

15/6/2020

**Α.ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ - ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε. – Π.Μ.Σ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΑΙ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ**

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ,ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΩΝ



Εκπόνηση: ΧΕΚΙΜΙ ΝΤΕΝΙΣΑ

Επίβλεψη: Δρ. ΜΑΡΙΑ ΠΑΡΑΛΙΚΑ

ΑΘΗΝΑ

Περιεχόμενα

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	11
ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ	11
2.1 Ορισμός της κυκλικής οικονομίας	11
2.2 Αρχές της κυκλικής οικονομίας.....	13
2.3 Η κυκλική οικονομία στον κατασκευαστικό τομέα.....	16
Η ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΣΤΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΗΣ.....	19
3.2 Χαρακτηριστικά των υλικών αποβλήτων από κατασκευές και κατεδάφιση	20
3.3 Υλικά που προκύπτουν από τις κατεδαφίσεις:	24
3.3.1 Ασφαλτικά υλικά.....	24
3.3.2 Ξύλο	27
3.3.3 Τούβλα και σκυρόδεμα.....	28
3.3.4 Έδαφος και άμμος	28
3.3.5 Γυαλί	29
3.4 Χημική σύσταση ανακυκλώσιμων αδρανών.....	29
3.5 Η ανακύκλωση των υλικών κατασκευών και κατεδάφισης	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	47
ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΩΝ.....	47
4.1 Ν. 2939/2001 Συσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων - Ίδρυση Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και άλλων προϊόντων (ΕΟΕΔΣΑΠ) και άλλες διατάξεις	47
4.2 Υ.Α. Η.Π. 50910/2727/2003 - Μέτρα και όροι για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων. – Εθνικός και περιφερειακός σχεδιασμός διαχείρισης	48
4.3 ΚΥΑ 114218/1997 «Κατάρτιση Πλαισίου Προδιαγραφών και Γενικών Προγραμμάτων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	51
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	51
Βιβλιογραφία.....	53



ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1 Ιεραρχική διαχείριση των αποβλήτων υλικών κατασκευής και κατεδάφισης (Peng et al 1997).	9
Σχήμα 2.1: Η σύγκριση της γραμμικής και κυκλικής οικονομίας όπως ορίζεται από τους Sauve et al (2016).....	11
Σχήμα 2.2 Οι κύριοι βρόγχοι της κυκλικής οικονομίας (Stahel et al 2013).	16
Σχήμα 2.3 Διαφορετικές φάσεις στο μοντέλο της κυκλικής οικονομίας στα κτήρια. ...	17
Σχήμα 2.4 Βασικές κατηγορίες αποβλήτων του τομέα κατασκευής και κατολίσθησης (Clark et al 2006).	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	19
Σχήμα 3.1 Το διάγραμμα ροής της ανακύκλωσης σκυροδέματος (Arora et al 2015).	23
Σχήμα 3.2 Μέθοδος ανάκτησης ασφαλικών υλικών με περιστροφική εξάτμιση (ASTM D5404/D5404M, 2011).....	25
Σχήμα 3.3 Η μέθοδος Asbon για την ανάκτηση ασφαλικών υλικών (ASTM D5404/D5404M, 2011).....	27
Σχήμα 3.4 Σύσταση των ανακυκλωμένων αδρανών σκυροδέματος (Exteberria et al 2007).	30
Σχήμα 3.5: Μέθοδος προεπεξεργασίας για τα ανακυκλωμένα αδρανή και ερμηνεία συμβόλων (Tam et al 2007)	33
Σχήμα 3.6: Ανακυκλώσιμα αδρανή σκυροδέματος (Juan et al 2009).....	34
Σχήμα 3.8 Η μαθηματική διαδικασία που ακολουθήθηκε από τους Akanbi et al 2018.	40
Σχήμα 3.9 Η δομή του μοντέλου που αναπτύχθηκε από τους Stephen and Athanassiadis, (2018).	43
Σχήμα 3.10: Κατασκευαστικές κατηγορίες αποσυναρμολόγησης κτιρίων και προϊόντων (Sanchez and Haas 2018).....	44
Σχήμα 3.11 Το μοντέλο κυκλικής οικονομίας για την βιομηχανία των κτηρίων όπως προτείνεται από τους Huang et al (2018).	45

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1 Μέση τυπική σύσταση των αποβλήτων κατασκευής και κατεδάφισης στην Ιταλία.	21
Πίνακας 3.2 Σύνοψη των τεχνολογιών ανακύκλωσης υλικών κατασκευών και κατολισθήσεων (Tam and Tam 2006)	34
Πίνακας 3.3 Θέματα κυκλικής οικονομίας που λαμβάνονται υπόψη στη διάρκεια ζωής ενός κτηρίου (Adams et al 2017).....	36

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση των πρόσφατων εργασιών που αφορούν στην εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας στα ανακυκλώσιμα υλικά των κατασκευών και των κατεδαφίσεων. Η ανακύκλωση αποτελεί μια από τις βασικές αρχές της κυκλικής οικονομίας που οδηγεί σε υλικά που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν. Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η βιβλιογραφική ανασκόπηση των ζητημάτων της κυκλικής οικονομίας που σχετίζονται με τα ανακυκλώσιμα υλικά του κατασκευαστικού τομέα.



ABSTRACT

The present work is a bibliographic review of recent work on the application of the cyclical economy to recyclable construction and demolition materials. Recycling is one of the basic principles of a cyclical economy that leads to materials that can be reused. The aim of this work is to provide a bibliographic overview of cyclical economy issues related to recyclable materials in the construction sector.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

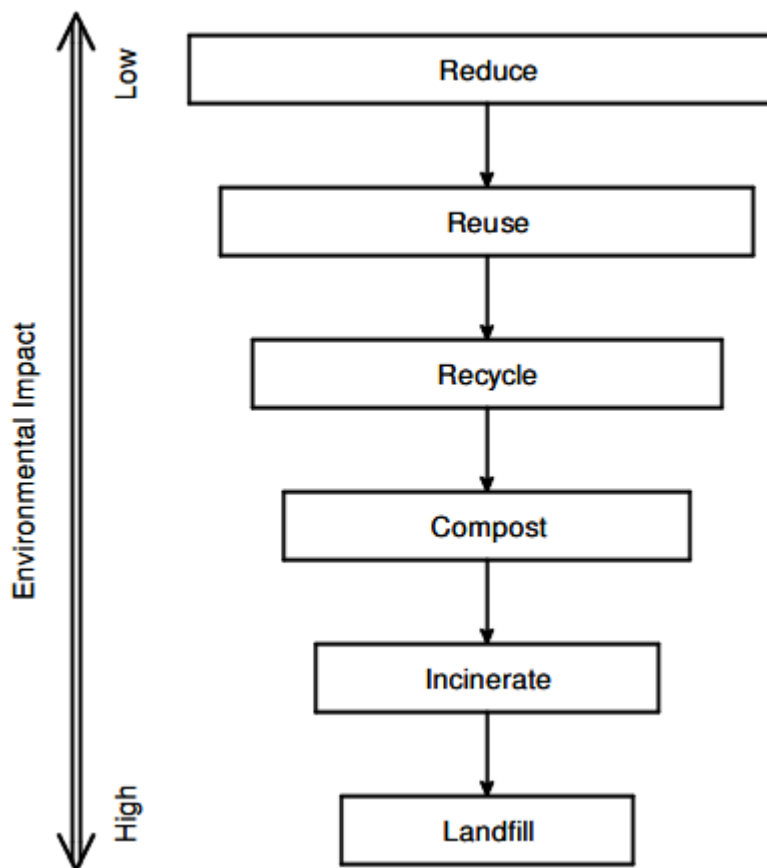
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο όρος της κυκλικής οικονομίας εισάχθηκε στην δεκαετία του 1990 βασιζόμενος στην αρχή πως όλα τα στοιχεία μπορούν να συνεισφέρουν σε οτιδήποτε. Οι Pearce και Turner (1990) εισήγαγαν τον όρο της κυκλικής οικονομίας σε ένα παραδοσιακό γραμμικό σύστημα οικονομίας στο οποίο ήταν εφικτή η εφαρμογή των δύο θεμελιώδων νόμων της θερμοδυναμικής. Στο συγκεκριμένο μοντέλο ήταν βασική η σχέση μεταξύ της οικονομίας και του περιβάλλοντος και ενσωμάτωνε τρεις βασικές λειτουργίες την προμήθεια πόρων, την αξιοποίηση των αποβλήτων και την αξιοποίηση των πηγών.

Τις τελευταίες δεκαετίες η κυκλική οικονομία αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης για διάφορους κλάδους (Lieder and Rashid, 2016). Η οικολογική βιομηχανία αποτελεί ένα επιστημονικό πεδίο το οποίο περιλαμβάνει ολόκληρη προσέγγιση όταν σχετίζεται με την ανθρώπινη οικονομική δραστηριότητα και την αειφορία. Το βασικό στοιχείο της προσέγγισης αυτής είναι ότι το φυσικό οικοσύστημα και τα χειροκίνητα βιομηχανικά συστήματα λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο και χαρακτηρίζονται από τις ροές των υλικών της ενέργειας και των πληροφοριών (Ehrenfeld, 2007).

Η μεταστροφή προς μια βιώσιμη βιομηχανική οικονομία απαιτεί μεταβολές στην κατασκευή και στις χρησιμοποιούμενες μεθόδους σε συνδυασμό και συμφωνία με την οικονομική ανάπτυξη προκειμένου να είναι εφικτή η πραγματοποίηση της βελτιστοποίησης των υλικών και της ενέργειας. Η βελτιστοποίηση του εσωτερικού συστήματος απαιτεί τη βελτιστοποίηση των κατασκευαστικών διαδικασιών με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται η παραγωγή των μη ανακυκλώσιμων υλικών καθώς και να επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση σπάνιων υλικών και ενεργειακών πηγών. Με βάση αυτό είναι εμφανές ότι η καινοτομία στην κατασκευή και στο σχεδιασμό των προϊόντων είναι απαραίτητη έτσι ώστε τα διάφορα υλικά που αρχικά θεωρούνταν ως απόβλητα να μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν στην παραγωγή (Lombardi & Laybourn, 2012).

Ο κατασκευαστικός κλάδος αποτελεί έναν βιομηχανικό κλάδο που προσελκύει ιδιαίτερα το ενδιαφέρον ως προς την βιώσιμη διαχείριση του περιβάλλοντος και την προώθηση της υιοθέτησης των κατάλληλων μεθόδων που θα οδηγήσουν στην προστασία του περιβάλλοντος. Ο τομέας των κατασκευών εξ' ορισμού θεωρείται κλάδος που δεν είναι φιλικός προς το περιβάλλον. Η ιεραρχία των μεθόδων απόρριψης των αποβλήτων του μπορεί να διακριθεί σε έξι επίπεδα που περιλαμβάνουν τη μείωση την επαναχρησιμοποίηση την ανακύκλωση την κομποστοποίηση την καύση και την υγειονομική ταφή των αποβλήτων (Peng et al 1997).



Σχήμα 1.1 Ιεραρχική διαχείριση των αποβλήτων υλικών κατασκευής και κατεδάφισης (Peng et al 1997).

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται βιβλιογραφικά η εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας στην ανακύκλωση των υλικών κατασκευών και κατεδάφισης. Στο δεύτερο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί ο ορισμός και οι διαδικασίες που αφορούν στην κυκλική



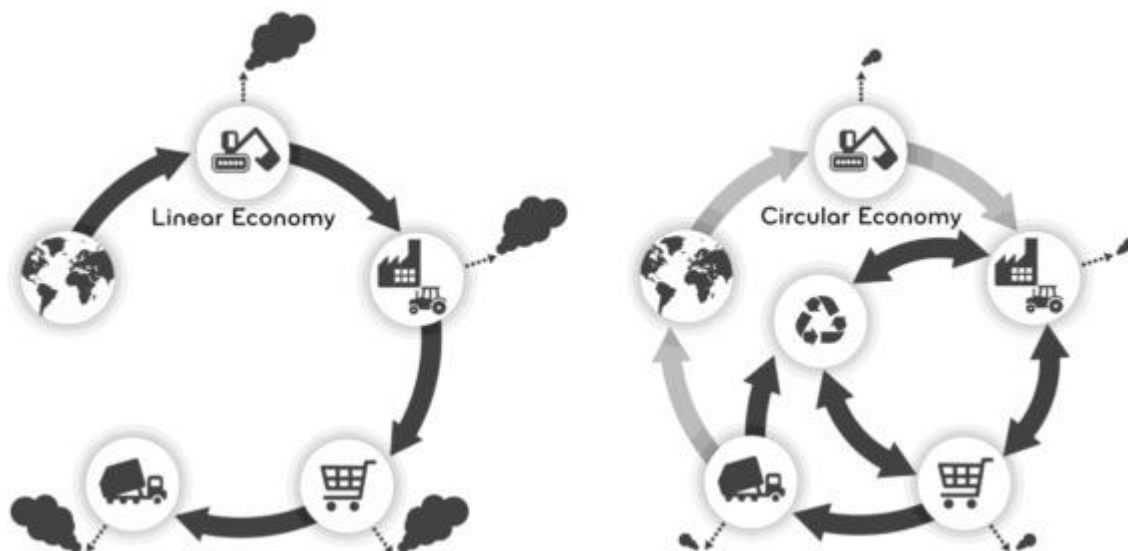
οικονομία ενώ στο τρίτο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι εφαρμογές της κυκλικής οικονομίας στο στάδιο ανακύκλωσης των συγκεκριμένων υλικών. Στο τέταρτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας θα συνοψιστούν τα βασικά συμπεράσματα της συγκεκριμένης εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

2.1 Ορισμός της κυκλικής οικονομίας

Οι Pearce και Turner (1990) χρησιμοποίησαν για πρώτη φορά τον όρο της κυκλικής οικονομίας. Από την πρώτη εισαγωγή του όρου σημειώθηκαν διάφορες προσπάθειες προκειμένου να διασαφηνιστεί ο όρος της κυκλικής οικονομίας και να δοθεί ένας ακριβής ορισμός της. Οι περισσότερες προσπάθειες εστιάζουν στον ορισμό της κυκλικής οικονομίας με βάση την δημιουργία κλειστών βρόγχων ροών υλικών και τη μείωση της κατανάλωσης παρθένων πηγών και των σχετικών επιβαρυντικών για το περιβάλλον επιπτώσεων. Ένας από τους ορισμούς αναφέρει ότι η κυκλική οικονομία αναφέρεται στην παραγωγή και κατανάλωση των αγαθών μέσω κλειστής ροής των υλικών που ενσωματώνουν τις εξωτερικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με την εξόρυξη παρθένων πόρων και την παραγωγή αποβλήτων συμπεριλαμβανόμενης και της ρύπανσης. Το βασικό στοιχείο της κυκλικής οικονομίας σύμφωνα με το συγκεκριμένο ορισμό είναι η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης της μόλυνσης και των αποβλήτων σε κάθε βήμα του κύκλου ζωής του προϊόντος (Sauve et al 2016).



Σχήμα 2.1: Η σύγκριση της γραμμικής και κυκλικής οικονομίας όπως ορίζεται από τους Sauve et al (2016).

Σύμφωνα με άλλον ορισμό που δίνεται στη βιβλιογραφία η κυκλική οικονομία είναι μια προσέγγιση που μπορεί να μετασχηματίσει τη λειτουργία των πηγών στην οικονομία. Τα βιομηχανικά απόβλητα σύμφωνα με αυτόν τον ορισμό μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτες ύλες σε κάποια άλλη διεργασία και τα προϊόντα μπορούν να επισκευαστούν να επαναχρησιμοποιηθούν ή να αναβαθμιστούν αντί να απορριφθούν (Preston 2012).

Η κυκλική οικονομία αναφέρεται κύρια στις προσδοκίες της οικονομίας για τις φυσικές και υλικές πηγές και εστιάζει στην ανακύκλωση τον περιορισμό και την επαναχρησιμοποίηση των φυσικών εισροών στην οικονομία και την χρήση των αποβλήτων ως πόρους που οδηγούν στην μείωση της κατανάλωσης αρχικών πηγών (EEA 2014).

Στην προσπάθεια ορισμού της κυκλικής οικονομίας υπάρχουν πρόσθετες διαστάσεις που δίνονται στον προσδιορισμό της. Υποστηρίζεται πως η κυκλική οικονομία ανταγωνίζεται τη χρήση της βιώσιμης ενέργειας και δεν έχει ακόμα καταφέρει να κερδίσει μια ισοδύναμη θέση συγκριτικά με την ανακύκλωση και τη διαχείριση των αποβλήτων. Στο πλαίσιο αυτό προτείνεται ότι η μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία απαιτεί τον καθορισμό των ευκαιριών για την εγκατάσταση της εφαρμογής της βιώσιμης ενέργειας όπως επίσης και τη λήψη αποφάσεων σε διάφορες περιοχές όπως την αγροτική οικονομία το έδαφος, το νερό και τη βιοδιασπασιμότητα (Heck 2006).

Η μελέτη της κυκλικής οικονομίας επεκτείνεται και σε θέματα εκτός της διαχείρισης υλικών και καλύπτει και άλλα ζητήματα όπως η ενεργειακή απόδοση και κατανάλωση η προστασία του εδάφους και του νερού (Su et al 2013).

