



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
Σχολή Χημικών Μηχανικών και
Μηχανικών Περιβάλλοντος

**ΜΕΛΕΤΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ
ΤΗΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ
& ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΑ ΥΛΙΚΑ
ΣΤΟ ΝΗΣΙ ΤΗΣ ΓΑΥΔΟΥ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ
Ντέιβιντ Σνάιντερς**

ΧΑΝΙΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ, 2022

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
Σχολή Χημικών Μηχανικών και
Μηχανικών Περιβάλλοντος

**ΜΕΛΕΤΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ
ΤΗΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ
& ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΑ ΥΛΙΚΑ
ΣΤΟ ΝΗΣΙ ΤΗΣ ΓΑΥΔΟΥ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ
Ντέιβιντ Σνάιντερς**

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Θεοχάρης Τσούτσος (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

Μαρία Μανδαλάκη

Διονυσία Κολοκοτσά

Περίληψη

Οι συμβατικές τεχνολογίες δόμησης έχουν ως αποτέλεσμα ο τομέας να είναι υπεύθυνος για το 40% της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης και το 33% των εκπομπών CO₂. Η παρούσα έρευνα εξετάζει τη βιωσιμότητα της φυσικής δόμησης ως εναλλακτική στρατηγική. Κυριότεροι λόγοι ένταξης των υλικών φυτικής και ζωικής προέλευσης στις κατασκευές αποτελούν η δέσμευση C και η περιορισμένη επεξεργασία που υφίστανται με αποτέλεσμα την μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και της ενσωματωμένης ενέργειας του σταδίου κατασκευής των κτηρίων. Παράλληλα οι θερμικές και υδροθερμικές ιδιότητες των φυτικών υλικών επιτρέπουν την διασφάλιση της θερμικής άνεσης των διαμενόντων. Η βιωσιμότητα της ένταξης των φυσικών υλικών στα κτήρια εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της περιοχής ανέγερσης. Χαρακτηριστικά από την εξέταση εναλλακτικών περιπτώσεων παρατηρείται ότι σε αστικές περιοχές προτείνεται η ένταξη φυσικών στοιχείων σε συνδυασμό με τη χρήση συμβατικών τεχνικών δόμησης λόγω των περιορισμών στις διαστάσεις των φυσικών κατασκευών και της περιορισμένης διαθεσιμότητας των πρώτων υλών στις πόλεις. Αντιθέτως, λόγω της προσβασιμότητας των τεχνικών, του χαμηλού κόστους και χρόνου κατασκευής και της χαμηλής τοξικότητας των πρώτων υλών, η ανέγερση κατασκευών από φυσικά υλικά προτείνεται σε αγροτικές/αραιοκατοικημένες περιοχές και στο πλαίσιο εναλλακτικών μορφών ανάπτυξης περιοχών ιδιαίτερου φυσικού κάλλους και οικοχωριών. Στην περίπτωση της Γαύδου μελετήθηκε πρόταση τοποθέτησης φυσικών κατασκευών στην περιοχή των οικοτόπων για την διαχείριση τουριστικής δραστηριότητας του νησιού. Αναλυτικότερα αξιολογήθηκαν βιβλιογραφικά οι επιπτώσεις της τουριστικής δραστηριότητας στους οικοτόπους του νησιού, οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η βιωσιμότητα της τοποθέτησης φυσικών κατασκευών στην περιοχή και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μοντελοποίηση προτεινόμενου καταλύματος και υπολογισμός του ενεργειακού και περιβαλλοντικού αποτυπώματος των σταδίων παραγωγής και λειτουργίας με τη μέθοδο LCA. Τέλος, συγκριθήκαν εναλλακτικά σχεδιαστικά χαρακτηριστικά προκειμένου να γίνει πρόταση βελτιστοποίησης της θερμικής απόδοσης της κατασκευής. Στη μελέτη παρουσιάζεται η δυνατότητα ανέγερσης αυτόνομης κατασκευής, εντός των οικοτόπων της Γαύδου, με αρνητικό αποτύπωμα C και περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά το στάδιο της παραγωγής.

Abstract

The use of conventional technologies in construction has resulted in the industry being responsible for 40% of the global energy consumption and 33% of CO₂ emissions. This research aims to evaluate the sustainability of using natural materials as part of an alternative building strategy. The integration of bio-based renewable materials in construction leads to the reduction of the C Footprint and embodied energy of the buildings' production phase, due to the sequestration of C and the limited processing they undergo. Furthermore, the thermal and hydrothermal properties of plant-based materials make it possible to ensure the occupants' comfort through passive environmental control. A number of case studies have shown that in urban areas natural materials should be used in conjunction with conventional building materials due to the dimensional constraints of natural structures and the limited availability of raw materials. Due to the accessibility of the techniques, the low cost and short construction time and the low toxicity of the raw materials, the construction of 100% natural buildings is recommended for cases such as development in rural areas as well as part of sustainable development plans in areas of outstanding natural beauty and ecovillages. The case study of Gavdos focuses on assessing the sustainability of building natural constructions in the Natura 2000 area to assist with the islands' tourist activity management. In order to complete the assessment, the study identifies the drivers that factor into the sustainability of the placement of natural structures in the area and performs a simplified LCA on a proposed dwelling. Finally, alternative design features are compared in order to optimize the thermal performance of the structure. The study aims to prove the feasibility of erecting an autonomous dwelling, within Gavdos' protected area, with a C negative production stage and limited environmental impact during its life cycle.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Η ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ	15
2.1 Χαρακτηρίστηκα παραδείγματα τεχνικών φυσικής δόμησης.....	16
2.2 Ιδιότητες φυσικών δομικών υλικών	19
2.2.1 Δέσμευση C	19
2.2.2 Θερμικές ιδιότητες.....	20
2.2.3 Υδροθερμική απόδοση.....	25
2.2.4 Τοξικότητα.....	25
2.2.5 Ηχομόνωση	25
2.2.6 Ευφλεκτότητα.....	25
2.2.7 Βιοφιλία.....	25
2.3 Δείκτες βιωσιμότητας της φυσική δόμησης	26
2.3.1 Κλιματικά χαρακτηριστικά περιοχής	26
2.3.2 Κυβερνητική πολιτική	26
2.3.3 Δομικοί κώδικες.....	26
2.3.4 Ταχύτητα ανέγερσης κατασκευής	26
2.3.5 Διαθεσιμότητα πρώτων υλών.....	27
2.3.6 Διαθεσιμότητα εξειδικευμένου προσωπικού	27
2.3.7 Ανταγωνισμός.....	27
2.3.8 Προσαρμοστικότητα κατασκευαστικής βιομηχανίας.....	27
2.3.9 Κόστος.....	27
2.3.10 Κοινή γνώμη.....	27
2.4 Βιωσιμότητα φυσικής δόμησης σε αναπτυσσόμενες χώρες της Αφρικής ..	28
2.4.1 Οικονομικά πλεονεκτήματα φυσικής δόμησης.....	28
2.4.2 Ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα φυσικών κατασκευών	29
2.4.3 Ανασταλτικοί παράγοντες για την εφαρμογή της φυσικής δόμησης στις χώρες της Αφρικής	33
2.4.4 Το παράδειγμα της Βόρειας Νιγηρίας.....	33
2.5 Βιωσιμότητα της φυσικής δόμησης σε αστικό περιβάλλον ανεπτυγμένων Ευρωπαϊκών χωρών	36
2.5.1 Ανασταλτικοί παράγοντες στην εφαρμογή της φυσικής δόμησης σε αστικό περιβάλλον ανεπτυγμένων χωρών	36

2.5.2 Παραδείγματα εφαρμογών δόμησης με φυσικά υλικά σε αστικό περιβάλλον	36
2.6 Εφαρμογές φυσικής δόμησης σε οικοχωριά	43
2.6.1 Παραδείγματα βιώσιμης περιβαλλοντικής και ενεργειακής διαχείρισης οικοχωριών και η συμβολή της φυσικής δόμησης	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΚΤΗΡΙΩΝ ΜΕ LCA.....	49
3.1 Ανάλυση κύκλου ενέργειας (LCEA) κτηρίων.....	50
3.1.1 Εισροές ενέργειας στα στάδια ζωής ενός κτηρίου	51
3.1.2 Απλοποιημένη μέθοδος LCA/LCEA.....	53
3.2 Αξιολόγηση ενεργειακής απόδοσης κτηρίων	54
3.2.1 Ενεργειακή αξιολόγηση με Computer-aided analysis	55
3.2.2 Στάδια διεξαγωγής ενεργειακής προσομοίωσης κτηρίου	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΦΥΣΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΤΟΥΡΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΓΑΥΔΟΥ.....	57
4.1 Το νησί της Γαύδου	57
4.2 Χαρακτηριστικά τουριστικής δραστηριότητας στο νησί της Γαύδου	57
4.2.1 Χαρακτηριστικά τουριστικής δραστηριότητας οικοτόπων.....	58
4.3 Ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα τουριστικής δραστηριότητας στο νησί της Γαύδου.....	59
4.3.1 Ενεργειακό αποτύπωμα της Γαύδου	59
4.3.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις του τουρισμού στο νησί της Γαύδου	60
4.4 Υπάρχουσες προτάσεις για την διασφάλιση βιώσιμου τουρισμού στο νησί της Γαύδου.....	67
4.4.1 Προτάσεις διαχείρισης του ενεργειακού αποτυπώματος της Γαύδου.....	67
4.4.2 Υπάρχουσες προτάσεις για την περιβαλλοντική διαχείριση των οικοτόπων της Γαύδου	68
4.5 Βιωσιμότητα φυσικής δόμησης ως εργαλείο τουριστικής ανάπτυξης στη Γαύδο	69
4.5.1 Προοριζόμενες λειτουργίες φυσικών κατασκευών	69
4.5.2 Στόχοι της λειτουργίας των κατασκευών.....	70
4.5.3 Κριτήρια επιλογής της στρατηγική της φυσικής δόμησης.....	71
4.5.4 Ανασταλτικοί παράγοντες.....	72
4.5.5 Σύνοψη κυριότερων προτρεπτικών και ανασταλτικών παραγόντων	73
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SIMPLIFIED LCEA	74
5.1 Παρουσίαση προτεινόμενης κατασκευής.....	74
5.2 Μοντελοποίηση σταδίων Παραγωγής και Λειτουργίας.....	76

5.3	Παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη και τη μοντελοποίηση.....	77
5.3.1	Κλιματικά Χαρακτηριστικά	77
5.3.2	Σκιάσεις	78
5.3.3	Θερμικές ζώνες κατασκευής.....	79
5.3.4	Χαρακτηριστικά λειτουργίας της κατασκευής	79
5.4	Αναλυτικά στοιχεία κελύφους κατασκευής (Scenario 1).....	82
5.5	Αξιολόγηση ενεργειακού και περιβαλλοντικού αποτυπώματος των υλικών κατασκευής.....	85
5.6	Εναλλακτικά σενάρια κατασκευής	86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑΛΥΜΑΤΟΣ		89
6.1	Παρουσίαση ενεργειακού και περιβαλλοντικού αποτυπώματος κατασκευής (scenario 1)	89
6.2	Παρουσίαση αποτελεσμάτων για εναλλακτικά σενάρια κατασκευής.....	92
6.3	Συνολικό ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα σταδίων παραγωγής και λειτουργίας για κάθε εναλλακτικό σενάριο	98
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΣΥΖΗΤΗΣΗ		100
7.1	Ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα σταδίων παραγωγής και λειτουργίας κατασκευής (scenario 1).....	100
7.1.1	Εσωτερικές συνθήκες και ιδεατά φορτία θέρμανσης/ψύξης	100
7.2	Σύγκριση εναλλακτικών σεναρίων κατασκευής.....	101
7.2.1	Μεταβολή περιβαλλοντικού αποτυπώματος	101
7.2.2	Μεταβολή ενεργειακού αποτυπώματος	101
7.2.3	Επιλογή βέλτιστων χαρακτηριστικών κατασκευής	102
7.3	Μεθοδολογικές αδυναμίες	103
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		104
ΒΙΒΛΙΟΦΡΑΦΙΑ.....		107
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....		117

Κατάλογος Πινάκων

Table 2.1: Στοιχειομετρία φωτοσύνθεσης.....	19
Table 2.2: Παραδείγματα ενσωματωμένης ενέργειας και δέσμευσης CO ₂ δομικών υλικών (Lawrence, 2015).....	20
Table 2.3: Θερμικές ιδιότητες πηλού και σκυροδέματος (TOTEE 20701.2:2010)	23
Table 2.4: Θερμικές ιδιότητες θερμομονωτικών υλικών (TOTEE 20701.2:2010)	24
Table 2.5: Σύγκριση θερμικών μεταβλητών φυσικών υλικών σε σύγκριση με συμβατικά δομικά υλικά (Adegun & Adedeji, 2017)	30
Table 2.6: Σύγκριση ιδιοτήτων CSSB με συμβατικά υλικά (Jarju, 2019).....	31
Table 2.7: Σύγκριση εκπομπών CO ₂ , ISSB Vs. τσιμέντο (Kintingu,2009, as cited in Adegun & Adedeji, 2017)	32
Table 2.8: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών CO ₂ κατά την παράγωγή αργιλικών δομικών υλικών σε σύγκριση με συμβατικά δομικά υλικά. (Adegun & Adedeji, 2017)	32
Table 2.9: Ιδιότητες και χρήσεις υλικών (Muazu & Alibaba, 2017).....	34
Table 2.10: Προτρεπτικοί και αποτρεπτικοί παράγοντες για την χρήση φυσικών υλικών στις κατασκευές με φθίνουσα κατάταξη source: (Muazu & Alibaba, 2017)	35
Table 2.11: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας του Cheshire Oaks, Marks & Spenser με τα κτήρια αναφοράς από Faithful & Gould- Nov 2012 to Oct 2013 (Lawrence,2015).....	41
 Table 3.1: Στάδια του κύκλου ζωής των κτηρίων που λαμβάνονται υπόψη στην απλοποιημένη μέθοδο LCA (Zabalza Bribián et al., 2009)	 54
 Table 4.1: Μέση μηνιαία κατανάλωση και κόστος παραγωγής ενέργειας του θερμοηλεκτρικού σταθμού για το νησί της Γαύδου (Katsoulakos, 2019).....	 59
Table 4.2: Προτεινόμενες εναλλακτικές πηγές ενέργειας για το νησί της Γαύδου και οι προοριζόμενες εφαρμογές τους (Vourdoubas et al., 2010)	68
Table 4.3: Προτρεπτικοί και ανασταλτικοί παράγοντες για την τοποθέτηση καταλυμάτων στους οικοτόπους της Γαύδου.....	73
 Table 5.1: Καθοριζόμενες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας εσωτερικών χώρων για τον υπολογισμό θερμικής απόδοσης της κατασκευής (T.O.T.E.E. 20701-1/2010).....	 77
Table 5.2: Νομοί της Ελλάδας που ανήκουν στην Α Κλιματική Ζώνη (T.O.T.E.E. 20701-1/2010)	77
Table 5.3: Διαστάσεις επιφανειών θερμικής ζώνης	79
Table 5.4: Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά καταλύματος	80
Table 5.5: Τυπικές ενεργειακές καταναλώσεις ηλεκτρικών συσκευών καταλύματος.....	80
Table 5.6: Ελκυσόμενη θερμότητα και συντελεστής παρουσίας διαμενόντων (T.O.T.E.E. 20701-1/2010).....	80
Table 5.7: Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού συστήματος	80
Table 5.8: Ετήσιο ποσοστό αξιοποίησης της σχεδιασμένης ισχύος των ηλεκτρικών συσκευών της κατασκευής για κάθε ώρα της ημέρας	81

Table 5.9: Ετήσιο ποσοστό αξιοποίησης της σχεδιασμένης ισχύος των συσκευών φωτισμού της κατασκευής για κάθε ώρα της ημέρας.....	81
Table 5.10: Μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων κατασκευών στην θερμική ζώνη Α(Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010).....	82
Table 5. 11: Αεροστεγανότητα κατασκευής	82
Table 5.12: Στρώσεις και θερμικές ιδιότητες υλικών της εξωτερικής τοιχοποιίας κτηρίου	82
Table 5.13: Στρώσεις και θερμικές ιδιότητες υλικών του δαπέδου του κτηρίου	83
Table 5.14: Στρώσεις και θερμικές ιδιότητες υλικών της οροφής του κτηρίου	83
Table 5.15: Στρώσεις και θερμικές ιδιότητες υλικών των εξωτερικών παραθύρων της κατασκευής-Triple glazing system (WINDOW 7, 2019)	84
Table 5.16: Θερμικές ιδιότητες εξωτερικής πόρτας	84
Table 5.17: Εξεταζόμενες μεταβλητές για την αξιολόγηση του περιβαλλοντικού και ενεργειακού αποτύπωμα του παραγωγικού σταδίου της κατασκευής- <i>Ecoinvent</i> 3.2.	85
Table 5.18: Εναλλακτικές εξεταζόμενες πυκνότητες τοιχοποιίας light clay.....	86
Table 5.19: Απαιτούμενη παραγόμενη ποσότητα light clay για πλάτος διατομής W=38cm	87
Table 5.20: Εναλλακτικά εξεταζόμενα πάχη διατομής	87
Table 5. 21: Απαιτούμενη παραγόμενη ποσότητα light clay πυκνότητας P=241 kgm³ ..	87
Table 5.22: Εναλλακτικά πάχη θερμομόνωσης οροφής	87
Table 5.23: Εναλλακτικά σενάρια ξήρανσης απαιτούμενης ποσότητας φυκιών θαλάσσης	88
Table 5.24: Μεταβαλλόμενα χαρακτηριστικά κατασκευής	88

Table 6.1: Περιβαλλοντικό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής κατασκευαστικών υλικών - Scenario 1	89
Table 6.2: Ενεργειακό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής κατασκευαστικών υλικών - Scenario 1	90
Table 6.3: Περιβαλλοντικό αποτύπωμα σταδίου λειτουργίας κατασκευής - Scenario 1 ...	90
Table 6.4: Ενεργειακό αποτύπωμα σταδίου λειτουργίας κατασκευής - Scenario 1	90
Table 6.5: Ώρες ετησίως για κάθε εύρος εσωτερικών θερμοκρασιών της κατασκευής(hr)- scenario 1	91
Table 6.6: Ώρες ετησίως για κάθε εύρος σχετικής υγρασίας στην κατασκευή (hr), scenario 1	91
Table 6.7: Ιδεατά φορτία θέρμανσης και ψύξης για την διασφάλιση των επιθυμητών εσωτερικών συνθηκών scenario 1	91
Table 6.8: Ιδεατά φορτία θέρμανσης και ψύξης για την διασφάλιση εσωτερικής θερμοκρασίας εντός επιθυμητών ορίων - scenario 1	91
Table 6.9: Ώρες ετησίως για κάθε εύρος σχετικής υγρασίας στην κατασκευή (hr), scenario 1 μετά από έλεγχο εσωτερικής θερμοκρασίας.....	91
Table 6.10: Περιβαλλοντικό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής κατασκευαστικών υλικών για εναλλακτικές πυκνότητες ελαφρού πηλού	92
Table 6.11: Περιβαλλοντικό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής κατασκευαστικών υλικών για εναλλακτικές πυκνότητες ελαφρού πηλού	92
Table 6.12: Ώρες ετησίως για κάθε εύρος εσωτερικών θερμοκρασιών για εναλλακτικές πυκνότητες της τοιχοποιίας της κατασκευής (hr)	93

Table 6.13: Ώρες ετησίως για κάθε εύρος σχετικής υγρασίας για εναλλακτικές πυκνότητες της τοιχοποιίας της κατασκευής (hr).....	93
Table 6.14: Ιδεατά φορτία θέρμανσης και ψύξης για την διασφάλιση των επιθυμητών εσωτερικών συνθηκών για εναλλακτικές πυκνότητες τοιχοποιίας.....	93
Table 6.15: Περιβαλλοντικό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής κατασκευαστικών υλικών για εναλλακτικά πλάτη διατομής τοιχοποιίας	94
Table 6.16: Ενεργειακό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής κατασκευαστικών υλικών για εναλλακτικά πλάτη διατομής τοιχοποιίας.....	94
Table 6.17: Ώρες ετησίως για κάθε εύρος εσωτερικών θερμοκρασιών για εναλλακτικά πάχη της τοιχοποιίας της κατασκευής (hr).....	95
Table 6.18: Ώρες ετησίως για κάθε εύρος σχετικής υγρασίας για εναλλακτικά πάχη της τοιχοποιίας της κατασκευής (hr).....	95
Table 6.19: Ιδεατά φορτία θέρμανσης και ψύξης για την διασφάλιση των επιθυμητών εσωτερικών συνθηκών για εναλλακτικά πάχη διατομής της τοιχοποιίας.....	95
Table 6.20: Περιβαλλοντικό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής κατασκευαστικών υλικών για εναλλακτικά πάχη θερμικής μόνωσης της οροφής.....	96
Table 6.21: Ενεργειακό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής κατασκευαστικών υλικών για εναλλακτικά πάχη θερμικής μόνωσης της οροφής	96
Table 6.22: Ώρες ετησίως για κάθε εύρος εσωτερικών θερμοκρασιών για εναλλακτικά πάχη θερμικής μόνωσης της οροφής (hr).....	97
Table 6.23: Ώρες ετησίως για κάθε εύρος σχετικής υγρασίας για εναλλακτικά πάχη θερμικής μόνωσης οροφής (hr).....	97
Table 6.24: Ιδεατά φορτία θέρμανσης και ψύξης για την διασφάλιση των επιθυμητών εσωτερικών συνθηκών για εναλλακτικά πάχη θερμικής μόνωσης της οροφής	97
Table 6.25: Περιβαλλοντικό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής και λειτουργίας για κάθε εναλλακτικό σενάριο	98
Table 6. 26: Ενεργειακό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής και λειτουργίας για κάθε εναλλακτικό σενάριο	99
Table A.1: Περιβαλλοντικό αποτύπωμα εναλλακτικών στοιχείων κατασκευής.....	117
Table A.2: Περιβαλλοντικό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής για κάθε εναλλακτικό σενάριο	118
Table A.3: Ενεργειακό αποτύπωμα εναλλακτικών στοιχείων κατασκευής	119
Table A.4: Ενεργειακό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής για κάθε εναλλακτικό σενάριο κατασκευής.....	120
Table A.5: Ιδεατά φορτία θέρμανσης και ψύξης για κάθε εναλλακτικό σενάριο κατασκευής	120

Κατάλογος Διαγραμμάτων και Εικόνων

Figure 2.1: Παράδειγμα κατασκευής με δέματα άχυρου να παραλαμβάνουν το φορτίο (Drozd et al., 2019)	16
Figure 2.2: Παράδειγμα κατασκευής αχυρόμπαλων με ξύλινο σκελετό (Drozd et al., 2019)	17
Figure 2.3: Δεμάτια ελαφρού πηλού και μέθοδος τοποθέτησης τους (Drozd et al., 2019)	18
Figure 2.4: Σύγκριση κόστους κατασκευής για διαφορετικά δομικά υλικά σε κατοικία 70m ² με τοίχο πάχους 150mm στο Σουδάν (Kalra & Bonne, 2012, as cited in Adegun & Adedeji, 2017)	29
Figure 2.5: Παραδείγματα κατασκευών με ξύλο ως δομικό στοιχείο στην Β.Νιγηρία (Muazu & Alibaba, 2017)	34
Figure 2.6 A and B: (A) Στάδιο κατασκευής BaleHaus (B) Πάνελ τοιχοποιίας BaleHaus (Meinhold, 2010)	37
Figure 2.7 A and B: BaleHaus στο στάδιο της κατασκευής (A) και μετά την ολοκλήρωση (B) ("ModCell :: BaleHaus at Bath", n.d.).....	37
Figure 2.8 A and B: Φωτογραφίες του εξωτερικού και εσωτερικού χώρου του M&S Cheshire Oaks ("M&S Cheshire Oaks Store", n.d.; "Inspirational timber case studies", n.d.)	39
Figure 2.9 A and B: Παράδειγμα κατασκευής στο οικοχωριό Findhorn ("Ecovillage Findhorn", n.d.)	44
Figure 2.10: Παράδειγμα κατασκευής στην κοινότητα Lotan (Kibbutz Lotan - Center for Creative Ecology, n.d.).....	45
Figure 2.11: Κατασκευή από cob στο Dancing Rabbit Ecovillage ("Gobcobatron Dancing Rabbit Ecovillage", n.d.)	47
 Figure 3.1: LCA σύμφωνα με ISO 14040 (Cabeza et al., 2014)	49
Figure 3.2: Κύκλος ενέργειας κτηρίου, adapted from (Cabeza et al., 2014; Zabalza Bribián et al., 2009).....	50
Figure 3.3: Σχέση κατανάλωσης ενέργειας με ενέργεια κύκλου ζωής σε 73 εξεταζόμενα κτήρια (Ramesh et al., 2010)	53
 Figure 4.1: Χωρική κατανομή και είδος απορριμμάτων στο Σαρακήνικο (Kazakis et al,2010).....	64
Figure 4.2: Χωρική κατανομή και είδος απορριμμάτων στον Άγιο Ιωάννη (Kazakis et al,2010).....	65
Figure 4.3 A and B: Φωτογραφίες καταλύματος στο δάσος του Λαβρακά	67

Figure 5.1 A, B and C: Τομές, όψεις και κάτοψη προτεινόμενου μοντέλου κατασκευής...	74
Figure 5.2 A and B: Τρισδιάστατη απεικόνιση μοντέλου κατασκευής	75
Figure 5.3 A and B: Φωτογραφίες κέδρων των οικογενειών A) <i>Juniperus oxycedrus</i> spp. <i>Macrocarpa</i> και B) <i>Juniperus phoenicea</i> (Ρεμούνδου et al., 2013)	78
Figure 5.4 A and B: Απεικόνιση σκιάσεων στο μοντέλο της κατασκευής	78
Figure 5.5 A and B: A)Απεικόνιση θερμικής ζώνης της κατασκευής και B) απεικόνιση ορίων επάφης των επιφανειών με το εξωτερικό περιβάλλον	79

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εντατικοποίηση της αστικοποίησης και βιομηχανοποίησης, που παρουσιάζεται τους τελευταίους αιώνες, έχει οδηγήσει στην συνεχόμενη αύξηση των παγκόσμιων ενεργειακών απαιτήσεων και στην εξάρτηση της ανθρωπότητας από την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων. Άμεσες συνέπειες της αυξανόμενης χρήσης συμβατικών μορφών ενέργειας αποτελούν, η περιβαλλοντική ρύπανση και η επιτάχυνση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής μέσω της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου (Greenhouse gases – GHG), όπως CO₂, CFC, SO₂ και NO_x (Akpan & Akpan, 2012).

Υπολογίζεται ότι έως το τέλος του 21^{ου} αιώνα, σε περίπτωση διατήρησης ή αύξησης των σημερινών επιπέδων εκπομπής GHG, η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας του πλανήτη θα έχει παρουσιάσει αύξηση 4°C σε σύγκριση με αυτήν κατά την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης (Huaman & Jun, 2014), με τη μέγιστη ασφαλή αύξηση της θερμοκρασίας να υπολογίζεται ως αυτή των 2°C (Coley et al., 2012). Μία τέτοια αύξηση θα έχει σαν αποτέλεσμα καταστροφικές επιπτώσεις σε μια σειρά από τομείς δραστηριοποίησης (όπως της γεωργίας), ενώ παράλληλα θα οδηγήσει στην εξάντληση των αποθεμάτων νερού και την άνοδο της στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας (Huaman & Jun, 2014).

Η παρούσα μελέτη εστιάζει στο ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα του τομέα της δόμησης, ο οποίος θεωρείται ένας από τους κυριότερους τομείς κατανάλωσης ενέργειας παγκοσμίως. Αναλυτικότερα το 40% της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης ωφειλεται στον τομέα της δόμησης, με τις κατοικίες να αποτελούν το πιο ενεργοβόρο τμήμα του τομέα αντιπροσωπεύοντας το 27% της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης (Nejat et al., 2015).

Κατά την περίοδο 2000 έως 2011 η παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση των κτηρίων (εμπορικών και κατοικιών) παρουσίασε αύξηση 14%, η οποία δικαιολογείται από την οικονομική ανάπτυξη και αστικοποίηση των αναπτυσσόμενων χώρων. Οι ενεργειακές απαιτήσεις του τομέα της δόμησης παρουσιάζουν μέση ετήσια αύξηση κατά 1.8% και εκτιμάται πως οι ενεργειακές του απαιτήσεις από 116.8 EJ το 2010, θα ξεπεράσουν τα 184.2 EJ το 2050 (Nejat et al., 2015).

Αποτέλεσμα της κατανάλωσης ενέργειας του τομέα της δόμησης είναι εκπομπή 8.1 Gt CO₂ ετησίως, μέγεθος που αντιστοιχεί στο 33% των εκπομπών παγκοσμίως. Σύμφωνα με το IEA (International Energy Agency), σε σενάριο μη λήψης διορθωτικών μέτρων, προβλέπεται ότι το 2050 οι εκπομπές CO₂ παγκοσμίως θα ισούνται με 15.2 Gt ετησίως. Σημειώνεται, όμως, πως παράλληλα υπάρχει η δυνατότητα μείωσης των εκπομπών CO₂ κατά 12.6 Gt ετησίως μέσω της λήψης επιθετικών πολιτικών ελέγχου της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων (Lawrence, 2015).

Στο πλαίσιο της Συμφωνίας του Παρισιού για την Κλιματική Αλλαγή, πάνω από 30 χώρες συμπεριέλαβαν την θέσπιση κωδικών ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων (Building energy codes – BECs) ως μέρος του εθνικού επιπέδου συνεισφοράς τους (Nationally Determined Contribution - NDC) (Evans et al., 2017). Οι κώδικες ενεργειακής απόδοσης κτηρίων (Building energy codes – BECs) εστιάζουν στο στάδιο του σχεδιασμού των κατασκευών και έχουν ως στόχο βελτιστοποίηση της ενεργειακής τους απόδοσης διασφαλίζοντας το βιοτικό επίπεδο των διαμενόντων (Nejat et al., 2015).

Οι πιο πρώιμοι κώδικες ορίζουν την ελαχίστη απαιτούμενη ενεργειακή απόδοση όλων των στοιχείων της κατασκευής, όμως κατά το τελευταίο διάστημα της ανάπτυξης των κωδίκων ενεργειακής απόδοσης δίνεται συνεχώς αυξανόμενη έμφαση στην εξέλιξη εναλλακτικών τεχνολογιών και στρατηγικών στον τομέα της δόμησης (Nejat et al., 2015).

Οι κυριότερες στρατηγικές που έχουν αναπτυχθεί για την μείωση του ενεργειακού και περιβαλλοντικού αποτυπώματος των κτηρίων περιλαμβάνουν την βελτιστοποίηση της θερμικής μόνωσης των καινούργιων κατασκευών ή κατά την ανακαίνιση παλαιότερων, την βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (Heating, Ventilation and Air Conditioning – HVAC), την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (πχ. Φωτοβολταϊκά συστήματα). Ωστόσο περιορισμένη έμφαση δίνεται στην ενσωματωμένη ενέργεια των κτηρίων. Ως ενσωματωμένη ενέργεια ορίζεται η ενέργεια που απαιτείται κατά την ανέγερση του κτηρίου και υπολογίζεται πως αντιπροσωπεύει το 10% του αποτυπώματος C της κατασκευής καθιστώντας τη σημαντικό συντελεστή του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των κατασκευών (Lawrence, 2015) .

Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η εξέταση της βιωσιμότητας της φυσικής δόμησης ως εναλλακτική στρατηγική δόμησης. Για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας της στρατηγικής εξετάζεται βιβλιογραφικά το ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα των φυσικών δομικών υλικών και στην συνέχεια εξετάζονται οι εξωτερικοί περιβαλλοντικοί και κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες που δύναται να λειτουργήσουν προτρεπτικά ή αποτρεπτικά στο εκάστοτε σενάριο. Τέλος, αξιοποιώντας τα παραπάνω στοιχεία, εξετάζεται η βιωσιμότητα υποθετικού σεναρίου ανέγερσης κατασκευών από φυσικά υλικά με στόχο τη διαχείριση της τουριστικής δραστηριότητας στο νησί της Γαύδου και στη συνέχεια πραγματοποιείται ενεργειακή και περιβαλλοντική αξιολόγηση προτεινόμενης κατασκευής με την μέθοδο LCA.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Η ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ

Φυσική δόμηση ορίζεται ως “ένα σύστημα δόμησης με έμφαση στην *κοινωνική* και *περιβαλλοντική βιωσιμότητα*” (Wanek et al., 2015). Τα χαρακτηριστικά που πρέπει να πληρούν οι φυσικές κατασκευές είναι:

- Περιορισμένη επεξεργασία των πρώτων υλών
- Διασφάλιση των καλών συνθηκών υγιεινής/διαβίωσης των κατοίκων
- Χαμηλό ενεργειακό αποτύπωμα των σταδίων κατασκευής και λειτουργίας των κτηρίων
- Βιώσιμη διαχείριση δομικών υλικών, δηλαδή μέγιστη αξιοποίηση ανανεώσιμων ή ανακυκλώσιμων δομικών υλικών φυτικής/ζωικής προέλευσης
- Χαμηλό κόστος κατασκευής (Wanek et al., 2015).

Η φυσική δόμηση ανήκει στις στρατηγικές μείωσης του αποτυπώματος C των κατοικιών που εστιάζουν στην *επαναχρησιμοποίηση* και *ανακύκλωση* των δομικών υλικών.

Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των ανακυκλωμένων υλικών θεωρείται λογιστικά μειωμένο, δηλαδή η υπολογισμένη ενέργεια παραγωγής του υλικού αφορά μόνο την αρχική χρήση, ενώ για τις μετέπειτα χρήσεις υπολογίζεται μόνο η ενέργεια ανακύκλωσης και μεταφοράς που είναι ενσωματωμένη στο νέο προϊόν. Η αξιολόγηση της βιωσιμότητας της ανακύκλωσης ενός υλικού εκτιμάται υπολογίζοντας τη διαφορά της ενεργείας ανακύκλωσης με την αρχική ενσωματωμένη ενέργεια του προϊόντος.

Τα ανακυκλωμένα υλικά μπορούν να θεωρηθούν ανανεωμένα υπό την έννοια έχει επεκταθεί η ζωή του ενσωματωμένου υλικού, πρέπει όμως να σημειωθεί ότι μεγάλος αριθμός ανανεώσιμων υλικών προέρχονται από πεπερασμένες και μη-ανανεώσιμες πηγές πχ. το ασφάλι (Lawrence, 2015).

Στον τομέα της δόμησης βιώσιμα θεωρούνται τα υλικά τα υλικά βιολογικής προέλευσης των οποίων η ανανέωση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μικρά χρονικά διαστήματα. Η ενέργεια παραγωγής των πρώτων υλών βιολογικής προέλευσης είναι σχεδόν αποκλειστικά ηλιακή μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης (Lawrence, 2015).

2.1 Χαρακτηρίστηκα παραδείγματα τεχνικών φυσικής δόμησης

Straw bales

Τεχνική που ξεκίνησε από την Nebraska των ΗΠΑ στα τέλη του 19^{ου} αιώνα για την κατασκευή προσωρινών καταλυμάτων. Η ευκολία στην κατασκευή, η αντοχή των κτηρίων και η θερμική άνεση που παρείχαν στις ακραίες θερμοκρασίες του χειμώνα και του καλοκαιριού, οδήγησαν στην εφαρμογή της τεχνικής για τις μόνιμες κατοικίες (Steen, 1994).

