smanjiti njihova težina, a samim tim i cjelokupna težina niza bušaćih alatki. Samo postavljanje bušaće opreme od kompozita u startu nije pretjerano jeftinije od korištenja čeličnih konstrukcija, no tokom cijelog procesa izrade bušotine brojni su benefiti njihovog korištenja.

Na slici 3-2 prikazan je niz bušaćeg alata od isplačne glave do dlijeta koje se nalazi na dnu kanala bušotine.



Slika 3-2. Prikaz niza bušaćih alatki za izradu bušotine (Matanović, 2007).

To je zbilja velika ušteda na težini bušaće opreme. Međutim, stručnjaci ipak ne predviđaju skoro širenje takve opreme u upotrebi. Postavlja se pitanje gdje je onda najrealnija upotreba kompozita za proizvodnju bušaćih šipki.

3.2. Kompozitne bušaće šipke

Oznaka CDP (engl. *Composite drill pipe*) u praksi predstavlja bušaće šipke izrađene od kompozitnih materijala, na način da se samo tijelo šipke izrađuje od kompozita, a međusobni spojevi šipki od metala. Kao što je ranije navedeno, njihova osnovna prednost u odnosu na standardne čelične šipke je manja masa. Samim time, manja masa znači da će se stvarati manji

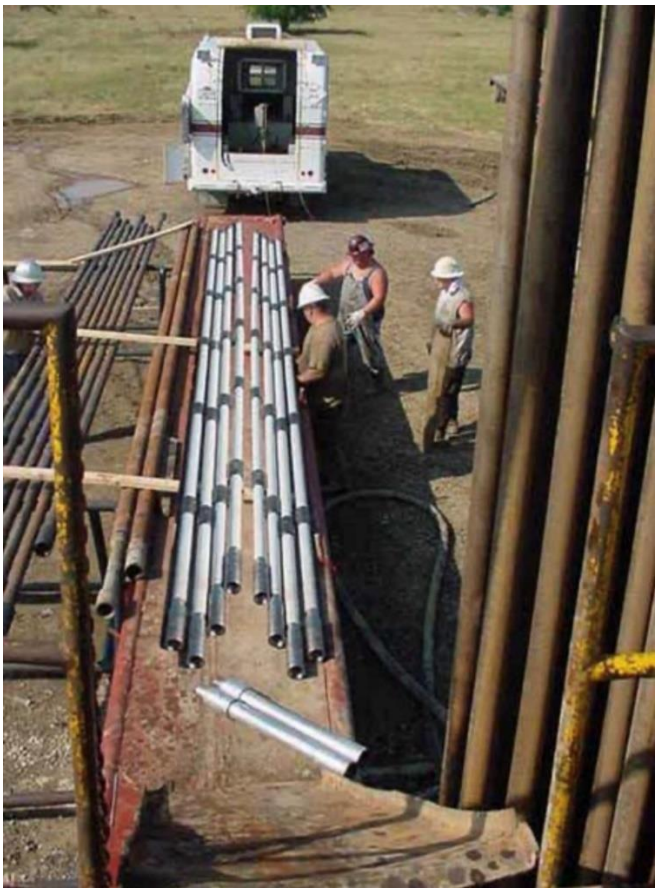
zakretni moment i opterećenje tijekom bušenja. To omogućava izradu dubljih i duljih bušotina, s naglaskom na izradu horizontalnih bušotina posebno onih velikog dosega. Budući da je na odobalnim postrojenjima nosivost jedan od glavnih faktora koji utječe na dubinu bušotine koja se s određenim postrojenjem može postići, manja masa bušaćih šipki i u tom smislu predstavlja određenu prednost.

Kao ograničavajući faktor kod primjene čeličnih bušaćih šipki za duboko i ultra duboko bušenje istaknut je omjer čvrstoće i težine bušaće šipke (Smith, 2001). Prema tome, kompozitni materijal koji daje bolji takav omjer omogućiti će izradu još dubljih bušotina. Kompozitne bušaće šipke nominalnog promjera 139,7 mm (5,5 in) imat će bolji takav omjer za 62,4% do 101% u odnosu na standarnu čeličnu šipku istog promjera (Leslie et al., 2001b).

Mogućnosti koje pružaju kompozitne bušaće šipke su (Leslie et al., 2001b):

- produljenje postojećih bušotina te bušenje u dubokim morima uz ista ili bolja mehanička svojstva u odnosu na čelične šipke;
- smanjenje mase za 40% do 50%;
- smanjeni prijenos topline kroz stijenke cijevi;
- prijenos energije i podataka sa površine do dna bušotine u realnom vremenu za uspješno mjerenje tijekom bušenja.

Slika 3-3 prikazuje pripremu kompozitnih bušačih šipki na bušaćem postrojenju za spuštanje u bušotinu.