Επιπλέον η κυκλική οικονομία έχει και οικονομικές διαστάσεις και αποτελεί μια απαραίτητη συνθήκη για ένα τυπικό βιομηχανικό σύστημα που εισάγει νέα είδη οικονομικής δραστηριότητας δυνατά σημεία και παράγει νέες θέσεις εργασίας. Η ριζική αναμόρφωση όλων των διαδικασιών σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής των προϊόντων που διεξάγονται από καινοτόμους παράγοντες έχει τη δυνατότητα όχι μόνο να επιτύχει ανάκτηση υλικών ή ενέργειας αλλά και να βελτιώσει ολόκληρο το βιοτικό και οικονομικό μοντέλο. Στόχος της κυκλικής οικονομίας είναι να μειώσει τις

περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κατανάλωσης πόρων και να βελτιώσει την κοινωνική ευημερία (Ghisellini, et al 2016).

Ένας από τους πιο γνωστούς ορισμούς της κυκλικής οικονομίας είναι αυτός που αναφέρει ότι η κυκλική οικονομία είναι ένα βιομηχανικό σύστημα που υποκαθιστά ή αναγεννά με πρόθεση και σχεδιασμό. Σύμφωνα με αυτόν τον ορισμό η κυκλική οικονομία αντικαθιστά το τέλος του κύκλου ζωής με την αποκατάσταση του προϊόντος, τις μετατοπίσεις προς τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ενώ παράλληλα μειώνει τη χρήση τοξικών χημικών ουσιών που περιορίζουν την επαναχρησιμοποίηση και επιδιώκει την εξάλειψη των αποβλήτων μέσω του ανώτερου σχεδιασμού των υλικών των προϊόντων των συστημάτων και του επιχειρησιακού μοντέλου. Η ακριβής ερμηνεία της έννοιας της κυκλικής οικονομίας βασίζεται στον διαχωρισμό των υλικών σε δύο βασικές κατηγορίες τα υλικά βιολογικής προέλευσης που μπορούν να ανακτηθούν και να χρησιμοποιηθούν ως πρώτες ύλες και τα τεχνητά υλικά που δεν μπορούν να βιοαποικοδομηθούν και να εισέλθουν στην βιόσφαιρα. Η κυκλική οικονομία αποσκοπεί στη μέγιστη χρήση αυτών των δυο κατηγοριών υλικών μέσω του σχεδιασμού της διαχείρισης τους και της τεχνολογικής καινοτομίας (Ellen Mc Arthur foundation, 2013).

Από την Ευρωπαϊκή Ένωση, η κυκλική οικονομία χαρακτηρίζεται ως οικονομία όπου η αξία των προϊόντων, των υλικών και των πόρων διατηρείται στην οικονομία όσο το δυνατόν περισσότερο και η παραγωγή αποβλήτων ελαχιστοποιείται. Η μετάβαση σε μια πιο κυκλική οικονομία θα συμβάλει ουσιαστικά στις προσπάθειες της ΕΕ για την ανάπτυξη μιας βιώσιμης και οικονομικά αποδοτικής και ανταγωνιστικής οικονομίας με χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Στο πλαίσιο αυτό, το σχέδιο δράσης της ΕΕ περιλαμβάνει μια σειρά μέτρων που αποσκοπούν στην αντιμετώπιση του πλήρους κύκλου προϊόντος από την παραγωγή και την κατανάλωση έως τη διαχείριση αποβλήτων και την αγορά δευτερογενών πρώτων υλών.

2.2 Αρχές της κυκλικής οικονομίας

Η κυκλική οικονομία βασίζεται στα λεγόμενα 3R που αντιπροσωπεύουν την μείωση (reduction), την επαναχρησιμοποίηση (reuse) και την ανακύκλωση (recycle) (Su et al 2013).

Στην Κίνα όπου η κυκλική οικονομία χρησιμοποιείται ευρέως ορίζεται από την σχετική νομοθεσία ένας γενικός όρος της κυκλικής οικονομίας για τη μείωση την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση στις διαδικασίες παραγωγής κυκλικής κυκλοφορίας (CCICED, 2008). Ο ορισμός αυτός όμως έρχεται σε αντίθεση με την πρακτική της Κίνας για σταθερή ανάπτυξη των προτύπων παραγωγής και κατανάλωσης σε εθνικό επίπεδο. Αντίθετα σε άλλες χώρες όπως η Ευρώπη η Ιαπωνία οι ΗΠΑ η Κορέα και το Βιετνάμ φαίνεται να αναγνωρίζουν τον όρο αυτό σε περισσότερους τομείς που σχετίζονται κυρίως με τη διαχείριση των αποβλήτων (Sakai et al 2011).

Σύμφωνα με την αρχή αυτή, οι δαπάνες διάθεσης και ανάκτησης πρέπει να μεταφερθούν στους παραγωγούς οι οποίοι θα έχουν συνεπώς ισχυρό κίνητρο για την επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση ή απόρριψη αποβλήτων. Επιπρόσθετα, υποστηρίζεται ότι εάν ένα προϊόν δεν μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί, ανακυκλωθεί ή λιπασματοποιηθεί, τότε η βιομηχανία δεν θα πρέπει να παράγει ένα τέτοιο προϊόν και οι καταναλωτές δεν θα πρέπει να το αγοράζουν. Το τελευταίο αυτό ζήτημα υπογραμμίζει την ανάγκη κοινής ευθύνης μεταξύ όλων των ενδιαφερομένων, συμπεριλαμβανομένων των καταναλωτών, για την επίτευξη πιο φιλόδοξων αποτελεσμάτων όσον αφορά τη συλλογή των αποβλήτων για επαναχρησιμοποίηση ή ανακύκλωση. Για παράδειγμα, σε αντίθεση με τα ευρωπαϊκά συστήματα, το ιαπωνικό σύστημα ηλεκτρικού εξοπλισμού περιλαμβάνει την ευθύνη του αναγκαστικού καταναλωτή για την επιστροφή προϊόντων για ανακύκλωση (Resource 2015).

Η αρχή επαναχρησιμοποίησης αναφέρεται σε "οποιαδήποτε ενέργεια με την οποία προϊόντα ή συστατικά που δεν είναι απόβλητα χρησιμοποιούνται ξανά για τον ίδιο σκοπό για τον οποίο σχεδιάστηκαν (EU 2008). Η επαναχρησιμοποίηση των προϊόντων είναι πολύ ελκυστική όσον αφορά τα περιβαλλοντικά οφέλη, καθώς απαιτεί λιγότερους πόρους, λιγότερη ενέργεια και λιγότερη εργασία, σε σύγκριση με την κατασκευή νέων προϊόντων από παρθένα υλικά ή την ανακύκλωση και τη διάθεση (Castellani et al., 2015).

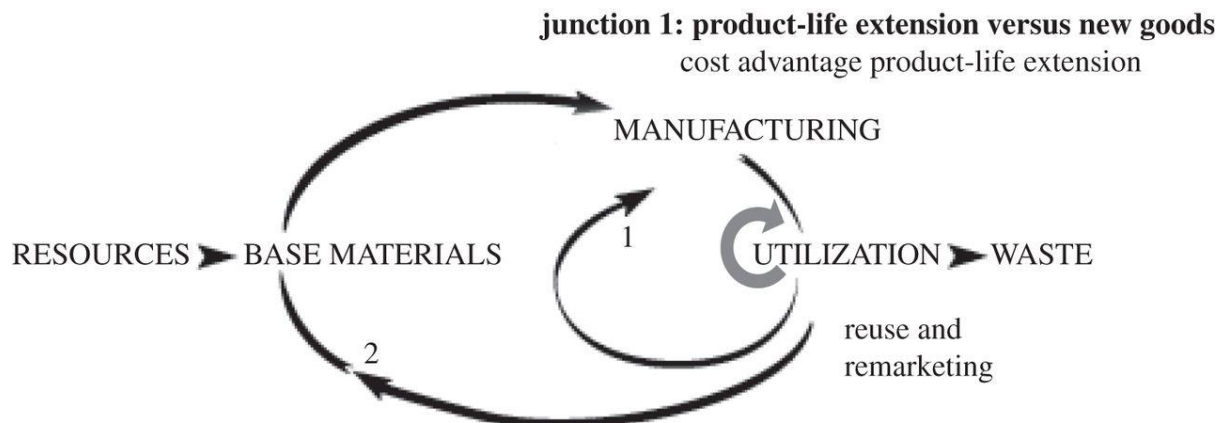
Η επαναχρησιμοποίηση των προϊόντων αποφεύγει την εκπομπή επιβλαβών ουσιών καθώς και πολλές άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην περίπτωση διαφορετικών αντικειμένων με προσέγγιση του κύκλου ζωής. Η διάχυση της επαναχρησιμοποίησης

έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της καταναλωτικής ζήτησης για επαναχρησιμοποιούμενα και ανακατασκευασμένα προϊόντα για το σχεδιασμό προϊόντων που μπορεί να διαρκέσουν πολλαπλούς κύκλους χρήσης και επιπλέον δίνει κίνητρα για τις εταιρείες προκειμένου να ευνοούν την ανάληψη των προϊόντων και των ανακατασκευασμένων προϊόντων (Prendeville et al., 2014).

Η αρχή της ανακύκλωσης αναφέρεται σε "κάθε εργασία ανάκτησης με την οποία τα απόβλητα επανεπεξεργασίας σε προϊόντα, υλικά ή ουσίες είτε για αρχικούς είτε για άλλους σκοπούς. Περιλαμβάνει την επανεπεξεργασία οργανικών υλικών, αλλά δεν περιλαμβάνει την ανάκτηση ενέργειας και την επανεπεξεργασία σε υλικά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα ή για εργασίες εναποθήκευσης (EU 2008).

Η ανακύκλωση αποβλήτων προσφέρει την ευκαιρία να επωφεληθούν από τους πόρους που εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται και να μειωθεί η ποσότητα των αποβλήτων που πρέπει να υποστούν επεξεργασία και / ή να διατεθούν, μειώνοντας επίσης τις σχετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Birat 2015).

Αν και η κυκλική οικονομία αναγνωρίζεται συχνά με την αρχή της ανακύκλωσης, πρέπει να υπογραμμιστεί ότι αυτή μπορεί να είναι η λιγότερο βιώσιμη λύση σε σύγκριση με τις άλλες αρχές της κυκλικής οικονομίας (Μείωση και επαναχρησιμοποίηση) όσον αφορά την αποδοτικότητα των πόρων. Περιορίζεται από τη φύση (νόμος εντροπίας), την πολυπλοκότητα των υλικών και την κατάχρηση (Stahel 2013).



junction 2: virgin materials versus recycling materials
cost advantage virgin materials

loop 2: recycling of materials

loop 1: reuse of goods,
repair of goods,
reconditioning of goods, and
technological/fashion upgrading of goods

Σχήμα 2.2 Οι κύριοι βρόγχοι της κυκλικής οικονομίας (Stahel et al 2013).

Είναι γεγονός πως υπάρχουν υλικά που είναι ανακυκλώσιμα μέχρι ένα συγκεκριμένο σημείο ή ακόμα και μπορεί να είναι μη ανακυκλώσιμα. Χαμηλά επίπεδα ανακύκλωσης επιτυγχάνονται για τις σπάνιες γαίες καθώς είναι δύσκολο να αναπτυχθούν οικονομίες κλίμακας ενώ υπάρχουν κάποιοι τύποι πλαστικών απόβλητων που δεν είναι ανακυκλώσιμα εξαιτίας της παρουσίας πρόσθετων στοιχείων όπως το μελάνι και τα μέταλλα (Prendeville et al 2014).

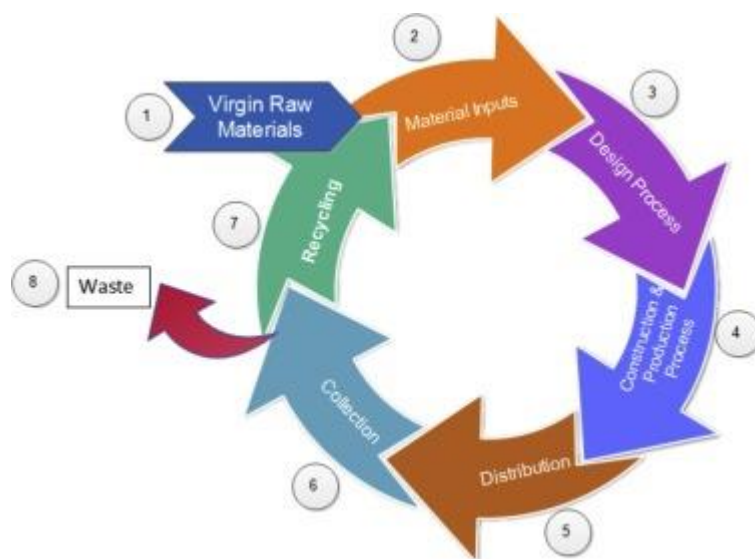
Τέλος, η επαναχρησιμοποίηση, η επισκευή και η ανακύκλωση έχουν τοπική ή περιφερειακή διάσταση και μπορούν να αποτρέψουν ή να μειώσουν τη συσκευασία, το κόστος μεταφοράς και το κόστος συναλλαγής μέσω της διατήρησης της κυριότητας, ενώ η ανακύκλωση έχει παγκόσμια διάσταση και λειτουργεί σύμφωνα με τις αρχές της βιομηχανικής παραγωγής οικονομίες κλίμακας, εξειδίκευση και απασχόληση της φθηνότερης εργασίας (Stahel 2013).

2.3 Η κυκλική οικονομία στον κατασκευαστικό τομέα

Η κυκλική οικονομία συνδέεται άμεσα με τη βιωσιμότητα και αυτός είναι ένας από τους βασικούς λόγους που θεωρείται βασικό στοιχείο για το σχεδιασμό των πολιτικών που ακολουθούνται στον βιομηχανικό τομέα (Geissdoerfer et al 2017). Με βάση τους

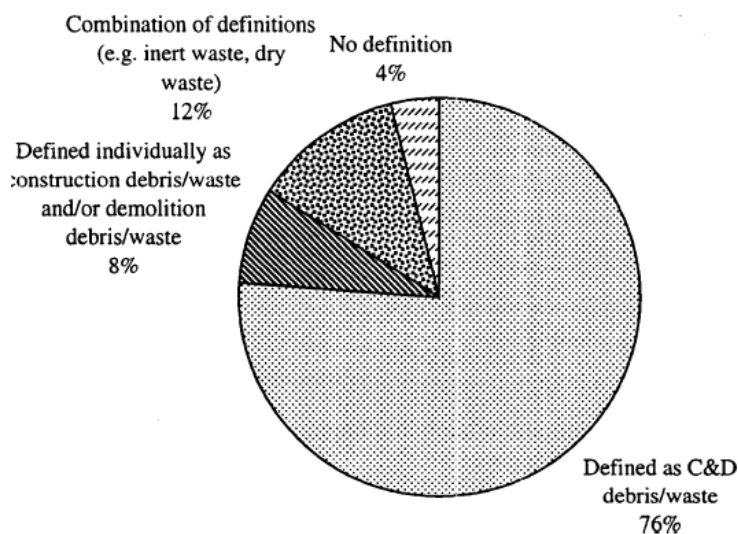
ορισμούς της κυκλικής οικονομίας αλλά και της βιωσιμότητας οι Rashid et al (2013) περιγράφουν την ολοκλήρωση της κυκλικής οικονομίας στα επιχειρησιακά μοντέλα και στις εφοδιαστικές αλυσίδες ως απαίτηση για βιώσιμη κατασκευή για οικονομική ενίσχυση και περιβαλλοντική απόδοση.

Ο κατασκευαστικός τομέας θεωρείται ως ένας από τους βασικούς τομείς που μπορούν να προσδώσουν τα μέγιστα πλεονεκτήματα στις νέες περιβαλλοντικές τεχνολογίες και στην κυκλική οικονομία (Smol et al 2015). Η εφαρμογή των συστημάτων της κυκλικής οικονομίας διασφαλίζει ότι η προστιθέμενη αξία των προϊόντων διατηρείται στον οικονομικό κύκλο για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο διάστημα προκειμένου να αποφευχθεί η παραγωγή των αποβλήτων στους χώρους υγειονομικής ταφής. Κάθε φάση του κύκλου της κυκλικής οικονομίας εκφράζει την αναπαράσταση φάσεων σε όρους μείωσης φάσεων και της εξάρτησης των φυσικών πηγών ως τη μοναδική πηγή υλικών που εισέρχονται στην κατασκευή και στις υπόλοιπες διαδικασίες παραγωγής. Το κύριο αντικείμενο της κυκλικής οικονομίας είναι η μεγιστοποίηση της χρήσης των υλικών μέσω της φάσης συλλογής και επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης. Αυτό προϋποθέτει τη μείωση της ποσότητας των αποβλήτων που παράγονται με αποτέλεσμα να οδηγείται σε πλεονεκτήματα για όλα τα εμπλεκόμενα μέρη (Pan et al 2015).



Σχήμα 2.3 Διαφορετικές φάσεις στο μοντέλο της κυκλικής οικονομίας στα κτήρια.

Οι δραστηριότητες της κατασκευαστικής βιομηχανίας έχει σοβαρές επιδράσεις στα κοινωνικά, περιβαλλοντικά, και οικονομικά ζητήματα της βιοσιμότητας (Gencel et al 2012). Παρόλα αυτά με τη μεγάλη ροή εισόδου υλικών στον κατασκευαστικό τομέα είναι φυσικό επακόλουθο η παραγωγή μεγάλης ποσότητας αποβλήτων από τις κατασκευές και τις κατεδαφίσεις κάθε χρόνο σε παγκόσμιο επίπεδο τα οποία κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την σύστασή τους (Clark et al 2006).