Τα κελύφη του κτηρίου κατασκευάζεται από στοιβαγμένες αχυρόμπαλες οι οποίες επικαλύπτονται με επίχρισμα αργίλου για την διασφάλιση υδρομόνωσης. Οι αχυρόμπαλες δύνανται να λειτουργήσουν ως φέροντα στοιχεία ή σε εναλλακτικό σενάριο το φορτίο παραλαμβάνεται από ξύλινο σκελετό με το άχυρο να αποτελεί θερμονωτικό υλικό. Για την κατασκευή των αχυρομπάλων προτείνεται η χρήση εναπομεινάντων μίσχων από την συγκομιδή σιτηρών για τη διασφάλιση βέλτιστης εκμετάλλευσης της συγκομιδής των σιτηρών.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της περίπτωσης όπου τα δέματα άχυρου παραλαμβάνουν το φορτίο είναι η μειωμένη κατανάλωση ξυλείας με αποτέλεσμα το χαμηλότερο οικονομικό κόστος και το μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα του κτηρίου. Ξύλινοι δοκοί χρησιμοποιούνται μόνο στα ανοίγματα του κτηρίου (πόρτες, παράθυρα), στο δάπεδο και στην οροφή, για την προστασία των αχυρόμπαλων από την συμπίεση. Το νομοθετικό όριο για κατασκευές όπου τα δέματα άχυρου παραλαμβάνουν το φορτίο είναι 2 όροφοι. Επιπρόσθετα η συγκεκριμένη τεχνολογία βρίσκει περιορισμένη εφαρμογή λόγω των προκαταλήψεων των επενδυτών, των σχεδιαστών και των κατασκευαστών και των δυσμενών κανόνων δόμησης (Drozd et al., 2019).



Figure 2.1: Παράδειγμα κατασκευής με δέματα άχυρου να παραλαμβάνουν το φορτίο (Drozd et al., 2019)

Ο σχεδιασμός με ξύλινο σκελετό είναι δημοφιλέστερος. Σημαντικότερα πλεονεκτήματα αποτελούν η δυνατότητα ολοκλήρωσης της οροφής πριν την τοποθέτηση των αχυρόμπαλων, δίνοντας την δυνατότητα στους εργάτες να εργαστούν ανεξαρτήτου

καιρικών συνθηκών. Σε σχέση με τις κατασκευές όπου οι αχυρόμπαλες παραλαμβάνουν το φορτίο, απαιτείται μεγαλύτερο κόστος και εργατικό δυναμικό, αλλά δίνεται η δυνατότητα ύψωσης μεγαλύτερων κατασκευών (Drozd et al., 2019).



Figure 2.2: Παράδειγμα κατασκευής αχυρόμπαλων με ξύλινο σκελετό (Drozd et al., 2019)

Light Clay

Ο ελαφρύς πηλός είναι μίγμα θρυμματισμένου άχυρου, αργίλου και νερού. Το μίγμα ξηραίνεται δημιουργώντας αδιαπέραστους πλίνθους. Τοποθετείται σαν πλήρωση στον ξύλινο σκελετό του κτηρίου, χωρίς να παραλαμβάνει τα φορτία της κατασκευής (Holzhueter & Itonaga, 2017).

Η κατασκευή με ελαφρύ ξύλινο σκελετό επιτρέπει την γρήγορη και αποτελεσματική ανέγερση των κατοικιών. Η ανέγερση της κατασκευής μπορεί να διαρκέσει 1-7 μέρες εξαρτώντας από την πολυπλοκότητα της κατασκευής και το διαθέσιμο εργατικό δυναμικό. Σημαντικότερο πλεονέκτημα των ξύλινων σκελετών είναι η δυνατότητα προκατασκευής τους και τοποθέτησης στον επιθυμητό χώρο. Το πιο σύνηθες ξύλο που χρησιμοποιείται για την κατασκευή των σκελετών είναι το πεύκο του οποίου το ποσοστό υγρασίας που δεν επιτρέπεται να ξεπεράσει το 20% προκειμένου να εξασφαλίζεται η προστασία της κατασκευής από βακτήρια και παράσιτα. Λόγω των συντηρητικών ιδιοτήτων του αργίλου, που σοβατίζεται πάνω στο ξύλο, δεν θεωρούνται απαραίτητα το πλάνισμα και ο εμποτισμός των δοκών (Drozd et al., 2019).

Στη συνέχεια οι τοίχοι γεμίζονται με δεμάτια ελαφρού πηλού. Η τεχνολογία χαρακτηρίζεται ως «ελαφρύς πηλός» επειδή τα δεμάτια έχουν ως στόχο την θερμομόνωση του κτηρίου και δεν παραλαμβάνουν το φορτίο. Για την παραγωγή των δεματίων ελαφρού πηλού ο άργιλος και το άχυρο αναμιγνύονται και τοποθετούνται σε καλούπια όπου συμπιέζονται. Προτεινόμενο πάχος διατομής του κελύφους θεωρείται 30cm-50cm, λαμβάνοντας υπόψη τις διαστάσεις του ξύλινου σκελετού (Drozd et al., 2019).



Figure 2.3: Δεμάτια ελαφρού πηλού και μέθοδος τοποθέτησης τους (Drozd et al., 2019)

Hemp-Lime/Hempcrete

Το Hempcrete αποτελεί μίγμα βλαστών κάνναβης, αλεσμένων σε ψήγματα μήκους 10-15mm, και ασβέστη για σταθεροποίηση (Elfordy et al., 2008). Το Hempcrete χρησιμοποιείται ως μονωτικό υλικό, τοποθετείται σε καλούπια ανάμεσα στα δομικά στοιχεία του κτηρίου (συνήθως ξύλινος σκελετός) και στη συνέχεια επικαλύπτεται με ασβέστη. Το τυπικό πάχος ενός τοίχου από Hempcrete είναι 50cm (MacDougall, 2008).

Παρουσιάζονται μια σειρά από πλεονεκτήματα από την χρήση Hempcrete στις κατασκευές. Χρησιμοποιείται λόγω των θερμικών του ιδιοτήτων, καθώς βοηθάει στην αποθήκευση θερμικής μάζας και στην θερμομόνωση του κτηρίου. Επιπλέον στην τοιχοποιία δεν απαιτείται επιπλέον υγραμόνωση. Τέλος το Hempcrete διαφημίζεται ως Carbon negative προϊόν λόγω της δέσμευσης CO₂ κατά την παραγωγή της κάνναβης (MacDougall, 2008).

Unfired Clay Bricks /Rammed Earth

Τεχνικές που συναντούν αυξανόμενη εφαρμογή σε σύγχρονες εναλλακτικές μορφές δόμησης. Άργιλος και άμμος αναμιγνύονται με νερό και στη συνέχεια τοποθετούνται σε καλούπια για την παραγωγή πλίνθων. Επειδή απαιτείται η προστασία των τούβλων από τα καιρικά φαινόμενα, η τεχνική χρησιμοποιείται κυρίως σε εσωτερικούς χώρους. Συχνά χρησιμοποιείται χώμα από την περιοχή κατασκευής με αποτέλεσμα η πρακτική να έχει πολύ χαμηλό ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα, σε αντίθεση με την παραγωγή συμβατικών κεραμικών τούβλων (MacDougall, 2008).

2.2 Ιδιότητες φυσικών δομικών υλικών

2.2.1 Δέσμευση C

Τα φυτικά δομικά υλικά λειτουργούν ως αποθήκες C. Ως παράδειγμα παραθέεται ο κύκλος ζωής ενός δάσους. Στο στάδιο της ανάπτυξης του δάσους γίνεται αποθήκευση CO₂ στα φύλλα, στον κορμό και στις ρίζες των δέντρων μέσω της φωτοσύνθεσης. Αντίστοιχα στο τέλος της ζωής του δάσους το CO₂ επιστρέφεται στην ατμόσφαιρα μέσω της αποσύνθεσης. Ο κύκλος ζωής ενός δάσους που έχει διανύσει το φυσικό του κύκλο ζωής ή έχει καταστραφεί (πχ. λόγω πυρκαγιάς) θεωρείται πως έχει ουδέτερο ανθρακικό αποτύπωμα (carbon neutral).

Σε συνθήκες βιώσιμης διαχείρισης του δάσους, δηλαδή τακτική κοπή και αναφύτευση εναλλασσόμενων τμημάτων της δασικής έκτασης, παρατηρείται σενάριο δημιουργίας δεξαμενών αποθήκευσης C μέσω της παραγωγής ξύλινων προϊόντων μεγάλης διάρκειας ζωής και παράλληλα επιπλέον δέσμευση C από τα νέα δέντρα (Jamal M.Khatib, 2009).

Από την στοιχειομετρία της φωτοσύνθεσης παρατηρείται:

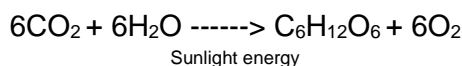


Table 2.1: Στοιχειομετρία φωτοσύνθεσης

	CO ₂	H ₂ O	C ₆ H ₁₂ O ₆	O ₂	C
n mol	6	6	1	6	6
m _r	44	18	180	32	12
m kg	264	108	180	192	72

Από τη στοιχειομετρία της φωτοσύνθεσης παρατηρείται πως 44kg CO₂ απαιτούνται για την δέσμευση 12kg C από το φυτό, ενώ παράλληλα ελευθερώνονται 32kg O₂ στην ατμόσφαιρα. Αυτό σημαίνει πως κάθε 12kg C φυτικού υλικού έχουν δεσμεύσει 44kg ατμοσφαιρικού CO₂.

Φυτικά δομικά υλικά όπως το άχυρο και η κάνναβη δεσμεύουν ατμοσφαιρικό CO₂ έως και λιγότερο από χρόνο πριν την ενσωμάτωσή τους στα κτήρια, ενώ το ξύλο δεσμεύει CO₂ από 5 έως 50 χρόνια πριν. Λαμβάνοντας υπόψη πως η σχεδιαζόμενη διάρκεια ζωής των κτηρίων κυμαίνεται ανάμεσα στα 50 και 100 χρόνια, η χρήση των συγκεκριμένων υλικών θεωρείται πως δημιουργεί αποτελεσματικές δεξαμενές αποθήκευσης CO₂, παράλληλα συμβάλλουν στην μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των κατασκευών αντικαθιστώντας υλικά κατά των οποίων τη παραγωγή εκπέμπονται μεγαλύτερες ποσότητες CO₂ (Lawrence, 2015).

Table 2.2: Παραδείγματα ενσωματωμένης ενέργειας και δέσμευσης CO₂ δομικών υλικών (Lawrence, 2015)

Δομικό Υλικό	Ενέργεια ($\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$)	Carbon ($\frac{\text{kgCO}_2}{\text{kg}}$)	Carbon ($\frac{\text{kgCO}_2}{\text{m}^3}$)	Θερμική αγωγιμότητα ($\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$)	Πυκνότητα ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)
Τσιμεντόλιθος	0.67	0.073	105.85	0.48	1450
Ορυκτοβάμβακας	16.6	1.2	28.8	0.032-0.044	24
Πολυουρεθάνη (αφρός)	101.5	3.48	104.4	0.023-0.026	30
Ξυλοβάμβακας	10.8	0.98*	29.4*	0.038-0.050	30-40
Hemcrete	4.60	0.468*- 0.414†	127.8*- 113.8†	0.06-0.09	275-330
Αχυρόμπαλες	0.24	0.01*	1.1*	0.06	110-120
Φελλός	4.00	0.19*	38*	0.07	200-250

*: εξαιρείται η δέσμευση C †: υπολογίζεται η δέσμευση C

2.2.2 Θερμικές ιδιότητες

Κύριες ιδιότητες που μελετώνται στα δομικά υλικά είναι ο *συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας*, η *θερμοπερατότητα*, η *πυκνότητα* και η *ειδική θερμότητα*

Ως *θερμική αγωγιμότητα* (λ) ενός υλικού ορίζεται η μεταφορά της θερμότητας ανά μια μονάδα χρόνου σε μια μονάδα επιφάνειας στην κατεύθυνση της ροής της θερμότητας $\frac{W}{m \cdot K}$ (Parsonage, 1966). Η μεταφορά θερμότητας μέσα από ισοτροπικά στερεά εκφράζεται από τη σχέση:

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx}$$

, όπου

- (i) q: μεταφορά θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας
- (ii) T: θερμοκρασία
- (iii) X: απόσταση

Θερμοπερατότητα (U) ορίζεται ως η ποσότητα της θερμότητας (Watt) που σε χρονικό διάστημα μίας ώρας περνάει μέσα από ένα τετραγωνικό μέτρο ενός δομικού στοιχείου πάχους d, όταν μεταξύ των δύο επιφανειών υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας ενός βαθμού Kelvin. (Drozd et al., 2019) Η θερμοπερατότητα εκφράζεται από τη σχέση:

$$U = \frac{1}{Rt}, \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

, όπου

- (i) R_T : Ολική θερμική αντίσταση ενός δομικού στοιχείου

Ο *Συντελεστής Θερμικής Αντίστασης (R)* εκφράζει την αντίσταση ενός υλικού (ή στρώσης υλικού), με διαφορά θερμοκρασίας ένα βαθμό Kelvin στις δύο του πλευρές, στη μεταφορά της θερμότητας. (Drozd et al., 2019)

Η ολική θερμική αντίσταση ενός συνόλου ομογενών στοιχείων εκφράζεται με τη σχέση:

$$Rt = R_{si} + R_1 + R_2 \dots + R_n + R_{se}, \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

, όπου

- (i) R_{si} : Θερμική αντίσταση εσωτερική επιφάνειας
- (ii) $R_1 + R_2 \dots + R_n$: Θερμική αντίσταση επιμέρους στρώσεων
- (iii) R_{se} : Θερμική αντίσταση εξωτερικής επιφάνειας

Η θερμική αντίσταση ενός ομογενούς στρώματος με πάχος d εκφράζεται με τη σχέση:

$$R = \frac{d}{\lambda}, \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

, όπου

- (i) d: Πάχος του στρώματος
- (ii) λ : Σχεδιασμένη θερμική αγωγιμότητα του υλικού

Θερμοχωρητικότητα C_p ορίζεται ως η απαιτούμενη ενέργεια για την αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C . Η ειδική θερμότητα ορίζεται ως η Θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα μάζας. (Feidt, 2018) Η ειδική θερμότητα εκφράζεται με τη σχέση:

$$c = \frac{1}{m} * \frac{\delta Q}{\delta T}, \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{m} * \text{T}} \right]$$

, όπου

- (i) m: μάζα
- (ii) dQ: μεταφορά ενέργειας για μετατόπιση της θερμοκρασίας T

Στους πίνακες 2.3 και 2.4 παρατίθενται οι θερμικές ιδιότητες φυσικών δομικών και θερμομονωτικών υλικών και συγκρίνονται με τις αντίστοιχες τιμές συμβατικών υλικών.

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας της αργίλου, κυμαίνεται από $0.1 \frac{\text{W}}{\text{m} * \text{K}}$ στους ωμόπλινθους με πρόσμειξη άχυρου έως $1.5 \frac{\text{W}}{\text{m} * \text{K}}$ στον πηλό σε μορφή λάσπης. Το σκυρόδεμα, συγκριτικά, έχει λ ίσο με $2.5 \frac{\text{W}}{\text{m} * \text{K}}$.

Η ειδική θερμοχωρητικότητα των οργανικά υλικά φτάνει τα $2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}}$, ενώ των συνθετικών υλικών, όπως ο πετροβάμβακας και ο υαλοβάμβακας, ισούνται με $0.84 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}}$. Μεγάλη δυνατότητα αποθήκευσης θερμότητας ενός υλικού σημαίνει χαμηλή επιρροή από θερμικές αλλαγές και διατήρηση σταθερών εσωτερικών θερμοκρασιών. (Αλεξανδρή, 2012)

Table 2.3: Θερμικές ιδιότητες πηλού και σκυροδέματος (TOTEE 20701.2:2010)

Δομικά υλικά	Πυκνότητα	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας. Τιμές σχεδιασμού	Ειδική θερμοχωρητικότητα	Συντελεστής αντίστασης σε διάχυση υδρατμών	
				M	
				ξηρό	Υγρό
	P kg/m^3	λ $\frac{W}{m * K}$	C_p $\frac{J}{kg * K}$		
1.Ανόργανα δομικά υλικά					
1.3 Κατεργασμένη άργιλος (πηλός)					
1.3.1 Ελαφρός πηλός (κίσηρη + πηλός)	760	0.230	1000	6	
1.3.2 Πηλός μπαγδάτι		0.470			
1.3.3 Πηλός, λάσπη	1200-1800	1.500	1670-2500	50	50
1.3.4 Ωμόπλινθοι συμπαγείς	1990	0.800	1000	10	
1.3.5 Ωμόπλινθοι με πρόσμειξη άχυρου	300	0.100	1500	5	
	660	0.190	1500	5	
	1400	0.700			
1.5 Σκυροδέματα και ελαφρά σκυροδέματα (σε κατασκευαστικά στοιχεία χωρίς αρμούς και σε πλάκες μεγάλου μεγέθους)					
1.5.1 Σκυρόδεμα άοπλο ή ελαφρώς οπλισμένο	Μέσης πυκνότητας	1800	1.150	1000	60
				100	
		2000	1.350	1000	60
		2200	1.650	1000	70
				120	
	Υψηλής πυκνότητας	2400	2.000	1000	80
				130	
1.5.2 Οπλισμένο σκυρόδεμα χαμηλής ποιότητας (παλαιού τύπου B120)					
		1.520			
1.5.3 Οπλισμένο σκυρόδεμα (1% σίδηρος)	2300	2.300	1000	130	80
(≥2% σίδηρος)	2400	2.500	1000	130	80

Table 2.4: Θερμικές ιδιότητες θερμομονωτικών υλικών (TOTEE 20701.2:2010)

Δομικά υλικά	Πυκνότητα	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας. Τιμές σχεδιασμού	Ειδική θερμοχωρητικότητα	Συντελεστής αντίστασης σε διάχυση υδρατμών	
				M	
				ρ kg/m^3	λ $\frac{W}{m * K}$
6.Θερμομονωτικά υλικά					
6.1 Ινώδη ανόργανα υλικά					
6.1.1 Υαλοβάμβακας					
6.1.1.1 Υαλοβάμβακας σε μορφή παπλώματος	13-50	0.035-0.041	840	1.0-1.5	
6.1.1.2 Υαλοβάμβακας σε μορφή πλακών	20-110	0.033-0.041	840	1.0- 1.5	
6.1.2 Πετροβάμβακας					
6.1.2.1 Πετροβάμβακας σε μορφή παπλώματος	40-100	0.035-0.041	840	1.0-1.5	
6.1.2.2 Πετροβάμβακας σε μορφή πλακών	50-180	0.033-0.041	840	1.0-1.5	
6.1.3 Ορυκτοβάμβακας					
6.1.3.1 Ορυκτοβάμβακας σε μορφή παπλώματος		0.039-0.041	840	1.0-1.5	
6.1.3.2 Ορυκτοβάμβακας σε μορφή πλακών		0.037-0.041	840	1.0-1.5	
6.4 Υλικά φυτικής και ζωικής προέλευσης					
6.4.1 Πλάκες ή μπάλες πεπιεσμένου άχυρου	200	0.040-0.070		2	
6.4.2 Φύκια θαλάσσης	75-80	0.045-0.050		2	
6.4.3 Πλάκες από καλάμια	120- 230	0.065-0.090	1200		
6.4.4 Κυτταρίνη (κολλώδης)	120- 220	0.040-0.060	800-1100		
(ινώδης)	30-80	0.040-0.45	1700-2100		
6.4.5 Λινάρι	20-80	0.038-0.045	1300-1600		
6.4.6 Βαμβάκι	20-60	0.040	840-1300		
6.4.7 Μαλλί προβάτου	25-30	0.040-0.050	960-1300		

2.2.3 Υδροθερμική απόδοση

Θερμομονωτικά υλικά από φυτικές ίνες δίνουν την δυνατότητα στους τοίχους να «αναπνεύσουν». Η δυνατότητα αυτή είναι αποτέλεσμα της ικανότητας τους να απορροφούν και απελευθερώνουν εύκολα υγρασία σαν αντίδραση στις μεταβολές της σχετικής υγρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος. Η παραπάνω αντίδραση έχει σαν αποτέλεσμα μεταβολές στη ροή της θερμότητας, αφού κατά την απορρόφηση υγρασίας παρουσιάζεται ελευθέρωση θερμότητας και κατά την εκρόφηση υγρασίας παρουσιάζεται απορρόφηση θερμότητας. Το παραπάνω φαινόμενο σε συνδυασμό με την μεγάλη ειδική θερμοχωρητικότητα που παρουσιάζουν τα φυτικά υλικά επιτρέπει την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων από φυσικά υλικά λόγω της μείωσης των ενεργειακών αναγκών για θέρμανση και ψύξη (Lawrence, 2015).

2.2.4 Τοξικότητα

Στις κατασκευές από φυσικά υλικά χρησιμοποιούνται κυρίως οργανικά υλικά φυτικής προέλευσης τα θεωρούνται βιοδιασπώμενα με αποτέλεσμα να μην παρατηρούνται περιβαλλοντικές μολύνσεις κατά τη διάρκεια και κατά το τέλος της ζωής των κτηρίων. (Kennedy, n.d.).

2.2.5 Ηχομόνωση

Ινώδη στοιχεία όπως το άχυρο παρουσιάζουν ηχομονωτικές ιδιότητες. Για την διασφάλιση του απαραίτητου επιπέδου ηχομόνωσης σε τοιχοποιίες ελαφρού πηλού ή straw bales θεωρείται απαιτούμενο πάχος διατομής 50cm (Drozd, 2016).

2.2.6 Ευφλεκτότητα

Υλικά φυτικής, όπως το ξύλο και το άχυρο, παρουσιάζουν υψηλή ευφλεκτότητα. Σημειώνεται, όμως, πως υλικά έγκλισης με βάση την άμμο ή τον άργιλο (earthen materials) περιορίζουν τη μεταφορά της θερμότητας παρέχοντας έτσι έναν βαθμό πυροπροστασίας. Επίσης τα έλαια στεγανοποίησης παρουσιάζουν υψηλή ευφλεκτότητα κατά τη φάση της οξειδωσής τους (Reay Crimmel & Thomson, 2014).

2.2.7 Βιοφιλία

Βάση των αρχών της βιοφιλίας θεωρείται πως ο άνθρωπος παρουσιάζει την τάση να νιώθει οικειότητα όταν περιβάλλεται από στοιχεία που έχουν χαρακτηριστικά (όπως σχήμα και χρώμα) που παραπέμπουν στο φυσικό περιβάλλον, σαν αποτέλεσμα η χρήση φυσικών υλικών περιορισμένης επεξεργασίας εμπίπτει στις αρχές του βιοφιλικού σχεδιασμού (Kellert and Wilson, 1995).

2.3 Δείκτες βιωσιμότητας της φυσική δόμησης

Στον παρόν υποκεφάλαιο παρουσιάζονται οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η βιωσιμότητα της φυσικής και εξετάζεται η βιωσιμότητα της στρατηγικής σε εναλλακτικά σενάρια.

2.3.1 Κλιματικά χαρακτηριστικά περιοχής

Οι κλιματικοί συνθήκες της περιοχής μπορούν να αποτελέσουν προτρεπτικό ή ανασταλτικό παράγοντα στην ανάπτυξη του τομέα της φυσικής δόμησης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα μπορούν να αποτελέσουν οι χώρες με ψυχρό κλίμα στις οποίες τεχνικές όπως straw bales και light clay βρίσκουν περιορισμένη εφαρμογή επειδή η ξήρανση των μιγμάτων αργίλου εμποδίζεται από τις συχνές βροχοπτώσεις. Ομοίως οι συχνές βροχοπτώσεις εμποδίζουν τις διαδικασίες ανέγερσης κατασκευών με ξύλινο σκελετό. Σε αυτές τις περιπτώσεις συνηθισμένη πρακτική αποτελεί η προκατασκευή των στοιχείων του κτηρίου (Kennedy, n.d.).

2.3.2 Κυβερνητική πολιτική

Παράγοντας που επηρεάζει την ανάπτυξη του τομέα της φυσικής δόμησης είναι η πρόθεση της πολιτείας να προχωρήσει σε πολιτικές ενθάρρυνσης της κατασκευαστικής βιομηχανίας να προχωρήσει στην υιοθέτηση εναλλακτικών τεχνολογιών. Παράδειγμα αποτελεί η Ευρωπαϊκή οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων (2010/31/ΕΕ), σύμφωνα με την οποία από τις 31/12/2020 όλα τα κτήρια πρέπει να έχουν μηδενική ή σχεδόν μηδενική κατανάλωση που αποτελεί προτρεπτικό παράγοντα για τις κυβερνήσεις των χωρών της ΕΕ να στραφούν σε εναλλακτικές μορφές δόμησης.

2.3.3 Δομικοί κώδικες

Περιορισμοί στις διαστάσεις των φυσικών κατασκευών όπως το χαμηλό μέγιστο ύψος ανέγερσης σε συνδυασμό με το μεγάλος πάχος της διατομής του κελύφους των φυσικών κατασκευών τις καθιστούν μη βιώσιμες σε πυκνοκατοικημένες περιοχές (Kennedy, n.d.). Επιπλέον οι κώδικες πυροπροστασίας περιορίζουν τη δυνατότητα ανέγερσης κτηρίων από 100% φυσικά δομικά υλικά (Hurmekoski et al., 2015).

2.3.4 Ταχύτητα ανέγερσης κατασκευής

Συστήματα αποτελούμενα από προκατασκευασμένα στοιχεία, όπως ξύλινο σκελετό ή πάνελ, εκτιμάται πως απαιτούν 30-50% λιγότερο χρόνο κατασκευής σε σχέση με συμβατικές μεθόδους δόμησης. Η αύξηση στην ταχύτητα ανέγερσης οδηγεί στην μείωση του εργατικού κόστους και τους κόστους του εξοπλισμού (Milwicz & Nowotarski, 2015).

2.3.5 Διαθεσιμότητα πρώτων υλών

Η διαθεσιμότητα των φυσικών υλικών εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της περιοχής. Για παράδειγμα τα αποθέματα σε αστικά περιβάλλοντα είναι πολύ χαμηλότερα από τα αγροτικά (Kennedy, n.d.).

2.3.6 Διαθεσιμότητα εξειδικευμένου προσωπικού

Η έλλειψη εξειδικευμένων εργατών σε συνδυασμό με μεγάλη ζήτηση έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους εργασίας. Επιπρόσθετα η έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού θα οδηγήσει στην πρόσληψη ανειδίκευτων εργατών με αρνητικές συνέπειες στην ποιότητα των κατασκευών (Muazu & Alibaba, 2017).

2.3.7 Ανταγωνισμός

Μεγάλες επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στον τομέα της δόμησης μπορούν να καταλάβουν τον τομέα της φυσικής δόμησης. Αντίθετα μικρότερες επιχειρήσεις δεν είναι σε θέση να πάρουν το απαραίτητο ρίσκο επένδυσης σε εναλλακτικές τεχνολογίες (Hurmekoski et al., 2015).

2.3.8 Προσαρμοστικότητα κατασκευαστικής βιομηχανίας

Παρουσιάζεται ο κίνδυνος οι εταιρίες που ανήκουν στον κλάδο της δόμησης να μην μπορέσουν να καλύψουν το κόστος επένδυσης σε εναλλακτικές τεχνολογίες και να προσαρμοστούν σε μια νέα αγορά (Hurmekoski et al., 2015).

2.3.9 Κόστος

Το κόστος της κατασκευής εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των δομικών υλικών. Αναφορικά η κατασκευή σκελετού από glulam είναι κατά 20% ακριβότερη από τη χρήση ατσάλιου. Αντιθέτως κατασκευές με βάση τον άργιλο μπορούν να έως και 50% οικονομικότερες από αντίστοιχες συμβατικές κατασκευές (Adegun & Adedeji, 2017).

2.3.10 Κοινή γνώμη

Η αυξημένη περιβαλλοντική συνείδηση του κοινού μπορεί να αποτελέσει προτρεπτικό παράγοντα για την καθιέρωση εναλλακτικών τεχνικών δόμησης. Αντίθετα ανασταλτικός παράγοντας αποτελεί η αρνητική κοινή γνώμη για πολλές πτυχές της φυσικής δόμησης, όπως η αντοχή των υλικών, το κόστος συντήρησης, οι περιορισμοί στο μέγεθος της κατασκευής, οι ανησυχίες για την πυρασφάλεια και την ηχομόνωση των κτηρίων (Kennedy, n.d.).

2.4 Βιωσιμότητα φυσικής δόμησης σε αναπτυσσόμενες χώρες της Αφρικής

Μεγάλος αριθμός αναπτυσσόμενων χωρών της Αφρικής παρουσιάζει σημαντικό πρόβλημα στέγασης κατοίκων χαμηλού ή μεσαίου εισοδήματος και εμφανίζεται έντονα το φαινόμενο των άτυπων καταυλισμών. Τη δεκαετία του 90 ξεκίνησαν κυβερνητικές προσπάθειες για την θέσπιση πολιτικών στέγασης των πολιτών (Huchzermeyer, 2001). Χαρακτηριστικά στη Δημοκρατία της Νοτίου Αφρικής το 1994 τέθηκε ο στόχος δόμησης «βιώσιμων, οικονομικά και κοινωνικά ενσωματωμένων κοινοτήτων, με πρόσβαση σε περίθαλψη, παιδιά και κοινωνικές υποδομές». Ο στόχος που έχει τεθεί είναι οι κάτοικοι της Νοτίου Αφρικής να έχουν πρόσβαση σε:

- Ασφαλή μόνιμη κατοικία, που παρέχει ιδιωτικότητα και προστασία από τα στοιχεία της φύσης
- Πόσιμο νερό, υπηρεσίες υγιεινής και πρόσβαση σε ηλεκτρικό ρεύμα (Department of Housing, 1994, p. 12)

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων στέγασης της περιοχής οι παράγοντες που εξετάζονται είναι:

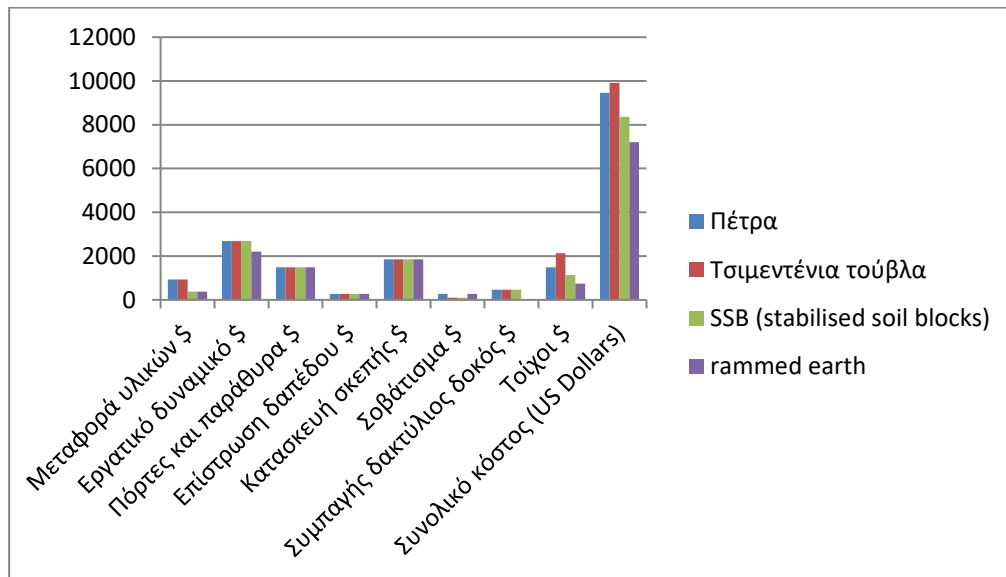
- Κόστος κατασκευής και λειτουργίας
- Περιβαλλοντικό κόστος (Adegun & Adedeji, 2017)

Στη μελέτη των Adegun and Adedeji εξετάζεται η χρήση φυσικών υλικών για την κατασκευή για την κατασκευή βιώσιμων κατοικιών.

2.4.1 Οικονομικά πλεονεκτήματα φυσικής δόμησης

Κύριος ανασταλτικός παράγοντας για την προσφορά οικονομικών κατοικιών σε περιοχές χαμηλών εισοδημάτων αποτελεί το κόστος των δομικών υλικών και των τεχνολογιών δόμησης. Το στάδιο της κατασκευής έχει το μεγαλύτερο οικονομικό κόστος στη ζωή ενός κτηρίου. Παραθέτονται σαν παραδείγματα, η Γκάνα όπου το στάδιο της κατασκευής των κτηρίων καταλαμβάνει το 60-70% του συνολικού κόστους ζωής, στη Νιγηρία καταλαμβάνει το 65% και στην Κένυα το 68%. Παράλληλα παρουσιάζεται συνεχής αύξηση του κόστους των δομικών υλικών, με περιπτώσεις όπου παρουσιάστηκε έως και διψήφιο ποσοστό αύξησης. Σαν αποτέλεσμα φαίνεται ότι η αύξηση του κόστους κατασκευής αποτελεί τη σημαντικότερη αιτία για την διεύρυνση της απόκλισης ανάμεσα στην προσφορά και στην ζήτηση οικονομικών υλικών κατασκευής (Adegun & Adedeji, 2017).

Η χρήση φυσικών υλικών αποτελεί οικονομικότερο σενάριο, χαρακτηριστικά παραδείγματα η Αίγυπτος και η Ζιμπάμπουε όπου οι τοιχοποιίες από rammed earth είναι κατά 50% και 60% αντίστοιχα οικονομικότερες σε σχέση με τη χρήση συμβατικού σκυροδέματος (Dabaieh and Sakr, 2015, as cited in Adegun & Adedeji, 2017). Το κόστος της φυσικών υλικών στις κατασκευές μεταβάλλεται ανάμεσα στις διαφορετικές χώρες. Παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος κατασκευής σε κάθε περιοχή είναι ο σχεδιασμός του κτηρίου, το κόστος εργασίας, ο τόπος κατασκευής (Adegun & Adedeji, 2017).



Στον πίνακα 2.5 παρουσιάζονται παραδείγματα σύγκρισης της θερμικής απόδοσης υλικών με βάση τον άργιλο σε σύγκριση με συμβατικά δομικά υλικά.

