



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Πολυτεχνική Σχολή
πρώην Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών και Βιομηχανικού Σχεδιασμού
(Εισαγωγική Κατεύθυνση Βιομηχανικού Σχεδιασμού)

Πτυχιακή Εργασία με τίτλο:

**“ Η χρήση νανοσωματιδίων για τη μεταφορά θερμότητας στο σύστημα
τηλεθέρμανσης της Δυτικής Μακεδονίας ”**

Δημήτριος Φίλκας

A.M.: BS03326


Επιβλέπων Καθηγήτρια: ***Ροδή Τσαγκαλίδου***

Κοζάνη 2023

Δήλωση περί μη λογοκλοπής

Δηλώνω ότι είμαι ο συγγραφέας της παρούσας εργασίας με τίτλο <Τίτλος Εργασίας> που συντάχθηκε στα πλαίσια της πτυχιακής μου εργασίας και παραδόθηκε το μήνα Μάιο του 2023. Η αναφερόμενη εργασία δεν αποτελεί αντιγραφή ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται σαφώς στη βιβλιογραφία και στο κείμενο ενώ κάθε εξωτερική βοήθεια, αν υπήρξε, αναγνωρίζεται ρητά

<Επώνυμο Ονομα Φοιτητή/τριας> Φίλιππος Δημητρίου
<ΑΜ> B503326

Υπογραφή: 

Ημερομηνία: 16/5/2023

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τη βαθύτατη ευγνωμοσύνη μου για την καθοδήγηση, την υποστήριξη και την καθοδήγησή της κας. Ρόδης Τσαγκαλίδου καθ' όλη τη διάρκεια της διατριβής μου. Η εμπειρογνωμοσύνη της και οι ανεκτίμητες γνώσεις ήταν καθοριστικές για τη διαμόρφωση της έρευνάς μου και με βοήθησαν να περιηγηθώ στην πολυπλοκότητα της ναυτεχνολογίας και της εφαρμογής της στα συστήματα τηλεθέρμανσης. Είμαι πραγματικά ευγνώμων για την βοήθεια που πήρα στην ακαδημαϊκή και προσωπική μου ανάπτυξη και για την πρόκληση να προσπαθώ πάντα για την αριστεία.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά την οικογένειά μου, της οποίας η αγάπη, η ενθάρρυνση και η πίστη σε μένα αποτέλεσαν σταθερή πηγή δύναμης κατά τη διάρκεια αυτού του ταξιδιού. Η αμέριστη υποστήριξή σας μου έδωσε την αποφασιστικότητα και την ανθεκτικότητα να ξεπερνάω τις προκλήσεις και να συνεχίζω να προχωράω μπροστά, ακόμη και στις πιο δύσκολες στιγμές. Είμαι απίστευτα τυχερός που έχω μια τόσο αγαπητή και υποστηρικτική οικογένεια στο πλευρό μου και δεν μπορώ να σας ευχαριστήσω αρκετά για όλα όσα έχετε κάνει για μένα.

Αυτή η διατριβή δεν θα ήταν δυνατή χωρίς την υποστήριξη σας, την καθοδήγηση και την ενθάρρυνση. Είμαι για πάντα ευγνώμων για την ευκαιρία που μου δόθηκε να μάθω από την κα. Ρόδη Τσαγκαλίδου και για την αγάπη και την υποστήριξη της οικογένειάς μου. Σας ευχαριστώ που πιστεύετε σε μένα και που με βοηθήσατε να επιτύχω αυτό το σημαντικό ορόσημο στην ακαδημαϊκή μου πορεία.

Με ειλικρινή ευγνωμοσύνη,

Εικόνες

Εικόνα 1. Κατανομή των κτιρίων κατοικιών ανά έτος κατασκευής (2014) ^[4]	11
Εικόνα 2. Τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδας	13
Εικόνα 3. νανοσωματίδια οξειδίου του αργιλίου (Al ₂ O ₃)	19
Εικόνα 4. Εξάρτηση από τη θερμοκρασία της ενίσχυσης της θερμικής αγωγιμότητας για νανορευστά νερού- Al ₂ O ₃ ^[15]	20
Εικόνα 5. νανοσωματίδια οξειδίου του χαλκού (CuO).....	23
Εικόνα 6. νανοσωματίδια διοξειδίου του τιτανίου (TiO ₂)	26
Εικόνα 7. νανοσωλήνες άνθρακα (CNT).....	31
Εικόνα 8. – Σύστημα τηλεθέρμανσης Δυτικής Μακεδονίας	45

Πίνακες

Πίνακας 1. Βελτιώσεις θερμικής αγωγιμότητας.....	27
Πίνακας 2 - Μονοφασικές βελτιώσεις μεταφοράς θερμότητας.....	28

Περιεχόμενα

Περίληψη	7
Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή	8
Κεφάλαιο 2 – Κίνητρο έρευνας και επισκόπηση βιβλιογραφίας.....	11
2.1 Κίνητρο έρευνας.....	11
2.2 - Επισκόπηση Βιβλιογραφίας	15
2.2.1 Νανοσωματίδια σε συστήματα τηλεθέρμανσης	15
Κεφάλαιο 3 – Υλικά και μέθοδοι εφαρμογής σε συστήματα τηλεθέρμανσης	18
3.1 - Οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3)	19
3.2 - Οξειδίου του χαλκού (CuO).....	23
3.3 - Διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2).....	26
3.4 - Νανοσωλήνες άνθρακα (CNT).....	31
Κεφάλαιο 4 - Προτεινόμενος πειραματικός σχεδιασμός και μεθοδολογία αξιολόγησης	38
4.1 - Προτεινόμενος πειραματικός σχεδιασμός.....	38
4.2 - Προτεινόμενες μετρικές αξιολόγησης.....	39
4.3 - Προτεινόμενη πειραματική διαδικασία.....	39
4.4 - Αποτελέσματα και ανάλυση.....	40
4.5 – Συμπεράσματα	41
Κεφάλαιο 5 - Θεωρητικό πλαίσιο και εφαρμογή των νανοϋλικών στο σύστημα τηλεθέρμανσης της Δυτικής Μακεδονίας.....	42
5.1 – Αρχική προσέγγιση και πλαίσιο	42
5.2 Θεωρητικό πλαίσιο	43
5.2.1 Γενικές αρχές της νανοτεχνολογίας στα συστήματα τηλεθέρμανσης.....	43
5.2.2 Al_2O_3 , CuO , TiO_2 και CNT: Ενίσχυση της μεταφοράς θερμότητας.....	43
5.3 Εφαρμογή νανοϋλικών στο σύστημα τηλεθέρμανσης της Δυτικής Μακεδονίας	45
5.3.1 Επισκόπηση του συστήματος και τρέχοντες περιορισμοί.....	45
5.3.2 Ενσωμάτωση των νανοϋλικών στο υπάρχον σύστημα	45
5.3.3 Πιθανές προκλήσεις και λύσεις.....	46
5.3.4 Ανάλυση κόστους-οφέλους.....	47
5.4 – Επίλογος: Ανοίγοντας το δρόμο για ενεργειακά αποδοτικά συστήματα τηλεθέρμανσης	48
Βιβλιογραφία	50

Περίληψη

Τα συστήματα τηλεθέρμανσης, ένα βιώσιμο και αποτελεσματικό μέσο παροχής θερμότητας σε κτίρια και κοινότητες, τα τελευταία χρόνια έχουν κερδίσει δημοτικότητα στη Βόρεια Ευρώπη. Διανέμοντας θερμότητα από μια κεντρική πηγή μέσω υπόγειων σωλήνων, τα συστήματα αυτά αντιμετωπίζουν αποτελεσματικά την υψηλή πυκνότητα πληθυσμού και τα ψυχρά κλίματα. Ωστόσο, η απώλεια ενέργειας και το αυξημένο κόστος λόγω της κακής απόδοσης μεταφοράς θερμότητας περιορίζουν τις δυνατότητές τους. Πρόσφατες έρευνες προτείνουν νανοσωματίδια ως ρευστά μεταφοράς θερμότητας (Heat Transfer Fluids - HFT) για τη βελτίωση της απόδοσης της μεταφοράς θερμότητας στα συστήματα τηλεθέρμανσης.

Τα νανοσωματίδια, με διάμετρο μικρότερη από 100 νανόμετρα, παρουσιάζουν βελτιωμένες ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας λόγω του υψηλού λόγου επιφάνειας προς όγκο. Μπορούν επίσης να μειώσουν το μέγεθος του θερμικού οριακού στρώματος, ενισχύοντας έτσι τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας. Αν και τα πιθανά οφέλη των νανοσωματιδίων ως HFT σε συστήματα τηλεθέρμανσης είναι πολλά υποσχόμενα, η έρευνα στον τομέα αυτό είναι περιορισμένη και εστιάζεται κυρίως σε μονοφασικά συστήματα μεταφοράς θερμότητας.

Η παρούσα διατριβή αποσκοπεί στη διερεύνηση της χρήσης νανοσωματιδίων ως HFT σε συστήματα τηλεθέρμανσης, αξιολογώντας τη δυναμική βελτίωση της απόδοσης μεταφοράς θερμότητας. Η έρευνα θα επικεντρωθεί σε τρεις στόχους: εξέταση της επίδρασης της συγκέντρωσης των νανοσωματιδίων στους συντελεστές μεταφοράς θερμότητας, διερεύνηση της επίδρασης των νανοσωματιδίων στην πτώση πίεσης και αξιολόγηση των πιθανών βελτιώσεων στην απόδοση της μεταφοράς θερμότητας. Η υπόθεση υποδηλώνει ότι η χρήση νανοσωματιδίων ως HFT θα βελτιώνει σημαντικά την απόδοση της μεταφοράς θερμότητας σε συστήματα τηλεθέρμανσης.

Συνδυάζοντας αριθμητικές προσομοιώσεις και πειραματικές μετρήσεις από την υπάρχουσα βιβλιογραφία, η παρούσα έρευνα επιδιώκει να παράσχει γνώσεις σχετικά με τη συμπεριφορά των νανοσωματιδίων σε συστήματα τηλεθέρμανσης και να αναπτύξει κατευθυντήριες γραμμές για τη βέλτιστη χρήση τους. Η διατριβή είναι δομημένη σε κεφάλαια που παρουσιάζουν τα συστήματα τηλεθέρμανσης και τα νανοσωματίδια, κάνουν ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, περιγράφουν τα υλικά και τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα, παρουσιάζουν τα αποτελέσματα και συζητούν τις επιπτώσεις, τις προκλήσεις και τις μελλοντικές κατευθύνσεις της έρευνας. Τελικά, η εργασία αυτή έχει ως στόχο να συμβάλει σε πιθανές τεχνολογικές εξελίξεις στα συστήματα τηλεθέρμανσης, ιδίως στη Δυτική Μακεδονία.

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

Τα συστήματα τηλεθέρμανσης υιοθετούνται όλο και περισσότερο ως μια βιώσιμη και αποτελεσματική μέθοδος παροχής θερμότητας σε κτίρια και κοινότητες. Τα συστήματα λειτουργούν διανέμοντας θερμότητα από μια κεντρική πηγή, όπως ένα εργοστάσιο ηλεκτροπαραγωγής ή μια εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας από απόβλητα, σε πολλά κτίρια μέσω ενός δικτύου υπόγειων σωλήνων. Τα συστήματα τηλεθέρμανσης μπορούν να βρεθούν σε αστικές και αγροτικές περιοχές, αλλά είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα στη Βόρεια Ευρώπη,^[1] όπου η υψηλή πυκνότητα πληθυσμού και το ψυχρό κλίμα τα καθιστούν μια αποτελεσματική και οικονομικά αποδοτική λύση. Ωστόσο, αυτά τα συστήματα συχνά περιορίζονται από κακή απόδοση μεταφοράς θερμότητας, η οποία έχει ως αποτέλεσμα απώλεια ενέργειας και αυξημένο κόστος. Η χρήση νανοσωματιδίων ως υγρού μεταφοράς θερμότητας (Heat Transfer Fluid - HTF) έχει προταθεί ως ένας τρόπος βελτίωσης της απόδοσης μεταφοράς θερμότητας στα συστήματα τηλεθέρμανσης κυρίως τα τελευταία χρόνια.

Τα νανοσωματίδια είναι σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 100 νανόμετρα. Λόγω του μικρού τους μεγέθους, έχουν μεγάλη αναλογία επιφάνειας προς όγκο, γεγονός που οδηγεί σε βελτιωμένες ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας. Έχουν επίσης την ικανότητα να μειώνουν το μέγεθος του θερμικού οριακού στρώματος, το οποίο είναι το στρώμα ρευστού δίπλα στην επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας που έχει χαμηλότερη θερμοκρασία από το ρευστό πιο μακριά. Αυτή η μείωση στο θερμικό οριακό στρώμα οδηγεί σε μείωση της αντίστασης μεταφοράς θερμότητας και αύξηση του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας.

Παρά τα πιθανά οφέλη από τη χρήση νανοσωματιδίων ως HTF σε συστήματα τηλεθέρμανσης, εξακολουθεί να υπάρχει έλλειψη έρευνας σχετικά με αυτό το θέμα μιας και αποτελεί θέμα έρευνας τα τελευταία χρόνια κατά κύριο λόγο. Προηγούμενες μελέτες είχαν επικεντρωθεί κυρίως στη χρήση νανοσωματιδίων σε μονοφασικά συστήματα μεταφοράς θερμότητας, όπως στην ψύξη ηλεκτρονικών συστημάτων. Ωστόσο, τα συστήματα τηλεθέρμανσης είναι πολύπλοκα, πολυφασικά συστήματα και η συμπεριφορά των νανοσωματιδίων σε αυτά τα συστήματα δεν είναι καλά κατανοητή.

Η χρήση νανοσωματιδίων σε συστήματα τηλεθέρμανσης μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην ενεργειακή απόδοση, στην εξοικονόμηση κόστους και στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Σε περιοχές όπου βασίζονται σε μεγάλο βαθμό τα συστήματα τηλεθέρμανσης, όπως η Βόρεια Ευρώπη, η χρήση νανοσωματιδίων ως HTF σε συστήματα τηλεθέρμανσης έχει τη δυνατότητα να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας, να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και να βελτιώσει τη συνολική βιωσιμότητα αυτών των συστημάτων. Επιπλέον, με την τρέχουσα παγκόσμια ενεργειακή κρίση, είναι πιο σημαντικό από ποτέ να βρούμε τρόπους βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης και μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας μιας και βλέπουμε τις επιπτώσεις της να πλήττουν όλα τα νοικοκυριά και να ανεβάζουν σημαντικά τον πληθωρισμό σε όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας. Η χρήση νανοσωματιδίων σε συστήματα τηλεθέρμανσης μπορεί να συμβάλει συμπληρωματικά σε αυτή την προσπάθεια

αυξάνοντας την απόδοση μεταφοράς θερμότητας και μειώνοντας την ενέργεια που χάνεται λόγω κακής μεταφοράς θερμότητας.

Ο στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι να διερευνήσει τη χρήση νανοσωματιδίων ως HTF σε συστήματα τηλεθέρμανσης και να αξιολογήσει την πιθανή βελτίωση στην απόδοση της μεταφοράς θερμότητας. Η έρευνα θα επικεντρωθεί στους ακόλουθους ειδικούς στόχους:

1. Να μελετήσει την επίδραση της συγκέντρωσης νανοσωματιδίων στον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας σε συστήματα τηλεθέρμανσης.
2. Να διερευνήσει την επίδραση των νανοσωματιδίων στην πτώση πίεσης στα συστήματα τηλεθέρμανσης
3. Αξιολόγηση της πιθανής βελτίωσης στην απόδοση μεταφοράς θερμότητας που επιτυγχάνεται με τη χρήση νανοσωματιδίων ως HTF σε συστήματα τηλεθέρμανσης και ειδικότερα στα συστήματα τηλεθέρμανσης που βρίσκονται στην Δυτική Μακεδονία.

Η υπόθεση αυτής της έρευνας είναι ότι η χρήση νανοσωματιδίων ως HTF σε συστήματα τηλεθέρμανσης θα βελτιώνει σημαντικά την απόδοση μεταφοράς θερμότητας. Η έρευνα θα διεξαχθεί χρησιμοποιώντας συνδυασμό αριθμητικών προσομοιώσεων και πειραματικών μετρήσεων που θα παρθούν από την σχετική βιβλιογραφία. Τα αποτελέσματα της έρευνας θα χρησιμοποιηθούν για την παροχή πληροφοριών σχετικά με τη συμπεριφορά των νανοσωματιδίων στα συστήματα τηλεθέρμανσης και για την ανάπτυξη κατευθυντήριων γραμμών για τη βέλτιστη χρήση των νανοσωματιδίων ως HTF σε αυτά τα συστήματα με απώτερο στόχο την συνεισφορά σε πιθανές τεχνολογικές εξελίξεις που θα συντελέσουν θετικά στην βελτίωση των συστημάτων που βρίσκονται στην Δυτική Μακεδονία.

Στο πρώτο κεφάλαιο της διπλωματικής θα γίνει μια επισκόπηση των συστημάτων τηλεθέρμανσης και των σημερινών περιορισμών τους, καθώς και μια εισαγωγή στα νανοσωματίδια και την πιθανή χρήση τους για τη βελτίωση της μεταφοράς θερμότητας.

