



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ**
University of the Peloponnese

Π.Μ.Σ. στην Επιστήμη Υπολογιστών

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**Ενεργειακός Σύμβουλος με Χρήση Μεγάλων
Γλωσσικών Μοντέλων (LLMs): Εφαρμογές,
Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα, Προκλήσεις και
Μελλοντικές Επεκτάσεις**

Μεϊντάνης Νικόλαος

ΑΜ: 2022202402009

Επιβλέπων:

Καθ. Τρυφωνόπουλος Χρήστος

Τρίπολη, Απρίλιος 2026

Περίληψη

Η ενεργειακή κατανάλωση αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα του 21^{ου} αιώνα την οποία αντιμετωπίζουν τα σύγχρονα νοικοκυριά, οι επιχειρήσεις και οι βιομηχανίες, τόσο από περιβαλλοντική όσο και από οικονομική σκοπιά. Η αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια επιβαρύνει το περιβάλλον, συμβάλλοντας στην κλιματική αλλαγή μέσω της αύξησης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Παράλληλα, το κόστος ενέργειας επηρεάζει άμεσα τον οικογενειακό προϋπολογισμό και την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων, ιδίως σε περιόδους ενεργειακής κρίσης ή πληθωρισμού. Η ανάγκη για μείωση της κατανάλωσης, βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης και μετάβαση σε πιο βιώσιμα ενεργειακά μοντέλα καθίσταται πλέον επιτακτική.

Η παρούσα εργασία διερευνά την επαναστατική επίδραση των Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων (LLMs), όπως το GPT, στην παροχή προσωποποιημένων ενεργειακών συμβουλών και στη μεταμόρφωση του ευρύτερου ενεργειακού τομέα. Αναλύεται λεπτομερώς ο μηχανισμός λειτουργίας ενός συστήματος ενεργειακού συμβούλου βασισμένου σε LLMs, εστιάζοντας στη δυναμική συλλογή δεδομένων μέσω έξυπνων προτροπών, στην προηγμένη ανάλυση δεδομένων κατανάλωσης και στην παροχή στοχευμένων, εξατομικευμένων συστάσεων για τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης σε νοικοκυριά.

Επιπλέον, τονίζονται τα κρίσιμα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας, συμπεριλαμβανομένης της υψηλής προσαρμοστικότητας, της δυνατότητας κατανόησης φυσικής γλώσσας, του αυτοματισμού, της εκπαιδευτικής της διάστασης, της ενσωμάτωσης με άλλα συστήματα και της πολυγλωσσικής υποστήριξης. Η εργασία επεκτείνεται σε μια αναλυτική εξέταση των περαιτέρω εφαρμογών των LLMs στον ενεργειακό τομέα, καλύπτοντας τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης σε επιχειρήσεις και βιομηχανίες, τη διαχείριση έξυπνων δικτύων (smart grids) με βελτιωμένες προβλέψεις και ισορροπία, την ανάπτυξη καινοτόμων ενεργειακών προϊόντων και υπηρεσιών, καθώς και την περιβαλλοντική εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση ευρείας κλίμακας.

Τέλος, εξετάζονται οι προκλήσεις και οι περιορισμοί στην υιοθέτηση των LLMs, συμπεριλαμβανομένων των υπολογιστικών απαιτήσεων και της ανάγκης για εξειδίκευση στον τομέα, όπως και οι μελλοντικές επεκτάσεις που χρειάζονται για να γίνουν όλα αυτά ρεαλιστικά και αποδοτικά.

Λέξεις Κλειδιά: Τεχνητή Νοημοσύνη, Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα, Ενεργειακός Σύμβουλος, Εξοικονόμηση Ενέργειας

Abstract

Energy consumption has emerged as one of the most critical challenges of the 21st century, affecting households, businesses, and industries both environmentally and economically. Increasing demand intensifies carbon emissions and contributes to climate change, while rising energy prices place significant pressure on budgets and competitiveness. Traditional methods of energy guidance — static tools, generic recommendations, and expert consultations — often fail to capture the unique characteristics of each user or environment.

The rapid advancement of Artificial Intelligence, particularly Large Language Models (LLMs) such as GPT-5, Claude 3.5 Sonnet, Gemini 1.5, Llama 3.1, Mistral Large 2 and Grok-2, introduces transformative opportunities for personalized and dynamic energy advisory systems.

This thesis investigates the design and implementation of an intelligent, LLM-based energy advisor capable of collecting user-specific data through adaptive prompts, analyzing energy consumption patterns, identifying energy-intensive devices and practices, and generating tailored recommendations aimed at improving energy efficiency. Beyond individual household use, the study explores wider applications of LLMs in the energy sector, including smart grid management, demand forecasting, anomaly detection, industrial optimization, environmental education, and the development of innovative energy products and services.

The work provides a comprehensive analysis of the technical, operational, and practical advantages of LLMs—such as natural language understanding, real-time interaction, automation, scalability, multimodal capabilities, integration with IoT and smart meters, and multilingual support—while also addressing critical limitations including computational cost, domain-specific adaptation, data quality requirements, privacy concerns, hallucinations, and interoperability challenges. A hybrid human-AI model is proposed to ensure reliability, safety, and regulatory compliance, highlighting the need for human oversight in complex decision-making.

Looking forward, the thesis identifies key directions for future expansion, including deeper integration with IoT infrastructures, real-time energy market data, weather-aware energy predictions, gamification for user engagement, and voice-assistant interaction. Overall, the findings demonstrate that LLM-based systems can significantly enhance how energy is monitored, managed, and understood, supporting a more sustainable, user-centric, and intelligent energy ecosystem.

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή	7
1.1	Τι είναι τα LLMs;	8
1.2	Σκοπός και Στόχοι της Εργασίας	10
1.3	Δομή της Εργασίας.....	12
2	Περιγραφή Συστήματος Ενεργειακού Συμβούλου με LLMs	13
2.1	Συλλογή Δεδομένων μέσω Προτροπών (Prompts)	13
2.2	Ανάλυση και Εξαγωγή Συμπερασμάτων	15
2.3	Παράδοση Συμβουλών.....	15
3	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Χρήσης LLMs στην Ενεργειακή Καθοδήγηση, Προκλήσεις και Περιορισμοί	17
3.1	Προσαρμοστικότητα και Εξατομίκευση.....	17
3.2	Κατανόηση Φυσικής Γλώσσας και Απρόσκοπτη Επικοινωνία	21
3.3	Αυτοματισμός, Κλιμάκωση και Διαθεσιμότητα	22
3.4	Εκπαίδευση και Ευαισθητοποίηση	25
3.5	Ενσωμάτωση με Άλλα Συστήματα και Πηγές Δεδομένων	26
3.6	Πολυγλωσσική Υποστήριξη.....	33
3.7	Προκλήσεις.....	34
3.8	Συμπεράσματα	43
4	Περαιτέρω Εφαρμογές των LLMs στον Ευρύτερο Ενεργειακό Τομέα	44
4.1	Βελτιστοποίηση Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Επιχειρήσεις και Βιομηχανίες	45
4.2	Διαχείριση Έξυπνων Δικτύων (Smart Grids)	47
4.3	Ανάπτυξη Νέων Ενεργειακών Προϊόντων και Υπηρεσιών.....	48
4.4	Περιβαλλοντική Εκπαίδευση και Ευαισθητοποίηση Ευρείας Κλίμακας	49
5	Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις	50
	Πηγές.....	54

Πίνακας πινάκων

Πίνακας 1 Προκλήσεις και Προτεινόμενες Λύσεις στη Συνεχή Βελτίωση Συστημάτων LLM	21
Πίνακας 2 Στατική Ανάλυση vs Δυναμική Ανάλυση με LLMs.....	33

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1: Τι είναι τα LLMs;	9
Εικόνα 2: Διαχείριση Κατανάλωσης Ενέργειας στο Σπίτι	14
Εικόνα 3: Τεχνητή Νοημοσύνη στην έξυπνη διαχείριση ενέργειας	16
Εικόνα 4: Rule-Based vs. LLM-Based AI Agents: A Side-by-Side Comparison	18
Εικόνα 5: Σχηματική αναπαράσταση διαδραστικών συμπεριφορών	22
Εικόνα 6 Οφέλη Αυτοματισμού.....	24
Εικόνα 7 LLMs με καθοδήγηση από δέντρο αποφάσεων.....	25
Εικόνα 8 Έξυπνος μετρητής.....	27
Εικόνα 9 Πλεονεκτήματα από τη χρήση του OCR σε ERP συστήματα.....	31
Εικόνα 10: Διάγραμμα ροής που δείχνει πώς ένα LLM με πρόσβαση σε δεδομένα αγοράς ενέργειας	32
Εικόνα 11 Mix of Experts - MoE	36
Εικόνα 12 Retrieval-Augmented Generation (RAG)	39
Εικόνα 13 Hallucination	40
Εικόνα 14 Οφέλη της Τεχνητής Νοημοσύνης για τον Ενεργειακό Τομέα ανά Βιομηχανία	46

1 Εισαγωγή

Η ενεργειακή κατανάλωση αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που αντιμετωπίζουν τα σύγχρονα νοικοκυριά, οι επιχειρήσεις και οι βιομηχανίες, τόσο από περιβαλλοντική όσο και από οικονομική σκοπιά. Η αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια επιβαρύνει το περιβάλλον, συμβάλλοντας στην κλιματική αλλαγή μέσω της αύξησης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, ενώ το κόστος της ενέργειας επηρεάζει άμεσα τον οικογενειακό προϋπολογισμό και την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων, ειδικά σε περιόδους ενεργειακής κρίσης ή πληθωρισμού. Ως εκ τούτου, η ανάγκη για μείωση της κατανάλωσης, βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης και μετάβαση σε πιο βιώσιμα ενεργειακά μοντέλα είναι πλέον επιτακτική.

Παραδοσιακά, οι ενεργειακές συμβουλές παρέχονταν μέσω γενικών οδηγιών, στατικών εργαλείων ή εξειδικευμένων συμβούλων, προσεγγίσεις που συχνά δεν λάμβαναν υπόψη τις ιδιαιτερότητες κάθε περίπτωσης. Ωστόσο, η ραγδαία τεχνολογική πρόοδος και η ανάπτυξη των Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων (LLMs), όπως τα: GPT-5, o3, o1 (OpenAI) / Claude 3.5 Sonnet (Anthropic) / Gemini 1.5 Pro/Flash (Google) / Llama 3.1 405B (Meta) / Mistral Large 2 (Mistral) / Grok-2 (xAI), ανοίγουν νέους δρόμους για την παροχή προσωποποιημένων ενεργειακών συμβουλών και την ευρύτερη εφαρμογή της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) στον ενεργειακό τομέα.

Τα LLMs, έχουν τη μοναδική ικανότητα να κατανοούν, να επεξεργάζονται και να παράγουν ανθρώπινη γλώσσα, να αναλύουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων και να παρέχουν στοχευμένες προτάσεις με τρόπο κατανοητό, σε πραγματικό χρόνο και φιλικό προς τον χρήστη.

Η παρούσα εργασία εξετάζει πώς τα LLMs μπορούν να αξιοποιηθούν για τη δημιουργία έξυπνων προτροπών (prompts), οι οποίες συλλέγουν δυναμικά πληροφορίες από τον χρήστη σχετικά με τον τύπο και τα χαρακτηριστικά της κατοικίας του, τις ηλεκτρικές συσκευές που διαθέτει και τις καθημερινές του συνήθειες κατανάλωσης ενέργειας. Αξιοποιώντας τις πληροφορίες αυτές, το LLM μπορεί να εξάγει συμπεράσματα για την εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας, να εντοπίσει ενεργοβόρες συσκευές ή ακόμη και πρακτικές και να προτείνει λύσεις εξοικονόμησης ενέργειας πιο στοχευμένες, όπως η αντικατάσταση παλαιών συσκευών, η αλλαγή συνηθειών ή η αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (όπου αυτό είναι εφικτό).

Εκτός από την προσωπική-ατομική ενεργειακή καθοδήγηση, η χρήση των Large Language Models επεκτείνεται σε κρίσιμους τομείς όπως η διαχείριση έξυπνων δικτύων και η ευρεία περιβαλλοντική εκπαίδευση, ενισχύοντας την περιβαλλοντική συνείδηση του

καταναλωτή , ενθαρρύνοντας πιο βιώσιμες επιλογές στην καθημερινότητά τους.¹

1.1 Τι είναι τα LLMs;

Τα LLMs (Μεγάλο Γλωσσικό Μοντέλο, Large Language Models) είναι ένα γλωσσικό μοντέλο που αποτελείται από ένα νευρωνικό δίκτυο με πολλές παραμέτρους (συνήθως δισεκατομμύρια ή και περισσότερα), το οποίο εκπαιδεύεται σε μεγάλες ποσότητες κειμένου που δεν έχει επισημανθεί με ετικέτες χρησιμοποιώντας αυτοεπιβλεπόμενη μάθηση.

Τα LLM εμφανίστηκαν γύρω στο 2018 και αποδίδουν καλά σε μια μεγάλη ποικιλία εργασιών. Αυτό έχει μετατοπίσει το επίκεντρο της έρευνας για την επεξεργασία φυσικής γλώσσας από το προηγούμενο πρότυπο της εκπαίδευσης εξειδικευμένων εποπτευόμενων μοντέλων για συγκεκριμένες εργασίες. Η ονομασία τους αναλύεται ως εξής:

- **Μεγάλα (Large):** Υποδηλώνει το μέγεθος των μοντέλων, τα οποία περιλαμβάνουν δισεκατομμύρια ή και τρισεκατομμύρια παραμέτρους. Οι παράμετροι αυτές επιτρέπουν την εκμάθηση σύνθετων γλωσσικών σχέσεων, απαιτώντας υψηλή υπολογιστική ισχύ για την εκπαίδευση.
- **Γλωσσικά (Language):** Αναφέρεται στη βασική λειτουργία τους, που αφορά την επεξεργασία γλώσσας. Τα μοντέλα αυτά έχουν μάθει γραμματική, συντακτικό, λεξιλόγιο και σημασιολογικές αποχρώσεις, καθώς και συμφραζόμενα.
- **Μοντέλα (Models):** Πρόκειται για αλγοριθμικά συστήματα, συνήθως βασισμένα σε αρχιτεκτονικές νευρωνικών δικτύων τύπου Transformer, τα οποία εκπαιδεύονται να αναγνωρίζουν μοτίβα και να προβλέπουν την επόμενη λέξη ή φράση σε μια ακολουθία.

Τα μεγάλα γλωσσικά μοντέλα δουλεύουν βασικά χάρη στην εκπαίδευση χωρίς επίβλεψη (self-supervised learning). Συγκεκριμένα, η εκπαίδευσή τους βασίζεται στην

¹ [Vasileiadis, P. D. \(2022\). Ευφυείς Ψηφιακοί Βοηθοί: Συστηματική καταγραφή και κριτική παρουσίαση της τρέχουσας κατάστασης. Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος. \(Ευφυείς Ψηφιακοί Βοηθοί Συστηματική καταγραφή και κριτική παρουσίαση της τρέχουσας κατάστασης Intelligent Digital Assistants A survey and overview of the current state of the art Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος International Hellenic University Greece 2022\)](#)

[How AI is Revolutionizing Energy Efficiency in Smart Homes - EcoPowerHub \(https://ecopowerhub.com/how-ai-is-revolutionizing-energy-efficiency-in-smart-homes/\)](https://ecopowerhub.com/how-ai-is-revolutionizing-energy-efficiency-in-smart-homes/)

[AI Improving Energy Efficiency: Innovations For Domestic Homes - Energy Trust](#)

[Large Language Models \(LLMs\) for Energy Systems Research](#)

πρόβλεψη του επόμενου token (ή λέξης) σε μια ακολουθία κειμένου, λαμβάνοντας υπόψη το προηγούμενο γράμμα ή λέξη. Με αυτή τη διαδικασία χτίζουν σιγά-σιγά μια βαθιά κατανόηση της γλώσσας, έτσι πιάνουν τη δομή, τις σχέσεις ανάμεσα στις λέξεις και φτιάχνουν ένα είδος λογικής, όχι με κανόνες, αλλά απ' τα μοτίβα που βλέπουν σε τρομερά μεγάλες ποσότητες κειμένων.