Table 2.5: Σύγκριση θερμικών μεταβλητών φυσικών υλικών σε σύγκριση με συμβατικά δομικά υλικά (Adegun & Adedeji, 2017)

Περιγραφή	Φυσικό Υλικό (earth)	Συγκρίσιμο δομικό υλικό	Source as cited in (Adigun and Adedeji, 2017)
Αργιλικά τούβλα σταθεροποιημένα με ιπτάμενη τέφρα Vs. τσιμεντένια τούβλα σε φθηνές κατασκευές	Χρονική καθυστέρηση μεταφοράς θερμότητας 7h	Χρονική καθυστέρηση μεταφοράς θερμότητας 3h	(Makaka & Meyer, 2006)
Πλίνθινα τούβλα Vs. CSSB (Compressed Stabilised Soil Block) Vs. τσιμεντένια τούβλα για σπίτι 70m² στο Σουδάν	Μέγιστη θερμοκρασία 29 °C, ελάχιστη θερμοκρασία 14 °C	Μέγιστη θερμοκρασία 34 °C, ελάχιστη θερμοκρασία 14 °C	(Elkhalifa, 2011)
	Ετήσια φορτία ψύξης και θέρμανσης Πλίθ: 235,987 Wh/m ² CSSB: 284,757 Wh/m ²	Ετήσια φορτία ψύξης και θέρμανσης για τσιμέντο: 244,388 Wh/m ²	
	Ετήσιες ώρες στη ζώνη θερμικής άνεσης Πλίθ: 2116.3 h CSSB: 1975.3 h	Ετήσιες ώρες στη ζώνη θερμικής άνεσης για τσιμέντο: 2116.0 h	
CSSB VS. τσιμεντένια τούβλα	Θερμική αγωγιμότητα $0.81-1.04 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$	Θερμική αγωγιμότητα $1.00-1.70 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$	(Adam and Agib, 2001)
Αργιλικά τούβλα με γύψο ως σταθεροποιητή VS. τσιμεντένια τούβλα	Η παραγωγή απαιτεί πύρωση σε θερμοκρασία 125 °C	Η παραγωγή απαιτεί θερμοσυσσωμάτωση σε θερμοκρασία 1100°C	(Vroomen, 2007)
Ωριαία θερμοκρασία σε κατοικία στην Νιγηρία: πλίνθοι αργίλου VS. τούβλα sandcrete	Ώρες ημερησίως με θερμοκρασίες κάτω από 31.6°C σε κατοικία με μη-σοβατισμένους πλίνθους: 5.5h(11:00-16:30)	Ώρες ημερησίως με θερμοκρασίες κάτω από 31.6°C σε κατοικία από τούβλα Sandcrete: 4h (12:00-16:00)	(Lawal and Ojo, 2011)
Εργαστηριακές δοκιμές σε δείγματα δομικών υλικών: Πλίνθινα τούβλα VS. τσιμεντένια τούβλα	Θερμική αγωγιμότητα, θερμική διάχυση: $0.523 \frac{W}{m \cdot K}$ $1.126 * 10^{-1} \frac{m^2}{s}$	Θερμική αγωγιμότητα, θερμική διάχυση: $0.435 \frac{W}{m \cdot K}$ $1.215 * 10^{-1} \frac{m^2}{s}$	(Alausa et al., 2013)

Στον πίνακα 2.6 παρουσιάζονται οι τεχνικές και θερμικές ιδιότητες των CSSB σε σύγκριση με συμβατικά δομικά υλικά

Table 2.6: Σύγκριση ιδιοτήτων CSSB με συμβατικά υλικά (Jarju, 2019)

Ιδιότητες	CSSB	Πυρωμένα τούβλα	Τούβλα πυριτικού ασβεστίου	Πυκνό σκυρόδεμα	Σκυρόδεμα	Ελαφρύ σκυρόδεμα
Αντοχή στη θλίψη(MN/m ²)	1 – 40	5 – 60	10 – 55	7 – 50	2 – 6	2 – 20
Διάχυση υδρατμών (%)	0.02 - 0.2	0.00 - 0.02	0.01 - 0.035	0.02 - 0.05	0.05 - 0.10	0.04 - 0.08
Πυκνότητα (kg/m ³)	1700- 2200	1400 – 2400	1600 – 2100	1700 – 2200	400 – 950	600 – 1600
Θερμική αγωγιμότητα (W/m°C)	0.81 - 1.04	0.70 - 1.30	1.10 - 1.60	1.00 - 1.70	0.10 - 0.20	0.15 - 0.70
Ανθεκτικότητα στη βροχή	Καλή έως πολύ κακή	Εξαιρετική έως πολύ κακή	Καλή έως μέτρια	Καλή έως κακή	Καλή έως μέτρια	Καλή έως κακή

ii) *Περιβαλλοντικό αποτύπωμα φυσικών δομικών υλικών*

Τα αργιλικά δομικά υλικά είναι ανακυκλώσιμα. Η παραγωγή τους απαιτεί περιορισμένη κατανάλωση ορυκτών καυσίμων και 30% χαμηλότερη κατανάλωση νερού από συμβατικά δομικά υλικά. Σαν αποτέλεσμα μπορούν να αποτελέσουν περιβαλλοντικά βιώσιμη εναλλακτική (Adegun & Adedjeji, 2017).

Στον πίνακα 2.7 παρουσιάζεται σύγκριση των εκπομπών CO₂ κατά την παραγωγή και χρήση ISSB και συμβατικών τούβλων και στον πίνακα 2.8 παρουσιάζονται αποτελέσματα συγκρίσεων της κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών CO₂ κατά την παράγωγή αργιλικών δομικών υλικών σε σύγκριση με συμβατικά δομικά υλικά.

Από τη σύγκριση ανάμεσα σε αργιλικά και συμβατικά δομικά υλικά φαίνεται ότι τα αργιλικά υλικά καταναλώνουν έως και 35% λιγότερη ενέργεια σε σύγκριση με τα συμβατικά δομικά υλικά και παρουσιάζουν 42% μείωση των εκπομπών CO₂.

Table 2.7: Σύγκριση εκπομπών CO₂, ISSB Vs. τσιμέντο (Kintingu,2009, as cited in Adegun & Adedeji, 2017)

Είδος Τούβλου	Αριθμός στοιχείων σε έκταση 182m ²	Τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε κατά την παραγωγή (tonnes)	Τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε κατά το σοβάτισμα (tonnes)	Συνολική ποσότητα τσιμέντου (tonnes)	Εκπομπές CO ₂ (tonnes)
Interlocking Stabilised Soil Blocks (ISSB) 150mm	6000	3.0	-	3.0	2.7
Συμβατικό τούβλο 1 150mm	1638	4.1	0.9	5.0	4.5
Συμβατικό τούβλο 2 230mm	2548	6.4	1.8	8.2	7.4

Table 2.8: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών CO₂ κατά την παράγωγή αργιλικών δομικών υλικών σε σύγκριση με συμβατικά δομικά υλικά. (Adegun & Adedeji, 2017)

Περιγραφή	Φυσικό Υλικό	Συγκρίσιμο δομικό υλικό	Source as cited in (Adegun and Adedeji, 2017)
Ενσωματωμένη ενέργεια και εκπομπές CO ₂ : Πλίθινη Vs. Τσιμεντένια τοιχοποιία	137934.91 MJ (2007.8 MJ/m ²) 15665.56 kgCO ₂ (228.03 kg CO ₂ /m ²)	292326.81 MJ (3065.51 MJ/m ²) 37829.19 kgCO ₂ (396.7 kg CO ₂ /m ²)	(Abanda et al., 2014)
Εκπομπές GHG: Πλίθινο τούβλο Vs. CSSB (Compressed Stabilised Soil Block) Vs. τσιμεντένια τούβλα	Εκπομπές GHG Πλθ:146.2 kg GHG CSSB:4661.3 kg GHG	Εκπομπές GHG τσιμέντου 5021.3 kg GHG	(Elkhalifa,2011)
Παραγωγή ενέργειας: άργιλος Vs. τσιμέντο	Άργιλος ≤0.3 MJ/Kg	Τσιμέντο 0.8-3.5 MJ/Kg	(Atolagbe & Fadamiro, 2005)

2.4.3 Ανασταλτικοί παράγοντες για την εφαρμογή της φυσικής δόμησης στις χώρες της Αφρικής

Η χρήση των φυσικών υλικών στις χώρες της Αφρικής παρουσιάζει πτωτική τάση. Στην Νότια Αφρική στο διάστημα 1994-2009 μόνο 71000, από τις 2.9 εκατομμύρια, κατοικίες κατασκευάστηκαν με εναλλακτικές τεχνολογίες όπως το rammed earth. Αντίστοιχα στη Μποτσουάνα το 1991 το 45.8% των κατοικιών αποτελούνταν από φυσικά υλικά και το 50% είχαν βάση το σκυρόδεμα, ενώ το 2001 το 24% των κτηρίων είχαν κατασκευαστεί με φυσικά υλικά πέσει και το 70% είχε βάση το σκυρόδεμα (Adegun & Adedeji, 2017).

Η περιορισμένη εφαρμογή τεχνικών φυσικής δόμησης οφείλεται στους εξής παράγοντες:

- Έλλειψη εθνικών προτύπων δόμησης για φυσικά υλικά, που τα καθιστά μη εγκεκριμένα. Σαν αποτέλεσμα καθίσταται δύσκολη η χρηματοδότηση μέσω επιδοτήσεων για κατασκευές από φυσικά υλικά.
- Συσχέτιση των φυσικών κατασκευών με ανέχεια και ξεπερασμένες τεχνολογίες.
- Έλλειψη διαθεσιμότητας φυσικών υλικών στην αγορά.
- Περιορισμένη επίγνωση των πολιτών για τα χαρακτηριστικά των φυσικών υλικών.
- Χαμηλή ανθεκτικότητα ορισμένων τεχνικών φυσικής δόμησης (πχ. rammed earth) σε συγκεκριμένα κλιματικά και περιβαλλοντικά φαινόμενα (Adegun & Adedeji, 2017).

2.4.4 Το παράδειγμα της Βόρειας Νιγηρίας

Στη Νιγηρία παρουσιάζεται πολύ έντονα το πρόβλημα της έλλειψης στέγασης. Το 2006 ο υπουργός Στέγασης και Αστικής Ανάπτυξης (Housing and Urban Development) ανακοίνωσε ότι απαιτούνται 10 εκατομμύρια κατοικίες για την κάλυψη των αναγκών όλων των κατοίκων. Πάρα το μέγεθος της ζήτησης κατοικιών για αγορά ή ενοικίαση, η αγοραστική δυνατότητα του κοινού περιορίζεται από τα εισοδήματά τους (Ademiluyi & Raji, 2008).

Κύριος παράγοντας που οδήγησε στο υψηλό κόστος δόμησης στη Νιγηρία είναι οι κρατικοί περιορισμοί στην εισαγωγή τσιμέντου, που συνιστά τουλάχιστον το 40% των υλικών δόμησης, σε συνδυασμό με την αδυναμία της εγχώριας παραγωγής να ικανοποιήσει τη ζήτηση οδηγούν στην ραγδαία αύξησης της τιμής του. Επιπλέον σημαντικός παράγοντας είναι η έλλειψη υποδομών όπως οδικό δίκτυο, ύδρευση και ηλεκτροδότηση σε περιοχές της Νιγηρίας. Οι κατασκευαστές αναλαμβάνουν την εγκατάσταση των υποδομών, που καταλαμβάνουν περίπου το 30% του κόστους κατασκευής (Akeju, 2007).

Ως αποτέλεσμα του μεγάλου κόστους των συμβατικών τεχνικών δόμησης στην Βόρεια Νιγηρία η πλειοψηφία των κτηρίων ακόμα κατασκευάζονται με παραδοσιακές τεχνικές. (Muazu & Alibaba, 2017)



Figure 2.5: Παραδείγματα κατασκευών με ξύλο ως δομικό στοιχείο στην Β. Νιγηρία (Muazu & Alibaba, 2017)

Παραδοσιακά δομικά υλικά διαθέσιμα στην Νιγηρία

Στον πίνακα 2.9 παραθέτονται χαρακτηριστικά δομικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην Νιγηρία, οι ιδιότητες και οι χρήσεις τους.

Table 2. 9: Ιδιότητες και χρήσεις υλικών (Muazu & Alibaba, 2017)

Φυσικό Υλικό	Πυκνότητα ρ [kg/m ³]	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ [W/(Mk)]	Χρήση
Hempcrete	90-180	0.063-0.44	Μόνωση πατώματος, οροφής
Sheep's wool	15-25	0.03-0.056	Μόνωση πατώματος, οροφής, τοίχων και προστασία σκελετού
Bamboo	90-180	0.044-0.065	Λήψη φορτίων, προστασία σκελετού
Clay	1000-2200	0.20-0.95	Προστασία σκελετού, πλάκες, επίχρισμα
Straw	90-100	0.044-0.063	Θερμομόνωση, παραλαβή φορτίων

Στην έρευνά των οι Amal Gambo Muazu και Halil Zafer Alibaba βαθμονομήθηκαν οι κυριότεροι προτρεπτικοί και αποτρεπτικοί παράγοντες για την κατασκευή κτηρίων από φυσικά υλικά στη περιοχή της Βόρειας Νιγηρίας.

Table 2.10: Προτρεπτικοί και αποτρεπτικοί παράγοντες για την χρήση φυσικών υλικών στις κατασκευές με φθίνουσα κατάταξη source: (Muazu & Alibaba, 2017)

Κατάταξη	Προτρεπτικοί παράγοντες	Αποτρεπτικοί παράγοντες
1	Κόστος κατασκευής	Διαθεσιμότητα συμβατικών υλικών (σκυρόδεμα)
2	Προσβασιμότητα της τεχνολογίας	Κοινή γνώμη
3	Χρόνος κατασκευής	Έλλειψη εξειδικευμένων κατασκευαστών
4	Αντοχή των υλικών κατασκευής	Συνεχείς ανάπτυξη συμβατικών τεχνολογιών δόμησης
5	Θερμομονωτικές ιδιότητες φυσικών υλικών	Έλλειψη δεξιοτεχνών σε φυσικές κατασκευές

Σημειώνεται πως το κόστος των φυσικών υλικών στην Νιγηρία εξαρτάται από την περιοχή. Στην έρευνα των Adegun και Adedeji στην Βόρεια Νιγηρία το κόστος τοποθέτησης ISSB παρουσιάζεται 36.6% μεγαλύτερο από την τοποθέτηση συμβατικού τσιμέντου, σε αντίθεση με την Νότια Νιγηρία όπου παρουσιάζεται κατά 60% οικονομικότερη (Adegun and Adedeji, 2017).

2.5 Βιωσιμότητα της φυσικής δόμησης σε αστικό περιβάλλον ανεπτυγμένων Ευρωπαϊκών χωρών

Τα τελευταία χρόνια στις ανεπτυγμένες χώρες έχει παρατηρηθεί αύξηση της ανέγερσης κτηρίων από φυσικά υλικά. Η αύξηση παρουσιάζεται κυρίως σε χώρες της Ευρώπης, όπου οι δομικοί κώδικες είναι φιλικότεροι σε κατασκευές αυτού του τύπου και παράλληλα το κοινό

δείχνει αυξημένη περιβαλλοντική ευαισθησία και τήρηση των κανόνων προστασίας του περιβάλλοντος (Preprints Terra2016, 2016).

2.5.1 Ανασταλτικοί παράγοντες στην εφαρμογή της φυσικής δόμησης σε αστικό περιβάλλον ανεπτυγμένων χωρών

Παρά την αυξητική της τάση η φυσικής δόμησης παρουσιάζει περιορισμένη εφαρμογή στο αστικό δομικό περιβάλλον.

Ανασταλτικοί παράγοντες:

- Αυστηροί αντισεισμικοί κώδικες σε σεισμογενείς περιοχές περιορίζουν το μέγιστο ύψος κατασκευών από φυσικά υλικά (Wanek, 2010).
- Κατασκευές με μεγάλο πάχος διατομής του κελύφους (straw bales, light clay) θεωρούνται μη βιώσιμες σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπως πόλεις.
- Χαμηλή διαθεσιμότητα φυσικών υλικών σε αστικές περιοχές.
- Δομικοί κώδικες που περιορίζουν την κατασκευή με 100% δομικά υλικά.
- Αρνητική κοινή γνώμη για τεχνικά χαρακτηριστικά των φυσικών κατασκευών με κυριότερα παραδείγματα αντοχή των υλικών, το αυξημένο κόστος συντήρησης, το περιορισμένο μέγεθος των κτηρίων, ενώ παράλληλα παρουσιάζονται αμφιβολίες για την πυρασφάλεια και την ηχομόνωση των κτηρίων (Kennedy, n.d.).

Σαν αποτέλεσμα η δόμηση με χρήση 100% φυσικών υλικών σε αστικό δομικό περιβάλλον περιορίζεται στην ανέγερση πρότυπων κατασκευών. Σε υπάρχουσες κατασκευές προτείνεται η προσθήκη φυσικών στοιχείων για την ενεργειακή τους αναβάθμιση (Kennedy, n.d.).

2.5.2 Παραδείγματα εφαρμογών δόμησης με φυσικά υλικά σε αστικό περιβάλλον

BaleHaus

Το BaleHaus είναι διώροφο κτήριο κατασκευασμένο από αχυρόμπαλες. Κατασκευάστηκε το 2009, στο χώρο του πανεπιστημίου του Bath, στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος ModCell.

Τεχνική κατασκευής BaleHaus

Η κατασκευή θεμελιώθηκε σε πλακά ενισχυμένου οπλισμένου σκυροδέματος πάνω στην οποία έγινε τοποθέτηση ενιαίας πλάκας ξύλου και στην συνέχεια τοποθετήθηκε η τοιχοποιία του πρώτου ορόφου. Ομοίως τοποθετήθηκε ενιαία πλάκα ξύλου πάνω στην οποία κατασκευή του πρώτου ορόφου. Η ξύλινη οροφή μονώθηκε με ίνες ξύλου και ανακυκλώσιμη υγρομωνοτική μεμβράνη. Στις κάθετες επιφάνειες, ανάμεσα στα πάνελ των τοίχων, τοποθετήθηκε μονωτικό υλικό (ίνες ξύλου) πάχους 20mm . Τα πάνελ δέθηκαν μεταξύ τους με βίδες και τα διάκενα καλύφθηκαν αεροστεγώς (Wall et al., 2012). Το 100% της ξυλείας που χρησιμοποιήθηκε στους εσωτερικούς τοίχους, στα πατώματα, στις πόρτες, τα παράθυρα και στις δοκούς στήριξης ήταν προϊόν επαναχρησιμοποίησης ("ModCell :: BaleHaus at Bath", n.d.).



Figure 2.6 A and B: (A) Στάδιο κατασκευής BaleHaus (B) Πάνελ τοιχοποιίας BaleHaus (Meinhold, 2010)



Figure 2.7 A and B: BaleHaus στο στάδιο της κατασκευής (A) και μετά την ολοκλήρωση (B) ("ModCell :: BaleHaus at Bath", n.d.)

Αξιολόγηση τεχνικής και περιβαλλοντικής απόδοσης κατασκευής

Η αξιολόγηση του κτηρίου πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια προσομοίωσης όπου μελετήθηκε η λειτουργία του για περίοδο 12 μηνών. Καιρικά δεδομένα συλλέχτηκαν από μετεωρολογικό σταθμό κοντά στο σημείο κατασκευής. Στη συνέχεια εξετάστηκε η θερμική απόδοση του κτηρίου, δηλαδή το μονωτικό υλικό, τα πάνελ και η μεταφορά θερμότητας στις επιφάνειες. Επίσης μελετήθηκαν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, το ποσοστό υγρασίας στα υλικά, η αντοχή στη φωτιά, η ακουστική και η διαπερατότητα του αέρα. (Wall et al., 2012)

Αποτελέσματα

- Υγρασία: Κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης η υγρασία στο ξύλο δεν ξεπέρασε το 22%, με το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό υγρασίας για μεγάλο χρονικό διάστημα να είναι 25% (Summers, 2006)
- Πυρασφάλεια: Για κατασκευές ύψους έως 5m ο ελάχιστος χρόνος πυρασφάλειας είναι 30min. (DCLG, 2010). Οι τοίχοι του BaleHaus ξεπέρασαν αυτή την τιμή κατά 4 φορές.
- Διαπερατότητα αέρα: Αφού εντοπίστηκαν και περιορίστηκαν οι διαρροές στα παράθυρα και σε ενώσεις ανάμεσα στα πάνελ, μετρήθηκε διαπερατότητα αέρα $0.86 \text{ m}^3 * \text{h}^{-1} * \text{m}^{-2}$ στα 50Pa.
- Θερμική απόδοση: Πολύ ικανοποιητική θερμική απόδοση, δεν παρουσιάστηκε φαινόμενο θερμογέφυρας ανάμεσα στον ξύλινο σκελετό, το πάτωμα και την οροφή. Η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα του άχυρου προσφέρει την δυνατότητα κατασκευών υψηλής θερμικής απόδοσης με μικρό περιβαλλοντικό αποτύπωμα (Wall et al., 2012).
- Περιβαλλοντικό αποτύπωμα: Η ενσωμάτωση C στα πάνελ άχυρου της κατασκευής υπολογίστηκε ίση με $3.5 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2$, που συγκρινόμενη με συμβατική κατοικία με τοιχοποιία διαστάσεως 150-200 m^2 , παρέχει συνολική μείωση εκπομπών CO_2 ίση με 19 τόνους (Lawrence, 2015).

Marks & Spenser, Cheshire Oaks

Το πολυκατάστημα της αλυσίδας Marks & Spenser στο Cheshire Oaks του Ηνωμένου Βασιλείου ξεκίνησε να λειτουργεί το 2012 ("M&S Cheshire Oaks Store", n.d.), είναι το δεύτερο μεγαλύτερο κατάστημα της αλυσίδας με εσωτερικό χώρο 17,650m² ("Inspirational timber case studies", n.d.) και το τρίτο με χαρακτηρίστηκα βιώσιμου σχεδιασμού. Στόχος της κατασκευής είναι η συλλογή στοιχείων και εμπειρίας πάνω στον σχεδιασμό, κατασκευή και λειτουργία βιώσιμων κτηρίων (Lawrence, 2015).



Figure 2.8 A and B: Φωτογραφίες του εξωτερικού και εσωτερικού χώρου του M&S Cheshire Oaks ("M&S Cheshire Oaks Store", n.d.; ("Inspirational timber case studies", n.d.)

Χαρακτηριστικά του καταστήματος:

- Οι εξωτερικοί τοίχοι αποτελούνται από προκατασκευασμένα πάνελ μίγματος Hemp-Lime διαστάσεων 2.4m * 4.8m και πάχους 40cm με θερμοπερατότητα $U=0.12 \frac{W}{m^2 \cdot K}$. (Lawrence, 2015) Πλεονεκτήματα της χρήσης του συγκεκριμένου υλικού είναι η πυρασφάλεια του και το χαμηλό ενεργειακό του αποτύπωμα, αφού είναι βιοδιασπώμενο, ανακυκλώσιμο και παράγεται τοπικά ("Inspirational timber case studies", n.d.).
- Για την κατασκευή του σκελετού της οροφής και του πρώτου ορόφου έχει χρησιμοποιηθεί 100% glulam (Lawrence, 2015). Η παραγωγή glulam απαιτεί το 1/5 της ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή χάλυβα και παράλληλα απαιτείται το 1/10 της ποσότητας σκυροδέματος στην κατασκευή ("ECO-FEATURES AT M&S CHESHIRE OAKS STORE EXCEED EXPECTATIONS", 2013).

- Για την ολοκλήρωση της οροφής χρησιμοποιήθηκε 100% ανακυκλωμένο αλουμίνιο και επαναχρησιμοποιημένο μονωτικό υλικό (Lawrence, 2015).
- Το 40% από τα κεραμικά πλακάκια του δαπέδου αποτελούν προϊόντα ανακύκλωσης ("Inspirational timber case studies", n.d.).
- Στην εγκατάσταση γίνεται συλλογή νερού με την βοήθεια βροχοσυλλεκτών και δεξαμενές με δυνατότητα αποθήκευσης 80m³ νερού το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται για άρδευση και στις τουαλέτες (*Cheshire Oaks Summary Guide First Revision*, 2015).
- Το 70% της θέρμανσης γίνεται με χρήση μπόιλερ βιομάζας (Lawrence, 2015).
- Το 100% των απορριμμάτων κατά τη κατασκευή χρησιμοποιήθηκε σε άλλες διεργασίες όπως την επικάλυψη ενός λατομείου και την κατασκευή τοπικής πίστας Motocross.
- Στον εξωτερικό χώρο γίνεται χρήση LED για φωτισμό, ενώ στον εσωτερικό χώρο έχουν εγκατασταθεί αισθητήρες φωτός προκειμένου να εξασφαλίζεται η μέγιστη χρήση του ηλιακού φωτός.
- Γίνεται χρήση υπόγειων αγωγών για την διευκόλυνση των συστημάτων HVAC στη ψύξη του κτηρίου.
- Η εγκατάσταση καλύπτεται από 300m² πράσινων τοίχων, που συντηρούνται από το σύστημα συλλογής νερού (Lawrence, 2015).
- Στην περιοχή έγινε φύτευση 228 νέων δέντρων. Ταυτόχρονα κατασκευάστηκαν φωλιές και τεχνητές λίμνες με σκοπό την φιλοξενία 14000 ειδών επιτυγχάνοντας την ενίσχυση της βιοποικιλότητας της περιοχής. Υπολογίζεται ότι κατά την ανάπτυξη τους τα δέντρα θα δεσμεύσουν 800 tonnes CO₂.
- Διατίθεται χώρος στάθμευσης για 958 αυτοκίνητα και 100 ποδήλατα, με σημεία φόρτισης για ηλεκτρικά αυτοκίνητα ("Inspirational timber case studies", n.d.).

Ενεργειακή και Περιβαλλοντική απόδοση

Η ενεργειακή και περιβαλλοντική απόδοση μελετήθηκαν με σημεία αναφοράς τους αρχικούς σχεδιαστικούς στόχους του συγκροτήματος και εμπορικό κέντρο αναφοράς ανάλογων προδιαγραφών (Westfield White City).

Στον πίνακα 2.11 παρουσιάζεται η κατανάλωση ενέργειας των τομέων λειτουργίας του Cheshire Oaks, Marks & Spenser σε σύγκριση με τα σημεία αναφοράς από το Νοέμβριο του 2012 μέχρι τον Οκτώβρη του 2013.

Table 2.11: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας του Cheshire Oaks, Marks & Spenser με τα κτήρια αναφοράς από Faithful & Gould- Nov 2012 to Oct 2013 (Lawrence, 2015)

Μελετώμενη Κατηγορία	Κατανάλωση Cheshire Oaks $(\frac{kWh}{m^2})$	Κατανάλωση Westfield White $(\frac{kWh}{m^2})$	% Μείωση κατανάλωσης σε σχέση με Westfield White	Εκτιμώμενη κατανάλωση κατά το σχεδιασμό $(\frac{kWh}{m^2})$	% Μείωση πραγματικής κατανάλωσης σε σχέση με την εκτιμώμενη
Φωτισμός	103	119	13%	134	23%
Κατάψυξη τροφίμων	58	74	21%	57	-2%
HVAC	35	61	43%	74	53%
Μετακίνηση αντικειμένων (πχ. Κλαρκ)	5	30	82%	23	77%
Catering	39	27	-42%	42	7%
IT	2	7	78%	9	81%
Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας	276	428	36%	346	20%

Σύμφωνα με τη μελέτη της Faithful & Gould το 2014, η απόκλιση της ενεργειακής κατανάλωσης των συστημάτων HVAC του Cheshire Oaks σε σχέση με την εκτιμώμενη κατανάλωση κατά το σχεδιασμό σχετίζεται αποκλειστικά με την τοποθέτηση των πάνελ hemp-lime. Το hemp-lime αποτελεί σχετικά καινούργιο προϊόν και κατά συνέπεια υπάρχει αδυναμία μοντελοποίησης του με ακρίβεια στο στάδιο του σχεδιασμού. Οι θερμομονωτικές του ιδιότητες και η θερμική του μάζα αποδείχθηκαν στην πράξη αποτελεσματικότερες από τις προβλεπόμενες, οπότε περιορίστηκε η ανάγκη για θέρμανση το χειμώνα και ψύξη το καλοκαίρι (Lawrence, 2015).

Σημειώνεται πως στις εγκαταστάσεις γίνεται συνεχής παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο με στόχο την βελτιστοποίηση του συστήματος.

Μετά τον πρώτο χρόνο λειτουργίας του χώρου καταγράφηκαν τα εξής:

- Μείωση εκπομπών CO₂: Το M&S Cheshire Oaks έχει μειώσει κατά 40% τις εκπομπές CO₂, με προβλεπόμενη μείωση κατά το σχεδιασμό ίση με 35% ("Post Occupancy Evaluation - M&S", n.d.).
- Θερμική μόνωση: Η αεροστεγανότητα του κτηρίου βρέθηκε να είναι 70% αποδοτικότερη από την απαιτούμενη από τον δομικό κώδικα. Οι θερμικές απώλειες έχουν σαν αποτέλεσμα την μείωση της θερμοκρασίας κατά 1°C στο εσωτερικό του κτηρίου κατά την διάρκεια της νύχτας του χειμώνα, ενώ συγκρίσιμα κτήρια παρουσιάζουν μείωση θερμοκρασίας ίση με 9°C.
- Μπόιλερ Βιομάζας: Το μπόιλερ βιομάζας καλύπτει το 75% των αναγκών θέρμανσης του M&S Cheshire Oaks. Σε 1 χρόνο το σύστημα μείωσε την παραγωγή CO₂ κατά 36.7 tonnes (79%) σε σύγκριση με αντίστοιχους χώρους.
- Συλλογή βρόχινου νερού: Το συλλεγόμενο βρόχινο νερό καλύπτει το 33% των αναγκών του κτηρίου, ενώ ο στόχος κατά το σχεδιασμό ήταν 25%.
- Βιοποικιλότητα: Η βιοποικιλότητα της περιοχής παρουσίασε μεγαλύτερη αύξηση από το αρχικό σχέδιο ("ECO-FEATURES AT M&S CHESHIRE OAKS STORE EXCEED EXPECTATIONS", 2013).

2.6 Εφαρμογές φυσικής δόμησης σε οικοχωριά

Ως οικοχωριά ορίζονται από το δίκτυο GEN (Global Ecovillage Network) ως αγροτικές ή αστικές κοινότητες σχεδιασμένες να εντάσσουν όλες τις πτυχές της βιωσιμότητας (κοινωνική, πολιτιστική, περιβαλλοντική και οικονομική) με στόχο την αναδημιουργία του κοινωνικού και φυσικού περιβάλλοντος ("GEN Research - Networking, Integrating, and Value Setting for Ecovillage Research", n.d.). Η πλειονότητα των οικοχωριών συναντάται στις χώρες της Ευρώπης και στην Βόρεια Αμερική (Wagner, 2012), ωστόσο ειδική αναφορά γίνεται στις χώρες της Αφρικής όπου έχουν μετρηθεί 14000 αγροτικά χωριά τα οποία διαθέτουν χαρακτηριστικά των οικοχωριών, όπως δόμηση με φυσικά υλικά και πρακτικές τοπικής διαχείρισης της γης. Τα συγκεκριμένα χωριά δεν αναγνωρίζονται ως οικοχωριά από το δίκτυο GEN, λόγω της παράλληλης εφαρμογής πρακτικών που έχουν ως αποτέλεσμα την καταστροφή του φυσικού περιβάλλοντος, όπως καταστροφή τοπικών δασών για την παραγωγή καυσίμων και την επέκταση των αγροτικών εκτάσεων (Jackson, 1998).

Ο σχεδιασμός των οικοχωριών εξαρτάται άμεσα από τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Η βιωσιμότητα τους εξασφαλίζεται από το χωροταξικό τους σχεδιασμό, τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης των κατασκευών και την διαχείριση των πρώτων υλών. Τα κτήρια έχουν χαμηλή ή μηδενική ενεργειακή κατανάλωση και συνήθως κατασκευάζονται από φυσικά υλικά (Dias & Loureiro, 2019).

Το μοντέλο ανάπτυξης των οικοχωριών στηρίζεται στον περιορισμό της κατανάλωσης πρώτων υλών και την βέλτιστη διαχείριση των πόρων, των κτηρίων και του εξοπλισμού έχοντας ως κριτήριο την φέρουσα ικανότητα της περιοχής (Litfin, 2014). Ως φέρουσα ορίζεται ο μέγιστος αριθμός ατόμων που μπορούν να διαβιούν για μακρά χρονικά διαστήματα σε δεδομένο περιβάλλον. Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται ο μέγιστος επιτρεπόμενος πληθυσμός είναι: η διαθεσιμότητα του νερού, της τροφής, των ενδαιτημάτων και των άλλων αναγκών για τα άτομα παραμέτρων του οικοσυστήματος. Η φέρουσα ικανότητα είναι, κατά συνέπεια, εξαρτώμενη από το είδος του οικοσυστήματος. ("Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας | Δικτυακός Τόπος Διαβουλεύσεων", 2010)

Τα οικοχωριά δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν ως μοντέλα διαμόρφωσης των σύγχρονων βιομηχανοποιημένων χωρών. Τα οικοχωριά εξετάζονται ως βιώσιμες λύσεις σε τοπικό επίπεδο, ενώ παράλληλα αποτελούν πεδίο εφαρμογής εναλλακτικών τεχνικών των η οποίων η βιωσιμότητα μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο ακαδημαϊκής έρευνας (Wagner, 2012).

2.6.1 Παραδείγματα βιώσιμης περιβαλλοντικής και ενεργειακής διαχείρισης οικοχωριών και η συμβολή της φυσικής δόμησης

Η εδραίωση των οικοχωριών επιτρέπει στις τοπικές κοινωνίες να έρθουν σε επαφή με εναλλακτικές πρακτικές όπως τη φυσική δόμηση, τη χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας και εναλλακτικές μεθόδους διαχείρισης γης. Τα οικοχωριά παρουσιάζουν έως και 50% χαμηλότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα ανά κάτοικο σε σχέση μέσω της χώρας στην οποία βρίσκονται (Würfel, 2014).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα του χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος των οικοχωριών είναι το Findhorn στην Σκωτία, όπου το οικολογικό αποτύπωμα είναι το μισό από μέσο όρο του Ηνωμένου Βασιλείου. Σε έρευνα που διεκπεραιώθηκε από το δίκτυο GEN-Europe υπολογίστηκε ότι στο Findhorn καταναλώνεται το 21.5% της ενέργειας σε σχέση με το μέσο όρο του Ηνωμένου Βασιλείου για θέρμανση, καταναλώνεται το 37% των τροφίμων και καταναλώνεται το 47% της ενέργειας για μεταφορές (Würfel, 2014).



Figure 2.9 A and B: Παράδειγμα κατασκευής στο οικοχωριό Findhorn ("Ecovillage Findhorn", n.d.)

Ομοίως σε μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων στο οικοχωριό Munkesoegaard στη Δανία υπολογίστηκε ότι η κατανάλωση νερού του χωριού ήταν χαμηλότερη κατά 38% και η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος ήταν χαμηλότερη κατά 25% σε σχέση με τη μέση κατοικία της Δανίας. Οι εκπομπές CO₂ από τη χρήση συστημάτων θέρμανσης και την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ήταν κατά 60% χαμηλότερες από τη μέση κατοικία της Δανίας (Würfel, 2014).

Kibbutz Lotan

Το Kibbutz Lotan ιδρύθηκε το 1983 και βρίσκεται στο νότιο τμήμα της ερήμου Arava, 55km βόρεια της πόλης Eilat. Ο μόνιμος πληθυσμός ανέρχεται σε 55 ενήλικες με 60 παιδιά και υπάρχει η δυνατότητα φιλοξενίας 30 επισκεπτών. Η οικονομία της κοινότητας στηρίζεται σε κτηνοτροφικές, γεωργικές και τουριστικές δραστηριότητες. Σημειώνεται πως τμήμα των μελών της κοινότητάς εργάζεται εκτός, διοχετεύοντας όμως τα έσοδα τους στην οικονομία της. (Kibbutz Lotan - Center for Creative Ecology, n.d.).

Από το 1997 στην κοινότητα λειτουργεί ερευνητικό τμήμα (Centre for Creative Ecology) με πεδίο μελέτης τις τεχνικές μείωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και τεχνολογίες

κάλυψης των αναγκών των μελών της κοινότητας. Παράλληλα στην κοινότητα παραδίδονται σεμινάρια εκμάθησης εναλλακτικών στρατηγικών βιώσιμης ανάπτυξης με έμφαση στην ανάπτυξη οικοκοινοτήτων.

