



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΣΦΑΚΙΑΝΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

4/11/2021

ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΩΝ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΜΕ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ

Επιβλέπων Καθηγητής
Ευστράτιος Μπαδογιάννης, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που με βοήθησαν καθ' όλη την διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας. Καταρχήν τον κ. Ευστράτιο Μπαδογιάννη, Αναπληρωτή Καθηγητή Ε.Μ.Π. που με τις γνώσεις και το ενδιαφέρον του με καθοδήγησε καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας. Στην συνέχεια τον κ. Ανδρέα Κουνάδη, Υποψήφιο διδάκτωρα Ε.Μ.Π. ο οποίος προσφέροντας τις γνώσεις του κατά την πειραματική διαδικασία αλλά και με την διαρκή επικοινωνία μας συνέβαλε στα μέγιστα για την πραγματοποίηση της διπλωματικής εργασίας. Επίσης τον κ. Κωνσταντίνο Τσιβόλα, Υποψήφιο Διδάκτωρα Ε.Μ.Π. ο οποίος με τις γνώσεις του, βοήθησε σημαντικά ώστε να ολοκληρωθεί το πειραματικό μέρος. Δεν θα μπορούσα φυσικά να ξεχάσω να ευχαριστήσω για τη βοήθεια τους το προσωπικό του Εργαστηρίου Οπλισμένου Σκυροδέματος και του Εργαστηρίου Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας της Σχολής Χημικών Μηχανικών και ειδικότερα την κα. Ολγιάννα Πανίτσα. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την αδελφή μου και τους γονείς μου για την απέραντη βοήθεια τους στα χρόνια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των ρεολογικών, μηχανικών και θερμικών ιδιοτήτων συνθέσεων αυτοσυμπυκνούμενων κονιαμάτων στα οποία ενσωματώθηκαν υλικά αλλαγής φάσης (ΥΑΦ) ή υλικά που θα μπορούσαν να βελτιώσουν τις θερμικές ιδιότητες τους. Στην αρχή αναπτύσσονται θεωρητικά οι έννοιες της μεταφοράς θερμότητας και περιγράφονται οι θερμικές ιδιότητες των υλικών, τα υλικά αλλαγής φάσης (ΥΑΦ), το αυτοσυμπυκνούμενο κονίαμα, οι θερμικές ιδιότητες κονιαμάτων με κίσηρη και περλίτη καθώς και η θερμική συμπεριφορά των κονιαμάτων με ΥΑΦ. Στη συνέχεια, στο πειραματικό μέρος της εργασίας παρασκευάστηκαν πέντε (5) συνθέσεις, εκ των οποίων μία περιείχε ως λεπτόκοκκο πληρωτικό υλικό τη μαρμαρόσκονη και θεωρείται η σύνθεση αναφοράς, ενώ δύο (2) περιείχαν ΥΑΦ σε μικροκάψουλες ως μερική αντικατάσταση μαρμαρόσκονης. Τέλος, δύο (2) συνθέσεις περιείχαν μικροσφαιρίδια διογκωμένου περλίτη και άμμο κίσηρης αντί για μαρμαρόσκονη και ασβεστολιθική άμμο αντίστοιχα. Οι προαναφερθείσες συνθέσεις μελετήθηκαν ως προς τα ρεολογικά τους χαρακτηριστικά, τις μηχανικές τους ιδιότητες και τη θερμική τους συμπεριφορά σε σύγκριση με τη σύνθεση αναφοράς. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι η συμπεριφορά των συνθέσεων ήταν ικανοποιητική ως προς τις ρεολογικές τους ιδιότητες, με τις δύο συνθέσεις που εμπεριείχαν ΥΑΦ να παρουσιάζουν την καλύτερη και χειρότερη ρεολογική συμπεριφορά, αντίστοιχα. Όσον αφορά στις αντοχές των δοκιμίων σε θλίψη 28 ημερών, οι τιμές στα κονιάματα που ενσωματώνουν ΥΑΦ μειώθηκαν όπως ήταν αναμενόμενο, σε ποσοστό μέχρι 29%. Αντίστοιχα και οι αντοχές σε κάμψη των συνθέσεων με ΥΑΦ μειώθηκαν, ωστόσο διατηρήθηκαν σε ικανοποιητικά επίπεδα. Ως προς τη θερμική συμπεριφορά, συγκρινόμενες με τη σύνθεση αναφοράς οι συνθέσεις που περιείχαν ΥΑΦ παρουσίασαν σημάδια θερμικής αδράνειας όταν η θερμοκρασία των δοκιμίων προσέγγισε τη θερμοκρασία τήξης των ΥΑΦ, ενώ η σύνθεση που περιείχε ελαφροβαρή άμμο αντί για συμβατική, εμφάνισε σαφώς μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα. Τέλος, οι συνθέσεις με ΥΑΦ είχαν κατά τα αναμενόμενα και το μεγαλύτερο κόστος παρασκευής, ωστόσο η εξοικονόμηση ενέργειας δικαιολογεί την επιπλέον δαπάνη, καθιστώντας τη χρήση τους ιδιαίτερα ελκυστική.

ABSTRACT

The object of the present dissertation is the study of the rheological, mechanical and thermal properties of self-compacting mortar compositions in which phase change materials (PCM) or materials that could improve their thermal properties were incorporated. In the beginning, the concepts of heat transfer are theoretically developed and the thermal properties of the materials are described, the phase change materials (PCM), the self-compacting mortar, the thermal properties of mortars with pumice and perlite as well as the thermal behavior of mortars with PCM. Then, in the experimental part of the work, five (5) compositions were prepared, one of which contained the fine powder as marble powder and is considered the reference composition, while two (2) contained PCM in microcapsules as a partial replacement of marble dust. Finally, two (2) compositions contained microspheres of expanded perlite and ivy instead of marble dust and limestone sand respectively. The aforementioned compositions were studied in terms of their rheological characteristics, their mechanical properties and their thermal behavior in comparison with the reference composition. The results showed that the behavior of the compositions was satisfactory in terms of their rheological properties, with the two compositions containing PCM showing the best and worst rheological behavior, respectively. Regarding the resistance of the specimens to 28 days compression, the prices of the mortars that incorporate PCM decreased as expected, by up to 29%. Respectively, the bending strengths of the compositions with PCM were reduced, however they were maintained at satisfactory levels. In terms of thermal behavior, compared to the reference composition, the compositions containing PCM showed signs of thermal inertia when the temperature of the specimens approached the melting temperature of PCM, while the composition containing light sand instead of conventional, showed significantly higher heat capacity. Finally, the compositions with PCM had, as expected, the highest manufacturing costs, however, the energy savings justify the additional cost, making their use particularly attractive.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
1.1 ΥΑΦ και ΚΟΝΙΑΜΑ.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	18
2.1 Μεταφορά θερμότητας και θερμικές ιδιότητες υλικών.....	19
2.2 Υλικά Αλλαγής Φάσης.....	22
2.2.1 Οργανικά ΥΑΦ.....	24
2.2.2 Ανόργανα ΥΑΦ.....	25
2.2.4 Ευτηκτικά μείγματα.....	26
2.3 Αυτοσυμπυκνούμενο Κονίαμα.....	26
2.4 Θερμικές ιδιότητες κονιαμάτων και σκυροδέματος με περλίτη.....	28
2.5 Θερμικές Ιδιότητες κονιαμάτων και σκυροδέματος με κίσηρη	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	30
3.1 Υλικά και συνθέσεις ΑΣΚ.....	31
3.1.1 ΥΑΦ	31
3.1.2 Συνθέσεις.....	32
3.2 Δοκιμές χαρακτηρισμού ρεολογίας.....	36
3.2.1 Δοκιμή εξάπλωσης (Mini slump flow test)	36
3.2.2 Δοκιμή χρόνου εξάπλωσης t20.....	37
3.2.3 Δοκιμή χοάνης σχήματος V (mini V-funnel test).....	38
3.2.4 Πυκνότητα νωπού κονιάματος	39
3.2.5 Εγκλωβισμένος αέρας (ImageJ)	40
3.3 Μηχανικές Ιδιότητες.....	41
3.4 Θερμική συμπεριφορά.....	43
3.4.1 Απόκριση στη θερμική ακτινοβολία	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	45
4.1 Δοκιμές χαρακτηρισμού ρεολογίας.....	46
4.1.1 Δοκιμή εξάπλωσης ΑΣΚ (Mini slump flow test)	46
4.1.2 Δοκιμή χρόνου εξάπλωσης t20.....	47
4.1.3 Δοκιμή χοάνης (Mini V-funnel).....	47
4.1.4 Πυκνότητα νωπού κονιάματος	48
4.1.5 Εγκλωβισμένος αέρας	48
4.2 Μηχανικές ιδιότητες.....	49

4.3 Θερμική συμπεριφορά.....	52
4.3.1 Απόκριση στη θερμική ακτινοβολία	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	57
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	59
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	61
Επεξεργασία φωτογραφιών μέσω του προγράμματος imageJ	61
Αναλυτικά αποτελέσματα και σύγκριση αποτελεσμάτων δοκιμών σε θλίψη.....	62
Αναλυτικά αποτελέσματα και σύγκριση αποτελεσμάτων δοκιμών σε κάμψη.....	74
Αναλυτικά στοιχεία πληρωτικών υλικών	87

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1: Σύνθεση ΥΑΦ.....	31
Πίνακας 3.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά ΥΑΦ.....	31
Πίνακας 3.3: Αναλυτικός πίνακας συνθέσεων.....	32
Πίνακας 3.4: Στοιχεία χημικής ανάλυσης μαρμαρόσκονης.....	89
Πίνακας 3.5: Φυσικές ιδιότητες μαρμαρόσκονης.....	90
Πίνακας 3.6: Κοκκομετρική ανάλυση συνθέσεων κατά EN 933-1	32
Πίνακας 4.1: Αποτελέσματα ρεολογικών δοκιμών.....	46
Πίνακας 4.2: Δοσολογίες υπερευστοποιητή και VMA.....	46
Πίνακας 4.7: Περιεκτικότητα αέρα συνθέσεων.....	48
Πίνακας 4.8: Μέση τιμή αντοχής σε θλίψη συνθέσεων.....	49
Πίνακας 5.1: Συνθέσεις σε κυβικά μέτρα.....	55
Πίνακας 5.2: Ενδεικτικό κόστος πληρωτικών υλικών.....	55
Πίνακας 5.3: Ενδεικτικό κόστος χημικών πρόσμικτων.....	55
Πίνακας 5.4: Μεταβολή ποσοτήτων (kg/m^3) συστατικών και κόστους (€/m^3) συνθέσεων με ΥΑΦ, σε σχέση με τη σύνθεση αναφοράς MP20.....	56

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1.1: Ιεραρχική ταξινόμηση τεχνολογιών αποθήκευσης θερμικής ενέργειας ^[3]	14
Διάγραμμα 1.2: Καμπύλη τάσεων-παραμορφώσεων	16
Διάγραμμα 2.1 : Ταξινόμηση αποθήκευσης θερμικής ενέργειας υλικών.....	19
Διάγραμμα 2.2: Διάγραμμα θερμοχωρητικότητας	20
Διάγραμμα 2.3: Διάγραμμα συντελεστή θερμικής διαστολής.....	21
Διάγραμμα 2.4: Διάγραμμα θερμικής αγωγιμότητας	21
Διάγραμμα 2.5: Λανθάνουσα και αισθητή θερμότητα	22
Διάγραμμα 2.6: Διαθεσιμότητα ΥΑΦ ανάλογα με την θερμοκρασία	23
Διάγραμμα 2.7: Ταξινόμηση ΥΑΦ.....	24
Διάγραμμα 3.1: Κοκκομετρικές καμπύλες συνθέσεων.....	33
Διάγραμμα 3.2: Κοκκομετρική ανάλυση μαρμαρόσκονης	89
Διάγραμμα 4.1: Θλιπτική αντοχή συνθέσεων.	50
Διάγραμμα 4.2: Καμπτική αντοχή συνθέσεων.....	51
Διάγραμμα 4.3: Θερμική συμπεριφορά σε ακτινβολία MP-EP	52
Διάγραμμα 4.4: Θερμική συμπεριφορά σε ακτινβολία MP-Pu.....	53
Διάγραμμα 4.5: Θερμική συμπεριφορά σε ακτινβολία MP-Slurry	53
Διάγραμμα 4.6: Θερμική συμπεριφορά σε ακτινβολία MP-S50.....	53
Διάγραμμα 4.7: Συμπεριφορά σύνθεσης μαρμαρόσκονης σε θλίψη	62
Διάγραμμα 4.8: Συμπεριφορά σύνθεσης διογκωμένου περλίτη σε θλίψη	62
Διάγραμμα 4.9: Συμπεριφορά σύνθεσης ελαφρόπετρας σε θλίψη.....	63
Διάγραμμα 4.10: Συμπεριφορά σύνθεσης ΥΑΦ1 σε θλίψη.....	63
Διάγραμμα 4.11: Συμπεριφορά σύνθεσης ΥΑΦ2 σε θλίψη.....	63
Διάγραμμα 4.12: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση EP ημέρα 1	64

Διάγραμμα 4. 13: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση PU ημέρα 1	64
Διάγραμμα 4. 14: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση Slurry ημέρα 1	65
Διάγραμμα 4. 15: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση S50 ημέρα 1	65
Διάγραμμα 4. 16: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης Slurry με σύνθεση S50 ημέρα 1 ..	66
Διάγραμμα 4. 17: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση EP ημέρα 3	66
Διάγραμμα 4. 18: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση PU ημέρα 3	67
Διάγραμμα 4. 19: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση Slurry ημέρα 3	67
Διάγραμμα 4. 20: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση S50 ημέρα 3	68
Διάγραμμα 4. 21: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης Slurry με σύνθεση S50 ημέρα 3 ..	68
Διάγραμμα 4. 22: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση EP ημέρα 7	69
Διάγραμμα 4. 23: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση PU ημέρα 7	69
Διάγραμμα 4. 24: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση Slurry ημέρα 7	70
Διάγραμμα 4. 25: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση S50 ημέρα 7	70
Διάγραμμα 4. 26: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης Slurry με σύνθεση S50 ημέρα 7 ..	71
Διάγραμμα 4. 27: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση EP ημέρα 28	71
Διάγραμμα 4. 28: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση PU ημέρα 28	72
Διάγραμμα 4. 29: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση Slurry ημέρα 28	72
Διάγραμμα 4. 30: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση S50 ημέρα 28	73
Διάγραμμα 4. 31: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης Slurry με σύνθεση S50 ημέρα 28	73

Διάγραμμα 4. 32: Συμπεριφορά σύνθεσης μαρμαρόσκονής σε κάμψη	74
Διάγραμμα 4. 33: Συμπεριφορά σύνθεσης διογκωμένου περλίτη σε κάμψη	74
Διάγραμμα 4. 34: Συμπεριφορά σύνθεσης ελαφρόπετρας σε κάμψη	75
Διάγραμμα 4. 35: Συμπεριφορά σύνθεσης ΥΑΦ1 σε κάμψη.....	75
Διάγραμμα 4. 36: Συμπεριφορά σύνθεσης ΥΑΦ2 σε κάμψη.....	76
Διάγραμμα 4. 37: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση EP ημέρα 1	76
Διάγραμμα 4. 38: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση Pu ημέρα 1	77
Διάγραμμα 4. 39: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση Slurry ημέρα 1	77
Διάγραμμα 4. 40: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση S50 ημέρα 1	78
Διάγραμμα 4. 41: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης Slurry με σύνθεση S50 ημέρα 1. 78	
Διάγραμμα 4. 42: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση EP ημέρα 3	79
Διάγραμμα 4. 43: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση PU ημέρα 3	79
Διάγραμμα 4. 44: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση Slurry ημέρα 3	80
Διάγραμμα 4. 45: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση S50 ημέρα 3	80
Διάγραμμα 4. 46: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης Slurry με σύνθεση S50 ημέρα 3. 81	
Διάγραμμα 4. 47: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση EP ημέρα 7	81
Διάγραμμα 4. 48: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση PU ημέρα 7	82
Διάγραμμα 4. 49: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση Slurry ημέρα 7	82
Διάγραμμα 4. 50: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση S50 ημέρα 7	83
Διάγραμμα 4. 51: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης Slurry με σύνθεση S50 ημέρα 7. 83	

Διάγραμμα 4. 52: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση EP ημέρα 28	84
Διάγραμμα 4. 53: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση PU ημέρα 28	84
Διάγραμμα 4. 54: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση Slurry ημέρα 28	85
Διάγραμμα 4. 55: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση S50 ημέρα 28	85
Διάγραμμα 4. 56: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης Slurry με σύνθεση S50 ημέρα 2886	

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2. 1: Οργανικό ΥΑΦ	24
Εικόνα 2. 2: Ανόργανο ΥΑΦ	25
Εικόνα 2. 3: Ευτηκτικό μείγμα.....	26
Εικόνα 2. 4: Περλίτης.....	28
Εικόνα 3. 1: Αναδευτήρας.....	34
Εικόνα 3. 2: Χαλύβδινη μήτρα δοκιμίων	34
Εικόνα 3. 3: Χαλύβδινη μήτρα δοκιμίων	35
Εικόνα 3. 4: Διάταξη δοκιμής εξάπλωσης	36
Εικόνα 3. 5: Ενδεικτική φωτογραφία δοκιμής εξάπλωσης.....	37
Εικόνα 3. 6: Δοκιμή χαάνης σχήματος V	38
Εικόνα 3. 7: Δοκιμή πυκνότητας νωπού κονιάματος	39
Εικόνα 3. 8: Φιλτράρισμα φωτογραφιών μέσω του προγράμματος ImageJ	40
Εικόνα 3. 9: Φιλτράρισμα φωτογραφιών μέσω του προγράμματος ImageJ	40
Εικόνα 3. 10: Ζύγισμα δοκιμίων	41
Εικόνα 3. 11: Δοκιμή σε κάμψη.....	42
Εικόνα 3. 12: Δοκιμη σε θλίψη	42
Εικόνα 3. 13: Μέθοδος εμβάπτισης δοκιμίων.....	43
Εικόνα 3. 14: Συντήρηση δοκιμίων.....	43
Εικόνα 3. 15: Ενσωμάτωση θερμοπομπών στα δοκίμια	44
Εικόνα 3. 16: Δοκιμή θερμικής ακτινοβολίας.....	44

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΕΙΣΑΓΩΓΗ

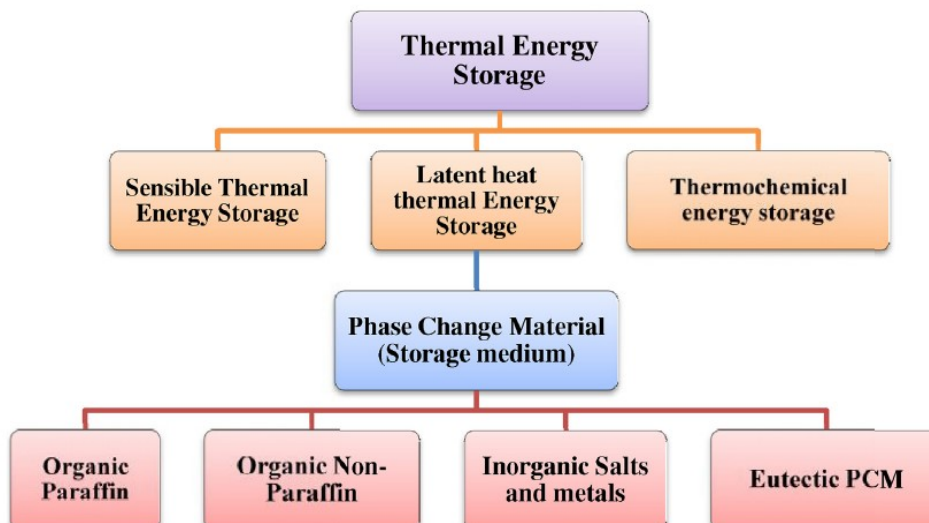
1.1 ΥΑΦ και ΚΟΝΙΑΜΑ

Η ηλιακή ενέργεια είναι η κύρια πηγή ενέργειας διαθέσιμη σε ολόκληρο τον πλανήτη όλο το χρόνο και η ενέργεια που λαμβάνεται από αυτήν τη πηγή από τη γη εκτιμάται ότι είναι 10.000 φορές μεγαλύτερη από αυτή της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης. Αυτός ο ενεργειακός πόρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέσω ενός θερμικού μέσου αποθήκευσης όπως το υλικό αλλαγής φάσης και να μειώσει την ενεργειακή κατανάλωση μέσω συστημάτων θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού αέρα στα κτίρια. Αυτό θα μπορούσε να είναι δυνατό μέσω της ενσωμάτωσης του ΥΑΦ σε δάπεδα, τοίχους και οροφές κτιρίων και ικανοποίηση όλων των διαστάσεων της αιφόρου ανάπτυξης από κοινωνική, οικονομική και περιβαλλοντική άποψη. Το ΥΑΦ αλλάζει φάση με θερμοκρασία περιβάλλοντος και μπορεί να απορροφήσει και να απελευθερώσει θερμότητα κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης και όταν ενσωματωθεί στο κονίαμα, θα χρησιμεύσει ως παθητικός θερμικός ρυθμιστής της εσωτερικής θερμοκρασίας. Εάν το ΥΑΦ μπορεί να λειτουργήσει ως θερμικός ρυθμιστής, οι θερμοκρασίες μετάβασης φάσης θα πρέπει να βρίσκονται κοντά στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Παρόλο που τα ΥΑΦ θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν σε δάπεδα, οροφές και ως μέσο αποθήκευσης αντλιών θερμότητας και ηλιακών συλλεκτών, η εφαρμογή του σε τοίχους κτιρίων είναι περιζήτητη.^[1]

Η διαρροή και η συμβατότητα με το κονίαμα έχουν παρατηρηθεί ως οι κύριοι τομείς ανησυχίας όσον αφορά τη χρήση του ΥΑΦ σε κονιάματα. Ωστόσο, αυτά τα προβλήματα μπορούν να αντιμετωπιστούν με την κατάλληλη μέθοδο ενσωμάτωσης ΥΑΦ στο κονίαμα. Οι συνήθεις μέθοδοι ενσωμάτωσης του ΥΑΦ στο κονίαμα, που υιοθετήθηκαν από τους ερευνητές, είναι η μέθοδος άμεσης ανάμιξης, η μέθοδος κάψουλας (capsule bending method) και η μέθοδος εμβάπτισης.^[2]

Η χρήση του ΥΑΦ είναι αρκετά συχνή σε γυψοσανίδες, σκυρόδεμα και κονίαμα. Η ενσωμάτωση ΥΑΦ σε προκατασκευασμένα πάνελ τοίχου γύψου είναι μια ελεγχόμενη διαδικασία και ως εκ τούτου δημιουργεί σχετικά λιγότερες προκλήσεις σε σύγκριση με κονιάματα και σκυρόδεμα. Σε σκυρόδεμα και κονιάματα, τα οποία παρασκευάζονται επί τόπου, πρέπει να γίνει προσεκτικά η διαδικασία ενώ γίνεται η προσθήκη ΥΑΦ.^[3]

Οι τεχνολογίες αποθήκευσης θερμικής ενέργειας μπορούν να ταξινομηθούν ως λογική αποθήκευση ενέργειας, λανθάνουσα θερμική αποθήκευση θερμικής ενέργειας και θερμοχημική αποθήκευση ενέργειας. Το σχήμα 1 παρουσιάζει την ιεραρχική ταξινόμηση των τεχνολογιών αποθήκευσης θερμικής ενέργειας και συγκεκριμένα για το ΥΑΦ ως μέσο αποθήκευσης λανθάνουσας θερμικής αποθήκευσης ενέργειας.



Διάγραμμα 1.1: Ιεραρχική ταξινόμηση τεχνολογιών αποθήκευσης θερμικής ενέργειας ^[3]

Το κονίαμα είναι τυπικά μια μήτρα που σχηματίζεται με τσιμέντο ή οποιουδήποτε άλλο τσιμεντοειδές υλικό όπως ασβέστη ή αλκαλικά ενεργά συνδετικά, με λεπτά αδρανή όπως άμμο ποταμού ή ασβεστολιθική άμμο, παρουσία επαρκούς ποσότητας νερού. Μερικές φορές, υπερπλαστικοποιητές ή παράγοντες τροποποίησης του ιξώδους θα αναμιχθούν επίσης στη μήτρα για να βελτιωθεί η ευκολία με το οποίο μπορεί να γίνει επεξεργασία του κονιάματος. Τα κονιάματα είναι χρήσιμα για τη συγκόλληση των τούβλων κατά την κατασκευή του τοίχου ή το σοβάτισμα, τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά ως στρώση φινιρίσματος. Το κονίαμα θα έχει επαρκή μηχανική αντοχή όταν ολοκληρωθεί η αντίδραση ενυδάτωσης και σχηματιστούν πήκτες ένυδρου πυριτικού ασβεστίου.

Αυτή η αντίδραση ενυδάτωσης επηρεάζεται όταν το υλικό αλλαγής φάσης αναμειγνύεται απευθείας με τσιμεντοκονία για ενεργειακή απόδοση. Τα ΥΑΦ διαθέτουν υψηλή ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας. Αυτό το χαρακτηριστικό έχει αξιοποιηθεί στην κατασκευή κονιαμάτων με ΥΑΦ. Αλλά πρέπει να υπογραμμιστεί ότι η συμπερίληψη του ΥΑΦ σε κονιάματα μπορεί να μειώσει την αντοχή σε θλίψη του σύνθετου ΥΑΦ.

Για τον προσδιορισμό της θερμικής συμβολής του ΥΑΦ ως προς την απελευθέρωση θερμότητας κατά την αντίδραση ενυδάτωσης, οι Eddhahak et al. ^[4] έχουν χρησιμοποιήσει ημι-αδιαβατική μέθοδο τύπου Langavant. Σε αυτήν την εργασία, η ροή θερμότητας από το κονίαμα με ΥΑΦ προσδιορίστηκε μέσω αριθμητικής μεθόδου διάχυσης στοιχείων εξετάζοντας διαφορετικούς συνδυασμούς κονιάματος με ΥΑΦ. Διαπιστώθηκε κατά τη διάρκεια αυτής της εργασίας ότι, τα κονιάματα με ΥΑΦ απελευθερώνουν χαμηλότερη θερμότητα σε σύγκριση με το κονίαμα μόνο και η αντίδραση ενυδάτωσης επηρεάζεται σαφώς με την ένταξη του

ΥΑΦ. Επιπλέον, μπορεί να σημειωθεί ότι οι μορφές με κατεστραμμένα ΥΑΦ απαιτούν περισσότερο χρόνο για να ολοκληρωθεί η αντίδραση ενυδάτωσης σε σύγκριση με κονιάματα με μη κατεστραμμένα ΥΑΦ.

Οι Sharifi et al. ^[5] έχουν πειραματιστεί με τα αδρανή Rice Husk Ash και τα μικρού βάρους αδρανή εμποτίζοντας τα με ΥΑΦ πριν αναμιχθούν με άλλα συστατικά κονιάματος. Παρατηρήθηκε συμβιβασμός με τη μορφή μείωσης της αντοχής σε θλίψη κατά 10% για τα αδρανή ελαφρού βάρους και 35% για τα σωματίδια συσσωματωμάτων Rice Husk Ash. Κατά τη διάρκεια αυτών των πειραμάτων δεν παρατηρήθηκε χημική αποσύνθεση των προϊόντων ενυδάτωσης. Ωστόσο, αναφέρθηκε ότι παρατηρήθηκε διαρροή ΥΑΦ κατά τη διάρκεια αυτών των δοκιμών.

Υλικά

Το πιο σημαντικό πράγμα σε μια κατασκευή είναι τα υλικά. Τα υλικά αυτά θα πρέπει να αντέχουν τα φορτία σχεδιασμού τους, να έχουν καλή θερμική συμπεριφορά, να αντέχουν στις περιβαλλοντικές συνθήκες, να μην προξενούν βλάβη στο περιβάλλον και όλα αυτά με όσο το δυνατό μικρότερο κόστος. Επίσης σημαντική θεωρείται και η επιλογή υλικών τα οποία θα πρέπει να είναι συμβατά μεταξύ τους και να επιλεγθούν με βάση την απόδοση, οικονομία και αποδοτικότητα τους.

Η επιλογή λοιπόν των υλικών θα γίνει με βάση τις ιδιότητες τους, οι οποίες θα πρέπει να αξιοποιηθούν στον μέγιστο βαθμό. Οι βασικές ιδιότητες των υλικών κατηγοριοποιούνται ως εξής:

Ιδιότητες υλικών

- Μηχανικές ιδιότητες
- Χημικές ιδιότητες
- Ηλεκτρικές και μαγνητικές ιδιότητες
- Θερμικές ιδιότητες

Μηχανικές ιδιότητες

Οι μηχανικές ιδιότητες ενός υλικού είναι υπεύθυνες για την ασφαλή παραλαβή των φορτίων. Μέσω της φόρτισής του λοιπόν, ένα υλικό παραλαμβάνει μια τάση, αυτή η τάση του προκαλεί μια παραμόρφωση. Μια σημαντική μηχανική ιδιότητα λοιπόν, είναι το μέτρο ελαστικότητας E , όπου ως μέτρο ελαστικότητας E ορίζεται η ικανότητα ενός υλικού να παραλαμβάνει την τάση που δέχεται χωρίς να παραμορφώνεται υπερβολικά. Η παραμόρφωση αυτή μπορεί να είναι ελαστική, που σημαίνει ότι το υλικό θα επανέλθει στις αρχικές του διαστάσεις, ή μπορεί να είναι μη ελαστική όπου το υλικό θα έχει μια μόνιμη παραμόρφωση ή μια ψαθυρή αστοχία. Για

μικρές τάσεις ο προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας E , μπορεί να γίνει μέσω του νόμου του Hooke $\sigma = E \cdot \epsilon$ με κάπως ανακριβή αποτελέσματα. Μια πιο ακριβής μέτρηση μπορεί να γίνει πειραματικά με δυναμική μέθοδο. Τέλος η κλίση της καμπύλης τάσεων-παραμορφώσεων μας δίνει το μέτρο ελαστικότητας όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 2.1.^[6]



Διάγραμμα 1. 2: Καμπύλη τάσεων-παραμορφώσεων

Μια εξίσου σημαντική μηχανική ιδιότητα είναι η αντοχή σε διαρροή (σ_y), όπου ορίζεται ως η ευκολία με την οποία ένα υλικό μπορεί να καμφθεί μόνιμα. Υλικά με υψηλό όριο διαρροής παραμορφώνονται δύσκολα μόνιμα, ενώ υλικά με χαμηλό όριο διαρροής παραμορφώνονται εύκολα. Τέλος υπάρχει και ένα ανώτατο όριο, που ονομάζεται αντοχή σε εφελκυσμό, πέρα από το οποίο το υλικό αστοχεί.