Σύγχρονα μοντέλα φτιάχνουν λόγο σε διάφορα είδη. Για παράδειγμα, γράφουν άρθρα, ποιήματα, κώδικα, email ακόμα και συνοπτικές παραγωγές περιλήψεων. Επιπλέον, προσφέρουν υπηρεσίες μετάφρασης, μετατρέποντας κείμενα από μία γλώσσα σε άλλη με υψηλή ακρίβεια (προσοχή όμως, δεν είναι πάντα ορθή η μετάφραση και χρειάζεται από τον καταχωρητή επιβεβαίωση και διόρθωση). Τα LLMs μπορούν επίσης να απαντούν σε ερωτήσεις (Question Answering), παρέχοντας πληροφορίες βασισμένες στη γνώση που έχουν αποκτήσει κατά την εκπαίδευσή τους.

Ένα άλλο βασικό χαρακτηριστικό είναι η περίληψη κειμένου (Text Summarization), όπου μεγάλα κείμενα μετατρέπονται σε σύντομα και περιεκτικά με κατανοητές αποδόσεις. Τα μοντέλα χρησιμοποιούνται και ως συνομιλιακά συστήματα (chatbots), διεξάγοντας φυσικές συζητήσεις με τους χρήστες. Επιπλέον, μπορούν να πραγματοποιούν ανάλυση συναισθήματος (Sentiment Analysis), κατανοώντας τον τόνο ή το συναίσθημα που εκφράζεται σε ένα κείμενο. Στον τομέα του προγραμματισμού, είναι ικανά για τη δημιουργία και διόρθωση του κώδικα, υποστηρίζοντας διάφορες γλώσσες προγραμματισμού.

WHAT ARE LARGE LANGUAGE MODELS (LLMs)?

A type of artificial intelligence (AI) that's trained to create sentences and paragraphs out of its training dataset.

The main LLMs include:

- Zero-shot models** are for general purposes.
- Domain-specific models** are given extra training.
- Edge models** do one job well.

The infographic features a blue header with a graduation cap icon, a light blue body with three columns of text and icons (a robot reading, books, and a target), and a dark blue footer.

Εικόνα 1: Τι είναι τα LLMs;

Τέλος, βρίσκουν εφαρμογή και σε εξειδικευμένους τομείς, όπως η ενεργειακή συμβουλευτική, όπου αναλύουν δεδομένα, παρέχουν συμβουλές και προσομοιώνουν σενάρια για βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα γνωστών LLMs περιλαμβάνουν τα:

- GPT-5, o3, o1 (OpenAI)
- Claude 3.5 Sonnet (Anthropic)
- Gemini 1.5 Pro/Flash (Google)
- Llama 3.1 405B (Meta)
- Mistral Large 2 (Mistral)
- Grok-2 (xAI)

Τα μεγάλα γλωσσικά μοντέλα είναι ένα πεδίο που εξελίσσεται ραγδαία και οι δυνατότητες των LLMs διευρύνονται συνεχώς.²

1.2 Σκοπός και Στόχοι της Εργασίας

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι να εξετάσει πώς τα Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα (Large Language Models - LLMs) μπορούν να συμβάλουν στη δημιουργία ενός έξυπνου και προσαρμοστικού συστήματος ενεργειακής καθοδήγησης. Η εργασία διερευνά πώς η τεχνολογία των LLMs μπορεί να αξιοποιηθεί για την ανάπτυξη ενός «ψηφιακού ενεργειακού συμβούλου», που θα παρέχει εξατομικευμένες και τεκμηριωμένες συμβουλές με στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τη μείωση της κατανάλωσης. Παράλληλα, αναλύονται τα πλεονεκτήματα και οι προοπτικές της ενσωμάτωσης των LLMs στον ενεργειακό τομέα, καθώς και οι προκλήσεις και περιορισμοί που συνοδεύουν την εφαρμογή τους. Τέλος, η εργασία επισημαίνει τον ρόλο των LLMs ως εργαλείων για την ενίσχυση της περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης και της ενεργειακής παιδείας, συμβάλλοντας στη μετάβαση προς ένα πιο βιώσιμο και «έξυπνο» ενεργειακό μέλλον.

Οι ειδικοί στόχοι της παρούσας διατριβής επικεντρώνονται στη θεωρητική εμβάθυνση, την αξιολόγηση και την πρακτική διερεύνηση των δυνατοτήτων των Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων (Large Language Models, LLMs) στο πλαίσιο του ενεργειακού τομέα και της ενεργειακής συμβουλευτικής. Συγκεκριμένα, η έρευνα αποσκοπεί στα ακόλουθα:

² Brown, T. et al. (2020). *Language Models are Few-Shot Learners*. arXiv preprint

Jurafsky, D. & Martin, J. H. (2023). *Speech and Language Processing* (3rd ed.). Pearson.

1. Η εις βάθος ανάλυση του τρόπου λειτουργίας και των βασικών αρχών των LLMs, με ιδιαίτερη έμφαση στις ικανότητές τους ως προς την κατανόηση και παραγωγή φυσικής γλώσσας (Natural Language Understanding/Generation, NLU/NLG).
2. Η αναλυτική περιγραφή της αρχιτεκτονικής δομής και της μεθοδολογίας λειτουργίας ενός συστήματος ενεργειακού συμβούλου που βασίζεται σε LLMs. Αυτό περιλαμβάνει τα στάδια της συλλογής, ανάλυσης και ερμηνείας δεδομένων κατανάλωσης (π.χ., από έξυπνους μετρητές), τα οποία είναι απαραίτητα για την εξαγωγή προτάσεων.
3. Η συστηματική διερεύνηση των πλεονεκτημάτων (π.χ., προσαρμοστικότητα, αυτοματοποίηση, άμεση προσβασιμότητα στην πληροφορία) και των μειονεκτημάτων ή προκλήσεων που απορρέουν από την ενσωμάτωση των LLMs σε εφαρμογές ενεργειακής καθοδήγησης και διαχείρισης.
4. Η εξέταση των εφαρμογών των LLMs σε ευρύτερα πεδία του ενεργειακού τομέα, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης έξυπνων δικτύων (Smart Grid Management), της ενεργειακής εκπαίδευσης και της ενίσχυσης της περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης του κοινού.
5. Η αξιολόγηση των τεχνικών, ηθικών και κοινωνικών προκλήσεων που ανακύπτουν από την υιοθέτηση των LLMs. Τέλος, η διατύπωση προτάσεων και συμπερασμάτων για τη μελλοντική, ασφαλή και αποτελεσματική αξιοποίησή τους.

Μέσα από την επιτυχή επίτευξη των παραπάνω στόχων, η παρούσα εργασία φιλοδοξεί να συμβάλει ουσιαστικά στην γεφύρωση της τεχνητής νοημοσύνης με τον ενεργειακό σχεδιασμό και τη βιώσιμη ανάπτυξη, προσφέροντας ένα ολοκληρωμένο θεωρητικό και πρακτικό πλαίσιο για την ενσωμάτωση των LLMs στην ενεργειακή συμβουλευτική και διαχείριση.³

³ AI for Energy Management: Smart Homes to Sustainable Smart Cities - AI+ Program

(Alam, M.R., Reaz, M.B.I. and Ali, M.A.M., 2012. A review of smart homes—Past, present, and future. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, part C (applications and reviews), 42(6), pp.1190-1203.

Prieto González, L., Fensel, A., Gómez Berbís, J.M., Popa, A. and de Amescua Seco, A., 2021. A survey on energy efficiency in smart homes and smart grids. Energies, 14(21), p.7273.

Bergsteinsson, H.G., Nielsen, T.S., Møller, J.K., Amer, S.B., Dominković, D.F. and Madsen, H., 2021. Use of smart meters as feedback for district heating temperature control. Energy Reports, 7, pp.213-221.

Redhu, S., Singh, A., and Brendal, B., «Edge Computing for Improving Energy Management in Smart Homes.» in CIREED 2023.)

1.3 Δομή της Εργασίας

Η παρούσα εργασία διαρθρώνεται ως ακολούθως:

Στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται η εισαγωγή στο αντικείμενο, όπου αρχικά ορίζεται η έννοια των Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων (LLMs) και στη συνέχεια αποτυπώνονται ο σκοπός και οι επιμέρους στόχοι της εργασίας.

Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφεται αναλυτικά το σύστημα ενεργειακού συμβούλου βασισμένο σε LLMs, ξεκινώντας από τη διαδικασία συλλογής δεδομένων μέσω κατάλληλων προτροπών (όπως χαρακτηριστικά χώρου, εξοπλισμός και συνήθειες χρήσης), συνεχίζοντας με την ανάλυση των δεδομένων και την εξαγωγή συμπερασμάτων (εκτίμηση κατανάλωσης, εντοπισμός ενεργοβόρων πρακτικών και παραγωγή συστάσεων) και ολοκληρώνοντας με τους τρόπους παράδοσης των συμβουλών μέσω διαφορετικών τεχνολογικών καναλιών.

Στο Κεφάλαιο 3 εξετάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης LLMs στην ενεργειακή καθοδήγηση, καθώς και οι σχετικές προκλήσεις, με έμφαση σε ζητήματα όπως η εξατομίκευση, η κατανόηση φυσικής γλώσσας, η κλιμάκωση, η εκπαίδευση των χρηστών και η ενσωμάτωση με άλλα συστήματα και πηγές δεδομένων.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται ευρύτερες εφαρμογές των LLMs στον ενεργειακό τομέα, όπως η βελτιστοποίηση κατανάλωσης σε επιχειρήσεις, η διαχείριση έξυπνων δικτύων και η ανάπτυξη νέων υπηρεσιών.

Τέλος, το Κεφάλαιο 5 συνοψίζει τα βασικά συμπεράσματα της εργασίας, παρουσιάζει τις δημοφιλέστερες εφαρμογές LLMs και προτείνει κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα και επέκταση.

2 Περιγραφή Συστήματος Ενεργειακού Συμβούλου με LLMs

Το σύστημα που προτείνεται για ενεργειακές συμβουλές βασίζεται στην προηγμένη λειτουργικότητα των Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων (Large Language Models - LLMs), τα οποία αποτελούν την αιχμή της τεχνητής νοημοσύνης στον τομέα της επεξεργασίας φυσικής γλώσσας. Αυτά τα μοντέλα, όπως το GPT, έχουν εκπαιδευτεί από τεράστιες ποσότητες δεδομένων και ως εκ τούτου κατανοούν, επεξεργάζονται και παράγουν ανθρώπινη γλώσσα με αρκετή ακρίβεια, συνοχή και λογική.

Η αποτελεσματικότητα του συστήματος πηγάζει από την ικανότητά του να συνομιλεί σε φυσική και διαδραστική γλώσσα με τον χρήστη. Μέσα από τη συζήτηση, το σύστημα μπορεί να συλλέγει σχετικές πληροφορίες, όπως το προφίλ κατανάλωσης ενέργειας, τις προτιμήσεις του χρήστη και τις ανάγκες του, και να τις επεξεργάζεται με έξυπνο και προσαρμοστικό τρόπο. Η επεξεργασία αυτή δεν είναι στατική, αλλά δυναμική και βασίζεται στη κατανόηση του περιεχομένου, επιτρέποντας του να παρέχει εξατομικευμένες και χρήσιμες συμβουλές⁴.

2.1 Συλλογή Δεδομένων μέσω Προτροπών (Prompts)

Το αρχικό και θεμελιώδες στάδιο είναι η συστηματική και δυναμική συλλογή πληροφοριών από τον χρήστη. Το LLM είναι σχεδιασμένο να δημιουργεί έξυπνες προτροπές (prompts) που καθοδηγούν τον χρήστη να καταχωρήσει κρίσιμες πληροφορίες, προσαρμόζοντας τις ερωτήσεις του ανάλογα με τις προηγούμενες απαντήσεις. Η διαδικασία αυτή καλύπτει ένα ευρύ φάσμα παραμέτρων, που αναλύονται παρακάτω.

- **Χαρακτηριστικά Κατοικίας/Επιχείρησης.** Τύπος κτιρίου (μονοκατοικία, διαμέρισμα, γραφείο, βιομηχανική μονάδα), συνολική επιφάνεια (τετραγωνικά μέτρα), αριθμός ατόμων/εργαζομένων, ηλικία και ενεργειακή κλάση του κτιρίου (αν είναι διαθέσιμη).⁵
- **Λεπτομέρειες Ηλεκτρικών Συσκευών/Εξοπλισμού.** Πλήρης κατάλογος των

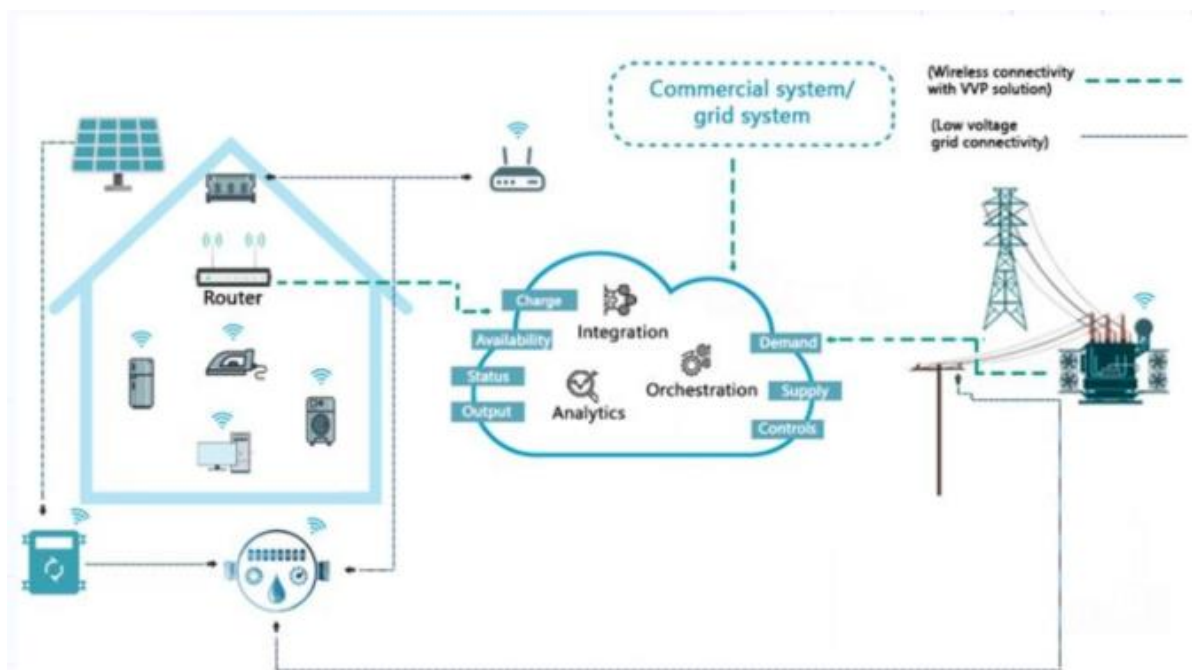
⁴https://www.researchgate.net/publication/390321440_Can_large_language_models_replace_human_experts_Effectiveness_and_limitations_in_building_energy_retrofit_challenges_assessment

<https://kalami.medium.com/powering-the-grid-with-language-how-llms-are-transforming-energy-systems-54a12a915323>

⁵ [How AI and language models can change the energy industry - Cegal](#)

υπαρχουσών συσκευών (π.χ., ψυγείο, κλιματιστικό, πλυντήριο, βιομηχανικός εξοπλισμός), ηλικία αυτών, και η ενεργειακή τους κλάση (π.χ., A+++, B). Επίσης, αναζητούνται πληροφορίες για συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, όπως η ισχύς ή οι ώρες λειτουργίας.