Δομικά υλικά κατασκευών

Τα κτήρια στην κοινότητα αποτελούν γεωδαιτικούς θόλους κατασκευασμένοι από αχυρόμπαλες και πηλό, πρώτες ύλες οι οποίες είτε υπάρχουν σε περίσσεια στην περιοχή είτε αποτελούν γεωργικά απόβλητα. Η επιλογή των υλικών και της τεχνικής δόμησης έχει ως στόχο τη βελτιστοποίηση της θερμικής απόδοσης των κτηρίων. Χαρακτηριστικά θερμοχωρητικότητα και η θερμική αγωγιμότητα του αχύρου και του πηλού διευκολύνουν την διατήρηση σταθερών θερμοκρασιών ακόμα και κατά τις ακραίες μεταβολές της θερμοκρασίας ανάμεσα στη μέρα και τη νύχτα. Επιπρόσθετα ο προσανατολισμός των ανοιγμάτων των κατασκευών επιτυγχάνει το βέλτιστο εξαερισμό των κατασκευών, παράλληλα τους καλοκαιρινούς μήνες τα ανοίγματα επιτρέπουν τη ψύχρανση του εσωτερικού χώρου κατά τη διάρκεια της νύχτας διευκολύνοντας τη διατήρηση χαμηλής θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Τέλος η τοιχοποιία θεωρείται αλεξίπτωρη (Israeli Standards Institute) και ο σκελετός των θόλων έχει σχεδιαστεί με βάση τις αντισεισμικές προδιαγραφές της χώρας. (Kibbutz Lotan - Center for Creative Ecology, n.d.)



Figure 2.10: Παράδειγμα κατασκευής στην κοινότητα Lotan(Kibbutz Lotan - Center for Creative Ecology, n.d.)

Περιβαλλοντικό αποτύπωμα κοινότητας

Η ηλεκτροδότησή της κοινότητας γίνεται από εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων με τη μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας να ισούται με 28,025kWh. Η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων επιτρέπει το ν περιορισμό των εκπομπών CO₂ κατά 18.6 tonnes ετησίως.

Η κοινότητα διαθέτει επίσης μονάδα/δεξαμενή παραγωγής βιοαερίου που τροφοδοτείται από υπολείμματα τροφίμων. Το παραγόμενο βιοαέριο αξιοποιείται κυρίως για την μαγειρική στην κοινότητα, διασφαλίζοντας 2-5 ώρες δυνατότητα ημερήσιας λειτουργίας.

Για την εξοικονόμηση του νερού έχει γίνει τοποθέτηση βροχοσυλλεκτών στα κτήρια ενώ γίνεται αποκλειστικά χρήση τουαλετών ξηρού τύπου.

Ανακυκλώσιμα υλικά (όπως χαρτί, χαρτόνι, γυαλί, πλαστικό) συγκεντρώνονται και χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη σε κατασκευές της κοινότητα.

Μέσω των διαδικασιών κομποστοποίησης και ανακύκλωσης η κοινότητα έχει μειώσει την παραγωγή αποβλήτων της κατά 70% (Kibbutz Lotan - Center for Creative Ecology, n.d.).

Dancing rabbit ecovillage

Το οικοχωριό Dancing rabbit ιδρύθηκε το 1997 στο Scotland County, Missouri από απόφοιτους φοιτητές του πανεπιστημίου του Stanford. Στόχος του οικοχωριού ήταν η παρουσίαση ενός εναλλακτικού μοντέλου περιβαλλοντικά βιώσιμης κοινότητας. Η οικονομία της κοινότητας στηρίζεται στην ανταλλαγή πόρων ανάμεσα στα μέλη της και εισαγωγή προϊόντων αποκλειστικά από τοπικούς προμηθευτές. Στο οικοχωριό κατοικούν σήμερα 46 ενήλικες και 9 παιδιά με την κοινότητα να έχει σχεδιαστεί με τελικό στόχο τη διαμονή 500-1000 ατόμων (Boyer, 2016).

Υλικά κατασκευής και τεχνικές δόμησης

Η επιλογή των δομικών υλικών των κτηρίων της κοινότητας εξαρτήθηκε από τον κλιματικό παράγοντα και την διαθεσιμότητα τους στην περιοχή. Οι κατασκευές που χτίζονται αποτελούνται κυρίως από άχυρο και πηλό. Το άχυρο είναι εποχιακά διαθέσιμο ως γεωργικό απόβλητο των αγροκτημάτων της περιοχής, ενώ παράλληλα υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα πηλού στην περιοχή. Στις κατασκευές της κοινότητας το μεγαλύτερο ποσοστό της ξυλείας προέρχεται από επαναχρησιμοποίηση διασωθέντων δομικών υλικών από κατεδαφισμένα κτήρια της περιοχής. Τεχνικές δόμησης που συναντώνται στην κοινότητα είναι: straw bales, light clay και cob ("Cutting Our Carbon Footprint | Dancing Rabbit Ecovillage", n.d.)



Figure 2.11: Κατασκευή από cob στο Dancing Rabbit Ecovillage
("Gobcobatron | Dancing Rabbit Ecovillage", n.d.)

Περιβαλλοντικό αποτύπωμα κοινότητας

Σύμφωνα με μελέτη που διεξήχθη από την κοινότητα το μέσο ετήσιο περιβαλλοντικό αποτύπωμα κάθε μέλους της κοινότητας αντιστοιχεί σε 8.3 έως 9.4 tonnes CO₂eq. Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των μελών της κοινότητας είναι κατά 53% χαμηλότερο σε σχέση με το μέσο περιβαλλοντικό αποτύπωμα των κατοίκων των ΗΠΑ, που ισούται με 20 tonnes CO₂eq.

Η μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των κατοικιών των ΗΠΑ ισούται 10836 kWh ετησίως, που αντιστοιχεί σε εκπομπές 2.9 tonnes CO₂eq. Κύριες πηγές κατανάλωσης αποτελούν η θέρμανση χώρου (33%), θέρμανση νερού(14%), κλιματισμός(12%), φωτισμός(6%), συντήρηση τροφίμων(8%), χρήση Η/Υ(6%) και στέγνωμα ρούχων(5%).

Στο οικοχωριό Dancing Rabbit έχουν μειώσει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά 80%. Η μείωση της κατανάλωσης εξασφαλίζεται μέσω του σχεδιασμού των κατοικιών ώστε να πετυχαίνεται η ελαχιστοποίηση των αναγκών ψύξης, θέρμανσης και εξαερισμού. Χαρακτηριστικά σε μέτρηση κατασκευής από straw bales που διεξήχθη στην κοινότητα κατά τη χειμερινή περίοδο παρατηρήθηκε ότι απαιτείται το 50% της ενεργειακής κατανάλωσης σε σχέση με το μέσο όρο των κατοικιών των ΗΠΑ για την θέρμανση των κατοικιών. Παράλληλα περιορίστηκαν τα συστήματα κατάψυξης τροφίμων ανά άτομο, για τον φωτισμό χρησιμοποιούνται λαμπτήρες LED και έγινε περιορισμός της χρήσης ηλεκτρικών συσκευών. Η τροφοδότηση της κοινότητας γίνεται μέσω φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών.

Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των κατοικιών της κοινότητας για θέρμανση χώρων, θέρμανση νερού και μαγειρική αντιστοιχεί σε 0.35 tonnes CO₂eq, 85% χαμηλότερο από την μέση κατοικία των ΗΠΑ ("Cutting Our Carbon Footprint | Dancing Rabbit Ecovillage", n.d.).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΚΤΗΡΙΩΝ ΜΕ LCA

Η ανάλυση κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment) αποτελεί μέθοδο ανάλυσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος όλων των σταδίων του κύκλου ζωής προϊόντων ή διεργασιών. Στόχος της ανάλυσης είναι ο εντοπισμός των φάσεων ζωής με το υψηλότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα και η δημιουργία βάσης δεδομένων για την εκτίμηση του συστήματος (Cabeza et al., 2014).

Την δεκαετία του 1990 ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (International Organisation for Standardisation - ISO) υιοθέτησε τις προδιαγραφές περιβαλλοντικής διαχείρισης (ISO 14040), όπου συμπεριλήφθησαν και τα κύρια βήματα ενός LCA:

1. Goal and scope definition: Στην πρώτη φάση της ανάλυσης παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του συστήματος, ορίζονται τα όρια της μελέτης και η μονάδα αναφοράς. Στόχος της μονάδας αναφοράς είναι η δυνατότητα σύγκρισης των περιβαλλοντικών και ενεργειακών επιπτώσεων εναλλακτικών σεναρίων.
2. Life cycle inventory analysis: Είναι η μέθοδος εκτίμησης της κατανάλωσης πόρων και των αποβλήτων του κύκλου ζωής του προϊόντος. Η μοντελοποίηση του συστήματος γίνεται μέσω της κατασκευής διαγράμματος ροής των σταδίων του κύκλου ζωής του προϊόντος και των εισροών και εκπομπών του συστήματος.
3. Life cycle impact assessment: Στόχος του τρίτου βήματος είναι η αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε μια σειρά κατηγοριών όπως συνεισφορά στην κλιματική αλλαγή, τοξικότητα και καταστροφή του όζοντος .
4. Life cycle interpretation: Ερμηνεία των αποτελεσμάτων κάθε βήματος της ανάλυσης (Rebitzer et al., 2004).

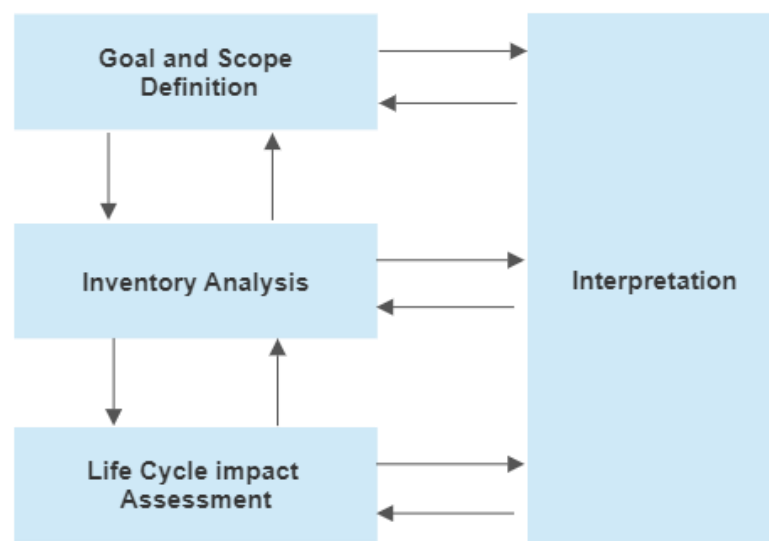


Figure 3.1: LCA σύμφωνα με ISO 14040 (Cabeza et al., 2014)

3.1 Ανάλυση κύκλου ενέργειας (LCEA) κτηρίων

Στόχος της μεθόδου LCEA είναι ο υπολογισμός των εισροών ενέργειας των σταδίων του κύκλου ζωής ενός κτηρίου.

Παρατίθενται πιο κάτω τα στάδια από τα οποία αποτελείται ο κύκλος ζωής ενός κτηρίου:

- Στάδιο παραγωγής: παραγωγή και μεταφορά και επεξεργασία των υλικών κατασκευής
- Στάδιο κατασκευής: κατασκευή κελύφους και εγκατάσταση φερόμενων στοιχείων στο νέο κτήριο
- Στάδιο λειτουργίας: διαδικασίες που σχετίζονται με την χρήση του κτηρίου, όπως τη χρήση συστημάτων HVAC, τη χρήση ηλεκτρικών συσκευών και την κατανάλωση νερού
- Τέλος ζωής: κατεδάφιση κτηρίου και μεταφορά αποβλήτων.



Figure 3.2: Κύκλος ενέργειας κτηρίου, adapted from (Cabeza et al., 2014; Zabalza Bribián et al., 2009)

3.1.1 Εισροές ενέργειας στα στάδια ζωής ενός κτηρίου

Αρχική Ενσωματωμένη Ενέργεια (Initial Embodied Energy)

Ως Αρχική Ενσωματωμένη Ενέργεια ορίζεται η ενέργεια που καταναλώνεται κατά την κατασκευή του κτηρίου. Εκφράζεται από τη σχέση:

$$EE_i = \sum (m_i M_i) + E_c$$

, όπου

- (i) m_i : ποσότητα δομικού υλικού i
- (ii) M_i : περιεχόμενη ενέργεια μίας μονάδας δομικού υλικού i
- (iii) E_c : ενέργεια που καταναλώθηκε στο εργοτάξιο κατά την ανέγερση

Περιοδικά Ενσωματωμένη Ενέργεια (Recurring Embodied Energy)

Η Περιοδικά Ενσωματωμένη Ενέργεια είναι αυτή που καταναλώνεται για τις διαδικασίες συντήρησης και τις ανακαινίσεις που εκτελούνται κατά τη λειτουργία του κτηρίου. Εκφράζεται από τη σχέση:

$$EE_r = \sum (m_i M_i) [(L_b / L_{mi}) - 1]$$

, όπου

- (i) EE_r : Περιοδικά Ενσωματωμένη Ενέργεια
- (ii) L_b : διάρκεια ζωής του κτηρίου
- (iii) L_{mi} : διάρκεια ζωής δομικού υλικού i

Ενέργεια λειτουργίας (Operating Energy)

Η Ενέργεια λειτουργίας ορίζεται ως η ενέργεια που απαιτείται κατά την καθημερινή χρήση του κτηρίου, όπως η χρήση συστημάτων HVAC, του φωτισμού και των ηλεκτρικών συσκευών. Εκφράζεται από τη σχέση:

$$OE = E_{OA} L_B$$

, όπου

- (i) OE: Ενέργεια που ενσωματώνεται κατά την λειτουργία
- (ii) E_{OA} : Ετήσια κατανάλωση ενέργειας
- (iii) L_B : Διάρκεια ζωής κτηρίου

Ενέργεια κατεδάφισης (Demolition energy)

Ως Ενέργεια κατεδάφισης ορίζεται ως αυτή που καταναλώνεται κατά την κατεδάφιση και την μεταφορά και την απόρριψη ή ανακύκλωση των δομικών υλικών. Εκφράζεται από τη σχέση:

$$DE = E_D + E_T$$

, όπου

- (i) DE: ενέργεια κατεδάφισης
- (ii) E_D : απαιτούμενη ενέργεια για την κατεδάφιση του κτηρίου
- (iii) E_T : κατανάλωση ενέργειας για την κατεδάφιση ενέργειας

Life cycle energy (LCE)

Κύκλος ζωής της ενέργειας ενός κτηρίου ορίζεται ως άθροισμα της απαιτούμενης ενέργειας όλων των σταδίων του κύκλου ζωής του.

$$LCE = EE_i + EE_r + OE + DE$$

Ο υπολογισμός των εισροών ενέργειας δίνει τη δυνατότητα εντοπισμού των πιο ενεργειακά απαιτητικών φάσεων της ζωής των κτηρίων και στην συνέχεια καθίσταται δυνατή η βελτιστοποίηση της ενεργειακής τους και ,ως συνέπεια, της περιβαλλοντικής τους απόδοσης.

Σημειώνεται πως για την αξιολόγηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός κτηρίου απαιτείται η πλήρης ανάλυση κύκλου ζωής (LCA) (Ramesh et al., 2010).

3.1.2 Απλοποιημένη μέθοδος LCA/LCEA

Σύμφωνα με την έρευνα του Ramesh, στην οποία μελετήθηκαν 73 κατοικίες και επαγγελματικοί χώροι σε περιοχές την Ευρώπης, Αυστραλίας και Ασίας, το 80%-90% της συνολικά απαιτούμενης ενέργειας των κτηρίων καταναλώθηκε κατά το στάδιο της λειτουργίας και το 10%-20% κατά τη φάση της ανέγερσης (Ramesh et al., 2010). Επιπρόσθετα μελέτη του Adalberth έδειξε πως μόνο το 1% της συνολικά απαιτούμενης ενέργειας του κύκλου ζωής ενός κτηρίου καταναλώνεται κατά τη μεταφορά των υλικών (Adalberth, 1997).

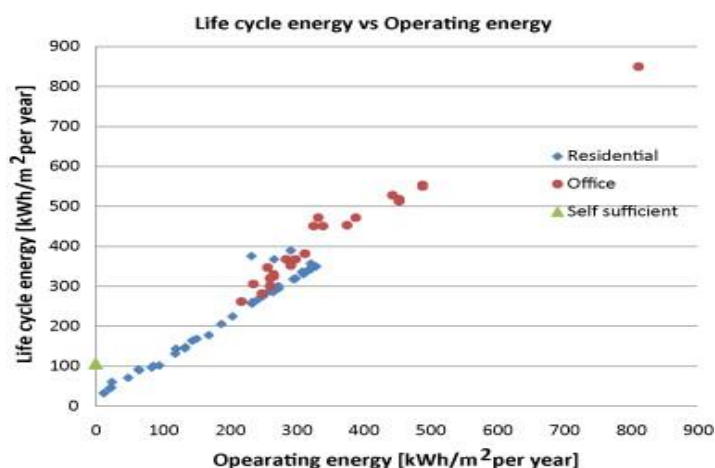


Figure 3.3: Σχέση κατανάλωσης ενέργειας με ενέργεια κύκλου ζωής σε 73 εξεταζόμενα κτήρια (Ramesh et al., 2010)

Λαμβάνοντας υπόψη τις ενεργειακές απαιτήσεις των σταδίων ζωής των κτηρίων έχει προταθεί η απλοποιημένη μέθοδος LCEA. Οι παράγοντες που καθιστούν την μέθοδο simplified LCEA ελκυστική είναι η ευκολία στην πρόσβαση δεδομένων και στην κατανόηση αποτελεσμάτων. Μεταβλητές όπως οι εκπομπές CO₂ και η κατανάλωση ενέργειας μπορούν να ερμηνευτούν από μηχανικούς ή αρχιτέκτονες και παράλληλα είναι συμβατές με τα αποτελέσματα των πιστοποιητικών ενεργειακής απόδοσης, διασφαλίζοντας έτσι τη δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων (Zabalza Bribián et al., 2009).

Table 3.1: Στάδια του κύκλου ζωής των κτηρίων που λαμβάνονται υπόψη στην απλοποιημένη μέθοδο LCA (Zabalza Bribián et al., 2009)

Στάδιο	Διαδικασία	Απλοποιημένη μέθοδος LCA
Στάδιο Παραγωγής	Προμήθεια πρώτων υλών	✓
	Μεταφορά	✓
	Επεξεργασία	✓
Στάδιο Κατασκευής	Μεταφορά	
	Διαδικασίες εγκατάστασης	
Στάδιο Χρήσης	Συντήρηση	
	Αντικατάσταση	
	Ανακαίνιση	
	Κατανάλωση Ενέργειας: θέρμανση, Ψύξη, ζεστό νερό, φως	✓
	Κατανάλωση νερού	
Τέλος Ζωής	Κατεδάφιση	
	Μεταφορά	
	Ανακύκλωση	
	Απόρριψη	

3.2 Αξιολόγηση ενεργειακής απόδοσης κτηρίων

Ενεργειακή απόδοση ορίζεται ως η αποτελεσματικότητα της αξιοποίησης της απαιτούμενης ενέργειας. Η πρακτική της βέλτιστης ενεργειακής εκμετάλλευσης περιγράφεται ως η κατανάλωση λιγότερης ενέργειας για την επίτευξη του ίδιου αποτελέσματος σε μακροπρόθεσμη βάση.

Η ενεργειακή αξιολόγηση των κτηρίων αποτελεί το πρώτο στάδιο βελτιστοποίησης του ενεργειακού τους σχεδιασμού. Η διαδικασία της ενεργειακής αξιολόγησης αποτελείται από τα στάδια της *μελέτης της κατανάλωσης ενέργειας όλων των υποσυστημάτων του κτηρίου, του σχεδιασμού εναλλακτικών σεναρίων και τέλος της επιλογής του βέλτιστου σεναρίου.*

Για την ενεργειακή αξιολόγηση ενός κτηρίου είναι απαραίτητη η συγκέντρωση μίας σειράς δεδομένων, όπως τα υλικά κατασκευής, το μέγεθος, το σχήμα, η γεωγραφική θέση, το πρόγραμμα λειτουργίας της κατασκευής, τα συστήματα HVAC, το σύστημα φωτισμού, τα κλιματικά χαρακτηριστικά περιοχής, η προοριζόμενη χρήση του κτηρίου και οι ενεργειακοί κώδικες της περιοχής δόμησης. (Abu Bakar et al., 2015)

Ανάλογα με τις ανάγκες της μελέτης έχουν αναπτυχθεί μια σειρά από εναλλακτικές μεθόδους με στόχο την πλήρη αξιολόγηση όλων των υποσυστημάτων των κτηρίων. Τα κυριότερα κριτήρια επιλογής που συνυπολογίζονται στην επιλογή της μεθόδου αποτελούν:

- η απαιτούμενη ακρίβεια των αποτελεσμάτων
- ο διαθέσιμος χρόνος
- ο αριθμός επαναλήψεων της διαδικασίας
- η προσβασιμότητα της μεθόδου
- τα διαθέσιμα δεδομένα
- το στάδιο που βρίσκεται η μελέτη (Abu Bakar et al., 2015)

3.2.1 Ενεργειακή αξιολόγηση με Computer-aided analysis

Για το συστηματικό έλεγχο και την πρόβλεψη της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων έχουν σχεδιαστεί σειρά διαφορετικών λογισμικών. Η χρήση υπολογιστών επιτρέπει την ολοκλήρωση πολλών υπολογισμών με μεγάλη ακρίβεια σε μικρό χρονικό διάστημα παρέχοντας παράλληλα ευκολία στη χρήση. Η απλοποίηση των υπολογισμών επιτρέπει την λειτουργία από χρήστες χωρίς επιστημονική κατάρτιση μειώνοντας έτσι το κόστος (Abu Bakar et al., 2015).

Τα λογισμικά ενεργειακής αξιολόγησης των κτηρίων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- a) Computer-Aided Design and Drafting (CADD), δηλαδή σχεδιαστικά προγράμματα και
- b) προγράμματα προσομοίωσης (Hong et al., 2000).

Μέχρι το 1995 χαρακτηριστικά παραδείγματα λογισμικών προσομοίωσης αποτελούσαν τα λογισμικά DOE-2 και Building Load Analysis and System Thermodynamics (BLAST). Λόγω του μεγάλου κόστους αναβάθμισης τους και τους περιορισμούς στις εφαρμογές τους, έχουν αναπτυχθεί νέα λογισμικά που συνδυάζουν τις εξισώσεις θερμότητας της BLAST με προσομοιωμένα συστήματα HVAC, όπως το Energy Plus (Crawley et al., 2001)

Τα σύγχρονα προγράμματα προσομοίωσης, εκτός από την κατανάλωση ενέργειας δίνουν πληροφορίες για:

- Τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης
- Την εσωτερική θερμοκρασία του κτηρίου
- Την κατανάλωση των συστημάτων HVAC
- Το φυσικό φως που λαμβάνουν οι διαμένοντες
- Την θερμική άνεση των διαμενόντων
- Το επίπεδο εξαερισμού του χώρου
- Τον υπολογισμό του κόστους της κατανάλωσης ενέργειας

3.2.2 Στάδια διεξαγωγής ενεργειακής προσομοίωσης κτηρίου

Σχεδιασμός Κτηρίου

Το πρώτο στάδιο αποτελείται από το σχεδιασμό του κτηρίου σε σχεδιαστικό λογισμικό, όπως το AutoCAD ή το SketchUp. Το στάδιο είναι απαραίτητο για τη διευκρίνιση των διαστάσεων, της οργάνωσης των χώρων, τη γεωμετρία και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στα δομικά στοιχεία του κτηρίου.

Σχεδιασμός προσομοίωσης κτηρίου

Στο δεύτερο στάδιο καθορίζονται οι μεταβλητές που λαμβάνονται υπόψη κατά την ενεργειακή αξιολόγηση. Παράμετροι που εξετάζονται είναι τα υλικά κατασκευής, η λειτουργία του κτηρίου (πχ. κατοικία, γραφείο, ξενοδοχείο), ο εξοπλισμός (φωτισμός, συστήματα HVAC) και τα ωράρια λειτουργίας. Ο ορισμός των παραπάνω παραμέτρων επιτρέπει το καθορισμό της διαπερατότητας του αέρα και των θερμικών φορτίων του κτηρίου.

Ανάλυση αποτελεσμάτων

Αφού ολοκληρωθεί η προσομοίωση γίνεται καταγραφή και αξιολόγηση σφαλμάτων ή λαθών στην εισαγωγή μεταβλητών.

Ανάλογα με το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε τα στοιχεία που ερμηνεύονται είναι:

- Φυσικές ιδιότητες: υδροθερμική συμπεριφορά, φυσικός φωτισμός, ακουστική, αερισμός του χώρου, καιρικές συνθήκες, γεωμετρία κτηρίου
- Ενεργειακά συστήματα: Διαστασιολόγηση συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- Συστήματα HVAC: Θερμική συμπεριφορά κτηρίου, περιβαλλοντική ποιότητα και κατανάλωση ενέργειας
- Ανθρώπινοι παράγοντες: Θερμική άνεση και ποιότητα αέρα
- Προσομοίωση περιβάλλοντος: Έκθεση στον ήλιο και επιρροή σκιών (Sousa, n.d.)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΦΥΣΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΤΟΥΡΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΓΑΥΔΟΥ

Στο κεφάλαιο 4 εξετάζεται η βιωσιμότητα της ανέγερσης κατασκευών από φυσικά υλικά στο πλαίσιο της διαχείρισης της τουριστικής ανάπτυξης του νησιού της Γαύδου με έμφαση στην προστασία των οικοτόπων στις περιοχές του Σαρακήνικου, Αγίου Ιωάννη και Λαβρακά.

4.1 Το νησί της Γαύδου

Το νησί της Γαύδου αποτελεί δορυφορικό νησί της Κρήτης, βρίσκεται 48km νότια της Χώρας των Σφακίων και αποτελεί διοικητικά ανεξάρτητη κοινότητα. Συνδέεται ακτοπλοϊκά με την Κρήτη μέσω της Χώρας των Σφακίων και της Παλαιόχωρας. Έχει έκταση 29.58km² και σύμφωνα με την απογραφή του 2011 έχει πληθυσμό 152 κατοίκων ("Δήμος Γαύδου", n.d.). Η Γαύδος μαζί με τη Γαυδοπούλα ανήκουν στο δίκτυο NATURA 2000 με κωδικό GR4340013. Βάσει της Κοινοτικής οδηγίας των οικοτόπων 92/43 οι «Παράκτιες αμμοθίνες με είδη Κέδρων» αποτελούν οικότοπο προτεραιότητας με κωδικό 2250* (Ρεμούνδου et al., 2011). Οι περιοχές του Σαρακήνικου, του Αγίου Ιωάννη και του Λαυρακά ανήκουν στον οικότοπο προτεραιότητας 2250* ("Δήμος Γαύδου", n.d.). Η οικονομία της Γαύδου στηρίζεται σε γεωργικές δραστηριότητες και κυρίως στον τουρισμό, ωστόσο οι υποδομές που διαθέτει το νησί δεν επαρκούν για την φιλοξενία του μεγάλου αριθμού επισκεπτών που εισέρχονται ετησίως. Αναφορικά το 2015 η Γαύδος δέχτηκε περίπου 14000 επισκέπτες, με την τουριστική περίοδο να αρχίζει στις αρχές του Απριλίου και να τελειώνει στις αρχές του Νοεμβρίου (Vourdoubas, 2017).

4.2 Χαρακτηριστικά τουριστικής δραστηριότητας στο νησί της Γαύδου

Η Γαύδος, πριν την ανάπτυξη του τουρισμού, ήταν απομονωμένο αγροτικό νησί, ενώ σήμερα αποτελεί δημοφιλή οικοτουριστικό προορισμό (Andriotis, 2013). Ως οικοτουρισμός ορίζεται ο τουρισμός που έχει ως στόχο την απόλαυση του φυσικού τοπίου και των φυσικών αγαθών δίνοντας έμφαση στον σεβασμό του φυσικού περιβάλλοντος και στο κέρδος της τοπικής κοινωνίας (Honey, 2008).

Η Γαύδος αποτελεί ένα από τα ελάχιστα ελληνικά νησιά όπου ενθαρρύνεται η ελεύθερη κατασκήνωση. Η τοπική κοινωνία δέχεται τους επισκέπτες δεδομένου ότι οι δραστηριότητες τους περιορίζονται στις παραλίες και παράλληλα η αύξηση της τουριστικής δραστηριότητας έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη μίας μικρής τουριστικής βιομηχανίας στο νησί, που ωφελεί μεγάλο τμήμα της τοπικής κοινωνίας (Andriotis, 2013). Χαρακτηριστικά κατά το διάστημα 2001-2011 το 19.1% των κατοίκων της Γαύδου απασχολούνταν στον κλάδο υπηρεσιών παροχής καταλύματος και εστίασης, με την αύξηση της απασχόλησης στον τριτογενή τομέα να ισούται με 123.6% (Οργανισμός Ανάπτυξης Κρήτης Α.Ε., 2017).

Ο περιορισμένος αριθμός διαθέσιμων κλινών για τους επισκέπτες σε συνδυασμό με το μικρό αριθμό δρομολογίων που περιορίζουν την δυνατότητα μονοήμερων επισκέψεων, έχουν αποτρέψει την ανάπτυξη συμβατικού τουρισμού στο νησί (Kazakis et al.,2010). Αναφορικά η Γαύδος διαθέτει δομές με συνολική δυνατότητα φιλοξενίας (προσεγγιστικά) 150 ατόμων.

Οι περιοχές που παραλαμβάνουν το μεγαλύτερο αριθμό επισκεπτών είναι το Σαρακήνικο, ο Άγιος Ιωάννης και ο Λαβρακάς.

Τα ποσοστά επισκεψιμότητας της Γαύδου που παρατίθενται αποτελούν αποτελέσματα της έρευνας «Visitors' Impacts on Coastal Dunes with Juniperus spp. in Crete, Gavdos and Chrysi Islands (Greece) » (Kazakis et al,2010) στο πλαίσιο του προγράμματος JUNICOAST. Στο πλαίσιο της έρευνας απαντήθηκε ερωτηματολόγιο από 384 επισκέπτες της Γαύδου το καλοκαίρι του 2009.

Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας θεωρείται ότι τα κοινωνικά χαρακτηριστικά του τουρισμού που κατεγράφησαν στην μελέτη παραμένουν αντιπροσωπευτικά αφού δεν έχουν παρατηρηθεί αλλαγές στις τουριστικές δραστηριότητες και στην τουριστική ανάπτυξη της Γαύδου.

4.2.1 Χαρακτηριστικά τουριστικής δραστηριότητας οικοτόπων

Σαρακήνικο

Ο οικότοπος του Σαρακήνικου είναι ο μόνος προσβάσιμος με αυτοκίνητο και στην περιοχή παρουσιάζεται η ανάπτυξη μικρής τουριστικής βιομηχανίας (Andriotis, 2013). Στο Σαρακήνικο βρίσκεται η πλειοψηφία των εστιατορίων και χώρων φιλοξενίας του νησιού με αποτέλεσμα να είναι ο μόνος οικότοπος όπου σημαντικό ποσοστό επισκεπτών (30%) μένουν σε ενοικιαζόμενα δωμάτια. Το 54% των τουριστών στο Σαρακήνικο πραγματοποιούν αποκλειστικά μονοήμερες επισκέψεις στην περιοχή. Ο μεγαλύτερος αριθμός τουριστών επισκέπτεται το Σαρακήνικο τους μήνες του Ιουλίου και του Αυγούστου (Kazakis et al.,2010).

Άγιος Ιωάννης

Η περιοχή του Αγίου Ιωάννη συνδέεται μέσω οδικού δικτύου με το Καραβέ (το κεντρικό λιμάνι της Γαύδου). Η πρόσβαση στην παραλία γίνεται μέσω μονοπατιού με διάρκεια διαδρομής περίπου 10 λεπτά. Η παραλία του Αγίου Ιωάννη αποτελεί το δημοφιλέστερο προορισμό για τους ελεύθερους κατασκηνωτές. Εκτιμάται πως τους μήνες του Ιουλίου και του Αυγούστου οι κατασκηνωτές φτάνουν τους 500 και τους 1100 αντίστοιχα (Andriotis, 2013). Το μεγαλύτερο ποσοστό(65%) των επισκεπτών μένουν στην περιοχή για πάνω από 5 ημέρες, ενώ σχεδόν το 10% μένει για πάνω από 20 ημέρες (Kazakis et al.,2010).

Λαβρακάς

Ο Λαβρακάς συνδέεται με τον Άγιο Ιωάννη μέσω δύσβατου μονοπατιού (περίπου 35 λεπτά με τα πόδια) ή μέσω θαλάσσης. Στην περιοχή δεν υπάρχουν εγκαταστάσεις εκτός από ένα πηγάδι με πόσιμο νερό. Η δυσκολία στη πρόσβαση σε συνδυασμό με την

έλλειψη υποδομών και τον περιορισμένο αριθμό διαθέσιμων θέσεων για τοποθέτηση σκηνής καθιστούν το Λαβρακά το λιγότερο δημοφιλή οικότοπο (Andriotis, 2013) με σχεδόν το 50% των επισκεπτών να πραγματοποιεί ημερήσιες επισκέψεις (Kazakis et al., 2010). Παράλληλα όμως στον Λαβρακά παρουσιάζεται το μεγαλύτερο ποσοστό επισκέψεων μεγάλης διάρκειας, με σχεδόν το 20% των τουριστών να μένουν στην περιοχή για πάνω από 20 ημέρες (Kazakis et al., 2010). Ο αριθμός των διαμενόντων ανέρχεται στους 100 τον Ιούλιο και 200 τον Αύγουστο (Andriotis, 2013).

4.3 Ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα τουριστικής δραστηριότητας στο νησί της Γαύδου

4.3.1 Ενεργειακό αποτύπωμα της Γαύδου

Η Γαύδος διαθέτει μικρό αυτόνομο δίκτυο ηλεκτροδότησης που δεν συνδέεται με το ηλεκτρικό δίκτυο της Κρήτης. Η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος στηρίζεται σε θερμοηλεκτρικό σταθμό που λειτουργεί με diesel (Vourdoubas, 2017).

Table 4.1: Μέση μηνιαία κατανάλωση και κόστος παραγωγής ενέργειας του θερμοηλεκτρικού σταθμού για το νησί της Γαύδου (Katsoulakos, 2019)

Μήνας	Μέση κατανάλωση ενέργειας (<i>MWh</i>)	Μέσο μηνιαίο κόστος ανά <i>MWh</i> €/MWh	Μέσο κόστος €
Ιανουάριος	37.68	566.45	21343.84
Φεβρουάριος	35.11	649.66	22809.56
Μάρτιος	38.01	563.49	21418.25
Απρίλιος	33.42	717.74	23986.87
Μάιος	35.97	714.67	25706.68
Ιούνιος	42.87	581.66	24935.76
Ιούλιος	51.66	705.4	36440.96
Αύγουστος	55.46	609.19	33785.68
Σεπτέμβριος	45.98	777.04	35728.30
Οκτώβριος	37.32	710.77	26525.94
Νοέμβριος	33.74	642.49	21677.61
Δεκέμβριος	36.75	728.10	26757.68

Παρατηρείται ότι τους καλοκαιρινούς μήνες παρουσιάζεται αύξηση της κατανάλωσης. Χαρακτηριστικά τον Αύγουστο παρουσιάζεται αύξηση 37.5% σε σχέση με την μέση ετήσια κατανάλωση. Η αύξηση της κατανάλωσης αιτιολογείται από την λειτουργία των ενοικιαζόμενων δωματίων, εστιατορίων και καταστημάτων τους καλοκαιρινούς μήνες για την εξυπηρέτηση των επισκεπτών.

