

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Рударско-геолошки факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Бранка Грубача, дипл. инж. машинства - мастер

Одлуком Наставно научног већа, Рударско-геолошког факултета бр. 1/98 од 23.04.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације под насловом

УТИЦАЈ УТИСКИВАЊА ГАС-ЛИФТ ГАСА НА ПРЕНОС МАСЕ И ТОПЛОТЕ

кандидата **Бранка Грубача, дипл. инж. машинства - мастер**

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Бранко Грубач, дипл. инж. машинства - мастер је тему докторске дисертације пријавио на Рударско - геолошком факултету Универзитета у Београду (пријава број 1/61 од 22.03.2018. године).

Одлуком Наставно-научног већа Рударско - геолошког факултета у Београду бр. 1/85 од 23.04.2018. године именована је Комисија у саставу проф. др Марија Живковић, дипл. инж. маш., проф. др Дејан Ивезић, дипл. инж. маш., проф. др Душан Даниловић, дипл. инж. руд., проф. др Милош Танасијевић, дипл. инж. руд., сви са Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, проф. др Мирјана Кијевчанин, дипл. инж. тех. са Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, за давање мишљења о научној заснованости докторске дисертације под насловом „Утицај утискивања гас-лифт гаса на пренос масе и топлоте“ кандидата Бранка Грубача.

Наставно-научно веће Рударско – геолошког факултета у Београду прихвата извештај Комисије за давање мишљења о научној заснованости теме и доноси одлуку бр. 1/108 од 04.06.2018., којом се прихвата тема докторске дисертације под насловом „Утицај утискивања гас-лифт гаса на пренос масе и топлоте“ кандидата Бранка Грубача, и за ментора именује др Марија Живковић, ванредни професор.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду, на седници која је одржана 25.06.2018. године, донело је одлуку бр. 61206-2557/2-18 којом се даје сагласност на предложену тему докторске дисертације.

Кандидат Бранко Грубач, дипл. инж. машинства – мастер, 05.04.2019. године поднео је молбу број 1/85 за именовање комисије за оцену и одбрану урађене докторске дисертације под насловом „Утицај утискивања гас-лифт гаса на пренос масе и топлоте“. Катедра за опште машинство и термодинамику упутила је допис Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета број 1/86 од 05.04.2019. са предлогом чланова Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу: др Марија Живковић, ванредни професор, ментор, Универзитет у Београду, Рударско - геолошки факултет, др Дејан Ивезић, редовни професор, Универзитет у Београду, Рударско - геолошки факултет, др Душан Даниловић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Рударско - геолошки факултет, др Мирјана Кијевчанин, редовни професор, Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Мирољуб Ацић, професор емеритус, Универзитет у Београду, Машински факултет.

На основу наведеног дописа Наставно-научно веће је на седници од 18.04.2019. године донело одлуку бр. 1/98 од 23.04.2019. године којом је усвен предлог Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације, чиме су стекли услови за писање овог реферата.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација „Утицај утискивања гас-лифт гаса на пренос масе и топлоте“ припада области техничких наука, научној области „Рударско инжењерство“ односно ужој научној области „Елементи машинских и енергетских система“ за коју је матичан Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду.

За ментора ове докторске дисертације именована је др Марија Живковић, ванредни професор Рударско-геолошког факултета. Ментор је аутор више научних радова објављених у међународним и домаћим часописима и зборницима са различитих саветовања, који су везани за проблематику којом се бави дисертација, има значајно искуство у раду са привредом, те се може сматрати компетентним за вођење докторанда у току израде докторске дисертације са горе наведеним насловом.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Бранко Грубач, мастер инжењер машинства, рођен је 15.07.1991. године у Зрењанину, где је завршио основну школу и Гимназију (природни смер).

Основне академске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду уписао је 2010.године, а завршио 2013.године са просечном оценом 7,87. Мастер академске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду на студијском програму Процесна техника и заштита животне средине уписао је 2013.године, а завршио 2015. године, са просечном оценом 9,05. Мастер рад је урадио на тему под насловом „Методе преласка гасовода преко водених токова и предлог идејног решења за прелазак гасовода преко реке“.