Slika 3-3. Priprema kompozitnih bušaćih šipki za spuštanje u bušotinu (http://www.acpt.com/Resources/Documents/American-OG-Reporter7.pdf)

Potreba za pronalaskom bušaćih šipki koje će se moći primijeniti u terenskim uvjetima, a neće uzrokovati prevelika dodatna financijska ulaganja okrenula je smjer istraživanja u naftnoj industriji prema kompozitima. Budući da su kompoziti, za razliku od metala, sami po sebi anizotropni odnosno njihova svojstva se razlikuju u različitim smjerovima, bušaće šipke od kompozita mogu se izrađivati tako da udovolje specifičnim uvjetima opterećenja.

Prepoznavši sve prednosti kompozitnih materijala, nekoliko naftnih kompaniju udružilo se sa proizvođačima bušaćih alatki kako bi kreirali NIST ATP (engl. *Nist Advanced Technology Program*) program za razvoj kompozitnih bušaćih šipki. Takav program osigurava financijsku podršku i smanjenje rizika pri razvoju novih tehnologija. Iako je program kompanija za razvoj CDP-a bio jedan od favorita za dobivanje financijske potpore 1995. godine, zbog neočekivanih problema on je napušten i nikada nije dovršen (Lou et al., 1998).

Prema Lou i suradnicima (1998.) primjenom kompozitnih bušaćih šipki horizontalni dijelovi kanala bušotine mogu se vrlo jednostavno produljiti za 40% u odnosu na one koji su izrađeni sa

standardnim čeličnim šipkama. Na taj način može se postići duljina horizontalnog kanala od 10 km ili čak i više. Upotreba bušaćih šipki od kompozitnih materijala također omogućava re-entry horizontalne bušotine malog polumjera zakrivljenja, što za standardne čelične bušaće šipke predstavlja problem. Osim toga, brži prijenos podataka koji se ostvaruje primjenom kompozitnih šipki do opreme na dnu bušotine, za mjerenje tijekom bušenja (engl. Measuring While Drilling-MWD), omogućava bušaču da usmjeri dlijeto u željenom smjeru. Time se postiže željeni kut otklona kanala bušotine te se otklanjaju mogući problem, kao što je npr. zaglava alata. U bušotinama sa velikim kutom otklona javlja se i problem zamora materijala zbog stalnog izvijanja. Taj problem uspješno je riješen upravo primjenom kompozitnih šipki u zakrivljenom dijelu kanala bušotine, budući da one imaju veliku fleksibilnost koja je prikazana na slici 3-4. te se mogu upotrijebiti više puta u istu svrhu. To također predstavlja jedan od načina uštede koji omogućuje ovakav materijal.



Slika 3-4. Fleksibilnost kompozitne bušaće šipke (https://www.osti.gov/servlets/purl/1034754)

Među brojnim bušaćim šipkama koje koriste bušaće šipke posebno se istaknula ona tvrtke Lincoln Composites, koja izrađuje bušaće šipke duljine 9 metara. Ova bušaća šipka ima relativno veliku fleksibilnost, a dostupna je u različitim varijantama, s promjerom od 60,325 mm do 73,025 mm. Njihove bušaće šipke izrađene su u kombinaciji ugljičnih i staklenih vlakana s epoksi smolom.

Budući da je pronalazak novih ležišta nafte i plina sve teži, naftne kompanije ulažu sredstva u razvoj novih tehnologija kao što su bušaći alati od kompozitnih materijala. Oni bi trebali omogućiti iskorištavanje ležišta izbušenih u ranom 20. stoljeću koja su zbog nedovoljno razvijene tehnologije ostala neiskorištena. Jedan od primjera takvih ležišta nalazi se u Tulsi, saveznoj državi Oklahomi u Sjedinjenim Američkim Državama (Covatch i Heard, 2005). Ondje su kompozitne bušaće šipke korištene za skretanje bušotine koja je prestala proizvoditi 1923. godine. Na dubini od 366 m