Στη συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο θα εξεταστεί η υπάρχουσα βιβλιογραφία για τη χρήση νανοσωματιδίων σε συστήματα μεταφοράς θερμότητας και τηλεθέρμανσης, συμπεριλαμβανομένων των ιδιοτήτων των νανοσωματιδίων που τα καθιστούν χρήσιμα για αυτήν την εφαρμογή, καθώς και προηγούμενες μελέτες σχετικά με τη χρήση νανοσωματιδίων σε αυτά τα συστήματα. Ακολουθεί, περιγραφή από τα υλικά και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην έρευνα, συμπεριλαμβανομένων των τύπων νανοσωματιδίων που χρησιμοποιούνται, το σύστημα τηλεθέρμανσης που χρησιμοποιείται για πειραματισμούς και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της μεταφοράς θερμότητας. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας συμπεριλαμβανομένων δεδομένων για τη βελτίωση της μεταφοράς θερμότητας που επιτυγχάνεται με τη χρήση νανοσωματιδίων. Και τέλος, ένα κεφάλαιο που θα συζητήσει τις επιπτώσεις της έρευνας, συμπεριλαμβανομένων των πιθανών οφελών από τη χρήση νανοσωματιδίων στα συστήματα τηλεθέρμανσης της Δυτικής Μακεδονίας δεδομένων των περιορισμών του, τυχόν προκλήσεις που πρέπει να

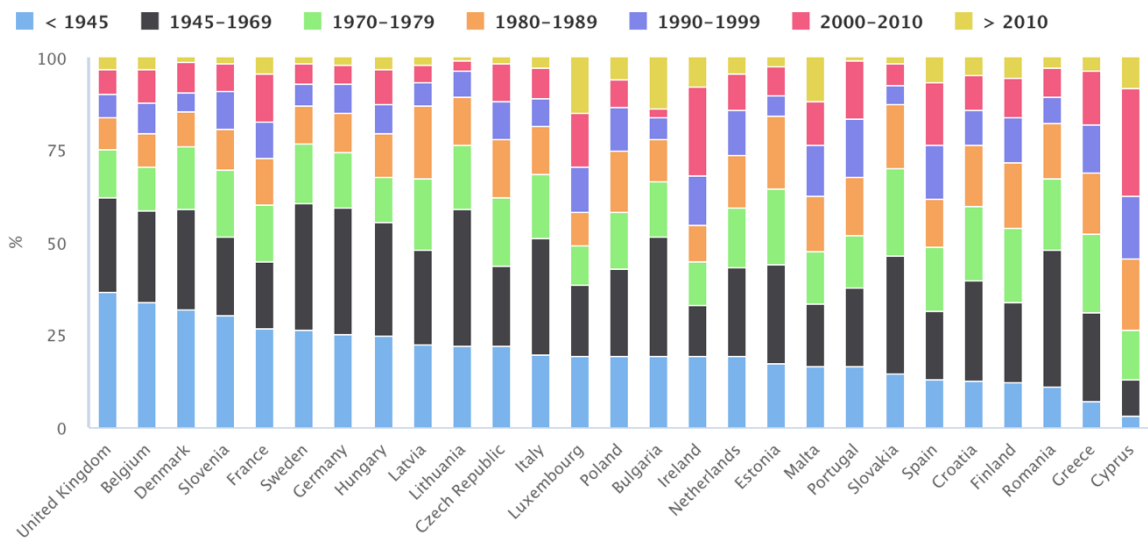
ξεπεραστούν για την εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας και τυχόν μελλοντικές κατευθύνσεις για έρευνα σε αυτόν τον τομέα.

Κεφάλαιο 2 – Κίνητρο έρευνας και επισκόπηση βιβλιογραφίας

2.1 Κίνητρο έρευνας

Σήμερα, είναι σαφές ότι σχεδόν κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα έχει αποτύπωμα άνθρακα, συμβάλλοντας στην κρίση της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Με σκοπό την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, υπογράφηκε από τους παγκόσμιους ηγέτες η Συμφωνία των Παρισίων (2015)^[1]. Πρωταρχικός στόχος της, ο περιορισμό της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας κάτω από τους 2°C σε σύγκριση με τα προβιομηχανικά επίπεδα έως το 2100, με περαιτέρω φιλοδοξία των 1,5°C. Ωστόσο, παρά τη συμφωνία, φαίνεται πως οι στόχοι αυτοί είναι απίθανο να επιτευχθούν αν συνυπολογίσουμε και τα πρόσφατα γεγονότα της πολεμικής σύρραξης στο βορειοανατολικό κομμάτι της Ευρώπης^[2]. Σύμφωνα με την έκθεση του OECD Outlook Baseline Projects Report, χωρίς πιο φιλόδοξες πολιτικές που δεν έχουν ακόμη αναπτυχθεί, η συγκέντρωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) θα ξεπεράσει τα 600 σωματίδια ανά εκατομμύριο (ppm) ισοδύναμα CO₂ μέχρι το 2050. Η συγκέντρωση αυτή υπερβαίνει κατά πολύ το όριο των 450 ppm (σωματίδια ανά εκατομμύριο) των στόχων της Συμφωνίας του Παρισιού^[3].

Σε πολλές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) όπως και στην Ελλάδα, περίπου το 50% των κτιρίων κατοικιών κατασκευάστηκαν πριν από την εφαρμογή των κανονισμών θερμικής απόδοσης το 1970, με αποτέλεσμα υψηλά θερμικά φορτία και απαρχαιωμένο εξοπλισμό θέρμανσης, όπως χαλύβδινα ή χυτοσιδηρά θερμαντικά σώματα. Το γεγονός αυτό έρχεται σε αντιπαράθεση μεταξύ της απαίτησης για υψηλές θερμοκρασίες παροχής σε παλιά κτίρια και του στόχου της ΕΕ για τη χρήση θερμικών πηγών χαμηλής ενέργειας^[4].



Εικόνα 1. Κατανομή των κτιρίων κατοικιών ανά έτος κατασκευής (2014)^[4]

Το 2021 η παραγωγή τηλεθέρμανσης αυξήθηκε κατά περίπου 3% σε σύγκριση με το 2020 και κάλυψε σχεδόν το 8% των παγκόσμιων τελικών αναγκών θέρμανσης σε κτίρια και βιομηχανία. Τα δίκτυα τηλεθέρμανσης προσφέρουν μεγάλες δυνατότητες για την αποτελεσματική, οικονομικά αποδοτική και ευέλικτη ενσωμάτωση σε μεγάλη κλίμακα πηγών ενέργειας χαμηλών εκπομπών άνθρακα στο ενεργειακό μείγμα θέρμανσης^[5].

Επί του παρόντος, πολλά δίκτυα τηλεθέρμανσης μεταδίδουν θερμότητα μέσω σωλήνων νερού υπό πίεση σε θερμοκρασίες παροχής άνω των 80°C, οδηγώντας σε απώλειες θερμότητας που κυμαίνονται από 10% έως 30%. Ωστόσο, με την αναβάθμιση των δικτύων σε χαμηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας, τη βελτίωση της μόνωσης και την ενσωμάτωση τεχνικών ψηφιοποίησης, οι απώλειες θερμότητας μπορούν να μειωθούν σημαντικά, περιορίζοντάς τες ενδεχομένως κάτω από το 10%. Στη Βόρεια Κίνα, γίνονται προσπάθειες περιορισμού των απωλειών με δίκτυα μεταφοράς μεγάλων αποστάσεων (20-150 χλμ.) για την αξιοποίηση της απορριπτόμενης θερμότητας.

Η τηλεθέρμανση στην περιοχή της Κοζάνης τέθηκε σε λειτουργία το 1993. Σήμερα, μετά από 30 χρόνια, στο δίκτυο της έχουν ενταχθεί περίπου 5,500 κτήρια. Το μήκος του δικτύου ανέρχεται στα 500 χιλιόμετρα. Τα διαμερίσματα που τροφοδοτούνται μέσω αυτού του δικτύου φτάνουν τις 28,000.

Η επίδραση του δικτύου είναι πολυεπίπεδη. Πέρα από το προφανές αγαθό της θέρμανσης που προσφέρει, έχει επίδραση και στο περιβάλλον του τόπου. Από την έναρξη της λειτουργίας της έχει συμβάλει στην μείωση των καπνοδόχων κατά 5 χιλιάδες και την μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης κατά 760.000 tn CO₂-διοξειδίου του άνθρακα και 70 tn αιωρούμενα σωματίδια.

Συνέχεια αυτών είναι και οι οικονομικές διαστάσεις. Οι πολίτες επωφελούνται καθώς λόγω της συμβολαιοποιημένης τιμής της τηλεθέρμανσης, κατοχυρώνεται η τιμή θα διαμορφώνεται κατά 25% μικρότερη της τιμής του πετρελαίου θέρμανσης. Ενώ παρά την αύξηση στην τιμή του πετρελαίου, οι τιμές της τηλεθέρμανσης παρέμειναν σταθερές τα τελευταία δέκα έτη. Ακόμη λόγω της μείωσης της εισαγωγής πετρελαίου θέρμανση στην χώρα μας, η οικονομία συγκράτεται συνάλλαγμα που θα είχε διαφύγει σε διαφορετική περίπτωση.

Το σύστημα τηλεθέρμανσης τροφοδοτείται με σταθερή θερμική ισχύ 137 MW. Οι μονάδες που την τροφοδοτούν είναι:

- Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου της Δ.Ε.Η.

3^η μονάδα

4^η μονάδα

5^η μονάδα,

Με δυναμικότητα που κυμαίνεται από 67 έως 70 MW η κάθε μία.



Εικόνα 2. Τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδας

Ακόμη, υπάρχει ένας και εφεδρικός σταθμός με δυναμικότητα 50MW^[6].

Σημαντικό κομμάτι στο να γίνουν αυτά τα δίκτυα πιο αποτελεσματικά και οικονομικά αποδοτικά είναι η βελτιστοποίησή τους με την χρήση σύγχρονων τεχνολογιών, κάτι το οποίο είναι ανεξάρτητο από την πηγή ενέργειας που τα διοχετεύει.

Υπάρχουν τρεις τεχνικές για τη βελτίωση της απόδοσης των μηχανημάτων και των εξαρτημάτων τους. Η μηχανική επεξεργασία περιλαμβάνει φυσική τροποποίηση των εξαρτημάτων. Η χημική επεξεργασία των υγρών λειτουργίας είναι η δεύτερη μέθοδος με τη χρήση αιωρούμενων επιφανειοδραστικών ουσιών και άλλων υλικών για τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του συστήματος. Η νανοτεχνολογία είναι η

αναδυόμενη κορυφαία μέθοδος, κατά την οποία προστίθενται σωματίδια νανομεγέθους στα κύρια ή δευτερεύοντα ρευστά των συστημάτων HVAC&R^[7].

2.2 - Επισκόπηση Βιβλιογραφίας

Τα νανοσωματίδια είναι σωματίδια με μεγέθη που κυμαίνονται από 1 έως 100 νανόμετρα και έχουν μοναδικές ιδιότητες που διαφέρουν από εκείνες των αντίστοιχων σωματιδίων. Οι ιδιότητες αυτές περιλαμβάνουν μεγάλο λόγο επιφάνειας προς όγκο, υψηλή θερμική αγωγιμότητα και αυξημένη επιφανειακή ενέργεια. Αυτές οι ιδιότητες καθιστούν τα νανοσωματίδια άριστους υποψήφιους για χρήσεις με εφαρμογές στην μεταφορά θερμότητας, καθώς μπορούν να ενισχύσουν τους ρυθμούς της αυξάνοντας τη θερμική αγωγιμότητα του ρευστού και μειώνοντας τα θερμικά οριακά στρώματα.

Προηγούμενες μελέτες έχουν δείξει ότι η προσθήκη νανοσωματιδίων σε ρευστά μπορεί να ενισχύσει τη θερμική αγωγιμότητα του ρευστού. Για παράδειγμα, έχει αποδειχθεί ότι τα νανοσωματίδια χαλκού ενισχύουν τη θερμική αγωγιμότητα του νερού έως και 40% σε συγκέντρωση 0,01% κατ' όγκο. Ομοίως, έχει αποδειχθεί ότι τα νανοσωματίδια οξειδίου του αργιλίου ενισχύουν τη θερμική αγωγιμότητα της αιθυλενογλυκόλης έως και 60% σε συγκέντρωση 2,5% κατ' όγκο. Η αυξημένη θερμική αγωγιμότητα του ρευστού οδηγεί σε βελτιωμένους ρυθμούς μεταφοράς θερμότητας και μπορεί να οδηγήσει σε πιο αποδοτικά συστήματα μεταφοράς θερμότητας.

2.2.1 Νανοσωματίδια σε συστήματα τηλεθέρμανσης

Τα συστήματα τηλεθέρμανσης είναι ένας τύπος συστήματος μεταφοράς θερμότητας που διανέμει θερμότητα από μια κεντρική τοποθεσία σε πολλά κτίρια ή νοικοκυριά. Τα συστήματα αυτά είναι συνήθως πιο αποδοτικά από τα ατομικά συστήματα θέρμανσης, καθώς μπορούν να χρησιμοποιούν την απορριπτόμενη/διαφυγούσα θερμότητα από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή βιομηχανικές διεργασίες. Αυτό ακριβώς είναι και το σενάριο που επικρατεί στην Δυτική Μακεδονία όπου η ύπαρξη εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επέτρεψε την δημιουργία τέτοιων δικτύων τηλεθέρμανσης. Η χρήση νανοσωματιδίων σε συστήματα τηλεθέρμανσης έχει διερευνηθεί για την περαιτέρω ενίσχυση της απόδοσης αυτών των συστημάτων.

Τα νανοσωματίδια μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση των ρευστών μεταφοράς θερμότητας σε συστήματα τηλεθέρμανσης. Για παράδειγμα, έχει διαπιστωθεί ότι τα νανοσωματίδια οξειδίου του χαλκού αυξάνουν τη θερμική αγωγιμότητα των ρευστών μεταφοράς θερμότητας με βάση το νερό έως και 40%. Αυτή η αυξημένη θερμική αγωγιμότητα επιτρέπει την αποτελεσματικότερη μεταφορά θερμότητας, μειώνοντας την ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας.

Ομοίως, τα νανοσωματίδια με βάση τον άνθρακα, όπως το γραφένιο και οι νανοςωλήνες άνθρακα, έχει επίσης αποδειχθεί ότι βελτιώνουν τη θερμική αγωγιμότητα σε ρευστά μεταφοράς θερμότητας. Αυτά τα νανοσωματίδια μπορούν να αυξήσουν τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας, ο οποίος είναι ένα μέτρο του πόσο αποτελεσματικά μεταφέρεται η θερμότητα μεταξύ δύο ρευστών. Με τη βελτίωση του

συντελεστή μεταφοράς θερμότητας, τα νανοσωματίδια μπορούν να μειώσουν τη βαθμίδα θερμοκρασίας μεταξύ της πηγής θερμότητας και της ψύκτρας, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

Εκτός από τη βελτίωση της θερμικής αγωγιμότητας, τα νανοσωματίδια μπορούν επίσης να βελτιώσουν τη σταθερότητα και τη διάρκεια ζωής των ρευστών μεταφοράς θερμότητας. Για παράδειγμα, έχει αποδειχθεί ότι η προσθήκη νανοσωματιδίων πυριτίου μειώνει την τάση των ρευστών μεταφοράς θερμότητας να υποβαθμίζονται ή να διασπώνται με την πάροδο του χρόνου. Αυτή η βελτιωμένη σταθερότητα μπορεί να παρατείνει τη διάρκεια ζωής των συστημάτων τηλεθέρμανσης και να μειώσει την ανάγκη για συντήρηση και αντικατάσταση.

Νανοσωματίδια χαλκού: Ο χαλκός έχει υψηλή θερμική αγωγιμότητα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο νανοσωματιδίων σε ρευστά μεταφοράς θερμότητας για να βελτιώσει τη θερμική τους αγωγιμότητα. Έχει διαπιστωθεί ότι τα νανοσωματίδια χαλκού βελτιώνουν την απόδοση μεταφοράς θερμότητας σε συστήματα τηλεθέρμανσης έως και 20%^[8].

Νανοσωματίδια τιτανίου: Το διοξείδιο του τιτανίου έχει υψηλή θερμική αγωγιμότητα και μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο νανοσωματιδίων σε ρευστά μεταφοράς θερμότητας. Έχει βρεθεί ότι βελτιώνει τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας και τη συνολική απόδοση μεταφοράς θερμότητας σε συστήματα τηλεθέρμανσης.

Νανοσωλήνες άνθρακα: Οι νανοσωλήνες άνθρακα έχουν υψηλή θερμική αγωγιμότητα και μεγάλη επιφάνεια, γεγονός που τους καθιστά κατάλληλους για χρήση σε εφαρμογές μεταφοράς θερμότητας. Έχει διαπιστωθεί ότι ενισχύουν τη θερμική αγωγιμότητα των ρευστών μεταφοράς θερμότητας και βελτιώνουν την απόδοση μεταφοράς θερμότητας σε συστήματα τηλεθέρμανσης^{[9][10]}.

Νανοσωματίδια οξειδίου του αργιλίου: Το οξείδιο του αργιλίου είναι ένα άλλο πρόσθετο νανοσωματιδίων που μπορεί να ενισχύσει τη θερμική αγωγιμότητα των ρευστών μεταφοράς θερμότητας. Έχει διαπιστωθεί ότι βελτιώνει την απόδοση μεταφοράς θερμότητας σε συστήματα τηλεθέρμανσης, ιδίως σε υψηλότερες θερμοκρασίες^[11].

Νανοσωματίδια γραφενίου: Το γραφένιο έχει υψηλή θερμική αγωγιμότητα και είναι ένα πολλά υποσχόμενο πρόσθετο νανοσωματιδίων για ρευστά μεταφοράς θερμότητας. Έχει διαπιστωθεί ότι βελτιώνει τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας και τη συνολική απόδοση μεταφοράς θερμότητας σε συστήματα τηλεθέρμανσης^[12].

Αυτά τα νανοσωματίδια προσφέρουν διάφορα οφέλη σε εφαρμογές μεταφοράς θερμότητας, συμπεριλαμβανομένης της βελτιωμένης θερμικής αγωγιμότητας, του

βελτιωμένου συντελεστή μεταφοράς θερμότητας και της συνολικά βελτιωμένης απόδοσης μεταφοράς θερμότητας.

Η χρήση τους σε συστήματα τηλεθέρμανσης μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη ενεργειακή απόδοση και μειωμένη κατανάλωση ενέργειας, γεγονός που τα καθιστά σημαντικό τομέα έρευνας και ανάπτυξης. Θα διερευνηθούν αυτές οι χρήσεις τους σε βάθος και θα διαπιστωθεί ποια μπορεί να είναι πιο κατάλληλα για χρήση στο ειδικό πεδίο το οποίο αναφέρεται η παρούσα έρευνα.

Κεφάλαιο 3 – Υλικά και μέθοδοι εφαρμογής σε συστήματα τηλεθέρμανσης

Τα συστήματα τηλεθέρμανσης είναι ζωτικής σημασίας για την παροχή αποτελεσματικών και βιώσιμων λύσεων θέρμανσης σε αστικές περιοχές. Πόσο μάλλον στο πλαίσιο της συζήτησης στο προηγούμενο κεφάλαιο σχετικά με την παγκόσμια ενεργειακή κρίση. Ακόμα περισσότερο στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας που εξετάζουμε δεδομένης και της νέας εποχής απολιγνιτοποίησης με ό,τι αυτό συνεπάγεται σε οικονομικό τουλάχιστον επίπεδο για την αγοραστική ισχύ των κατοίκων.