Докторске студије је уписао 2015. године на Рударско геолошком факултету Универзитета у

Београду на студијском програму Рударско инжињерство. У току студија је положио све испите предвиђене наставним планом и програмом са просечном оценом 9,83.

Као аутор или коаутор у току докторских студија публиковао је два научна рада у часописима са SCI листе.

Кандидат је завршио обуку за рад са софтверским пакетом Aspen HYSYS Process modeling, а поседује и међународно признат сертификат за пројектовање у поменутом софтверском пакету.

Од 2015. године до данас, Бранко Грубач је запослен у компанији "PM Lucas d.o.o." која се бави сервисним услугама у нафтној и гасној индустрији. Као процесни инжењер био је ангажован је на следећим пословима:

- Моделирање и оптимизација постројења за прераду гаса и гасног кондензата у Западном Казакхстану – прерадног капацитета 4,5 милиона m^3 на дан,
- Оптимизација рада постројења за прераду нафте капацитета 1.500 тона на дан,
- Оптимизација рада аминског постројења- прерадног капацитета 4,5 милиона m^3 на дан,
- Моделирање континуалног гас-лифт система у софтверском пакету Aspen HYSYS,
- Хидраулички прорачун цевоводног система за транспорт нафте, кондензата и гаса – дужине 120 km,
- Хидраулички прорачун колекторског система за сакупљање трофазног флуида са седам нафтних и гасо-кондензатних поља,
- Идејни пројекат система за одвајање нафте од кондензата,
- Идејни пројекат аминског постројења за прераду 6,5 милиона m^3 на дан гаса са преко 5% водоник сулфида,
- Пројекат „Flow assurance“ – за цевовод дужине 120 km, температуре стварања гасних хидрата, потребне количине инхибитора за спречавање, таложење органских и неорганских материја приликом транспорта флуида,
- Моделовање постројења за прераду гаса и гасног кондензата – прерадног капацитета 6,5 милиона m^3 на дан гаса,
- Пуштање у рад постројења за прераду гаса и гасног кондензата у Западном Казакхстану, прерадног капацитета 6,5 милиона m^3 на дан гаса,
- Оптимизација рада размењивача топлоте,
- Моделовање постројења за прераду киселог гаса и добијање елементарног сумпора – процес директне оксидације и оптимизација модификованог Клаус-овог процеса.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Бранка Грубача, дипл. инж. машинства - мастер, под називом „Утицај утискивања гас-лифт гаса на пренос масе и топлоте“ написана је на 9+153+31, укупно 193 страна стандардног формата А4, на српском језику, латиницом, а садржи 77+11 слика и дијаграма, 24+36 табела и 108 литературних јединица.

Докторска дисертација је подељена на једанаест функционално повезаних поглавља:

1. Увод,
2. Механичке методе експлоатације нафте,
3. Принцип рада бушотине у гас-лифту,
4. Пренос масе и топлоте,
5. Једначина стања реалног гаса,
6. Одређивање профила притиска и температуре у бушотини,
7. Моделовање бушотине у гас-лифту,

8. Утицај гас-лифта на пренос масе и састав издвојеног флуида у сепаратору,
9. Таложeње парафина у бушотини са континуалним гас-лифтом,
10. Закључак,
11. Литература,
12. Прилози.

Поглавља 4, 6, 8 и 9 су конципирана са више потпоглавља.

Поред наведених поглавља, дисертација садржи Захвалницу, Сажетак, Садржај, Биографију и стандардне изјаве о ауторству, истоветности штампане и електронске верзије и коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Својом структуром дисертација је прилагођена постављеним циљевима и примењеној методологији. Поглавља од 1 до 6 дају преглед литературе и теоријску основу потребну за опис разматраног система, израду одговарајућих модела бушотина и анализу.