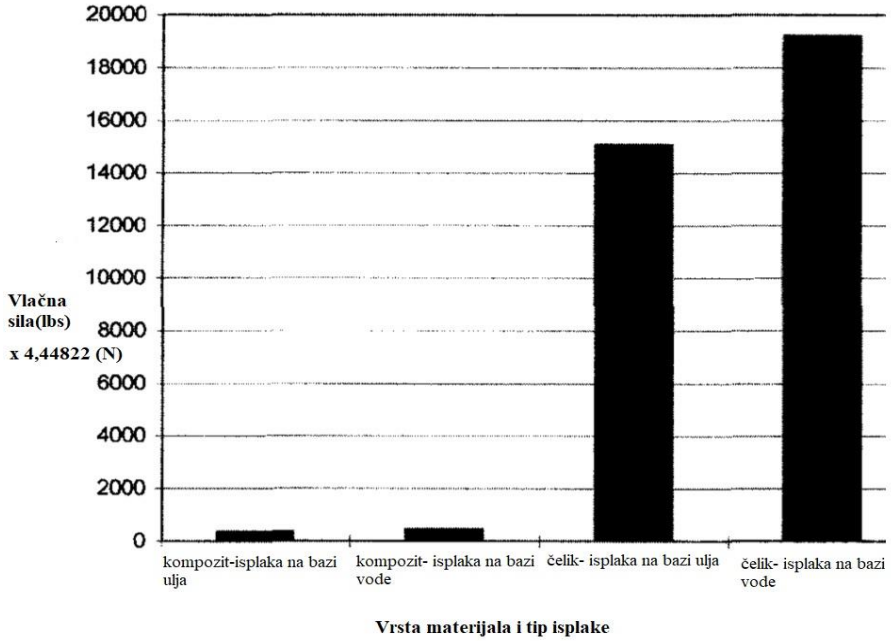
započeto je skretanje kanala sa radijusom zakrivljenosti od 21,3 metara. Nakon zakrivljenog dijela izbušeno je još 305 metara horizontalnog kanala. U otklonjenom dijelu kanala korišteno je 5 do 9 kompozitnih bušaćih šipki koje su bez problema izvršile svoju zadaću.

Još jedan takav test provela je kompanija JB Drilling (Covatch i Herald, 2005) također u Oklahomi za izradu nove usmjerene plinske bušotine s radijusom zakrivljenosti od 18,3 metara na dubini od 432 metra. Usprkos izlaganju raznim opterećenjima u periodu od tjedan dana, nije bilo nikakvih znakova mogućeg zamora materijala.

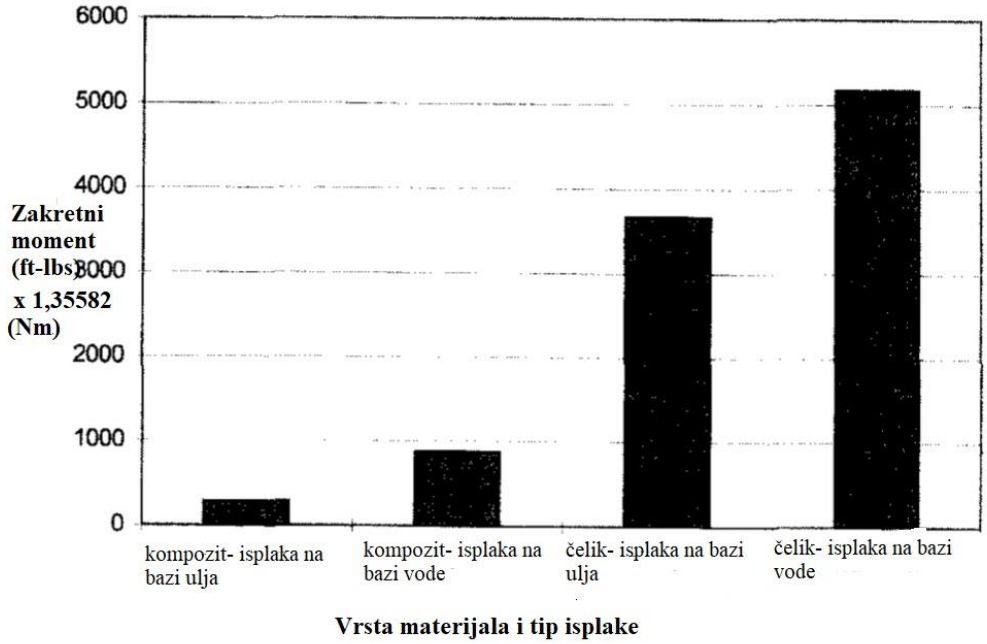
Prije primjene kompozitnih materijala za izradu bušaće opreme, značajna ležišta nafte i plina bila su nedostupna za eksploataciju. Stoga su ovakve bušaće šipke donijele mnogo financijskih i ekonomskih koristi. Ukoliko se ovakvi projekti pokažu trajno uspješni to bi moglo stvoriti nove mogućnosti za naftnu industriju. Mogućnosti mnogih postrojenja upotrebom ovakvih bušaćih šipki značajno bi se mogle povećati. U takvim situacijama došlo bi do produženja korištenja eksploatacijskoga polja jer bi se mogla pridobivati nafta ili zemni plin iz dijelova ležišta koja su do tada bila nedostupna.