Όταν ένα υλικό είναι ψαθυρό δηλαδή η αστοχία του θα έρθει ξαφνικά, οπότε δεν θα υπάρχει μόνιμη παραμόρφωση, αρα δεν μπορεί να χαρακτηριστεί από την τάση διαρροής. Γι' αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούμε την αντοχή σε θραύση K_{Ic} , όπου ορίζει την αντίσταση των υλικών στη ριγμάτωση και θραύση.^[7]

Θερμικές ιδιότητες

Οι ιδιότητες των υλικών μεταβάλλονται με την θερμοκρασία, συνήθως προς το χειρότερο. Για παράδειγμα μπορεί να μειωθεί η αντοχή τους ή αποσυντίθενται. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ένα άνω όριο θερμοκρασίας, πάνω από το οποίο τα υλικά χάνουν τις ιδιότητες τους, το οποίο ονομάζεται μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας T_{max} .

Η πρώτη θερμική ιδιότητα των υλικών είναι η θερμική διαστολή. Τα υλικά συνήθως όταν θερμαίνονται διαστέλλονται. Ο βαθμός διαστολής τους εξαρτάται από τον συντελεστή διαστολής τους, α . Αυτή η διαστολή μπορεί να είναι μικρή αλλά οι

συνέπειες αυτής μεγάλες. Για παράδειγμα αν υπάρχει υψηλή θερμοκρασία σε μια χαλύβδινη δοκό μπορεί να διασταλεί, αυτή λοιπόν η διαστολή μπορεί να δημιουργήσει τοπικό λυγισμό σε περίπτωση που είναι πακτωμένη στα άκρα της.

Η δεύτερη θερμική ιδιότητα είναι η θερμική αγωγιμότητα, λ , όπου μετρά τον ρυθμό με τον οποίο η θερμότητα ρέει μέσω ενός υλικού όταν η μια πλευρά του είναι ζεστή ενώ η άλλη κρύα. Υλικά με υψηλό λ , μεταφέρουν την θερμότητα από την μια πλευρά στην άλλη, όπως τα μαγειρικά σκεύη, ενώ και αυτά με χαμηλό λ , είναι χρήσιμα διότι για παράδειγμα είναι υλικά μόνωσης.

Τέλος η τρίτη θερμική ιδιότητα είναι η θερμοχωρητικότητα C_p . Η θερμοχωρητικότητα μετράει την ποσότητα της θερμότητας που χρειάζεται για να ανυψωθεί η θερμοκρασία ενός υλικού κατά ορισμένη ποσότητα. Υλικά με υψηλό C_p χρειάζονται μεγάλη ποσότητα θερμότητας για να μεταβάλουν τη θερμοκρασία τους, όπως ο χάλυβας σε σχέση με αυτά με χαμηλή θερμοχωρητικότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΤΑΦΟΡΑ **ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ** **ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ**

2.1 Μεταφορά θερμότητας και θερμικές ιδιότητες υλικών

Οι θερμικές ιδιότητες ποσοτικοποιούν την απόκριση των υλικών στην θερμότητα. Η θερμότητα επίσης επηρεάζει τις μηχανικές και τις φυσικές ιδιότητες. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται τα υλικά διαστέλλονται, το μέτρο ελαστικότητας μειώνεται, η αντοχή μειώνεται και το υλικό παρουσιάζει ερπυσμό, παραμορφούμενο αργά με τον χρόνο με ρυθμό ο οποίος αυξάνεται καθώς πλησιάζουμε στο σημείο τήξης μέχρι, κατά την τήξη, το στερεό να χάσει όλη τη δυσκαμψία και την αντοχή του. Στο διάγραμμα 2.1 παρουσιάζεται αναλυτικά η ταξινόμηση της αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας των υλικών.



Διάγραμμα 2. 1 : Ταξινόμηση αποθήκευσης θερμικής ενέργειας υλικών

Οι δύο θερμοκρασίες που σχετίζονται άμεσα με την αντοχή, η θερμοκρασία τήξης T_m και η θερμοκρασία ναλώδους μετάπτωσης, T_g . Η θερμοκρασία τήξης (T_m) ενός στερεού είναι μια θεμελιώδης φυσική ιδιότητα, η οποία παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη διαγραμμάτων φάσης, στην κατανόηση της συμπεριφοράς πολλών υλικών σε συνθήκες εκτός περιβάλλοντος και στο σχεδιασμό πιθανών εφαρμογών. Παρά την μεγάλη ερευνητική προσπάθεια για την πρόβλεψη της T_m , η μοντελοποίηση της θερμοκρασίας τήξης εξακολουθεί να αποτελεί ένα δύσκολο έργο. Η θερμοκρασία ναλώδους μετάπτωσης, T_g χαρακτηρίζει τη μετάβαση από ένα πραγματικό στερεό σε ένα υγρό μεγάλου ιξώδους.^[8]

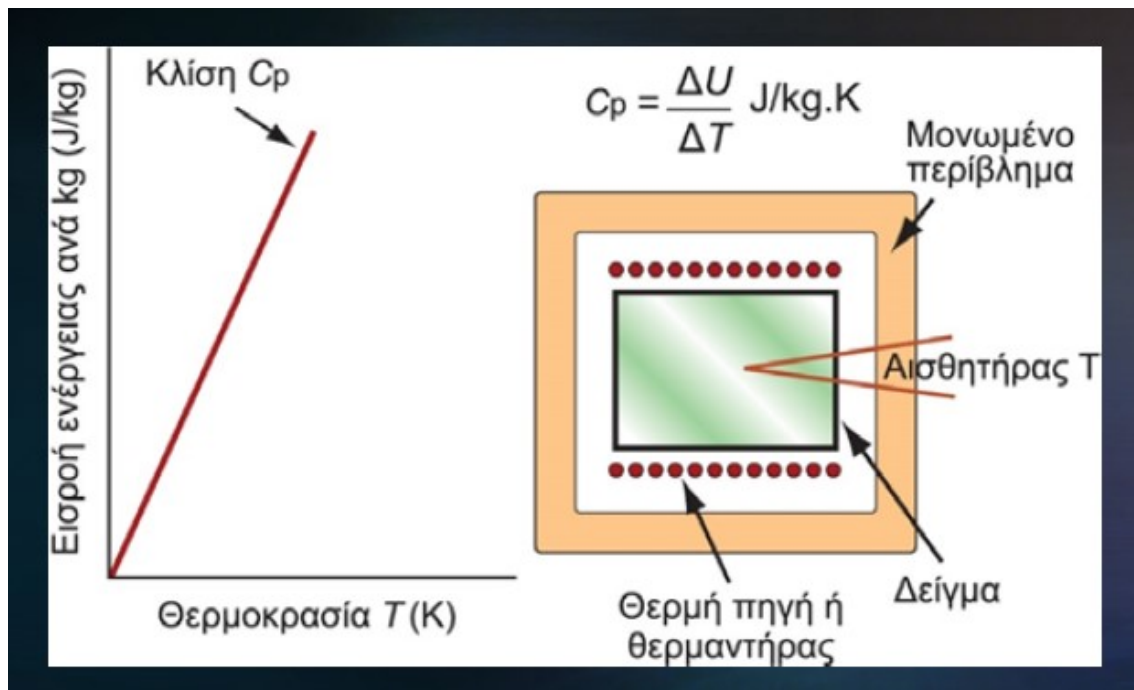
Από την πλευρά του τεχνικού σχεδιασμού, είναι χρήσιμος ο ορισμός δύο ακόμα θερμοκρασιών, η μέγιστη και η ελάχιστη θερμοκρασία λειτουργίας T_{max} και T_{min} . Η πρώτη είναι η υψηλότερη θερμοκρασία στην οποία το υλικό μπορεί να χρησιμοποιείται χωρίς να αποτελεί πρόβλημα τυχόν οξείδωση, χημική μεταβολή ή

παραμόρφωση. Η δεύτερη είναι η θερμοκρασία κάτω από την οποία το υλικό γίνεται εύθραυστο ή δεν είναι ασφαλές για χρήση.^{[1],[2]}

Θα αρχίσει τώρα μια πιο λεπτομερή ανασκόπηση των θερμικών ιδιοτήτων των υλικών με πρώτη την θερμοχωρητικότητα, C_p . Ως θερμοχωρητικότητα ορίζεται η ενέργεια που απαιτείται για την θέρμανση 1kg υλικού κατά 1 βαθμό Kelvin.

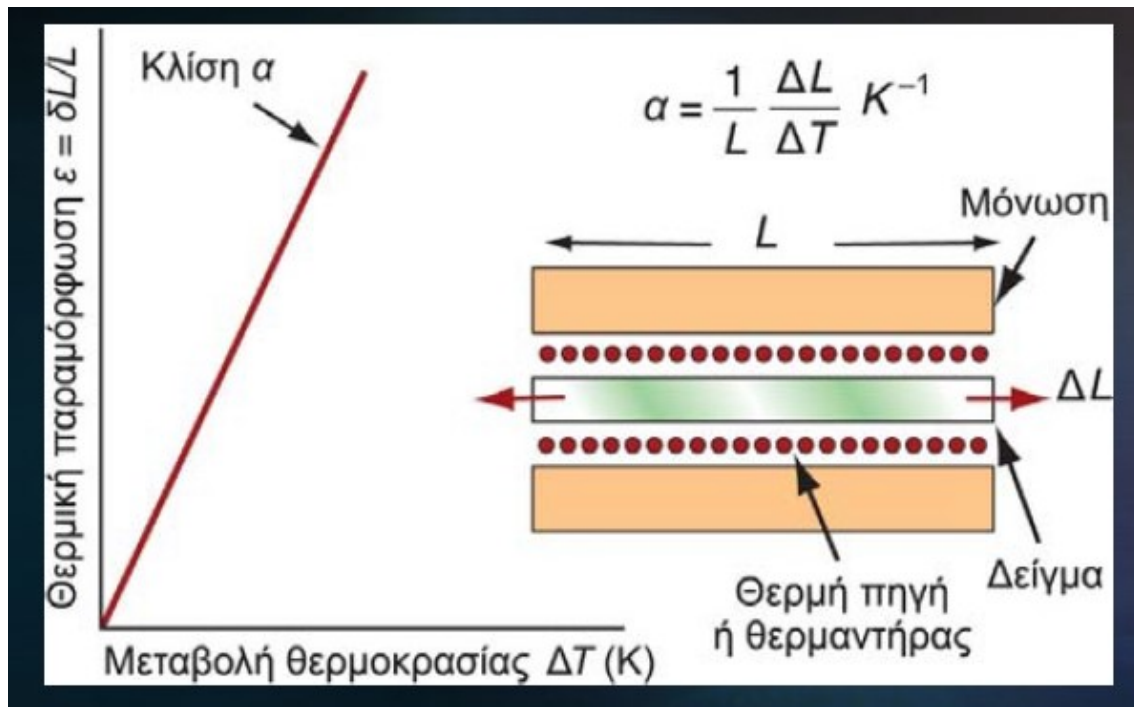
Η θερμοχωρητικότητα (C_p) είναι μία από τις πιο βασικές θερμοδυναμικές ιδιότητες των υλικών. Η γνώση της θερμοχωρητικότητας και της εξάρτησης από τη θερμοκρασία επιτρέπει την πρόβλεψη της ενθαλπίας και της εντροπίας ενός υλικού.

Καθορίζεται ως $C = \frac{dq}{dT}$, όπου dq είναι μια απειροελάχιστη ποσότητα θερμότητας που προστίθεται (ή αποσύρεται) από την ύλη και dT είναι η επακόλουθη απειροελάχιστη αλλαγή θερμοκρασίας. Η συγκεκριμένη θερμότητα μετριέται παραδοσιακά με τεχνικές αδιαβατικής θερμοδομετρίας. Το θερμοδόμετρο είναι απομονωμένο από το περιβάλλον και απαιτεί μακρούς χρόνους χαλάρωσης. Οι θερμικές ικανότητες που καθορίζονται σε σταθερό όγκο ή σε σταθερή πίεση είναι γενικότερης σημασίας.^[9]



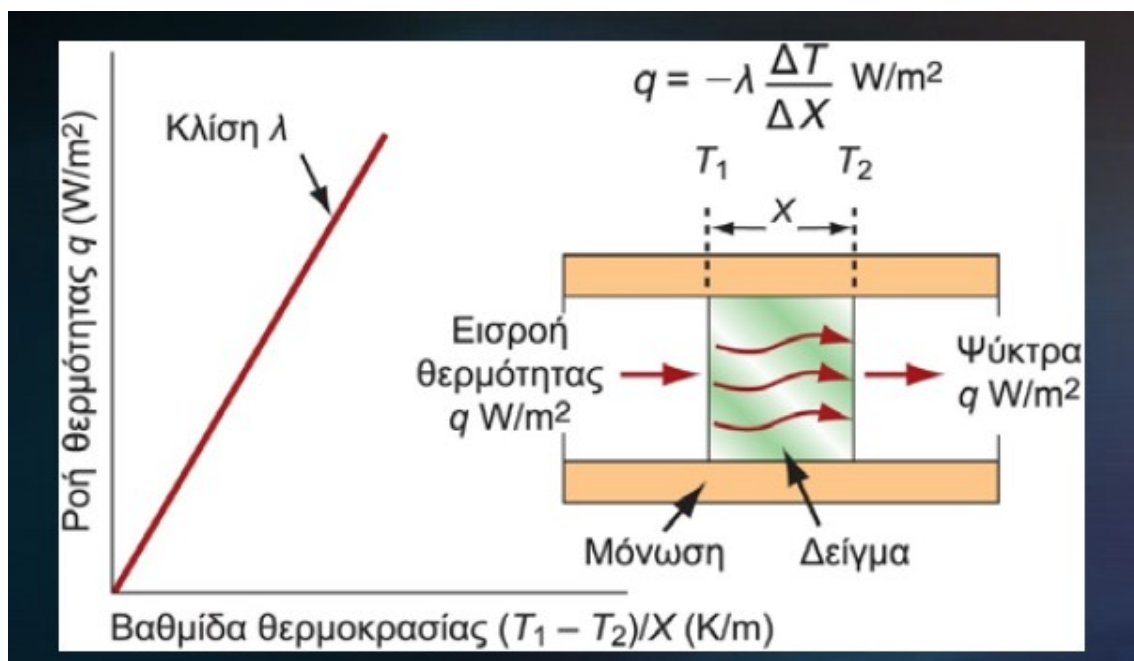
Διάγραμμα 2. 2: Διάγραμμα θερμοχωρητικότητας

Τα περισσότερα υλικά διαστέλλονται όταν θερμαίνονται. Η θερμική παραμόρφωση ανά βαθμό μεταβολής της θερμοκρασίας μετράτε από τον συντελεστή γραμμικής διαστολής, α . Αν ένα υλικό είναι ανισότροπο, δηλαδή διαστέλλεται διαφορετικά σε κάθε διεύθυνση, απαιτούνται δύο ή περισσότεροι συντελεστές.



Διάγραμμα 2. 3: Διάγραμμα συντελεστή θερμικής διαστολής

Ο ρυθμός αγωγής της θερμότητας μέσω ενός στερεού σε σταθερή κατάσταση μετράται με την θερμική αγωγιμότητα, λ . Πιο αναλυτικά μετριέται καταγράφοντας τη ροή θερμότητας q (W/m^2) που διέρχεται μέσα από το υλικό από μια επιφάνεια με υψηλότερη θερμοκρασία T_1 προς μια επιφάνεια με χαμηλότερη θερμοκρασία T_2 οι οποίες απέχουν μια απόσταση

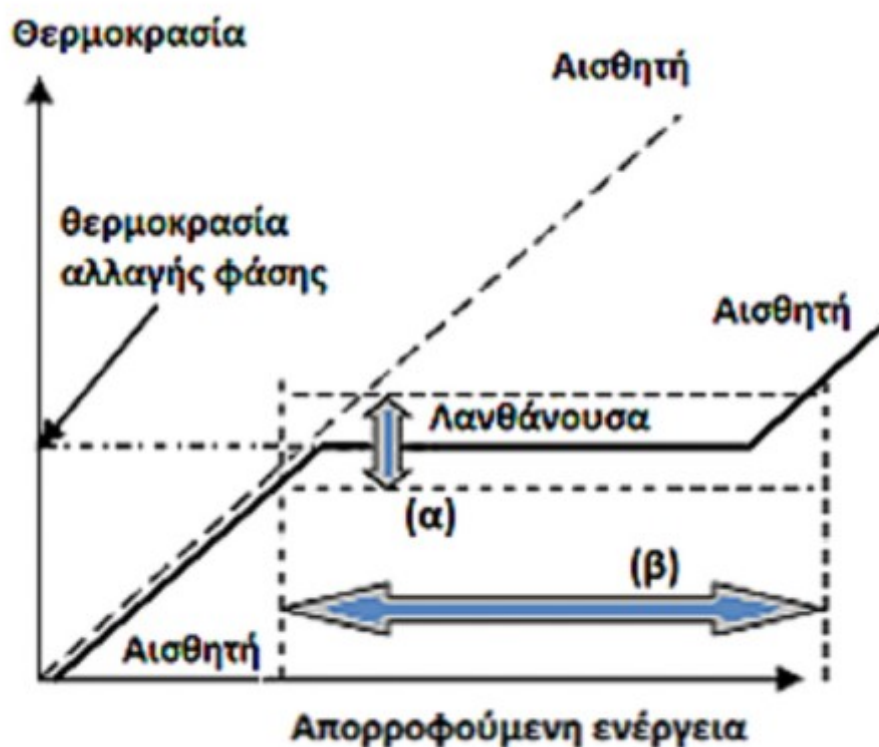


Διάγραμμα 2. 4: Διάγραμμα θερμικής αγωγιμότητας

2.2 Υλικά Αλλαγής Φάσης

Υλικά αλλαγής φάσης θεωρούνται οι ουσίες αυτές, που λόγω της αλλαγής φάσης της μοριακής τους δομής έχουν την ιδιότητα να αποθηκεύουν και να απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας υπό την μορφή θερμότητας. Τα ΥΑΦ θεωρούνται αποθήκες λανθάνουσας θερμότητας λόγω της ιδιότητας τους να αποθηκεύουν ή να απελευθερώνουν θερμότητα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας τήξης-στερεοποίησης. Κυρίαρχο γνώρισμα θεωρείται η ιδιότητα τους σε πολύ μικρό όγκο να παρέχουν πολύ μεγάλες ποσότητες ενέργειας, γεγονός που καθιστά την λανθάνουσα θερμότητα τόσο βασικό παράγοντα για την χρήση των ΥΑΦ.

Ως λανθάνουσα θερμότητα ορίζεται η ενέργεια που αποθηκεύεται, απορροφάται ή ελκύεται κατά τη διαδικασία αλλαγής της φάσης μίας ουσίας υπό σταθερή θερμοκρασία. Ο διαχωρισμός λανθάνουσας και αισθητής βασίζεται στο γεγονός, ότι η πρώτη διατηρεί την θερμοκρασία σε σταθερά επίπεδα ενώ στην δεύτερη υπάρχουν αυξομειώσεις στην θερμοκρασία. Στο διάγραμμα 2.5 μπορεί να γίνει πιο αντιληπτή η διαφορά των δύο.

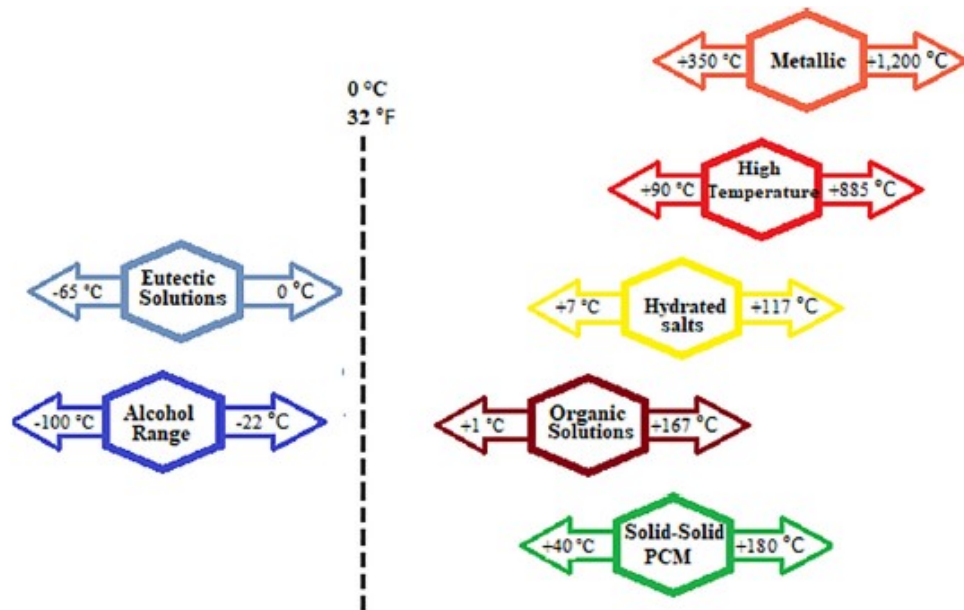


Διάγραμμα 2. 5: Λανθάνουσα και αισθητή θερμότητας

Στο σκυρόδεμα χρησιμοποιούνται ΥΑΦ στα οποία η αλλαγή φάσης πραγματοποιείται μεταξύ δύο στερεών ή υγρών και στερεών. Στην περίπτωση μεταξύ δύο στερεών δεν αλλάζει η μορφή του υλικού, ωστόσο μεταβάλλεται η κρυσταλική δομή του. Μεταξύ αυτών των δύο κατηγοριών υπάρχει μεγάλη ομοιότητα, όμως στη

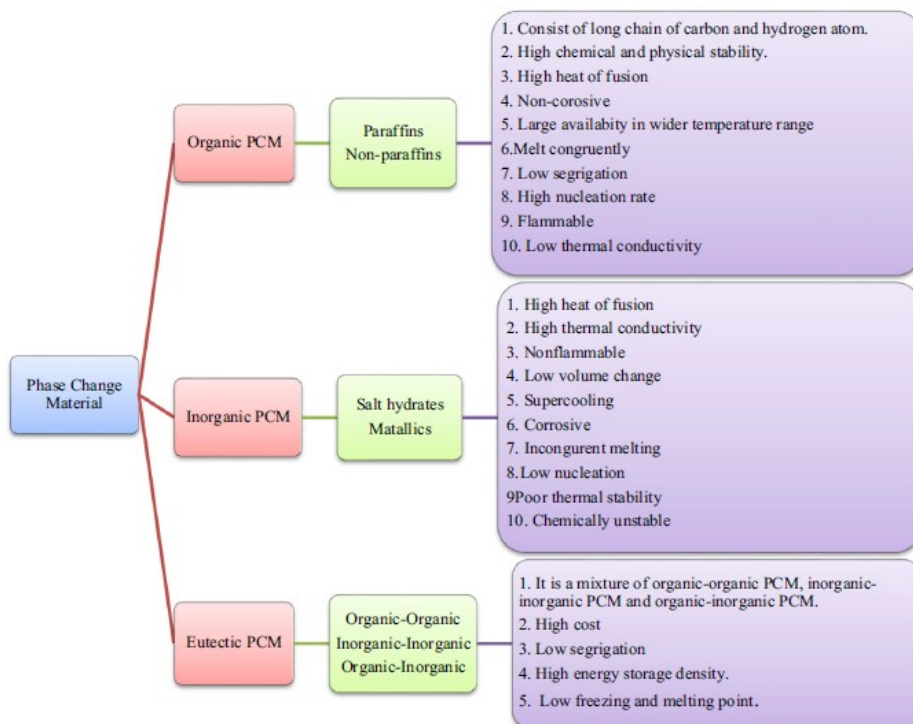
κατηγορία στερεό-υγρό αποθηκεύονται μεγαλύτερες ποσότητες λανθάνουσας θερμότητας σε μικρότερη μεταβολή όγκου.

Τα ΥΑΦ διατίθενται σε μεγάλο εύρος και σε μεγάλες ποικιλίες. Το διάγραμμα 2.6 δείχνει τη διαθεσιμότητα των ΥΑΦ σε διάφορες θερμοκρασίες. Σύμφωνα με το απαιτούμενο εύρος θερμοκρασίας, επιλέγεται το ΥΑΦ. Ωστόσο, υπάρχουν λίγα θερμικά, φυσικά, χημικά και οικονομικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένα ΥΑΦ όπως, υψηλή λανθάνουσα χωρητικότητα αποθήκευσης θερμότητας, κατάλληλη περιοχή θερμοκρασίας μετάβασης φάσης, υψηλή θερμική αγωγιμότητα, χαμηλή μεταβολή όγκου, χαμηλή πίεση ατμών, κατάλληλος ρυθμός κρυστάλλωσης, να μην υπερψύχεται, καλή χημική σταθερότητα και συμβατότητα, καθόλου τοξικότητα και γενικά να είναι εύκολα διαθέσιμα.^[10]



Διάγραμμα 2. 6: Διαθεσιμότητα ΥΑΦ ανάλογα με την θερμοκρασία

Μια ευρεία ταξινόμηση των ΥΑΦ που χρησιμοποιείται σε κτίρια μαζί με τις θερμο-φυσικές τους ιδιότητες φαίνεται στο διάγραμμα 2.7. Συνοπτικά αυτά χωρίζονται σε οργανικά, μη οργανικά και εύτηκτα.



Διάγραμμα 2. 7: Ταξινόμηση ΥΑΦ

2.2.1 Οργανικά ΥΑΦ



Εικόνα 2. 1: Οργανικό ΥΑΦ

Τα οργανικά υλικά που χρησιμοποιούνται ως ΥΑΦ είναι κυρίως υδρογονάνθρακες με μεγάλη αλυσίδα μακρομορίων που αποτελούνται κυρίως από άνθρακα και υδρογόνο. Τα οργανικά ΥΑΦ προτιμούνται σε σχέση με τα ανόργανα, σε εφαρμογές κτιρίων που θέλουμε αποθηκευτική ικανότητα θερμικής ενέργειας, λόγω της αξιόπιστης απόδοσης στην αλλαγή φάσης και στην υψηλή διαθεσιμότητα τους στην αγορά.

Τα οργανικά ΥΑΦ είναι δύο τύπων, παραφίνης και μη παραφίνης. Οι παραφίνες είναι μίγμα αλκανίου ευθείας αλυσίδας ($\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)-CH}_3$). Η λανθάνουσα θερμότητα της σύντηξης και η θερμοκρασία τήξης εξαρτώνται από το μέγεθος της αλυσίδας.

Τα οργανικά ΥΑΦ παραφίνης θεωρούνται τα πιο δημοφιλή λόγω της μη διαβρωτικής και μηδενικής υπερψύξης, της υψηλής χημικής σταθερότητας καθώς και της θερμικής σταθερότητας, έχουν χαμηλό κόστος και υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα. Τέλος το κερι παραφίνης θεωρείται ο πιο διαδεδομένος τύπος παραφίνης αποθήκευσης θερμικής ενέργειας.

Ο τύπος μη παραφίνης που χρησιμοποιείται είναι κυρίως εστέρες λιπαρά οξέα, αλκοόλες και γλυκόλες, με θερμοφυσικές ιδιότητες παρόμοιες με αυτές των ΥΑΦ τύπου παραφίνης, βέβαια η χρήση τους είναι περιορισμένη λόγω της μεγάλης τους ευφλεκτότητας γεγονός που τις καθιστά με χρησιμοποιήσιμες σε μεγάλες θερμοκρασίες.^[6]

2.2.2 Ανόργανα ΥΑΦ



Εικόνα 2. 2: Ανόργανο ΥΑΦ

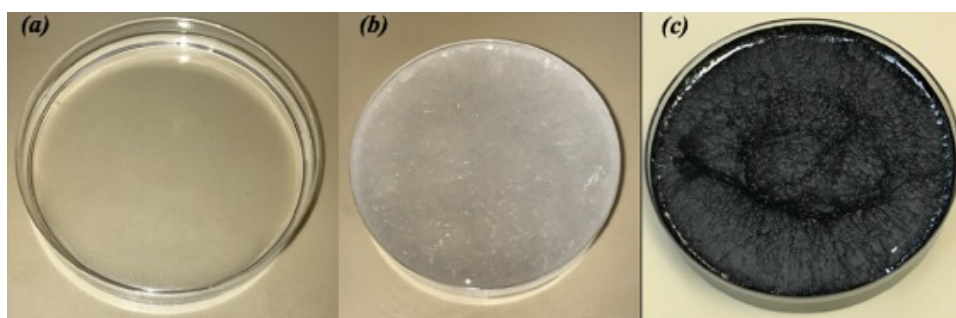
Τα ανόργανα ΥΑΦ, έχουν κάποια βασικά πλεονεκτήματα, όπως η μικρή μεταβολή του όγκου τους κατά την διαδικασία αλλαγής φάσης, το χαμηλό κόστος τους, όπως και η υψηλή θερμική αγωγιμότητα και θερμοκρασία τήξης.

Ωστόσο παρουσιάζουν και κάποια μειονεκτήματα, με βασικότερο το φαινόμενο της υπερψύξης, κατά την διάρκεια αυτού, δεν επιτυγχάνεται η μετατροπή ενός υγρού σε στερεό παρότι αυτό πέφτει κάτω από την θερμοκρασία στερεοποίησης του. Αυτή η ιδιότητα λοιπόν είναι τελείως αντιφατική σε σχέση με την βασική ιδιότητα των ΥΑΦ, τα οποία σε ίδια θερμοκρασία φτάνουν στο σημείο τήξης τους και στερεοποιούνται. Επίσης ένα μειονέκτημα ορισμένων ανόργανων ΥΑΦ είναι το φαινόμενο διαχωρισμού φάσης, το οποίο ουσιαστικά είναι ότι τείνουν να λιώνουν με ανομοιόμορφο τρόπο, πρόβλημα που κυρίως εμφανίζεται στα ένυδρα άλατα.

