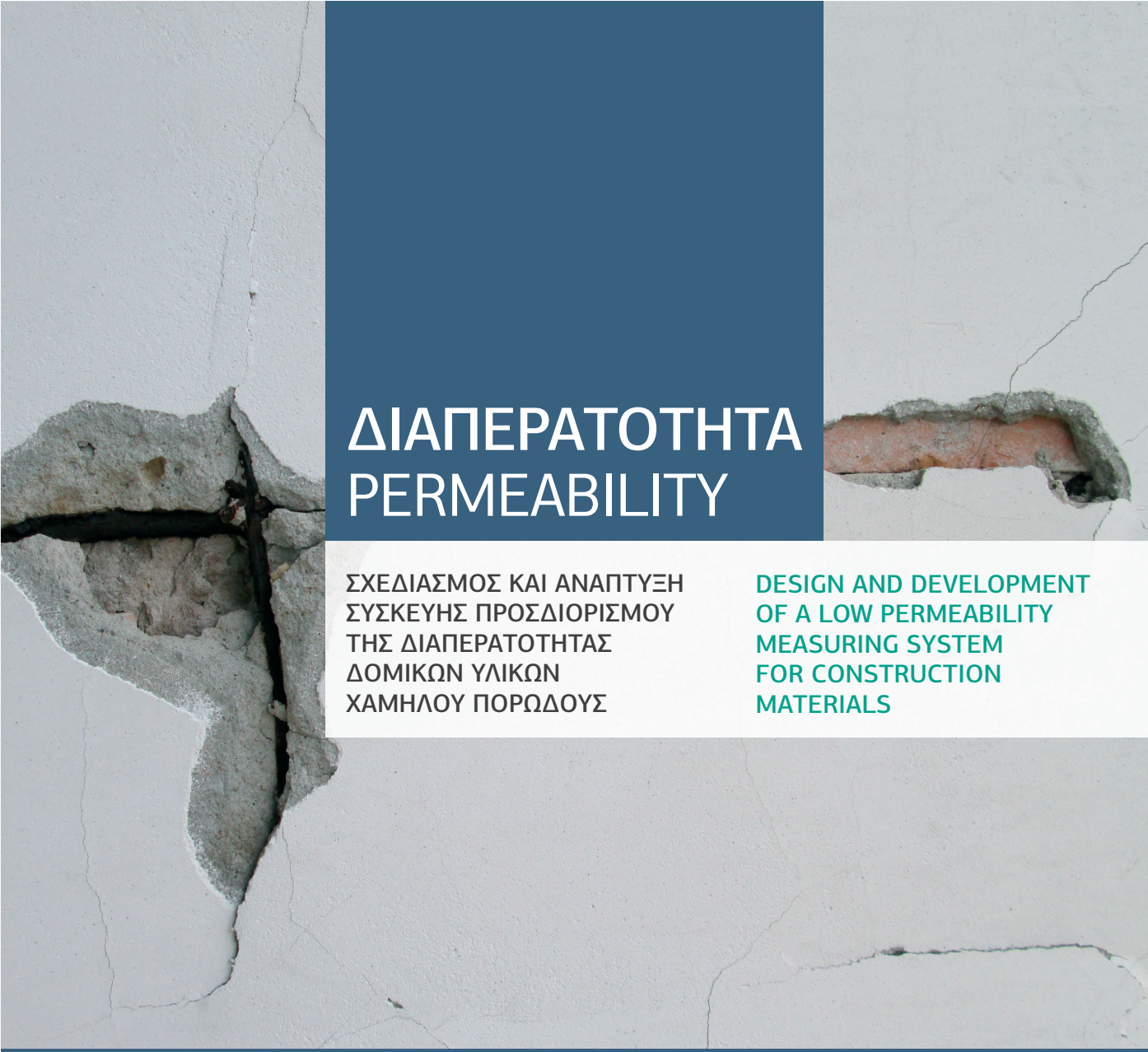




ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ PERMEABILITY

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ
ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ
ΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ
ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
ΧΑΜΗΛΟΥ ΠΟΡΩΔΟΥΣ