3.2.1. Test usporedbe kompozitnih i čeličnih bušaćih šipki

Navedenim testom utvrđena je razlika u ostvarenom opterećenju te zakretnom momentu između čeličnih i kompozitnih bušaćih šipki (Hareland et al., 1998). Ispitivanja su provedena na bušaćim šipkama promjera 13,97 cm te duljine 12,80 m, u horizontalnim bušotinama s isplakom gustoće 1670 kg/m^3. Pri tome su korištene dvije vrste isplake, na bazi vode i na bazi ulja. Provedenim testom utvrđeno je da su primjenom bušaćih šipki od kompozitnih materijala ostvarena višestruko manja aksijalna opterećenja, kao i zakretni moment. Osim toga uočena je prednost korištenja isplake na bazi ulja u odnosu na onu sa vodom. Navedeno je vidljivo na slikama 3-5. i 3-6.



Slika 3-5. Ostvarena vlačna sila za dva niza sastavljena od bušaćih šipki izrađenih od različitih materijala (Hareland et al., 1998)



Slika 3-6. Ostvareni zakretni moment za dva niza sastavljena od bušaćih šipki izrađenih od različitih materijala (Hareland et al.,1998)

Ukoliko se želi izračunati silu i moment može se poslužiti formulama (Hareland et al., 1998):

-za vlačnu silu $F=(\gamma_{pipe}-\gamma_{mud})V_{pipe}\cos(\alpha)\mu$ (3-1)

Pri tome su: F- vlačna sila (N);

γ_{pipe}- specifična težina bušaće šipke (N/m^3);

γ_{mud}- specifična težina isplake (N/m^3);

V_{pipe}- volumen bušaće šipke (m^3)

α- kut otklona kanala bušotine (stupnjevi);

μ- koeficijent trenja .

-za zakretni moment $T=0,5xd_{pipe}(\gamma_{pipe}-\gamma_{mud})V_{pipe}\cos(\alpha)\mu$ (3-2)

Pri tome su: T- zakretni moment (Nm)

d_{pipe}- vanjski promjer bušaće šipke (m)

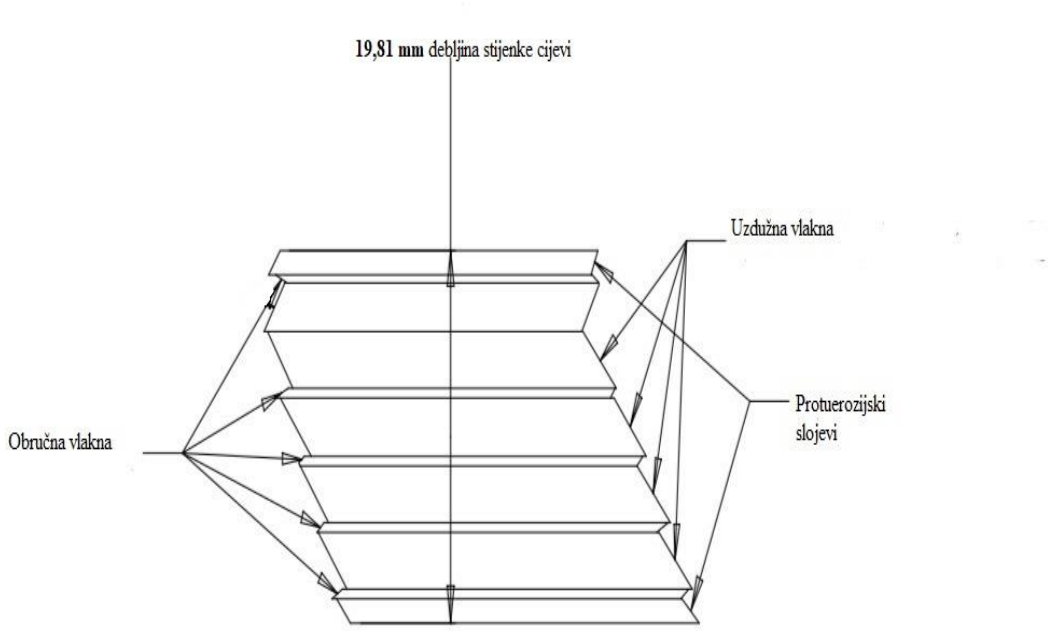
Iz navedenih formula vidljivo je da će manja razlika između specifične težine bušaće šipke i isplake rezultirati manjim opterećenjem i momentom što je vidljivo na prethodno prikazanim slikama. Budući da je specifična težina kompozitne bušaće šipke manja nego kod čelične, ona će ostvarivati manju silu i moment.

Za proračun se mogu uzeti čelične bušaće šipke vanjskog promjera 88,9 mm (3,5 in) i nominalne mase 20,76 kg/m, te kompozitne bušaće šipke proizvođača Advanced Composite Products & Technology čiji je nominalni vanjski promjer 85,725 mm (3,375 in) i nominalna jedinična masa 3,59 kg/m. Iako su bušaće šipke vrlo sličnih promjera može se vidjeti da se njihova jedinična nominalna masa uvelike razlikuje, a posljedično tome i specifična težina. Budući da su ostvarena sila i moment prema formulama proporcionalni razlici specifične težine bušaće šipke i isplake, lako se može zaključiti da će upotreba čeličnih bušaćih šipki rezultirati većom silom natega upravo zbog spomenute razlike u jediničnoj specifičnoj težini.