У оквиру Уводних разматрања приказан је кратак опис проблема који се разматра, основне претпоставке, циљеви и допринос дисертације, као и структура дисертације.

У другом поглављу дат је кратак приказ механичких метода експлоатације нафте, док је принцип рада бушотине у гас-лифту приказан у трећем поглављу. На тај начин је описан и објашњен предмет разматрања, разраде и анализе.

Четврто поглавље је посвећено преносу масе и топлоте у стубу бушотине. Поред основног циља примене гас-лифт методе - повећања производње нафте, утискивање гас-лифт гаса има и друге ефекте који су до сада истраживани у значајно мањој мери, или уопште нису истраживани. Утискивањем гас-лифт гаса мења се састав флуида у стубу бушотине, профил притиска и температуре. Добијени двофазни вишекомпонентни флуид показује изузетно сложено понашање, које је веома осетљиво на промене притиска и температуре. На размену топлоте у овако описаном термодинамичком систему, поред притиска и температуре, утичу и особине флуида као што су топлотни капацитет, састав флуида, режим струјања, количина флуида, брзина кретања флуида, смер кретања флуида, итд. У оквиру овог поглавља приказан је преглед релевантне литературе везан за прорачун преноса топлоте у бушотини са гас-лифтом, приказани су утицај облика протока на коефицијент прелаза топлоте, утицај околине на пренос топлоте, утицај дубине и времена утискивања гаса, као и утицај удела гасовите фазе на коефицијент прелаза топлоте при различитим режимима протока. Утврђено је да до сада нема објављених истраживања која би узела у обзир све утицајне величине и параметре при одређивању преноса топлоте у стубу бушотине. Поглавље садржи и основна теоретска разматрања о преносу масе, као и приказ величина које утичу на пренос масе, фазну равнотежу и константу фазне равнотеже.

Основе pVT понашања дате су оквиру петог поглавља. За описивање pVT понашања реалног гаса који се добија након утискивања гас-лифт гаса у флуид у стубу бушотине, као и понашања референтног флуида (флуид из лежишта) примењена је једначина Peng-Robinson којом се одређују парцијални притисци и запремине компоненти у двофазним вишекомпонентним системима.

Методe за одређивање профила притиска и температуре у бушотини детаљно су анализирани у оквиру шестог поглавља. Приказани су и анализирани најзначајнији радови који се баве овом проблематиком. За одређивање профила температуре, притиска, као и брзине кретања флуида у стубу бушотине у функцији времена морају се узети у обзир пренос масе и топлоте као термодинамичка својства флуида на различитим притисцима и температурама. У случају вишефазног вишекомпонентног флуида, (гас, нафта и вода), проблем се додатно усложњава. Приказане су релације за одређивање профила притиска и температуре при протицању флуида кроз

вертикалне и косе цеви: Beggs-Brill, Hagedorn-Brown, Tulsa 3 Phase. Промена притиска, температуре, брзине струјања као и састава флуида у стубу бушотине утичу и на стварање парафина, што се огледа у промени дубине таложења и дебљини наталоженог парафина. Поред механизма стварања парафина у оквиру овог поглавља анализирани су услови фазне равнотеже између чврсте фазе (парафина), течне и гасовите фазе. На крају поглавља дат је преглед највише коришћених модела за моделовање таложења парафина: Chung, Pederson, Copoco (Erikson) и АЕА, а који се заснивају на израчунавању константе фазне равнотеже између чврсте и течне фазе.

У оквиру седмог поглавља детаљно је приказан модел бушотине која ради у гас-лифт режиму, који је за потребе истраживања приказаног у оквиру ове дисертације израђен коришћењем софтверског пакета ASPEN HYSIS. Моделовањем је обухваћен стуб бушотине, струја флуида и замена топлоте са околином. Добијени модел је верификован коришћењем података мерења, а добијено је добро слагање притиска и температура, чиме су створени услови за истраживање утицаја утискивања гас-лифт гаса на пренос масе и топлоте.

