



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ, ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΩΝ & ΔΙΕΘΝΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ**

---

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**«ΒΙΟΟΙΚΟΝΟΜΙΑ, ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΗ**  
**ΑΝΑΠΤΥΞΗ»**

**Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΚΑΘΑΡΙΣΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ**  
**ΠΡΟΙΟΝΤΟΣ (ΑΕΠ) ΣΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ**  
**ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ CO<sub>2</sub> ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ**  
**ΚΑΙ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ**

**Γεωργία Ζουμπάκη**

Πειραιάς, Απρίλιος, 2022





**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΣΧΟΛΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ, ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΩΝ & ΔΙΕΘΝΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ**

---

**MSc. in Bioeconomy, Circular Economy & Sustainable  
Development**

**THE EFFECT OF GDP ON GREEN HOUSE  
EMISSIONS CO<sub>2</sub> FROM MANUFACTURING,  
RESIDENTIAL AND COMMERCIAL BUILDINGS**

**By Georgia Zoumpaki**

**Piraeus, Greece, April 2022**



# Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΚΑΘΑΡΙΣΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΡΟΙΟΝΤΟΣ (ΑΕΠ) ΣΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ CO<sub>2</sub> ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΚΑΙ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ

**Σημαντικοί Όροι:** εκπομπές CO<sub>2</sub>, κατασκευαστικός τομέας, κτιριακός τομέας, χρήση ενέργειας, περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets (ΕΚC), βιώσιμα κτίρια, πράσινες πιστοποιήσεις

## Περίληψη

Τις τελευταίες δεκαετίες οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> έχουν αυξηθεί σε σημαντικά επίπεδα προσελκύνοντας το ενδιαφέρον για περαιτέρω έρευνα. Πολλές έρευνες έχουν διεξαχθεί επισημαίνοντας ισχυρή αλληλεξάρτηση του ρυθμού οικονομικής ανάπτυξης και της ενεργειακής κατανάλωσης, με αποτέλεσμα η οποιαδήποτε αύξηση στην εθνική παραγωγή να προκαλεί αύξηση στις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Με αποτέλεσμα η υιοθέτηση πολιτικών μέτρων για αύξηση του ακαθάριστου εθνικού προϊόντος (ΑΕΠ) να συνεπάγεται την περιβαλλοντική επιβάρυνση. Η διερεύνηση αυτών των σχέσεων αποτελεί αντικείμενο της θεωρίας της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets (ΕΚC), κατά την οποία η οικονομική ανάπτυξη οδηγεί σε περιβαλλοντική υποβάθμιση. Στην παρούσα εργασία εξετάζουμε συγκεκριμένα τις εκπομπές CO<sub>2</sub> που προκαλούν ο κατασκευαστικός και ο κτιριακός τομέας στην Ελλάδα την περίοδο 1973-2014. Κατά την εξεταζόμενη περίοδο οι εκπομπές CO<sub>2</sub> (κατασκευαστικός και ο κτιριακός τομέας) σημειώνουν σημαντικές μειώσεις τα τελευταία χρόνια. Η χρήση ενέργειας στην Ελλάδα δείχνει να αυξάνεται τις τελευταίες δεκαετίες. Η διερεύνηση αφορά την μακροχρόνια και βραχυχρόνια σχέση του ΑΕΠ, των εκπομπών CO<sub>2</sub> και της χρήσης ενέργειας μέσω οικονομετρικών μοντέλων, συμπεριλαμβανομένης της επίδρασης που έχει η μεταβλητή του αστικού πληθυσμού στις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Επιπλέον εξετάζουμε την σχέση αιτιότητας των μεταβλητών μέσω του μοντέλου αιτιότητας κατά Granger και μέσω Wald test.



# **THE EFFECT OF GDP ON GREEN HOUSE EMISSIONS CO<sub>2</sub> FROM MANUFACTURING, RESIDENTIAL AND COMMERCIAL BUILDINGS**

**Keywords:** CO<sub>2</sub> emissions, manufacturing, residential buildings, energy use, environmental Kuznets curve (EKC), green buildings, sustainability, green certifications

## **Abstract**

During the last decades CO<sub>2</sub> emissions have increased to significant levels, attracting interest in further research. Many researches have been conducted in order to prove the strong interdependence of gross domestic product (GDP) and energy use with the result that any increase in national production causes an increase in CO<sub>2</sub> emissions. Consequently, the adoption of political practices to increase GDP entails environmental degradation. The examination of the relation of these variables is the main research domain of the Kuznets environmental curve (EKC) theory. According to EKC, as income increases, the quality of the environment will deteriorate. There is a specific level in which the quality of the environment will start to improve despite the fact that income increases. Thus, an increase in economic growth will increase CO<sub>2</sub> emissions initially. In this paper we examine the CO<sub>2</sub> emissions from the manufacturing industry, residential and business buildings in Greece during the period 1973-2014. During this period CO<sub>2</sub> emissions (construction and buildings) have been significantly reduced. The energy use in Greece increases especially the last decade. We investigate the long run and short run relationship between GDP, CO<sub>2</sub> emissions and energy use using appropriate econometric models. We include the variable of urban population to show the effect on CO<sub>2</sub> emissions. This study also explores causal relationship between the variables using Wald tests and Granger causality model.





## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	v
Abstract.....	vii
Κατάλογος πινάκων .....	xi
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	xiv
Κεφάλαιο 1 : Η επίπτωση του κατασκευαστικού και κτιριακού τομέα .....	xvi
1.1 Εισαγωγή .....	xvi
1.2 Η επίπτωση του κατασκευαστικού τομέα και των οικιστικών κτιρίων .....	xvii
1.3 Πρακτικές Μείωσης CO <sub>2</sub> .....	xx
1.4 Πιστοποιήσεις Πράσινων Κτιρίων.....	xxiv
1.5 Σενάρια και Στόχοι.....	xxvi
Κεφάλαιο 2 : Οικονομία και Περιβάλλον .....	xxx
2.1 Εισαγωγή .....	xxx
2.2 Καμπύλη Kuznets .....	xxx
2.3 Ανάλυση των Μεταβλητών .....	xxxii
Κεφάλαιο 3 : Εμπειρική Ανάλυση.....	xxxv
3.1 Μεθοδολογία.....	xxxv
3.2 Ανάλυση Δεδομένων .....	xxxvii
3.2.2.Δεδομένα.....	xxxvii
3.3 Εμπειρικά Αποτελέσματα .....	xxxviii
3.3.1 Unit Root Tests .....	xxxviii
3.3.2 Johansen Co-integration Test.....	xxxviii
3.3.3 Υπόδειγμα Διόρθωσης Λαθών.....	xl
3.3.4 Έλεγχος αιτιότητας .....	xl
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xlii
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (Ελληνική, ξένα, διαδικτυακοί τόποι) .....	lxxv



## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Έλεγχος επαυξημένου Dickey-Fuller για LNCO2construction\_GRC\_ στα επίπεδα με σταθερά για την Ελλάδα

Πίνακας 2: Έλεγχος επαυξημένου Dickey-Fuller για LNCO2construction\_GRC\_ στις α' διαφορές με σταθερά για την Ελλάδα

Πίνακας 3: Έλεγχος επαυξημένου Dickey-Fuller για LNCO2buildings\_GRC\_ στα επίπεδα με σταθερά για την Ελλάδα

Πίνακας 4: Έλεγχος επαυξημένου Dickey-Fuller για LNCO2 buildings \_GRC\_ στις α' διαφορές με σταθερά για την Ελλάδα

Πίνακας 5: Έλεγχος επαυξημένου Dickey-Fuller για LNENERGYUSE\_GRC\_ στα επίπεδα με σταθερά για την Ελλάδα

Πίνακας 6: Έλεγχος επαυξημένου Dickey-Fuller για LNENERGYUSE\_GRC\_ στις α' διαφορές με σταθερά για την Ελλάδα

Πίνακας 7: Έλεγχος επαυξημένου Dickey-Fuller για LNGDP\_GRC\_ στα επίπεδα με σταθερά για την Ελλάδα

Πίνακας 8: Έλεγχος επαυξημένου Dickey-Fuller για LNGDP\_GRC\_ στις α' διαφορές με σταθερά για την Ελλάδα

Πίνακας 9: Έλεγχος επαυξημένου Dickey-Fuller για LNGDP2 στα επίπεδα με σταθερά για την Ελλάδα

Πίνακας 10: Έλεγχος επαυξημένου Dickey-Fuller για LNGDP2 στις α' διαφορές με σταθερά για την Ελλάδα

Πίνακας 11α: VAR estimation

Πίνακας 12α: VAR lag order selection Criteria

Πίνακας 13α: Johansen Test Greece

Πίνακας 13α.1: Αποτελέσματα εξίσωσης συνολοκλήρωσης σχέσης 1α

Πίνακας 14α: Vecm

Πίνακας 15α: Estimate Equation

Πίνακας 16α: Wald test C(4)=C(5)=0 variable lnenergyuse

Πίνακας 17α: Wald test C(6)=C(7)=0 variable lngdp

Πίνακας 18α: Serial correlation test: αποδεχόμαστε την μηδενική υπόθεση αφού  $p > 0,05$

Πίνακας 19α: Test ετεροσκεδαστικότητας: δεχόμαστε την μηδενική υπόθεση, το μοντέλο μας δεν έχει ετεροσκεδαστικότητα

Πίνακας 11β: VAR estimation

Πίνακας 12β: VAR lag order selection Criteria

Πίνακας 13β: Johansen Έλεγχος

Πίνακας 13β.1: Αποτελέσματα εξίσωσης συνολοκλήρωσης σχέσης 1β

Πίνακας 14β: Vecm

Πίνακας 15β: Estimate Equation

Πίνακας 16β: Wald test  $C(4)=C(5)=0$  lnenergyuse\_grc\_

Πίνακας 17β: Wald test  $C(6)=C(7)=0$  lngdp\_grc\_

Πίνακας 18β: Serial Correlation Test: αποδεχόμαστε την μηδενική υπόθεση αφού  $p>0,05$

Πίνακας 19β: Test ετεροσκεδαστικότητας: δεχόμαστε την μηδενική υπόθεση, το μοντέλο μας δεν έχει ετεροσκεδαστικότητα

Πίνακας 20α: Έλεγχος βραχυχρόνιας αιτιότητας κατά Granger

Πίνακας 20β: Έλεγχος βραχυχρόνιας αιτιότητας κατά Granger

Πίνακας 21α: Έλεγχος μακροχρόνιας αιτιότητας κατά Granger

Πίνακας 21β: Έλεγχος μακροχρόνιας αιτιότητας κατά Granger

Πίνακας 22α: AR roots 1α equation

Πίνακας 22β: AR roots 1β equation



## **Κατάλογος Διαγραμμάτων**

Διάγραμμα 1: Εκπομπές αερίων CO<sub>2</sub>

Διάγραμμα 2: Αστικός πληθυσμός

Διάγραμμα 3: Χρήση Ενέργειας στην Ελλάδα

Διάγραμμα 4: ΑΕΠ Ελλάδα



# **Κεφάλαιο 1 : Η επίπτωση του κατασκευαστικού και κτιριακού τομέα**

## **1.1 Εισαγωγή**

Οι ραγδαίες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι πλέον γεγονός που επηρεάζουν ολόκληρο τον πλανήτη καθώς βρισκόμαστε συνεχώς αντιμέτωποι με ακραίες καιρικές συνθήκες. Οι συνέπειες της ραγδαίας κλιματικής αλλαγής είναι πλέον ορατές σε παγκόσμιο επίπεδο και εκτιμάται ότι θα ενταθούν τις επόμενες δεκαετίες. Το λιώσιμο των πάγων, η παρατεταμένη ξηρασία, οι μεγάλοι όγκοι και διάρκειας βροχοπτώσεις και η συνεχής μόλυνση του αέρα είναι κάποιοι από τους κινδύνους που αναμένεται ότι θα κληθούμε να αντιμετωπίσουμε. Αυτές οι αλλαγές ωστόσο, απειλούν την ανθρώπινη ζωή, την ανάπτυξη της οικονομίας καθώς και την ομαλή λειτουργία του φυσικού περιβάλλοντος. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μείωση της ευημερίας του ανθρώπινου είδους καθώς και ο κίνδυνος αφανισμού διάφορων ειδών του φυσικού περιβάλλοντος. Η ανθρωπότητα είναι αντιμέτωπη με δυο προκλήσεις, την οικονομική ανάπτυξη και την διατήρηση του περιβάλλοντος (Edoja, 2017). Σύμφωνα με έρευνα η ανθρώπινη ευημερία και η ποιότητα του αστικού περιβάλλοντος συνδέονται άμεσα με την ανάπτυξη της αστικής βιωσιμότητας. (Thomas Panagoroulos, 2016). Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατασκευαστική βιομηχανία και τον κτιριακό τομέα. Ο κτιριακός τομέας περιλαμβάνει τα κτίρια οικιστικής χρήσης καθώς και τα εμπορικά και δημόσια κτίρια. Στη συνέχεια παρουσιάζουμε στρατηγικές λύσεις για μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης με αύξηση του κύκλου ζωής των κτιρίων και χρήση βιώσιμων υλικών και αύξηση της ποιότητας της ζωής των ανθρώπων. Η δημιουργία έξυπνων, βιώσιμων πόλεων αποτελούν εργαλείο για τη βιώσιμη ανάπτυξη έχοντας ως επίκεντρο την τεχνολογία. Τέτοιες πόλεις είναι οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά σταθερές και ανεξάρτητες ενώ συγχρόνως, μειώνουν τα αποτελέσματα της κλιματικής αλλαγής. Για την επίτευξη της βιωσιμότητας και του μετασχηματισμού των κτιρίων έχουν αναπτυχθεί εργαλεία αξιολόγησης. Θα αναλύσουμε τις κύριες πράσινες πιστοποιήσεις οι οποίες είναι η LEED και η BREEAM. Και τέλος θα παρουσιάσουμε κάποια σενάρια που έχουν αναπτυχθεί για τον τομέα της ενέργειας και αφορούν τους στόχους που έχουν τεθεί για τα έτη 2060 και 2050.



## 1.2 Η επίπτωση του κατασκευαστικού τομέα και των οικιστικών κτιρίων

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι από τις βασικές αιτίες της κλιματικής αλλαγής και αποτελεί έναν από τους πρώτους τομείς στους οποίους έχουν παρθεί μέτρα και πολιτικές περιορισμού. Συγκεκριμένα μέχρι το 2030 ο στόχος μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> έχει αυξηθεί στο 60%. Ενώ, μέχρι το 2050 θα πρέπει να επιτευχθεί κλιματική ουδετερότητα μέσω ενός συγκεκριμένου νομικού πλαισίου. Πιο αναλυτικά, ο όρος ουδετερότητα του άνθρακα αναφέρεται στην ισορροπία των εκπομπών CO<sub>2</sub> και στην απορρόφησή του. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις οι φυσικοί συλλέκτες άνθρακα, το χόμα, τα δάση οι ωκεανοί απορροφούν 9.5 και 11 Gt διοξειδίου του άνθρακα το χρόνο, ενώ παγκοσμίως, το 2019 οι ετήσιες εκπομπές CO<sub>2</sub> ήταν 38 Gt. (Panagiotis Chastas, 2018). Συγκεκριμένα η κατασκευαστική βιομηχανία ευθύνεται για το 38% των εκπομπών CO<sub>2</sub> φτάνοντας στο υψηλότερο επίπεδο το 2019 με αύξηση στο 9.95 Gt, συμπεριλαμβανομένων των λειτουργικών εκπομπών CO<sub>2</sub> στην κατασκευαστική βιομηχανία κτιρίων (Bojan Pejonić, 2021). Στόχος είναι να επιτύχουμε κτίρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας και παραγωγή εκπομπών CO<sub>2</sub>.

Ωστόσο, έχει αποδειχτεί μεγάλη συσχέτιση ανάμεσα στις εκπομπές που προκύπτουν από το σύνολο των σταδίων της παραγωγής και ανάμεσα στην αύξηση της αρχικής και επαναλαμβανόμενης χρήσης υλικών εφόσον αυτά περιλαμβάνουν στάδια που απαιτούν μεγάλη ποσότητα κατανάλωσης ενέργειας. (Panagiotis Chastas, 2018). Παρά την κρισιμότητα της υπάρχουσας κατάστασης αλλά και την τεράστια συμβολή του τομέα στις εκπομπές, λίγες πολιτικές έχουν παρθεί για μακροπρόθεσμες στρατηγικές που συμφωνούν με το στόχο των net-zero emission buildings. Σε ό,τι αφορά τις νέες κατασκευές κτιρίων η επίτευξη μηδενικών εκπομπών θα είναι αποτέλεσμα ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων που βασίζονται μόνο στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και καθόλου σε ορυκτά καύσιμα. Τρία είναι τα βασικά υλικά που προκαλούν το 23% των συνολικών παγκόσμιων εκπομπών και αυτά είναι ο χάλυβας, το αλουμίνιο και το σκυρόδεμα τα οποία και χρησιμοποιούνται ευρέως στην κατασκευαστική βιομηχανία. Επομένως είναι αναγκαία η άμεση αντικατάσταση αυτών των υλικών με νέα αλλά και ολοκληρωμένες ενέργειες για μηδενισμό των εκπομπών και επίτευξη μηδενικού αποτυπώματος. Θα πρέπει να γίνει υιοθέτηση των παρακάτω πρακτικών όπως της επαναχρησιμοποίησης, της ανακαίνισης υφιστάμενων κτιρίων, της χρήσης ανακυκλωμένων,

βελτιστοποιημένων υλικών με χαμηλό ή μηδενικό αποτύπωμα σε άνθρακα και του ειδικού σχεδιασμού κατεδάφισης-αποδόμησης κτιρίων.

Το θέμα της κλιματικής αλλαγής έχει απασχολήσει και τον τομέα της αρχιτεκτονικής αναλαμβάνοντας έργα αρχιτεκτονικής φυσικού τοπίου. Στόχος είναι να γίνει πιο «πράσινη» χωρίς να επιβαρύνει το περιβάλλον βελτιώνοντας τόσο τα υλικά των κτιρίων όσο και τις συνθήκες εργασίας για την κατασκευή τους. Καινοτόμα κτίρια που χρησιμοποιούν φυσικά υλικά που είτε προέρχονται είτε ταιριάζουν με το φυσικό περιβάλλον και την περιοχή στην οποία βρίσκονται, δίνουν βάση στην έννοια της βιωσιμότητας και στο σεβασμό του ανθρώπου προς το περιβάλλον. Υιοθετώντας καινοτόμες πρακτικές έχουν επιτευχθεί αξιόλογα κτίρια με ουδέτερο αποτύπωμα στον πλανήτη αποτελώντας παράδειγμα για τις μελλοντικές κατασκευές. Ο εξειδικευμένος και κατάλληλος σχεδιασμός οδηγεί σε αποτελέσματα με περιβαλλοντικό θετικό αποτύπωμα προωθώντας ιδανικές συνθήκες εργασίας. Παραδείγματα τέτοιων κατασκευών είναι το Elephant world στη Μπανγκόκ (εικόνα 1) το οποίο δημιουργήθηκε με υλικά της περιοχής και προωθεί την ιδέα της αλληλεξάρτησης των ανθρώπων με τα ζώα και τη φύση. Επίσης στην εικόνα (2) είναι το Powerhouse telemark στην πόλη Porsgrunn της Νορβηγίας το οποίο είναι και το τέταρτο ενεργειακό κτίριο της Powerhouse με ουδέτερο αποτύπωμα στον πλανήτη. Χρησιμοποιώντας καινοτόμες και φυσικές λύσεις παράγει περισσότερη ενέργεια από αυτή που καταναλώνει, ενώ κατέχει πιστοποίηση Breeam excellent.



*Εικόνα 1 Elephant world*



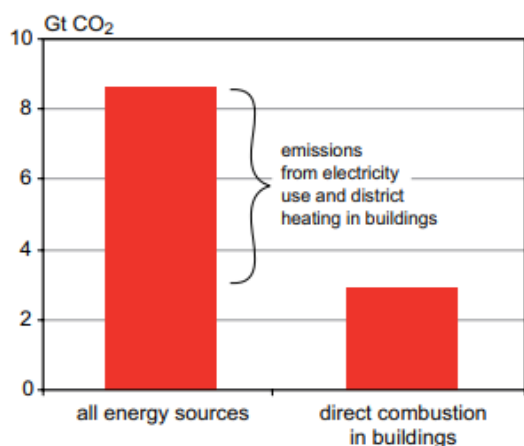
*Εικόνα 2 Powerhouse Telemark*

Η υπερθέρμανση του πλανήτη είναι αποτέλεσμα της υπερβολικής συσσώρευσης διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, το οποίο πρόκειται για αέριο του θερμοκηπίου, που προκαλείται από την καύση των ορυκτών καυσίμων.

Ο τομέας των κτιρίων ευθύνεται για το 40% περίπου των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ετησίως (Bojan Rejonić, 2021). Συγκεκριμένα, ένα 28% οφείλεται σε εκπομπές από την λειτουργία των κτιρίων και ένα επιπλέον 11% αποδίδεται στα υλικά και στην διαδικασία κατασκευής νέων κτιρίων. Συγκεκριμένα οι τρεις τομείς που ευθύνονται για τα μεγαλύτερα ποσοστά εκπομπών βλαβερών αερίων είναι ο τομέας των κτιρίων που περιλαμβάνει την κατασκευή αλλά και την παραγωγή ενέργειας αναγκαία για την λειτουργία τους. Δεύτερος μεγάλος τομέας είναι αυτός της βιομηχανίας και η παραγωγή ηλεκτρισμού και ο τρίτος αφορά

τις μεταφορές και τις μετακινήσεις. Υπολογίζεται ότι τα 2/3 από τα ήδη υπάρχοντα κτίρια θα συνεχίσουν να λειτουργούν και να χρησιμοποιούνται και το 2040. Συνέπεια αυτού είναι οι ίδιες ποσότητες εκπομπών αερίων και το 2040 εφόσον δεν εφαρμοστούν πρακτικές απανθρακοποίησης των υφιστάμενων κτιρίων. Η επίτευξη μηδενικών εκπομπών από το υπάρχον κτιριακό απόθεμα προϋποθέτει αύξηση του ρυθμού των ενεργειακών αναβαθμίσεων, που σημαίνει αυξημένη ενεργειακή αποδοτικότητα, ελάχιστη χρήση ορυκτών καυσίμων και αντικατάστασή τους με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Το 2004 οι εκπομπές από τον κτιριακό τομέα συμπεριλαμβανομένης της χρήσης ενέργειας υπολογίστηκε σε 8.6 GtCO<sub>2</sub>. Στην παρακάτω εικόνα(3) βλέπουμε τις εκτιμώμενες εκπομπές αερίων από την κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια με δυο διαφορετικές οπτικές. Στην πρώτη, αριστερή μπάρα περιλαμβάνονται οι εκπομπές από όλες τις χρήσεις ενέργειας στα κτίρια, ενώ στην δεύτερη τη δεξιά μπάρα περιλαμβάνονται μόνο οι εκπομπές από την απευθείας καύση ορυκτών καυσίμων. Κάνουμε αυτό τον διαχωρισμό καθώς για την παραγωγή της ενέργειας απαιτούνται καύσιμα με λιγότερο ανθρακικό αποτύπωμα από τα κοινά ορυκτά καύσιμα. Επομένως, οι εκπομπές από την χρήση ενέργειας μπορούν να τροποποιηθούν από την πλευρά της προσφοράς. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα συμπεριλαμβανομένης της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια έχει αυξηθεί από το 1971 μέχρι το 2004 με ετήσιο ρυθμό 2% σχεδόν ισοδύναμα με το γενικό ρυθμό αύξησης των εκπομπών co<sub>2</sub> από όλες της χρήσεις ενέργειας.