Σχήμα 2.4 Βασικές κατηγορίες αποβλήτων του τομέα κατασκευής και κατολίθησης (Clark et al 2006).

Αυτή η παραγωγή αποβλήτων έχει τις συνέπειες για το περιβάλλον με τη μορφή της εξάντλησης των χώρων υγειονομικής ταφής, του άνθρακα και των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, την τεράστια σπατάλη ενσωματωμένης ενέργειας και πρώτων υλών και την αύξηση του κόστους των έργων. Για να εξασφαλιστεί η αποτελεσματική κυκλική οικονομία, είναι σημαντικό ένα αξιοσημείωτο ποσοστό δομικών υλικών να ανακτάται για επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση (Pan et al., 2015). Αυτό εξασφαλίζει ότι ελαχιστοποιείται η χρήση πρώτων υλών και η διάθεση των αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής. Αν και η ανακύκλωση των δομικών υλικών είναι μια κοινή πρακτική, η επαναχρησιμοποίηση υλικών έχει μεγαλύτερη αξία γεγονός που οφείλεται στο ότι η ανακύκλωση απαιτεί περισσότερη κατανάλωση ενέργειας από την επαναχρησιμοποίηση των υλικών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Η ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΣΤΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΗΣ

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες χρησιμοποιούν μια αυξανόμενη ποικιλία υπηρεσιών που παρέχονται από αποθέματα κεφαλαίου και καταναλωτικών αγαθών. Το αποτέλεσμα της παραγωγής της λειτουργίας και της διάθεσης των αποθεμάτων των υλικών προκαλεί ροές υλικών και ενέργειας που αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον (Muller 2016).

Τα απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων (C & D) είναι μια από τις μεγαλύτερες ροές αποβλήτων στον κόσμο. Τα μη ανακυκλωμένα απόβλητα έχουν ως αποτέλεσμα την απώλεια δομικών υλικών και μία από τις μεγαλύτερες μεταβολές του τοπίου στη γη για τελική διάθεση. Γενικά τα απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων (CDW) καθοδηγούνται από πρακτικές διαχείρισης που ακολουθούν τα "3R" - μείωση, επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση (Peng et al 1997).

Το ρεύμα των αποβλήτων κατασκευής και κατεδαφίσεων (C & D) γενικά απορρέει από την κατασκευή, την ανακαίνιση και την κατεδάφιση κτιρίων, οδών, γεφυρών και άλλων κατασκευών (Peng et al 1997).

Το πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας και οι βασικές αρχές των 3R έχουν προταθεί για την εκτίμηση και την πιο αποτελεσματική διαχείριση των υλικών των αποβλήτων που παράγονται από τις εργασίες κατασκευής και κατεδάφισης (Huang et al 2018). Επιπλέον στη βιβλιογραφία προτείνονται οι κατάλληλες πολιτικές που καθιστούν την κυκλική οικονομία έναν στόχο για τις περισσότερες χώρες σε παγκόσμιο επίπεδο (Ghisellini et al 2016).

Το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας αποτελεί ένα καινοτόμο οικονομικό και παραγωγικό μοντέλο συνεπάγεται μια αλλαγή νοοτροπίας που θεωρεί τα απόβλητα ως δυνητικά χρήσιμους πόρους και όχι ως πρόβλημα διαχείρισης και απόρριψης υγειονομική ταφή, όπως στην προηγούμενη γραμμική οικονομία (Andrews 2015).

Τα απόβλητα στην κυκλική οικονομία είναι μέρος ενός συνεχούς βρόγχου των υλικών που δεν μπορούν να μπλοκαριστούν ενώ οι στρατηγικές της κυκλικής οικονομίας καθορίζουν τις καλύτερες μεθόδους διαχείρισης για τα απόβλητα υλικά (Ellen Mac Arthur Foundation 2013) μειώνοντας την παραγωγή στην πηγή και διατηρεί την ποσότητα τους σε ένα ελάχιστο σε όρους αυξανόμενης απόδοσης, ανακύκλωσης και κατάλληλου σχεδιασμού (Esa et al 2017).

Η ανακύκλωση και η ανάκτηση των υλικών κατασκευής και κατεδάφισης πραγματοποιείται σε διάφορες χώρες της Ευρώπης (Dahdlo et al 2015). Παρόλα αυτά υπάρχουν διάφοροι λόγοι που μεγάλες ποσότητες επαναχρησιμοποιούμενων / ανακυκλώσιμων υλικών νόμιμα ή παράνομα (Marzouk and Azah, 2014).

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα βασικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων από τις κατασκευές και τις κατεδαφίσεις και θα παρουσιαστούν οι περιβαλλοντικές επιδράσεις ενός κτηρίου που επαναχρησιμοποιεί ανακυκλώνει τα απόβλητα αυτά όπως επίσης και οι περιβαλλοντικές επιδράσεις της επαναχρησιμοποίησης / ανακύκλωσης των αποβλήτων κατασκευής στην κατασκευαστική φάση των κτηρίων όπως επίσης και οι περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις των αποβλήτων από την ανακαίνιση ενός κτηρίου καθώς και οι περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις των προϊόντων που προέρχονται από την κατασκευή και την κατεδάφιση.

3.2 Χαρακτηριστικά των υλικών αποβλήτων από κατασκευές και κατεδάφιση

Τα απόβλητα που προέρχονται από τις κατασκευές και την κατεδάφιση αποτελούνται από διάφορους τύπους υλικών σε διαφορετικές ποσότητες ανάλογα με τους διάφορους παράγοντες όπως η πηγή προέλευσης τους αν δηλαδή προέρχονται από αστικά εμπορικά ή βιομηχανικά κτήρια δρόμους ή γέφυρες, το μέγεθος τους το είδος και τη μέθοδο της δραστηριότητας που διεξάγεται αν δηλαδή είναι κατασκευή, ανακαίνιση επισκευή κατεδάφιση καθώς και από την τοποθεσία στην οποία παράγονται (Silva et al 2017).

Στις Ευρωπαϊκές χώρες τα απόβλητα των κατασκευών και της κατεδάφισης αποτελούνται κατά κύριο λόγο από τούβλα και τσιμέντο σε ποσοστό σχεδόν 80% ενώ

το υπόλοιπο 20% αποτελείται από δομικά υλικά στήριξης και συσκευασίας καθώς και από υπερκείμενα υλικά που προέρχονται από ανασκαφές (La Marca 2010).

Πίνακας 3.1 Μέση τυπική σύσταση των αποβλήτων κατασκευής και κατεδάφισης στην Ιταλία.

Waste category	%wt
Concrete	30,0
<i>not reinforced concrete</i>	10,0
<i>reinforced concrete</i>	20,0
bricks (tile, perforated brick, etc.)	50,0
asphalt	5,0
excavated ground	6,0-10,0
paper and cardboard	0,6-4,0
metals	3,0
others	1,0-1,4

Προφανώς οι διαδικασίες κατεδάφισης παράγουν μεγαλύτερες ποσότητες αποβλήτων που μπορεί να είναι ακόμα και δέκαπλάσια από τα έργα κατασκευής. Οι ρυθμοί ανάκτησης των αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων αυξάνουν όσο μετακινείται κανείς από τις συμβατικές στις επιλεκτικές κατεδαφίσεις. Οι κατεδαφίσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν με τρεις τρόπους τη συμβατική κατεδάφιση, την επιλεκτική κατεδάφιση ή με έναν συνδυασμό αυτών των δύο μεθόδων (Coelho and Brito, 2012).

Η συμβατική κατολίσθηση πραγματοποιείται με μηχανικό εξοπλισμό χωρίς να υπάρχει πολύ προσοχή για το διαχωρισμό των συστατικών. Είναι πολύ γρήγορη διαδικασία και φθηνή που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό των πλευρικών τοιχωμάτων των κτηρίων αλλά από την άλλη πλευρά δημιουργεί μεγάλη ποσότητα άμορφων υλικών που μπορούν να εναποτεθούν σε χώρους υγειονομικής ταφής (Duan et al 2014). Η

επιλεκτική κατολίσθηση είναι γνωστή ως αντίστροφη κατασκευή καθώς είναι καθαρή διαδικασία καταστροφής μιας δραστηριότητας που οδηγεί στην πραγματοποίηση του κτηρίου. Αποτελείται από την επιλεκτική κατεδάφιση στοιχείων του κτηρίου έτσι ώστε να επιτευχθεί ο διαχωρισμός και η ταξινόμηση των κατασκευαστικών υλικών όπως τα τούβλα, τα παράθυρα (Da Rocha, and Sattler, 2009). Η μικτή διαδικασία κατεδάφισης περιλαμβάνει το συνδυασμό των δύο παραπάνω μεθόδων κατεδάφισης (Cohello and Bitro, 2012).

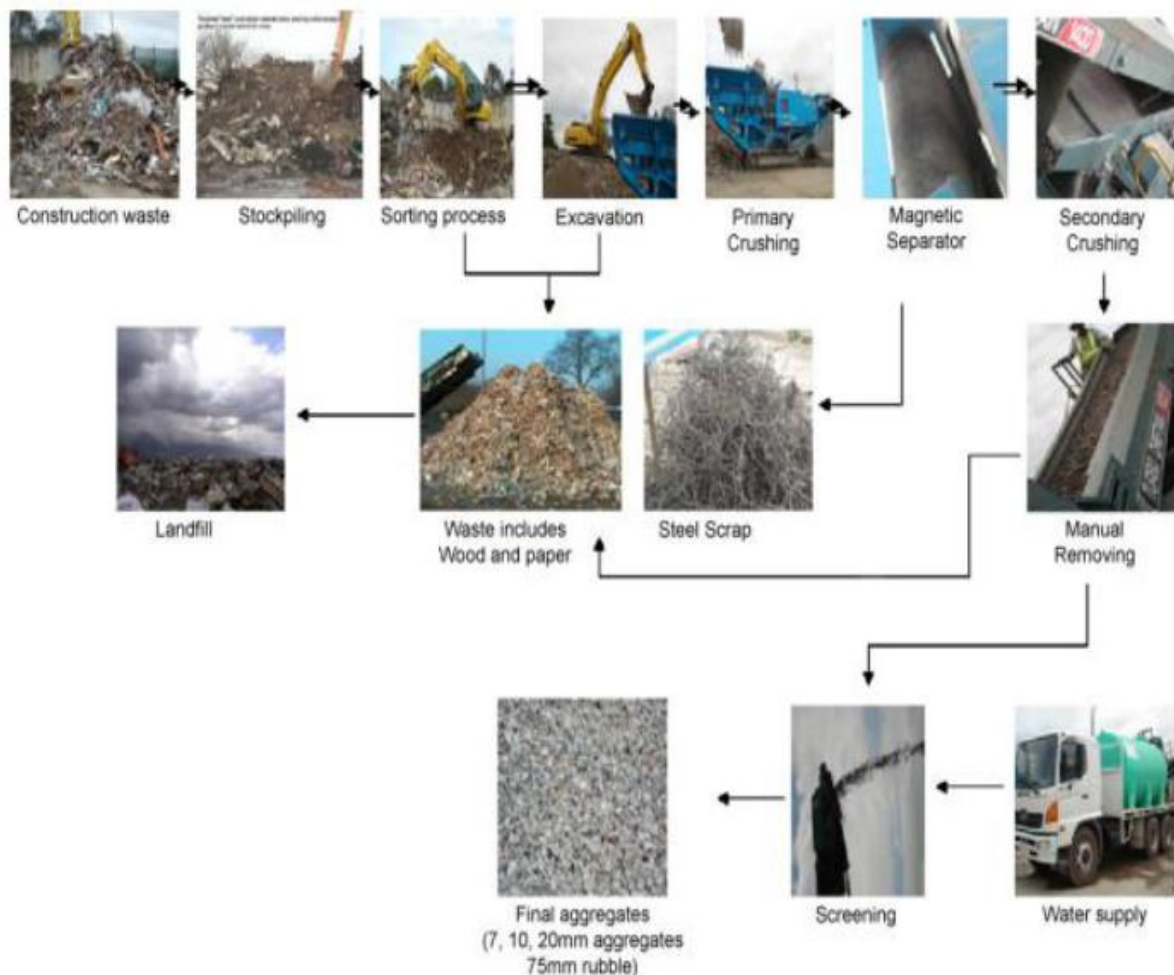
Το είδος των τεχνικών που χρησιμοποιούνται για την κατεδάφιση επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα των αποβλήτων κατασκευής και κατεδάφισης καθώς και τα δευτερεύοντα υλικά και προϊόντα που μπορεί να παραχθούν. Τα δευτερεύοντα υλικά που επιτυγχάνονται από τα ομογενή κατασκευαστικά και κατεδαφιστικά απόβλητα έχουν καλύτερη ποιότητα από τα δευτερογενή απόβλητα κατασκευής και κατεδάφισης (Nunes et al 2009).

Ο διαχωρισμός σε ομοιογενή κλάσματα θα πρέπει να υιοθετηθεί προσεκτικά στη διαδικασία κατεδάφισης για να ευνοηθεί η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης / ανακύκλωσης του μεγαλύτερου δυνατού κλάσματος αποβλήτων που προκύπτουν από την κατασκευή και την κατεδάφιση. Στην πραγματικότητα, η ενεργειακή ή υλική αξιοποίηση μιας διαδικασίας ανακύκλωσης συσχετίζεται αυστηρά με τον εύκολο διαχωρισμό και συλλογή ομοιογενούς κλάσματος υλικών. Στα παραδοσιακά κτισμένα κτήρια τα στοιχεία και τα συστήματα συνδέονται ισχυρά και ο διαχωρισμός των υλικών από την διαδικασία κατεδάφισης είναι μια ιδιαίτερα δύσκολη διαδικασία. Αντίθετα είναι εύκολος ο διαχωρισμός των υλικών και περιλαμβάνει μια εύκολη μόνωση και κατά συνέπεια διατίθεται μεγαλύτερη ποσότητα υλικών στην ανάκτηση χωρίς όμως αυτό να συνεπάγεται τη βελτίωση των διαδικασιών συντήρησης, των επισκευών και της αντικατάστασης ενώ είναι ευκολότερο να απομακρυνθούν τα επικίνδυνα τοξικά χημικά συστατικά που χρησιμοποιούνται στο σύστημα κατασκευής (Chau et al 2017).

Από τις κατασκευές και τις κατεδαφίσεις παράγονται τρεις κατηγορίες υλικών το θρυμματισμένο σκυρόδεμα, τα θρυμματισμένα υλικά τοιχοποιίας και τα μικτά συντρίμια κατεδάφισης. Μετά τη θραύση και τη διαδικασία αξιοποίησης που πραγματοποιούνται σε πιστοποιημένα εργοστάσια ανακύκλωσης τα αδρανή που προκύπτουν μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες: τα ανακυκλωμένα

αδρανή σκυροδέματος, τα ανακυκλώσιμα αδρανή της τοιχοποιίας και τα ανακυκλώσιμα αδρανή από τις κατασκευές και την κατεδάφιση (Silva et al 2014).

Τα ανακυκλωμένα αδρανή που παράγονται από το σκυρόδεμα που έχει κατεδαφιστεί και απομακρυνθεί από θεμέλια, πεζοδρόμια, γέφυρες ή κτίρια, θρυμματίζεται και μεταποιείται σε διάφορα κλάσματα μεγέθους. Η αφαίρεση του χάλυβα σπλισμού είναι πιθανό να πραγματοποιηθεί μαζί με την απομάκρυνση των υπόλοιπων συστατικών ενώ παράλληλα θεωρείται επιβεβλημένη η λήψη μέτρων για την αποφυγή της μόλυνσης από τις ακαθαρσίες ή απόβλητα άλλων κατασκευαστικών υλικών (Gagan and Arora, 2015).



Σχήμα 3.1 Το διάγραμμα ροής της ανακύκλωσης σκυροδέματος (Arora et al 2015).

Στις περισσότερες διαδικασίες ανακύκλωσης χρησιμοποιείται ένας θραυστήρας σιαγόνων για πρωτογενή σύνθλιψη ο οποίος μπορεί να χειριστεί μεγάλα κομμάτια σκυροδέματος και να υπάρχει υπολλειμματική ενίσχυση. Οι θραυστήρες πρόσκρουσης χρησιμοποιούνται κυρίως στη δευτερογενή σύνθλιψη καθώς ένα υψηλότερο ποσοστό αδρανών παράγεται χωρίς να υπάρχει σε αυτά προσκολλημένο κονίαμα (Agora 2015).

3.3 Υλικά που προκύπτουν από τις κατεδαφίσεις:

Από τις διεργασίες κατεδαφίσεων προκύπτουν διάφορα υλικά όπως αλφατικά υλικά, ξύλο, γύψος πλαστικά γυψοσανίδες έδαφος και άμμος, μεταλλικά υλικά σκυρόδεμα και τούβλα βράχια και έδαφος από ανασκαφές και γυαλί. Τα υλικά αυτά μπορούν να ανακυκλωθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν μέσα στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας

3.3.1 Ασφαλτικά υλικά

Η άσφαλτος εξαιτίας του φορτίου που δέχεται μπορεί να καταστραφεί και στην συνέχεια να ανακυκλωθεί σε καινούρια άσφαλτος. Η αγορά της ανακυκλωμένης ασφάλτου περιλαμβάνει αδρανή υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για καινούρια θερμά μίγματα και υποστρώματα για ασφαλτοδρομένους δρόμους. Το ασφαλτικό υλικό παράγεται μέσω της κατασκευής του δρόμου. Γενικά η άσφαλτος θεωρείται 100% ανακυκλώσιμη ενώ μια τυπική ασφαλτόστρωση περιέχει 4% πίσσα και 96% αδρανή υλικά (Varsha et al 2016).

