



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΧΗΜΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ &
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Περιβαλλοντική αξιολόγηση και ανάλυση κύκλου ζωής
τεχνολογιών που άπτονται της ενεργειακής αναβάθμισης
κτιρίου/ων, με τη χρήση υπολογιστικών εργαλείων που
βασίζονται σε μετρήσεις πραγματικού χρόνου**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βρεττός Π. Σφήκας

Επιβλέπων Καθηγητής: Ευάγγελος Μαρινάκης

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2024



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΧΗΜΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ &
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Περιβαλλοντική αξιολόγηση και ανάλυση κύκλου ζωής
τεχνολογιών που άπτονται της ενεργειακής αναβάθμισης
κτιρίου/ων, με τη χρήση υπολογιστικών εργαλείων που
basίζονται σε μετρήσεις πραγματικού χρόνου**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βρεττός Π. Σφήκας

Επιβλέπων Καθηγητής: Ευάγγελος Μαρινάκης

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 15/10/2024.

Ευάγγελος Μαρινάκης Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Χρυσόστομος Δούκας Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Ιωάννης Ψαρράς Καθηγητής Ε.Μ.Π.
---	--	------------------------------------

Αθήνα, Οκτώβριος 2024

Βρεττός Σφήκας

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Βρεττός Σφήκας, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας Εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της Εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει την περιβαλλοντική αξιολόγηση και την ανάλυση κύκλου ζωής τεχνολογιών ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων, εστιάζοντας στη σημασία των περιβαλλοντικών δεικτών απόδοσης και την εφαρμογή τους σε πραγματικά έργα. Στο πλαίσιο της αυξανόμενης ανάγκης για βιώσιμες πρακτικές στον τομέα της κατασκευής και της ανακαίνισης, η εργασία αναλύει τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες που προκύπτουν από την υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογιών.

Αρχικά, η εργασία ορίζει την έννοια της ανάλυσης κύκλου ζωής (LCA), ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής (LCC) καθώς και τα αντίστοιχα πρότυπα ISO, τα οποία παρέχουν ένα πλαίσιο για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων προϊόντων και διαδικασιών καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους. Η LCA επιτρέπει την αναγνώριση και την ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, από την εξόρυξη πρώτων υλών μέχρι την τελική διάθεση, προσφέροντας έτσι μια ολοκληρωμένη εικόνα της βιωσιμότητας των τεχνολογιών.

Η εργασία αναλύει επίσης τη σημασία των περιβαλλοντικών δεικτών απόδοσης, οι οποίοι χρησιμεύουν ως εργαλεία μέτρησης και αξιολόγησης της προόδου προς την επίτευξη βιώσιμων στόχων. Αυτοί οι δείκτες επιτρέπουν στους ενδιαφερόμενους φορείς, όπως κυβερνήσεις και βιομηχανία, να συνεργαστούν και να καθορίσουν σαφή μετρήσιμα στοιχεία που θα παρακολουθούν την πρόοδο και την αποτελεσματικότητα των πολιτικών και των πρακτικών που εφαρμόζονται.

Στο πλαίσιο των προτάσεων, η εργασία τονίζει την ανάγκη για ένα ευρωπαϊκό νομικό πλαίσιο που να αντιμετωπίζει τις ρυθμιστικές προκλήσεις και να διασφαλίζει τη συμμόρφωση με τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις. Η στρατηγική επικοινωνίας και διάδοσης των αποτελεσμάτων είναι επίσης σημαντική για την ενθάρρυνση της αναπαραγωγής των λύσεων σε άλλες πόλεις και περιοχές.

Συνολικά, η διπλωματική εργασία αναδεικνύει τη σημασία της περιβαλλοντικής αξιολόγησης και της ανάλυσης κύκλου ζωής στην προώθηση βιώσιμων πρακτικών στον τομέα της κατασκευής, προσδιορίζοντας τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες που προκύπτουν από την υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογιών.

Λέξεις Κλειδιά: Περιβαλλοντική αξιολόγηση, Ανάλυση Κύκλου Ζωής, Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής, Ενεργειακή Αναβάθμιση, Βιώσιμη ανάπτυξη, Βασικοί Δείκτες Απόδοσης, Μηδενικές εκπομπές άνθρακα, Περιβαλλοντικό αποτύπωμα, Υπολογιστικά εργαλεία, Συλλογή δεδομένων, Όρια συστήματος, Κατασκευή και λειτουργία, Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Abstract

The present thesis examines the environmental assessment and life cycle analysis of energy upgrade technologies for buildings, focusing on the importance of environmental performance indicators and their application in real projects. In the context of the increasing need for sustainable practices in the construction and renovation sector, the thesis analyzes the challenges and opportunities arising from the adoption of innovative technologies.

Initially, the thesis defines the concept of life cycle analysis (LCA), life cycle cost analysis (LCC), as well as the corresponding ISO standards, which provide a framework for assessing the environmental impact of products and processes throughout their life cycle. LCA allows for the identification and quantification of environmental impacts, from the extraction of raw materials to final disposal, thus offering a comprehensive picture of the sustainability of technologies.

The thesis also analyzes the significance of environmental performance indicators, which serve as tools for measuring and evaluating progress towards achieving sustainable goals. These indicators enable stakeholders, such as governments and industry, to collaborate and establish clear measurable metrics to monitor the progress and effectiveness of the policies and practices implemented.

In the context of recommendations, the thesis emphasizes the need for a European legal framework that addresses regulatory challenges and ensures compliance with environmental requirements. The communication and dissemination strategy of the results is also important for encouraging the replication of solutions in other cities and regions.

Overall, the thesis highlights the importance of environmental assessment and life cycle analysis in promoting sustainable practices in the construction sector, identifying the challenges and opportunities arising from the adoption of innovative technologies.

Key words: Environmental assessment, Life Cycle Analysis, Life Cycle Cost Analysis, Energy Upgrade, Sustainable development, Zero carbon emissions, Key Performance Indicators, Environmental footprint, Computational tools, Data collection, System boundaries, Construction and operation, Environmental impact

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Ευάγγελο Μαρινάκη για την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω την διπλωματική μου εργασία σε ένα τόσο ενδιαφέρον, όσο και χρήσιμο θέμα στον τομέα της βιώσιμης ανάπτυξης. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές κ. Χρυσόστομο Δούκα και Ιωάννη Ψαρρά και για την συμμετοχή τους στην επιτροπή εξέτασης της διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα στη συνέχεια να ευχαριστήσω το ΕΚΕΤΑ και συγκεκριμένα τον κ. Άγγελο Σκέμπρη και Στέφανο Πετρίδη για τη συνεχή καθοδήγηση και βοήθεια κατά τη διάρκεια της εργασίας. Η συνεργασία μαζί τους υπήρξε καθοριστική και μου προσέφερε αναντικατάστατη εμπειρία.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στον κ. Παναγιώτη Σκαλούμπακα για τη συνεχή βοήθεια που παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας.

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract.....	7
Ευχαριστίες	9
Κατάλογος εικόνων	13
Κατάλογος πινάκων	14
1. Εισαγωγή.....	15
1.1 Στόχοι Περιβαλλοντικών Δεικτών Απόδοσης.....	15
1.2 Τρέχουσα Περιβαλλοντική Κατάσταση	15
1.3 Ο Ρόλος της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.....	18
2. Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ISO 14040, ISO 14044)	19
2.1 Εισαγωγή στην Ανάλυση Κύκλου Ζωής.....	19
2.2 Ανάλυση Κύκλου Ζωής – Πρότυπα ISO 14040, ISO 14044.....	19
2.2.1 Ορισμός του σκοπού και καθορισμός του αντικειμένου (Goal & Scope definition)	20
2.2.2 Απογραφή δεδομένων (Life Cycle Inventory)	22
2.2.3 Εκτίμηση των επιπτώσεων	23
2.2.4 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων	25
2.3 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.....	26
3. Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (ISO 15686)	27
3.1 Εισαγωγή στην Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής	27
3.2 Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής – Πρότυπο ISO 15686	28
3.3 Κατηγορίες Ανάλυσης Κόστους Κύκλου Ζωής.....	29
3.4 Συνολικό Κόστος Ζωής	30
4. Διαδικτυακά λογισμικά υλοποίησης LCA, LCC	33
4.1 Εισαγωγή στα διαδικτυακά λογισμικά	33
4.2 Παρουσίαση διαδικτυακών λογισμικών	33
5. Παρουσίαση λογισμικού “VERIFY” - Virtual intEgrated platfoRm on LIfe cycle AnalYsis	43
5.1 Εισαγωγή	43
5.2 Ανάλυση “VERIFY”.....	44
6. A POsitive Energy CITY Transformation Framework – POCITYF	64
6.1 Συνοπτική Παρουσίαση (Executive Summary).....	64
6.2 Στόχοι (Objectives).....	64
6.3 Energy Transition Tracks – Integrated Solutions	66

6.4	Lighthouse Cities – Fellow Cities	70
7.	Δεδομένα για κάθε κτίριο	72
7.1	Εισαγωγή	72
7.2	Bloemwijk	72
7.3	Woonwaard Highrise	76
7.3.1	Βασικό Σενάριο	78
7.3.2	Αναβαθμισμένο Σενάριο	80
8.	Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	83
8.1	Bloemwijk	83
8.2	Woonwaard Highrise	85
9.	Επίλογος.....	90
	Βιβλιογραφία	91

Κατάλογος εικόνων

1:Επένδυση στην Ενεργειακή Αποδοτικότητα στα κτίρια και τις κατασκευές [6]	16
2:GBCT decarbonization Index. Αριστερά: Πορεία αναφοράς μέχρι το 2050. Δεξιά: Μεγέθυνση για την περίοδο 2015-2022 [9]	16
3: Ανάλυση Κύκλου Ζωής [25]	23
4: Αντιγραφή διαγράμματος απευθείας στο MS Excel [40]	34
5: Αυτόματος Υπολογισμός Αβεβαιότητας [40]	35
6: Παράδειγμα συστήματος υλοποιημένου στο GaBi [46]	36
7: Σουίτα Μοντελοποίησης [42]	37
8: Αποτελέσματα απογραφής [42]	37
9: Ανάλυση Αντικτύπου [42]	38
10: Εισαγωγή δεδομένων [44]	39
11: Ανάλυση Αποτελεσμάτων [44]	39
12: Δημιουργία προσαρμοσμένης αναφοράς [47]	40
13: CES EduPack [45]	41
14: Η πλατφόρμα VERIFY [56]	60
15: Εισαγωγή βασικών στοιχείων κτιρίου [56]	60
16: Αρχική σελίδα κτιρίου [56]	61
17: Συγκριτική Ανάλυση LCA [56]	61
18: Συγκριτική Ανάλυση LCC [56]	62
19: LCA KPIs [56]	62
20: LCC KPIs [56]	62
21: Έξτρα Οικονομικοί Δείκτες [56]	63
22: Γειτονιά Bloemwijk [67]	72
23: Woonwaard Highrise [70]	76
24: Ετήσια Ζήτηση Πρωτογενούς Ενέργειας – Bloemwijk [56]	84
25: Ετήσιες λειτουργικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου – Bloemwijk [56]	84
26: Ετήσια Κόστη – Bloemwijk [56]	85
27: Ετήσιες λειτουργικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου – Woonwaard Highrise [56]	87
28: Ετήσια Ζήτηση Πρωτογενούς Ενέργειας – Woonwaard Highrise [56]	87
29: Ετήσια Κόστη – Woonwaard Highrise [56]	88
30: Σύγκριση Συνολικής Ηλεκτρικής Κατανάλωσης με τα Φωτοβολταϊκά [56]	89

Κατάλογος πινάκων

1: GBCT's indicators observations summary, 2015-2022 [5]	17
2: Σύγκριση Διαδικτυακών Λογισμικών [40] [41] [42] [43] [44] [45]	42
3: Συντεταγμένες του μπλοκ Bloemwijk [56].....	73
4 Περιγραφή ενός κτιρίου – Bloemwijk [56].....	74
5: Στοιχεία βασικού σεναρίου με τα χαρακτηριστικά τους [69]	75
6: Σχέδιο τιμολόγησης δικτύων στο βασικό σενάριο – Bloemwijk [56]	75
7: Συντεταγμένες του Woonwaard Highrise [56].....	77
8: Περιγραφή του κτιρίου – Woonwaard Highrise [56].....	78
9: Στοιχεία βασικού σεναρίου με τα χαρακτηριστικά τους [69]	79
10: Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και σχέδιο τιμολόγησης δικτύων στο βασικό σενάριο – Woonwaard Highrise [69].....	79
11: Στοιχεία αναβαθμισμένου σεναρίου με τα χαρακτηριστικά τους [69].....	82
12: Σχέδιο τιμολόγησης ηλεκτρικής ενέργειας στο αναβαθμισμένο σενάριο [69].....	82
13: Αποτελέσματα – Δείκτες KPI του LCA/LCC μετά την ανάλυση στο εργαλείο VERIFY για το Bloemwijk [56]	83
14: Αποτελέσματα – Δείκτες KPI του LCA/LCC μετά την ανάλυση στο εργαλείο VERIFY για το Woonwaard Highrise [56].....	86
15: Δείκτες KPI της περιόδου αποπληρωμής του LCA για το Woonwaard Highrise [56]	86
16: Δείκτες KPI για τις γεννήτριες του αναβαθμισμένου σεναρίου – Woonwaard Highrise [56]	86
17: Χρονοσειρές βασικού σεναρίου – Woonwaard Highrise [56]	89
18: Χρονοσειρές αναβαθμισμένου σεναρίου - Woonwaard Highrise [56]	89

1. Εισαγωγή

1.1 Στόχοι Περιβαλλοντικών Δεικτών Απόδοσης

Καθώς ο πλανήτης βρίσκεται σε ένα κρίσιμο σημείο στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, ο τομέας των κτιρίων και της κατασκευής έχει θέσει φιλόδοξους στόχους με σκοπό την επίτευξη ισχυρά θετικών Περιβαλλοντικών Δεικτών Απόδοσης (KPIs) μέχρι το έτος 2050. Αναγνωρίζοντας ότι τα κτίρια αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό ποσοστό των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, η διεθνής κοινότητα έχει ενωθεί γύρω από τον στόχο της απανθρακοποίησης αυτού του τομέα, προκειμένου να ευθυγραμμιστεί με τους στόχους που έχει θέσει η Συμφωνία του Παρισιού [1].

Μέχρι το 2050, ο γενικός στόχος είναι η επίτευξη μηδενικών λειτουργικών εκπομπών άνθρακα στα κτίρια, κάτι που απαιτεί μια συνολική μεταμόρφωση τόσο των νέων κατασκευών όσο και των υφιστάμενων δομών. Αυτό περιλαμβάνει την εφαρμογή αυστηρών μέτρων ενεργειακής απόδοσης, την υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την ανακαίνιση παλαιών κτιρίων ώστε να πληρούν τις σύγχρονες προδιαγραφές βιωσιμότητας [2]. Η δέσμευση για αυτούς τους δείκτες απόδοσης αντικατοπτρίζει μια συλλογική κατανόηση ότι η πορεία προς ένα βιώσιμο μέλλον εξαρτάται από την ικανότητά μας να καινοτομούμε και να προσαρμόζουμε το δομημένο περιβάλλον μας [3].

Για να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι, διάφοροι ενδιαφερόμενοι φορείς—συμπεριλαμβανομένων κυβερνήσεων, ηγετών της βιομηχανίας και της κοινωνίας των πολιτών—πρέπει να συνεργαστούν για να καθορίσουν σαφή μετρήσιμα στοιχεία και πλαίσια αναφοράς που θα παρακολουθούν την πρόοδο προς αυτούς τους στόχους. Η επείγουσα ανάγκη αυτής της προσπάθειας δεν μπορεί να υποτιμηθεί, καθώς οι αποφάσεις που θα ληφθούν σήμερα θα διαμορφώσουν την ανθεκτικότητα και τη βιωσιμότητα των κοινοτήτων μας για τις επόμενες γενιές. Καθώς κοιτάζουμε προς το 2050, είναι επιτακτική ανάγκη να μην θέσουμε μόνο αυτούς τους φιλόδοξους στόχους, αλλά και να κινητοποιήσουμε τους απαραίτητους πόρους και στρατηγικές για να τους πραγματοποιήσουμε, διασφαλίζοντας ότι τα κτίρια του αύριο θα είναι σχεδιασμένα να ευημερούν σε ένα μεταβαλλόμενο κλίμα.

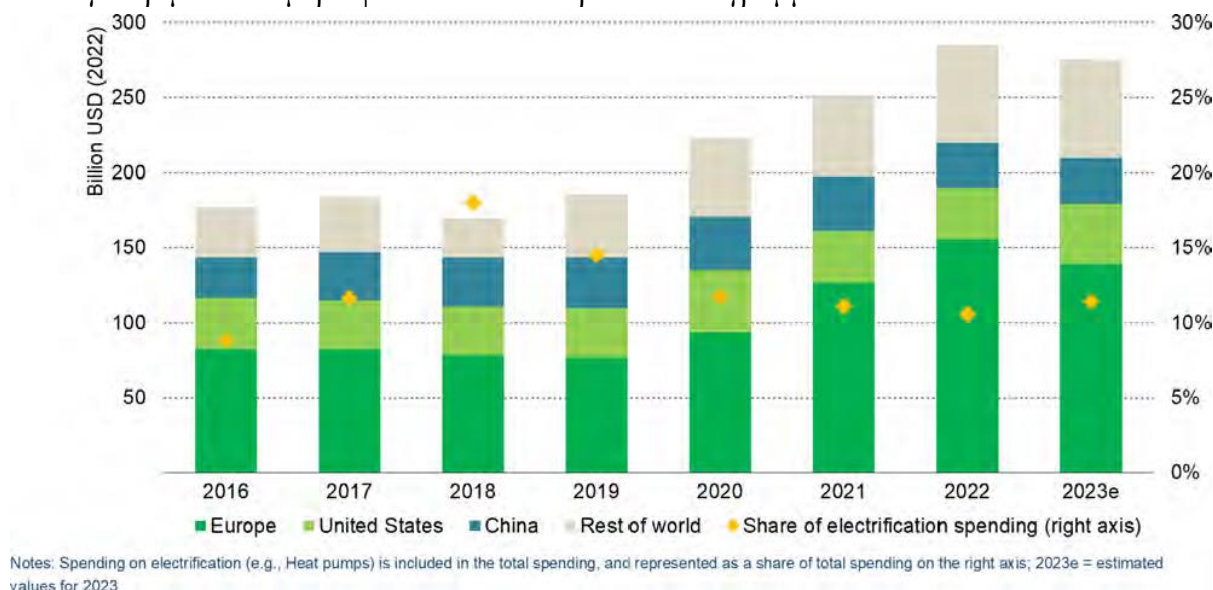
1.2 Τρέχουσα Περιβαλλοντική Κατάσταση

Παρά τους φιλόδοξους στόχους που έχουν τεθεί για τα KPIs, η τρέχουσα κατάσταση του τομέα των κτιρίων και της κατασκευής παρουσιάζει μια σκληρή και ανησυχητική πραγματικότητα. Πρόσφατες αναφορές δείχνουν ότι η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας και οι εκπομπές από τα κτίρια συνεχίζουν να αυξάνονται [4]. Αυτή η τάση υπογραμμίζει μια ανησυχητική απόσταση μεταξύ των καθορισμένων στόχων και της πραγματικής προόδου που επιτυγχάνεται.

Η Παγκόσμια Έκθεση Κατάστασης για τα Κτίρια και την Κατασκευή (Global Status Report for Buildings and Constructions) [5] επισημαίνει ότι, ενώ πάνω από 81 χώρες έχουν εφαρμόσει κωδικούς ενεργειακής απόδοσης για τα κτίρια, πολλές από αυτές τις ρυθμίσεις είναι ξεπερασμένες και ανεπαρκείς για να προωθήσουν τις απαραίτητες αλλαγές. Η επένδυση στην αποκατάσταση των εκπομπών άνθρακα από τα κτίρια υπερέβη τα 285 δισεκατομμύρια

δολάρια το 2022. Ωστόσο, παρουσιάστηκε μείωση το 2023 λόγω ενός λιγότερο ευνοϊκού κλίματος επενδύσεων, που χαρακτηρίζεται από αυξανόμενες τιμές και οικονομική αστάθεια [1].

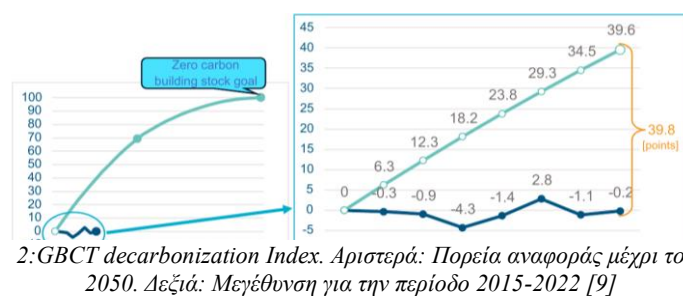
Τα συγκεκριμένα νούμερα φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



1: Επένδυση στην Ενεργειακή Αποδοτικότητα στα κτίρια και τις κατασκευές [6]

Αυτή η μείωση αποτελεί σημαντικό εμπόδιο για την επίτευξη των στόχων καθαρών μηδενικών εκπομπών τόσο για τα νέα όσο και για τα υπάρχοντα κτίρια μέχρι το 2030 και το 2050, αντίστοιχα.

Οι ετήσιοι ρυθμοί ενεργειακής ανακαίνισης εκτιμώνται συχνά ότι κυμαίνονται από 0,9% έως 1% [7]. Για να επιτευχθούν οι στόχοι ενεργειακής αποδοτικότητας και κλίματος της ΕΕ, περίπου 250 εκατομμύρια σπίτια πρέπει να ανακαινιστούν, που μεταφράζεται στο εξαιρετικό υψηλό νούμερο των 26.000 ανακαινίσεων την ημέρα σε όλη την ΕΕ [1] [5]. Το 2022, οι εκπομπές CO_2 από τις λειτουργίες και την κατασκευή κτιρίων έφτασαν σε νέα ύψη, αντιπροσωπεύοντας το 37% των συνολικών παγκόσμιων εκπομπών, σχεδόν 10 $GtCO_2$, με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας να συμβάλλει με 6,8 $GtCO_2$ [5]. $GtCO_2$ σημαίνει 1 δισεκατομμύριο τόνους διοξειδίου του άνθρακα. Η Παγκόσμια Συμμαχία για τα Κτίρια και την Κατασκευή (GlobalABC) έχει δημιουργήσει έναν συνολικό δείκτη παρακολούθησης, γνωστό ως Δείκτης Κλίματος Κτιρίων (Building Climate Tracker) [8], ο οποίος χρησιμοποιεί δεδομένα



από επτά παγκόσμιους δείκτες για να αξιολογήσει την πρόοδο του τομέα προς την επίτευξη μηδενικών εκπομπών άνθρακα έως το 2050. Δυστυχώς, από το 2015 έως το 2022, η πρόοδος του τομέα προς αυτόν τον στόχο έχει αποδειχθεί απογοητευτική. Συγκεκριμένα φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται ακόμα μερικά νούμερα που δείχνουν τη διαφορά ανάμεσα στα επιθυμητά αποτελέσματα και την τωρινή πραγματικότητα:

Indicator	Starting value in 2015	Observed value in 2022	Observed change from 2015 to 2022	Necessary change from 2015 to 2022
EMISSIONS				
Buildings sector energy related emissions	9.3 [GtCO ₂ /year]	9.8 [GtCO ₂ /year]	+5.4 [%]	-24.6 [%]
IMPACT				
Building sector energy intensity	153.1 [kWh/m ²]	145.3 [kWh/m ²]	-5.1 [%]	-17.3 [%]
Renewable share in final energy demand in buildings	5 [%]	5.9 [%]	+0.9 percentage points	+6.1 percentage points
ACTION				
Green building certification (cumulative growth)	1.0 point	9.1 points	+8.1 points	+15.3 points
NDC considering buildings extensively (aggregated)	0.7 [%]	5.7 [%]	+5.7 percentage points	+34.7 percentage points
Building codes ZEB-aligned (aggregated)	0 [%]	3.3 [%]	+3.3 percentage points	+35.0 percentage points

1: GBCT's indicators observations summary, 2015-2022 [5]

Οι δύο τελευταίες σειρές αναφέρονται στα:

- NDC considering buildings extensively: Οι Εθνικά Καθορισμένες Συνεισφορές (NDC) που λαμβάνουν εκτενώς υπόψη τα κτίρια [10]
- Building codes ZEB-aligned: Κώδικες κτιρίων ευθυγραμμισμένοι με το μηδενικό ενεργειακό ισοζύγιο [11]

Από τον παραπάνω πίνακα είναι πασιφανές ότι σε όλους τους τομείς η πρόοδος είναι σημαντικά μικρότερη από την απαιτούμενη. Μάλιστα, οι ρύποι που παράγονται από τον κλάδο των κτιρίων όχι μόνο δεν έχουν μειωθεί όπως θα έπρεπε αλλά έχουν αυξηθεί από το 2015 [5].

Καθώς αντιμετωπίζουμε αυτές τις προκλήσεις, είναι σαφές ότι το παράθυρο ευκαιρίας για να αντιστραφούν αυτές οι τάσεις κλείνει γρήγορα. Οι επιπτώσεις της αδράνειας είναι βαθιές,

καθώς ο τομέας των κτιρίων συνεχίζει να συμβάλλει στην αύξηση των εκπομπών, επιδεινώνοντας την κλιματική αλλαγή και τις σχετικές επιπτώσεις της. Χωρίς άμεσες και συντονισμένες προσπάθειες για την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων, το μέλλον του δομημένου περιβάλλοντος μας—και η υγεία του πλανήτη μας—κινδυνεύει.

1.3 Ο Ρόλος της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Αντιμέτωποι με τις πιεστικές προκλήσεις που περιγράφονται παραπάνω, είναι σαφές ότι καινοτόμα εργαλεία και μεθοδολογίες είναι απαραίτητα για να καθοδηγήσουν τον τομέα των κτιρίων και της κατασκευής προς ένα βιώσιμο μέλλον. Ένα τέτοιο κρίσιμο εργαλείο είναι η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCA), η οποία παρέχει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των κτιρίων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους—από την εξόρυξη υλικών και την κατασκευή μέχρι τη λειτουργία, τη συντήρηση και την τελική κατεδάφιση [12].

Η LCA επιτρέπει στους ενδιαφερόμενους να λαμβάνουν ενημερωμένες αποφάσεις, εντοπίζοντας ευκαιρίες για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε κάθε στάδιο της ζωής ενός κτιρίου [13]. Ενσωματώνοντας την LCA στις διαδικασίες σχεδιασμού και προγραμματισμού, μπορούμε να διασφαλίσουμε ότι η βιωσιμότητα δεν είναι μια σκέψη στο περιθώριο, αλλά μια θεμελιώδης αρχή που καθοδηγεί τις πρακτικές κατασκευής μας. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της χρήσης πόρων και την προώθηση της αποδοτικότητας των υλικών, που είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη των φιλόδοξων περιβαλλοντικών δεικτών απόδοσης που έχουμε θέσει για το 2050 [14].

Επιπλέον, η LCA μπορεί να διευκολύνει την ανάπτυξη συστημάτων πιστοποίησης που αναγνωρίζουν και επιβραβεύουν τις βιώσιμες πρακτικές κατασκευής, ενισχύοντας έτσι τη ζήτηση για χαμηλών εκπομπών άνθρακα κατασκευές. Εκμεταλλευόμενοι την LCA, οι πολιτικοί, οι αρχιτέκτονες και οι κατασκευαστές μπορούν να συνεργαστούν για να δημιουργήσουν ανθεκτικές, ενεργειακά αποδοτικές δομές που ευθυγραμμίζονται με τους κλιματικούς μας στόχους και συμβάλλουν σε έναν πιο υγιή πλανήτη.

Καθώς προχωράμε, η υιοθέτηση της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής ως πρότυπη πρακτική θα είναι καθοριστική για τη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ της τρέχουσας κατάστασης και των επιθυμητών αποτελεσμάτων. Δεν είναι απλώς ένα εργαλείο συμμόρφωσης, αλλά μια οδός προς την καινοτομία και ένας καταλύτης για αλλαγή. Εκμεταλλευόμενοι τη δύναμη της LCA, μπορούμε συλλογικά να εργαστούμε προς ένα μέλλον όπου τα κτίρια δεν είναι μόνο λειτουργικά και αισθητικά ευχάριστα, αλλά και περιβαλλοντικά υπεύθυνα και ευθυγραμμισμένα με την εικόνα ενός βιώσιμου, μηδενικών εκπομπών άνθρακα κόσμου. Ο χρόνος για δράση είναι τώρα, και με την LCA ως καθοδηγητικό πλαίσιο, μπορούμε να μετατρέψουμε τους φιλόδοξους στόχους μας σε πραγματικότητα.

2. Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ISO 14040, ISO 14044)

2.1 Εισαγωγή στην Ανάλυση Κύκλου Ζωής

Στο σημερινό κόσμο, η ανάγκη για προϊόντα και διαδικασίες φιλικά προς το περιβάλλον κρίνεται όλο και πιο απαραίτητη. Για αυτό το λόγο, χρειάστηκε να γίνει εκτίμηση των περιβαλλοντικών οφελών και επιβαρύνσεων καθώς και προσπάθειες για βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων των βιομηχανιών ή ακόμη και μεμονωμένων προϊόντων. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη διαχειριστικών εργαλείων περιβαλλοντικής διαχείρισης προκειμένου να εκτιμηθούν όλα τα παραπάνω και να παρθούν οι κατάλληλες αποφάσεις. Μερικά από αυτά τα εργαλεία είναι η «Ανάλυση Κύκλου Ζωής» (Life Cycle Assessment/Analysis), η «Βιομηχανική Οικολογία» (Industrial Ecology) και η «Παρακολούθηση Προϊόντων» (Product Stewardship). Αυτά τα περιβαλλοντικά διαχειριστικά εργαλεία έχουν αναπτυχθεί μέσα στα χρόνια και χρησιμοποιούνται ενεργά σε μεγάλη κλίμακα για την αξιολόγηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και την ανεύρεση λύσεων βελτιστοποίησης [15].

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία θα χρησιμοποιήσουμε την τεχνική της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (AKZ/LCA), η οποία είναι ένα δομημένο εργαλείο το οποίο χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του περιβαλλοντικού αντικτύπου ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας λαμβάνοντας υπόψη τον κύκλο ζωής τους. Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής ασχολείται με την παραγωγή σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος ή της διαδικασίας που εξετάζεται. Αυτό σημαίνει ότι η διαδικασία μπορεί να χωριστεί σε επιμέρους διαδικασίες προκειμένου να διευκολύνει την κατανόηση επιμέρους οικονομικών και περιβαλλοντικών διαστάσεων. Η μεθοδολογία του συγκεκριμένου εργαλείου στηρίζεται στην ανάλυση «από τον λίκνο στον τάφο» (“from cradle to grave”) ενός προϊόντος, όπως αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία. Η θεμελιώδης έννοια της LCA εμπεριέχει τη λογική ότι η επίδραση στο περιβάλλον συμβαίνει κατά τη διάρκεια όλων των σταδίων της ζωής ενός προϊόντος. Κάθε τροποποίηση στις συνθήκες αυτών των σταδίων μπορεί να επιφέρει θετικές ή αρνητικές επιπτώσεις, επηρεάζοντας τόσο τη ρύπανση του περιβάλλοντος όσο και την κατανάλωση ενέργειας και πρώτων υλών στον εν λόγω τομέα. Αυτή η κεντρική αρχή αποτελεί τον πυρήνα της LCA, επισημαίνοντας την ανάγκη για ολοκληρωμένη αντίληψη και διαχείριση κάθε φάσης ενός προϊόντος προκειμένου να επιτευχθεί βέλτιστη περιβαλλοντική απόδοση [16].