4.3.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις του τουρισμού στο νησί της Γαύδου

Οι περιορισμένες υποδομές της Γαύδου έχουν ως αποτέλεσμα δυσκολίες στην εξυπηρέτηση του μεγάλου αριθμού επισκεπτών που δέχεται ετησίως και στην διασφάλιση της προστασίας των οικοτόπων.

i) Περιβαλλοντικές επιπτώσεις και απειλές του τουρισμού σε οικοτόπους

Οι επιπτώσεις του τουρισμού στο φυσικό περιβάλλον μπορούν να χωριστούν σε 3 κατηγορίες:

A) Υλικές ζημιές (physical damage)

B) Διατάραξη της άγριας φύσης (wildlife disturbance)

C) Εισαγωγή κινδύνων/ρύπων (hazard introduction) (Cessford, 1997, as cited in Kazakis et al, 2010)

A) Υλικές ζημιές

Οι υλικές ζημιές που μπορούν να πραγματοποιηθούν χωρίζονται σε 3 υποκατηγορίες, δηλαδή καταστροφές από: 1) οχήματα και πόδια, 2) συμπεριφορά επισκεπτών και 3) ενέργειες για την διαχείριση των επισκεπτών

- 1) Οι αλλαγές σε δομικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος που δραστηριοποιούνται οι επισκέπτες πχ. πεζοπορία, οδήγηση, ξεκούραση, διαμονή. Παραδείγματα επιπτώσεων τέτοιων δραστηριοτήτων:

- ✓ Καταστροφή-εκτόπιση φυτών
- ✓ Διατάραξη εδάφους
- ✓ Καταστροφή φυσικών επιφανειών
- ✓ Καταστροφή μνημείων (Cessford, 1997, as cited in Kazakis et al,2010)

Έμμεσες επιδράσεις μπορούν να αποτελέσουν επίσης:

- ✓ Διάβρωση του εδάφους
- ✓ Διαταραχή ισορροπιών ανάμεσα στα διαφορετικά είδη
- ✓ Αλλαγές στη βιωσιμότητα του περιβάλλοντος (Leung and Marion, 2000, as cited in Kazakis et al,2010)

2) Οι εσκεμμένες συμπεριφορές των επισκεπτών που έχουν αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Παραδείγματα μπορούν να αποτελέσουν:

- ✓ Καταστροφή βλάστησης
- ✓ Συλλογή ξύλων για καύση
- ✓ Διαμόρφωση χώρων για κατασκήνωση
- ✓ Συλλογή ειδών

3) Προβλεπόμενες και ακούσιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από δομικές παρεμβάσεις με στόχο την διαχείριση της τουριστικής δραστηριότητας. Οι προβλεπόμενες επιπτώσεις αποτελούν τις υπολογισμένες επιπτώσεις εξαιτίας των παρεμβάσεων, όπως:

- ✓ Αφαίρεση/ διατάραξη βλάστησης, εδάφους και άγριας ζωής για την κατασκευή μονοπατιών και καταλυμάτων

Οι ακούσιες επιπτώσεις αποτελούν μη υπολογισμένες επιπτώσεις από τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις.

- ✓ Σκιάσεις κτηρίων
- ✓ Φωτορύπανση (Cessford, 1997, as cited in Kazakis et al,2010)

B) Διατάραξη της άγριας φύσης

Παράγοντες που επηρεάζουν την διατάραξη της άγριας φύσης αποτελούν: 1) Η παρουσία των επισκεπτών, 2)Εύρος αντίδρασης διαφόρων ειδών, 3) Περίοδος και χαρακτηριστικά του σημείου επίσκεψης

1) Οι επισκέπτες μπορούν να παρέμβουν στην άγρια φύση μέσω:

- ✓ Κινήσεων
- ✓ Εμφάνισης (χρώματα)
- ✓ Θορύβου
- ✓ Συμπεριφοράς

2) Τα διαφορετικά είδη παρουσιάζουν διαφορές στην προσαρμοστικότητα τους , στις αντιδράσεις τους και στο μέγεθος της επίδρασης της παρουσίας ανθρώπων.

- 3) Οι συνθήκες που αναφέρονται στο Β.2 εξαρτώνται άμεσα από την περίοδο και τα χαρακτηριστικά του σημείου της επίσκεψης Παράγοντες που συνδέουν τα χαρακτηριστικά της άγριας ζωής με την περίοδο και το σημείο επίσκεψης είναι:

- ✓ Εποχές ζευγαρώματος
- ✓ Ανταγωνισμοί ειδών
- ✓ Εδαφικότητα (Cessford, 1997, as cited in Kazakis et al,2010)

Γ) Εισαγωγή κινδύνων/ρύπων

Οι κίνδυνοι που μπορούν να εισαχθούν από τους επισκέπτες στο περιβάλλον χωρίζονται σε 3 κατηγορίες: 1) Ακούσια εισαγωγή από επισκέπτες, 2) Κίνδυνοι από αρνητική συμπεριφορά επισκεπτών, 3) Εισαγωγή από κατασκευή και λειτουργία υποδομών

- 1) Με την επίσκεψη τους στον οικότοπο οι επισκέπτες δύνανται να φέρουν ακούσια κινδύνους , όπως:

- ✓ Αρρώστιες
- ✓ Εισαγωγή ανταγωνιστικών ειδών όπως εξωτικούς σπόρους

- 2) Οι επισκέπτες μπορούν να αποτελέσουν κίνδυνο μέσω αρνητικής συμπεριφοράς όπως:

- ✓ Απόρριψη καυσίμων
- ✓ Χημικές ουσίες από σαπούνια
- ✓ Απόρριψη αντικειμένων
- ✓ Καύση ξύλων

- 3) Κίνδυνοι από την κατασκευή και την λειτουργία υποδομών:

- ✓ Εισαγωγή χημικών ουσιών για την προστασία των υλικών
- ✓ Έλλειψη πυρασφάλειας
- ✓ Πιθανότητα δημιουργίας χώρου συγκέντρωσης μεγάλου αριθμού επισκεπτών (Cessford, 1997, as cited in Kazakis et al., 2010)

ii) Κυριότερες απειλές του τουρισμού που εντοπίστηκαν στο νησί της Γαύδου

Στο πλαίσιο ερωτηματολογίου που συντάχθηκε από το MAICh (Mediterranean Agronomic Institute of Chania) το 2009 για το πρόγραμμα Junicoast απευθυνόμενο σε κατοίκους του νησιού (19 ερωτηθέντες) και σε ενδιαφερόμενους, οι κυριότερες απειλές του τουρισμού για τους οικοτόπους που εντοπίστηκαν είναι: η *ρύπανση*, η *καταστροφή της βλάστησης*, ο *κίνδυνος πυρκαγιάς* και η *έλλειψη σχεδιασμού και υποδομών για την βιώσιμη ανάπτυξη του νησιού*.

Σημειώνεται πως μόνο το 10% των μόνιμων κατοίκων θεώρησαν πως οι κατασκηνωτές αποτελούν απειλή για τους οικοτόπους, όμως εντοπίστηκαν απειλές συνδεδεμένες με την τουριστική δραστηριότητα (Pediaditi et al., 2009).

Απειλές του τουρισμού στους οικοτόπους της Γαύδου:

- **Ρύπανση**

Η Γαύδος αντιμετωπίζει διαχρονικό πρόβλημα διαχείρισης των στερεών αποβλήτων. Το νησί διαθέτει 2 απορριματοφόρα με αποτέλεσμα, ιδιαίτερα κατά την διάρκεια της τουριστικής περιόδου, να παρουσιάζεται αδυναμία στην τακτική αποκομιδή των απορριμμάτων. Δημοσιεύματα του 2019 (Sputnik, 2019) και του 2020 (Δήμος Γαύδου, 2020) αναφέρονται στην ακινητοποίηση των απορριματοφόρων του νησιού με αποτέλεσμα την αδυναμία αποκομιδής των απορριμμάτων. Επιπρόσθετα το νησί δεν διαθέτει υποδομές για τον καθαρισμό των οικοτόπων με αποτέλεσμα κυρίως στις παραλίες του Σαρακήνικου και του Αγίου Ιωάννη, να εντοπίζονται αντικείμενα όπως είδη κατασκήνωσης, πλαστικά, χαρτιά και συσκευασίες τροφίμων. (Kazakis et al, 2010)

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επιτόπιας μελέτης που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της έρευνας «Visitors' Impacts on Coastal Dunes with Juniperus spp. in Crete, Gavdos and Chrysi Islands (Greece)» το 2009 όπου έγινε καταγραφή της διασποράς απορριμμάτων στους οικοτόπους της Γαύδου (Kazakis et al, 2010). Τα αποτελέσματα της έρευνας δεν μπορούν να θεωρηθούν ακριβή αντιπροσώπευση της σημερινής κατάστασης, όμως δεδομένης της έλλειψης υποδομών στο νησί, στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας αποτελούν δείκτη της κατάστασης των οικοτόπων.

Αποτελέσματα

Σαρακήνικο

Στο Σαρακήνικο παρουσιάζονταν διασπορά πλαστικών, χαρτιών και ειδών κατασκήνωσης στο κεντρικό μέρος του οικοτόπου στο οποίο διαμένουν οι περισσότεροι κατασκηνωτές. Σε χαμηλότερο βαθμό βρέθηκαν διασκορπισμένα γυαλιά και συσκευασίες τροφίμων (Kazakis et al,2010).

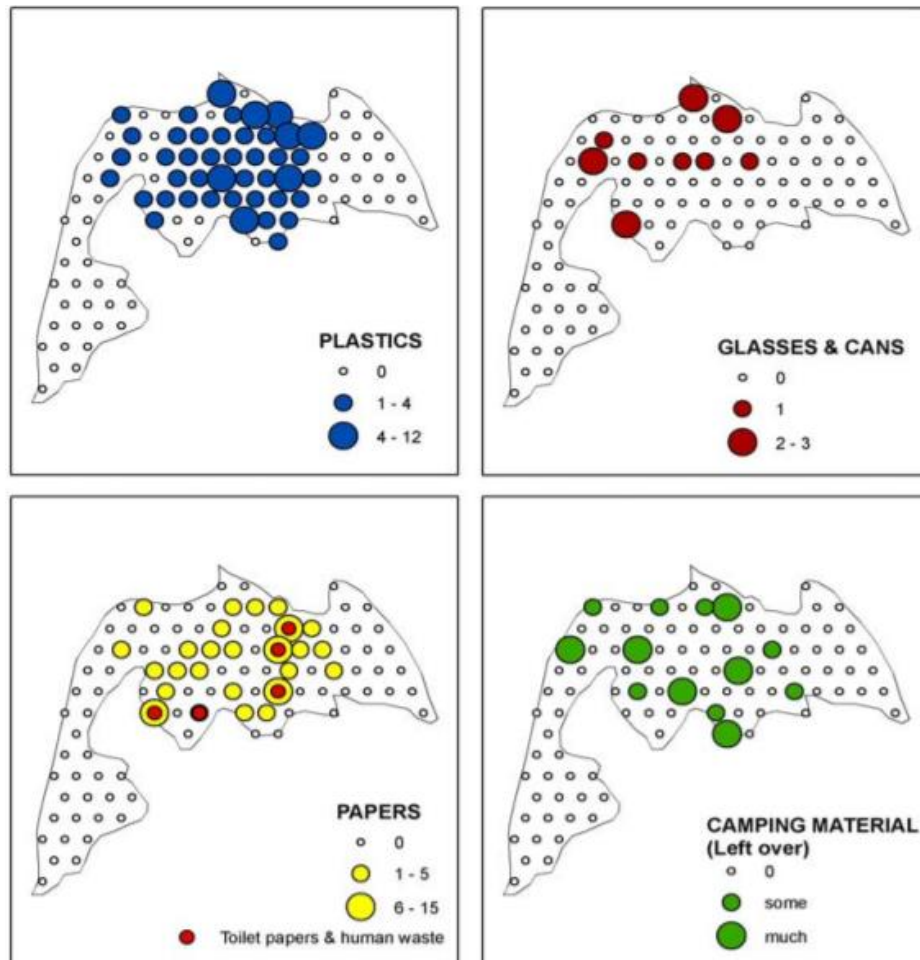


Figure 4.1: Χωρική κατανομή και είδος απορριμμάτων στο Σαρακήνικο (Kazakis et al,2010)

Άγιος Ιωάννης

Στον Άγιο Ιωάννη η διασπορά των πλαστικών και χαρτιών απλωνόταν σε όλο τον οικότοπο, ενώ τα γυαλιά και οι συσκευασίες τροφίμων ήταν πιο περιορισμένα. Τα είδη κατασκήνωσης βρίσκονταν επίσης διασκορπισμένα σε όλη την έκταση του οικοτόπου με το μεγαλύτερο συνωστισμό να παρουσιάζεται στο δυτικό κομμάτι της παραλίας του Αγίου Ιωάννη, που συγκεντρώνεται ο μεγαλύτερος αριθμός επισκεπτών. (Kazakis et al,2010)

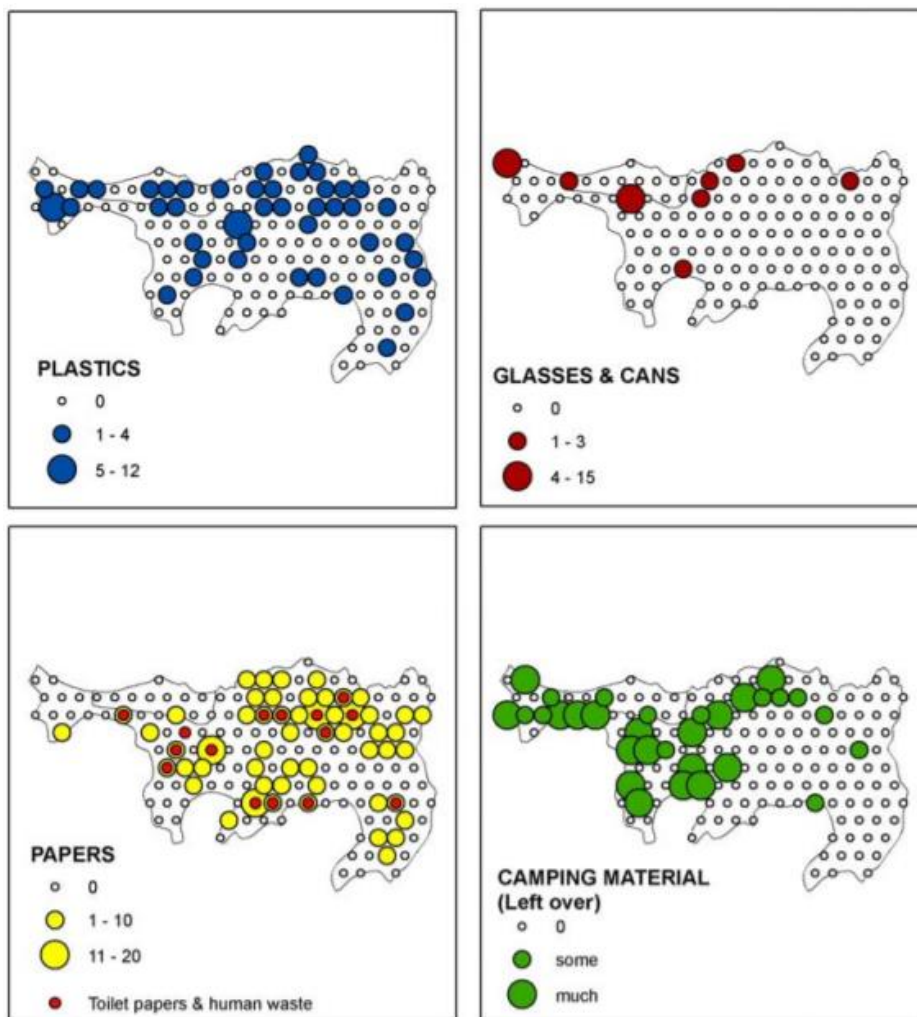


Figure 4.2: Χωρική κατανομή και είδος απορριμμάτων στον Άγιο Ιωάννη (Kazakis et al,2010)

Λαβρακός

Στο Λαβρακά παρατηρήθηκε υψηλό επίπεδο καθαρότητας που αιτιολογήθηκε από την αυξημένη περιβαλλοντική ευαισθησία των μόνιμων κατασκηνωτών. (Kazakis et al,2010)

- **Κίνδυνος πυρκαγιάς**

Οι φωτιές που ανάβουν οι κατασκηνωτές αυξάνουν σε πολύ μεγάλο βαθμό τον κίνδυνο πυρκαγιάς λόγω της εξάπλωσης του πευκοδάσους (Pediaditi et al., 2009). Στον αυξημένο κίνδυνο συμβάλει η απομόνωση της Γαύδου και η απουσία αντιπυρικής προστασίας που καθιστά αδύνατη την άμεση παρέμβαση (Kloutsinioti & Katselis, 2012).

Σημειώνεται ότι στις περιοχές του Αγίου Ιωάννη και του Λαβρακά θεωρείται εντονότερος ο κίνδυνος πυρκαγιάς λόγω της επισκεψιμότητας των οικοτόπων σε συνδυασμό με την δυσκολία πρόσβασης.

- **Καταστροφή βλάστησης**

Εκούσιες βλάβες: Επισκέπτες κόβουν κλαδιά κέδρων ως αναμνηστικά και για την οριοθέτηση χώρων κατασκήνωσης ή λαθεμένα θεωρούνται ως απονεκρωμένα και χρησιμοποιούνται για άναμμα φωτιάς χωρίς να υπάρχει η δυνατότητα αποτροπής τους λόγω έλλειψης φύλαξης.

Ακούσιες βλάβες: Καταστροφή του ριζικού συστήματος των κέδρων από περπατητές ή κατά την οριοθέτηση των χώρων κατασκήνωσης.

Οι ζημιές στα είδη κέδρων θεωρούνται σημαντικές εξαιτίας του χαμηλού ρυθμού αναγέννησης και ανάπτυξης τους (Pediaditi et al., 2009).

- **Έλλειψη υποδομών**

Το νησί δεν διαθέτει υποδομές για την διατήρηση της καθαρότητας των οικοτόπων και τον περιορισμό της διάβρωσης των αμμοθίνων και προστασίας των κέδρων (Pediaditi et al., 2009).

- **Ανεξέλεγκτη δόμηση**

Παρουσιάζεται έντονο το φαινόμενο ανέγερσης παράνομων κατασκευών για την εξυπηρέτηση των επισκεπτών στις περιοχές των οικοτόπων, ιδίως στην περιοχή του Σαρακίνηκου (Pediaditi et al., 2009).

Σημειώνεται επίσης ότι στις περιοχές του Αγίου Ιωάννη και του Λαβρακά έχουν κατασκευαστεί αυτοσχέδια καταλύματα από μόνιμους κατασκηνωτές.



Figure 4.3 A and B: Φωτογραφίες καταλύματος στο δάσος του Λαβρακά

4.4 Υπάρχουσες προτάσεις για την διασφάλιση βιώσιμου τουρισμού στο νησί της Γαύδου

Στο υποκεφάλαιο 4.4 παραθέτονται προτάσεις που έχουν παρουσιαστεί ως αποτελέσματα ερευνών πάνω στην βιώσιμη περιβαλλοντική και ενεργειακή διαχείριση του νησιού της Γαύδου.

4.4.1 Προτάσεις διαχείρισης του ενεργειακού αποτυπώματος της Γαύδου

Τα κλιματικά χαρακτηριστικά της Γαύδου καθιστούν την χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας ως βιώσιμη εναλλακτική για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της περιοχής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η χρήση ηλιακής ενέργειας που ήδη παρουσιάζει περιορισμένη εφαρμογή στο νησί. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στη Γαύδο ισούται περίπου με $1900 \frac{kWh}{m^2}$ ανά έτος. Η αφθονία της ηλιακής ενέργειας καθιστά την χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ ως ελκυστική εναλλακτική για τη θέρμανση των χώρων και νερού (θερμοκρασία θέρμανσης $60^{\circ}C$ - $75^{\circ}C$) και την τροφοδότηση των ηλεκτρικών συσκευών.

Εναλλακτικές πηγές ενέργειας που έχουν επίσης προταθεί για χρήση στο νησί της Γαύδου είναι: η λειτουργία *υβριδικού συστήματος ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών πάνελ*, *καύση ξυλείας* για την θέρμανση των χώρων και θέρμανση νερού και η *εισαγωγή βιολογικών καυσίμων* για την κίνηση αυτοκινήτων (Vourdoubas et al., 2010).

Στον *πίνακα 4.2* παρουσιάζονται οι προτεινόμενες εναλλακτικές πηγές ενέργειας για το νησί της Γαύδου και οι προοριζόμενες εφαρμογές τους.

Table 4.2: Προτεινόμενες εναλλακτικές πηγές ενέργειας για το νησί της Γαύδου και οι προοριζόμενες εφαρμογές τους (Vourdoubas et al., 2010)

Πηγή ενέργειας	Εφαρμογή
Ηλιακή ενέργεια	Παραγωγή θερμότητας
	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
Αιολική ενέργεια	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
Στερεή Βιομάζα	Παραγωγή θερμότητας
Βιολογικά καύσιμα	Καύσιμα αυτοκινήτων

4.4.2 Υπάρχουσες προτάσεις για την περιβαλλοντική διαχείριση των οικοτόπων της Γαύδου

Παρουσιάζονται οι προτάσεις που παρατέθηκαν στην ημερίδα με τους εμπλεκόμενους φορείς και στην έρευνα της τοπικής κοινωνίας για την προστασία και διαχείριση των οικοτόπων 2250* στη Γαύδο:

- Οριοθέτηση περιβαλλοντικών ζωνών και εφαρμογή πολιτικών για την χρήση και την προστασία του οικοτόπου.
- Ενημέρωση των επισκεπτών κατά την άφιξη τους στο νησί για τα χαρακτηριστικά των οικοτόπων και τους κανόνες προστασίας τους.
- Εθελοντική συμμετοχή επισκεπτών σε εργασίες για την προστασία του οικοτόπου.
- Τοποθέτηση κάδων απορριμμάτων στο χώρο των οικοτόπων.
- Κατασκευή ξύλινων διαδρόμων που θα οδηγούσαν τους επισκέπτες σε συγκεκριμένες πορείες προστατεύοντας τις ευαίσθητες περιοχές. Επιπρόσθετα η δημιουργία διαδρόμων θα διευκόλυνε την πρόσβαση ατόμων με ειδικές ανάγκες.
- Χρηματοδότηση μέσω κρατικών εισφορών ή δωρεών των επισκεπτών με στόχο την προστασία και τον καθαρισμό των οικοτόπων.
- Πρόσληψη δασοφυλάκων για την φύλαξη του οικοτόπου κατά την τουριστική περίοδο.
- Διεξαγωγή επιστημονικών ερευνών για τον εντοπισμό και την τεκμηρίωση περαιτέρω απειλών (Pediaditi et al., 2009).

4.5 Βιωσιμότητα φυσικής δόμησης ως εργαλείο τουριστικής ανάπτυξης στη Γαύδο

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης εξετάζεται η βιωσιμότητα της κατασκευής και λειτουργίας ενεργειακά αυτόνομων καταλυμάτων από φυσικά υλικά για τη διαχείριση της τουριστικής δραστηριότητας στους οικοτόπους της Γαύδου, συμβάλλοντας παράλληλα στην εφαρμογή των προτάσεων του *υποκεφαλαίου 4.4*.

Η παρούσα μελέτη εστιάζει στα χαρακτηριστικά των φυσικών κατασκευών των οποίων η λειτουργία προτείνεται στο πλαίσιο διαχείρισης της τουριστικής δραστηριότητας στο νησί.

Πρόταση

- Οριοθέτηση ζωνών κατασκήνωσης και διαμονής επισκεπτών στις περιοχές του Σαρακήνικου, του Αγίου Ιωάννη και του Λαβρακά εκτός των ορίων του οικοτόπου ή εντός των ορίων, σε μη-ευαίσθητα σημεία του οικοτόπου.
- Καταγραφή των υπαρχόντων κατασκευών στα όρια των οικοτόπων και μελέτη των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων.
- Απομάκρυνση κατασκευών που θεωρούνται απειλές για τους οικοτόπους.
- Τοποθέτηση φυσικών κατασκευών για την διαχείριση της τουριστικής δραστηριότητας στους οικοτόπους.

Στόχος της πρότασης είναι η κατανομή των επισκεπτών σύμφωνα με την φέρουσα ικανότητα των οικοτόπων, διασφαλίζοντας παράλληλα την ασφάλεια τους και την βέλτιστη διαχείριση των οικοτόπων.

4.5.1 Προοριζόμενες λειτουργίες φυσικών κατασκευών

Οι λειτουργίες των καταλυμάτων που προτείνονται είναι χώροι **a) διαμονής επισκεπτών** και **b) διαχείρισης της τουριστικής δραστηριότητας και προστασίας του οικοτόπου**

a) Χώροι διαμονής επισκεπτών

Πρόκειται για την κατασκευή αριθμού καταλυμάτων για την φιλοξενία επισκεπτών:

- ✓ που επιθυμούν να μείνουν στις περιοχές του οικοτόπου για μεγάλα χρονικά διαστήματα
- ✓ που επιθυμούν να επισκεφτούν τους οικοτόπους κατά τη χειμερινή περίοδο

b) Χώροι διαχείρισης της τουριστικής δραστηριότητας και προστασίας του οικοτόπου

Λειτουργίες χώρων διαχείρισης του οικοτόπου:

- ✓ Χώρος διαμονής δασοφύλακα και φύλαξης πυροσβεστικού εξοπλισμού
- ✓ Χώρος διεξαγωγής ερευνών και φύλαξης εξοπλισμού

4.5.2 Στόχοι της λειτουργίας των κατασκευών

- *Έλεγχος σημείων διαμονής των επισκεπτών*

Η τοποθέτηση των κατασκευών σε συγκεκριμένα σημεία θα περιορίσει την χωρική κατανομή των επισκεπτών εκτός των ορίων ή σε μη-ευαίσθητα σημεία των οικοτόπων περιορίζοντας την εκούσια ή ακούσια καταστροφή της βλάστησης

- *Διευκόλυνση της διαμονής των επισκεπτών στον οικοτόπο*

Η έλλειψη υποδομών στις περιοχές του Αγίου Ιωάννη και του Λαβρακά περιορίζει την δυνατότητα επίσκεψης και διαμονής σε άτομα με κινητικές δυσκολίες. Η τοποθέτηση καταλυμάτων, σε συνδυασμό με την τοποθέτηση διαδρόμων που έχει προταθεί από το πρόγραμμα της Junicoast, θα επιτρέψει την πρόσβαση και την διαμονή σε ευρύτερο κοινό. Παράλληλα θα διευκολυνθεί η διαμονή των επισκεπτών κατά την χειμερινή περίοδο.

- *Διασφάλιση της προστασίας του οικοτόπου και των επισκεπτών*

Η διαμονή δασοφυλάκων στις περιοχές του Λαβρακά και του Αγίου Ιωάννη θα διευκολύνει την διαχείριση των οικοτόπων επιτρέποντας την άμεση πρόσβαση με στόχο τον περιορισμό των αρνητικών συμπεριφορών των επισκεπτών και την διασφάλιση της ασφάλειας των επισκεπτών και του οικοτόπου.

- *Διευκόλυνση στην διατήρηση της καθαρότητας του οικοτόπου*

Οι κατασκευές μπορούν να αποτελέσουν χώρους συγκέντρωσης απορριμμάτων, περιορίζοντας την διασπορά αντικειμένων όπως χαρτιών, συσκευασιών τροφίμων και ειδών κατασκήνωσης.

- *Διευκόλυνση ερευνών για τον εντοπισμό περαιτέρω απειλών*

Τα καταλύματα μπορούν να διευκολύνουν την διεξαγωγή ερευνών στον οικοτόπο παρέχοντας χώρο διαμονής για τα μέλη της ερευνητικής ομάδας και χώρο αποθήκευσης του εξοπλισμού.

- *Προοπτική εσόδων για την διατήρηση των οικοτόπων*

Έσοδα από την διαχείριση των καταλυμάτων μπορούν να διατεθούν σε εργασίες προστασίας και διατήρησης των οικοτόπων.

- *Δημιουργία θέσεων εργασίας*

Οι διεργασίες κατασκευής και διαχείρισης των καταλυμάτων θα οδηγήσουν στη δημιουργία θέσεων εργασίας για τον τοπικό πληθυσμό. Σημειώνεται πως την περίοδο 2001-2011 το 11.7% των εργαζομένων της Γαύδου απασχολούνταν στον κλάδο της μεταποίησης και των κατασκευών (Οργανισμός Ανάπτυξης Κρήτης Α.Ε., 2017).

4.5.3 Κριτήρια επιλογής της στρατηγική της φυσικής δόμησης

Οι παράγοντες που αξιολογήθηκαν για την επιλογή της στρατηγική της φυσικής δόμησης για την κατασκευή των καταλυμάτων:

✓ *Τοξικότητα δομικών υλικών*

Ο περιορισμός των υλικών που περιέχουν χημικές ουσίες που δύναται να διαχυθούν στον υδροφόρο ορίζοντα του οικοτόπου. Η τεχνική της φυσικής δόμησης επιλέγεται για τις περιοχές του οικοτόπου λόγω της χαμηλής τοξικότητας των οργανικών ουσιών των φυσικών δομικών υλικών

✓ *Διαθεσιμότητα πρώτων υλών στη Γαύδο*

Η επιλογή τοπικά διαθέσιμων δομικών υλικών επιτρέπει τον περιορισμό του περιβαλλοντικού και ενεργειακού αποτυπώματος της κατασκευής. Δομικά υλικά όπως η πέτρα, το άχυρο, ο πηλός, το ξύλο πεύκου παρουσιάζουν μεγάλη διαθεσιμότητα στην Γαύδο. Ως παράδειγμα παρατίθεται η τεχνική δόμησης των παραδοσιακών κατοικιών του νησιού. Η τοιχοποιία των κατασκευών είναι πέτρινη και ο εσωτερικός χώρος σοβατίζεται με μείγμα αχυροπηλού (clay plaster). Για την οροφή χρησιμοποιούνται κορμοί και κλαδιά κέδρου επικαλυμμένα με πηλό (Fotiou et al., 2020)

✓ *Κόστος κατασκευής*

Η επιλογή μη επεξεργασμένων τοπικά διαθέσιμων δομικών υλικών επιτρέπει την διατήρηση χαμηλού κόστους ανέγερσης. Παράλληλα η προσβασιμότητα των τεχνικών φυσικής δόμησης επιτρέπει την συμμετοχή εθελοντών στην κατασκευή των καταλυμάτων, μειώνοντας το κόστος και επιταχύνοντας το χρόνο κατασκευής.

✓ *Ενεργειακή απόδοση φυσικών κατασκευών*

Η θερμική απόδοση κατασκευών από ελαφρύ πηλό ή αχυρόμπαλες σε συνδυασμό με τα κλιματικά χαρακτηριστικά της Γαύδου επιτρέπουν τη διασφάλιση της θερμικής άνεσης των διαμενόντων ελαχιστοποιώντας την ανάγκη χρήσης συστημάτων HVAC. Η τροφοδότηση των καταλυμάτων αποκλειστικά με χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων θα επιτρέψει την κάλυψη των αναγκών των διαμενόντων χωρίς να παρουσιάζεται συμβολή στο ενεργειακό αποτύπωμα του νησιού μέσω της καύσης ορυκτών καυσίμων.

✓ *Φωτισμός*

Για τον περιορισμό της φωτορύπανσης είναι απαραίτητη η βέλτιστη διαχείριση του φωτισμού της κατασκευής. Με επιφάνειας όπως αυτή του επιχρίσματος πυλού (clay plaster) επιτρέπουν την βέλτιστη εκμετάλλευση του ηλιακού φωτός (Kennedy, n.d.)

✓ *Ποιότητα χρωμάτων*

Θεωρείται σημαντικό να αποφευχθεί η εισαγωγή ξένων χρωμάτων στον οικοτόπο. Για τον λόγο αυτό για την κατασκευή του κελύφους επιλέγονται υλικά που εμπίπτουν στις αρχές του βιοφιλικού σχεδιασμού.

4.5.4 Ανασταλτικοί παράγοντες

Παραθέτονται οι ανασταλτικοί παράγοντες εφαρμογής της πρότασης που εντοπιστήκαν :

- *Περιορισμός στο μέγεθος και στον αριθμό των κατασκευών*

Τα επιλεγμένα σημεία δόμησης των κατασκευών πρέπει να εξασφαλίζουν την εύκολη πρόσβαση στα καταλύματα και στους οικοτόπους για την διευκόλυνση των εργασιών και των επισκεπτών. Παράλληλα είναι απαραίτητη η επιλογή μη-ευαίσθητων σημείων προκειμένου να περιοριστούν υλικές ζημιές από την ανέγερση των κατασκευών, όπως διατάραξη του ριζικού συστήματος των κέδρων, των σκιάσεων και της διατάραξης του εδάφους,. Η ικανοποίηση των παραπάνω συνθηκών έχει σαν αποτέλεσμα τον περιορισμό στα πιθανά σημεία δόμησης και στο μέγεθος των κατασκευών.

- *Εισαγωγή κινδύνων και υλικές ζημιές από την κατασκευή και λειτουργία των καταλυμάτων*

Όπως παρουσιάστηκε στην υποπαράγραφο 4.3.2, οι κίνδυνοι της κατασκευής και της λειτουργίας των καταλυμάτων είναι η διατάραξη του εδάφους και της βλάστησης (λόγω υλικών ζημιών ή σκιάσεων και φωτορύπανσης), η δημιουργία χώρων συγκέντρωσης των επισκεπτών και η εισαγωγή χημικών ουσιών στον οικότοπο.

- *Πιθανή αρνητική αντίδραση επισκεπτών*

Μεγάλο ποσοστό των επισκεπτών της Γαύδου επισκέπτονται και διαμένουν στις περιοχές του Λαβρακά και του Αγίου Ιωάννη λόγω της χαμηλής ανθρωπογενούς παρέμβασης και της αυξημένης αίσθησης ελευθερίας που προσφέρεται (Andriotis, 2013). Συμφώνα με τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου των (Kazakis et al,2010) το 39% των επισκεπτών ήταν αρνητικοί στην πληρωμή αντιτίμου για την προστασία των οικοτόπων, ενώ μόλις το 4% ήταν πρόθυμοι να προσφέρουν ποσό $\geq 5\text{€}$ (Kazakis et al,2010). Σημειώνεται επίσης πως η οικονομική κρίση της Ελλάδας έχει οδηγήσει στην αύξηση του αριθμού των επισκεπτών της Γαύδου (MAIX, 2014). Σαν αποτέλεσμα πιθανές παρεμβάσεις με στόχο την διαχείριση της τουριστικής δραστηριότητας θα οδηγήσουν στην αρνητική αντίδραση τμήματος των επισκεπτών.