Τα ανόργανα ΥΑΦ χωρίζονται σε ένυδρα και μεταλλικά άλατα όπως φαίνεται και στο σχήμα πιο πάνω. Τα ένυδρα άλατα αποτελούνται από άλας και νερό, και χρησιμοποιούνται είτε μόνα τους είτε μπορούν να συμπεριληφθούν σε ευτηκτα μείγματα, με την χρήσιμη ιδιότητα ότι το σημείο τήξης τους κυμένεται από 15 έως 117 βαθμούς Κελσίου. Ένα βασικό πλεονέκτημα των ένυδρων αλάτων είναι η υψηλή θερμική αγωγιμότητα. Επίσης σημαντικό πλεονέκτημα μπορεί να θεωρηθεί και η υψηλή θερμοκρασία τήξης, χωρίς να ξεχάσουμε και ότι υπάρχει αφθονία στην αγορά των ένυδρων αλάτων το οποίο σημαίνει ότι έχουν χαμηλό κόστος. Τέλος, δεν έχουν πρόβλημα ευφλεκτότητας.

Ωστόσο, τα ένυδρα άλατα έχουν και κάποια μειονεκτήματα. Κύριο μειονέκτημα είναι η υπερψύξη, επίσης δέχονται μεγαλύτερες μεταβολές στον όγκο τους σε σχέση με τα οργανικά. Επίσης, η κρυστάλλωση τους δεν ξεκινάει στο σημείο πήξης τους. Ένα ακόμα κύριο μειονέκτημα τους είναι ότι είναι διαβρωτικά, με αποτέλεσμα να υπάρχει μια επιφυλακτικότητα στην χρήση τους σε περίπτωση που έρχονται σε επαφή με μεταλλικά στοιχεία. Τέλος όσο περνάει ο καιρός γίνονται λιγότερο αποδοτικά, λόγω ότι χάνουν με την πάροδο του χρόνου την αποθηκευτικότητα τους σε θερμότητα, το οποίο ουσιαστικά είναι το φαινόμενο αλλαγής φάσης.^[6]

2.2.4 Ευτηκτικά μείγματα



Εικόνα 2. 3: Ευτηκτικό μείγμα

Τα ευτηκτικά μείγματα είναι συνδιασμός δύο ή περισσότερων συστατικών, τα οποία χωρίζονται σε ουσίες με συνδιασμό ενώσεων οργανικών και ανόργανων συστατικών, ανάλογα με την χημική τους σύνθεση, τα οποία συστατικά υγροποιούνται ταυτόχρονα στο σημείο τήξης τους λόγω της σύνθετης κρυσταλλικής τους δομής. Τα μείγματα αυτά λοιπόν, με δεδομένο ότι αποτελούνται από πολλές ουσίες, δημιουργούνται έτσι ώστε να διατηρούν τα πλεονεκτήματα και να αποφεύγουν τα μειονεκτήματα των οργανικών και ανόργανων ΥΑΦ. Βέβαια υπάρχουν ακόμα περιθώρια για περαιτέρω έρευνα ως προς τις ιδιότητες τους.^[6]

2.3 Αυτοσυμπυκνούμενο Κονίαμα

Ως αυτοσυμπυκνούμενο κονίαμα ορίζεται το κονίαμα εκείνο το οποίο συμπυκνώνεται μόνο με το ίδιο βάρος του λόγω των ρεολογικών του

χαρακτηριστικών, χωρίς την χρήση μηχανικών μέσων. Ως βασικά χαρακτηριστικά του είναι η αυξημένη ρευστότητα με αποτέλεσμα την δυνατότητα πλήρωσης παντός τύπου διατομών και η στερεότητα, η ικανότητα δηλαδή αντίστασης στον διαχωρισμό.

Τα αυτοσυμπυκνωμένα κονιάματα προτιμώνται ιδιαίτερα για την αποκατάσταση και επισκευή κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Θα πρέπει να προσδιοριστεί η αναλογία νερού/σκόνης (τσιμέντο, ιπτάμενη τέφρα, πληρωτικό ασβεστόλιθου, καπνός διοξειδίου του πυριτίου κ.λπ.) και το είδος των χημικών προσθέτων, ώστε να τοποθετηθεί το νωπό κονίαμα χωρίς εξωτερική συμπύκνωση και ταυτόχρονα χωρίς πρόκληση οποιονδήποτε διαχωρισμό. Με άλλα λόγια, η ρεολογία φάσης πάστας του επισκευαστικού κονιάματος θα πρέπει να διαθέτει κατάλληλες ιδιότητες από την άποψη της ροής και του διαχωρισμού. Η αυτοσυμπύεση των επισκευαστικών κονιαμάτων μπορεί να αποφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα σε στενά συστήματα καλουπιού όπως η επίστρωση. Με την ανάπτυξη πλαστικοποιητών νέας γενιάς, είναι δυνατή η επίτευξη υψηλών ποσοστών πλήρωσης ακόμη και για πολύπλοκα συστήματα χύτευσης.

Τα φρέσκα ρεολογικά χαρακτηριστικά, η αντοχή και η ανθεκτικότητα των επισκευαστικών κονιαμάτων μπορούν να ενισχυθούν με την προσθήκη σκόνων που μπορούν να συλλεχθούν σε δύο ομάδες ως αδρανείς ή ποζολανικές. Η επιλογή της ποσότητας και του είδους των τσιμεντοειδών ή αδρανών σκονών εξαρτάται από τις φυσικές και φυσικοχημικές ιδιότητες αυτών των κονιαμάτων που επηρεάζουν την απόδοση της φρέσκιας πάστας όπως το σχήμα σωματιδίων, η υφή της επιφάνειας, το πορώδες της επιφάνειας και ο ρυθμός προσρόφησης του υπερπλαστικοποιητή, η επιφανειακή ενέργεια, το καλύτερο περιεχόμενο κλάσματος, λεπτότητα Blaine και κατανομή μεγέθους σωματιδίων. Δεν υπάρχει καθολικά αποδεκτή συμφωνία σχετικά με την επίδραση αυτών των παραγόντων λόγω της πολύπλοκης επιρροής του συνδυασμού αυτών των παραγόντων.

Σε γενικές γραμμές, η αύξηση της περιεκτικότητας σε λεπτόκκοκα υλικά στο σκυρόδεμα επιφέρει την τροποποίηση των ρεολογικών ιδιοτήτων των πάστων και κατά συνέπεια επηρεάζει την εργασιμότητα των κονιαμάτων και των μειγμάτων σκυροδέματος. Οι παρατηρούμενες αλλαγές μπορεί να είναι πλεονεκτικές ή όχι. Αυτό οφείλεται σε πολλούς παράγοντες που επηρεάζουν τη ρεολογία του τσιμέντου. Συνήθως αναμένεται ότι, εάν η συγκέντρωση όγκου ενός στερεού διατηρείται σταθερή, για μια συγκεκριμένη εργασιμότητα, η αντικατάσταση του τσιμέντου με μια λεπτή σκόνη θα αυξήσει τη ζήτηση νερού λόγω της αύξησης της επιφάνειας. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, το προαναφερθέν συμπέρασμα δεν είναι κατάλληλο. Οι Lange et al. ^[12] κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι για μια συγκεκριμένη εργασιμότητα, η συμπερίληψη συγκεκριμένης ποσότητας ιπτάμενης τέφρας μείωσε την περιεκτικότητα σε νερό και βελτίωσε την εργασιμότητα. Η βελτίωση της εργασιμότητας εξηγείται από το σφαιρικό σχήμα της ιπτάμενης τέφρας που προκαλεί το σωματίδιο να κυλήσει εύκολα το ένα πάνω στο άλλο, μειώνοντας την ενδοσωματιδική τριβή. Το σφαιρικό σχήμα ελαχιστοποιεί επίσης την αναλογία επιφάνειας προς όγκο του σωματιδίου, με αποτέλεσμα χαμηλές απαιτήσεις σε ρευστό.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τη ρεολογία είναι η λεπτότητα της σκόνης που χρησιμοποιείται. Οι Collins και Sanjayan ^[13] ανέφεραν ότι, σε σκυρόδεμα που περιέχει αλκαλικά ενεργοποιημένη αλεσμένη κοκκοποιημένη σκωρία ως συνδετικό υλικό, η εργασιμότητα βελτιώθηκε αντικαθιστώντας μέρος του συνδετικού με εξαιρετικά λεπτά υλικά. Οι Yijin et al. ^[14] διαπίστωσαν ότι η προσθήκη πολύ λεπτής ιπτάμενης τέφρας σε πάστα τσιμέντου, κονίαμα και σκυρόδεμα μπορεί να βελτιώσει τη ρευστότητά τους,

2.4 Θερμικές ιδιότητες κονιαμάτων και σκυροδέματος με περλίτη

Ο περλίτης δεν είναι μια εμπορική ονομασία, αλλά ένας κοινός όρος για τη φυσική πυριτική ηφαιστειακή πέτρα. Το διακριτικό χαρακτηριστικό της διάταξης του περλίτη σε σύγκριση με τα υπόλοιπα ηφαιστειακά πετρώματα είναι ότι όταν θερμαίνεται γρήγορα, στη θερμοκρασία μαλάκωσής του, που κυμαίνεται μεταξύ 900 C έως 1200 C, επεκτείνεται περίπου από 5 έως 20 φορές του αρχικού του όγκου. Το διογκωμένο υλικό είναι λαμπρό λευκό (Εικόνα 4), λόγω ανακλαστικότητας των παγιδευμένων φυσαλίδων. Τα σωματίδια είναι κοίλα και πορώδη με πολλά σχήματα. Εκτιμήθηκε ότι υπάρχουν περίπου 2530 και 2680 χιλιάδες μετρικοί τόνοι περλίτη σε όλο τον κόσμο κατά τη διάρκεια του 2014 και του 2015, αντίστοιχα. Τα ορυχεία περλίτη βρίσκονται σε πολλές χώρες σε όλο τον κόσμο, όμως οι 6 κυριότερες χώρες που αντιπροσώπευουν περίπου το 97% της παγκόσμιας παραγωγής περλίτη είναι η Τουρκία, η Ελλάδα, οι ΗΠΑ, η Ιαπωνία η Ουγγαρία και η Ιταλία ^[15].



Εικόνα 2. 4: Περλίτης

Ο διογκωμένος περλίτης (EP) είναι ένα ευρέως διαθέσιμο οικοδομικό υλικό λόγω της προσβασιμότητάς του (περίπου 2,53 και 2,68 εκατομμύρια τόνοι περλίτη παράγονται σε όλο τον κόσμο ετησίως), τα εύκολα χαρακτηριστικά κατεργασίας και τη ποζολανική του δομή ^[16]. Η συμπερίληψη 0,8% EP στο κονίαμα προκαλεί οριακή αύξηση της αντοχής σε θλίψη ^[17]. Ομοίως, μέσω αντικατάστασης τσιμέντου κατά 30% με σκόνη EP, αναπτύχθηκε σκυροδέμα με ενισχυμένες μηχανικές ιδιότητες λόγω της ποζολανικής επίδρασης του EP ^[18]. Επιπλέον, ύστερα από ερευνητικές εργασίες βγήκε το συμπέρασμα ότι η αντοχή την 28^η μέρα σε θλίψη του αυτοσυμπικνόμενου σκυροδέματος με την προσθήκη 45% EP αυξήθηκε κατά 24% ^{[19],[20]}. Σε σύγκριση με τη βελτίωση λόγω της συμπερίληψης σκόνης EP, πραγματοποιήθηκε επίσης η χρήση του EP ως συγκεντρωτική, όπου τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το EP είναι αποτελεσματικό στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, του ειδικού βάρους και της θερμικής αγωγιμότητας του σκυροδέματος. ^[14]

Οι Abidi et al. ^[21] αναφέρουν ότι η προσθήκη περλίτη στους σοβάδες οδήγησε σε αύξηση της θερμομόνωσης. Οι Gandage et al. ^[22] αναφέρουν ότι 14,32%, 16,96%, 23,17% και 26,16% μείωση της θερμικής αγωγιμότητας των SCC που περιέχουν 20% FA ως αντικατάσταση τσιμέντου με 2,5%, 5%, 7,5% και 10% περλίτη (μέγεθος 0,15-0,3 mm) ως φυσική αντικατάσταση άμμου, κατά βάρος, σε θερμοκρασία 30-40 ° C. Σε θερμοκρασία 50-60 C, η μείωση της θερμικής αγωγιμότητας ήταν 6,35%, 9,32%, 13,74% και 16,52%, αντίστοιχα. Σε θερμοκρασία 70-80 C, η μείωση της θερμικής αγωγιμότητας ήταν 6,26%, 10%, 12,77% και 15,48%, αντίστοιχα.

Οι Lafhaj et al. [23] ανέφεραν ότι η θερμική αγωγιμότητα διαφορετικών υλικών (τσιμέντο, κονίαμα Baticem και ασβέστη) μειώθηκε με την αύξηση του περιεχομένου ΕΡ. Οι Abidi et al. [24] ανέφεραν ότι η θερμική αγωγιμότητα των θεικών ασβεστίου ασβεστοκονιάματος μειώθηκε από 0,5 Wm⁻¹ K⁻¹ σε 0,35 και 0,16 Wm⁻¹ K⁻¹ με 5% και 25% περλίτη, κατά βάρος, αντίστοιχα.

Οι Karakos και Demirboga [25] ανέφεραν μείωση 11,05%, 11,59%, 18,12% και 19,65% στη θερμική αγωγιμότητα 28 ημερών των HSC που θεραπεύονται σε κορεσμένο με ασβέστη νερό, αντικαθιστώντας εν μέρει το φυσικό λεπτό αδρανές με ΕΡ (μέγεθος 2 mm), κατ' όγκο, σε επίπεδα 7,5%, 15%, 22,5% και 30%, αντίστοιχα, ενώ η μείωση της θερμικής αγωγιμότητας των δειγμάτων που εκτίθενται σε ωρίμανση με αέρα ήταν 4,21%, 5,07%, 14,52% και 16,23%, αντίστοιχα. Οι Torcu και Isikdag [26] ανέφεραν χαμηλότερη θερμική αγωγιμότητα των τούβλων αντικαθιστώντας μερικώς τον πηλό με ΕΡ σε επίπεδα που κυμαίνονται από 5% έως 50%, κατ' όγκο. Η θερμική αγωγιμότητα μειώθηκε με την αύξηση του περιεχομένου ΕΡ. Η θερμική αγωγιμότητα του μάρτυρα ήταν 0,35 kcal/mh C, ενώ ήταν 0,185 kcal/mh C για τούβλο που περιείχε 30% ΕΡ.

2.5 Θερμικές Ιδιότητες κονιαμάτων και σκυροδέματος με κίσηρη

Η ελαφρόπετρα, που παρουσιάζει μια μη κρυσταλλική δομή, έχει χρησιμοποιηθεί, από τους Ρωμαϊκούς χρόνους για να αντιδράσει με υλικά πλούσια σε Ca (δηλαδή Ca (OH) 2) παρουσία νερού και οδηγεί σε ενώσεις με σημαντική τσιμεντοειδείς ιδιότητες. Σήμερα, η ελαφρόπετρα χρησιμοποιείται επίσης σε απολέπιση σαπουνιών, οδοντικές στιλβώσεις, φιλτράρισμα πόσιμου νερού ή αφαίρεση οσμών κ.λπ., καθώς και για δομικά υλικά. Μία από τις τεχνολογικές εφαρμογές της είναι η παραγωγή ελαφρού δομικού σκυροδέματος με αδρανή ελαφρόπετρα και ενώσεις βορίου (ουλεξίτης ή κολεμανίτης) που θα χρησιμοποιηθούν για σκοπούς θωράκισης ακτινοβολίας. Η ελαφρόπετρα είναι ουδέτερη ως προς το pH και δεν αποσυντίθεται ή καίγεται, είναι ένας πολύ πορώδης ηφαιστειακός βράχος με λεπτόκοκκο υλικό που περιέχει φυσαλίδες αερίου παγιδευμένες ενώ η ροή λάβας στερεοποιείται από θερμοκρασίες κοντά στους 800 ° C. Το πυριτικό συστατικό αποτελείται από ένα μικρό κλάσμα ορυκτών μικροκρυστάλλων (σανιδίνη, πλαγιοκλάση, βιοτίτης, κ.λπ.) που κατανέμονται σε μια κύρια υάλινη μάζα εδάφους. [27]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ **ΜΕΡΟΣ**

3.Πειραματικό Μέρος

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και στην διαφοροποίηση στις συνθέσεις αυτών. Επίσης θα γίνει μια εκτενείς αναφορά στην πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε που αφορά τις μηχανικές και θερμικές ιδιότητες του ΑΣΚ καθώς και τις ρεολογικές δοκιμές.

3.1 Υλικά και συνθέσεις ΑΣΚ

3.1.1 ΥΑΦ

Δύο τύποι ΥΑΦ χρησιμοποιήθηκαν το MikroCapsPCM28-slurry και το MikroCapsPCM28-S50, και τα δύο αποτελούμενα από κερί παραφίνης . Παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες 1,2 με την σύνθεση καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους:

Πίνακας 3.1: Σύνθεση ΥΑΦ

ΥΑΦ	Slurry	S50
Ταξινόμηση	Μικροκάψουλες Υλικών Αλλαγής Φάσης	Μικροκάψουλα Υλικών Αλλαγής Φάσης
Τύπος μεμβράνης	Μελαμίνη-φορμαλδεΰδη	Πολυουρεθάνη
Τύπος PCM	Κερί Παραφίνης	Κερί Παραφίνης

Πίνακας 3.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά ΥΑΦ

ΥΑΦ	Slurry	S50
Περιεχόμενο PCM στη διασπορά	25-30%	38-42%
Περιεχόμενο PCM σε ξηρή κάψουλα	75-80 %	75-80 %
Ξηρό περιεχόμενο στη διασπορά	35-38%	49-52%
Περιοχή τήξης PCM	25-29 °C	26-29 °C
Ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας	160-185 J/g	145-175 J/g
pH	7,0-9,0	6,0-8,5
Πυκνότητα	900-970 g/L	880-950 g/L
Ιξώδες	10-500 cPs	100-1.000 cPs
Εμφάνιση	Λευκός πολτός	Υπόλευκος πολτός
Μέσο μέγεθος σωματιδίων	2-10 μm	1-20 μm

3.1.2 Συνθέσεις

Δημιουργήθηκαν 5 συνθέσεις με κωδικές ονομασίες: MP20, EP, pcm-slurry, pumice, pcm-S50. Σε όλες τις συνθέσεις προστέθηκε νερό και τσιμέντο, σε κάποιες (MP20, EP, pcm-slurry, pcm-S50), χρησιμοποιήθηκε ασβεστολιθική άμμος, ενώ σε μια (Pumice), άμμος κίσηρης. Επίσης σε κάποιες μαρμαρόσκονη (MP20, pcm-slurry, pumice, pcm-S50), ως πληρωτικό υλικό ενώ σε μια σύνθεση (EP) χρησιμοποιήθηκε μόνο διογκωμένος περλιτής ως πληρωτικό υλικό. Τέλος οι συνθέσεις pcm-slurry, pcm-S50 περιέχουν και τις μικροκάψουλες από τα ΥΑΦ. Στον Πίνακα 3.3. δίνεται αναλυτικά η σύσταση των συνθέσεων:

Πίνακας 3. 3: Αναλυτικός πίνακας συνθέσεων

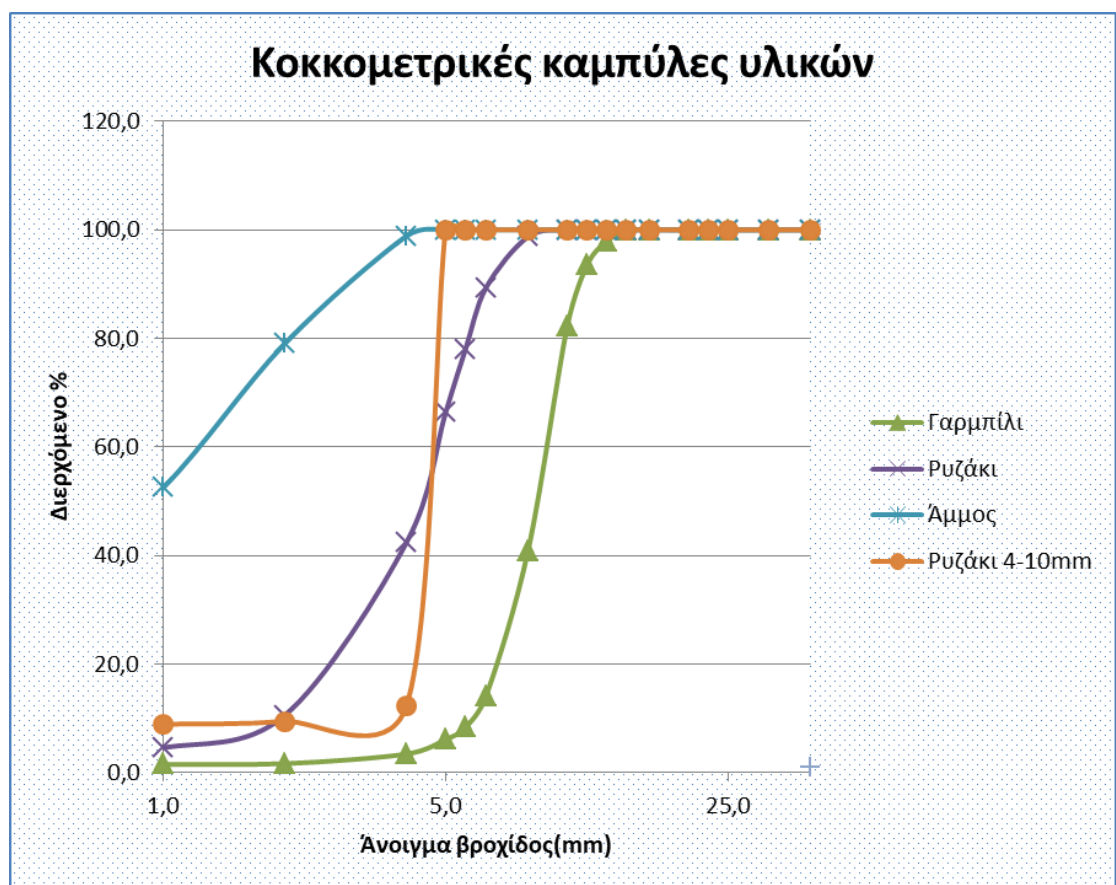
α/ α	Κωδικός	Συστατικά (kg/m ³)						
		Τσιμέντο	Νερό (Ενεργό)	Ασβεστολιθική άμμος	Κίσηρης	Μαρμαρόσκονη	Διογκωμένος Περλίτης	Αιώρημα ΥΑΦ
1	MP20	488,25	244,50	1286,58		202,50		
2	EP	488,25	244,50	1286,58			99,75	
3	Pumice	488,25	244,50		781,66	202,50		
4	pcm- slurry	488,25	173,45	1286,58		67,50		121,05
5	pcm-S50	488,25	204,50	1286,58		67,50		90,00

Στην συνέχεια ακολουθεί η κοκκομετρική ανάλυση και καμπύλες των υλικών του πειράματος:

Πίνακας 3. 4: Κοκκομετρική ανάλυση συνθέσεων κατά EN 933-1

Ανοιγμα βροχίδος (mm)	% Διερχόμενο			
	Γαρμπίλι	Ριζάκι	Άμμος	Ριζάκι 4-10mm
16,0	100,0	100,0	100,0	100,0
14,0	99,9	100,0	100,0	100,0
12,5	97,8	100,0	100,0	100,0
11,2	93,5	100,0	100,0	100,0
10,0	82,2	100,0	100,0	100,0
8,0	40,9	98,7	100,0	100,0
6,3	14,2	89,4	100,0	100,0
5,6	8,4	78,0	100,0	100,0
5,0	6,1	66,3	99,9	100,0

4,0	3,4	42,4	98,8	12,3
2,0	1,7	10,6	79,0	9,4
1,0	1,5	4,6	52,5	8,9
0,5	1,5	3,5	34,1	8,8
0,25	1,4	3,2	24,4	8,3
0,125	1,2	2,5	17,3	7,5
0,063	1,1	2,2	14,0	6,3



Διάγραμμα 3. 1: Κοκκομετρικές καμπύλες συνθέσεων

Η διαδικασία της σύνθεσης έγινε σύμφωνα με τις οδηγίες της EFNARC. Αρχικά γίνεται η ξηρή ανάμιξη των υλικών, δηλαδή τοποθετούμε το τσιμέντο, την άμμο και τη μαρμαρόσκονη (ή τον διογκωμένο περλίτη) στον αναδευτήρα και ανακατεύουμε για 1 λεπτό. Στη συνέχεια βάζουμε το απαιτούμενο νερό και ανακατεύουμε για 2 λεπτό. Τέλος στην περίπτωση που χρειάστηκε να βάλουμε είτε ΥΑΦ είτε ιζώδες είτε υπερευστοποιητή έγινε ανάμιξη για 1 λεπτό.



Εικόνα 3. 1: Αναδευτήρας

Μόλις ολοκληρώθηκε η διαδικασία δημιουργήθηκαν 5 πρίσματα διαστάσεων [40*40*160] που χρησιμοποιήθηκαν για τις δοκιμές θλιψης και κάμψης και 1 πλάκα διαστάσεων [200*200*30] που χρησιμοποιήθηκε για την θερμική συμπεριφορά.



Εικόνα 3. 2: Χαλύβδινη μήτρα δοκιμίων



Εικόνα 3. 3: Χαλύβδινη μήτρα δοκιμίων

3.2 Δοκιμές χαρακτηρισμού ρεολογίας

3.2.1 Δοκιμή εξάπλωσης (Mini slump flow test)

Η δοκιμή εξάπλωσης (mini slump flow test) είναι μια διαδικασία στην οποία προσδιορίζονται η ρευστότητα καθώς και η ταχύτητα ροής της σύνθεσης. Ειδικότερα αποτελείται από δύο μεταλλικά αντικείμενα, μια τετραγωνική λεία επιφάνεια και έναν κούλουρο κώνο. Η μεγάλη διάμετρος του κώνου εφαρμόζεται στην λεία επιφάνεια, πληρώνεται ως την κορυφή με την σύνθεση, χωρίς να γίνει συμπίκνωση, και ανασηκώνεται. Μετά την ανασήκωση το μείγμα αρχίζει να εξαπλώνεται, μέχρι να στερεοποιηθεί σε ένα σημείο. Ύστερα, και μετά την στερεοποίηση, μετρείται η διάμετρος εξάπλωσης, δηλαδή μετριοούνται δύο κάθετες διαμέτροι και λαμβάνεται ο μέσος όρος αυτών. Το εύρος της εξάπλωσης προσδιορίζει την ρευστότητα και την ταχύτητα ροής του μείγματος.



Εικόνα 3. 4: Διάταξη δοκιμής εξάπλωσης

3.2.2 Δοκιμή χρόνου εξάπλωσης t20

Η δοκιμή χρόνου εξάπλωσης t20 συμβαίνει ταυτόχρονα με την δοκιμή εξάπλωσης. Ειδικότερα προσδιορίζεται ο χρόνος από την στιγμή που ανασηκώνεται ο κούλουρος κώνος μέχρι τη στιγμή όπου η εξωτερική περίμετρος του μείγματος θα φτάσει το όριο των 20 εκ. Με τον χρόνο αυτόν λοιπόν προσδιορίζεται το κινηματικό ιξώδες της σύνθεσης. Συνθέσεις με μικρούς χρόνους εξάπλωσης σημαίνει και χαμηλό ιξώδες, ενώ αντίθετα μείγματα με μεγάλους χρόνους εξάπλωσης υποδηλώνουν και υψηλό ιξώδες.



Εικόνα 3. 5: Ενδεικτική φωτογραφία δοκιμής εξάπλωσης

3.2.3 Δοκιμή χοάνης σχήματος V (mini V-funnel test)

Η δοκιμή χοάνης (mini V-funnel test) προσδιορίζει το κινηματικό ιξώδες του μείγματος καθώς και εκτιμά την ρευστότητα. Αποτελείται από δύο μεταλλικά αντικείμενα, μια χοάνη τριγωνικού σχήματος και μια βάση. Το άνω άκρο της χοάνης πληρώνεται με το μείγμα και γίνεται η εκροή από το κάτω άκρο, αφού αφαιρεθεί η μεταλλική σφήνα. Με αυτήν την διαδικασία μετρείται ο χρόνος από την αφαίρεση της σφήνας έως την πρώτη ένδειξη φως, κοιτάζοντας από το πάνω μέρος της χοάνης.



Εικόνα 3. 6: Δοκιμή χοάνης σχήματος V

3.2.4 Πυκνότητα νωπού κονιάματος

Η πυκνότητα του νωπού κονιάματος υπολογίζεται μέσω της μέτρησης του μοναδιαίου βάρους του. Η δοκιμή περιλαμβάνει έναν μεταλλικό κύλινδρο χωρητικότητας ενός λίτρου, ο οποίος πληρώνεται με την σύνθεση και ζυγίζεται. Συνήθως πραγματοποιείται πρώτη.