Утврђивање утицаја утискивања гас-лифт гаса на пренос масе приказано је у осмом поглављу. У циљу сагледавања утицаја утискивања гас-лифт гаса на састав течне и гасне фазе поређене су бушотине код којих је примењена гас-лифт метода и конвенционалне бушотине, при чему су усвојене једнаке количине и хемијски састави флуида из лежишта. Овакав приступ омогућио је упоређивање количине и састава произведеног флуида са и без гас-лифт гаса на датом притиску и температури.

Да би се анализирала разлика у компонентном саставу, односно количине сваке угљоводоничне компоненте у парној и течној фази на сепараторским условима, разматрана су два случаја: када бушотина производи применом континуалне гас-лифт методе и случај када бушотина производи без примене гас-лифт методе. Аланиза утицаја извршена је поређењем маса компоненти у течној и гасовитој фази у оба случаја. Разматран је утицај количине, температуре и састава утиснутог гаса. Анализа је спроведена и поређењем фазних дијаграма и константи фазне равнотеже.

Утицај примене гас-лифт методе на таложење парафина анализиран је у деветом поглављу. Утицај утискивања гас-лифт гаса анализиран је на пет бушотина применом метода Chung, Pederson, Copoco (Erikson) и АЕА. Анализом је обухваћен и утицај температуре и притиска на таложење парафина.

Закључна разматрања, дискусија и приказ праваца даљег истраживања, приказани су оквиру деветог поглавља.

На крају дисертације, у оквиру једанаестог поглавља дат је попис коришћене литературе.

Прилози, конверзиони фактори и номенклатура дати су у дванаестом поглављу.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација кандидата Бранка Грубача, дипл. инж. машинства - мастер, под називом „Утицај утискивања гас-лифт гаса на пренос масе и топлоте“, представља савремен и оригиналан приступ анализи утицаја утиснутог гаса на пренос масе и топлоте у стубу бушотине.

У литератури се уобичајено примена гас-лифт методе разматра са становишта повећања производње и оптимизације производног процеса. Међутим, поред повећања производње, што представља примарни, жељени ефекат примене гас-лифт методе, примена гас-лифт методе доводи и до других ефеката везаних за пренос масе и топлоте у стубу бушотине, који са становишта производње нафте могу да буду и повољни и неповољни. У постојећој литератури готово да нема

приказаних истраживања која су се бавила овом проблематиком. У том смислу, истраживање приказано у овој дисертацији обрађује актуелну тему, коришћењем досадашњих сазнања, савременог софтверског пакета Aspen HYSIS, као и резултата мерења, која су послужила за верификацију постављеног модела.

Из наведеног се може закључити да је дисертацијом врло детаљно сагледан проблем преноса топлоте и масе у стубу бушотине индукован утискивањем гас-лифт гаса. Најпре је сагледано актуелно стање и приступи проблему у референтним научним радовима, а затим и креиран и верификован модел бушотине коришћењем одговарајућег софтверског пакета. Анализа утицајних параметара спроведена је симулацијама коришћењем развијеног модела. Закључује се да дисертација испуњава све критеријуме савремености и оригиналности.

На основу „Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду“ и Извештаја из програма iThenticate којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације утврђена је количина подударана текста од 6%. Установљени степен подударности је последица цитата, личних имена, библиографских података о коришћеној литератури, тзв. општих места и података, као и претходно публикованих резултата истраживања докторанда, који су проистекли из дисертације, што је у складу са чланом 9. наведеног „Правилника“. Оригиналноста текста дисертације је оцењена као позитивна у Изјави ментора бр. 1/91 од 08.04.2019.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