Jedno od testiranja CDP-a provela je i kompanija Amoco (Lou i Lundberg, 1997). Za izradu bušotine korišteno je 152 m teških šipki promjera 158,75 mm, 260 m čeličnih bušaćih šipki promjera 114,3 mm iznad 3 pasa kompozitnih bušaćih šipki jednakog promjera te još 271 m standardnih čeličnih šipki ispod kompozitnih. Na dnu niza korišteno je dlijeto promjera 215,9 mm

(8,5 in). Vertikalni dio kanala izbušen je do 259 m dubine. Nakon toga započelo se sa otklonom kanala, skretanjem po 6 stupnjeva na svakih 30,5 metara. Kada se dosegla duljina od 406 m, započeto je novo skretanje kanala sa 10 do 12 stupnjeva na svakih 30,5 m do duljine od 598 m, a zatim horizontalno do projektirane dubine kanala bušotine. Bušaće šipke od kompozitnih materijala korištene su u dijelu kanala sa najvećim otklonom i pokazale su se odličnima pri brzini rotacije od 70 okr/min i opterećenjem na dlijeto do 130 kN.

Na slici 3-7. prikazan je presjek stijenke jedne bušaće šipke od kompozitnog materijala te slojevi unutar nje.



Slika 3-7. Presjek stijenke bušače šipke od kompozitnog materijala (Leslie et al., 2001b)

3.2.2. Proces proizvodnje CDP-a

CDP se sastoji od cijevi koja je napravljena od kompozitnoga materijala te od spojnica koje se izrađuju od metala (čelika). Kao primjer cijevi od kompozitnoga materijala koja se najčešće koristi, to su CDP izrađene od grafitnih vlakana u kombinaciji sa epoksi smolom. Takav materijal ovija se oko čelične konstrukcije u obliku osovine (kalup) i na visokoj temperaturi se učvršćuje, odnosno povezuje. Nakon toga čelična konstrukcija se uklanja i šalje na recikliranje kako bi se mogla ponovno upotrijebiti. Očvrsnuti kompozitni dio se potom još strojno obrađuje. Dorađivanje se odvija prvenstveno u smjeru zaštite. Površinski sloj se također premazuje različitim premazima za zaštitu od trošenja materijala. Posljednji dio, koji se provodi na terenu, gotovo uvijek podrazumijeva postavljanje elastomernih „centralizera“ na odgovarajuća mjesta na bušaćoj šipki. Jedan od najvećih problema prilikom izrade CDP-a predstavlja spajanje kompozitne cijevi sa metalnom spojnicom. Taj dio procesa proizvodnje još uvijek nije u potpunosti jedinstven i različite varijante su dostupne s obzirom na proizvođača. U tablici 3-1. prikazane su moguće varijante kompozitne bušaće šipke te preporučeni uvjeti rada s obzirom na tlak, temperaturu i opterećenja koja se susreću prilikom izrade bušotine.

Tablica 3-1. Usporedba svojstava različitih bušaćih šipki izrađenih od kompozitnih materijala (Leslie et al., 2002)

Dozvoljenje vrijednosti za :	CDP **149,23 mm** (5,875 in)	CDP **139,7 mm** (5,5 in)	CDP **85,725 mm** (3,375 in)
Unutarnji tlak (bar)	818,75	758,42	137,9
Vanjski tlak (bar)	310,26	448,16	137,9
Temperatura (^oC)	176,67	176,67	176,67

3.2.3. Prednosti CDP-a

Brojne su prednosti korištenja CDP-a koje su poznate struci. Do nedavno relativno nerazvijena i javnosti nepoznata tehnologija počinje se koristiti u raznim industrijama. Struka je prepoznala prednosti CDP-a krajem prošloga tisućljeća, no ipak je bilo potrebno određeno vrijeme kako bi se

provela istraživanja i na terenu opravdale pretpostavke. Danas se kompozitne bušaće šipke primjenjuju u određenim uvjetima prilikom izrade bušotine, kao kada je potrebno izraditi bušotinu malog polumjera zakrivljenja. Međutim kao prepreka primjeni kompozitnih materijala još uvijek ostaje njihova cijena. Sasvim je jasno da je općenito primjena kompozita u naftnoj industriji u uzlaznoj putanji te da još uvijek nije zaživjela u punim mogućnostima.

Jedna od najvećih prednosti primjene kompozita, a posljedično i CDP-a jeste izuzetno manja težina u odnosu na do tada isključivo primjene čelika za izradu bušaćih alatki. Kombinacijom male mase kompozita, sa drugom čeličnom opremom stručnjaci su kreirali bušaću opremu koja ima produljeni doseg, te primjene u izradi ultra dugih kanala bušotine. Neke od prednosti kompozitnih bušaćih šipki navedene su u tablici 3-2.