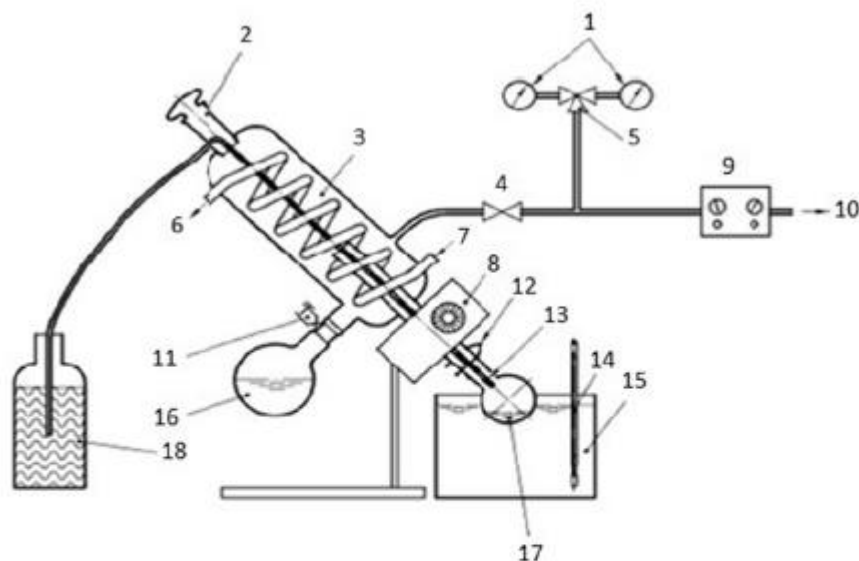
Στο πλαίσιο της αειφόρου ανάπτυξης και της κυκλικής οικονομίας η ανακύκλωση των παλαιών ασφαλτικών οδοστρώσεων σε καινούριο ασφαλτικό μείγμα θεωρείται ως μια ικανοποιητική λύση για τον περιορισμό της χρήσης νέων υλικών και την διαχείριση των αποβλήτων που προκύπτουν υπό τη μορφή ανασχηματισμένης ασφάλτου (Ziyani et al 2017).

Από την αρχή της τεχνολογίας του ανασχηματισμού της ασφάλτου μέχρι σήμερα υπάρχει μια μετατόπιση προς υψηλούς ρυθμούς ανακύκλωσης ως μόνιμη πρακτική

ανασχηματισμού της ασφάλτου.(Dinis-Almeida, and Afonso 2015). Παράλληλα η αύξηση των μεθόδων επικάλυψης χαμηλής ενέργειας παρουσιάζουν ολοένα και μεγαλύτερη επίδραση στα έργα οδοποιίας στα οποία χρησιμοποιούνται και οι δύο μέθοδοι ως βιώσιμες τεχνικές (Almeida Costa and Benta 2016).

Η ανακυκλωμένη άσφαλτος θεωρείται ότι είναι η άσφαλτος που μπορεί να ανακυκλωθεί όσο το δυνατόν περισσότερες φορές. Κατά συνέπεια η εξόρυξη και η ανάκτηση του συνδετικού υλικού αποτελούν κρίσιμα προκαταρκτικά βήματα για τον προσδιορισμό των συστατικών της ανασχηματισμένης ασφάλτου.

Αρχικά πραγματοποιείται η εξαγωγή του συνδετικού υλικού και στη συνέχεια η ανάκτηση του που είναι απαραίτητη αν ο στόχος είναι η εκτίμηση των τελικών ιδιοτήτων των ασφαλτικών υλικών. Το βήμα αυτό περιλαμβάνει το διαχωρισμό των διαλυτών από τα συνδετικά υλικά σε συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας (ASTM D5404/D5404M, 2011)

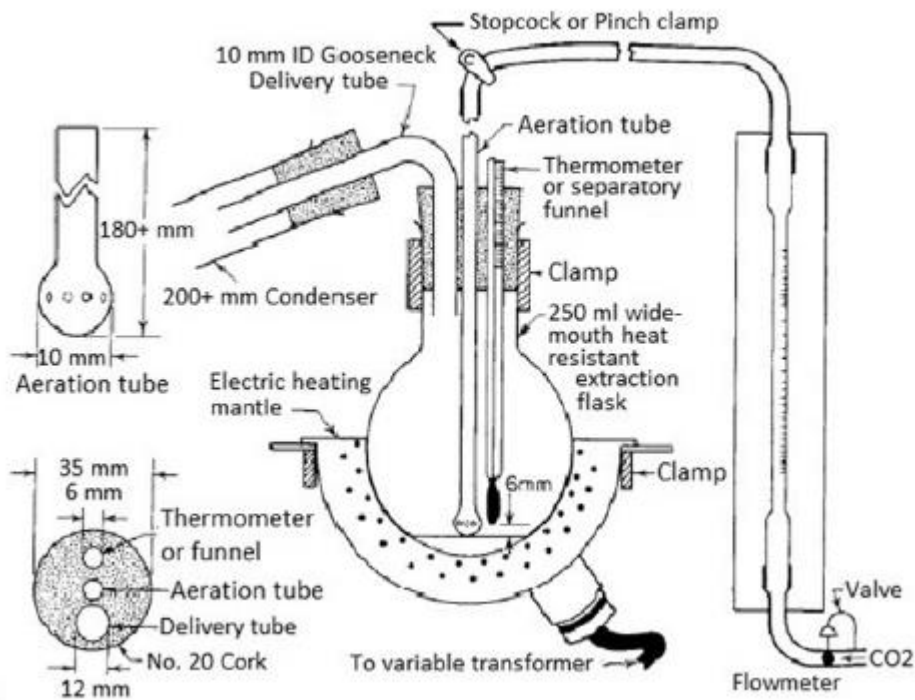


1 Manometer	8 Rotation motor	15 Oil bath
2 Air stop valve	9 Pressure-reducing valve	16 Recovery flask
3 Condenser	10 To vacuum pump	17 Distillation flask
4 Air inlet	11 Screw clamp	18 Bituminous solution
5 Coupling valve	12 Spring clamp	
6 Water outlet	13 Delivery tube	
7 Water inlet	14 Thermometer	

Σχήμα 3.2 Μέθοδος ανάκτησης ασφαλτικών υλικών με περιστροφική εξάτμιση (ASTM D5404/D5404M, 2011)

Σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα η ανάκτηση των ασφαλικών υλικών μπορεί να γίνει με δύο μεθόδους μέσω ενός περιστρεφόμενου εξατμιστή ή με την μέθοδο Abson. Κατά την περιστρεφόμενη εξάτμιση η δεξαμενή εξάτμισης περιστρέφεται στη συνέχεια θερμαίνεται σε ένα λουτρό ελαίου και στη συνέχεια συμπιέζεται. Το ασφαλτούχο διάλυμα μεταφέρεται από τον αρχικό υποδοχέα του στην δεξαμενή εξάτμισης. Μετά την ολοκλήρωση αυτής της μεταφοράς, η θερμοκρασία του λουτρού ελαίου αυξάνεται και η πίεση μειώνεται για να εξατμιστεί πλήρως ο διαλύτης. Μόλις η άσφαλτος σταματήσει να βράζει, η δεξαμενή σταματά να περιστρέφεται και το σύστημα μειώνεται σε ατμοσφαιρική πίεση. Η αρχική θερμοκρασία του λουτρού λαδιού ποικίλλει ανάλογα με τον χρησιμοποιούμενο διαλύτη. Η αμερικανική εκδοχή αυτής της μεθόδου προτείνει τη χρήση αζώτου ή διοξειδίου του άνθρακα για την αποτροπή της σκλήρυνσης της ανακτημένης ασφάλτου (Bowers et al 2014).

Στην μέθοδο Asbon το διάλυμα ασφαλτόστρωσης επιτυγχάνεται μετά την εξαγωγή χρησιμοποιώντας μια φυγόκεντρη αντλία. Το μίγμα στη συνέχεια μεταφέρεται στην δεξαμενή ανάκτησης και το σύστημα θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία και διυλίζεται με ανακυκλοφορία διοξειδίου του άνθρακα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η συσκευή ανάκτησης διαφέρει από τον εξοπλισμό στην περιστρεφόμενη εξάτμιση.



Σχήμα 3.3 Η μέθοδος Asbion για την ανάκτηση ασφαλτικών υλικών (ASTM D5404/D5404M, 2011)

Η επίδραση των ανακυκλωμένων ασφαλτικών υλικών στην απόδοση του οδοστρώματος μελετήθηκε από τους Noferini et al (2017) και απέδειξαν πως το ποσοστό ανακυκλωμένων υλικών που χρησιμοποιούνται επιδρούν σημαντικά στις ιδιότητες του τελικού μίγματος ασφαλτόστρωσης.

3.3.2 Ξύλο

Το καθαρό και μολυσμένο ξύλο αποτελεί συνήθως ένα μεγάλο ποσοστό των συνολικών αποβλήτων C & D. Ο όρος "καθαρό ξύλο" αναφέρεται σε ξυλεία πριονισμένη στην οποία δεν έχουν προστεθεί κόλλες, ρητίνες, πλαστικά ή άλλα υλικά. Το "μολυσμένο ξύλο", γνωστό και ως "βρώμικο ξύλο", περιλαμβάνει τα επεξεργασμένα προϊόντα ξύλου στα οποία έχουν προστεθεί κόλλες και ρητίνες, καθώς και προϊόντα ξύλου με χρώματα που εφαρμόζονται σε αυτά. Παραδείγματα επεξεργασμένου ξύλου περιλαμβάνουν το κόντρα πλακέ, τις μοριοσανίδες και τα επιστρωμένα προϊόντα ξύλου. Ορισμένα πρόσθετα όπως οι ρητίνες με βάση τη φορμαλδεΰδη και τα χρώματα μόλυβδου είναι ιδιαίτερα δηλητηριώδη και η παρουσία

τους μπορεί να περιορίσει τις διαθέσιμες επιλογές για την ανακύκλωση μολυσμένου ξύλου (Varsha et al 2016).

3.3.3 Τούβλα και σκυρόδεμα

Όταν η αποικοδόμηση του σκυροδέματος και των τούβλων γίνει με κατάλληλο τρόπο τα τούβλα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν μετά την αφαίρεση του κονιάματος. Τα σπασμένα τούβλα χρησιμοποιούνται για την αναγόμωση ομάδων δομικών υλικών. Η χρήση των ανακυκλωμένων αδρανών είναι ιδιαίτερα ελπιδοφόρα δεδομένου ότι το 75% του σκυροδέματος αποτελείται από αδρανή. Στην περίπτωση αυτή ως αδρανή θεωρούνται η σκωρία τα απόβλητα των εργοστασίων παραγωγής ενέργειας ανακυκλωμένο σκυρόδεμα και εξόρυξη (Vasha et al 2016).

Οι Wagih et al (2013) μελέτησαν την αντικατάσταση των φυσικών αδρανών του σκυροδέματος από ανακυκλωμένα αδρανή σκυροδέματος. Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν αδρανή όπως η άμμος, και το σπασμένο σκυρόδεμα που επιτυγχάνεται από διάφορες πηγές. Μελετήθηκε η επίδραση του μεγέθους των αδρανών της ποιότητας και της περιεκτικότητας του τσιμέντου και αποδείχθηκε ότι το σκυρόδεμα μπορεί να μετασχηματίζεται σε χρήσιμα ανακυκλώσιμα αδρανή και να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή σκυροδέματος με παρόμοιες ιδιότητες με το δομικό σκυρόδεμα.

Οι Cavalline και Weggel (2018) ανέπτυξαν δομικά μίγματα σκυροδέματος χρησιμοποιώντας ανακυκλωμένα θραύσματα τούβλων από ένα συγκεκριμένο χώρο κατεδάφισης ως υποκατάστατα των φυσικών αδρανών. Πριν από την ανάπτυξη μιγμάτων σκυροδέματος διεξήχθη έλεγχος για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων του ολόκληρου πλίνθου και των πλακιδίων καθώς και του θρυμματισμένου ανακυκλωμένου αδρανούς τοιχοποιίας και αναπτύχθηκε μια βάση δεδομένων για τις ιδιότητες των υλικών.

3.3.4 Έδαφος και άμμος

Το έδαφος και η άμμος παράγονται από τις εργασίες προετοιμασίας και εκσκαφής που σχετίζονται με τις κατασκευαστικές δραστηριότητες. Οι τεράστιες ποσότητες λεπτών

υλικών παράγονται μέσω αυτών των δραστηριοτήτων και εκτός αν το υλικό μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί στο χώρο αυτό απαιτείται η ανακατασκευή του. Τα απόβλητα αυτά περιέχουν σωματίδια εδάφους, άμμου και άλλα υπο-4,75 mm σωματίδια από μικτά απόβλητα (Vasha et al 2016).

3.3.5 Γυαλί

Τα απορρίμματα γυαλιού από κατασκευαστικά έργα είναι περιορισμένα καθώς τα γυάλινα παράθυρα τα κεραμίδια και οι επενδύσεις είναι διαθέσιμα σε διάφορα μεγέθη. Το γυαλί αποτελεί ένα συχνά μικρό ποσοστό των αποβλήτων κατεδάφισης καθώς χρησιμοποιείται μόνο στα παράθυρα τους καθρέπτες και τα προϊόντα μόνωσης σε παλαιότερες κυρίως κατασκευές (Vasha et al 2016).

3.4 Χημική σύσταση ανακυκλώσιμων αδρανών

Τα ανακυκλώσιμα αδρανή καθορίζονται σαν τα αδρανή που προέρχονται από την επεξεργασία των ανόργανων υλικών που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί στις κατασκευές. Τα αρχικά υλικά προέλευσης τους είναι τα υλικά αποβλήτων που παράγονται κατά τη διάρκεια των διαδικασιών κατασκευής και κατολίσθησης. Ειδικότερα τα ανακυκλώσιμα αδρανή του σκυροδέματος προέρχονται από την ανακύκλωση των αποβλήτων του σκυροδέματος (Malesev et al 2010)..

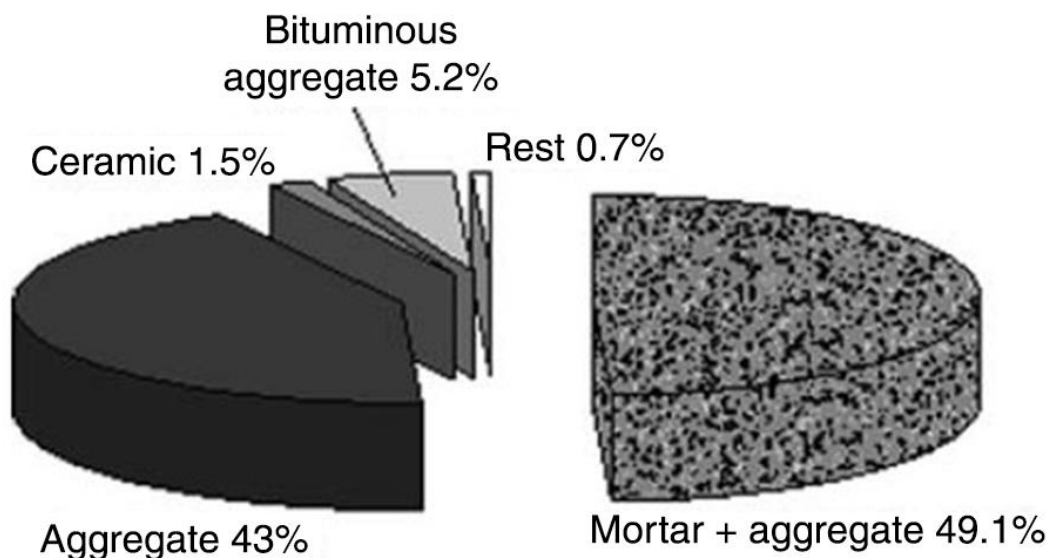
Με δεδομένο ότι το ιστορικό και οι ιδιότητες των αρχικών υλικών των κατασκευών και των κατολισθήσεων δεν είναι πιθανόν να είναι γνωστά η εξακρίβωση της χημικής σύστασης των ανακυκλώσιμων αδρανών είναι σημαντική. Λαμβάνοντας υπόψη τη μεγάλη ποικιλία των περιβαλλοντικών συνθηκών στις οποίες έχουν εκτεθεί τα συγκεκριμένα υλικά η χημική τους σύσταση επηρεάζει σημαντικά την απόδοση του σκυροδέματος που χρησιμοποιείται στις κατασκευές. Αυτό καθιστά ακόμα πιο σημαντική τη σύσταση των ανακυκλώσιμων αδρανών που θα χρησιμοποιηθούν σε άλλες εφαρμογές αποτρέποντας τις επιπλοκές που προκύπτουν από τη χρήση τους (Silva et al 2017).