DESIGN AND DEVELOPMENT
OF A LOW PERMEABILITY
MEASURING SYSTEM
FOR CONSTRUCTION
MATERIALS

Το ερευνητικό έργο Permeability αφορά την ανάπτυξη ενός νέου τεχνολογικού προϊόντος για τον προσδιορισμό της διαπερατότητας σε δομικά υλικά χαμηλού πορώδους (σχετικά αδιαπέρατων δομικών υλικών). Η διαπερατότητα θεωρείται μια σημαντική παράμετρος για την πρόβλεψη της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος, του οποίου η διάβρωση καθώς και η ενανθράκωση οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στον τρόπο με τον οποίο το νερό διαχέεται στη μικροδομή του υλικού. Η διαπερατότητα είναι μια ιδιότητα, η οποία δύσκολα μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια στο εργαστήριο. Ως εκ τούτου, συνήθως η σύγκριση των σχετικών τιμών γίνεται στα επίπεδα τάξης μεγέθους π.χ. 10^{-n} .

Η καινοτομία του έργου έγκειται στο γεγονός πως καμία τυποποιημένη μέθοδος μέτρησης της διαπερατότητας δεν υπάρχει σήμερα. Επίσης, τα αποτελέσματα από τις πρόσφατες ερευνητικές δραστηριότητες στον τομέα ανά το παγκόσμιο, χαρακτηρίζονται από μεγάλη ανομοιομορφία και χαμηλή επαναληψιμότητα. Η μέθοδος που αναπτύχθηκε δίνει τη δυνατότητα εύρεσης της διαπερατότητας σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα. Η επαναληψιμότητα των μετρήσεων είναι αρκετά βελτιωμένη σε σχέση με άλλες μεθόδους που έχουν διερευνηθεί κατά καιρούς.

Το ερευνητικό έργο με αριθμό πρωτοκόλλου ΠΡΟΪΟΝ/0609/112 συγχρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης και το Ίδρυμα Προώθησης Έρευνας της Κύπρου.

The research project Permeability deals with the development of a new technological device for the determination of the permeability of low porosity (relatively impermeable) building materials, such as concrete, mortar, masonry blocks, etc. Permeability is considered an important parameter for the assessment of the durability of concrete, the deterioration of which is primarily due to the way water is diffused in the microstructure of the material. Permeability is a property that is difficult to measure accurately in the laboratory. As a result the comparison of the relative values is usually done in the range 10^{-n} .

The project innovation lies in the fact that no standardised measuring method exists today. Also, the results of recent research activities around the world are characterised by high heterogeneity and low reproducibility. The method developed enables the determination of permeability in a relatively short time. The repeatability of the measurements is quite improved compared to other methods that have been investigated.

The research project with protocol number PROION/0609/112 is co-financed by the European Regional Development Fund and the Research Promotion Foundation of Cyprus.

Προσδιορισμός διαπερατότητας δομικών υλικών χαμηλού πορώδους

Determination of the permeability of low porosity building materials

Η τεχνολογία η οποία αναπτύχθηκε προσδίδει νέα διάσταση στη διερεύνηση της διαπερατότητας δομικών υλικών. Η διαπερατότητα σχετίζεται άμεσα με τη διάβρωση δομικών υλικών και ιδιαίτερα του οπλισμένου σκυροδέματος. Η μέχρι τώρα διερεύνηση των σχετικών μηχανισμών εστιάζεται σε επιφανειακά φαινόμενα λόγω έλλειψης ικανού εργαστηριακού εξοπλισμού που να δίνει την δυνατότητα διεξόδους διαβρωτικών διαλυμάτων στο βάθος δοκιμίων σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα. Αξιοποιώντας το νέο καινοτόμο τεχνολογικό προϊόν που αναπτύχθηκε, είναι δυνατή η διερεύνηση διεξόδους χλωριόντων, θειικών ιόντων και άλλων χημικών σε βάθος μέχρι και 15-20 cm.