- *Νομοθετικοί περιορισμοί στη δόμηση*

Η αναγνώριση των περιοχών των περιοχών του Σαρακήνικου, του Αγίου Ιωάννη και του Λαβρακά ως οικοτόπους και περιοχές Α' αρχαιολογικής ζώνης έχει ως αποτέλεσμα την εισαγωγή επιπλέον όρων και περιορισμών για την έγκριση της δόμησης των καταλυμάτων στις περιοχές ("Άρθρο 04: Γενικές διατάξεις – Όροι και περιορισμοί δόμησης | Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας", 2012)

4.5.5 Σύνοψη κυριότερων προτρεπτικών και ανασταλτικών παραγόντων

Table 4.3: Προτρεπτικοί και ανασταλτικοί παράγοντες για την τοποθέτηση καταλυμάτων στους οικοτόπους της Γαύδου

Προτρεπτικοί παράγοντες	Ανασταλτικοί παράγοντες
Προστασία του οικοτόπου και των επισκεπτών	Περιορισμός στο μέγεθος και στον αριθμό των κατασκευών
Προοπτική εσόδων και δημιουργία θέσεων εργασίας για την τοπική κοινωνία	Εισαγωγή κινδύνων και υλικές ζημιές από την κατασκευή και λειτουργία των καταλυμάτων
Υψηλή διαθεσιμότητα πρώτων υλών	Αρνητική αντίδραση επισκεπτών
Χαμηλό κόστος κατασκευής	Νομοθετικοί περιορισμοί στη δόμηση στους οικοτόπους
Περιβαλλοντικό αποτύπωμα δομικών υλικών	
Θερμικές ιδιότητες δομικών υλικών	

Σκελετός κατασκευής

Το φορτίο παραλαμβάνεται από σκελετό αποτελούμενο από διπλούς δοκούς πεύκου διαστάσεων 5cm*15cm. Η χρήση πεύκων επιλέγεται ως δομικό στοιχείο λόγω της μεγάλης διαθεσιμότητας του στο νησί Γαύδου από την εξάπλωση του πευκοδάσους στις περιοχές των οικотόπων. Τα πεύκα, λόγω των απαιτήσεων τους σε νερό και του ρυθμού ανάπτυξης τους, αποτελούν ανταγωνιστικό είδος των κέδρων και θεωρούνται απειλή για τον οικотόπο. Σαν αποτέλεσμα η κοπή και αξιοποίηση της ξυλεία των πεύκων εξυπηρετεί την βιώσιμη διαχείριση του οικотόπου.

Τοιχοποιία κατασκευής

Η τοιχοποιία του καταλύματος κατασκευάζεται με ελαφρύ πηλό. Στο νησί της Γαύδου παρουσιάζεται μεγάλη διαθεσιμότητα αργίλου εντός και εκτός των ορίων του οικотόπου. Προκειμένου να αποφευχθεί η διατάραξη της γεωμορφολογίας του οικотόπου προτείνεται η διάθεση αργίλου από περιοχές εκτός του οικотόπου. Το άχυρο αποτελεί γεωργικό απόβλητο και τοποθετείται ως θερμομονωτικό υλικό. Το άχυρο και ο άργιλος αποτελούν υπάρχουσα στοιχεία της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής της Γαύδου

Δάπεδο κατασκευής

Το δάπεδο κατασκευάζεται με την τεχνική earthen floor. Στην κατώτερη στρώση του δαπέδου τοποθετείται υδρομονωτική μεμβράνη πάχους 1cm για την προστασία της κατασκευής από της υγρασία του εδάφους. Στην συνέχεια τοποθετείται στρώση αμμοχάλικου πάχους 10cm με στόχο την αύξηση του βάθους του δαπέδου. Για την θερμομόνωση του δαπέδου χρησιμοποιείται στρώση ελαφρού πηλού πάχους 2.5cm και τέλος γίνεται επίστρωση πάχους 1mm με λινέλαιο (Sirna, n.d.) .

Στέγη κατασκευής

Η βάση της στέγης αποτελείται από πλάκα κλαδιών πεύκου πάχους 2.5cm. Στην επόμενη στρώση τοποθετείται υδρομονωτική μεμβράνη πάχους 1cm. Για την θερμομόνωσης της στέγης τοποθετείται στρώμα φυκιών θαλάσσης πάχους 15cm (Macknight, 1923, as cited in "Climatic Design: Insulation & Roofing Felts", 2014) το οποίο επικαλύπτεται με στρώμα αργίλου πάχους 2cm.

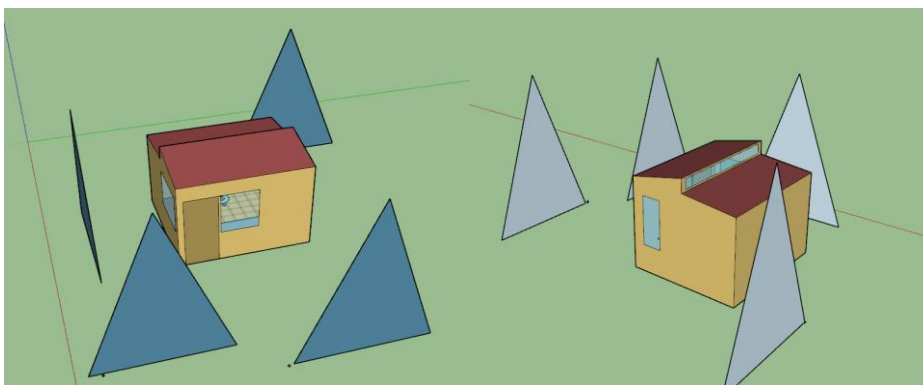


Figure 5.2 A and B: Τρισδιάστατη απεικόνιση μοντέλου κατασκευής

5.2 Μοντελοποίηση σταδίων Παραγωγής και Λειτουργίας

Για τον υπολογισμό του ενεργειακού και περιβαλλοντικού αποτυπώματος της κατασκευής χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό *openLCA 1.8.0*. Τα ενεργειακά και περιβαλλοντικά δεδομένα των δομικών υλικών αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων *Ecoinvent 3.2*.

Για τον υπολογισμό του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του παραγωγικού σταδίου χρησιμοποιείται η μέθοδος αξιολόγησης *CML (baseline)*, ενώ για τον υπολογισμό της ενσωματωμένης ενέργειας των δομικών υλικών χρησιμοποιείται η μέθοδος αξιολόγησης *Cumulative Energy Demand (CED)*.

Οι μεταβλητές που εξετάζονται ως δείκτες του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των δομικών υλικών της κατασκευής και υπολογίζονται στην παρούσα μελέτη είναι:

- *Climate change - GWP100* [kg CO₂ eq.]
- *Acidification potential* [kg SO₂ eq.]
- *Eutrophication* [kg PO₄ eq.]
- *Ozone layer depletion* [kg CFC-11 eq.]

Οι μεταβλητές επιλέχθηκαν επειδή αποτελούν τις συνηθέστερα εξεταζόμενες για την αξιολόγηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των κτηρίων (Khasreen et al., 2009).

Για την ενεργειακή αξιολόγηση της κατασκευής οι μεταβλητές που εξετάζονται είναι:

- *Non-Renewable Primary Energy Demand* [MJ]
- *Renewable Primary Energy Demand* [MJ]
- *Total Primary Energy Demand* [MJ]

Σημειώνεται πως κατά τον υπολογισμό της απαιτούμενης ενέργειας στα υλικά φυτικής προέλευσης συνυπολογίζεται η ενέργεια που είναι ήδη ενσωματωμένη σε αυτά. Σαν αποτέλεσμα το ενεργειακό αποτύπωμα του σταδίου παραγωγής των δομικών υλικών φυτικής προέλευσης παρουσιάζεται αυξημένο (Wiesen & Wirges, 2017).

Για το σχεδιαστικό στάδιο της μοντελοποίησης της κατασκευής χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό *SketchUp 2017* και για τον υπολογισμό των ενεργειακών χαρακτηριστικών του σταδίου λειτουργίας της κατασκευής χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό *OpenStudio 2.7.0*.

Οι παράμετροι που εξετάζονται για την αξιολόγηση του σταδίου λειτουργίας της κατασκευής είναι:

- η ετήσια και η συνολική **(50 χρόνια)** απαιτούμενη ενέργεια για τη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών και φωτισμού (MJ)
- οι ώρες ετησίως όπου η κατασκευή βρίσκεται εκτός των ορίων θερμικής άνεσης (hr)
- τα ιδανικά απαιτούμενα φορτία για την λειτουργία της κατασκευής εντός των ορίων θερμικής άνεσης (MJ)

Τα ιδανικά φόρτια θέρμανσης και ψύξης εκφράζουν την ενέργεια που απαιτείται για την διατήρηση των τιμών της εσωτερικής θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας εντός των ορίων θερμικής άνεσης. Ο υπολογισμός των ιδανικών φορτίων αξιοποιείται για την σύγκριση της θερμικής απόδοσης των εναλλακτικών σεναρίων κατασκευής.

Table 5.1: Καθοριζόμενες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας εσωτερικών χώρων για τον υπολογισμό θερμικής απόδοσης της κατασκευής (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010)

Χρήση κτηρίου	Θερμοκρασία (°C)		Σχετική υγρασία [%]	
	Χειμώνας	Καλοκαίρι	Χειμώνας	Καλοκαίρι
Ξενώνας ετήσιας λειτουργίας	20	26	35	45

5.3 Παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη και τη μοντελοποίηση

5.3.1 Κλιματικά Χαρακτηριστικά

Για την διεξαγωγή των ενεργειακών μελετών των κτηρίων η Ελληνική επικράτεια χωρίζεται σε 4 κλιματικές ζώνες σύμφωνα με τις βαθμομέρες θέρμανσης. Όπως φαίνεται στον πίνακα 4.3 η Γαύδος ανήκει στην Α κλιματική ζώνη.

Για τον υπολογισμό των φορτίων θέρμανσης και ψύξης στην κλιματική ζώνη Α, η περίοδος 1^η Νοεμβρίου έως 15 Απριλίου θεωρείται περίοδος θέρμανσης και η περίοδος 15 Μαΐου έως 15 Σεπτεμβρίου θεωρείται περίοδος ψύξης (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010).

Table 5.2: Νομοί της Ελλάδας που ανήκουν στην Α Κλιματική Ζώνη (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010)

Κλιματική ζώνη	Νομοί
Ζώνη Α	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή)

Για την μελέτη της θερμικής απόδοσης της κατασκευής, λόγω έλλειψης κλιματικών δεδομένων για το νησί της Γαύδου, χρησιμοποιήθηκαν ωριαία κλιματικά δεδομένα της περιοχής του Πλακιά, που βρίσκεται σε απόσταση 43km βόρεια της Γαύδου.

5.3.2 Σκιάσεις

Η κατασκευή περιβάλλεται από κέδρους των οικογενειών *Juniperus oxycedrus* spp.*Macrocarpa* και *Juniperus phoenicea*.



Figure 5.3 A and B: Φωτογραφίες κέδρων των οικογενειών A) *Juniperus oxycedrus* spp.*Macrocarpa* και B) *Juniperus phoenicea* (Ρεμούνδου et al., 2013)

Για την μοντελοποίηση των σκιάσεων τα δέντρα θεωρούνται επιφάνειες σκίασης σχήματος πυραμίδας ύψους 4m με διαπερατότητα 50% (Hes et al., 2011).

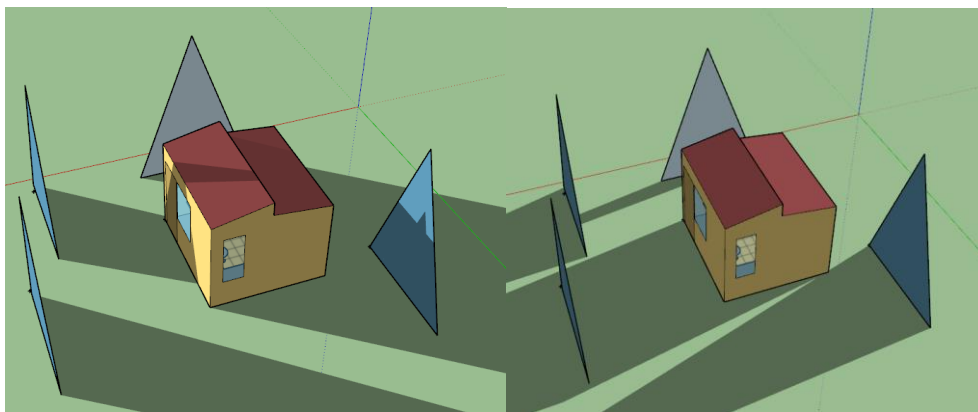


Figure 5.4 A and B: Απεικόνιση σκιάσεων στο μοντέλο της κατασκευής

5.3.3 Θερμικές ζώνες κατασκευής

Η κατασκευή αποτελείται από ενιαία θερμική ζώνη.

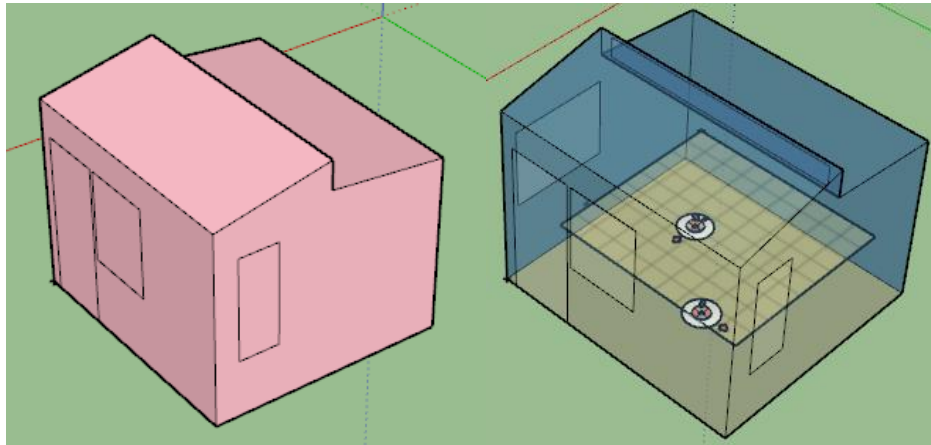


Figure 5.5 A and B: A)Απεικόνιση θερμικής ζώνης της κατασκευής και B) απεικόνιση ορίων επτάφης των επιφανειών με το εξωτερικό περιβάλλον

Table 5.3: Διαστάσεις επιφανειών θερμικής ζώνης

Θερμική ζώνη	Επιφάνεια (m^2)	Όγκος (m^3)	Επιφάνεια τοιχοποιίας (m^2)	Επιφάνεια παράθυρων (m^2)
Thermal zone space 101	9.28	21.34	36.71	3.58

5.3.4 Χαρακτηριστικά λειτουργίας της κατασκευής

Για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτηρίου είναι απαραίτητη η εξέταση των χαρακτηριστικών λειτουργίας του, δηλαδή τα ενεργειακά φορτία και το πρόγραμμα λειτουργίας τους, και η άνεση που παρέχεται στους διαμένοντες. Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των κτηρίων εξαρτώνται άμεσα από την σχεδιαζόμενη χρήση τους. Στην παρούσα μελέτη το μοντέλο που εξετάζεται αποτελεί ανεξάρτητο δωμάτιο φιλοξενίας ετήσιας λειτουργίας.

Φορτία και ωράρια λειτουργίας κατασκευής

Table 5.4: Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά καταλύματος

Μεταβλητή	Μέγεθος	Μονάδα μέτρησης
Αριθμός διαμενόντων	2	
Εσωτερικός φωτισμός	28	W
Ηλεκτρικές συσκευές	200	W

Table 5.5: Τυπικές ενεργειακές καταναλώσεις ηλεκτρικών συσκευών καταλύματος

Ηλεκτρικές συσκευές	Ισχύς (Watt)	Source
Λάμπες φθορισμού	7	ΔΕΗ
Ψυγείο χωρίς κατάψυξη	90	ΔΕΗ
Laptop	90	ΔΕΗ
Φορτιστές ηλεκτρικών συσκευών	20	engineeringtoolbox.com

Table 5.6: Ελκυσόμενη θερμότητα και συντελεστής παρουσίας διαμενόντων (T.O.T.E.E. 20701-1/2010)

	Θερμική ισχύς ανά άτομο $\frac{W}{\text{άτομο}}$	Μέσος συντελεστής παρουσίας
Δωμάτιο φιλοξενίας	60	0.5

Table 5.7: Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού συστήματος

Flow	Category	Unit
electricity, low voltage electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted - GR	Electric power generation, Photovoltaic	MJ

Για την οριοθέτηση των ωραρίων λειτουργίας του φωτισμού και της χρήσης ηλεκτρικών συσκευών στην κατασκευή χρησιμοποιούνται προτεινόμενα «schedule sets» δωματίων φιλοξενίας του λογισμικού *OpenStudio 2.7.0*

Table 5.8: Ετήσιο ποσοστό αξιοποίησης της σχεδιασμένης ισχύος των ηλεκτρικών συσκευών της κατασκευής για κάθε ώρα της ημέρας

Ώρες λειτουργίας	Ποσοστό απαιτούμενης ισχύος
00:00 - 06:00	20%
06:00 - 07:00	62%
07:00 - 08:00	90%
08:00 - 10:00	43%
10:00 - 17:00	26%
17:00 - 19:00	51%
19:00 - 20:00	49%
20:00 - 21:00	66%
21:00 - 22:00	70%
22:00 - 23:00	35%
23:00 - 24:00	20%

Table 5.9: Ετήσιο ποσοστό αξιοποίησης της σχεδιασμένης ισχύος των συσκευών φωτισμού της κατασκευής για κάθε ώρα της ημέρας

Ώρες λειτουργίας	Ποσοστό απαιτούμενης ισχύος
00:00 - 01:00	22%
01:00 - 02:00	17%
02:00 - 05:00	11%
05:00 - 06:00	22%
06:00 - 07:00	44%
07:00 - 08:00	56%
08:00 - 10:00	44%
10:00 - 18:00	28%
18:00 - 19:00	67%
19:00 - 20:00	89%
20:00 - 21:00	100%
21:00 - 22:00	89%
22:00 - 23:00	67%
23:00 - 24:00	33%

Table 5.10: Μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων κατασκευών στην θερμική ζώνη Α(Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010)

Δομικό στοιχείο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας $\frac{w}{m^2 \cdot K}$
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές) U_R	0.50
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα U_T	0.60
Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος U_{FB}	1.20

Table 5. 11: Αεροστεγανότητα κατασκευής

Εναλλαγές αέρα ανά ώρα $[h^{-1}]$	2
--------------------------------------	---

5.4 Αναλυτικά στοιχεία κελύφους κατασκευής (Scenario 1)

Παρουσιάζονται οι στρώσεις και τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κελύφους της κατασκευής.

Τοιχοποιία

Table 5.12: Στρώσεις και θερμικές ιδιότητες υλικών της εξωτερικής τοιχοποιίας κτηρίου

Υλικό	Πάχος στρώσης d m	Πυκνότητα P $\frac{kg}{m^3}$	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας $\frac{W}{m \cdot K}$	Ειδική θερμοχωρητικότητα $\frac{J}{(kg \cdot K)}$	source
Clay plaster	0.01	1545	0.263	596	(Azhary et al., 2017)
Light clay Sample 1	0.38	403	0.099	1500*	(Labat et al., 2016)
Clay plaster	0.01	1545	0.263	596	(Azhary et al., 2017)

*Η τιμή της ειδικής θερμοχωρητικότητας των δειγμάτων light clay που χρησιμοποιήθηκε πάρθηκε από (TOTEE 20701.2:2010)

Δάπεδο κατασκευής

Table 5.13: Στρώσεις και θερμικές ιδιότητες υλικών του δαπέδου του κτηρίου

Υλικό	Πάχος στρώσης M	Πυκνότητα $\frac{kg}{m^3}$	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας $\frac{W}{m \cdot K}$	Ειδική θερμοχωρητικότητα $\frac{J}{(kg \cdot K)}$	Source
Ασφαλτική μεμβράνη	0.010	60-140	0.040	1030	(TOTE 20701.2:2010)
Αμμοχάλικο	0.100	2200	2.000	1180	(TOTE 20701.2:2010)
Light clay sample 1	0.025	403	0.099	1500	(Labat et al., 2016)
Λινέλαιο	0.001	1200	0.170	1400	(TOTE 20701.2:2010)

Στέγη κατασκευής

Table 5.14: Στρώσεις και θερμικές ιδιότητες υλικών της οροφής του κτηρίου

Υλικό	Πάχος στρώσης d M	Πυκνότητα P $\frac{kg}{m^3}$	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ $\frac{W}{m \cdot K}$	Ειδική θερμοχωρητικότητα c_o $\frac{J}{(kg \cdot K)}$	Source
Πλάκα κλαδιών πεύκου	0.025	576	0.075	1200	(Muizniece et al., 2015),
Ασφαλτική μεμβράνη	0.01	1100	0.230	1000	(TOTE 20701.2:2010)
Φύκια Θαλασσίας	0.150	80	0.045	2200	(Wang et al., 2013)
Clay plaster	0.020	1545	0.263	596	(Azhar et al., 2017)

Εξωτερικά παράθυρα

Table 5.15: Στρώσεις και θερμικές ιδιότητες υλικών των εξωτερικών παραθύρων της κατασκευής- Triple glazing system (WINDOW 7, 2019)

Υλικό	Πάχος στρώσης Mm	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας $\frac{W}{m \cdot K}$
Clear glass 6mm	5.7	1.000
Air	12	0.024
Clear glass 6mm	5.7	1.000
Air	12	0.024
Clear glass 6mm	5.7	1.000

Εξωτερική πόρτα

Table 5.16: Θερμικές ιδιότητες εξωτερικής πόρτας

Υλικό	Πάχος στρώσης d M	Πυκνότητα P $\frac{kg}{m^3}$	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας $\frac{\lambda}{W/m \cdot K}$	Ειδική θερμοχωρητικότητα c_o $\frac{J}{kg \cdot K}$	Source
ξύλινη πόρτα (πεύκο)	0.06	600	0.140	1600	(TOTEE 20701.2:2010)

5.5 Αξιολόγηση ενεργειακού και περιβαλλοντικού αποτυπώματος των υλικών κατασκευής

Scenario 1

Table 5.17: Εξεταζόμενες μεταβλητές για την αξιολόγηση του περιβαλλοντικού και ενεργειακού αποτυπώματος του παραγωγικού σταδίου της κατασκευής- *Ecoinvent 3.2*

Production Flow	Category	Amount	Unit
Light clay brick production - RoW Sample 1*	Manufacture of non-metallic mineral products	2259.3	Kg
Crushed gravel production – RoW	Quarrying of stone sand and clay	2041.6	Kg
Bitumen sheet production, V60 - RER	Manufacture of non-metallic products	205.15	Kg
Clay plaster production – RoW	Manufacture of non-metallic mineral products	1327.2	Kg
Outer door production, wood – RER**	Manufacture of wood products	1.56	m ²
Sawnwood production, softwood, dried (u=20%) – RER	Sawmilling and planning of wood	0.75	m ³
Window frame production, wood – RER	Manufacture of wood products	0.63	m ²
Window frame production, wood – RER	Manufacture of wood products	1.25	m ²
Window frame production, wood – RER	Manufacture of wood products	0.73	m ²
Window frame production, wood – RER	Manufacture of wood products	0.99	m ²
Flat glass production, coated (triple glazing) – RER	Manufacture of glass and glass products	193.7	Kg
Seaweed drying 15cm roof insulation***		112.4	Kg

* Τροποποίηση αναλογίων straw – clay ** Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από εσωτερική πόρτα αποτελούμενη από ξύλινη κάσα, πλάκα και φύλλο (door production, inner, wood – RER) *** Τροποποιημένη διαδικασία ξήρανσης φυκιών θαλάσσης, Hanging Outdoor (Thomas et al., 2020)

Στην περίπτωση των φυκιών θαλασσής εξετάστηκε μόνο η διαδικασία ξήρανσης. Θεωρήθηκε πως έγινε παράκτια συγκομιδή των φυκιών για την οποία διαδικασία βρέθηκαν περιορισμένα βιβλιογραφικά στοιχεία. Η απόσταση από την τοποθεσία συγκομιδής στην τοποθεσία ξήρανσης θεωρείται χαμηλότερη των 10km και σαν αποτέλεσμα η απαιτούμενη ενέργεια μεταφοράς να θεωρείται αμελητέα (van Oirschot et al., 2017). Η μέθοδος ξήρανσης επιλέχθηκε λόγω των χαμηλών της περιβαλλοντικών της επιπτώσεων και της μικρής απαιτούμενης ποσότητας.

5.6 Εναλλακτικά σενάρια κατασκευής

Για την μελέτη και βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης της κατασκευής εξετάζονται εναλλακτικά σενάρια θερμομόνωσης της τοιχοποιίας και της οροφής, όπου θεωρείται πως οι κατασκευές παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ποσοστό θερμικών απωλειών (Rodríguez-Soria et al., 2014). Αναλυτικότερα στην παρούσα μελέτη οι μεταβλητές που εξετάζονται στα εναλλακτικά σενάρια είναι: α) η πυκνότητα της τοιχοποιίας *light clay*, β) το πάχος της διατομής του κελύφους της κατασκευής, γ) το πάχος της θερμομόνωσης της οροφής

Η περιβαλλοντική και ενεργειακή απόδοση των εναλλακτικών σεναρίων εξετάστηκε μέσω της σύγκρισης των εναλλακτικών τιμών κάθε εξεταζόμενης μεταβλητής και της αξιολόγησης της επίδρασης στα τελικά αποτελέσματα.

A) Εναλλακτικές πυκνότητες τοιχοποιίας *Light Clay*

Table 5.18: Εναλλακτικές εξεταζόμενες πυκνότητες τοιχοποιίας *light clay*

Δείγματα <i>Light clay</i>	Straw-Clay Ratio*	Πυκνότητα P $\frac{kg}{m^3}$	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ $\frac{W}{m \cdot K}$	Ειδική θερμοχωρητικότητα c_o $\frac{J}{(kg \cdot K)}$
Sample 1	0.75 :1.25	241	0.071	1500
Sample 2	0.50 :1.50	381	0.088	1500
Sample 3	0.35 :1.65	531	0.120	1500

* Πυκνότητα ινών άχυρου $90 \frac{kg}{m^3}$ (Degiovanni, 1977, as cited in Azhary et al., 2017)

Table 5.19: Απαιτούμενη παραγόμενη ποσότητα light clay για πλάτος διατομής W=38cm

Flow	Category	Amount	Unit
Light clay brick Sample 1	Manufacture of non-metallic mineral products	2259.3	Kg
Light clay brick Sample 2	Manufacture of non-metallic mineral products	3539.3	Kg
Light clay brick Sample 3	Manufacture of non-metallic mineral products	4910.7	Kg

B) Εναλλακτικά πάχη τοιχοποιίας

Table 5.20: Εναλλακτικά εξεταζόμενα πάχη διατομής

Light clay wall $P=241 \frac{kg}{m^3}$	Πάχος στρώσης (cm)
1.W	38
2.W	28
3.W	18

Table 5.21: Απαιτούμενη παραγόμενη ποσότητα light clay πυκνότητας $P=241 \frac{kg}{m^3}$

Flow	Category	Amount	Unit
Light clay brick W=38cm	Manufacture of non-metallic mineral products	2259.3	Kg
Light clay brick W=28cm	Manufacture of non-metallic mineral products	1679.5	Kg
Light clay brick W=18cm	Manufacture of non-metallic mineral products	1099.6	Kg

C) Εναλλακτικά πάχη θερμομόνωσης οροφής

Table 5.22: Εναλλακτικά πάχη θερμομόνωσης οροφής

Εναλλακτικά Σενάρια	Πάχος στρώσης (m)
Θερμομόνωση φύκια Θαλασσίας 1	0.150
Θερμομόνωση φύκια Θαλασσίας 2	0.300

Table 5.23: Εναλλακτικά σενάρια ξήρανσης απαιτούμενης ποσότητας φυκιών θαλάσσης

Production Flow	Amount	Unit
Seaweed drying 15cm roof insulation	112.4	Kg
Seaweed drying 30cm roof insulation	224.9	Kg

Σύνοψη μεταβαλλόμενων χαρακτηριστικών εναλλακτικών σεναρίων κατασκευής

Table 5.24: Μεταβαλλόμενα χαρακτηριστικά κατασκευής

	Light clay wall density $\frac{kg}{m^3}$	Light clay wall width cm	Roof insulation Cm
Scenario 1	241	38	15
Scenario 2	381	38	15
Scenario 3	531	38	15
Scenario 4	241	28	15
Scenario 5	241	18	15
Scenario 6	241	38	30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης του ενεργειακού και περιβαλλοντικού αποτυπώματος και των εσωτερικών συνθηκών λειτουργίας των εναλλακτικών μοντέλων της εξεταζόμενης κατασκευής.

6.1 Παρουσίαση ενεργειακού και περιβαλλοντικού αποτυπώματος κατασκευής

(scenario 1)

Παρουσιάζονται αναλυτικά το περιβαλλοντικό και ενεργειακό αποτύπωμα των σταδίων παραγωγής και λειτουργίας, οι εσωτερικές συνθήκες της κατασκευής και τα ιδανικά φορτία θέρμανσης και ψύξης για την εξασφάλιση των επιθημάτων εσωτερικών συνθηκών λειτουργίας.

Scenario 1: light clay density $241 \frac{kg}{m^3}$, wall width 40cm, roof insulation 15cm

Στάδιο Παραγωγής

Table 6.1: Περιβαλλοντικό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής κατασκευαστικών υλικών -Scenario 1

Process	GWP100 (kgCO ₂ eq)	Acidification potential (kgSO ₂ eq)	Eutrophication (kgPO ₄ eq)	Ozone layer depletion (kgCFC-11eq)
Flat glass production, coated (triple glazing) – RER	220.62	2.05	0.27	2.08E-05
Bitumen sheet production, V60 – RER	126.24	1.08	0.31	9.53E-05
Clay plaster production – RoW	69.15	0.42	0.11	5.33E-06
Light clay brick production – RoW Sample 1	40.37	1.15	0.91	2.18E-05
Crushed gravel production – RoW	21.51	0.12	0.04	1.47E-06
seaweed drying, hanging outdoors 15cm roof insulation	3.08	0.03	0.01	3.9E-07
Outer door production, wood – RER	-48.75	0.54	0.17	8.62E-06
Window frame production, wood – RER	-374.48	4.12	1.41	5.6E-05
Sawnwood Production, softwood, dried (u=20%) – RER	-903.78	0.37	0.10	9.15E-06
Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα παραγωγής δομικών υλικών κατασκευής Scenario 1: light clay density $241 \frac{kg}{m^3}$, wall width 40cm, roof insulation 15cm, triple glazing	-846.05	9.88	3.33	0.00022

Table 6.2: Ενεργειακό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής κατασκευαστικών υλικών - Scenario 1

Process	Non-renewable primary energy demand (MJ)	Renewable primary energy demand (MJ)	Total primary energy demand (MJ)
Bitumen sheet production, V60 – RER	8063.6	271.0	8334.6
Window frame production, wood – RER	7908.1	13230	21138.1
Light clay brick production – RoW Sample 1	3445.3	2179.0	5624.3
Flat glass production, coated (triple glazing) – RER	2567.0	77.9	2644.9
Outer door production, wood – RER	1162.7	1977.0	3139.7
Sawnwood Production, softwood, dried (u=20%) – RER	908.9	11101.1	12010
Clay plaster production – RoW	789.6	28.6	818.2
Crushed gravel production – RoW	240.3	7.0	247.3
seaweed drying, hanging outdoors 15cm roof insulation	47.3	5.6	52.9
Ενεργειακό αποτύπωμα παραγωγής δομικών υλικών κατασκευής			
Scenario 1: light clay density $241 \frac{kg}{m^3}$, wall width 40cm, roof insulation 15cm, triple glazing	25132.8	28877.2	54010

Στάδιο Λειτουργίας

Table 6.3: Περιβαλλοντικό αποτύπωμα σταδίου λειτουργίας κατασκευής - Scenario 1

Process	Μέγεθος επιρροής	GWP100 (kgCO ₂ eq)	Acidification potential (kgSO ₂ eq)	Eutrophication (kgPO ₄ eq)	Ozone layer depletion (kgCFC-11eq)
electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted – GR	Total (50 years)	2214	15	7	4.71E-04
	Annual	44.28	0.30	0.14	9.43E-06
	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	4.77	0.03	0.02	1.02E-06

Table 6.4: Ενεργειακό αποτύπωμα σταδίου λειτουργίας κατασκευής - Scenario 1

Process	Μέγεθος επιρροής	Non-renewable primary energy demand (MJ)	Renewable primary energy demand (MJ)	Total primary energy demand (MJ)
electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted – GR	Total (50 years)	26235	137440	163675
	Annual	524.7	2748.8	3273.5
	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	56.5	296.2	352.7

Εσωτερικές συνθήκες κατασκευής

Table 6.5: Ώρες ετησίως για κάθε εύρος εσωτερικών θερμοκρασιών της κατασκευής(hr)- scenario 1

Thermal Zone	Hr< 20°C	<13° C	13- 16°C	16- 19 °C	19- 20° C	20- 21° C	21- 22° C	22- 23° C	23- 24° C	24- 26° C	26- 28°C	28- 31°C	>=31 °C	Hours >26°C	Mean Temp (°C)
SPACE 101 scenario 1	4196	764	1410	1471	551	527	546	500	507	512	1092	664	216	1972	21

Table 6.6: Ώρες ετησίως για κάθε εύρος σχετικής υγρασίας στην κατασκευή (hr), scenario 1

Thermal Zone	< 30 (%)	30-35 (%)	35-40 (%)	40-45 (%)	45-50 (%)	50-55 (%)	55-60 (%)	60-65 (%)	65-70 (%)	70-75 (%)	75-80 (%)	>= 80 (%)	Mean Relative Humidity (%)
SPACE 101 (scenario1)	1	61	353	751	1034	1179	1206	1244	1102	862	528	439	59.4 (%)

Ιδεατά φορτία για την διασφάλιση εσωτερικών συνθηκών εντός επιθυμητών ορίων

Table 6.7: Ιδεατά φορτία θέρμανσης και ψύξης για την διασφάλιση των επιθυμητών εσωτερικών συνθηκών scenario 1

Scenario 1	Ideal Heating loads (MJ)		Ideal Cooling loads (MJ)		Total loads (MJ)	
	Annual		50 years		50 years	
	23949.8		31113.6		55063.4	
	1197490		1555680		2753170	

Ιδεατά φορτία για την διασφάλιση εσωτερικής θερμοκρασίας εντός επιθυμητών ορίων, χωρίς να γίνεται έλεγχος της σχετικής υγρασίας του χώρου

Table 6.8: Ιδεατά φορτία θέρμανσης και ψύξης για την διασφάλιση εσωτερικής θερμοκρασίας εντός επιθυμητών ορίων - scenario 1

Scenario 1	Ideal Heating loads (MJ)		Ideal Cooling loads (MJ)		Total loads (MJ)	
	Annual		50 years		50 years	
	22346.1		7005.6		29351.7	
	1117305		350280		1467585	

Table 6.9: Ώρες ετησίως για κάθε εύρος σχετικής υγρασίας στην κατασκευή (hr), scenario 1 μετά από έλεγχο εσωτερικής θερμοκρασίας

Thermal Zone	< 30 (%)	30-35 (%)	35-40 (%)	40-45 (%)	45-50 (%)	50-55 (%)	55-60 (%)	60-65 (%)	65-70 (%)	70-75 (%)	75-80 (%)	>= 80 (%)	Mean Relative Humidity (%)
SPACE 101 (scenario1)	94	379	684	1132	1407	1315	1292	990	675	403	243	146	53.3 (%)

6.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων για εναλλακτικά σενάρια κατασκευής

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εναλλακτικών σεναρίων κατασκευής. Αναλυτικότερα για κάθε εναλλακτικό σενάριο παρουσιάζονται το περιβαλλοντικό και ενεργειακό αποτύπωμα της παραγωγής του συνόλου των δομικών υλικών και της μεταβαλλόμενης μεταβλητής και τα ιδεατά φορτία για την εξασφάλιση των επιθυμητών εσωτερικών συνθηκών.