Κάθε μέρος του κύκλου ζωής ενός προϊόντος – η εξαγωγή υλικών από το περιβάλλον, η παραγωγή του προϊόντος, η φάση χρήσης του προϊόντος και η πορεία του προϊόντος αφού παύσει να χρησιμοποιείται – έχει αντίκτυπο στο περιβάλλον με πολλούς τρόπους. Μέσω της ανάλυσης του κύκλου ζωής μπορούν να αξιολογηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του προϊόντος ή της υπηρεσίας σε όλα τα στάδια. Σημειώνεται πως κρίνεται αναγκαία η σαφής καταγραφή και ο διεξοδικός έλεγχος όλων των σταδίων ζωής προκειμένου το αποτέλεσμα που λαμβάνεται από την ανάλυση να είναι έγκυρο και ολοκληρωμένο [17].

2.2 Ανάλυση Κύκλου Ζωής – Πρότυπα ISO 14040, ISO 14044

Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (International Organization for Standardization, ISO) ορίζει την Ανάλυση του Κύκλου Ζωής ως εξής:

Η Ανάλυση του Κύκλου Ζωής είναι μια τεχνική που αξιολογεί τις περιβαλλοντικές πτυχές και τις πιθανές επιπτώσεις μέσω (ISO 14040):

- Σύνταξη καταλόγου εισροών και εκροών του συστήματος ενός προϊόντος
- Αξιολόγηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με αυτές τις εισροές και εκροές
- Ερμηνεία των αποτελεσμάτων των σταδίων ανάλυσης, απογραφής και εκτίμησης επιπτώσεων σε σχέση με τους στόχους της μελέτης [18]

Η τεχνική εξετάζει όλο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, από την απόκτηση πρώτων υλών έως την παραγωγή, χρήση, επεξεργασία στο τέλος του κύκλου ζωής επαναχρησιμοποίηση/ανακύκλωση και τελική διάθεση.

Για κάθε ένα από αυτά τα στάδια πραγματοποιείται υπολογισμός των εισροών (πρώτες ύλες, ενέργεια) και των εκροών (εκπομπή ρύπων στον αέρα, στο νερό κτλ και παραγωγή στερεών αποβλήτων). Οι εισροές και οι εκροές αυτές στη συνέχεια μετατρέπονται σε περιβαλλοντικές επιπτώσεις, το άθροισμα των οποίων αντιπροσωπεύει τη συνολική επίδραση που επιφέρει στο περιβάλλον ο κύκλος ζωής του προϊόντος ή της υπηρεσίας.

Το 1994 ο Διεθνής Οργανισμός Προτύπων άρχισε να αναπτύσσει πρότυπα για την Ανάλυση του Κύκλου Ζωής ως μέρος του προτύπου ISO 14000 για την περιβαλλοντική διαχείριση. Τα πρότυπα που αναπτύχθηκαν αφορούν τόσο τις τεχνικές λεπτομέρειες όσο και την εννοιολογική οργάνωση της Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής. Οι οδηγίες που προτάθηκαν από την ISO είναι οι ακόλουθες [18]:

- ISO 14040 – LCA - Principles and Framework (2006)
- ISO 14041 – Goal and Scope Definition and Inventory Analysis (1998)
- ISO 14042 – Life Cycle Impact Assessment (2000)
- ISO 14043 – Life Cycle Interpretation (2000)
- ISO 14044 – LCA Requirements and Guidelines (2006)

Σύμφωνα με τα πρότυπα ISO 14040, ISO 14044 η μεθοδολογία που ακολουθείται για την Ανάλυση του Κύκλου Ζωής αποτελείται από τα ακόλουθα τέσσερα στάδια [18]:

1. Καθορισμός σκοπού και αντικειμένου της μελέτης (Goal and scope definition - ISO 14040)
2. Απογραφή δεδομένων (LCI, Life Cycle Inventory – ISO 14041)
3. Εκτίμηση των επιπτώσεων (LCIA, Life Cycle Impact Assessment – ISO 14042)
4. Ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Interpretation – ISO 14042)

2.2.1 Ορισμός του σκοπού και καθορισμός του αντικειμένου (Goal & Scope definition)

Στο πρώτο στάδιο της μελέτης LCA, στοιχεία όπως ο σκοπός, ο στόχος, η λειτουργική μονάδα και τα όρια του συστήματος ορίζονται για να ξεκινήσει η μελέτη. Ο σκοπός και τα όρια καθορίζουν την έκταση του κύκλου ζωής που λαμβάνεται υπόψη, ενώ η λειτουργική μονάδα θέτει τα πλαίσια της αξιολόγησης [18]. Παρακάτω θα αναλύσουμε ξεχωριστά τα μέρη αυτά.

Σκοπός: Κατά τον ορισμό του σκοπού καθορίζονται οι μέθοδοι εκτίμησης που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν αλλά και τα στοιχεία που θα συμπεριληφθούν στην ανάλυση του κύκλου ζωής.

Στόχος: Σε αυτό το στάδιο δηλώνεται ο λόγος για τη διεξαγωγή της μελέτης, το πώς θα χρησιμοποιηθεί αλλά και το κοινό στο οποίο θα παρουσιαστεί. Επιπλέον, πρέπει να παρουσιαστούν οι βλέψεις αυτής της ανάλυσης για το μέλλον και οι κλάδοι που μπορούν να επωφεληθούν από αυτή.

Λειτουργική μονάδα: Στη συνέχεια γίνεται καθορισμός της μονάδας αναφοράς η οποία χρησιμοποιείται για την κανονικοποίηση όλων των δεδομένων που εισάγονται και εξάγονται στο σύστημα. Η μονάδα αυτή αποτελεί αναφορά συσχέτισης των εισροών και εκροών και είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της συγκρισιμότητας των αποτελεσμάτων [19]. Μέσω αυτής ορίζεται η κλίμακα για οποιαδήποτε σύγκριση ανάμεσα σε προϊόντα γίνει κατά τη διάρκεια της μελέτης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση της απόδοσης του συστήματος που μελετάται. Είναι από τα πιο σημαντικά βήματα καθώς εφόσον οριστεί σωστά, έχουμε το εργαλείο για τη διασφάλιση, τη σύγκριση και τον έλεγχο των αποτελεσμάτων μας.

Όρια συστήματος: Τα όρια του συστήματος καθορίζουν επακριβώς τις συγκεκριμένες διεργασίες/λειτουργίες που θα ληφθούν υπόψη κατά την ανάλυση. Συμπεριλαμβάνονται από την κατασκευή του προϊόντος, τη μεταφορά του, μέχρι και τη διαχείριση των παραγόμενων αποβλήτων. Επιπλέον, καθορίζονται οι εισροές και εκροές του κύκλου ζωής του προϊόντος/διεργασίας που μελετάται [15]. Τα όρια του συστήματος μπορεί να είναι όρια τεχνόσφαιρας, δηλαδή διεργασίες, υλικά και άλλα είδη που προκύπτουν από την ανθρώπινη δραστηριότητα, όρια οικόσφαιρας, που σημαίνει διεργασίες, υλικά και άλλα είδη που δεν προκύπτουν από ανθρώπινη δραστηριότητα, χρονικά και γεωγραφικά όρια [16].

Σε μία διαδικασία LCA συνήθως γίνονται συγκρίσεις ανάμεσα σε δύο προϊόντα, δύο διαδικασίες κτλ. Μία μέθοδος που χρησιμοποιείται συχνά είναι να γίνει μία LCA για ένα συγκεκριμένο προϊόν το οποίο στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί ως τη βάση για επόμενες αναλύσεις. Επίσης, μέσω αυτών βρίσκουμε τα «προϊόντα μηδέν» [20]. Αυτά χρησιμοποιούνται για να συγκριθούν με τα νέα προϊόντα που εξετάζονται προκειμένου να βρεθούν σημεία βελτίωσης, οι συνέπειες ενός προϊόντος ή μιας διαδικασίας σε μία ήδη υπάρχουσα διαδικασία ή και να απαγορευτεί η χρήση κάποιου υπάρχοντος προϊόντος, αν δεν εξασφαλισθεί ότι υπάρχει υποκατάστατο. Αυτό λοιπόν που γίνεται εμφανές είναι ότι η LCA είναι εν γένει μία συγκριτική διαδικασία [21]. Αυτό σημαίνει ότι ο ορισμός των ορίων του συστήματος είναι πρωτίστης σημασίας και μάλιστα ο επαναπροσδιορισμός τους ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε μελέτης.

Ορίζεται επίσης το απόλυτο όριο του συστήματος και είναι το όριο μεταξύ του τεχνολογικού συστήματος και του περιβάλλοντος. Είναι επιθυμητό, όλες οι εισροές και οι εκροές που είναι απαραίτητες για τη λειτουργία ενός προϊόντος να παρουσιάζονται «ανάντη και κατάντη» ως προς τις ροές ενέργειας ή ύλης με δύο τρόπους:

- Από τη φύση στο τεχνολογικό σύστημα ή

- Από το τεχνολογικό σύστημα στη φύση

Οι ροές αυτές ονομάζονται στοιχειώδεις ροές και προέρχονται από τους Heintz και Baisnée [18].

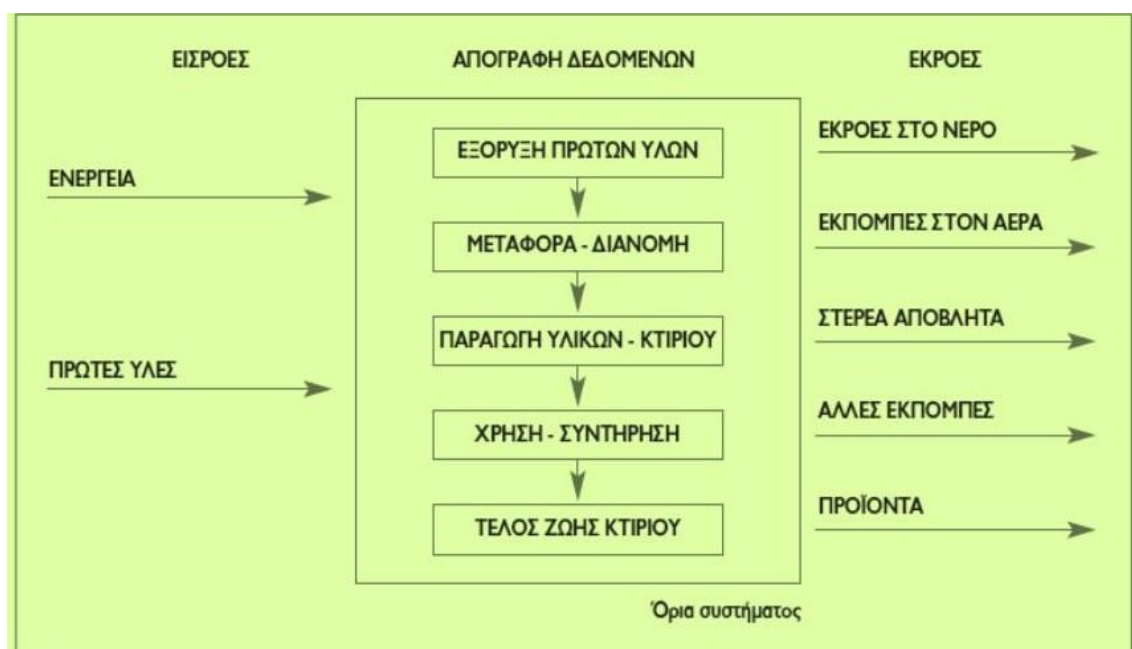
Κατά την περιγραφή και την αξιολόγηση ενός πολύπλοκου συστήματος, μία γνωστή διαδικασία που ακολουθείται είναι να οριοθετηθεί το σύστημα έτσι ώστε το σύνολο των ροών να απλοποιηθεί σε στοιχειώδεις ροές. Αρχικά, παρατηρώντας την επίδραση διαφόρων δραστηριοτήτων που εκτελούνται στο σύστημα, παραλείπονται αυτές που έχουν αμελητέες επιπτώσεις στα αποτελέσματα. Το ίδιο συμβαίνει και με τις δραστηριότητες που είναι πανομοιότυπες με συγκριτικές εναλλακτικές που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της ανάλυσης.

2.2.2 Απογραφή δεδομένων (Life Cycle Inventory)

Το δεύτερο στάδιο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής αποτελεί η απογραφή δεδομένων. Σε αυτό το στάδιο, κάθε υποπροϊόν περιγράφεται ως ένα σύστημα, το οποίο περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες που σχετίζονται με τη ροή μάζας ή ενέργειας. Η φύση αυτών των διαδικασιών δεν είναι αντικείμενο μελέτης σε αυτό το στάδιο, και έτσι το σύστημα θεωρείται σαν ένα "μαύρο κουτί" ("black box") που εστιάζει κυρίως στην είσοδο και έξοδο, χωρίς να εξετάζει λεπτομέρειες εσωτερικής λειτουργίας [22]. Στη συνέχεια αναλύονται οι διαδικασίες που ακολουθούνται σε αυτό το στάδιο [24].

Συλλογή των δεδομένων: Για να θεωρηθούν τα αποτελέσματα της έρευνας αξιόπιστα, χρειάζεται σωστή συλλογή δεδομένων από το χρήστη. Είναι μία χρονοβόρα και πολυδιάστατη διαδικασία που συνήθως απαιτεί τη χρήση ηλεκτρονικής βάσης δεδομένων. Αρχικά, ορίζονται τα στάδια του κύκλου ζωής τα οποία διακρίνονται στα εξής: απόκτηση πρώτων υλών, βιομηχανική επεξεργασία, μεταφορά και διανομή, χρήση, ανακύκλωση, απόθεση. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η συλλογή και η επεξεργασία των δεδομένων που απαιτούνται για την ποσοτικοποίηση των εισροών και των εκροών του συστήματος. Οι εισροές συνήθως περιλαμβάνουν στοιχεία όπως η καταναλισκόμενη ενέργεια και οι εισαγόμενες πρώτες ύλες ενώ οι εκροές τα προϊόντα, στερεά απόβλητα, αέριοι ρύποι, απόβλητη ενέργεια. Στην περίπτωση που η μελέτη πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε συγκριτικούς ισχυρισμούς που θα δημοσιοποιηθούν, σύμφωνα με την ISO 14044, πρέπει να εξεταστούν οι ακόλουθοι τομείς ποιότητας δεδομένων: Χρονική κάλυψη, γεωγραφική κάλυψη, τεχνολογική κάλυψη, ακρίβεια, πληρότητα, αντιπροσωπευτικότητα, συνέπεια, αναπαραγωγιμότητα, πηγές δεδομένων, αβεβαιότητα των πληροφοριών (Data uncertainty).

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται αναλυτικά η διαδικασία που περιεγράφηκε παραπάνω.



3: Ανάλυση Κύκλου Ζωής [25]

Επανακαθορισμός των ορίων του συστήματος: Αυτό το στάδιο είναι προαιρετικό και σημαίνει ότι πολλές φορές μετά τη συλλογή των εισροών, των εκροών και των δεδομένων του προβλήματος μπορεί να αποφασιστεί ότι χρειάζεται εκ νέου θεώρηση των ορίων του συστήματος.

Αναφορά δεδομένων: Τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί κατά την ανάλυση απογραφής παρουσιάζονται στο αρμόδιο κοινό, δηλαδή σε εξωτερικούς συνεργάτες ή εργαζόμενους του χώρου που μπορούν να επισημάνουν αν κάτι από αυτά χρειάζεται βελτίωση ή αναθεώρηση.

Συσχέτιση δεδομένων: Το επόμενο βήμα είναι αυτά τα δεδομένα να αναχθούν στη λειτουργική μονάδα που επιλέχθηκε στο προηγούμενο στάδιο προκειμένου να είναι συσχετισμένα και συγκρίσιμα μεταξύ τους.

Κατανομή επιπτώσεων και ανακύκλωση: Το τελευταίο βήμα αναφέρεται στα πιο πολύπλοκα συστήματα όπου η διαχείριση των δεδομένων είναι δύσκολη ή και αδύνατη. Σε αυτά τα συστήματα γίνεται επιλογή των σημαντικότερων αλληλεπιδράσεων και διαδικασιών προκειμένου να γίνει η ανάλυση ενώ τα υπόλοιπα δεδομένα μπορεί να ληφθούν υπόψη σε μεταγενέστερο βήμα.

2.2.3 Εκτίμηση των επιπτώσεων

Το τρίτο στάδιο της μελέτης του κύκλου ζωής είναι η εκτίμηση των επιπτώσεων. Σε αυτό το στάδιο γίνεται η αξιολόγηση όλων των επιπτώσεων που προκαλούνται στο περιβάλλον (θετικές ή αρνητικές) από το εξεταζόμενο σύστημα κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Η διαδικασία αυτή ξεκινάει από τις πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί κατά το στάδιο της απογραφής των δεδομένων. Εδώ γίνεται αντιληπτό το γιατί αναφέραμε ότι η ποιότητα των

δεδομένων αυτών είναι σημαντική καθώς εννοείται ότι αν δεν έχει γίνει σωστά αυτό, η εκτίμηση που θα γίνει τώρα θα είναι χαμηλότερη. Στο συγκεκριμένο στάδιο, οι συνέπειες των εισροών και των εκροών που ορίστηκαν κατά την ανάλυση απογραφής παρουσιάζονται ως περιβαλλοντικές επιπτώσεις [18]. Τα επιμέρους στάδια που ακολουθούνται στην εκτίμηση των επιπτώσεων είναι τα ακόλουθα [16]:

- Επιλογή της μεθόδου και των κατηγοριών επιπτώσεων που θα εξεταστούν
- Κατηγοριοποίηση
- Χαρακτηρισμός
- Κανονικοποίηση

Στη συνέχεια θα γίνει αναλυτικός σχολιασμός των σταδίων αυτών.

Επιλογή της μεθόδου και των κατηγοριών επιπτώσεων: Αρχικά γίνεται η επιλογή της μεθόδου και ορίζονται οι κατηγορίες που θα εξεταστούν ανάμεσα στις πολλές επιπτώσεις που παρουσιάζονται. Η εκτίμηση του περιβαλλοντικού αντικτύπου μπορεί να γίνει με τον προσδιορισμό κατηγοριών σε ενδιάμεσα (midpoint) ή/και τελικά (endpoint) σημεία. Οι κατηγορίες ενδιάμεσου σημείου αναφέρονται σε επιπτώσεις που ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες. Στις κατηγορίες τελικού σημείου, οι επιπτώσεις από τον κύκλο ζωής του συστήματος κατατάσσονται σε τρία επίπεδα αντικτύπων: εξάντληση φυσικών πόρων (μη ανανεώσιμοι, ανανεώσιμοι, βιοτικοί), επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (άμεσες, έμμεσες), και επιπτώσεις στο οικοσύστημα (δομή και λειτουργίες).

Αυτή τη στιγμή, έχει προταθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση για τον χαρακτηρισμό του Περιβαλλοντικού Αποτυπώματος ενός Προϊόντος η μέθοδος ILCD 2011 Midpoint+ [26].

Κατηγοριοποίηση (Classification): Σε αυτό το στάδιο γίνεται κατηγοριοποίηση των δεδομένων εισροής και εκροής του συστήματος στις επιλεγμένες κατηγορίες επιπτώσεων. Κάθε επίπτωση που οφείλεται στα δεδομένα εισροής και εκροής ταξινομείται στις αντίστοιχες κατηγορίες μέσω μιας επιστημονικής ανάλυσης των σχετικών περιβαλλοντικών διαδικασιών [15].

Χαρακτηρισμός (Characterisation): Στο στάδιο του χαρακτηρισμού, πραγματοποιείται στάθμιση των διαφορετικών παραγόντων ανάλογα με το περιβαλλοντικό αντίκτυπο που προκαλούν. Για κάθε κατηγορία επίπτωσης, υπολογίζεται ένα τελικό αποτέλεσμα σε μια συγκεκριμένη μονάδα μέτρησης της κατηγορίας. Μέσω της ταξινόμησης των περιβαλλοντικών φορτίων, προκύπτουν κατηγορίες επιπτώσεων που διαμορφώνονται με τη χρήση κατάλληλων δεικτών (συντελεστές χαρακτηρισμού) με αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας συγκεντρωτικής βάσης δεδομένων για το σύνολο των εισροών και εκροών του συστήματος. Στόχος είναι η καλύτερη κατανόηση της συνολικής θετικής ή αρνητικής συνεισφοράς των διαδικασιών στον εξεταζόμενο κύκλο ζωής, χρησιμοποιώντας τους δείκτες για κάθε κατηγορία [15].

Κανονικοποίηση (Normalisation): Το επόμενο στάδιο, παρά το ότι είναι προαιρετικό σύμφωνα με το πρότυπο ISO, αποδεικνύεται πολύ χρήσιμο για την καλύτερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Κατά την κανονικοποίηση των υπολογιζόμενων αντικτύπων σε κάθε κατηγορία, χρησιμοποιούνται τιμές αναφοράς που παρέχονται από βάσεις δεδομένων. Αυτό

επιτρέπει τη σύγκριση των αποτελεσμάτων διαφορετικών κατηγοριών με βάση μια προτεινόμενη τιμή. Κάθε κατηγορία επιπτώσεων διαιρείται με μια τιμή αναφοράς, συνήθως σχετιζόμενη με τις ετήσιες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις μιας περιοχής ή ηπείρου, διαιρεμένες με τον συνολικό πληθυσμό. Με αυτό τον τρόπο, όλες οι κατηγορίες επιπτώσεων έχουν κοινή μονάδα, δημιουργώντας έτσι μια συγκρίσιμη βάση για την αξιολόγηση και τη σύγκριση των υπολογισμών [16]. Αυτό το βήμα βοηθά στην ορθή και συνολική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων [15].

2.2.4 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της LCA αναφέρεται σε μια συστηματική τεχνική, κατά την οποία αναγνωρίζονται, ποσοτικοποιούνται, ελέγχονται και αξιολογούνται οι πληροφορίες που προκύπτουν από τους υπολογισμούς στο στάδιο της εκτίμησης των επιπτώσεων. Στο στάδιο αυτό, συνοψίζονται τα αποτελέσματα της απογραφής δεδομένων και των εκτιμώμενων περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Τα αποτελέσματα της ερμηνείας περιλαμβάνουν συμπεράσματα και προτεινόμενες λύσεις για το εξεταζόμενο σύστημα. Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14040:2006, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια [27]:

Ταυτοποίηση: Στο στάδιο της ταυτοποίησης, πραγματοποιείται κατάλληλη κατηγοριοποίηση των αποτελεσμάτων από τα στάδια απογραφής δεδομένων και εκτίμησης επιπτώσεων. Σκοπός αυτού του σταδίου είναι η διευκόλυνση του προσδιορισμού των σημαντικότερων παραγόντων με βάση τον ορισμό του στόχου και του αντικειμένου εφαρμογής. Κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου, εντοπίζονται οι διεργασίες που συντελούν σημαντικά στην αύξηση των περιβαλλοντικών φορτίων, γνωστές και ως "hot spots" (σημεία εντονότερης επίδρασης).

Μέσω της κατηγοριοποίησης αυτής, οι ερευνητές και οι εμπλεκόμενοι είναι σε θέση να επικεντρωθούν στους παράγοντες που έχουν σημαντικότερη επίδραση στα περιβαλλοντικά φορτία, καθιστώντας δυνατή την εξειδικευμένη διαχείριση και τη λήψη μέτρων βελτίωσης σε αυτές τις περιοχές.

Αξιολόγηση: Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη τον στόχο και το εύρος του αντικειμένου εφαρμογής, όπως ορίστηκαν στο αρχικό στάδιο της Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής. Κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου, πραγματοποιείται αξιολόγηση και ανάλυση ευαισθησίας σχετικά με τους σημαντικούς παράγοντες, όπως οι εισροές, οι εκροές, και η χρήση. Αυτό γίνεται μέσω μεθοδολογιών που επικεντρώνονται στην κατανόηση της αβεβαιότητας των αποτελεσμάτων.

Αρχικά ελέγχεται η ακρίβεια των υπολογισμών και η συμβατότητά τους με τον στόχο της μελέτης. Αυτό πετυχαίνεται με τον προσδιορισμό των κύριων παραγόντων που συνεισφέρουν σε κάθε κατηγορία επίπτωσης. Στη συνέχεια, πραγματοποιούνται έλεγχος συνέπειας και πληρότητας, ανάλυση συμβολής, ανάλυση διαταραχής, ανάλυση ευαισθησίας και αβεβαιότητας. Τα αποτελέσματα αυτής της αξιολόγησης πρέπει να παρουσιάζονται αναλυτικά, παρέχοντας σαφή εικόνα των αποτελεσμάτων της Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής.

Συμπεράσματα και προτάσεις: Στο τελευταίο μέρος παρουσιάζονται τα συνολικά συμπεράσματα που βγαίνουν από τα αποτελέσματα και την αξιολόγησή τους. Στη συνέχεια προτείνονται λύσεις σε τυχόν προβλήματα και προτάσεις για βελτίωση του περιβαλλοντικού αντικτύπου.

2.3 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Τα πλεονεκτήματα των μελετών ανάλυσης κύκλου ζωής χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία στοχεύει στην προώθηση αλλαγών με σκοπό τη βελτίωση της περιβαλλοντικής επίδοσης. Με τη συλλογή δεδομένων που δεν έχουν σημαντικά περιβαλλοντικά φορτία, παρέχεται η δυνατότητα για συστηματική αξιολόγηση των περιβαλλοντικών αντικτύπων. Επιπλέον, αναγνωρίζονται δυνατότητες βελτίωσης των εξεταζόμενων προϊόντων ή συστημάτων, ενώ πραγματοποιούνται συγκριτικές μελέτες διαδικασιών, προϊόντων και τεχνολογιών.

Η δεύτερη κατηγορία πλεονεκτημάτων στοχεύει στη βελτίωση της επικοινωνίας μεταξύ των ομάδων ενδιαφερομένων. Με τη χρήση αναλύσεων κύκλων ζωής, παρέχεται ποσοτική πληροφόρηση και αναπτύσσονται σχέσεις εμπιστοσύνης, προωθώντας έτσι μια αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ των διάφορων εμπλεκόμενων ομάδων [15].

Υπάρχουν και περιορισμοί που πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη σε μια LCA. Η έλλειψη διαθεσιμότητας και η αμφισβητήσιμη ποιότητα των χρησιμοποιούμενων δεδομένων επηρεάζουν σημαντικά την ακρίβεια των υπολογισμών. Επιπλέον, σε μια ανάλυση κύκλου ζωής, υπάρχει η αδυναμία αναγνώρισης τοπικών και χρονικών επιδράσεων, τον συνυπολογισμό μηχανισμών αγοράς και των δευτερογενών αποτελεσμάτων της τεχνολογικής ανάπτυξης. Τέλος, υπάρχουν θεωρήσεις και υποκειμενικές επιλογές που λαμβάνονται και έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι ότι κάποιες διαδικασίες που αφορούν τον οικονομικό και τον περιβαλλοντικό τομέα θεωρούνται ως γραμμικές, ενώ δεν είναι απαραίτητο ότι ισχύει κάτι τέτοιο [28].

3. Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (ISO 15686)

3.1 Εισαγωγή στην Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής

Η Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (Life-Cycle Cost Analysis – LCCA/AKKZ) αναφέρεται στο συνολικό κόστος που σχετίζεται με ένα προϊόν ή μία διαδικασία κατά τη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής του. Αυτό περιλαμβάνει από το κόστος αγοράς, μέχρι και τα έξοδα αντικατάστασης ή απόσυρσης κατά τη διάρκεια ζωής του. Είναι ένα σημαντικό εργαλείο για συγκριτικές αξιολογήσεις κόστους, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις οικονομικές παραμέτρους, από την αρχική επένδυση έως τα μελλοντικά κόστη λειτουργίας [31].

Αναλυτικά τα κόστη που λαμβάνονται υπόψη στην ανάλυση κόστους κύκλου ζωής είναι:

- Τιμή αγοράς ενός προϊόντος ή υπηρεσίας
- Αποστολή, εγκατάσταση, ασφάλεια κτλ
- Λειτουργικά κόστη όπως το κόστος της χρησιμοποιούμενης ενέργειας, των υλικών, καυσίμων, κατανάλωσης νερού αλλά και της απαραίτητης συντήρησης
- Κόστη παροχής υπηρεσιών
- Κόστος τέλους ζωής όπως κόστος απεγκατάστασης, απόσυρσης ή κόστος υπολειμματικής αξίας
- Κόστη που σχετίζονται με εκπομπές προς το περιβάλλον
- Φόροι και κόμιστρα όπως φόροι διάθεσης απορριμμάτων στους χώρους υγειονομικής ταφής

Το Κόστος Κύκλου Ζωής (LCC) συνδέεται στενά με τη βιωσιμότητα, αφού η οικονομία αποτελεί μία από τις τρεις βασικές διαστάσεις της, σε συνδυασμό με το περιβάλλον και την κοινωνική διάσταση. Το περιβαλλοντικό LCC συνεργάζεται αρμονικά με την LCA, επιτρέποντας την αξιολόγηση του κόστους συστημάτων προϊόντων από διάφορες οπτικές γωνίες [32]. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει στον χρήστη να επιλέξει το κατάλληλο προϊόν με βάση συγκριτικές αξιολογήσεις, προσαρμόζοντας το στις προσωπικές ανάγκες του.

Ένας λόγος που συχνά δε λαμβάνεται υπόψη η συγκεκριμένη ανάλυση είναι ότι τα περιβαλλοντικά φιλικά προϊόντα, όπως αναγνωρίζονται και ποσοτικοποιούνται από την LCA, συνήθως έχουν υψηλότερα κόστη αγοράς. Ωστόσο, αυτό δεν πρέπει να αποθαρρύνει τη χρήση τους καθώς αυτά τα προϊόντα συνήθως αποδεικνύονται φθηνότερα όταν λαμβάνονται υπόψη το στάδιο χρήσης και/ή το τέλος της ζωής τους. Έτσι, το περιβαλλοντικό LCC μπορεί να είναι χρήσιμο για τους καταναλωτές που θέλουν να κάνουν υπεύθυνες αγορές και για τους παραγωγούς και εμπόρους που επιδιώκουν να επισημάνουν το οικονομικό πλεονέκτημα της πώλησης περιβαλλοντικά προτιμητέων προϊόντων [32].

Οι βασικότερες μέθοδοι για εκτίμηση του κόστους κύκλου ζωής είναι οι αναλογικές, οι παραμετρικές και οι λεγόμενες μέθοδοι «από κάτω προς τα πάνω». Αυτά θα αναλυθούν σύντομα παρακάτω.

Αναλογικές μέθοδοι: Οι αναλογικές μέθοδοι αποτελούν απλές προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση στοιχείων σε παρόμοιες περιπτώσεις, βασιζόμενες σε υπάρχουσα δεδομένα που προσαρμόζονται σε κάθε συγκεκριμένη κατάσταση. Η αξιολόγηση του κόστους πραγματοποιείται με τη δημιουργία κανόνων αναλογίας και δεικτών ομοιότητας, όπου ομαδοποιούνται εμπειρικές πληροφορίες για να εντοπιστεί η αντιστοιχία με προηγούμενες περιπτώσεις. Ωστόσο, ένα μειονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι η υποκειμενικότητα που προκύπτει από τη χρήση υπάρχουσων γνώσεων και εμπειριών, λόγω των παραδοχών που απαιτούνται για την εφαρμογή τους σε κάθε περίπτωση.

Παραμετρικές μέθοδοι: Οι παραμετρικές μέθοδοι κοστολόγησης βασίζονται στον καθορισμό των παραμέτρων κόστους και στη συνέχεια τη δημιουργία συναρτήσεων εκτίμησης κόστους με βάση αυτές. Αυτές οι εξισώσεις αναπτύσσονται μετά από στατιστική ανάλυση εμπειρικών, πειραματικών και προσομοίωσης δεδομένων της διαδικασίας. Επιπλέον, χρησιμοποιείται μία καμπύλη εκμάθησης, που συσχετίζει τον αριθμό παραγόμενων στοιχείων με το κόστος παραγωγής. Από την καμπύλη αυτή συμπεραίνουμε ότι, όσο αυξάνεται ο αριθμός των παραγόμενων στοιχείων, τόσο μειώνεται το συνολικό κόστος. Αυτό επηρεάζει την ανάλυση μας, επιτρέποντας την ενσωμάτωση συντελεστών μείωσης του κόστους στις τελικές εξισώσεις. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η καμπύλη δεν ισχύει για νέα κατασκευαστικά στοιχεία ή νέες διαδικασίες παραγωγής. Μία από τις πιο γνωστές παραμετρικές μεθόδους είναι η μέθοδος εκτίμησης κόστους με βάση τη δραστηριότητα “Activity Based Costing, ABC” [33].