- **Καθημερινές Συνήθειες Χρήσης Ενέργειας.** Πληροφορίες σχετικά με την συχνότητα και τη διάρκεια χρήσης ενεργοβόρων συσκευών (π.χ., πόσες ώρες λειτουργεί το κλιματιστικό ή ο θερμοσίφοντας, πόσες φορές την εβδομάδα χρησιμοποιείται το πλυντήριο ρούχων/πιάτων, χρήση στεγνωτηρίου, φωτισμός).
- **Προτιμήσεις και Στόχοι Χρήστη.** Ενδιαφέρον για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, προϋπολογισμός για ενεργειακές αναβαθμίσεις, επιθυμητή μείωση στους λογαριασμούς ενέργειας.



Εικόνα 2: Διαχείριση Κατανάλωσης Ενέργειας στο Σπίτι

Αυτή η διαδικασία συλλογής δεδομένων πραγματοποιείται μέσω μιας φυσικής, διαδραστικής συνομιλίας, απαλλάσσοντας τον χρήστη από την ανάγκη για τεχνική ορολογία ή τη συμπλήρωση περίπλοκων φορμών⁶.

⁶ [Large language models for building energy applications: Opportunities and challenges - ResearchGate](#)

2.2 Ανάλυση και Εξαγωγή Συμπερασμάτων

Αφού καταχωρήσουμε στο LLM το σύνολο των απαραίτητων πληροφοριών από τον χρήστη, τότε εκείνο προχωρά σε προηγμένη ανάλυση και εξαγωγή συμπερασμάτων. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει:

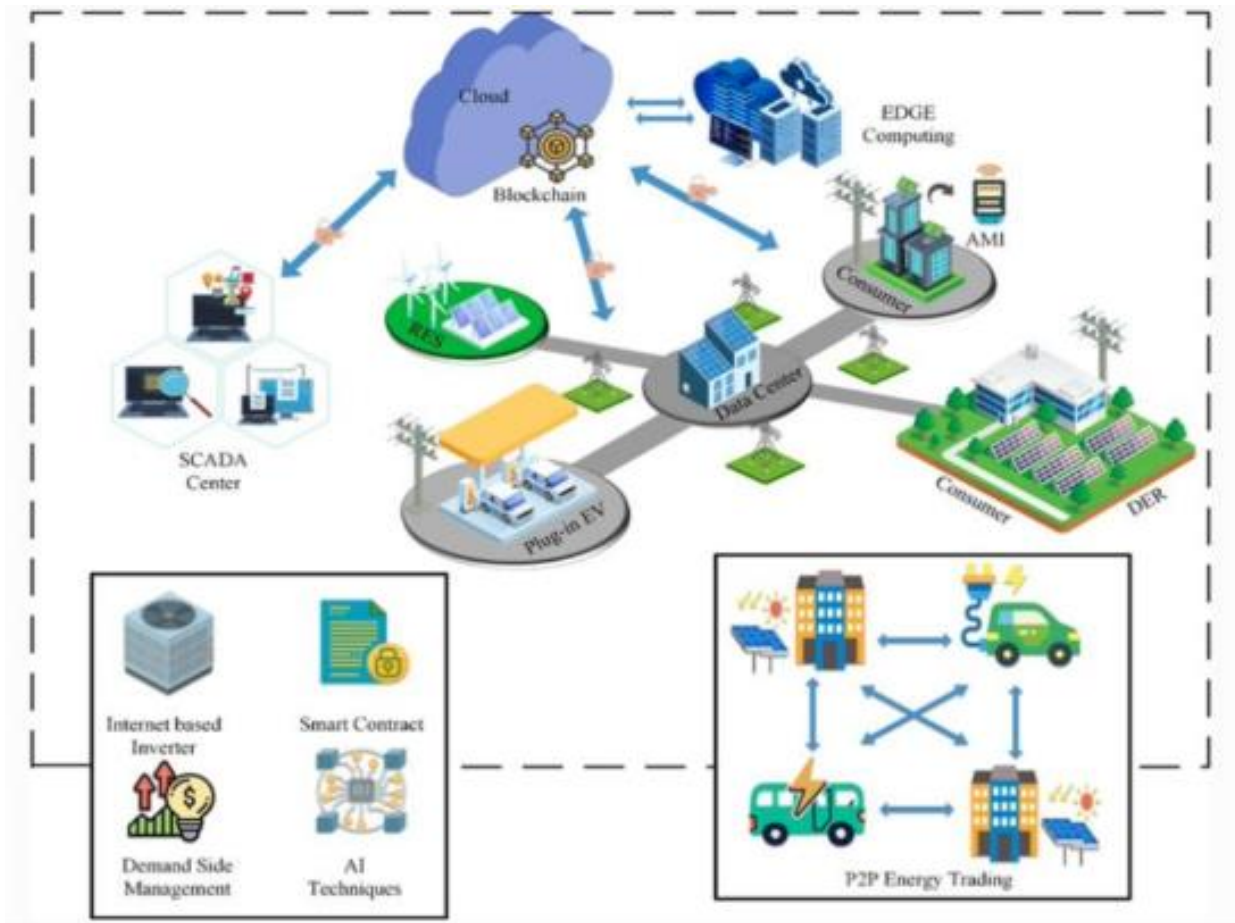
- **Εκτίμηση Ενεργειακής Κατανάλωσης.** Το LLM, βασισμένο στη μεγάλη του εμπειρία και χρησιμοποιώντας πληροφορίες από άλλα σημεία, όπως οι μέσοι όροι κατανάλωσης συσκευών ή το κόστος του kWh, βρίσκει πόση ενέργεια χρησιμοποιεί κάθε συσκευή. Επιπλέον, δείχνει την κατανάλωση ανά είδος (π.χ. θέρμανση, ψύξη, φωτισμός).
- **Ανίχνευση Ενεργοβόρων Πρακτικών/Συσκευών.** Μέσω της ανάλυσης των δεδομένων, το σύστημα αναγνωρίζει μοτίβα υψηλής κατανάλωσης, εντοπίζει συσκευές με κατανάλωση περισσότερης ενέργειας (π.χ. παλιό ψυγείο) ή αναποτελεσματικές συνήθειες χρήσης (π.χ., υπερβολική χρήση κλιματιστικού με ανοιχτά παράθυρα).
- **Σύγκριση και Αναφορά.** Η κατανάλωση του χρήστη συγκρίνεται με εθνικούς, περιφερειακούς ή διεθνείς μέσους όρους για παρόμοια νοικοκυριά ή επιχειρήσεις, παρέχοντας μια ξεκάθαρη εικόνα της θέσης του χρήστη και αναδεικνύει περιθώρια βελτίωσης.
- **Παραγωγή Στοχευμένων Συμβουλών.** Με βάση τα αναφερθέντα, το LLM δημιουργεί εξατομικευμένες και πρακτικές λύσεις εξοικονόμησης, οι οποίες μπορεί να περιλαμβάνουν:
 - Αντικατάσταση παλαιών, ενεργοβόρων συσκευών με νέες, ενεργειακά αποδοτικές (π.χ., κατηγορίας A+++).
 - Προτάσεις για αλλαγή συνηθειών χρήσης (π.χ. αξιοποίηση νυχτερινού ρεύματος, χρήση φυσικού φωτισμού, ρύθμιση θερμοστάτη).
 - Συστάσεις για βελτιώσεις στην κτιριακή υποδομή (π.χ., μόνωση, αντικατάσταση κουφωμάτων) ή αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (π.χ., εγκατάσταση φωτοβολταϊκών).
 - Ενημέρωση για διαθέσιμα επιδοτούμενα προγράμματα ή χρηματοδοτήσεις.

2.3 Παράδοση Συμβουλών

Οι εξατομικευμένες συμβουλές παρουσιάζονται στον χρήστη με τρόπο σαφή, φιλικό και εύκολα κατανοητό. Η μορφή παράδοσης μπορεί να προσαρμοστεί στις ανάγκες και τις προτιμήσεις του χρήστη:

- **Εφαρμογή Κινητού (Mobile App).** Για εύκολη πρόσβαση εν κινήσει, με γραφική απεικόνιση δεδομένων και ειδοποιήσεις.

- **Web-based Chatbot/Πλατφόρμα.** Προσβάσιμο μέσω φυλλομετρητή για λεπτομερή αναφορά και διαδραστική συνομιλία.
- **Ενσωματωμένο Σύστημα σε Έξυπνες Συσκευές (IoT).** Για αυτοματοποιημένη παρακολούθηση και άμεσες προτάσεις.
- **Προσαρμοσμένες Αναφορές.** Περιεκτικές αναφορές που συνοψίζουν τα ευρήματα και τις προτεινόμενες λύσεις, ενδεχομένως με εκτιμήσεις κόστους-οφέλους και απόδοσης επένδυσης.



Εικόνα 3: Τεχνητή Νοημοσύνη στην έξυπνη διαχείριση ενέργειας

3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Χρήσης LLMs στην Ενεργειακή Καθοδήγηση, Προκλήσεις και Περιορισμοί

Η αξιοποίηση των Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων (LLMs) για την παροχή ενεργειακής καθοδήγησης προσφέρει μια πληθώρα σημαντικών πλεονεκτημάτων αλλά και μειονεκτημάτων (που θα αναπτυχθούν παρακάτω), τα οποία υπερβαίνουν τις δυνατότητες των παραδοσιακών μεθόδων και συμβάλλουν στην αναδιαμόρφωση του τρόπου με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε, παρακολουθούμε και διαχειριζόμαστε την ενέργεια. Αντί για τις παλιές μεθόδους που ήταν πιο στατικές και γενικές, τώρα τα LLMs δίνουν τη δυνατότητα να παρέχουν λύσεις σε πραγματικό χρόνο με αλληλεπίδραση και εξατομικευμένης και διαδραστική καθοδήγηση προσαρμοσμένες σε κάθε άτομο και οργανισμό(ομάδα).

Αυτά τα μοντέλα καταλαβαίνουν τη φυσική γλώσσα, χειρίζονται πολύπλοκα δεδομένα και έτσι δίνουν συγκεκριμένες λύσεις για εξοικονόμηση ρεύματος. Δείχνουν τα μοτίβα που ακολουθεί η κατανάλωση, βρίσκουν τρόπους βελτίωσης , όλα με βάση πραγματικές πληροφορίες. Επιπρόσθετα, τα LLMs βοηθούν να γίνει η ενεργειακή πληροφορία πιο ανοιχτή και εύκολα κατανοητή, ακόμα και για όσους δεν είναι τεχνικοί. Έτσι, οι άνθρωποι και οι επιχειρήσεις μπορούν να αποφασίζουν καλύτερα, βελτιώνοντας τη χρήση της ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος.

Τα LLMs στην ενεργειακή καθοδήγηση δεν είναι μόνο νέα τεχνολογία, αλλά φέρνουν μια πιο έξυπνη και βιώσιμη λογική. Παράλληλα, ενθαρρύνουν τη συμμετοχή με αποτέλεσμα να γίνεται πιο απλό να καταλάβεις την ενέργεια.

3.1 Προσαρμοστικότητα και Εξατομίκευση

Τα LLMs υπερβαίνουν τα στατικά συστήματα, προσαρμόζοντας δυναμικά τις ερωτήσεις, τις πληροφορίες και τις συμβουλές τους ανάλογα με τις απαντήσεις, τις ανάγκες και τους στόχους του κάθε χρήστη. Αυτή η εξατομικευμένη προσέγγιση είναι κρίσιμη για την αποτελεσματικότητα.

3.1.1 Δυναμική Εξέλιξη Συνομιλίας

Ένα από τα πιο καινοτόμα χαρακτηριστικά του ενεργειακού συμβούλου είναι η ικανότητά του να υποστηρίζει δυναμική και προσαρμοστική συνομιλία με τον χρήστη. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά συστήματα διαλόγου που βασίζονται σε προκαθορισμένα σενάρια (rule-based⁷ ή menu-driven), τα Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα (LLMs) επιτρέπουν στο σύστημα να προσαρμόζει τη ροή της συνομιλίας σε πραγματικό χρόνο, με βάση τις ανάγκες, τις ερωτήσεις και τις προθέσεις του χρήστη (Zhang et al., 2023).



TECKNEXUS AI Agents Blog Series

Rule-Based vs. LLM-Based AI Agents: A Side-by-Side Comparison

Feature	Rule-Based AI Agents	LLM-Based AI Agents
Operation	Executes predefined rules and logic structures.	Generates responses based on learned patterns from training data.
Decision Process	Deterministic—same input always produces the same output.	Probabilistic—responses depend on context and training data.
Flexibility	Limited to predefined cases, cannot handle unknown inputs.	Can adapt dynamically to various types of input.
Complexity Handling	Struggles with ambiguity and unstructured data.	Excels in processing complex and nuanced information.
Scalability	Becomes difficult to scale as the number of rules grows.	Easily scales to handle large datasets and diverse queries.
Transparency	Highly transparent and easy to debug.	Opaque decision-making process, often seen as a black box.
Learning Ability	No learning—static rules must be manually updated.	Can be trained on additional data to improve performance.
Computational Requirements	Low, does not require intensive processing power.	High, requires advanced hardware and infrastructure.
Use Case Examples	Form validation, compliance checking, rule-based chatbots.	Conversational AI, content generation, AI-powered virtual assistants.

Εικόνα 4: Rule-Based vs. LLM-Based AI Agents: A Side-by-Side Comparison

Έτσι το σύστημα δεν ακολουθεί μια στατική διαδρομή, αλλά είναι σε θέση να αναγνωρίζει το πλαίσιο της συζήτησης, να εντοπίζει τις προτεραιότητες του χρήστη (π.χ. μείωση λογαριασμών θέρμανσης, βελτιστοποίηση ψύξης) και να οδηγήσει τη συζήτηση εκεί που χρειάζεται. Η ευελιξία αυτή βελτιώνει την εμπειρία του χρήστη, καθώς δημιουργείται η αίσθηση μιας φυσικής, ανθρώπινης αλληλεπίδρασης και όχι μιας επικοινωνίας με μηχανή. Επιπλέον, η δυναμική εξέλιξη της συνομιλίας επιτρέπει στο σύστημα να:

- Ανταποκρίνεται σε απρόβλεπτες ερωτήσεις ή αλλαγές θέματος.
- Διαχειρίζεται πολλαπλά θέματα μέσα στην ίδια συνεδρία.

⁷ <https://tecknexus.com/rule-based-vs-llm-based-ai-agents-a-side-by-side-comparison/>

- Επαναπροσδιορίζει στόχους με βάση νέα δεδομένα που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της συνομιλίας.