Τα υδατοδιάλυτα θειικά άλατα που περιέχονται στα ανακυκλώσιμα αδρανή λειτουργούν ως αντιδραστήρια και μπορεί να προκαλέσουν διάφορες αντιδράσεις (CS3:2013). Ο γύψος εμφανίζεται σε λεπτές διασκορπισμένες μορφές και προέρχεται κυρίως από κατασκευές γυψοσανίδας. Ο γύψος έχει αρνητική επίδραση στην ποιότητα

του υλικού εξαιτίας της διαλυτότητας, της χαμηλής σκληρότητας και της χαμηλής πυκνότητας.

Τα ανακυκλώσιμα αδρανή του σκυροδέματος έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε θειϊκά σε σχέση με τα φυσικά αδρανή εξαιτίας των θειϊκών αλάτων του προσκολλημένου κονιάματος στο τσιμέντο (Juan and Gutiérrez, 2009).

Ο προσδιορισμός της μέγιστης περιεκτικότητας όξινων διαλυτών θειϊκών ενώσεων στα ανακυκλώσιμα στερεά πρέπει να πραγματοποιείται σε κάθε περίπτωση ξεχωριστά για κάθε περίπτωση και είναι πολύ μικρό το όριο με βάση το οποίο τα όξινα διαλυτά θειϊκά μπορεί να αποτρέψουν την χρήση των ανακυκλώσιμων αδρανών (CS3 2013).



Σχήμα 3.4 Σύσταση των ανακυκλωμένων αδρανών σκυροδέματος (Exteberria et al 2007).

Η χημική σύσταση των ανακυκλώσιμων αδρανών που υπάρχουν στα υλικά που προέρχονται από τις κατασκευές και τις κατεδαφίσεις περιέχει σημαντικές ποσότητες χλωριδίων οι οποίες επιδρούν σημαντικά στην υποβάθμιση του σκυροδέματος. Τα απόβλητα που προέρχονται από κατασκευές και κατεδαφίσεις θαλάσσιων έργων έχουν μεγάλη περιεκτικότητα χλωριδίων και για αυτό η εφαρμογή τους στο χάλυβα (CS3 2013).

Οι βασικές διαφορές ανάμεσα στα ανακυκλώσιμα αδρανή του σκυροδέματος και τα φυσικά αδρανή οφείλονται στην ύπαρξη του προσκολλημένου κονιάματος που καθιστά υποδιαίστερες τις μηχανικές τους ιδιότητες από τα φυσικά αδρανή. Η ποιότητα και η ποσότητα του προσκολλημένου κονιάματος καθορίζει την ποιότητα των ανακυκλώσιμων αδρανών και κατά συνέπεια την ποιότητα του ανακυκλώσιμου σκυροδέματος (Jiménez et al 2014).

3.5 Η ανακύκλωση των υλικών κατασκευών και κατεδάφισης

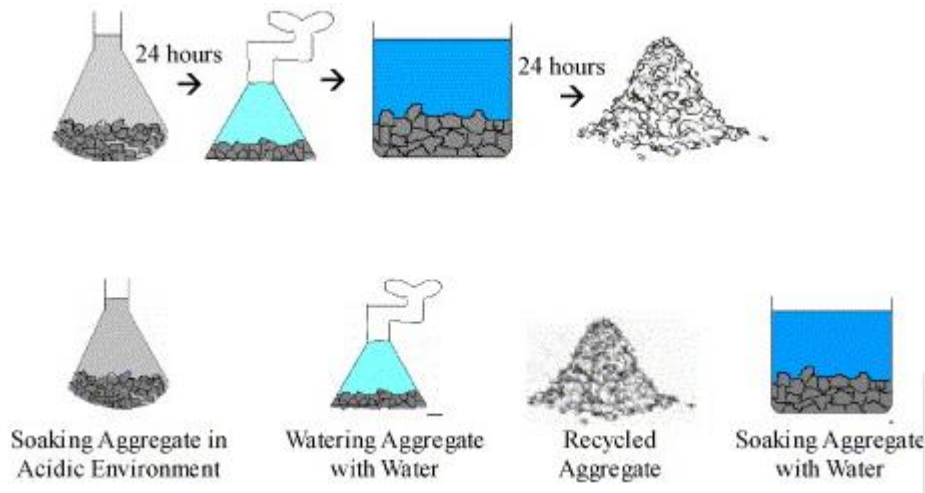
Η ανακύκλωση ορίζεται ως η περαιτέρω επεξεργασία του χρησιμοποιηθέντος υλικού για την περαιτέρω χρήση στην ανάπτυξη νέων υλικών με προστιθέμενη αξία. Η αναπόσπαστη τεχνική πίσω από τη διαδικασία ανακύκλωσης περιλαμβάνει τη διάσπαση του κατεδαφισμένου σκυροδέματος για την παραγωγή θραυσμάτων μικρότερου μεγέθους και την υποβολή του σε μια σειρά από επιδόσεις όπως η αφαίρεση ρύπων σε διαφορετικά στάδια επιλογής και διαλογής. Τα αδρανή υψηλής ποιότητας μπορούν επίσης να υποβληθούν σε διάφορες διαδικασίες όπως συσσώρευση στη σύνθλιψη την πίεση την διαλογή τον έλεγχο και την εξάλειψη των ρυπαντικών ουσιών ανάλογα με την εφαρμογή στην οποία θα χρησιμοποιηθούν τα ανακυκλωμένα υλικά (Sonawane, and Pimplikar. 2012).

Τα υπολείμματα κατεδάφισης μπορούν να συνθλιβιστούν από διάφορους θραυστήρες όπως θραυστήρα σιαγόνων, μύλο σφύρας, θραυστήρα κρούσης και θραυστήρα κώνου ή χειροκίνητα με σφυρί (Li 2008). Η χρήση διαφορετικού είδους θραυστήρα έχει επίδραση στις μηχανικές και φυσικές ιδιότητες των ανακυκλώσιμων αδρανών ανάλογα με το πόσο αποτελεσματική είναι η διαδικασία θραύσης και κατά συνέπεια επηρεάζει την απόδοση του σκυροδέματος (Matias et al 2013).

Στην πρωτογενή σύνθλιψη χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο οι θραυστήρες σιαγόνων δεδομένου ότι έχουν την ιδιότητα να συνθλίβουν υπερμεγέθη σκυροδέματος σε συγκρίσιμα μεγέθη με τη δευτερογενή σύνθλιψη. Οι θραυστήρες πρόσκρουσης από την άλλη προτιμούνται για την δευτερογενή σύνθλιψη καθώς παράγουν καλύτερη ποιότητα συσσωμάτων με μικρότερη ποσότητα προσκολλημένου κονιάματος (Etxeberria et al 2007).

Η επιλογή των θραυστήρων στα διάφορα στάδια εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το μέγιστο μέγεθος τροφοδοσίας, η ποιότητα της παραγωγής, το επιθυμητό μέγεθος σωματιδίων και το σχήμα των διαφόρων κλασμάτων και η ποσότητα των παραγόμενων λεπτών σωματιδίων (Mehta and Meryman., 2009).

Οι Tam et al (2007) ανέπτυξαν τρεις μεθόδους αρχικής επεξεργασίας των αδρανών προκειμένου να μειώσουν την ποσότητα του κονιάματος που προσκολλάται στα ανακυκλωμένα αδρανή. Με δεδομένο ότι τα αδρανή αποτελούν το 70-80 % του σκυροδέματος η επιλογή τους και η αναλογία τους σε αυτό πρέπει να είναι προσεκτική δεδομένου ότι αποτελούν στοιχεία που ελέγχουν σε σημαντικό βαθμό την ποιότητα του σκυροδέματος. Επιπλέον τα αδρανή ενισχύουν το σκυρόδεμα με καλύτερη σταθερότητα και αντοχή στη φθορά. Η επιλογή των αδρανών σύμφωνα με τους Tam et al (2007) βασίζεται στην οικονομία του μίγματος στην αντοχή της σκληρυνόμενης μάζας και στην πιθανή ανθεκτικότητα της δομή του σκυροδέματος. Επιπλέον η διαφορά μεταξύ των συνήθων αδρανών και των ανακυκλώσιμων αδρανών συνίσταται στην ποσότητα του κονιάματος που εφάπτεται στην επιφάνεια των αδρανών. Μετά τη θραύση του σκυροδέματος υπάρχει ένα στρώμα κονιάματος που παραμένει προσκολλημένο στα θραύσματα σχηματίζοντας ένα λεπτό πορώδες στρώμα ψαθυρό το οποίο επηρεάζει τις ιδιότητες των αδρανών με αποτέλεσμα η απομάκρυνση του να θεωρείται η καταλληλότερη μέθοδος βελτίωσης της ποιότητας τους. Στην μελέτη των Tam et al (2007) προτείνονται τρεις μέθοδοι αρχικής επεξεργασίας των αδρανών. Οι συγκεκριμένες διεργασίες περιλαμβάνουν τον αρχικό εμβαπτισμό των ανακυκλώσιμων αδρανών σε όξινο περιβάλλον στους 20° C για 24h και στη συνέχεια το πλύσιμο τους με απιονισμένο νερό προκειμένου να απομακρυνθεί το οξύ. Στη συγκεκριμένη εργασία ως όξινα διαλύματα χρησιμοποιήθηκαν το υδροχλωρικό οξύ το θειικό οξύ και το φωσφορικό οξύ και αποδείχθηκε πως η προεπεξεργασία των ανακυκλώσιμων αδρανών μειώνει την ικανότητα προσρόφησης των ανακυκλώσιμων αδρανών χωρίς να επηρεάζονται η αλκαλικότητα τους και η περιεκτικότητά τους σε θειικά καθιστώντας ικανοποιητική την ποιότητα τους για περαιτέρω κατασκευαστικές χρήσεις.



Σχήμα 3.5: Μέθοδος προεπεξεργασίας για τα ανακυκλωμένα αδρανή και ερμηνεία συμβόλων (Tam et al 2007)

Οι Juan et al (2009) περιγράφουν την διαδικασία ανακύκλωσης κατασκευαστικών υλικών στη Μαδρίτη η οποία αποτελείται από διπλή θραύση και διαχωρισμό μέσω δονήσεων. Τα μεταλλικά υλικά στη συγκεκριμένη μονάδα απομακρύνονται μέσω μαγνητικού ιμάντα και τα μεγάλου μεγέθους απόβλητα όπως τα πλαστικά το χαρτί και το γυαλί κλπ εξάγονται χειροκίνητα. Από τη συγκεκριμένη μονάδα παράγονται διάφορα υλικά όπως ασφαλτικά υλικά και αδρανή σκυροδέματος. Τα αδρανή σκυροδέματος επιλέχθηκαν στη συγκεκριμένη εργασία για περιοδικό έλεγχο και αποδείχθηκε πως η ποιότητα των ανακυκλωμένων αδρανών του σκυροδέματος είναι μικρότερη από την αντίστοιχη των φυσικών αδρανών εξαιτίας του κονιάματος που παραμένει προσκολλημένο στην επιφάνεια τους αλλά δεν μπόρεσε η ύπαρξη του να συσχετιστεί με τις υπόλοιπες ιδιότητες τους.

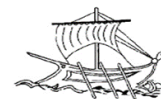


Σχήμα 3.6: Ανακυκλώσιμα αδρανή σκυροδέματος (Juan et al 2009).

Οι Tam and Tam (2006) συνόψισαν τις τεχνολογίες ανακύκλωσης των αποβλήτων από τις κατασκευές και κατεδάφισεις θεωρώντας δέκα διαφορετικά υλικά που συμπεριλαμβάνουν την ασφαλτο, το τούβλο, το σκυρόδεμα, τα σιδηρούχα μέταλλα το γυαλί, τα υλικά τοιχοποιίας χαρτιά και χαρτόνια και ξύλα. Στη συγκεκριμένη εργασία συγκεντρώνονται οι πιθανές μέθοδοι ανακύκλωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανακύκλωση των υλικών και προσδιορίζονται και τα προϊόντα που προκύπτουν από αυτήν.

Πίνακας 3.2 Σύνοψη των τεχνολογιών ανακύκλωσης υλικών κατασκευών και κατολισθήσεων (Tam and Tam 2006)

Υλικό κατασκευής και κατεδάφισης	Τεχνολογία ανακύκλωσης	Ανακυκλωμένο προϊόν
Άσφαλτος	Κρύα ανακύκλωση Θερμή παραγωγή Διαδικασία παράλληλων τυμπάνων Τύμπανα επιμήκυνσης Αναγέννηση επιφανειών	Ανακυκλωμένη ασφαλτος Αδρανή ασφάλτου
Τούβλα	Καύση σε στάχτη	Λεπτή καιόμενη στάχτη



	Σπάσιμο σε αδρανή	Υλικό πλήρωσης Σκληρός πυρήνας
Σκυρόδεμα	Θραύση σε αδρανή	Ανακυκλώσιμα αδρανή Τσιμέντο αντικατάστασης Προστατευτικό ποταμών Πληρωτικό υλικό
Σιδηρούχα μέταλλα	Τήξη Άμεση επαναχρησιμοποίηση	Ανακυκλωμένο σκραπ χάλυβα
Γυαλί	Άμεση επαναχρησιμοποίηση Άλεσμα σε σκόνη Γυάλισμα Σπάσιμο σε αδρανή Καύση προς στάχτη	Ανακυκλωμένες μονάδες παραθύρων Πληρωτικό υλικό Πλακάκια Ανοίγματα Ανακυκλωμένα αδρανή Αντικατάσταση τσιμέντου Τεχνητό χώμα
Τοιχοποιία	Σπάσιμο σε αδρανή Θέρμανση στους 900° C προς το σχηματισμό στάχτης	Σκυρόδεμα θερμικής μόνωσης Παραδοσιακά ορυκτά τούβλα Τούβλα πυρηντικού νατρίου
Μη σιδηρούχα μέταλλα	Τήξη	Ανακυκλωμένα μέταλλα
Χαρτί και χαρτόνι	Απορρόφηση	Ανακυκλωμένο χαρτί
Πλαστικό	Μετατροπή σε σκόνη με κρυογενική άλεση Αποκοπή Σπάσιμο σε αδρανή Καύση προς στάχτη	Πάνελ Ανακυκλωμένο πλαστικό Πλαστική ξυλεία Ανακυκλώσιμα αδρανή Αποχέτευση αποβλήτων Άσφαλτος

		Τεχνητό χρώμα
Ξυλεία	Άμεση επαναχρησιμοποίηση Κοπή σε αδρανή Αποξείδωση υψικαμίνου Αεριοποίηση ή πυρόλυση Απομάκρυνση Χύτευση με συμπίεση ξύλου με ατμό και νερό	Ολική ξυλεία Έπιπλα και σκεύη κουζίνας Ελαφρά ανακυκλώσιμα αδρανή Πηγές ενέργειας Χημική παραγωγή Ξύλινα πλαίσια Πλαστική ξυλεία Γεωίνες Πλάισια μόνωσης

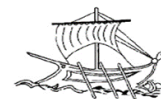
3.6 Εφαρμογές της κυκλικής οικονομίας στα υλικά κατασκευής και κατεδάφισης

Η εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας στο περιβάλλον κατασκευών από συνολική άποψη έχει μελετηθεί σε μικρό βαθμό. Στην Ευρώπη το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας και της δραστηριότητας εστιάζει στις τελικές λύσεις διαχείρισης των παραγόμενων αποβλήτων γεγονός που οδηγεί στην καλύτερη διαχείριση τους (Yuan and Shen 2011).

Τα βασικά στοιχεία που λαμβάνονται υπόψη στην εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας στη διάρκεια ζωής των κτηρίων φαίνονται στον πίνακα 3.2 που ακολουθεί.

Πίνακας 3.3 Θέματα κυκλικής οικονομίας που λαμβάνονται υπόψη στη διάρκεια ζωής ενός κτηρίου (Adams et al 2017).

Στάδιο κύκλου ζωής	Ζητήματα κυκλικής οικονομίας
Σχεδιασμός	<ul style="list-style-type: none"> • Σχεδιασμός για προσαρμοστικότητα και ευελιξία • Σχεδιασμός για προτυποποίηση • Σχεδιασμός αποβλήτων



	<ul style="list-style-type: none">• Σχεδιασμός ορθότητας• Καθορισμός ανακτώμενων υλικών• Καθορισμός ανακυκλώσιμων υλικών
Κατασκευή και προμήθεια	<ul style="list-style-type: none">• Αρχές οικολογικού σχεδιασμού• Βέλτιστη χρήση υλικών• Χρήση μη επικύνδυνων υλικών• Αύξηση της διάρκειας ζωής• Σχεδιασμός αποσυναρμολόγησης προϊόντων• Σχεδιασμός τυποποίησης προϊόντων• Χρήση δευτερευόντων υλικών• Σχεδιασμός απόσυρσης• Αντίστροφη υλικοτεχνική υποστήριξη
Κατασκευή	<ul style="list-style-type: none">• Ελαχιστοποίηση αποβλήτων• Προμήθεια επαναχρησιμοποιήσιμων υλικών• Προμήθεια ανακυκλώσιμων υλικών
Χρήση και ανακαίνιση	<ul style="list-style-type: none">• Ελαχιστοποίηση αποβλήτων• Ελάχιστη συντήρηση• Εύκολη επισκευή και αναβάθμιση• Ικανότητα προσαρμογής• Ευκαμψία
Τέλος Ζωής	<ul style="list-style-type: none">• Αποδόμηση• Επιλεκτική κατεδάφιση

	<ul style="list-style-type: none"> • Επαναχρησιμοποίηση προϊόντων και εξαρτημάτων • Ανακύκλωση κλειστού βρόγχου • Ανακύκλωση ανοικτού βρόγχου
--	--

Τα ζητήματα της κυκλικής οικονομίας που αφορούν στις κατασκευές και την κατεδάφιση δεν εξετάζονται στο σύνολο τους αλλά συνήθως μεμονωμένα από τους διάφορους ερευνητές (Adams et al 2017).