Μέθοδοι «από κάτω προς τα πάνω»: Οι παραμετρικές μέθοδοι κοστολόγησης ξεκινούν με τον καθορισμό του τελικού σχήματος του παραγόμενου κομματιού και του επιθυμητού αριθμού παραγόμενων κομματιών. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται εκτίμηση του συνολικού κόστους και στο επόμενο στάδιο, υπολογίζεται το κόστος κάθε κομματιού μέσω της κατανομής του συνολικού κόστους σε όλα τα παραγόμενα κομμάτια. Συνεπώς, μετά την εκτίμηση του κόστους του προϊόντος, προχωρούμε στην εκτίμηση του κόστους κάθε σταδίου παραγωγής, καταλήγοντας τελικά στον καθορισμό συγκεκριμένων παραμέτρων της διεργασίας που έχουν προηγουμένως εκτιμηθεί [34].

3.2 Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής – Πρότυπο ISO 15686

Το ISO 15686 είναι ένα πρότυπο που αφορά τον προγραμματισμό του κύκλου ζωής εστιάζοντας στις αποφάσεις που σχετίζονται με αυτό σε ένα κτίριο. Μπορεί να αναφέρεται σε ένα επιμέρους εξάρτημα, ολόκληρο κτίριο ή κάποιο κατασκευαστικό έργο όπως γέφυρα ή τούνελ. Πρόκειται για μια διαδικασία λήψης αποφάσεων που εστιάζει στην ανάπτυξη του χρόνου ζωής των δομικών στοιχείων, με στόχο τη διασφάλιση ότι ο εκτιμώμενος χρόνος ζωής θα αντιστοιχεί σε μια δομημένη απόκριση. Αυτό επιτρέπει ενημερωμένες αποφάσεις σχετικά με την αξία, το κόστος και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, προωθώντας παράλληλα τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Πλέον χρησιμοποιείται το νέο Βρετανικό Πρότυπο BS ISO 15686-5:2008 Buildings and constructed assets – Service life planning [35]. Το πρότυπο για τον κύκλο ζωής κόστους σε συνδυασμό με τη “Standardized method of life cycle costing for construction – SMLCC” παρέχουν ένα ενδεδειγμένο οδηγό για τον κύκλο ζωής κόστους, μια περιοχή που αποκτάει όλο και

μεγαλύτερη σημασία [36]. Το BSI αναφέρει ότι "η βρετανική βιομηχανία κατασκευής αναγνωρίζει ότι ο κύκλος ζωής κόστους (LCC) είναι αναγκαίος και σημαντικός, αλλά υπάρχει σύγχυση σχετικά με τον καλύτερο τρόπο για την επίτευξη των οικονομικών και περιβαλλοντικών οφελών από αυτό το κόστος".

Η λίστα με τα υποπρότυπα παρουσιάζεται παρακάτω [37]:

- ISO 15686-1 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 1, General principles and framework
- ISO 15686-2 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 2, Service life prediction procedures
- ISO 15686-3 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 3, Performance audits and reviews
- ISO 15686-4 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 4, Service Life Planning using IFC based Building Information Modelling
- ISO 15686-5 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 5, Life-cycle costing
- ISO 15686-6 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 6, Procedures for considering environmental impacts
- ISO 15686-7 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 7, Performance evaluation for feedback of service life data from practice
- ISO 15686-8 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 8, Reference service life and service-life estimation
- ISO 15686-9 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 9, Guidance on assessment of service-life data
- ISO 15686-10 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 10, When to assess functional performance
- ISO 15686-11 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 11, Terminology

3.3 Κατηγορίες Ανάλυσης Κόστους Κύκλου Ζωής

Η διάκριση της τεχνικής ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής στην παγκόσμια πρακτική γίνεται σε τρεις βασικές κατηγορίες: το συμβατικό LCC (Conventional LCC), το περιβαλλοντικό LCC (Environmental LCC) και το κοινωνικό LCC (Social LCC) [32] [38].

Συμβατική ανάλυση: Η συμβατική ανάλυση κόστους κύκλου ζωής αποτελεί την πιο κοινή προσέγγιση και βασίζεται σε μια καθαρά οικονομική εκτίμηση που λαμβάνει υπόψη τη συνολική διάρκεια ζωής ενός προϊόντος ή μιας διαδικασίας. Αυτή η μέθοδος εστιάζει στα

οικονομικά κόστη που σχετίζονται με το προϊόν ή την υπηρεσία και συνήθως λαμβάνει υπόψη μόνο την οπτική του παραγωγού ή του καταναλωτή. Είναι συνήθης στις ιδιωτικές επιχειρήσεις, που επικεντρώνονται στα δικά τους οικονομικά, αγνοώντας ενδεχόμενα μελλοντικά κόστη ή επιπτώσεις που δεν είναι άμεσα αντιληπτά. Επίσης, συχνά παραλείπονται ορισμένα στάδια του κύκλου ζωής, εφόσον καθορίζονται σαφώς τα όρια του αντικειμένου μελέτης.

Περιβαλλοντική ανάλυση: Η περιβαλλοντική ανάλυση κύκλου ζωής αντιπροσωπεύει μια προηγμένη προσέγγιση για την αξιολόγηση ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας, υποστηρίζοντας την προστασία του περιβάλλοντος. Χρησιμοποιεί τα όρια συστήματος και τη λειτουργική μονάδα που έχουν βρεθεί στο LCA. Για αυτό το λόγο είναι σύνηθες αυτές οι δύο μέθοδοι να χρησιμοποιούνται παράλληλα και συμπληρωματικά. Κατά τη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής, αξιολογείται όχι μόνο το οικονομικό κόστος, αλλά και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η κατανάλωση πόρων, η εκπομπή ρύπων και η διαχείριση αποβλήτων. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει στους φορείς λήψης αποφάσεων να διαμορφώνουν βιώσιμες επιλογές, προσαρμοσμένες στις συνθήκες του περιβάλλοντος, προωθώντας ολιστικές λύσεις που ισορροπούν τις οικονομικές και περιβαλλοντικές πτυχές [32].

Κοινωνική ανάλυση: Η κοινωνική ανάλυση κόστους ζωής αποτελεί ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο αξιολόγησης που συνδυάζει τις οικονομικές, περιβαλλοντικές, και κοινωνικές πτυχές του κύκλου ζωής ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας. Ενώ η συμβατική ανάλυση επικεντρώνεται κυρίως στην οικονομική διάσταση, η κοινωνική ανάλυση κόστους ζωής εμπλουτίζει το πεδίο με την προσθήκη των κοινωνικών παραμέτρων. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, σε αντίθεση με άλλες μεθόδους, η κοινωνική ανάλυση κόστους ζωής συμπεριλαμβάνει όχι μόνο τα άμεσα αλλά και τα έμμεσα κοινωνικά και περιβαλλοντικά κόστη. Η μεθοδολογία αυτή προσφέρει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για τη λήψη αποφάσεων, ενισχύοντας τη βιώσιμη ανάπτυξη και την κοινωνική ευημερία [38].

3.4 Συνολικό Κόστος Ζωής

Εκτός από το LCC είναι σημαντικό να αναλυθεί και το Συνολικό Κόστος Ζωής (Whole-Life Cost – WLC) [39]. Κατά την αξιολόγηση των επιλογών επενδύσεων, πολλές μεταβλητές εκτός από τις μεταβλητές του LCC μπορούν να επηρεάσουν τις επιλογές και θα πρέπει να ληφθούν υπόψη. Για ορισμένες μεθόδους κατασκευαστικών προμηθειών, αυτές οι επιπλέον μεταβλητές αποτελούν ουσιαστικό μέρος της διαδικασίας αξιολόγησης και αξιολόγησης επιλογών επενδύσεων και μπορούν να αναφέρονται ως μεταβλητές κόστους κύκλου ζωής. Συνήθως, η διαφορά μεταξύ της ανάλυσης WLC και LCC είναι ότι οι μεταβλητές για το WLC μπορεί να περιλαμβάνουν ένα ευρύτερο φάσμα εξωτερικών παραγόντων ή μη κατασκευαστικών κοστών, όπως τα κόστη χρηματοοικονομικής υποστήριξης, τα επιχειρηματικά κόστη και οι ροές εσόδων [35]. Επιπλέον, οι τεχνικές ανάλυσης που χρησιμοποιούνται στη WLC είναι ποικίλες, προσφέροντας μια πιο λεπτομερή προοπτική για τη μέτρηση και σύγκριση της απόδοσης της επένδυσης, εξασφαλίζοντας έτσι μία πιο συνολική και ενημερωμένη διαδικασία λήψης αποφάσεων στις επιχειρηματικές προσπάθειες επένδυσης. Στη συνέχεια θα αναλυθούν κάποιες περιπτώσεις και μεταβλητές που δείχνουν τη σημασία του WLC σε σχέση με την LCC [35].

Εξωτερικοί παράγοντες (Externalities): Η ανάλυση κόστους ολόκληρου κύκλου ζωής μπορεί να συμβάλει στη διασφάλιση μιας βελτιστοποιημένης προσέγγισης στην επιλογή, συντήρηση και χρήση των πόρων. Ωστόσο, οι κρίσεις που βασίζονται στην απόδοση επενδύσεων μπορεί να βασίζονται αποκλειστικά στην αποτελεσματικότητα της αγοράς και να αδυνατούν να αναγνωρίσουν τις ευρύτερες επιπτώσεις που έχουν οι οικονομικές αποφάσεις στην κοινωνία. Οι τιμές της αγοράς για την κατασκευή ενδέχεται να μην αντικατοπτρίζουν τα κοινωνικά, περιβαλλοντικά ή επιχειρηματικά κόστη ή οφέλη της παραγωγής και κατανάλωσης. Οι αναλύσεις WLC που λαμβάνουν υπόψη την εμφάνιση εξωγενών παραγόντων μπορούν να αναδείξουν πιθανούς μελλοντικούς κινδύνους ή και ευκαιρίες που δεν αναγνωρίζονται διαφορετικά. Είναι σημαντικό όμως να αναφερθεί ότι οι εξωγενείς παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη πρέπει να καθορίζονται με σαφήνεια στην ανάλυση προκειμένου να χρησιμοποιηθούν σωστά.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Environmental cost impacts): Η περιβαλλοντική νομοθεσία αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην ανάλυση κόστους ολόκληρου κύκλου ζωής, εισάγοντας διάφορα κόστη ή ακόμα και εξοικονομήσεις μέσω επιστροφών. Αυτό εξαρτάται από το αντίκτυπο που έχει η τοποθεσία, ο σχεδιασμός, η κατασκευή, η χρήση και η απόρριψη του προϊόντος στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα, μπορεί να προστεθούν περιβαλλοντικά τέλη λόγω χρήσης μη ανανεώσιμων πόρων κατά την κατασκευή ή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που μπορεί να προκύψουν.

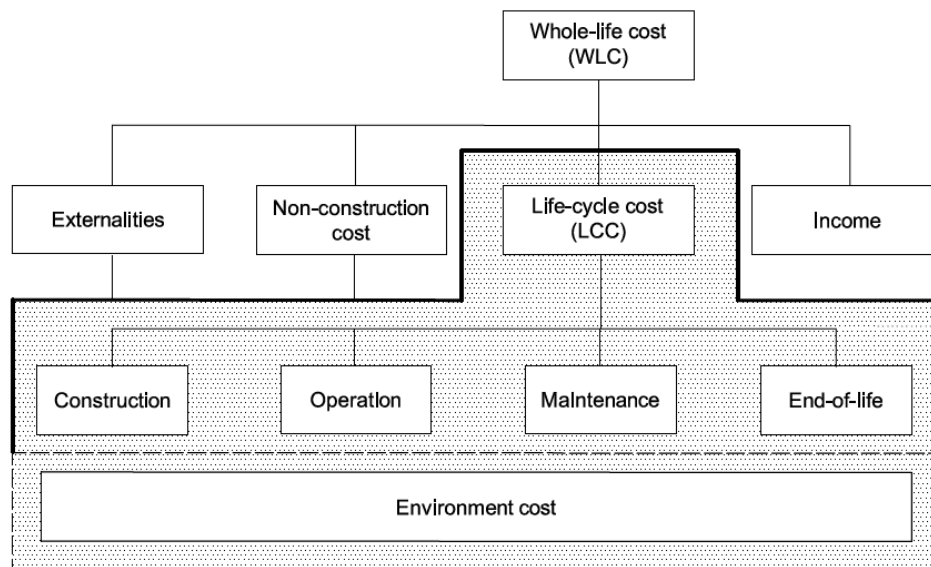
Κοινωνικά κόστη και οφέλη (Social costs and benefits): Κατά την αξιολόγηση των επιλογών επένδυσης, υπάρχουν πολλά κόστη και οφέλη που μπορεί να επηρεάσουν την κοινωνία συνολικά, αλλά πρέπει να αποκλείονται από την ανάλυση LCC, επειδή ανήκουν σε εξωτερικούς παράγοντες, εκτός αν ο πελάτης έχει ειδικές απαιτήσεις. Στην περίπτωση αυτή, είναι αναγκαίο να καθοριστούν σαφώς τα όρια της ανάλυσης LCC. Επιπλέον, η νομιμοποίηση των κοστών και οφελών που δεν σχετίζονται άμεσα με την οικονομία πρέπει να αποφεύγεται, και οι εξωτερικοί παράγοντες πρέπει να καθορίζονται με προσοχή για να διασφαλιστεί η σαφής αξιολόγηση των επιπτώσεων και των οφελών. Σε τέτοιες περιπτώσεις φαίνεται η σημασία της WLC που μπορεί να συμπεριλάβει μεγαλύτερο εύρος παραγόντων.

Άυλα στοιχεία (Intangibles): Κατά την WLC ανάλυση χρειάζεται να γίνει η οικονομική ανάλυση κάποιων «άυλων» στοιχείων. Τα άυλα στοιχεία προκύπτουν από βελτιώσεις σε ένα προϊόν ή κτήριο που είναι δύσκολο να αξιολογηθούν χρηματικά. Αυτές οι βελτιώσεις επηρεάζουν θετικά τον χρήστη, προσφέροντάς του μεγαλύτερη άνεση ή αποτελεσματικότητα, καθώς και αυξημένη ευχαρίστηση που συνδέεται με τη βελτίωση των εσόδων μιας εταιρείας. Για να ενσωματωθούν στην ανάλυση, είναι σημαντικό να τους προσδοθεί χρηματική αξία, αν και αυτό μπορεί να αποτελεί πρόκληση.

Μελλοντικές ροές εισοδήματος (Future income streams): Κατά την εκτίμηση του WLC, σημαντικό είναι να ληφθούν υπόψη οι μελλοντικές ροές εσόδων. Αυτό μπορεί να προσφέρει μια πιο πλήρη και ενημερωμένη διαδικασία λήψης αποφάσεων στις επενδύσεις. Αντίθετα, σε μια ανάλυση LCC, η προσοχή επικεντρώνεται συνήθως σε συγκεκριμένα κόστη και οφέλη που μπορούν να ποσοτικοποιηθούν πιο εύκολα.

Δαπάνες χρηματοδότησης (Financing costs): Κατά την αξιολόγηση του WLC, είναι σημαντικό να λάβουμε υπόψη τις δαπάνες χρηματοδότησης της επένδυσης. Αυτά τα έξοδα μπορεί να ενσωματωθούν στο επιτόκιο, ωστόσο, συχνά εφαρμόζεται μια ανεξάρτητη οικονομική αξιολόγηση μη εκπτώτικων ροών, περιλαμβάνοντας και το χρονικό πλαίσιο και το κόστος χρηματοδότησης για το μέγιστο δάνειο σε διάφορες ημερομηνίες. Αυτό μπορεί να απαιτήσει επίσης μια "εξομάλυνση" του προφίλ δαπανών, συμπεριλαμβάνοντας αποφάσεις που ενδέχεται να μην είναι βέλτιστες όσον αφορά το LCC. Αυτή η διαδικασία μπορεί να ενισχύσει το επενδυτικό σχέδιο, κυρίως λόγω των διαφορετικών οικονομικών επιπτώσεων για τις δαπάνες σε διάφορες ημερομηνίες.

Παρακάτω φαίνεται ένα σχήμα που οπτικοποιεί τη σχέση μεταξύ LCC και WLC.



4: Σχέση WLC – LCC [35]

4. Διαδικτυακά λογισμικά υλοποίησης LCA, LCC

4.1 Εισαγωγή στα διαδικτυακά λογισμικά

Τα λογισμικά LCA είναι εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την πιο αποδοτική και αποτελεσματική διεξαγωγή αξιολογήσεων του κύκλου ζωής προϊόντων. Ένα LCA λογισμικό βοηθά στην απλοποίηση του σύνθετου έργου συλλογής και ανάλυσης δεδομένων κατά τη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής ενός προϊόντος.

Συνήθως, το λογισμικό σχεδιάζεται για να καθοδηγεί τους χρήστες σε όλα τα στάδια μιας ανάλυσης LCA, από τον καθορισμό του πεδίου εφαρμογής και των στόχων της μελέτης έως την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Αυτό το λογισμικό μπορεί επίσης να βοηθήσει στη διαχείριση και ανάλυση δεδομένων, παρέχοντας εργαλεία για την οργάνωση, ανάλυση και αναφορά των δεδομένων που συλλέγονται κατά τη διάρκεια μιας LCA. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διάφορους ενδιαφερόμενους, όπως σχεδιαστές προϊόντων, μηχανικούς, περιβαλλοντολόγους και πολιτικούς.

Η χρήση λογισμικού LCA εξοικονομεί επίσης χρόνο και πόρους με την αυτοματοποίηση διαδικασιών και την απλοποίηση της διαδικασίας. Μπορεί επίσης να διασφαλίσει ότι τα αποτελέσματα είναι συνεπή και ακριβή, κάτι που είναι σημαντικό για τη λήψη ενημερωμένων αποφάσεων σχετικά με τον σχεδιασμό προϊόντων, τη διαχείριση πόρων και την περιβαλλοντική πολιτική.

Κάποια από τα πιο διαδεδομένα προγράμματα λογισμικού LCA είναι τα SimaPro [40], GaBi - Sphera [41], OpenLCA [42], OneClickLCA [43], eTool - Cerclos [44], και CES EduPack [45]. Αυτά θα αναλυθούν σύντομα στο επόμενο υπο-κεφάλαιο.

4.2 Παρουσίαση διαδικτυακών λογισμικών

SimaPro: Το SimaPro είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο εργαλείο λογισμικού LCA που επιτρέπει την πλήρη αξιολόγηση του κύκλου ζωής διαφόρων συστημάτων ενέργειας όπως κτήρια αλλά και η παραγωγή και μεταφορά ενέργειας. Παρέχει μια σειρά χαρακτηριστικών για τη μοντελοποίηση και ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των συστημάτων ενέργειας κατά μήκος των σταδίων τους στον κύκλο ζωής τους, συμπεριλαμβανομένης της εξόρυξης πόρων, της κατασκευής, της λειτουργίας και της διαχείρισης στο τέλος της ζωής τους. Ιδρύθηκε πριν από 30 χρόνια και αποτελεί ίσως το πιο γνωστό λογισμικό LCA στην αγορά. Το εργαλείο είναι διαθέσιμο ως εφαρμογή για desktop, καθώς και ως λύση βασισμένη στο cloud. Ωστόσο, η επιλογή βασισμένη στο cloud δεν περιέχει όλα τα χαρακτηριστικά. Το SimaPro είναι μια τεχνική εφαρμογή με πολλά προαιρετικά πρόσθετα που το καθιστούν πολύ ευέλικτο. Επιπλέον, επιτρέπει στους χρήστες του να εξερευνήσουν βαθιά τους υπολογισμούς LCA ενός προϊόντος και διεργασιών παραγωγής [40].

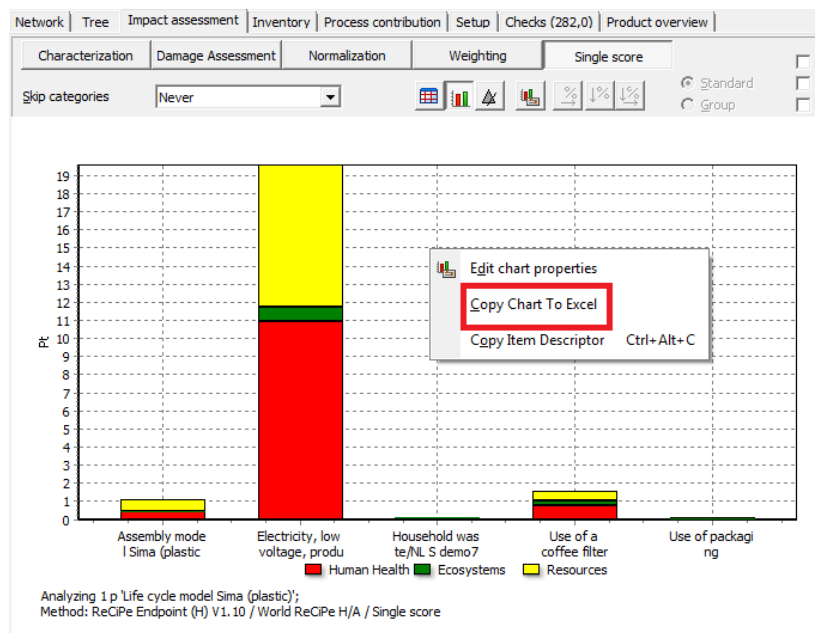
Το SimaPro όπως αναφέρεται και στην επίσημη ιστοσελίδα χρησιμοποιείται κυρίως στο ακαδημαϊκό πεδίο και από έμπειρους συμβούλους LCA. Επιτρέπει τη μοντελοποίηση και τη συστηματική ανάλυση πολύπλοκων κύκλων ζωής.

Ανάλογα με το επιλεγμένο πλάνο τα χαρακτηριστικά που προσφέρονται διαφέρουν αλλά κάποια από αυτά είναι [40]:

- Advanced product life cycle modelling with product stages
- Wide range of impact assessment methods
- Inventory and Input/output databases
- Create a baseline scenario

Κάποια χαρακτηριστικά ακόμα που έχουν αξία είναι τα παρακάτω:

- Copy chart to Excel
Αυτό το χαρακτηριστικό δεν είναι διαθέσιμο σε όλα τα προγράμματα αλλά είναι σημαντικό στην ευκολία χρήσης καθώς αντιγράφει τα δεδομένα αυτόματα και τα μεταφέρει αυτούσια στο Microsoft Excel σε περίπτωση που η ανάλυση εκεί είναι προτιμότερη



4: Αντιγραφή διαγράμματος απευθείας στο MS Excel [40]

- Pedigree matrix for determining the uncertainty values

Σε περιπτώσεις που δεν έχουμε διαθέσιμες τις τιμές της αβεβαιότητας το SimaPro διευκολύνει αυτή τη διαδικασία

5: Αυτόματος Υπολογισμός Αβεβαιότητας [40]

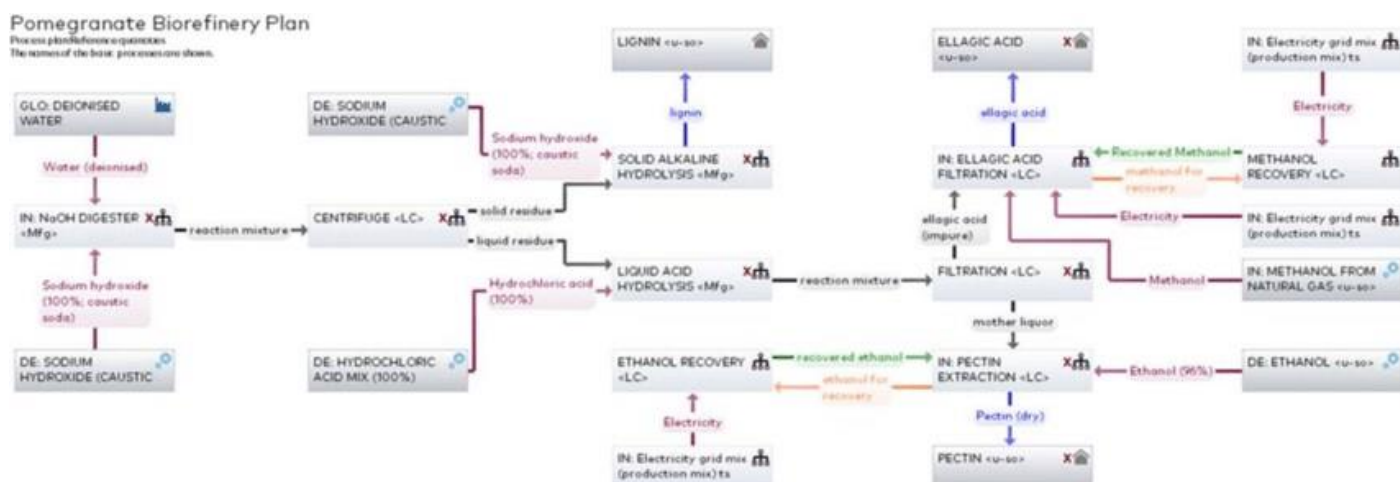
GaBi - Sphera: Το GaBi είναι ένα ακόμα δημοφιλές εργαλείο λογισμικού LCA που προσφέρει ειδικά modules για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων συστημάτων ενέργειας, όπως η παραγωγή ηλεκτρισμού, οι τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας και η μεταφορά της. Διαθέτει μια ευρεία γκάμα δεδομένων κύκλου ζωής, μεθόδων αξιολόγησης επιπτώσεων και δυνατοτήτων μοντελοποίησης για να πραγματοποιεί λεπτομερείς LCA συστημάτων ενέργειας. Το GaBi δημιουργήθηκε στα μέσα της δεκαετίας του '90 και είναι ένα αξιόπιστο εργαλείο LCA που χρησιμοποιείται σε πολλούς κλάδους, ειδικά στην εγχώρια αγορά της Γερμανίας [41].

Όπως και το SimaPro, το GaBi είναι μια τεχνικά προηγμένη λύση με πολλά πρόσθετα για τη βιώσιμη ανάπτυξη προϊόντων. Χρησιμοποιείται ευρέως από ειδικούς LCA και σύμβουλους βιωσιμότητας και διαθέτει δική του ειδική βάση δεδομένων για τον κύκλο ζωής, επιτρέποντας τη δημιουργία LCA σύμφωνα με διάφορα πρότυπα. Εκτός από τη δημιουργία LCA, υποστηρίζει επίσης την ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής και την Αναφορά Κύκλου Ζωής.

Κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά που προσφέρει το GaBi είναι τα ακόλουθα [41]:

- Wide range of life cycle inventory data
- Advanced modeling capabilities for detailed LCAs
- Technical versatility with optional add-ons for sustainable product development
- User-friendly interface for conducting complex analyses
- Compatibility with different LCA standards
- Customization options for creating LCAs tailored to specific needs

Ένα στιγμιότυπο που απεικονίζει το λογισμικό εν δράσει φαίνεται παρακάτω:



6: Παράδειγμα συστήματος υλοποιημένου στο GaBi [46]

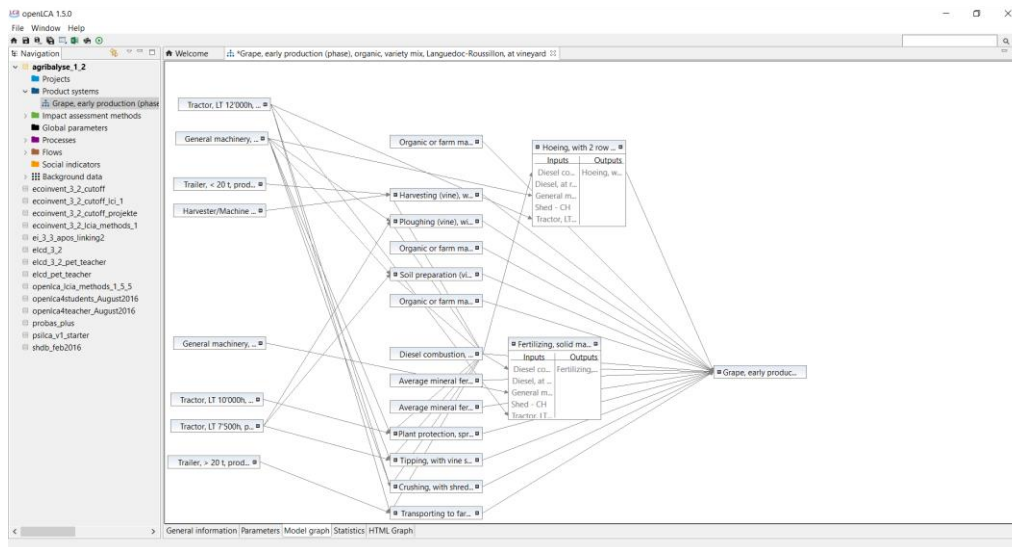
OpenLCA: Το OpenLCA αποτελεί μία καλή δωρεάν επιλογή, καθώς πρόκειται για λογισμικό ανοιχτού κώδικα. Διαθέτει αρκετές λειτουργίες σε διαφορετικά βάθη, καθιστώντας το ιδανικό για χρήστες με τεχνικό υπόβαθρο ενώ προσφέρει και “user friendly” interface. Οι λειτουργίες του λογισμικού επιτρέπουν την προσαρμογή των συνόλων δεδομένων LCI, επιτρέποντας την ακριβέστερη αντιστοίχισή τους με τη διαδικασία παραγωγής και τα εισαγόμενα στοιχεία ενός προϊόντος. Επιπλέον, παρέχει διάφορες αναλυτικές λειτουργίες για να αξιολογηθεί το περιβαλλοντικό αποτύπωμα και η απόδοση ενός προϊόντος [42].

Μέσω του OpenLCA, είναι δυνατό να εξερευνηθούν εκτενέστερα τα περιβαλλοντικά σύνολα δεδομένων που εισάγει ο χρήστης στην εφαρμογή, επιτρέποντας προηγμένη ανάλυση της αλυσίδας εφοδιασμού. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα εργαλεία LCA βασίζονται σε βάσεις δεδομένων LCI για τη μέτρηση των επιπτώσεων. Παρέχει πρόσβαση σε πολλές διαφορετικές βάσεις δεδομένων, αν και ένα μεγάλο μέρος αυτών δεν είναι δωρεάν.

Το OpenLCA συνήθως απευθύνεται σε επαγγελματίες, ειδικούς σε LCA και σύμβουλους βιωσιμότητας όπως και το SimaPro και το GaBi. Όμως, το OpenLCA προτιμάται συχνά καθώς δε χρειάζεται πληρωμή για τη χρήση του.