Εναλλακτικές πυκνότητες τοιχοποιίας ελαφρού πηλού

Στάδιο Παραγωγής

Table 6.10: Περιβαλλοντικό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής κατασκευαστικών υλικών για εναλλακτικές πυκνότητες ελαφρού πηλού

Process		GWP100 (kgCO ₂ eq)	Acidification potential (kgSO ₂ eq)	Eutrophication (kgPO ₄ eq)	Ozone layer depletion (kgCFC-11eq)
Scenario 2 <i>Light clay density $P=381\frac{kg}{m^3}$</i>	Περιβαλλοντικό αποτύπωμα παραγωγής δομικών υλικών	-742.52	10.27	3.41	0.00023
	Light clay brick production	143.90	1.54	0.98	3.13E-05
Scenario 3 <i>Light clay density $P=531\frac{kg}{m^3}$</i>	Περιβαλλοντικό αποτύπωμα παραγωγής δομικών υλικών	-632.34	10.70	3.49	0.00024
	Light clay brick production	254.07	1.97	1.07	4.15E-05

Table 6.11: Περιβαλλοντικό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής κατασκευαστικών υλικών για εναλλακτικές πυκνότητες ελαφρού πηλού

Process		Non-renewable primary energy demand (MJ)	Renewable primary energy demand (MJ)	Total primary energy demand (MJ)
Scenario 2 <i>Light clay density $P=381\frac{kg}{m^3}$</i>	Ενεργειακό αποτύπωμα παραγωγής δομικών υλικών κατασκευής	26798.1	28914.5	55712.6
	Light clay brick production	5110.6	2216.4	7327
Scenario 3 <i>Light clay density $P=531\frac{kg}{m^3}$</i>	Ενεργειακό αποτύπωμα παραγωγής δομικών υλικών κατασκευής	28585.1	28965.7	57550.8
	Light clay brick production	6897.6	2267.5	9165.1

Εσωτερικές συνθήκες κατασκευής

Table 6.12: Ώρες ετησίως για κάθε εύρος εσωτερικών θερμοκρασιών για εναλλακτικές πυκνότητες της τοιχοποιίας της κατασκευής (hr)

Thermal Zone	hours <20°C	<13°C (hr)	13-16°C	16-19 °C	19-20°C	20-21°C	21-22°C	22-23°C	23-24°C	24-26°C	26-28°C	28-31°C	>=31°C	hours >26°C	Mean Temp (°C)
SPACE 101 scenario2	4189	754	1412	1480	543	541	523	493	512	510	1119	662	211	1992	21
SPACE 101 scenario3	4184	731	1424	1493	536	543	513	495	500	512	1133	673	207	2013	21

Table 6.13: Ώρες ετησίως για κάθε εύρος σχετικής υγρασίας για εναλλακτικές πυκνότητες της τοιχοποιίας της κατασκευής (hr)

Thermal Zone	< 30 (%)	30-35 (%)	35-40 (%)	40-45 (%)	45-50 (%)	50-55 (%)	55-60 (%)	60-65 (%)	65-70 (%)	70-75 (%)	75-80 (%)	>= 80 (%)	Mean Relative Humidity (%)
SPACE 101 (scenario2)	1	59	345	747	1037	1193	1228	1256	1104	855	513	422	59.3
SPACE 101 (scenario3)	1	55	338	738	1048	1215	1257	1270	1094	849	492	403	59.2

Ιδεατά φορτία για την διασφάλιση εσωτερικών συνθηκών εντός επιθυμητών ορίων

Table 6.14: Ιδεατά φορτία θέρμανσης και ψύξης για την διασφάλιση των επιθυμητών εσωτερικών συνθηκών για εναλλακτικές πυκνότητες τοιχοποιίας

		Ideal Heating loads (MJ)	Ideal Cooling loads (MJ)	Total loads (MJ)
Scenario 2	Annual	23939.2	31081.9	55021.1
	50 years	1196960	1554095	2751055
Scenario 3	Annual	23960.3	31060.8	55021.1
	50 years	1198015	1553040	2751055

Εναλλακτικά πάχη διατομής τοιχοποιίας

Στάδιο Παραγωγής

Table 6.15: Περιβαλλοντικό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής κατασκευαστικών υλικών για εναλλακτικά πλάτη διατομής τοιχοποιίας

Process		GWP100 (kgCO ₂ eq)	Acidification potential (kgSO ₂ eq)	Eutrophication (kgPO ₄ eq)	Ozone layer depletion (kgCFC-11eq)
Scenario 4 <i>Light clay wall layer</i> <i>W=28cm</i>	Περιβαλλοντικό αποτύπωμα παραγωγής δομικών υλικών κατασκευής	-856.41	9.58	3.10	0.00021
	Light clay brick production	30.01	0.85	0.68	1.62E-05
Scenario 5 <i>Light clay wall layer</i> <i>W=18cm</i>	Ενεργειακό αποτύπωμα παραγωγής δομικών υλικών κατασκευής	-866.77	9.29	2.87	0.00021
	Light clay brick production	19.65	0.56	0.44	1.06E-05

Table 6.16: Ενεργειακό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής κατασκευαστικών υλικών για εναλλακτικά πλάτη διατομής τοιχοποιίας

Process		Non-renewable primary energy demand (MJ)	Renewable primary energy demand (MJ)	Total primary energy demand (MJ)
Scenario 4 <i>Light clay wall layer</i> <i>W=28cm</i>	Ενεργειακό αποτύπωμα παραγωγής δομικών υλικών κατασκευής	24248.6	28317.9	52566.5
	Light clay brick production	2561.1	1619.8	4180.9
Scenario 5 <i>Light clay wall layer</i> <i>W=18cm</i>	Ενεργειακό αποτύπωμα παραγωγής δομικών υλικών κατασκευής	23364.4	27758.7	51123.1
	Light clay brick production	1676.9	1060.6	2737.5

Εσωτερικές συνθήκες κατασκευής

Table 6.17: Ώρες ετησίως για κάθε εύρος εσωτερικών θερμοκρασιών για εναλλακτικά πάχη της τοιχοποιίας της κατασκευής (hr)

Thermal Zone	hours <20°C	< 13 (°C)	13-16 (°C)	16-19 (°C)	19-20 (°C)	20-21 (°C)	21-22 (°C)	22-23 (°C)	23-24 (°C)	24-26(°C)	26-28 (°C)	28-31 (°C)	>=31 (°C)	hours >26°C	Mean Temp (°C)
SPACE 101 scenario4	4192	759	14 12	1475	546	517	538	502	509	502	1108	670	222	2000	21
SPACE 101 scenario5	4172	766	14 00	1470	536	519	533	509	503	495	1122	672	235	2029	21

Table 6.18: Ώρες ετησίως για κάθε εύρος σχετικής υγρασίας για εναλλακτικά πάχη της τοιχοποιίας της κατασκευής (hr)

Thermal Zone	< 30 (%)	30-35 (%)	35-40 (%)	40-45 (%)	45-50 (%)	50-55 (%)	55-60 (%)	60-65 (%)	65-70 (%)	70-75 (%)	75-80 (%)	>= 80 (%)	Mean Relative Humidity (%)
SPACE 101 (scenario4)	1	61	355	758	1033	1190	1210	1240	1109	852	523	428	59.3
SPACE 101 (scenario5)	1	71	360	753	1046	1183	1225	1230	1091	844	519	437	59.3

Ιδεατά φορτία για την διασφάλιση εσωτερικών συνθηκών εντός επιθυμητών ορίων

Table 6.19: Ιδεατά φορτία θέρμανσης και ψύξης για την διασφάλιση των επιθυμητών εσωτερικών συνθηκών για εναλλακτικά πάχη διατομής της τοιχοποιίας

		Ideal Heating loads (MJ)	Ideal Cooling loads (MJ)	Total loads (MJ)
Scenario 4	Annual	23992.0	31113.6	55105.6
	50 years	1199600	1555680	2755280
Scenario 5	Annual	24118.6	31208.6	55327.2
	50 years	1205930	1560430	2766360

Εναλλακτικά πάχη στρώσεων θερμικής μόνωσης οροφής

Στάδιο Παραγωγής

Table 6.20: Περιβαλλοντικό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής κατασκευαστικών υλικών για εναλλακτικά πάχη θερμικής μόνωσης της οροφής

Process		GWP100 (kgCO ₂ eq)	Acidification potential (kgSO ₂ eq)	Eutrophication (kgPO ₄ eq)	Ozone layer depletion (kgCFC-11eq)
Scenario 6	Περιβαλλοντικό αποτύπωμα παραγωγής δομικών υλικών κατασκευής	-842.97	9.91	3.35	0.00022
Seaweed insulation=30cm	seaweed drying, hanging outdoors 30cm roof insulation	6.15	0.06	0.03	7.79E-07

Table 6.21: Ενεργειακό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής κατασκευαστικών υλικών για εναλλακτικά πάχη θερμικής μόνωσης της οροφής

Process		Non-renewable primary energy demand (MJ)	Renewable primary energy demand (MJ)	Total primary energy demand (MJ)
Scenario 6	Ενεργειακό αποτύπωμα παραγωγής δομικών υλικών κατασκευής	25180.2	28882.8	54063
Seaweed insulation=30cm	seaweed drying, hanging outdoors 30cm roof insulation	94.7	11.3	106

Εσωτερικές συνθήκες κατασκευής

Table 6.22: Ώρες ετησίως για κάθε εύρος εσωτερικών θερμοκρασιών για εναλλακτικά πάχη θερμικής μόνωσης της οροφής (hr)

Thermal Zone	hours <20°C	<13°C	13-16°C	16-19 °C	19-20°C	20-21°C	21-22°C	22-23°C	23-24°C	24-26°C	26-28°C	28-31°C	>= 31°C	hours >26°C	Mean Temp (°C)
SPACE 101 scenario6	4198	763	1413	1473	549	535	539	500	517	512	1080	667	212	1959	21

Table 6.23: Ώρες ετησίως για κάθε εύρος σχετικής υγρασίας για εναλλακτικά πάχη θερμικής μόνωσης οροφής (hr)

Thermal Zone	< 30 (%)	30-35 (%)	35-40 (%)	40-45 (%)	45-50 (%)	50-55 (%)	55-60 (%)	60-65 (%)	65-70 (%)	70-75 (%)	75-80 (%)	>= 80 (%)	Mean Relative Humidity (%)
SPACE 101 (scenario6)	1	61	352	755	1022	1174	1200	1255	1107	862	533	438	59.5

Ιδεατά φορτία για την διασφάλιση εσωτερικών συνθηκών εντός επιθυμητών ορίων

Table 6.24: Ιδεατά φορτία θέρμανσης και ψύξης για την διασφάλιση των επιθυμητών εσωτερικών συνθηκών για εναλλακτικά πάχη θερμικής μόνωσης της οροφής

		Ideal Heating loads (MJ)	Ideal Cooling loads (MJ)	Total loads (MJ)
Scenario 6	Annual	23907.6	31081.9	54989.5
	50 years	1195380	1554095	2749475

6.3 Συνολικό ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα σταδίων παραγωγής και λειτουργίας για κάθε εναλλακτικό σενάριο

Στο υποκεφάλαιο 6.3 παρουσιάζονται τα συνολικά περιβαλλοντικά και ενεργειακά αποτυπώματα των σταδίων παραγωγής και λειτουργίας των εναλλακτικών σεναρίων με στόχο τον εντοπισμό των βέλτιστων χαρακτηριστικών κατασκευής.

Table 6.25: Περιβαλλοντικό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής και λειτουργίας για κάθε εναλλακτικό σενάριο

	Μέγεθος	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6
GWP100 (kgCO ₂ eq)	Total (50 years)	1367.95	1471.48	1581.66	1357.59	1347.23	1371.03
στάδιο παραγωγής και λειτουργίας ηλ.συσκευών	$\left(\frac{Total}{year \cdot m^2}\right)$	2.947	3.171	3.407	2.925	2.902	2.953
Acidification potential (kgSO ₂ eq)	Total (50 years)	24.88	25.27	25.7	24.58	24.29	24.91
στάδιο παραγωγής και λειτουργίας ηλ.συσκευών	$\left(\frac{Total}{year \cdot m^2}\right)$	0.0513	0.0521	0.0531	0.0506	0.05	0.0514
Eutrophication (kgPO ₄ eq)	Total (50 years)	10.33	10.41	10.49	10.1	9.87	10.35
στάδιο παραγωγής και λειτουργίας ηλ.συσκευών	$\left(\frac{Total}{year \cdot m^2}\right)$	0.0272	0.0273	0.0275	0.0266	0.0262	0.0272
Ozone layer depletion (kgCFC-11eq)	Total (50 years)	0.000691	0.000701	0.000711	0.000681	0.000681	0.000691
στάδιο παραγωγής και λειτουργίας ηλ.συσκευών	$\left(\frac{Total}{year \cdot m^2}\right)$	1.49E-06	1.52E-06	1.54E-06	1.47E-06	1.47E-06	1.49E-06

Table 6. 26: Ενεργειακό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής και λειτουργίας για κάθε εναλλακτικό σενάριο

	Μέγεθος	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6
Non-renewable primary energy demand	Total (50 years)	51367.8	53033.1	54820.1	50483.6	49599.4	51415.2
στάδιο παραγωγής και λειτουργίας ηλ.συσκευών	$\left(\frac{Total}{year * m^2}\right)$	110.7	114.3	118.1	108.8	106.9	110.8
Renewable primary energy demand	Total (50 years)	166317.2	166354.5	166405.7	165757.9	165198.7	166322.8
στάδιο παραγωγής και λειτουργίας ηλ.συσκευών	$\left(\frac{Total}{year * m^2}\right)$	358.4	358.5	358.6	357.2	356	358.4
Total primary energy demand	Total (50 years)	217685	219387.6	221225.8	216241.5	214798.1	217738
στάδιο παραγωγής και λειτουργίας ηλ.συσκευών	$\left(\frac{Total}{year * m^2}\right)$	469.1	472.8	476.7	466	462.9	469.2
Ενεργειακές απαιτήσεις σταδίου παραγωγής, λειτουργίας ηλ.συσκευών και ιδεατά φορτία θέρμανσης και ψύξης	Total (50 years)	2970855	2970442.6	2972280.8	2971521.5	2981158.1	2967233.6
	$\left(\frac{Total}{year * m^2}\right)$	6402.7	6401.8	6405.8	6404.1	6424.9	6394.9

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

7.1 Ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα σταδίων παραγωγής και λειτουργίας κατασκευής (scenario 1)

Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του σταδίου παραγωγής της κατασκευής υπολογίζεται ως Carbon Negative, γεγονός που οφείλεται στη δέσμευση C από τα δομικά υλικά φυτικής προέλευσης που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή. Χαρακτηριστικά τα ξύλινα στοιχεία της κατασκευής είναι υπεύθυνα για τη δέσμευση 1327 kgCO₂. Οι δείκτες Acidification potential, Eutrophication και Ozone layer depletion παρουσιάζουν όλοι χαμηλές τιμές. Αναλυτικότερα οι εκπομπές SO₂ ισούνται με 9.88kg, οι εκπομπές PO₄ της κατασκευής ισούνται με 3.33kg, ενώ οι εκπομπές CFC είναι μηδενικές.

Η συνολική απαιτούμενη ενέργεια του σταδίου παραγωγής ισούται με 54010 MJ, με το 53% της ενέργειας να υπολογίζεται ότι προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Σημειώνεται πως κατά τον υπολογισμό της απαιτούμενης ενέργειας στα υλικά φυτικής προέλευσης συνυπολογίζεται η ενέργεια που ενσωματώθηκε κατά την ανάπτυξη τους.

Κατά τη διάρκεια του σταδίου λειτουργίας της κατασκευής (50 χρόνια) υπολογίστηκε ότι η ηλεκτροδότηση της κατασκευής έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή 2214 kgCO₂. Οι εκπομπές SO₂ ισούνται με 15 kg, οι εκπομπές PO₄ ισούνται με 7 kg και οι εκπομπές CFC είναι μηδενικές.

Η συνολική απαιτούμενη ενέργεια κατά το στάδιο λειτουργίας της κατασκευής ισούται με 163675 MJ. Οι ενεργειακές απαιτήσεις του σταδίου λειτουργίας καλύπτονται κατά 84% από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

7.1.1 Εσωτερικές συνθήκες και ιδεατά φορτία θέρμανσης/ψύξης

Η εσωτερική θερμοκρασία της κατασκευής βρίσκεται 2592h ετησίως στο εύρος 20°C-26°C, ενώ η σχετική υγρασία της κατασκευής βρίσκεται 1104h ετησίως στο εύρος 35%-45%. Η κατασκευή θεωρείται καταλληλότερη για καλοκαιρινή χρήση, αφού εξετάζοντας τις ακραίες εσωτερικές θερμοκρασίες παρατηρείται ότι ο εσωτερικός χώρος βρίσκεται κάτω από 13°C για 764h ετησίως, ενώ η εσωτερική θερμοκρασία ξεπερνάει τους 31°C για 216h ετησίως.

Τα ιδανικά φορτία θέρμανσης και ψύξης της κατασκευής ισούνται με 23949.8 MJ ετησίως και 31113.6 MJ ετησίως αντίστοιχα. Σημειώνεται πως στις τιμές που βρέθηκαν περιλαμβάνεται και η απαιτούμενη ενέργεια για την ύγρανση και αφύγρανση του χώρου, γεγονός που αιτιολογεί την υψηλή τιμή Ideal Cooling loads. Αναλυτικότερα υπολογίστηκε πως αποκλειστικά για την ψύξη του εσωτερικού χώρου στα όρια της θερμικής άνεσης απαιτούνται μόλις 7005.6 MJ ετησίως ενώ η υπόλοιπη ενέργεια καταναλώθηκε για την μείωση της σχετικής υγρασίας στο χώρο.

7.2 Σύγκριση εναλλακτικών σεναρίων κατασκευής

Οι ενεργειακές απαιτήσεις και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του συστήματος φωτισμού και της λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών δεν παρουσιάζουν μεταβολή ανάμεσα στα εναλλακτικά σενάρια. Επιπρόσθετα για την εκτίμηση και σύγκρισης της θερμικής απόδοσης των εναλλακτικών σεναρίων υπολογίστηκαν τα ιδανικά φορτία θέρμανσης και ψύξης. Σαν αποτέλεσμα δεν έγινε εκτίμηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος πιθανών συστημάτων HVAC για την διασφάλιση της θερμικής άνεσης στον εσωτερικό χώρο της κατασκευής. Συνυπολογίζοντας την συνολικά απαιτούμενη ενέργεια παραγωγής και λειτουργίας με τα ιδεατά απαιτούμενα φορτία θέρμανσης και ψύξης για κάθε εναλλακτικό σενάριο εκτιμήθηκε η επίδραση της μεταβολής των χαρακτηριστικών κατασκευής στην ενεργειακή απόδοση του κτηρίου.

Η υπολογισμένη μεταβολή του περιβαλλοντικού αποτυπώματος ανάμεσα στα εναλλακτικά σενάρια εξαρτάται αποκλειστικά από τις αλλαγές στα στοιχεία κατασκευής. Η σημαντικότερη μεταβολή του περιβαλλοντικού αποτυπώματος που παρατηρήθηκε ανάμεσα στα εναλλακτικά σενάρια είναι η τιμή του δείκτη δυνητικής συμβολής στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής (GWP100), με τις μεταβολές ανάμεσα στους δείκτες υπολοίπους να θεωρούνται αμελητέες.

7.2.1 Μεταβολή περιβαλλοντικού αποτυπώματος

Η μεγαλύτερη μεταβολή των εκπομπών CO₂ που παρουσιάστηκε ανάμεσα στα εναλλακτικά σενάρια οφείλεται στην μεταβολή της πυκνότητας της τοιχοποιίας ελαφρού πυλού. Αναλυτικότερα η αύξηση της πυκνότητας του ελαφρού πηλού από $241 \frac{kg}{m^3}$ (scenario 1) σε $381 \frac{kg}{m^3}$ (scenario 2) επιφέρει αύξηση των εκπομπών CO₂ κατά $0.224 \frac{kgCO_2}{years*m^2}$ (7.6%), αντίστοιχα η χρήση ελαφρού πηλού πυκνότητας $531 \frac{kg}{m^3}$ (scenario 3) επιφέρει αύξηση $0.460 \frac{kgCO_2}{years*m^2}$ (15.6%) σε σχέση με το scenario 1.

Η μεταβολή του πάχους της διατομής της τοιχοποιίας και του πάχους της στρώσης της θερμικής μόνωσης της οροφής επέφερε ελάχιστη μεταβολή των εκπομπών CO₂. Χαρακτηριστικά η μείωση του πάχους της τοιχοποιίας από 38cm (scenario 1) σε 28cm (scenario 4) και 18cm (scenario 5) επιφέρει μείωση του δείκτη GWP100 κατά $0.022 \frac{kgCO_2}{years*m^2}$ (0.8%) και $0.045 \frac{kgCO_2}{years*m^2}$ (1.5%) αντίστοιχα. Ο διπλασιασμός του πάχους της στρώσης φυκιών θαλάσσης (scenario 1 vs. scenario 6) επέφερε 0.2% αύξηση του δείκτη εκπομπών CO₂ της κατασκευής.

7.2.2 Μεταβολή ενεργειακού αποτυπώματος

Οι συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις των σταδίων παραγωγής και λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών και συστήματος φωτισμού παρουσιάζουν αμελητέες μεταβολές ανάμεσα στα εναλλακτικά σενάρια. Ομοίως χαμηλές παρατηρήθηκαν και στα ιδεατά φορτία διασφάλισης θερμικής άνεσης των εναλλακτικών σεναρίων κατασκευής. Χαρακτηρίστηκα

και στα δύο σενάρια αύξησης της πυκνότητας της τοιχοποιίας ελαφρού πηλού επέφερε μείωση των φορτίων θέρμανσης και ψύξης κατά $4.6 \frac{MJ}{years \cdot m^2}$ (μείωση < 0.1%). Η μείωση του πάχους της διατομής της τοιχοποιίας ελαφρού πηλού από 38cm (scenario 1) σε 28cm (scenario 2) και 18cm (scenario 3) επέφερε αύξηση των ιδεατών φορτίων κατά $4.5 \frac{MJ}{years \cdot m^2}$ και $28 \frac{MJ}{years \cdot m^2}$ αντίστοιχα. Η αύξηση της πάχους της θερμικής μόνωσης της οροφής (scenario 1 vs. scenario 6) είχε σαν αποτέλεσμα την μείωση των ιδεατών φορτίων θέρμανσης και ψύξης κατά $8 \frac{MJ}{years \cdot m^2}$.

Από το συνυπολογισμό του ενεργειακού αποτυπώματος της παραγωγής και λειτουργίας και τα ιδεατά απαιτούμενα φορτία θέρμανσης και ψύξης παρατήθηκε ότι η αύξηση της τοιχοποιίας ελαφρού πηλού από $241 \frac{kg}{m^3}$ σε $381 \frac{kg}{m^3}$ επέφερε μείωση του συνολικού ενεργειακού αποτυπώματος $0.9 \frac{MJ}{years \cdot m^2}$ (μείωση 0.01%), ενώ αντίθετα η αύξηση της πυκνότητας σε $531 \frac{kg}{m^3}$ επέφερε μείωση της ενεργειακής απόδοσης της κατασκευής.

Η μείωση του πάχους της διατομής της τοιχοποιίας από 38cm σε 28cm επέφερε αύξηση του ενεργειακού αποτυπώματος $1.4 \frac{MJ}{years \cdot m^2}$, επιπρόσθετα η μείωση του πάχους από 38cm σε 18cm επέφερε αύξηση των συνολικών ενεργειακών απαιτήσεων κατά $22.2 \frac{MJ}{years \cdot m^2}$.

Ο διπλασιασμός του πάχους της στρώσης των φυκιών θαλάσσης στην οροφή της κατασκευής επέφερε βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης ίση με $7.8 \frac{MJ}{years \cdot m^2}$ (scenario 1 vs. scenario 6).

7.2.3 Επιλογή βέλτιστων χαρακτηριστικών κατασκευής

Δεδομένης της χαμηλής ακρίβειας των εκτιμώμενων τιμών των φορτίων θέρμανσης και ψύξης, της πολύ χαμηλής βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης που επιτεύχθηκε με την αύξηση της πυκνότητας του ελαφρού πηλού σε $381 \frac{kg}{m^3}$ και την αύξηση των ενεργειακών απαιτήσεων και την επακόλουθη αύξηση των εκπομπών CO₂ του σταδίου παραγωγής της κατασκευής, *προτείνεται η χρήση ελαφρού πηλού πυκνότητας $241 \frac{kg}{m^3}$.*

Η μείωση του πάχους της διατομής της τοιχοποιίας από 38cm σε 18cm επέφερε σημαντική μείωση στην θερμική μόνωση της κατασκευής, καθιστώντας το σενάριο μη ιδανικό. Μεταξύ των τριών εναλλακτικών που εξετάστηκαν *προτείνεται η τοποθέτηση τοιχοποιίας πάχους 28cm*. Κριτήρια της επιλογής αποτέλεσαν οι τιμές του περιβαλλοντικού και ενεργειακού αποτυπώματος των σταδίων παραγωγής και λειτουργίας.

Η αύξηση της θερμικής μόνωσης της οροφής επέφερε αισθητή βελτίωση στη θερμική απόδοση της κατασκευής με αμελητέες επιπτώσεις στο ενεργειακό και περιβαλλοντικό αποτύπωμα της κατασκευής, ως αποτέλεσμα προτείνεται *η τοποθέτηση στρώσης φυκιών θαλάσσης πάχους 30cm*.

7.3 Μεθοδολογικές αδυναμίες

Η simplified LCA αποσκοπεί στην διευκόλυνση της συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων, αρνητική συνέπεια της μελέτης συγκεκριμένων σταδίων της ζωής τους κτηρίου αποτελεί η ακρίβεια της μεθόδου (Zabalza Bribián et al., 2009).

Τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν για την εκτίμηση του περιβαλλοντικού και ενεργειακού αποτυπώματος των διαδικασιών παραγωγής των δομικών υλικών αντιπροσωπεύουν ευρωπαϊκούς και παγκόσμιους μέσους όρους. Σαν αποτέλεσμα σε σενάριο παραγωγής των πλίνθων ελαφρού πηλού (Light clay brick production-RoW), του επιχρίσματος πηλού (Clay plaster production-RoW) και των δοκών πεύκου (Sawnwood Production, softwood, dried ($\mu=20\%$) – RER) τοπικά στο νησί της Γαύδου δύναται το περιβαλλοντικό και το ενεργειακό αποτύπωμα των σταδίων παραγωγής της κατασκευής να υπολογιστήκαν αυξημένα σε σύγκριση με την πραγματικότητα. Επιπρόσθετα κατά τον υπολογισμό της απαιτούμενης ενέργειας για τα υλικά φυτικής προέλευσης συνυπολογίζεται η ενέργεια που είναι ήδη ενσωματωμένη σε αυτά. Σαν αποτέλεσμα το ενεργειακό αποτύπωμα του σταδίου παραγωγής των δομικών υλικών φυτικής προέλευσης παρουσιάζεται αυξημένο (Wiesen & Wirges, 2017).

Η χρήση κλιματικών δεδομένων από την περιοχή του Πλακιά επιφέρει απόκλιση των υπολογιζόμενων τιμών εσωτερικής θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας της κατασκευής σε σχέση με τις πραγματικές εσωτερικές συνθήκες. Σαν αποτέλεσμα οι εσωτερικές συνθήκες που υπολογίστηκαν δίνουν μια ποιοτική εικόνα της θερμικής άνεσης του καταλύματος, ενώ παράλληλα οι τιμές που υπολογίστηκαν επιτρέπουν τη σύγκριση της ενεργειακής απόδοσης ανάμεσα στα εναλλακτικά σενάρια κατασκευής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος της μελέτης είναι: α) η εξέταση των χαρακτηριστικών της φυσικής δόμησης ως στρατηγική μείωσης του περιβαλλοντικού και ενεργειακού αποτυπώματος του τομέα της δόμησης και β) οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η βιωσιμότητα αυτής της στρατηγικής στο εκάστοτε σενάριο. Στο πλαίσιο της μελέτης εξετάστηκε υποθετικό σενάριο ανέγερσης κατασκευών από φυσικά υλικά με στόχο τη διαχείριση της τουριστικής δραστηριότητας στο νησί της Γαύδου.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των φυσικών υλικών που εντοπίστηκαν και συμβάλουν στην μείωση του περιβαλλοντικού και ενεργειακού αποτυπώματος των κατασκευών σε σύγκριση με τα συμβατικά δομικά υλικά είναι: η *δέσμευση C από τα υλικά φυτικής προέλευσης*, η *περιορισμένη επεξεργασία που υφίστανται οι πρώτες ύλες* που έχει ως αποτέλεσμα την *μείωση της ενσωματωμένης ενέργειας στις κατασκευές και τον περιορισμό των εκπομπών GHG* κατά την παραγωγή και απομάκρυνση τους, οι *θερμικές και υδροθερμικές ιδιότητες των υλικών φυτικής προέλευσης που επιτρέπουν την διατήρηση της εσωτερικής θερμοκρασίας των κτηρίων* περιορίζοντας με αυτό τον τρόπο την χρήση συστημάτων HVAC και η *χαμηλή τοξικότητα που παρουσιάζουν τα υλικά φυτικής προέλευσης*.

Στην συνέχεια εξετάστηκαν οι περιβαλλοντικοί και κοινωνικοοικονομικοί δείκτες που δύναται να λειτουργήσουν προτρεπτικά ή ανασταλτικά στην εφαρμογή της στρατηγικής της φυσικής δόμησης στην εκάστοτε περιοχή. Οι κυριότεροι παράγοντες που εντοπίστηκαν είναι: τα *κλιματικά χαρακτηριστικά* της περιοχής, η *κυβερνητική πολιτική* και οι *δομικοί κώδικες και πολεοδομικές ανάγκες* της κάθε περιοχής, η διαθεσιμότητα των *πρώτων υλών και εξειδικευμένων εργατών*, τα *χαρακτηριστικά της κατασκευαστικής βιομηχανίας*, ο *απαιτούμενος χρόνος*, το *κόστος κατασκευής* και η *κοινή γνώμη*.

Η ανέγερση κατασκευών αποκλειστικά από φυσικά υλικά δεν ενδείκνυται σε αστικό περιβάλλον. Κυρίαρχοι ανασταλτικοί παράγοντες της φυσικής δόμησης σε αστικές περιοχές αποτελούν: α) οι περιορισμοί στις διαστάσεις των φυσικών κατασκευών που καθιστούν την ανέγερση τους σε πυκνοκατοικημένες περιοχές μη λειτουργική, β) η χαμηλή διαθεσιμότητα των φυσικών υλικών στις πόλεις η οποία επιφέρει αύξηση του κόστους κατασκευής, γ) παρά την αυξανόμενη περιβαλλοντική ευαισθητοποίησης του κοινού, η περιορισμένη ενημέρωση πάνω στις τεχνολογίες φυσικής δόμησης οδηγεί στην δημιουργία αρνητικών εντυπώσεων για μια σειρά χαρακτηριστικών των φυσικών κατασκευών όπως έλλειψη πυρασφάλειας, ηχομόνωσης, θερμικής άνεσης και αντισεισμικότητας, ενώ παράλληλα γίνεται σύνδεση της φυσικής δόμησης με την ανέχεια. Η εφαρμογή της φυσικής δόμησης σε αστικό περιβάλλον προτείνεται είτε μέσω της αύξησης της ένταξης των φυσικών υλικών στις κατασκευές είτε μέσω της ανέγερσης κτηρίων-φάρων με τεχνολογίες φυσικής δόμησης με στόχο την ανάδειξη των δυνατοτήτων της στρατηγικής.

Η εφαρμογή της φυσικής δόμησης βρέθηκε κατάλληλη για αραιοκατοικημένες περιοχές. Ιδεατά σενάρια εφαρμογής της στρατηγικής της φυσικής δόμησης αποτελούν: α) η δόμηση σε αγροτικές περιοχές, σε περιοχές ιδιαίτερου φυσικού κάλλους και σε οικοχωριά και β) στο πλαίσιο λύσης του στεγαστικού προβλήματος αναπτυσσόμενων χωρών. Η στρατηγική προτείνεται στα προαναφερθέντα σενάρια λόγω του χαμηλού κόστους και

χρόνου κατασκευής, της προσβασιμότητας των τεχνολογιών δόμησης που επιτρέπουν την συμμετοχή μη εξειδικευμένων εργατών, του χαμηλού ενεργειακού και περιβαλλοντικού αποτυπώματος του σταδίου παραγωγής των κτηρίων και της δυνατότητας διασφάλισης της θερμικής άνεσης των διαμενόντων διατηρώντας παράλληλο το ενεργειακό αποτύπωμα του σταδίου λειτουργίας της κατασκευής σε χαμηλά επίπεδα.

Στη μελέτη της περίπτωσης της Γαύδου αξιολογήθηκαν οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η βιωσιμότητα της πρότασης τοποθέτησης φυσικών κατασκευών στην περιοχή των οικοτόπων για την διαχείριση των επιπτώσεων της τουριστικής δραστηριότητας του νησιού. Ο αυξανόμενος αριθμός των επισκεπτών/κατασκηνωτών σε συνδυασμό με την έλλειψη υποδομών στους οικοτόπους, ιδίως στις περιοχές του Λαβρακά και του Αγίου Ιωάννη, οδηγούν στην εισαγωγή μια σειράς κινδύνων. Οι κυριότεροι κίνδυνοι που εντοπίστηκαν είναι η ρύπανση μέσω της απόρριψης αντικειμένων, η καταστροφή της βλάστησης, η αύξηση του κινδύνου πυρκαγιάς και η ανεξέλεγκτη ανέγερση κατασκευών για την εξυπηρέτηση των επισκεπτών.

Η τοποθέτηση των χώρων φιλοξενίας αποσκοπεί στον έλεγχο των σημείων διαμονής των επισκεπτών και την διαμονή κατά τη χειμερινή περίοδο ή για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Παράλληλα δίνεται η δυνατότητα της παραμονής δασοφυλάκων διευκολύνοντας την επίβλεψη των επισκεπτών και την προστασία τους, την αποκομιδή των απορριμμάτων και την άμεση παρέμβαση σε περίπτωση πυρκαγιάς. Τέλος οι κατασκευές δύναται να διευκολύνουν την διεξαγωγή περαιτέρω ερευνών στους οικοτόπους παρέχοντας χώρους διαμονής ερευνητών και αποθήκευσης εξοπλισμού.

Για την κατασκευή των χώρων προτάθηκε η τεχνική του ελαφρού πηλού. Βασικά κίνητρα για την εξέταση της τεχνικής αποτέλεσαν το χαμηλό κόστος κατασκευής και η υψηλή διαθεσιμότητα των πρώτων υλών στην περιοχή. Η χαμηλή τοξικότητα και η υλικότητα των υλικών φυτικής προέλευσης διασφαλίζουν την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στην έκταση των οικοτόπων. Επιπλέον οι θερμικές ιδιότητες του ελαφρού πηλού δίνουν την δυνατότητα περιορισμού της ανάγκης για χρήση συστημάτων HVAC, επιτρέποντας την αυτονομία της κατασκευής.