Με την πάροδο των ετών, τα νανοϋλικά έχουν αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για τη βελτίωση της απόδοσης αυτών των συστημάτων. Ακολουθεί μια διεξοδική περιγραφή ορισμένων νανοϋλικών που έχουν χρησιμοποιηθεί σε συστήματα τηλεθέρμανσης για τη βελτίωση της απόδοσής τους.

Νανο-ενισχυμένα ρευστά μεταφοράς θερμότητας:

Τα νανορευστά είναι ένα μείγμα βασικών ρευστών, όπως το νερό ή η αιθυλενογλυκόλη, με διασκορπισμένα σωματίδια νανομεγέθους. Τα σωματίδια αυτά μπορεί να είναι κατασκευασμένα από υλικά όπως μέταλλα, οξείδια μετάλλων ή νανοσωλήνες άνθρακα. Με τη χρήση νανορευστών, η απόδοση της μεταφοράς θερμότητας του συστήματος τηλεθέρμανσης μπορεί να αυξηθεί σημαντικά λόγω της υψηλής θερμικής αγωγιμότητας και των μοναδικών θερμικών ιδιοτήτων των σωματιδίων νανομεγέθους.

Ορισμένα παραδείγματα νανοϋλικών που χρησιμοποιούνται στα νανορευστά περιλαμβάνουν:

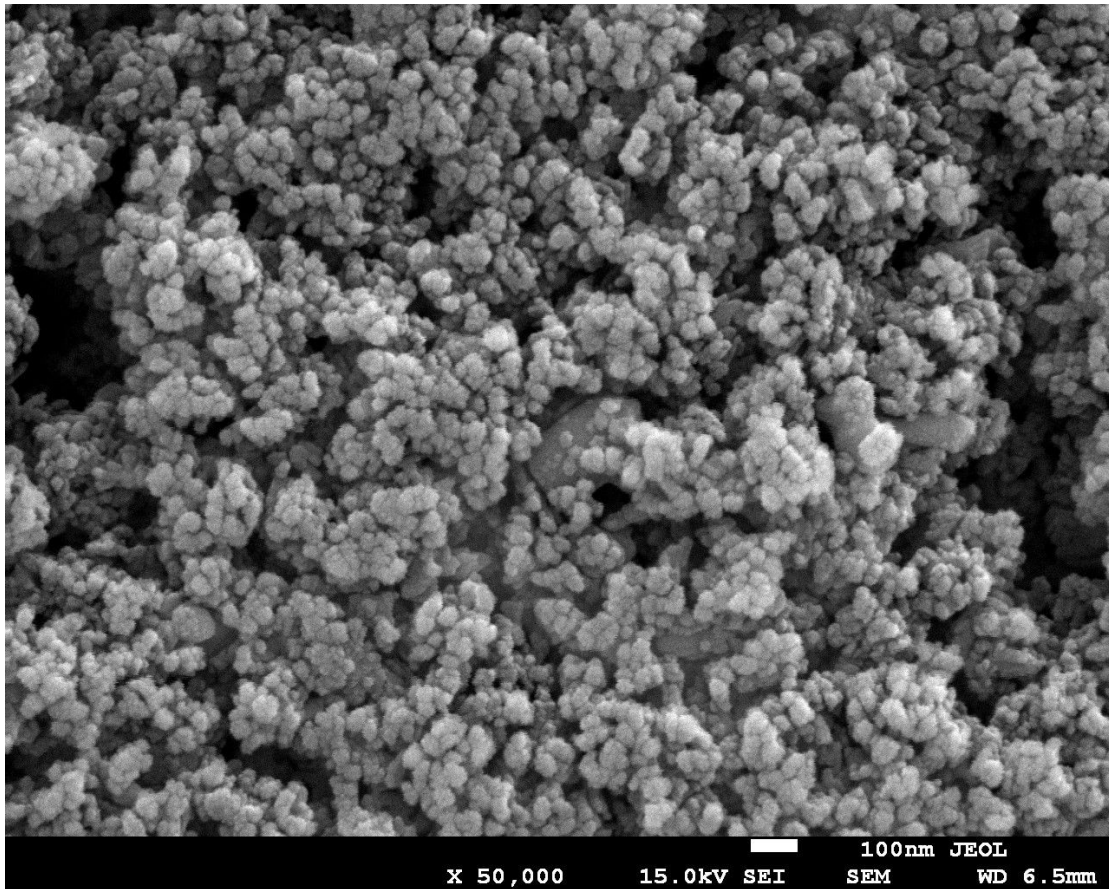
- Οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3)
- Οξείδιο του χαλκού (CuO)
- Διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2)
- Νανοσωλήνες άνθρακα (CNT)

Νανο-μονωτικά υλικά:

Η απόδοση των συστημάτων τηλεθέρμανσης μπορεί επίσης να βελτιωθεί με τη μείωση των απωλειών θερμότητας μέσω της μόνωσης των σωλήνων και άλλων εξαρτημάτων. Τα νανο-μονωτικά υλικά προσφέρουν ανώτερες θερμομονωτικές ιδιότητες σε σύγκριση με τα παραδοσιακά μονωτικά υλικά. Ορισμένα παραδείγματα νανο-μονωτικών υλικών είναι:

Αερογέλες: Πρόκειται για εξαιρετικά ελαφριά, χαμηλής πυκνότητας νανοδομημένα υλικά που προέρχονται από μια γέλη όπου το υγρό.

3.1 - Οξείδιο του αργιλίου (Al₂O₃)



Εικόνα 3. νανοσωματίδια οξειδίου του αργιλίου (Al₂O₃)

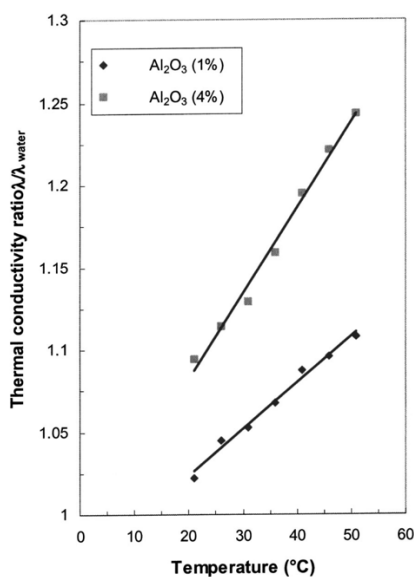
Τα νανοσωματίδια οξειδίου του αργιλίου (Al₂O₃), γνωστά και ως αλούμινα (alumina)^[13], μπορούν να προσφέρουν πολλά οφέλη όταν χρησιμοποιούνται σε συστήματα τηλεθέρμανσης ως μέρος νανοενισχυμένων ρευστών μεταφοράς θερμότητας. Τα οφέλη αυτά οφείλονται κυρίως στις μοναδικές θερμικές ιδιότητες και τη σταθερότητα των νανοσωματιδίων οξειδίου του αλουμινίου:

Βελτιωμένη θερμική αγωγιμότητα: Τα νανοσωματίδια οξειδίου του αλουμινίου έχουν υψηλή θερμική αγωγιμότητα, η οποία μπορεί να αυξήσει σημαντικά την απόδοση μεταφοράς θερμότητας του βασικού ρευστού (π.χ. νερό, αιθυλενογλυκόλη) όταν είναι ομοιόμορφα διασκορπισμένα σε αυτό. Αυτή η αυξημένη θερμική αγωγιμότητα επιτρέπει στο ρευστό να απορροφά και να μεταφέρει περισσότερη θερμότητα, οδηγώντας σε βελτιωμένη απόδοση της ανταλλαγής θερμότητας στο σύστημα τηλεθέρμανσης.

Μια μελέτη των Murshed κ.ά. (2008)^[14] ανέφερε αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας έως και 20% για νανορευστά με βάση το νερό με συγκέντρωση νανοσωματιδίων

Al₂O₃ 1% κατ' όγκο και 37% για νανορευστά με βάση το νερό με συγκέντρωση νανοσωματιδίων Al₂O₃ 3% κατ' όγκο.

Επίσης οι Sarit Kumar Das, Nandy Putra, Peter Thiesen, Wilfried Roetzel^[15] μελέτησαν την εξάρτηση από τη θερμοκρασία της θερμικής αγωγιμότητας για νανορευστά νερού- Al₂O₃. Τα συμπεράσματα τους συνοψίζονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4. Εξάρτηση από τη θερμοκρασία της ενίσχυσης της θερμικής αγωγιμότητας για νανορευστά νερού- Al₂O₃ ^[15]

Οι Masuda κ.ά.^[16] ανέφεραν αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας κατά 30% με τη χρήση νανο-υλικών νερού-Al₂O₃ ρευστό με σωματίδια μέσης διαμέτρου 13nm σε κλάσμα όγκου 4,3%.

Η βελτίωση της θερμικής αγωγιμότητας μπορεί να είναι υψηλότερη όταν αυξάνεται η συγκέντρωση των νανοσωματιδίων, αλλά πρέπει να σημειωθεί ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις μπορεί επίσης να οδηγήσουν σε αυξημένο ιξώδες και πιθανά προβλήματα με τη σταθερότητα και τη διασπορά.

Ενισχυμένος ρυθμός μεταφοράς θερμότητας: Η αυξημένη θερμική αγωγιμότητα του νανορευστού οδηγεί σε υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς θερμότητας στους εναλλάκτες θερμότητας των συστημάτων τηλεθέρμανσης. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την αποδοτικότερη αξιοποίηση της πηγής θερμότητας, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας και το συνολικό κόστος λειτουργίας του συστήματος.

Οι Rea κ.ά. [17] διερεύνησαν τη στρωτή μεταφορά θερμότητας με συναγωγή και απώλεια ιξώδους πίεσης για νανο-ρευστά αλουμίνας-νερού και ζιρκονίας-νερού ρευστά σε βρόχο ροής με κατακόρυφο θερμαινόμενο σωλήνα. Η μεταφορά θερμότητας στην περιοχή εισόδου και στην πλήρως ανεπτυγμένη περιοχή διαπιστώθηκε ότι αυξάνονται κατά 17% και 27%, αντίστοιχα, για το αλουμίνα- νερό νανορευστό σε ποσοστό 6 vol.% σε σχέση με το καθαρό νερό.

Οι Bianco et al. [18] έλαβαν τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας για το αναπτυσσόμενο στρωτό εξαναγκασμένο ροή με συναγωγή ενός νανορευστού νερού- Al_2O_3 σε κυκλικό σωλήνα χρησιμοποιώντας μονοφασικά και διφασικά μοντέλα που έχουν τη μέγιστη διαφορά

μεταξύ τους είναι περίπου 11%. Ανέφεραν επίσης ότι η θερμότητα συναγωγής για τα νανορευστά είναι μεγαλύτερος από αυτόν της βάσης υγρού.

Μειωμένη ρύπανση και απολέπιση: Τα νανοσωματίδια οξειδίου του αργιλίου μπορούν να συμβάλουν στην ελαχιστοποίηση της ρύπανσης και της απολέπισης των επιφανειών του εναλλάκτη θερμότητας, βελτιώνοντας τις θερμικές ιδιότητες του ρευστού και προωθώντας την αποτελεσματικότερη μεταφορά θερμότητας. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε λιγότερο συχνές απαιτήσεις συντήρησης, αυξημένη αξιοπιστία του συστήματος και μειωμένο κόστος.

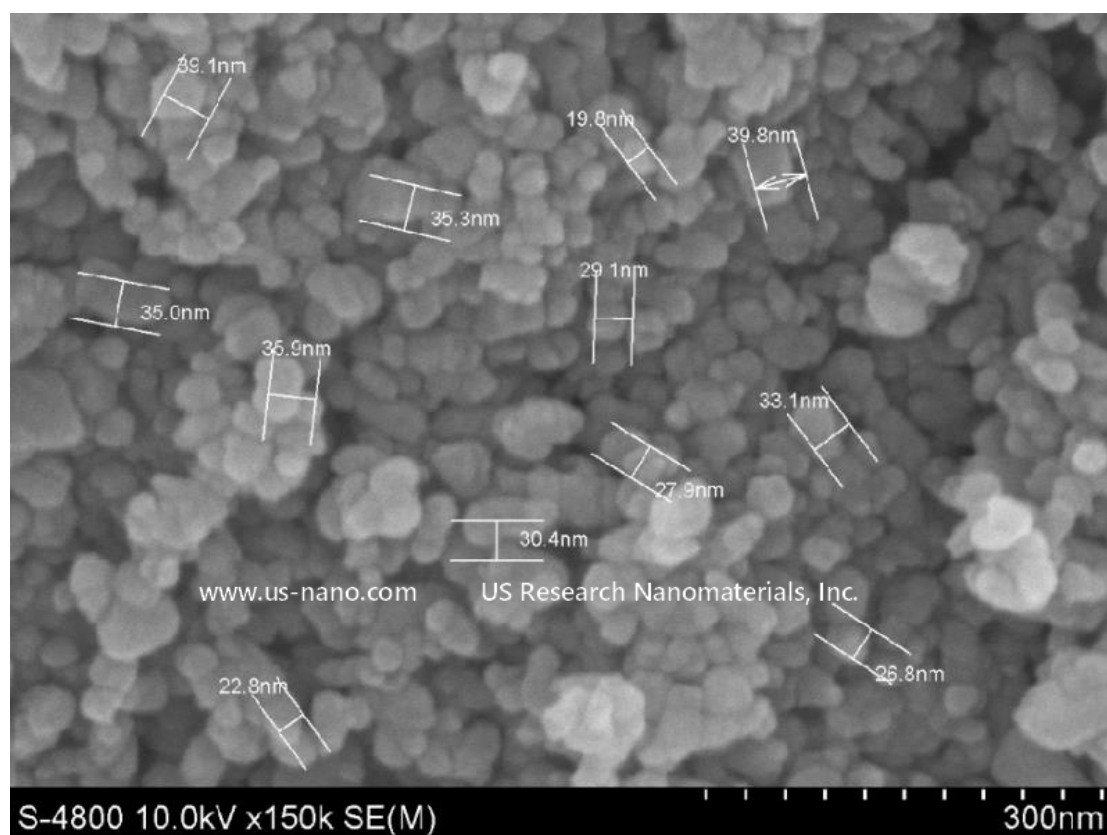
Σταθερότητα και διασπορά: Τα νανοσωματίδια οξειδίου του αργιλίου έχουν καλή χημική σταθερότητα και μπορούν εύκολα να διασκορπιστούν σε ένα βασικό ρευστό χωρίς να προκαλέσουν σημαντική αύξηση του ιξώδους ή της πτώσης πίεσης. Αυτό επιτρέπει στο νανορευστό να διατηρεί τις ιδιότητες που βελτιώνουν την απόδοσή του για παρατεταμένες περιόδους χρήσης, διασφαλίζοντας ότι το σύστημα τηλεθέρμανσης μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί αποτελεσματικά χωρίς αρνητικές επιπτώσεις στους ρυθμούς ροής ή στην πίεση. Η καλή διασπορά συμβάλλει επίσης στη διατήρηση της σταθερότητας του νανορευστού, αποτρέποντας τη συσσωμάτωση και την καθίζηση των νανοσωματιδίων, τα οποία διαφορετικά θα μπορούσαν να μειώσουν την αποτελεσματικότητα του ρευστού στη μεταφορά θερμότητας.

Φιλικό προς το περιβάλλον: Τα νανοσωματίδια οξειδίου του αργιλίου θεωρούνται μη τοξικά και φιλικά προς το περιβάλλον. Η χρήση τους σε συστήματα τηλεθέρμανσης δεν ενέχει σημαντικούς περιβαλλοντικούς κινδύνους ούτε εισάγει επιβλαβείς ουσίες στο σύστημα, καθιστώντας τα μια βιώσιμη επιλογή για την ενίσχυση της απόδοσης των ρευστών μεταφοράς θερμότητας. [19]

Τα νανοσωματίδια οξειδίου του αργιλίου (Al_2O_3) μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων τηλεθέρμανσης αυξάνοντας τη θερμική αγωγιμότητα και την απόδοση μεταφοράς θερμότητας των ρευστών μεταφοράς θερμότητας. Η βελτιωμένη απόδοση της ανταλλαγής θερμότητας μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη κατανάλωση ενέργειας, χαμηλότερο λειτουργικό κόστος και βελτιωμένη συνολική απόδοση του συστήματος. Επιπλέον, η σταθερότητα, η διασπορά και η

φιλική προς το περιβάλλον φύση των νανοσωματιδίων οξειδίου του αργιλίου τα καθιστούν κατάλληλη και βιώσιμη επιλογή για χρήση σε συστήματα τηλεθέρμανσης.

3.2 - Οξειδίου του χαλκού (CuO)



Εικόνα 5. νανοσωματίδια οξειδίου του χαλκού (CuO)

Τα νανοσωματίδια οξειδίου του χαλκού (CuO), όταν χρησιμοποιούνται ως μέρος νανοενισχυμένων ρευστών μεταφοράς θερμότητας, έχουν πολλαπλά οφέλη και η χρήση τους μπορεί να επεκταθεί και στα συστήματα της τηλεθέρμανσης. Οι κύριοι μηχανισμοί που προσφέρουν αυτά τα οφέλη προκύπτουν από τις θερμικές τους ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά τους:

Βελτιωμένη θερμική αγωγιμότητα: Τα νανοσωματίδια οξειδίου του χαλκού έχουν υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα σε σύγκριση με άλλα νανοσωματίδια οξειδίων μετάλλων, όπως το οξείδιο του αλουμινίου. Όταν διασπείρονται ομοιόμορφα μέσα σε ένα βασικό ρευστό (π.χ. νερό ή αιθυλενογλυκόλη), μπορούν να αυξήσουν σημαντικά τις θερμικές ιδιότητες του ρευστού, επιτρέποντάς του να απορροφά και να μεταφέρει περισσότερη θερμότητα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της απόδοσης της ανταλλαγής θερμότητας στο σύστημα τηλεθέρμανσης.