Κάποιες εικόνες από τη χρήση του φαίνονται παρακάτω:

- Modeling Suite



7: Σουίτα Μοντελοποίησης [42]

- Inventory results

Flow	Category	Sub-category	Unit	Amount
Flow	resource	land	m2	0.00069
fuSecondary sulphur, at refinery - RER	chemicals	inorganics	kg	0.01031
fuLime, as N, at regional storehouse - RER	chemicals	organics	kg	0.00108
fuOccupation, permanent crop, vine	resource	land	m2*a	4.12371
fuSteel, low-alloyed, at plant - RER	metals	extraction	kg	0.00023
fuCopper, primary, at refinery - RER	metals	extraction	kg	0.00124
fuSteel, converter, unalloyed, at plant - RER	metals	extraction	kg	0.00274

Flow	Category	Sub-category	Unit	Amount
fuAmmonia	air	low population density	kg	0.00060
fuPhosphorus	water	river	kg	9.11144E-5
fuZinc	water	river	kg	1.09691E-8
fuCadmium	water	ground water	kg	2.14245E-10
fuCopper	air	low population density	kg	9.24482E-8
fuLead	soil	agricultural	kg	3.22098E-9
fuCopper	water	river	kg	4.20672E-8

Process	Product	Amount	Unit
P Grape, early production (phase), organic, variety mix, Languedoc-Roussillon, at vineyard	fu Grape, early production (phase), organic...	1.00000	kg
P Diesel combustion, in tractor - FR	fu Diesel combustion, in tractor - FR	0.00438	kg
P Organic or farm manure (empty process), as K2O - FR	fu Organic or farm manure (empty process),	0.00619	kg
P Organic or farm manure (empty process), as N - FR	fu Organic or farm manure (empty process),	0.00619	kg
P Average mineral fertilizer, as N, at regional storehouse - FR	fu Average mineral fertilizer, as N, at regio...	0.00412	kg
P Average mineral fertilizer, as K2O, at regional storehouse - FR	fu Average mineral fertilizer, as K2O, at re...	0.00412	kg
P Organic or farm manure (empty process), as P2O5 - FR	fu Organic or farm manure (empty process),	0.00412	kg

8: Αποτελέσματα απογραφής [42]

- Impact analysis

The screenshot shows the openLCA 1.10.0 software interface. The main window displays an 'Impact analysis' for the process 'Grape, early production (phase), organic, variety mix, Languedoc-Roussillon, at vineyard'. The table lists various impact categories and their corresponding results. The sidebar on the left shows a project tree with folders for 'Product systems', 'Impact assessment methods', 'Global parameters', 'Processes', 'Flows', 'Social indicators', 'Background data', and 'Data sources'.

Process/Flow name	Location	Flow category	Inventory result	Unit	Impact factor	Unit	Impact result	Unit
Grape, early production (phase), organic, variety mix France	France	soil/agricultural	0.00124	kg	14.35989	kg 1.4-dl...	0.01494	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Fe Copper		water/ground water	3.07856E-7	kg	2.27196E-19	kg 1.4-dl...	0.01776	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Fe Chromium		water/river	4.00026E-8	kg	1.02958E-18	kg 1.4-dl...	4.12785E-26	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Fe Nickel		water/river	1.59736E-7	kg	2.27196E-19	kg 1.4-dl...	3.62913E-26	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Fe Copper		water/river	4.20672E-8	kg	4.06320E-21	kg 1.4-dl...	1.70927E-28	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Fe Copper		water/ground water	1.21837E-8	kg	4.06320E-21	kg 1.4-dl...	4.95048E-29	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Fe Zinc		water/ground water	1.86719E-8	kg	2.53380E-21	kg 1.4-dl...	4.78302E-29	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Fe Zinc		water/river	1.09691E-8	kg	2.53380E-21	kg 1.4-dl...	2.77935E-29	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Fe Cadmium		water/river	2.97979E-10	kg	1.41506E-20	kg 1.4-dl...	4.21658E-30	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Fe Cadmium		water/ground water	2.14245E-10	kg	1.41506E-20	kg 1.4-dl...	3.03170E-30	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Fe Lead		water/river	4.61846E-9	kg	4.77422E-22	kg 1.4-dl...	2.20205E-30	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Fe Lead		water/ground water	3.24318E-10	kg	4.77422E-22	kg 1.4-dl...	1.54839E-31	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Fe Lead		soil/agricultural	-9.66819E-10	kg	32.51821	kg 1.4-dl...	-3.14392E-8	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Fe Cadmium		soil/agricultural	-1.89405E-10	kg	166.80795	kg 1.4-dl...	-3.15942E-8	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Fe Zinc		soil/agricultural	-1.72551E-8	kg	24.58897	kg 1.4-dl...	-4.24284E-7	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Fe Nickel		soil/agricultural	-2.77097E-8	kg	238.55199	kg 1.4-dl...	-6.61020E-6	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Fe Chromium		soil/agricultural	-4.47136E-7	kg	6302.86169	kg 1.4-dl...	-0.00282	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Plant protection, spraying, with atomiser/sprayer, 20l France	France						1.54854E-5	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Soil preparation (vine), with harrow France	France						1.46599E-5	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Diesel combustion, in tractor France	France						1.00205E-5	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Harvesting (vine), with trailer France	France						9.40278E-6	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Ploughing (vine), with frame plough France	France						7.74272E-6	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Hoing, with 2 row hoe France	France						6.63662E-6	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Crushing, with shredder or chipper France	France						3.56163E-6	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Tipping, with vine shoot tipping machine France	France						2.44262E-6	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Fertilizing, solid manure (charging and spreading), w. France	France						2.30796E-6	kg 1.4-dichlorobenzene eq.
Transporting to farm, with 2 axle trailer (15 t) France	France						1.42845E-6	kg 1.4-dichlorobenzene eq.

9: Ανάλυση Αντικτύπου [42]

OneClickLCA: Το OneClickLCA είναι μία εφαρμογή που είναι ειδικά σχεδιασμένη για μία βιομηχανία: τον τομέα της κατασκευής. Ως αποτέλεσμα, προσφέρει πολλές λειτουργίες που απαιτούνται ειδικά για τον τομέα της κατασκευής. Διαθέτει αρκετές δυνατότητες μοντελοποίησης και αναφοράς που προσαρμόζονται καλά στις εταιρείες που παράγουν υλικά ή προϊόντα κατασκευής. Είναι ιδανικό λοιπόν για την ανάλυση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου κατασκευαστικών έργων και των κτιρίων [44].

Θεωρείται μία από τις πιο εύκολες επιλογές για ένα καινούριο χρήστη που δε χρειάζεται τόση εξειδίκευση για τη χρήση του όσο τα προηγούμενα που αναφέρθηκαν.

Μερικά από τα χαρακτηριστικά που προσφέρει είναι τα ακόλουθα [44]:

- Regional building carbon & LCA compliance tools
- Create, compare and visualize alternatives easily
- Unique generic data and constructions for all use cases

Ανάλογα με το επιλεγμένο πλάνο βεβαίως προσφέρονται και επιπλέον χαρακτηριστικά και κάποια από αυτά είναι τα ακόλουθα:

- Extensive visualisations
- Cost & carbon comparison
- Receive LCA data from suppliers
- Advanced reporting capabilities, incl. tools usage and project results

Στη συνέχεια φαίνονται μερικές εικόνες από τη χρήση του προγράμματος:

10: Εισαγωγή δεδομένων [44]

11: Ανάλυση Αποτελεσμάτων [44]

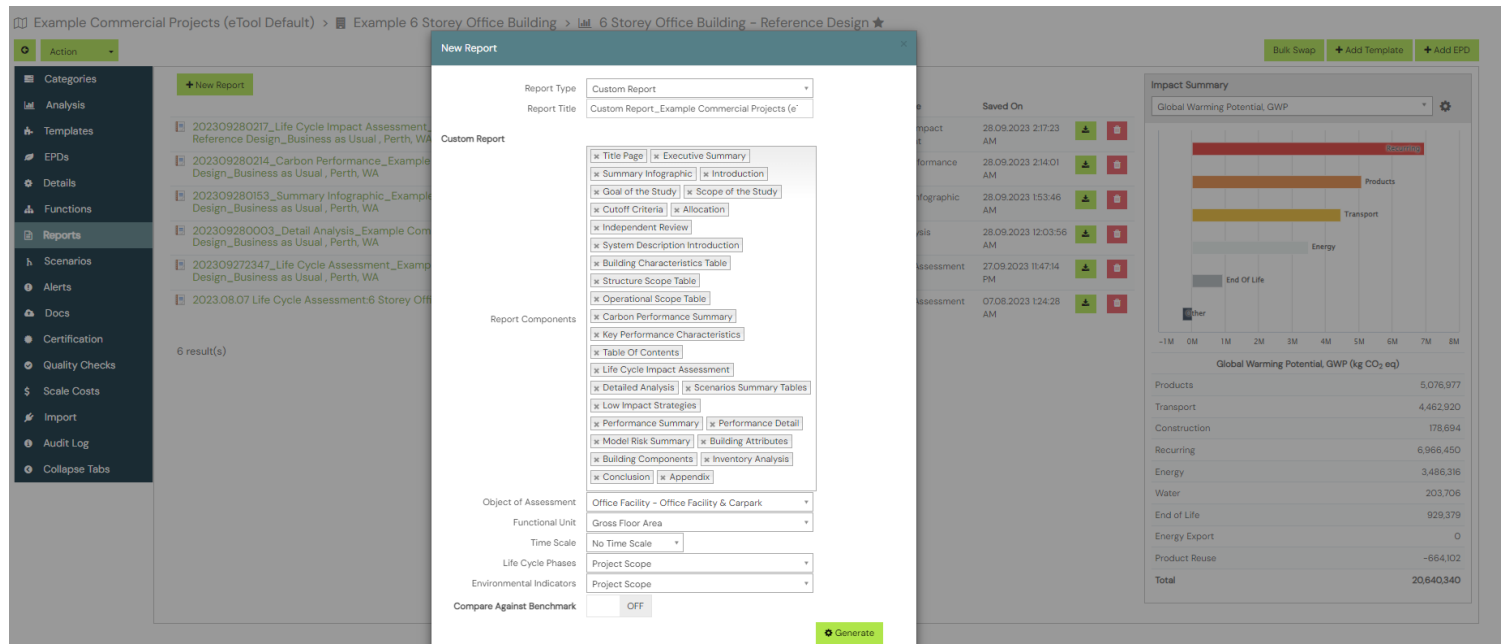
eTool: Το eTool είναι ένα εξειδικευμένο λογισμικό LCA για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε κτιριακά και υποδομές, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων ενέργειας στα κτίρια. Παρέχει ποικιλία λειτουργιών για τη μοντελοποίηση και ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής των

συστημάτων ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, και των τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας [44].

Μερικά από τα χαρακτηριστικά που προσφέρει το eTool είναι τα ακόλουθα:

- Scenarios Optioneering
- Multiple Life Cycle Inventory Databases
- Cost Scaling (for LCC)
- Online Training Courses

Στη συνέχεια παρατίθεται μία εικόνα του eTool κατά τη διάρκεια της χρήσης του



12: Δημιουργία προσαρμοσμένης αναφοράς [47]

CES EduPack: Το CES EduPack είναι ένα λογισμικό που σχεδιάστηκε ειδικά για εκπαιδευτικούς σκοπούς και παρέχει εργαλεία για τη διεξαγωγή απλοποιημένων αξιολογήσεων κύκλου ζωής ενεργειακών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής ενέργειας και των μεταφορών. Παρέχει μια φιλική προς τον χρήστη διεπαφή (interface) και μια εκτεταμένη βάση δεδομένων υλικών και διαδικασιών για την ανάλυση των βασικών επιπτώσεων κύκλου ζωής ενεργειακών συστημάτων [45].

Ως εκ τούτου, το CES EduPack συνήθως δεν χρησιμοποιείται από επαγγελματίες στον τομέα της βιωσιμότητας, καθώς προτιμώνται εργαλεία όπως αυτά που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Ωστόσο, αποτελεί ιδανικό εργαλείο για κάποιον που επιθυμεί να εισέλθει σε αυτόν τον τομέα.

Είναι εύκολο να αντιληφθεί κανείς ότι τα χαρακτηριστικά που κάνουν αυτό το λογισμικό να ξεχωρίζει είναι διαφορετικής φύσης από τα υπόλοιπα. Μερικά από αυτά είναι τα εξής [45]:

- Comprehensive Database of Materials and Processes.
- Introduce Sustainability in Engineering Design.

Social Life Cycle Assessment	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Energy Transition Analysis	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Disaster Risk Reduction	No	Yes	No	Yes	No
Sustainable Development Goals Integration	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Stakeholder Engagement Tools	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

2: Σύγκριση Διαδικτυακών Λογισμικών [40] [41] [42] [43] [44] [45]

5. Παρουσίαση λογισμικού “VERIFY” - Virtual intEgrated platfoRm on LIfe cycle AnalYsis

5.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύθηκαν κάποια από τα πιο σημαντικά λογισμικά στον τομέα της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής. Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί το εργαλείο “VERIFY” (ακρωνύμιο για “Virtual intEgrated platfoRm on LIfe cycle AnalYsis”) και πώς ξεχωρίζει από τον ανταγωνισμό. Το συγκεκριμένο εργαλείο είναι επίσης αυτό που θα χρησιμοποιηθεί στο επόμενο «πρακτικό» κομμάτι της εργασίας.

Παρόλο που τα εργαλεία που παρουσιάστηκαν για την αξιολόγηση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου διαφόρων τεχνολογιών είναι πολύ χρήσιμα και δημοφιλή, η LCA που δημιουργούν είναι βασισμένη σε σχέδια και προβλέψεις, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τους πραγματικά δεδομένα παραγωγής και κατανάλωσης. Επιπλέον, αυτά τα εργαλεία συνήθως δε συμπεριλαμβάνουν LCCA συσχετιζόμενη με εργαλεία προγραμματισμού επενδύσεων, προκειμένου να συγκρίνουν εναλλακτικά σενάρια τεχνολογίας για μια ενημερωμένη λήψη αποφάσεων και τη διαμόρφωση πολιτικής.

Το VERIFY διαφέρει λόγω της διαδικτυακής πλατφόρμας του, η οποία πραγματοποιεί αναλύσεις και υπολογισμούς προσανατολισμένους προς το περιβάλλον και το κόστος, για συστήματα/διαμορφώσεις ενέργειας σε πολλαπλά δίκτυα ενέργειας [48]. Μπορεί να χρησιμοποιεί είτε συνθετικά δεδομένα (δηλαδή από τρίτους ή άλλα κινητήρια συστήματα ροής) είτε πραγματικά δεδομένα από αισθητήρες IoT σε πραγματικό χρόνο (IoT σημαίνει Internet of Things – Διαδίκτυο των Πραγμάτων και αναφέρεται σε συσκευές με αισθητήρες, λογισμικό και άλλες τεχνολογίες που ανταλλάσσουν δεδομένα με άλλες συσκευές μέσω του διαδικτύου ή άλλων δικτύων επικοινωνίας).

Προσφέρει χαρακτηριστικά όπως αξιολόγηση κύκλου ζωής, κόστος κύκλου ζωής και σχεδιασμό επενδύσεων σε ενεργειακά συστήματα, από το επίπεδο ενός μεμονωμένου κτιρίου έως το επίπεδο μιας περιοχής ή μιας πόλης, με έναν ολοκληρωμένο τρόπο προσέγγισης.

Το VERIFY αποτελείται από δύο εξειδικευμένα εργαλεία λογισμικού:

- το VERIFY-Building (VERIFY-B), εστιασμένο στη μελέτη κτιριακών συστημάτων
- το VERIFY-District (VERIFY-D), για μελέτες LCA σε επίπεδο ενεργειακών κοινοτήτων ή περιοχών.

Επιπλέον, περιλαμβάνονται τρία πρόσθετα εργαλεία λογισμικού [48]:

- i. παρακολούθηση και λήψη μετρήσεων από έξυπνους μετρητές
- ii. αποθήκευση δεδομένων μεγάλου όγκου (Big Data Repository)
- iii. λογισμικό για τη μελέτη και την αξιολόγηση οικονομικών επενδύσεων στον τομέα της ενέργειας (Investment Planning Toolkit).

5.2 Ανάλυση “VERIFY”

Η μεθοδολογία του VERIFY βασίζεται στα σχετικά διεθνή πρότυπα (ISO 14040 – ISO 14044), τροποποιώντας και επεκτείνοντάς τα κατάλληλα, προκειμένου να προσαρμόσει αποτελέσματα βασισμένα σε δεδομένα σχεδόν σε πραγματικό χρόνο από απομακρυσμένα συστήματα μέτρησης. Η δυναμική ανάλυση στο χρόνο παρέχει τη δυνατότητα λήψης αποφάσεων πριν από την εγκατάσταση ή και κατά τη λειτουργία κάθε ενεργειακού συστήματος (π.χ. ενός κτιρίου σε συνδυασμό με τα εγκατεστημένα συστήματα θέρμανσης/ψύξης) εφαρμόζοντας πολυκριτήριες μεθόδους βασισμένες σε ενεργειακούς, περιβαλλοντικούς και τεchnο-οικονομικούς δείκτες. Στόχος είναι η ταυτόχρονη εξοικονόμηση ενεργειακών πόρων, η ελαχιστοποίηση του κόστους επένδυσης και λειτουργίας, καθώς και η μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Η δυνατότητα τεchnο-οικονομικής αξιολόγησης παρέχεται μέσω της εφαρμογής χρηματοδοτικών μεθόδων, χρησιμοποιώντας μοντέλα τιμολόγησης ενέργειας και ρύπων. Το εφαρμοστικό πεδίο του VERIFY ξεκινά από το επίπεδο ενός μεμονωμένου κτιριακού συστήματος και φτάνει έως ένα συγκρότημα συστημάτων σε επίπεδο δικτύου, πέρα από πολλαπλά δίκτυα ενέργειας, με ομοιογενή ενεργά και παθητικά ενεργειακά συστήματα/τεχνολογίες [48].

Στη συνέχεια αναλύονται κάποια από τα χαρακτηριστικά και περεταίρω πληροφορίες σχετικά με το VERIFY [48].

Μεθοδολογικό πλαίσιο VERIFY: Το μεθοδολογικό πλαίσιο του VERIFY βασίζεται σε ποσοτικές μεθόδους και αλγόριθμους που εφαρμόζουν αξιολόγηση κύκλου ζωής (LCA) και κόστους κύκλου ζωής (LCC) σε διάφορα στοιχεία και τεχνολογίες σχετικές με την ενέργεια στα κτίρια. Η μέθοδος αυτή ενσωματώνει στοιχεία από τα πρότυπα ISO 14044 και επικεντρώνεται σε κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων όπως η παγκόσμια πιθανότητα κλιματικής αλλαγής και η συνολική ζήτηση ενέργειας. Ενσωματώνει επίσης περιβαλλοντικούς στόχους και πολιτικές, εστιάζοντας σε μακρο-στόχους όπως οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και η βέλτιστη οικονομική αξία κύκλου ζωής. Το εργαλείο αυτό στοχεύει στην παροχή ολοκληρωμένης ανάλυσης για τη βιωσιμότητα των κτιρίων, λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των παραγόντων που επηρεάζουν την LCA, όπως οι συντελεστές κατασκευής και το κόστος των συστατικών τους. Επιπλέον, το VERIFY εξελίσσεται συνεχώς με σκοπό τη βελτίωση της ανάλυσης της βιωσιμότητας των κτιρίων σε πιο ολοκληρωμένο επίπεδο.

Βιώσιμη ανακαίνιση κτιρίων: Το VERIFY παίζει σημαντικό ρόλο στην αξιολόγηση του αντικτύπου των διαδικασιών ανακαίνισης κτιρίων και των μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης στην περιβαλλοντική απόδοση και του κόστους κύκλου ζωής. Επιτρέπει δυναμική ανάλυση κύκλου ζωής, λαμβάνοντας υπόψη χαρακτηριστικά όπως τα χρονικά προφίλ κατανάλωσης ενέργειας και οι αλλαγές θερμοκρασίας, προσφέροντας εισηγήσεις για τις ανάγκες σε πρωταρχική ενέργεια, τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και την αποδοτικότητα κόστους των επεμβάσεων στα κτίρια.

Με τη χρήση του VERIFY, διευκολύνεται η λήψη ενημερωμένων αποφάσεων για τα βιώσιμα έργα ανακαίνισης κτιρίων, με στόχο τη μείωση των εκπομπών, τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης και την επίτευξη εξοικονόμησης κόστους κατά τη διάρκεια ζωής του

κτιρίου. Το εργαλείο διευκολύνει την αξιολόγηση διαφόρων σεναρίων, συμβάλλοντας στη συνολική βιωσιμότητα και στους στόχους αποτελεσματικής αντιμετώπισης του άνθρακα στον τομέα των κτιρίων.

Εφαρμογή του VERIFY σε επίπεδο περιοχής (district level): Το VERIFY χρησιμοποιείται ευρέως σε επίπεδο περιοχής για να αξιολογήσει την επίδραση τεχνολογιών, αναλύοντας τα συστατικά και τις τεχνολογίες που σχετίζονται με την ενέργεια και είναι εγκατεστημένα σε κτίρια εντός της περιοχής. Αυτό επιτρέπει την παρακολούθηση πραγματικών δεδομένων και την αξιολόγηση έργων, παρέχοντας εισηγήσεις για την περιβαλλοντική και οικονομική απόδοση της ενεργειακής υποδομής της περιοχής. Με την εφαρμογή του VERIFY σε επίπεδο περιοχής, είναι δυνατόν να δοκιμαστούν διάφορα σενάρια αντιγραφής και εφαρμογής ολοκληρωμένων συστημάτων εντός της περιοχής και σε επίπεδο κοινότητας. Αυτό επιτρέπει στους ενδιαφερόμενους να αξιολογήσουν την εφικτότητα και τα οφέλη της αναπαραγωγής των επενδύσεων σε ενέργεια, με στόχο τη μεγιστοποίηση της διείσδυσης ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών στην περιοχή [49].

Διάφοροι τεχνικοί, οικονομικοί και κοινωνικοί παράγοντες επηρεάζουν την κλιμακοποίηση των συστημάτων κατά τη διεύρυνση των επενδύσεων σε ενέργεια σε επίπεδο περιοχής. Το VERIFY βοηθά στην ανάλυση αυτών των παραγόντων για τον καθορισμό του δυναμικού αντιγραφής και της απαιτούμενης προσέγγισης για την αποτελεσματική διεύρυνση των συστημάτων, εξασφαλίζοντας παράλληλα τη βιωσιμότητα στο επίπεδο της κοινότητας.

Βασικοί δείκτες απόδοσης (Key Performance Indicators – KPIs) στο VERIFY: Το VERIFY υπολογίζει βασικούς δείκτες απόδοσης όπως η «Περιβαλλοντική Επίδραση Κλιματικής Αλλαγής Κύκλου Ζωής», αυτοκατανάλωση, χρόνος αποπληρωμής – χρόνος αποπληρωμής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, εξισορροπημένο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας, ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας, LCC αλλά και WLC. Αυτοί οι δείκτες είναι κρίσιμοι για την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής και οικονομικής απόδοσης έργων ανακαίνισης κτιρίων. Με αυτό τον τρόπο γίνεται εφικτό να παρθούν αποφάσεις σχετικά με τους περιβαλλοντικούς στόχους μίας εταιρείας και άρα αν συμφέρει να γίνει μία ενεργειακή αναβάθμιση [48].

Κάποιοι από τους πιο σημαντικούς δείκτες απόδοσης ξεχωρίζουν και αυτοί είναι:

Περιβαλλοντική Επίδραση Κλιματικής Αλλαγής Κύκλου Ζωής (Lifecycle Global Warming potential (GWP): Αυτό το KPI εκφράζει τις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται κατά τη διάρκεια ζωής της ανάλυσης. Ο ίδιος δείκτης υπολογίζεται και ανά τετραγωνικό μέτρο χρήσιμης επιφάνειας. Αυτό το συνολικό ποσό αποτελείται από [50] [51] [52]:

- Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου της υποδομής (Embodied): Προκύπτουν όταν ένα στοιχείο εγκαθίσταται για πρώτη φορά. Οι δαπάνες υποδομής που προκύπτουν κατά την ανακαίνιση ενός κτιρίου κατανέμονται στο στάδιο χρήσης.
- Εκπομπές λόγω λειτουργίας και συντήρησης (Στάδιο Χρήσης): Εκπέμπονται κατά το στάδιο χρήσης και περιλαμβάνουν:

- Εκπομπές που σχετίζονται με τη συντήρηση (Χρήση / Συντήρηση / Επισκευή / Αντικατάσταση (συμπεριλαμβανομένης της τελικής ζωής των στοιχείων) / Ανακατασκευή)
- Λειτουργικές εκπομπές (λόγω ενέργειας που καταναλώνεται ως ηλεκτρικό ρεύμα ή καύσιμο).

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα αέρια που εκπέμπονται από το τέλος της ζωής δεν λαμβάνονται υπόψη σε αυτό το δείκτη.

Μερικά από τα στοιχεία που λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό είναι τα παρακάτω [50]:

- Διάρκεια ζωής
- Εκπομπές αερίων των στοιχείων ξεχωριστά
- Διάρκεια ζωής του κάθε στοιχείου ξεχωριστά
- Αυτοκατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος

Υπολογιστική μέθοδος:

$$L_{GWP} = \frac{L_{GHG}}{Useful\ area}$$

“Useful area” ορίζεται το συνολικό κομμάτι του κτιρίου με πρόσβαση σε θέρμανση και ψύξη.

“GHG” εκπομπές αερίων (Green House Gas)

Στη συνέχεια έχουμε:

$$L_{GHG} = I_{GHG} + \sum_{i=1}^N (O_{GHG}^{(i)})$$

όπου:

- L_{GHG} are the Lifetime GHG Emissions of the Project;
- I_{GHG} are the Infrastructure (embodied) GHG Emissions;
- $O_{GHG}^{(i)}$ are the Operational GHG emissions of the building's components in year i .

Τα Infrastructure (embodied) GHG emissions υπολογίζονται ως εξής:

$$I_{GHG} = \sum_{\forall j \in \text{Components}} I_{GHG,j}$$

όπου $I_{GHG,j}$ είναι τα GHG Emissions embodied in component j .

Οι εκπομπές αυτές υπολογίζονται μόνο όταν τα στοιχεία εγκαθίστανται στην αρχή ενός έργου και δεν συμπεριλαμβάνονται στον υπολογισμό αυτού του KPI για προϋπάρχοντα στοιχεία.

Οι συνολικές ετήσιες εκπομπές υπολογίζονται ως εξής:

$$O_{GHG}^{(i)} = O_{GHG,MN}^{(i)} + O_{GHG,FI}^{(i)} - O_{GHG,PR}^{(i)}$$

Και περιλαμβάνουν:

- Ετήσιες εκπομπές λόγω συντήρησης στοιχείων.

$$O_{GHG,MN}^{(i)} = \sum_{\forall j \in \text{Components}} O_{GHG,MN,j}^{(i)}$$

Όπου $O_{GHG,MN,j}^{(i)}$ είναι τα ετήσια GHG emissions required for the maintenance of component j in year i.

Αν ένα στοιχείο πεθάνει κατά τη διάρκεια ζωής του έργου και έχει προγραμματιστεί να αντικατασταθεί, οι αντίστοιχες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που προκύπτουν από την ενσωμάτωση του νέου στοιχείου προστίθενται στις λειτουργικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για αυτό το στοιχείο για το συγκεκριμένο έτος.

- Εκπομπές που προκύπτουν λόγω εισαγωγών καυσίμων:

$$O_{GHG,FI}^{(i)} = \sum_{\forall k \in \text{Fuel}} FI_k^{(i)} \cdot EF_k^{(i)}$$

Όπου

$FI_k^{(i)}$ είναι τα συνολικά Fuel Imports for fuel type k in year i , obtained from energy demand timeseries (in kWh);

$EF_k^{(i)}$ είναι τα GHG emission factor associated with fuel type k (this can differ depending on the project country and the energy mix) in year i .

- Εκπομπές που αποφεύγονται λόγω παραγωγής ΑΠΕ.

$$O_{GHG,PR}^{(i)} = (SC^{(i)} + EX^{(i)}) \cdot EF_{el}^{(i)}$$

όπου $SC^{(i)}$ and $EX^{(i)}$ are respectively the total RES energy that was self-consumed and exported by the building in year i .

Χρόνος αποπληρωμής: Αυτό το KPI αναφέρεται στο χρονικό διάστημα που απαιτείται για την ανάκτηση του κόστους της επένδυσης σε ένα σενάριο ανακαίνισης, σε σύγκριση με το αρχικό σενάριο. Για τον υπολογισμό αυτού του KPI, υπολογίζονται οι εξοικονομήσεις σε λειτουργικά έξοδα για κάθε έτος μέχρι ακριβώς πριν την αποπληρωμή του κόστους. Δεδομένου ότι η αποπληρωμή πιθανότατα θα συμβεί κατά τη διάρκεια ενός έτους (για το οποίο τα ετήσια

λειτουργικά έξοδα δεν θα έχουν υπολογιστεί), το υπόλοιπο της περιόδου υπολογίζεται ως γραμμική συνάρτηση των εξοικονομήσεων.

Το VERIFY χρησιμοποιεί τα παρακάτω ως δεδομένα για τον υπολογισμό [53]:

- Διάρκεια έργου
- Ετήσια λειτουργικά έξοδα πριν/μετά την ανακαίνιση
- Αρχικό κόστος ανακαίνισης

Υπολογιστική μέθοδος:

Η περίοδος αποπληρωμής είναι η περίοδος $T_P = T_L + t_r$, όπου T_L είναι η τελευταία περίοδος πριν ισχύσει η ακόλουθη ανισότητα:

$$\sum_{i=1} \left(O_{C,ren}^{(i)} - O_{C,bl}^{(i)} \right) > I_{C,ren}^{(0)}$$

Και

$$t_r = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{T_L} \left(O_{C,ren}^{(i)} - O_{C,bl}^{(i)} \right)}{I_{C,ren}^{(0)}}$$

Όπου

- $I_{C,ren}^{(0)}$ are the initial renovation investment costs
- $O_{C,ren}^{(i)}$ and $O_{C,bl}^{(i)}$ are the renovation and baseline scenarios' operating expenses, respectively.

Οι υπολογισμοί των λειτουργικών εξόδων θα φανούν στο κομμάτι του WLC δείκτη

Χρόνος αποπληρωμής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: Αυτό το KPI αναφέρεται στο χρονικό διάστημα που απαιτείται για την ανάκτηση του κόστους της επένδυσης για την εγκατάσταση μίας συγκεκριμένης γεννήτριας. Ο υπολογισμός του συγκεκριμένου KPI γίνεται όμοια με το προηγούμενο.

Τα δεδομένα που λαμβάνει όμως συμπεριλαμβάνουν [53]:

- Ετήσια λειτουργικά έξοδα για τη γεννήτρια
- Ετήσια αυτοκατανάλωση ενέργειας από τη γεννήτρια
- Ετήσιες εξαγωγές ενέργειας από τη γεννήτρια
- Αρχική επένδυση της γεννήτριας

Υπολογιστική μέθοδος:

Η περίοδος αυτή υπολογίζεται με την ίδια λογική με πριν:

$$\sum_{i=1} O_{C,gen}^{(i)} > I_{C,gen}^{(0)}$$

και

$$t_r = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{T_L} O_{C,gen}^{(i)}}{I_{C,gen}^{(0)}}$$

όπου $I_{C,gen}^{(0)}$ είναι τα initial investment costs for the energy-generating component.

Οι καθαρές ετήσιες λειτουργικές δαπάνες (έσοδα) της γεννήτριας ορίζονται ως:

$$O_{C,gen}^{(i)} = O_{C,gen,E}^{(i)} - O_{C,gen,MN}^{(i)}$$

όπου

- $O_{C,gen,MN}^{(i)}$ are the generator's annual maintenance costs
- $O_{C,gen,E}^{(i)}$ are the generator's net consumption costs (revenues).

Οι καθαρές δαπάνες κατανάλωσης (έσοδα) της γεννήτριας ορίζονται ως:

$$O_{C,gen,E}^{(i)} = SC_{gen}^{(i)} \cdot FC_{el, import}^{(i)} + EX_{gen}^{(i)} \cdot FR_{el, export}^{(i)}$$

όπου

- $SC_{gen}^{(i)}$ is the energy produced by the generator that was self-consumed by the building in year i .
- $FC_{el, import}^{(i)}$ is the (average) cost per kWh of Imported Electricity in year i .
- $EX_{gen}^{(i)}$ is the energy produced by the generator that was exported to the grid in year i ;
- $FR_{el, export}^{(i)}$ is the revenue per kWh of Exported Electricity in year i .

Εξισορροπημένο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας: Αυτό το KPI δείχνει το μέσο κόστος ανά μονάδα ηλεκτρισμού που παράγεται από το κτίριο για τη διάρκεια της ζωής του έργου. Αποτελείται από:

- Κόστη υποδομής (Τα κεφάλαια που χρησιμοποιούνται από μια εταιρεία για την απόκτηση, αναβάθμιση και συντήρηση φυσικών περιουσιακών στοιχείων όπως ακίνητα, εργοστάσια, κτίρια, τεχνολογία ή εξοπλισμό - Capital Expenditure - CAPEX) που προκύπτουν για την προμήθεια ηλεκτρικών γεννητριών
- Λειτουργικά και συντηρητικά κόστη για τις γεννήτριες

- Κόστη καυσίμου που προκύπτουν για την παραγωγή ηλεκτρισμού (εάν το κτίριο διαθέτει γεννήτριες που χρησιμοποιούν καύσιμο).