При изради докторске дисертације коришћена је обимна литература (укупно 108 литературних јединица), која се бави сложеним проблемима преноса масе и топлоте у стубу бушотине, или разматра неки од сегмената од значаја за ове феномене. Посебна пажња посвећена је прегледу литературе која се бави одређивањем профила температуре и притиска и таложењем парафина у стубу бушотине. Обрађена литература је кандидату послужила као полазна основа за сагледавање тренутног стања у вези са постојећим истраживањима из области на коју се дисертација односи, али и као полазна основа за формирање модела бушотине. Кандидат је детаљно претражио и анализирао одговарајућу литературу, тако да је на основу урађене анализе могуће је сагледати актуелно стање у области која је била предмет дисертације. Комисија констатује да је коришћена литература савремена и актуелна.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Након прегледа дисертације Комисија констатује да су примењене научне методе адекватне постављеном проблему. За утврђивање утицаја утискивања гас-лифт гаса било је потребно прикупљање постојећих резултата везаних за описивање понашања вишефазног вишекомпонентног флуида у отвореном термодинамичком систему. Истраживање је обухватило је сакупљање и проучавање доступне литературе, њену анализу и систематизацију. Ово је имало за циљ да се формира теоријска основа за израду модела бушотине код које је примењена гас-лифт метода, коришћењем одговарајућег софтверског пакета. Развијени модел је верификован коришћењем резултата мерења са производних бушотина, чиме су створени услови за даљу симулацију могућих случајева, анализу и интерпретацију резултата. Дакле, при истраживању су коришћене следеће научне методе:

- Дескриптивне и нумеричке методе за анализу података,
- Методе за обраду и синтезу података,
- Рачунарске симулације коришћењем софтверског пакета ASPEN HYSIS,
- Методе компаративне анализе и синтезе.

Сви добијени резултати испитивања су нумерички и графички приказани што је омогућило анализирање и поређење са постављеним хипотезама, интерпретацију резултата, дискусију и формулисање одговарајућих зависности.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати докторске дисертације применљиви су у научном смислу, али имају и значајну практичну примену.

Како се може видети из изложеног истраживања и добијених резултата, утискивањем гас-лифт гаса у флуид из лежишта формира се сложен вишефазни вишекомпонентни флуид, чије се понашање значајно разликује од понашања флуида из лежишта. До ове појаве долази због промене састава, притиска и температуре. Утискивањем гас-лифт гаса долази до феномена који се тичу преноса масе и топлоте, а који у пракси утичу на састав гасивите и течне фазе, као и место појаве (дубину) и количину (дебљину) наталоженог парафина. Ове појаве су од несумњивог утицаја на ефекте повећања производњекоји се остварују применом гас-лифт методе.

Један од резултата дисертације је и модел бушотине у гас лифту израђен применом софтверског пакета Aspen HYSIS. Модел је повезао дно и стуб бушотине са системом за сакупљање, транспорт и припрему флуида у једну хидродинамичку целину, што омогућава билансање количине и састава присутних фаза у свакој тачки система. На основу модела је урађено квантификовање утицаја количине и врсте гас лифт гаса на интензитет преноса масе и топлоте, као и количину финалних производа.

Добијени резултати имају велику практичну примену. Могу се користити као подршка при избору састава, количине и температуре гас-лифт гаса, за одређивање профила притиска и температуре у стубу бушотине када нема каротажних мерења, као и за планирање ремонтних радова.

Резултати дисертације примењиви су и у наставно-педагошком раду. Развијени модел омогућава студентима студијског програма инжењерство нафте и гаса и студентима и инжењерима сродних дисциплина, да симулирају различите могуће случајеве производње коришћењем гас-лифт методе. Промена утицајних параметра у симулацијама омогућује боље и дубље сагледавања бројних ефеката индукованих утискивањем гас-лифт гаса.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је током израде докторске дисертације показао да је у стању да самостално решава научне проблеме и да влада научним и истраживачким методама. Тема коју је обрадио, с обзиром на своју мултидисциплинарност, захтева изражену аналитичност у раду и систематичност у решавању проблема. Кандидат је при томе у потпуности искористио искуство које је стекао радећи на пословима који су блиско повезани са проблемом који је обрађивао у дисертацији. Такође, кандидат је у потпуности реализовао планирано истраживање од почетне идеје до завршетка докторске дисертације. Верификација научног доприноса и рада кандидата материјализована је објављивањем рада у часопису категорије M21a.