Εικόνα 3 CO<sub>2</sub> emissions from energy, 2004

πηγή: IEA, 2006e and Price et al. 2006

Οι εκπομπές αερίων από εμπορικά κτίρια αυξήθηκε στο 2,5% το χρόνο και 1,7% για τα οικιακής χρήσης κτίρια. Από το έτος 2010 οι παγκόσμιες εκπομπές co<sub>2</sub> στον κλάδο των κτιρίων αυξήθηκαν κατά 3%. Για να επιτευχθεί ο στόχος της συμφωνίας του Παρισίου, ο οποίος είναι ο περιορισμός της αύξησης της θερμοκρασίας στο 1,5 °C, ο κτιριακός τομέας θα πρέπει να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας και επιτύχει ποσοστό 30% μέχρι το 2030 σύμφωνα με το UN Environment. Ωστόσο, η αύξηση του πληθυσμού είναι μεγαλύτερη από την ενεργειακή εξοικονόμηση του 1,5 % ετησίως με αποτέλεσμα να εκτιμάται ότι το 2050 θα έχουν διπλασιαστεί οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που οφείλονται στον τομέα των κτιρίων αν δεν εφαρμοστούν τακτικές και μέτρα βιωσιμότητας.

### 1.3 Πρακτικές Μείωσης CO<sub>2</sub>

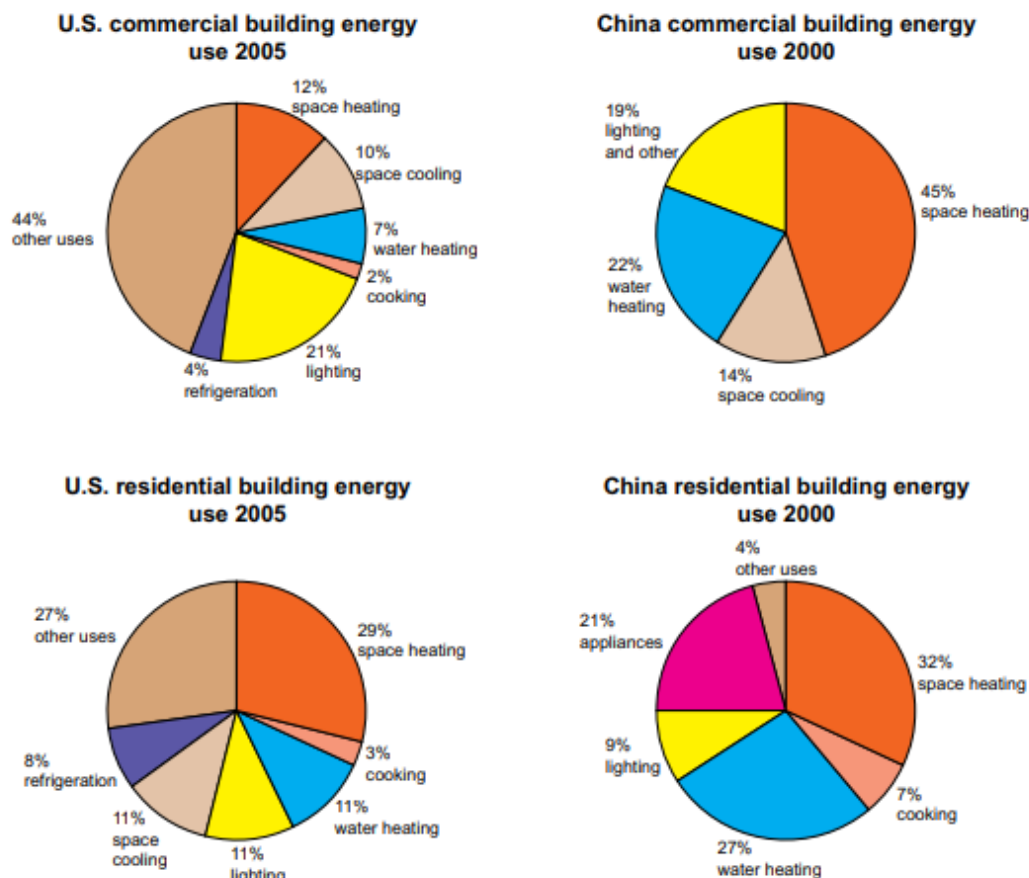
Ένας παγκόσμιος μετασχηματισμός σε κτίρια με υψηλή ενεργειακή απόδοση και χαμηλές εκπομπές αερίων είναι η λύση ώστε η αύξηση της θερμοκρασίας να μην ξεπεράσει τους 2°C. Εκτιμάται ότι μέχρι το 2060 η έκταση της επιφάνειας που καλύπτουν τα κτίρια θα έχει διπλασιαστεί καθώς η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού θα προκαλέσει την κατασκευή νέων κτιρίων που θα καλύπτουν 230 δισεκατομμύρια m<sup>2</sup> επιπλέον. Υπάρχουν πολλές πρακτικές ώστε να αντιμετωπίσουμε τον κίνδυνο παραμονής σε αναποτελεσματικά κτίρια δημιουργώντας ευκαιρίες στον τομέα των κτιρίων αλλά και των νέων κατασκευών. Στα ήδη υπάρχοντα κτίρια θα πρέπει να γίνουν βελτιώσεις για αύξηση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας και μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, ενώ για τις νέες κατασκευές είναι επιτακτική η ανάγκη εύρεσης κοινού κώδικα δημιουργίας έξυπνων κτιρίων με μηδενικό αποτύπωμα.

Υπάρχουν πολλές πρακτικές που βοηθούν στην μείωση της χρήσης ενέργειας και της κλιματικής επίδρασης του κτιριακού και κατασκευαστικού τομέα. Οι βασικές κατηγορίες περιλαμβάνουν τα εξής:

1. Στρατηγικές αστικού σχεδιασμού για αποδοτικότερη χρήση ενέργειας και χρήση ανανεώσιμων πηγών
2. Πρακτικές βελτίωσης των ήδη υπάρχοντων κτιρίων
3. Επίτευξη μηδενικών λειτουργικών εκπομπών
4. Αποτελεσματική διαχείριση της ενεργειακής απόδοσης όλων των κτιρίων
5. Μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος
6. Μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τα υλικά και του εξοπλισμού των κτιρίων ενσωματώνοντας την ανάλυση του κύκλου ζωής
7. Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας ηλεκτρικών συσκευών
8. Υιοθέτηση νέων πρακτικών σχεδιασμού και αύξησης της ανθεκτικότητας και προσαρμοστικότητας
9. Ενημέρωση και συνεχής ανάπτυξη εργαλείων για προώθηση βιώσιμων κτιρίων

Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε νέα και υφιστάμενα κτίρια οικιακής και εμπορικής χρήσης. Ωστόσο είναι σημαντικό νωρίτερα να αναφερθούμε στις κατηγορίες χρήσης ενέργειας για τα κτίρια οικιακής και εμπορικής χρήσης. Στην εικόνα (4) παρουσιάζουμε μια κατανομή της χρήσης ενέργειας με δεδομένα για την Κίνα και την Αμερική για τα έτη 2000 και 2005. Παρατηρούμε ότι για τα κτίρια οικιακής χρήσης το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας και για τις δύο χώρες αφορά την θέρμανση των χώρων και ακολουθεί η θέρμανση του νερού για την Κίνα και οι ηλεκτρικές συσκευές και άλλες χρήσεις για τις ΗΠΑ. Για τα εμπορικής χρήσης κτίρια οι διαφορές μεταξύ των δύο χωρών είναι μεγαλύτερες. Για τις ΗΠΑ το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας καταλαμβάνουν άλλες χρήσεις όπως ο εξοπλισμός των γραφείων και μικρές συσκευές. Αντίθετα στην Κίνα η θέρμανση των χώρων είναι ο κύριος παράγοντας χρήσης ενέργειας με ποσοστό 45%. Η θέρμανση του νερού δεν αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τις ΗΠΑ στα εμπορικά κτίρια ενώ αντίθετα στην Κίνα αποτελεί τον δεύτερο παράγοντα. Τέλος, και στις δυο χώρες ο φωτισμός και η ψύξη είναι η τρίτη και τέταρτη σημαντική κατηγορία χρήσης ενέργειας. Κυρίαρχος χρήστης αποτελεί η

θέρμανση των χώρων και για τις δυο χώρες αλλά και για τα οικιακής και εμπορικής χρήσης κτίρια. Κυριαρχεί και στα κτίρια της ΕΕ καταλαμβάνοντας τα 2/3 της συνολικής χρήσης ενέργειας. (Eurostat 2019). Ο φωτισμός αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους χρήστες κυρίως στα εμπορικής χρήσης κτίρια και ο κλιματισμός τα τελευταία χρόνια αποτελεί κυρίαρχο παράγοντα χρήσης ενέργειας.



Εικόνα 4: κατηγορίες χρήσης ενέργειας ανά τομέα σε ΗΠΑ (2005) και Κίνα (2000), πηγή: EIA, 2006 and Zhou, 2007.

## Πρακτικές αποδοτικής χρήσης ενέργειας

Οι στρατηγικές σχεδιασμού για αποδοτικότερη χρήση ενέργειας και ενεργειακά αποδοτικά κτίρια περιλαμβάνουν την χρήση ειδικών συστημάτων που κάνουν πιο αποτελεσματική τη χρήση ενέργειας, αποδοτικού εξοπλισμού και αποτελεσματικές στρατηγικές ελέγχου.

- Μείωση των φορτίων θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού

Μια απλή στρατηγική μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας στην κατηγορία της θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού είναι η αποτελεσματική μόνωση του κτιρίου από τις αλλαγές του εξωτερικού περιβάλλοντος. Επίσης το περίβλημα του κτιρίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σωστή εκμετάλλευση των εξωτερικών συνθηκών και τη φυσική θέρμανση ή ψύξη ή φωτισμό του κτιρίου με την απορρόφηση ηλιακής ενέργειας.

- Αύξηση της αποδοτικότητας των ηλεκτρικών συσκευών

Η χρήση αποδοτικού εξοπλισμού με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας συνεχίζει να αυξάνεται και στα κτίρια. Αυτό επιτυγχάνεται με αντικατάσταση των παλιών συσκευών, μείωση του αριθμού και του μεγέθους και χρήση φυσικών πηγών για εξοικονόμηση της ενέργειας.

- Υιοθέτηση νέων πρακτικών σχεδιασμού και αύξησης της ανθεκτικότητας και προσαρμοστικότητας

Η απόδοση ενός κτιρίου εξαρτάται τόσο από την ποιότητα της κατασκευής όσο και από τον ενδελεχή σχεδιασμό του. Η θέση και η τοποθέτηση του κτιρίου περιλαμβάνει ανασκόπηση σχεδιασμού, λειτουργικές δοκιμές και έλεγχο κατανάλωσης ενέργειας. Υψίστης σημασίας αποτελούν τα αρχικά υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του αλλά και ο συνεχής έλεγχος λειτουργίας του για την ενεργειακή αποτελεσματικότητά του. Η συντήρηση και οι συνεχείς βελτιώσεις αυξάνουν τον κύκλο ζωής των νέων και τον υφιστάμενων κτιρίων. Τα κτίρια θα πρέπει να εξετάζονται σαν ολόκληρα συστήματα έτσι ώστε να οδηγηθούμε σε νέα κτίρια που απαιτούν λιγότερη χρήση ενέργειας με χαμηλότερο κόστος από τα συμβατικά. Αυτό απαιτεί τη χρήση εργαλείων και την ολοκληρωμένη διαδικασία σχεδιασμού (Integrated Design Process) IDP κατά την οποία η διαδικασία κατασκευής των κτιρίων βελτιώνεται από τα αρχικά στάδια σχεδιασμού, επιλογής τοποθεσίας και υλικών ώστε να ενσωματωθούν οι βέλτιστες λύσεις. Τα βήματα που περιέχει η μέθοδος IDP είναι τα εξής: α) την επιλογή αποδοτικού κτιρίου και εξοπλισμού, β) την ενσωμάτωση αποτελεσματικού συστήματος ενεργειακής εξοικονόμησης της κατανάλωσης για βελτιστοποίηση της λειτουργικότητας του κτιρίου και της χρήσης που αποδίδεται στον ανθρώπινο παράγοντα και γ) τον έλεγχο και την διαρκή συντήρηση του εξοπλισμού (Todisco, 2004). Τα βήματα αυτά μπορούν να επιτύχουν ενεργειακή εξοικονόμηση 35-50% για ένα καινούριο κτίριο σε σχέση με ένα συμβατικό, ενώ η ενσωμάτωση και η χρήση καινοτόμων τεχνολογιών και εξειδικευμένου εξοπλισμού μπορεί να οδηγήσει σε μείωση μεγέθους 50-80% (Harvey L.D.D, 2006).

- Αλλαγή συμπεριφοράς

Η ενεργειακή απόδοση καθώς και η εξοικονόμηση ενέργειας ενός κτιρίου εξαρτάται και από τη συμπεριφορά, τις αποφάσεις και τις συνήθειες των ανθρώπων. Το πανεπιστήμιο Princeton απέδειξε διακυμάνσεις ενεργειακής χρήσης διαφόρων παραγόντων ανάμεσα σε δυο πανομοιότυπα σπίτια με διαφορετικούς ενοίκους (Socolow, 1978). Ακόμα και στα κτίρια εμπορικής χρήσης η συμπεριφορά των ανθρώπων επηρεάζει την ενεργειακή αποδοτικότητα όταν οι λειτουργίες για τη θέρμανση ή την ψύξη γίνονται χειροκίνητα (Ueno, 2006).

## Εξωτερικό περίβλημα κτιρίου

Η θερμομόνωση είναι από τις πιο απαραίτητες παρεμβάσεις για αποτελεσματική εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια. Τα υλικά της θερμομόνωσης προσφέρουν λιγότερες ενεργειακές απώλειες ενώ η θερμοκρασία στους εσωτερικούς χώρους διατηρείται σταθερή. Η αποτελεσματική θερμική κάλυψη εξαρτάται α) από τα επίπεδα μόνωσης στους τοίχους, στην

οροφή και στα δάπεδα, β) από τα θερμικά χαρακτηριστικά των παράθυρων και των πορτών και γ) από το ποσοστό αέρα που εισέρχεται και εξέρχεται από το κτίριο το οποίο επηρεάζεται από την μόνωση του κελύφους του κτιρίου, την εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία, το σύστημα εξαερισμού και τις μεταφορές ψυχρού και θερμού αέρα. Βελτιώσεις στο εξωτερικό περίβλημα του κτιρίου μπορούν να μειώσουν τις ενεργειακές δαπάνες αλλά και τις ανάγκες της κατανάλωσης. Το λεγόμενο «κέλυφος» χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια και μέσω μονωτικών πάνελ με ειδικά υλικά που θωρακίζουν το κτίριο και απομονώνουν τη θερμότητα. Έχει την ικανότητα να δεσμεύει τον αέρα με φυσικό τρόπο και είναι αποτελεσματικό και κατά τους θερινούς μήνες όπου είναι απαραίτητη η θερμική αποφόρτιση των κτιρίων. Η εξοικονόμηση που μπορεί να επιτευχθεί στις ανάγκες θερμικής ενέργειας φτάνει το 30% αφού χρησιμοποιούνται λιγότερα τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης.

- Τεχνολογίες θέρμανσης χώρου: ο ηλεκτρικός εξοπλισμός και τα ορυκτά καύσιμα κυριαρχούν στην αγορά καταλαμβάνοντας μεγαλύτερο από το 80% του συνολικού αποθέματος εξοπλισμού στα κτίρια παγκοσμίως. Ωστόσο, οι αποδόσεις τους δεν φτάνουν το 80% σε αντίθεση με τους λέβητες αερίων που αποδίδουν ποσοστό μεγαλύτερο του 95%.
- Τεχνολογίες ψύξης του χώρου: το κλιματιστικό χρησιμοποιείται ευρέως με αποδόσεις που φτάνουν το 300%. Υπάρχουν διαθέσιμες τεχνολογίες που η αποδοτικότητα ξεπερνάει το 600% και χρησιμοποιούνται κυρίως στην Αμερική, στην Ιαπωνία και την Κίνα. Ενώ ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται σε Μεξικό, Βραζιλία και Ινδία αποδίδει στο 400%. Ο φυσικός αερισμός είναι ένας τρόπος εξοικονόμησης της ενέργειας που απαιτείται για την ψύξη του χώρου συγκριτικά με τους μηχανική ψύξη. Ο φυσικός αερισμός απαιτεί επαρκή δύναμη και μεγάλο αριθμό ανοιγμάτων για την παραγωγή κατάλληλης ροής του αέρα. Το ψυκτικό αποτέλεσμα της κίνησης του αέρα κατά τις νυχτερινές ώρες επιτυγχάνει μείωση της θερμοκρασίας στον εσωτερικό χώρο παρόμοια με αυτή της μηχανικής. Όταν η θερμοκρασία στο εξωτερικό περιβάλλον είναι 30°C, η καλύτερη θερμοκρασία για τον εσωτερικό προκύπτει από τον φυσικό τρόπο αερισμού και είναι στους 27°C, ενώ στα μηχανικά αεριζόμενα κτίρια είναι στους 25°C (Richard J. De Dear, 2002). Η μηχανική με την φυσική ψύξη του χώρου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό για πιο αποδοτικά αποτελέσματα εξοικονόμησης ενέργειας.
- Συλλογή και μετασχηματισμός της ηλιακής ενέργειας: τα κτίρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως συλλέκτες ενέργειας. Με τον απαιτούμενο μετασχηματισμό μπορούν να καλύψουν σε μεγάλο βαθμό τις ενεργειακές τους ανάγκες μειώνοντας την εξάρτησή τους στα ενεργειακά δίκτυα. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον φυσικό φωτισμό, τη θέρμανση αλλά και την φυσική ψύξη των κτιρίων. Ο συνδυασμός ενός αποδοτικού εξωτερικού περιβλήματος κτιρίου και αποδοτικά συστήματα ενεργειακής εξοικονόμησης μπορούν να καλύψουν το 50-75% των ενεργειακών αναγκών για θέρμανση και ψύξη. Η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών πάνελ κυρίως σε κτίρια εμπορικής χρήσης μπορεί να καλύψει την υπόλοιπη ηλεκτρική ζήτηση.

#### Case study Norway:

Ηγετικός είναι ο ρόλος της Νορβηγίας στην υλοποίηση πολιτικών και στρατηγικών προς μια βιώσιμη κατασκευαστική βιομηχανία, με φιλικά προς το περιβάλλον υλικά, εργοτάξια

μηδενικών εκπομπών και κτίρια ενεργειακά αποτελεσματικά. Η προσπάθεια αυτή εντοπίζεται σε τρεις τομείς μέσω ειδικών projects. Πιο συγκεκριμένα, μέσω του longship project επιτυγχάνεται αποθήκευση του διοξειδίου του άνθρακα για μείωση των εκπομπών αερίων CO<sub>2</sub> από την παραγωγή σκυροδέματος και χάλυβα. Η αποθήκευση φτάνει τα 400.000 Mt εκπομπών CO<sub>2</sub> ετησίως. Δεύτερος στόχος αποτελεί η μείωση της χρήσης υλικών υψηλής έντασης άνθρακα στον τομέα της κατασκευής. Η αντικατάσταση του χάλυβα με υλικά που χρησιμοποιούν το ξύλο ως δομικό υλικό δείχνει να είναι αποτελεσματική αφού τα φιλικά προς το περιβάλλον υλικά είναι ίδιας δύναμης και ανθεκτικότητας. Το ψηλότερο κτίριο από ξύλο έχει χτιστεί στο Brumunddal στη Νορβηγία. Επίσης, με αυστηρή βιώσιμη νομοθεσία για τη δασική βιομηχανία, τα νορβηγικά κτίρια από ξύλο είναι και τα πιο ecofriendly παγκοσμίως. Το δεύτερο πρόγραμμα που αφορά τη χρήση υλικών φιλικά προς το περιβάλλον περιλαμβάνει και την χρήση ανακυκλώσιμων υλικών καθώς και επαναχρησιμοποίηση αποβλήτων σε συνδυασμό με το τσιμέντο. Έτσι, επιτυγχάνεται ο στόχος για πιο καθαρά και ανθεκτικά κτίρια και βιώσιμους αστικούς χώρους. Το τρίτο πρόγραμμα αφορά τα εργοτάξια μηδενικών ρύπων και εκπομπών μέσω ειδικού εξοπλισμού. Το Όσλο έχει θέσει προθεσμία για το στόχο αυτό ως το 2030, ο οποίος σύμφωνα με προβλέψεις θα επιτευχθεί πολύ νωρίτερα. Η ενεργειακή αποτελεσματικότητα των κτιρίων, τα λεγόμενα έξυπνα κτίρια αποτελούν μία ακόμα προσπάθεια για μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και ενεργειακά αυτόνομα κτίρια που θα παράγουν την απαιτούμενη ενέργεια για την λειτουργία τους. Το εθνικό μουσείο στο Όσλο αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα έξυπνου κτιρίου. Συγκεκριμένα πρόκειται για αυτοτροφοδοτούμενο, ενεργειακά αυτόνομο κτίριο με μειωμένη ενεργειακή κατανάλωση.

## 1.4 Πιστοποιήσεις Πράσινων Κτιρίων

Ένας από τους ορισμούς της βιώσιμης ανάπτυξης που έχει επικρατήσει αφορά την βιώσιμη χρήση των φυσικών πόρων με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιεί τις ανάγκες της σημερινής γενιάς χωρίς να επηρεάζει την δυνατότητα των επόμενων γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους. Ο όρος αυτός αναφέρθηκε αρχικά στην έκθεση Brundtland το 1987, «Our Common Future», και από τότε έχει κυριαρχήσει σε όλους τους τομείς. Η κατασκευαστική βιομηχανία δεν αποτελεί εξαίρεση. Αντίθετα, λόγω των σημαντικών επιπτώσεων που προκαλεί, επιβάλλεται να ακολουθήσει τα διεθνή πρότυπα και να υιοθετήσει βιώσιμες πρακτικές. Ωστόσο, η μέτρηση της επίδρασης του κατασκευαστικού τομέα είναι ένα πολύπλοκο θέμα αφού θα πρέπει να περιέχει την όχι μόνο τα αποτελέσματα από την κατασκευή ενός νέου κτιρίου και την διατήρηση της αποτελεσματικής λειτουργίας (αποτελεσματικός κύκλος ζωής) του αλλά και τα αποτελέσματα της κατεδάφισης παλιών κτιρίων. Ένα βιώσιμο κτίριο μειώνει



τις αρνητικές επιπτώσεις και δεν επηρεάζει αρνητικά την κλιματική αλλαγή και γενικά το περιβάλλον. Προκαλεί θετικές επιδράσεις, εξοικονομεί τους φυσικούς πόρους και αυξάνει το επίπεδο ποιότητας της ζωής. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του σχεδιασμού (design), της κατασκευής (construction-materials) και της αποτελεσματικής λειτουργικότητάς του (operation).