Ως είσοδο το KPI δέχεται δεδομένα όπως [53]:

- Διάρκεια του έργου
- Κόστος εγκατάστασης γεννήτριας
- Κόστος συντήρησης γεννήτριας
- Χρόνος ζωής γεννήτριας
- Κόστος καυσίμου γεννήτριας
- Εξαγόμενο ρεύμα προς το δίκτυο
- Ποσοστό έκπτωσης

$$LCOE = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{I_{C,GEN}^{(i)} + O_{C,GEN,MN}^{(i)} + O_{C,GEN,NEI}^{(i)}}{(1+r)^i}}{\sum_{i=1}^N \frac{SC^{(i)} + EX^{(i)}}{(1+r)^i}}$$

όπου:

- $I_{C,GEN}^{(i)}$ are the generator infrastructure costs (CAPEX) in year i
- $O_{C,GEN,MN}^{(i)}$ are the annual generator maintenance costs in year i
- $O_{C,GEN,NEI}^{(i)}$ are the costs of fuel used for electricity generation in year i
- $SC^{(i)}$ and $EX^{(i)}$ are respectively the total energy that was self-consumed and exported by the building in year i .
- r is the project discount rate.

Lifecycle Costs (LCC): Αυτό το KPI υπολογίζει τα κόστη που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της διάρκειας ζωής της ανάλυσης. Αυτό το συνολικό περιλαμβάνει [53] [30]:

- Κόστη Υποδομής (CAPEX): Προκύπτουν όταν ένα στοιχείο εγκαθίσταται για πρώτη φορά ή αντικαθίσταται.
- Λειτουργικά Κόστη: Προκύπτουν κατά τη λειτουργία ενός στοιχείου. Περιλαμβάνουν την κατανάλωση καυσίμου / ηλεκτρικής ενέργειας και τα κόστη συντήρησης.
- Υπολειμματικές Αξίες: Αυτά είναι τα κόστη (έσοδα) που ανακτώνται λόγω των υπολειπόμενων αξιών των στοιχείων στο τέλος ενός έργου.

Τα στοιχεία εισόδου είναι τα παρακάτω:

- Διάρκεια του έργου
- Κόστος υποδομής εξαρτημάτων
- Κόστος συντήρησης εξαρτημάτων
- Ζωή εξαρτημάτων

- Λειτουργικές Εισαγωγές Τελικής Ενέργειας

Υπολογιστική μέθοδος

Για τον υπολογισμό αυτού του KPI, χρησιμοποιείται η ακόλουθη εξίσωση:

$$L_C = I_C + \sum_{i=1}^N (O_C^{(i)}) - V_R$$

όπου:

- L_C are the Life-cycle Costs of the Project;
- I_C are the Infrastructure Costs (CAPEX);
- $O_C^{(i)}$ are the Operational Costs of the building's components in year i ;
- V_R is the residual value of the building's components at the end of the Project.

Τα κόστη κατασκευής I_C υπολογίζονται ως εξής:

$$I_C = \sum_{\forall j \in \text{Components}} \sum_{i=0}^N (I_{C,j}^{(i)} \cdot R_j^{(i)})$$

όπου:

- $I_{C,j}^{(i)}$ is the acquisition cost of component j in year i , where year 0 corresponds to the investment at the start of the project;
- $R_j^{(i)}$ is a binary variable, equal to 1 if component j is going to be replaced in i and 0 otherwise.

Οι ετήσιες λειτουργικές δαπάνες που προκύπτουν κατά τη διάρκεια ζωής του έργου (το οποίο υποθέτεται ότι εκτείνεται μόνο στο στάδιο χρήσης) είναι:

$$O_C^{(i)} = O_{C,MN}^{(i)} + O_{C,NEI}^{(i)} + O_{C,EI}^{(i)}$$

όπου:

- $O_{C,MN}^{(i)}$ are the component maintenance costs in year i ;
- $O_{C,NEI}^{(i)}$ are the non-electrical fuel consumption costs in year i ;
- $O_{C,EI}^{(i)}$ are the costs due to electrical consumption in year i .

Οι ετήσιες δαπάνες συντήρησης που προκύπτουν κατά τη διάρκεια ζωής του έργου υπολογίζονται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$O_{C,MN}^{(i)} = \sum_{\forall j \in \text{Components}} O_{C,MN,j}^{(i)}$$

όπου $O_{C,MN,j}^{(i)}$ are the Maintenance costs of component j in year i .

Οι δαπάνες εισαγωγής μη ηλεκτρικών καυσίμων είναι:

$$O_{C,NEI}^{(i)} = \sum_{\forall k \in \text{Fuels}} \left(FI_k^{(i)} \cdot FC_k^{(i)} \right)$$

όπου:

- $FI_k^{(i)}$ are the total Fuel Imports for fuel type k in year i , obtained from energy demand time-series (in kWh);
- $FC_k^{(i)}$ is the average cost per kWh of fuel type k in year i .

Οι ετήσιες δαπάνες εισαγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι.:

$$O_{C,EI}^{(i)} = FI_{el}^{(i)} \cdot FC_{el,import}^{(i)}$$

όπου:

- $FI_{el}^{(i)}$ is the Imported Electricity in year i , obtained from energy demand time-series (in kWh);
- $FC_{el,import}^{(i)}$ is the (average) Cost per kWh of Imported Electricity in year i .

Η υπόλοιπη αξία V_R των στοιχείων είναι το άθροισμα των υπολοίπων αξιών των στοιχείων. Η υπόλοιπη αξία κάθε στοιχείου υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το υπόλοιπο χρόνο ζωής κάθε στοιχείου στο τέλος του έργου, υπολογισμένο με τη γραμμική μέθοδο απόσβεσης, υποθέτοντας ότι το στοιχείο έχει πλήρως αποσβεστεί στο τέλος της ζωής του.

Σε όλες τις ετήσιες τιμές που υπολογίζονται, εφαρμόζεται ένα ποσοστό έκπτωσης. Η εκπτώτικη τιμή των δαπανών που προκύπτουν το έτος i είναι:

$$D^{(i)} = \frac{V^{(i)}}{(1+r)^i}$$

όπου:

- $V^{(i)}$ is the non-discounted value of costs incurred in year i ;
- $D^{(i)}$ is the discounted value of $V^{(i)}$;
- r is the analysis' discount rate.

Whole life Costs (WLC): Αυτό το KPI υπολογίζει τα καθαρά κόστη που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της ζωής του έργου. Αυτό το συνολικό περιλαμβάνει [30] [53]:

- Κόστη Υποδομής (CAPEX): Προκύπτουν όταν ένα στοιχείο εγκαθίσταται για πρώτη φορά ή αντικαθίσταται.
- Λειτουργικά Κόστη: Προκύπτουν κατά τη λειτουργία ενός στοιχείου. Περιλαμβάνουν την κατανάλωση καυσίμου / ηλεκτρικής ενέργειας και τα κόστη συντήρησης.
- Υπολειπόμενες Αξίες: Αυτά είναι τα κόστη (έσοδα) που ανακτώνται λόγω των υπολειπόμενων αξιών των στοιχείων στο τέλος ενός έργου.
- Λειτουργικά Έσοδα: Έσοδα που προκύπτουν λόγω της εξαγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ.

Υπολογιστική μέθοδος

$$L_{WLC} = I_C + \sum_{i=1}^N (O_C^{(i)}) - V_R$$

όπου:

- L_{WLC} are the Life-cycle Costs of the Project (inc. incomes);
- I_C are the Infrastructure Costs (CAPEX);
- $O_C^{(i)}$ are the Operational Costs of the building's components in year i ;
- V_R is the residual value of the building's components at the end of the Project.

Τα κόστη υποδομής I_C :

$$I_C = \sum_{\forall j \in \text{Components}} \sum_{i=0}^N (I_{C,j}^{(i)} \cdot R_j^{(i)})$$

όπου:

- $I_{C,j}^{(i)}$ is the acquisition cost of component j in year i , where year 0 corresponds to the investment at the start of the project;
- $R_j^{(i)}$ is a binary variable, equal to 1 if component j is going to be replaced in i and 0 otherwise.

Οι ετήσιες λειτουργικές δαπάνες που προκύπτουν κατά τη διάρκεια ζωής του έργου (το οποίο υποθέτεται ότι εκτείνεται μόνο στο στάδιο χρήσης) είναι:

$$O_C^{(i)} = O_{C,MN}^{(i)} + O_{C,NEI}^{(i)} + O_{C,E}^{(i)}$$

όπου:

- $O_{C,MN}^{(i)}$ are the component maintenance costs in year i ;
- $O_{C,NEI}^{(i)}$ are the non-electrical fuel consumption costs in year i ;
- $O_{C,E}^{(i)}$ are the net costs (revenues) due to electrical consumption and production in year i .

Οι ετήσιες δαπάνες συντήρησης που προκύπτουν κατά τη διάρκεια ζωής του έργου υπολογίζονται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$O_{C,MN}^{(i)} = \sum_{\forall j \in \text{Components}} O_{C,MN,j}^{(i)}$$

όπου $O_{C,MN,j}^{(i)}$ are the Maintenance costs of component j in year i .

Οι δαπάνες εισαγωγής μη ηλεκτρικών καυσίμων είναι:

$$O_{C,NEI}^{(i)} = \sum_{\forall k \in F_{uels}} \left(F_k^{(i)} \cdot FC_k^{(i)} \right)$$

όπου:

- $FI_k^{(i)}$ are the total Fuel Imports for fuel type k in year i , obtained from energy demand time-series (in kWh);
- $FC_k^{(i)}$ is the average cost per kWh of fuel type k in year i .

Οι ετήσιες καθαρές δαπάνες λόγω ηλεκτρικής κατανάλωσης και παραγωγής είναι:

$$O_{C,E}^{(i)} = O_{C,EI}^{(i)} - O_{IN,E}^{(i)}$$

όπου:

- $O_{C,EI}^{(i)}$ are the costs of imported electricity in year i (inc. access charge, fixed fees, etc);
- $O_{IN,E}^{(i)}$ is the Incomes derived from electricity exports to the grid in year i .

Οι ετήσιες δαπάνες εισαγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι:

$$O_{C,EI}^{(i)} = FI_{el}^{(i)} \cdot FC_{el, import}^{(i)}$$

όπου

- $FI_{el}^{(i)}$ is the Imported Electricity in year i , obtained from energy demand time-series (in kWh);

- $FC_{el, import}^{(i)}$ is the (average) Cost per kWh of Imported Electricity in year i .

Τα ετήσια έσοδα που προέρχονται από τις εξαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας προς το δίκτυο είναι:

$$O_{IN,E}^{(i)} = EX^{(i)} \cdot FR_{el, export}^{(i)}$$

όπου:

- $EX^{(i)}$ is the Exported Electricity in year i , obtained from energy production time-series (in kWh);
- $FR_{el, export}^{(i)}$ is the revenue per kWh of Exported Electricity in year i .

Η υπόλοιπη αξία V_R των στοιχείων είναι το άθροισμα των υπολοίπων αξιών των στοιχείων.

Η υπόλοιπη αξία κάθε στοιχείου υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το υπόλοιπο χρόνο ζωής κάθε στοιχείου στο τέλος του έργου, υπολογισμένο με τη γραμμική μέθοδο απόσβεσης, υποθέτοντας ότι το στοιχείο έχει πλήρως αποσβεστεί στο τέλος της ζωής του.

Σε όλες τις ετήσιες τιμές που υπολογίζονται, εφαρμόζεται ένα ποσοστό έκπτωσης. Η εκπτωτική τιμή των δαπανών που προκύπτουν το έτος i είναι:

$$D^{(i)} = \frac{V^{(i)}}{(1+r)^i}$$

όπου:

- $V^{(i)}$ is the non-discounted value of costs incurred in year i ;
- $D^{(i)}$ is the discounted value of $V^{(i)}$;
- r is the analysis' discount rate.

Το LCC και το WLC όπως ήταν αναμενόμενο υπολογίζονται με τον ίδιο τρόπο με εξαίρεση τα έσοδα που έρχονται παραδείγματος χάριν από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο.

Ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας: Αυτό το KPI ασχολείται με τη συνολική ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας (PE) κατά τη διάρκεια της ανάλυσης. Αυτό περιλαμβάνει [54]:

- Υποδομή (Στάδια Προϊόντος / Κατασκευής): Προκύπτουν όταν ένα στοιχείο εγκαθίσταται για πρώτη φορά.
- Λειτουργικά & Συντηρητικά (Στάδιο Χρήσης): Προκύπτουν κατά τη φάση χρήσης και περιλαμβάνουν τη ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας για συντήρηση (Χρήση / Συντήρηση / Επισκευή / Αντικατάσταση (συμπεριλαμβανομένου του τέλους ζωής των στοιχείων) / Ανακαίνιση) και τη ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας για λειτουργία (ενέργεια που καταναλώνεται ως ηλεκτρισμός ή καύσιμο).

Τα δεδομένα αυτού του KPI είναι τα εξής:

- Περίοδος Ανάλυσης
- Ενσωματωμένη Πρωτογενής Ενέργεια των στοιχείων
- Ζήτηση Πρωτογενούς Ενέργειας για συντήρηση
- Κατανάλωση Ενέργειας κατά τη λειτουργία
- Διάρκεια Ζωής των στοιχείων
- Εισαγωγές Τελικής Ενέργειας στη Λειτουργία
- Αυτοκατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας

Τρόπος υπολογισμού

$$L_{PE} = I_{PE} + \sum_{i=1}^N (O_{PE}^{(i)})$$

όπου:

- L_{PE} is the Lifetime PE Demand of the Project;
- I_{PE} is the Infrastructure (embodied) PE Demand;
- $O_{PE}^{(i)}$ is the Operational PE demand of the building's components.

Η ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας υποδομής (ενσωματωμένη) ορίζεται ως:

$$I_{PE} = \sum_{\forall j \in \text{Components}} I_{PE,j}$$

όπου $I_{PE,j}$ is the PE embodied in component j .

When calculated on the basis of component consumption, the Operational PE Demand is defined as:

$$O_{PE}^{(i)} = \sum_{\forall j \in \text{Components}} FE_j^{(i)} \cdot PEF_{fuel,j} + O_{PE,MN,j}^{(i)}$$

όπου:

- $FE_j^{(i)}$ is the Final Energy consumed by component j in year i , obtained from energy demand timeseries;
- $PEF(i)_{fuel,j}$ is the PE factor associated with the fuel consumed by component j (this can differ depending on the project country and the energy mix), for year i ;
- $O_{PE,MN,j}^{(i)}$ is the maintenance PE demand (inc. replacement & EoL) of component j for year i .

Εκτός εάν παρέχονται συγκεκριμένες τιμές, η ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας συντήρησης υπολογίζεται ως ποσοστό της ενσωματωμένης ενέργειας ενός στοιχείου, ενώ η ζήτηση ενέργειας στο τέλος της ζωής του εξαρτάται από την προγραμματισμένη μοίρα του στο τέλος της χρήσιμης ζωής του. Εάν η ζωή ενός στοιχείου λήγει κατά τη διάρκεια της ανάλυσης και έχει προγραμματιστεί να αντικατασταθεί, η αντίστοιχη ζήτηση ενσωματωμένης πρωτογενούς ενέργειας προστίθεται στη ζήτηση ενέργειας λειτουργίας για αυτό το έτος.

Τα KPIs που παρουσιάστηκαν υπολογίζονται με βάση το πρότυπο Level(s) το οποίο στη συνέχεια βασίζεται στο EN 15459 [55].

Αυτοκατανάλωση: Η ποσότητα ενέργειας που καταναλώνεται από την ενέργεια που παράγεται από τα στοιχεία παραγωγής ηλεκτρισμού (φωτοβολταϊκά και/ή ανεμογεννήτριες)

Απαιτήσεις Δεδομένων και Κατηγορίες εισόδου: Οι βασικές κατηγορίες εισόδου και απαιτήσεις δεδομένων για τον πυρήνα μεθοδολογίας LCA & LCC του VERIFY είναι κρίσιμες για την πραγματοποίηση μιας ολοκληρωμένης περιβαλλοντικής και οικονομικής αξιολόγησης των κτιρίων. Παράγοντες όπως η γεωγραφική περιοχή, η ζώνη κλίματος και οι συγκεκριμένες τεχνικές ιδιότητες των συστατικών των κτιρίων παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάλυση, εξασφαλίζοντας την ακριβή αξιολόγηση και σύγκριση των σεναρίων [48].

- **Γεωγραφική περιοχή:** Καθορίζει τον χωρικό όγκο που καλύπτεται από τις γεωγραφικές συντεταγμένες, επηρεάζοντας την περιβαλλοντική και οικονομική αξιολόγηση βάσει των χαρακτηριστικών της περιοχής.
- **Ζώνη κλίματος:** Υποδεικνύει διάφορα κλιματικά χαρακτηριστικά όπως η ακτινοβολία, η υγρασία και ο άνεμος, επηρεάζοντας τις ενεργειακές πτυχές και τη βιωσιμότητα.
- **Συγκεκριμένες τεχνικές ιδιότητες:** Για μια λεπτομερή ανάλυση των δομικών στοιχείων των κτιρίων και των επιπτώσεών τους κατά τη διάρκεια της ζωής είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη τα δυναμικά στοιχεία και ο πραγματικός χρόνος παραμέτρων κατά τις διαφορές χρονικές κλίμακες.

Ενσωμάτωση με Μηχανές Προσομοίωσης Ενέργειας: Το VERIFY σχεδιάστηκε για να ενσωματώνεται με μηχανές προσομοίωσης ενέργειας, επιτρέποντας μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση ενεργειακών, περιβαλλοντικών και τεχνοοικονομικών πτυχών μέσω της αποτελεσματικής συνδυασμένης χρήσης των μεθοδολογιών LCA και LCCA. Αυτή η ενσωμάτωση ενισχύει τη δυνατότητα του εργαλείου να παρέχει μια ολιστική ανάλυση της απόδοσης των κτιρίων, λαμβάνοντας υπόψη διάφορους παράγοντες όπως η κατανάλωση ενέργειας, ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος και η οικονομική εφικτότητα.

Δυναμική Προσέγγιση LCA: Η δυναμική προσέγγιση LCA του VERIFY ενσωματώνει πληροφορίες σε χρονικό πλαίσιο, βελτιώνοντας την ακρίβεια των αποτελεσμάτων και επιτρέποντας την ανάλυση των μεταβαλλόμενων με το χρόνο επιδράσεων σε σύγκριση με τις παραδοσιακές στατικές μεθόδους LCA. Λαμβάνοντας υπόψη τις χρονικές αλλαγές στο μείγμα ενέργειας, τα αποθέματα εκπομπών, τα προφίλ κατοίκησης και τα μοτίβα κατανάλωσης, το VERIFY προσφέρει μια πιο λεπτομερή και ρεαλιστική αξιολόγηση της απόδοσης των κτιρίων με την πάροδο του χρόνου [48].

Βελτιωμένα Αποτελέσματα LCA: Το VERIFY παρέχει επιλογές λεπτομέρειας δεδομένων που βελτιώνουν σημαντικά την ποιότητα των αποτελεσμάτων αξιολόγησης κύκλου ζωής (LCA). Προσφέροντας πιο λεπτομερή και ακριβή ανάλυση, οι χρήστες μπορούν να αποκτήσουν μια πιο βαθιά κατανόηση των περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων των στοιχείων και τεχνολογιών των κτιρίων. Με αυτές τις επιλογές λεπτομέρειας δεδομένων του VERIFY, οι χρήστες μπορούν να εξετάσουν συγκεκριμένες πτυχές του κύκλου ζωής των περιουσιακών στοιχείων που υπάρχουν στα κτίρια. Αυτή η λεπτομερής ανάλυση επιτρέπει μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας και της οικονομικής αποδοτικότητας, οδηγώντας σε ενημερωμένη λήψη αποφάσεων. Στη συνέχεια, αξιοποιώντας τα παραπάνω, γίνεται δυνατή η εμβάθυνση στην απόδοση κύκλου ζωής των στοιχείων και τεχνολογιών των κτιρίων [48].

Δημιουργία Ηλεκτρικού Σχεδίου με το VERIFY: Το VERIFY διευκολύνει τη δημιουργία προσαρμοσμένων ηλεκτρικών σχεδίων επιτρέποντας την εισαγωγή αρχικών πληροφοριών έργου, πηγών παραγωγής ηλεκτρισμού, τιμών κατανάλωσης και τεχνολογιών αποθήκευσης. Οι χρήστες μπορούν να ορίσουν προφίλ κτιρίων και να επιλέξουν προφίλ ιδιοκτησίας, εξασφαλίζοντας έτσι μια πλήρη εγκατάσταση για την ηλεκτρική πλευρά των έργων.

Ανάπτυξη Θερμικού Σχεδίου: Ένα άλλο χαρακτηριστικό που προσφέρεται είναι η δημιουργία θερμικού σχεδίου. Εδώ ορίζονται οι προδιαγραφές του κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων των χαρακτηριστικών της επιφάνειας του δαπέδου, των εσωτερικών κλιματολογικών προτιμήσεων και των λεπτομερειών των θερμικών στοιχείων. Το VERIFY κατηγοριοποιεί τα θερμικά στοιχεία σε ενεργά και παθητικά, εισάγοντας τεχνικά χαρακτηριστικά για ακριβή θερμική ανάλυση.

Οδηγίες Συνεχούς Εγκατάστασης Έργου: Συνδυάζοντας τα δύο τελευταία χαρακτηριστικά, το VERIFY καθοδηγεί τους χρήστες μέσω της δημιουργίας ηλεκτρικών και θερμικών σχεδίων, προαιρετικών σχεδίων επένδυσης και της τελικής σύνδεσης αυτών των σχεδίων με συγκεκριμένες γεωγραφικές τοποθεσίες. Αυτή η συστηματική προσέγγιση εξασφαλίζει ένα δομημένο προσχέδιο ανάπτυξης έργου που μπορεί να ακολουθηθεί.

Στη συνέχεια θα γίνει μία σύνοψη των σημαντικότερων πλεονεκτημάτων του VERIFY σε σχέση με τον ανταγωνισμό [49]:

- Υποστηρίζει μελέτες για κτίρια, περιοχές και νησιά
- Παρέχει αξιόπιστη και ακριβή λειτουργικότητα για LCC και LCA. Αυτή η λειτουργικότητα υποστηρίζει ένα εργαλείο σχεδιασμού επενδύσεων για την παροχή σημαντικών πληροφοριών σε πολιτικούς και υπεύθυνους αποφάσεων σε ένα μόνο διαδικτυακό εργαλείο
- Υπολογίζει τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και όχι μόνο με εκτιμήσεις. Προσφέρει εξατομικευμένες προτάσεις για ενεργειακή, περιβαλλοντική και οικονομική βιωσιμότητα μέσω αυτοματοποιημένων δυναμικών αναλύσεων κύκλου ζωής και κόστους των συστημάτων/τεχνολογιών ενέργειας σε πραγματικό χρόνο
- Στις εκτιμήσεις σε επίπεδο κτιρίου, η αυτοματοποίηση βασίζεται στη χρήση του Μοντέλου Πληροφοριών του Κτιρίου (Building Information Modeling - BIM) και

περιλαμβάνει δεδομένα ενέργειας, περιβαλλοντικά και τεχνο-οικονομικά. Αυτό επιτρέπει την πολυκριτηριακή αξιολόγηση διαφόρων σεναρίων για το σχεδιασμό ενός νέου συστήματος ενέργειας κτιρίου ή την αναβάθμιση ενός παλιότερου

- Ένας online μηχανισμός προετοιμασίας και αποθήκευσης δεδομένων λύνει κοινά ζητήματα όπως υπολειπόμενα δεδομένα ή κατεστραμμένες βάσεις δεδομένων
- Είναι λογισμικό ανοιχτού κώδικα και διαλειτουργικό λογισμικό και μπορεί να λαμβάνει δεδομένα αυτόματα και σε πραγματικό χρόνο μέσω καναλιών επικοινωνίας
- Προσφέρει φιλική προς τον χρήστη διεπαφή και πλοήγηση, παρέχοντας μια διεπαφή σύρσιμου και απόθεσης (drag-and-drop) για τη δημιουργία μοντέλων κύκλου ζωής των κτιρίων
- Παρέχει τη δυνατότητα εκτίμησης περιβαλλοντικών και οικονομικών Κύριων Δεικτών Απόδοσης (KPIs) για ένα διάστημα έως 50 ετών, λαμβάνοντας υπόψη πραγματικά παρακολουθούμενα αλλά και προβλεπόμενα δεδομένα

Τέλος αναλύονται οι μεγαλύτερες ανάγκες των χρηστών που καλύπτονται με τη βοήθεια του VERIFY [48] [49]:

- Στην αγορά πλέον είναι πολύ σημαντικό να υπακούει μία εταιρεία στους περιβαλλοντικούς κανονισμούς και το VERIFY βοηθάει στην ενίσχυση της εικόνας που εκπέμπει βοηθώντας να παρθούν οι κατάλληλες αποφάσεις. Οι επιχειρήσεις που υιοθετούν πράξεις βιωσιμότητας ενισχύουν την εικόνα τους ως κοινωνικά ευαίσθητες και περιβαλλοντικά υπεύθυνες
- Οι αποφάσεις που αφορούν τις προμήθειες και τον ανεφοδιασμό τους μπορούν να βελτιωθούν μέσω της συμμετοχής πολλαπλών προμηθευτών σε πρωτοβουλίες μείωσης κόστους και επιπτώσεων, καθώς και μέσω της επιλογής του πιο κατάλληλου προϊόντος από τον αντίστοιχο τεχνολογικό κατάλογο
- Σε μία εταιρεία είναι μεγάλης σημασίας να υπάρχει επικοινωνία. Οι ενδιαφερόμενοι φορείς (στην περίπτωση μιας πόλης) ή οι μέτοχοι (στην περίπτωση μιας επιχείρησης) μπορεί να θέτουν ερωτήματα σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός νέου συστήματος ενέργειας, για παράδειγμα το πώς συμβάλλει στην κλιματική αλλαγή. Το VERIFY μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία μιας πλατφόρμας που να επιτρέπει την επικοινωνία θετικών περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών σχετικά με τα προϊόντα προς τους αγοραστές και τους καταναλωτές

Παρακάτω βρίσκονται και κάποιες φωτογραφίες από το VERIFY-B:



14: Η πλατφόρμα VERIFY [56]

Building Basic Information

Name : Test_Bloemwijk ✓

Type : Residential ✓

Lci inventory : Alkmaar ✓

Geographical information

Country : Netherlands ✓

Address name : Neth ✓ **Address number :** 15 ✓ **Postal code :** 14567 ✓

Longitude : 4.462456 ✓ **Latitude :** 51.926517 ✓ **Altitude :** 0.0 ✓

15: Εισαγωγή βασικών στοιχείων κτιρίου [56]

#	Name	Address	Country	Coordinates	Altitude	Type
125	Test_Bloemwijk_Vretos	Neth 15, 14567	Netherlands	4.462456, 51.926517	0.0	Residential

Building area (m2)	Floor height (m)	External wall surface (m2)	Number of floors	Common area surface (m2)	External windows number
100.0	2.7	143.0	1	0.0	1

Temperature summer (°C)	Temperature winter (°C)	Usage hour start	Usage hour end	Average occupancy peak	Average occupancy idle
-	20.0	7:00	23:00	4	1

Scenarios

Test_Bloemwijk (125) baseline

Updated at: 2024-06-07 16:59:04 UTC

This scenario was generated automatically upon the building creation.

View | Edit | Clone

Test_Bloemwijk (125) upgrade

Updated at: 2024-06-07 16:58:44 UTC

View | Edit | Clone | Destroy

Add upgrade Scenario

LCA Analysis

Scenario no 1

Test_Bloemwijk (125) baseline

Submit

Scenario no 2

Test_Bloemwijk (125) upgrade

Leave blank to evaluate only one scenario and skip comparison.

16: Αρχική σελίδα κτιρίου [56]

Annually Operational PE Demand (kWh)

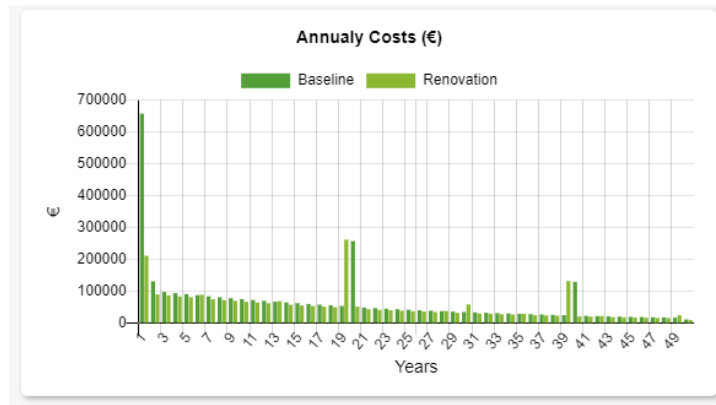
Years	Baseline (kWh)	Renovation (kWh)
1	1400000	1400000
5	500000	500000
10	500000	500000
15	500000	500000
20	500000	500000
25	500000	500000
30	500000	500000
35	500000	500000
40	500000	500000
45	500000	500000
50	500000	500000

Annually Operational GHG Emissions (kgCO2eq)

Years	Baseline (kgCO2eq)	Renovation (kgCO2eq)
1	200000	200000
5	100000	100000
10	100000	100000
15	100000	100000
20	100000	100000
25	100000	100000
30	100000	100000
35	100000	100000
40	100000	100000
45	100000	100000
50	100000	100000

17: Συγκριτική Ανάλυση LCA [56]

61



18: Συγκριτική Ανάλυση LCC [56]

LCA Results			
KPI	Baseline	Renovation	Difference
ⓘ Lifetime Primary Energy Demand (kWh)	27,711,900.8	26,212,496.2	5.4%
ⓘ Lifetime Primary Energy Demand Per Year (kWh)	554,238.0	524,249.9	5.4%
ⓘ Lifetime Primary Energy Demand Per m ² (kWh)	5,218.6	4,936.3	5.4%
ⓘ Lifetime Primary Energy Demand Per Year Square Meter (kWh)	104.4	98.7	5.4%
ⓘ Lifetime Global Warming Potential (kgCO _{2eq} /m ²)	988.8	741.9	25.0%
ⓘ Lifetime Global Warming Potential Per Year (kgCO _{2eq} /m ²)	19.8	14.8	25.0%
GHG emissions payback period ⓘ	6		

19: LCA KPIs [56]

ⓘ Life Cycle Costs (€)	3,219,226.1	2,567,522.7	20.2%
ⓘ Whole Life Costs (€)	3,219,226.1	2,567,522.7	20.2%
Payback time ⓘ	15		

20: LCC KPIs [56]

Generator	Payback time 	Levelized cost of electricity 
pv_62	5	0.148 €/kWh
total		0.148 €/kWh

21: Έξτρα Οικονομικοί Δείκτες [56]

6. A POsitive Energy CITY Transformation Framework – POCITYF

6.1 Συνοπτική Παρουσίαση (Executive Summary)

Οι έξυπνες πόλεις κινούνται προς το μέλλον μέσω της εφαρμογής τεχνολογίας, της αποτελεσματικής χρήσης πόρων και της στενής συνεργασίας με τους πολίτες και τα ενδιαφερόμενα μέρη. Το έργο POCITYF αντιπροσωπεύει αυτήν την φιλοσοφία, ενώνοντας δύο Φάρους πόλεις (Lighthouse Cities - LH), την Έβορα στην Πορτογαλία και το Άλκμααρ στην Ολλανδία, με έξι Φίλες Πόλεις (Fellow Cities - FC) - τη Γρανάδα στην Ισπανία, το Μπάρι στην Ιταλία, το Τσέλιε στη Σλοβενία, την Ούιπεστ στην Ουγγαρία, τα Ιωάννινα στην Ελλάδα και το Χβίντοβρε στη Δανία [57]. Σε συνεργασία, αυτές οι πόλεις εργάζονται πάνω σε τέσσερις Διαδρομές Ενεργειακής Μετάβασης (Energy Transition Tracks - ETTs), με στόχο να υλοποιήσουν τα ξεχωριστά όραματά τους, διατηρώντας ταυτόχρονα την πολιτιστική τους κληρονομιά [58].