Οι τιμές μέτρησης που παρουσιάζονται στην έρευνα των Suresh, κ.ά. (2011) [20] καταδεικνύουν ότι η θερμική συναγωγή των νανορευστών αυξάνεται σημαντικά με τον όγκο συγκέντρωσης των νανοσωματιδίων. Για το νανορευστό CuO/νερού εναιώρημα, ο λόγος της θερμικής αγωγιμότητας του νανορευστού προς εκείνη του βασικού υγρού κυμαινόταν από 1,06 έως 1,15 εάν η συγκέντρωση όγκου των

νανοσωματιδίων αυξανόταν από 0,1% σε 0,3%. Η θερμική αγωγιμότητα του νανορευστού αυξάνεται μη γραμμικά με τη συγκέντρωση όγκου των νανοσωματιδίων.

Με βάση την μελέτη “Enhancements of thermal conductivities with Cu, CuO, and carbon nanotube nanofluids and application of MWNT/water nanofluid on a water chiller system”^[21] φαίνεται ότι υπάρχει βελτίωση της θερμικής αγωγιμότητας με νανορευστά Cu και CuO. Η βελτίωση του λόγου θερμικής αγωγιμότητας για το νανορευστό CuO είναι περίπου γραμμική με το κλάσμα όγκου των νανοσωματιδίων. Για τα νανοσωματίδια CuO σε κλάσμα όγκου 5 vol.% διασκορπισμένα σε αιθυλενογλυκόλη, παρατηρούνται βελτιώσεις της θερμικής αγωγιμότητας έως και 22,4%. Για εναιωρήματα CuO-αιθυλενογλυκόλης έχει αναφερθεί ενίσχυση της θερμικής αγωγιμότητας κατά 22% σε ποσοστό 4 vol.%.^[22]

Με βάση τα ευρήματα των T. Srinivas and A. Venu Vinod, μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα: Βελτίωση της μεταφοράς θερμότητας μπορεί να επιτευχθεί στον εναλλάκτη θερμότητας κελύφους και ελικοειδούς σπείρας όταν χρησιμοποιούνται νανορευστά. Η μέγιστη ενίσχυση του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας επιτεύχθηκε για νανορευστό CuO/νερού 2% κ.β. Το νανορευστό έχει μεγαλύτερη επίδραση στη μεταφορά θερμότητας σε σύγκριση με την ταχύτητα του αναδευτήρα και τη θερμοκρασία στην πλευρά του κελύφους.^[23]

Ενισχυμένος ρυθμός μεταφοράς θερμότητας: Η αυξημένη θερμική αγωγιμότητα των νανορευστών που περιέχουν νανοσωματίδια CuO οδηγεί σε υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς θερμότητας στους εναλλάκτες θερμότητας των συστημάτων τηλεθέρμανσης. Αυτό επιτρέπει την αποδοτικότερη αξιοποίηση της πηγής θερμότητας, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας και το συνολικό κόστος λειτουργίας του συστήματος.

Αντιμικροβιακές ιδιότητες: Τα νανοσωματίδια οξειδίου του χαλκού είναι γνωστά για τις αντιμικροβιακές τους ιδιότητες. Όταν χρησιμοποιούνται σε συστήματα τηλεθέρμανσης, μπορούν να βοηθήσουν στην πρόληψη της βιολογικής ρύπανσης εντός του συστήματος εναλλάκτη θερμότητας, διατηρώντας έτσι την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας μεταφοράς θερμότητας και μειώνοντας την ανάγκη για συντήρηση και καθαρισμό.

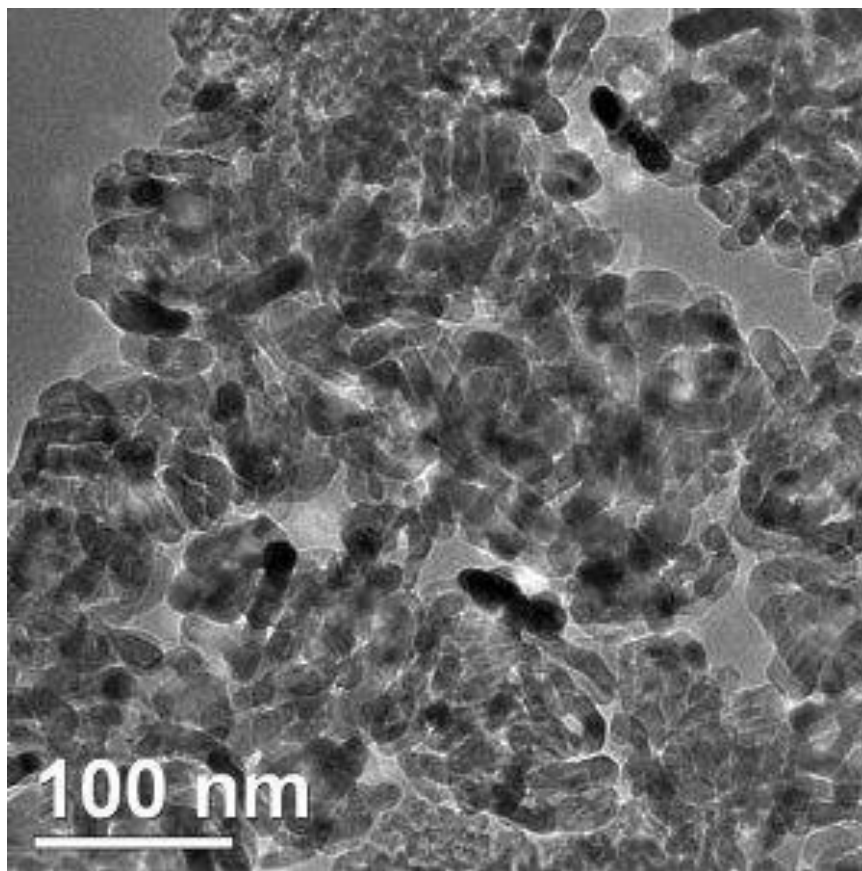
Σταθερότητα και διασπορά: Τα νανοσωματίδια CuO μπορούν να διασκορπιστούν σταθερά μέσα σε ένα βασικό ρευστό χωρίς να προκαλέσουν σημαντική αύξηση του ιξώδους ή της πτώσης πίεσης. Αυτό επιτρέπει στο νανορευστό να διατηρεί τις ιδιότητες βελτίωσης της απόδοσής του για μεγάλα χρονικά διαστήματα, διασφαλίζοντας ότι το σύστημα τηλεθέρμανσης μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί αποτελεσματικά.

Φιλικό προς το περιβάλλον: Τα νανοσωματίδια οξειδίου του χαλκού θεωρούνται σχετικά μη τοξικά και φιλικά προς το περιβάλλον. Η χρήση τους σε συστήματα

τηλεθέρμανσης δεν ενέχει σημαντικούς περιβαλλοντικούς κινδύνους ούτε εισάγει επιβλαβείς ουσίες στο σύστημα, καθιστώντας τα μια βιώσιμη επιλογή για τη βελτίωση της απόδοσης των ρευστών μεταφοράς θερμότητας.

Συνοπτικά, τα νανοσωματίδια οξειδίου του χαλκού (CuO) μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων τηλεθέρμανσης αυξάνοντας τη θερμική αγωγιμότητα και την απόδοση μεταφοράς θερμότητας των ρευστών μεταφοράς θερμότητας. Η βελτιωμένη απόδοση της ανταλλαγής θερμότητας μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη κατανάλωση ενέργειας, χαμηλότερο λειτουργικό κόστος και βελτιωμένη συνολική απόδοση του συστήματος. Επιπλέον, οι αντιμικροβιακές ιδιότητες, η σταθερότητα, η διασπορά και η φιλική προς το περιβάλλον φύση των νανοσωματιδίων οξειδίου του χαλκού τα καθιστούν κατάλληλη και βιώσιμη επιλογή για χρήση σε συστήματα τηλεθέρμανσης.

3.3 - Διοξείδιο του τιτανίου (TiO₂)



Εικόνα 6. νανοσωματίδια διοξειδίου του τιτανίου (TiO₂)

Τα νανοσωματίδια διοξειδίου του τιτανίου (TiO₂) συμβάλουν και αυτά με τη σειρά τους στην ενίσχυση των συστημάτων της τηλεθέρμανσης. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν κυρίως ως πρόσθετο σε ρευστά μεταφοράς θερμότητας. Τα οφέλη από τη χρήση νανοσωματιδίων TiO₂ σε συστήματα τηλεθέρμανσης πηγάζουν από τις παρακάτω ιδιότητες που μπορούν να προσδώσουν στον φορέα τους:

Ενισχυμένη θερμική αγωγιμότητα: Τα νανοσωματίδια TiO₂ μπορούν να αυξήσουν τη θερμική αγωγιμότητα των βασικών ρευστών (π.χ. νερό ή αιθυλενογλυκόλη) όταν είναι ομοιόμορφα διασκορπισμένα. Η ενισχυμένη θερμική αγωγιμότητα του νανορευστού επιτρέπει την καλύτερη απορρόφηση και μεταφορά θερμότητας, οδηγώντας σε βελτιωμένη απόδοση ανταλλαγής θερμότητας στο σύστημα τηλεθέρμανσης.

Οι τιμές μέτρησης που συνοψίζονται στην έρευνα *Review and Comparison of Nanofluid Thermal Conductivity and Heat Transfer Enhancements* ^[24] των Wenhua Yu, David M. France, Jules L. Routbort & Stephen U. S. Choi, παρουσιάζουν πως η θερμική αγωγιμότητα των ρευστών ενυψίζεται με αναλογία που κυμαίνεται από 0.64 μέχρι και 1.33. Οι έρευνες που συμπεριλαμβάνονται και παρουσιάζονται μαζί με το

ποια μέθοδο και κάτω από ποιες συνθήκες η καθεμία προσδίδει τις παραπάνω αναλογίες είναι Murshed et al. (2005)^[25], Wen and Ding (2006)^[26], Masuda et al. 1993^[16].

Ο πίνακας που προκύπτει από τις παραπάνω μελέτες και που συμπεριλαμβάνεται μεταξύ άλλων στην μελέτη *Review and Comparison of Nanofluid Thermal Conductivity and Heat Transfer Enhancements* είναι ο παρακάτω:

Author (year)	Nanofluid	Concentration (vol %)	Particle size (nm)	Enhancement (ratio)	Note
Masuda et al. 1993 ^[16]	TiO ₂ -water (31.85°C)	3.25	27	1.080	Temperature effect
		–		–	
	TiO ₂ -water (46.85°C)	4.30	27	1.105	Temperature effect
		–		–	
	TiO ₂ -water (86.85°C)	3.25	27	1.084	Temperature effect
		–		–	
	TiO ₂ -water (46.85°C)	4.30	27	1.108	Temperature effect
		–		–	
Murshed et al. (2005) ^[25]	iO ₂ (+cetyltrimethylammoniumbromide)-water	3.10	27	1.075	Temperature effect
		–		–	
	iO ₂ (+cetyltrimethylammoniumbromide)-water	4.30	27	1.099	Temperature effect
		–		–	
Murshed et al. (2005) ^[25]	iO ₂ (+cetyltrimethylammoniumbromide)-water	0.50	15 sphere	1.05	Two-step method
		–		–	
	iO ₂ (+cetyltrimethylammoniumbromide)-water	5.00	15 sphere	1.30	Two-step method
		–		–	
	iO ₂ (+cetyltrimethylammoniumbromide)-water	0.50	10x40 rod	1.08	Two-step method
		–		–	
	iO ₂ (+cetyltrimethylammoniumbromide)-water	5.00	10x40 rod	1.33	Two-step method
		–		–	
Wen and Ding (2006) ^[26]	TiO ₂ -water (pH = 3)	0.29	34	1.02	Two-step method
		–		–	
	TiO ₂ -water (pH = 3)	0.68	34	1.06	Two-step method
		–		–	

Πίνακας 1. Βελτιώσεις θερμικής αγωγιμότητας

Ενισχυμένος ρυθμός μεταφοράς θερμότητας: Ο τρόπος που αυξάνεται η θερμική αγωγιμότητα των νανορευστών με βάση το TiO₂ επηρεάζει και τον ρυθμό μεταφοράς της θερμότητας. Η μελέτη των Pak and Cho (1998)^[27] καταδεικνύει αυτό το γεγονός και συμβάλει στην μελέτη αυτού του φαινομένου. Τα αποτελέσματα της έρευνας τους συνοψίζονται στον Πίνακα 2.

Author (year)	Nanofluid	Concentration (vol %)	Particle size (nm)	Enhancement (ratio)	Note
Pak and Cho (1998) ^[27]	TiO ₂ -water (pH = 10)	0.99	27	0.93 - 1.09	Turbulent flow
	TiO ₂ -water (pH = 10)	2.04	27	0.98 - 1.16	Enhanced Nusselt number

Πίνακας 2 - Μονοφασικές βελτιώσεις μεταφοράς θερμότητας

Σταθερότητα και διασπορά: Τα νανοσωματίδια TiO₂ μπορούν να διασπείρουν σταθερά μέσα σε ένα βασικό ρευστό χωρίς να προκαλέσουν σημαντικές αυξήσεις στο ιξώδες ή σημαντική πτώση πίεσης. Μελέτες που περιέχουν σχετικές παρατηρήσεις αν και δεν επικεντρώνονται στο συγκεκριμένο φαινόμενο παρατίθενται παρακάτω.

Οι Murshed, S. M. S., Leong, K. C., & Yang, C. (2008) στην μελέτη τους *Investigations of thermal conductivity and viscosity of nanofluids*. *International Journal of Thermal Sciences*, 47(5), 560-568^[14] διερευνούν τη σταθερότητα, τη θερμική αγωγιμότητα και το ιξώδες διαφόρων νανορευστών, συμπεριλαμβανομένων των νανορευστών με βάση το TiO₂. Οι συγγραφείς αναφέρουν σταθερή διασπορά νανοσωματιδίων TiO₂ σε αιθυλενογλυκόλη χωρίς τη χρήση επιφανειοδραστικών ουσιών.

Οι Wang, B. X., Zhou, L. P., & Peng, X. F. (2003) αναφέρονται σε αυτό το φαινόμενο στο έργο τους *A fractal model for predicting the effective thermal conductivity of liquid with suspension of nanoparticles*. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46(14), 2665-2672^[28]. Αυτή η εργασία παρουσιάζει ένα μοντέλο fractal για την πρόβλεψη της αποτελεσματικής θερμικής αγωγιμότητας των νανορευστών, συμπεριλαμβανομένων των νανορευστών με βάση το TiO₂. Οι συγγραφείς συζητούν τη σταθερότητα και τη διασπορά των νανοσωματιδίων TiO₂ σε νερό και υγρά με βάση την αιθυλενογλυκόλη.

Ακόμη, οι Turgut, A., Tavman, I., Chirtoc, M., Schuchmann, H. P., Sauter, C., & Tavman, S. (2009) συζητούν της επιπτώσεις συγκέντρωσης-θερμοκρασίας στην μελέτη A review of nanofluid stability properties and characterization in stationary conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(17-18), 4051-4068. [29] Αυτή η μελέτη διερευνά τη θερμική αγωγιμότητα και το ιξώδες των νανορευστών TiO₂ με βάση το νερό. Οι συγγραφείς συζητούν τη σταθερότητα και τη διασπορά των νανοσωματιδίων TiO₂ στο νερό, με έμφαση στις επιπτώσεις της συγκέντρωσης και της θερμοκρασίας των νανοσωματιδίων στις ιδιότητες του νανορευστού.

Φωτοκαταλυτικές ιδιότητες: Τα νανοσωματίδια TiO₂ είναι γνωστά για τις φωτοκαταλυτικές τους ιδιότητες, οι οποίες μπορούν να βοηθήσουν στην αποφυγή ρύπανσης και απολέπισης στο σύστημα εναλλάκτη θερμότητας. Αυτή η ιδιότητα μπορεί να διατηρήσει την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας μεταφοράς θερμότητας και να μειώσει την ανάγκη για συντήρηση και καθαρισμό.

Στην πρωτοποριακή εργασία των Fujishima, A., & Honda, K. (1972) *Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode*. *Nature*, 238(5358), 37-38 [30] αναφέρονται για πρώτη φορά οι φωτοκαταλυτικές ιδιότητες του TiO₂, περιγράφοντας την ηλεκτροχημική φωτόλυση του νερού με τη χρήση ενός ηλεκτροδίου TiO₂. Οι παρατηρήσεις των συγγραφέων έθεσαν τις βάσεις για την κατανόηση του TiO₂ ως φωτοκαταλύτη.

Οι Hoffmann, M. R., Martin, S. T., Choi, W., & Bahnemann, D. W. (1995). Στο άρθρο ανασκόπησης *Environmental applications of semiconductor photocatalysis*. *Chemical Reviews*, 95(1), 69-96.[31] που εξετάζει τις περιβαλλοντικές εφαρμογές της φωτοκατάλυσης ημιαγωγών, με ιδιαίτερη έμφαση στο TiO₂ παρέχουν μια επισκόπηση των θεμελιωδών αρχών της φωτοκατάλυσης, των διαφόρων μεθόδων παρασκευής του TiO₂ και της φωτοκαταλυτικής αποικοδόμησης των ρύπων.

Οι Carp, O., Huisman, C. L., & Reller, A. (2004) στην έρευνα *Photoinduced reactivity of titanium dioxide*. *Progress in Solid State Chemistry*, 32(1-2), 33-177.[32] παραβάλουν μια επισκόπηση της φωτοεπαγόμενης αντιδραστικότητας του διοξειδίου του τιτανίου. Η έρευνα καλύπτει τις βασικές αρχές της φωτοκατάλυσης του TiO₂, τη σύνθεση του TiO₂ και διάφορες φωτοκαταλυτικές εφαρμογές, όπως ο καθαρισμός του αέρα και του νερού, ο αυτοκαθαρισμός επιφανειών και η παραγωγή ενέργειας.