Η ανάλυση του κύκλου ζωής και η ενεργειακή αξιολόγηση του προτεινόμενου καταλύματος της Κορίνας Λαβράνου έδειξε πολύ περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις του σταδίου παραγωγής, με το αποτύπωμα C του σταδίου παραγωγής να υπολογίζεται αρνητικό. Η απαιτούμενη ενέργεια για τη λειτουργία του συστήματος φωτισμού και των ηλεκτρικών συσκευών μπορεί να καλυφθεί από την τοποθέτηση φωτοβολταϊκού συστήματος, επιτρέποντας την αυτονομία της κατασκευής και την κάλυψη των προαναφερθέντων αναγκών από ηλιακή ενέργεια, διευκολύνοντας καταυτόν τον τρόπο τη διατήρηση του ενεργειακού και περιβαλλοντικού αποτυπώματος του σταδίου λειτουργίας σε χαμηλό επίπεδο. Η μελέτη της θερμικής απόδοσης του μοντέλου κατασκευής παρατηρήθηκε ότι με την χρήση κατάλληλης θερμομόνωσης καθίσταται δυνατή η διασφάλιση ικανοποιητικών συνθηκών θερμικής άνεσης για τους διαμένοντες τους καλοκαιρινούς μήνες.

Η σύγκριση των εναλλακτικών σεναρίων κατασκευής έδειξε ότι η αύξηση της περιεκτικότητας του άχυρου στην τοιχοποιία έχει ως αποτέλεσμα την βελτίωση της θερμικής απόδοσης του καταλύματος, ενώ παράλληλα επιφέρει μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος λόγω της δέσμευσης C. Το βέλτιστο πλάτος διατομής

της τοιχοποιίας κυμαίνεται στα 30cm καθώς παρατηρήθηκε πως οποιαδήποτε μεταβολή του επέφερε μείωση της ενεργειακής απόδοσης του καταλύματος. Τέλος βρέθηκε ότι η αύξηση του πάχους της θερμικής μόνωσης της οροφής βελτίωσε τη θερμική απόδοση του καταλύματος χωρίς σημαντικές επιπτώσεις στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα της κατασκευής.

Συμπερασματικά, η μελέτη της περίπτωσης της Γαύδου έδειξε πως η στρατηγική της φυσικής δόμησης καθιστά δυνατή την ανέγερση αυτόνομων κατασκευών εντός των ορίων των οικοτόπων διασφαλίζοντας την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Δεδομένων των σχεδιαστικών περιορισμών του προτεινόμενου μοντέλου κατασκευής και των περιορισμένων δεδομένων για τη φέρουσα ικανότητα των οικοτόπων του Αγίου Ιωάννη και του Λαβρακά, προτείνεται η λειτουργία του καταλύματος ως χώρος διαμονής δασοφύλακα, ερευνητών και αποθήκευσης πυροσβεστικού, ερευνητικού εξοπλισμού. Προτείνεται η μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των τουριστικών εγκαταστάσεων στην περιοχή του οικοτόπου του Σαρακήνικου και της βιωσιμότητας της εγκατάστασης φυσικών κατασκευών.

Προτάσεις για την συνέχιση της έρευνας και την διασφάλιση πληρέστερης εικόνας ως προς την βιωσιμότητα της πρότασης αποτελούν: α) η πλήρης αποτύπωση των οικοτόπων, προκειμένου να υπολογιστεί ο μέγιστος αριθμός καταλυμάτων και τα δυνατά σημεία κατασκευής διασφαλίζοντας την προστασία της βλάστησης, β) η περαιτέρω εξέταση των αναγκών των επισκεπτών για την ακριβέστερη καταγραφή των ενεργειακών απαιτήσεων των καταλυμάτων και τον εντοπισμό και ανάλυση αναγκών που δεν μελετήθηκαν, γ) η εξέταση τεχνολογιών για την διασφάλιση της πλήρους αυτονομίας των καταλυμάτων, όπως για παράδειγμα την χρήση τουαλετών ξηρού τύπου, την παραγωγή και χρήση βιοαερίου για μαγειρική και δ) την δυνατότητα λειτουργίας αυτόνομων συστημάτων HVAC.

BIBΛΙΟΦΡΑΦΙΑ

- Abanda, F. H., Nkeng, G. E., Tah, J. H. M., Ohanjah, E. N. F., & Manijia, M. B. (2014). Embodied energy and CO₂ analysis of mud-brick and cement-block houses. *AIMS's Energy*, 2(1), 18-40. <https://doi.org/10.3934/energy.2014.1.18>
- Abu Bakar, N., Hassan, M., Abdullah, H., Rahman, H., Abdullah, M., Hussin, F., & Bandi, M. (2015). Energy efficiency index as an indicator for measuring building energy performance: A review. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 44, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.018>
- Adalberth, K. (1997). Energy use during the life cycle of buildings: a method. *Building And Environment*, 32(4), 317-320. [https://doi.org/10.1016/s0360-1323\(96\)00068-6](https://doi.org/10.1016/s0360-1323(96)00068-6)
- Adam E.A., Agib A. (2001) Compressed Stabilised Earth Block Manufacture in Sudan, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization UNESCO, Paris
- Adediji Y.M.D. (2007). Materials Preference Options for Sustainable Low-income Housing in Selected Cities in Nigeria Ph.D. Thesis Federal University of Technology, Akure
- Adegun, O., & Adediji, Y. (2017). Review of economic and environmental benefits of earthen materials for housing in Africa. *Frontiers Of Architectural Research*, 6(4), 519-528. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.08.003>
- Ademiluyi, I., & Raji, B. (2008). Public and Private Developers as Agents in Urban Housing Delivery in Sub-Saharan Africa: The Situation in Lagos State. *Humanity & Social Sciences Journal* 3(2) Retrieved from https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Public+and+Private+Developers+as+Agents+in+Urban+Housing+Delivery+in+Sub-Saharan+Africa%3A+the+Situation+in+Lagos+State&btnG=
- Akeju, A. (2007). *Challenges to Providing Affordable Housing in Nigeria*. REIC. Retrieved from <http://reic-ng.com/challenges-to-providing-affordable-housing-in-nigeria/>.
- Akpan, U., & Akpan, G. (2012). The Contribution of Energy Consumption to Climate Change: A Feasible Policy Direction. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2(1), 21-33. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/227411028_The_Contribution_of_Energy_Consumption_to_Climate_ChangeA_Feasible_Policy_Direction
- Alausa S., Adekoya B., Aderibigbe J., Nwaokocha C.(2013). Thermal characteristics of laterite-mud and concrete-block for walls in building construction in Nigeria *Int. J. Eng. Appl. Sci.*, 4 (4) , pp. 1-4
- Andriotis, K. (2013). The 'antinomian' travel counterculture of Gavdos. *Annals Of Tourism Research*, 40, 40-58. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2012.08.002>
- Ashour, T., Georg, H. and Wu, W., 2011. Performance of straw bale wall: A case of study. *Energy and Buildings*, 43(8), pp.1960-1967.

Atolagbe, A., & Fadamiro, J. A. (2005). Energy policy for building materials technology: A global imperative for sustainable architecture. *EMAS J.Sains Dan.Teknol.*, 15(3), 45-58.

Boyer, R. (2016). Achieving one-planet living through transitions in social practice: a case study of Dancing Rabbit Ecovillage. *Sustainability: Science, Practice And Policy*, 12(1), 47-59. <https://doi.org/10.1080/15487733.2016.11908153>

Cabeza, L., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G., & Castell, A. (2014). Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 29, 394-416. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.037>

Cheshire Oaks Summary Guide First Revision, April 2015. (2015). [Ebook]. Retrieved from <https://corporate.marksandspencer.com/documents/plan-a-our-approach/cheshire-oaks-summary-guide-april2015.pdf>.

Climatic Design: Insulation & Roofing Felts. Mileslewis.net. (2014). Retrieved from <http://www.mileslewis.net/australian-building/pdf/10-climatic-design/10.07-insulation.pdf>.

Coley, D., Kershaw, T., & Eames, M. (2012). A comparison of structural and behavioural adaptations to future proofing buildings against higher temperatures. *Building And Environment*, 55, 159-166. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.12.011>

Crawley, D., Lawrie, L., Winkelmann F., Buhl, W., Huang, Y., & Pedersen, C. et al. (2001). EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. *Energy And Buildings*, 33(4), 319-331. [https://doi.org/10.1016/s0378-7788\(00\)00114-6](https://doi.org/10.1016/s0378-7788(00)00114-6)

Crimmel, S., & Thomson, J. (2014). *Earthen floors* (1st ed., pp. 23-26, 29). New Society Publishers.

Cutting Our Carbon Footprint | Dancing Rabbit Ecovillage. Dancingrabbit.org. Retrieved from <https://www.dancingrabbit.org/about-dancing-rabbit-ecovillage/eco-living/cutting-our-carbon-footprint/>

Dabaieh, M. and Sakr, M., 2015. Transdisciplinarity in rammed earth construction for contemporary practice

DCLG (Department for Communities and Local Government). Fire safety approved document B, volume 1 – dwellinghouses (2006 edition incorporating 2010 amendments).2010a, DCLG, London, UK, National Building Specification (NBS).

Department of Housing (1994). White Paper on Housing. A new housing policy and strategy for South Africa. Government Gazette, 345(16178) notice 1376 of 1994, 23 December.

Dias, M., & Loureiro, C. (2019). A SYSTEMIC APPROACH TO SUSTAINABILITY - THE INTERCONNECTION OF ITS DIMENSIONS IN ECOVILLAGE PRACTICES. *Ambiente & Sociedade*, 22. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0012r1vu19l1ao>

Drozd, W. (2016). Light clay straw bale solutions in the contemporary housing as an element of sustainable development. Selected issues. *E3S Web Of Conferences*, 10, 00016. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20161000016>

ECO-FEATURES AT M&S CHESHIRE OAKS STORE EXCEED EXPECTATIONS. ECO-FEATURES AT M&S CHESHIRE OAKS STORE EXCEED EXPECTATIONS. (2013). Retrieved from <https://corporate.marksandspencer.com/media/press-releases/2013/eco-features-at-mands-cheshire-oaks-store-exceed-expectations>.

Ecovillage Findhorn. Ecovillagefindhorn.com. Retrieved from <https://www.ecovillagefindhorn.com/>.

Elkhalifa, K. (2011). *The Construction and Building Materials Industries for Sustainable Development in Developing Countries Appropriate and Innovative Local Building Materials and Technologies for Housing in the Sudan* (Doctoral Thesis) Università degli Studi di Camerino

Elfordy, S., Lucas, F., Tancret, F., Scudeller, Y., & Goudet, L. (2008). Mechanical and thermal properties of lime and hemp concrete ("hempcrete") manufactured by a projection process. *Construction And Building Materials*, 22(10), 2116-2123. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.07.016>

Electrical Equipment and typical Power Consumption. Engineeringtoolbox.com. Retrieved from https://www.engineeringtoolbox.com/electrical-equipment-power-consumption-d_119.html.

Evans, M., Roshchanka, V., & Graham, P. (2017). An international survey of building energy codes and their implementation. *Journal Of Cleaner Production*, 158, 382-389. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.007>

Feidt, M. (2018). *Finite Physical Dimensions Optimal Thermodynamics 1: Fundamentals*. Elsevier.

Fotiou, A., Oiry, C., Kapetanaki, K., Perdikatsis, V., Kallithrakas-Kontos, N., & Maravelaki, P. (2020). Ecological Restoration Plasters and Mineral Pigments Designed with Raw Material from the Island of Gavdos. *Infrastructures*, 5(12), 110. <https://doi.org/10.3390/infrastructures5120110>

GEN Research - Networking, Integrating, and Value Setting for Ecovillage Research. Global Ecovillage Network. Retrieved from <https://ecovillage.org/our-work/research-ecovillages/>.

Gobcobatron | Dancing Rabbit Ecovillage. Dancingrabbit.org. Retrieved from <https://www.dancingrabbit.org/about-dancing-rabbit-ecovillage/eco-living/building/natural-building/gobcobatron/>

Guillaud, Hubert, and Thierry Joffroy, . 2016. "Preprints Terra2016." Terra2016 XIIth World Congress on Earth Architecture. Lyon: Editions CRAterre.

- Hes, Dominique & Dawkins, Anthony & Jensen, Christopher & Aye, Lu. (2011). A modelling method to assess the effect of tree shading for building performance simulation. Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/266483793_A_modelling_method_to_assess_the_effect_of_tree_shading_for_building_performance_simulation
- Holzhueter, K., & Itonaga, K. (2017). The Potential for Light Straw Clay Construction in Japan: An Examination of the Building Method and Thermal Performance. *Journal Of Asian Architecture And Building Engineering*, 16(1), 209-213. <https://doi.org/10.3130/jaabe.16.209>
- Honey, M. (2008). *Ecotourism and Sustainable Development: Who Owns Paradise?* (2nd ed., pp. 60-98). Island Press.
- Hong, T., Chou, S., & Bong, T. (2000). Building simulation: an overview of developments and information sources. *Building And Environment*, 35(4), 347-361. [https://doi.org/10.1016/s0360-1323\(99\)00023-2](https://doi.org/10.1016/s0360-1323(99)00023-2)
- Huchzermeyer, M. (2001). Housing for the poor? Negotiated housing policy in South Africa. *Habitat International*, 25(3), 303-331. [https://doi.org/10.1016/s0197-3975\(00\)00037-0](https://doi.org/10.1016/s0197-3975(00)00037-0)
- Hurmekoski, E., Jonsson, R., & Nord, T. (2015). Context, drivers, and future potential for wood-frame multi-story construction in Europe. *Technological Forecasting And Social Change*, 99, 181-196. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.002>
- Inspirational timber case studies*. Trada.co.uk. Retrieved from <https://www.trada.co.uk/case-studies/ms-cheshire-oaks-ellesmere-port-cheshire/>.
- Jackson, H. (1998). What is an Ecovillage, Gaia Trust Education Seminar, 204 Retrieved from https://gaia.org/wp-content/uploads/2016/07/HJackson_whatIsEv.pdf
- Jarju, M. (2019). *Interlocking Stabilised Soil Blocks (ISSB) for Sustainable Construction in The Gambia*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.13140%2FRG.2.2.20489.19049>
- Kalra, R., Bonner, R., 2012. Addressing climate change with low-cost green housing. World Bank Project Report.
- Karatasou, S., Santamouris, M., & Geros, V. (2006). Modeling and predicting building's energy use with artificial neural networks: Methods and results. *Energy And Buildings*, 38(8), 949-958. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.11.005>
- Katsoulakos, N. (2019). An Overview of the Greek Islands' Autonomous Electrical Systems: Proposals for a Sustainable Energy Future. *Smart Grid And Renewable Energy*, 10(04), 55-82. <https://doi.org/10.4236/sgre.2019.104005>

- Kazakis, G., Ghosn, D., & Remoundou, E. (2010). Actions for the conservation of coastal dunes with *Juniperus* spp. in Crete and the South Aegean (Greece). *ACTIONS FOR THE CONSERVATION OF COASTAL DUNES WITH JUNIPERUS Spp. IN CRETE AND THE SOUTH AEGEAN (GREECE)*, 70-88. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Dany-Ghosn/publication/293415487_Visitors'_Impacts_on_Coastal_Dunes_with_Juniperus_spp_in_Crete_Gavdos_and_Chrysi_Islands_Greece/links/56b844aa08aebbbe1a7e1fbd/Visitors-Impacts-on-Coastal-Dunes-with-Juniperus-spp-in-Crete-Gavdos-and-Chrysi-Islands-Greece.pdf.
- Kellert, S. and Wilson, E., 1995. *The Biophilia Hypothesis*. 1st ed.
- Kennedy, J., n.d. *Natural Building In The City: Salutogenic Construction Materials And Techniques In Urban Environments*. [ebook] pp.1-10. Available at: <https://www.acsa-arch.org/proceedings/Fall%20Conference%20Proceedings/ACSA.FALL.16/ACSA.FALL.16.3.pdf>
- Khasreen, M., Banfill, P., & Menzies, G. (2009). Life-Cycle Assessment and the Environmental Impact of Buildings: A Review. *Sustainability*, 1(3), 674-701. <https://doi.org/10.3390/su1030674>
- Khatib, J. (2009). *Sustainability of construction materials*. לוטן קיבוץ. n.d. *Kibbutz Lotan - Center For Creative Ecology*. [online] Available at: <http://kibbutzlotan.com/cfce/?lang=en>
- Kintingu, S., 2009. Design of Interlocking Bricks for Enhanced Wall Construction Flexibility, Alignment Accuracy and Load Bearing Ph.D. Thesis University of Warwick, Warwick. Retrieved from [http://refhub.elsevier.com/S2095-2635\(17\)30054-7/sbref32](http://refhub.elsevier.com/S2095-2635(17)30054-7/sbref32)
- Kloutsinioti, O., & Katselis, I. (2012). Αξιολόγηση της εφαρμογής και αναθεώρηση του ΠΠΧΣΑΑ Κρήτης. Στάδιο Α.1 - Τεύχος Τοπίου. Retrieved from https://www.hersonisos.gr/files/items/3/3830/t5_stadio_a1-teyhos_5_topioly.pdf?rnd=1359022058
- Lawal, A., & Ojo, O. (2020). Assessment of thermal performance of residential buildings in Ibadan Land, Nigeria. *Semanticscholar.org*. Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/Assessment-of-thermal-performance-of-residential-in-Lawal-Ojo/d21f7446a89520cfb469b8455787d85b176b84f0>.
- Lawrence, M. (2015). Reducing the Environmental Impact of Construction by Using Renewable Materials. *Journal Of Renewable Materials*, 3(3), 163-174. <https://doi.org/10.7569/jrm.2015.634105>
- Litfin, K. (2014). *Ecovillages: Lessons for Sustainable Community*. Polity Press.
- MacDougall, C. (2008). Natural Building Materials in Mainstream Construction: Lessons from the U. K. *Journal Of Green Building*, 3(3), 1-14. <https://doi.org/10.3992/jgb.3.3.1>
- Macknight, A C. 'The Australian Country House', Australian Home Builder, May 1923, p 54, quoted in Alex Newell, 'The History of Mulwala Station Estate Homestead' (Building Research Project, Deakin University, 1998), p 19.

Makaka, G., & Meyer, E. (2006). Temperature Stability of Traditional and Low-cost Modern Housing in the Eastern Cape, South Africa. *Journal Of Building Physics*, 30(1), 71-86. <https://doi.org/10.1177/1744259106065674>

Meinhold, B. (2010). *PREFAB FRIDAY: ModCell's Stunning Straw-bale Prefab Homes*. Inhabitat.com. Retrieved 13 February 2021, from <https://inhabitat.com/prefab-friday-modcells-stunning-straw-bale-prefab-homes/>.

Milwicz, R., & Nowotarski, P. (2015). Influence of Multiphase Flexible Timber Frame House Construction on Housing Affordability. *Procedia Engineering*, 122, 158-165. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.020>

ModCell :: *BaleHaus at Bath*. Modcell.com. Retrieved from <https://www.modcell.com/projects/balehaus-at-bath/>.

M&S Cheshire Oaks Store. M&S Cheshire Oaks Store. Retrieved from <https://corporate.marksandspencer.com/stories/blog/mands-cheshire-oaks-store>.

Muazu, A., & Alibaba, H. (2017). *The Use of Traditional Building Materials in Modern Methods of Construction (A case Study of Northern Nigeria)* [Ebook] (pp. 30-40). Retrieved 15 September 2020, from https://www.researchgate.net/profile/Halil_Alibaba/publication/322083008_The_Use_of_Traditional_Building_Materials_in_Modern_Methods_of_Construction_A_case_Study_of_Northern_Nigeria/links/5a439a06aca272d2945ba776/The-Use-of-Traditional-Building-Materials-in-Modern-Methods-of-Construction-A-case-Study-of-Northern-Nigeria.pdf.

Muizniece, I., Lauka, D., & Blumberga, D. (2015). Thermal Conductivity of Freely Patterned Pine and Spruce Needles. *Energy Procedia*, 72, 256-262. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.06.037>

Nataly Echevarria Huaman, R., & Xiu Jun, T. (2014). Energy related CO₂ emissions and the progress on CCS projects: A review. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 31, 368-385. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.002>

Nejat, P., Jomehzadeh, F., Taheri, M., Gohari, M., & Abd. Majid, M. (2015). A global review of energy consumption, CO₂ emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO₂ emitting countries). *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 43, 843-862. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.066>

Parsonage, N. (1966). *The Gaseous State* (1st ed., pp. 83-92). Pergamon.

Pediaditi, K., Kazakis, G., Ghosn, D., & Remoundou, H. (2009). HOLDER CONSULTATION & COMMUNITY SURVEY FOR GAVDOS ISLAND STAKEHOLDER CONSULTATION & COMMUNITY SURVEY FOR GAVDOS ISLAND. *ACTIONS FOR THE CONSERVATION OF COASTAL DUNES WITH JUNIPERUS Spp. IN CRETE AND THE SOUTH AEGEAN (GREECE)*. Retrieved from <http://www.junicoast.gr/documents/0000/0012/A.6.1.2.pdf>.

Post Occupancy Evaluation - M&S. Fgould.com. Retrieved from <https://www.fgould.com/uk-europe/projects/post-occupancy-evaluation-marks-spencers-retail/>.

Ramesh, T., Prakash, R., & Shukla, K. (2010). Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy And Buildings*, 42(10), 1592-1600.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.007>

Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., & Rydberg, T. et al. (2004). Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International*, 5(30), 701-720.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.11.005>

Rodríguez-Soria, B., Domínguez-Hernández, J., Pérez-Bella, J., & del Coz-Díaz, J. (2014). *Review of international regulations governing the thermal insulation requirements of residential buildings and the harmonization of envelope energy loss*. Retrieved from
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211400166X>.

UNEP/CIDB, 2009. Greenhouse gas emission baselines and reduction potentials from buildings in South Africa – a discussion document.

United States Patent Office, 1926. *Soundproofing Building Materials*. 1770767.

Sirna, T. *How To Pour A Rammed Earth Floor/Adobe Floor | Dancing Rabbit Ecovillage*. Dancingrabbit.org. Retrieved from <https://www.dancingrabbit.org/about-dancing-rabbit-ecovillage/eco-living/building/natural-building/earthen-floor/>.

Sousa, J. *Energy Simulation Software for Buildings: Review and Comparison* [Ebook]. Retrieved from
https://upgreengrade.ir/forum/assets/uploads_ugg/file/356425727671d431dba73bf3cdf84303d05c432b.pdf

Sputnik. (2019). «Πνίγεται» στα σκουπίδια η Γαύδος - Φωτογραφίες. Sputniknews.gr. Retrieved 28/2/2022, from <https://sputniknews.gr/ellada/201908164268742-skoupidia-gaudos-nisi-aporrimmata>

Steen, A. (1994). *The straw bale house*. Chelsea Green Pub. Co.

Summers MD (2006) Moisture and decomposition in straw: implications for straw bale construction. In *Design of Straw Bale Building* (King B (ed.)). Green Building Press, San Rafael, California, USA, pp. 162–172

The eco-construction through the Hempcrete. Kannabia.com. Retrieved from
<https://www.kannabia.com/en/blog/eco-construction-through-hempcrete>.

Thomas, J., Sodré Ribeiro, M., Potting, J., Cervin, G., Nylund, G., & Olsson, J. et al. (2020). A comparative environmental life cycle assessment of hatchery, cultivation, and preservation of the kelp *Saccharina latissima*. *ICES Journal Of Marine Science*, 78(1), 451-467. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa112>

van Oirschot, R., Thomas, J., Gröndahl, F., Fortuin, K., Brandenburg, W., & Potting, J. (2017). Explorative environmental life cycle assessment for system design of seaweed cultivation and drying. *Algal Research*, 27, 43-54.
<https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.07.025>

- Vourdoubas, J. (2017). Possibility of Zeroing CO₂ Emissions Due to Energy Use in Gavdos Island, Greece. *Open Journal Of Energy Efficiency*, 06(02), 61-72. <https://doi.org/10.4236/ojee.2017.62004>
- Vourdoubas, J., Tsoutsos, T., & Litos, C. (2010). Gavdos' island: Green island using renewable energy sources. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/263357405_Gavdos%27_island_Green_island_using_renewable_energy_sources.
- Vroomen, R. (2007) Gypsum Stabilised Earth – Research on the Properties of Cast Gypsum-stabilised Earth and its Suitability for Low-Cost Housing Construction in Developing Countries (Master of Science Architecture Thesis) Eindhoven University of Technology, Netherlands
- Wall, K., Walker, P., Gross, C., White, C., & Mander, T. (2012). Development and testing of a prototype straw bale house. *Proceedings Of The Institution Of Civil Engineers - Construction Materials*, 165(6), 377-384. <https://doi.org/10.1680/coma.11.00003>
- Wagner, F. (2012). Ecovillage Research Review. *RCC Perspectives*, (8), 81-94. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/26240436>
- Wanek, C., Smith, M. and Kennedy, J., 2015. *The Art Of Natural Building*. Gabriola Island: New Society Publishers.
- Wang, S., Jiang, X., Wang, Q., Ji, H., Wu, L., Wang, J., & Xu, S. (2013). Research of specific heat capacities of three large seaweed biomass. *Journal Of Thermal Analysis And Calorimetry*, 115(3), 2071-2077. <https://doi.org/10.1007/s10973-013-3141-0>
- Waziri B., Kadai B., Biu H., 2014. Eccentric problems of hydraform building system for low-cost mass housing construction: evidence from some sites in Northern Nigeria, *Civ. Environ. Res.*, 6 (2), pp. 94-99
- Wiesen, K., & Wirges, M. (2017). From cumulated energy demand to cumulated raw material demand: the material footprint as a sum parameter in life cycle assessment. *Energy, Sustainability And Society*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s13705-017-0115-2>
- Würfel, M., 2014. *Eurotopia*. 5th ed. Beetzendorf: Blühende Landschaften.
- Zabalza Bribián, I., Aranda Usón, A., & Scarpellini, S. (2009). Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building And Environment*, 44(12), 2510-2520. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.05.001>
- Αλεξανδρή, Ε. (2012). *Δόμηση με Πηλό και Κανονισός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK)* [Ebook]. Retrieved from <https://www.teemag.gr/ftp/2012/Alexandri.pdf>
- Άρθρο 04: Γενικές διατάξεις – Όροι και περιορισμοί δόμησης | Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Opengov.gr. (2012). Retrieved from <http://www.opengov.gr/minenv/?p=4346>.

Δήμος Γαύδου. (2020). ΘΕΜΑ 2ο :Απόφαση Δημοτικού Συμβουλίου αναφορικά με την ένταξη του Δήμου στο πρόγραμμα ΦΙΛΟΔΗΜΟΣ II, την αποδοχή χρηματοδότησης από το συγκεκριμένο πρόγραμμα και σύναψη Προγραμματική Σύμβασης με τον ΟΑΚ για την υλοποίηση της προμήθειας. In *Συνεδρίαση του Δημοτικού Συμβουλίου του Δήμου Γαύδου*. Δήμος Γαύδου. Retrieved from <https://gavdos.gr/dimotiko-symvouliao/apofasis/>.

Δήμος Γαύδου. Gavdos.gr. Retrieved from <https://gavdos.gr/>.

Κατανάλωση Οικιακών Συσκευών | ΔΕΗ Α.Ε.. Dei.gr. Retrieved from <https://www.dei.gr/el/katanalwsi-oikiakwn-suskeuwn>.

Λαβράνου, Κ. (2020). Εναλλακτικός Τουρισμός: μεθοδολογία σχεδιασμού βιώσιμης οικότουριστικής μονάδας στη Γαύδο. Retrieved from <https://docplayer.gr/209865385-Enallaktikos-toyrismos-methodologia-shedias moy-viosimis-oikotoyristikis-monadas-sti-gaydo.html>.

Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβου... - EUR-Lex. Eur-lex.europa.eu. (2010). Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/el/LSU/?uri=CELEX:32010L0031>.

Οργανισμός Ανάπτυξης Κρήτης Α.Ε. (2017). ΠΡΟΤΑΣΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ ΤΟΠΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΜΕ ΠΡΩΤΟΒΟΥΛΙΑ ΤΟΠΙΚΩΝ ΚΟΙΝΟΤΗΤΩΝ (ΤΑΠΤΟΚ) ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ 5 (ΕΚΤ): ΠΡΟΩΘΗΣΗ ΤΗΣ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗΣ ΕΝΤΑΞΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΠΟΛΕΜΗΣΗ ΤΗΣ ΦΤΩΧΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ (pp. 42-45). Retrieved from http://www.pepkritis.gr/wp-content/uploads/2018/06/oak_final.pdf

Ρεμούνδου, Η., Ghosh, D., & Καζάκης, Γ. (2011). ΑΜΜΟΘΙΝΕΣ ΜΕ ΚΕΔΡΑ ΟΔΗΓΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ. ACTIONS FOR THE CONSERVATION OF COASTAL DUNES WITH JUNIPERUS Spp. IN CRETE AND THE SOUTH AEGEAN (GREECE). Retrieved from http://www.junicoast.gr/documents/0000/0051/LIFE_07_NAT_GR_000296_Odigos_gia_e_kpaideutikous_D3.pdf.

TOTEE 20701)1 (2010) Αναλυτικές Εθνικές Προδιαγραφές Παραμέτρων για τον Υπολογισμό της Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων και την Έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης. Α' έκδοση, ΤΕΕ, Αθήνα.

TOTEE)20701)2 (2010) Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων. Α' έκδοση, ΤΕΕ, Αθήνα.

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας | Δικτυακός Τόπος Διαβουλεύσεων. Opengov.gr. (2010). Retrieved from <http://www.opengov.gr/minenv/?c=6071>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Table A.1: Περιβαλλοντικό αποτύπωμα εναλλακτικών στοιχείων κατασκευής

Process	GWP100 (kgCO ₂ eq)	Acidification potential (kgSO ₂ eq)	Eutrophication (kgPO ₄ eq)	Ozone layer depletion (kgCFC-11eq)
Light clay brick production				
Total (50 years)	40.37	1.15	0.91	2.18E-05
<i>density P=241$\frac{kg}{m^3}$ wall width=38cm (Scenario 1)</i>	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	0.087	0.002	4.70E-08
Light clay brick production				
Total (50 years)	143.90	1.54	0.98	3.13E-05
<i>density P=381$\frac{kg}{m^3}$ wall width=38cm (Scenario 2)</i>	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	0.310	0.003	6.75E-08
Light clay brick production				
Total (50 years)	254.07	1.97	1.07	4.15E-05
<i>density P=531$\frac{kg}{m^3}$ wall width=38cm (Scenario 3)</i>	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	0.548	0.004	8.94E-08
Light clay brick production				
Total (50 years)	30.01	0.85	0.68	1.62E-05
<i>density P=241$\frac{kg}{m^3}$ wall width=28cm (Scenario 4)</i>	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	0.065	0.002	3.49E-08
Light clay brick production				
Total (50 years)	19.65	0.56	0.44	1.06E-05
<i>density P=241$\frac{kg}{m^3}$ wall width=18cm (Scenario 5)</i>	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	0.042	0.001	2.28E-08
Seaweed insulation				
Total (50 years)	3.08	0.03	0.01	3.9E-07
<i>layer width =15cm (Scenarios 1-6)</i>	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	0.007	6.47E-5	2.16E-5
Seaweed insulation				
Total (50 years)	6.15	0.06	0.03	7.79E-07
<i>layer width =30cm (scenario 7)</i>	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	0.014	1.29E-4	6.47E-5

Table A.2: Περιβαλλοντικό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής για κάθε εναλλακτικό σενάριο

	Μέγεθος	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6
GWP100 (kgCO ₂ eq)	Total (50 years)	-846.05	-742.52	-632.34	-856.41	-866.77	-842.97
στάδιο παραγωγής	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	-1.823	-1.600	-1.363	-1.845	-1.868	-1.817
Acidification potential (kgSO ₂ eq)	Total (50 years)	9.88	10.27	10.70	9.58	9.29	9.91
στάδιο παραγωγής	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	0.0213	0.0221	0.0231	0.0206	0.0200	0.0214
Eutrophication (kgPO ₄ eq)	Total (50 years)	3.33	3.41	3.49	3.10	2.87	3.35
στάδιο παραγωγής	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	0.0072	0.0073	0.0075	0.0066	0.0062	0.0072
Ozone layer depletion (kgCFC-11eq)	Total (50 years)	0.00022	0.00023	0.00024	0.00021	0.00021	0.00022
στάδιο παραγωγής	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	4.74E-07	4.96E-07	5.17E-07	4.53E-07	4.53E-07	4.74E-07

Table A.3: Ενεργειακό αποτύπωμα εναλλακτικών στοιχείων κατασκευής

Process		Non-renewable primary energy demand (MJ)	Renewable primary energy demand (MJ)	Total primary energy demand (MJ)
Light clay brick production	<i>Total (50 years)</i>	3445.3	2179.0	5624.3
<i>density P=241$\frac{kg}{m^3}$ wall width=38cm (Scenario 1)</i>	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	7.4	4.7	12.1
Light clay brick production	<i>Total (50 years)</i>	5110.6	2216.4	7327
<i>density P=381$\frac{kg}{m^3}$ wall width=38cm (Scenario 2)</i>	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	11.0	4.8	15.8
Light clay brick production	<i>Total (50 years)</i>	6897.6	2267.5	9165.1
<i>density P=531$\frac{kg}{m^3}$ wall width=38cm (Scenario 3)</i>	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	14.9	4.9	19.8
Light clay brick production	<i>Total (50 years)</i>	2561.1	1619.8	4180.9
<i>density P=241$\frac{kg}{m^3}$ wall width=28cm (Scenario 4)</i>	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	5.5	3.5	9.0
Light clay brick production	<i>Total (50 years)</i>	1676.9	1060.6	2737.5
<i>density P=241$\frac{kg}{m^3}$ wall width=18cm (Scenario 5)</i>	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	3.6	2.3	5.9
Seaweed insulation	<i>Total (50 years)</i>	47.3	5.6	52.9
<i>layer width =15cm (Scenarios 1-6)</i>	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	0.1	0.01	0.1
Seaweed insulation	<i>Total (50 years)</i>	94.7	11.3	106
<i>layer width =30cm (scenario 7)</i>	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	0.2	0.02	0.2

Table A.4: Ενεργειακό αποτύπωμα σταδίου παραγωγής για κάθε εναλλακτικό σενάριο κατασκευής

Μέγεθος		Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6
Non-renewable primary energy demand	Total (50 years)	25132.8	26798.1	28585.1	24248.6	23364.4	25180.2
	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	54.2	57.8	61.6	52.3	50.4	54.3
στάδιο παραγωγής	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	54.2	57.8	61.6	52.3	50.4	54.3
Renewable primary energy demand	Total (50 years)	28877.2	28914.5	28965.7	28317.9	27758.7	28882.8
	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	62.2	62.3	62.4	61.0	59.8	62.2
στάδιο παραγωγής	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	62.2	62.3	62.4	61.0	59.8	62.2
Total primary energy demand	Total (50 years)	54010	55712.6	57550.8	52566.5	51123.1	54063
	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	116.4	120.1	124	113.3	110.2	116.5
στάδιο παραγωγής	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	116.4	120.1	124	113.3	110.2	116.5

Table A.5: Ιδεατά φορτία θέρμανσης και ψύξης για κάθε εναλλακτικό σενάριο κατασκευής

		Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6
Ideal Heating loads (MJ)	Total (50 years)	1197490	1196960	1198015	1199600	1205930	1195380
	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	2580.8	2579.7	2581.9	2585.3	2599.0	2576.3
Ideal Cooling loads (MJ)	Total (50 years)	1555680	1554095	1553040	1555680	1560430	1554095
	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	3352.8	3349.3	3347.1	3352.8	3363.0	3349.3
Total load consumption (MJ)	Total (50 years)	2753170	2751055	2751055	2755280	2766360	2749475
	$\frac{Total}{(year * m^2)}$	5933.6	5929.0	5929.0	5938.1	5962.0	5925.6