Αυτή η προσέγγιση καθιστά το σύστημα ιδιαίτερα κατάλληλο για σύνθετα περιβάλλοντα λήψης αποφάσεων, όπως η ενεργειακή διαχείριση, όπου οι ανάγκες του χρήστη μπορεί να μεταβάλλονται συνεχώς.

3.1.2 Πραγματικά Εφαρμόσιμες Συστάσεις

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του προτεινόμενου συστήματος ενεργειακού συμβούλου είναι η ικανότητά του να παρέχει πρακτικά εφαρμόσιμες και εξατομικευμένες συστάσεις, οι οποίες δεν περιορίζονται σε γενικές ή θεωρητικές οδηγίες. Αντίθετα, το σύστημα λαμβάνει υπόψη ένα ευρύ φάσμα μεταβλητών που επηρεάζουν την ενεργειακή συμπεριφορά και τις ανάγκες του χρήστη, όπως:

- ο τύπος του κτιρίου (κατοικία, επαγγελματικός χώρος, δημόσιο κτίριο),
- η ηλικία και ενεργειακή απόδοση του κτιρίου,
- αριθμός των ατόμων ή εργαζομένων που το χρησιμοποιούν,
- τύπος και η ενεργειακή κατανάλωση του εξοπλισμού (π.χ. συσκευές, θέρμανση, ψύξη) και
- οι καθημερινές συνήθειες και το πρόγραμμα χρήσης των χώρων.

Η ενσωμάτωση αυτών των παραμέτρων επιτρέπει στο σύστημα να προτείνει λύσεις που είναι ρεαλιστικές, εφαρμόσιμες και αποδοτικές για τον συγκεκριμένο χρήστη. Για παράδειγμα, αντί να προτείνει γενικά τη χρήση ηλιακού θερμοσίφωνα, το σύστημα μπορεί να αξιολογήσει αν η εγκατάστασή του είναι συμφέρουσα με βάση τον προσανατολισμό του κτιρίου, την τοπική ηλιοφάνεια και τις ώρες αιχμής κατανάλωσης. Όταν φτάσουμε σε αυτό το στάδιο της εξυπηρέτησης οι συστάσεις γίνονται πιο αποτελεσματικές και αυξάνεται η πιθανότητα υλοποίησής τους από τον χρήστη, ενισχύοντας έτσι τον αντίκτυπο του συστήματος στην εξοικονόμηση ενέργειας και τη βιωσιμότητα.

3.1.3 Συνεχής Βελτίωση

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων (LLMs) είναι η δυνατότητά τους να βελτιώνονται συνεχώς μέσω της αλληλεπίδρασης με τους χρήστες και της συλλογής ανατροφοδότησης. Στο πλαίσιο του προτεινόμενου συστήματος ενεργειακού συμβούλου, αυτή η δυνατότητα επιτρέπει στο μοντέλο να "μαθαίνει" από κάθε συνομιλία, εντοπίζοντας μοτίβα, προτιμήσεις και ανάγκες που μπορεί να μην ήταν εμφανείς αρχικά.

Μετά την αρχική εκπαίδευση (pre-training), η βελτιστοποίηση και η εξειδίκευση των LLMs επιτυγχάνεται μέσω διαφόρων μεθοδολογιών. Η διαδικασία αυτή είναι κρίσιμη για την αύξηση της ακρίβειας, της συνάφειας και της ασφάλειας των απαντήσεων του μοντέλου. Οι βασικές τεχνικές περιλαμβάνουν:

- **Fine-tuning (Λεπτή Προσαρμογή).** Αναφέρεται στην περαιτέρω εκπαίδευση ενός προ-εκπαιδευμένου μοντέλου σε ένα μικρότερο, εξειδικευμένο σύνολο δεδομένων. Στόχος είναι η προσαρμογή των παραμέτρων του μοντέλου σε μια συγκεκριμένη εργασία (task-specific adaptation) ή σε έναν συγκεκριμένο τομέα (domain-specific adaptation), βελτιώνοντας την απόδοσή του σε συγκεκριμένες ανάγκες.
- **Reinforcement Learning from Human Feedback (RLHF).** Πρόκειται για μια προηγμένη τεχνική που αξιοποιεί την Ενισχυτική Μάθηση (Reinforcement Learning) και τις ανθρώπινες αξιολογήσεις για τη βελτίωση της ποιότητας των απαντήσεων. Οι χρήστες (human annotators) αξιολογούν και κατατάσσουν τις αποκρίσεις του μοντέλου, δημιουργώντας ένα μοντέλο ανταμοιβής (reward model). Αυτό το μοντέλο καθοδηγεί στη συνέχεια την εκπαίδευση του LLM, ωθώντας το να παράγει εξόδους που κρίνονται ως πιο χρήσιμες, ακριβείς και λιγότερο επιβλαβείς.
- **Contextual Adaptation (Δυναμική Προσαρμογή Πλαισίου).** Αυτή η διαδικασία επιτρέπει στο μοντέλο να προσαρμόζει δυναμικά τη συμπεριφορά του και να παράγει συναφείς απαντήσεις βάσει του ιστορικού της συνομιλίας (context) ή των προηγούμενων εισροών δεδομένων. Αυτό επιτυγχάνεται κυρίως μέσω της διαχείρισης του παραθύρου πλαισίου (context window) κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης, επιτρέποντας στο μοντέλο να διατηρεί τη συνοχή και τη συνάφεια της πληροφορίας σε μακρές συζητήσεις.⁸

Μέσω αυτής της συνεχούς μάθησης, το σύστημα μπορεί να:

- Αυξήσει την ακρίβεια των συστάσεων με βάση πραγματικά σενάρια χρήσης.
- Προσαρμόσει το ύφος και το επίπεδο τεχνικότητας ανάλογα με το προφίλ του χρήστη.
- Ανιχνεύσει νέες ανάγκες που προκύπτουν από την εξέλιξη της ενεργειακής συμπεριφοράς.

Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά το σύστημα εξαιρετικά δυναμικό και εξελίξιμο, καθώς δεν περιορίζεται σε στατικά δεδομένα ή προκαθορισμένες απαντήσεις, αλλά βελτιώνεται με κάθε νέα αλληλεπίδραση, ενισχύοντας την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητά του στο χρόνο.

⁸ <https://arxiv.org/abs/2203.02155>

<https://proceedings.neurips.cc/paper/2020/file/1457c0d6bfc4967418bfb8ac142f64a-Paper.pdf>

<https://arxiv.org/abs/2303.18223>

Πίνακας 1 Προκλήσεις και Προτεινόμενες Λύσεις στη Συνεχή Βελτίωση Συστημάτων LLM

Πρόκληση	Περιγραφή	Προτεινόμενη Λύση
Ποιότητα Ανατροφοδότησης	Ασαφή ή λανθασμένα σχόλια από χρήστες δυσκολεύουν τη μάθηση.	Εφαρμογή μηχανισμών φιλτραρίσματος και αξιολόγησης της ανατροφοδότησης από χρήστες.
Ισορροπία Μάθησης–Σταθερότητας	Κίνδυνος απώλειας γνώσης κατά την προσαρμογή του μοντέλου.	Χρήση τεχνικών όπως continual learning και regularization για αποφυγή απώλειας γνώσης.
Προστασία Προσωπικών Δεδομένων	Απαιτείται συμμόρφωση με κανονισμούς όπως ο GDPR.	Ανωνυμοποίηση δεδομένων και συμμόρφωση με GDPR.
Υπολογιστικό Κόστος	Η συνεχής εκπαίδευση απαιτεί σημαντικούς υπολογιστικούς πόρους.	Βελτιστοποίηση μοντέλων, χρήση parameter-efficient tuning και υποδομών cloud.
Δυσκολία στην Αξιολόγηση Προόδου	Η πρόοδος δεν μετριέται εύκολα με ποσοτικά ή αντικειμενικά κριτήρια.	Ανάπτυξη σύνθετων μετρικών (π.χ. user satisfaction, relevance, response time).
Ετερογένεια Χρηστών	Διαφορετικά προφίλ απαιτούν ευέλικτη και εξατομικευμένη προσαρμογή.	Ενσωμάτωση μηχανισμών προσαρμογής στο προφίλ χρήστη (π.χ. personalization layers).

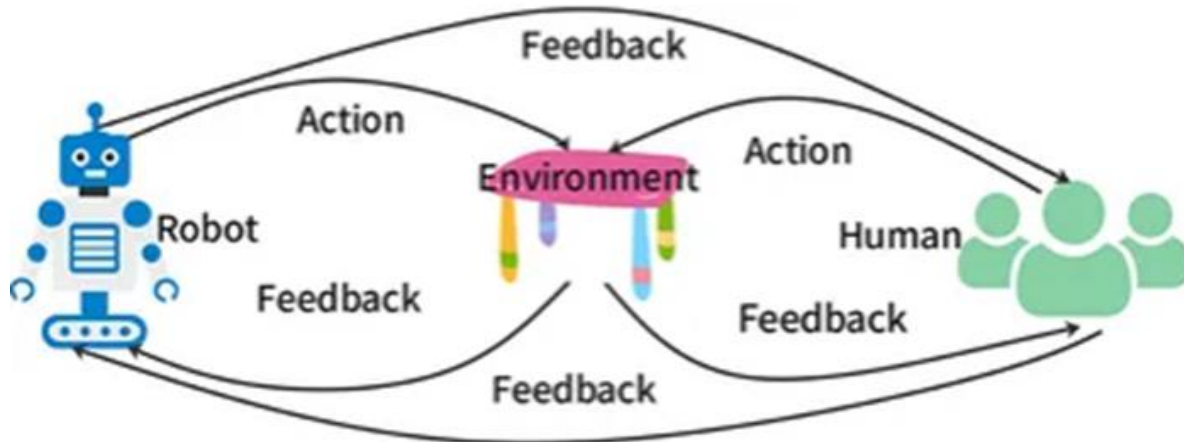
3.2 Κατανόηση Φυσικής Γλώσσας και Απρόσκοπτη Επικοινωνία

Η θεμελιώδης ικανότητα των LLMs να κατανοούν και να επεξεργάζονται τη φυσική γλώσσα (Natural Language Understanding - NLU) είναι καθοριστική για την προσβασιμότητα και τη φιλικότητα του συστήματος.

- **Απρόσκοπτη και Διαισθητική Επικοινωνία.** Ο χρήστης μπορεί να επικοινωνεί με το σύστημα χρησιμοποιώντας καθημερινή, φυσική γλώσσα, όπως ακριβώς θα συνομιλούσε με έναν ανθρώπινο σύμβουλο, χωρίς την ανάγκη για τεχνικούς όρους

ή εξειδικευμένες γνώσεις.

- **Αναγνώριση Πρόθεσης και Συμφραζομένων.** Τα LLMs μπορούν να αναγνωρίσουν την πραγματική πρόθεση πίσω από τα λόγια του χρήστη, ακόμα κι αν η διατύπωση δεν είναι τέλεια, περιέχει αργκό ή ορθογραφικά λάθη.
- **Επεξεργασία Σύνθετων Ερωτήσεων.** Η NLU επιτρέπει την επεξεργασία σύνθετων, πολυδιάστατων ερωτήσεων και απαντήσεων, επιτρέποντας μια πιο εμπειριστατωμένη κατανόηση της ενεργειακής συμπεριφοράς.



Εικόνα 5: Σχηματική αναπαράσταση διαδραστικών συμπεριφορών

3.3 Αυτοματισμός, Κλιμάκωση και Διαθεσιμότητα

Στην παρούσα ενότητα εξετάζουμε τα ζητήματα του αυτοματισμού, της κλιμάκωσης (ή κλιμακωσιμότητας) και της διαθεσιμότητας των συστημάτων.

3.3.1 Εξυπηρέτηση Μεγάλου Αριθμού Χρηστών

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των σύγχρονων πληροφοριακών συστημάτων είναι ότι μπορούν να εξυπηρετούν ταυτόχρονα πολύ μεγάλο αριθμό χρηστών, χωρίς να χρειάζεται συνεχής ανθρώπινη παρέμβαση. Χάρη σε προηγμένα λογισμικά και υποδομές cloud, είναι δυνατή η εξυπηρέτηση χιλιάδων ή και εκατομμυρίων χρηστών, διατηρώντας υψηλή απόδοση, διαθεσιμότητα και αξιοπιστία.

Αυτό επιτυγχάνεται με τεχνολογίες όπως η κατανεμημένη επεξεργασία, η δυναμική κατανομή πόρων και η αυτοματοποίηση μέσω αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης. Έτσι, το σύστημα ανταποκρίνεται σε αιτήματα σε πραγματικό χρόνο, χωρίς καθυστερήσεις ή υπερφόρτωση, ακόμη και σε περιόδους αιχμής.

Η έλλειψη ανάγκης για συνεχή ανθρώπινη παρέμβαση μειώνει σημαντικά το λειτουργικό κόστος, αφού περιορίζεται η ανάγκη για προσωπικό υποστήριξης και

χειροκίνητη διαχείριση. Επιπλέον, η αυτοματοποίηση μειώνει τα σφάλματα, αυξάνει την ταχύτητα απόκρισης και βελτιώνει την εμπειρία του χρήστη.

Από επιχειρηματική άποψη, η δυνατότητα εξυπηρέτησης μεγάλου αριθμού χρηστών με χαμηλό κόστος αποτελεί στρατηγικό πλεονέκτημα. Επιτρέπει την κλιμάκωση των υπηρεσιών χωρίς αντίστοιχη αύξηση εξόδων, κάτι ιδιαίτερα σημαντικό σε τομείς όπως το ηλεκτρονικό εμπόριο, οι ψηφιακές πλατφόρμες εκπαίδευσης, οι τραπεζικές εφαρμογές και οι υπηρεσίες δημόσιας διοίκησης.

3.3.2 Διαθεσιμότητα μέσω Ψηφιακών Πλατφορμών και Ευφύων Συστημάτων

Η συνεχής διαθεσιμότητα (24/7) αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των σύγχρονων ψηφιακών συστημάτων εξυπηρέτησης, όπως τα chatbots, οι διαδικτυακές εφαρμογές και οι ψηφιακές πλατφόρμες. Η δυνατότητα ενσωμάτωσης διαδικασιών, όπως η παροχή ενεργειακών συμβουλών ή η τεχνική υποστήριξη, σε τέτοια συστήματα επιτρέπει την αδιάλειπτη εξυπηρέτηση των χρηστών, ανεξαρτήτως ώρας ή γεωγραφικής τοποθεσίας.

Τα ευφυή συστήματα συνομιλίας (conversational agents), όπως τα chatbots, αξιοποιούν τεχνολογίες επεξεργασίας φυσικής γλώσσας (NLP), μηχανικής μάθησης και συστημάτων συστάσεων, ώστε να παρέχουν εξατομικευμένες απαντήσεις και καθοδήγηση στους χρήστες, χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης¹. Η χρήση αυτών των τεχνολογιών επιτρέπει την κλιμάκωση των υπηρεσιών και την αύξηση της προσβασιμότητας, ιδιαίτερα σε τομείς όπως η ενεργειακή διαχείριση, όπου οι χρήστες μπορεί να χρειάζονται άμεσες και προσωποποιημένες πληροφορίες.