Ο προσδιορισμός της διαπερατότητας τέτοιων υλικών είναι εκ των πραγμάτων πολύ δύσκολος. Η πειραματική διάταξη επιλύει το πρόβλημα καθιστώντας δυνατή την εύρεση της διαπερατότητας και τη συσχέτιση της με τις διαφορετικές τεχνολογίες παρασκευής συμβατικών σκυροδεμάτων και σκυροδεμάτων υψηλής απόδοσης.

Το νέο καινοτόμο τεχνολογικό προϊόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη διερεύνηση άλλων υλικών όπως επιχρίσματα και κονιάματα που εφαρμόζονται σε δομικές επιφάνειες (σκυρόδεμα, τοιχοποιία) με σκοπό την αύξηση της υδαταπωθητικότητας και τη προστασία των επιφανειών από τις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες.

The set-up developed gives a new dimension to the investigation of the permeability of building materials. Permeability is directly related to the weathering of construction materials, including reinforced concrete. To-date the investigation of building material decay focuses on the mechanisms involved in surface phenomena due to the lack of laboratory equipment enabling the in-depth penetration of corrosive solutions in a relatively short time. Utilising the new innovative product developed, it becomes possible to investigate the penetration of chlorides, sulphates and other chemicals to a depth of 15-20 cm.

The determination of the permeability of such materials is in fact very difficult. The experimental device solves the problem, by making it possible to determine the permeability and to correlate it to the different manufacturing technologies employed in conventional as well as in high performance concrete.

The new innovative technological product can be used to investigate other materials such as mortars and coatings applied to structural surfaces (concrete, masonry) to increase moisture resistance and the protection of surfaces under external conditions.

Ανάπτυξη πειραματικής συσκευής με 3 τριαξονικές κυψέλες

Development of an experimental apparatus with 3 triaxial cells

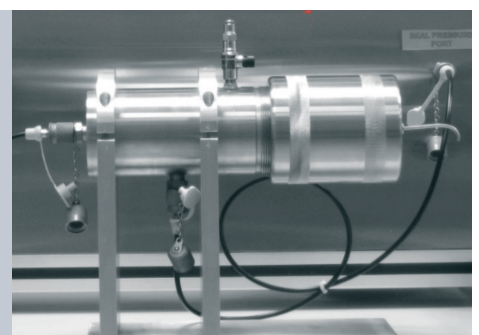
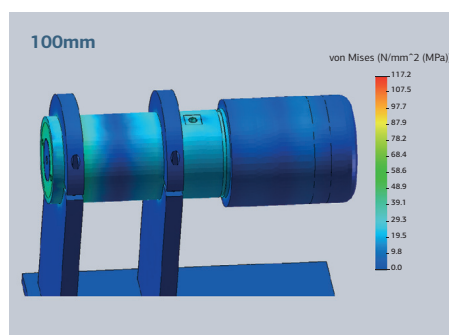
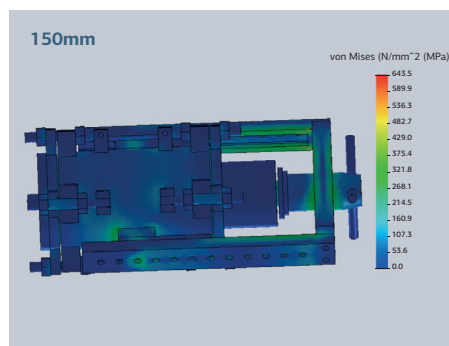
Για τους σκοπούς του έργου σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν 3 τριαξονικές κυψέλες που μπορούν να λειτουργούν είτε ανεξάρτητα είτε παράλληλα στις δοκιμές. Δύο από αυτές επιδέχονται πυρήνες διαμέτρου 150 mm και μια πυρήνα διαμέτρου 100 mm. Το μήκος του θαλάμου (και κατ' επέκταση το μήκος του δοκιμίου) μπορεί να μεταβάλλεται από 50 mm μέχρι 150 mm. Το σύστημα αφαίρεσης του δείγματος στην κυψέλη των 100 mm γίνεται με κοχλία και δακτυλίδια συγκράτησης, ενώ για την κυψέλη των 150 mm, για λόγους εργονομίας αλλά και βάρους, έχουν σχεδιαστεί ειδικοί βραχίονες διπλής συγκράτησης των φλαντζών για εύκολη και ομαλή εισαγωγή-αφαίρεση του δείγματος μέσω περιστροφής. Η κάθε μια από τις τρεις τριαξονικές κυψέλες τροφοδοτείται με υγρό υψηλής πίεσης από αντλίες υγρής χρωματογραφίας.

