



Τεχνολογικό  
Πανεπιστήμιο  
Κύπρου

Τμήμα Χημικής  
Μηχανικής

**Πτυχιακή εργασία**

**Μοντελοποίηση της ρεολογικής συμπεριφοράς  
γαλακτωμάτων νερού-αργού πετρελαίου**

**Μαρία Παπαδημητρίου**

**Λεμεσός, Μάιος 2022**



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Πτυχιακή εργασία

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΡΕΟΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ  
ΤΟΥ ΑΡΓΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ

της

Μαρίας Παπαδημητρίου

Επιβλέπων Καθηγητής

Δρ. Πάυλος Στεφάνου

Λεμεσός, Μάιος 2022

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Μαρία Παπαδημητρίου, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Χημικής Μηχανικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς και θερμές μου ευχαριστίες πρωτίστως στον επιβλέποντα καθηγητή μου, Δρ. Παύλο Στεφάνου. Η εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της ολοκλήρωσης της πτυχιακής μου εργασίας και η καθοδήγηση του από την πρώτη στιγμή αποδείχθηκε ουσιαστική όπως και η επιστημονική του κατάρτιση, εμπειρία και αρτιότητα.

Τέλος, δεν θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω την οικογένεια και τους στενούς μου φίλους, για την συνεχή ενθάρρυνση κατά την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής μου εργασίας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μεταφορά του αργού πετρελαίου αποτελεί μια περίπλοκη διεργασία με πολλές απαιτήσεις. Ένα από τα κύρια προβλήματα εμφανίζεται κατά την ροή του σε αγωγούς λόγω του αυξημένου ιξώδους του και ως εκ τούτου η εύρεση τεχνικών με τις οποίες να βελτιώνονται οι ρεολογικές του ιδιότητες αποτελεί επιτακτική ανάγκη. Επιπλέον, καθώς κατά την άντληση από το φρεάτιο το πετρέλαιο περιέχει και νερό, ο σχηματισμός γαλακτωμάτων (σταγονιδίων νερού) σχεδόν σε όλες τις φάσεις παραγωγής και επεξεργασίας του πετρελαίου, δημιουργεί πολλά λειτουργικά προβλήματα και η απομάκρυνση τους είναι εξαιρετικά δύσκολη. Στην παρούσα εργασία εισάγουμε ένα συνεχές μοντέλο για την πρόβλεψη της ρεολογικής απόκρισης γαλακτωμάτων νερού σε ελαφρύ αργό πετρέλαιο (light crude oil). Προς τούτο, θα χρησιμοποιήσουμε τον φορμαλισμό Γενικευμένων αγκυλών της εκτός ισορροπίας θερμοδυναμικής ώστε το καταστατικό μοντέλο να είναι, από κατασκευής του, συμβατό με τους νόμους της. Ακολουθώντας προηγούμενες εργασίες, τα γαλακτώματα νερού-ελαφριού αργού πετρελαίου μοντελοποιούνται ως παραμορφωμένες σταγόνες με σταθερό όγκο, που χαρακτηρίζονται από ένα contravariant δεύτερης τάξης τανυστή,  $\bar{\mathbf{S}}$ , του οποίου το ίχνος πρέπει να παραμένει σταθερό καθώς είναι ίσο με το τετράγωνο του όγκου των σταγονιδίων. Για την πρόβλεψη της τάσης διαρροής αυτών των γαλακτωμάτων, χρησιμοποιούμε μια επιπλέον βαθμωτή δομική μεταβλητή,  $\lambda$ . Οι προβλέψεις του νέου μοντέλου συγκρίνονται αρκετά καλά με διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα.

**Λέξεις κλειδιά:** αργό πετρέλαιο, ιξώδες, συντελεστές καθέτων τάσεων, γαλακτώματα, εκτός ισορροπίας θερμοδυναμική

## **ABSTRACT**

The transportation of crude oil is a complicated process due to a number of difficulties. One such difficulty is its increased viscosity during flow in pipelines, which necessitates the development of techniques to improve its rheological properties. During drilling, crude oil is often mixed with water, leading to the formation of water-in-oil (W/O) emulsions. Since these emulsions pose severe flow resistance, such as higher pressure drops, due to their complex fluid rheology, it is important to have in our arsenal a rheological constitutive model that accurately predicts their rheological response. In the present work, we propose such a model for W/O emulsions wherein the emulsions are modeled as deformable volume-preserving droplets via the use of a determinant-preserving contravariant second-rank tensor. We use the generalized bracket formalism of non-equilibrium thermodynamics, in order to make sure that the derived model is by construction thermodynamically admissible. An additional scalar structural variable is considered to allow for the prediction of a yield point, following previous work. The predictions of the new model are shown to be in very good agreement with available experimental measurements.

**Keywords:** crude oil, viscosity, normal stress coefficients, emulsions, non-equilibrium thermodynamics