Οι φωτοκαταλυτικές ιδιότητες και ιδιαίτερα η σταθεροποίηση της διαδικασίας χωρίς την ανάγκη για περιοδικές παρεμβάσεις στις υποδομές ώστε να διατηρείται η σταθερή απόδοση έχει μεγάλο ενδιαφέρον και σε επιχειρηματικό επίπεδο. Η δημιουργία συνθηκών που μπορούν να εγγυηθούν για μεγαλύτερο διάστημα χωρίς παρεμβάσεις μπορεί να δώσει την δυνατότητα σε έναν οργανισμό να παρέχει εγγύηση σχετικά με την ποιότητα των υπηρεσιών στο συγκεκριμένο επίπεδο και να απολαμβάνει τα οφέλη μιας τέτοιας συμφωνίας με μεγάλη ασφάλεια και χωρίς να κινδυνεύει από τον συγκεκριμένο παράγοντα για να τεθεί η συμφωνία σε κίνδυνο. Άρα, ουσιαστικά να εγγυηθεί αυξημένη ποιότητα παροχής προϊόντων/υπηρεσιών με μειωμένο ή και χωρίς κόστος για την διατήρηση αυτής της ποιότητας.

Φιλικό προς το περιβάλλον: Παρόλο που τα νανοσωματίδια TiO₂ θεωρούνται γενικά φιλικά προς το περιβάλλον, συνεχίζεται η έρευνα για την κατανόηση των πιθανών επιπτώσεών τους στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Οι ακόλουθες μελέτες παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις φιλικές προς το περιβάλλον ιδιότητες και τις πιθανές ανησυχίες που σχετίζονται με τα νανοσωματίδια TiO₂ μιας και σαν τεχνολογία είναι ακόμα υπό εξέταση αρκετές από τις πτυχές της:

Η έρευνα των Weir κ.ά. (2012) - *Titanium dioxide nanoparticles in food and personal care products. Environmental Science & Technology*, 46(4), 2242-2250. ^[33] παρέχει μια σύνοψη της εμφάνισης και των πιθανών κινδύνων των νανοσωματιδίων TiO₂ σε τρόφιμα και προϊόντα προσωπικής φροντίδας. Οι συγγραφείς συζητούν τις περιβαλλοντικές και υγειονομικές επιπτώσεις των νανοσωματιδίων TiO₂, τονίζοντας τη γενικά χαμηλή τοξικότητά τους αλλά και την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα ώστε να διασφαλιστεί το γεγονός αυτό.

Οι Gottschalk, F., Sonderer, T., Scholz, R. W., & Nowack, B. (2009) στην μελέτη τους *Modeled environmental concentrations of engineered nanomaterials (TiO₂, ZnO, Ag, CNT, Fullerenes) for different regions. Environmental Science & Technology*, 43(24), 9216-9222. ^[34] που μοντελοποιεί τις περιβαλλοντικές συγκεντρώσεις διαφόρων τεχνητών νανοϋλικών, συμπεριλαμβανομένου του TiO₂, και αναφέρονται στις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους. Οι συγγραφείς καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι τα νανοσωματίδια TiO₂ ενέχουν σχετικά χαμηλό περιβαλλοντικό κίνδυνο σε σύγκριση με άλλα νανοϋλικά.

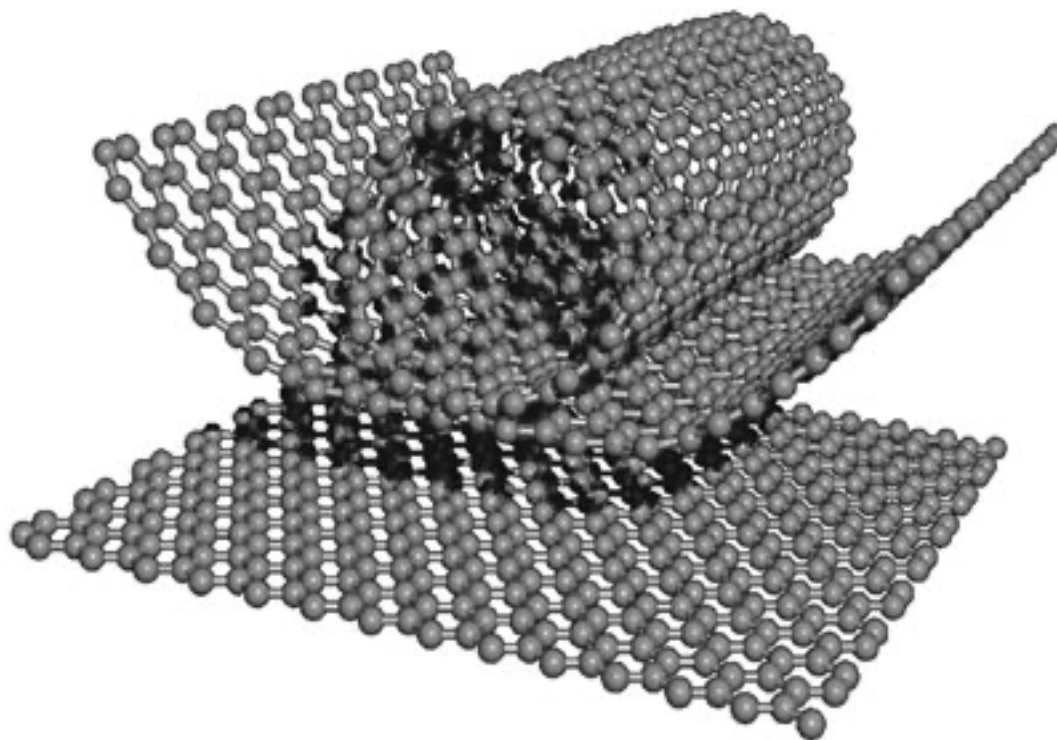
Μια ακόμη σημαντική μελέτη στον χώρο είναι αυτή των Kaegi, R., Ulrich, A., Sinnet, B., Vonbank, R., Wichser, A., Zuleeg, S., & Scherrers, R. (2008). - *Synthetic TiO₂ nanoparticle emission from exterior facades into the aquatic environment. Environmental Pollution*, 156(2), 233-239.^[35] Η μελέτη αυτή διερευνά την απελευθέρωση συνθετικών νανοσωματιδίων TiO₂ από εξωτερικές προσόψεις στο υδάτινο περιβάλλον. Οι συγγραφείς συζητούν τους πιθανούς περιβαλλοντικούς κινδύνους και καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι υπό τις συνθήκες που εξετάστηκαν, η απελευθέρωση νανοσωματιδίων TiO₂ ενέχει χαμηλό περιβαλλοντικό κίνδυνο.

Σε επίπεδο περιβαλλοντικής έρευνας και των επιπτώσεων που μπορεί να έχει η παραγωγή νανο-TiO₂ η μελέτη των Robichaud, C. O. κ.ά. (2009). *Estimates of upper bounds and trends in nano-TiO₂ production as a basis for exposure assessment. Environmental Science & Technology*, 43(12), 4227-4233. ^[36] εκτιμά τα ανώτερα όρια και τις τάσεις στην παραγωγή νανο-TiO₂ και συζητά τις πιθανές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Οι συγγραφείς τονίζουν την ανάγκη για καλύτερη κατανόηση και διαχείριση των πιθανών κινδύνων που συνδέονται με την αυξανόμενη παραγωγή και χρήση νανοσωματιδίων TiO₂.

Στις μελέτες που παρουσιάστηκαν πιο πάνω φαίνεται ότι σε γενικό πλαίσιο τα νανοσωματίδια TiO₂ είναι σχετικά φιλικά προς το περιβάλλον ειδικότερα αν τα

σύγκρινουμε με άλλα νανοϋλικά. Ωστόσο, τονίζεται επίσης η σημασία της συνεχιζόμενης έρευνας για την καλύτερη κατανόηση των πιθανών περιβαλλοντικών και υγειονομικών τους επιπτώσεων, ιδίως καθώς η παραγωγή και η χρήση τους συνεχίζουν να αυξάνονται.

3.4 - Νανοςωλήνες άνθρακα (CNT)



Εικόνα 7. νανοςωλήνες άνθρακα (CNT)

Οι νανοςωλήνες άνθρακα (CNT) έχουν μοναδικές ιδιότητες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την βελτίωση στα συστήματα τηλεθέρμανσης όταν ειδικά γίνεται χρήση τους ως πρόσθετο στα ρευστά μεταφοράς θερμότητας ή για την ενίσχυση της απόδοσης των εξαρτημάτων του συστήματος. Παρακάτω θα αναφερθούν ξεχωριστά τα πλεονεκτήματα που αποκομίζονται από τα CNTs σε συστήματα μεταφοράς θερμότητας άρα κατ' επέκταση και σε συστήματα τηλεθέρμανσης.

Βελτίωση θερμικής αγωγιμότητας: Οι CNT έχουν εξαιρετικά υψηλή θερμική αγωγιμότητα. Η βελτιωμένη θερμική αγωγιμότητα του νανορευστού με βάση τους CNT επιτρέπει την καλύτερη απορρόφηση και μεταφορά θερμότητας, οδηγώντας σε βελτιωμένη απόδοση της ανταλλαγής θερμότητας στο σύστημα της τηλεθέρμανσης.

Οι νανοςωλήνες υπόσχονται πολλά για εφαρμογές σε νανορευστά. Σε ισοδύναμο κλάσμα όγκου και κάτω από 0,3vol %, ο λόγος θερμικής αγωγιμότητας είναι περίπου ο ίδιος τόσο με τους νανοςωλήνες όσο και με το χαλκό. Ωστόσο, οι νανοςωλήνες

έχουν την υψηλότερη ενίσχυση της αγωγιμότητας (με τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας να υπερβαίνει το 2,5 σε ;1 vol % νανοσωλήνες) όταν συγκρίνονται με άλλα νανοδομημένα υλικά, όπως ο χαλκός

ανά νανοσωματίδια. Αυτά διατυπώνονται στην μελέτη των Choi, κ.ά. (2001). - Anomalous thermal conductivity enhancement in nanotube suspensions. Applied Physics Letters, 79(14), 2252-2254. [37]

Μια πρώιμη μελέτη σε νανορευστά με βάση τους CNT αναδεικνύει τη δυνατότητα σημαντικών βελτιώσεων στη θερμική αγωγιμότητα λόγω της ενσωμάτωσης των CNT, υποδηλώνοντας ότι τα νανορευστά που περιέχουν CNT θα μπορούσαν να είναι πιο αποτελεσματικοί παράγοντες μεταφοράς θερμότητας από τα συμβατικά ρευστά.^[38] Οι νανοσωλήνες άνθρακα, τόσο οι SWNT όσο και οι MWNTs, και VGCFs έχουν βρεθεί να αυξάνουν σημαντικά τη θερμική αγωγιμότητα πολλών ρευστών μεταφοράς θερμότητας όπως ορυκτά και συνθετικά έλαια, νερό, μείγματα νερού/γλυκόλης αιθυλενίου, και άλλα εμπορικά ρευστά μεταφοράς θερμότητας

όπως το αντιψυκτικό. Προηγούμενη λειτουργικότητα και ανάμιξη σε κατάλληλους διαλύτες, ακολουθούμενη από ομογενοποίηση και ηχητική ήταν μερικές από τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για να επίτευξη διαφόρων επιπέδων διασποράς των νανοσωλήνων άνθρακα σε αυτά τα υγρά. Μια 175% αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας ήταν για φορτίο ίσο με 1 vol.%. Αυξήσεις 243% επιτεύχθηκαν σε φορτία 6%. με σημαντική αύξηση του ιξώδους. Τα επίπεδα θερμικής αγωγιμότητας που επιτεύχθηκαν ποικίλλουν σημαντικά με το τον τύπο του νανοσωλήνα άνθρακα που χρησιμοποιήθηκε, το φορτίο, και τη διαδρομή επεξεργασίας. Τα πιο επιθετικά πρωτόκολλα ανάμιξης οδηγούν στην αλλοίωση των πρόσθετων στα εμπορικά ρευστά μεταφοράς θερμότητας. Νανοσωλήνες άνθρακα πιστεύεται ότι συμβάλλουν στη θερμική αγωγιμότητα των HTNF μέσω της κίνησης Brown και μέσω ενός τρισδιάστατου σχηματισμό δικτύου εντός του ρευστού. Το προκαταρκτική αξιολόγηση του ιξώδους των νανοϋγρών μεταφοράς θερμότητας και άλλων δυναμικές ιδιότητες δείχνουν ότι αυτά τα ρευστά έχουν τη δυνατότητα να βρουν μια θέση σε πολλά εφαρμογές όπως η ψύξη του κινητήρα συστήματα, ψυγεία λαδιού και αντλίες θερμότητας. να βελτιώσουν σημαντικά τις θερμικές και απόδοση λίπανσης. Αυτά περιέχονται στην μελέτη *Improving the heat transfer of nanofluids and nanolubricants with carbon nanotubes Marquis & Chibante - JOM – 2005.*

Στην μελέτη Nanofluids containing multiwalled carbon nanotubes and their enhanced thermal conductivities Huaqing Xie, Hohyun Lee, Wonjin Youn, and Mansoo Cho παράχθηκαν σταθερά νανορευστά CNT σε απεσταγμένο νερό (DW), αιθυλενογλυκόλη (EG) ή δεκένιο (DE). Η θερμική θερμικές αγωγιμότητες αυτών των νανορευστών έχουν διερευνηθεί. Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι η προσθήκη νανοσωλήνων σε ένα ρευστό οδηγεί σε σημαντική ενίσχυση της θερμικής αγωγιμότητας. Η ενίσχυση της θερμικής αγωγιμότητας αυξάνεται με την αύξηση του φορτίου των νανοσωλήνων, αλλά μειώνεται με αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας του βασικού ρευστού. [39]

Βελτιωμένος ρυθμός μεταφοράς θερμότητας: Η αυξημένη θερμική αγωγιμότητα των νανορευστών με βάση τους CNT οδηγεί σε υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς θερμότητας στους εναλλάκτες θερμότητας εντός των συστημάτων τηλεθέρμανσης. Αυτό επιτρέπει την αποδοτικότερη αξιοποίηση της πηγής θερμότητας, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας και το συνολικό κόστος λειτουργίας του συστήματος.

Ο Choi (1995) στο Argonne National Laboratory ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε τα σωματίδια των νανομέτρων διάστασης που αιωρούνται σε διάλυμα ως νανορευστό και έδειξε σημαντική αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας του νανορευστού. Οι Choi et al. παρατήρησαν 160% αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας των πετρελαίου μηχανής με νανοσωλήνες άνθρακα όγκου 1,0%.^[40]

Στην μελέτη τους Enhancement of thermal conductivity of kerosene-based Fe₃O₄ nanofluids prepared via phase-transfer method. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 384(1-3), 631-636. (2011) οι Yu, W., Xie, H., Chen, L., & Li, Y. εξέτασαν την ενίσχυση της μεταφοράς θερμότητας των νανορευστών με βάση CNT χρησιμοποιώντας ως βασικό ρευστό την κηροζίνη. Οι ερευνητές παρατήρησαν αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας και της απόδοσης μεταφοράς θερμότητας με την προσθήκη CNTs.

Πρόσφατα, οι Liu κ.ά. (2005) μέτρησαν τις θερμικές αγωγιμότητες νανορευστών που περιείχαν CNT διασκορπισμένους σε αιθυλενογλυκόλη και σε συνθετικό λάδι κινητήρα. Η αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας είναι έως 12,4% για τα εναιωρήματα CNT-αιθυλενογλυκόλης σε ποσοστό 1,0 vol% και 30% για τα εναιωρήματα CNT-συνθετικού πετρελαίου κινητήρα σε ποσοστό 2 vol%.^[41]

Σταθερότητα και διασπορά: Οι CNT μπορούν να διασκορπιστούν σταθερά μέσα σε ένα βασικό ρευστό με τη βοήθεια κατάλληλων επιφανειοδραστικών ουσιών ή τεχνικών λειτουργικοποίησης. Αυτό επιτρέπει στο νανορευστό να διατηρεί τις ιδιότητες που βελτιώνουν τις επιδόσεις του για μεγάλα χρονικά διαστήματα, διασφαλίζοντας ότι το σύστημα τηλεθέρμανσης μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί αποτελεσματικά.

Η μελέτη των Kim, S., Choi, S. U. S., & Kim, D. (2006) - Thermal conductivity of metal-oxide nanofluids: Particle size dependence and effect of laser irradiation. Journal of Heat Transfer, 129(3), 298-307. διερεύνησε τη διασπορά και τη σταθερότητα νανορευστών με βάση CNT και διαπίστωσε ότι η χρήση κατάλληλων επιφανειοδραστικών ουσιών ή επιφανειακής λειτουργικότητας μπορεί να βοηθήσει στην επίτευξη σταθερής διασποράς των CNT στο βασικό ρευστό, η οποία είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της ενισχυμένης θερμικής αγωγιμότητας και των ιδιοτήτων μεταφοράς θερμότητας.^[42]

Ιδιότητες ενισχυτικού υλικού: Οι νανοσωλήνες άνθρακα (CNT) παρουσιάζουν εξαιρετική μηχανική αντοχή, γεγονός που τους καθιστά ελκυστικό υλικό για την ενίσχυση και ενδυνάμωση διαφόρων εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων

εξαρτημάτων σε συστήματα τηλεθέρμανσης. Οι ενισχυτικές ιδιότητες των υλικών CNT προκύπτουν από τη μοναδική δομή και τις ιδιότητές τους:

- Υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό: Οι CNTs, ιδίως οι νανοσωλήνες άνθρακα μονού τοιχώματος (SWCNTs), έχουν πολύ υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό, με τιμές που κυμαίνονται από 30 έως 200 GPa, η οποία είναι σημαντικά υψηλότερη από εκείνη των περισσότερων συμβατικών υλικών, όπως ο χάλυβας. Οι ισχυροί ομοιοπολικοί δεσμοί μεταξύ των ατόμων άνθρακα στους CNTs, σε συνδυασμό με την απρόσκοπτη κυλινδρική δομή τους, συμβάλλουν σε αυτή την εντυπωσιακή αντοχή.
- Υψηλή ακαμψία: Οι CNT έχουν υψηλό μέτρο ελαστικότητας Young, το οποίο αποτελεί μέτρο της ακαμψίας, που κυμαίνεται από 0,5 έως 1,0 TPa. Αυτή η δυσκαμψία, σε συνδυασμό με την υψηλή αντοχή τους σε εφελκυσμό, επιτρέπει στους CNTs να ενισχύουν αποτελεσματικά διάφορα υλικά, βελτιώνοντας τις μηχανικές τους ιδιότητες χωρίς να προσθέτουν σημαντικό βάρος.
- Υψηλός λόγος διαστάσεων: Οι CNT έχουν απίστευτα υψηλό λόγο διαστάσεων (λόγος μήκους προς διάμετρο), ο οποίος τους επιτρέπει να δημιουργούν ένα πιο σημαντικό ενισχυτικό αποτέλεσμα όταν ενσωματώνονται σε ένα υλικό μήτρας. Η μακρόστενη, λεπτή δομή τους επιτρέπει την αποτελεσματική μεταφορά φορτίου και τη διανομή της τάσης στο υλικό της μήτρας, οδηγώντας σε βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες.
- Ελαφρύ: Παρά την υψηλή αντοχή και ακαμψία τους, οι CNT έχουν χαμηλή πυκνότητα, συνήθως περίπου 1,3-1,4 g/cm³. Αυτό τους καθιστά ιδανικό ενισχυτικό υλικό για εφαρμογές όπου το βάρος αποτελεί κρίσιμο παράγοντα, όπως η αεροδιαστημική και η αυτοκινητοβιομηχανία.