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών, οι συσκευές υπόκεινται σε υψηλές υδροστατικές πιέσεις οι οποίες καταπονούν τα τοιχώματα και τα εξαρτήματα των συσκευών. Ο πίνακας δείχνει τις αναπαιτούμενες πιέσεις και δυνάμεις στα τοιχώματα των κυψελών 100 mm και 150 mm.

Το σύστημα περιμετρικής συγκράτησης/σφραγίσματος το οποίο διασφαλίζει τη μονοδιάστατη ροή μέσα από το δείγμα, τροφοδοτείται από υδραυλικούς συσσωρευτές αζώτου οι οποίοι επιτρέπουν τη συγκράτηση του δείγματος για εκτεταμένο χρόνο και περιορίζουν την παλμικότητα της επιβαλλόμενης πίεσης. Αισθητήρες πίεσης θερμοκρασίας και ροής καταγράφουν τα δεδομένα και επικοινωνούν με τον ηλεκτρονικό ελεγκτή ο οποίος έχει τη δυνατότητα να παρουσιάζει τα αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο.

Πιέσεις και δυνάμεις Pressures and Forces	Κυψέλη: 100 mm Cell: 100 mm	Κυψέλη: 150 mm Cell: 150 mm
Μέγιστη υδροστατική πίεση δοκιμίου Hydrostatic specimen pressure	12 MPa	12 MPa
Περιβάλλουσα πίεση Perimetric seal pressure	48 MPa	48 MPa
Αξονικές δυνάμεις δοκιμίου Axial specimen pressure	94.2 kN	212 kN
Αξονικές δυνάμεις περιβάλλουσας πίεσης Axial forces due to containing pressure	142.5 kN	600 kN
Ολική αξονική δύναμη Total axial force	236.7 kN	812 kN
Αξονική τάση εξωτερικού κυλίνδρου Axial stress in outer cylinder	36 N/mm ²	54 N/mm ²

πίνακας / table



Πειραματικά αποτελέσματα

Experimental results

For the purpose of the project three triaxial cells which can operate either independently or in parallel were designed and manufactured. Two of these accept specimens 150 mm in diameter, while the other accepts specimens 100 mm in diameter. The length of the test chamber (and thus the length of the specimen) can vary from 50 mm to 150 mm. The sample positioning system, for the 100 mm cell utilises a threaded flange and retaining rings; for the 150 mm cell, a rotating arm retaining the flanges from both sides was designed for reasons of ergonomics and large component weights. Each of the three triaxial cells is fed with high pressure from liquid chromatography pumps.

During the tests, the devices are subject to high hydrostatic pressures which produce stresses and strains in the walls and parts of the system. The table shows the pressures and forces developed in the devices of 150 and 100 mm diameter.

The circumferential restraining/sealing system which ensures uni-dimensional fluid flow through the sample is fed from nitrogen hydraulic accumulators, which allow the containment of the sample for an extended period of time and limit pressure variations. Pressure, temperature and flow sensors, record the data and communicate with the electronic controller, which has the ability to present results in real time.



Στα πλαίσια του ερευνητικού έργου ελέγχθηκαν διάφορες σειρές κορεσμένων δειγμάτων σκυροδεμάτων και τσιμεντοκονιαμάτων με διάμετρο 100 mm & 150 mm και μήκος 50-100 mm, τα οποία παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο Δομικών Υλικών του Πανεπιστημίου Κύπρου. Για τον προσδιορισμό της διαπερατότητας χρησιμοποιήθηκαν δείγματα με διαφορετικές χρονικές περιόδους ωρίμανσης (δηλαδή 28, 56 και 90 ημέρες). Ο υπολογισμός της διαπερατότητας για το κάθε δείγμα έγινε, αφού μετρήθηκε η πίεση ροής (fluid pressure) για διάφορες ταχύτητες ροής (flow rates). Οι μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία γραφικής παράστασης (βλ. τυπικό διάγραμμα 1 για μείγμα σκυροδέματος C6 ωρίμανσης 28 ημερών), η κλίση της οποίας G_{PA} εισάγεται στην εξίσωση του Darcy για τον υπολογισμό της διαπερατότητας K .