Το έργο POCITYF έχει το φιλόδοξο στόχο να ηγηθεί στην ενεργειακή μετάβαση και τη βιωσιμότητα και για αυτό το λόγο επικεντρώνεται στη χρήση καινοτόμων λύσεων και επιχειρηματικών μοντέλων για να επιτύχει θετικά αποτελέσματα στις πόλεις που εμπλέκονται. Από την υιοθέτηση τεχνολογίας έως τη συμμετοχή των πολιτών και των μετόχων, το POCITYF αποσκοπεί στη δημιουργία ενός παραδείγματος ολοκληρωμένης, βιώσιμης αστικής ανάπτυξης [57]. Μέσω στρατηγικών εταιρικών σχέσεων και ενός κοινού οράματος, το έργο αυτό αποσκοπεί στο να προάγει θετική αλλαγή και να διαμορφώσει το μέλλον των έξυπνων πόλεων και κοινοτήτων βασιζόμενο στην ενεργειακή μετάβαση και τη βιωσιμότητα.

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής το POCITYF παίζει πολύ σημαντικό ρόλο καθώς τα κτίρια που θα αναλυθούν είναι κομμάτι του έργου αυτού και βρίσκονται στις LH. Περεταίρω παρουσίαση θα γίνει στο επόμενο κεφάλαιο.

6.2 Στόχοι (Objectives)

Το EIP-SCC (European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities) αποτελεί μια συνεργατική προσπάθεια που αποτελείται από πόλεις, παρόχους τεχνολογίας και πολίτες, με στόχο την βελτίωση της ποιότητας ζωής στις αστικές περιοχές μέσω βιώσιμων λύσεων [59]. Αυτές οι λύσεις περιλαμβάνουν καινοτομία, βελτιωμένο σχεδιασμό, αυξημένη συμμετοχή των πολιτών, ενεργειακή αποδοτικότητα, καλύτερη ένταξη της ηλεκτροκίνησης και έξυπνη χρήση της τεχνολογίας. Για την επίτευξη αυτών των στόχων, το POCITYF έχει ορίσει συγκεκριμένους στόχους [57]:

1. Παρουσίαση λύσεων σε επίπεδο κτιρίου και περιοχής που επιτρέπουν την αύξηση της αυτοκατανάλωσης ενέργειας, της εξοικονόμησης ενέργειας και του υψηλού ποσοστού της τοπικά παραγόμενης ανανεώσιμης ενέργειας οδηγώντας έτσι σε ενεργειακά θετικές για το περιβάλλον περιοχές, χωρίς να εξαιρούνται αυτές που πρέπει να προστατευτεί η πολιτιστική τους κληρονομιά.

2. Η ανάπτυξη λύσεων διαχείρισης και αποθήκευσης ενέργειας "από άτομο σε άτομο - peer to peer (P2P)" αποτελεί προτεραιότητα του έργου POCITYF, με στόχο την προσαρμογή προηγμένων τεχνολογιών για ευέλικτα και αποτελεσματικά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανσης και ψύξης σε διάφορες πόλεις. Χρησιμοποιώντας τεχνολογίες που έχουν ήδη δοκιμαστεί, καθώς και την καινοτόμο διαχείριση ενέργειας P2P, το έργο προσπαθεί να ενσωματώσει παροχές υπηρεσιών, αποθήκευση ενέργειας και διάφορες ανανεώσιμες πηγές, με στόχο τη βελτίωση της ευελιξίας και της βιωσιμότητας του δικτύου.
3. Η ενσωμάτωση ηλεκτροκινητήρων ως εργαλείο για την ευελιξία του δικτύου αποσκοπεί στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των συμβατικών μεταφορών, στην προώθηση της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων και στη δημιουργία νέων επιχειρηματικών ευκαιριών. Ταυτόχρονα, συμβάλλει στον γενικό στόχο του έργου για τη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος του τομέα μεταφορών.
4. Επίδειξη της ενσωμάτωσης της τελευταίας γενιάς λύσεων ICT (Information and Communication Technology) μέσα στις υπάρχουσες πλατφόρμες πόλης μέσω ανοιχτών και τυποποιημένων διεπαφών που επιτρέπουν την ανταλλαγή/παρακολούθηση δεδομένων για την ανάπτυξη νέων καινοτόμων υπηρεσιών.
5. Ενεργή ένταξη των πολιτών στις υπηρεσίες επιτυγχάνεται μέσω της δημιουργίας ενός οικοσυστήματος ανοιχτής καινοτομίας, το οποίο προσκαλεί τους πολίτες να συμμετέχουν στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, στον σχεδιασμό και στην επίλυση προβλημάτων εντός των Έξυπνων Πόλεων. Μέσω της εφαρμογής προηγούμενων δοκιμασμένων τεχνολογιών, βελτιώνονται οι υπάρχουσες υπηρεσίες και αναπτύσσονται νέες, προωθώντας έτσι την ενεργή συμμετοχή των πολιτών και την προώθηση της ανοιχτής καινοτομίας.
6. Σχεδιασμός επιχειρηματικών μοντέλων και ανθεκτικών επενδυτικών σχεδίων που λαμβάνουν υπόψη τον πλήρη κύκλο ζωής των PEDs, και δοκιμές τους για τη μείωση τεχνικών και οικονομικών κινδύνων για τους επενδυτές. Με αυτό τον τρόπο εγγυώνται την αναπαραγωγικότητα σε ευρωπαϊκή κλίμακα.
7. Η ενδυνάμωση των συνδέσμων και της συνεργατικής καινοτομίας με άλλα Έργα Έξυπνων Πόλεων (SCC projects) σε ένα μεγάλο αριθμό κρατών μελών αποτελεί προτεραιότητα για το έργο. Για να διευρυνθεί η επίδρασή του, πραγματοποιείται λεπτομερής σχεδιασμός επικοινωνίας και διάδοσης, συνοδευόμενος από μια στρατηγική συγκεντρωτικής προσέγγισης, προκειμένου να ενθαρρυνθεί η αναπαραγωγή των λύσεων σε επιπλέον πόλεις στην Ευρώπη αλλά και σε άλλα μέρη του κόσμου. Η συνεργασία με υπάρχουσες κοινότητες και έργα του EIP-SCC διευκολύνει τη μεταφορά γνώσεων και την εκτέλεση κοινών δράσεων για την αντιμετώπιση προκλήσεων και την αποτελεσματική ανταλλαγή λύσεων.
8. Πραγματοποιείται μέτρηση, επικύρωση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων επίδειξης μετά από 2 χρόνια μεγάλης κλίμακας επίδειξης σε επίπεδο περιοχής για 2 καινοτόμες Ευρωπαϊκές Πόλεις. Προγραμματίζεται επίσης τριετής περίοδος παρακολούθησης για κάθε λύση, προκειμένου να αξιολογηθούν οι βασικοί δείκτες απόδοσης (KPIs) που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα στάδια και αναπτύσσονται λύσεις που διευκολύνουν τη μετάβαση στην ενέργεια των περιοχών ιστορικής και πολιτιστικής κληρονομιάς. Η

επέκταση αυτής της περιόδου παρακολούθησης αντικατοπτρίζει αποτελεσματικά την ενεργειακή συμπεριφορά μετά την ανακαίνιση. Οι συνεχείς ενημερώσεις των αποτελεσμάτων των KPIs θα αξιολογήσουν τις περιβαλλοντικές, επιχειρηματικές και κοινωνικές επιπτώσεις, με έμφαση στη συμμετοχή των πολιτών.

9. Το έργο POCITYF αντιμετωπίζει την πρόκληση της μετάβασης σε βιώσιμη ενέργεια στις πόλεις διατηρώντας παράλληλα τις ιστορικές αστικές περιοχές. Οι λύσεις που επιλέγονται ενσωματώνουν εγκαταστάσεις πολιτιστικής κληρονομιάς, ξεπερνώντας περιορισμούς και νομικά εμπόδια, για να τις μετατρέψουν σε Περιοχές Θετικής Ενέργειας (PEDs). Στόχος είναι η προαγωγή αυτών των λύσεων σε επίπεδα έτοιμα για την αγορά μέχρι το πέρας του έργου.
10. Για την μέγιστη αξιοποίηση του έργου POCITYF και την αναπαραγωγή των λύσεων του σε πόλεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αναγνωρίζονται σημαντικά ρυθμιστικά εμπόδια και νομικές πτυχές, καθώς και θέματα ασφάλειας και προστασίας δεδομένων. Οι συστάσεις για ένα ευρωπαϊκό νομικό πλαίσιο αντιμετωπίζουν αυτές τις ρυθμιστικές προκλήσεις, ιδίως όσον αφορά τους χώρους πολιτιστικής κληρονομιάς. Συνεπώς, η συνεργασία με ρυθμιστικά όργανα σε εθνικό επίπεδο είναι κρίσιμη για τη διασφάλιση της συμμόρφωσης. Οι εταίροι του έργου πρέπει να εκμεταλλευτούν την εμπειρογνωμοσύνη τους για την αντιμετώπιση τεχνικών θεμάτων ασφαλούς ανταλλαγής δεδομένων και αναλύσεων.

6.3 Energy Transition Tracks – Integrated Solutions

Η στρατηγική του POCITYF βασίζεται σε τέσσερις αλληλεξαρτώμενες «Διαδρομές Ενεργειακής Μετάβασης» (Energy Transition Tracks - ETTs), με στόχο την ενίσχυση της ενσωμάτωσης τόσο των υπαρχόντων όσο και των καινοτόμων ενεργειακών συστημάτων [58] [60]. Γίνεται προσπάθεια οι σημερινές πόλεις να μετατραπούν σε αυτόνομες και περιβαλλοντικά φιλικές για τους κατοίκους. Ο όρος "Διαδρομή Μετάβασης" χρησιμοποιείται για να κατηγοριοποιήσει διάφορες Ολοκληρωμένες Λύσεις (Integrated Solutions - IS) βασισμένες στις κοινές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν. Ο κύριος στόχος είναι η σημαντική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των αστικών περιοχών, ανοίγοντας το δρόμο για την ευρεία υιοθέτηση Θετικών Περιοχών Ενέργειας (PEDs) σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση έως το 2050. Η φιλοδοξία είναι να εδραιωθεί η Ευρώπη ως παγκόσμιος πρωτοπόρος στη δημιουργία αυτοδύναμων, περιβαλλοντικά συνειδητών και πολιτο-κεντρικών αστικών περιβαλλόντων διαβίωσης [60].

Στη συνέχεια ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή των ETTs [58]:

1. Καινοτόμες λύσεις για τα Θετικά Ενεργειακά Κτίρια και περιοχές [61]: Αυτές οι λύσεις στοχεύουν στην επίτευξη σημαντικών εξοικονομήσεων ενέργειας τόσο σε επίπεδο κτιρίου όσο και περιοχής, μειώνοντας το λογαριασμό ενέργειας για τους πολίτες και προωθώντας την τοπική παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας. Οι λύσεις αυτές περιλαμβάνουν την αναβάθμιση των κτιρίων με χαρακτηριστικά όπως υλικά κυκλικής μόνωσης, ηλιακές σκεπές, φωτοβολταϊκά πάνελ, αντλίες θερμότητας και υβριδικά συστήματα αιολικής και ηλιακής ενέργειας. Οι αναβαθμίσεις σε επίπεδο περιοχής περιλαμβάνουν τεχνολογίες όπως η κεντρική θέρμανση και ψύξη, έξυπνα συστήματα

φωτισμού, πλατφόρμες εμπορίας ενέργειας και έξυπνα συστήματα διαχείρισης ενέργειας. Η υλοποίηση αυτών των λύσεων ακολουθεί αρχές κυκλικής οικονομίας, χρησιμοποιώντας ροές αποβλήτων και ενσωματώνοντας εργαλεία διαχείρισης αποβλήτων όπως το σύστημα Pay-As-You-Throw (ένα σύστημα που όπως εξηγεί το όνομα διαφοροποιεί τα έξοδα του κάθε σπιτιού ανάλογα με τα απόβλητα που δημιουργεί).

2. Λύσεις Διαχείρισης και Αποθήκευσης Ενέργειας για την Ευελιξία του Δικτύου [62]: Το δεύτερο κομμάτι στοχεύει στη μεγιστοποίηση της αυτοκατανάλωσης, τη μείωση του φόρτου στο δίκτυο, την αποφυγή της περικοπής του φορτίου και της παραγωγής, καθώς και στην αύξηση της οικονομικής αξίας μέσω υπηρεσιών ευελιξίας προς το δίκτυο. Μερικοί τρόποι υλοποίησης είναι οι παρακάτω:

- Χρήση χαμηλής θερμοκρασίας αποβλήτων θερμότητας και γεωθερμικών πηγών
- Εφαρμογή λύσεων αποθήκευσης μικρής και μεγάλης διάρκειας όπως κυψέλες υδρογόνου και συστήματα αυτοκινήτων-προς-δίκτυο με σταθερές μπαταρίες
- Χρήση συστημάτων συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος (DC) σε συνδυασμό με δίκτυα εναλλασσόμενου ρεύματος (AC)
- Ενσωμάτωση έξυπνης τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών (ICT) για συστήματα διαχείρισης ενέργειας (EMS) σε διάφορα επίπεδα
- Χρήση πλατφορμών διαχείρισης της ζήτησης (Demand Side Management - DSM) για τη βελτιστοποίηση των ενεργειακών ροών
- Εφαρμογή ελεγκτών θερμικού δικτύου
- Προσφορά υπηρεσιών ευελιξίας κτιρίων προσανατολισμένων στην αγορά
- Ανάπτυξη συστημάτων αποθήκευσης συνδεδεμένων σε χαμηλή (LV) και μεσαία τάση (MV)

3. Ενσωμάτωση της ηλεκτροκίνησης (e-Mobility) στο Έξυπνο Δίκτυο και τον Σχεδιασμό της Πόλης [63]: Το τρίτο κομμάτι επικεντρώνεται στην ενσωμάτωση της ηλεκτροκίνησης στο έξυπνο δίκτυο και το σχεδιασμό της πόλης. Στοχεύει στην αντιμετώπιση διαφόρων πτυχών που σχετίζονται με τα ηλεκτρικά οχήματα (EVs) και την επίδρασή τους στο ενεργειακό σύστημα, με έμφαση στην αύξηση της διείσδυσης των EVs που τροφοδοτούνται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (RES) για την υποστήριξη της ευελιξίας του δικτύου και την απομάκρυνση του πεδίου από τον άνθρακα. Γίνεται προσπάθεια για μείωση του κόστους κινητικότητας των πολιτών με την εξάλειψη της χρήσης υγρών ορυκτών καυσίμων και τη βελτίωση της διαχείρισης της κίνησης. Καινοτόμες λύσεις που προτείνονται είναι η χρήση δημοσίων πυλών φωτισμού DC ως σημεία φόρτισης, η εφαρμογή διπλής κατεύθυνσης έξυπνων αντιστροφών, η ανάπτυξη βέλτιστων αλγορίθμων φόρτισης και η εγκατάσταση πλατφορμών διαχείρισης φόρτισης EV. Συνολικά, αυτό το κομμάτι στοχεύει στην αξιοποίηση των τεχνολογιών ηλεκτροκίνησης και των βιώσιμων πρακτικών για τη δημιουργία πιο αποδοτικών και περιβαλλοντικά φιλικών συστημάτων μεταφορών στις αστικές περιοχές.

4. Καινοτομία που οδηγείται από τους Πολίτες στη Συνδημιουργία Έξυπνων Λύσεων για την Πόλη [64]: Το τελευταίο κομμάτι έχει ως κύριο στόχο την ενίσχυση της ποιότητας ζωής των πολιτών και τη βελτίωση της αποδοτικότητας της πόλης. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ενεργού συμμετοχής των πολιτών στα αρχικά στάδια ανάπτυξης, σχεδίασης και αξιολόγησης των λύσεων και των σχετικών υπηρεσιών. Υιοθετείται μια προσέγγιση που βασίζεται στη γρήγορη δοκιμή και αλληλεπίδραση με τους πολίτες, επιτρέποντας άμεση ανατροφοδότηση. Αυτή η επαναληπτική διαδικασία εξασφαλίζει τη συνεχή βελτίωση των λύσεων και των υπηρεσιών. Οι δραστηριότητες αυτές ενθαρρύνουν τους πολίτες να συμμετέχουν στη συνδημιουργία προωθώντας ένα ανοιχτό οικοσύστημα καινοτομίας. Επιπλέον, οι πολίτες ενθαρρύνονται να γίνουν 'παραγωγοί-καταναλωτές'. Καινοτόμες λύσεις περιλαμβάνουν τις P2P συναλλαγές ενέργειας, εφαρμογές πληροφόρησης και ψυχαγωγίας και τη δημιουργία κοινοτήτων ενέργειας με τη χρήση πλατφορμών όπως αυτή της Kimatica.

Κάθε μία από αυτές τις Διαδρομές Ενεργειακής Μετάβασης περιλαμβάνει τις Ολοκληρωμένες Λύσεις του και αυτές φαίνονται παρακάτω:

ETT #1 - Καινοτόμες λύσεις για τα Θετικά Ενεργειακά Κτίρια και περιοχές [61]

Καινοτόμες Λύσεις για αυτόνομα Κτίρια Θετικής Ενέργειας: Περιλαμβάνουν τεχνολογίες όπως φωτοβολταϊκό γυαλί, φωτοβολταϊκές σκιάσεις, διπλής κατεύθυνσης έξυπνους αντιστροφείς, ενεργειακούς δρομολογητές και μπαταρίες κατοικιών δεύτερης ζωής. Αυτές οι λύσεις στοχεύουν στην παραγωγή υπερβολικής ενέργειας που μπορεί να αναδιανεμηθεί σε διασυνδεδεμένα δίκτυα, βελτιώνοντας την ενεργειακή απόδοση και την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας.

Ανακαίνιση των Περιοχών Θετικής Ενέργειας: Περιλαμβάνει στοιχεία όπως έξυπνους φανοστάτες με λειτουργίες φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και 5G, δρομολογητές ενέργειας, έξυπνα συστήματα διαχείρισης διανομής, πλατφόρμες P2P εμπορίας ενέργειας, κοινοτικούς φωτοβολταϊκούς σταθμούς και λύσεις θέρμανσης των περιοχών. Ο εστίαση γίνεται στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και την αύξηση της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας στις περιοχές μέσω προηγμένων λύσεων πληροφορικής και της αποτελεσματικής ροής ενέργειας μεταξύ κτιρίων και του δικτύου διανομής.

Τροφοδοσία των Θετικών Ενεργειακών Περιοχών (PEDs) με Ροές Αποβλήτων: Η Τροφοδοσία των PEDs με Ροές Αποβλήτων στοχεύει στη χρήση ροών αποβλήτων όπως η θερμότητα και τα υλικά από διάφορες πηγές για να ικανοποιηθούν οι ενεργειακές ανάγκες και να μειωθούν τα απόβλητα. Αυτή η λύση υποστηρίζει τη βιομηχανική συμβίωση και τις αρχές της κυκλικής οικονομίας, βελτιώνοντας την ανάπτυξη θετικών ενεργειακών κτιρίων και περιοχών.

ETT #2 - Λύσεις Διαχείρισης και Αποθήκευσης Ενέργειας για την Ευελιξία του Δικτύου [62]

Ευέλικτα και Βιώσιμα Δίκτυα Ηλεκτρικής Ενέργειας με Καινοτόμες Λύσεις Αποθήκευσης: Το ROCIYF παρουσιάζει πρωτοποριακές λύσεις για ευέλικτα και βιώσιμα ηλεκτρικά δίκτυα, με καινοτόμες λύσεις αποθήκευσης όπως μπαταρίες δεύτερης ζωής, ελεγκτές μικρο-δικτύου και

P2P πλατφόρμες εμπορίας ενέργειας. Με τον αυξανόμενο ρόλο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αυτές οι τεχνολογίες στοχεύουν στην αντιμετώπιση του στρες του δικτύου και την ενίσχυση της ευελιξίας, εξασφαλίζοντας αποτελεσματική διαχείριση ενέργειας σε αποκεντρωμένα συστήματα παραγωγής στο επίπεδο των νοικοκυριών και των περιοχών.

Ευέλικτη και Βιώσιμη Θέρμανση/Ψύξη σε Περιοχές με Καινοτόμες Λύσεις Αποθήκευσης Θερμότητας: Περιλαμβάνει τεχνολογίες όπως η κατάψυξη για αποθήκευση, οι υπηρεσίες ευελιξίας κτιρίων με προσανατολισμό στην αγορά και τα χαμηλής θερμοκρασίας θερμοδίκτυα. Το POCITYF στοχεύει στην ενίσχυση της ευελιξίας και της βιωσιμότητας των δικτύων θέρμανσης περιοχών, αξιοποιώντας καινοτόμες τεχνολογίες και εκμεταλλευόμενο την απόρριψη θερμότητας και τη γεωθερμία.

ETT #3 - Ενσωμάτωση της ηλεκτροκίνησης (e-Mobility) στο Έξυπνο Δίκτυο και τον Σχεδιασμό της Πόλης [63]

Έξυπνη Φόρτιση Ηλεκτρικών Οχημάτων με V2G: Το POCITYF στοχεύει να αναδείξει και να αναπαράγει σταθμούς φόρτισης με V2G και έξυπνη τροφοδοσία από ηλιακή ενέργεια, υποστηρίζοντας τη διαχείριση ενέργειας σε επίπεδο περιοχής και προωθώντας περιβαλλοντικά φιλικές λύσεις κινητικότητας. Μέσω της ένταξης έξυπνης διαχείρισης φόρτισης, αυτές οι λύσεις προσφέρουν στους πολίτες μειωμένους λογαριασμούς ενέργειας, αυξημένη άνεση και ασφαλέστερες περιοχές, συνδέοντας τις ETT 1 και 2 ενώ λαμβάνει υπόψιν τις πτυχές της ηλεκτρικής κινητικότητας.

Υπηρεσίες Ηλεκτροκίνησης για τους Πολίτες και Βοηθητικές Τεχνολογίες Ηλεκτρικών Οχημάτων: Μερικές από τις υπηρεσίες και τεχνολογίες είναι η κοινή χρήση ηλεκτρικών οχημάτων, τα υδρογόνο-κίνητα οχήματα και οι ηλιακοί δρόμοι, με στόχο την ενσωμάτωση των V2G ηλεκτρικών οχημάτων στα αστικά συστήματα κινητικότητας, παρουσιάζοντας καινοτόμες τεχνολογίες για την προώθηση καθαρότερης κινητικότητας και τη μείωση του αντίκτυπου στα τοπικά ενεργειακά συστήματα και την παραγωγή ΑΠΕ.

ETT # 4: Καινοτομία που οδηγείται από τους Πολίτες στη Συνδημιουργία Έξυπνων Λύσεων για την Πόλη [64]

Μηχανισμοί Κοινωνικής Καινοτομίας προς Συμμετοχή των Πολιτών: Αυτή η λύση τονίζει την κοινωνική καινοτομία και τη συμμετοχή των πολιτών χρησιμοποιώντας ψηφιακά εργαλεία όπως εφαρμογές στα κινητά (για εκμάθηση ή και διασκέδαση) για να εμπλέκει τους πολίτες στην αλλαγή των συνηθειών της ενέργειας, εξασφαλίζοντας εξατομικευμένες λύσεις. Αυτό είναι εμπνευσμένο από επιτυχημένα έργα όπως ο Πορτογαλικός Ηλεκτρονικός Ιατρικός Φάκελος, με έμφαση στις κοινότητες μειονοτήτων για τη βελτίωση των τοπικών συνηθειών και την προώθηση του βιώσιμου τουρισμού διατηρώντας την πολιτιστική κληρονομιά.

Ανοιχτή Καινοτομία για Πολιτικούς και Διαχειριστές: Εδώ επικεντρώνεται στην ανοιχτή καινοτομία που εμπλέκει τους πολιτικούς και τους διαχειριστές, υπογραμμίζοντας τον καίριο ρόλο τους στην προώθηση της ενεργειακής και κυκλικής μετάβασης των πόλεων. Μέσω του πλαισίου τετραπλής αλυσίδας ήλιου, που περιλαμβάνει βιομηχανία, κυβέρνηση, ιδρύματα γνώσεων και το κοινό, αυτοί οι ενδιαφερόμενοι συνεργάζονται για τη διευκόλυνση των

αναγκαίων διαδικασιών αλλαγής, ιδιαίτερα στην εφαρμογή των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης [65].

Διαλειτουργικό και Διασυνδεδεμένο Αστικό Οικοσύστημα: Η τελευταία λύση επικεντρώνεται στη δημιουργία ενός αλληλεπιδραστικού και διασυνδεδεμένου οικοσυστήματος πόλης μέσω της εφαρμογής διαφόρων τεχνολογικών στοιχείων όπως αστικές πλατφόρμες, συστήματα απόκτησης δεδομένων και πλατφόρμες πληροφοριών πολιτών. Αυτά τα συστήματα όχι μόνο καλύπτουν τις ανάγκες παρακολούθησης αλλά και διευκολύνουν τη μετάβαση σε ένα πιο αποτελεσματικό και δεδομένο περιβάλλον, προωθώντας την ανάπτυξη νέων λύσεων και εργαλείων για την οικονομική βιωσιμότητα και τη συμμετοχή των πολιτών στις έξυπνες πόλεις.

6.4 Lighthouse Cities – Fellow Cities

Οι Πόλεις Φάροι (Lighthouse Cities – LH) είναι οδηγοί αστικές περιοχές που λειτουργούν ως παραδείγματα βέλτιστων πρακτικών και καινοτομίας στο πλαίσιο της ανάπτυξης έξυπνων πόλεων. Αυτές οι πόλεις συνήθως εφαρμόζουν προηγμένες τεχνολογίες, βιώσιμες λύσεις και πρωτοβουλίες που επικεντρώνονται στους πολίτες για να αντιμετωπίσουν τις αστικές προκλήσεις και να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής. Οι Πόλεις Φάροι δρουν ως πρωτοπόροι στην ανάδειξη των οφελών των έξυπνων πόλεων ώστε άλλες πόλεις να ακολουθήσουν το παράδειγμά τους [57].

Στο έργο POCITYF, η Έβορα και το Άλκμααρ έχουν οριστεί ως Πόλεις Φάροι, όπου παρουσιάζουν ολοκληρωμένες λύσεις για τη μετάβαση στην ενέργεια, την ευελιξία του δικτύου, την ενσωμάτωση της ηλεκτροκίνησης και την καινοτομία που οδηγείται από τους πολίτες. Αυτές οι πόλεις παίζουν ένα κρίσιμο ρόλο στο να δείχνουν την αποτελεσματικότητα καινοτόμων προσεγγίσεων και τεχνολογιών στην επίτευξη βιώσιμων στόχων αστικής ανάπτυξης. Η επένδυση για το πρόγραμμα αυτό είναι μεγάλη τόσο για τις τωρινές πόλεις όσο και για το μέλλον του. 40Μ€ ευρώ θα επενδυθούν από τα 2 οικοσυστήματα των LH, ενώ άλλα 350Μ€ θα επενδυθούν στα 6 οικοσυστήματα των FC για την περίοδο 2020 – 2024 [57].

Η Έβορα, που βρίσκεται στην Πορτογαλία, ξεχωρίζει για την ιστορική σημασία και τον πολιτιστικό πλούτο της, με το κέντρο της πόλης να έχει οριστεί ως Μνημείο Παγκόσμιας Κληρονομιάς από την UNESCO. Η έμφαση της Έβορα στην αστική μετάβαση στην ενέργεια περιλαμβάνει μια λεπτομερή ανάλυση των κτιρίων για ανακαίνιση με καινοτόμες λύσεις, τονίζοντας την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην τοπική παραγωγή ενέργειας. Η πόλη στοχεύει στην επίτευξη ισορροπίας μεταξύ των στόχων ενεργειακής απόδοσης και της προστασίας των ιστορικών κτιρίων, δεσμευόμενη στη βιώσιμη ανάπτυξη διατηρώντας τον πλούτο της κληρονομιάς της. Η συμμετοχή της στο έργο POCITYF αναδεικνύει τον ενθουσιασμό της για τη υιοθέτηση της έξυπνης πόλης και τη μετατροπή σε ένα πιο αποδοτικό, υγιές και βιώσιμο αστικό περιβάλλον.

Στο Άλκμααρ, που βρίσκεται στην Ολλανδία, δίνεται έντονη έμφαση στη μετάβαση σε 100% βιώσιμη ενέργεια, ελεύθερη από φυσικό αέριο έως το 2050. Η εστίαση της πόλης στη συμμετοχή των πολιτών, την προσιτότητα και την αλλαγή συμπεριφοράς στη μετάβαση στην ενέργεια υπογραμμίζει τη δέσμευσή της στη συμπεριληπτικότητα (inclusivity) και τη βιώσιμη

ανάπτυξη. Η προσέγγιση του Άλκμααρ περιλαμβάνει την ολοκλήρωση αποκεντρωμένων συστημάτων ανανεώσιμης ενέργειας, τη διαχείριση της απόκρισης της ζήτησης και εργαλεία κοινής χρήσης δεδομένων για αποτελεσματικό αστικό σχεδιασμό και βιώσιμο μετασχηματισμό. Η ιδιαίτερη περιοχή της πόλης, Γουέστραντ, παρουσιάζει μοναδικές προκλήσεις που απαιτούν καινοτόμες λύσεις για την ενεργειακή απόδοση, την ολοκλήρωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη βιώσιμη κινητικότητα. Ο ρόλος του ως Πόλη Φάρος στο έργο POCITYF αποτυπώνει την αφοσίωσή στην πρωτοποριακή πρακτική και την προώθηση της συμμετοχής των πολιτών στο ρόλο διαμόρφωσης ενός πιο ανθεκτικού και ενεργειακά αποδοτικού αστικού τοπίου.

Στη συνέχεια υπάρχουν και οι Φιλικές Πόλεις (Fellow Cities – FC) που συνεργάζονται με τις LH για να μοιραστούν γνώσεις, να συντονίσουν τις προσπάθειές τους και να εργαστούν σε κομβικά σημεία μετάβασης ενέργειας. Αυτές παρουσιάζονται σύντομα παρακάτω. Εννοείται ότι έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά αλλά και διαφορές ανάλογα με το ρόλο που έχει αναλάβει η καθεμία [57]:

Γρανάδα, Ισπανία: Είναι γνωστή για την πλούσια πολιτιστική κληρονομιά και την ιστορική σημασία της, η Γρανάδα φέρνει μια μοναδική οπτική γωνία στο έργο, ειδικά στην ενσωμάτωση έξυπνων λύσεων με τα ιστορικά της κτίρια και μνημεία.

Μπάρι, Ιταλία: Το Μπάρι ξεχωρίζει για τη στρατηγική του τοποθεσία και την εστίασή του στη βιώσιμη αστική ανάπτυξη, ιδιαίτερα στους τομείς της ενεργειακής απόδοσης, της ηλεκτροκίνησης και της συμμετοχής των πολιτών.

Τσέλιε, Σλοβενία: Το Τσέλιε αναγνωρίζεται για τη δέσμευσή του στις πρωτοποριακές προσπάθειες για έξυπνες πόλεις και βιώσιμες πρακτικές, με έμφαση στην ενσωμάτωση συστημάτων ανανεώσιμης ενέργειας και την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης στον αστικό σχεδιασμό.

Ούιπεστ, Ουγγαρία: Η Ούιπεστ ξεχωρίζει για τις καινοτόμες προσεγγίσεις της στην ενσωμάτωση της ηλεκτροκίνησης, τη δυνατότητα ευελιξίας του δικτύου και την καινοτομία που οδηγείται από τους πολίτες, προσφέροντας πολύτιμες εισηγήσεις στο έργο.