Για να μετρηθεί η βιωσιμότητα των κτιρίων, τα τελευταία 30 χρόνια έχουν δημιουργηθεί αρκετά πιστοποιητικά από πολλές χώρες τα οποία επιβεβαιώνουν τις βιώσιμες πτυχές οποιασδήποτε κατασκευής. Κάποια πιστοποιητικά πιστοποιούν εάν το κτίριο πληροί κάποια κριτήρια αποτελεσματικότητας, ενώ άλλα δημιουργούν διαφορετικές ταξινομήσεις αποδίδοντας μια βαθμολογία με βάση αυτές τις αξιολογήσεις. Οι Unruh και Ettenson, 2010, έχουν διατυπώσει 4 στρατηγικές τις οποίες θα πρέπει να επιλέγουν οι διάφορες επιχειρήσεις για τη θέσπιση των πράσινων προδιαγραφών τους.

1. Υιοθέτηση υφιστάμενων προδιαγραφών (Adopt). Συνέχιση των όποιων αποτελεσματικών πρακτικών που ήδη εφαρμόζονται από τον φορέα.
2. Εν μέρει υιοθέτηση νέων προδιαγραφών ως επωφελείς τροποποιήσεις (Co-opt).
3. Υιοθέτηση νέων καινοτόμων πρακτικών μέσω επένδυσης στην έρευνα και ανάπτυξη αλλά και κατάλληλων συνεργιών (Define).
4. Απομάκρυνση υφιστάμενων αναποτελεσματικών προδιαγραφών και αντικατάστασή τους (Break away).

Στη συνέχεια θα αναλύσουμε κάποια από τα συστήματα αξιολόγησης που εφαρμόζονται ευρέως. Οι 4 στρατηγικές που περιγράψαμε παραπάνω υιοθετούνται από την πιστοποίηση LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). Το ENERGY STAR αποτελεί εθελοντικό πρόγραμμα της Αμερικανικής Υπηρεσίας Περιβαλλοντικής Προστασίας το οποίο βοηθά στην εξοικονόμηση πόρων, την προστασία του περιβάλλοντος και την ενεργειακή αποδοτικότητα. Και τέλος, η πιστοποίηση BREEAM είναι παγκόσμια μέθοδος πιστοποίησης αξιολόγησης της αειφορίας σε έργα σχεδιασμού, υποδομών και κατασκευών που δίνει έμφαση στην υψηλή απόδοση σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής των κτιρίων.

#### ▪ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ LEED

Η πιστοποίηση LEED είναι από τα πιο αναγνωρισμένα συστήματα αξιολόγησης και πιστοποίησης των πράσινων κτιρίων που ικανοποιεί τις τέσσερις στρατηγικές που περιγράψαμε παραπάνω. Ιδρύθηκε στις ΗΠΑ από το US Green Building Council (USGBC) και έγινε γρήγορα γνωστό σε όλο τον κόσμο. Τα πιστοποιημένα κτίρια με LEED λειτουργούν με αποδοτικό τρόπο, εξοικονομούν χρήματα και ενέργεια, μειώνουν τις εκπομπές άνθρακα και δημιουργούν ιδανικές συνθήκες εργασίας. Συμβάλλουν στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και είναι σε πλήρη συμφωνία με τους στόχους βιωσιμότητας. Προάγουν την καινοτομία και αποτελούν κίνητρο για την υιοθέτηση πιο αποδοτικού εξοπλισμού (Jiří Dobíáš, 2014). Για να αποκτηθεί η πιστοποίηση LEED, ένα έργο θα πρέπει να κερδίσει βαθμούς τηρώντας τις προϋποθέσεις που αφορούν ενέργεια, νερό, άνθρακα, απόβλητα, μεταφορές, υλικά, υγεία, και εσωτερική ποιότητα περιβάλλοντος, καινοτομία, και περιφερειακή προτεραιότητα (περιφέρεια στην οποία ανήκει το κτίριο). Τα έργα θα πρέπει να περάσουν τα στάδια της επαλήθευσης και αξιολόγησης από το GBCI για να λάβουν βαθμούς που αντιστοιχούν στα διάφορα επίπεδα πιστοποίησης LEED. Αν επιτύχει τουλάχιστον 40 βαθμούς

πιστοποιείται ως CERTIFIED. Τα επόμενα επίπεδα είναι SILVER με επίτευξη 50 βαθμών και άνω, το επίπεδο GOLD με 60 βαθμούς και άνω και τέλος το επίπεδο PLATINUM με επίτευξη 80 βαθμών και άνω.

Η πιστοποίηση LEED δεν επικεντρώνεται σε ένα μόνο τομέα όπως η ενέργεια ή το νερό ή τα απόβλητα. Είναι ένα ολιστικό σύστημα που αξιολογεί το συνολικό αποτέλεσμα που περιλαμβάνει επιτεύγματα από όλους τους τομείς. Συγκεκριμένα, οι βαθμοί θα πρέπει να συγκεντρωθούν ως εξής: το 35% να σχετίζεται με την κλιματική αλλαγή, 20% με την ανθρώπινη υγεία, 15% με τα συστήματα νερού, 10% με τη βιοποικιλότητα, 10% με την πράσινη οικονομία, 5% να αφορά θέματα με την κοινότητα και ένα ποσοστό 5% με τους φυσικούς πόρους.

#### ▪ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ BREEAM

Η μέθοδος BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) ιδρύθηκε το 1990 από τον οργανισμό BRE στην Αγγλία και πλέον αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους πιστοποίησης και αξιολόγησης κτιρίων. Η αξιολόγηση γίνεται στην περιβαλλοντική συμπεριφορά του κτιρίου με βάση την κατασκευή, την μελέτη και τη λειτουργία. Χρησιμοποιείται μια ολιστική προσέγγιση εξετάζοντας περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η ενέργεια, το νερό, υλικά μεταφορές, απορρίμματα, οικολογία, χρήση γης, ρύπανση, υγιεινή και άνεση και διαχείριση.

Οι βαθμίδες κατάταξης είναι οι εξής:

- Outstanding
- Excellent
- Very Good
- Good
- Pass

Η έκδοση των πιστοποιητικών μπορούν να γίνουν σε δυο φάσεις. Το ενδιάμεσο πιστοποιητικό εκδίδεται στη φάση της μελέτης και του σχεδιασμού (Design stage, Interim Certificate). Και το οριστικό πιστοποιητικό μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής (Post construction Stage, Final Certificate).

## 1.5 Σενάρια και Στόχοι

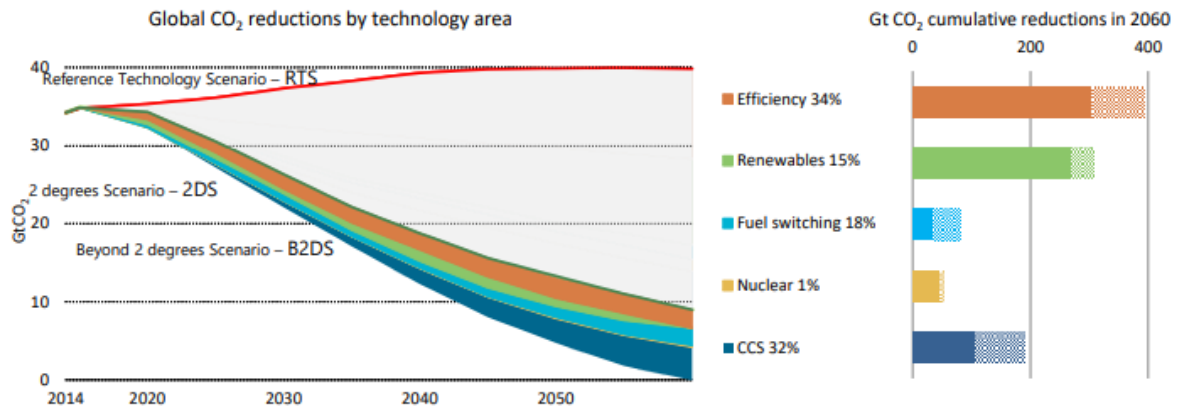
Η παγκόσμια χρήση ενέργειας από τα κτίρια αυξήθηκε κατά 2,5% ετησίως από το 2010 μέχρι και το 2016. Στις χώρες του ΟΟΣΑ η ζήτηση για ενέργεια παρέμεινε σε σταθερά επίπεδα λόγω ενσωμάτωσης στρατηγικών αποδοτικής ενέργειας. Ωστόσο, η χρήση ενέργειας έχει αυξηθεί κατά 25% από το 2000. Μέχρι το 2030 ο στόχος μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> έχει αυξηθεί στο 60%. Ενώ, μέχρι το 2050 θα πρέπει να επιτευχθεί κλιματική ουδετερότητα μέσω ενός συγκεκριμένου νομικού πλαισίου. Παρά τις πολλαπλές βελτιώσεις στον κλάδο της βιομηχανίας και της χρήσης ενέργειας από τα κτίρια απέχουμε σε πολύ μεγάλο βαθμό από την υλοποίηση των στόχων που έχουν τεθεί. Συγκεκριμένα, οι περισσότερες χώρες έχουν κτίρια υψηλής εντάσεως ενέργειας από άνθρακα που παράγουν υψηλά επίπεδα CO<sub>2</sub> τα οποία

ξεπερνούν τον φιλόδοξο στόχο των 2°C της συμφωνίας του Παρισιού. Οι στόχοι αυτοί μπορούν να επιτευχθούν μόνο αν οι εν λόγω εκπομπές μειωθούν σε επίπεδα κάτω των 20 τόνων CO<sub>2</sub> ανά TJ πριν από το 2050.

### Σενάρια RTS-2DS-B2DS

Σήμερα, πρόκληση αποτελεί η διασφάλιση του μετασχηματισμού των κτιρίων και των κατασκευών αλλά και η αύξηση του ρυθμού προόδου αυτού. Σύμφωνα με την αναφορά του IEA υπάρχουν τρία πιθανά σενάρια για την ανάπτυξη στον τομέα της ενέργειας μέχρι το 2060. Το πρώτο σενάριο RTS (Reference Technology Scenario) το οποίο πραγματεύεται τις υφιστάμενες ενεργειακές πολιτικές και πρακτικές για τα κτίρια σύμφωνα με την συνθήκη του Παρισιού, προβλέπει συνολική αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης στον τομέα των κτιρίων κατά 30% έως και το 2060, υπό την προϋπόθεση ότι δεν θα υπάρξει εξέλιξη στον τομέα των κατασκευών και των κτιρίων και δεν θα ενσωματωθούν νέα μέτρα για μείωση του ανθρακικού αποτελέσματος και εξοικονόμηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Ως συνέπεια, αναφέρεται η αύξηση των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 10% επιπλέον μέχρι το 2060, διπλάσιο ποσοστό από τις εκπομπές μεταξύ των ετών 1990-2016. Ενώ είναι ένα αναπτυξιακό σενάριο με υψηλά αποτελέσματα αποδόσεων σε σχέση με τις πρακτικές του παρελθόντος, δεν συνάδει με την επίτευξη των στόχων για μείωση της κλιματικής αλλαγής. Χρειάζεται ένα πιο φιλόδοξο σχέδιο με πιο αποφασιστικές, βιώσιμες πολιτικές και αποτελεσματική προσπάθεια. Ακολουθεί το δεύτερο σενάριο των 2°C, (2DS) το οποίο κάνει εφικτή την πιθανότητα ποσοστού 50% για την διατήρηση της θερμοκρασίας σε επίπεδα κάτω των 2°C. οι στρατηγικές του 2DS σεναρίου σταθεροποιούν την ενεργειακή ζήτηση των κτιρίων και πετυχαίνουν μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> από τον κτηριακό τομέα κατά 85% μέχρι το 2060 σε σχέση με τα σημερινά επίπεδα. Περιλαμβάνει μέτρα αποδοτικής χρήσης της ενέργειας και προσπάθεια μείωσης του ανθρακικού αποτυπώματος λαμβάνοντας υπόψη τις δυνατότητες του τομέα και τα πλεονεκτήματα που μπορούν να προκύψουν. Το σενάριο αυτό απαιτεί τεχνογνωσία και καινοτόμες λύσεις για την ανάπτυξη τεχνολογιών ενεργειακής αποδοτικότητας και επίτευξης μηδενικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και άλλων βλαβερών για τον άνθρωπο ουσιών, μέσα στα επόμενα 40 χρόνια. Η ανάπτυξη ενός τρίτου σεναρίου περιλαμβάνει περισσότερες αλλαγές, εντατικό μετασχηματισμό της κοινωνίας με πολλά κίνητρα στις αγορές ώστε να αφομοιώσουν τις στρατηγικές και να επενδύσουν στην έρευνα και ανάπτυξη για καινοτόμες τεχνολογίες στα κτίρια. Το σενάριο Beyond 2°C (B2DS) προϋποθέτει μια ραγδαία μεταβολή απανθρακοποίησης σύμφωνα με τους στόχους της βιώσιμης ανάπτυξης και της συμφωνίας του Παρισιού. Το B2DS περιλαμβάνει την άμεση υιοθέτηση αποτελεσματικών στρατηγικών ενεργειακής αποδοτικότητας και χαμηλών ανθρακικών εκπομπών, την ενσωμάτωση πιστοποιητικών βιώσιμων κτιρίων, την ανάπτυξη τεχνολογιών υψηλής απόδοσης και τη στρατηγική μετάβαση από την χρήση ορυκτών καυσίμων στα κτίρια. Το σενάριο αυτό προβλέπει μείωση της συνολικής ζήτησης ενέργειας κάτω από 115 EJ μέχρι το 2060 με μηδενικές εκπομπές αερίων από τα κτίρια πριν το 2060 (πίνακας αα). Η επιτυχία αυτού του σεναρίου προϋποθέτει την ενεργοποίηση όλων των φορέων παγκοσμίως ώστε να λειτουργήσουν αποτελεσματικά και συνεργατικά στα συγκεκριμένα χρονικά πλαίσια. Αυτό απαιτεί τη συμφωνία και την προσπάθεια όλων των ενδιαφερόμενων μερών.

Διαγραμματική απεικόνιση των συνεπειών από την καθυστέρηση 10 χρόνων εφαρμογής των μέτρων που αφορούν την ενεργειακή κατανάλωση στον κτιριακό τομέα.



Εικόνα 5: Σενάρια RTS-2DS-B2DS

### ΣΕΝΑΡΙΑ WEO (world energy outlook) ΒΑΣΙΣΜΕΝΑ ΣΤΟ WORLD ENERGY MODEL

Το WEO χρησιμοποιεί κάποια σενάρια ώστε να αναλύσει πιθανές ενεργειακές τάσεις που θα προκύψουν στο μέλλον. Ανάλογα με τις πρακτικές που θα χρησιμοποιηθούν και τις δράσεις που θα υιοθετηθούν καθώς και με τις διαφορετικές υποθέσεις που θα γίνουν για το κάθε σενάριο, τα αποτελέσματα που θα έχουμε θα είναι διαφορετικά και συγκρίσιμα. Στόχος είναι να αποτελέσουν κίνητρο για άμεση κινητοποίηση και ενσωμάτωση στρατηγικών που αφορούν το μέλλον της παγκόσμιας ενέργειας. Από το WEO του 2021 αναπτύχθηκαν τέσσερα σενάρια: το net zero emissions by 2050 σενάριο (NZE), το announced pledges scenario (APS), το stated policies scenario (STEPS) και το sustainable development scenario (SDS). Το Net zero Emissions by 2050 scenario αποτελεί προσπάθεια απανθρακοποίησης του κτιριακού τομέα έως το 2050. Θέτει ένα πολύ συγκεκριμένο σχέδιο για τον ενεργειακό τομέα με αποτελέσματα που μπορούν να επιτευχθούν χωρίς να επηρεάζονται από τις μειώσεις των εκπομπών από τους άλλους τομείς. Οι στρατηγικές του συμβάλλουν στον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας πάνω από 1,5 °C με πιθανότητα στο 50%, στηρίζει την καθολική πρόσβαση σε τεχνολογίες ενέργειας και βελτιώσεις στην ποιότητα του αέρα. Το σενάριο αυτό εξετάζεται με αισιοδοξία και είναι εφικτό εφόσον δημιουργηθούν και υιοθετηθούν καινοτόμες στρατηγικές και ξεκάθαρα μονοπάτια και που θα συμβάλουν σε μια επιτυχημένη μετάβαση με μηδενικές εκπομπές από τα κτίρια μέχρι το 2050. Υπάρχουν πολλές λύσεις που μπορούν να υποστηρίξουν την αυτή τη μετάβαση όπως οι πράσινες πιστοποιήσεις για τα κτίρια, οι επενδύσεις σε νέες τεχνολογίες για αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας και η ίδρυση ενός κανονιστικού πλαισίου με κίνητρα και στήριξη των αγορών. Σύμφωνα με την ανάλυση του Climate Action Tracker (CAT) οι μειώσεις στις εκπομπές ρύπων θα πρέπει να επιταχυνθούν και να έχουν φτάσει σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο έως το 2030, ενώ έως το 2040 θα πρέπει να μπορούμε ένα μιλίμε για μηδενικές εκπομπές CO<sub>2</sub> από τον κτηριακό τομέα. Κάνοντας μια σύγκριση με τα αποτελέσματα του έτους 2020 και σύμφωνα με ανάλυση του CAT, οι μειώσεις των εκπομπών CO<sub>2</sub> το 2030 θα πρέπει να φτάνουν στο 45%, στο 65% το 2040 και στο 75% το 2050 συγκριτικά με τα αποτελέσματα του έτους 2020. Τα σενάρια APS και STEPS εστιάζουν στις πολιτικές και στα μέτρα που πρέπει να συμφωνήσουν οι αρχές αλλά και στους στόχους που θα πρέπει να επιτευχθούν. Έπειτα εξετάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν μέσω ενεργειακών μοντέλων που λαμβάνουν υπόψη την τεχνολογική πρόοδο και την κατάσταση των αγορών. Το σενάριο SDS βασίζεται σε ένα δομημένο σχέδιο με στρατηγικές που

στοχεύουν σε βιώσιμες και προσιτές ενεργειακές βελτιώσεις μέχρι και το 2030. Τα αποτελέσματα συμφωνούν με τις δεσμεύσεις της συμφωνίας των Παρισίων για τον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας αλλά και με τους στόχους της βιώσιμης ανάπτυξης. Συγκεκριμένα τα βήματα περιλαμβάνουν τους στόχους 7 (προσιτή και καθαρή ενέργεια) και 13 (δράσεις για το κλίμα). Το IEA υπολογίζει ότι στο σενάριο SDS οι άμεσες εκπομπές μειώνονται πάνω από 30% μέχρι το 2030, ενώ οι συνολικές άμεσες και οι έμμεσες εκπομπές μειώνονται 3,5 Gt CO<sub>2</sub> την περίοδο 2019-2030 (IEA, 2020). Ωστόσο, στο NZE2050 σενάριο οι άμεσες εκπομπές CO<sub>2</sub> από τον κτιριακό τομέα υπολογίζεται ότι θα πρέπει να μειωθούν κατά 50% ενώ οι άμεσες κατά 60% μέχρι το 2030 (IEA, 2020). Για να πραγματοποιηθούν οι δεσμεύσεις αυτές, σημαίνει ότι ο ετήσιος ρυθμός μείωσης των εκπομπών θα πρέπει να διαμορφωθεί στο 6% την περίοδο 2020 με 2030. Την περίοδο της πανδημίας covid-19 οι εκπομπές CO<sub>2</sub> μειώθηκαν κατά 7% (United Nations Environment Programme, 2020).



Εικόνα 6 : Βιώσιμοι Στόχοι

Πηγή: <https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs>

Τα σενάρια αυτά τονίζουν την σπουδαιότητα των στόχων και των πολιτικών για την επίτευξη τους. Είναι καθοριστικός ο ρόλος των κυβερνητικών αποφάσεων καθώς και η συμφωνία και η συνεργία αυτών για το μέλλον του παγκόσμιου ενεργειακού συστήματος. Η μετάβαση σε μια οικονομία με ελάχιστες εκπομπές CO<sub>2</sub> οδηγεί σε αποτελεσματικούς τρόπους διαχείρισης της ενέργειας και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από ανανεώσιμες πηγές και ελάχιστα σε ορυκτά καύσιμα. Για να γίνει άμεσα και με επιτυχία είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη παράγοντες όπως η οικονομία και τα χαρακτηριστικά κάθε χώρας, η εκπαίδευση και η τεχνογνωσία, το κόστος της μετάβασης και της χρήσης νέων τεχνολογιών, οι συνεργίες, η προσβασιμότητα και οι τιμές της ενέργειας και τέλος, οι συνθήκες των ανθρώπων και οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά τους.

## Κεφάλαιο 2 : Οικονομία και Περιβάλλον

### 2.1 Εισαγωγή

Το περιβάλλον έχει βρεθεί στο προσκήνιο των σύγχρονων ζητημάτων τόσο για τις αναπτυγμένες όσο και για τις αναπτυσσόμενες χώρες. Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι η ευημερία των ανθρώπων εξαρτάται σε μεγάλο ποσοστό στην οικονομική ανάπτυξη. Η σχέση ανάμεσα στην κατανάλωση ενέργειας και στην οικονομική ανάπτυξη όσο και ανάμεσα στην οικονομική ανάπτυξη και την περιβαλλοντική ρύπανση είναι θέματα που απασχολούν την επιστημονική κοινότητα έντονα τις τελευταίες δεκαετίες. Ωστόσο, τα αποτελέσματα και τα δεδομένα παραμένουν αμφισβητήσιμα και εξετάζουν περιορισμένους τομείς δραστηριοτήτων. Δεδομένου ότι η υποβάθμιση της ποιότητας του περιβάλλοντος εγείρει ανησυχίες όσον αφορά την υπερθέρμανση του πλανήτη και την κλιματική αλλαγή που οφείλεται κυρίως στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Kasman, 2015). Η ανάπτυξη της οικονομίας οδηγεί στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος και η κλιματική αλλαγή είναι πιθανό να έχει καταστροφικές επιπτώσεις στην πορεία των ανθρώπινων και φυσικών συστημάτων, των οικονομιών και των υποδομών. Η σύνδεση της οικονομικής ανάπτυξης και της ποιότητας του περιβάλλοντος περιγράφεται από την καμπύλη Kuznets (ΕΚC), την οποία θα αναλύσουμε σε αυτό το κεφάλαιο.