Εικόνα 3. 7: Δοκιμή πυκνότητας νωπού κονιάματος

3.2.5 Εγκλωβισμένος αέρας (ImageJ)

Η διαδικασία εκτίμησις του εγκλωβισμένου αέρα πραγματοποιείται μέσω επεξεργασίας εικόνας με τη χρήση του λογισμικού imageJ. Αφού πραγματοποιηθούν οι μηχανικές δοκιμές, κάμψης και θλίψης, τα σπασμένα δοκίμια χρησιμοποιούνται ώστε να βρεθούν ορισμένα με επαρκές μήκος, ώστε να κοπούν με τον τροχό και δημιουργηθούν δύο λείες επιφάνειες σε αυτά. Στην συνέχεια φωτογραφίζονται, ρυθμίζοντας την φωτεινότητα λήψεις για την δημιουργία του κατάλληλου αποτελέσματος. Αρχικά οι φωτογραφίες μεγενθύνονται ώστε η εικόνα να πληρώνεται τελίως με την επιφάνεια του δοκιμίου, και γίνεται η επεξεργασία τους στο πρόγραμμα. Συνοπτικά, προσδιορίζονται τα κενά αέρα μετατρέποντας τα σε μαύρες κουκκίδες. Στην συνέχεια της εργασίας θα ακολουθήσει αναλυτική επεξήγηση της διαδικασίας.



Εικόνα 3. 8: Φιλτράρισμα φωτογραφιών μέσω του προγράμματος ImageJ



Εικόνα 3. 9: Φιλτράρισμα φωτογραφιών μέσω του προγράμματος ImageJ

3.3 Μηχανικές Ιδιότητες

Οι μηχανικές ιδιότητες της σύνθεσης προσδιορίζονται μέσω της δοκιμής σε κάμψη και θλίψη. Αρχικά τα δοκίμια αποθηκεύονται σε κλίβανο με θερμοκρασία 20 βαθμών Κελσίου, και μεταφέρονται μέσα σε δοχείο με νερό. Στη συνέχεια σκουπίζονται τοπικά και μετρείται η μάζα τους.



Εικόνα 3. 10: Ζύγισμα δοκιμίων

Πρώτα πραγματοποιείται η δοκιμή σε κάμψη, χρησιμοποιώντας ένα δοκίμιο διαστάσεων $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ και σύμφωνα με το πρότυπο EN 1015-11. Το δοκίμιο τοποθετείται στην υποδοχή της συσκευής και του ασκείται φορτίο 1 KN. Ο ρυθμός μεταβολής του φορτίου είναι 1,5 KN/sec εως ότου επέλθει η αστοχία.

Στην συνέχεια και αφού τα δοκίμια έχουν σπάσει στην μέση από τη αστοχία τους στην κάμψη, τοποθετούνται και παλι στην συσκευή ώστε να προσδιοριστεί και η αστοχία τους σε θλίψη σύμφωνα με το πρότυπο του EN1015-1. Αυτά τα δύο επιμέρους δοκίμια λοιπόν, αφού εφαρμοστούν στην υποδοχή, τους ασκείται φορτίο 0,5 KN με αυξανόμενο ρυθμό 0,05KN/sec μέχρι να επέλθει η αστοχία τους σε θλίψη.



Εικόνα 3. 11: Δοκιμή σε κάμψη



Εικόνα 3. 12: Δοκιμή σε θλίψη

3.4 Θερμική συμπεριφορά

3.4.1 Απόκριση στη θερμική ακτινοβολία

Η πειραματική διαδικασία συνεχίστηκε εξετάζοντας τη θερμική συμπεριφορά των δοκιμίων, μέσω θερμικής ακτινοβολίας. Αρχικά έγινε εμβάπτιση των δοκιμίων με άσπρο πλαστικό χρώμα ώστε να καλυφθούν τυχόν κενά σε αυτά. Τα δοκίμια διατηρήθηκαν σε ψυγείο ώστε να έχουν σταθερή θερμοκρασία 5 βαθμών Κελσίου.



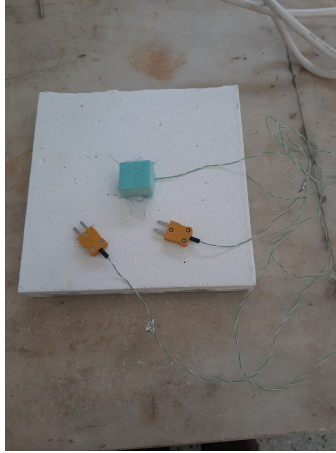
Εικόνα 3. 13: Μέθοδος εμβάπτισης δοκιμίων



Εικόνα 3. 14: Συντήρηση δοκιμίων

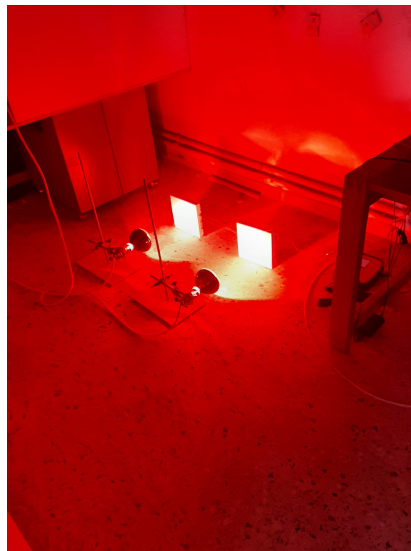
Στην συνέχεια κωλύθηκαν με σιλικόνη στα δοκίμια καλώδια, στα οποία η μια άκρη είχε θερμοπομπό ενώ στην άλλη ένα γυμνό καλώδιο στο οποίο τοποθετήθηκε μονωτική ταινία για να μην έρθει σε επαφή το γυμνό καλώδιο με την σιλικόνη. Τέλος στην μπροστινή πλευρά του δοκιμίου τοποθετήθηκε και ένα σφουγγαράκι από υλικό

μόνωσης για να αποτρέψει την επικεντρωμένη θερμότητα από τις λάμπες να δημιουργήσουν πρόβλημα στα γυμνά καλώδια.



Εικόνα 3. 15: Ενσωμάτωση θερμοπομπών στα δοκίμια

Στην συνέχεια τα καλώδια συνδέθηκαν με τον αποδέκτη ο οποίος με την σειρά του συνδέθηκε στον υπολογιστή. Μέσω του προγράμματος λήφθηκαν οι θερμοκρασίες στο μπροστινό και πίσω μέρος του δοκιμίου ώστε να προσδιοριστεί η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα σε αυτά. Λεπτομερής ανάλυση της διαδικασίας θα γίνει στην συνέχεια.



Εικόνα 3. 16: Δοκιμή θερμικής ακτινοβολίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ **ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ**

4.1 Δοκιμές χαρακτηρισμού ρεολογίας

Τα αποτελέσματα των δοκιμών εξάπλωσης, χρόνου T20, χοάνης και πυκνότητας νεπού κονιάματος δίνονται στον πίνακα 4.1

Πίνακας 4. 1: Αποτελέσματα ρεολογικών δοκιμών

Σύνθεση	Mp20	Ep	Pumice	Pcm-slurry	Pcm-S50
Δοκιμή εξάπλωσης (cm)	26,40	25,15	25,70	27,40	24,50
Δοκιμή χρόνου εξάπλωσης (sec)	1,50	2,20	3,80	3,60	1,30
Δοκιμή χοάνης (sec)	12,30	26,10	13,60	19,70	12,10
Δοκιμή πυκνότητας (gr)	2286,90	2239,70	1671,20	2163,40	2158,70

Για κάθε σύνθεση ΑΣΚ, χρησιμοποιήθηκε μια αρχική ποσότητα SP και ακολούθως προστίθονταν επιπλέον μικρότερες δόσεις με σκοπό να επιτευχθεί η επιθυμητή εξάπλωση (24-26 cm). Σε περίπτωση που εμφανίζονταν σημάδια απόμιξης στο ανάμιγμα προστέθηκε σταδιακά σε μικρές δόσεις VMA. Οι τελικές δοσολογίες επι τοις εκατό, των χημικών προσμίκτων ανά σύνθεση παρατίθενται στον πίνακα 4.2.

Πίνακας 4. 2: Δοσολογίες υπερευστοποιητή και VMA

Σύνθεση	Mp20	Ep	Pumice	Pcm-slurry	Pcm-S50
SP%CEM	0,10	0,10	0,06	0,14	0,10
VMA%CEM	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01

4.1.1 Δοκιμή εξάπλωσης ΑΣΚ (Mini slump flow test)

Η σύνθεση Mp20 αρχικά είχε προγραμματιστεί να έχει μια ποσότητα SP=10.92 gr και VMA=1,36gr, ωστόσο το μείγμα βγήκε δεν βγήκε αρκετά ρευστό ώστε να φτάσει το απαιτούμενο όριο των 24εκ, με μέσο όρο τιμής διαμέτρου 19,05εκ. Έτσι λοιπόν προστέθηκε μια επιπλέον ποσότητα SP=2.69gr με αποτέλεσμα ο μέσος όρος των δύο διαμέτρων να φτάσει στη τιμή των 26,4εκ, η οποία είναι επαρκής.

Η σύνθεση EP αρχικά είχε προγραμματιστεί να έχει μια ποσότητα SP=11,72gr και VMA=0, παρόλα αυτά το μείγμα φαινόταν αρκετά πηκτό, έτσι προστέθηκε μια ποσότητα επιπλέον SP της τάξης των 2,93gr, με αποτέλεσμα η εξάπλωση της σύνθεσης να παρατηρηθεί στα 25,15εκ.

Όσο αναφορά την σύνθεση Pumice δεν είχε προγραμματιστεί η προσθήκη SP, αλλά μόνο VMA=1,46gr. Άλλα όπως και προηγουμένως και για τους ίδιους λόγους προστέθηκε ποσότητα SP=8.59gr με αποτέλεσμα η σύνθεση να έχει μέσο όρο διαμέτρων εξάπλωσης 25,7εκ.

Οι συνθέσεις Pcm-slurry και Pcm-S50 είχαν αρχικά SP=11.72gr και VMA=1.47gr. Τα αποτελέσματα της σύνθεσης S50 ήταν καλά με μέσο όρο διαμέτρων 24,5εκ, σε αντίθεση με την σύνθεση slurry η οποία δεν είχε επαρκή διάμετρο (22,7εκ). Οπότε συμπεριλήφθηκαν στο μείγμα άλλες δύο δόσεις SP=2.93gr οι οποίες έφεραν αποτέλεσμα 27,4εκ.

4.1.2 Δοκιμή χρόνου εξάπλωσης t20

Προϋπόθεση για την επιτυχία της δοκιμής αποτελεί η διάμετρος απλά να είναι εντός των επιτρεπτών ορίων και δεν συσχετίζεται με τον χρόνο.

Παρατηρείται ότι για μεγαλύτερα ποσοστά % υπερστευποιητή υπάρχει αύξηση της διαμέτρου αλλά και του χρόνου εξάπλωσης. Βεβαίως αυτό δεν ισχύει στην σύνθεση 3 (Pumice) καθώς για μικρό ποσοστό % υπερστευτοποιητή υπάρχει μεγάλο βαθμός εξάπλωσης και κατά την διάμετρο και κατά τον χρόνο. Αυτό οφείλεται στις φυσικές ιδιότητες της ελαφρόπετρας και πιο συγκεκριμένα στο μεγάλο πορώδες της.

4.1.3 Δοκιμή χοάνης (Mini V-funnel)

Παρατηρείται λοιπόν ότι οι συνθέσεις 1,5 έχουν παρόμοια συμπεριφορά με τα ίδια ποσοστά % SP σε αντίθεση με την σύνθεση 2(τον διογκωμένο περλίτη) ο οποίος για το ίδιο ποσοστό % SP παρουσιάζει έναν χρόνο διέλευσης μεγαλύτερο κατά 14 sec. το οποίο οφείλεται στις φυσικές ιδιότητες του περλίτη όπως στο ειδικό βάρος του, στη σφαιρικότητα κλπ. Επίσης η σύνθεση 2(Pumice) είχε φυσιολογική συμπεριφορά καθώς είχε το μικρότερο ποσοστό % SP όπως και η σύνθεση 5(Pcm-S50) με το μεγαλύτερο ποσοστό % SP.

Τα επιτρεπτά όρια για την δοκιμή χοάνης ορίζονται από 7 έως 11 sec. Από τα αποτελέσματα παρατηρείται ότι καμμία σύνθεση δεν είναι εντός των επιτρεπτών ορίων, με τις συνθέσεις της μαρμαρόσκονης, ελαφρόπετρας και ΥΑΦ 2 να είναι σχετικά κοντά στο άνω όριο αυτών. Όσο αναφορά τις συνθέσεις ΥΑΦ 1 και διογκωμένου περλίτη οι τιμές είναι σχετικά μεγάλες με τιμές 10-15 sec πάνω από τα επιτρεπτά όρια.

4.1.4 Πυκνότητα νοπού κονιάματος

Όλες οι συνθέσεις έχουν παρόμοια πυκνότητα εκτός από την σύνθεση Pumice, το οποίο εξηγείται από τη χαμηλή πυκνότητα της άμμου κίσηρης σε σχέση με την ασβεστολιθική άμμο σε συνδυασμό με το μεγάλο όγκο χρησιμοποίησής της στη σύνθεση.

4.1.5 Εγκλωβισμένος αέρας (ImageJ)

Η ανάλυση με το πρόγραμμα ImageJ μας έδωσε τα εξής αποτελέσματα περιεκτικότητας εγκλωβισμένου αέρα %.

Πίνακας 4. 3: Περιεκτικότητα αέρα συνθέσεων

ImageJ	Τομή 1	Τομή 2	Τομή 3	M.O
Σύνθεση 1	7,2	7,5	7,0	7,2
Σύνθεση 2	6,1	5,9	6,0	6,0
Σύνθεση 3	5,4	6,4	0,0	5,9
Σύνθεση 4	6,2	5,3	6,8	6,1
Σύνθεση 5	4,0	4,6	0,0	4,3

Αξίζει να σημειωθεί ότι λήφθηκαν φωτογραφίες από τα δοκίμια με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος ήταν χωρίς χρήση λάμπας ενώ ο δεύτερος με την χρήση αυτής. Ο σκοπός ήταν τα αποτελέσματα να είναι όσο το δυνατόν καλύτερα. Επίσης έγινε επεξεργασία των εικόνων με και χωρίς φωτισμό και τα πιο συνετά αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παραπάνω πίνακες. Τέλος σε κάθε εικόνα έγινε η προσπάθεια τριών τομών όπου ήταν δυνατόν.

Η ανάλυση λοιπόν έβγαλε αποτελέσματα ποσοστού περιεκτικότητας αέρα της τάξης του 4-15%, με τιμές φυσιολογικές καθώς περιμέναμε περιεκτικότητα αέρα 4-20%. Πιο αναλυτικά η σύνθεση 1(MP20) είχε ποσοστό 7,2 % η οποία ήταν και η μεγαλύτερη των συνθέσεων, η σύνθεση 2 του διογκωμένου περλίτη 6%, ενώ η σύνθεση 3(pumice) με την ελαφρόπετρα κυμάνθηκε σε περιεκτικότητα αέρα 5,9%. Τέλος οι συνθέσεις 4,5 των ΥΑΦ υπολογίστηκαν στα 6,1 και 4,3% αντίστοιχα.

Η περιεκτικότητα σε αέρα μπορεί να συσχετιστεί με την αναλογία επι τις εκατό των χημικών πρόσμικτων των συνθέσεων καθώς και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των υλικών.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την ανάλυση εικόνας πιθανών να χρήζει βαθμονόμησης ώστε τα αποτελέσματα να είναι πλησιέστερα στις αληθινές τιμές. Ακόμα και έτσι, ωστόσο, παρουσιάζουν ενδιαφέροντα στοιχεία μέσω της σύγκρισης των συνθέσεων.

4.2 Μηχανικές ιδιότητες

Οι πίνακες με τα αποτελέσματα των δοκιμών κάμψης και θλίψης δίνονται στους πίνακες 4.8 και 4.9 αντίστοιχα.

Πίνακας 4. 4: Μέση τιμή αντοχής σε θλίψη συνθέσεων

		ANTOXH ΣΕ ΘΛΙΨΗ (MPa)			
a/a	Κωδικός	1 ημ	3 ημ	7 ημ	28 ημ
1	MP20	38,7	51,1	56,7	63,6
2	EP	40,7	54,1	59,7	73,6
3	Pumice	20,3	25,9	32,7	38,2
4	pcm-slurry	15,5	30	33,1	40,6
5	pcm-S50	22,8	35,9	40,4	49,8

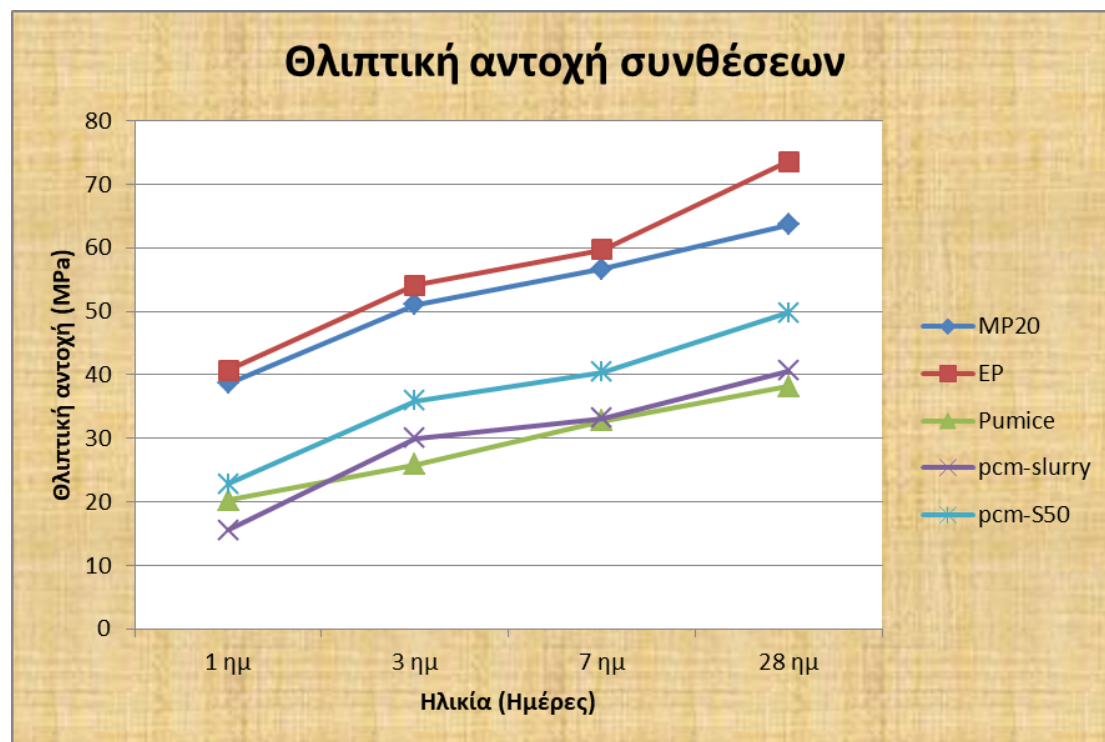
Πίνακας 4. 9: Μέση τιμή αντοχής σε θλίψη συνθέσεων

		ANTOXH ΣΕ ΚΑΜΨΗ (MPa)			
a/a	Κωδικός	1 ημ	3 ημ	7 ημ	28 ημ
1	MP20	7	9,2	10,3	9,5
2	EP	8,1	10,8	10,2	11,3
3	Pumice	4,7	5,7	6	6,5
4	pcm-slurry	4,1	7,1	7,3	8,5
5	pcm-S50	5,6	6,5	8,7	9,4

Αξίζει να τονισθεί ότι στις δοκιμές της πρώτης, τρίτης και έβδομης μέρας ήταν σημαντική η ώρα που θα γίνει η δοκιμή καθώς οι δοκιμές θα έπρεπε να γίνουν την ώρα που έγινε η σύνθεση του μείγματος, ενώ στις 28 μέρες δεν χρειάζεται να υπάρχει τόσο ακρίβεια με την ώρα και οι δοκιμές έγιναν όλες μαζί.

Αντοχή σε θλίψη

Η ανάπτυξη της αντοχής των δοκιμίων ήταν φυσιολογική με την αντοχή σε θλίψη να αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα 4.1.

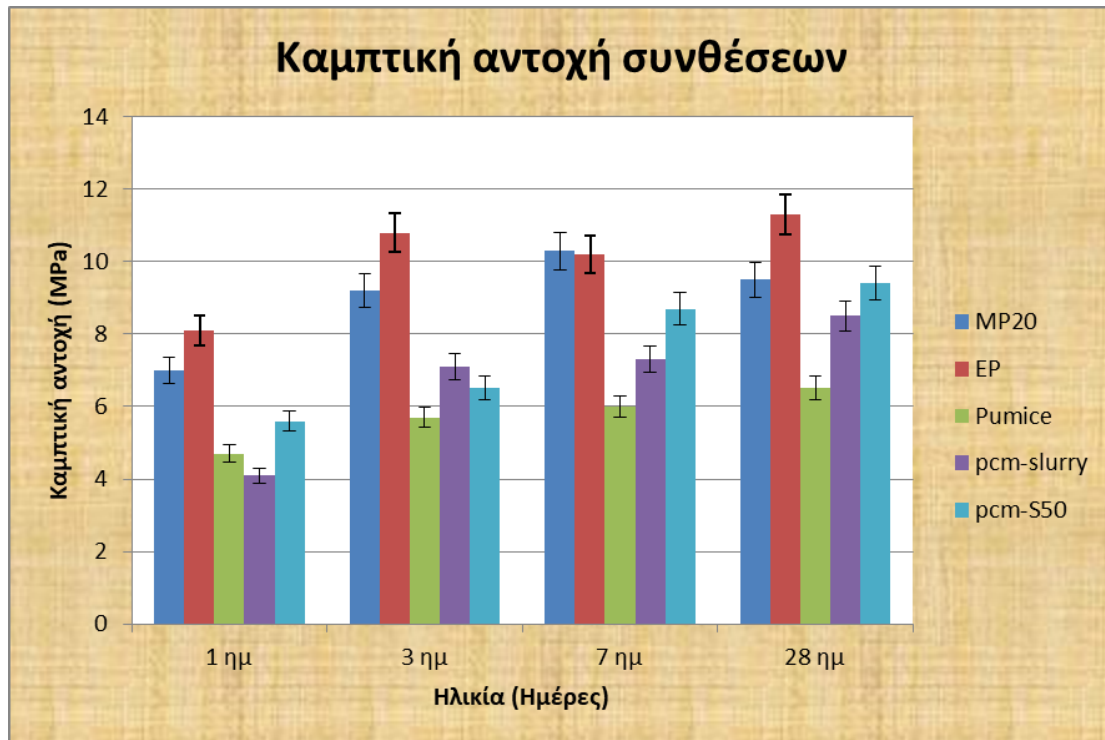


Διάγραμμα 4. 1: Θλιπτική αντοχή συνθέσεων.

Ως προς την συμπεριφορά των δοκιμίων μεταξύ τους, η συμπεριφορά ήταν φυσιολογική με την σύνθεση 2 του διογκωμένου περλίτη να υπερισχύει των άλλων ενώ η σύνθεση 3 της ελαφρόπετρας να έχει την μικρότερη αντοχή. Οι συνθέσεις Pcm-slurry και Pcm-S50 με τα ΥΑΦ είχαν μικρότερη θλιπτική αντοχή σε σχέση με την σύνθεση αναφοράς όπως αναμενόταν.

Αντοχή σε κάμψη

Στο διάγραμμα 4.2 διακρίνονται καλύτερα τα αποτελέσματα των δοκιμών σε κάμψη των συνθέσεων.



Διάγραμμα 4. 2: Καμπτική αντοχή συνθέσεων

Στη συμπεριφορά της σύνθεσης αναφοράς MP20 παρατηρείται ότι μέχρι την ημέρα 7 συμπεριφέρεται φυσιολογικά, καθώς όμως φτάνουμε στην ημέρα 28 η αντοχή του δοκιμίου σε κάμψη πέφτει. Παρότι η μέση τιμή της καμπτικής αντοχής των 28 ημερών μοιάζει να παρουσιάζει μικρή πτώση σε σχέση με τις 7 ημέρες, η συγκεκριμένη μείωση δε λαμβάνεται υπόψη καθώς βρίσκεται εντός του εύρους της τυπικής απόκλισης ενώ πιθανώς οφείλεται και στην φύση της δοκιμής

Και στη συμπεριφορά της σύνθεσης EP έχουμε αλλόκοτη συμπεριφορά καθώς η αντοχή την έβδομη μέρα πέφτει σε σχέση με την τρίτη, όπως επίσης η αύξηση της αντοχής την εικοστή όγδοη μέρα είναι μεγαλύτερη αλλά όχι σημαντικά. Αυτό οφείλεται στο ότι έγινε δοκιμή ενός δοκιμίου, σε περίπτωση πολλαπλών δοκιμών τα αποτελέσματα θα ήταν πιο κοντά στην πραγματικότητα

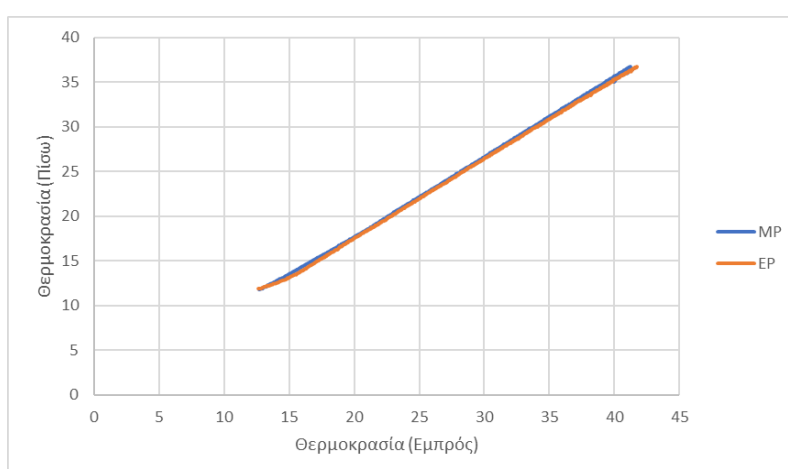
Η συμπεριφορά των συνθέσεων Pumice, Pcm-slurry, Pcm-S50 μπορούν να χαρακτηριστούν φυσιολογικές καθώς η αντοχή σε κάμψη αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου.

4.3 Θερμική συμπεριφορά

4.3.1 Απόκριση στη θερμική ακτινοβολία

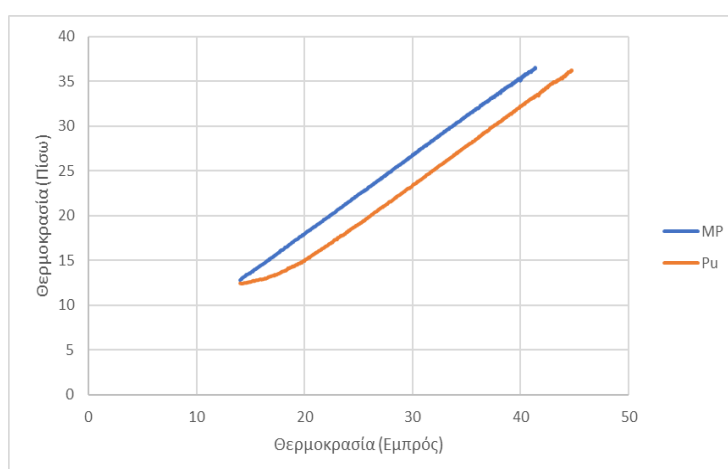
Ως προς την θερμική συμπεριφορά των δοκιμίων σε ακτινοβολία, η σύνθεση 1 αποτελούσε την σύνθεση την οποία είχαμε ως σύνθεση πρότυπο και αξιολογήθηκαν οι υπόλοιπες σε σχέση με αυτήν. Επίσης πρέπει να τονισθεί ότι η θερμική ακτινοβολία είναι έμμεσος δείκτης της θερμοχωρητικότητας των συνθέσεων.

Ως προς την συμπεριφορά της σύνθεσης του περλίτη είχε παρόμοια συμπεριφορά με την σύνθεση του Μρ διατηρώντας τα επίπεδα της θερμοκρασίας και της μπροστινής πλευράς αλλά και της πίσω στα ίδια επίπεδα, όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



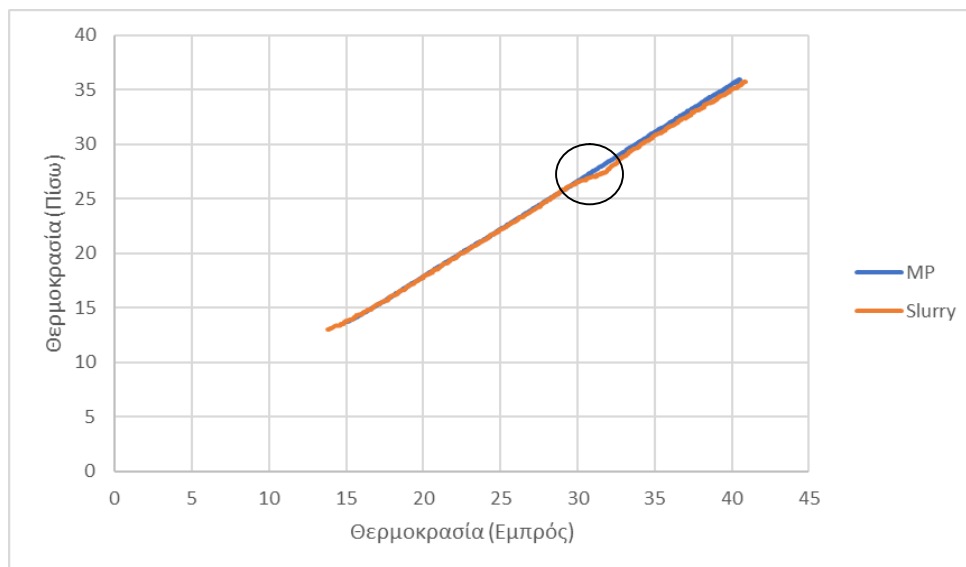
Διάγραμμα 4. 3: Θερμική συμπεριφορά σε ακτινοβολία ΜΡ-ΕΡ

Ως προς την συμπεριφορά της σύνθεσης της ελαφρόπετρας, ενώ στην αρχή κυμαινόταν στα ίδια επίπεδα με την συμπεριφορά του Μρ στην συνέχεια η θερμοκρασία του μπροστινού μέρους του δοκιμίου αυξανόταν περισσότερο σε σχέση με το πίσω μέρος.