Οι Adams et al (2017) πραγματοποίησαν μια έρευνα για να αναλύσουν από βιομηχανικής σκοπιάς την ευαισθητοποίηση ως προς την κυκλική οικονομία, τις προκλήσεις και τα κίνητρα. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι ενώ υπάρχει ευρεία βιομηχανική ευαισθητοποίηση για την κυκλική οικονομία οι πελάτες, οι σχεδιαστές και οι μέτοχοι είναι οι λιγότερο πληροφορημένοι και αυτό αποτελεί βασική πρόκληση για την περαιτέρω υιοθέτηση της.



Σχήμα 3.7 Η ευαισθησία για την κυκλική οικονομία στον κατασκευαστικό τομέα όπως προσδιορίστηκε από τους Adams et al (2017).

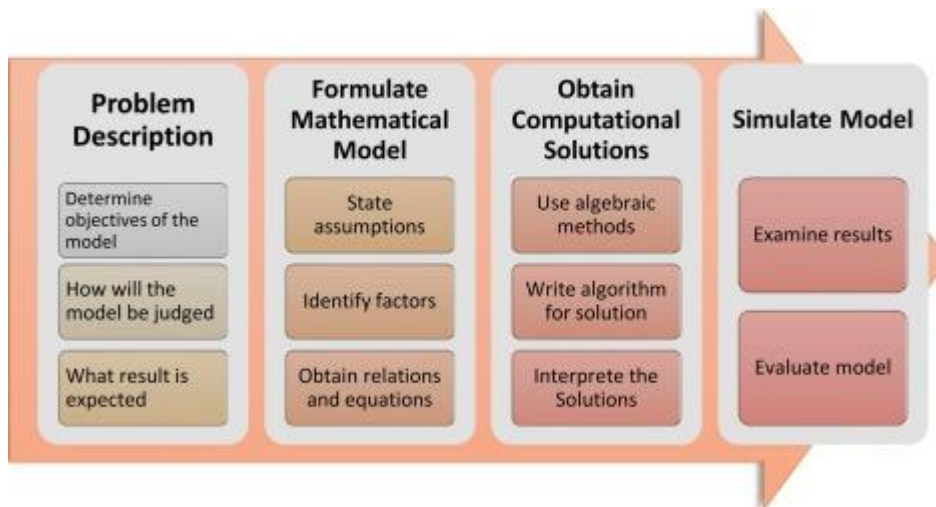
Οι πιο σημαντικές προκλήσεις που προσδιορίστηκαν από τους Adams et al (2017) ήταν η έλλειψη κινήτρων για το σχεδιασμό του τέλους ζωής των κατασκευών καθώς και η έλλειψη μηχανισμών της αγοράς έτσι ώστε να διασφαλίζεται μεγαλύτερη

ανάκτηση υλικών. Οι προκλήσεις αυτές σε συνδυασμό με την περιορισμένη φύση της κατασκευαστικής βιομηχανίας συνηγορούν στο ότι απαιτούνται περισσότερα κίνητρα για την ικανοποίηση της μετάβασης σε μια κυκλική οικονομία. Οι τεχνικές προκλήσεις που περιλαμβάνουν την έλλειψη δρόμων ανάκτησης και το σύνθετο σχεδιασμό των κτηρίων είναι δυνατόν να υπερπηδηθούν με την περαιτέρω έρευνα.

Η μοντελοποίηση πληροφοριών των κτηρίων (Building Information Modeling, BIM) αποτελεί μια ολοκληρωμένη διαδικασία που συμπεριλαμβάνει την συνεργατική ανάπτυξη και την χρήση ενός παραγόμενου παραμετρικού μοντέλου των κτηρίων έτσι ώστε να είναι εφικτή η διαχείριση των κτηρίων από το σχεδιασμό στη λειτουργία τους (Azhar et al 2008).

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του BIM που το καθιστά ιδανικό για την ολοκλήρωση της κυκλικής οικονομίας είναι η ικανότητα του να συσσωρεύει τις πληροφορίες της διάρκειας ζωής των κτηρίων (Eadle et al 2013). Η διασφάλιση της αποτελεσματικότητας της κυκλικής οικονομίας στην κατασκευαστική βιομηχανία απαιτεί να είναι γνωστή η κατάσταση και η ποιότητα των υλικών των κτηρίων στην οικονομία. Αυτό είναι εφικτό θεωρώντας την εκτίμηση των υλικών των κτηρίων κατά τη διάρκεια της ζωής τους αλλά και κατά το τέλος της ζωής τους. Κατά συνέπεια το BIM προσφέρει τρία βασικά χαρακτηριστικά που είναι βασικά για την συνολική απόδοση της διαχείρισης των κτηρίων τα οποία είναι η μοντελοποίηση των παραμέτρων του αντικειμένου, η αμφίδρομη συσχέτιση και η έξυπνη μοντελοποίηση (Bilal et al 2016).

Οι Akanbi et al (2018) ανέπτυξαν ένα μοντέλο BMI για την εκτίμηση της απόδοσης συνολικής ζωής προκειμένου να εκτιμήσουν την απόδοση των δομικών στοιχείων των κτηρίων στην φάση σχεδιασμού. Τα αποτελέσματα τους έδειξαν πως τα κτήρια από χάλυβα παράγουν ανακτώμενα υλικά που στην πλειοψηφία τους είναι επαναχρησιμοποιούμενα.



Σχήμα 3.8 Η μαθηματική διαδικασία που ακολουθήθηκε από τους Akanbi et al 2018.

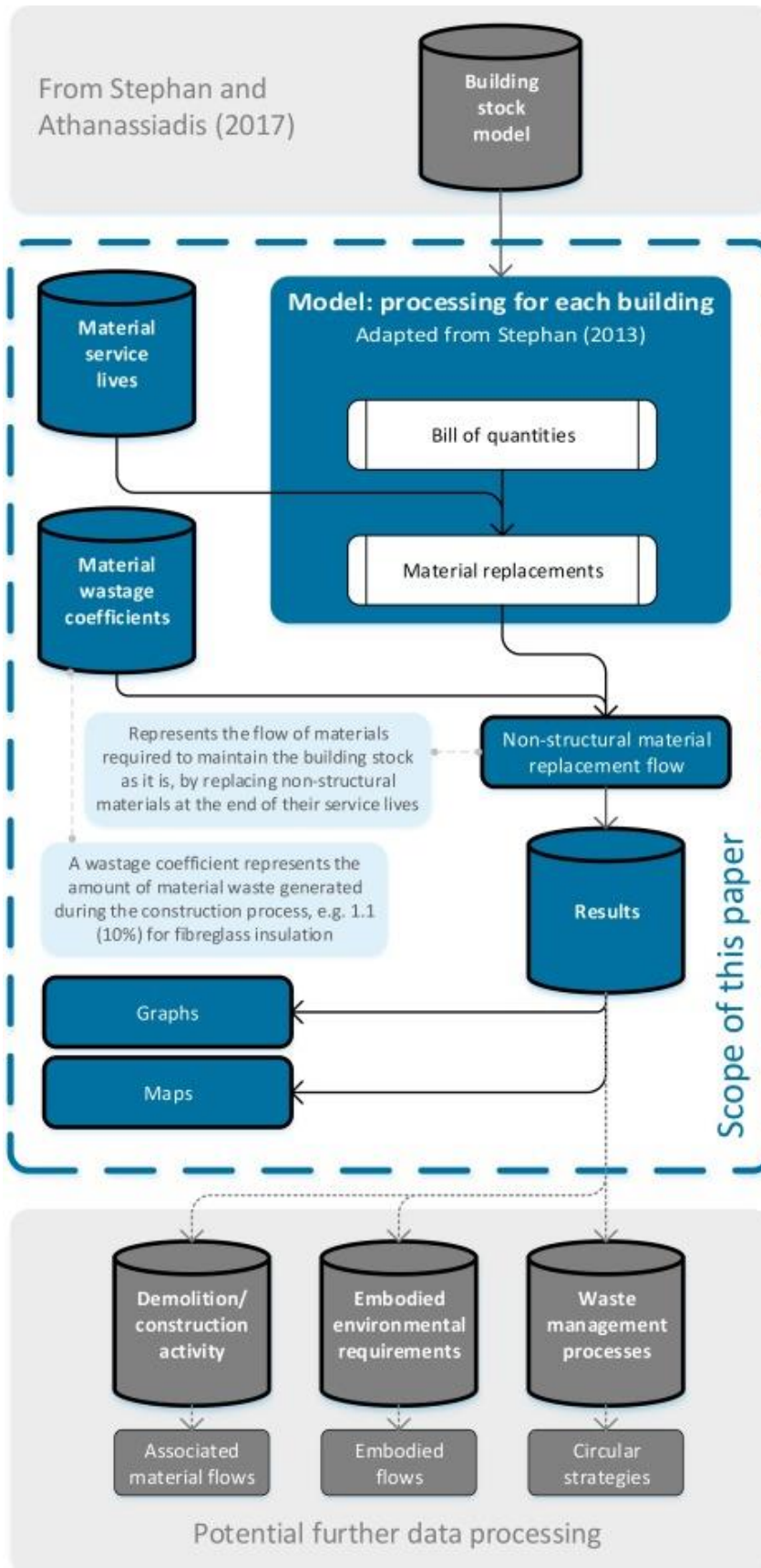
Σε παγκόσμιο επίπεδο ο κατασκευαστικός κλάδος καταναλώνει το μεγαλύτερο μέρος των υλικών και όπως ήδη αναφέρθηκε έχει και το μεγαλύτερο μερίδιο της τοπικής παραγωγής αποβλήτων. Η σημασία του κατασκευαστικού κλάδου σε όρους κατανάλωσης υλικών αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά στις επόμενες δεκαετίες (Fishman et al 2016).

Η μετάβαση προς μια περισσότερο κυκλική οικονομία, όπου οι ροές παραγωγής θα μπορούσαν να επανενταχθούν ως δευτερεύοντες πόροι, παρουσιάζεται ως μια πολλά υποσχόμενη λύση στον κατασκευαστικό τομέα σε εθνικό και διεθνές επίπεδο (Ellen MacArthur Foundation, 2015). Παρόλα αυτά είναι εμφανές ότι σήμερα η οικονομία είναι μόνο κατά 6% κυκλική με αποτέλεσμα να υπάρχει αναντιστοιχία στις πολιτικές προσδοκίες και στις τρέχουσες πρακτικές. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα κατασκευαστικά υλικά ανακυκλώνονται και επαναχρησιμοποιούνται σε δρόμους. Τέτοιες λύσεις υποβαθμίζουν σημαντικά την τεχνική και οικονομική αξία των δομικών υλικών, αντιμετωπίζοντας μόνο εν μέρει τη ζήτηση για φυσικούς πόρους και παραγωγή και τη διαχείριση αποβλήτων (Cullen 2017).

Η υλοποίηση ρεαλιστικών πολιτικών κυκλικής οικονομίας για το δομημένο περιβάλλον όπως η αστική εξόρυξη απαιτεί την πλήρη κατανόηση του τύπου των υλικών που εισέρχονται εξέρχονται και αποθηκεύονται μέσα στις πόλεις. Έχει ήδη πραγματοποιηθεί η αξιολόγηση αυτών των ροών και των αποθεμάτων

χρησιμοποιώντας στατικές και δυναμικές προσεγγίσεις καθώς και εστιάζοντας σε διαφορετικούς τύπους ροών υλικών (Hu et al 2010).

Οι Stephan and Athanasiadis, (2018) πρότειναν ένα πλαίσιο για την ποσοτικοποίηση την χωροθέτηση και την εκτίμηση της μελλοντικής αντικατάστασης της ροής των υλικών για τη διατήρηση των αστικών κτηριακών αποθεμάτων. Χρησιμοποίησαν για το σκοπό αυτό ένα δυναμικό μοντέλο που βασίζονταν στα αποθέματα και είχε ως βάση την Μελβούρνη της Αυστραλίας για την εκτίμηση των υπάρχοντων υλικών καθώς και των μελλοντικών αντικαταστάσεων των μη δομικών υλικών από το 2018 έως το 2030. Το συγκεκριμένο μοντέλο που αναπτύχθηκε δίνει σε μεγάλη λεπτομέρεια το χαρακτηρισμό μεμονωμένων υλικών μέσα στα συγκροτήματα κατασκευής για κάθε ένα από τα κτήρια που εξετάστηκαν.

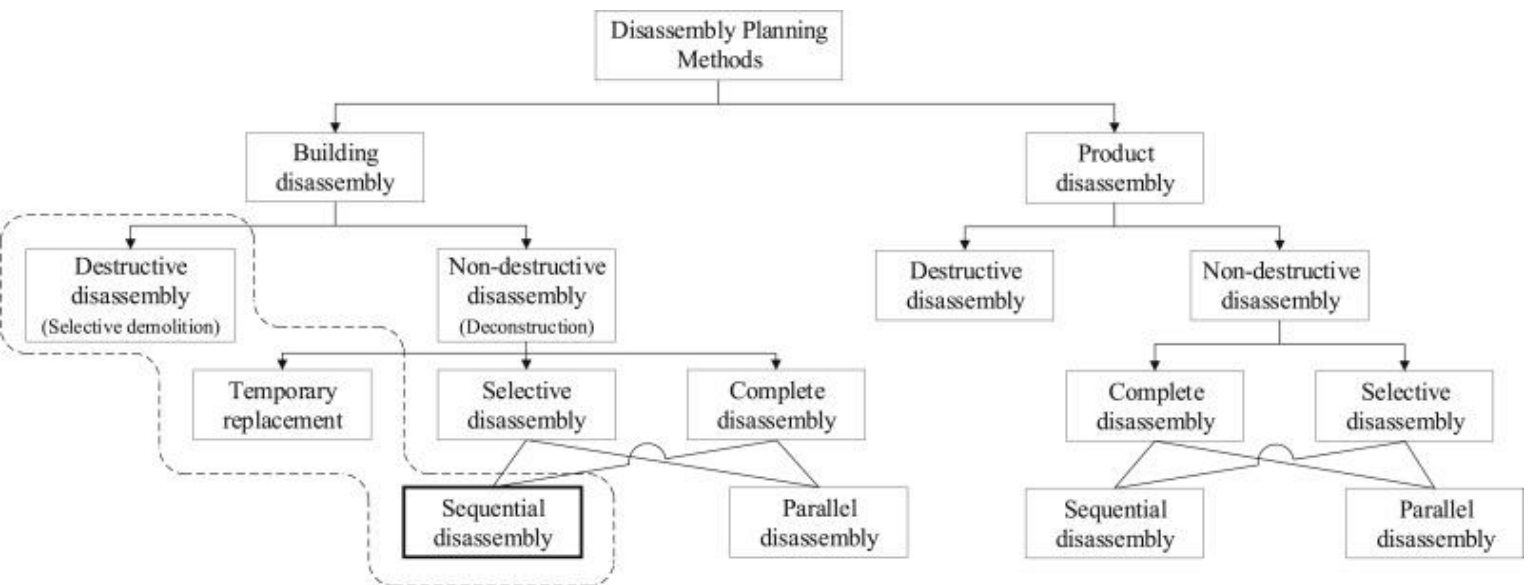


Σχήμα 3.9 Η δομή του μοντέλου που αναπτύχθηκε από τους Stephen and Athanassiadis, (2018).

Τα αποτελέσματα έδειξαν πως οι γυψοσανίδες τα χαλιά η ξυλεία και τα κεραμικά παρουσιάζουν τον μεγαλύτερο ρυθμό αντικατάστασης σε ετήσια βάση για την εξεταζόμενη περίοδο. Συνολικά η αντικατάσταση των μη δομικών υλικών οδηγεί σε μια σημαντική ροή υλικών που είναι συμβατή με τα στατιστικά στοιχεία των παραγόμενων αποβλήτων (Stephen and Athanassiades, 2018).

Η προσαρμοστική επαναχρησιμοποίηση των κτιρίων μπορεί να αποτελέσει ελκυστική εναλλακτική λύση για τις νέες κατασκευές όσον αφορά τη βιωσιμότητα και την κυκλική οικονομία. Η επίτευξη καθαρών οφελών από την προσαρμοστική επαναχρησιμοποίηση εξαρτάται εν μέρει από τον αποτελεσματικό σχεδιασμό της αποσυναρμολόγησης κτιρίων. Τα πιθανά οφέλη της προσαρμοστικής επαναχρησιμοποίησης βασίζονται στο γεγονός πως είναι δυνατή η απομάκρυνση εξαρτημάτων από ένα παρωχημένο κτήριο και στη συνέχεια είναι εφικτή η επισκευή, η επαναχρησιμοποίηση η ανακατασκευή ή η ανακύκλωση τους. Για τα υπάρχοντα στοιχεία ο σχεδιασμός και η αποσυναρμολόγηση παίζει βασικό ρόλο στη διαδικασία προσαρμοστικής επαναχρησιμοποίησης όπου η ακολουθία σχεδιασμού αποσυναρμολόγησης καθώς και οι μέθοδοι αποσυναρμολόγησης για την ανάκτηση των συστατικών στόχων πρέπει να εκτελούνται αποτελεσματικά (Sanchez and Haas, 2018).