Tablica 3-2. Prednosti CDP-a (Covatch i Heard, 2005)

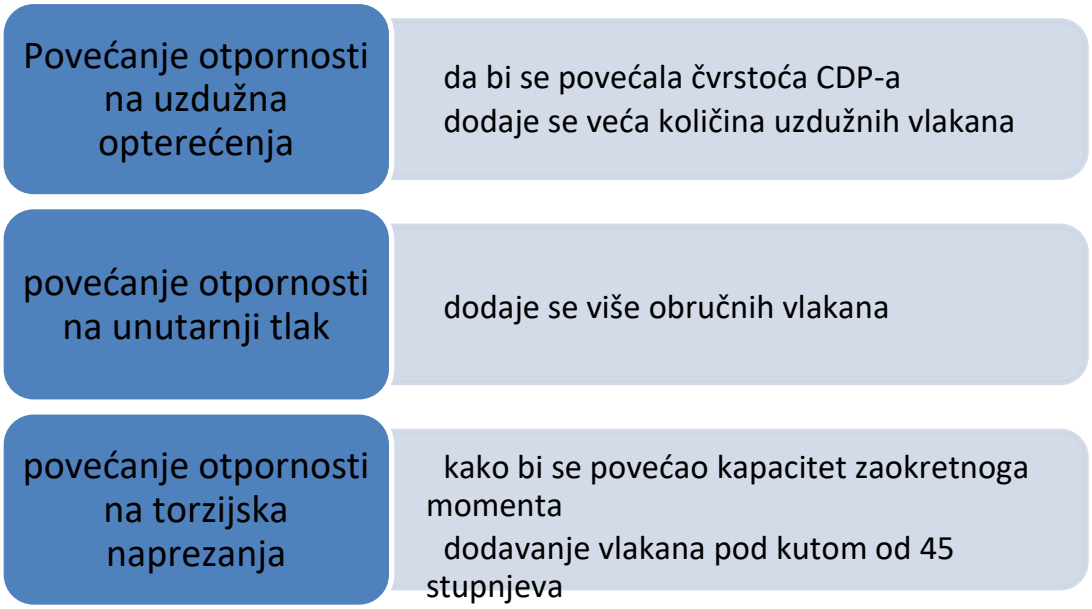
Prednosti CDP-a
Omogućava izradu bušotina manjeg promjera
Omogućava bušenje na područjima koja su do tada bila nepristupačna
Ekonomska isplativost (smanjenje troškova, povećanje prihoda)
Omogućava izradu bušotina manjeg polumjera zakrivljenja

Zbog znatno manje težine bušaće šipke od kompozitnih materijala također olakšavaju njihov transport i skladištenje. Osim toga manevriranje s takvom opremom na bušaćem postrojenju mnogo je jednostavnije.

Iz tablice 3-3 vidljivo je da primjena ovakve bušaće opreme pruža nove mogućnosti pri izradi bušotina i dosezanju dosad nepristupačnih ležišta, kao i u povećanju isplativosti projekata.

Velika prednost CDP-a u odnosu na standardne čelične šipke je i činjenica da se one prilikom izrade mogu vrlo jednostavno prilagoditi uvjetima i lokaciji na kojoj će biti korištene. Sva bušaća

oprema koja je napravljena od kompozitnih materijala vrlo lako se može modificirati, a moguće prilagodbe prikazane su na slici 3-8.

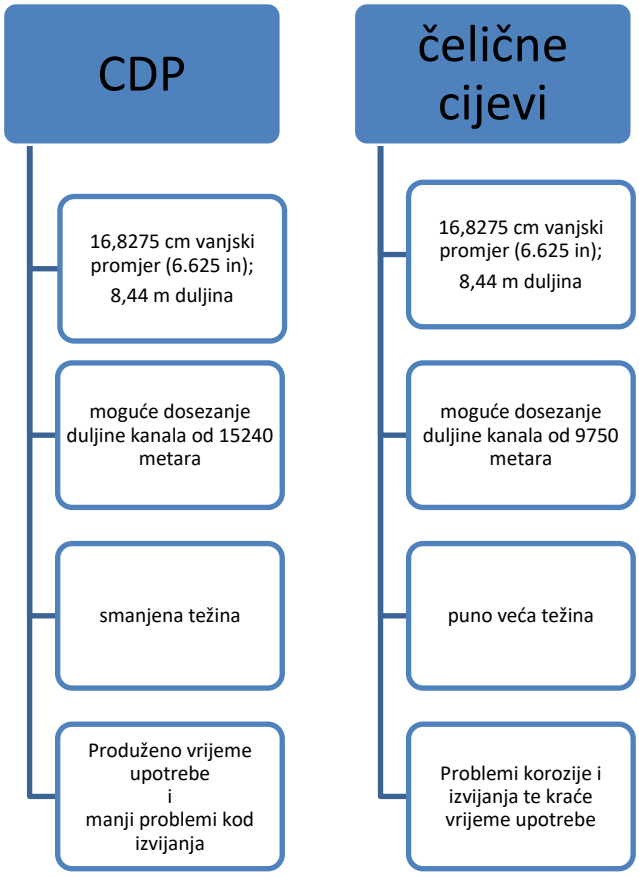


Slika 3-8. Moguće modifikacije CDP-a (Covatch i Heard, 2005)