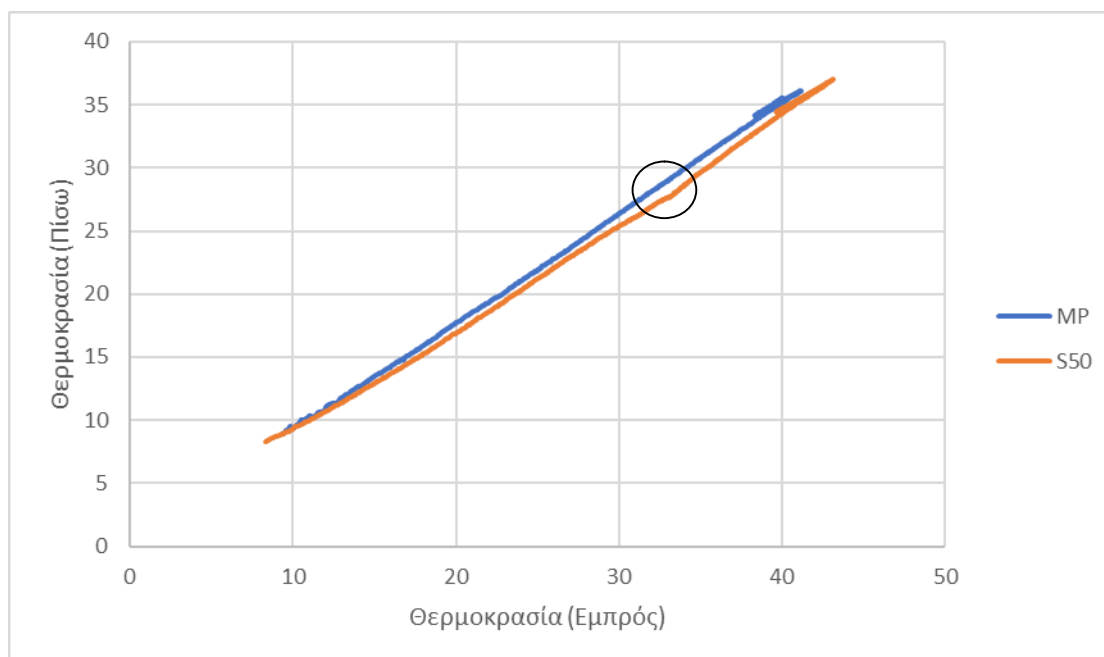
Διάγραμμα 4. 4: Θερμική συμπεριφορά σε ακτινβολία MP-Pu

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύνθεση 4, η οποία είναι η πρώτη σύνθεση με το ΥΑΦ. Σε αυτήν φαίνεται ένα σκαλοπατάκι περίπου στους 30°C στο μπροστινό μέρος, στιγμή η οποία σημαίνει και ενεργοποίηση του ΥΑΦ.



Διάγραμμα 4. 5: Θερμική συμπεριφορά σε ακτινβολία MP-Slurry

Τέλος η δεύτερη σύνθεση με το ΥΑΦ όπως συνέβει και με την προηγούμενη σύνθεση έχει παραλλήλη συμπεριφορά με το MP μέχρι την στιγμή της ενεργοποίησης του ΥΑΦ στους 27 °C..



Διάγραμμα 4. 6: Θερμική συμπεριφορά σε ακτινβολία MP-S50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: **ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ**

5. Οικονομοτεχνική Ανάλυση

Στην πειραματική διαδικασία της εργασίας κατασκευάστηκαν 5 συνθέσεις κονιαμάτων, εκ των οποίων οι 2 περιείχαν ΥΑΦ. Υπενθυμίζεται ο πίνακας 5.1 των συνθέσεων ως προς το ποσοστό τους σε κυβικά μέτρα.

Πίνακας 5. 1: Συνθέσεις σε κυβικά μέτρα

m³	MP20	EP	Pumice	pcm-slurry	pcm-S50
<i>Cement</i>	155	155	155	155	155
<i>Water (active)</i>	244,5	244,5	244,5	244,5	244,5
<i>LsSand</i>	485,5	485,5		485,5	485,5
<i>PuSand</i>			485,5		
<i>MP20</i>	75		75	25	25
<i>EP</i>		75			
<i>Capsules</i>				50	50
<i>Dispersion</i>				131,58	100

Ενώ στην συνέχεια παρουσιάζονται οι πίνακες 5.2, 5.3, 5.4 με τα ενδεικτικά κόστη παρασκευής 1 m³ κονιάματος από τις 5 συνθέσεις συμπεριλαμβάνοντας μόνο την προσαύξηση στις συνθέσεις που οφείλεται στην ενσωμάτωση των ΥΑΦ, στην αντικατάσταση της συμβατικής άμμου από κίσηρη, στη χρήση χημικών προσμίκτων και στη χρήση διαφορετικών λεπτόκοκκων υλικών.

Πίνακας 5. 2: Ενδεικτικό κόστος πληρωτικών υλικών

Λεπτόκοκκο πληρωτικό υλικό	Ενδεικτικό κόστος
Marble Powder 20	85 €/tn
Ασβεστολιθική άμμο	48 €/m ³
Άμμος κίσηρης	58 €/m ³
ΥΑΦ1	10 €/lt
ΥΑΦ2	10 €/lt

Πίνακας 5. 3: Ενδεικτικό κόστος χημικών πρόσμικτων

Χημικό πρόσμικτο	Ενδεικτικό κόστος
Chemium VMA	0.95 €/kg
Chemium NT2	0.89 €/kg

Πίνακας 5. 4: Μεταβολή ποσοτήτων (kg/m^3) συστατικών και κόστους (€/m^3) συνθέσεων με ΥΑΦ, σε σχέση με τη σύνθεση αναφοράς MP20

Υλικό	Μεταβολή ποσοτήτων (kg/m^3)		Μεταβολή κόστους (€/m^3)	
	Pcm-slurry	Pcm-S50	Pcm-slurry	Pcm-S50
Marble Powder 20	-135.00	-135.00	-11.48	-11.48
Chemium VMA	0.10	0.10	0.95	0.95
Chemium NT2	6.90	1.04	0.89	0.89
ΥΑΦ	121.05	90.00	245.13	326.84
	<i>Σύνολο</i>		235.49	317.20

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι η χρησιμοποίηση Υ.Α.Φ στις συνθέσεις αυξάνει το κόστος σημαντικά σε σχέση με τις συνθέσεις χωρίς αυτά. Βέβαια δεν μπορεί να μην τονισθεί ότι η χρησιμοποίηση των Υ.Α.Φ έχει ως στόχο την καλύτερη απόδοση στα θερμικά χαρακτηριστικά των συνθέσεων με δεδομένο το παραπάνω κόστος καθώς και επίσης, η χρήση των ΥΑΦ δεν είναι διαδεδομένη στην αγορά με αποτέλεσμα την υπερεκτίμηση στην αξία αυτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.Συμπεράσματα

Η μελέτη των συνθέσεων με ΥΑΦ και η σύγκρισή τους με μια σύνθεση κονιάματος αναφοράς αλλά και με μια σύνθεση με άμμο κίσηρης όπως και με κονίαμα με σφαιρίδια διογκωμένου περλίτη ως μερική αντικατάσταση μαρμαρόσκονης, απέδωσε σημαντικά και ενδιαφέροντα συμπεράσματα, ως προς τα ρεολογικά, μηχανικά και θερμικά χαρακτηριστικά τους, τα οποία και συνοψίζονται παρακάτω:

- Παρασκευάστηκαν επιτυχώς πέντε συνθέσεις αυτοσυμπικνούμενου κονιάματος οι οποίες περιείχαν λεπτόκοκκα πληρωτικά υλικά καθώς και υλικά αλλαγής φάσης σε μορφή μικροκάψουλων, υπό αιώρηση.
- Ως προς τα ρεολογικά χαρακτηριστικά τα αποτελέσματα μπορούν να θεωρηθούν ικανοποιητικά όσον αφορά στην τάση διαρροής. Το ιξώδες των μιγμάτων εκτιμήθηκε ελαφρώς εκτός του άνω ορίου, ενώ η σύνθεση που περιείχε το πρώτο είδος ΥΑΦ, είχε ιξώδες εκτός των ανεκτών από τις οδηγίες ορίων.
- Κατά τη δοκιμή σε κάμψη και θλίψη μετρήθηκαν φυσιολογικά αποτελέσματα, με τη σύνθεση του διογκωμένου περλίτη να έχει τις υψηλότερες αντοχές, ενώ η σύνθεση της ελαφρόπετρας τις μικρότερες. Ως προς τις συνθέσεις των ΥΑΦ υπάρχει φανερή πτώση σε καμπτική και θλιπτική αντοχή σε σχέση με την σύνθεση αναφοράς, το οποίο ήταν αναμενόμενο βάσει της βιβλιογραφίας.
- Οι συνθέσεις οι οποίες περιείχαν ΥΑΦ, αύξησαν τη θερμοχωρητικότητα του κονιάματος γύρω από το σημείο μετάβασης. Η σύνθεση που περιείχε κίσηρη αντί για ασβεστολιθική άμμο παρουσίασε αυξημένη θερμοχωρητικότητα ενώ ο διογκωμένος περλίτης στο συγκεκριμένο ποσοστό αντικατάστασης μαρμαρόσκονης φάνηκε να μην επηρεάζει τη θερμική συμπεριφορά του κονιάματος.
- Τα ΥΑΦ αποτελούν σχετικά ακριβά υλικά και αναμενόμενα επιδρούν αρνητικά στο κόστος του τελικού προϊόντος. Δίνουν ωστόσο την ευκαιρία για σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας τόσο κατά τη ψύξη όσο και κατά τη θέρμανση, αντισταθμίζει το επιπλέον κόστος παραγωγής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]: Michael Ashby, Hugh Shercliff, David Cebon “Υλικά: Μηχανική, επιστήμη, επεξεργασία και σχεδιασμός” Επιστημινική επιμέλεια ελληνικής έκδοσης, Γεώργιος Χρ. Ψαρράς.
- [2]: Ευστράτιος Μπαδογιάννης “Μάθημα Τεχνικά υλικά, Ε.Μ.Π”
- [3]: Marcello Merli , Alessandro Pavese “ Melting temperature prediction by thermoelastic instability: An *ab initio* modelling, for periclase (MgO) “
- [4]: www.sciencedirect.com “General physical properties”
- [5]: Pushpendra Kumar Singh Rathore, Shailendra Kumar Shukla “Enhanced thermophysical properties of organic PCM through shape stabilization for thermal energy storage in buildings: A state of the art review”
- [6]: Ανδρέας Κουνάδης “ ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ Μέθοδοι ενσωμάτωσης και επίδραση στις ιδιότητες του σκυροδέματος”
- [7]: Ναταλίας Ι. Ρέτσα “ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΛΗΡΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥΣ ΣΕ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ”
- [8]: Xinpeng Wang , Di Wu , Qihui Geng , Dongshuai Hou , Muhan Wang , Liangwei Li ,Pan Wang , Dongdong Chen , Zhongping Sun “Characterization of sustainable ultra-high performance concrete (UHPC) including expanded perlite”
- [9]: Alaa M. Rashad “A synopsis about perlite as building material – A best practice guide for Civil Engineer”
- [10]: Derek Kramar, Vivek Bindiganavile “Impact response of lightweight mortars containing expanded perlite”
- [11]: Łukasz Kotwica, Waldemar Pichor, Ewa Kapeluszna, Agnieszka Rozycka “ Utilization of waste expanded perlite as new effective supplementary cementitious material”
- [12]: Łukasz Kotwica, Waldemar Pichor, Ewa Kapeluszna, Agnieszka Rozycka “ Utilization of waste expanded perlite”
- [13]: A. Ray, R. Sriravindrarajah, J.-P. Guerbois, P. S. Thomas, S. Border, H. N. Ray ,J. Haggman and P. Joyce “EVALUATION OF WASTE PERLITE FINES IN THE PRODUCTION OF CONSTRUCTION MATERIALS”
- [14]: Ilker Bekir Topcu,, Burak Is ikdag “Effect of expanded perlite aggregate on the properties of lightweight concrete “

- [15]: V. Correcher , J.M.Gomez-Ros , T.Dogan , J.Garcia-Guinea , M.Topaksu
“Optical, spectral and thermal properties of natural pumice glass”
- [16]: S. Abidi, Yoann Joliff, Claude Favotto “Impact of perlite, vermiculite and cement on the Young modulus of a plaster composite material: Experimental, analytical and numerical approaches”
- [17]: Abhijeet S.Gandage,V.R. VinayakaRao M.V.N.Sivakumar, A.Vasan, M.Venu, A.B.Yaswanthe “Effect of Perlite on Thermal Conductivity of Self Compacting Concrete”
- [18]: Zoubeir Lafhaj, Christophe Chapiseau, Fayçal El Fgaier, Ibrahim Lemniei
“IMPROVING THE THERMAL RESISTANCE OF LOAD-BEARING PERFORATED FIRED-CLAY BRICKWORK”
- [19]: Mehmet Burhan Karakoç, Ramazan Denirboga “HSC with expanded perlite aggregate at wet and dry curing conditions”
- [20]: İlker BekirTopçu, BurakIşıklıdağ “ Manufacture of high heat conductivity resistance clay bricks containing perlite.”
- [21]:J. Aguiar, S. Cunha, M. Kheradmand “Mortars with phase change materialscontribute to sustainable construction”
- [22]: T.L. Fan, F.Q. Zhao” Application of phase change materials in buildings”
- [23]: V. Venkateswara Rao, R. Parameshwarana, V. Vinayaka Ram “PCM-mortar based construction materials for energy efficient buildings: A review on research trends”
- [24]: A. Eddhahak, S. Drissi, J. Colin, S. Caré, J. Neji ”Effect of phase change materials on the hydration reaction and kinetic of PCM-mortars”
- [25]: N.P. Sharifi, H. Jafferji, S.E. Reynolds, M.G. Blanchard, A.R. Sakulich
“Application of lightweight aggregate and rice husk ash to incorporate phase change materials”
- [26]: F. Lange, N. Mörtel, V. Rudert” Dense packing of cement pastes and resulting consequences on mortar properties“
- [27]: F. Collins, J.G. Sanjayan “Effects of ultra-fine materials on workability and strength of concrete containing alkali-activated slag s the binder”

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Επεξεργασία φωτογραφιών μέσω του προγράμματος *imageJ*

Αρχικά, η κάθε φωτογραφία εισάγεται στο λογισμικό *imageJ*, και ο τύπος της φωτογραφίας μετατρέπεται σε ασπρόμαυρος 8-bit χρησιμοποιώντας με την εντολή 8bit με διαδρομή (path) *Image/Type/8bit*. Στη συνέχεια, αλλάζει η φωτεινότητα και η αντίθεση της φωτογραφίας με την εντολή *Brightness-Contrast* με διαδρομή (path) *Image/Adjust/Brightness-Contrast* και προσαρμόζονται οι τιμές κατάλληλα ώστε η ευθεία να εφάπτεται την καμπύλη.

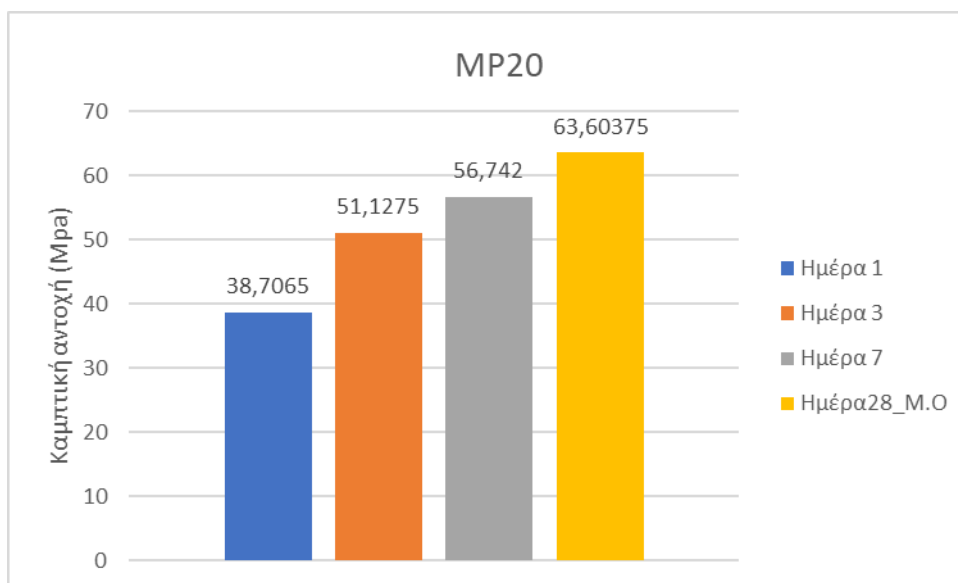
Μετά, εφαρμόζεται το φίλτρο *Median*, χρησιμοποιώντας την εντολή *Median* με διαδρομή (path) *Process/Filters/Median*, χρησιμοποιώντας την επιλογή 1 pixel μέσω της εντολής *Radius*. και τέλος μειώνεται ο θόρυβος της εικόνας μέσω της εντολής *Despeckle* με διαδρομή (path) *Process/Noise/Despeckle*.

Η φωτεινότητα και η αντίθεση προσαρμόζονται ξανά για βελτίωση των αποτελεσμάτων ως προς την αντίθεση χρησιμοποιώντας την εντολή *Brightness-Contrast* με διαδρομή (path) *Image/Adjust/Brightness-Contrast* και προσαρμόζονται οι τιμές κατάλληλα ώστε η ευθεία να εφάπτεται την καμπύλη. Στην συνέχεια γίνεται η χρήση της εντολής *Threshold* μέσω της διαδρομής (path) *Image/Adjust/Threshold*. Στην συνέχεια αφαιρείται ο θόρυβος των pixel των φωτογραφιών μέσω της εντολής *Fill holes* με διαδρομή (path) *Process/Binary/Fill holes* και ξαναεφαρμόζεται η εντολή *Threshold*.

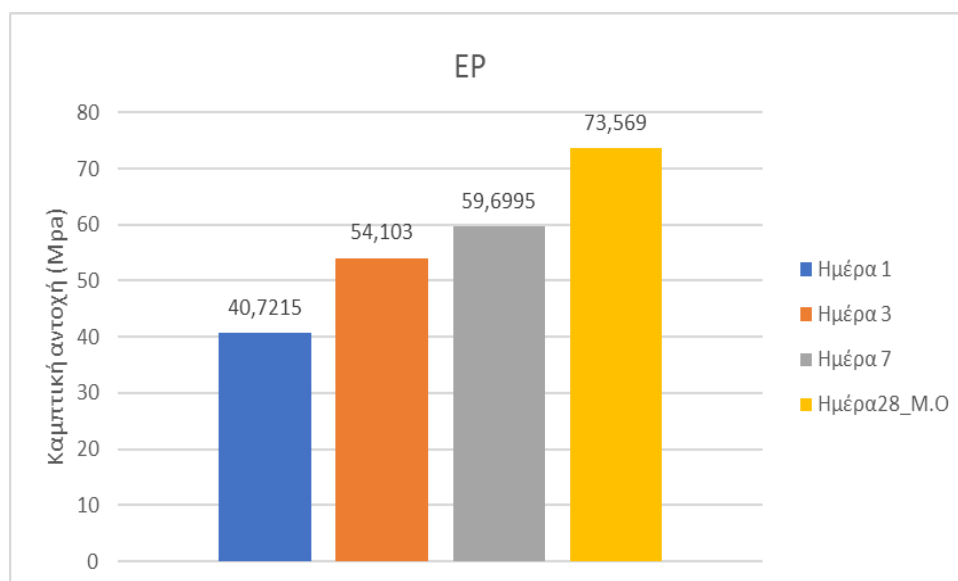
Τέλος, επιλέγεται ένα αντιπροσωπευτικό κομμάτι της φωτογραφίας και με την εντολή *Analyze particles* με διαδρομή (path) *Analyze/Analyze particles*, επιλέγοντας κλίμακα 0-Infinity, μετριέται το ποσοστό του μαύρου χρώματος το οποίο αντιστοιχεί στα κενά αέρα.

Αξίζει να τονισθεί ότι λήφθηκαν φωτογραφίες με διαφορετικά είδη φωτισμού για καλύτερα αποτελέσματα.

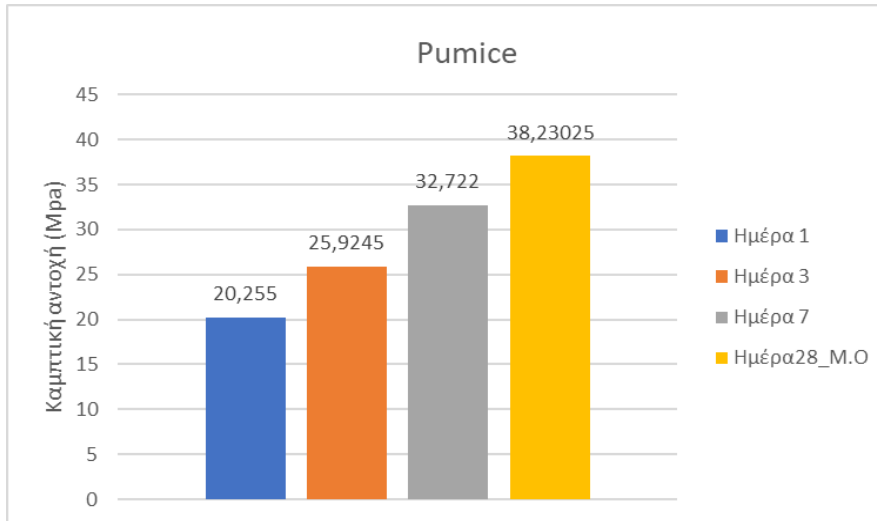
Αναλυτικά αποτελέσματα και σύγκριση αποτελεσμάτων δοκιμών σε θλίψη.



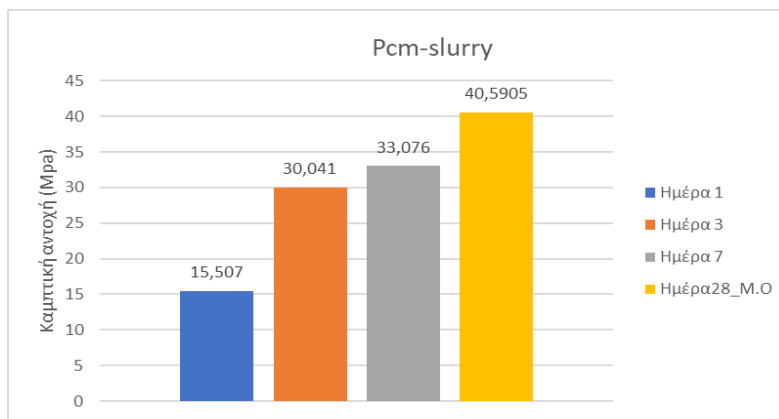
Διάγραμμα 4. 7: Συμπεριφορά σύνθεσης μαρμαρόσκονής σε θλίψη



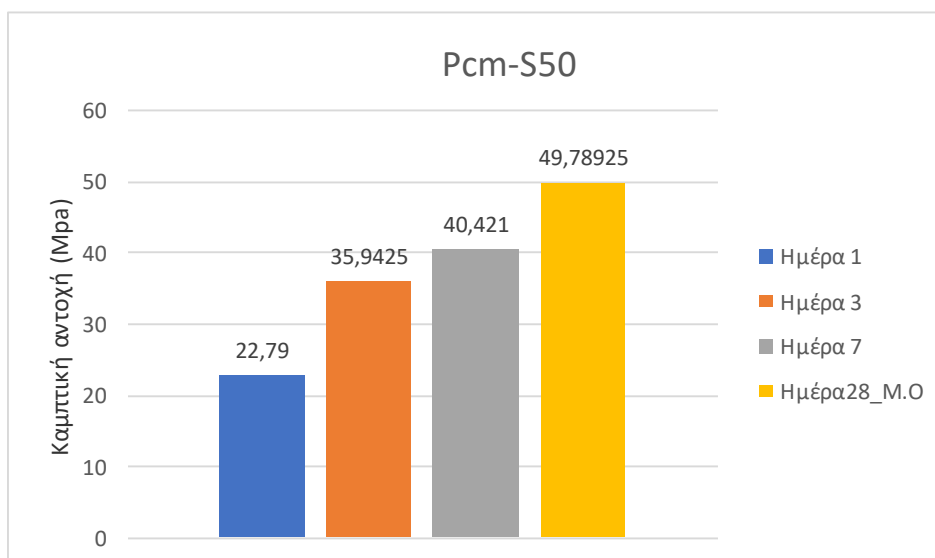
Διάγραμμα 4. 8: Συμπεριφορά σύνθεσης διογκωμένου περλίτη σε θλίψη



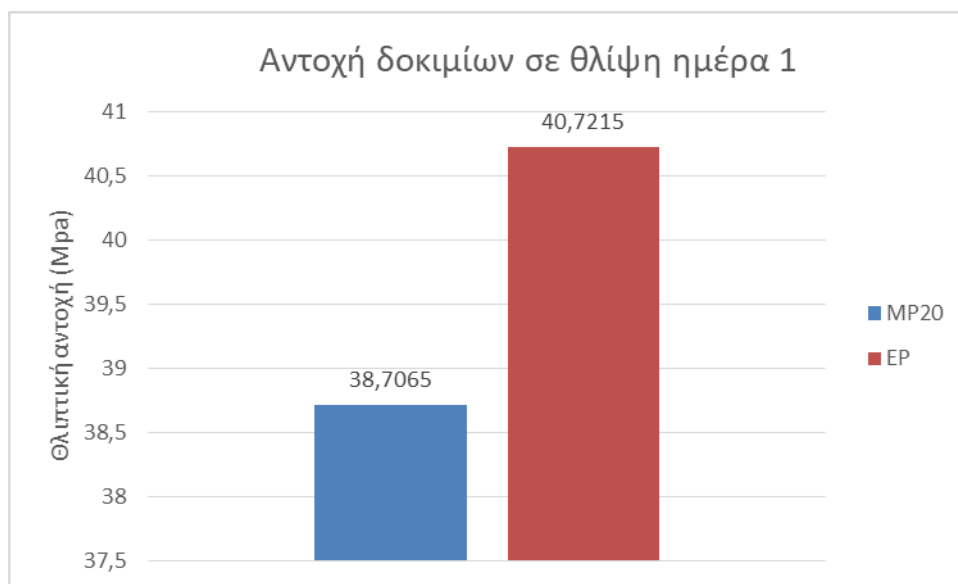
Διάγραμμα 4. 9: Συμπεριφορά σύνθεσης ελαφρόπετρας σε θλίψη



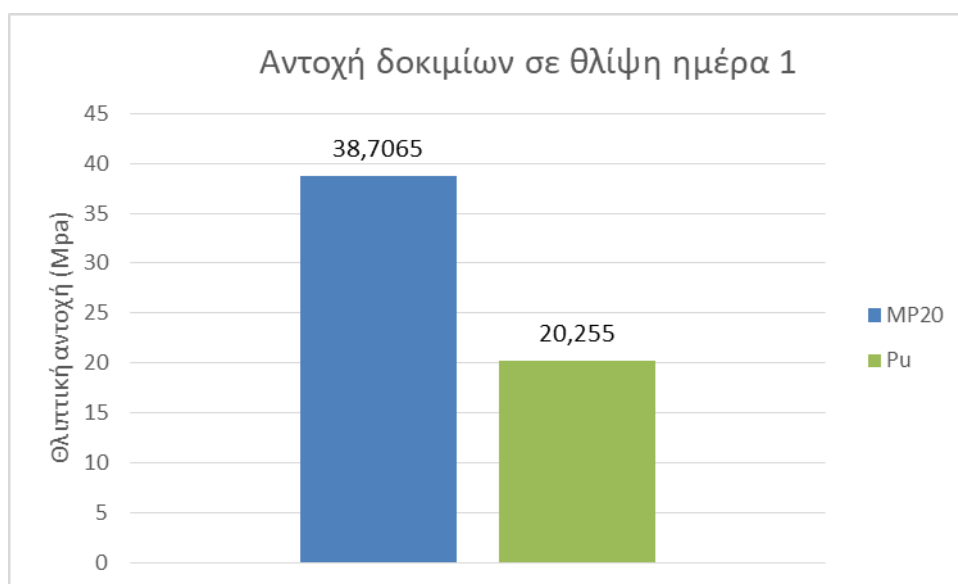
Διάγραμμα 4. 10: Συμπεριφορά σύνθεσης ΥΑΦ1 σε θλίψη



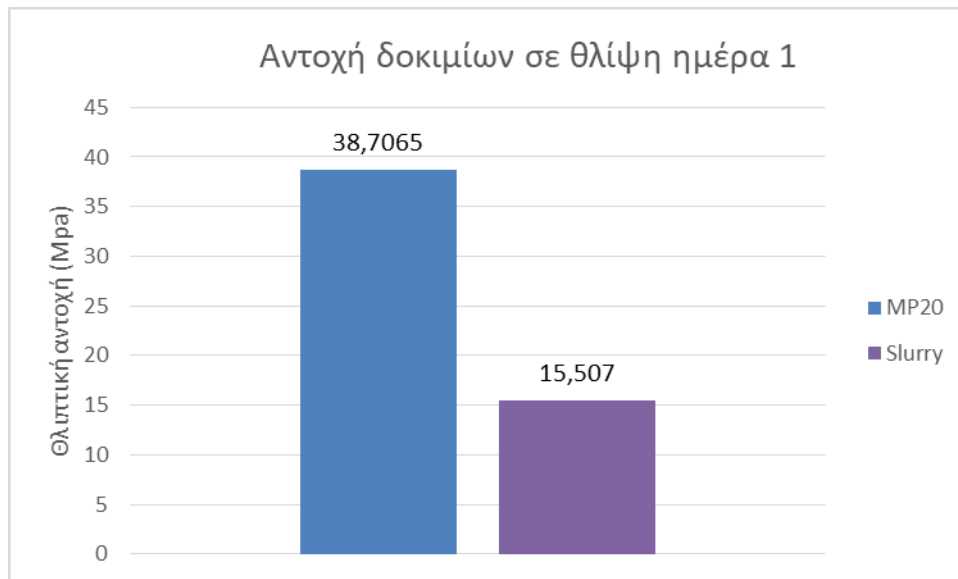
Διάγραμμα 4. 11: Συμπεριφορά σύνθεσης ΥΑΦ2 σε θλίψη