Οι Sanchez and Haas (2018) δημιούργησαν ένα πλαίσιο αναφοράς για τον βασικό ρόλο της προσαρμοστικής επαναχρησιμοποίησης των κτηρίων στην κυκλική οικονομία και την αλυσίδα αξιών στον τομέα των κατασκευών. Επιπλέον στην εργασία τους περιγράφουν τις αρχές βελτίωσης της διαδικασίας της προσαρμοστικής επαναχρησιμοποίησης μέσω μιας τεχνικής προσέγγισης όπως επίσης και τη σημασία του σχεδιασμού της αποσυναρμολόγησης στην όλη διαδικασία. Τέλος ανέπτυξαν ένα καινοτόμο σχέδιο αποσυναρμολόγησης των κτηρίων και εκτιμήθηκε η συνεισφορά του στην βελτίωση των αναποτελεσματικότητων στην διαδικασία προσαρμοστικής επαναχρησιμοποίησης.

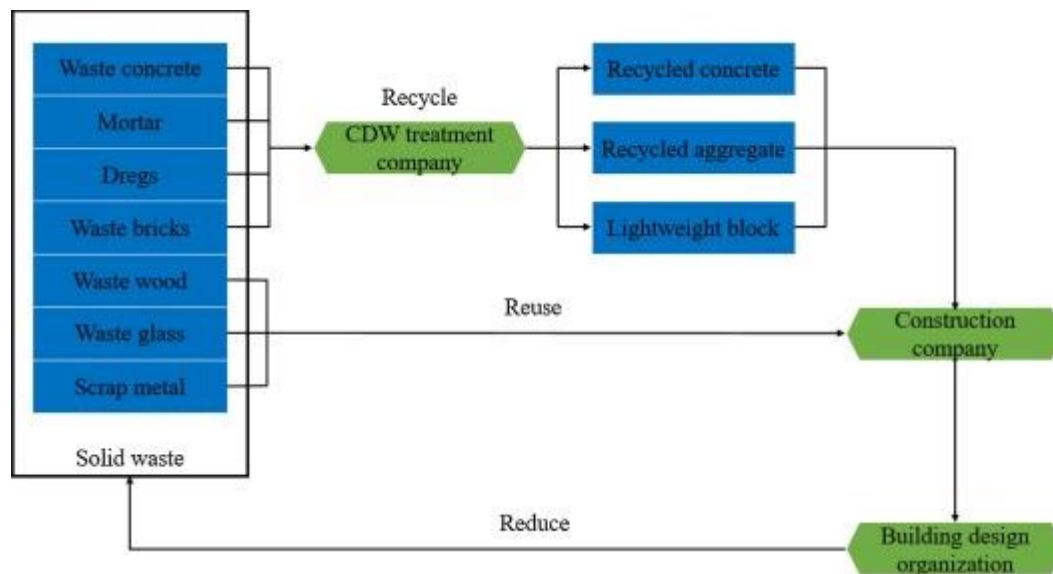


Σχήμα 3.10: Κατασκευαστικές κατηγορίες αποσυναρμολόγησης κτιρίων και προϊόντων (Sanchez and Haas 2018).

Η μέθοδος που αναπτύχθηκε αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και το κόστος απομάκρυνσης χρησιμοποιώντας αναδρομικές αναλύσεις που βασίζονται σε κανόνες για το σχεδιασμό της ανάκτησης των συστατικών των στόχων από υποσυστήματα κτηρίων πολλαπλών περιπτώσεων που βασίζονται σε φυσικούς περιβαλλοντικούς και οικονομικούς περιορισμούς. Οι αναδρομικές μέθοδοι αποδείχθηκε ότι είναι μια αποτελεσματική εναλλακτική λύση για την εξεύρεση βέλτιστων ακολουθιών αποσυναρμολόγησης εξαλείφοντας τις ασυνήθιστες ή μη ρεαλιστικές λύσεις. Αποδείχθηκε επίσης ότι το νέο πλαίσιο που αναπτύχθηκε καθιστά την προσαρμοστική επαναχρησιμοποίηση ικανή να μειώσει το κόστος της αποσυναρμολόγησης και της κατεδάφισης και να βελτιώσει τη διαδικασία σχεδιασμού (Sanchez and Haas 2018).

Οι Huang et al (2018) λαμβάνοντας υπόψη τους τα ετήσια παραγόμενα απόβλητα από τον τομέα των κατασκευών και της κατεδάφισης στην Κίνα φτάνουν τους 1.5 εκατομμύρια τόνους ποσότητα ικανή να δημιουργεί περιβαλλοντικά και κοινωνικά προβλήματα προτείνανε ένα σχέδιο διαχείρισης των συγκεκριμένων αποβλήτων βασιζόμενο στις αρχές των 3R. Αρχικά προτείνουν τον σχεδιασμό των

αποτελεσματικών μοντέλων της κυκλικής οικονομίας και στις άλλες σχετικές βιομηχανίες. Προκειμένου να ενισχυθεί η μείωση των αποβλήτων κατασκευών και κατολισθήσεων είναι απαραίτητος ο σχεδιασμός του ελέγχου των πηγών. Η ενίσχυση της εποπτείας και της διαχείρισης είναι επείγοντως αναγκαία για την εφαρμογή της επαναχρησιμοποίησης και της ανακύκλωσης των αποβλήτων κατασκευής και κατολίσθησης.



Σχήμα 3.11 Το μοντέλο κυκλικής οικονομίας για την βιομηχανία των κτηρίων όπως προτείνεται από τους Huang et al (2018).

Οι προσεγγίσεις αυτές περιλαμβάνουν τη θέσπιση ενός συνεκτικού ρυθμιστικού συστήματος "από την κορυφή προς τη βάση", τη διεξαγωγή παρακολούθησης της διαδικασίας των παραγόμενων αποβλήτων και την εφαρμογή αυστηρής τιμωρίας για τις παράνομες συμπεριφορές αντιμετώπισης τους. Καινοτόμες τεχνολογίες είναι επίσης απαραίτητες για την προώθηση της κυκλικής οικονομίας των αποβλήτων κατασκευών και κατολίσθησης. Εκτός από την προώθηση τεχνολογιών ταξινόμησης και διαχωρισμού των συγκεκριμένων αποβλήτων, θα πρέπει επίσης να διερευνηθούν οι συνεισφορές των κοινών τεχνολογιών, όπως οι προκατασκευασμένες κατασκευές και η BIM. Τέλος, προτείνεται πως η κυβέρνηση θα πρέπει να ενθαρρύνει μέτρα οικονομικού κινήτρου, όπως η συντόμευση της περιόδου υποβολής αιτήσεων δανείου και η μείωση του μισθώματος γης για τις επιχειρήσεις διαχείρισης αποβλήτων

κατασκευών και κατολισθήσεων. Θα πρέπει επίσης να ενθαρρυνθεί ένας νέος τρόπος αγοράς, όπως η σύμπραξη δημόσιου-ιδιωτικού τομέα, για την ανακούφιση των οικονομικών πιέσεων για εταιρείες επεξεργασίας / ανακύκλωσης CDW.

Η παραγωγή σκυροδέματος και η δημιουργία αποβλήτων κατασκευών και κατεδάφισων αποτελούν μερικούς από τους κύριους παράγοντες της συνεχούς εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Οι Ahtar and Sarmah (2018) πραγματοποίησαν μια βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με την ισχύουσα κατάσταση στην παραγωγή αποβλήτων κατασκευής και κατεδάφισης σε παγκόσμιο επίπεδο και επισήμαναν τις μελέτες εκείνες που βελτιώνουν την απόδοση των ανακυκλώσιμων αδρανών μέσω διαφορετικών πρόσθετων υλικών. Η ανάλυση των πληροφοριών από 40 διαφορετικές χώρες σε έξι ηπείρους πραγματοποιήθηκε με κύριο άξονα την τρέχουσα παραγωγή αποβλήτων κατασκευής και κατολίθησης και τις κύριες πολιτικές που υιοθετούνται για την αντιμετώπιση τους. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας τους προτείνουν ότι οι αναπτυσσόμενες χώρες συμπεριλαμβανομένης της Κίνας και της Ινδίας πρέπει να αναπτύξουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα παρακολούθησης και αξιοποίησης των τεράστιων αποβλήτων τους στους τομείς κατασκευής και κατολίθησης και επιπλέον μέσω κυβερνητικών πρωτοβουλιών πρέπει να υπάρχει μαζική ενημέρωση για αυτά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΩΝ

Το νομοθετικό πλαίσιο της διαχείρισης των αποβλήτων των κατασκευών και των κατεδαφίσεων αφορά εθνικές και κοινοτικές οδηγίες που αφορούν στα υλικά που προέρχονται ως απόβλητα από τις κατασκευές και τις κατεδαφίσεις. Οι νόμοι που αφορούν στη διαχείριση των συγκεκριμένων υλικών παρουσιάζονται στη συνέχεια του κεφαλαίου.

4.1 Ν. 2939/2001 Συσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων - Ίδρυση Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και άλλων προϊόντων (ΕΟΕΔΣΑΠ) και άλλες διατάξεις

Στο νόμο αυτό θεσπίζονται μέτρα σχετικά με την διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων με στόχο την επαναχρησιμοποίηση ή αξιοποίηση των αποβλήτων τους. Ο συγκεκριμένος νόμος οδηγεί στην πρόληψη της δημιουργίας απόβλητων συσκευασιών με τον περιορισμό του συνολικού όγκου των συσκευασιών και των βλαπτικών συνεπειών από τα απορρίμματα αυτά για την υγεία των καταναλωτών και για το περιβάλλον για μια σταθερή διαρκή ανάπτυξη. Επιπλέον ο συγκεκριμένος νόμος ορίζει την μείωση της τελικής διάθεσης των αποβλήτων μέσω συστημάτων επαναχρησιμοποίησης τους και ανάκτησης των υλικών, της ανάκτησης ενέργειας ως μέσο αξιοποίησης των αποβλήτων και καθορίζει τους ποσοτικούς στόχους για την ανακύκλωση και την αξιοποίηση των αποβλήτων. Μέσα στους στόχους του συγκεκριμένου νόμου τίθεται ο καθορισμός των βασικών απαιτήσεων για τη σύνθεση και την φύση της επαναχρησιμοποίησης των αποβλήτων το διαχωρισμό στη πηγή για την επίτευξη μεγάλων ποσοστών ανακύκλωσης, η εφαρμογή της αρχής ο ρυπαίνων πληρώνει και η καθιέρωση συστημάτων ενημέρωσης του καταναλωτή για τη συμπεριφορά του ως προς την ανακύκλωση και η ενημέρωση του για τα σχετικά πρότυπα και διαδικασίες.

Στο άρθρο 4 του συγκεκριμένου νόμου προσδιορίζονται οι αρχές εναλλακτικής διαχείρισης των αποβλήτων οι οποίες είναι συνοπτικά:

A) η αρχή της πρόληψης δημιουργίας αποβλήτων με τη μείωση του συνολικού τους όγκου και των επικίνδυνων συστατικών τους.

B) η αρχή της επαναχρησιμοποίησης των συσκευασιών και της ανάκτησης των υλικών και της ανακύκλωσης τους

Γ) η ανάκτηση ενέργειας χωρίς να ρυπαίνεται το περιβάλλον εξασφαλίζοντας τη μείωση της τελικής διάθεσης των προϊόντων.

Δ) η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει»

E) η αρχή ευθύνης των εμπλεκόμενων οικονομικών παραγόντων

ΣΤ) η αρχή δημοσιότητας προς τους χρήστες και τους καταναλωτές για τα μέτρα που λαμβάνονται στο πλαίσιο του συγκεκριμένου νόμου.

4.2 Υ.Α. Η.Π. 50910/2727/2003 - Μέτρα και όροι για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων. – Εθνικός και περιφερειακός σχεδιασμός διαχείρισης

Η συγκεκριμένη υπουργική απόφαση αποσκοπεί στην εναρμόνιση της εθνικής νομοθεσίας με το άρθρο 12 του Ν. 1650/86 σύμφωνα με το οποίο ορίζονται οι στόχοι και οι προϋποθέσεις της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων. Επιπλέον η συγκεκριμένη απόφαση έρχεται για την πλήρη συμμόρφωση με την οδηγία 91/156/ΕΟΚ με απώτερο στόχο την πρόληψη και μείωση των αρνητικών για το περιβάλλον επιπτώσεων και την εξασφάλιση ενός υψηλού ποσοστού προστασίας του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας.

Στο παράρτημα ΙΙΒ της συγκεκριμένης απόφασης παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των αποβλήτων και για συγκεκριμένα ως απόβλητα κατεδαφίσεων και κατασκευών ορίζονται τα:

- Σκυρόδεμα τούβλα πλακάκια και κεραμικά
- Ξύλο γυαλί πλαστικό

- Μείγματα ασφάλτου και ορυκτής πίσσας λιθανθρακόπισσα και προϊόντα πίσσας
- Μέταλλα στα οποία περιλαμβάνονται και τα κράμματα τους
- Χώματα στα οποία περιλαμβάνονται και τα χώματα εκσκαφής πέτρες και τα μπάζα εκσκαφών
- Μονωτικά υλικά και υλικά δομικών κατασκευών με αμίαντο
- Υλικά δομικών κατασκευών από γύψο
- Άλλα απόβλητα δομικών κατασκευών και κατεδαφίσεων

Στο παράρτημα II της συγκεκριμένης απόφασης επιπλέον ορίζονται οι δράσεις διαχείρισης των αδρανών υλικών που προέρχονται από κατεδαφίσεις και κατασκευές και αναφέρεται πως τα συνήθη υλικά που αξιοποιούνται προέρχονται από καλώδια κουφώματα γυαλιά και μπάζα σε εργασίες επιχωματώσεων ενώ οι μη αξιοποιήσιμες ποσότητες οδηγούνται σε ΧΥΤΑ ή χωματερές. Η συγκεκριμένη απόφαση αποσκοπεί στην αύξηση των αξιοποιήσιμων υλικών μέσω οργανωμένων δικτύων συλλογής διαλογής και αξιοποίησης των υλικών που προκύπτουν από κατεδαφίσεις και εκσκαφές. Οι στόχοι αυτοί προβλέπεται πως μπορεί να υλοποιηθούν μέσω προγραμμάτων εναλλακτικής διαχείρισης αποβλήτων στα οποία συγκαταλλέγονται οι μέθοδοι οργάνωσης της εναλλακτικής διαχείρισης των αποβλήτων, μέτρα για την ενίσχυση της αξιοποίησης τους και μέτρα για την ενημέρωση και την ευαισθητοποίηση του πολίτη.

Επιπλέον στην ίδια απόφαση ορίζεται πως η διάθεση των αποβλήτων πρέπει να γίνεται με γνώμονα την προστασία της υγείας χωρίς μεθόδους βλαβερές για το περιβάλλον.

4.3 ΚΥΑ 114218/1997 «Κατάρτιση Πλαισίου Προδιαγραφών και Γενικών Προγραμμάτων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων».

Με την απόφαση αυτή τίθεται το πλαίσιο προδιαγραφών για την εκτέλεση της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων τις εργασίες μετέπειτα φροντίδας των χώρων μετά το τέλος λειτουργίας τους και την δημιουργία των γενικών προγραμμάτων διαχείρισης. Στο παράρτημα I της συγκεκριμένης απόφασης και ειδικότερα στο κεφάλαιο 6 ορίζονται οι τεχνικές προδιαγραφές για τη δημιουργία ΧΥΤΑ αδρανών οι

οποίες βασίζονται στην καλύτερη τεχνική και σε συνδυασμό με την ποσοτική και ποιοτική σύσταση των απορριμάτων. Προκειμένου να προβλεφθούν όλα τα είδη αποβλήτων εισάγεται η έννοια του ισοδύναμου υλικού που αφορά στην ισοδυναμία με τα τεχνικά χαρακτηριστικά και την προστασία του περιβάλλοντος. Στα συνολικά κριτήρια αξιοποίησης του ΧΥΤΑ ορίζονται η σταθερότητα του, η δυνατότητα του ελέγχου της αντοχής σε παραμορφώσεις επιπτώσεις στο περιβάλλον κατά την κατασκευή / παραγωγή υλικών και ευαισθησία στις μηχανικές καταπονήσεις καθώς και η διαπερατότητα του υλικού.

4.4 ΚΥΑ 29407/3508: Μετρά και Οροί για την Υγειονομική Ταφή των Αποβλήτων (Οδηγία 1999/31/ΕΚ περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων)

Στην συγκεκριμένη υπουργική απόφαση ορίζεται πως οι χώροι υγειονομικής ταφής μπορούν να καταταγούν σε χώρους μη επικίνδυνων αποβλήτων, σε χώρους ταφής επικίνδυνων αποβλήτων και σε χώρους ταφής αδρανών αποβλήτων στους οποίους εναποτίθενται τα υλικά από τις κατεδαφίσεις και κατασκευές.