Η γεωγραφική ανεξαρτησία που προσφέρουν οι διαδικτυακές πλατφόρμες ενισχύει περαιτέρω την ισότητα στην πρόσβαση σε πληροφορίες και υπηρεσίες, ειδικά σε απομακρυσμένες ή αγροτικές περιοχές. Επιπλέον, η 24ωρη διαθεσιμότητα μειώνει την ανάγκη για φυσικά κέντρα εξυπηρέτησης και συνεπώς το λειτουργικό κόστος, ενώ παράλληλα ενισχύει την ικανοποίηση και εμπιστοσύνη των χρηστών.

3.3.3 Μείωση Κόστους μέσω Αυτοματισμού στις Συμβουλευτικές Υπηρεσίες

Η αυτοματοποίηση διαδικασιών στις συμβουλευτικές υπηρεσίες είναι ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους για να μειωθεί το λειτουργικό κόστος, χωρίς να υποβαθμιστεί η ποιότητα. Με τεχνολογίες όπως η ρομποτική αυτοματοποίηση διαδικασιών (RPA), η τεχνητή νοημοσύνη και τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων, οι επιχειρήσεις αντικαθιστούν επαναλαμβανόμενες και χρονοβόρες εργασίες με αυτοματοποιημένες λύσεις, μειώνοντας σημαντικά τις δαπάνες.

Έρευνες δείχνουν ότι οι εταιρείες που εφαρμόζουν αυτοματοποίηση μειώνουν το κόστος κατά 20–35%, ενώ αυξάνεται η ακρίβεια και η ταχύτητα εξυπηρέτησης. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ING, όπου η έγκριση δανείων μειώθηκε από δύο εβδομάδες σε μόλις δέκα λεπτά.

Η μείωση του κόστους κάνει τις συμβουλευτικές υπηρεσίες πιο προσιτές, καθώς περιορίζεται η ανάγκη για ανθρώπινο δυναμικό και φυσική παρουσία. Οι υπηρεσίες μπορούν να προσφέρονται ψηφιακά, σε πραγματικό χρόνο και με χαμηλότερο κόστος ανά χρήστη. Επιπλέον, η αυτοματοποίηση επιτρέπει την κλιμάκωση των υπηρεσιών, εξυπηρετώντας περισσότερους πελάτες χωρίς αντίστοιχη αύξηση εξόδων.

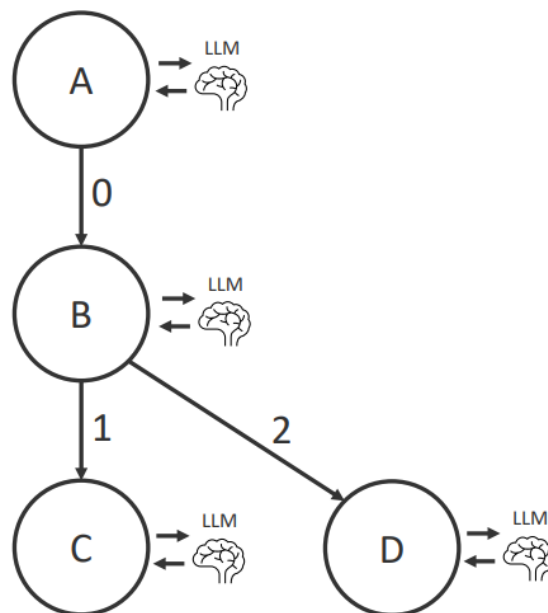


Εικόνα 6 Οφέλη Αυτοματισμού

Εκπαίδευση και Ευαισθητοποίηση

Πέρα από την απλή παροχή συμβουλών, το σύστημα λειτουργεί και ως ένα ισχυρό εκπαιδευτικό εργαλείο.

- **Ενίσχυση Ενεργειακής Παιδείας.** Μέσω της διαδραστικής συνομιλίας, οι χρήστες μαθαίνουν πώς οι καθημερινές τους επιλογές και συνήθειες επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας, τους λογαριασμούς και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα.
- **Ενδυνάμωση των Χρηστών.** Το σύστημα ενδυναμώνει τους χρήστες να κάνουν πιο συνειδητές, υπεύθυνες και βιώσιμες επιλογές στην καθημερινότητά τους, μετατρέποντάς τους από παθητικούς καταναλωτές σε ενεργούς διαχειριστές της ενέργειάς τους.
- **Διάχυση της Γνώσης.** Μπορεί να εξηγήσει περίπλοκες ενεργειακές έννοιες (π.χ., ενεργειακή απόδοση, έξυπνα δίκτυα, ανανεώσιμες πηγές) με απλό και κατανοητό τρόπο. Για παράδειγμα, η δομή δέντρου αποφάσεων μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια της συλλογιστικής LLM καθώς οι κόμβοι και οι ακμές έχουν προτροπές και συναρτήσεις που ορίζουν καταστάσεις και μεταβάσεις. Έτσι ο χρήστης επωφελείται από την αργή λογική συμβολική συλλογιστική και την γρήγορη λογική κατανόηση κειμένου από το GPT-4 που είναι μία από τις βασικές εφαρμογές ενός νευροσυμβολικού συστήματος τεχνητής νοημοσύνης.



Εικόνα 7 LLMs με καθοδήγηση από δέντρο αποφάσεων

3.4 Ενσωμάτωση με Άλλα Συστήματα και Πηγές Δεδομένων

Η δύναμη των LLMs πολλαπλασιάζεται όταν συνδέονται με εξωτερικές πηγές πληροφοριών και συστήματα.⁹

3.4.1 Σύνδεση με Έξυπνους Μετρητές (Smart Meters), AMR και IoT

Η δυνατότητα αυτόματης συλλογής δεδομένων κατανάλωσης σε πραγματικό χρόνο από έξυπνους μετρητές και άλλες συσκευές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) αποτελεί κρίσιμο βήμα για την ανάπτυξη προηγμένων ενεργειακών συστημάτων. Η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών στην ενεργειακή διαχείριση επιτρέπει τη διεξαγωγή εξαιρετικά ακριβών αναλύσεων και προβλέψεων (forecasting), βελτιστοποιώντας τη διαχείριση της ενέργειας τόσο σε επίπεδο τελικού καταναλωτή όσο και σε επίπεδο παρόχου υπηρεσιών.

Βασικό ρόλο σε αυτή τη διαδικασία διαδραματίζουν οι έξυπνοι μετρητές (smart meters). Αυτές οι ηλεκτρονικές συσκευές αποτελούν πρωτοποριακά εργαλεία που παρέχουν τη δυνατότητα για ακριβή και χρονικά λεπτομερή μέτρηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, προσφέρουν τη δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας και σύνδεσης με οικιακές συσκευές, καθώς και απευθείας διασύνδεσης με τον πάροχο ενέργειας. Η λειτουργία αυτή δημιουργεί ένα ολοκληρωμένο δίκτυο παρακολούθησης και ελέγχου (monitoring and control network), θεμελιώνοντας τη βάση για τα έξυπνα δίκτυα (Smart Grids).

Η αξιοποίηση αυτών των δυνατοτήτων οδηγεί σε βελτίωση της ποιότητας υπηρεσιών προς τον καταναλωτή, εξοικονόμηση ενέργειας και αποτελεσματικότερη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας από τον πάροχο. Όπως επισημαίνει και η Διεθνής Επιτροπή Ενέργειας, «[...] στον 21ο αιώνα τα ενεργειακά συστήματα πρέπει να κατευθυνθούν σε συστήματα μέτρησης που παρέχουν πληροφόρηση σε πραγματικό χρόνο για την καλύτερη και γρηγορότερη εξυπηρέτηση του καταναλωτή [...]». Η μετάβαση αυτή αποτελεί θεμέλιο για την ανάπτυξη έξυπνων δικτύων και την επίτευξη ενεργειακής βιωσιμότητας.¹⁰

⁹ [How AI is Enabling Smart Energy Consumption in Homes and Industries? - XenonStack](#)

[Powering the Grid with Language: How LLMs Are Transforming Energy Systems - Kalami Medium](#)

¹⁰ <https://www.iosrjournals.org/iosr-jeee/Papers/Vol17-Issue5/Ser-1/F1705013240.pdf>

[Smart metering – Policies - IEA](#)



Εικόνα 8 Έξυπνος μετρητής

3.4.1.1 Πλεονεκτήματα με τη χρήση της τεχνολογίας AMR

AMR (Automatic Meter Reading) ονομάζουμε την τεχνολογία που μας προσφέρει την συλλογή των μετρήσεων του ηλεκτρικού ρεύματος, του γκαζιού και του νερού που καταναλώνουμε. Μέσω αυτού του συστήματος μπορούμε να παρακολουθήσουμε την real-time χρέωση, να διαγνώσουμε ένα σφάλμα ανάμεσα στον χρήστη και στον πάροχο μεταξύ άλλων. Αυτή η τεχνολογία μας βοηθά στον καλύτερο υπολογισμό της προβλεπόμενης κατανάλωσης καθώς βασίζεται όπως αναφέραμε στην real-time κατανάλωση. Η χρήση της τεχνολογίας AMR προϋποθέτει την ύπαρξη ενσύρματου ή ασύρματου δικτύου για την μεταφορά των μετρήσεων.

- **Αυξημένη ακρίβεια μέτρησης.** Η εφαρμογή της τεχνολογίας Αυτόματης Ανάγνωσης Μετρητών (Automatic Meter Reading, AMR) αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την αύξηση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας. Η AMR εξαλείφει τα συχνά ανθρώπινα σφάλματα (human errors) που ενδέχεται να προκύψουν κατά τη χειροκίνητη ανάγνωση των μετρητών. Οι μετρήσεις συλλέγονται αυτόματα και με μεγάλη συχνότητα (high frequency), διασφαλίζοντας ότι τα δεδομένα είναι ακριβή και επικαιροποιημένα σε πραγματικό χρόνο. Ως αποτέλεσμα, επιτυγχάνεται η μείωση των λανθασμένων υπολογισμών στη χρέωση και η σημαντική ελαχιστοποίηση των διαφορών μεταξύ της πραγματικής και της εκτιμώμενης κατανάλωσης ενέργειας, οδηγώντας σε πιο δίκαιη τιμολόγηση και καλύτερη διαχείριση των ενεργειακών πόρων.
- **Καλύτερη και πιο ακριβής τιμολόγηση.** Δεδομένου ότι οι καταναλώσεις καταγράφονται σε πραγματικό χρόνο (real-time data) μέσω των έξυπνων μετρητών, οι πάροχοι ενέργειας είναι σε θέση να εκδίδουν τιμολόγια που ανταποκρίνονται με ακρίβεια στην πραγματική χρήση κάθε πελάτη. Αυτή η δυνατότητα οδηγεί σε πιο δίκαιη και διαφανή χρέωση (fair and transparent billing),

καθώς αποτρέπονται οι συχνές υπερβολικές ή ελλιπείς εκτιμήσεις που αποτελούν χαρακτηριστικό των παραδοσιακών συστημάτων μέτρησης. Η ακρίβεια των δεδομένων ενισχύει την εμπιστοσύνη των καταναλωτών και βελτιώνει την οικονομική διαχείριση τόσο για τους παρόχους όσο και για τους τελικούς χρήστες.¹¹

- **Ακριβής εφαρμογή του τιμολογίου χρέωσης.** Η AMR επιτρέπει την αυτόματη εφαρμογή των διαφορετικών τιμολογίων (π.χ. ημερήσιο – νυχτερινό ρεύμα) ανάλογα με την πραγματική ώρα κατανάλωσης. Έτσι, ο χρήστης επωφελείται πλήρως από τα προγράμματα χρέωσης που προσφέρει ο πάροχος.
- **Μεγαλύτερη ασφάλεια δεδομένων.** Οι μετρήσεις μεταδίδονται ψηφιακά μέσω ασφαλών πρωτοκόλλων επικοινωνίας και κρυπτογράφησης, προστατεύοντας τα δεδομένα από αλλοίωση ή μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση. Αυτό μειώνει σημαντικά τον κίνδυνο απάτης ή παραποίησης των στοιχείων κατανάλωσης.
- **Διαχείριση ηλεκτρικής ενέργειας μέσω γραφικών παραστάσεων.** Οι χρήστες μπορούν να παρακολουθούν εύκολα την κατανάλωσή τους μέσω εφαρμογών ή διαδικτυακών πλατφορμών που απεικονίζουν τα δεδομένα σε γραφήματα. Αυτό διευκολύνει την κατανόηση των συνηθειών κατανάλωσης και βοηθά στη λήψη μέτρων για εξοικονόμηση ενέργειας.
- **Μικρότερη επιβάρυνση στον χρήστη για επιδιόρθωση βλαβών.** Επειδή το σύστημα επιτρέπει την απομακρυσμένη διάγνωση προβλημάτων, ο πάροχος μπορεί να εντοπίσει και να αντιμετωπίσει βλάβες χωρίς να απαιτείται επίσκεψη τεχνικού. Έτσι, μειώνεται ο χρόνος αποκατάστασης και το κόστος συντήρησης για τον καταναλωτή.
- **Μικρότερο κόστος πάγιων δαπανών.** Η αυτοματοποίηση της διαδικασίας ανάγνωσης μειώνει την ανάγκη για προσωπικό πεδίου και περιοδικούς ελέγχους. Αυτό οδηγεί σε χαμηλότερα λειτουργικά έξοδα για τις εταιρείες παροχής και, μακροπρόθεσμα, σε χαμηλότερο κόστος για τους καταναλωτές.
- **Διαφάνεια όσον αφορά το κόστος κατανάλωσης.** Οι χρήστες έχουν πρόσβαση στα πραγματικά δεδομένα κατανάλωσης και κόστους ανά χρονική περίοδο, γεγονός που ενισχύει τη διαφάνεια και την εμπιστοσύνη προς τον πάροχο. Με αυτόν τον τρόπο, γνωρίζουν ακριβώς τι πληρώνουν και γιατί.
- **Εντοπισμός επιτήδειων υποκλοπών.** Η συνεχής παρακολούθηση των μετρήσεων βοηθά στον άμεσο εντοπισμό ασυνήθιστων ή ύποπτων προτύπων κατανάλωσης. Έτσι, το σύστημα μπορεί να εντοπίσει γρήγορα περιπτώσεις παράνομης σύνδεσης ή υποκλοπής ενέργειας.

¹¹ <https://www.zintego.com/blog/building-trust-through-transparent-billing-practices-and-accurate-invoices/>

- **Αρχειοθέτηση των δεδομένων.** Τα συστήματα AMR αποθηκεύουν αυτόματα τις ιστορικές μετρήσεις, διευκολύνοντας την ανάλυση της κατανάλωσης σε βάθος χρόνου. Αυτή η δυνατότητα είναι πολύτιμη τόσο για τον χρήστη όσο και για τον πάροχο, καθώς παρέχει στοιχεία για προβλέψεις, βελτιώσεις και ενεργειακό προγραμματισμό¹².

3.4.1.2 Μειονεκτήματα με τη χρήση της τεχνολογίας AMR

Όμως η εν λόγω τεχνολογία έχει και σημαντικά μειονεκτήματα που αναφέρονται στη συνέχεια.