Ιωάννινα, Ελλάδα: Τα Ιωάννινα είναι μεγάλης σημασίας για τη βιώσιμη ανάπτυξη και τη μετάβαση στην ενέργεια, τονίζοντας τη σημασία της συμμετοχής των πολιτών, των εργαλείων κοινοποίησης δεδομένων και των ολοκληρωμένων μεθόδων αστικού σχεδιασμού.

Χβίντοβρε, Δανία: Το Χβίντοβρε είναι γνωστό για την έμφασή του στην ενεργειακή απόδοση, τη βιώσιμη κινητικότητα και τις πρακτικές της κυκλικής οικονομίας, κάνοντας σημαντικές συνεισφορές στους στόχους του έργου για έξυπνη και βιώσιμη αστική ανάπτυξη.

Αυτές οι FC παίζουν κρίσιμο ρόλο στο έργο POCITYF προσφέροντας ποικίλες εμπειρίες και οπτικές γωνίες για την ανάπτυξη και την υλοποίηση ολοκληρωμένων έξυπνων λύσεων πόλης. Η συμμετοχή τους ενισχύει τη συνολική επίδραση και επιτυχία του έργου στην προώθηση της βιώσιμης αστικής ανάπτυξης σε διάφορες ευρωπαϊκές πόλεις.

7. Δεδομένα για κάθε κτίριο

7.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα πραγματοποιηθεί μια λεπτομερής επισκόπηση δύο συγκεκριμένων κτιρίων, των Bloemwijk και Woonwaard Highrise, εντός του πλαισίου του προγράμματος POCITYF. Αυτά τα κτίρια έχουν προγραμματιστεί για αναβάθμιση με έμφαση στην ενεργειακή απόδοση και τις ανανεώσιμες πρακτικές. Το Bloemwijk αποτελείται από μια μίξη χαμηλών κατοικιών με διαμερίσματα και σειρές σπιτιών, όπου θα προστεθούν υψηλής ποιότητας μόνωση, ενσωματωμένα ηλιακά πάνελ και λύσεις αποθήκευσης ενέργειας. Από την άλλη, το Woonwaard Highrise είναι ένα μοντέρνο κτίριο που στοχεύει στη θετική ενέργεια, ενσωματώνοντας συστήματα ανανεώσιμης ενέργειας και προηγμένες τεχνικές μόνωσης [66].

7.2 Bloemwijk

Το Bloemwijk είναι μια κατοικημένη περιοχή στο Άλκμααρ που λειτουργεί ως χώρος δοκιμών για καινοτόμες βιώσιμες τεχνολογίες και πρακτικές στο πλαίσιο του έργου POCITYF. Αυτή η γειτονιά υφίσταται σημαντική αναπτυξιακή διαδικασία για να παρουσιάσει διάφορες ενεργειακά αποδοτικές λύσεις και πρωτοβουλίες έξυπνης κινητικότητας. Ο κύριος στόχος του έργου Bloemwijk είναι η δημιουργία μιας βιώσιμης κοινότητας με την ένταξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, προηγμένων τεχνολογιών κτιρίων και επιλογών ηλεκτρικής κινητικότητας. Μέσω της εγκατάστασης ηλιακών πάνελ, συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, τεχνολογίας V2G και έξυπνης υποδομής φόρτισης, το Bloemwijk στοχεύει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, την προώθηση της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων και τη βελτίωση της συνολικής περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Επιπλέον, το έργο επικεντρώνεται στη βελτίωση της



22: Γειτονιά Bloemwijk [67]

ποιότητας του αέρα, τη μείωση των εκπομπών άνθρακα και την προώθηση μιας αίσθησης συμμετοχής και ευαισθητοποίησης της κοινότητας προς βιώσιμες πρακτικές διαβίωσης [68].

Οι συντεταγμένες του μπλοκ κτιρίων Bloemwijk φαίνεται παρακάτω:

Coordinates of Bloemwijk block	
Latitude	52.6333635709082
Longitude	4.73430710264506
Altitude	3.0

3: Συντεταγμένες του μπλοκ Bloemwijk [56]

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων, δηλαδή δημιουργία ουδέτερων ή ακόμη και ενεργειακά θετικών κατοικιών, τα κτίρια θα εξοπλιστούν με υψηλής ποιότητας κυκλική μόνωση με τριπλά τζάμια. Επιπλέον, οι στέγες θα καλυφθούν με φωτοβολταϊκά πάνελ που θα συνδέονται με πολλαπλές ατομικές μπαταρίες. Επιπλέον, το σύστημα V2G με δύο αμφίδρομους φορτιστές θα επιτρέπει την παροχή πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας στις κατοικίες, η οποία θα προέρχεται από την αποθηκευμένη ενέργεια στις μπαταρίες των κοινόχρηστων ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) [66].

Για τις ανάγκες της τρέχουσας ανάλυσης θα εξεταστεί μια αντιπροσωπευτική κατοικία. Το αντιπροσωπευτικό κτίριο που θα εξεταστεί έχει έναν όροφο με συνολικό ύψος ορόφου ίσο με 2,7 μ., ενώ η επιφάνεια του κτιρίου είναι 100 τ.μ. Η συνολική επιφάνεια των εξωτερικών τοίχων είναι 143 τ.μ., και είναι κατασκευασμένη από τούβλο. Δεδομένου ότι θεωρείται ως κατοικία, η χρήση της έχει οριστεί από τις 7:00 μέχρι τις 23:00. Κατά συνέπεια, η μέγιστη μέση πληρότητα είναι ίση με 4, ενώ η μέση πληρότητα σε αδράνεια είναι 1. Η επιθυμητή θερμοκρασία είναι 20°C το χειμώνα, ενώ δεν υπάρχει αντίστοιχο σημείο ρύθμισης για το καλοκαίρι. Η διάρκεια ζωής του έργου έχει οριστεί στα 50 χρόνια και το αρχικό έτος ανάλυσης θεωρείται το 2024.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται μία λεπτομερής περιγραφή του κτιρίου που μελετάται όπως έχουν εισαχθεί στο VERIFY [56]:

Fields	Value
Building Name	Bloemwijk
Building Type	Residential
Project lifespan	50
Floor surface	100m ²
Floor height	2.70m
Number of floors	1
Total external wall surface	143m ²

External wall material	Brick
Target temperature (Winter)	20°C
Target temperature (Summer)	-
Usage hours	00:00-23:00
Occupancy peak (average)	4
Occupancy idle (average)	1

4 Περιγραφή ενός κτιρίου – Bloemwijk [56]

Τα κτίρια του Bloemwijk δε θα αναβαθμιστούν όπως άλλα κτίρια του POCITYF αλλά θα γκρεμιστούν και θα χτιστούν από την αρχή [66]. Για αυτό το λόγο θα εξεταστεί μόνο ένα σενάριο, το baseline. Έτσι, όλα τα στοιχεία αναφέρονται στο βασικό σενάριο και δεν θα γίνει σύγκριση με άλλα σενάρια.

Σε αυτό το κτίριο υπάρχει μόνωση στους εξωτερικούς τοίχους, το δάπεδο και την οροφή. Για τις ανάγκες της τρέχουσας ανάλυσης, οι εξωτερικοί τοίχοι θεωρούνται μονωμένοι με εξηλασμένη πολυστερίνη, ενώ το δάπεδο και η οροφή είναι μονωμένα με κυκλική μόνωση – «polyisocyanuraat (PIR), polyisocyanurate».

Το βασικό σενάριο περιλαμβάνει δύο στοιχεία HVAC, μία αντλία θερμότητας αέρα-αέρα και μία αντλία θερμότητας νερού-νερού. Και τα δύο στοιχεία θεωρείται ότι εγκαταστάθηκαν το 2014, με αναμενόμενη διάρκεια ζωής 20 χρόνια. Το ζεστό νερό χρήσης (DHW) παρέχεται μέσω ενός λέβητα 90 λίτρων, εγκατεστημένου το 2024 με διάρκεια ζωής 20 χρόνια.

Μονοκρυσταλλικά, κεκλιμένα φωτοβολταϊκά πάνελ χρησιμοποιούνται ως γεννήτριες ηλεκτρικής ενέργειας, εγκατεστημένα το 2024 με διάρκεια ζωής 30 χρόνια και εγκατεστημένη ισχύ ίση με 7kW για κάθε κτίριο. Εκτός από τα φωτοβολταϊκά, υπάρχει επίσης μία μπαταρία λιθίου-ιόντων, εγκατεστημένη το 2015 με χωρητικότητα ίση με 7kWh.

Οι παρακάτω πίνακες περιέχουν όλα τα στοιχεία που περιλαμβάνονται στο βασικό σενάριο, μαζί με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά που παρέχονται στην τρέχουσα ανάλυση. Στη στήλη "Component Type", τα στοιχεία που ξεκινούν με "POCITYF" είναι συγκεκριμένα για το έργο, ενώ όλα τα άλλα περιλαμβάνονται στην προεπιλεγμένη βιβλιοθήκη του VERIFY.

Είναι σημαντικό επίσης να αναφερθεί ότι όλα τα νούμερα που παρουσιάζονται έχουν υπολογιστεί μέσω προσομοιώσεων καθώς το project δεν έχει ολοκληρωθεί.

Component Type	Installed UGS	Embodied CO2 (kgCO2-eq)	Embodied Energy (kWh)
POCITYF - Triple layer	14.016m ²	729.687	2778.13
Wood frame (default)	0.292 m ²	-34.900	1674.04
POCITYF - Insulation with circular materials	10 m ³	-72.001	323.931
Extruded polystyrene insulation (default)	22.88 m ³	4.076.800	19451.8

POCITYF - Insulation with circular materials	16 m ³	-115.202	518.290
Copper tank (default)	90lt	326.449	2149.64
Heat pump air2water (default)	6kW	547.933	1926.71
Heat pump water2water (default)	6 kW	1.406.073	6080.1
PV Roof slanted (default)	7kWp	11130.00	46407.4
POCITYF - Battery Li-ion	7kWh	2.581.000	10705.0

Component Type	CAPEX (€)	Maintenance Cost (€)	Installation Year	Lifetime (years)	Annual Degradation ([0-1])
POCITYF - Triple layer	50000.0	250.000	2024	100	0
Wood frame (default)	146.000	0.073	2024	100	0.005
POCITYF - Insulation with circular materials	210982.8	0.000	2024	20	0
Extruded polystyrene insulation (default)	4.461.600	0.000	2024	50	0.02
POCITYF - Insulation with circular materials	210982.8	0.000	2024	20	0
Copper tank (default)	1.039.013	10.390	2024	20	0.02
Heat pump air2water (default)	3.802.500	136.890	2014	20	0.005
Heat pump water2water (default)	4.200.000	306.600	2014	20	0.005
PV Roof slanted (default)	6.720.000	0.000	2024	30	0.005
POCITYF - Battery Li-ion	258865.95	750.711	2015	1	0.005

5: Στοιχεία βασικού σεναρίου με τα χαρακτηριστικά τους [69]

Καθεμία από αυτές τις κατοικίες θεωρείται ότι έχει προφίλ παραγωγού-καταναλωτή (prosumer), καθώς έχουν εγκατεστημένα στοιχεία ΑΠΕ, με μία ενιαία περίοδο τόσο για εισαγωγή όσο και για εξαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Όσον αφορά την τιμολόγηση, θεωρείται μία ενιαία περίοδος τόσο για την εισαγωγή όσο και για την εξαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι τιμές φαίνονται παρακάτω:

Electricity	Price
Import Price	0.475 €/kWh
Buyback Price	0.40 €/kWh
Access Charge	0.001 €/kWh

6: Σχέδιο τιμολόγησης δικτύων στο βασικό σενάριο – Bloemwijk [56]

Το Σταθμισμένο Μέσο Κόστος Κεφαλαίου (Weighted Average Cost of Capital - WACC) έχει θεωρηθεί ότι είναι 4% για το βασικό σενάριο.

7.3 Woonwaard Highrise

Woonwaard Highrise: Το Woonwaard Highrise είναι ένα κτίριο κατοικιών που βρίσκεται στο Άλκμααρ και αποτελεί μέρος του έργου POCITYF, εστιάζοντας στην ενεργειακή απόδοση και τις βιώσιμες λύσεις διαβίωσης. Αυτή η υψηλής ανόδου δομή υφίσταται ανακαίνιση με τη χρήση προηγμένων τεχνολογιών για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Το έργο στοχεύει στη μετατροπή του Woonwaard Highrise σε ένα πρότυπο ενεργειακής απόδοσης σε κατοικίες με την εφαρμογή μέτρων όπως συνδέσεις στο δίκτυο θέρμανσης, ηλιακά πάνελ και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Μέσω της βελτίωσης της μόνωσης, της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της ενσωμάτωσης έξυπνων συστημάτων διαχείρισης ενέργειας, το Woonwaard Highrise επιδιώκει την επίτευξη σημαντικών εξοικονομήσεων ενέργειας, τη μείωση του άνθρακα και την παροχή ενός άνετου και βιώσιμου περιβάλλοντος διαβίωσης για τους κατοίκους του. Ο γενικός στόχος είναι να δείξει πώς τα υπάρχοντα κτίρια μπορούν να αναβαθμιστούν για να πληρούν υψηλά πρότυπα ενεργειακής απόδοσης και να συμβάλουν στη μετάβαση προς μια πιο βιώσιμη αστική ζωή [66] [70].



23: Woonwaard Highrise [70]

Ως προέκταση των παραπάνω έχει προγραμματιστεί να αναπτυχθεί ένα μοντέλο επιχειρηματικής δραστηριότητας για την εμπορία της περισσεύουσας ενέργειας που παράγεται από τα ηλιακά πάνελ, ενισχύοντας την αυτοσυντήρησή του και ταυτόχρονα συνεισφέροντας

στο τοπικό δίκτυο ενέργειας. Επιπλέον, το Woonwaard Highrise θα ενσωματωθεί στο δίκτυο θέρμανσης που λειτουργεί από το συνασπισμό εταίρων HVC (55 από τα προγραμματισμένα 190 διαμερίσματα που θα ολοκληρωθούν μέχρι το 2025 θα συνδεθούν επίσης σε ένα σύστημα θέρμανσης και ψύξης με διασύνδεση), εξασφαλίζοντας αποτελεσματικές λύσεις θέρμανσης και προωθώντας τη συνεργασία εντός του βιώσιμου οικοσυστήματος ενέργειας που όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο είναι ένας από τους στόχους του POCITYF.

Coordinates of Woonwaard Highrise	
Latitude	52.633335
Longitude	4.720004
Altitude	3

7: Συντεταγμένες του Woonwaard Highrise [56]

Για να μειωθεί η απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης, θα εγκατασταθεί υψηλής ποιότητας μόνωση στέγης χρησιμοποιώντας κυκλικά υλικά. Επιπλέον, η στέγη του κτιρίου θα εξοπλιστεί με καινοτόμο ηλιακή στέγη που θα μεγιστοποιεί την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, κάθετα ηλιακά πάνελ θα ενσωματωθούν στη νότια πρόσοψη του κτιρίου για να συμπληρώσουν την ενδεχομένως αυξημένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας [69].

Υπολογίζεται ότι το καθένα από τα 130 διαμερίσματα θα καταναλώνει 1,5 MWh/έτος – ή 195 MWh συνολικά. Επιπλέον, αναμένεται ότι 205 MWh θα παραχθούν από την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στη στέγη και περίπου 70 MWh από τα φωτοβολταϊκά πάνελ στην πρόσοψη με συνολική επιφάνεια 550 τ.μ. Η συνολική επιφάνεια της περιοχής παρέμβασης για αυτήν την περίπτωση είναι 8.000 τ.μ.

Η συνολική επιφάνεια του κτιρίου είναι 923 τ.μ., ενώ η επιφάνεια των εξωτερικών τοίχων είναι 1.816 τ.μ. και είναι κατασκευασμένη από τούβλα. Κάθε όροφος έχει ύψος ίσο με 2,8 μ., και ο συνολικός αριθμός των ορόφων είναι 11 – συμπεριλαμβανομένου του υπογείου. Δεδομένου ότι αναφερόμαστε σε κατοικία, οι ώρες χρήσης έχουν οριστεί από τις 17:00 μέχρι τις 23:00 και η μέγιστη μέση πληρότητα και αδράνεια είναι αντίστοιχα 30 και 5. Το επιθυμητό σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας έχει οριστεί στους 21°C για το χειμώνα.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται μία λεπτομερής περιγραφή του κτιρίου όπως έχουν εισαχθεί στο VERIFY:

Fields	Value
Building Name	Woonwaard-Highrise
Building Type	Residential
Project Lifespan	50
Floor surface	923m ²
Floor height	2.7m
Number of floors	11
Total external wall surface	1816m ²

External wall material	Bricks
Target temperature (Winter)	21°C
Target temperature (Summer)	-
Usage hours	17:00-23:00
Occupancy peak (average)	30
Occupancy idle (average)	5

8: Περιγραφή του κτιρίου – Woonwaard Highrise [56]

Σε αυτό το κτίριο, θα εξεταστούν τόσο το βασικό σενάριο όσο και το αναβαθμισμένο σενάριο και θα συγκριθούν προκειμένου να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την προγραμματισμένη επένδυση.

7.3.1 Βασικό Σενάριο

Τα στοιχεία του βασικού σεναρίου φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Component Type	Installed UGS	Embodied CO2 (kgCO2-eq)	Embodied Energy (kWh)
Double / Float 4 - 16 - 4 (air)	17151.12m ²	571.475.318	7.806.846.802
PVC frame (default)	390.32 m ²	110.905.525	2165105.04
Stone wool insulation (default)	84.56 m ³	3.518.787	13.184.086
Stone wool insulation (default)	15.2 m ³	632.516	2.369.892
Stone wool insulation (default)	15.2 m ³	632.516	2.369.892
Stone wool insulation (default)	84.56 m ³	3.518.787	13.184.086
Expanded polystyrene insulation (default)	41.535 m ³	6230.25	148.848.149
Extruded polystyrene insulation (default)	73.84 m ³	13.156.945	62.776.431
Copper tank (default)	1500.lt	5.440.809	35827.3
Natural ventilation (default)	1.kw	0	0
Boiler natural gas (default)	510.kW	23154.	89.533.333

Component Type	CAPEX (€)	Maintenance Cost (€)	Installation Year	Lifetime (years)	Annual Degradation (I0-1)
Double / Float 4 - 16 - 4 (air)	666988	333.494	2008	40	0.005
PVC frame (default)	33957.84	16.979	2008	30	0.005
Stone wool insulation (default)	4058.88	0	1998	50	0.01
Stone wool insulation (default)	729.6	0	1998	50	0.01
Stone wool insulation (default)	729.6	0	1998	50	0.01
Stone wool insulation (default)	4058.88	0	1998	50	0.01
Expanded polystyrene insulation (default)	11214.45	0	1998	50	0.02
Extruded polystyrene insulation (default)	14398.8	0	1998	50	0.02
Copper tank (default)	3.201.552	32.016	2013	20	0.02
Natural ventilation (default)	0	0	1998	999	0.02
Boiler natural gas (default)	159160.8	10.440.948	2013	20	0.005

9: Στοιχεία βασικού σεναρίου με τα χαρακτηριστικά τους [69]

Στο βασικό σενάριο υπάρχουν 7 μονωτικά στοιχεία, συγκεκριμένα μόνωση για κάθε μία από τις τέσσερις κατευθύνσεις του κτιρίου, δύο για την οροφή και το δάπεδο, και τζάμια με το πλαίσιο τους. Συγκεκριμένα, οι βόρειοι και νότιοι τοίχοι θεωρείται ότι έχουν την ίδια επιφάνεια και το ίδιο πάχος μόνωσης. Το ίδιο ισχύει και για τους ανατολικούς και δυτικούς τοίχους. Το μονωτικό υλικό σε όλους τους τοίχους είναι ορυκτοβάμβακας. Από την άλλη πλευρά, το μονωτικό υλικό για την οροφή είναι εξηλασμένη πολυστερίνη και για το δάπεδο είναι διογκωμένη πολυστερίνη, με πάχος μόνωσης 80 και 45 χιλιοστά, αντίστοιχα.

Τα στοιχεία HVAC για το βασικό σενάριο περιλαμβάνουν 6 λέβητες φυσικού αερίου για θέρμανση και φυσικό αερισμό. Τα στοιχεία για το ζεστό νερό χρήσης (DHW) περιλαμβάνουν τρεις δεξαμενές αποθήκευσης (χαλκού) συνολικής χωρητικότητας 1500 λίτρων, σε συνδυασμό με δύο από τους λέβητες φυσικού αερίου.

Η συνολική ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας εκτιμήθηκε να είναι 251.052 kWh. Στο βασικό σενάριο δεν υπάρχουν στοιχεία ΑΠΕ, και το προφίλ του ιδιοκτήτη συνεπώς ορίζεται ως καταναλωτής. Όσον αφορά την τιμολόγηση, θεωρείται μία ενιαία περίοδος τόσο για την ηλεκτρική ενέργεια όσο και για το φυσικό αέριο, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Total Annual Electrical Consumption	251,052 kWh
Hourly period	00:00-23:00
Electricity pricing	0.34
Natural gas pricing	0.131

10: Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και σχέδιο τιμολόγησης δικτύων στο βασικό σενάριο – Woonwaard Highrise [69]

7.3.2 Αναβαθμισμένο Σενάριο

Στο αναβαθμισμένο σενάριο έχουμε τα παρακάτω στοιχεία:

Component Type	Installed UGS	Embodied CO2 (kgCO2-eq)	Embodied Energy (kWh)
Double / Float 4 - 16 - 4 (air)	17151.1 m ²	571475.32	7806846.80
PVC frame (default)	390.32 m ²	110905.53	2165105.04
Stone wool insulation (default)	84.56 m ³	3.518.787	13.184.086
Stone wool insulation (default)	84.56 m ³	3.518.787	13.184.086
Stone wool insulation (default)	15.2 m ³	632.516	2.369.892
Extruded polystyrene insulation (default)	73.84 m ³	13.156.945	62.776.431
Polyurethane insulation (default)	73.84 m ³	11.432.469	70.727.969
Stone wool insulation (default)	15.2 m ³	632.516	2.369.892
Expanded polystyrene insulation (default)	41.535 m ³	6230.25	148.848.149
Copper tank (default)	1500.lt	5.440.809	35827.3
Natural ventilation (default)	1kW	0	0
Boiler natural gas (default)	510kW	23154.	89.533.333
PV Roof flat (default)	152.87kWp	389308.93	1726864.82
PV Facade (default)	75.05kWp	178368.83	778296.3
PV Facade (default)	82.16kWp	195.266.933	852029.63

Li-ion LFP (default)	65.kWh	3.141.667	10156.25
-----------------------------	--------	-----------	----------

Component Type	CAPEX (€)	Maintenance Cost (€)	Installation Year	Lifetime (years)	Annual Degradation ([0-1])
Double / Float 4 - 16 - 4 (air)	666988	333.494	2008	40	0.005
PVC frame (default)	33957.84	16.979	2008	30	0.005
Stone wool insulation (default)	4058.88	0	1998	50	0.01
Stone wool insulation (default)	4058.88	0	1998	50	0.01
Stone wool insulation (default)	729.6	0	1998	50	0.01
Extruded polystyrene insulation (default)	14398.8	0	1998	50	0.02
Polyurethane insulation (default)	5814.9	0	2024	100	0.02
Stone wool insulation (default)	729.6	0	1998	50	0.01
Expanded polystyrene insulation (default)	11214.45	0	1998	50	0.02
Copper tank (default)	3.201.552	32.016	2013	20	0.02

Natural ventilation (default)	0	0	1998	999	0.02
Boiler natural gas (default)	159160.8	10.440.948	2013	20	0.005
PV Roof flat (default)	172353.29	2.447.417	2024	30	0.005
PV Facade (default)	97.598.773	1.463.982	2024	30	0.005
PV Facade (default)	106844.98	1.602.675	2024	30	0.005
Li-ion LFP (default)	29900.	299	2024	15	0

11: Στοιχεία αναβαθμισμένου σεναρίου με τα χαρακτηριστικά τους [69]

Στο αναβαθμισμένο σενάριο, υπάρχει ένα επιπλέον στρώμα μόνωσης που εγκαθίσταται στην οροφή. Το υλικό του είναι πολυουρεθάνη και το πάχος του είναι ίσο με 80 χιλιοστά. Τα στοιχεία HVAC, DHW και αερισμού παραμένουν όπως στο βασικό σενάριο, αλλά στο αναβαθμισμένο σενάριο εγκαθίστανται στοιχεία ΑΠΕ, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Τρεις τύποι φωτοβολταϊκών πάνελ εγκαθίστανται, δύο από αυτά στην πρόσοψη και το τρίτο στη στέγη. Το υλικό για όλα τα πάνελ είναι μονοκρυσταλλικό, και ο βαθμός απόδοσής τους είναι ίσος με 20,2%. Μερικά από τα πάνελ εγκαθίστανται στη νότια πλευρά, ενώ τα υπόλοιπα εγκαθίστανται εξίσου στην ανατολική και δυτική πλευρά. Σε συνδυασμό με τα φωτοβολταϊκά πάνελ, προβλέπεται μια μπαταρία λιθίου-ιόντων με χωρητικότητα 65 kWh και αρχική κατάσταση υγείας και αντικατάστασης υγείας ίση με 100% και 20%, αντίστοιχα [69].

Η συνολική ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας θεωρείται η ίδια όπως στο βασικό σενάριο (251.052 kWh). Η τιμολόγηση του δικτύου παραμένει η ίδια όπως στο βασικό σενάριο για την εισαγωγή, ενώ για την εξαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τις νέες ΑΠΕ, θεωρείται ότι υπάρχει μία περίοδος τιμολόγησης, που φαίνεται παρακάτω:

Hourly period	Electricity pricing (export)
00:00-23:00	0.31

12: Σχέδιο τιμολόγησης ηλεκτρικής ενέργειας στο αναβαθμισμένο σενάριο [69]

Το WACC έχει θεωρηθεί ότι είναι 4% για το βασικό και το αναβαθμισμένο σενάριο.

8. Παρουσίαση αποτελεσμάτων

8.1 Bloemwijk

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε βάσει προσομοιωμένων χρονοσειρών που εξήχθησαν από το λογισμικό Intema. Οι χρονοσειρές ξεκινούν στις 2024-01-01, 00:00 και εκτείνονται σε όλο το εύρος της ανάλυσης (50 χρόνια) με ωριαία βήματα [56].

Μετά την ολοκλήρωση της ανάλυσης, τα αποτελέσματα για το βασικό σενάριο παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

KPI	Value
Lifetime Primary Energy Demand	1,166,898.9
Lifetime Primary Energy Demand per Year	23,337.98
Lifetime Primary Energy Demand per m ²	11,668.99
Lifetime Primary Energy Demand per Year per m ²	233.38
Lifetime Global Warming Potential	714.3
Lifetime Global Warming Potential per Year	14.29
Life Cycle Costs	1,774,333
Whole Life Costs	1,771,736
Payback Time	3
Levelized Cost of Electricity	0.083

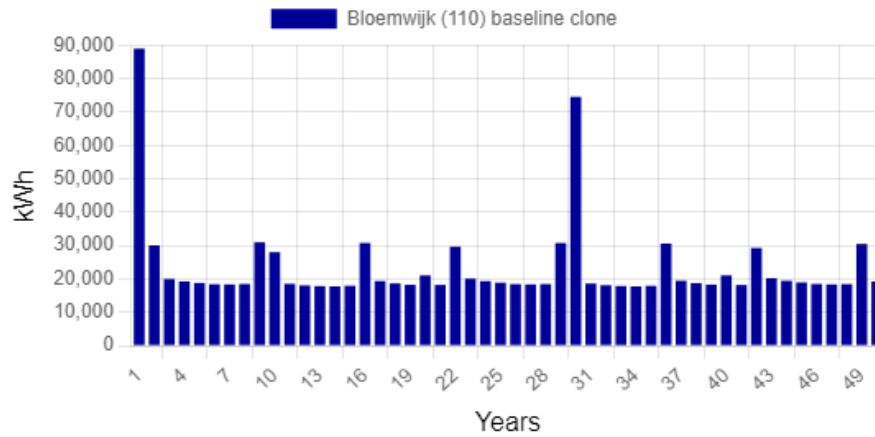
13: Αποτελέσματα – Δείκτες KPI του LCA/LCC μετά την ανάλυση στο εργαλείο VERIFY για το Bloemwijk [56]

Οι δύο τελευταίες γραμμές του παραπάνω πίνακα αναφέρονται στις ΑΠΕ που περιλαμβάνονται στο σενάριο. Για το συγκεκριμένο σενάριο, περιλαμβάνονται μόνο τα φωτοβολταϊκά πάνελ.

Επιπλέον, παρακάτω φαίνονται διαγράμματα της Ετήσιας Ζήτησης Λειτουργικής Πρωτογενούς Ενέργειας, των Ετήσιων Λειτουργικών Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου (GHG) και των Ετήσιων Κοστών.



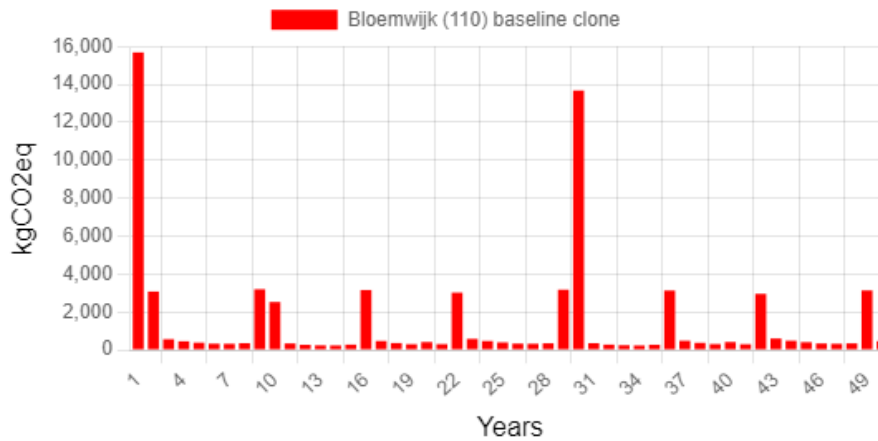
Annual Operational Lifetime PE Demand (kWh)



24: Ετήσια Ζήτηση Πρωτογενούς Ενέργειας – Bloemwijk [56]



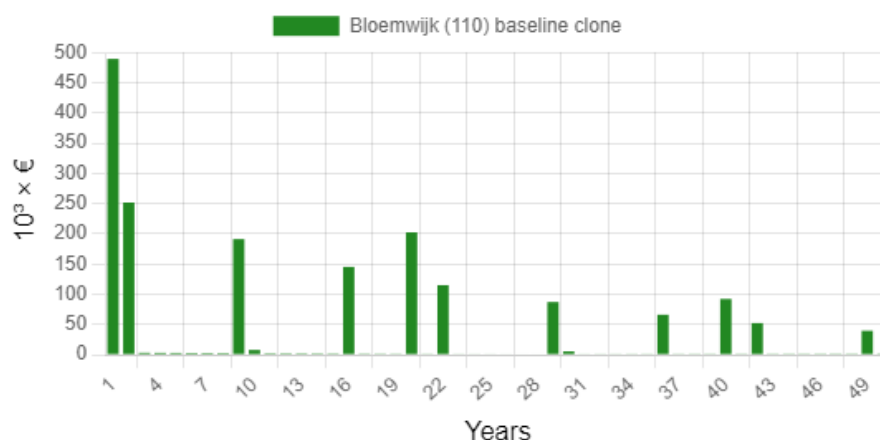
Annual Operational GHG Emissions (kgCO₂eq)



25: Ετήσιες λειτουργικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου – Bloemwijk [56]



Annual Costs (€)



26: Ετήσια Κόστη – Bloemwijk [56]

Στο τρίτο σχήμα, πέρα από το έτος 1, το οποίο είναι το έτος εγκατάστασης για τα περισσότερα από τα στοιχεία, υπάρχει επίσης μια σημαντική αιχμή στο έτος 30, που έχει οριστεί ως το έτος αντικατάστασης για τα φωτοβολταϊκά πάνελ στη στέγη. Μικρότερες αιχμές παρατηρούνται στα έτη 20 και 40, που είναι τα έτη αντικατάστασης για τις δεξαμενές χαλκού και τη μόνωση με κυκλικά υλικά.