Στο πλαίσιο των συστημάτων τηλεθέρμανσης, οι ιδιότητες των ενισχυτικών υλικών των CNT μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορα εξαρτήματα, όπως:

- Ενισχυμένοι σωλήνες: Οι CNT μπορούν να ενσωματωθούν σε υλικά σωλήνων όπως πολυμερή, μέταλλα ή σκυρόδεμα για τη δημιουργία σύνθετων υλικών με βελτιωμένη μηχανική αντοχή, αντίσταση στην κόπωση και μειωμένο βάρος. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πιο ανθεκτικούς σωλήνες με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και μειωμένο κόστος συντήρησης.
- Εναλλάκτες θερμότητας: Υλικά ενισχυμένα με CNT μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή εναλλακτών θερμότητας με βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες, αυξάνοντας την αντοχή τους και μειώνοντας τον κίνδυνο αστοχίας λόγω μηχανικής καταπόνησης.

- Μονωτικά υλικά: Οι CNT μπορούν να ενσωματωθούν σε μονωτικά υλικά για να ενισχύσουν τη μηχανική τους αντοχή, καθιστώντας τα πιο ανθεκτικά σε βλάβες από περιβαλλοντικούς παράγοντες ή μηχανικές καταπονήσεις.
- Δομικά στοιχεία: Οι CNT μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση δομικών στοιχείων εντός του συστήματος τηλεθέρμανσης, όπως στηρίγματα, βραχίονες ή πλαίσια, με αποτέλεσμα ισχυρότερα, ανθεκτικότερα και ελαφρύτερα εξαρτήματα.

Ηλεκτρικές και θερμικές ιδιότητες: Οι νανοσωλήνες άνθρακα (CNT) διαθέτουν αξιοσημείωτες ηλεκτρικές και θερμικές ιδιότητες που τους καθιστούν κατάλληλους για συστήματα τηλεθέρμανσης. Ακολουθεί μια αναλυτική παρουσίαση αυτών των ιδιοτήτων:

Ηλεκτρικές ιδιότητες:

- **Υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα:** Οι CNTs, ιδίως οι νανοσωλήνες άνθρακα μονού τοιχώματος (SWCNTs), παρουσιάζουν υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, η οποία είναι συγκρίσιμη με εκείνη του χαλκού. Η ιδιότητα αυτή καθιστά τους CNTs ελκυστικό υλικό για ηλεκτρικές εφαρμογές, όπως διασυνδέσεις, ηλεκτρόδια και αισθητήρες.
- **Ημιαγώγιμη συμπεριφορά:** Ορισμένοι CNTs, ανάλογα με τη χειρικότητα και τη διάμετρό τους, μπορούν να παρουσιάσουν ημιαγώγιμη συμπεριφορά. Η ιδιότητα αυτή ανοίγει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στην ηλεκτρονική και τη νανοτεχνολογία, συμπεριλαμβανομένων τρανζίστορ, διόδων και άλλων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.
- **Ηλεκτρομαγνητική θωράκιση:** Η υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα των CNT τα καθιστά αποτελεσματικά στην παροχή ηλεκτρομαγνητικής θωράκισης σε διάφορες εφαρμογές. Η ιδιότητα αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί για την προστασία ευαίσθητων εξαρτημάτων ή τη μείωση των παρεμβολών σε ηλεκτρονικές συσκευές.

Θερμικές ιδιότητες:

- **Εξαιρετική θερμική αγωγιμότητα:** Οι CNT, ιδίως οι SWCNT, έχουν εξαιρετική θερμική αγωγιμότητα, με τιμές που κυμαίνονται από 3000 έως 6000 W/mK, οι οποίες είναι σημαντικά υψηλότερες από τα περισσότερα συμβατικά υλικά, συμπεριλαμβανομένου του χαλκού και του διαμαντιού. Αυτή η ιδιότητα καθιστά τα CNTs ένα εξαιρετικό υλικό για εφαρμογές θερμικής διαχείρισης, όπως ψύκτρες, διαχύτες θερμότητας και υλικά θερμικής διεπαφής.
- **Υψηλή θερμική σταθερότητα:** Οι CNTs μπορούν να αντέξουν υψηλές θερμοκρασίες χωρίς σημαντική υποβάθμιση. Αυτό τα καθιστά κατάλληλα για χρήση σε εφαρμογές υψηλών θερμοκρασιών ή σε σκληρά περιβάλλοντα, όπως η αεροδιαστημική, η αυτοκινητοβιομηχανία και οι βιομηχανικές διεργασίες.
- **Χαμηλός συντελεστής θερμικής διαστολής:** Οι CNT έχουν χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής, πράγμα που σημαίνει ότι παρουσιάζουν ελάχιστες μεταβολές διαστάσεων όταν εκτίθενται σε μεταβολές της θερμοκρασίας. Αυτή η ιδιότητα είναι επωφελής σε εφαρμογές όπου η σταθερότητα των διαστάσεων είναι ζωτικής σημασίας, όπως τα ηλεκτρονικά, οι αισθητήρες και άλλα εξαρτήματα ακριβείας.

Στο πλαίσιο των συστημάτων τηλεθέρμανσης, οι ηλεκτρικές και θερμικές ιδιότητες των CNT μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διάφορους τρόπους:

- **Θερμική διαχείριση:** CNT μπορούν να ενσωματωθούν σε εναλλάκτες θερμότητας, ψύκτρες θερμότητας ή υλικά θερμικής διεπαφής για την ενίσχυση της μεταφοράς θερμότητας και της θερμικής διαχείρισης, βελτιώνοντας τη συνολική απόδοση του συστήματος.
- **Αγώγιμα υλικά:** Οι CNT μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αγώγιμα υλικά σε διάφορα ηλεκτρονικά εξαρτήματα εντός του συστήματος τηλεθέρμανσης, όπως αισθητήρες, κυκλώματα ελέγχου ή συσκευές παρακολούθησης, επωφελούμενοι από την υψηλή ηλεκτρική τους αγωγιμότητα και την ελαφριά φύση τους.
- **Ηλεκτρομαγνητική θωράκιση:** Τα υλικά με βάση τους CNT μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ηλεκτρομαγνητική θωράκιση ευαίσθητων εξαρτημάτων ή για τη μείωση των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών στις ηλεκτρονικές συσκευές του συστήματος τηλεθέρμανσης.
- **Νανορευστά:** Οι CNT μπορούν να διασκορπιστούν σε ρευστά για τη δημιουργία νανορευστών με βελτιωμένες θερμικές ιδιότητες, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα τηλεθέρμανσης για τη βελτίωση της απόδοσης της μεταφοράς θερμότητας.

Κεφάλαιο 4 - Προτεινόμενος πειραματικός σχεδιασμός και μεθοδολογία αξιολόγησης

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζεται ένα σχολαστικά σχεδιασμένο πειραματικό πλαίσιο και μια μεθοδολογία αξιολόγησης με στόχο την αξιολόγηση της απόδοσης των τεσσάρων νανοϋλικών, (Al_2O_3 , CuO , TiO_2 και CNT) που αναπτύχθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, σε συστήματα μεταφοράς τηλεθέρμανσης. Καθώς τα συστήματα τηλεθέρμανσης διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην παροχή ενεργειακά αποδοτικών και φιλικών προς το περιβάλλον λύσεων θέρμανσης, η βελτιστοποίηση της απόδοσής τους είναι υψίστης σημασίας. Πόσο μάλλον στο πλαίσιο μιας τοπικής κοινωνίας όπως η Δυτική Μακεδονία που ήδη έχει κατευθυνθεί σε αυτού του τύπου την λύση. Με τη διερεύνηση των πιθανών πλεονεκτημάτων και ελαχιστοποίηση των περιορισμών κάθε νανοϋλικού, αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση χρησιμεύει ως στέρεη βάση για μελλοντική έρευνα και πρακτική εφαρμογή, συμβάλλοντας τελικά στην ανάπτυξη πιο αποδοτικών και βιώσιμων συστημάτων τηλεθέρμανσης.

Η προτεινόμενη πειραματική διάταξη και η μεθοδολογία αξιολόγησης είναι σχεδιασμένη για την προσομοίωση πραγματικών συνθηκών, επιτρέποντας την εις βάθος κατανόηση της απόδοσης των νανοϋλικών υπό διάφορα σενάρια λειτουργίας. Συγκρίνοντας τις επιδόσεις των νανοϋλικών με τα υλικά ελέγχου/αναφοράς και αναλύοντας την απόδοση μεταφοράς θερμότητας, τη θερμική αγωγιμότητα, τη σταθερότητα και τα χαρακτηριστικά διασποράς τους, οι ερευνητές μπορούν να εντοπίσουν τους πιο υποσχόμενους υποψήφιους για τη βελτίωση των συστημάτων μεταφοράς τηλεθέρμανσης. Επιπλέον, το παρόν κεφάλαιο περιγράφει μια συστηματική, βήμα προς βήμα πειραματική διαδικασία, παρέχοντας καθοδήγηση για μελλοντικές μελέτες και επιτρέποντας τη δημιουργία αξιόπιστων, ουσιαστικών δεδομένων που μπορούν να ενημερώσουν για τη λήψη αποφάσεων και να προωθήσουν την καινοτομία στον τομέα των συστημάτων τηλεθέρμανσης.

4.1 - Προτεινόμενος πειραματικός σχεδιασμός

Για να αξιολογηθεί αποτελεσματικά ο αντίκτυπος των νανοϋλικών στα συστήματα μεταφοράς τηλεθέρμανσης, προτείνεται ένα κλιμακωτό, ελεγχόμενο εργαστηριακό περιβάλλον που προσομοιώνει τις πραγματικές συνθήκες. Ο πειραματικός σχεδιασμός θα πρέπει να αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

α. Μοντέλο συστήματος τηλεθέρμανσης: Πρέπει να σχεδιαστεί και κατασκευαστεί ένα αντιπροσωπευτικό μοντέλο ενός συστήματος τηλεθέρμανσης, το οποίο περιλαμβάνει μια πηγή θερμότητας, καλά μονωμένους σωλήνες, εναλλάκτες θερμότητας και σημεία φορτίου που αντιπροσωπεύουν τις συνδέσεις καταναλωτών. Το μοντέλο θα πρέπει να είναι ρυθμιζόμενο ως προς τη θερμοκρασία, την πίεση και τους ρυθμούς ροής για την προσομοίωση διαφόρων συνθηκών λειτουργίας, εξασφαλίζοντας μια ολοκληρωμένη κατανόηση των επιδόσεων των νανοϋλικών.

β. Νανοϋλικά: Τα νανοϋλικά που αναφέρονται στο 3^ο κεφάλαιο θα πρέπει να προετοιμαστούν με επιμέλεια δημιουργώντας νανορευστά ή νανοςύνθετα υλικά

χρησιμοποιώντας τα επιλεγμένα νανοϋλικά (Οξειδίο του αργιλίου - Al_2O_3 , Οξειδίο του χαλκού - CuO , Διοξειδίο του τιτανίου - TiO_2 και Νανοσωλήνες άνθρακα - CNT) με κατάλληλες τεχνικές διασποράς, όπως υπερήχους, μηχανική ανάδευση ή μεθόδους με τη βοήθεια επιφανειοδραστικών ουσιών. Τέλος, θα πρέπει να γίνει επαλήθευση ότι τα νανοϋλικά είναι καλά διασκορπισμένα και σταθερά στα αντίστοιχα υγρά ή μήτρες βάσης, εξασφαλίζοντας αξιόπιστη απόδοση.

γ. Υλικά ελέγχου/αναφοράς: Θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν τα κατάλληλα υλικά ελέγχου ή αναφοράς, ώστε να είναι δυνατή η ακριβής σύγκριση των επιδόσεων των νανοϋλικών. Για τα νανορευστά, θα εξεταστεί ιδανικά το ενδεχόμενο χρήσης του βασικού ρευστού χωρίς νανοσωματίδια.

4.2 - Προτεινόμενες μετρικές αξιολόγησης

Καθορισμός των βασικών δεικτών απόδοσης (Key Performance Indicators - KPI) και των μετρικών για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των νανοϋλικών στη βελτίωση των συστημάτων μεταφοράς τηλεθέρμανσης. Αυτοί θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν:

α. Αποδοτικότητα μεταφοράς θερμότητας: Ακριβής μέτρηση της συνολικής απόδοσης μεταφοράς θερμότητας του συστήματος κατά τη χρήση νανοϋλικών, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα αυτά με τα υλικά ελέγχου/αναφοράς.

β. Θερμική αγωγιμότητα: Χρήση προηγμένων τεχνικών μέτρησης, όπως η μέθοδος μεταβατικού θερμού σύρματος ή η ανάλυση flash με λέιζερ, για τον προσδιορισμό της θερμικής αγωγιμότητας των νανορευστών ή των νανოსύνθετων υλικών, επιτρέποντας τη σαφή κατανόηση των επιπτώσεών τους στην απόδοση της μεταφοράς θερμότητας.

γ. Σταθερότητα και διασπορά: Χρήση διάφορων τεχνικών χαρακτηρισμού, όπως η δυναμική σκέδαση φωτός, οι μετρήσεις του δυναμικού ζήτα ή η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης, για να αξιολογήσετε τη σταθερότητα και τη διασπορά των νανοϋλικών στα βασικά ρευστά ή τις μήτρες. Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη συνολική απόδοση του συστήματος.

δ. Αξιολόγηση περεταίρω θετικών χαρακτηριστικών μοναδικών ανάλογα με το κάθε υλικό.

4.3 - Προτεινόμενη πειραματική διαδικασία

Περιγραφή μιας συστηματικής, βήμα προς βήμα διαδικασίας για την αξιολόγηση των νανοϋλικών στο μοντέλο συστήματος μεταφοράς τηλεθέρμανσης:

α. Καθορισμός της βασικής απόδοσης: Πρώτον, θα δοκιμαστεί το μοντέλο του συστήματος τηλεθέρμανσης χρησιμοποιώντας τα υλικά ελέγχου/αναφοράς για να δημιουργηθεί μια αξιόπιστη γραμμή βάσης (baseline) για σύγκριση.

β. Δοκιμή των νανοϋλικών: Αντικατάσταση των υλικών ελέγχου/αναφοράς με τα προσεκτικά παρασκευασμένα νανορευστά ή νανοςύνθετα υλικά και δοκιμή του μοντέλου του συστήματος τηλεθέρμανσης υπό ίδιες συνθήκες με τις δοκιμές βάσης.

γ. Μεταβολή των συνθηκών λειτουργίας: Για να διασφαλιστεί μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση, πρέπει να επαναληφθούν οι δοκιμές σε διάφορες συνθήκες θερμοκρασίας, πίεσης και παροχής, προσομοιώνοντας ένα εύρος πιθανών σεναρίων για το σύστημα τηλεθέρμανσης.

δ. Καταγραφή των δεδομένων: Συλλογή και σχολαστική τεκμηρίωση δεδομένων σχετικά με την απόδοση της μεταφοράς θερμότητας, τη θερμική αγωγιμότητα, τη σταθερότητα και τη διασπορά κατά τη διάρκεια των δοκιμών, διευκολύνοντας τη λεπτομερή ανάλυση και σύγκριση.

4.4 - Αποτελέσματα και ανάλυση

Μετά την ολοκλήρωση της πειραματικής διάταξης και των δοκιμών, θα πρέπει να αναλυθούν διεξοδικά τα συλλεχθέντα δεδομένα, συγκρίνοντας την απόδοση των νανοϋλικών με τα υλικά ελέγχου/αναφοράς. Με αυτόν τον τρόπο θα προσδιοριστούν οι πιο υποσχόμενοι υποψηφίοι για τη βελτίωση των συστημάτων μεταφοράς τηλεθέρμανσης και θα μπορούν να συζητηθούν τα πιθανά οφέλη και οι πιθανοί περιορισμοί/περιορισμούς τους σε πραγματικές εφαρμογές.

α. Αποδοτικότητα μεταφοράς θερμότητας: Ανάλυση των δεδομένων απόδοσης μεταφοράς θερμότητας για κάθε νανοϋλικό και συγκρίνετε τα με τα υλικά ελέγχου/αναφοράς. Εντοπίστε τάσεις ή μοτίβα που θα μπορούσαν να υποδηλώνουν τη σχετική αποτελεσματικότητα κάθε νανοϋλικού στη βελτίωση της απόδοσης μεταφοράς θερμότητας.

β. Θερμική αγωγιμότητα: Αξιολόγηση των δεδομένων θερμικής αγωγιμότητας, εξετάζοντας τον τρόπο με τον οποίο οι θερμικές ιδιότητες κάθε νανοϋλικού θα μπορούσαν να συμβάλουν στη συνολική απόδοση του συστήματος. Διερευνήστε τυχόν συσχετίσεις μεταξύ της θερμικής αγωγιμότητας και της απόδοσης μεταφοράς θερμότητας.

γ. Σταθερότητα και διασπορά: Καταγραφή απ τα χαρακτηριστικά σταθερότητας και διασποράς κάθε νανοϋλικού και πώς οι παράγοντες αυτοί ενδέχεται να επηρεάσουν τη μακροπρόθεσμη απόδοση και αξιοπιστία των συστημάτων τηλεθέρμανσης.

Εξετάστε τον πιθανό αντίκτυπο της συσσωμάτωσης ή της καθίζησης στην απόδοση της μεταφοράς θερμότητας.

δ. Πρόσθετες παρατηρήσεις: Επισημάνση τυχόν απροσδόκητων ευρήματων ή παρατηρήσεις που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας και διερεύνηση των πιθανών επιπτώσεων τους στην πρακτική εφαρμογή των ναυοϋλικών σε συστήματα τηλεθέρμανσης.