На основу укупно остварених резултата у научно истраживачком раду, закључујемо да је кандидат способан за самостални даљи научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Циљ дисертације под називом „Утицај утискивања гас-лифт гаса на пренос масе и топлоте“ био је да се утврди да ли постоји утицај утиснутог гаса на пренос масе и топлоте у стубу бушотине, као и да се утврди утицај састава, количине и тепературе гаса на поменуће феномене.

У циљу детаљног сагледавања проблема, могућности анализе утицајних величина, као и симулације могућих случајева, креиран је модел бушотине која ради у гас-лифт режиму. За потребе моделовања одабран је Aspen HYSIS програмски пакет, који пружа могућност променесвих утицајних параметара. Креиран је модел бушотине која ради у режиму гас-лифта, који је верификован коришћењем следећих расположивих података и резултата мерења:

- количине произведене нафте, гаса и лежишне воде,
- протока утиснутог гас-лифт гаса на дан када су мерења извршена,
- састава нафте и гаса на лежишним условима добијених из pvt анализа,
- састава, температуре и притисак гас-лифт гаса,
- профила притиска и температуре флуида у тубингу, добијених каротажним мерењем (pIT) температурноградијента земље за регију на којој се бушотине налазе и начина опремања производне бушотине.

Коришћењем развијеног верификованог модела, извршена је симулација рада бушотине, и извршена је анализа и поређење утицаја одређених параметара. Дисертација је допринела опису система који настаје након утискивања гаса, пре свега утврђивањем разлике између стања које настаје после утискивања гас-лифт гаса и стања које би се постигло применом конвенционалне методе експлоатације нафте.

Конкретни научни доприноси дисертације су следећи:

- Описана је промена профила притиска и температуре у стубу бушотине при утискивању гас-лифт гаса. Утискивањем гас-лифт гаса долази до промене профила притиска и температуре у стубу бушотине и то тако да се температура и притисак смањују у односу на случај без примене гас-лифт методе, на једнакој дубини.
- Утврђено је услед утискивања гас-лифт гаса долази до промене облика и положаја фазних дијаграма флуида у стубу бушотине. Облик и положај фазних дијаграма флуида у стубу бушотине се мењају због различитог састава флуида у поређу са конвенционалним начином експлоатације. За криву флуида са утиснутим гас-лифт гасом карактеристична је нижа крикондетерма и виша криконденбара.
- Утврђено је да се утискивањем гас-лифт гаса мења константа фазне равнотеже. Утискивањем гас-лифт гаса, мења се састав флуида, док се температура и притисак у стубу бушотине смањују у односу на случај без гас-лифта на једнакој дубини, па је укупна промена константе фазне равнотеже последица и промене притиска и температуре и промене састава флуида у стубу бушотине.
- Утврђено је да утискивање гас-лифт гаса утиче на количине компоненти у течной и гасовитој фази које су издвојене на сепараторским условима. Масе свих компоненти у парној фази су веће када се утискује гас-лифт гас у односу на случај бушотине без гас-лифта, док су масе компоненти у течной фази мање.
- Дефинисан је и анализиран утицај протока (количине) утиснутог гас-лифт гаса на количину компоненти издвојених у парној фази. Резултати су показали да разлике у масама посматраних компоненти у парној фази у случају бушотине која ради у режиму гас-лифта и конвенционалне бушотине, зависе од посматране компоненте и количине утиснутог гас-лифт гаса. Повећањем количине утиснутог гаса расте и разлика у повећању масе појединачних компоненти. Најмања разлика у повећању масе примећена је код метана, затим етана. Разлог је већа испарљивост ове две компоненте у поређењу са осталим угљоводоничним компонентама.