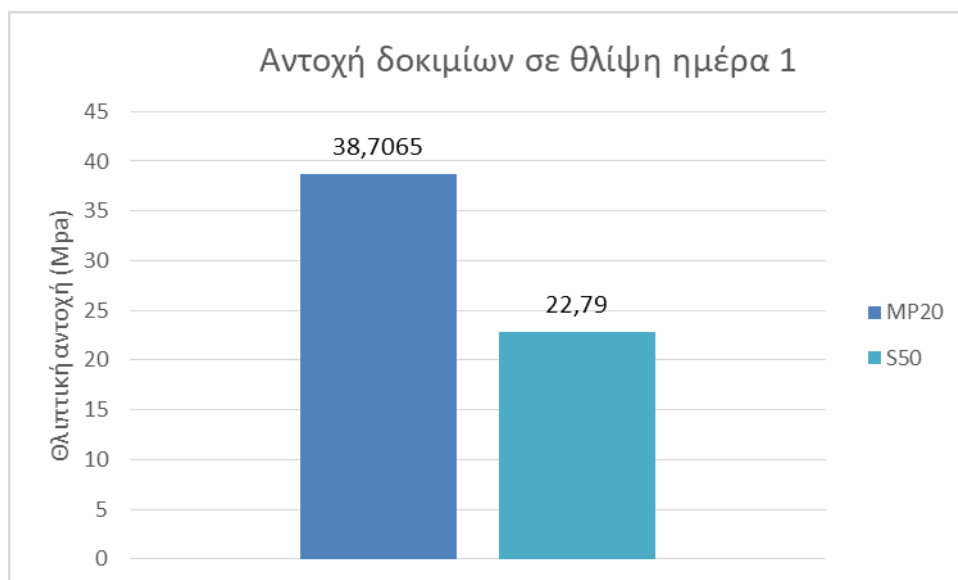
Διάγραμμα 4. 12: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση EP ημέρα 1



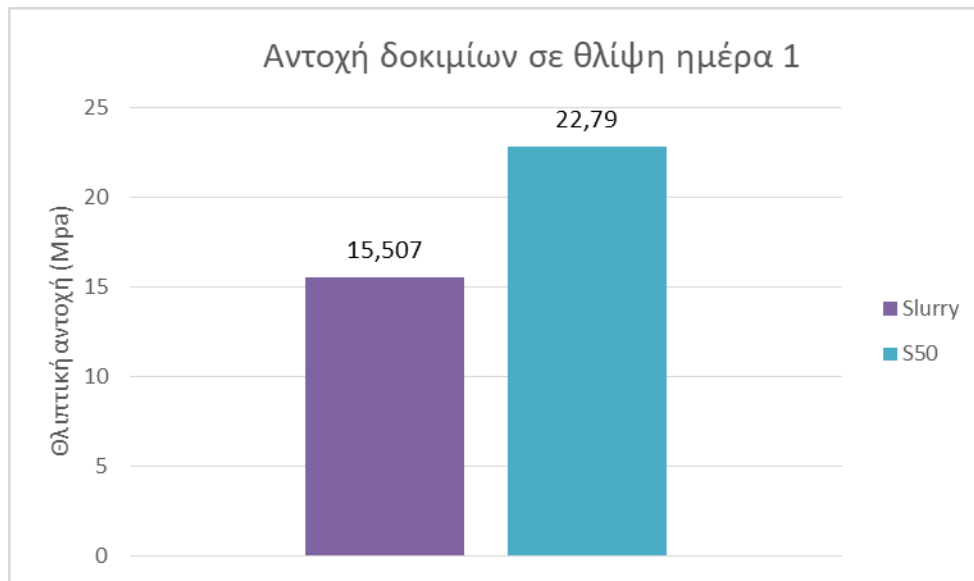
Διάγραμμα 4. 13: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση PU ημέρα 1



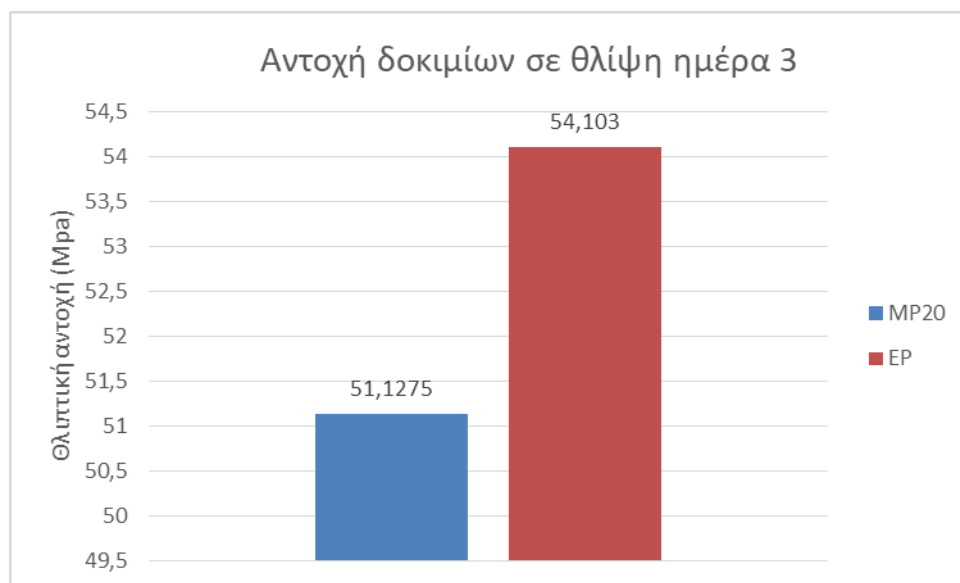
Διάγραμμα 4. 14: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση Slurry ημέρα 1



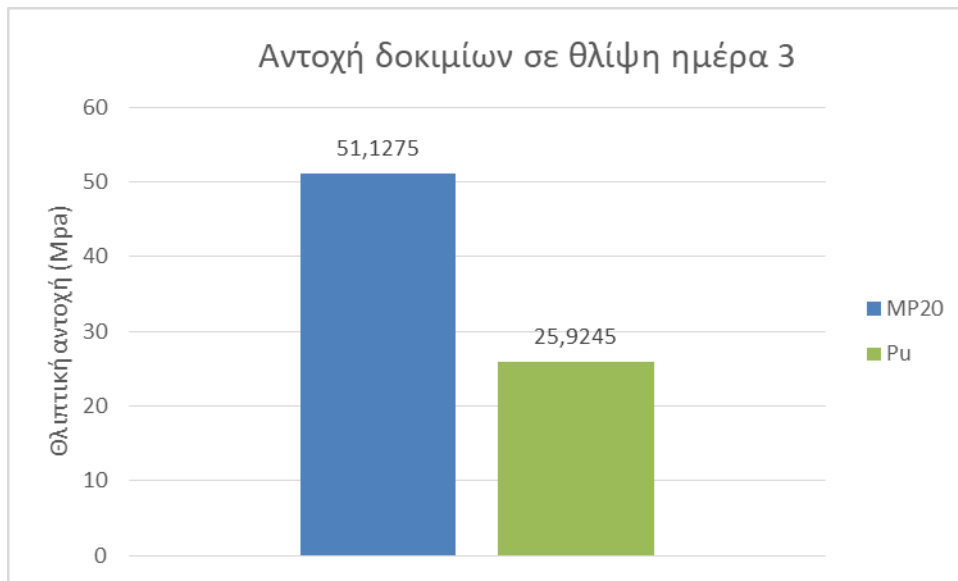
Διάγραμμα 4. 15: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση S50 ημέρα 1



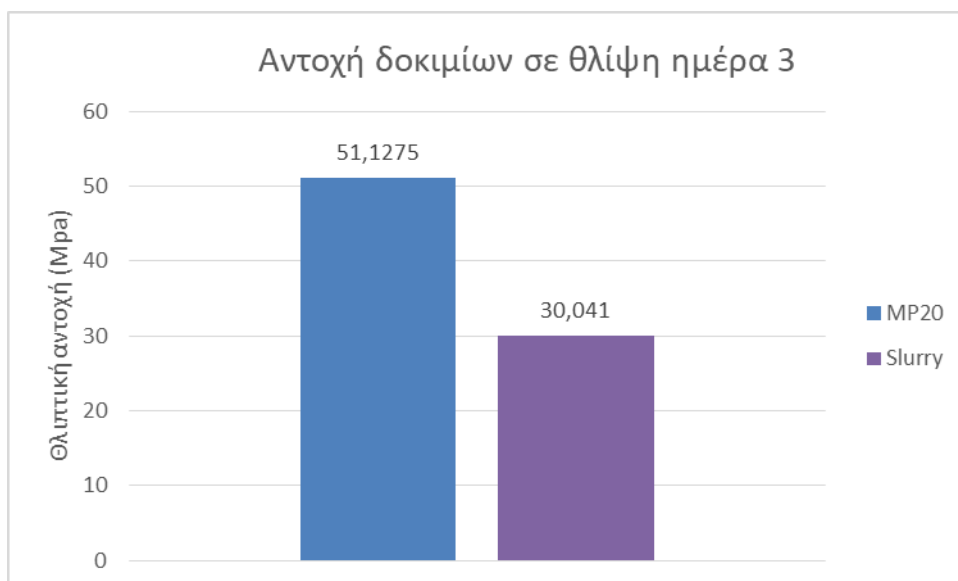
Διάγραμμα 4. 16: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης Slurry με σύνθεση S50 ημέρα 1



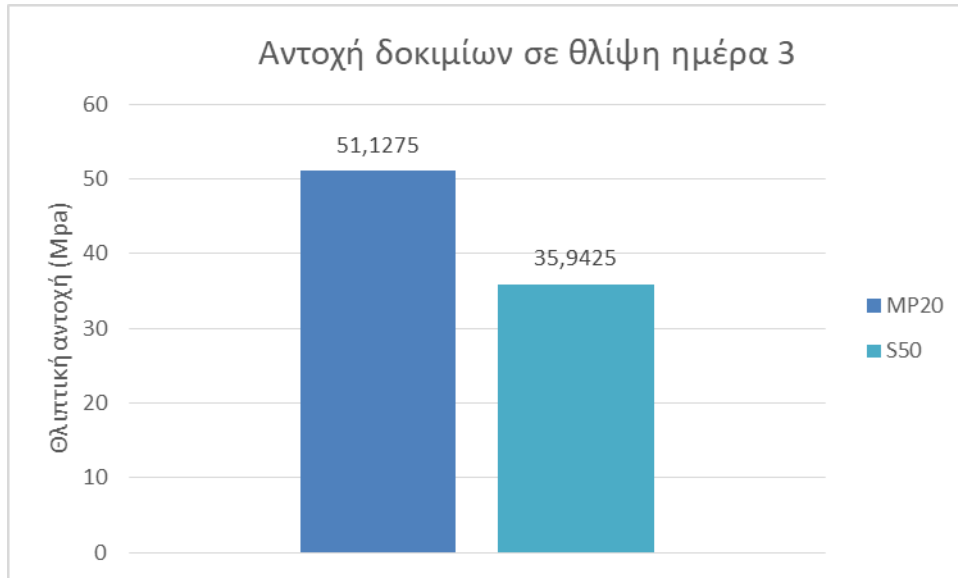
Διάγραμμα 4. 17: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση EP ημέρα 3



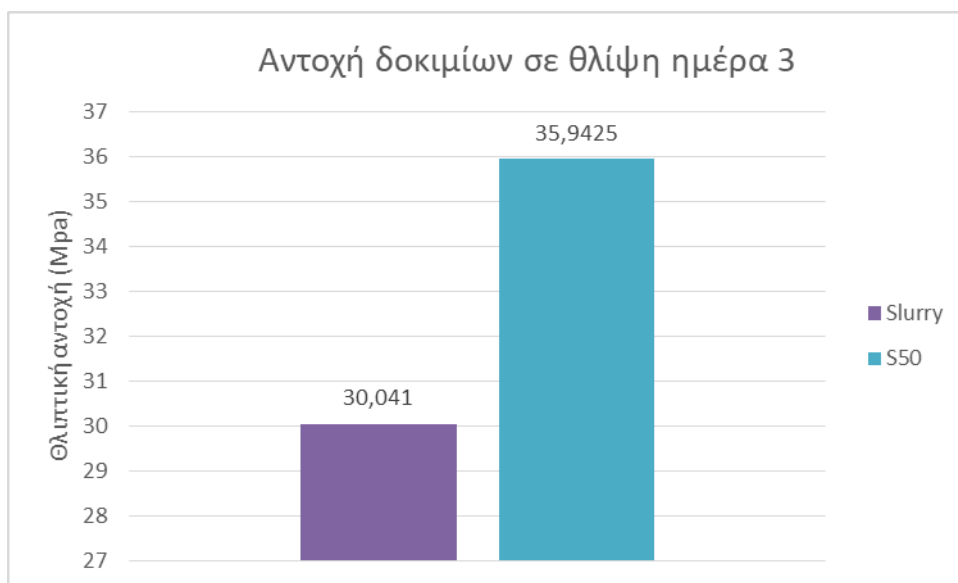
Διάγραμμα 4. 18: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση PU ημέρα 3



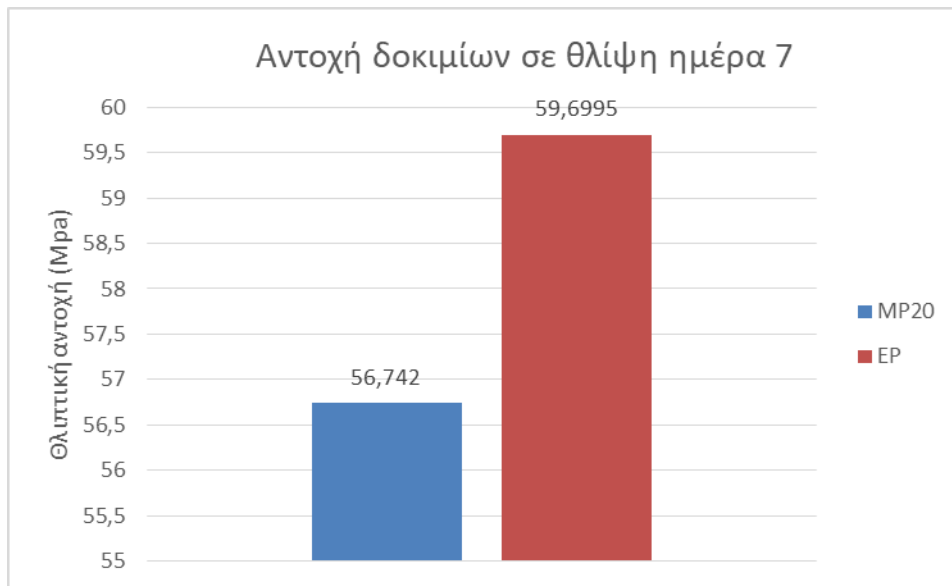
Διάγραμμα 4. 19: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση Slurry ημέρα 3



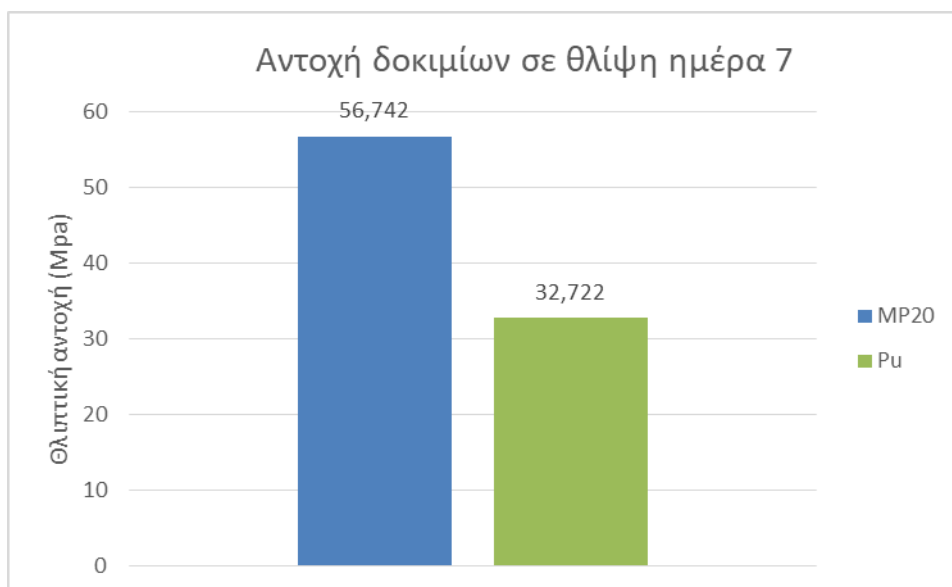
Διάγραμμα 4. 20: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση S50 ημέρα 3



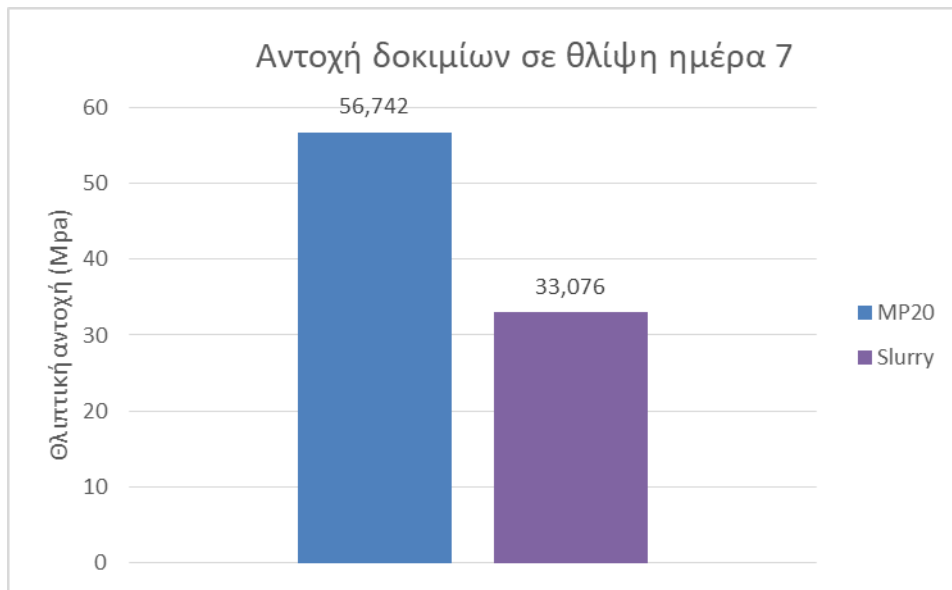
Διάγραμμα 4. 21: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης Slurry με σύνθεση S50 ημέρα 3



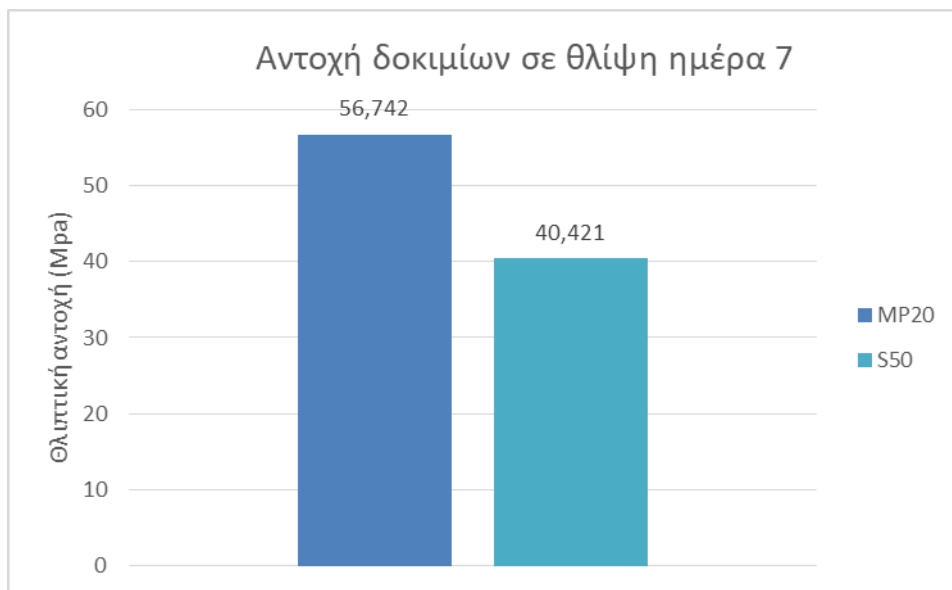
Διάγραμμα 4. 22: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση EP ημέρα 7



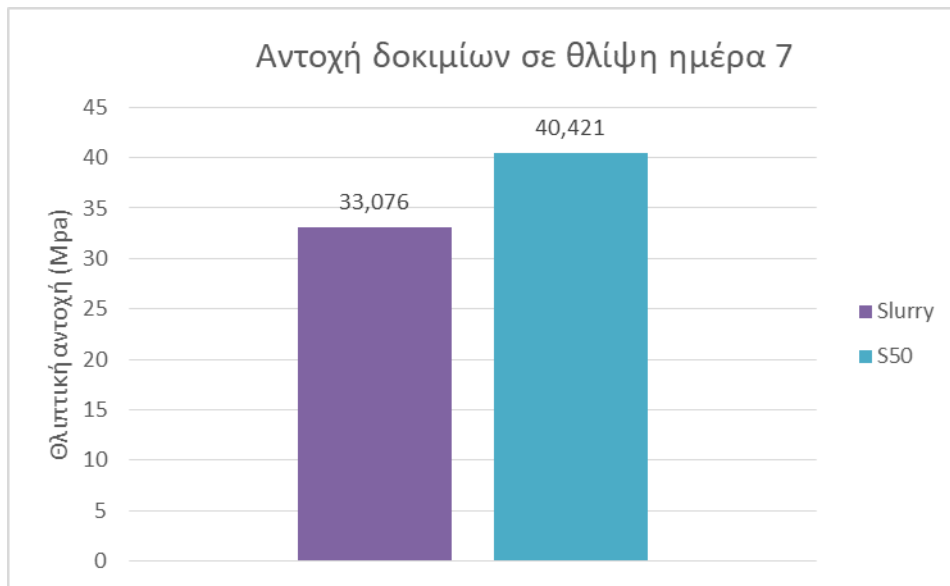
Διάγραμμα 4. 23: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση PU ημέρα 7



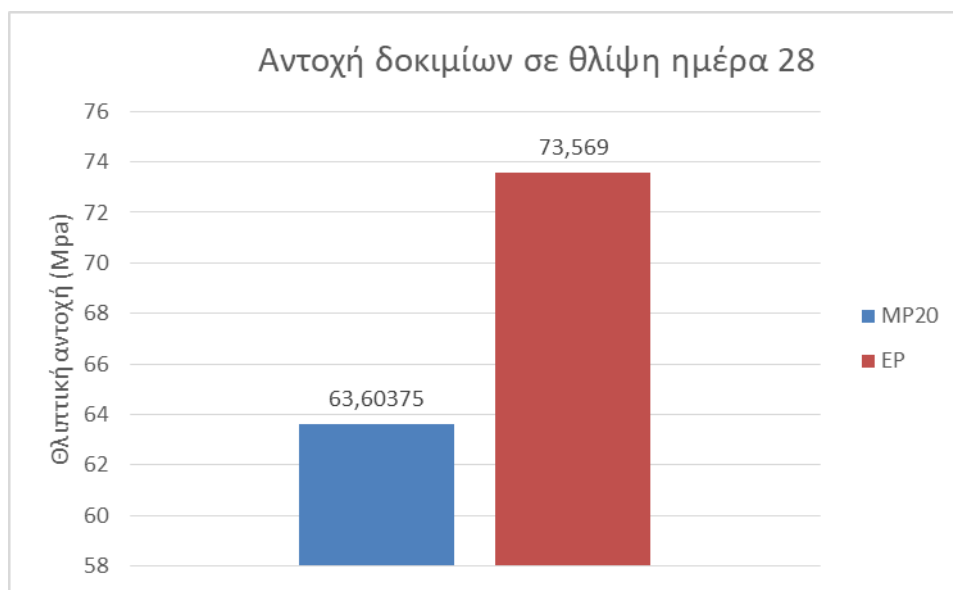
Διάγραμμα 4. 24: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση Slurry ημέρα 7



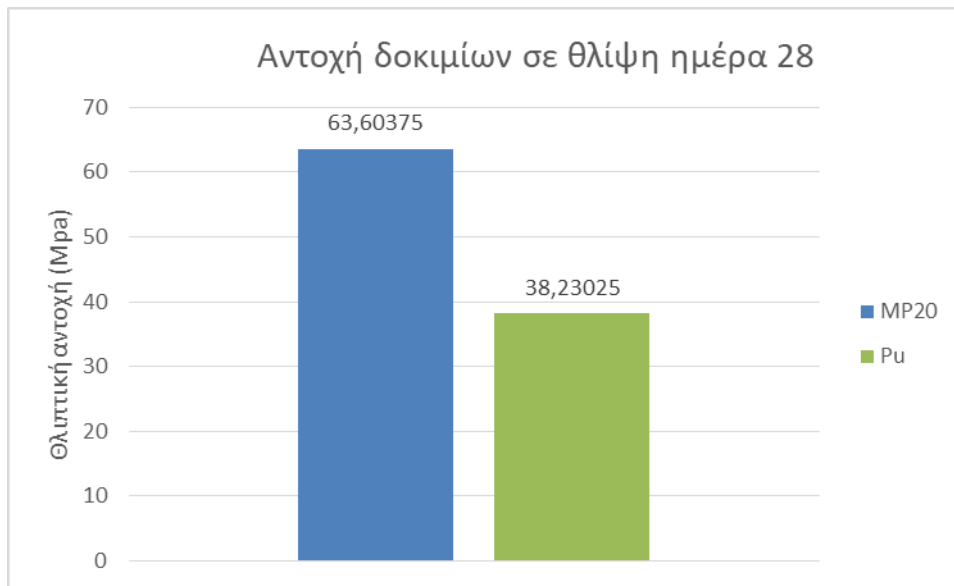
Διάγραμμα 4. 25: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση S50 ημέρα 7



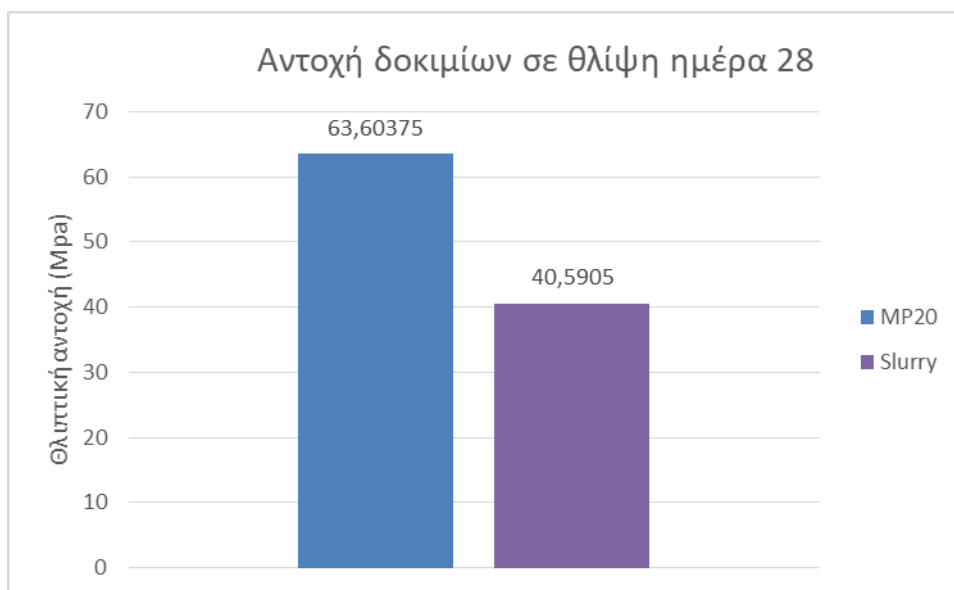
Διάγραμμα 4. 26: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης Slurry με σύνθεση S50 ημέρα 7



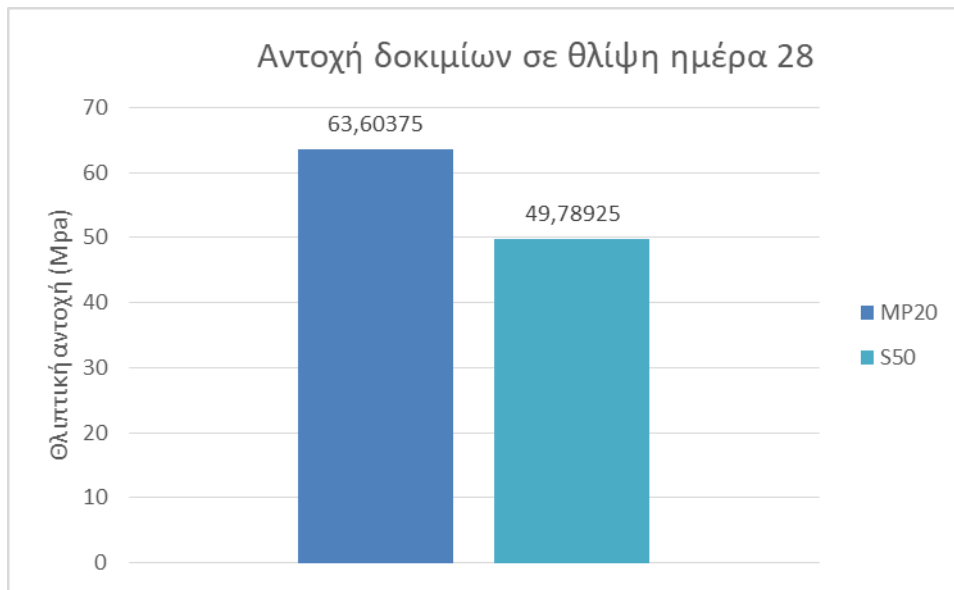
Διάγραμμα 4. 27: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση EP ημέρα 28