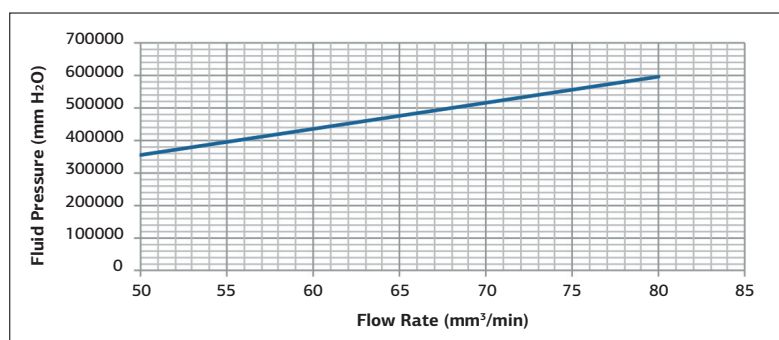
$$K = \frac{QL}{(\Delta P)A} = \frac{L}{G_p A}$$

Στο διάγραμμα 2 παρατηρείται ότι επικρατεί τάση μείωσης της διαπερατότητας με την πάροδο του χρόνου. Αυτό οφείλεται στην ενυδάτωση του σκυροδέματος και στο κλείσιμο των πόρων του, αφού, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, η διαπερατότητα συσχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με τα κενά (πόροι) που δημιουργούνται μεταξύ των αδρανών στο σκυρόδεμα. Το διάγραμμα αφορά 3 δείγματα σκυροδέματος (C1, C3, C5), και ενός τσιμεντοκονιαμάτων (CM3) σε χρονικές περιόδους ωρίμανσης 28, 56 και 90 ημερών.

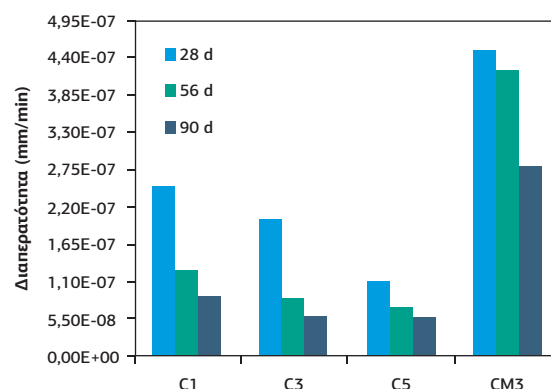
Within the framework of the research project, various series of saturated concrete and mortar samples were tested with diameters of 100 & 150 mm and length 50-100 mm. The samples were prepared in the laboratory of Building Materials of the University of Cyprus. For the determination of the permeability, measurements were taken for different sample curing periods (28, 56 and 90 days). The permeability of each sample was calculated, by measuring the fluid pressure at different flow rates. The measurements were used to generate a graph (see Figure 1 for a typical concrete mix C6 cured for 28 days), the slope of which G_{PA} is inserted into the Darcy equation for the calculation of the permeability K .

$$K = \frac{QL}{(\Delta P)A} = \frac{L}{G_p A}$$

From Figure 2 it can be observed that there is a decrease in the permeability over time. This is due to hydration and the closing of pores. According to the literature, the permeability depends to a large extent on the voids (pores) formed between the aggregates in the concrete. The chart is based on 3 samples of concrete (C1, C3, C5), and a mortar sample (CM3) at curing periods of 28, 56 and 90 days.