Svi spojevi koji se montiraju na CDP-e napravljeni su od različitih metala, ponajviše nemagnetskih i nehrđajućih metala, zbog toga ovakve bušaće cijevi mogu biti korištene u uvjetima visokog sadržaja H2S ili CO2.

U stručnoj literaturi najčešće se vrši usporedba između alatki izrađenih od kompozitnih materijala i onih izrađenih od čelika. Ako se proučavaju čelične bušaće cijevi one imaju veću čvrstoću i veću masu u odnosu na one izrađene od kompozitnih materijala. Stoga se kod dizajniranja CDP-a nastoji povećati čvrstoća dodavanjem uzdužnih vlakana.

Na slici 3-9. prikazane su brojne prednosti kompozitnih bušaćih cijevi u odnosu na konvencionalne za istu dimenziju cijevi.



Slika 3-9. Usporedba moguće primjene kompozitnih i čeličnih šipki u praksi (http://www.acpt.com/Resources/Documents/American-OG-Reporter7.pdf)

3.2.4. Nedostatci CDP-a

Glavni problem vezan uz kompozitne bušaće šipke je naravno njihova cijena. Budući da se radi o relativno novoj tehnologiji čije se mogućnosti još uvijek ispituju to je i očekivano. Prema Leslie (2002.) njihova cijena je u prosjeku 3 do 5 puta veća u odnosu na standardne bušaće šipke izrađene od čelika kvalitete S-135. Taj problem trebao bi se u budućnosti riješiti širokom komercionalnom proizvodnjom te povećanjem konkurencije na tržištu, budući da relativno mali broj kompanija za sada proizvodi bušaće šipke od kompozitnih materijala.

Jedan od problema također je nemogućnost popravka oštećenja ispod površine te osjetljivost na vlagu. Jednom kada se takva bušaća šipka ošteti gotovo ju je nemoguće potpuno sanirati kako bi imala svojstva kao i prije oštećenja.

Kako bi se ispitala otpornost CDP-a na temperature i različite uvjete vlage provedeni su testovi za utvrđivanje mehaničke povezanosti između matrice i vlakana (engl. *Short Beam Shear - SBS*) testovi (Leslie et al., 2002). U tim testovima bušaće šipke izložene su temperaturama do 175 ^{o}C, u uvjetima s vlagom i bez nje. Osim toga provedeni su testovi simulacijom ležišnih uvjeta tlaka i temperature, sa isplakom na bazi ulja i na bazi vode. Pokazalo se da u uvjetima povećane vlage i visoke temperature dolazi do slabljenja mehaničkih svojstava kompozitnih materijala, primarno zbog hidrolize smole. Kako bi se taj problem riješio kao matrica kompozitnog materijala može se koristiti neki temperaturno otporniji materijal, međutim to opet znači povećanje cijene konačnog proizvoda.

Jedan od najvećih izazova koje treba riješiti je prijenos energije i podataka kroz metalne spojnice CDP-a. Neki od predloženih pristupa koji se testiraju podrazumijevaju primjenu zvučnih valova te prijenos indukcijom (Leslie et al., 2002).

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu izložena je problematika odabira materijala za izradu bušaćih šipki koje se koriste prilikom izrade bušotina za crpljenje nafte i plina. Za izradu kanala bušotine i ispiranje koristi se niz bušaćih alatki. Ovisno o odabranoj tehnologiji bušenja, osnovni elementi mogu biti bušaće šipke, teške šipke, prijelazni komadi i dlijeto. Cijevne alatke koje se koriste pri bušenju (prvenstveno bušaće šipke) mogu biti izrađeni od različitih materijala. Na primjer, bušaće šipke su uglavnom izrađene od čelika, ali se bušaće šipke od aluminijskih legura i titanovih legura, u posljednje vrijeme, sve više koriste.

Iz gornjih materijala može se zaključiti da su uvjeti rada u kojima se nalazi alat za bušenje ekstremni. Drugim riječima, alat mora izdržati što je moguće više radnih sati kako bi cijeli postupak bušenja u potrazi za naftom i plinom bio isplativiji. Dlijeta za bušenje stijena moraju imati veću tvrdoću od tvrdoće stijene, dok sama šipka to nema.