### 2.2 Καμπύλη Kuznets

Η καμπύλη Kuznets αρχικά διατυπώθηκε από τον οικονομολόγο Simon Kuznets (1901 -1985) ο οποίος θέλησε να εξηγήσει την σχέση δυο μεταβλητών, της οικονομικής ανισότητας και του κατά κεφαλήν εισοδήματος κατά τη διάρκεια της οικονομικής ανάπτυξης. Ο Simon Kuznets αρχικά υπέθεσε ότι καθώς μια οικονομία αναπτύσσεται και το εισόδημα αυξάνεται, οι νόμοι της αγοράς αρχικά θα αυξήσουν και στη συνέχεια θα μειώσουν την οικονομική ανισότητα. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ένα σημείο μέχρι το οποίο η οικονομική ανισότητα φτάνει σε ένα μέγιστο σημείο στο οποίο φαίνεται ότι η κοινωνία πρόκειται να ωφεληθεί από την επερχόμενη πτώση της ανισότητας και την αύξηση του κατά κεφαλήν εισοδήματος. Διαγραμματικά σχηματίζεται μία καμπύλη σε σχήμα καμπάνας, στην οποία το κατά κεφαλήν εισόδημα απεικονίζεται στον οριζόντιο άξονα X ενώ η οικονομική ανισότητα στον κάθετο άξονα Y. Όπως ήταν αναμενόμενο υπήρξαν πολλές κριτικές για τη θεωρία αυτή που βασίστηκαν στην «ευθραυστότητα των δεδομένων» την οποία τόνισε ο ίδιος ο Kuznets. Ωστόσο, πάνω σε αυτή τη θεωρία και το σχήμα της καμπύλης έχουν αναπτυχθεί πολλές έρευνες με την

περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets να έχει επικρατήσει και να αποτελεί ένα ανεξάρτητο ερευνητικό θέμα (Behnaz Saboori, 2012).

Η υπόθεση της EKC (Environmental Kuznets Curve) προϋποθέτει μια ανεστραμμένη σχέση σχήματος U μεταξύ του επιπέδου περιβαλλοντικής υποβάθμισης και της αύξησης του εισοδήματος. Δηλαδή, η υποβάθμιση του περιβάλλοντος αυξάνεται με το κατά κεφαλήν εισόδημα κατά τα πρώτα στάδια της οικονομικής ανάπτυξης και στη συνέχεια μειώνεται με το κατά κεφαλήν εισόδημα αφού φτάσει σε ένα όριο. Επιπλέον η υπόθεση EKC καθορίζει τις εκπομπές ως συνάρτηση του εισοδήματος που δείχνει μονοκατευθυντική αιτιότητα που κυμαίνεται από το εισόδημα στις εκπομπές (Ali Acaravci, 2010). Η περίπτωση της EKC έχει μελετηθεί εμπειρικά για πολλούς τύπους ρύπων (N.Shafik, 1992). Έχει αποδειχτεί η εγκυρότητά της για συγκεκριμένους ρύπους με αισθητή επίδραση και χαμηλό κόστος αποκατάστασης (Stern, 1996). Ωστόσο, τα αποτελέσματα δεν συγκλίνουν προς μία κατεύθυνση για την καθολική αποδοχή της EKC υπόθεσης ή την απόρριψή της. Ειδικότερα όταν οι εκπομπές CO<sub>2</sub> χρησιμοποιούνται ως δείκτης της περιβαλλοντικής υποβάθμισης τα στοιχεία δεν έχουν καθολική ισχύ. Υπάρχουν έρευνες που δείχνουν ότι η υπόθεση EKC ανάμεσα στις εκπομπές CO<sub>2</sub> και στο κατά κεφαλήν ΑΕΠ δεν επιβεβαιώνεται καθώς η μείωση των ρύπων κινείται παράλληλα με την οικονομική ανάπτυξη (Erasmia Kotroni, 2020). Ενώ πολλές έρευνες αποδεικνύουν θετική σχέση με την οικονομική ανάπτυξη, στο οποίο το επίπεδο των εκπομπών CO<sub>2</sub> αυξάνεται με τον εισόδημα (Shafic and Bandyopadhyay, 1992, (Grossman, 1995)). Μία από τις ερμηνείες αυτού είναι ότι εφόσον οι εκπομπές CO<sub>2</sub> έχουν παγκόσμιο αντίκτυπο, ακόμα και αν ο ρυθμός αύξησής τους μειωθεί λόγω μείωσης της οικονομικής ανάπτυξης, κάτι που μπορεί να συμβεί στις αναπτυσσόμενες χώρες, οι παγκόσμιες εκπομπές CO<sub>2</sub> θα συνεχίσουν να αυξάνονται λόγω της ταχείας οικονομικής ανάπτυξης των αναπτυσσόμενων χωρών (Kaika, 2013a). Τα αποτελέσματα μπορεί να συγκλίνουν ανεξάρτητα από το αν μια χώρα για την οποία εξετάζεται η υπόθεση της EKC ανήκει στις αναπτυσσόμενες είτε στις αναπτυσσόμενες. Οι μέθοδοι Generalised Method of Moments και ARDL έχουν χρησιμοποιηθεί για να δείξουν οποιαδήποτε σχέση μεταξύ του ΑΕΠ και των CO<sub>2</sub> εκπομπών, καταλήγοντας σε αποδοχή της υπόθεσης EKC σε χώρες συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδας (Acaravci, 2010). Επιπροσθέτως, η διερεύνηση της μακροχρόνιας σχέσης μεταξύ των ίδιων παραπάνω μεταβλητών έχει αποδειχτεί με τη μέθοδο ARDL και για την Μαλαισία (αναπτυσσόμενη χώρα) την περίοδο 1980-2009 με τα αποτελέσματα να είναι σε συμφωνία με την υπόθεση της EKC (Behnaz Saboori, 2012). Συνεπώς, τα αποτελέσματα της σχέσης των μεταβλητών του κατά κεφαλήν ΑΕΠ, των εκπομπών CO<sub>2</sub> και της χρήσης ενέργειας δεν έχουν

διευκρινιστεί για όλες τις περιπτώσεις που αφορούν τη οικονομική κατάσταση μιας χώρας, την περίοδο εξέτασης αλλά και τις οικονομετρικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η σχέση του κατά κεφαλήν ΑΕΠ με τις εκπομπές CO<sub>2</sub> από τον κτιριακό και τον κατασκευαστικό τομέα, βασιζόμενοι στην υπόθεση ΕΚC. Λαμβάνουμε υπόψη παράγοντες που επιδρούν στις εκπομπές CO<sub>2</sub> όπως η χρήση ενέργειας και το επίπεδο αστικοποίησης, και χρησιμοποιούμε κριτήρια συνολοκλήρωσης και αιτιότητας. Τα δεδομένα αφορούν την περίοδο 1973-2014 και εξετάζονται η Ελλάδα και η Γερμανία με ανεξάρτητες τις μεταβλητές των εκπομπών CO<sub>2</sub> α) για τον κατασκευαστικό τομέα και β) για τον κτιριακό.

### **2.3 Ανάλυση των Μεταβλητών**

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 1 οι εκπομπές αερίων CO<sub>2</sub> από τον κτιριακό και κατασκευαστικό τομέα παρουσιάζουν μείωση μέχρι το έτος 1995. Έπειτα, ο κτιριακός τομέας φαίνεται να συμβάλει σημαντικά στην αύξηση των εκπομπών μέχρι και το 2011, ενώ από το 2011 μέχρι και το 2013 μειώνεται σε μεγάλο βαθμό. Οι εκπομπές από τον κατασκευαστικό τομέα παρουσιάζουν αυξομειώσεις μετά το 1995 αποδεικνύοντας την πτώση της δραστηριότητας του τομέα την εξεταζόμενη περίοδο. Ωστόσο, οι συνολικές εκπομπές CO<sub>2</sub>, καθώς και η συνολική χρήση ενέργειας και το κατά κεφαλήν ΑΕΠ αυξάνονται μέχρι και το 2008 δηλαδή μέχρι και την τελευταία οικονομική κρίση (Kaika, 2013a). Από το 2008 και μετά οι μεταβλητές παρουσιάζουν μείωση, δείχνοντας ότι το αρνητικό κατά κεφαλήν ΑΕΠ οδηγεί σε μειώσεις των εκπομπών CO<sub>2</sub> όπως και την χρήση ενέργειας.

Ο αστικός πληθυσμός παρουσιάζει σταθερό ρυθμό αύξησης την εξεταζόμενη περίοδο Διάγραμμα 2, ενώ δεν παρατηρούμε να επηρεάζεται από την οικονομική κρίση του 2008 και τους οικονομικούς κύκλους που παρουσιάζει η Ελλάδα.

Η ελληνική οικονομία δείχνει να ανακάμπτει την περίοδο 1997-2007. Ο ρυθμός αύξησης του ΑΕΠ είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό αύξησης της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας και των συνολικών εκπομπών αερίων CO<sub>2</sub>. Η κατανάλωση ενέργειας από τα κτίρια εμπορικής και οικιστικής χρήσης έχει αυξηθεί σημαντικά σε αντίθεση με την κατανάλωση ενέργειας από τον κατασκευαστικό τομέα (Hondroyiannis, 2002). Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από την βελτίωση του βιοτικού επιπέδου του ελληνικού πληθυσμού που προκάλεσε την αύξηση της χρήσης των

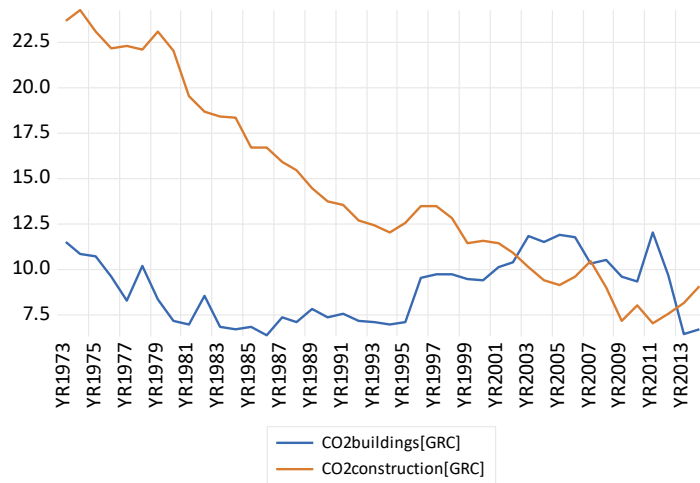


αυτοκινήτων, την αύξηση της χρήσης ηλεκτρικών συσκευών και συστημάτων ψύξης και θέρμανσης (Rapanos and Polemis, 2006).

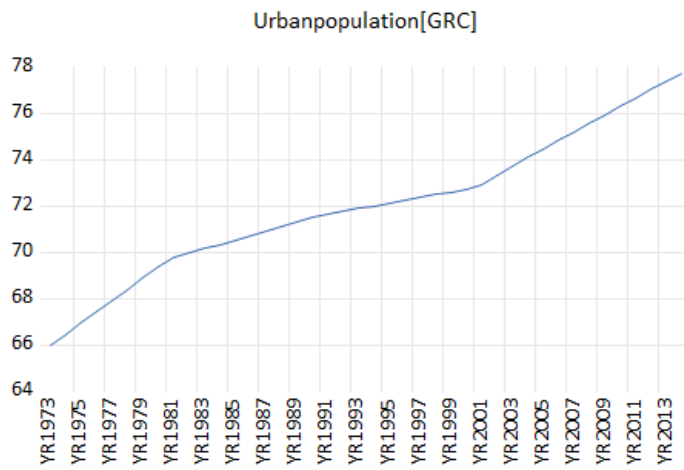
Πολλοί ερευνητές έχουν προσπαθήσει να εξηγήσουν τη σχέση μεταξύ των μεταβλητών του κατά κεφαλήν ΑΕΠ, των εκπομπών αερίων CO<sub>2</sub> από όλους τους τομείς και της χρήσης ενέργειας στην Ελλάδα. Στην έρευνα των Χατζηγεωργίου και άλλοι (2011) η μεταβλητή της κατανάλωσης ενέργειας προστίθεται σαν βοηθητική μεταβλητή στο μοντέλο εξάρτησης εισοδήματος και εκπομπών CO<sub>2</sub> την περίοδο 1977-2007 χωρίς όμως να συμπεριλάβουν την θεωρία Kuznets. Οι Zervas, Kaika και Kotroni, (2020) στο μοντέλο τους υιοθετούν την θεωρία Kuznets και εξηγούν την εξάρτηση του κατά κεφαλήν ΑΕΠ, της χρήσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων CO<sub>2</sub> με τη χρήση του ρυθμού αύξησης της αστικοποίησης, δείχνοντας την επίδρασή του στις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Οι Acaravci και Ozturk (2010) εξετάζουν την εξάρτηση μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας, των εκπομπών CO<sub>2</sub> και την οικονομικής ανάπτυξης την περίοδο 1960-2005 αποδεικνύοντας την ύπαρξη της θεωρίας Kuznets.

Η παρούσα εργασία διαφοροποιείται κάνοντας τις εξής αλλαγές. Αρχικά, η περίοδος εξέτασης έχει μεγαλύτερο εύρος και περιλαμβάνει την περίοδο της οικονομικής κρίσης στην Ελλάδα και την μεταβολή στο κατά κεφαλήν ΑΕΠ. Επιπλέον, οι εκπομπές αερίων CO<sub>2</sub> αφορούν δυο συγκεκριμένους τομείς, τις εκπομπές από τον κτιριακό τομέα και των τομέα κατασκευών. Οι εκπομπές αερίων CO<sub>2</sub> που οφείλονται σε αυτούς τους δυο τομείς ακολουθούν διαφορετική τάση σε σχέση με τις συνολικές εκπομπές την εξεταζόμενη περίοδο. Επίσης, ακολουθούμε την θεωρία Kuznets και εξετάζουμε την ύπαρξη της θεωρίας για την εξεταζόμενη περίοδο. Η μεταβλητή του αστικού πληθυσμού εξετάζεται ως εξωγενής παράγοντας στις εκπομπές αερίων CO<sub>2</sub> από τα κτίρια και τη βιομηχανία.

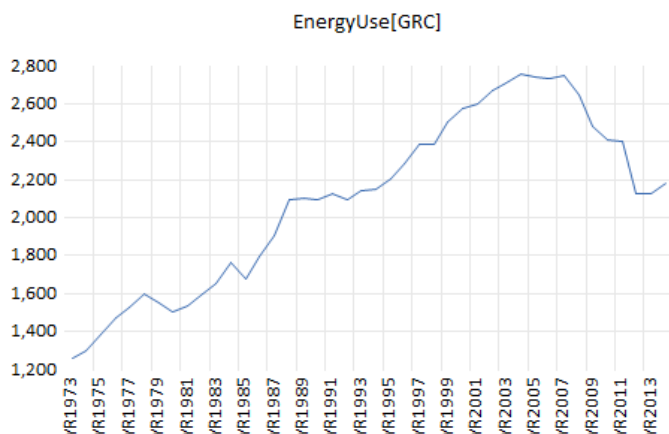
Διάγραμμα 1: εκπομπές αερίων co2



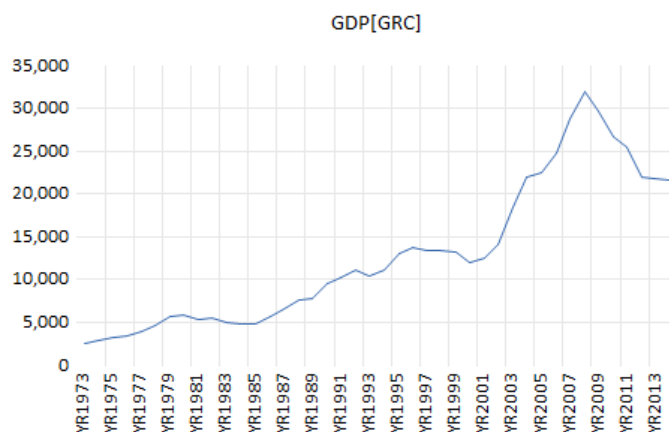
Διάγραμμα 2: Αστικός πληθυσμός



Διάγραμμα 3: Χρήση Ενέργειας στην Ελλάδα



Διάγραμμα 4: ΑΕΠ Ελλάδα 1



## Κεφάλαιο 3 : Εμπειρική Ανάλυση

### 3.1 Μεθοδολογία

Η σχέση των μεταβλητών του κατά κεφαλήν ΑΕΠ ( $GDP\_grc\_$ ), των εκπομπών  $CO_2$  του κατασκευαστικού τομέα ( $CO2construction\_grc\_$ ), των εκπομπών από τα κτίρια ( $CO2buildings\_grc\_$ ) και της κατά κεφαλήν ενεργειακής χρήσης ( $EnergyUse\_grc\_$ ) παρουσιάζεται στην παρακάτω σχέση (1) μακροχρόνιας ισορροπίας.

$$Y_t = a_0 + a_1 X_t + a_2 Z_t + a_3 B_t + \text{urbpopul} + e \quad (1)$$

$Y$  = CO2 emissions from manufacturing industries and construction (CO2construction)

$Y$  = CO2 emissions from residential buildings and commercial and public services (CO2buildings)

$X$  = GDP per capita (GDP)

$Z$  = Energy use (EnergyUse)

$B$  = GDP<sup>2</sup> per capita (GDP2)

urbpopul = Urban population (Urbanpopulation)

Η σχέση (1) εξετάζεται για τις δυο εξαρτημένες μεταβλητές, την CO2 emissions from manufacturing industries and construction και την CO2 emissions from residential buildings and commercial and public services. Επομένως η σχέση (1) παίρνει τους εξής 2 τύπους:

$$\text{CO2construction\_GRC\_} = a_0 + a_1 \text{GDP\_GRC\_} + a_2 \text{EnergyUse\_GRC\_} + a_3 \text{GDP2\_GRC\_} + \text{Urbanpopulation\_GRC\_} + e \quad (1\alpha)$$

$$\text{CO2buildings\_GRC\_} = a_0 + a_1 \text{GDP\_GRC\_} + a_2 \text{EnergyUse\_GRC\_} + a_3 \text{GDP2\_GRC\_} + \text{Urbanpopulation\_GRC\_} + e \quad (1\beta)$$

Για να εξετάσουμε τη συσχέτιση των μεταβλητών  $Y$ ,  $X$ ,  $Z$ ,  $B$  αλλά και την ύπαρξη και την δυναμική κατεύθυνση της αιτιότητας κατά Granger, υποθέτουμε ότι η σχέση μπορεί να υπολογιστεί με τη μέθοδο των διανυσματικών αυτοπαλίνδρομων υποδειγμάτων στα επίπεδα, Vector Autoregressive models at levels (VAR) (Hondroyiannis, 2002). Η προσέγγιση με μέσω VAR μας επιτρέπει να θεωρήσουμε τις χρονολογικές σειρές  $Y$ ,  $X$ ,  $Z$ ,  $B$  ως ενδογενή συστήματα μεταβλητών. Η μεταβλητή GDP2 χρησιμοποιείται ως ενδογενή μεταβλητή η οποία εισέρχεται στο σύστημα με σκοπό να ελέγξουμε την υπόθεση Kuznets. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την θεωρία EKC θα πρέπει να εισάγουμε στο σύστημα των μεταβλητών έναν τετραγωνισμένο όρο του GDP ώστε να ελεγχθεί κατά πόσο επιβεβαιώνεται η θεωρία Kuznets. Το συμπέρασμα θα εξαρτάται από τον συντελεστή  $a_3$ , ο οποίος θα πρέπει να είναι αρνητικός και στατιστικά σημαντικός ώστε να δεχτούμε την υπόθεση EKC. Επίσης θεωρούμε ότι οι μεταβλητές δεν προσδιορίζονται εξωγενώς και δεν επηρεάζονται μονομερώς από τις άλλες μεταβλητές. Ακολουθώντας τις συστάσεις άλλων εργασιών (Behnaz Saboori, 2012), και (Shahbaz, 2014) εισάγουμε στο μοντέλο μας τη μεταβλητή του αστικού πληθυσμού ώστε να ελέγξουμε την επίδρασή της στις εκπομπές CO<sub>2</sub>.

Η αναπαράσταση της σχέσης μέσω του μοντέλου VAR μας δίνει το πλεονέκτημα να διερευνήσουμε τις σχέσεις αιτιότητας μεταξύ των μεταβλητών (Erasmia Kotroni, 2020).

Αφού έχουμε προσδιορίσει το μοντέλο μας, στη συνέχεια παρουσιάζουμε τους ελέγχους που κάνουμε. Αρχικά, ελέγχουμε αν οι ενδογενείς μεταβλητές είναι στάσιμες. Οι ενδογενείς μεταβλητές μετασχηματίζονται στη λογαριθμική τους μορφή ώστε να έχουν μια γραμμική τάση (Asteriou, 2011). Στη συνέχεια εφαρμόζουμε τον έλεγχο του επαυξημένου Dickey-Fuller

(Augmented Dickey-Fuller test) τεστ για την ύπαρξη μοναδιαίας ρίζας στα επίπεδα και στις πρώτες διαφορές (Dickey, D.A., Fuller, W.A. (1979), Dickey, D.A., Fuller, W.A. (1981)).

Το δεύτερο βήμα είναι να ελέγξουμε για συνολοκλήρωση με τη μέθοδο του Johansen (1988). Η μέθοδος αυτή εξετάζει τη μακροχρόνια σχέση ισορροπίας των μεταβλητών Johansen (1991). Η συνολοκλήρωση επιλύει το πρόβλημα των μη στάσιμων σειρών. Αν οι σειρές μας είναι συνολοκληρωμένες τότε παρουσιάζουν μακροχρόνια ισορροπία, ακόμα και αν βραχυχρόνια είναι σε ανισορροπία. Η μέθοδος συνολοκλήρωσης του Johansen απαιτεί στασιμότητα των ενδογενών μεταβλητών ή ολοκλήρωση στον ίδιο βαθμό (Asteriou, 2011). Ο έλεγχος Johansen βασίζεται στο σύστημα των VAR από το οποίο προσδιορίζεται ο μέγιστος βαθμός των σχέσεων συνολοκλήρωσης μεταξύ των μεταβλητών του υποδείγματος. Για τον προσδιορισμό της τάξης του VAR υποδείγματος χρησιμοποιείται το κριτήριο του Schwarz (SC). Με τη μέθοδο Johansen οι τιμές του βαθμού συνολοκλήρωσης εξετάζονται με τον έλεγχο της μέγιστης ιδιοτιμής και τον στατιστικό έλεγχο του ίχνους (TRACE).