4.5 – Συμπεράσματα

Εδώ θα συνοψίζονται τα κύρια ευρήματα από τον προτεινόμενο πειραματικό σχεδιασμό και τη μεθοδολογία αξιολόγησης, τονίζοντας τη σημασία αυτών των αποτελεσμάτων στο πλαίσιο της διατριβής. Θα λογίζονται τα πιθανά οφέλη, οι περιορισμοί και οι προκλήσεις που σχετίζονται με την πρακτική εφαρμογή κάθε ναυοϋλικού σε συστήματα μεταφοράς τηλεθέρμανσης.

α. Βασικά συμπεράσματα: Αναφορά στα πιο σημαντικά ευρήματα, συμπεριλαμβανομένων των διαφορών επιδόσεων μεταξύ των ναυοϋλικών και των υλικών ελέγχου/αναφοράς, καθώς και των πιο υποσχόμενων υποψηφίων ναυοϋλικών για τη βελτίωση των συστημάτων μεταφοράς τηλεθέρμανσης.

β. Περιορισμοί: Αναφορά σε τυχόν περιορισμούς του προτεινόμενου πειραματικού σχεδιασμού και της μεθοδολογίας, αναγνωρίζοντας πιθανές πηγές σφάλματος, αβεβαιότητας ή μεροληψίας που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα.

γ. Μελλοντική έρευνα: Προτάσεις σε πιθανούς τομείς για περαιτέρω έρευνα, όπως η κλιμάκωση των πειραμάτων, η διερεύνηση άλλων ναυοϋλικών ή η εξέταση των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων της χρήσης ναυοϋλικών σε συστήματα τηλεθέρμανσης. Πρόταση νέων ερευνητικών ερωτημάτων ή υποθέσεων που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στην ανάπτυξη νέων λύσεων για τη βελτίωση των συστημάτων μεταφοράς τηλεθέρμανσης.

Ακολουθώντας αυτή την ολοκληρωμένη μεθοδολογία πειραματικού σχεδιασμού και αξιολόγησης, οι ερευνητές σε επίπεδο εργαστηρίου μπορούν να αποκτήσουν πολύτιμες γνώσεις σχετικά με την απόδοση των ναυοϋλικών σε συστήματα μεταφοράς τηλεθέρμανσης, επιτρέποντας τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων για πρακτικές εφαρμογές και μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις.

Κεφάλαιο 5 - Θεωρητικό πλαίσιο και εφαρμογή των νανοϋλικών στο σύστημα τηλεθέρμανσης της Δυτικής Μακεδονίας

5.1 – Αρχική προσέγγιση και πλαίσιο

Τα συστήματα τηλεθέρμανσης έχουν κερδίσει την προβολή τους ως μια βιώσιμη και αποτελεσματική λύση για την παροχή θερμότητας σε κτίρια και κοινότητες όπως αναπτύχθηκε και στην εισαγωγή αυτής της διπλωματικής. Χρησιμοποιώντας μια κεντρική πηγή θερμότητας και διανέμοντας τη θερμότητα μέσω ενός δικτύου υπόγειων σωλήνων, τα συστήματα αυτά προσφέρουν σημαντικά οφέλη όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας και την εξοικονόμηση κόστους. Το βασικό όμως πρόβλημα είναι ότι τα συμβατικά συστήματα τηλεθέρμανσης συχνά περιορίζονται από την κακή απόδοση μεταφοράς θερμότητας, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια ενέργειας και την αύξηση του κόστους. Για την αντιμετώπιση αυτών των περιορισμών, η νανοτεχνολογία έχει αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για την ενίσχυση της απόδοσης της μεταφοράς θερμότητας στα συστήματα τηλεθέρμανσης.

Το παρόν κεφάλαιο έχει ως στόχο να αξιολογήσει τον υπάρχοντα όγκο ερευνών σχετικά με τη νανοτεχνολογία, οι οποίες αναπτύχθηκαν σε βάθος κατά το 3^ο κεφάλαιο και τις πιθανές εφαρμογές της στα συστήματα τηλεθέρμανσης, εστιάζοντας σε τέσσερα συγκεκριμένα νανοϋλικά: οξειδίο του αλουμινίου (Al_2O_3), οξειδίο του χαλκού (CuO), διοξειδίο του τιτανίου (TiO_2) και νανοσωλήνες άνθρακα (CNT).

Αυτά τα νανοϋλικά επιλέχθηκαν με βάση τις μοναδικές θερμικές τους ιδιότητες και τη δυνατότητά τους να βελτιώσουν την απόδοση της μεταφοράς θερμότητας σε συστήματα τηλεθέρμανσης. Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι να παράσχει ένα ολοκληρωμένο θεωρητικό πλαίσιο που διερευνά τις ιδιότητες και τις πιθανές εφαρμογές αυτών των νανοϋλικών, ενώ παράλληλα εξετάζει τις πρακτικές επιπτώσεις της ενσωμάτωσής τους σε ένα υφιστάμενο σύστημα τηλεθέρμανσης, συγκεκριμένα στη Δυτική Μακεδονία, Ελλάδα.

Η περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας αποτελεί ιδανική μελέτη περίπτωσης για την έρευνα αυτή, καθώς το σύστημα τηλεθέρμανσης της περιοχής αντιμετωπίζει προκλήσεις που είναι αντιπροσωπευτικές πολλών τέτοιων συστημάτων σε ολόκληρη την Ευρώπη. Προτείνοντας στρατηγικές για την ενσωμάτωση των νανοϋλικών στο σύστημα τηλεθέρμανσης της Δυτικής Μακεδονίας, το παρόν κεφάλαιο έχει ως στόχο να συμβάλει στην ανάπτυξη πιο βιώσιμων και αποδοτικών λύσεων θέρμανσης, όχι μόνο για τη συγκεκριμένη περιοχή αλλά και για άλλες περιοχές με παρόμοιες κλιματικές συνθήκες και ενεργειακές απαιτήσεις.

5.2 Θεωρητικό πλαίσιο

5.2.1 Γενικές αρχές της νανοτεχνολογίας στα συστήματα τηλεθέρμανσης

Η νανοτεχνολογία έχει αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη λύση για τη βελτίωση της απόδοσης της μεταφοράς θερμότητας στα συστήματα τηλεθέρμανσης. Στον πυρήνα αυτής της τεχνολογίας βρίσκονται τα νανοσωματίδια. Λόγω του μικρού τους μεγέθους, τα σωματίδια αυτά παρουσιάζουν μοναδικές ιδιότητες που μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση των συστημάτων μεταφοράς θερμότητας ενώ το κόστος μπορεί να είναι άκρως προσιτό σε συνάρτηση με το κέρδος που παρέχουν.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των νανοσωματιδίων είναι η υψηλή αναλογία επιφάνειας προς όγκο, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένες ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας. Όταν αιωρούνται σε ένα βασικό ρευστό, τα νανοσωματίδια μπορούν να μεταβάλλουν τις θερμικές ιδιότητες του ρευστού και να αυξήσουν τη συνολική απόδοση της μεταφοράς θερμότητας. Επιπλέον, τα νανοσωματίδια μπορούν να μειώσουν το μέγεθος του θερμικού οριακού στρώματος - το στρώμα του ρευστού που βρίσκεται δίπλα στην επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας με χαμηλότερη θερμοκρασία από το ρευστό που βρίσκεται πιο μακριά. Η μείωση του μεγέθους του θερμικού οριακού στρώματος έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της αντίστασης μεταφοράς θερμότητας και την αύξηση του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας.

Στο πλαίσιο των συστημάτων τηλεθέρμανσης, τα νανοσωματίδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ρευστά μεταφοράς θερμότητας (ρευστά μεταφοράς θερμότητας) για τη βελτίωση της απόδοσης της μεταφοράς θερμότητας μεταξύ της κεντρικής πηγής θερμότητας και του δικτύου σωληνώσεων που διανέμουν τη θερμότητα σε κτίρια και κοινότητες. Με την ενσωμάτωση νανοσωματιδίων στα HTFs, είναι δυνατόν να αυξηθεί η συνολική απόδοση του συστήματος, να μειωθούν οι απώλειες ενέργειας και να μειωθεί το λειτουργικό κόστος. Ακόμη, κάθε υλικό που συζητήθηκε στην παρούσα έρευνα παρουσίαζε και κάποια μοναδικά θετικά στοιχεία για την μεταφορά θερμότητας και τις θετικές του επιπτώσεις στο περιβάλλον.

5.2.2 Al_2O_3 , CuO , TiO_2 και CNT: Ενίσχυση της μεταφοράς θερμότητας

Στην παρούσα έρευνα επιλέχθηκαν τέσσερα νανοϋλικά για τις δυνατότητές τους να βελτιώσουν την απόδοση της μεταφοράς θερμότητας σε συστήματα τηλεθέρμανσης: οξείδιο του αλουμινίου (Al_2O_3), οξείδιο του χαλκού (CuO), διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2) και νανοσωλήνες άνθρακα (CNT). Καθένα από αυτά τα νανοϋλικά παρουσιάζει μοναδικές ιδιότητες που τα καθιστούν κατάλληλα για την ενίσχυση της μεταφοράς θερμότητας σε συστήματα τηλεθέρμανσης.

Al_2O_3 : Τα νανοσωματίδια οξειδίου του αργιλίου έχουν μελετηθεί ευρέως για την υψηλή θερμική αγωγιμότητα και τη σταθερότητά τους. Όταν αιωρούνται σε ένα βασικό ρευστό, τα νανοσωματίδια Al_2O_3 μπορούν να αυξήσουν σημαντικά τη θερμική αγωγιμότητα του ρευστού, οδηγώντας σε βελτιωμένη απόδοση μεταφοράς

θερμότητας. Επιπλέον, έχει διαπιστωθεί ότι τα νανοσωματίδια Al_2O_3 είναι σχετικά σταθερά και συμβατά με διάφορα βασικά ρευστά, γεγονός που τα καθιστά πολλά υποσχόμενο υποψήφιο για συστήματα τηλεθέρμανσης.

CuO: Τα νανοσωματίδια οξειδίου του χαλκού παρουσιάζουν υψηλή θερμική αγωγιμότητα και μπορούν να αυξήσουν αποτελεσματικά τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας όταν προστίθενται σε ένα βασικό ρευστό. Τα νανοσωματίδια CuO έχει διαπιστωθεί ότι είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά σε χαμηλές συγκεντρώσεις, προσφέροντας ένα αποτελεσματικό μέσο για την ενίσχυση της απόδοσης μεταφοράς θερμότητας χωρίς σημαντική αύξηση του ιξώδους του βασικού ρευστού. Αυτή η ιδιότητα καθιστά τα νανοσωματίδια CuO κατάλληλη επιλογή για συστήματα τηλεθέρμανσης όπου η ελαχιστοποίηση της πτώσης πίεσης είναι κρίσιμη.

TiO₂: Τα νανοσωματίδια διοξειδίου του τιτανίου διαθέτουν καλή θερμική αγωγιμότητα και σταθερότητα, γεγονός που τα καθιστά άλλον έναν πιθανό υποψήφιο για την ενίσχυση της μεταφοράς θερμότητας σε συστήματα τηλεθέρμανσης. Τα νανοσωματίδια TiO_2 έχει επίσης βρεθεί ότι παρουσιάζουν φωτοκαταλυτικές ιδιότητες, οι οποίες θα μπορούσαν να προσφέρουν πρόσθετα οφέλη όσον αφορά τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης και της βιωσιμότητας των συστημάτων τηλεθέρμανσης.

CNT: Οι νανοσωλήνες άνθρακα είναι γνωστοί για την εξαιρετική θερμική τους αγωγιμότητα και τη μηχανική τους αντοχή. Όταν χρησιμοποιούνται ως πρόσθετο ρευστού μεταφοράς θερμότητας, οι CNT έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν σημαντικά την απόδοση της μεταφοράς θερμότητας, διατηρώντας παράλληλα χαμηλή πτώση πίεσης και υψηλή σταθερότητα. Οι μοναδικές ιδιότητες των CNTs τους καθιστούν μια ελκυστική επιλογή για συστήματα τηλεθέρμανσης, ιδίως σε εφαρμογές όπου απαιτείται μεταφορά θερμότητας υψηλής απόδοσης.

Συνοπτικά, το θεωρητικό πλαίσιο που παρουσιάζεται στην παρούσα ενότητα παρέχει μια επισκόπηση των γενικών αρχών της νανοτεχνολογίας και των πιθανών εφαρμογών της στα συστήματα τηλεθέρμανσης με βάση την αναλυτική τους προσέγγιση στα προηγούμενα κεφάλαια. Τα τέσσερα επιλεγμένα νανοϋλικά (Al_2O_3 , CuO , TiO_2 και CNT) παρουσιάζουν το καθένα μοναδικές ιδιότητες που τα καθιστούν κατάλληλα για την ενίσχυση της απόδοσης της μεταφοράς θερμότητας σε αυτά τα συστήματα. Στην επόμενη ενότητα θα συζητηθούν οι πρακτικές επιπτώσεις της ενσωμάτωσης αυτών των νανοϋλικών στα υφιστάμενο σύστημα τηλεθέρμανσης στη Δυτική Μακεδονία, Ελλάδα, συμπεριλαμβανομένων στρατηγικών για την εφαρμογή, πιθανών προκλήσεων και λύσεων, καθώς και μιας ανάλυσης κόστους-οφέλους.

5.3 Εφαρμογή νανοϋλικών στο σύστημα τηλεθέρμανσης της Δυτικής Μακεδονίας

5.3.1 Επισκόπηση του συστήματος και τρέχοντες περιορισμοί

Το σύστημα τηλεθέρμανσης στη Δυτική Μακεδονία, στην Ελλάδα, είναι ένα πολύπλοκο δίκτυο που παρέχει θερμότητα σε κτίρια και κοινότητες σε ολόκληρη την περιοχή. Το σύστημα αντιμετωπίζει διάφορες προκλήσεις που είναι κοινές σε πολλά δίκτυα τηλεθέρμανσης, όπως η απώλεια ενέργειας κατά τη μεταφορά θερμότητας, το υψηλό λειτουργικό κόστος και η ανάγκη τακτικής συντήρησης.



Εικόνα 8. – Σύστημα τηλεθέρμανσης Δυτικής Μακεδονίας

Η ενσωμάτωση νανοϋλικών στο υφιστάμενο σύστημα τηλεθέρμανσης θα μπορούσε να συμβάλει στην αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, βελτιώνοντας την απόδοση της μεταφοράς θερμότητας, μειώνοντας τις απώλειες ενέργειας και μειώνοντας το λειτουργικό κόστος. Ωστόσο, η επιτυχής εφαρμογή της νανοτεχνολογίας στο σύστημα τηλεθέρμανσης της Δυτικής Μακεδονίας θα απαιτήσει μια ολοκληρωμένη κατανόηση των μοναδικών ιδιοτήτων των επιλεγμένων νανοϋλικών και των πιθανών αλληλεπιδράσεών τους με την υπάρχουσα υποδομή.

5.3.2 Ενσωμάτωση των νανοϋλικών στο υπάρχον σύστημα

Για την αποτελεσματική ενσωμάτωση των επιλεγμένων νανοϋλικών (Al_2O_3 , CuO , TiO_2 και CNT) στο υφιστάμενο σύστημα τηλεθέρμανσης της Δυτικής Μακεδονίας, μπορούν να εξεταστούν διάφορες στρατηγικές:

Τροποποίηση των εναλλακτών θερμότητας: Η αναβάθμιση των εναλλακτών θερμότητας στο σύστημα για να φιλοξενήσουν τα νέα νανορευστά είναι απαραίτητη. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει επανασχεδιασμό των εναλλακτών θερμότητας ώστε να εξασφαλίζεται η βέλτιστη απόδοση με τις βελτιωμένες ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας που παρέχουν τα νανοσωματίδια.

Τροποποιήσεις αντλιών και σωληνώσεων: Η προσθήκη νανοσωματιδίων στο ρευστό μεταφοράς θερμότητας μπορεί να επηρεάσει το ιξώδες και τα χαρακτηριστικά ροής του ρευστού. Ως αποτέλεσμα, οι αντλίες και οι σωληνώσεις ενδέχεται να χρειαστεί να τροποποιηθούν ή να αναβαθμιστούν για να εξασφαλιστεί η βέλτιστη απόδοση και να ελαχιστοποιηθεί η πτώση πίεσης εντός του συστήματος.

Συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου: Η εφαρμογή προηγμένων συστημάτων παρακολούθησης και ελέγχου μπορεί να συμβάλει στη βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος τηλεθέρμανσης με νανοϋλικά. Τα συστήματα αυτά μπορούν να παρακολουθούν τη συγκέντρωση των νανοσωματιδίων στο ρευστό μεταφοράς θερμότητας, να παρακολουθούν τη συνολική απόδοση του συστήματος και να παρέχουν ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο στους χειριστές για την προσαρμογή των παραμέτρων του συστήματος ανάλογα με τις ανάγκες.

5.3.3 Πιθανές προκλήσεις και λύσεις

Η ενσωμάτωση των νανοϋλικών στο σύστημα τηλεθέρμανσης στη Δυτική Μακεδονία μπορεί να παρουσιάσει διάφορες προκλήσεις, όπως:

Διασπορά και σταθερότητα των νανοσωματιδίων: Η διασφάλιση της ομοιόμορφης διασποράς και της μακροπρόθεσμης σταθερότητας των νανοσωματιδίων στο ρευστό μεταφοράς θερμότητας είναι κρίσιμη για τη διατήρηση της βέλτιστης απόδοσης. Η χρήση κατάλληλων μέσων διασποράς, υπερήχων ή άλλων μεθόδων μπορεί να είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος.

Συμβατότητα υλικών: Τα επιλεγμένα νανοϋλικά πρέπει να είναι συμβατά με τα υπάρχοντα υλικά που χρησιμοποιούνται στο σύστημα τηλεθέρμανσης, όπως οι σωλήνες, οι αντλίες και οι εναλλάκτες θερμότητας. Οι δοκιμές συμβατότητας και η επιλογή υλικών θα είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της επιτυχούς ενσωμάτωσης των νανοϋλικών.