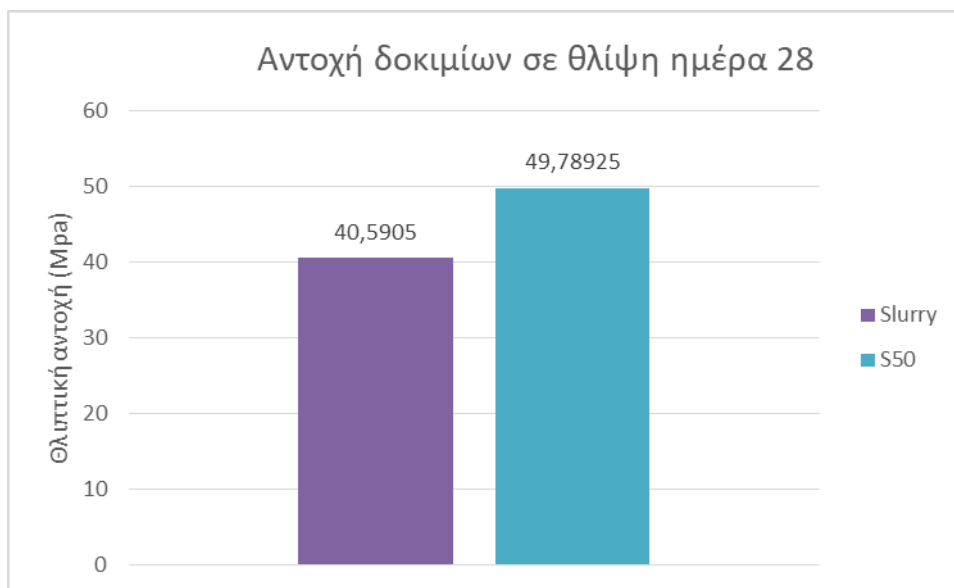
Διάγραμμα 4. 28: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση PU ημέρα 28



Διάγραμμα 4. 29: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση Slurry ημέρα 28

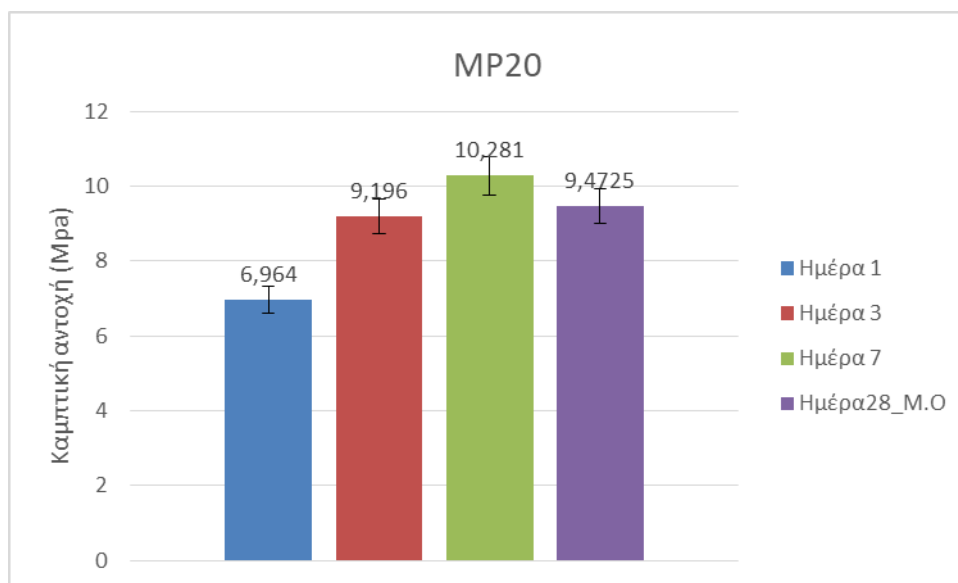


Διάγραμμα 4. 30: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση S50 ημέρα 28

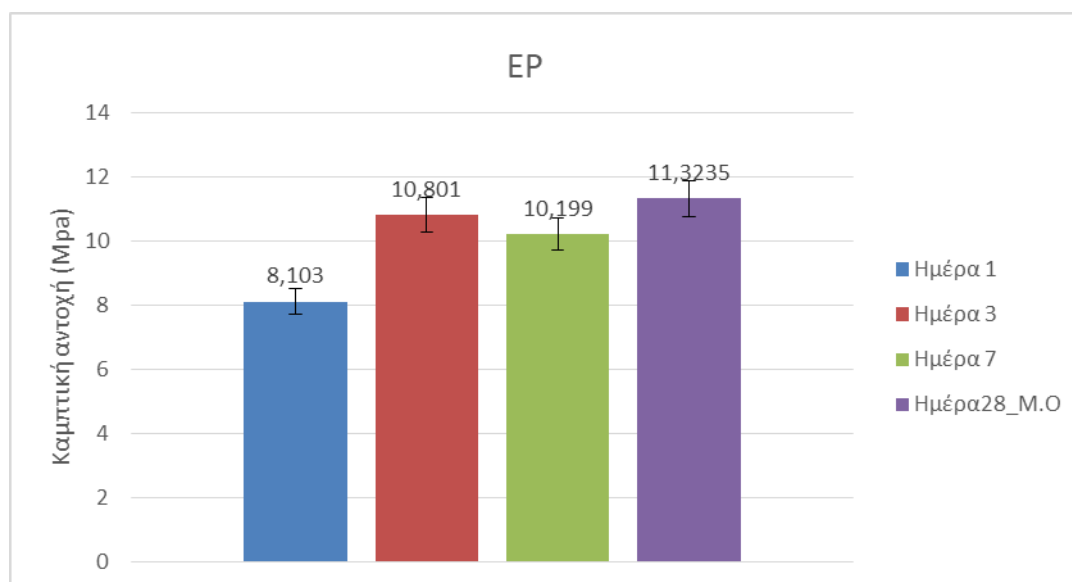


Διάγραμμα 4. 31: Σύγκριση θλιπτικής αντοχής σύνθεσης Slurry με σύνθεση S50 ημέρα 28

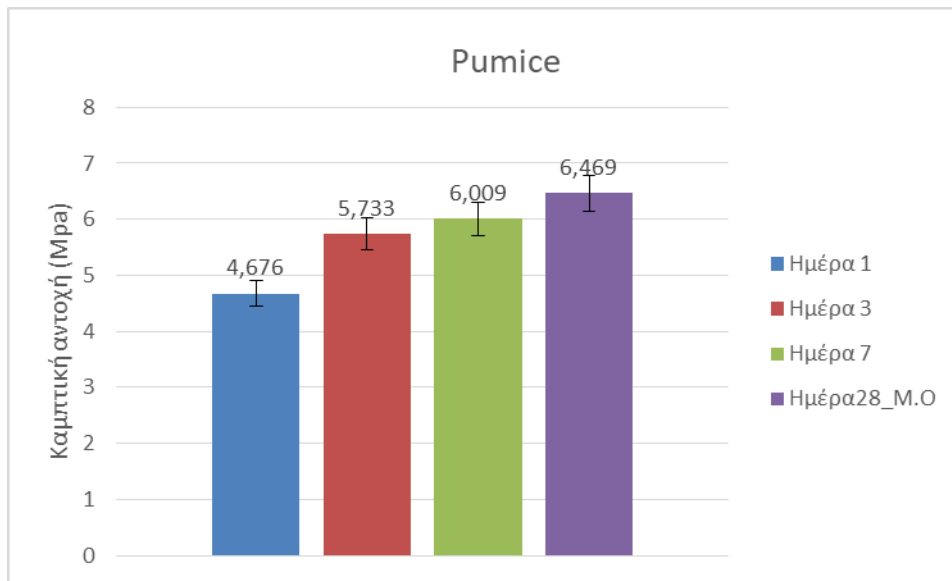
Αναλυτικά αποτελέσματα και σύγκριση αποτελεσμάτων δοκιμών σε κάμψη.



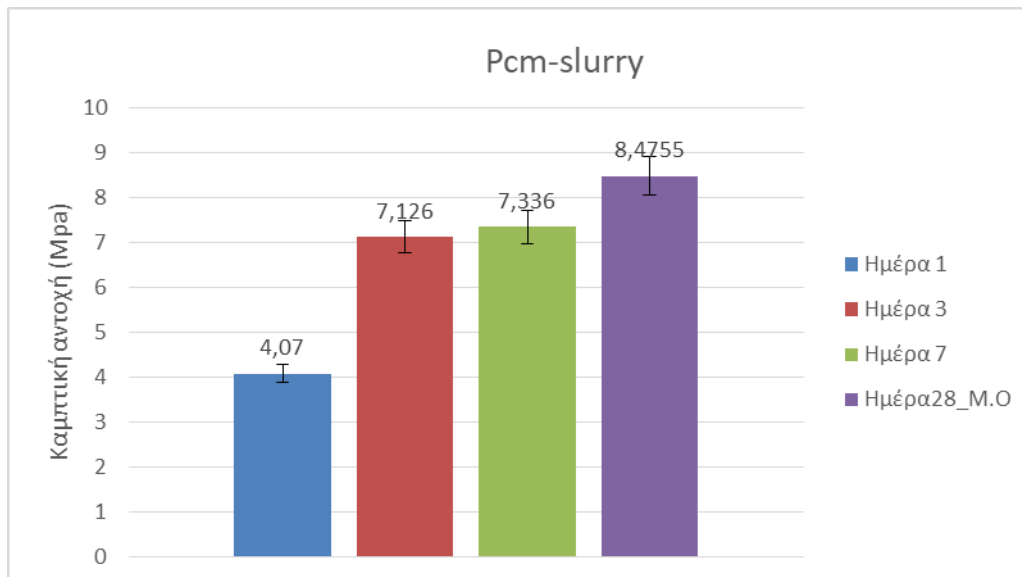
Διάγραμμα 4. 32: Συμπεριφορά σύνθεσης μαρμαρόσκονής σε κάμψη



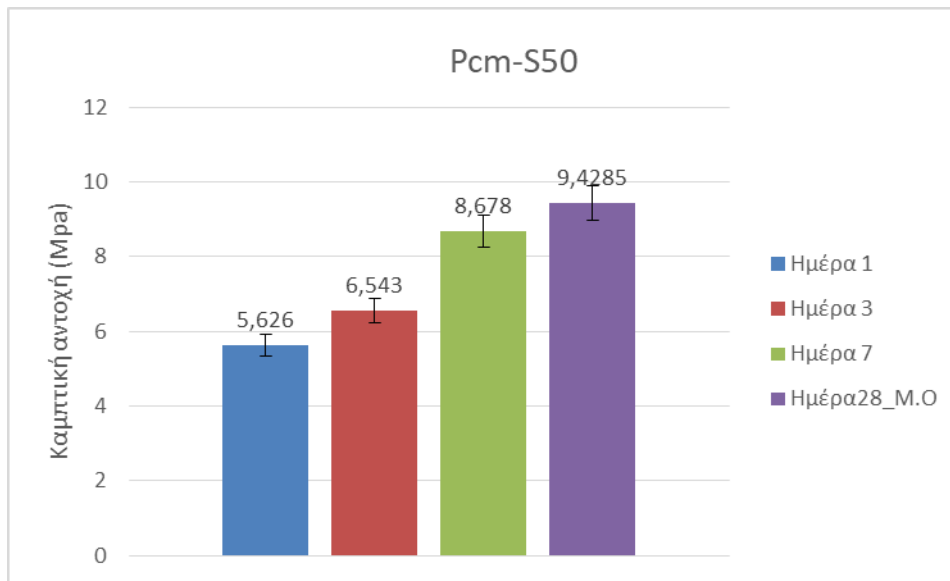
Διάγραμμα 4. 33: Συμπεριφορά σύνθεσης διογκωμένου περλίτη σε κάμψη



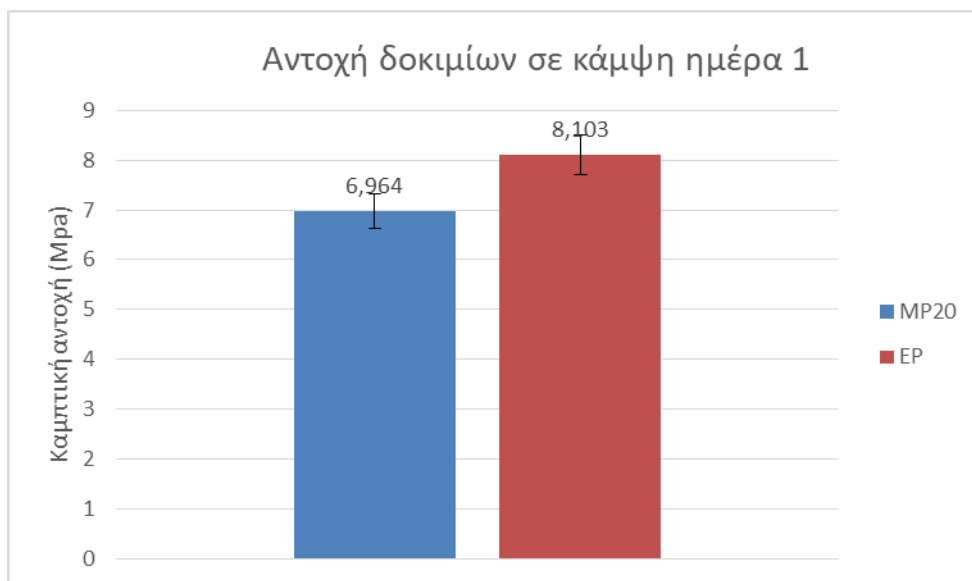
Διάγραμμα 4. 34: Συμπεριφορά σύνθεσης ελαφρόπετρας σε κάμψη



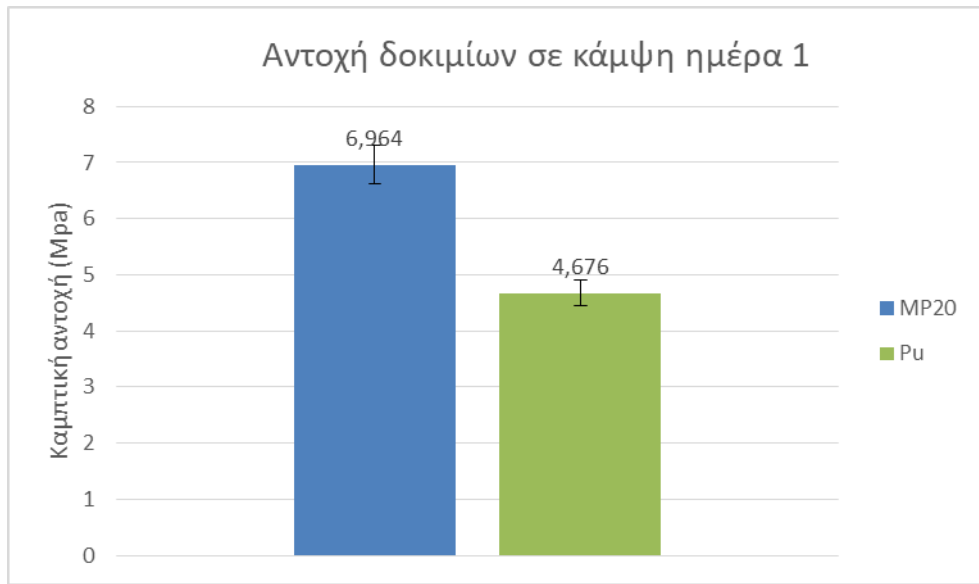
Διάγραμμα 4. 35: Συμπεριφορά σύνθεσης ΥΑΦ1 σε κάμψη



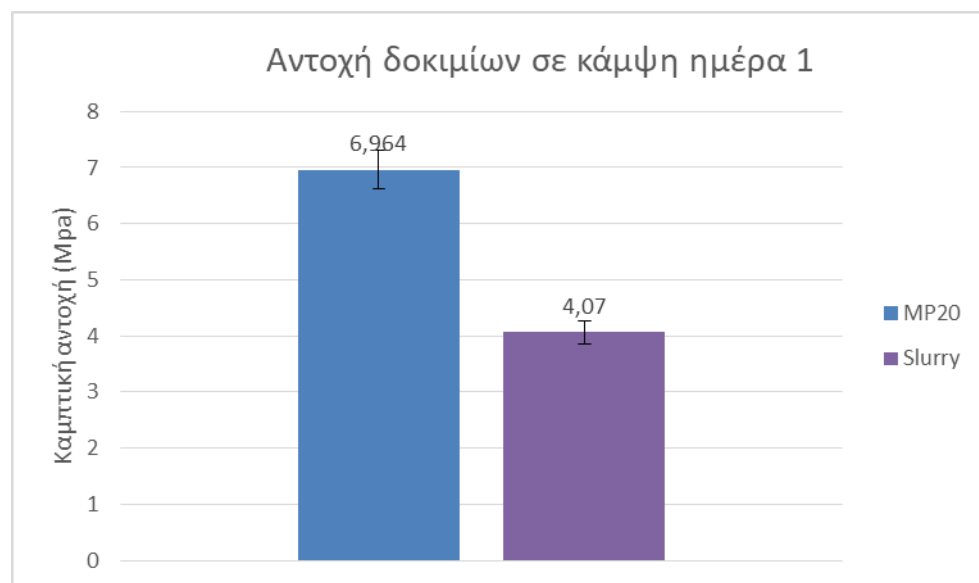
Διάγραμμα 4. 36: Συμπεριφορά σύνθεσης ΥΑΦ2 σε κάμψη



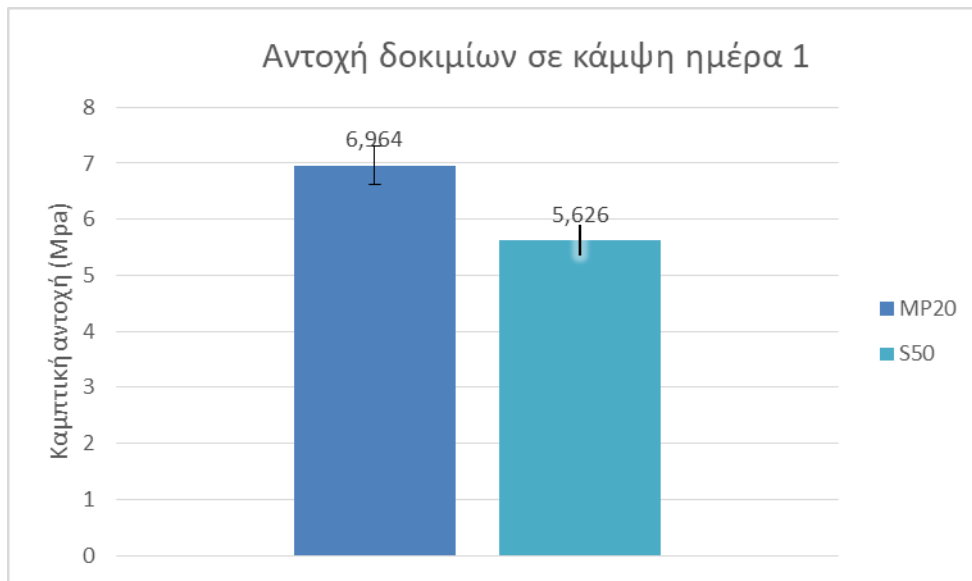
Διάγραμμα 4. 37: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση EP ημέρα 1



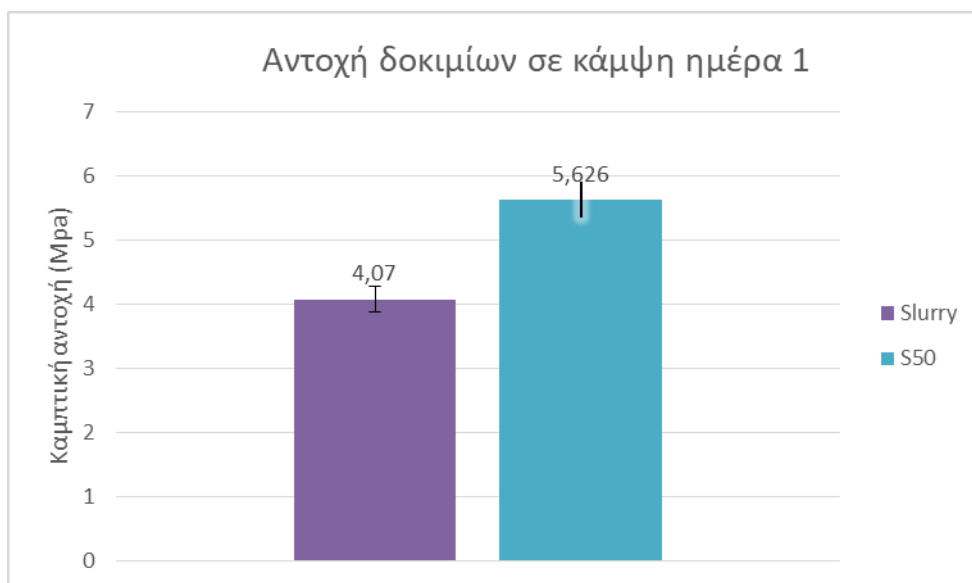
Διάγραμμα 4. 38: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση Pu ημέρα 1



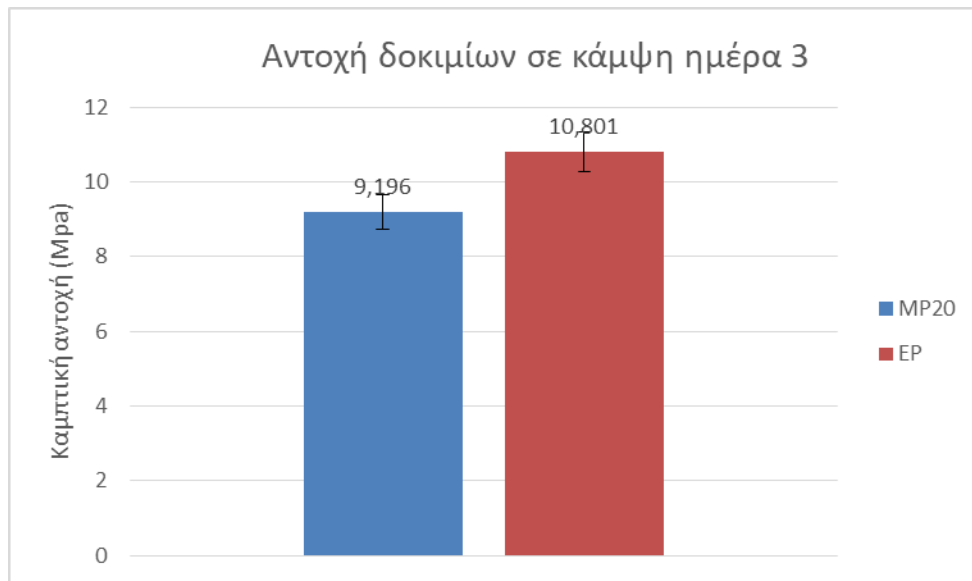
Διάγραμμα 4. 39: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση Slurry ημέρα 1



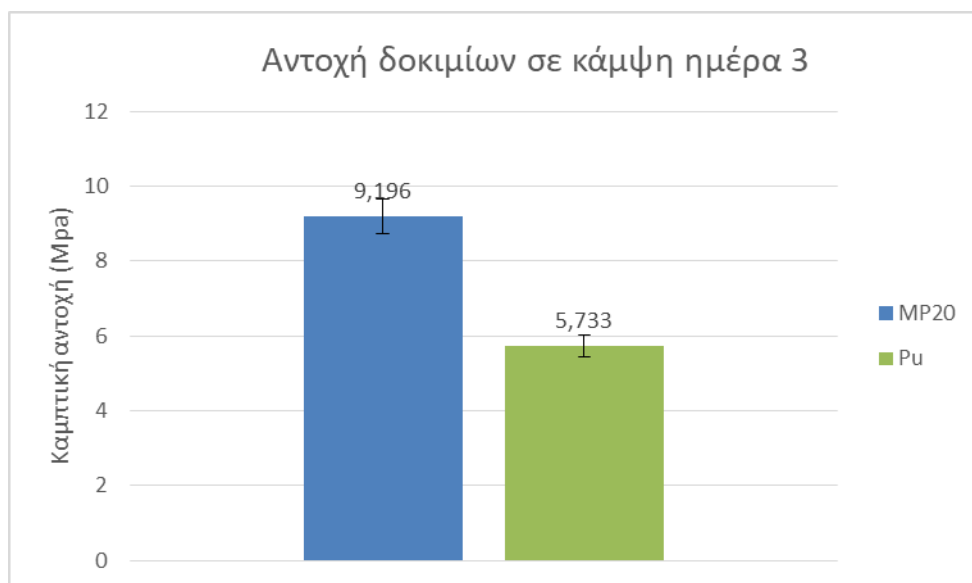
Διάγραμμα 4. 40: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση S50 ημέρα 1



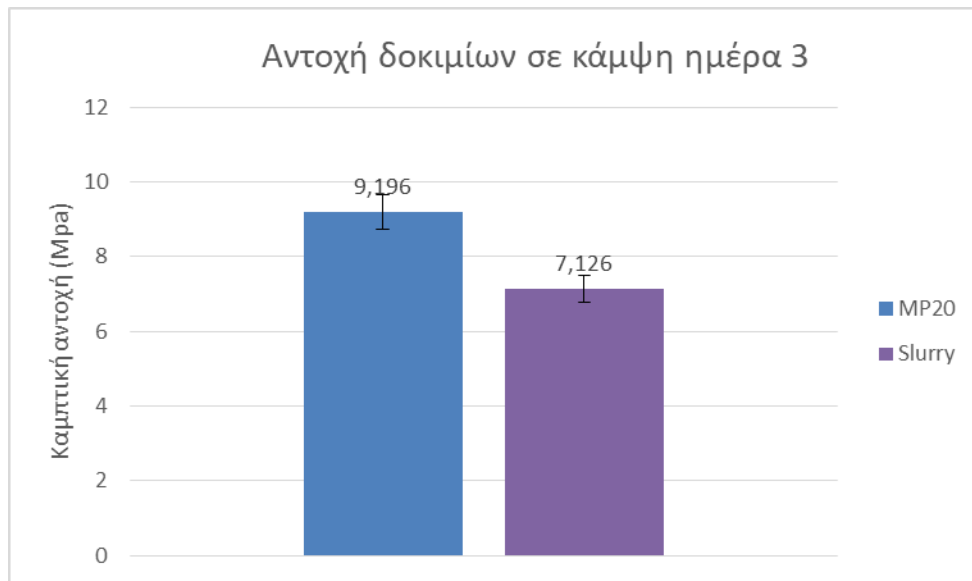
Διάγραμμα 4. 41: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης Slurry με σύνθεση S50 ημέρα 1



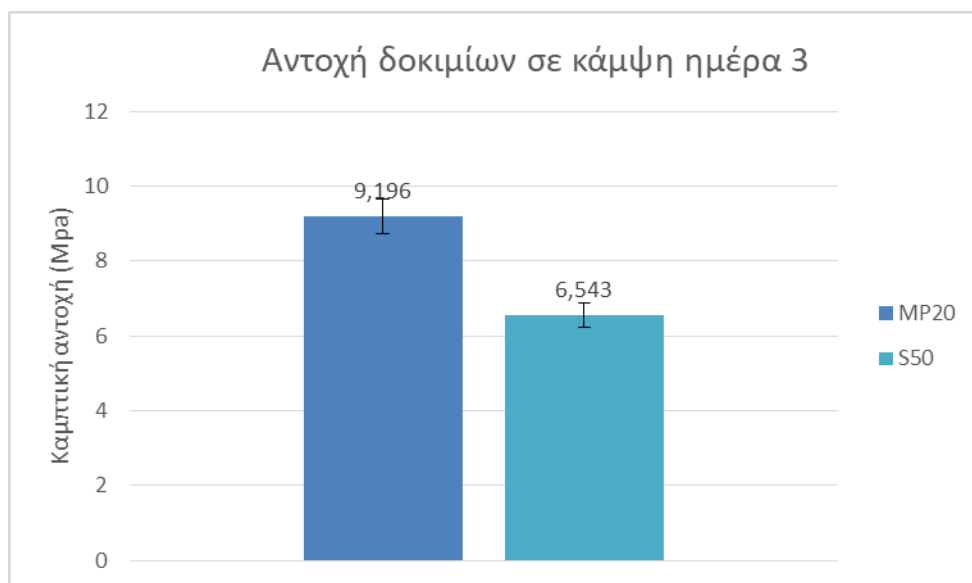
Διάγραμμα 4. 42: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση EP ημέρα 3



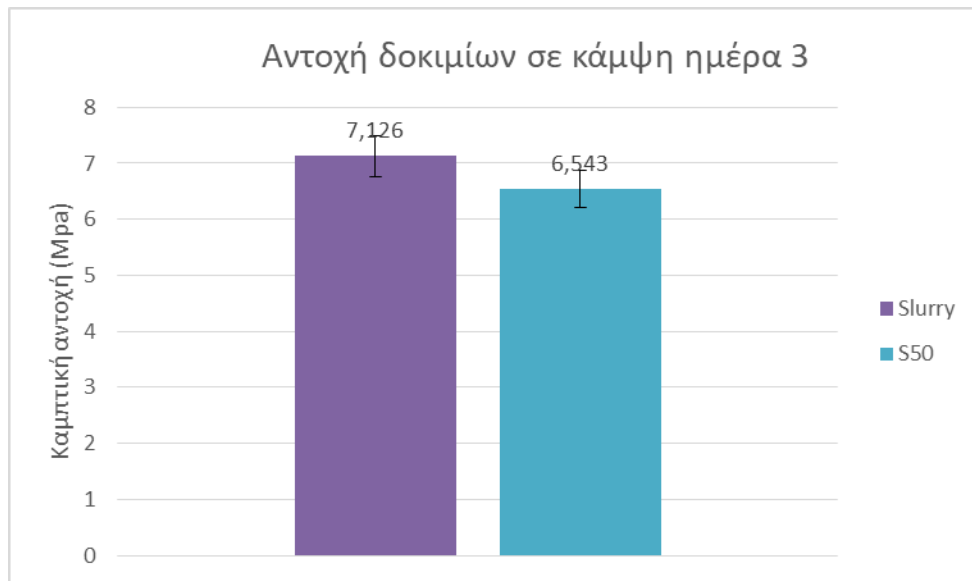
Διάγραμμα 4. 43: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση PU ημέρα 3