- Утврђено је да постоји утицај температуре на масе компоненти у течной и гасовитој фази и то тако да се са порастом температуре смањује утицај утискивања гас-лифт гаса на пренос масе. Разлика у маси свих угљоводоничних компоненти у гасовитој фази, у случају примене гас-лифт методе и без гас-лифт методе опада са порастом температуре, осим за компоненту р-Сб+. Са порастом температуре расте испарљивост компоненти, па опада утицај ефекта преноса масе лакших компоненти из течне у парну фазу у присуству гас-лифта, у односу на случај без гас-лифта.
- Доказано је да постоји пораст приноса пропана и бутана при експлоатацији гас-лифт методом. Повећање масе пропана и бутана последица је преноса масе због утицаја утискивања гас-лифт гаса. На основу тога, оповргнуто је мишљење да је пораст приноса ТНГ-а последица присуства пропана и бутана у гас-лифт гасу.
- Утврђено је да састав гас-лифт гаса утиче на пренос масе из течне фазе лежишног флуида у парну фазу. Анализиран је утицај утискивања једнокомпонентних гасова: метана, азота, угљен-диоксида и вишекомпонентног гаса: природног гаса. Утискивање једнокомпонентних гасова има већи утицај на пренос масе у односу на вишекомпонентни гас.
- Показано је да се утискивањем гас-лифт гаса смањује температура у стубу бушотине, што резултује интензивнијем таложењу парафина. Таложење парафина започиње на већим дубинама код бушотина које раде у гас-лифт режиму због мање температуре у стубу бушотине у односу на бушотину код које није примењена гас-лифт метода. Такође, максимална дебљина талоба већа је у бушотинама код којих се примењује гас лифт метода.
- Утврђено је да на таложење парафина поред промене температуре утиче и пренос масе лакших угљоводоничних компоненти из течне у гасовиту фазу, чиме се мења састав течне фазе и то тако да се повећава се концентрација тежих компоненти склоних таложењу.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Из изложеног истраживања и добијених резултата приказаним у докторској дисертацији, јасно је да се утискивањем гас-лифт гаса у флуид из лежишта формира сложен вишефазни вишекомпонентни флуид, чије се понашање значајно разликује од понашања флуида из лежишта, што због промене састава, што због промене притиска и температуре. Утискивањем гас-лифт гаса поред основног жељеног ефекта повећања производње, долази и до феномена који се тичу преноса масе и топлоте, а чији је настанак приказан, доказан и анализиран у овом раду. Циљ истраживања приказаног у овој дисертацији је био да се утврди утицај утискивања гас-лифт-гаса на пренос топлоте и масе у стубу бушотине, које настаје захваљујући промењеним условима притиска и температуре, састава и карактеристика флуида и његовог фазног понашања, као и да се анализирају утицаји следећих величина/параметара: температуре и притиска утискивања гас-лифт гаса, протока гас-лифт гаса и састава утискиваног гаса.

Креиран је модел бушотине која ради у режиму гас-лифта. Модел је верификован коришћењем следећих расположивих података и резултата мерења са бушотина која обухватају: количине произведене нафте, гаса и лежишне воде, протоке утиснутог гас-лифт гаса на дан када су мерења извршена, састав нафте и гаса на лежишним условима добијених из рvt анализа, састав, температуру и притисак гас-лифт гаса, профиле притиска и температуре флуида у тубингу, добијених каротажним мерењем (рТ) температурног градијента земље за регију на којој се бушотине налазе и начина опремања производне бушотине.

Како би се извршила анализа разлика у компонентном саставу, односно количине сваке угљоводоничне компоненте у парној и течной фази на сепараторским условима, разматрана су два случаја: бушотина производи применом континалног гас-лифта и бушотина производи без примене

гас-лифт методе. Модел који је развијен у оквиру ове дисертације коришћен је за симулацију различитих могућих случајева у циљу утврђивању постојања утицаја и утврђивања зависности. Коришћењем модела и резултата мерења са бушотина, добијени су изузетно вредни резултати, који су верификовани поређењем са количинама и саставом произведених флуида у постројењу за прераду гаса и гасног кондензата у Казахстану. Резултати приказани у овој дисертацији могу се реплицирати и на друге специфичне случајеве, а тиме и евентуално проширити приказани закључци.