- **Παραβίαση της ιδιωτικότητας.** Η συνεχής συλλογή δεδομένων κατανάλωσης μπορεί να αποκαλύψει προσωπικές συνήθειες του χρήστη, όπως τις ώρες παρουσίας στο σπίτι ή τις περιόδους απουσίας. Αυτό εγείρει ανησυχίες σχετικά με την προστασία της ιδιωτικής ζωής και τη χρήση αυτών των πληροφοριών.
- **Παρακολούθηση στοιχείων από τρίτους.** Σε περίπτωση ανεπαρκούς ασφάλειας του δικτύου, τρίτα μέρη ενδέχεται να αποκτήσουν πρόσβαση στα δεδομένα κατανάλωσης. Η ανεξέλεγκτη παρακολούθηση μπορεί να οδηγήσει σε κακή χρήση ή εμπορική εκμετάλλευση των πληροφοριών των χρηστών.
- **Μειωμένες θέσεις εργασίας.** Η αυτοματοποίηση της διαδικασίας συλλογής μετρήσεων καθιστά περιττή την ανάγκη για υπαλλήλους που πραγματοποιούν χειροκίνητες αναγνώσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση θέσεων εργασίας στον συγκεκριμένο τομέα.
- **Δυνατότητα παρεμβολής τρίτων μέσω δικτύου.** Καθώς η AMR βασίζεται στη μετάδοση δεδομένων μέσω ενσύρματων ή ασύρματων δικτύων, υπάρχει πάντοτε ο κίνδυνος κυβερνοεπιθέσεων ή παρεμβολών. Μια τέτοια επίθεση θα μπορούσε να προκαλέσει απώλεια ή αλλοίωση δεδομένων, επηρεάζοντας τη λειτουργία του συστήματος.

3.4.2 Λοιπές διασυνδέσεις και πλεονεκτήματα

Τα σημερινά LLMs καλύπτουν ένα μεγάλο φάσμα διασύνδεσης με άλλα συστήματα όπως:

- **Πρόσβαση σε Βάσεις Δεδομένων.** Ενσωμάτωση με βάσεις δεδομένων που περιέχουν στατιστικά στοιχεία (π.χ., μέσες καταναλώσεις, τιμές ενέργειας), πληροφορίες για ενεργειακές κλάσεις συσκευών, και στοιχεία για επιδοτούμενα

¹² Proxima Consulting (2025). Αυτοματοποίηση Επιχειρησιακών Διαδικασιών: Η Επανάσταση στον Εργασιακό Χώρο.

προγράμματα.

- **Συνεργασία με Συστήματα Αυτοματισμού.** Δυνατότητα άμεσης εφαρμογής προτεινόμενων λύσεων (π.χ., ρύθμιση έξυπνων θερμοστατών, βελτιστοποίηση λειτουργίας συσκευών) μέσω διασύνδεσης με συστήματα οικιακού/κτιριακού αυτοματισμού.
- **Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων.** Τα LLMs μπορούν να επεξεργαστούν τεράστιους όγκους δεδομένων (Big Data) από διάφορες πηγές, όπως αισθητήρες, μετρητές και ακόμη και δεδομένα καιρού, για να παρέχουν πιο ολοκληρωμένες και ακριβείς συστάσεις.
- **Συνομιλητική Διεπαφή.** Αντί να συμπληρώνει ο χρήστης πεδία σε μια φόρμα, ένα LLM μπορεί να κάνει ερωτήσεις σε φυσική γλώσσα: "Ποια ήταν η κατανάλωσή σας τον τελευταίο μήνα;", "Έχετε νυχτερινό ρεύμα;", "Ποιες ώρες της ημέρας καταναλώνετε περισσότερο ρεύμα;". Αυτή η φυσική μέθοδος επικοινωνίας μέσω μιας σειράς προτροπών και απαντήσεων δίνει την αίσθηση ότι ο χρήστης μιλά σε έναν άνθρωπο ο οποίος είναι ειδικός στο αντικείμενο. Αυτή η ευκολία χρήσης σημαίνει ότι οποιοσδήποτε, χωρίς να απαιτεί καμία γνώση της Τεχνητής Νοημοσύνης, μπορεί να χρησιμοποιήσει την τεχνολογία αποτελεσματικά χωρίς προηγούμενη εκπαίδευση ή γνώση. Έτσι τα LLMs μπορούν να μετατρέψουν μια συχνά περίπλοκη και βαρετή διαδικασία σε μια απλή, διαδραστική και εξαιρετικά εξατομικευμένη εμπειρία, ενδυναμώνοντας τον καταναλωτή να λάβει τις καλύτερες δυνατές αποφάσεις και αποφάσεις ανάλογα με τις καταχωρίσεις που έχει ενσωματώσει στη «συνομιλία».
- **Ανάλυση Λογαριασμών (με OCR).** Ο χρήστης ανεβάζει μια φωτογραφία του λογαριασμού του. Το LLM (σε συνεργασία με τεχνολογία OCR) αναλύει αυτόματα τα δεδομένα (κατανάλωση, πάγια, χρεώσεις, ρήτρες) και τα χρησιμοποιεί για την ανάλυση, χωρίς χειροκίνητη καταχώρηση.
- **Κατανόηση Συσκευών/Συνηθειών.** Μπορεί να ρωτήσει για μεγάλες ηλεκτρικές συσκευές (π.χ., θερμοσίφωνα, κλιματιστικό, φούρνος), τον αριθμό των ατόμων στο νοικοκυριό, ή τις συνήθειες (π.χ., δουλεύω από το σπίτι), για να δημιουργήσει ένα πιο ακριβές προφίλ κατανάλωσης.



Εικόνα 9 Πλεονεκτήματα από τη χρήση του OCR σε ERP συστήματα¹³

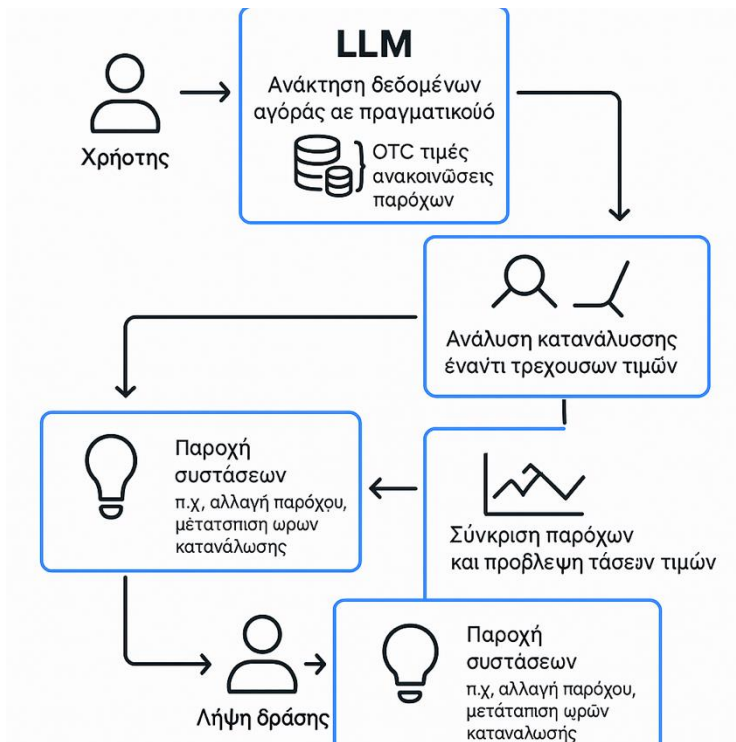
Επιπλέον ένα LLM μπορεί να προσφέρει υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας όπως:

- **Απλοποίηση Σύνθετων Όρων.** Τα τιμολόγια έχουν συχνά περίπλοκους όρους (π.χ., ΟΤΣ, Μηχανισμός Ανάκτησης Υπερεσόδων, πάγια, ρήτρες). Ένα LLM μπορεί να εξηγήσει αυτές τις έννοιες με απλά λόγια, προσαρμοσμένα στο επίπεδο κατανόησης του χρήστη.
- **Διαφορές "Χρωματιστών" Τιμολογίων.** Να εξηγήσει αναλυτικά τις διαφορές μεταξύ πράσινου, μπλε και κίτρινου τιμολογίου, πότε συμφέρει το καθένα και γιατί, βασιζόμενο στο προφίλ κατανάλωσης του χρήστη.
- **Ανάδειξη Κρυφού Κόστους ή Οφέλους.** Να επισημάνει πιθανά κόστη (π.χ., ρήτρες πρόωρης αποχώρησης) ή οφέλη (π.χ., εκπτώσεις συνέπειας, συνδυαστικές προσφορές) που μπορεί να μην είναι άμεσα εμφανή.
- **Δυναμική Σύγκριση και Προβλέψεις.** Έχοντας πρόσβαση σε πραγματικά δεδομένα αγοράς (π.χ., τρέχουσες τιμές ΟΤΣ, ανακοινώσεις παρόχων), μπορεί να παρέχει συστάσεις σε πραγματικό χρόνο. Έτσι σε περιβάλλοντα όπως **η ενεργειακή αγορά**, όπου οι τιμές και οι συνθήκες μεταβάλλονται συνεχώς, η αξία δεν βρίσκεται μόνο στην ιστορική ανάλυση, αλλά στην άμεση, real-time κατανόηση της κατάστασης. Έτσι ένα LLM, όταν έχει πρόσβαση σε τρέχοντα δεδομένα όπως:

¹³ Τι είναι OCR - Οπτική Αναγνώριση Χαρακτήρων

- Οριακή Τιμή Συστήματος (ΟΤΣ) σε πραγματικό χρόνο
- Ανακοινώσεις παρόχων ενέργειας (π.χ. νέες τιμολογιακές πολιτικές, εκπτώσεις, ρήτρες)
- **Καιρικά δεδομένα** (που επηρεάζουν τη ζήτηση)
- **Κατανάλωση και παραγωγή ενέργειας** ανά ώρα

τότε μπορεί να προσφέρει: σύγκριση παρόχων σε πραγματικό χρόνο, προβλέψεις τιμών, αύξηση ή μείωση της ΟΤΣ, συστάσεις για αλλαγή παρόχου ή τιμολογίου ή ανίχνευση ευκαιριών για εξοικονόμηση



Εικόνα 10: Διάγραμμα ροής που δείχνει πώς ένα LLM με πρόσβαση σε δεδομένα αγοράς ενέργειας

Πίνακας 2 Στατική Ανάλυση vs Δυναμική Ανάλυση με LLMs

Στατική Ανάλυση	Δυναμική Ανάλυση με LLM
Βασίζεται σε παλιά δεδομένα	Χρησιμοποιεί real-time δεδομένα
Δεν προσαρμόζεται σε αλλαγές	Αντιδρά άμεσα σε νέα δεδομένα
Περιορισμένη ακρίβεια	Υψηλή ακρίβεια και προσαρμοστικότητα

- **Σεναριακή Ανάλυση: Εργαλείο Προβλέψεων και Απόφασης.** Η σεναριακή ανάλυση είναι μια τεχνική που επιτρέπει στον χρήστη να εξετάσει τις επιπτώσεις διαφορετικών υποθετικών καταστάσεων στην κατανάλωση και το κόστος ενέργειας. Ένα Μεγάλο Γλωσσικό Μοντέλο (LLM) μπορεί να λειτουργήσει ως ένας έξυπνος προσομοιωτής
- **Εξατομικευμένες Συμβουλές Εξοικονόμησης.** Ένα Μεγάλο Γλωσσικό Μοντέλο (LLM) δεν περιορίζεται μόνο στη σύγκριση τιμολογίων ή στην πρόβλεψη τιμών. Μπορεί να λειτουργήσει ως προσωπικός ενεργειακός σύμβουλος, παρέχοντας εξατομικευμένες προτάσεις για μείωση της κατανάλωσης, με βάση τις συσκευές που χρησιμοποιεί ο χρήστης, τις συνήθειες κατανάλωσης (π.χ. ώρες χρήσης, τρόπος ζωής), ή το τιμολόγιο που έχει επιλέξει.
- **Διαρκής Παρακολούθηση και Ειδοποιήσεις.** Ένα LLMs μπορεί να λειτουργήσει ως ενεργειακός σύμβουλος που παρακολουθεί συνεχώς τις τιμές της αγοράς και να ειδοποιεί τον χρήστη αν εμφανιστεί ένα καλύτερο τιμολόγιο που ταιριάζει στο προφίλ του, ή αν η τρέχουσα τιμολόγησή του γίνει μη συμφέρουσα.

3.5 Πολυγλωσσική Υποστήριξη

Η εγγενής πολυγλωσσική αρχιτεκτονική των σύγχρονων Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων (LLMs) αποτελεί ένα κρίσιμο πλεονέκτημα για τη διεθνή επέκταση εφαρμογών, όπως οι έξυπνοι ενεργειακοί σύμβουλοι. Η πολυγλωσσικότητα αυτή επιτυγχάνεται μέσω της εκπαίδευσης των μοντέλων σε τεράστια και ποικίλα σύνολα δεδομένων που περιλαμβάνουν πολλές γλώσσες ταυτόχρονα. Αυτό το θεμελιώδες χαρακτηριστικό καθιστά δυνατή την απρόσκοπτη διεθνή επέκταση οποιασδήποτε εφαρμογής βασίζεται σε LLMs. Η ικανότητα αυτή εξαλείφει την ανάγκη για χρονοβόρες και δαπανηρές ξεχωριστές αναπτύξεις γλωσσικών εκδόσεων (localization) ή την πολύπλοκη χειροκίνητη μετάφραση κάθε στοιχείου της εφαρμογής.

Συνεπώς, επιτυγχάνεται σημαντική μείωση του κόστους ανάπτυξης και συντήρησης, καθώς και επιτάχυνση του χρόνου διάθεσης στην αγορά (Time-to-Market). Παράλληλα, διευρύνεται δραστικά η προσβασιμότητα για χρήστες από διαφορετικές γλωσσικές και πολιτισμικές ομάδες, ενισχύοντας έτσι τη παγκόσμια εμβέλεια (global reach) της υπηρεσίας.

3.6 Προκλήσεις

Αν και τα LLMs προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα στην ενεργειακή καθοδήγηση, έχουν και αρκετά μειονεκτήματα και προκλήσεις που πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη:

- 1. Παραισθήσεις (hallucinations) και Ανακρίβειες.**
 - **Κίνδυνος Λανθασμένων Πληροφοριών.** Τα LLMs μπορούν να δημιουργήσουν κείμενο που ακούγεται πειστικό, αλλά είναι ανακριβές ή εντελώς φανταστικό. Στην ενεργειακή καθοδήγηση, μια λάθος πληροφορία για ένα τιμολόγιο, μια ρήτρα ή μια συμβουλή εξοικονόμησης μπορεί να οδηγήσει τον καταναλωτή σε οικονομική ζημιά ή λανθασμένες αποφάσεις.
 - **Έλλειψη Επαλήθευσης.** Η πληροφορία που παρέχεται από ένα LLM δεν συνοδεύεται πάντα από πηγές, καθιστώντας δύσκολη την επαλήθευσή της από τον χρήστη.
- 2. Έλλειψη Εμπειρίας σε Πραγματικό Κόσμο και Κοινή Λογική.**
 - **Δεν Κατανοούν τον Κόσμο:** Τα LLMs δεν "κατανοούν" πραγματικά την ενέργεια ή τις συνθήκες του νοικοκυριού όπως ένας άνθρωπος. Βασίζονται σε μοτίβα δεδομένων. Μια συμβουλή που είναι λογική γενικά, μπορεί να μην ισχύει για μια πολύ συγκεκριμένη ή ασυνήθιστη κατάσταση ενός καταναλωτή.
 - **Περιορισμένη Εμπειρία.** Δεν έχουν την εμπειρία ενός ανθρώπου ενεργειακού συμβούλου που έχει αντιμετωπίσει εκατοντάδες διαφορετικές περιπτώσεις και μπορεί να διαβάσει μεταξύ των γραμμών ή να λάβει υπόψη μη λεκτικά στοιχεία.
- 3. Εξάρτηση από την Ποιότητα και την Επικαιρότητα των Δεδομένων Εκπαίδευσης.**
 - **Ξεπερασμένες Πληροφορίες.** Τα LLMs εκπαιδεύονται σε δεδομένα μέχρι μια συγκεκριμένη ημερομηνία. Η αγορά ενέργειας (τιμές, ρήτρες, νομοθεσία) αλλάζει πολύ γρήγορα. Αν ένα LLM δεν ενημερώνεται συνεχώς με τα πιο πρόσφατα δεδομένα, οι συμβουλές του μπορεί να είναι άσχετες ή λανθασμένες.
 - **Προκατάληψη Δεδομένων.** Αν τα δεδομένα εκπαίδευσης περιέχουν προκαταλήψεις (π.χ., από συγκεκριμένες πηγές ή για συγκεκριμένες

γεωγραφικές περιοχές), το LLM μπορεί να αναπαράγει αυτές τις προκαταλήψεις στις συμβουλές του.