διάγραμμα 1 / figure 1



διάγραμμα 2 / figure 2

ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΦΟΡΕΙΣ

PROJECT PARTNERS

Ανάδοχος Φορέας 1
Host Organization 1

www.cnetechnology.com



Το τεχνολογικό κέντρο CNE Technology Ltd ιδρύθηκε το 2000, και έκτοτε έχει καθιερωθεί ως ένα εθνικό κέντρο αριστείας στους τομείς της εφαρμοσμένης έρευνας και των εργαστηριακών υπηρεσιών, της προμήθειας και εγκατάστασης εργαστηριακού εξοπλισμού και της παροχής τεχνικών υπηρεσιών. Τα εργαστήρια του CNE (ιδιόκτητες εγκαταστάσεις 2000m²) λειτουργούν με αυστηρό σύστημα ποιότητας και είναι από τα μοναδικά στην Κύπρο με διαπίστευση κατά ISO/IEC 17025. Η μέχρι σήμερα επένδυση σε σύγχρονο εργαστηριακό εξοπλισμό ξεπερνά τα €2εκ (>300 όργανα & συσκευές). Η συνεχής και στενή επαφή του CNE με τη βιομηχανία και το γεγονός ότι κατανοεί πλήρως τα προβλήματα των εταιρειών, προχωρώντας στην επίλυση τους μέσω της έρευνας & ανάπτυξης πρωτοποριακών προϊόντων και διαδικασιών, το καθιστά ένα από τους σημαντικότερους Ερευνητικούς Φορείς της χώρας, αφού το Μέσω του Τμήματος Εφαρμοσμένης Έρευνας συμμετέχει σε περὶ των 28 Εθνικών Έργων που έχουν υλοποιηθεί ή υλοποιούνται. Επιπλέον το CNE συμμετέχει ενεργά και σε 3 Ευρωπαϊκά έργα (κυρίως για MMEs) ως συντονιστής και βασικός ερευνητικός φορέας. Το προσωπικό αποτελείται από άτομα με υψηλά προσόντα και εμπειρίες με ειδικότητες στη μηχανολογία, σχεδιασμό και κατασκευή πρωτοτύπων συστημάτων και

διαδικασιών, ηλεκτρονικά, ασύρματα δίκτυα, υλικά, δίκτυα αισθητήρων, αναγνώρισης εικόνας κ.λπ.

Established in 2000 in Cyprus, CNE has become a National Center of Excellence in the fields of Testing, Metrology and Research. Its state of the art Laboratories are fully equipped to perform a wide range of testing, product certification and calibration services under a strict quality system, accredited under ISO/IEC 17025 and certified under ISO 9001. The strong academic background of the founders and personnel helped the R&D department to grow rapidly with participation in more than 28 national projects that involve industrial and applied research, mostly oriented towards the development of innovative and technologically advanced prototypes and solutions for its customers. CNE also participates as the main RTD performer and coordinator in 3 European FP7 projects. CNE's personnel is highly qualified specializing in fields like mechanical engineering, electronics/electrical, metallurgy, computational rheology, polymers processing, economics, etc. and their contribution, when needed, will ensure the successful implementation of the project.

Συνεργαζόμενος Φορέας 1
Partner 1

www.ucy.ac.cy/BML



Το Πανεπιστήμιο Κύπρου αποτελεί το μεγαλύτερο και πλέον αναγνωρισμένο εκπαιδευτικό και ερευνητικό ίδρυμα του νησιού. Το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος, το οποίο συμμετέχει ως Συνεργαζόμενος Φορέας στο έργο, είναι ένα από τα τέσσερα τμήματα της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Κύπρου. Στόχος του Τμήματος είναι η ποιοτική συνεργασία μεταξύ ακαδημαϊκών, φοιτητών, βιομηχανίας, ερευνητικών και κοινωνικών οργανισμών σε παραδοσιακούς τομείς της Πολιτικής Μηχανικής (κατασκευές, δομικά υλικά κ.ά.), καθώς και σε περιβαλλοντικά θέματα. Το Τμήμα διαθέτει την απαραίτητη υλικοτεχνική και άλλη υποστηρικτική υποδομή για την υλοποίηση και ανάπτυξη εργαστηριακής έρευνας. Συγκεκριμένα, τα Εργαστήρια Λήδρα και Δομικών Υλικών του Τμήματος είναι πλήρως εξοπλισμένα με μηχανήματα που συνάδουν με τις Ευρωπαϊκές προδιαγραφές και πρότυπα. Διαθέτουν όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό για την προετοιμασία και συντήρηση δοκιμών σκυροδέματος, καθώς επίσης και για τον προσδιορισμό των φυσικο-