Увидом у дисертацију, полазне хипотезе и постављене циљеве истраживања, на основу прегледа релевантне литературе, сагледавања стања научних истраживања из области докторске дисертације, Комисија констатује да је кандидат у потпуности оправдао очекивања која су зацртана пријавом дисертације. Добијени резултати су оригинални, значајни и применљиви. Примењене методе и остварени резултати представљају добру основу за даља истраживања.

Дисертација је пружила нови оригиналан начин сагледавања процеса примене гас-лифт методе, доказавши да утискивањем гаса настају ефекти који до сада у литератури нису били адекватно обрађени. Добијени резултати поред неспорног научног доприноса имају и практичну примену: као подршка при избору састава и количине гас лифт гаса, за одређивање профила притиска и температуре у стубу бушотине када нема каротажних мерења, као и за планирање ремонтних радова. Такође, развијени модел и добијени резултати се могу користити и као подршка настави на мастер и докторским студијама на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос верификован је радом који је објављен у врхунском међународном часопису, категорије M21a, на коме је докторанд првопотписани аутор, а који је везан за истраживање које је спроведено у докторској дисертацији. Као резултат рада на дисертацији, кандидат је као коаутор објавио још један рад у међународном часопису категорије M23.

Рад у врхунском међународном часопису – M21a

1. **Branko Grubač**, Snežana Šević, Marija Živković, Effect of gas-lift on liquefied petroleum gas (LPG) product yield: A case study of Chinarevskoe gas treatment unit (Kazakhstan), Journal of Petroleum Science and Engineering, Volume 165, June 2018, Pages 586-595, <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.02.069>

Рад у међународном часопису – M23

1. Šević Snežana, **Grubač Branko**, Simulation of Temperature-Pressure Profiles and Wax Deposition in Gas-Lift Wells, CHEMICAL INDUSTRY & CHEMICAL ENGINEERING QUARTERLY, vol. 23, br. 4, str. 537-545, 2017, <https://doi.org/10.2298/CICEQ161014006S>

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација „Утицај утискивања гас-лифт гаса на пренос масе и топлоте“ кандидата **Бранка Грубача, дипл. инж. машинства - мастер**, приказала је савремен, оригиналан и научно утемељен приступ анализи феномена који настају као последица утискивања гас-лифт гаса у стуб бушотине. Истраживање и анализа обухватили су све специфичности и комплексност разматраног система.

На основу прегледане докторске дисертације, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације, закључује да урађена докторска дисертација кандидата **Бранка Грубача, дипл. инж. машинства - мастер** испуњава све законске и остале услове за јавну одбрану. Комисија закључује да је урађена докторска дисертација написана према свим стандардима о научно-истраживачком раду као и да

испуњава све услове предвиђене „Законом о високом образовању“, „Стандардима за акредитацију“, „Статутом Рударско-геолошког факултета“ и критеријумима које је прописао Универзитет у Београду.

Комисија са задовољством констатује да дисертација садржи значајне научне доприносе који пружају могућност детаљног сагледавања понашања вишефазног фишекомпонентног флуида у стубу бушотине.

Комисија, на основу горе наведеног, предлаже Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета у Београду да се докторска дисертација под називом „Утицај утискивања гас-лифт гаса на пренос масе и топлоте“ кандидата **Бранка Грубача, дипл. инж. машинства - мастер** прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Комисија:

У Београду, 07.05.2019. године

др Марија Живковић, ванредни професор, ментор
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

др Дејан Ивезић, редовни професор
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

др Душан Даниловић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

др Мирјана Кијевчанин, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

др Мирољуб Аџић, професор емеритус
Универзитет у Београду, Машински факултет