4. Έλλειψη Συναισθηματικής Νοημοσύνης και Ενσυναίσθησης.

- **Ανθρώπινη Επικοινωνία.** Η ενεργειακή καθοδήγηση μπορεί να απαιτεί την κατανόηση των ανησυχιών, του άγχους ή των οικονομικών δυσχερειών του καταναλωτή. Τα LLMs δεν μπορούν να προσφέρουν την ίδια ενσυναίσθηση ή προσωπική επαφή με έναν άνθρωπο.
- **Διαχείριση Δύσκολων Περιστάσεων.** Σε περιπτώσεις όπου ο καταναλωτής αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα με τους λογαριασμούς του ή χρειάζεται ειδική βοήθεια, ένας άνθρωπος σύμβουλος είναι απαραίτητος.

5. Ασφάλεια Δεδομένων και Προστασία Προσωπικών Δεδομένων.

- **Ευαίσθητα Δεδομένα.** Η παροχή λογαριασμών ρεύματος ή πληροφοριών κατανάλωσης σε ένα LLM εγείρει ζητήματα ασφάλειας και προστασίας προσωπικών δεδομένων. Πώς διασφαλίζεται ότι αυτά τα ευαίσθητα δεδομένα δεν θα διαρρεύσουν ή θα χρησιμοποιηθούν ανάρμοστα.
- **Συμμόρφωση με Κανονισμούς.** Η χρήση LLMs πρέπει να είναι πλήρως συμβατή με κανονισμούς όπως ο GDPR.

6. Υπερβολική Εμπιστοσύνη από τους Χρήστες.

- Οι χρήστες, εντυπωσιασμένοι από τις δυνατότητες των LLMs, μπορεί να τα εμπιστευτούν τυφλά, χωρίς να επαληθεύουν τις πληροφορίες. Αυτό είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο σε οικονομικά θέματα.

7. Κόστος και Υπολογιστική Ισχύς.

- Η εκπαίδευση και η λειτουργία των μεγάλων LLMs είναι εξαιρετικά ακριβή και απαιτούν τεράστια υπολογιστική ισχύ, κάτι που μπορεί να επηρεάσει την οικονομική βιωσιμότητα της χρήσης τους για μικρότερες εταιρείες ή για πιο εξειδικευμένες εφαρμογές.

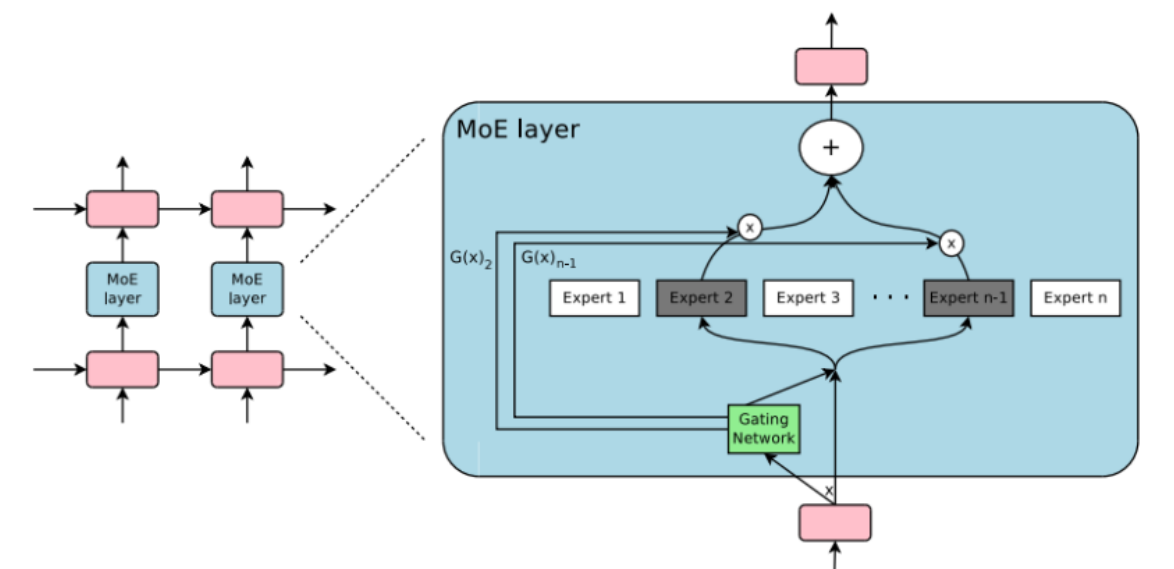
Λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις ισχυρές δυνατότητες των Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων (LLMs) όσο και τους εγγενείς περιορισμούς τους, η ιδανική προσέγγιση για την εφαρμογή τους στον ενεργειακό τομέα είναι η υιοθέτηση ενός υβριδικού μοντέλου (hybrid model). Στο πλαίσιο αυτό, τα LLMs πρέπει να λειτουργούν ως ισχυρά εργαλεία υποστήριξης (support tools) τόσο για τους ανθρώπους συμβούλους όσο και για τους τελικούς καταναλωτές. Τα μοντέλα Τεχνητής Νοημοσύνης μπορούν να προσφέρουν πολλαπλά οφέλη: την αυτοματοποίηση επαναλαμβανόμενων εργασιών ρουτίνας, την παροχή γρήγορης πρόσβασης σε τεχνικές και ρυθμιστικές πληροφορίες και τη διαμόρφωση αρχικών συμβουλών και προτάσεων βελτιστοποίησης.

Ωστόσο, η τελική επιβεβαίωση των προτάσεων, η λήψη των πιο σύνθετων αποφάσεων που απαιτούν κριτική σκέψη, καθώς και η διαχείριση ευαίσθητων ή μη τυποποιημένων καταστάσεων πρέπει να παραμένουν στην ευθύνη και την κρίση των

ανθρώπων εμπειρογνομόνων. Αυτή η συνέργεια διασφαλίζει την αξιοπιστία, την ασφάλεια και τη νομική συμμόρφωση των παρεχόμενων υπηρεσιών, μεγιστοποιώντας παράλληλα την αποτελεσματικότητα του συστήματος. Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα αλλά και τα αναφερόμενα μειονεκτήματα, η εφαρμογή των LLMs στον ενεργειακό τομέα αντιμετωπίζει ορισμένες προκλήσεις και περιορισμούς που πρέπει να αντιμετωπιστούν για την πλήρη αξιοποίηση του δυναμικού τους:¹⁴

3.6.1 Υψηλές Υπολογιστικές Απαιτήσεις και Ενεργειακό Κόστος

Η εκπαίδευση και η λειτουργία μεγάλων LLMs απαιτούν σημαντικούς υπολογιστικούς πόρους και καταναλώνουν μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Αυτό δημιουργεί ένα παράδοξο όταν η εφαρμογή τους στοχεύει στην ενεργειακή εξοικονόμηση. Ωστόσο, αναπτύσσονται συνεχώς πιο αποδοτικά μοντέλα (π.χ., Mixture of Experts - MoE, μικρότερα, εξειδικευμένα μοντέλα) και τεχνικές συμπίεσης (quantization) για τη μείωση του ενεργειακού τους αποτυπώματος. Επιπλέον, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα κέντρα δεδομένων μπορεί να μετριάσει αυτόν τον αντίκτυπο.



Εικόνα 11 Mix of Experts – MoE

¹⁴ <https://iee.psu.edu/news/blog/why-ai-uses-so-much-energy-and-what-we-can-do-about-it>

3.6.2 Κόστος Προετοιμασίας και Διαχείρισης Δεδομένων

Η επιτυχής ενσωμάτωση των Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων (LLMs) σε συστήματα διαχείρισης ενέργειας αποτελεί μια πολυσύνθετη διαδικασία που δεν είναι αυτόματη, αλλά απαιτεί συστηματική και εκτενή προετοιμασία των δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται συνήθως από ετερογενείς πηγές (heterogeneous sources), γεγονός που αυξάνει την πολυπλοκότητα. Τέτοιες πηγές περιλαμβάνουν αισθητήρες IoT, έξυπνους μετρητές κατανάλωσης, ιστορικά αρχεία λειτουργίας, περιβαλλοντικά δεδομένα (π.χ., καιρός), καθώς και ανθρώπινες αναφορές ή τεχνικές εκθέσεις σε μορφή φυσικής γλώσσας.

Η ενοποίηση αυτών των διαφορετικών συνόλων δεδομένων καθίσταται αναγκαία και προϋποθέτει την εφαρμογή αυστηρών διαδικασιών προεπεξεργασίας (preprocessing), οι οποίες είναι συχνά χρονοβόρες και απαιτούν σημαντικούς υπολογιστικούς και ανθρώπινους πόρους. Οι διαδικασίες αυτές περιλαμβάνουν τον καθαρισμό και το φιλτράρισμα του θορύβου, την αντιμετώπιση ελλιπών τιμών (missing data), καθώς και την κανονικοποίηση και μορφοποίηση των δεδομένων ώστε να καταστούν κατάλληλα για επεξεργασία από τα LLMs.

Επιπλέον, η ανάγκη για διατήρηση της ακρίβειας και της συνέπειας των δεδομένων καθιστά την προετοιμασία ακόμη πιο απαιτητική, ειδικά όταν πρόκειται για κρίσιμες εφαρμογές, όπως η πρόβλεψη φορτίου (load forecasting) ή η ανάλυση απόδοσης ενεργειακών συστημάτων. Η ποιότητα των δεδομένων είναι άμεσα συνδεδεμένη με την αξιοπιστία και την επιχειρησιακή αξία των προβλέψεων του μοντέλου.

Παρά τις προκλήσεις αυτές, η σωστή προετοιμασία των δεδομένων αποτελεί θεμέλιο λίθο για την επιτυχή εφαρμογή των LLMs στον ενεργειακό τομέα, καθώς εξασφαλίζει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων και τη δυνατότητα λήψης τεκμηριωμένων αποφάσεων.

3.6.3 Ανάγκη για Εξειδίκευση στον Τομέα

Αν και τα γενικά Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα (LLMs) έχουν την ικανότητα να κατανοούν και να παράγουν κείμενο σε ένα ευρύ φάσμα θεμάτων, η παροχή ακριβών και αξιόπιστων ενεργειακών συμβουλών απαιτεί συχνά μεγαλύτερη εξειδίκευση. Ο ενεργειακός τομέας χαρακτηρίζεται από τεχνική πολυπλοκότητα, ειδική ορολογία και δυναμικά δεδομένα, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την προσαρμογή των LLMs στις ιδιαιτερότητες του πεδίου.

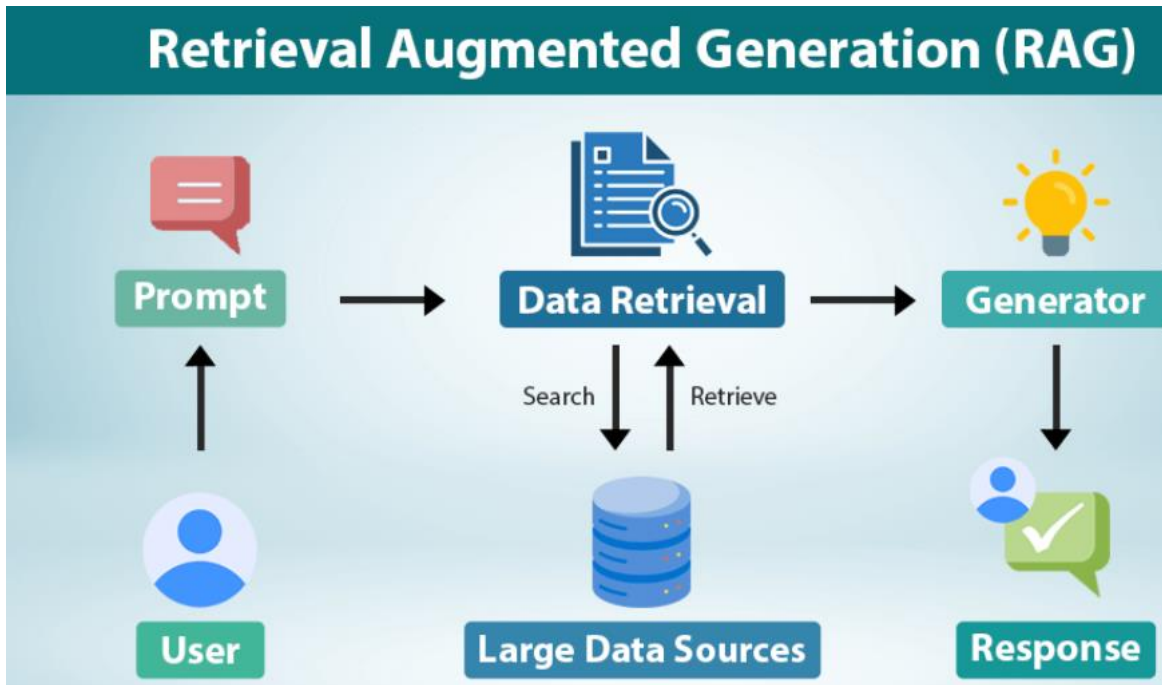
Η εξειδίκευση αυτή (domain-specific customization) μπορεί να επιτευχθεί μέσω τεχνικών όπως το fine-tuning, δηλαδή η περαιτέρω εκπαίδευση του μοντέλου με εξειδικευμένα δεδομένα του ενεργειακού τομέα, όπως τεχνικές αναφορές, ιστορικά δεδομένα κατανάλωσης, κανονιστικά πλαίσια και εγχειρίδια λειτουργίας. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος Retrieval-Augmented Generation (RAG), η οποία συνδυάζει την παραγωγή κειμένου με την ανάκτηση πληροφοριών από εξωτερικές βάσεις

δεδομένων ή αποθετήρια γνώσης σε πραγματικό χρόνο. Η RAG, είναι μια τεχνική τεχνητής νοημοσύνης που συνδυάζει τη δυνατότητα ανάκτησης πληροφοριών με τη γέννηση κειμένου από μεγάλα γλωσσικά μοντέλα (LLMs) για να παράγει πιο ακριβείς, σχετικές και ενημερωμένες απαντήσεις. Αντί να βασίζεται μόνο στις γνώσεις που έχει αποκτήσει κατά την εκπαίδευση, ένα σύστημα RAG ανακτά πρώτα σχετικές πληροφορίες από μια εξωτερική βάση γνώσεων και στη συνέχεια τις χρησιμοποιεί για να "εμπλουτίσει" την αρχική ερώτηση πριν δημιουργήσει την τελική απάντηση.