Στο άρθρο 9 της συγκεκριμένης απόφασης περιγράφεται η διαδικασία χορήγησης άδειας λειτουργίας ενός χώρου ως χώρου υγειονομικής ταφής η οποία προβλέπει την κατάθεση αίτησης από τον ενδιαφερόμενο φορέα μαζί με την μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων την περιβαλλοντική εκτίμηση και αξιολόγηση του έργου και τη μελέτη οργάνωσης κατασκευής και οργάνωσης και λειτουργίας του χώρου. Οι προϋποθέσεις για την χορήγηση άδειας υγειονομικής ταφής αποβλήτων και το περιεχόμενο της αντίστοιχα ενώ στο άρθρο 12 αναφέρονται οι δαπάνες κατασκευής και λειτουργίας και μετέπειτα φροντίδας του ΧΥΤΑ καλύπτονται από την τιμή που χρεώνει ο φορέας διαχείρισης.

Στο παράρτημα II τα κριτήρια και οι διαδικασίες αποδοχής των αποβλήτων που περιλαμβάνονται οι διάφορες κατηγορίες ΧΥΤΑ και οι οδηγίες για τις προκαταρκτικές διαδικασίες αποδοχής αποβλήτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε η κυκλική οικονομία ως αντικείμενο προσανατολισμού για τη διαχείριση των ανακυκλώσιμων υλικών που προέρχονται από τον τομέα των κατασκευών και κατολισθήσεων.

Η κυκλική οικονομία βασίζεται στην αρχή των 3R μείωση – επαναχρησιμοποίηση-ανακύκλωση. Μεταξύ των αρχών αυτών η ανακύκλωση είναι η πιο ευρέως μελετημένη στη διεθνή βιβλιογραφία σε σχέση με τη μείωση και την επαναχρησιμοποίηση. Η διαφορετική δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης στον κύκλο ζωής ενός κτηρίου έχει διαφορετική επίδραση στο περιβάλλον και στην ενέργεια.

Τα πλεονεκτήματα της ανακύκλωσης των αποβλήτων κατασκευής και κατολίσθησης συνοψίζονται στα:

- Μείωση των περιβαλλοντικών επιδράσεων των επιτυγχανόμενων πρώτων υλών κατά τη μεταφορά και την επεξεργασία τους
- Μείωση της εξάρτησης από τις φυσικές πηγές
- Μείωση του ρυθμού εκπομπών που σχετίζονται με την παραγωγή και την μεταφορά των κατασκευαστικών υλικών
- Μείωση του κόστους που σχετίζεται με το κόστος αγοράς των υλικών
- Μείωση της ανάγκης εναπόθεσης των αποβλήτων κατασκευής και κατολίσθησης
- Δημιουργία μιας πηγής δημιουργίας δευτερογενών υλικών που μπορεί να επαναχρησιμοποιηθούν
- Δημιουργία νέων πεδίων εργασίας

Παρά το γεγονός πως η κυκλική οικονομία βρίσκεται στην φάση της ανάπτυξης της αποτελεί ένα αξιόπιστο πλαίσιο βάσει του οποίου μπορεί να βελτιώσει τον κατασκευαστικό κλάδο μέσω της δημιουργίας ενός μοντέλου φιλικού προς το περιβάλλον που βασίζεται στην ανακύκλωση και στην επαναχρησιμοποίηση των υλικών. Παρόλα αυτά είναι λίγες οι χώρες που έχουν αναπτύξει ένα πλαίσιο κυκλικής οικονομίας για τη διαχείριση των αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων. Τα

αναπτυσσόμενα μοντέλα κυκλικής οικονομίας βασίζονται κυρίως στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών που μπορούν να είναι πιο αποτελεσματικές για την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των υλικών.

Κατά συνέπεια υπάρχει ακόμα μεγάλο εύρος εφαρμογών της κυκλικής οικονομίας στον τομέα των υλικών που προέρχονται από την κατασκευή και τις κατεδαφίσεις μέχρις ότου η ανακύκλωση τους να μπορεί να καθίσταται ως η πιο αποδοτική μέθοδος διαχείρισής τους.

Βιβλιογραφία

- Adams, K.T., Thorpe, T., Osmani. M., Thoback, J., 2017. Circular economy in construction: current awareness, challenges and enablers, Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Waste and Resource Management, 170 pp. 15-24.
- Akanbi, L.A., Oydelee, L.O., Akinade, O.O., Ajayi, A.O., Delgado, M.D., Bilal, M, Bello, S.A., 2018. Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator, Resources Conservation and Recycling 129, 175-186
- Almeida-Costa, A., Benta, A., 2016. Economic and environmental impact study of warm mix asphalt compared to hot mix asphalt. J. Clean. Prod. 112 (Part 4), 2308-2317
- Andrews, D., 2015. The circular economy, design thinking and education for sustainability. Local Econ. 30, 305-315.
- ASTM D5404/D5404M, 2011. Standard Practice for Recovery of Asphalt from Solution Using the Rotary Evaporator. ASTM International.
- Azhar S., Nadeem A., Mok J.Y., Leung B.H. 2008 Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects, First International Conference on Construction in Developing Countries (ICCIDC-I) “Advancing and Integrating Construction Education, Research & Practice” August 4–5. Karachi, Pakistan 435-446
- Behera, M., Battacharyya, S.K., Minoka, A.K., Deoliya, R., Maiti, S., 2014. Recycled aggregate from C&D waste and its use in concrete e a breakthrough towards sustainability in construction sector: a review. Construct. Build. Mater. 68, 501-516.
- Bilal M., Oyedele L.O., Qadir J., Munir K., Akinade O.O., Ajayi S.O, Owolabi H.A. 2016. Analysis of critical features and evaluation of BIM software: towards a plug-in for construction waste minimization using big data Int. J. Sustain. Build. Technol. Urban Dev., 7628
- Birat, J.-P., 2015. Life cycle assessment, resource efficiency and recycling. Metall. Res. Technol. 112, 1-24.

Bowers, B.F., Huang, B., Shu, X., Miller, B.C., 2014. Investigation of reclaimed asphalt pavement blending efficiency through GPC and FTIR. *Constr. Build. Mater.* 50, 517-523.

Castellani, V., Sala, S., Mirabella, N., 2015. Beyond the throwaway society: a life cycle-based assessment of the environmental benefit of reuse. *Integr. Environ. Assess. Manag.* 11, 373-382.

Cavalline, T.R., David C. Weggel, (2013) "Recycled brick masonry aggregate concrete: Use of brick masonry from construction and demolition waste as recycled aggregate in concrete", *Structural Survey*, 31 3, pp.160-180

CCICED, 2008. Circular Economy Promotion Law of the People's Republic of China. Available: http://www.bjreview.com.cn/document/txt/2008-12/04/content_168428.htm

CS3:2013, Aggregates for Concrete The Government of the Hong Kong Special Administrative Region

Chau, C.K., Xu, J.M., Leung, T.M., Ng, W.Y., 2017. Evaluation of the impacts of end-of-life management strategies for deconstruction of a high-rise concrete framed office building. *Appl. Energy* 185, 1595-1603.

Coelho, A., De Brito, J., 2012. Influence on construction and demolition waste management on the environmental impact of buildings. *Waste Manag.* 32, 532-541.

Dahlbo, H., Bacher, J., Lehtinen, K., Jouttijärvi, T., Suoheimo, P., Mattila, T., Sironen, S., Myllymaa, T., Saramäki, K., 2015. Construction and demolition waste management e a holistic evaluation of environmental performance. *J. Clean. Prod.* 107, 333-341.

Cullen J.M. 2017. Circular economy: theoretical benchmark or perpetual motion machine? *J. Ind. Ecol.*, 21, 483-486

Da Rocha, C.G., Sattler, M.A., 2009. A discussion on the reuse of building components in Brazil: an analysis of major social, economical and legal factors. *Resour. Conserv. Recycl.* 54, 104-112.

Debieb F, Courard L, Kenai S, Degeimbre R. 2010 Mechanical and durability properties of concrete using contaminated recycled aggregates. *Cem Concr Compos* 32 421–6.

Dinis-Almeida, M., Afonso, M.L., 2015. Warm mix recycled asphalt e a sustainable solution. *J. Clean. Prod.* 107, 310e316

Duan, H., Wang, J., Huang, Q., 2014. Encouraging the environmentally sound management of C&D waste in China: an integrative review and research agenda. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 43, 611-620.

EEA (European Environment Agency) (2014), “Resource-efficient Green Economy and EU policies”, Luxembourg: Publications Office of the European Union available from <https://www.eea.europa.eu/publications/resourceefficient-green-economy-and-eu>

Eadie R., Browne M., Odeyinka H., McKeown C., McNiff S. 2013. BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: an analysis *Autom. Constr.*, 36 145-151

Ehrenfeld, J.R. (2007), “Would Industrial Ecology Exist without Sustainability in the Background?”, *Journal of Industrial Ecology*, 11, 73-84

Etxeberria M, Vazquez E, Mari A, Barra M. 2007 Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. *Cem Concr Res* 37(5):735–42.

Ellen MacArthur Foundation (2013), “Towards the Circular Economy. Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition” available from <https://tinyurl.com/hzfrxvb>

Esa, M.R., Halog, A., Rigamonti, L., 2017. Developing strategies for managing construction and demolition wastes in Malaysia based on the concept of circular economy. *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 19, 1144-1154.

European Commission (2015), “Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy”, Communication from the Commission to the European Parliament, the

Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, available from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52015DC0614>

EU, 2008. Official Journal of EU, L 312, 19.11.2008. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 november 2008 on waste and repealing certain directives. Available from <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri%4OJ:L:2008:312:0003:0030:en:PDF>

Fishman T., Schandl H., Tanikawa H. 2016. Stochastic analysis and forecasts of the patterns of speed, acceleration, and levels of material stock accumulation in society Environ. Sci. Technol., 50 3729-3737

Gagan and Arora S. 2015. Recycled Aggregates: A Sustainable Solution of Construction and Demolished Waste, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), 2278-1684, 58-63

Gencel O., Ozel C, Koksall F., Erdogmus E., Martínez-Barrera G., Brostow W. 2012. Properties of concrete paving blocks made with waste marble J. Clean. Prod., 21 62-70

Ghisellini, P., C. Cialani and S. Ulgiati (2016), "A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems", Journal of Cleaner Production, 114, 11-32.

Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N.M.P, Hultink E.J. 2017 The circular economy – a new sustainability paradigm? J. Clean. Prod., 143. 757-768

Heck, P. (2006), "Circular Economy related international practices and policy trends: Current situation and practices on sustainable production and consumption and international Circular Economy development policy summary and analysis", Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS). http://siteresources.worldbank.org/INTEAPREGTOPENVIRONMENT/Resources/CircularEconomy_Policy_FinalDraft_EN.pdf.

- Huang, B., Wang, X., Kua, H., Geng, Y., Bleischwitz, R., Ren, J., 2018. Construction and demolition waste management in China through the 3R principle. *Resour. Conserv. Recycl.* 129, 36-44.
- Hu D., You F., Zhao Y., Yuan Y., Liu T., Cao A., Wang Z., Zhang J. 2010. Input, stocks and output flows of urban residential building system in Beijing city, China from 1949 to 2008 *Resources Conservation and Recycling*, 54 1177-1188
- Jiménez, C.; Barra, M.; Valls, S.; Aponte, D.; Vázquez, E. 2014. Durability of recycled aggregate concrete designed with the Equivalent Mortar Volume (EMV) method: Validation under the Spanish context and its adaptation to Bolomey methodology. *Mater. Construcc.*, 64, e006.
- Juan M.S., Gutiérrez P.A., 2009. Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate *Constr Build Mater*, 23. 872-877
- La Marca, F., 2010. Optimization of C&D Waste Management by the Application of Life Cycle Assessment (LCA) Methodology: the Case of the Municipality of Rome, *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 129, 497-508
- Li X. 2008. Recycling and reuse of waste concrete in China Part I. Material behaviour of recycled aggregate concrete. *Resour Conserv Recycle* 53:36–44.
- Lieder, M. and A. Rashid (2016), "Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry", *Journal of Cleaner Production*, 115, 36-51.
- Lombardi, R.D. and P. Laybourn (2012), "Redefining Industrial Symbiosis. Crossing Academic-Practitioner Boundaries", *Journal of Industrial Ecology*, 16, 28-37
- Malešev, M., Radonjanin, V., Marinković, S., *Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production*, *Sustainability*, 2, 1204-1255.
- Marzouk, M., Azab, S., 2014. Environmental and economic impact assessment of construction and demolition waste disposal using system dynamics. *Resour. Conserv. Recycl.* 82, 41-49.

Matias D, de Brito J, Rosa A, Pedro D.2013. Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates – influence of the use of superplasticizers. *Constr Build Mater*;44:101–9.

Mehta PK, Meryman H. 2009. Tools for reducing carbon emissions due to cement consumption. *Struct Mag*:11–5.

Müller D.B. 2006. Stock dynamics for forecasting material flows–case study for housing in the Netherlands *Ecological Economics*, 59, pp. 142-15

Noferini, L., Simone, A., Sangiorgi, C., Mazzotta F., 2017., Investigation on performances of asphalt mixtures made with Reclaimed Asphalt Pavement: Effects of interaction between virgin and RAP bitumen, *International Journal of Pavement Research and Technology*, 10, 322-332

Nunes, K.R.A., Mahler, C.F., Valle, R.A., 2009. Reverse logistics in the Brazilian construction industry. *J. Environ. Manag.* 90, 3717-3720.

Pan S.-Y., Alex Du M., Liu I., Liu, I. Chang E., Chiang P., 2015. Strategies on implementation of waste-to-energy (WTE) supply chain for circular economy system: a review *J. Clean. Prod.*, 108 409-421

Pearce, D.W. and R.K. Turner (1990), *Economics of Natural Resources and the Environment*, Hemel Hempstead: Harvester Wheatsheaf

Peng C.L., Scorpio D.E., Kibert C.J. 1997. Strategies for successful construction and demolition waste recycling operations *J. Construct. Manag. Econ.*, 15 49-58

Prendeville, S., Sanders, C., Sherry, J., Costa, F., 2014. *Circular Economy: Is it Enough?* Available from:

<http://www.edcw.org/sites/default/files/resources/Circular%20Economy-%20Is%20it%20enough.pdf>

Preston F., 2012. *A Global Redesign? Shaping the Circular Economy*, Briefing Paper, EERG BP 2012/02 available from

<https://www.chathamhouse.org/publications/papers/view/182376>

Rashid A., Asif F.M.A., Krajnik P., Nicolescu C.M 2013. Resource conservative manufacturing: an essential change in business and technology paradigm for sustainable manufacturing J. Clean. Prod., 57,166-177

Resource, 2015. Circular Economy e State of the Nations. Available: <http://www.resource-event.com/Uploads/Resource%202015%20Circular%20economy%20State%20of%20the%20Nations.pdf>

RILEM. 1994; Specifications for concrete with recycled aggregates. Mater Struct 27:557–9.

Sakai, S., Yoshida, H., Hirai, Y., Asari, M., Takigami, H., Takahashi, S., Tomoda, K., Peeler, M.V., Wejchert, J., Schmidt-Unterseh, T., Ravazzi Douvan, A., Hathaway, R., Hylander, L.D., Fischer, C., Oh, J.G., Jinhui, L., Chi, N.C., 2011. International comparative study of 3R and waste management policy developments. J. Material Cycles Waste Manag. 13, 86-102.

Sanchez, B., Haas, C., 2018. A novel selective disassembly sequence planning method for adaptive reuse of buildings, Journal of Cleaner Production, 183, 998-1010

Sauvé, S., S. Bernard and P. Sloan (2016), “Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research”, Environmental Development, 17, 48-56.

Silva, R.V., De Brito, J., Dhir, R.K., 2017. Availability and processing of recycled aggregates within the construction and demolition supply chain: a review. J. Clean. Prod. 143, 598-614.

Smol M., Kulczycka J., Henclik A., Gorazda K., Wzorek Z., 2015. The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy J. Clean. Prod., 95, 45-54,

Sonawane, T.R., Pimplikar, S.,2012. Use of Recycled Aggregate Concrete, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) 2278-1684, 52-59

Stahel, W.R., 2013. Policy for material efficiency e sustainable taxation as a departure from a throwaway society. *Phyl. Trans. R. Soc. A* 371, 20110567.

Stephan A., Athanassiadis, A., 2018. Towards a more circular construction sector: Estimating and spatialising current and future non-structural material replacement flows to maintain urban building stocks, *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 248-262

Su, B., A. Heshmati, Y. Geng and X. Yu (2013), “A review of the circular economy in China: Moving from rhetoric to implementation”, *Journal of Cleaner Production*, 42, 215-227

Tam VWY, Tam CM, Le KN. 2007 Removal of cement mortar remains from recycled aggregate using pre-soaking approaches. *Resour Conser Recycle*;50:82–101

Tam V.W.Y, Tam, C.M., 2011. A review on the viable technology for construction waste recycling *Resources, Conservation and Recycling* 47, 209-221

Varsha, A., Nutan D., Dipali, K. Anjari, Y., Pathak, U., 2016. Study the Construction & Demolition Wastes and Reuse of It in Construction *IJESC*, 6, 4666-4669

Wagih, A.M., El Karmoty, H.Z., Ebid M., Okba, S.H., 2013. Recycled construction and demolition concrete waste as aggregate for structural concrete, *HBRC Journal*, 9, 193-200.

Ziyani L., Boulange, L., Nicolai, A., Moulliet, V., 2017 Bitumen extraction and recovery in road industry: A global methodology in solvent substitution from a comprehensive review, *Journal of Cleaner Production*, 161, 53-68

Yuan H and Shen L 2011 Trend of the research on construction and demolition waste management. *Waste Management* 31670–679.