Σε περίπτωση συνολοκλήρωσης υπάρχει μία μακροχρόνια σχέση ισορροπίας μεταξύ των μεταβλητών αυτών και εξετάζεται το υπόδειγμα διόρθωσης διανυσματικών σφαλμάτων (VECM), ώστε να ελέγξουμε τη ύπαρξη μακροχρόνιας και βραχυχρόνιας σχέσης αιτιότητας.

Τέλος, γίνονται και κάποιοι διαγνωστικοί έλεγχοι στους πίνακες 18α, 18β και 19α, 19β, τεστ ετεροσκεδαστικότητας και τεστ συσχέτισης, όπου παρατηρούμε ότι τα μοντέλα μας δεν παρουσιάζουν ετεροσκεδαστικότητας ούτε σειριακή συσχέτιση.

## 3.2 Ανάλυση Δεδομένων

### 3.2.2. Δεδομένα

Η εμπειρική ανάλυση βασίζεται σε ετήσια δεδομένα και οι μεταβλητές αφορούν την Ελλάδα. Τα δεδομένα για τις εκπομπές CO<sub>2</sub> από την κατασκευαστική βιομηχανία στην Ελλάδα (CO<sub>2</sub>construction\_GRC\_), τις εκπομπές CO<sub>2</sub> από τον κτηριακό τομέα που περιλαμβάνουν τα κτίρια οικιακής και εμπορικής χρήσης στην Ελλάδα (CO<sub>2</sub>buildings\_GRC\_), το κατά κεφαλήν ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (ΑΕΠ) (GDP\_GRC\_) η κατά κεφαλήν χρήση ενέργειας (EnergyUse\_GRC\_) και τον αστικό πληθυσμό ως ποσοστό του συνολικού πληθυσμού για την Ελλάδα (Urbanpopulation\_GRC\_) προέρχονται από τη World Development Indicators (WDI, 2022). Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> από την κατασκευαστική βιομηχανία όπως και οι εκπομπές CO<sub>2</sub> από τον κτηριακό τομέα είναι ποσοστό των συνολικών εκπομπών από την καύση καυσίμων. Το κατά κεφαλήν ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (ΑΕΠ) εκφράζεται σε ονομαστικές τιμές δολαρίων U.S. \$. Η κατά κεφαλήν χρήση ενέργειας αναφέρεται στη χρήση πρωτογενούς ενέργειας, πριν από την μετατροπή σε άλλο καύσιμο τελικής χρήσης και εκφράζεται ισοδύναμα σε κατά κεφαλήν κιλά πετρελαίου. Ο αστικός πληθυσμός αναφέρεται στους ανθρώπους που μένουν σε αστικά κέντρα και εκφράζεται σε ποσοστό του συνολικού πληθυσμού. Το δείγμα περιλαμβάνει παρατηρήσεις που καλύπτουν την περίοδο 1973 με 2014. Τέλος είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στη μελέτη τα δεδομένα χρησιμοποιούνται στους λογαρίθμους τους, κάτι που βοηθάει στην

μέτρηση της ποσοστιαίας μεταβολής της κάθε μεταβλητής και μειώνει την διακύμανση των δεδομένων.

### 3.3 Εμπειρικά Αποτελέσματα

#### 3.3.1 Unit Root Tests

Χρησιμοποιείται ο έλεγχος του επαυξημένου DF (Augmented Dickey-Fuller test) τεστ για ύπαρξη μοναδιαίας ρίζας στα επίπεδα και στις πρώτες διαφορές. Ο έλεγχος εξετάζει την ύπαρξη μοναδιαίας ρίζας και κατά πόσο οι πρώτες διαφορές βοηθούν στην απομάκρυνση της ρίζας αυτής. Για τον αριθμό των υστερήσεων χρησιμοποιούμε το κριτήριο του Schwarz Bayesian. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούμε τον έλεγχο στασιμότητας για την πρώτη μορφή των εξισώσεων του Dickey-Fuller.

Στους πίνακες 1 έως 10 παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα από τον έλεγχο στασιμότητας για τις μεταβλητές LNCO2construction\_GRC\_, CO2buildings\_GRC\_, LNGDP\_GRC\_, LNEnergyUse\_GRC\_. Ο έλεγχος δείχνει ότι στα επίπεδα των μεταβλητών η μηδενική υπόθεση περί ύπαρξης μοναδιαίας ρίζας δεν απορρίπτεται, οπότε είναι μη στάσιμες. Για τον προσδιορισμό μιας στάσιμης μεταβλητής γίνεται σύγκριση της p-value με το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας. Εάν η τιμή μας είναι μικρότερη του συντελεστή, τότε η μεταβλητή μας είναι στάσιμη και η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται. Κάνοντας έλεγχο στις πρώτες διαφορές προκύπτει ότι αυτές δεν έχουν μοναδιαία ρίζα. Συνεπώς ο έλεγχος δείχνει ότι οι μεταβλητές είναι στάσιμες άρα είναι ολοκληρωμένες ίδιου βαθμού (I(1)).

Η ύπαρξη στασιμότητας αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για τους ελέγχους συνολοκλήρωσης με τη μέθοδο Johansen και την εξέταση ύπαρξης μακροχρόνιας σχέσης ισορροπίας (Asteriou, 2011).

#### 3.3.2 Johansen Co-integration Test

Η έννοια της συνολοκλήρωσης αποτελεί τρόπο σύνδεσης των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών για την διερεύνηση μακροχρόνιας ισορροπίας. Δημιουργούμε ένα στάσιμο γραμμικό συνδυασμό των μη στάσιμων χρονικών σειρών μας ο οποίος λέγεται εξίσωση συνολοκλήρωσης για τη μακροχρόνια σχέση ισορροπίας των χρονικών σειρών. Για τον έλεγχο της συνολοκλήρωσης των μεταβλητών μας θα χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας και τη μεθοδολογία των VAR υποδειγμάτων για τον προσδιορισμό του μέγιστου αριθμού των σχέσεων συνολοκλήρωσης των μεταβλητών του υποδείγματός μας. Συγκεκριμένα θα χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο του Johansen (1988).

Εφόσον οι παρατηρήσεις είναι ολοκληρωμένες ίδιου βαθμού (I(1)) χρησιμοποιούμε το VAR υπόδειγμα ώστε να προσδιορίσουμε τον βέλτιστο αριθμό χρονικών υστερήσεων σύμφωνα με το κριτήριο Akaike (AIC), πίνακες 12α και 12β για τις σχέσεις 1α και 1β αντίστοιχα. Εν

συνεχία δημιουργούμε ένα υπόδειγμα VAR με τις μεταβλητές CO2construction\_GRC\_, GDP\_GRC\_, EnergyUse\_GRC\_ ως ενδογενείς με την αντίστοιχη σειρά, ενώ η εξωγενής μας μεταβλητή είναι το Urbanpopulation\_GRC\_. Τα αποτελέσματα του Johansen τεστ παρουσιάζονται στους πίνακες 13α και 13β για τα μοντέλα 1α και 1β αντίστοιχα, προκειμένου να προσδιοριστεί ο τύπος της συνολοκλήρωσης. Σύμφωνα με τους πίνακες 12α και 12β η τάξη του υποδείγματος VAR είναι ίση με 2.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα όλοι οι συντελεστές είναι σημαντικοί σε επίπεδο σημαντικότητας 5% στην εξίσωση συνολοκλήρωσης. Ο συντελεστής του κατά κεφαλήν ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος (ΑΕΠ) είναι θετικός και στατιστικά σημαντικός γεγονός που δείχνει ότι επηρεάζει τις εκπομπές αερίων στον κατασκευαστικό τομέα. Μια αύξηση στο κατά κεφαλήν ΑΕΠ θα οδηγήσει σε αύξηση των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Στον κτιριακό τομέα ο συντελεστής είναι αρνητικός και στατιστικά σημαντικός. Αντίστοιχα, η χρήση ενέργειας επηρεάζει αρνητικά τις εκπομπές στον κατασκευαστικό τομέα και θετικά τις εκπομπές CO<sub>2</sub> στον κτιριακό τομέα. Στη συνέχεια απομονώνουμε τα αποτελέσματα της εξίσωσης συνολοκλήρωσης από τους πίνακες 13α και 13β για την σχέση 1α και 1β αντίστοιχα.

Normalized cointegrating coefficients (standard error in parentheses)

LNCO2CON...	LNENERGY...	LNGDP_GRC_	LNGDP2
1.000000	27.11117	-49.98535	2.052507
	(5.94042)	(16.6682)	(0.84205)

Adjustment coefficients (standard error in parentheses)

D(LNCO2CO...	-0.006313
	(0.00955)
D(LNENERG...	0.003812
	(0.00486)
D(LNGDP_G...	0.039501
	(0.00916)
D(LNGDP2)	0.730987
	(0.16928)

### Πίνακας 13α.1: αποτελέσματα εξίσωσης συνολοκλήρωσης σχέσης 1α

Normalized cointegrating coefficients (standard error in parentheses)

LNCO2BUILD...	LNENERGY...	LNGDP_GRC_	LNGDP2
1.000000	-3.601904	11.08808	-0.545237
	(0.74116)	(2.25646)	(0.11344)

Adjustment coefficients (standard error in parentheses)

D(LNCO2BUI...	-0.297393
	(0.13658)
D(LNENERG...	-0.044913
	(0.04438)
D(LNGDP_G...	-0.294112
	(0.09331)
D(LNGDP2)	-5.320547
	(1.77269)

### Πίνακας 13β.1: αποτελέσματα εξίσωσης συνολοκλήρωσης σχέσης 1β

Σύμφωνα με το στατιστικό κριτήριο Ίχνους (Trace) η μηδενική υπόθεση για την ύπαρξη μιας σχέσης συνολοκλήρωσης μεταξύ των μεταβλητών είναι αποδεκτή. Ωστόσο, δεν συμβαίνει το ίδιο και στον έλεγχο μέγιστης τιμής (Maximum Eigenvalue). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα από τους πίνακες (13α και 13β) παρατηρούμε ότι υπάρχει συνολοκληρωμένο διάλυμα (το στατιστικό του ίχνους είναι μεγαλύτερο από την κριτική τιμή) δηλαδή μακροχρόνια σχέση ισορροπίας. Συνεπώς θα πραγματοποιηθεί έλεγχος ύπαρξης βραχυχρόνιας ισορροπίας με βάση το υπόδειγμα διόρθωσης λαθών και για τις δυο σχέσεις 1α και 1β.

Στους πίνακες 22α και 22β παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ριζών με τη χρήση ενός μοναδιαίου κύκλου. Το υπόδειγμα VAR είναι σταθερό εφόσον όλες οι ρίζες εμφανίζονται μέσα στον κύκλο.

### 3.3.3 Υπόδειγμα Διόρθωσης Λαθών

Δείξαμε ότι οι μεταβλητές μας είναι συνολοκληρωμένες άρα έχουν σχέση μακροχρόνιας ισορροπίας. Ωστόσο, βραχυχρόνια μπορεί να βρίσκονται σε ανισορροπία. Το υπόδειγμα διόρθωσης λαθών (ECM) αποτυπώνει τη βραχυχρόνια σχέση ισορροπίας. Η συνένωση της μακροχρόνιας και της βραχυχρόνιας σχέσης μπορεί να επιτευχθεί με το σφάλμα διόρθωσης και τη μέθοδο του μηχανισμού διόρθωσης σφάλματος (Error Correction Mechanism). Η δυναμική εξειδίκευση του υποδείματος προτείνει τη διαγραφή των μη στατιστικά σημαντικών μεταβλητών ώστε να επιτευχθεί μια παλινδρόμηση που περιέχει μόνο στατιστικά σημαντικούς συντελεστές (Asteriou, 2011). Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στους πίνακες 14α και 14β του παραρτήματος, όπου ο συντελεστής μόνο της μεταβλητής GDP είναι θετικός και στατιστικά σημαντικός το οποίο σημαίνει ότι υπάρχει σύγκλιση από τη βραχυχρόνια κατάσταση προς την μακροχρόνια ισορροπία για το υπόδειγμα 1α (πίνακας 14α). Τα αποτελέσματα του πίνακα 14β δείχνουν ότι οι συντελεστές των μεταβλητών CO2buildings και GDP είναι αρνητικοί και στατιστικά σημαντικοί ενώ της ENERGY είναι αρνητικός όχι όμως στατιστικά σημαντικός.

Στο υπόδειγμα μας 1α παρατηρούμε ότι η υπόθεση EKC μεταξύ των μεταβλητών CO<sub>2</sub> construction και του GDP, επιβεβαιώνεται αφού ο συντελεστής του GDP<sub>2</sub> είναι αρνητικός, αποδεικνύοντας το αναστραμμένο σχήμα U της σχέσης των μεταβλητών. Ωστόσο, στο υπόδειγμα 1β η υπόθεση EKC δεν επιβεβαιώνεται. Επιπλέον, η μεταβλητή (urbanpopulation) του αστικού πληθυσμού είναι στατιστικά σημαντική.

### 3.3.4 Έλεγχος αιτιότητας

Για τον έλεγχο μακροχρόνιας ύπαρξης αιτιότητας παρατηρούμε το C(1) το οποίο είναι αρνητικό όμως όχι και στατιστικά σημαντικό. Επομένως, δεν υπάρχει μακροχρόνια σχέση αιτιότητας από τις μεταβλητές ενεργειακής χρήσης και ΑΕΠ στις εκπομπές CO<sub>2</sub> construction. Αντίθετα, το C(1) στο μοντέλο 1β είναι αρνητικό και στατιστικά σημαντικό αποδεικνύοντας μακροχρόνια σχέση αιτιότητας των μεταβλητών.



Για την ύπαρξη βραχυχρόνιας σχέσης αιτιότητας, πραγματοποιούμε το wald test για τις μεταβλητές. Στους πίνακες 16α και 17α βλέπουμε τα αποτελέσματα του p-value από τα οποία φαίνεται ότι δεν μπορούμε να αρνηθούμε την μηδενική υπόθεση, άρα δεν υπάρχει ούτε βραχυχρόνια σχέση αιτιότητας από το κατά κεφαλήν ΑΕΠ και την χρήση ενέργειας προς τις εκπομπές αερίων CO<sub>2</sub> του κατασκευαστικού τομέα. Παρατηρώντας τους πίνακες 16β και 17β δεν υπάρχει οριακά βραχυχρόνια σχέση αιτιότητας από την χρήση ενέργειας στις εκπομπές CO<sub>2</sub> του κτιριακού τομέα  $p=0,054 > 0,05$ , ούτε και από το κατά κεφαλήν ΑΕΠ.

Στον έλεγχο αιτιότητας κατά Granger τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 20α, 20β για την βραχυχρόνια αιτιότητα και στους πίνακες 21α και 21β για την μακροχρόνια, το οποίο περιλαμβάνει το υπόδειγμα διόρθωσης λαθών. Υπάρχει μονοκατευθυντική σχέση αιτιότητας από την χρήση ενέργειας στις εκπομπές CO<sub>2</sub>construction βραχυχρόνια, ωστόσο δεν υπάρχει μακροχρόνια σχέση. Αντίστοιχα, υπάρχει διπλή κατεύθυνση αιτιότητας στις εκπομπές CO<sub>2</sub>construction και στο GDP βραχυχρόνια. Επίσης, υπάρχει μονοκατευθυντική σχέση αιτιότητας από την χρήση ενέργειας στις εκπομπές CO<sub>2</sub>buildings βραχυχρόνια και μακροχρόνια σχέση από τις εκπομπές CO<sub>2</sub>buildings προς την χρήση ενέργειας.

## Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η διερεύνηση της μακροχρόνιας και βραχυχρόνιας σχέσης του ΑΕΠ, των εκπομπών CO<sub>2</sub>, που προέρχονται από τον κατασκευαστικό και κτιριακό τομέα, και της χρήσης ενέργειας μέσω οικονομετρικών μοντέλων, συμπεριλαμβανομένης της επίδρασης που έχει η μεταβλητή του αστικού πληθυσμού στις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Μέσα από την εμπειρική ανάλυση έγινε διερεύνηση για το αν ισχύει η περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets κατά την περίοδο 1973-2014 στην Ελλάδα. Η υπόθεση της ΕΚΚ (Environmental Kuznets Curve) προϋποθέτει μια ανεστραμμένη σχέση σχήματος U μεταξύ του επιπέδου περιβαλλοντικής υποβάθμισης και της αύξησης του εισοδήματος. Δηλαδή, η υποβάθμιση του περιβάλλοντος αυξάνεται με το κατά κεφαλήν εισόδημα κατά τα πρώτα στάδια της οικονομικής ανάπτυξης και στη συνέχεια μειώνεται με το κατά κεφαλήν εισόδημα αφού φτάσει σε ένα όριο. Αυτό σημαίνει ότι η περιβαλλοντική ρύπανση παρουσιάζει ένα σημείο καμπής. Με την ανάλυση αυτή θα μπορούσαμε να αποδείξουμε αν η οικονομική ανάπτυξη μπορεί να επιλύσει περιβαλλοντικά προβλήματα ή να τα προκαλέσει.

Τα αποτελέσματα της εμπειρικής μελέτης έδειξαν στάσιμες τις χρονολογικές σειρές των εκπομπών CO<sub>2</sub> (κατασκευαστικός-κτιριακός τομέας), του κατά κεφαλήν ΑΕΠ και την χρήση ενέργειας στις πρώτες διαφορές και όχι στα επίπεδα. Επίσης, σύμφωνα με τα αποτελέσματα παρατηρήσαμε ότι υπάρχει συνολοκλήρωση μεταξύ των μεταβλητών, δηλαδή μακροχρόνια σχέση ισορροπίας. Επιπλέον, οι εκπομπές CO<sub>2</sub> (κατασκευαστικός τομέας) μειώνονται κατά την εξεταζόμενη περίοδο ακολουθώντας την υπόθεση ΕΚΚ και αποδεικνύοντας το σχήμα U της σχέσης των μεταβλητών. Ακόμα, η μεταβλητή (urbanpopulation) του αστικού πληθυσμού επηρεάζει σημαντικά τις εκπομπές CO<sub>2</sub> που εξετάζουμε, που σημαίνει ότι η αύξηση του αστικού πληθυσμού τα τελευταία χρόνια οδηγεί σε αύξηση της ζήτησης για νέες κατασκευές, ενώ τα κτίρια εμπορικής χρήσης (επιχειρήσεις, γραφεία) έχουν μεγαλύτερες ενεργειακές ανάγκες.

Η θεωρία της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets για την Ελλάδα στο μοντέλο με τις εκπομπές CO<sub>2</sub> του κατασκευαστικού τομέα επιβεβαιώνεται σε αντίθεση με το μοντέλο Iβ του κτιριακού τομέα.

Συμπερασματικά, βάση των αποτελεσμάτων και της επίδρασης των συντελεστών των μεταβλητών, η υιοθέτηση μέτρων για αποτελεσματική χρήση ενέργειας θα οδηγήσει σε μειωμένες CO<sub>2</sub> εκπομπές και σε οικονομική ανάπτυξη. Για παράδειγμα, η χρήση της τεχνολογίας αποτελεί κυρίαρχο εργαλείο ελέγχου και μετριασμού της κατανάλωσης ενέργειας που θα οδηγήσει σε μειωμένους ρύπους από τον κτιριακό τομέα και θα αποτελέσει κίνητρο για τις νέες και υφιστάμενες κατασκευές να τα εντάξουν σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής των κτιρίων.

Επιπλέον, στόχος για την πολιτεία θα πρέπει να είναι η δημιουργία βιώσιμων πόλεων. Τέτοιες πόλεις είναι οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά σταθερές και ανεξάρτητες καθώς έχουν την δυνατότητα να προβλέπουν και να προσαρμόζονται στις αλλαγές του εξωτερικού και του εσωτερικού περιβάλλοντος. Συγχρόνως, μειώνουν τα αποτελέσματα της κλιματικής αλλαγής και μπορούν να λαμβάνουν αποτελεσματικά μέτρα ώστε να την διαχειριστούν με τρόπο αποδοτικό. Ένα επιπλέον γνώρισμα είναι η ανθεκτικότητα στις διάφορες αλλαγές εξωτερικών παραγόντων και η ετοιμότητά τους να διαχειριστούν κρίσεις και να προσαρμοστούν στα νέα δεδομένα. Στόχος αποτελεί η προσέλκυση νέων επενδύσεων για τη δημιουργία νέων επαγγελματιών και θέσεων εργασίας τα οποία είναι απαραίτητα για την σωστή λειτουργία τέτοιων εξειδικευμένων υπηρεσιών που απαιτούν οι βιώσιμες πόλεις, και για την ομαλή αφομοίωση των απαιτούμενων περιβαλλοντικών πολιτικών. Όλα τα παραπάνω συμβάλουν στην μείωση των αστικών εκπομπών που πρωταγωνιστικό ρόλο έχουν η βιομηχανία και ο κτιριακός τομέας και στην προσπάθεια υιοθέτησης των στόχων βιωσιμότητας. Η τήρηση της συμφωνίας του Παρισιού θα πρέπει να αποτελέσει τη βάση για τις μελλοντικές αποφάσεις των κυβερνήσεων έτσι ώστε να επιτευχθεί βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη, ανθρώπινη ευημερία και ποιότητα του περιβάλλοντος.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

### UNIT ROOT TESTS

#### ΠΙΝΑΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΧΕΣΗ 1α CO<sub>2</sub>CONSTRUCTION\_grc\_

$$\text{CO2construction\_GRC\_} = a_0 + a_1 \text{GDP\_GRC\_t} + a_2 \text{EnergyUse\_GRC\_t} + a_3 \text{GDP2\_GRC\_t} + \text{Urbanpopulation\_GRC\_} + e \quad (1a)$$

Null Hypothesis: LNCO2CONSTRUCTION\_GRC\_ has a unit root

Exogenous: Constant

Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=9)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.127846	0.6957
Test critical values:		
1% level	-3.600987	
5% level	-2.935001	
10% level	-2.605836	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation

Dependent Variable: D(LNCO2CONSTRUCTION\_GRC\_)

Method: Least Squares

Date: 03/08/22 Time: 22:58

Sample (adjusted): 2 42

Included observations: 41 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LNCO2CONSTRUCTION_GRC_(-1)	-0.034583	0.030663	-1.127846	0.2663
C	0.066910	0.080830	0.827786	0.4128
R-squared	0.031586	Mean dependent var		-0.023393
Adjusted R-squared	0.006755	S.D. dependent var		0.071225
S.E. of regression	0.070984	Akaike info criterion		-2.405179
Sum squared resid	0.196509	Schwarz criterion		-2.321590
Log likelihood	51.30617	Hannan-Quinn criter.		-2.374741
F-statistic	1.272037	Durbin-Watson stat		1.904212
Prob(F-statistic)	0.266276			

**Πίνακας 1: Έλεγχος επανξιμένου Dickey-Fuller για LNCO2construction\_GRC\_ στα επίπεδα με σταθερά για την Ελλάδα**

Null Hypothesis: D(LNCO2CONSTRUCTION\_GRC\_) has a unit root

Exogenous: Constant

Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=9)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-5.942354	0.0000
Test critical values:		
1% level	-3.605593	
5% level	-2.936942	
10% level	-2.606857	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation

Dependent Variable: D(LNCO2CONSTRUCTION\_GRC\_,2)

Method: Least Squares

Date: 03/08/22 Time: 22:58

Sample (adjusted): 3 42

Included observations: 40 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(LNCO2CONSTRUCTION_GRC_(-1))	-1.001932	0.168609	-5.942354	0.0000
C	-0.024662	0.012332	-1.999848	0.0527
R-squared	0.481664	Mean dependent var		0.002033
Adjusted R-squared	0.468024	S.D. dependent var		0.099587
S.E. of regression	0.072635	Akaike info criterion		-2.358021
Sum squared resid	0.200484	Schwarz criterion		-2.273577
Log likelihood	49.16043	Hannan-Quinn criter.		-2.327489
F-statistic	35.31157	Durbin-Watson stat		1.898146
Prob(F-statistic)	0.000001			

**Πίνακας 2: Έλεγχος επαυξημένου Dickey-Fuller για LNCO2construction\_GRC\_ στις α' διαφορές με σταθερά για την Ελλάδα**

Null Hypothesis: LNCO2BUILDINGS\_GRC\_ has a unit root  
 Exogenous: Constant  
 Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=9)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.164322	0.2219
Test critical values:		
1% level	-3.600987	
5% level	-2.935001	
10% level	-2.605836	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
 Dependent Variable: D(LNCO2BUILDINGS\_GRC\_)  
 Method: Least Squares  
 Date: 03/08/22 Time: 22:55  
 Sample (adjusted): 2 42  
 Included observations: 41 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LNCO2BUILDINGS_GRC_(-1)	-0.214146	0.098944	-2.164322	0.0366
C	0.452334	0.216017	2.093972	0.0428
R-squared	0.107231	Mean dependent var		-0.013260
Adjusted R-squared	0.084339	S.D. dependent var		0.131427
S.E. of regression	0.125763	Akaike info criterion		-1.261291
Sum squared resid	0.616833	Schwarz criterion		-1.177702
Log likelihood	27.85646	Hannan-Quinn criter.		-1.230852
F-statistic	4.684290	Durbin-Watson stat		2.008402
Prob(F-statistic)	0.036623			

**Πίνακας 3: Έλεγχος επανξιμένου Dickey-Fuller για LNCO2buildings\_GRC\_ στα επίπεδα με σταθερά για την Ελλάδα**

Null Hypothesis: D(LNCO2BUILDINGS\_GRC\_) has a unit root  
 Exogenous: Constant  
 Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=9)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-6.917474	0.0000
Test critical values:		
1% level	-3.605593	
5% level	-2.936942	
10% level	-2.606857	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
 Dependent Variable: D(LNCO2BUILDINGS\_GRC\_,2)  
 Method: Least Squares  
 Date: 03/08/22 Time: 22:56  
 Sample (adjusted): 3 42  
 Included observations: 40 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(LNCO2BUILDINGS_GRC_(-1))	-1.114840	0.161163	-6.917474	0.0000
C	-0.013836	0.021277	-0.650301	0.5194
R-squared	0.557375	Mean dependent var		0.002183
Adjusted R-squared	0.545727	S.D. dependent var		0.198466
S.E. of regression	0.133766	Akaike info criterion		-1.136749
Sum squared resid	0.679943	Schwarz criterion		-1.052305
Log likelihood	24.73497	Hannan-Quinn criter.		-1.106216
F-statistic	47.85145	Durbin-Watson stat		2.046614
Prob(F-statistic)	0.000000			

**Πίνακας 4: Έλεγχος επαυξημένου Dickey-Fuller για LNCO2 buildings \_GRC\_ στις α' διαφορές με σταθερά για την Ελλάδα**

Null Hypothesis: LNENERGYUSE\_GRC\_ has a unit root  
 Exogenous: Constant  
 Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=9)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.735297	0.0769
Test critical values:		
1% level	-3.600987	
5% level	-2.935001	
10% level	-2.605836	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
 Dependent Variable: D(LNENERGYUSE\_GRC\_)  
 Method: Least Squares  
 Date: 03/08/22 Time: 22:59  
 Sample (adjusted): 2 42  
 Included observations: 41 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LNENERGYUSE_GRC_(-1)	-0.069890	0.025551	-2.735297	0.0093
C	0.546084	0.194810	2.803168	0.0078
R-squared	0.160963	Mean dependent var		0.013465
Adjusted R-squared	0.139449	S.D. dependent var		0.040620
S.E. of regression	0.037682	Akaike info criterion		-3.671737
Sum squared resid	0.055376	Schwarz criterion		-3.588148
Log likelihood	77.27060	Hannan-Quinn criter.		-3.641298
F-statistic	7.481852	Durbin-Watson stat		1.601673
Prob(F-statistic)	0.009330			

**Πίνακας 5: Έλεγχος επαυξημένου Dickey-Fuller για LNENERGYUSE\_GRC\_ στα επίπεδα με σταθερά για την Ελλάδα**

Null Hypothesis: D(LNENERGYUSE\_GRC\_) has a unit root  
 Exogenous: Constant  
 Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=9)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-4.647043	0.0006
Test critical values:		
1% level	-3.605593	
5% level	-2.936942	
10% level	-2.606857	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
 Dependent Variable: D(LNENERGYUSE\_GRC\_,2)  
 Method: Least Squares  
 Date: 03/08/22 Time: 22:59  
 Sample (adjusted): 3 42  
 Included observations: 40 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(LNENERGYUSE_GRC_(-1))	-0.723251	0.155637	-4.647043	0.0000
C	0.009350	0.006635	1.409086	0.1669
R-squared	0.362363	Mean dependent var		-0.000144
Adjusted R-squared	0.345583	S.D. dependent var		0.049356
S.E. of regression	0.039927	Akaike info criterion		-3.554838
Sum squared resid	0.060577	Schwarz criterion		-3.470394
Log likelihood	73.09676	Hannan-Quinn criter.		-3.524306
F-statistic	21.59500	Durbin-Watson stat		2.064627
Prob(F-statistic)	0.000040			

**Πίνακας 6: Έλεγχος επανζημένου Dickey-Fuller για LNENERGYUSE\_GRC\_ στις α' διαφορές με σταθερά για την Ελλάδα**



Null Hypothesis: LNGDP\_GRC\_ has a unit root  
 Exogenous: Constant  
 Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=9)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.565230	0.4907
Test critical values:		
1% level	-3.605593	
5% level	-2.936942	
10% level	-2.606857	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
 Dependent Variable: D(LNGDP\_GRC\_)  
 Method: Least Squares  
 Date: 03/08/22 Time: 23:00  
 Sample (adjusted): 3 42  
 Included observations: 40 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LNGDP_GRC_(-1)	-0.032320	0.020649	-1.565230	0.1260
D(LNGDP_GRC_(-1))	0.445912	0.141155	3.159023	0.0031
C	0.325345	0.192739	1.688011	0.0998
R-squared	0.281370	Mean dependent var		0.050808
Adjusted R-squared	0.242526	S.D. dependent var		0.101602
S.E. of regression	0.088427	Akaike info criterion		-1.941242
Sum squared resid	0.289315	Schwarz criterion		-1.814577
Log likelihood	41.82485	Hannan-Quinn criter.		-1.895444
F-statistic	7.243443	Durbin-Watson stat		1.939980
Prob(F-statistic)	0.002215			

**Πίνακας 7: Έλεγχος επαυξημένου Dickey-Fuller για LNGDP\_GRC\_ στα επίπεδα με σταθερά για την Ελλάδα**

Null Hypothesis: D(LNGDP\_GRC\_) has a unit root  
 Exogenous: Constant  
 Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=9)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-3.647125	0.0090
Test critical values:		
1% level	-3.605593	
5% level	-2.936942	
10% level	-2.606857	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
 Dependent Variable: D(LNGDP\_GRC\_,2)  
 Method: Least Squares  
 Date: 03/08/22 Time: 23:01  
 Sample (adjusted): 3 42  
 Included observations: 40 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(LNGDP_GRC_(-1))	-0.517161	0.141800	-3.647125	0.0008
C	0.024690	0.016179	1.526027	0.1353
R-squared	0.259281	Mean dependent var		-0.003284
Adjusted R-squared	0.239789	S.D. dependent var		0.103335
S.E. of regression	0.090098	Akaike info criterion		-1.927128
Sum squared resid	0.308472	Schwarz criterion		-1.842684
Log likelihood	40.54256	Hannan-Quinn criter.		-1.896595
F-statistic	13.30152	Durbin-Watson stat		1.949492
Prob(F-statistic)	0.000792			

**Πίνακας 8: Έλεγχος επαυξημένου Dickey-Fuller για LNGDP\_GRC\_ στις α' διαφορές με σταθερά για την Ελλάδα**

Null Hypothesis: LNGDP2 has a unit root  
 Exogenous: Constant  
 Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=9)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.464421	0.5411
Test critical values:		
1% level	-3.605593	
5% level	-2.936942	
10% level	-2.606857	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
 Dependent Variable: D(LNGDP2)  
 Method: Least Squares  
 Date: 03/08/22 Time: 23:01  
 Sample (adjusted): 3 42  
 Included observations: 40 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LNGDP2(-1)	-0.030474	0.020810	-1.464421	0.1515
D(LNGDP2(-1))	0.456815	0.141258	3.233917	0.0026
C	3.087140	1.827561	1.689213	0.0996
R-squared	0.274601	Mean dependent var		0.910851
Adjusted R-squared	0.235390	S.D. dependent var		1.891075
S.E. of regression	1.653594	Akaike info criterion		3.915817
Sum squared resid	101.1718	Schwarz criterion		4.042483
Log likelihood	-75.31634	Hannan-Quinn criter.		3.961616
F-statistic	7.003191	Durbin-Watson stat		1.933946
Prob(F-statistic)	0.002634			

**Πίνακας 9: Έλεγχος επαυξημένου Dickey-Fuller για LNGDP2 στα επίπεδα με σταθερά για την Ελλάδα**

Null Hypothesis: D(LNGDP2) has a unit root  
 Exogenous: Constant  
 Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=9)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-3.636824	0.0092
Test critical values: 1% level	-3.605593	
5% level	-2.936942	
10% level	-2.606857	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
 Dependent Variable: D(LNGDP2,2)  
 Method: Least Squares  
 Date: 03/08/22 Time: 23:02  
 Sample (adjusted): 3 42  
 Included observations: 40 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(LNGDP2(-1))	-0.517314	0.142243	-3.636824	0.0008
C	0.445744	0.298671	1.492424	0.1438
R-squared	0.258196	Mean dependent var		-0.052730
Adjusted R-squared	0.238675	S.D. dependent var		1.923479
S.E. of regression	1.678311	Akaike info criterion		3.922160
Sum squared resid	107.0357	Schwarz criterion		4.006604
Log likelihood	-76.44320	Hannan-Quinn criter.		3.952692
F-statistic	13.22649	Durbin-Watson stat		1.934062
Prob(F-statistic)	0.000816			

**Πίνακας 10:** Έλεγχος επανξιμένου Dickey-Fuller για LNGDP2 στις  $\alpha'$  διαφορές με σταθερά για την Ελλάδα

## VAR estimations

## Vector Autoregression Estimates

Date: 03/08/22 Time: 23:05

Sample (adjusted): 3 42

Included observations: 40 after adjustments

Standard errors in ( ) &amp; t-statistics in [ ]

	LNCO2CO...	LNENERGY...	LNGDP_GRC_	LNGDP2
LNCO2CONSTRUCTIO...	0.696001 (0.17849) [ 3.89931]	0.050631 (0.09957) [ 0.50851]	0.246645 (0.19394) [ 1.27178]	5.354098 (3.59849) [ 1.48788]
LNCO2CONSTRUCTIO...	-0.026740 (0.16399) [-0.16306]	-0.129966 (0.09148) [-1.42075]	-0.488119 (0.17818) [-2.73949]	-9.718075 (3.30610) [-2.93944]
LNENERGYUSE_GRC_...	-0.062721 (0.32514) [-0.19290]	0.928621 (0.18137) [ 5.11996]	-0.265843 (0.35328) [-0.75251]	-5.145179 (6.55502) [-0.78492]
LNENERGYUSE_GRC_...	-0.185020 (0.37284) [-0.49625]	0.101690 (0.20798) [ 0.48894]	0.948709 (0.40510) [ 2.34192]	17.86243 (7.51660) [ 2.37640]
LNGDP_GRC_(-1)	2.051223 (1.80846) [ 1.13424]	-0.750586 (1.00880) [-0.74404]	-0.665453 (1.96493) [-0.33867]	-39.07323 (36.4591) [-1.07170]
LNGDP_GRC_(-2)	-1.426354 (1.68251) [-0.84775]	0.849361 (0.93854) [ 0.90498]	0.330099 (1.82809) [ 0.18057]	16.06929 (33.9201) [ 0.47374]
LNGDP2(-1)	-0.110977 (0.09691) [-1.14516]	0.037912 (0.05406) [ 0.70132]	0.095684 (0.10529) [ 0.90873]	3.223136 (1.95374) [ 1.64973]
LNGDP2(-2)	0.073364 (0.09178) [ 0.79931]	-0.047907 (0.05120) [-0.93570]	-0.043874 (0.09973) [-0.43995]	-1.354177 (1.85040) [-0.73183]
C	0.172579 (2.31584) [ 0.07452]	-0.062324 (1.29183) [-0.04824]	3.357740 (2.51622) [ 1.33444]	53.19375 (46.6882) [ 1.13934]
R-squared	0.971945	0.975474	0.990954	0.990928
Adj. R-squared	0.964705	0.969145	0.988619	0.988587
Sum sq. resids	0.135154	0.042055	0.159553	54.93187
S.E. equation	0.066029	0.036832	0.071742	1.331163
F-statistic	134.2476	154.1220	424.4804	423.2725
Log likelihood	57.04690	80.39551	53.72759	-63.10183
Akaike AIC	-2.402345	-3.569775	-2.236379	3.605091
Schwarz SC	-2.022347	-3.189778	-1.856382	3.985089
Mean dependent	2.572722	7.645930	9.291332	86.76979
S.D. dependent	0.351462	0.209684	0.672492	12.46043
Determinant resid covariance (dof adj.)		2.75E-10		
Determinant resid covariance		9.91E-11		
Log likelihood		233.6622		
Akaike information criterion		-9.883111		
Schwarz criterion		-8.363119		
Number of coefficients		36		

**Πίνακας 11α: VAR estimation**

VAR Lag Order Selection Criteria

Endogenous variables: LNCO2CONSTRUCTION\_GRC\_LNENERGYUSE\_GRC\_L...

Exogenous variables: C

Date: 03/08/22 Time: 23:06

Sample: 1 42

Included observations: 38

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	23.10438	NA	4.30e-06	-1.005494	-0.833116	-0.944163
1	199.3168	306.0532	9.42e-10	-9.437727	-8.575839*	-9.131074
2	222.6408	35.59985*	6.60e-10*	-9.823202*	-8.271805	-9.271227*
3	233.4678	14.24594	9.38e-10	-9.550934	-7.310027	-8.753637
4	247.7549	15.79108	1.20e-09	-9.460786	-6.530368	-8.418165

\* indicates lag order selected by the criterion

LR: sequential modified LR test statistic (each test at 5% level)

FPE: Final prediction error

AIC: Akaike information criterion

SC: Schwarz information criterion

HQ: Hannan-Quinn information criterion

**Πίνακας 12α: VAR lag order selection Criteria****Johansen Έλεγχος**

Date: 03/13/22 Time: 18:15  
Sample (adjusted): 4 42  
Included observations: 39 after adjustments  
Trend assumption: Linear deterministic trend  
Series: LNCO2CONSTRUCTION\_GRC\_LNENERGYUSE\_GRC\_LNGDP\_GRC\_...  
Exogenous series: LNURBANPOPULATION\_GRC\_  
Warning: Critical values assume no exogenous series  
Lags interval (in first differences): 1 to 2

---



---

Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.457989	49.97968	47.85613	0.0311
At most 1	0.364195	26.09337	29.79707	0.1259
At most 2	0.185939	8.431688	15.49471	0.4205
At most 3	0.010422	0.408586	3.841465	0.5227

Trace test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

\* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

\*\*MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

---



---

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None	0.457989	23.88631	27.58434	0.1387
At most 1	0.364195	17.66168	21.13162	0.1430
At most 2	0.185939	8.023102	14.26460	0.3764
At most 3	0.010422	0.408586	3.841465	0.5227

Max-eigenvalue test indicates no cointegration at the 0.05 level

\* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

\*\*MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

---



---

Unrestricted Cointegrating Coefficients (normalized by b\*S11\*b=I):

LNCO2CON...	LNENERGY...	LNGDP_GRC_	LNGDP2
0.782790	21.22237	-39.12806	1.606683
-17.35898	-8.538484	-10.04478	0.403116
-5.594340	-2.128739	45.95369	-2.527788
5.769601	-6.173285	16.87926	-1.076552

---



---

Unrestricted Adjustment Coefficients (alpha):

D(LNCO2CO...	-0.008065	0.028979	0.015822	-0.002130
D(LNENERG...	0.004870	0.004836	0.007777	0.002628
D(LNGDP_G...	0.050461	0.014493	0.003603	-0.001356
D(LNGDP2)	0.933823	0.235772	0.095932	-0.028009

---



---

1 Cointegrating Equation(s):      Log likelihood      224.0369

---



---

Normalized cointegrating coefficients (standard error in parentheses)

LNCO2CON...	LNENERGY...	LNGDP_GRC_	LNGDP2
1.000000	27.11117	-49.98535	2.052507
	(5.94042)	(16.6682)	(0.84205)

---



---

Adjustment coefficients (standard error in parentheses)

D(LNCO2CO...	-0.006313
	(0.00955)
D(LNENERG...	0.003812
	(0.00486)
D(LNGDP_G...	0.039501
	(0.00916)
D(LNGDP2)	0.730987
	(0.16928)

---



---

2 Cointegrating Equation(s):      Log likelihood      232.8678

---

Normalized cointegrating coefficients (standard error in parentheses)

LNCO2CON...	LNENERGY...	LNGDP_GRC_	LNGDP2
1.000000	0.000000	1.512983	-0.061578
		(0.73996)	(0.04042)
0.000000	1.000000	-1.899524	0.077978
		(0.47377)	(0.02588)

Adjustment coefficients (standard error in parentheses)

D(LNCO2CO...	-0.509355	-0.418587	
	(0.18935)	(0.24927)	
D(LNENERG...	-0.080135	0.062064	
	(0.10676)	(0.14055)	
D(LNGDP_G...	-0.212084	0.947157	
	(0.19775)	(0.26033)	
D(LNGDP2)	-3.361769	17.80479	
	(3.67708)	(4.84073)	

---

3 Cointegrating Equation(s):      Log likelihood      236.8793

---

Normalized cointegrating coefficients (standard error in parentheses)

LNCO2CON...	LNENERGY...	LNGDP_GRC_	LNGDP2
1.000000	0.000000	0.000000	0.019705
			(0.00670)
0.000000	1.000000	0.000000	-0.024071
			(0.00680)
0.000000	0.000000	1.000000	-0.053724
			(0.00304)

Adjustment coefficients (standard error in parentheses)

D(LNCO2CO...	-0.597867	-0.452267	0.751533
	(0.19128)	(0.24074)	(0.64113)
D(LNENERG...	-0.123645	0.045508	0.118267
	(0.10890)	(0.13705)	(0.36500)
D(LNGDP_G...	-0.232239	0.939487	-1.954463
	(0.20738)	(0.26099)	(0.69506)
D(LNGDP2)	-3.898444	17.60058	-34.49852
	(3.84874)	(4.84377)	(12.8999)

---

### Πίνακας 13α : Johansen test greece

Lags=2 βαση akaike



Vector Error Correction Estimates  
Date: 03/08/22 Time: 23:24  
Sample (adjusted): 4 42  
Included observations: 39 after adjustments  
Standard errors in ( ) & t-statistics in [ ]

Cointegrating Eq:		CointEq1			
LNCO2CONSTRUCTIO...	1.000000				
LNENERGYUSE_GRC_...	27.11117 (5.94042) [ 4.56385]				
LNGDP_GRC_(-1)	-49.98535 (16.6682) [-2.99884]				
LNGDP2(-1)	2.052507 (0.84205) [ 2.43751]				
C	76.28461				
Error Correction:	D(LNCO2C...	D(LNENER...	D(LNGDP_...	D(LNGDP2)	
CointEq1	-0.006313 (0.00955) [-0.66129]	0.003812 (0.00486) [ 0.78405]	0.039501 (0.00916) [ 4.31096]	0.730987 (0.16928) [ 4.31824]	
D(LNCO2CONSTRUCT...	-0.112734 (0.20013) [-0.56332]	0.076912 (0.10193) [ 0.75457]	0.356869 (0.19208) [ 1.85790]	7.287289 (3.54863) [ 2.05355]	
D(LNCO2CONSTRUCT...	-0.061098 (0.23070) [-0.26484]	-0.151647 (0.11750) [-1.29058]	-0.037412 (0.22143) [-0.16896]	-1.267071 (4.09080) [-0.30974]	
D(LNENERGYUSE_GR...	0.239197 (0.48300) [ 0.49523]	-0.128523 (0.24600) [-0.52244]	-1.218344 (0.46359) [-2.62809]	-22.68106 (8.56456) [-2.64825]	
D(LNENERGYUSE_GR...	0.223742 (0.48911) [ 0.45745]	-0.137303 (0.24912) [-0.55116]	-0.515089 (0.46945) [-1.09722]	-9.614516 (8.67289) [-1.10857]	
D(LNGDP_GRC_(-1))	2.695394 (2.41437) [ 1.11640]	-1.260717 (1.22970) [-1.02522]	0.133180 (2.31732) [ 0.05747]	-12.03076 (42.8116) [-0.28102]	
D(LNGDP_GRC_(-2))	0.144047 (2.40739) [ 0.05984]	0.665525 (1.22615) [ 0.54278]	2.016034 (2.31063) [ 0.87250]	39.63978 (42.6879) [ 0.92859]	
D(LNGDP2(-1))	-0.146489 (0.13086) [-1.11942]	0.068947 (0.06665) [ 1.03444]	0.014750 (0.12560) [ 0.11743]	1.067659 (2.32044) [ 0.46011]	
D(LNGDP2(-2))	-0.015927 (0.13026) [-0.12228]	-0.038003 (0.06634) [-0.57281]	-0.102111 (0.12502) [-0.81674]	-2.017955 (2.30974) [-0.87367]	
C	-0.566411 (3.31178) [-0.17103]	1.717016 (1.68678) [ 1.01793]	-9.421705 (3.17867) [-2.96404]	-174.8876 (58.7246) [-2.97810]	
LNURBANPOPULATIO...	0.125105 (0.77306) [ 0.16183]	-0.397548 (0.39374) [-1.00967]	2.211721 (0.74199) [ 2.98081]	41.05190 (13.7079) [ 2.99476]	
R-squared	0.187135	0.328971	0.625171	0.632001	
Adj. R-squared	-0.103174	0.089318	0.491303	0.500573	
Sum sq. resids	0.162413	0.042132	0.149620	51.06673	
S.E. equation	0.076161	0.038791	0.073100	1.350486	
F-statistic	0.644605	1.372698	4.670068	4.808725	
Log likelihood	51.54425	77.85619	53.14420	-60.59525	
Akaike AIC	-2.079192	-3.428523	-2.161241	3.671551	
Schwarz SC	-1.609982	-2.959313	-1.692032	4.140761	
Mean dependent	-0.023950	0.011635	0.049326	0.889644	
S.D. dependent	0.072512	0.040649	0.102491	1.910971	
Determinant resid covariance (dof adj.)		4.53E-10			
Determinant resid covariance		1.20E-10			
Log likelihood		224.0369			
Akaike information criterion		-9.027534			
Schwarz criterion		-6.980074			
Number of coefficients		48			