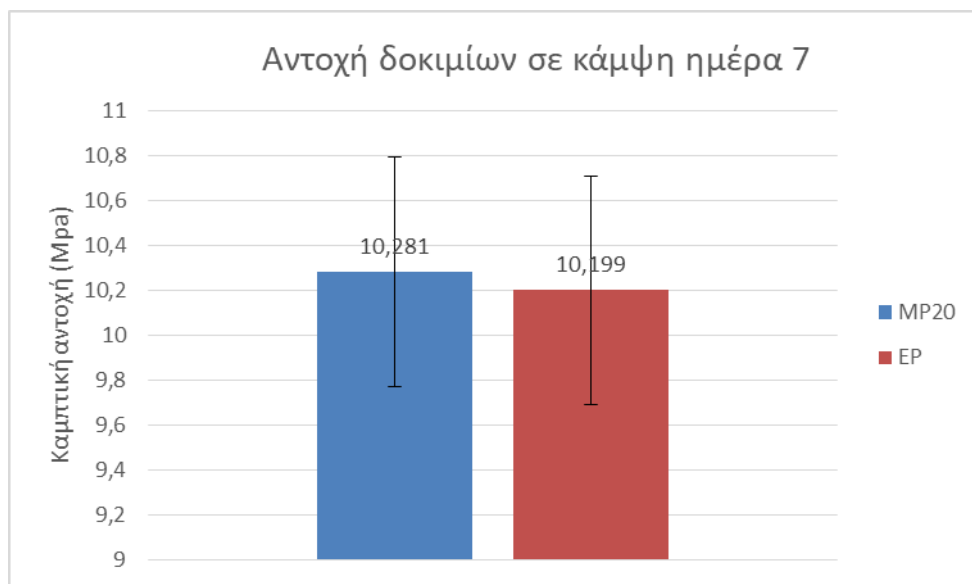
Διάγραμμα 4. 44: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση Slurry ημέρα 3



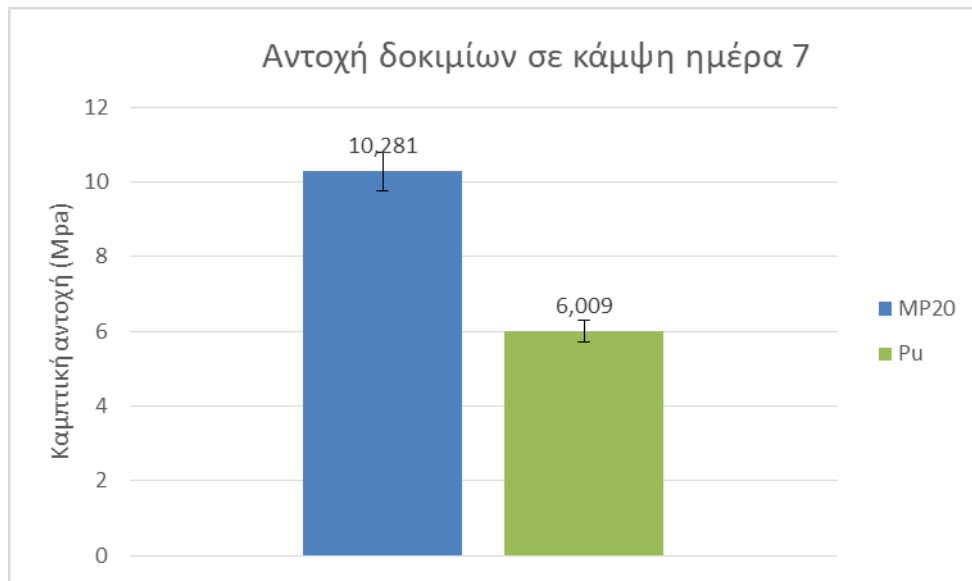
Διάγραμμα 4. 45: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση S50 ημέρα 3



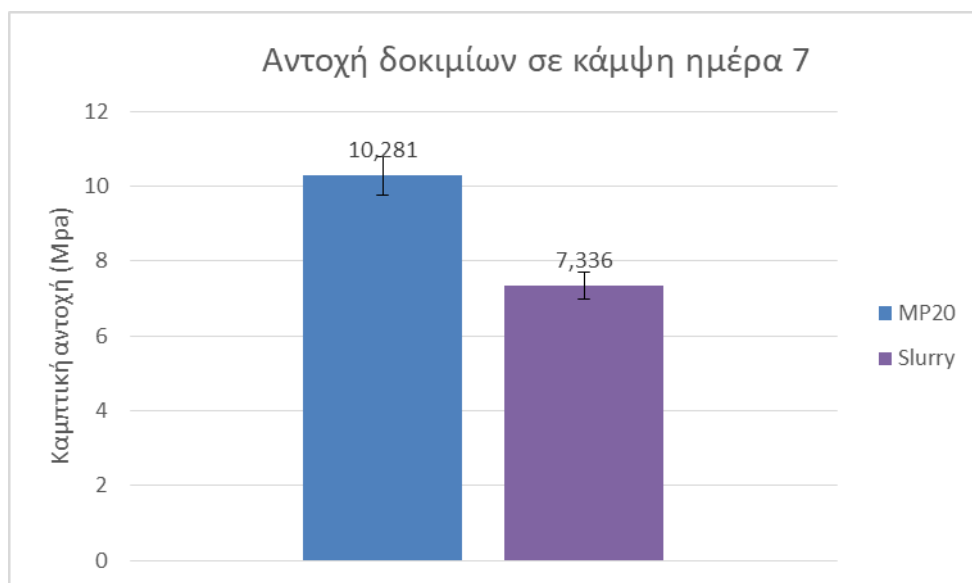
Διάγραμμα 4. 46: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης Slurry με σύνθεση S50 ημέρα 3



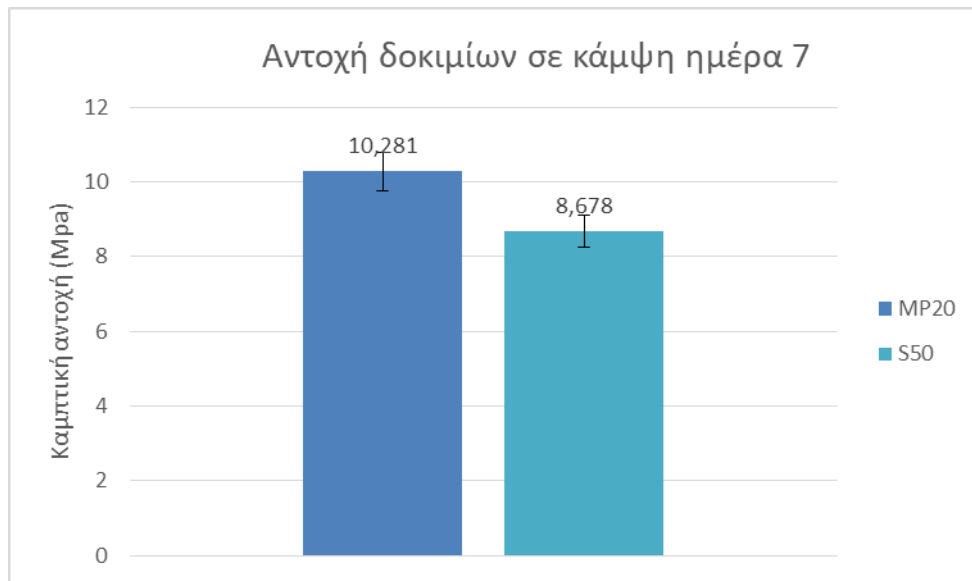
Διάγραμμα 4. 47: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση EP ημέρα 7



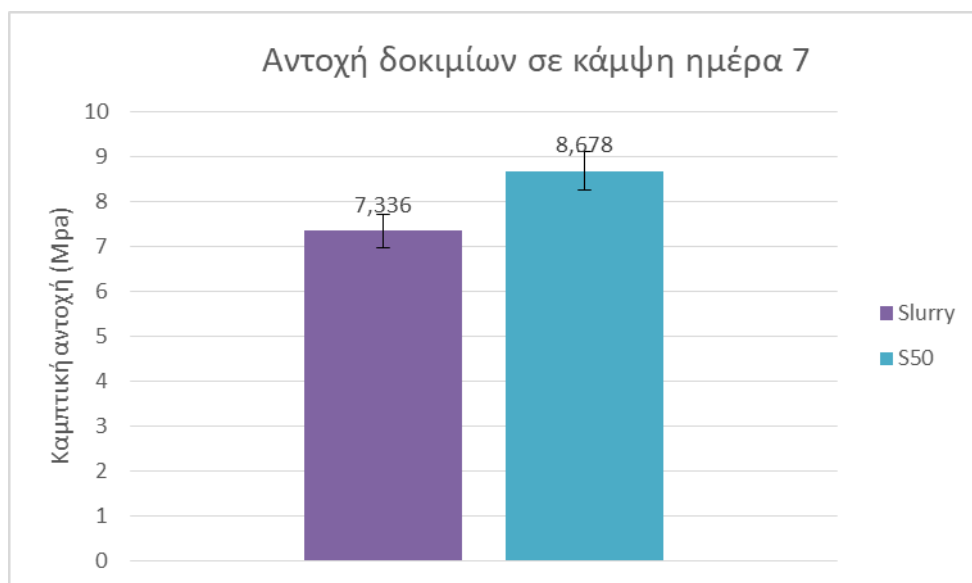
Διάγραμμα 4. 48: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση PU ημέρα 7



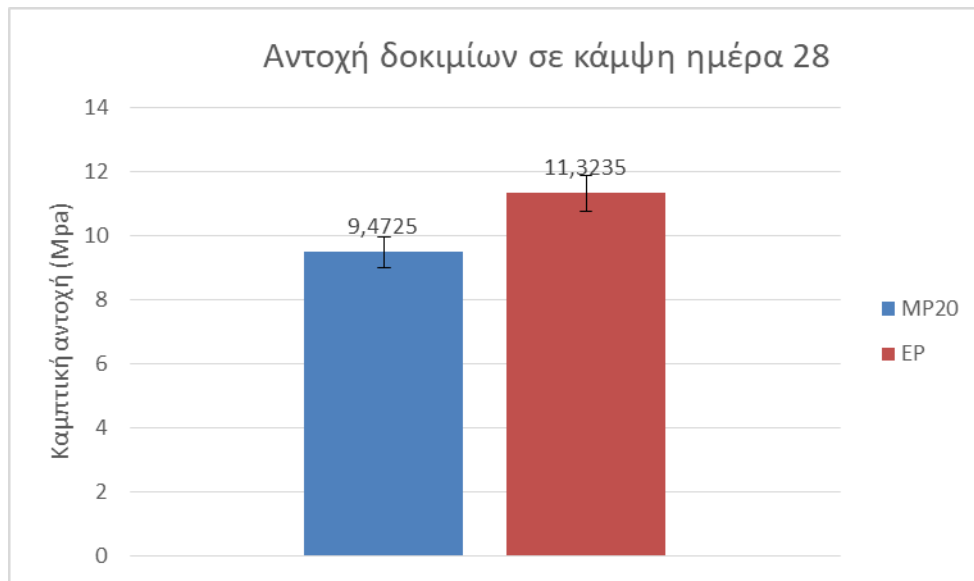
Διάγραμμα 4. 49: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση Slurry ημέρα 7



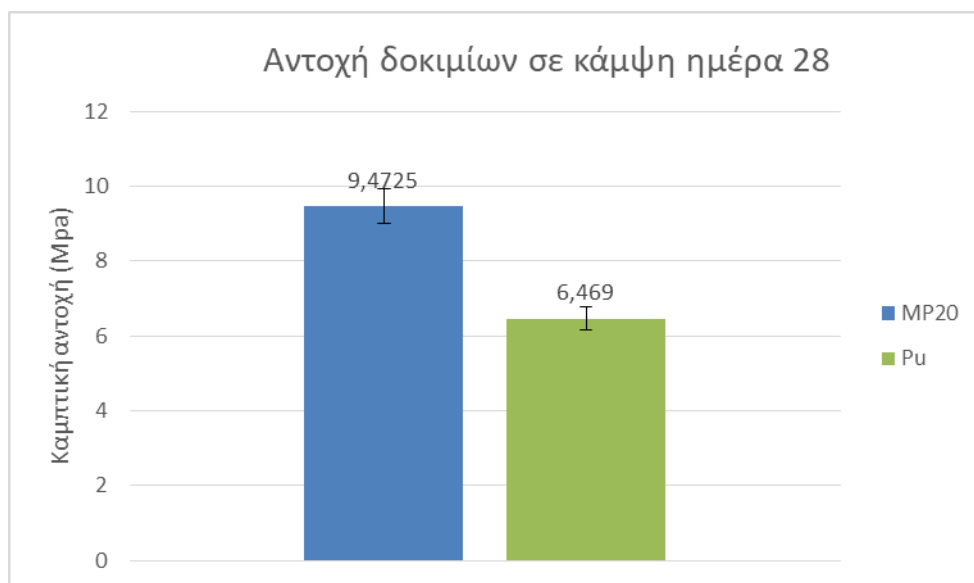
Διάγραμμα 4. 50: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση S50 ημέρα 7



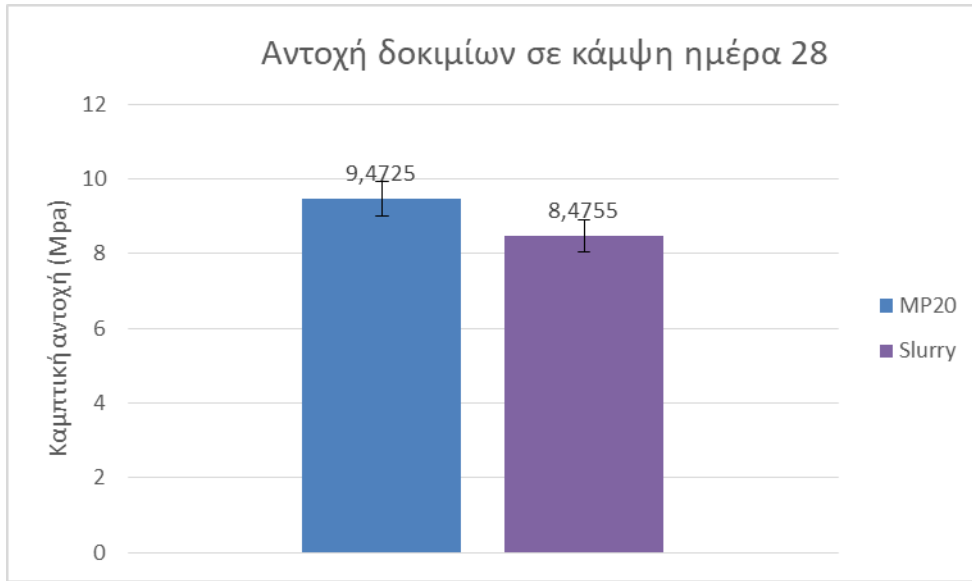
Διάγραμμα 4. 51: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης Slurry με σύνθεση S50 ημέρα 7



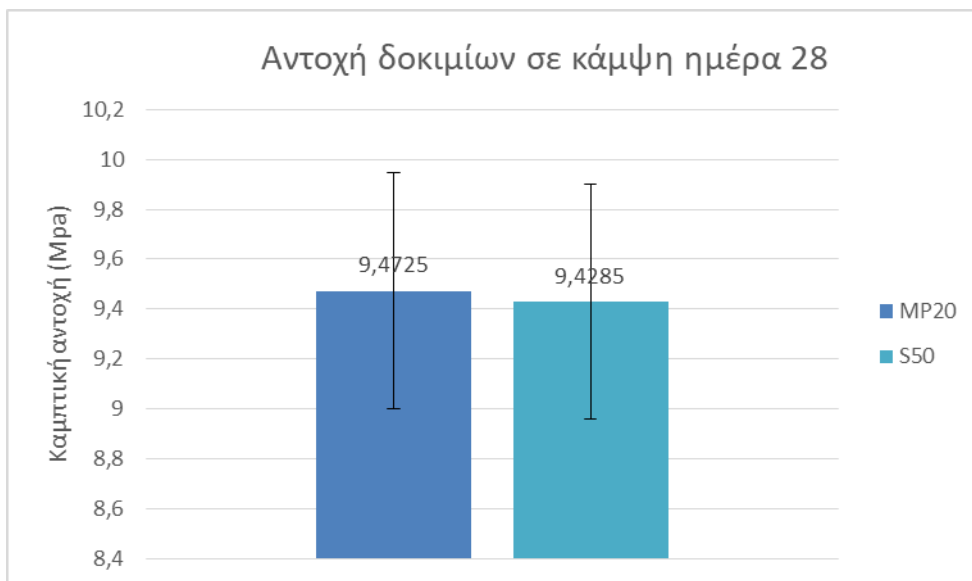
Διάγραμμα 4. 52: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση EP ημέρα 28



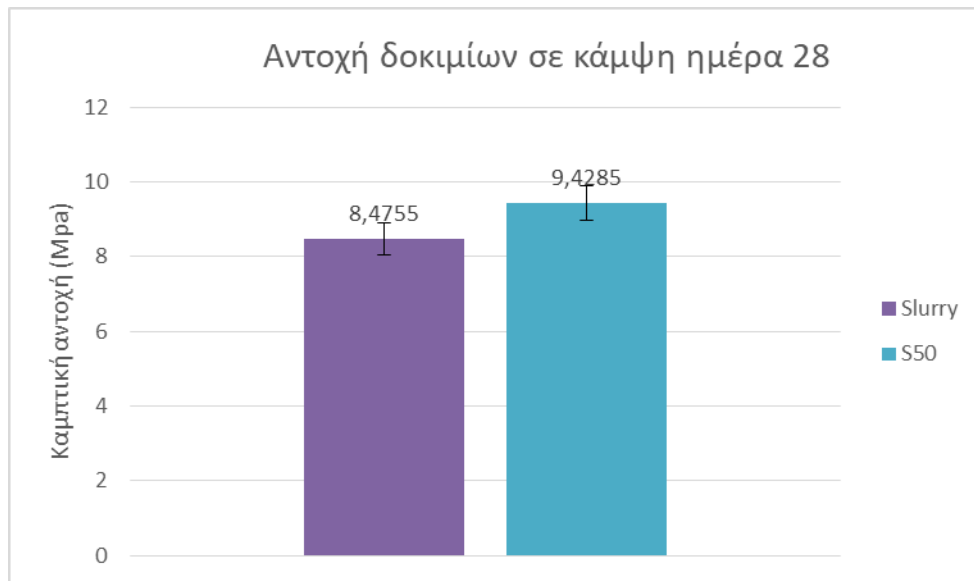
Διάγραμμα 4. 53: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση PU ημέρα 28



Διάγραμμα 4. 54: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση Slurry ημέρα 28



Διάγραμμα 4. 55: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης αναφοράς με σύνθεση S50 ημέρα 28



Διάγραμμα 4. 56: Σύγκριση καμπτικής αντοχής σύνθεσης Slurry με σύνθεση S50 ημέρα 28

Αναλυτικά στοιχεία πληρωτικών υλικών

Τσιμέντο

Το τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο πείραμα είναι τσιμέντο τύπου Portland CEM I 42.5R.

Άμμος

Δυο είδη άμμου έχουν χρησιμοποιηθεί στην συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία ασβεστολιθική άμμος και κίσηρη.

Η ασβεστόλιθική άμμος, εκτός του ασβεστίτη, συχνά περιέχει πυριτικές προσμίξεις, όπως κρυπτοκρυσταλλικές μορφές του χαλαζία (πυριτόλιθο ή χαλαζίτη), άργιλο και άμμο και μικρές ποσότητες μεταλλικών αλάτων.

Ο σχηματισμός της μπορεί να οφείλεται στην χημική αντίδραση ευδιάλυτων αλάτων του ασβεστίου με διοξείδιο του άνθρακα. Το CaCO_3 , ως αδιάλυτο στο νερό, καταβυθίζεται και αποτίθεται, συγκολλώμενο με άλλα συστατικά του περιβάλλοντος με τη διαδικασία της διαγένεσης. Ο ασβεστόλιθος που δημιουργείται με αυτόν τον τρόπο χαρακτηρίζεται ως "χημικό ίζημα". Ειδική μορφή αυτού του τύπου ασβεστόλιθου είναι οι σταλακτίτες και οι σταλαγμίτες των σπηλαίων (σταλακτιτικός ασβεστόλιθος). Μια ακόμη μορφή αυτού του τύπου είναι ο τραβερτίνης, ασβεστολιθική απόθεση σε κοίτες θερμών υδάτων, των οποίων η διαλυτική ικανότητα, καθώς ψύχονται, ελαττώνεται, με συνέπεια να αποθέτουν τα ως τότε διαλυμένα συστατικά τους.

Σε άλλες περιπτώσεις, ο ασβεστόλιθος μπορεί να σχηματιστεί από σκελετούς ή κελύφη υδροβίων οργανισμών: Μετά τον θάνατο του οργανισμού, το κέλυφός του καταβυθίζεται στον πυθμένα και το οργανικό τμήμα του οργανισμού καταστρέφεται, ενώ το κέλυφος (ή ο σκελετός) παραμένει. Τα ασβεστοιτικά αυτά υπολείμματα συγκολλώμενα με τη διαγένεση δημιουργούν την ασβεστολιθική απόθεση. Ο ασβεστόλιθος που δημιουργείται κατ' αυτό τον τρόπο χαρακτηρίζεται ως "οργανογενής" και, όπως είναι λογικό, είναι πιο πλούσιος σε απολιθώματα. Μορφές αυτού του τύπου ασβεστόλιθου αποτελούν η κρητίς (κοινώς κιμωλία) και ο ωολιθικός ασβεστόλιθος, ο οποίος εμφανίζεται να αποτελείται από μικρά, συγκολλημένα μεταξύ τους σφαιρίδια, τους ωολίθους.

Το βασικό συστατικό του πετρώματος έχει λευκό χρώμα, γι' αυτό και ο ασβεστόλιθος είναι λευκός ή ανοικτόχρωμος γκριζός. Ανάλογα με τις προσμίξεις του, όμως, εμφανίζεται σχεδόν σε κάθε χρώμα, συνηθέστερα γκριζο σκούρο ή και κοκκινωπό (σιδηρομιγής ασβεστόλιθος).

Η κίσηρη, κίσηρη ή περισσότερο γνωστή ως ελαφρόπετρα είναι ηφαιστειογενές πέτρωμα το οποίο αποτελείται από πορώδες τραχείας υφής ηφαιστειακό γυαλί, το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει και κρυστάλλους. Είναι συνήθως ανοικτού χρώματος. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της κίσηρης είναι ότι λόγω των πολλών πόρων της έχει μικρή πυκνότητα και έτσι επιπλέει στο νερό, μπορεί ακόμη και για χρόνια. Η σκορία είναι ένα άλλο πορώδες ηφαιστειακό πέτρωμα, αλλά διαφέρει από την κίσηρη καθώς διαθέτει μεγαλύτερους πόρους και παχύτερα τοιχώματα πόρων, ενώ είναι σκουρότερου χρώματος και πυκνότερο.

Η κίσηρη δημιουργείται όταν υπέρθερμο, υπερσυμπιεσμένο πέτρωμα εκτοξεύεται βίαια από ένα ηφαίστειο. Η ασυνήθιστη σπογγώδης διαμόρφωση της ελαφρόπετρας είναι αποτέλεσμα της ταυτόχρονης ταχείας ψύξης και ταχείας αποσυμπίεσης. Η αποσυμπίεση δημιουργεί φυσαλίδες καθώς μειώνεται η διαλυτότητα των αερίων (συμπεριλαμβανομένου του νερού και του διοξειδίου του άνθρακα) τα οποία ήταν διαλυμένα στη λάβα και εξέρχονται από το πέτρωμα. Οι υποθαλάσσιες εκρήξεις παράγουν μεγάλες ποσότητες κίσηρης και μπορεί να αποβούν επικίνδυνες για τη ναυτιλία. Οι πόροι της ελαφρότητας ποικίλουν σε μέγεθος από της τάξης των μικρόμετρων μέχρι λίγων χιλιοστών.

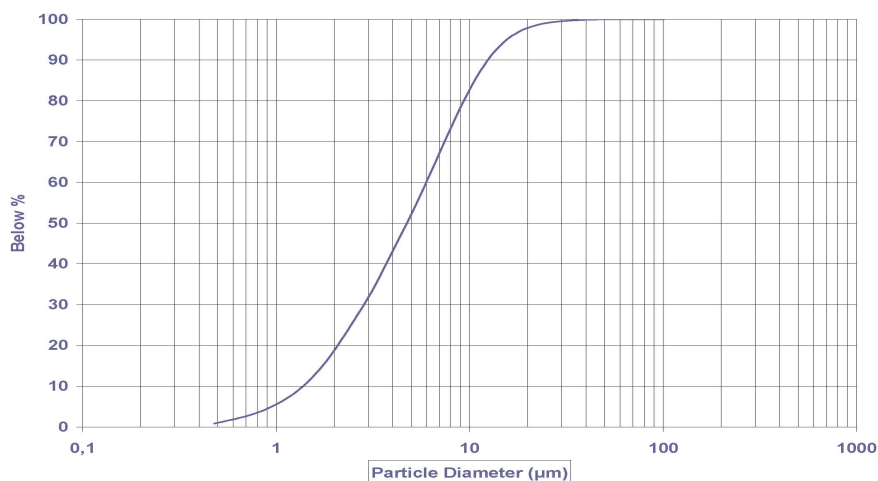
Μαρμαρόσκονη

Το μάρμαρο είναι πέτρωμα αποτελούμενο από ασβεστίτη (CaCO_3) ή και από το συνδυασμό των ορυκτών ασβεστίτη (CaCO_3) και δολομίτη ($(\text{Ca},\text{Mg}) (\text{CO}_3)_2$) και έχει δημιουργηθεί από την μεταμόρφωση ασβεστόλιθων, δηλαδή ιζηματογενών ανθρακικών πετρωμάτων. Η λέξη ετυμολογείται από την αρχαιοελληνική μάρμαρος, δηλαδή «λαμπερός λίθος». Κατά την ομηρική εποχή την έννοια μεγάλου ογκόλιθου, ανεξαρτήτως σύστασης του πετρώματος, ενώ αργότερα με την εξέλιξη της πετρογραφικής και γεωλογικής έννοιας, χρησιμοποιούνταν για να καλύψει τις κατηγορίες εκείνες των πετρωμάτων που προέρχονται από τη μεταμόρφωση ασβεστολίθων ή δολομιτών.

Στην εμπορική γλώσσα, ως μάρμαρο θεωρείται κάθε κρυσταλλικό πέτρωμα, με ορυκτολογική σύσταση στην οποία επικρατούν κυρίως ορυκτά με σκληρότητα 3 ως 4 της σκληρομετρικής κλίμακας Mohs (ασβεστίτης, δολομίτης κλπ) και το οποίο επιπλέον επιδέχεται κοπή, λείανση και στίλβωση ώστε να είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ως διακοσμητικό ή δομικό υλικό. Στην κατηγορία των μαρμάρων

ανήκουν διάφορα πετρώματα, ποικίλων χρωμάτων, εξορυσσόμενα σε όγκους, επιδεικτικά κοπής σε πλάκες, λειάνσεως και στιλβώσεως, καθώς και ο πωρόλιθος, το αλάβαστρο, ο όνυχας, οι δομικοί λίθοι λαξευτοί ή όχι, οι σχιστολιθικές και οι ασβεστολιθικές πλάκες και παρεμφερή πετρώματα χρησιμοποιούμενα για δομικούς και διακοσμητικούς σκοπούς.

Στο διάγραμμα 3.1 δίνεται η κοκκομετρική ανάλυση ενός εκ των πληρωτικών υλικών των συνθέσεων, της μαρμαρόσκονης.



Διάγραμμα 3. 2: Κοκκομετρική ανάλυση μαρμαρόσκονης

Πίνακας 3. 5: Στοιχεία χημικής ανάλυσης μαρμαρόσκονης

CaCO ₃	98%
SiO ₂	0.35%
MgO	0.75%
Fe ₂ O ₃	0.07%
Mn ₂ O ₃	0.01%
Περιεχόμενη υγρασία	0,2%

Πίνακας 3. 6: Φυσικές ιδιότητες μαρμαρόσκονης

Λεπτότητα κόκκων d(0.97)	16-20 μm
Μέσο μέγεθος κόκκων d(0.5)	4-6 μm
Κόκκοι λεπτότεροι από 2 μm	14-26 %
Ειδικό βάρος	2,6
Φαινόμενο βάρος	0,7 g/cm^3
Ελαιοαπορροφητικότητα	20g/100g
Σκληρότητα (κλίμακα Mohs)	3

Διογκωμένος Περλίτης

Ο περλίτης είναι άμορφο ηφαιστειακό γυαλί με σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε νερό. Βρίσκεται στη φύση και έχει την ασυνήθιστη ιδιότητα να διογκώνεται όταν βρεθεί σε αρκετά υψηλή θερμοκρασία. Όταν φτάσει τους 650-900 °C ο περλίτης μαλακώνει (δεδομένου ότι είναι γυαλί) και το νερό, το οποίο είναι παγιδευμένο στην δομή του, διαφεύγει και αυτό δημιουργεί τη διόγκωση του υλικού από 7 έως 15 φορές. Ο διογκωμένος περλίτης έχει εκτυφλωτικό λευκό χρώμα, λόγω της ανακλαστικότητας των παγιδευμένων φυσαλίδων. Η φαινόμενη πυκνότητα του αδιόγκωτου περλίτη είναι περίπου 1100 kg/m^3 (1.1 g/cm^3). Αντίστοιχα η φαινόμενη πυκνότητα του διογκωμένου περλίτη είναι μεταξύ των τιμών 30–150 kg/m^3 (0.03-0.15 g/cm^3). Λόγω της χαμηλής φαινόμενης πυκνότητας του διογκωμένου περλίτη, έχουν αναπτυχθεί πολλές εμπορικές εφαρμογές του. Σε οικοδομικά υλικά χρησιμοποιείται σε ελαφροβαρή κονιάματα, μονωτικά υλικά, θερμο-ηχομονωτικές πλάκες οροφής και ως βοηθητικό υλικό φίλτρων.