Επιπλέον, εντοπίζονται αιχμές στα έτη 10, 30 και 50. Αυτά είναι τα έτη αντικατάστασης για τους δύο τύπους αντλιών θερμότητας, καθώς το έτος εγκατάστασής τους θεωρείται το 2014 και η διάρκεια ζωής τους είναι 20 χρόνια.

8.2 Woonwaard Highrise

Η ανάλυση και σε αυτό το σενάριο πραγματοποιήθηκε βάσει προσομοιωμένων χρονοσειρών που εξήχθησαν από το λογισμικό Intema. Οι χρονοσειρές ξεκινούν στις 2024-01-01, 00:00 και εκτείνονται σε όλο το εύρος της ανάλυσης (50 χρόνια) με ωριαία βήματα.

Μετά την ολοκλήρωση της ανάλυσης, τα αποτελέσματα τόσο για το βασικό όσο και για το σενάριο ανακαίνισης παρουσιάζονται παρακάτω:

KPI	Value		Difference
	Baseline	Rennovation	
Lifetime Primary Energy Demand	65,451,109	62,866,303	3.95%
Lifetime Primary Energy Demand per Year	1,309,022	1,257,326	
Lifetime Primary Energy Demand per m ²	6,446.48	6,191.89	

Lifetime Primary Energy Demand per Year per m²	128.93	123.84	
Lifetime Global Warming Potential	1,191.43	454.7	61.84%
Lifetime Global Warming Potential per Year	23.83	9.09	
Life Cycle Costs	4,139,682	4,139,132	0.01%
Whole Life Costs	4,139,682	3,559,322	14.02%

14: Αποτελέσματα – Δείκτες KPI του LCA/LCC μετά την ανάλυση στο εργαλείο VERIFY για το Woonwaard Highrise [56]

Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται δύο ακόμη KPIs για την LCA. Ο πρώτος είναι η περίοδος απόσβεσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG emissions payback period) και ο δεύτερος δείκτης είναι η απόσβεση (Payback).

GHG emissions payback period	4
Payback time	9

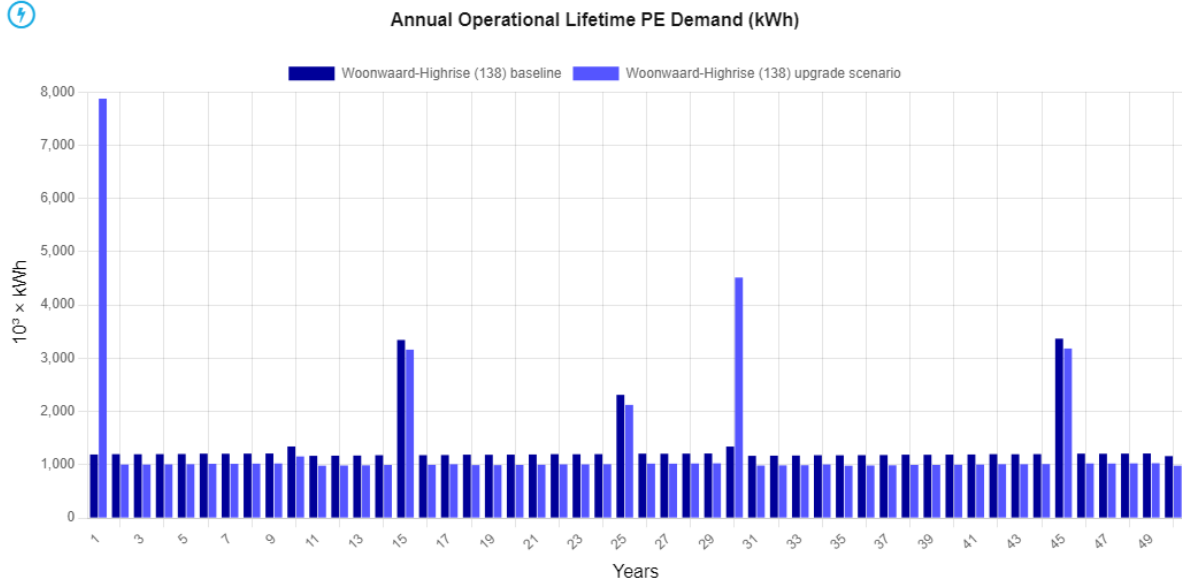
15: Δείκτες KPI της περιόδου αποπληρωμής του LCA για το Woonwaard Highrise [56]

Όσον αφορά τα KPIs που σχετίζονται με το LCC για τις γεννήτριες που εγκαταστάθηκαν στο σενάριο ανακαίνισης, προκύπτουν τα παρακάτω:

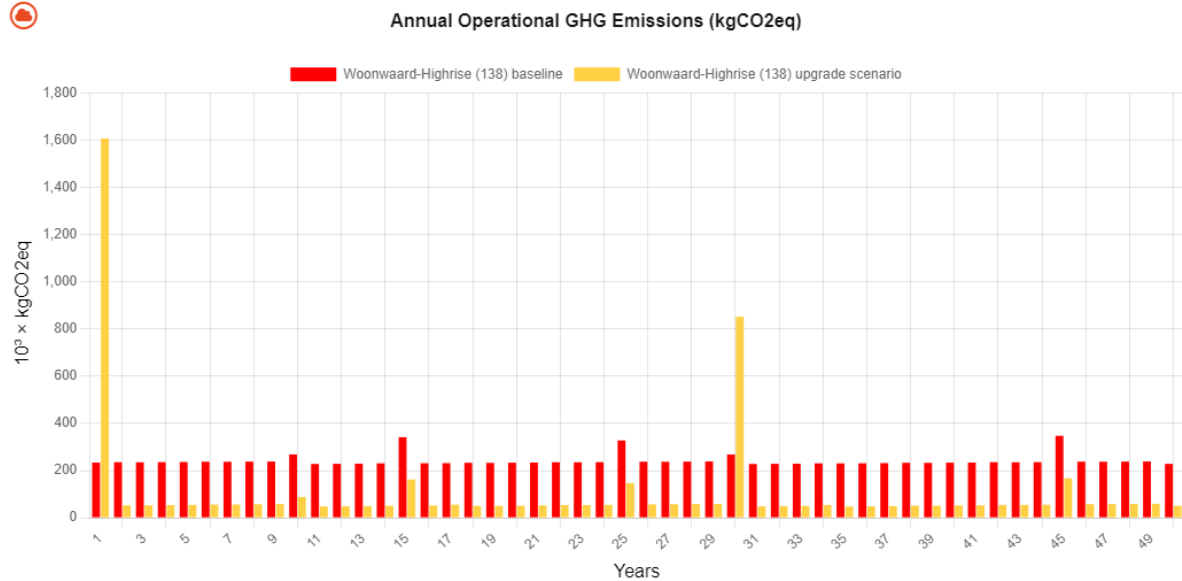
Generator	Payback time	Levelized cost of electricity
pv_55	2	0.076€/kWh
pv_56	2	0.095€/kWh
pv_57	2	0.095€/kWh
total		0.085€/kWh

16: Δείκτες KPI για τις γεννήτριες του αναβαθμισμένου σεναρίου – Woonwaard Highrise [56]

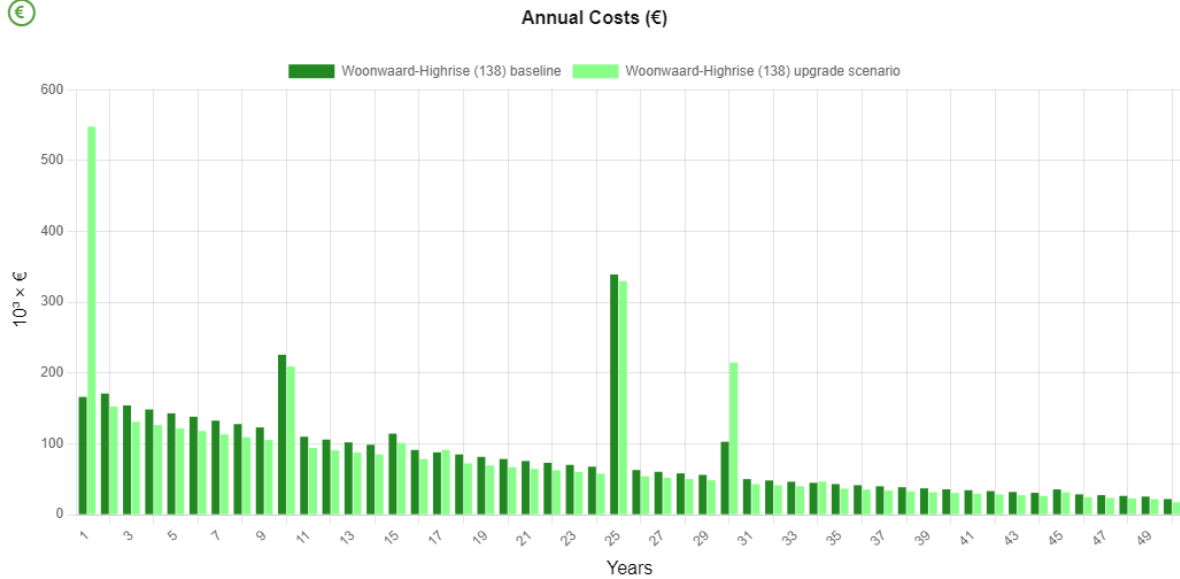
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν και για το Bloemwijk. Επιπλέον, σε αυτά τα σχήματα παρουσιάζεται μια σύγκριση μεταξύ του βασικού και του αναβαθμισμένου σεναρίου:



28: Ετήσια Ζήτηση Πρωτογενούς Ενέργειας – Woonwaard Highrise [56]



27: Ετήσιες λειτουργικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου — Woonwaard Highrise [56]



29: Ετήσια Κόστη — Woonwaard Highrise [56]

Όπως φαίνεται σε αυτά τα σχήματα, για το βασικό σενάριο η πρώτη αιχμή εμφανίζεται στο έτος 10, το οποίο είναι το έτος αντικατάστασης για τις δεξαμενές χαλκού και τους λέβητες φυσικού αερίου. Οι δεξαμενές χαλκού και οι λέβητες θα αντικατασταθούν επίσης στο έτος 30, δεδομένου ότι η διάρκεια ζωής τους είναι 20 χρόνια και το αρχικό έτος εγκατάστασης και για τα δύο ορίστηκε το 2013.

Το έτος 15 είναι το έτος αντικατάστασης για τα πλαίσια PVC των τζαμιών, τα οποία εγκαταστάθηκαν αρχικά το 2008 με αναμενόμενη διάρκεια ζωής 30 χρόνια. Το ίδιο ισχύει και για το έτος 45. Το έτος 25 είναι το έτος αντικατάστασης για τα τριπλά τζάμια.

Όσον αφορά το σενάριο ανακαίνισης, οι παρατηρούμενες αιχμές συμφωνούν με το βασικό σενάριο, εκτός από το έτος 30, όπου παρατηρείται μια σημαντική αιχμή. Αυτό οφείλεται στην αντικατάσταση όλων των φωτοβολταϊκών πάνελ και των μπαταριών, με αναμενόμενη διάρκεια ζωής 30 και 15 χρόνια αντίστοιχα, και έτος εγκατάστασης το 2024.

Όπως φαίνεται τόσο από την προσωμοίωση αλλά και τα διαγράμματα, το αναβαθμισμένο σενάριο είναι βελτιωμένο σε κάθε πτυχή που εξετάζεται αλλά η μεγαλύτερη διαφορά παρατηρείται στο LGWP αλλά και το WLC.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν κάποιες χρονοσειρές που έχουν εξαχθεί από το VERIFY για μία τυχαία ημέρα και ώρα του χειμώνα αλλά και μία του καλοκαιριού.

Baseline Scenario

timestamp	boiler_nat_gas	water_storage_nat_gas	total_electrical_consumption
26/1/2023 - 13:00	91,69890656	2,718661892	29,70085395
12/7/2023 - 21:00	58,42399793	5,826442069	42,80309791

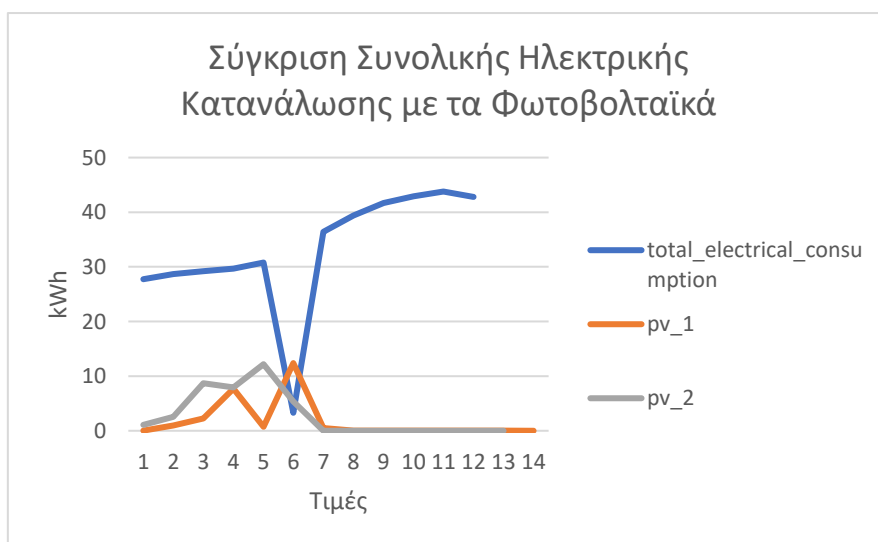
17: Χρονοσειρές βασικού σεναρίου – Woonwaard Highrise [56]

Upgrade Scenario

timestamp	boiler_nat_gas	Battery	PV_facade	PV_rooflat	water_storage_nat_gas	total_electrical_consumption
26/1/2023 - 13:00	88,71345892	5,35603	6,50087	5,79238	2,719	29,700854
12/7/2023 - 21:00	57,10779261	12,34349	0,00295	0,00287	5,827	42,803098

18: Χρονοσειρές αναβαθμισμένου σεναρίου - Woonwaard Highrise [56]

Από αυτές μπορούμε να δούμε ότι σε μία τυχαία ημέρα και ώρα η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι η ίδια. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τις χρονοσειρές που εξάγονται από το VERIFY. Όμως στο σενάριο ανακαίνισης, η εγκατάσταση PV συστημάτων βελτιώνει το ενεργειακό μείγμα που χρησιμοποιεί το κτίριο. Έτσι, για την ίδια κατανάλωση ενέργειας, επιτυγχάνουμε μείωση των εκπομπών CO_2 και του κόστους. Οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



30: Σύγκριση Συνολικής Ηλεκτρικής Κατανάλωσης με τα Φωτοβολταϊκά [56]

9. Επίλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώθηκε στην περιβαλλοντική αξιολόγηση και την Ανάλυση Κύκλου Ζωής των τεχνολογιών που σχετίζονται με την ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων, χρησιμοποιώντας υπολογιστικά εργαλεία που βασίζονται σε μετρήσεις πραγματικού χρόνου. Κατά τη διάρκεια της μελέτης, εξετάστηκαν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τα οικονομικά κόστη διαφόρων σεναρίων ενεργειακής αναβάθμισης, με σκοπό την ανάδειξη των πλέον βιώσιμων λύσεων.

Μέσα από την ανάλυση αυτή, καταδείχθηκε η σημασία της ενσωμάτωσης πραγματικών δεδομένων και η ανάγκη για ακριβή υπολογισμό των περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων των ενεργειακών επεμβάσεων. Οι αναλύσεις LCA και LCC, όπως παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν στην εργασία, προσφέρουν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την αξιολόγηση των ενεργειακών συστημάτων και των κτιριακών αναβαθμίσεων, παρέχοντας τη δυνατότητα για πληρέστερη κατανόηση των αποτελεσμάτων τους.

Η παρούσα εργασία προτείνει τη συνέχιση της έρευνας και της ανάπτυξης εργαλείων που θα διευκολύνουν την παρακολούθηση και την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης σε πραγματικό χρόνο. Η συνεχής βελτίωση των μεθόδων ανάλυσης και η ενσωμάτωσή τους σε ευρύτερες στρατηγικές πολιτικής θα είναι καθοριστικής σημασίας για την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης και την επίτευξη των στόχων μείωσης των εκπομπών CO₂, συμβάλλοντας έτσι στην προστασία του περιβάλλοντος και την οικονομική ευημερία.

Επιπλέον, η χρήση της πλατφόρμας VERIFY αποτέλεσε ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία της εργασίας, χρησιμοποιώντας τη δυνατότητα δυναμικής αξιολόγησης σε πραγματικό χρόνο και υπογραμμίζοντας τη συμβολή της στην ανάπτυξη στρατηγικών βιώσιμης ανάπτυξης σε επίπεδο κτιρίων και περιοχών. Η πλατφόρμα VERIFY, με την ενσωμάτωση πραγματικών δεδομένων από αισθητήρες IoT, επιτρέπει την παρακολούθηση των ενεργειακών ροών και των εκπομπών σε συνεχή βάση, κάτι που προσφέρει μια πιο ακριβή και επικαιροποιημένη εικόνα της ενεργειακής απόδοσης των συστημάτων και των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται.

Κατά τη διάρκεια της εργασίας, το VERIFY χρησιμοποιήθηκε για να προσομοιωθούν διάφορα σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίων. Συγκεκριμένα παρουσιάστηκαν δύο κτίρια τα οποία αναλύθηκαν τόσο ενεργειακά όσο και οικονομικά, λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους όπως η κατανάλωση ενέργειας, οι εκπομπές CO₂, το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας, καθώς και τα πιθανά οικονομικά οφέλη από τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

Το VERIFY-Building, ένα από τα δύο εξειδικευμένα εργαλεία της πλατφόρμας, ήταν αυτό που εφαρμόστηκε για τη διερεύνηση της απόδοσης διαφόρων ενεργειακών συστημάτων, όπως φωτοβολταϊκά, συστήματα θέρμανσης και ψύξης, καθώς και μονωτικά υλικά. Μέσω της δυναμικής αυτής ανάλυσης, έγινε εφικτό να εντοπιστούν τα πιο αποδοτικά συστήματα σε σχέση με το περιβάλλον και το κόστος, προσδιορίζοντας τις βέλτιστες λύσεις αναβάθμισης για κάθε συγκεκριμένη περίπτωση.

Βιβλιογραφία

- [1] P. Pauw, K. Mbeva, and Asselt, Harro van, “Subtle Differentiation of Countries’ Responsibilities Under the Paris Agreement,” *Palgrave Communications*, vol. 5, no. 1, 2019, doi: <https://doi.org/10.1057/s4159901902986>.
- [2] M. Fridahl, M. Hagemann, F. Röser, and L. Amars, “A Comparison of Design and Support Priorities of Nationally Appropriate Mitigation Actions,” *The Journal of Environment & Development*, vol. 24, no. 2, pp. 237–264, 2015, doi: <https://doi.org/10.1177/1070496515579124>.
- [3] H. Abdelaty, D. Weiss, and D. Mangelkramer, “Climate Policy in Developing Countries: Analysis of Climate Mitigation and Adaptation Measures in Egypt,” *Sustainability*, vol. 15, no. 11, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/su15119121>.
- [4] U. P. A and C. M. Zarzycki, “TempestExtremes v1.0: A Framework for ScaleInsensitive,” 2016, doi: <https://doi.org/10.5194/gmd2016217>.
- [5] “2023 Global Status Report for Buildings and Construction: Beyond foundations - Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector,” Mar. 2024, doi: <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/45095>.
- [6] International Energy Agency, “World Energy Outlook 2023 – Analysis,” *IEA*, Oct. 2023. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>
- [7] A. A. Fernandez, A. Rakhmatsyah, and Wardana, Aulia Arif, “Monitoring Floating Solar Tracker Based on Axis Coordinates Using LoRa Network,” *International Journal of Renewable Energy Development*, vol. 9, no. 2, p. 141149, 2020, doi: <https://doi.org/10.14710/ijred.9.2.141149>.
- [8] “2022 Global Status Report for Buildings and Construction | Globalabc,” *globalabc.org*. <https://globalabc.org/resources/publications/2022-global-status-report-buildings-and-construction>
- [9] “BPIE is a leading independent centre of expertise on energy performance of buildings. > BPIE - Buildings Performance Institute Europe,” *BPIE - Buildings Performance Institute Europe*, Dec. 06, 2023. <https://www.bpie.eu/>
- [10] UNFCCC, “Nationally Determined Contributions (NDCs) | UNFCCC,” *Unfccc.int*, 2019. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs>
- [11] “Nearly-zero energy and zero-emission buildings,” *Energy*, 2023. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-and-zero-emission-buildings_en

- [12] Turhan, Gozde Damla, “Life Cycle Assessment for the Unconventional Construction Materials in Collaboration With a Large Language Model,” 2023, doi: <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2023.2.039>.
- [13] R. Schumacher *et al.*, “Analysis of Current Practice and Future Potentials of LCA in a BIMbased Design Process in Germany,” *E3s Web of Conferences*, vol. 349, p. 10004, 2022, doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202234910004>.
- [14] R. Volk, J. Stengel, and F. Schultmann, “Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs,” *Automation in construction*, vol. 38, pp. 109–127, 2014.
- [15] Α. Ζουμπούλης, Α. Zoumpoulis, Ε. Πελέκα, Ε. Peleka, Κ. Τριανταφυλλίδης, and Κ. Triantafyllidis, “Ανάλυση Κύκλου Ζωής,” *Handle.net*, 2021, doi: <http://repository.kallipos.gr/handle/11419/2324>.
- [16] Α. Μητροπούλου, “Ανάλυση του κύκλου ζωής για την παραγωγή σκόνης μίγματος ανθού αραβόσιτου,” 2016.
- [17] A. A. Jensen, *Life cycle assessment (LCA): a guide to approaches, experiences and information sources*, no. 6. European Environment Agency, 1998.
- [18] W. Klöpffer, “The critical review of life cycle assessment studies according to ISO 14040 and 14044: origin, purpose and practical performance,” *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 17, pp. 1087–1093, 2012.
- [19] J. Krozer and J. C. Vis, “How to get LCA in the right direction?,” *Journal of cleaner production*, vol. 6, no. 1, pp. 53–61, 1998.
- [20] A. Tillman, T. Ekvall, H. Baumann, and T. Rydberg, “Choice of system boundaries in life cycle assessment,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 2, no. 1, pp. 21–29, 1994, doi: [https://doi.org/10.1016/09596526\(94\)900213](https://doi.org/10.1016/09596526(94)900213).
- [21] J. A. Fava and T. and, *A technical framework for life cycle assessment: workshop report; August 1823, 1990*. SETAC, 1991.
- [22] Ν. Μουσιόπουλος and Α. Μπούρα, “Ανάλυση Κύκλου Ζωής,” *Β΄ Έκδοση, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη*, 1999.
- [23] I. V. Muralikrishna and V. Manickam, “Life Cycle Assessment,” *Environmental Management*, pp. 57–75, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811989-1.00005-1>.
- [24] G. Rebitzer *et al.*, “Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications,” *Environment international*, vol. 30, no. 5, pp. 701–720, 2004.
- [25] “Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCA ή AKZ) - PDF Free Download,” *Docplayer.gr*, 2015. <https://docplayer.gr/71254466-I-analisi-kykloy-zois-lca-i-akz.html> (accessed Sep. 24, 2024).

- [26] “Characterisation factors of the ILCD Recommended Life Cycle Impact Assessment methods Database and supporting information,” doi: <https://doi.org/10.2788/60825>.
- [27] P. Hernandez, X. Oregi, S. Longo, and M. Cellura, “Life-Cycle Assessment of Buildings,” *Handbook of Energy Efficiency in Buildings*, pp. 207–261, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812817-6.00010-3>.
- [28] M. A. Huijbregts, W. Gilijamse, A. M. Ragas, and L. Reijnders, “Evaluating uncertainty in environmental lifecycle assessment. A case study comparing two insulation options for a Dutch onefamily dwelling,” *Environmental science & technology*, vol. 37, no. 11, pp. 2600–2608, 2003.
- [29] M. Owsianiak, A. Bjørn, A. Laurent, C. Molin, and M. W. Ryberg, “LCA Applications,” in *Life Cycle Assessment: Theory and Practice*, M. Z. Hauschild, R. K. Rosenbaum, and S. I. Olsen, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 31–41. doi: https://doi.org/10.1007/9783319564753_4.
- [30] B. ISO, “constructed assetsServicelife planningPart 5: Lifecycle costing (ISO 15686: 2008),” *International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland*, 2008.
- [31] Orfanidou, Varvara S, Rachaniotis, Nikolaos P, Tsoulfas, Giannis T, and G. Chondrokoukis, “Life Cycle Costing Implementation in Green Public Procurement: A Case Study From the Greek Public Sector,” *Sustainability*, vol. 15, no. 3, p. 2817, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/su15032817>.
- [32] P. Gluch and H. Baumann, “The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decisionmaking,” *Building and environment*, vol. 39, no. 5, pp. 571–580, 2004.
- [33] J. Emblemavag, “Activity-based life-cycle costing,” *Managerial Auditing Journal*, vol. 16, no. 1, pp. 17–27, 2001.
- [34] Y. Kawauchi and M. Rausand, “Life Cycle Cost (LCC) analysis in oil and chemical process industries,” *Toyo Engineering Corp, Chiba*, 1999.
- [35] B. ISO, “constructed assetsServicelife planningPart 5: Lifecycle costing (ISO 15686: 2008),” *International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland*, 2008.
- [36] S. Lockie, “Life Cycle Costing and Sustainability Assessments: An Industry Perspective with Case Studies,” *Design Economics for the Built Environment: Impact of Sustainability on Project Evaluation*, pp. 262–283, 2015.
- [37] Wikipedia Contributors, “ISO 15686,” *Wikipedia*, Jun. 06, 2022. https://en.wikipedia.org/wiki/ISO_15686 (accessed Sep. 24, 2024).
- [38] R. Hoogmartens, V. Passel, V. Acker, and M. Dubois, “Bridging the gap between LCA, LCC and CBA as sustainability assessment tools,” *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 48, pp. 27–33, 2014.

- [39] A. Boussabaine and R. Kirkham, *Whole lifecycle costing: risk and risk responses*. John Wiley & Sons, 2008.
- [40] “SimaPro | The world’s leading LCA software,” *SimaPro*. <https://simapro.com/>
- [41] “Life Cycle Assessment Software and Data | Sphera (GaBi),” *Sphera*. <https://sphera.com/solutions/product-stewardship/life-cycle-assessment-software-and-data/>
- [42] “openLCA modeling suite | openLCA.org.” <https://www.openlca.org/openlca/>
- [43] “Measure and Reduce Embodied Carbon in Design & Construction,” *oneclicklca.com*. <https://oneclicklca.com/software/design-construction>
- [44] “Cerclos: Superior Life Cycle Design - Cerclos,” Sep. 26, 2020. <https://cerclos.com/>
- [45] “Granta EduPack support – Ansys Granta.” <https://www.grantadesign.com/education/support/ces-edupack-support/>
- [46] P. N. Shinde, Mandavgane, Sachin A, and V. Karadbhajane, “Process development and life cycle assessment of pomegranate biorefinery,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 27, no. 20, pp. 25785–25793, 2020, doi: <https://doi.org/10.1007/s11356020089570>.
- [47] “eTool Automated Reporting,” *Cerclos Support*, May 28, 2017. <https://support.etoollcd.com/index.php/knowledgebase/automated-reporting/> (accessed Sep. 24, 2024).
- [48] V. Apostolopoulos *et al.*, “An integrated life cycle assessment and life cycle costing approach towards sustainable building renovation via a dynamic online tool,” *Applied Energy*, vol. 334, p. 120710, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120710>.
- [49] A. Seitaridis *et al.*, “Development of LCA and LCC Tool for Transition Support,” Mar. 2023.
- [50] N. Dodd and S. Donatello, “Level(s) indicator 1.2: Life cycle Global Warming Potential (GWP) User manual: introductory briefing, instructions and guidance (Publication version 1.1),” 2021. Available: https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2021-01/UM3_Indicator_1.2_v1.1_37pp.pdf
- [51] ISO, “ISO 14040:2006,” *ISO*, Aug. 12, 2006. <https://www.iso.org/standard/37456.html>
- [52] ISO, “ISO 14044:2006,” *ISO*, Jul. 2006. <https://www.iso.org/standard/38498.html#:~:text=ISO%2014044%3A2006%20specifies%20requirements>
- [53] N. Dodd and S. Donatello, “Level(s) indicator 6.1: Life cycle costs User manual: Introductory briefing, instructions and guidance (Publication version 1.1),” 2021. Available: https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2021-01/UM3_Indicator_6.1_v1.1_21pp.pdf

- [54] N. Dodd, S. Donatello, and M. Cordella, “Level(s) indicator 1.1: Use stage energy performance User manual: introductory briefing, instructions and guidance (Publication version 1.1),” 2021. Accessed: Sep. 26, 2024. [Online]. Available: https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2021-01/UM3_Indicator_1.1_v1.1_25pp.pdf
- [55] Technical Committee CEN/TC 228 “Heating Systems for Buildings, “Energy Efficiency for Buildings -Standard economic evaluation procedure for energy systems in buildings,” 2006. Accessed: Sep. 26, 2024. [Online]. Available: http://www.cres.gr/greenbuilding/PDF/prend/set4/WI_29_TC-approval_version_prEN_15459_Data_requirements.pdf
- [56] “VERIFY Web App,” *Certh.gr*, 2019. <https://verify.cperi.certh.gr/> (accessed Sep. 25, 2024).
- [57] EU, “Homepage - POCITYF,” *POCITYF*. <https://pocityf.eu/>
- [58] EU, “Solutions - POCITYF,” *POCITYF*, Feb. 21, 2020. <https://pocityf.eu/solutions/> (accessed Sep. 26, 2024).
- [59] I. MASCHIO, “European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities,” *e3p.jrc.ec.europa.eu*, Jan. 14, 2016. <https://e3p.jrc.ec.europa.eu/articles/european-innovation-partnership-smart-cities-and-communities>
- [60] K. Kourtzanidis, K. Angelakoglou, P. Giourka, P. Tsarchopoulos, and N. Nikolopoulos, “EETcentric KPIs definition, with all evaluation metrics and formulas derived.”
- [61] “POCITYF Factsheets for solutions adopted in Alkmaar.” Accessed: Sep. 26, 2024. [Online]. Available: <https://pocityf.eu/wp-content/uploads/2023/09/POC-template-ETT1-with-cover.pdf>
- [62] “POCITYF Factsheets for solutions adopted in Alkmaar.” Accessed: Sep. 26, 2024. [Online]. Available: <https://pocityf.eu/wp-content/uploads/2023/09/POC-template-ETT2-with-cover.pdf>
- [63] “POCITYF Factsheets for solutions adopted in Alkmaar.” Accessed: Sep. 26, 2024. [Online]. Available: <https://pocityf.eu/wp-content/uploads/2023/09/POC-template-ETT3-with-cover.pdf>
- [64] “POCITYF Factsheets for solutions adopted in Alkmaar.” Accessed: Sep. 26, 2024. [Online]. Available: <https://pocityf.eu/wp-content/uploads/2023/09/POC-template-ETT4-with-cover.pdf>
- [65] L. Gonçalves, B. Bănică, and L. Patrício, “POCITYF Citizen Engagement Plan,” Oct. 2020.
- [66] EU, “Alkmaar - POCITYF - POCITYF.” <https://pocityf.eu/city/alkmaar/>

- [67] *Vanalckmaer.nl*, 2024. <https://www.vanalckmaer.nl/projecten/bloemwijk/> (accessed Sep. 27, 2024).
- [68] C. Nieuwenhout and H. O. Evangelista, “Building and Grid Retrofit Regulatory Framework: POCITYF Deliverable 1.3,” 2020.
- [69] CERTH, “Building Report WP3: Evaluation Activities, Socio-economic Impact Assessment and Recommendations Preliminary Report on Lifecycle Analysis with VERIFY.”
- [70] “Noordertogtflat • Inside Out,” *Inside-out.tech*, 2022. <https://www.inside-out.tech/projecten/noordertogt> (accessed Sep. 27, 2024).