**Πίνακας 14α: VECM**

Dependent Variable: D(LNCO2CONSTRUCTION\_GRC\_)  
 Method: Least Squares (Gauss-Newton / Marquardt steps)  
 Date: 03/08/22 Time: 23:30  
 Sample (adjusted): 4 42

Included observations: 39 after adjustments

$$D(LNCO2CONSTRUCTION\_GRC\_)= C(1)*( LNCO2CONSTRUCTION\_GR$$

$$C\_(-1) + 27.1111745971*LNENERGYUSE\_GRC\_(-1) - 49.9853542754$$

$$*LNGDP\_GRC\_(-1) + 2.05250682725*LNGDP2(-1) + 76.2846070771 )$$

$$+ C(2)*D(LNCO2CONSTRUCTION\_GRC\_(-1)) + C(3)$$

$$*D(LNCO2CONSTRUCTION\_GRC\_(-2)) + C(4)*D(LNENERGYUSE\_G$$

$$RC\_(-1)) + C(5)*D(LNENERGYUSE\_GRC\_(-2)) + C(6)$$

$$*D(LNGDP\_GRC\_(-1)) + C(7)*D(LNGDP\_GRC\_(-2)) + C(8)$$

$$*D(LNGDP2(-1)) + C(9)*D(LNGDP2(-2)) + C(10) + C(11)$$

$$*LNURBANPOPULATION\_GRC\_$$

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	-0.006313	0.009547	-0.661286	0.5138
C(2)	-0.112734	0.200125	-0.563319	0.5777
C(3)	-0.061098	0.230701	-0.264836	0.7931
C(4)	0.239197	0.483000	0.495231	0.6243
C(5)	0.223742	0.489109	0.457449	0.6509
C(6)	2.695394	2.414369	1.116397	0.2737
C(7)	0.144047	2.407394	0.059835	0.9527
C(8)	-0.146489	0.130862	-1.119416	0.2725
C(9)	-0.015927	0.130258	-0.122276	0.9036
C(10)	-0.566411	3.311782	-0.171029	0.8654
C(11)	0.125105	0.773060	0.161831	0.8726
R-squared	0.187135	Mean dependent var		-0.023950
Adjusted R-squared	-0.103174	S.D. dependent var		0.072512
S.E. of regression	0.076161	Akaike info criterion		-2.079192
Sum squared resid	0.162413	Schwarz criterion		-1.609982
Log likelihood	51.54425	Hannan-Quinn criter.		-1.910844
F-statistic	0.644605	Durbin-Watson stat		2.008969
Prob(F-statistic)	0.763524			

**Πίνακας 15α: estimate equation**

Wald Test:  
Equation: Untitled

Test Statistic	Value	df	Probability
F-statistic	0.159543	(2, 28)	0.8533
Chi-square	0.319086	2	0.8525

Null Hypothesis:  $C(4)=C(5)=0$   
Null Hypothesis Summary:

Normalized Restriction (= 0)	Value	Std. Err.
C(4)	0.239197	0.483000
C(5)	0.223742	0.489109

Restrictions are linear in coefficients.

### **Πίνακας 16α: wald test $c(4)=c(5)=0$ variable $\ln\text{energyuse}$**

Wald Test:  
Equation: Untitled

Test Statistic	Value	df	Probability
F-statistic	1.162389	(2, 28)	0.3274
Chi-square	2.324777	2	0.3127

Null Hypothesis:  $C(6)=C(7)=0$   
Null Hypothesis Summary:

Normalized Restriction (= 0)	Value	Std. Err.
C(6)	2.695394	2.414369
C(7)	0.144047	2.407394

Restrictions are linear in coefficients.

### **Πίνακας 17α: wald test $c(6)=c(7)=0$ variable $\ln\text{gdp}$**

## **Diagnostic tests Model 1a**

Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:  
Null hypothesis: No serial correlation at up to 2 lags

F-statistic	0.339801	Prob. F(2,26)	0.7150
Obs*R-squared	0.993435	Prob. Chi-Square(2)	0.6085

Test Equation:

Dependent Variable: RESID

Method: Least Squares

Date: 03/09/22 Time: 00:28

Sample: 4 42

Included observations: 39

Presample missing value lagged residuals set to zero.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	0.001409	0.009942	0.141746	0.8884
C(2)	0.815272	1.012169	0.805470	0.4279
C(3)	-0.033545	0.550085	-0.060981	0.9518
C(4)	-0.050089	0.498653	-0.100448	0.9208
C(5)	-0.129274	0.525482	-0.246009	0.8076
C(6)	0.295286	2.508310	0.117723	0.9072
C(7)	-2.418993	3.990103	-0.606248	0.5496
C(8)	-0.013713	0.135671	-0.101073	0.9203
C(9)	0.133522	0.218816	0.610201	0.5470
C(10)	1.449516	3.909782	0.370741	0.7138
C(11)	-0.333324	0.909272	-0.366583	0.7169
RESID(-1)	-0.849312	1.033948	-0.821426	0.4189
RESID(-2)	0.110596	0.601656	0.183819	0.8556

R-squared	0.025473	Mean dependent var	-1.77E-16
Adjusted R-squared	-0.424309	S.D. dependent var	0.065376
S.E. of regression	0.078023	Akaike info criterion	-2.002431
Sum squared resid	0.158276	Schwarz criterion	-1.447910
Log likelihood	52.04740	Hannan-Quinn criter.	-1.803474
F-statistic	0.056633	Durbin-Watson stat	1.931773
Prob(F-statistic)	0.999996		

**Πίνακας 18α: Serial correlation test: αποδεχόμαστε την μηδενική υπόθεση αφού  $p > 0,05$**

Heteroskedasticity Test: Breusch-Pagan-Godfrey  
Null hypothesis: Homoskedasticity

F-statistic	1.897213	Prob. F(13,25)	0.0820
Obs*R-squared	19.36798	Prob. Chi-Square(13)	0.1121
Scaled explained SS	16.35192	Prob. Chi-Square(13)	0.2306

Test Equation:

Dependent Variable: RESID^2

Method: Least Squares

Date: 03/09/22 Time: 01:12

Sample: 4 42

Included observations: 39

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.287120	0.931610	0.308197	0.7605
LNCO2CONSTRUCTION_GRC_(-1)	0.028409	0.019537	1.454146	0.1583
LNENERGYUSE_GRC_(-1)	0.003129	0.034964	0.089490	0.9294
LNGDP_GRC_(-1)	-0.171303	0.233971	-0.732157	0.4709
LNGDP2(-1)	0.010103	0.012643	0.799058	0.4318
LNCO2CONSTRUCTION_GRC_(-2)	-0.023390	0.024052	-0.972462	0.3401
LNCO2CONSTRUCTION_GRC_(-3)	0.024347	0.021780	1.117879	0.2742
LNENERGYUSE_GRC_(-2)	-0.002993	0.045636	-0.065575	0.9482
LNENERGYUSE_GRC_(-3)	-3.77E-05	0.044500	-0.000848	0.9993
LNGDP_GRC_(-2)	0.112934	0.391712	0.288309	0.7755
LNGDP_GRC_(-3)	-0.057026	0.222502	-0.256297	0.7998
LNGDP2(-2)	-0.006732	0.021313	-0.315879	0.7547
LNGDP2(-3)	0.003890	0.012161	0.319915	0.7517
LNURBANPOPULATION_GRC_	0.019420	0.194806	0.099689	0.9214
R-squared	0.496615	Mean dependent var	0.004164	
Adjusted R-squared	0.234855	S.D. dependent var	0.007636	
S.E. of regression	0.006679	Akaike info criterion	-6.906332	
Sum squared resid	0.001115	Schwarz criterion	-6.309156	
Log likelihood	148.6735	Hannan-Quinn criter.	-6.692071	
F-statistic	1.897213	Durbin-Watson stat	2.841402	
Prob(F-statistic)	0.082005			

**Πίνακας 19α: Test ετεροσκεδαστικότητας: δεχόμαστε την μηδενική υπόθεση, το μοντέλο μας δεν έχει ετεροσκεδαστικότητα**

### ΠΙΝΑΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΧΕΣΗ 1β CO2BUILDINGS\_grc\_

CO2buildings\_GRC\_ = a0 + a1 GDP\_GRC\_t + a2 EnergyUse\_GRC\_t + a3 GDP2\_GRC\_t + Urbanpopulation\_GRC\_ + e (1β)

Vector Autoregression Estimates

Date: 03/13/22 Time: 13:22

Sample (adjusted): 3 42

Included observations: 40 after adjustments

Standard errors in ( ) & t-statistics in [ ]

	LNCO2BUI...	LNENERGY...	LNGDP_GRC_	LNGDP2
LNCO2BUILDINGS_G...	0.481165 (0.17689) [ 2.72007]	-0.067764 (0.05625) [-1.20476]	-0.113443 (0.12044) [-0.94188]	-2.071089 (2.26488) [-0.91444]
LNCO2BUILDINGS_G...	0.096506 (0.17837) [ 0.54103]	0.058183 (0.05672) [ 1.02584]	0.030480 (0.12145) [ 0.25097]	0.923326 (2.28381) [ 0.40429]
LNENERGYUSE_GRC_...	1.670428 (0.59873) [ 2.78995]	1.035163 (0.19038) [ 5.43737]	-0.040490 (0.40766) [-0.09932]	-0.766340 (7.66589) [-0.09997]
LNENERGYUSE_GRC_...	-1.119632 (0.67914) [-1.64859]	0.042448 (0.21595) [ 0.19657]	0.857105 (0.46241) [ 1.85355]	15.48672 (8.69546) [ 1.78101]
LNGDP_GRC_(-1)	-0.940312 (3.00882) [-0.31252]	-0.020932 (0.95672) [-0.02188]	1.455471 (2.04863) [ 0.71046]	2.186612 (38.5236) [ 0.05676]
LNGDP_GRC_(-2)	-0.888132 (2.88445) [-0.30790]	0.131846 (0.91717) [ 0.14375]	-2.034710 (1.96395) [-1.03603]	-26.97805 (36.9313) [-0.73049]
LNGDP2(-1)	0.051582 (0.16107) [ 0.32024]	-0.001225 (0.05122) [-0.02391]	-0.017392 (0.10967) [-0.15859]	1.026044 (2.06229) [ 0.49753]
LNGDP2(-2)	0.043850 (0.15500) [ 0.28291]	-0.007673 (0.04928) [-0.15570]	0.088154 (0.10553) [ 0.83533]	1.048820 (1.98449) [ 0.52851]
C	5.379252 (5.38449) [ 0.99903]	-0.820103 (1.71211) [-0.47900]	2.500614 (3.66617) [ 0.68208]	27.57939 (68.9406) [ 0.40005]
R-squared	0.724748	0.974625	0.988688	0.988349
Adj. R-squared	0.653716	0.968076	0.985769	0.985342
Sum sq. resids	0.430359	0.043512	0.199511	70.54925
S.E. equation	0.117824	0.037465	0.080224	1.508570
F-statistic	10.20302	148.8330	338.6906	328.7156
Log likelihood	33.88276	79.71454	49.25779	-68.10617
Akaike AIC	-1.244138	-3.535727	-2.012889	3.855309
Schwarz SC	-0.864140	-3.155729	-1.632891	4.235307
Mean dependent	2.155354	7.645930	9.291332	86.76979
S.D. dependent	0.200225	0.209684	0.672492	12.46043
Determinant resid covariance (dof adj.)		1.02E-09		
Determinant resid covariance		3.68E-10		
Log likelihood		207.4093		
Akaike information criterion		-8.570465		
Schwarz criterion		-7.050473		
Number of coefficients		36		

**Πίνακας 11β: VAR estimation**

VAR Lag Order Selection Criteria

Endogenous variables: LNCO2BUILDINGS\_GRC\_ LNENERGYUSE\_GRC\_ LNGDP...

Exogenous variables: C

Date: 03/13/22 Time: 13:26

Sample: 1 42

Included observations: 38

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	14.79041	NA	6.66e-06	-0.567916	-0.395539	-0.506586
1	174.8625	278.0199	3.41e-09	-8.150655	-7.288768*	-7.844002
2	196.8108	33.50006*	2.57e-09*	-8.463725*	-6.912327	-7.911749*
3	204.1988	9.721069	4.38e-09	-8.010462	-5.769555	-7.213165
4	216.0004	13.04389	6.39e-09	-7.789495	-4.859077	-6.746874

\* indicates lag order selected by the criterion

LR: sequential modified LR test statistic (each test at 5% level)

FPE: Final prediction error

AIC: Akaike information criterion

SC: Schwarz information criterion

HQ: Hannan-Quinn information criterion

**Πίνακας 12β: VAR lag order selection Criteria**

Date: 03/13/22 Time: 18:00  
 Sample (adjusted): 4 42  
 Included observations: 39 after adjustments  
 Trend assumption: Linear deterministic trend  
 Series: LNCO2BUILDINGS\_GRC\_ LNENERGYUSE\_GRC\_ LNGDP\_GRC\_ LN...  
 Exogenous series: LNURBANPOPULATION\_GRC\_  
 Warning: Critical values assume no exogenous series  
 Lags interval (in first differences): 1 to 2

Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.395622	51.69296	47.85613	0.0209
At most 1 *	0.350191	32.05428	29.79707	0.0270
At most 2	0.297250	15.24226	15.49471	0.0545
At most 3	0.037358	1.484855	3.841465	0.2230

Trace test indicates 2 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

\* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

\*\*MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None	0.395622	19.63868	27.58434	0.3667
At most 1	0.350191	16.81201	21.13162	0.1810
At most 2	0.297250	13.75741	14.26460	0.0600
At most 3	0.037358	1.484855	3.841465	0.2230

Max-eigenvalue test indicates no cointegration at the 0.05 level

\* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

\*\*MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegrating Coefficients (normalized by b\*S11\*b=I):

LNCO2BUILD...	LNENERGY...	LNGDP_GRC_	LNGDP2
-7.012744	25.25923	-77.75784	3.823606
-1.601728	0.942525	33.16167	-1.535561
-8.854636	0.395719	-58.23430	3.458418
2.748397	6.990464	-23.03694	1.334043

Unrestricted Adjustment Coefficients (alpha):

D(LNCO2BUI...	0.042408	0.048209	0.018339	-0.001988
D(LNENERG...	0.006404	0.003240	-0.004504	-0.005990
D(LNGDP_G...	0.041940	-0.006460	-0.025042	0.001238
D(LNGDP2)	0.758697	-0.088724	-0.508940	0.024390

1 Cointegrating Equation(s): Log likelihood 197.2245

Normalized cointegrating coefficients (standard error in parentheses)

LNCO2BUILD...	LNENERGY...	LNGDP_GRC_	LNGDP2
1.000000	-3.601904	11.08808	-0.545237
	(0.741116)	(2.25646)	(0.11344)

Adjustment coefficients (standard error in parentheses)

D(LNCO2BUI...	-0.297393
	(0.13658)
D(LNENERG...	-0.044913
	(0.04438)
D(LNGDP_G...	-0.294112
	(0.09331)
D(LNGDP2)	-5.320547
	(1.77269)



2 Cointegrating Equation(s):      Log likelihood      205.6305

Normalized cointegrating coefficients (standard error in parentheses)

LNCO2BUILD...	LNENERGY...	LNGDP_GRC_	LNGDP2
1.000000	0.000000	-26.91170 (9.74920)	1.252364 (0.52599)
0.000000	1.000000	-10.54991 (2.76261)	0.499069 (0.14905)

Adjustment coefficients (standard error in parentheses)

D(LNCO2BUI...	-0.374611 (0.12383)	1.116620 (0.43512)
D(LNENERG...	-0.050102 (0.04531)	0.164825 (0.15921)
D(LNGDP_G...	-0.283765 (0.09531)	1.053274 (0.33490)
D(LNGDP2)	-5.178436 (1.81433)	19.08048 (6.37541)

3 Cointegrating Equation(s):      Log likelihood      212.5092

Normalized cointegrating coefficients (standard error in parentheses)

LNCO2BUILD...	LNENERGY...	LNGDP_GRC_	LNGDP2
1.000000	0.000000	0.000000	-0.068598 (0.01800)
0.000000	1.000000	0.000000	-0.018774 (0.00614)
0.000000	0.000000	1.000000	-0.049085 (0.00228)

Adjustment coefficients (standard error in parentheses)

D(LNCO2BUI...	-0.536993 (0.19236)	1.123877 (0.42626)	-2.766762 (1.73087)
D(LNENERG...	-0.010222 (0.07120)	0.163043 (0.15777)	-0.128285 (0.64062)
D(LNGDP_G...	-0.062030 (0.14118)	1.043364 (0.31284)	-2.017069 (1.27032)
D(LNGDP2)	-0.671959 (2.66002)	18.87908 (5.89440)	-32.29910 (23.9347)

### Πίνακας 13β: Johansen Έλεγχος

Vector Error Correction Estimates  
 Date: 04/03/22 Time: 01:07  
 Sample (adjusted): 4 42  
 Included observations: 39 after adjustments  
 Standard errors in ( ) & t-statistics in [ ]

Cointegrating Eq:	CointEq1			
LNCO2BUILDINGS_G...	1.000000			
LNENERGYUSE_GRC_...	-3.601904 (0.74116) [-4.85982]			
LNGDP_GRC_(-1)	11.08808 (2.25646) [4.91392]			
LNGDP2(-1)	-0.545237 (0.11344) [-4.80657]			
C	-30.32248			
Error Correction:	D(LNCO2BU...	D(LNENER...	D(LNGDP_...	D(LNGDP2)
CointEq1	-0.297393 (0.13658) [-2.17738]	-0.044913 (0.04438) [-1.01205]	-0.294112 (0.09331) [-3.15209]	-5.320547 (1.77269) [-3.00141]
D(LNCO2BUILDINGS_...	0.007528 (0.21071) [0.03573]	-0.009996 (0.06846) [-0.14601]	0.145993 (0.14394) [1.01424]	2.630643 (2.73471) [0.96195]
D(LNCO2BUILDINGS_...	0.010495 (0.21188) [0.04953]	0.075126 (0.06884) [1.09124]	0.050932 (0.14475) [0.35187]	1.221947 (2.74998) [0.44435]
D(LNENERGYUSE_GR...	0.222066 (0.85045) [0.26112]	-0.129669 (0.27633) [-0.46926]	-1.080631 (0.58098) [-1.86000]	-19.50194 (11.0378) [-1.76683]
D(LNENERGYUSE_GR...	-1.866433 (0.89983) [-2.07421]	-0.217800 (0.29237) [-0.74495]	-0.130937 (0.61472) [-0.21300]	-2.600203 (11.6787) [-0.22264]
D(LNGDP_GRC_(-1))	-1.183753 (3.47129) [-0.34101]	-0.620048 (1.12788) [-0.54975]	0.053941 (2.37141) [0.02275]	-11.49831 (45.0532) [-0.25522]
D(LNGDP_GRC_(-2))	0.459910 (3.89828) [0.11798]	0.543410 (1.26662) [0.42902]	4.842494 (2.66311) [1.81836]	89.91247 (50.5950) [1.77710]
D(LNGDP2(-1))	0.064298 (0.18621) [0.34531]	0.033437 (0.06050) [0.55267]	0.019330 (0.12721) [0.15196]	1.044119 (2.41673) [0.43204]
D(LNGDP2(-2))	-0.017662 (0.20869) [-0.08463]	-0.032063 (0.06781) [-0.47285]	-0.262375 (0.14257) [-1.84035]	-4.881276 (2.70856) [-1.80216]
C	2.100240 (4.03442) [0.52058]	2.897264 (1.31085) [2.21022]	0.452590 (2.75611) [0.16421]	8.062050 (52.3619) [0.15397]
LNURBANPOPULATIO...	-0.489584 (0.93815) [-0.52186]	-0.672177 (0.30482) [-2.20516]	-0.097140 (0.64090) [-0.15157]	-1.726329 (12.1760) [-0.14178]
R-squared	0.398820	0.303515	0.515696	0.497174
Adj. R-squared	0.184112	0.054771	0.342731	0.317593
Sum sq. resids	0.414229	0.043731	0.193318	69.77662
S.E. equation	0.121630	0.039520	0.083092	1.578614
F-statistic	1.857504	1.220189	2.981495	2.768523
Log likelihood	33.28690	77.13013	48.14749	-66.68248
Akaike AIC	-1.142918	-3.391289	-1.904999	3.983717
Schwarz SC	-0.673708	-2.922079	-1.435790	4.452927
Mean dependent	-0.012222	0.011635	0.049326	0.889644
S.D. dependent	0.134656	0.040649	0.102491	1.910971
Determinant resid covariance (dof adj.)	1.79E-09			
Determinant resid covariance	4.76E-10			
Log likelihood	197.2245			
Akaike information criterion	-7.652540			
Schwarz criterion	-5.605080			
Number of coefficients	48			

**Πίνακας 14β: Vecm**

Dependent Variable: D(LNCO2BUILDINGS\_GRC\_)

Method: Least Squares (Gauss-Newton / Marquardt steps)

Date: 03/13/22 Time: 16:43

Sample (adjusted): 4 42

Included observations: 39 after adjustments

$$\begin{aligned}
D(LNCO2BUILDINGS\_GRC\_)= & C(1)*(LNCO2BUILDINGS\_GRC\_(-1) - \\
& 3.60190428735*LNENERGYUSE\_GRC\_(-1) + 11.0880770863 \\
& *LNGDP\_GRC\_(-1) - 0.545236753164*LNGDP2(-1) - 30.3224779281 ) \\
& + C(2)*D(LNCO2BUILDINGS\_GRC\_(-1)) + C(3)*D(LNCO2BUILDINGS \\
& \_GRC\_(-2)) + C(4)*D(LNENERGYUSE\_GRC\_(-1)) + C(5) \\
& *D(LNENERGYUSE\_GRC\_(-2)) + C(6)*D(LNGDP\_GRC\_(-1)) + C(7) \\
& *D(LNGDP\_GRC\_(-2)) + C(8)*D(LNGDP2(-1)) + C(9)*D(LNGDP2(-2)) + \\
& C(10) + C(11)*LNURBANPOPULATION\_GRC\_
\end{aligned}$$

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	-0.297393	0.136583	-2.177379	0.0380
C(2)	0.007528	0.210706	0.035726	0.9718
C(3)	0.010495	0.211882	0.049534	0.9608
C(4)	0.222066	0.850450	0.261115	0.7959
C(5)	-1.866433	0.899829	-2.074209	0.0474
C(6)	-1.183753	3.471290	-0.341012	0.7356
C(7)	0.459910	3.898283	0.117978	0.9069
C(8)	0.064298	0.186206	0.345305	0.7324
C(9)	-0.017662	0.208691	-0.084632	0.9332
C(10)	2.100240	4.034418	0.520581	0.6068
C(11)	-0.489584	0.938149	-0.521862	0.6059
R-squared	0.398820	Mean dependent var		-0.012222
Adjusted R-squared	0.184112	S.D. dependent var		0.134656
S.E. of regression	0.121630	Akaike info criterion		-1.142918
Sum squared resid	0.414229	Schwarz criterion		-0.673708
Log likelihood	33.28690	Hannan-Quinn criter.		-0.974570
F-statistic	1.857504	Durbin-Watson stat		1.977558
Prob(F-statistic)	0.095871			

**Πίνακας 15β: estimate equation**

Wald Test:

Equation: Untitled

Test Statistic	Value	df	Probability
F-statistic	3.242059	(2, 28)	0.0541
Chi-square	6.484118	2	0.0391

Null Hypothesis: C(4)=C(5)=0

Null Hypothesis Summary:

Normalized Restriction (= 0)	Value	Std. Err.
C(4)	0.222066	0.850450
C(5)	-1.866433	0.899829

Restrictions are linear in coefficients.