Περιβαλλοντικές ανησυχίες: Η χρήση νανοϋλικών σε συστήματα τηλεθέρμανσης μπορεί να εγείρει περιβαλλοντικές ανησυχίες που σχετίζονται με την πιθανή απελευθέρωση νανοσωματιδίων στο περιβάλλον. Θα πρέπει να αναπτυχθούν

κατάλληλες στρατηγικές χειρισμού, διάθεσης και περιορισμού για τον μετριασμό των πιθανών περιβαλλοντικών κινδύνων.

5.3.4 Ανάλυση κόστους-οφέλους

Μια ολοκληρωμένη ανάλυση κόστους-οφέλους (cost-benefit) θα είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της οικονομικής σκοπιμότητας της εφαρμογής της νανοτεχνολογίας στο σύστημα τηλεθέρμανσης της Δυτικής Μακεδονίας. Η ανάλυση αυτή θα πρέπει να εξετάσει το κόστος που συνδέεται με τις τροποποιήσεις του εξοπλισμού, την προμήθεια υλικών και τη συνεχή συντήρηση, καθώς και τα πιθανά οφέλη από την άποψη της αυξημένης ενεργειακής απόδοσης και του μειωμένου λειτουργικού κόστους. Συγκρίνοντας το κόστος και τα οφέλη, οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων μπορούν να καθορίσουν εάν η ενσωμάτωση των νανοϋλικών είναι μια βιώσιμη λύση για τη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος τηλεθέρμανσης στη Δυτική Μακεδονία.

Μια ολοκληρωμένη ανάλυση κόστους-οφέλους για την ενσωμάτωση νανοϋλικών σε ένα σύστημα τηλεθέρμανσης θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη διάφορα στοιχεία για την αξιολόγηση της οικονομικής σκοπιμότητας της προτεινόμενης λύσης. Ορισμένα βασικά στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη περιλαμβάνουν:

Κεφαλαιουχικό κόστος:

- α. Κόστος τροποποίησης ή αναβάθμισης του εξοπλισμού, όπως είναι οι εναλλάκτες θερμότητας, οι αντλίες και οι τροποποιήσεις των σωληνώσεων, για την προσαρμογή των νανορευστών.
- β. Αρχικό κόστος αγοράς νανοϋλικών, διασκορπιστικών ή πρόσθετων.
- γ. Κόστος εγκατάστασης που σχετίζεται με την ενσωμάτωση της νανοτεχνολογίας στο υπάρχον σύστημα.
- δ. Κόστος που σχετίζεται με την ανάπτυξη και εφαρμογή συστημάτων παρακολούθησης και ελέγχου.

Λειτουργικό κόστος:

- α. Κόστος που σχετίζεται με τη συνεχή προμήθεια νανοϋλικών και άλλων απαιτούμενων πρόσθετων.
- β. Κόστος που σχετίζεται με τη συντήρηση και την παρακολούθηση του νανορευστού, συμπεριλαμβανομένου του πιθανού καθαρισμού ή της αντικατάστασης των φίλτρων, και της διατήρησης της κατάλληλης διασποράς και σταθερότητας των νανοσωματιδίων.
- γ. Πρόσθετο ενεργειακό κόστος, εάν υπάρχει, λόγω αλλαγών στο ιξώδες και στα χαρακτηριστικά ροής του νανορευστού.
- δ. Κόστος εργασίας που σχετίζεται με τη λειτουργία, την παρακολούθηση και τη συντήρηση του συστήματος.

Κόστος συντήρησης και αντικατάστασης:

α. Κόστος που σχετίζεται με την πιθανή αύξηση της φθοράς του εξοπλισμού λόγω της χρήσης νανορευστών.

β. Κόστος που σχετίζεται με τη συντήρηση και την αντικατάσταση εξαρτημάτων του συστήματος, όπως αντλίες, εναλλάκτες θερμότητας και φίλτρα.

Περιβαλλοντικό και κανονιστικό κόστος:

α. Κόστος που σχετίζεται με τη διασφάλιση της συμμόρφωσης με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς και τους κανονισμούς ασφαλείας όσον αφορά τη χρήση, το χειρισμό και τη διάθεση των νανοϋλικών.

β. Κόστος που σχετίζεται με πιθανά μέτρα μετριασμού για την αντιμετώπιση τυχόν περιβαλλοντικών κινδύνων.

Οφέλη:

α. Εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει από την αυξημένη απόδοση της μεταφοράς θερμότητας και τη μειωμένη απώλεια ενέργειας.

β. Μείωση του λειτουργικού κόστους λόγω της χαμηλότερης κατανάλωσης ενέργειας και της βελτιωμένης απόδοσης του συστήματος.

γ. Πιθανή αύξηση της διάρκειας ζωής του συστήματος λόγω της μειωμένης θερμικής καταπόνησης του εξοπλισμού.

δ. Ενισχυμένη φήμη και περιβαλλοντική βιωσιμότητα λόγω της υιοθέτησης καινοτόμων και ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών.

ε. Πιθανή χρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση λόγω της μετάβασης σε ένα ακόμη πιο φιλικό προς το περιβάλλον σύστημα.

Λαμβάνοντας υπόψη αυτά τα στοιχεία, η ανάλυση κόστους-οφέλους μπορεί να παράσχει λεπτομερή αξιολόγηση της οικονομικής σκοπιμότητας της ενσωμάτωσης νανοϋλικών στο σύστημα τηλεθέρμανσης

5.4 – Επίλογος: Ανοίγοντας το δρόμο για ενεργειακά αποδοτικά συστήματα τηλεθέρμανσης

Η έρευνα που παρουσιάζεται σε αυτή τη διατριβή παρείχε πολύτιμες γνώσεις σχετικά με τις δυνατότητες της νανοτεχνολογίας για τη βελτίωση της απόδοσης και της αποδοτικότητας των συστημάτων τηλεθέρμανσης, με ιδιαίτερη έμφαση στο σύστημα στη Δυτική Μακεδονία. Μέσω μιας ολοκληρωμένης διερεύνησης τεσσάρων επιλεγμένων νανοϋλικών (Al_2O_3 , CuO , TiO_2 και CNT), η παρούσα μελέτη κατέδειξε τις μοναδικές ιδιότητες και τα οφέλη αυτών των υλικών για τη βελτίωση της απόδοσης της μεταφοράς θερμότητας σε δίκτυα τηλεθέρμανσης.

Το θεωρητικό πλαίσιο και η πρακτική εφαρμογή των ναυούλικών στο σύστημα τηλεθέρμανσης της Δυτικής Μακεδονίας έριξαν φως στις πιθανές προκλήσεις, λύσεις και το κόστος που σχετίζονται με την ενσωμάτωση της ναυοτεχνολογίας στις υπάρχουσες υποδομές. Η ανάλυση κόστους-οφέλους προσέφερε μια λεπτομερή αξιολόγηση της οικονομικής σκοπιμότητας της προτεινόμενης λύσης, παρέχοντας κρίσιμες πληροφορίες για τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων που εξετάζουν την εφαρμογή ναυούλικών σε συστήματα τηλεθέρμανσης.

Η παρούσα έρευνα όχι μόνο συνέβαλε στην πρόοδο των γνώσεων στον τομέα της ναυοτεχνολογίας και των εφαρμογών της στα συστήματα τηλεθέρμανσης, αλλά παρείχε επίσης τα θεμέλια για μελλοντική έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα αυτό. Υπάρχουν διάφοροι δρόμοι για μελλοντικές εργασίες, όπως:

Διερεύνηση πρόσθετων ναυούλικών και των δυνατοτήτων τους για την ενίσχυση της απόδοσης της μεταφοράς θερμότητας σε συστήματα τηλεθέρμανσης.

Διερεύνηση των μακροπρόθεσμων επιδόσεων, της σταθερότητας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ναυούλικών σε πραγματικά συστήματα τηλεθέρμανσης.

Ανάπτυξη νέων σχεδίων εναλλάκτη θερμότητας και υλικών ειδικά προσαρμοσμένων για χρήση με ναυορευστά για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης μεταφοράς θερμότητας.

Αξιολόγηση των δυνατοτήτων ενσωμάτωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ναυοτεχνολογίας για την περαιτέρω ενίσχυση της βιωσιμότητας των συστημάτων τηλεθέρμανσης.

Βιβλιογραφία

- 1 - INTERNATIONAL AGREEMENTS COUNCIL DECISION (EU) 2016/1841
5 October 2016 on the conclusion
on behalf of the European Union, of the Paris Agreement adopted under the
United Nations Framework Convention on Climate Change
- 2 - Liu, L., Jiang, H.D., Liang, Q.M. et al. Carbon emissions and economic impacts of an
EU embargo on Russian fossil fuels. *Nat. Clim. Chang.* (2023).
Available at: <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01606-7>
- 3 - The OECD Environmental Outlook to 2050 key findings on Climate Change (no
date).
Available at:
[https://www.oecd.org/env/cc/outlook%20to%202050_climate%20change%20chap
ter
_highlights-fina-8pager-updated%20nov2012.pdf](https://www.oecd.org/env/cc/outlook%20to%202050_climate%20change%20chapter_highlights-fina-8pager-updated%20nov2012.pdf)
(Accessed: March 10, 2023).
- 4 - EU buildings factsheets - energy european commission (2016), Energy - European
Commission.
Available at: https://ec.europa.eu/energy/eu-buildings-factsheets_en
(Accessed: March 10, 2023).
- 5 - Iea - District heating – analysis, IEA.
Available at: <https://www.iea.org/reports/district-heating>
(Accessed: March 10, 2023).
- 6 - Τηλεθέρμανση (2023) ΔΕΥΑ ΚΟΖΑΝΗΣ.
Available at: <https://www.deyakoze.gr/tilethermansis/>
(Accessed: March 10, 2023).
- 7 - Babaei, S.M. et al. (2020) “Quantifying the effect of nanoparticles addition to a
hybrid absorption/recompression refrigeration cycle,” *Journal of Cleaner
Production*, 260, p. 121084. Available at:
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121084>.
- 8 - Chang, M.-H., Liu, H.-S. and Tai, C.Y. (2011) “Preparation of copper oxide
nanoparticles and its application in nanofluid,” *Powder Technology*, 207(1-3), pp. 378–
386.
Available at: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2010.11.022>.
- 9 - Ali, N. et al. (2021) “Carbon-based nanofluids and their advances towards heat
transfer applications—a review,” *Nanomaterials*, 11(6), p. 1628.
Available at: <https://doi.org/10.3390/nano11061628>.

11 - Borode, A.O., Ahmed, N.A. and Olubambi, P.A. (2019) "Application of carbon-based nanofluids in heat exchangers: Current trends," *Journal of Physics: Conference Series*, 1378(3), p. 032061.

Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1378/3/032061>.

11 - Çuhadaroğlu, B. and Hacısalıhoğlu, M.S. (2022) "An experimental study on the performance of water-based CuO nanofluids in a plate heat exchanger," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 137, p. 106255.

Available at: <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2022.106255>.

12 - Ranjbarzadeh, R. et al. (2019) "An experimental study on stability and thermal conductivity of water/silica nanofluid: Eco-friendly production of nanoparticles," *Journal of Cleaner Production*, 206, pp. 1089–1100.

Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.205>.

13 – Alumina, *Encyclopædia Britannica*. Encyclopædia Britannica, inc.

Available at: <https://www.britannica.com/science/alumina>

14 - Murshed, S.M.S., Leong, K.C. and Yang, C. (2008) "Investigations of thermal conductivity and viscosity of nanofluids," *International Journal of Thermal Sciences*, 47(5), pp. 560–568.

Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2007.05.004>.

15 – Das, S.K. et al. (2003) "Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids," *Journal of Heat Transfer*, 125(4), pp. 567–574.

Available at: <https://doi.org/10.1115/1.1571080>.

16 - Masuda, H. et al. (1993) "Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles. dispersion of Al_2O_3 , SiO_2 and TiO_2 ultra-fine particles.," *Netsu Bussei*, 7(4), pp. 227–233.

Available at: <https://doi.org/10.2963/jjtp.7.227>.

17 - Rea, U. et al. (2009) "Laminar convective heat transfer and viscous pressure loss of alumina–water and Zirconia–water nanofluids," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(7-8), pp. 2042–2048.

Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2008.10.025>.

18 - Bianco, V. et al. (2009) "Numerical investigation of nanofluids forced convection in circular tubes," *Applied Thermal Engineering*, 29(17-18), pp. 3632–3642.

Available at: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2009.06.019>.

19 - Aluminium oxides – Wissensplattform nanopartikel.info.

Available at: <https://nanopartikel.info/en/knowledge/materials/aluminium-oxides/>

20 - Suresh, S., Chandrasekar, M. and Chandra Sekhar, S. (2011) "Experimental studies on heat transfer and friction factor characteristics of CuO/water nanofluid under turbulent flow in a helically dimpled tube," *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35(3), pp. 542–549.

Available at: <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2010.12.008>.

21 – Liu, M.S., Lin, M.C.C. and Wang, C.C. (2011) "Enhancements of thermal conductivities with Cu, CuO, and carbon nanotube nanofluids and application of MWNT/water nanofluid on a water chiller system," *Nanoscale Research Letters*, 6(1).

Available at: <https://doi.org/10.1186/1556-276x-6-297>.

22 - Lee, S. et al. (1999) "Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles," *Journal of Heat Transfer*, 121(2), pp. 280–289.

Available at: <https://doi.org/10.1115/1.2825978>.

23 - Srinivas, T. and Vinod, A.V. (2015) "Heat transfer enhancement using CUO / water nanofluid in a shell and helical coil heat exchanger," *Procedia Engineering*, 127, pp. 1271–1277.

Available at: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.483>.

24 - Yu, W. et al. (2008) "Review and comparison of nanofluid thermal conductivity and heat transfer enhancements," *Heat Transfer Engineering*, 29(5), pp. 432–460.

Available at: <https://doi.org/10.1080/01457630701850851>.

25 - Murshed, S.M.S., Leong, K.C. and Yang, C. (2005) "Enhanced thermal conductivity of tio₂—water based nanofluids," *International Journal of Thermal Sciences*, 44(4), pp. 367–373.

Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2004.12.005>.

26 - Dongsheng Wen and Yulong Ding (2006) "Natural convective heat transfer of suspensions of titanium dioxide nanoparticles (nanofluids)," *IEEE Transactions On Nanotechnology*, 5(3), pp. 220–227.

Available at: <https://doi.org/10.1109/tnano.2006.874045>.

27 – Pak, B.C. and Cho, Y.I. (1998) "Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles," *Experimental Heat Transfer*, 11(2), pp. 151–170.

Available at: <https://doi.org/10.1080/08916159808946559>.

28 - Wang, B.-X., Zhou, L.-P. and Peng, X.-F. (2003) "A fractal model for predicting the effective thermal conductivity of liquid with suspension of nanoparticles," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46(14), pp. 2665–2672.

Available at: [https://doi.org/10.1016/s0017-9310\(03\)00016-4](https://doi.org/10.1016/s0017-9310(03)00016-4).

29 - Ghadimi, A., Saidur, R. and Metselaar, H.S.C. (2011) "A review of nanofluid stability properties and characterization in stationary conditions," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(17-18), pp. 4051–4068.

Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2011.04.014>.

30 - FUJISHIMA, A.K.I.R.A. and HONDA, K.E.N.I.C.H.I. (1972) "Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode," *Nature*, 238(5358), pp. 37–38.
Available at:

<https://doi.org/10.1038/238037a0>.

31 - Hoffmann, M.R. et al. (1995) "Environmental applications of semiconductor photocatalysis," *Chemical Reviews*, 95(1), pp. 69–96.

Available at: <https://doi.org/10.1021/cr00033a004>.

32 - CARP, O. (2004) "Photoinduced reactivity of titanium dioxide," *Progress in Solid State Chemistry*, 32(1-2), pp. 33–177.

Available at: <https://doi.org/10.1016/j.progsolidstchem.2004.08.001>.

33 - Weir, A. et al. (2012) "Titanium dioxide nanoparticles in food and Personal Care Products," *Environmental Science & Technology*, 46(4), pp. 2242–2250.

Available at: <https://doi.org/10.1021/es204168d>.

34 - Gottschalk, F. et al. (2009) "Modeled environmental concentrations of engineered nanomaterials (tio₂, zno, AG, CNT, fullerenes) for different regions," *Environmental Science & Technology*, 43(24), pp. 9216–9222.

Available at: <https://doi.org/10.1021/es9015553>.

35 - Kaegi, R. et al. (2008) "Synthetic tio₂ nanoparticle emission from exterior facades into the aquatic environment," *Environmental Pollution*, 156(2), pp. 233–239.

Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.08.004>.

36 - Robichaud, C.O. et al. (2009) "Estimates of Upper Bounds and trends in nano-tio₂ production as a basis for exposure assessment," *Environmental Science & Technology*, 43(12), pp. 4227–4233.

Available at: <https://doi.org/10.1021/es8032549>.

37 - Choi, S.U. et al. (2001) "Anomalous thermal conductivity enhancement in nanotube suspensions," *Applied Physics Letters*, 79(14), pp. 2252–2254.

Available at: <https://doi.org/10.1063/1.1408272>.

38 - Marquis, F.D. and Chibante, L.P. (2005) "Improving the heat transfer of nanofluids and nanolubricants with carbon nanotubes," *JOM*, 57(12), pp. 32–43.

Available at: <https://doi.org/10.1007/s11837-005-0180-4>.

39 - Xie, H. et al. (2003) "Nanofluids containing multiwalled carbon nanotubes and their enhanced thermal conductivities," *Journal of Applied Physics*, 94(8), p. 4967.

Available at: <https://doi.org/10.1063/1.1613374>.

40 - Zeinali Heris, S., Nasr Esfahany, M. and Etemad, S.G. (2007) "Experimental investigation of convective heat transfer of al₂o₃/water nanofluid in circular tube," *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 28(2), pp. 203–210.

Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2006.05.001>.

41 - Wang, X.-Q. and Mujumdar, A.S. (2008) "A review on nanofluids - part II: Experiments and applications," *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 25(4), pp. 631–648.

Available at: <https://doi.org/10.1590/s0104-66322008000400002>.

42 - Kim, S.H., Choi, S.R. and Kim, D. (2006) "Thermal conductivity of metal-oxide nanofluids: Particle size dependence and effect of laser irradiation," *Journal of Heat Transfer*, 129(3), pp. 298–307.

Available at: <https://doi.org/10.1115/1.2427071>.