Iz priloženog je jasno da jedna vrsta materijala ne može udovoljiti svim zahtjevima, pa su i materijali za izradu dlijeta i bušaće šipke različiti. Budući da su kompozini materijali još uvijek određena novina najveća prepreka za njihovu široku upotrebu je visoka cijena. Očekuje se da će daljnjim razvojem bušaćih šipki od kompozitnih materijala te smanjenjem njihove cijene zaživjeti njihova široka primjena. U svakom slučaju CDP predstavlja budućnost naftne industrije uzimajući u obzir sve prednosti koje donosi.

5. LITERATURA

1. COVATCH, G. L., HEARD, J.: Composite Drill pipe perfect fit for short-radius drilling, National Energy Technology Laboratory's Strategic Center for Natural Gas & Oil, 2005.,
2. HOSSAIN, M. E.: The Current And future trends of composite materials: an experimental study, Journal of composite materials 45(20) 2133-2144; 2011.
3. LESLIE, J. C., HEARD, J. T., TRUONG, L.: Advanced composite products and technology inc, Amsterdam 2001a.,
4. WANG, S. S.: Assesment of the economic benefits of using composite materials for ofshore development and operations, University of Houston, 2006.
5. ALEX Y. LOU, WALLACE W. SOUDER: Composite Drill Pipe for Oil and Gas E & P Operations; Beijing 1998.
6. LESLIE, J.C., JEAN, J., TRUONG, L., NEUBERT, H. : Cost Effective Composite Drill Pipe: Increased ERD, Lower Cost Deepwater Drilling and Real-Time LWD/MWD Communication; Amsterdam 2001b.
7. HARELAND, G., LYONS, W.C., BALDWIN, D.D., BRIGGS, G.M., BRATLI, R.K. : Extended-Reach Composite-Materials Drill Pipe; Socorro 1998.
8. ALEX Y. LOU, LUNDBERG, C. : Composite Drill Pipe For Extended Reach Horizontal Drilling; Houston 1997.
9. MATANOVIĆ, D; Tehnika Izrade Bušotina; Rudarsko-eološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu; Zagreb 2007.
10. SMOJVER, I., ALFIREVIĆ, I. : On Numerical Prediction of Damage in Laminated Composite Shells Subjected to Low Velocity Impact; Osijek 2003.
11. MARIĆ, G. : Polimeri i kompoziti; Nastavni materijali; Fakultet strojarstva i brodogradnje; Zagreb 2011.
12. LESLIE, J.C., WILLIAMSON, S., LONG, R., JEAN, J., TRUONG, L., NEUBERT, H., LESLIE, J. : Composite Drill Pipe for Extended-Reach and Deep Water Applications; Houston 2002.

13. SMITH, J.E., CHANDLER, R.B., BOSTER, P.L. : Titanium Drill Pipe for Ultra-Deep and Deep Directional Drilling; Amsterdam 2001.

Internetski izvori:

1. https://netl.doe.gov/node/3675 (15.4.)
2. https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-48888-MS (15.4.)
3. https://www.osti.gov/servlets/purl/1034754 (15.4.)
4. https://hr.emtudodesign.com/reinforced-concrete-3592 (15.4.)
5. https://www.researchgate.net/publication/294145697_Filament_wound_composite_drill_pipe_New_capabilities_for_oil_and_gas_drilling_operations (29.4.)
6. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359836818342902 (29.4.)
7. https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-67764-MS (18.5.)
8. https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-37646-PA (18.5.)
9. https://www.onepetro.org/conference-paper/OTC-8434-MS (18.5.)
10. https://www.intechopen.com/books/composite-and-nanocomposite-materials-from-knowledge-to-industrial-applications/introduction-to-composite-materials (13.6.)
11. http://www.acpt.com/Resources/Documents/American-OG-Reporter7.pdf (16.9.)
12. https://en.wikipedia.org/wiki/Drill_pipe#/media/File:Drill_pipe.jpg (16.9.)
13. https://ironlady003.wordpress.com/2014/05/12/kompozitni-materijali/ (16.9.)

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj završni rad pod naslovom „Bušaće šipke izrađene od kompozitnih materijala“ izradio samostalno na temelju znanja stečenih na Rudarsko – geološko – naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom.

Karlo Goluža

KLASA: 602-04/20-01/142
URBROJ: 251-70-12-20-2
U Zagrebu, 21.09.2020.

Karlo Goluža, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM: 602-04/20-01/142, UR.BR. 251-70-12-20-2 od 04.05.2020. godine priopćujemo temu završnog rada koja glasi:

BUŠAĆE ŠIPKE IZRAĐENE OD KOMPOZITNIH MATERIJALA

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

Voditelj

(potpis)

Doc. dr. sc. Borivoje Pašić
(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za završne i diplomske ispite

(potpis)

Izv.prof. dr. sc. Vladislav Brkić
(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor Kuhinek
(titula, ime i prezime)