**Πίνακας 16β: wald test c(4)=c(5)=0 lnenergyuse\_grc\_**

Wald Test:  
Equation: Untitled

Test Statistic	Value	df	Probability
F-statistic	0.061843	(2, 28)	0.9402
Chi-square	0.123686	2	0.9400

Null Hypothesis:  $C(6)=C(7)=0$   
Null Hypothesis Summary:

Normalized Restriction (= 0)	Value	Std. Err.
C(6)	-1.183753	3.471290
C(7)	0.459910	3.898283

Restrictions are linear in coefficients.

**Πίνακας 17β: wald test  $c(6)=c(7)=0$  lngdp\_grc\_**

**Diagnostic tests Model 1b**

Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:  
Null hypothesis: No serial correlation at up to 2 lags

F-statistic	0.107898	Prob. F(2,26)	0.8981
Obs*R-squared	0.321029	Prob. Chi-Square(2)	0.8517

Test Equation:

Dependent Variable: RESID

Method: Least Squares

Date: 03/13/22 Time: 16:58

Sample: 4 42

Included observations: 39

Presample missing value lagged residuals set to zero.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	0.047068	0.178112	0.264259	0.7937
C(2)	0.041897	0.373092	0.112296	0.9115
C(3)	0.139278	0.373158	0.373242	0.7120
C(4)	0.134961	0.955749	0.141210	0.8888
C(5)	0.065155	1.000710	0.065109	0.9486
C(6)	-0.869678	4.055603	-0.214439	0.8319
C(7)	0.150922	4.062362	0.037151	0.9706
C(8)	0.043986	0.214913	0.204669	0.8394
C(9)	-0.009445	0.217716	-0.043381	0.9657
C(10)	0.345404	4.242466	0.081416	0.9357
C(11)	-0.079540	0.986178	-0.080655	0.9363
RESID(-1)	-0.099029	0.470619	-0.210423	0.8350
RESID(-2)	-0.201676	0.455912	-0.442357	0.6619

R-squared	0.008232	Mean dependent var	-3.90E-17
Adjusted R-squared	-0.449508	S.D. dependent var	0.104407
S.E. of regression	0.125701	Akaike info criterion	-1.048619
Sum squared resid	0.410819	Schwarz criterion	-0.494099
Log likelihood	33.44808	Hannan-Quinn criter.	-0.849662
F-statistic	0.017983	Durbin-Watson stat	1.970468
Prob(F-statistic)	1.000000		

**Πίνακας 18β: Serial correlation test: αποδεχόμαστε την μηδενική υπόθεση αφού  $p > 0,05$**

Heteroskedasticity Test: Breusch-Pagan-Godfrey  
Null hypothesis: Homoskedasticity

F-statistic	0.724228	Prob. F(13,25)	0.7240
Obs*R-squared	10.66930	Prob. Chi-Square(13)	0.6385
Scaled explained SS	7.259297	Prob. Chi-Square(13)	0.8883

Test Equation:

Dependent Variable: RESID^2

Method: Least Squares

Date: 03/13/22 Time: 17:00

Sample: 4 42

Included observations: 39

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	4.763021	2.315602	2.056925	0.0503
LNCO2BUILDINGS_GRC_(-1)	-0.020185	0.031511	-0.640565	0.5276
LNENERGYUSE_GRC_(-1)	0.033015	0.096510	0.342090	0.7351
LNGDP_GRC_(-1)	0.091781	0.679525	0.135066	0.8936
LNGDP2(-1)	-0.002852	0.036119	-0.078954	0.9377
LNCO2BUILDINGS_GRC_(-2)	-0.023169	0.034344	-0.674600	0.5061
LNCO2BUILDINGS_GRC_(-3)	0.002089	0.035442	0.058956	0.9535
LNENERGYUSE_GRC_(-2)	-0.046253	0.135782	-0.340645	0.7362
LNENERGYUSE_GRC_(-3)	0.011186	0.142350	0.078579	0.9380
LNGDP_GRC_(-2)	0.051478	1.026073	0.050170	0.9604
LNGDP_GRC_(-3)	-0.431635	0.630912	-0.684144	0.5002
LNGDP2(-2)	-0.004963	0.055234	-0.089853	0.9291
LNGDP2(-3)	0.026324	0.034189	0.769956	0.4485
LNURBANPOPULATION_GRC_	-0.833941	0.422499	-1.973830	0.0595
R-squared	0.273572	Mean dependent var	0.010621	
Adjusted R-squared	-0.104171	S.D. dependent var	0.017483	
S.E. of regression	0.018371	Akaike info criterion	-4.882811	
Sum squared resid	0.008437	Schwarz criterion	-4.285635	
Log likelihood	109.2148	Hannan-Quinn criter.	-4.668549	
F-statistic	0.724228	Durbin-Watson stat	2.541844	
Prob(F-statistic)	0.723973			

**Πίνακας 19β: Test ετεροσκεδαστικότητας: δεχόμαστε την μηδενική υπόθεση, το μοντέλο μας δεν έχει ετεροσκεδαστικότητα**

## Έλεγχοι αιτιότητας κατά Granger

Pairwise Granger Causality Tests  
 Date: 03/13/22 Time: 23:30  
 Sample: 1 42  
 Lags: 2

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
LNENERGYUSE_GRC_ does not Granger Cause LNCO2CONSTRUCTION_GRC_ LNCO2CONSTRUCTION_GRC_ does not Granger Cause LNENERGYUSE_GRC_	40	3.81778 0.78954	0.0316 0.4620
LNGDP_GRC_ does not Granger Cause LNCO2CONSTRUCTION_GRC_ LNCO2CONSTRUCTION_GRC_ does not Granger Cause LNGDP_GRC_	40	4.41878 3.36494	0.0194 0.0461
LNGDP2 does not Granger Cause LNCO2CONSTRUCTION_GRC_ LNCO2CONSTRUCTION_GRC_ does not Granger Cause LNGDP2	40	4.45898 3.74661	0.0188 0.0335
LNGDP_GRC_ does not Granger Cause LNENERGYUSE_GRC_ LNENERGYUSE_GRC_ does not Granger Cause LNGDP_GRC_	40	2.32338 5.49982	0.1129 0.0084
LNGDP2 does not Granger Cause LNENERGYUSE_GRC_ LNENERGYUSE_GRC_ does not Granger Cause LNGDP2	40	2.46230 5.16768	0.0999 0.0108
LNGDP2 does not Granger Cause LNGDP_GRC_ LNGDP_GRC_ does not Granger Cause LNGDP2	40	0.14914 0.22192	0.8620 0.8021

### Πίνακας 20α: έλεγχος βραχυχρόνιας αιτιότητας κατά Granger

Pairwise Granger Causality Tests  
 Date: 03/13/22 Time: 23:35  
 Sample: 1 42  
 Lags: 2

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
LNENERGYUSE_GRC_ does not Granger Cause LNCO2BUILDINGS_GRC_ LNCO2BUILDINGS_GRC_ does not Granger Cause LNENERGYUSE_GRC_	40	6.15608 0.92795	0.0051 0.4049
LNGDP_GRC_ does not Granger Cause LNCO2BUILDINGS_GRC_ LNCO2BUILDINGS_GRC_ does not Granger Cause LNGDP_GRC_	40	1.09359 0.09567	0.3462 0.9090
LNGDP2 does not Granger Cause LNCO2BUILDINGS_GRC_ LNCO2BUILDINGS_GRC_ does not Granger Cause LNGDP2	40	1.15932 0.10105	0.3255 0.9041
LNGDP_GRC_ does not Granger Cause LNENERGYUSE_GRC_ LNENERGYUSE_GRC_ does not Granger Cause LNGDP_GRC_	40	2.32338 5.49982	0.1129 0.0084
LNGDP2 does not Granger Cause LNENERGYUSE_GRC_ LNENERGYUSE_GRC_ does not Granger Cause LNGDP2	40	2.46230 5.16768	0.0999 0.0108
LNGDP2 does not Granger Cause LNGDP_GRC_ LNGDP_GRC_ does not Granger Cause LNGDP2	40	0.14914 0.22192	0.8620 0.8021

### Πίνακας 20β: έλεγχος βραχυχρόνιας αιτιότητας κατά Granger

## VEC Granger Causality/Block Exogeneity Wald Tests

Date: 03/13/22 Time: 23:32

Sample: 1 42

Included observations: 39

## Dependent variable: D(LNCO2CONSTRUCTION\_GRC\_)

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
D(LNENERGYUSE_G...	0.319086	2	0.8525
D(LNGDP_GRC_)	2.324777	2	0.3127
D(LNGDP2)	2.591291	2	0.2737
All	4.753633	6	0.5758

## Dependent variable: D(LNENERGYUSE\_GRC\_)

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
D(LNCO2CONSTRUC...	2.895579	2	0.2351
D(LNGDP_GRC_)	1.078463	2	0.5832
D(LNGDP2)	1.093207	2	0.5789
All	3.309799	6	0.7691

## Dependent variable: D(LNGDP\_GRC\_)

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
D(LNCO2CONSTRUC...	3.873937	2	0.1441
D(LNENERGYUSE_G...	6.907732	2	0.0316
D(LNGDP2)	0.989403	2	0.6098
All	12.25701	6	0.0565

## Dependent variable: D(LNGDP2)

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
D(LNCO2CONSTRUC...	4.931237	2	0.0850
D(LNENERGYUSE_G...	7.013936	2	0.0300
D(LNGDP_GRC_)	1.045127	2	0.5930
All	13.30608	6	0.0384

**Πίνακας 21α: έλεγχος μακροχρόνιας αιτιότητας κατά Granger**



## VEC Granger Causality/Block Exogeneity Wald Tests

Date: 03/13/22 Time: 23:37

Sample: 1 42

Included observations: 39

Dependent variable: D(LNCO2BUILDINGS\_GRC\_)

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
D(LNENERGYUSE_G...	6.484118	2	0.0391
D(LNGDP_GRC_)	0.123686	2	0.9400
D(LNGDP2)	0.136487	2	0.9340
All	6.838023	6	0.3361

Dependent variable: D(LNENERGYUSE\_GRC\_)

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
D(LNCO2BUILDINGS...	1.674986	2	0.4328
D(LNGDP_GRC_)	0.324307	2	0.8503
D(LNGDP2)	0.344288	2	0.8419
All	2.336206	6	0.8863

Dependent variable: D(LNGDP\_GRC\_)

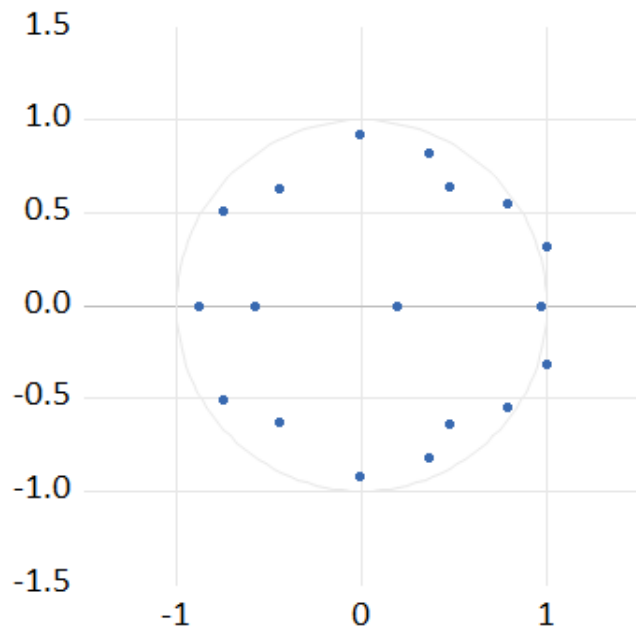
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
D(LNCO2BUILDINGS...	1.039502	2	0.5947
D(LNENERGYUSE_G...	4.116382	2	0.1277
D(LNGDP2)	4.512793	2	0.1047
All	6.973037	6	0.3233

Dependent variable: D(LNGDP2)

Excluded	Chi-sq	df	Prob.
D(LNCO2BUILDINGS...	0.925937	2	0.6294
D(LNENERGYUSE_G...	3.678916	2	0.1589
D(LNGDP_GRC_)	3.933680	2	0.1399
All	6.160951	6	0.4054

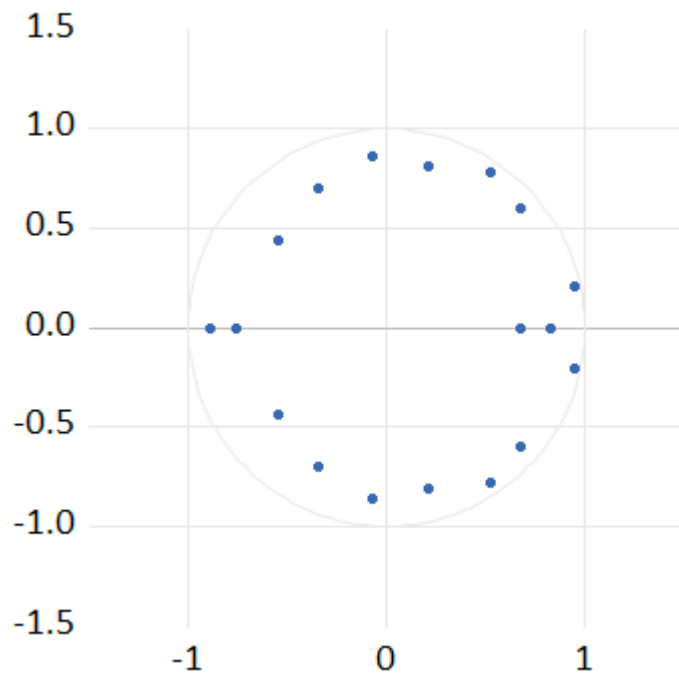
**Πίνακας 21β: έλεγχος μακροχρόνιας αιτιότητας κατά Granger**

### Inverse Roots of AR Characteristic Polynomial



**Πίνακας 22α: AR roots 1α equation**

### Inverse Roots of AR Characteristic Polynomial



**Πίνακας 22β: AR roots 1β equation**

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (Ελληνική, ξένη, διαδικτυακοί τόποι)**

<https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2017>

IEA (2021), World Energy Model, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-model>

Acaravci, A. O. (2010). On the relationship between energy consumption, CO2 emissions and economic growth in Europe. *Energy*, 35, 5412-5420.

Ali Acaravci, I. O. (2010). On the relationship between energy consumption, CO2 emissions and economic growth in Europe. *Energy*, 5412-5420.

Asteriou, D. H. (2011). *Applied Econometrics*. 2nd ed, London: United Kingdom: Palgrave Macmillan p512.

Behnaz Saboori, J. S. (2012). Economic growth and CO2 emissions in Malaysia: A cointegration analysis of the Environmental Kuznets Curve. *Energy Policy*, Vol 51,p. 184-191.

Behnaz Saboori, J. S. (2012). Economic growth and CO2 emissions in Malaysia: A cointegration analysis of the Environmental Kuznets Curve. *Energy Policy*, 51, 184-191.

Bostenaru, D. (2014). Innovative geotextile materials for the extension of urban green space-contribution to urban sustainability. *Rev. Environ. Sci. Bio-Technology*, 5-9.

Carmin, JoAnn; Nadkarni, Nikhil; Rhie, Christopher. (2012). *Progress and Challenges in Urban Climate Adaptation Planning: Results of a Global*. Cambridge: MIT, Cambridge, MA.

Edoja, G. C. (2017). Effect of economic growth on CO2 emission in developing countries: Evidence from a dynamic panel threshold model. *Cogent Economics & Finance*, 1-22.

Erasmia Kotroni, D. K. (2020). Environmental Kuznets Curve in Greece in the Period 1960-2014. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(4), 364-370.

Grossman, G. K. (1995). Economic-growth and the environment. *Quarterly Journal of Economics*, 110, 353-377.

Harvey L.D.D. (2006). *A Handbook on Low-Energy Buildings and District-Energy Systems :Fundamentals, Techniques and Examples*. London: James and James.

Hondroyiannis, G. L. (2002). Energy consumption and economic growth: Assessing the evidence from Greece. *Energy Economics*, 24, 319-336.

- IEA. (2020). Ανάκτηση από IEA: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>
- Jiří Dobiáš, D. M. (2014). Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) and its Impact on Building Operational Expenditures. *Procedia Engineering*, 85, 132-139.
- Johansen, S. (1988). Statistical analysis of cointegration vectors. *Economic Dynamics and Control*, Volume 12, p. 231-254.
- Kaika, D. Z. (2013a). The environmental Kuznets curve (EKC) theory. Part A: Concept, causes and the CO<sub>2</sub> emissions case. *Energy Policy*, 62, 1392-1402.
- Karanikola, P. P. (2014, April 25). Facing and managing natural disasters in the Sporades islands, Greece. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*, 995–1005.
- Kasman, A. &. (2015). CO<sub>2</sub> emissions, economic growth, energy consumption, trade and urbanization in new EU member and candidate countries: A panel data analysis. *Economic Modelling*, Elsevier, 97-103.
- N.Shafik, S. (1992). *Economic Growth and Environmental Quality. Time Series and Cross-Country Evidence*. Washington, DC: World Development Report 1992: World Bank Policy Research Working Paper 904.
- Panagiotis Chastas, T. T. (2018). Normalising and assessing carbon emissions in the building sector: A review on the embodied CO<sub>2</sub> emissions of residential buildings. *Building and Environment*, Volume 130, 212-226.
- Richard J. De Dear, G. S. (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings*, 34: 549-561.
- Shahbaz, M. S. (2014). Economic growth, electricity consumption, urbanization and environmental degradation electricity consumption, urbanization and environmental degradation. *Ecological Indicators*, 45, 622-631.
- Socolow, R. (1978). *Saving energy in the home: Princeton's experiments at Twin Rivers*. Cambridge MA: Ballinger Press.
- Solomon, S. D. (2007). *Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) Climate Change 2007: Physical Science Basis*. New York: Cambridge Univ. Press.
- Stern, D. C. (1996). Economic growth and environmental degradation: The environmental Kuznets curve and sustainable development. *World Development*, 24, 1151-1160.
- Thomas Panagopoulos, J. A. (2016). Urban planning with respect to environmental quality and human well-being. *Environmental Pollution*, 137-144.
- Todesco, G. (2004). Integrated Designs and HVAC Equipment Sizing. *ASHRAE JOURNAL*, 46: 42-47.
- Ueno, T. S. (2006). Effectiveness of an energy-consumption information system on energy savings in residential houses based on monitored data. *Applied Energy*, 83, 166-183.
- United Nations Environment Programme. (2020). *2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*. Nairobi: United Nations Environment Programme.

Karanikola, P., Panagopoulos, T., Tampakis, S., Karantoni, M. I., and Tsantopoulos, G.: Facing and managing natural disasters in the Sporades islands, Greece, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14, 995–1005, <https://doi.org/10.5194/nhess-14-995-2014>, 2014.

UN Environment and International Energy Agency (2017): Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector. Global Status Report 2017.

IEA (2017), Energy Technology Perspectives 2017, IEA/OECD, Paris, [www.iea.org/etp](http://www.iea.org/etp)

United Nations Environment Programme (2020). 2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi

World Development Indicators | DataBank. [Databank.worldbank.org](http://databank.worldbank.org). (2019). Retrieved 26 August 2019, from <https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=worlddevelopment-indicators>.

Shafic, N., Bandyopadhyay, S. (1992), Growth and Environmental Quality. Time-series and Cross Country Evidence. Washington, DC: World Development Report 1992, The World Bank Policy Research Working Paper no 904.

Stern, D.I., Common, S.M., Barbier, E. (1996), Economic growth and environmental degradation: The environmental Kuznets curve and sustainable development. *World Development*, 24, 1151-1160.

Grossman, G.M., Krueger, A.B. (1995), Economic-growth and the environment. *Quarterly Journal of Economics*, 110, 353-377.

Kaika, D., Zervas, E. (2013a), The environmental Kuznets curve (EKC) theory. Part A: Concept, causes and the CO<sub>2</sub> emissions case. *Energy Policy*, 62, 1392-1402

Acaravci, A., Ozturk, I. (2010), On the relationship between energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions and economic growth in Europe. *Energy*, 35, 5412-5420.

Hondroyannis, G., Lolos G.S., Papapetrou E. (2002), Energy consumption and economic growth: Assessing the evidence from Greece. *Energy Economics*, 24, 319-336.

Shahbaz, M., Sbia, R., Hamdi, H., Ozturk, I. (2014), Economic growth, electricity consumption, urbanization and environmental degradation relationship in United Arab Emirates. *Ecological Indicators*, 45, 622-631.

Asteriou, D., Hall, S.G. (2011), *Applied Econometrics*. 2nd ed. London, United Kingdom: Palgrave Macmillan. p512.

Dickey, D.A., Fuller, W.A. (1979), Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, 74, 427-431.

Dickey, D.A., Fuller, W.A. (1981), Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica*, 49, 1057-1072.

Al-mulali, U., Che Sab, C.N.B., Fereidouni, H.G. (2012), Exploring the bi-directional long run relationship between urbanization, energy consumption and carbon dioxide emission. *Energy*, 46, 156-167.

Johansen, S. (1991), Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in gaussian vector autoregressive models. *Econometrica*, 59, 1551-1580.

IPCC scenarios : Shared Socioeconomic Pathway, or SSP,

Rapanos, V.T., Polemis, M.L. (2006), The structure of residential energy demand in Greece. *Energy Policy*, 34, 3137-3143.

<https://www.theexplorer.no/stories/architecture-and-construction/norway-is-greening-the-construction-industry/>