μηχανικών χαρακτηριστικών του. Επιπλέον, διαθέτουν μη καταστρεπτικό και αναλυτικό (XRF, XRD, SEM, κ.λπ.) εξοπλισμό.

The Building Materials Laboratory (BML) of the Department of Civil and Environmental Engineering of the University of Cyprus (UCY) supports the research and teaching activities of departmental faculty members and students in the field of building materials. Its activities cover the whole spectrum of materials, starting from traditional and extending to modern ones. The Laboratory is fully equipped to EN standards. Besides being used for teaching and research, it also serves the local industry by providing a range of consulting services. The laboratory has attracted significant research funding over the past few years both from national, but also from international funding agencies (as well as from the University of Cyprus). Moreover, non-funded research activities also take place in the premises of the BML.

Συνεργαζόμενος Φορέας 2
Partner 2

research.frederick.ac.cy



Το Ερευνητικό Κέντρο Frederick (FRC) είναι ένας από τους κορυφαίους μη κερδοσκοπικούς ερευνητικούς οργανισμούς στην Κύπρο. Ιδρύθηκε το 1995, ώστε να θέσει τις βάσεις για την ανάπτυξη των δραστηριοτήτων επιστημονικής έρευνας Κυπρίων και ξένων επιστημόνων. Εκ των κύριων στόχων του FRC είναι:

- η προαγωγή της επιστημονικής έρευνας και η διεξαγωγή έργων βασικής και εφαρμοσμένης έρευνας σε διάφορους τομείς
- η δημιουργία συνεργασιών με άλλα εθνικά και διεθνή ερευνητικά κέντρα και πανεπιστήμια για την εκτέλεση του ερευνητικού έργου.

Το FRC αξιοποιεί εξειδικευμένο ακαδημαϊκό/ερευνητικό προσωπικό με πολυετή εμπειρία στην υλοποίηση ανεξάρτητης έρευνας υψηλού επιπέδου. Μέσω του FRC έχουν υλοποιηθεί πολλά ερευνητικά έργα τα αποτελέσματά των οποίων έχουν παρουσιαστεί σε διεθνή επιστημονικά συνέδρια, ή έχουν αξιοποιηθεί από εταιρείες, συμβάλλοντας έτσι στη διάδοση της γνώσης και στη μεταφορά της τεχνολογίας. Για την υλοποίηση των στόχων του, το FRC διαθέτει σύγχρονη εργαστηριακή υποδομή και βιβλιοθήκη.

Frederick Research Center (FRC) is a leading research non-profit organization in Cyprus. It was established in 1995 in order to create a solid foundation for the development of scientific research activities of Cypriot and foreign scientists. Among FRC's main goals are:

- to promote scientific research and conduct research of basic and applied nature in various domains
- to establish collaborations with other national and international research Centers and universities for the execution of research work.

FRC engages highly qualified academic/research staff with long experience in implementing independent and high caliber research. Numerous research projects have been carried out through FRC and their results have been presented in international scientific conferences, or used by companies contributing to knowledge dissemination and technology transfer. To facilitate this, FRC has a modern contemporary lab infrastructure and a Library.

Το Έργο συγχρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης της ΕΕ
Μέσω του Προγράμματος
ΠΡΟΪΟΝ/0609/112 του ΙΠΕ



Ίδρυμα
Πρωτόκλησης
Έρευνας



ΚΥΠΡΙΑΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ



ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ



ΔΙΑΦΟΡΩΤΙΚΑ ΤΑΜΕΙΑ
της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην Κύπρο
οι ιδέες μας, πράξη και ανάπτυξη