Η εφαρμογή τέτοιων προηγμένων τεχνικών εξειδίκευσης στα Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα (LLMs) επιτρέπει την παραγωγή απαντήσεων με αυξημένη ακρίβεια, τεκμηρίωση και προσαρμοστικότητα στις εκάστοτε απαιτήσεις. Η δυνατότητα αυτή καθιστά τα LLMs ιδιαίτερα χρήσιμα σε κρίσιμες εφαρμογές, όπως η ενεργειακή διαχείριση, η υποστήριξη λήψης αποφάσεων και η παροχή τεχνικής καθοδήγησης, όπου η αξιοπιστία και η ακρίβεια αποτελούν θεμελιώδεις προϋποθέσεις. Έτσι η εξειδίκευση των μοντέλων δεν συνιστά απλώς βελτίωση της απόδοσης, αλλά αποτελεί στρατηγικό βήμα για την ουσιαστική ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στον ενεργειακό τομέα, συμβάλλοντας στη βελτιστοποίηση διαδικασιών και στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων.

Η προσέγγιση αυτή ευθυγραμμίζεται με τις σύγχρονες τάσεις της επιστημονικής έρευνας, οι οποίες εστιάζουν στη δημιουργία συστημάτων υψηλής εξειδίκευσης και αξιοπιστίας, ικανών να ανταποκριθούν στις σύνθετες προκλήσεις της βιομηχανίας ενέργειας.¹⁵

¹⁵https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/11400/4096/Lagdas_51204080.pdf.pdf?sequence=3&isAllowed=y
<https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/582/DT2005-0356.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

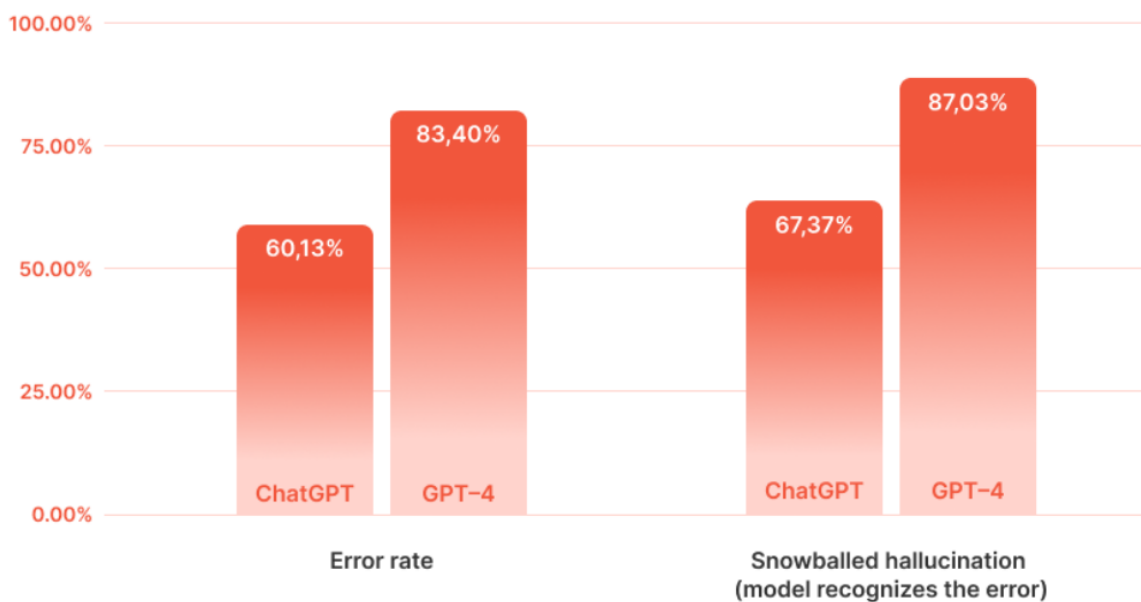


Εικόνα 12 Retrieval-Augmented Generation (RAG)

3.6.4 Ακρίβεια Δεδομένων και Ψευδαισθήσεις (Hallucinations)

Παρόλο που τα Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα (LLMs), και ιδιαίτερα τα γενικά μοντέλα, έχουν επιδείξει εντυπωσιακές δυνατότητες στην κατανόηση και παραγωγή φυσικής γλώσσας, εξακολουθούν να παρουσιάζουν περιορισμούς που καθίστανται κρίσιμοι σε ευαίσθητους τομείς, όπως η ενέργεια. Ένας από τους σημαντικότερους περιορισμούς αφορά την πιθανότητα παραγωγής ανακριβών ή ακόμη και εντελώς φανταστικών πληροφοριών, φαινόμενο που είναι γνωστό ως «hallucination». Το πρόβλημα αυτό υπονομεύει την αξιοπιστία των μοντέλων και καθιστά απαραίτητη την ανάπτυξη στρατηγικών μείωσης του κινδύνου, όπως η ενσωμάτωση μηχανισμών επαλήθευσης, η χρήση εξειδικευμένων δεδομένων και η εφαρμογή τεχνικών προσαρμογής (fine-tuning) για συγκεκριμένους τομείς. Η αντιμετώπιση του φαινομένου των hallucinations αποτελεί προϋπόθεση για την ασφαλή και αποτελεσματική αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης στον ενεργειακό κλάδο, όπου η ακρίβεια και η τεκμηρίωση των πληροφοριών είναι ζωτικής σημασίας.

LLM hallucination rate and snowballing



Εικόνα 13 Hallucination

Στον ενεργειακό τομέα, όπου η ακρίβεια των πληροφοριών είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της λειτουργικότητας και της ασφάλειας, η εμφάνιση σφαλμάτων ή ψευδαισθήσεων (hallucinations) από τα Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα (LLMs) μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις. Παραδείγματα κρίσιμων εφαρμογών περιλαμβάνουν τους υπολογισμούς κόστους, τις τεχνικές προδιαγραφές εξοπλισμού ή τις συστάσεις ασφαλείας εγκαταστάσεων. Η παραπληροφόρηση, ακόμη και αν είναι ακούσια, ενδέχεται να οδηγήσει σε λανθασμένες αποφάσεις, οικονομικές απώλειες ή κινδύνους για την ασφάλεια του συστήματος και του προσωπικού.

Για τους παραπάνω λόγους, η χρήση των LLMs στον ενεργειακό τομέα πρέπει να συνοδεύεται από ισχυρούς μηχανισμούς επαλήθευσης και αξιολόγησης της παραγόμενης πληροφορίας. Τέτοιοι μηχανισμοί περιλαμβάνουν την ενσωμάτωση αξιόπιστων βάσεων δεδομένων και την αξιοποίηση τεχνικών όπως το Retrieval-Augmented Generation (RAG), το οποίο επιτρέπει στα LLMs να ανακτούν και να αναφέρονται σε εξωτερικές, τεκμηριωμένες πηγές πριν διαμορφώσουν την απάντησή τους, μειώνοντας δραστικά την πιθανότητα ψευδαισθήσεων.

Επιπλέον, η διατήρηση της ανθρώπινης επίβλεψης (human oversight) και επιβεβαίωσης σε κρίσιμες εφαρμογές (human-in-the-loop) είναι απαραίτητη, όπως σε προτάσεις που σχετίζονται με τη λειτουργική ασφάλεια. Η ανάπτυξη και η αυστηρή εφαρμογή αυτών των μηχανισμών αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ασφαλή,

υπεύθυνη και αξιόπιστη αξιοποίηση των LLMs σε περιβάλλοντα υψηλής ευθύνης, όπως είναι τα ενεργειακά συστήματα.

3.6.5 Κανονιστικά πλαίσια

Η συλλογή και επεξεργασία δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας από νοικοκυριά και επιχειρήσεις αποτελεί θεμελιώδη παράγοντα για την αποτελεσματική λειτουργία των σύγχρονων ενεργειακών συστημάτων και την αξιοποίηση προηγμένων τεχνολογιών, όπως τα Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα (LLMs). Ωστόσο, η διαδικασία αυτή συνοδεύεται από σημαντικές προκλήσεις που αφορούν την προστασία της ιδιωτικότητας και την ασφάλεια των προσωπικών δεδομένων. Τα δεδομένα κατανάλωσης, όταν συλλέγονται σε υψηλή ανάλυση (π.χ. ανά λεπτό ή ώρα), δύνανται να αποκαλύψουν λεπτομέρειες για τις καθημερινές συνήθειες των χρηστών, την παρουσία ή απουσία ατόμων στον χώρο, καθώς και τον τύπο των συσκευών που χρησιμοποιούνται. Εάν η πληροφορία αυτή δεν προστατευθεί επαρκώς, ενδέχεται να οδηγήσει σε κακόβουλη χρήση ή παραβίαση της ιδιωτικής ζωής των πολιτών.

Για τον λόγο αυτό, η συμμόρφωση με κανονιστικά πλαίσια, όπως ο Γενικός Κανονισμός για την Προστασία Δεδομένων (GDPR) στην Ευρωπαϊκή Ένωση, είναι απολύτως απαραίτητη. Οι οργανισμοί που διαχειρίζονται τέτοια δεδομένα οφείλουν να εφαρμόζουν τεχνικά και οργανωτικά μέτρα, όπως ανωνυμοποίηση, κρυπτογράφηση, ελαχιστοποίηση της συλλογής και διαφάνεια ως προς τη χρήση τους.

Η ενσωμάτωση των LLMs στον ενεργειακό τομέα πρέπει να σχεδιάζεται με γνώμονα την ηθική χρήση της τεχνητής νοημοσύνης, διασφαλίζοντας ότι η τεχνολογική πρόοδος δεν έρχεται σε βάρος των θεμελιωδών δικαιωμάτων των πολιτών.¹⁶

3.6.6 Απουσία Κοινών Προτύπων και Διαλειτουργικότητας

Η ενσωμάτωση των Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων (LLMs) σε υφιστάμενες ενεργειακές υποδομές και τεχνολογικά συστήματα συνιστά μια ιδιαίτερα απαιτητική διαδικασία, λόγω της πολυπλοκότητας και της ετερογένειας των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται στον ενεργειακό τομέα. Η διασύνδεση των LLMs με συστήματα όπως έξυπνοι μετρητές (smart meters), πλατφόρμες αυτοματισμού κτιρίων (Building Automation Systems), λογισμικά διαχείρισης δικτύων (Energy Management Systems) και άλλες ψηφιακές υποδομές συχνά αντιμετωπίζει εμπόδια που σχετίζονται με την απουσία κοινών προτύπων και πρωτοκόλλων διαλειτουργικότητας. Η έλλειψη ενιαίων τεχνικών προδιαγραφών οδηγεί σε διαφοροποιήσεις ως προς τις μορφές δεδομένων, τα API και τις γλώσσες επικοινωνίας, γεγονός που δυσχεραίνει την απρόσκοπτη ανταλλαγή πληροφοριών και τη συνεργασία μεταξύ των επιμέρους τεχνολογικών στοιχείων.

¹⁶ <https://ec.europa.eu/newsroom/article29/items/611236>

Ως εκ τούτου, η ενσωμάτωση των Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων (LLMs) σε υφιστάμενα ενεργειακά συστήματα σπάνια αποτελεί μια αυτόματη διαδικασία. Αντιθέτως, τα υφιστάμενα συστήματα λειτουργούν συχνά με διαφορετικά πρωτόκολλα και μη συμβατά φορμά δεδομένων, δημιουργώντας σοβαρές προκλήσεις διαλειτουργικότητας (interoperability challenges). Η ενσωμάτωση των LLMs απαιτεί συχνά την ανάπτυξη εξειδικευμένων διεπαφών (interfaces), μετατροπών δεδομένων (data adapters), ή ενδιάμεσων λογισμικών (middleware). Αυτή η ανάγκη για προσαρμογή αυξάνει σημαντικά την πολυπλοκότητα, το κόστος και τον χρόνο υλοποίησης (implementation time) των εφαρμογών. Επομένως, η θέσπιση προτύπων διαλειτουργικότητας στον ενεργειακό τομέα είναι επιτακτική. Αυτό δεν είναι απαραίτητο μόνο για τη διευκόλυνση της ενσωμάτωσης προηγμένων τεχνολογιών όπως τα LLMs, αλλά και για την ευρύτερη προώθηση της ψηφιακής μετάβασης και της έξυπνης διαχείρισης ενέργειας (Smart Energy Management).

3.6.7 Κοινωνική Αποδοχή και Εμπιστοσύνη

Η αποδοχή των Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων (LLMs) ως συμβουλευτικών εργαλείων στον ενεργειακό τομέα δεν εξαρτάται αποκλειστικά από τις τεχνικές τους δυνατότητες, αλλά και από το επίπεδο εμπιστοσύνης που αναπτύσσεται μεταξύ των χρηστών και της τεχνολογίας. Η οικοδόμηση αυτής της εμπιστοσύνης είναι κρίσιμη, ιδίως όταν τα LLMs καλούνται να παρέχουν καθοδήγηση σε ζητήματα που επηρεάζουν άμεσα την καθημερινότητα, το κόστος και την ασφάλεια των καταναλωτών.

Οι ανησυχίες των χρηστών σχετικά με την αξιοπιστία των απαντήσεων, την προστασία των προσωπικών δεδομένων και τον ενδεχόμενο κίνδυνο αντικατάστασης ανθρώπινων θέσεων εργασίας από αυτοματοποιημένα συστήματα είναι απολύτως θεμιτές και απαιτούν αντιμετώπιση με διαφάνεια, υπευθυνότητα και συνεχή ενημέρωση.

Η παροχή σαφούς πληροφόρησης για τον τρόπο λειτουργίας των LLMs, τα δεδομένα που χρησιμοποιούν, τις διαδικασίες διασφάλισης ακρίβειας και τα όρια των δυνατοτήτων τους αποτελεί βασικό βήμα για την ενίσχυση της εμπιστοσύνης. Επιπλέον, η διατήρηση του ανθρώπινου παράγοντα στον έλεγχο και την επίβλεψη των συστημάτων μπορεί να λειτουργήσει καθησυχαστικά και να ενισχύσει την αποδοχή τους ως εργαλεία υποστήριξης και όχι αντικατάστασης.

3.7 Συμπεράσματα

Με βάση τα παραπάνω, η επιτυχής ενσωμάτωση των LLMs στον ενεργειακό τομέα προϋποθέτει όχι μόνο τεχνολογική αρτιότητα, αλλά και κοινωνική αποδοχή και ηθική εφαρμογή.¹⁷ Η αποτελεσματική και υπεύθυνη ενσωμάτωση των Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων (LLMs) στον ενεργειακό τομέα δεν μπορεί να επιτευχθεί μονοδιάστατα. Αντιθέτως, απαιτείται διεπιστημονική συνεργασία μεταξύ διαφόρων ειδικοτήτων και φορέων, ώστε να διασφαλιστεί ότι η τεχνολογία εφαρμόζεται με τρόπο που είναι τεχνικά αξιόπιστος, κοινωνικά αποδεκτός και νομικά συμβατός.^{18 19 20}

Η επιτυχής αξιοποίηση των Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων (LLMs) στον ενεργειακό τομέα προϋποθέτει τη συνεργασία διαφορετικών ειδικοτήτων και επιστημονικών πεδίων. Οι ειδικοί της Τεχνητής Νοημοσύνης είναι υπεύθυνοι για τον σχεδιασμό, την εκπαίδευση και τη συνεχή βελτίωση των μοντέλων, εξασφαλίζοντας την ακρίβεια και την προσαρμοστικότητα των συστημάτων. Παράλληλα, οι μηχανικοί ενέργειας προσφέρουν την απαραίτητη τεχνογνωσία για την κατανόηση των ενεργειακών συστημάτων, των δεδομένων και των λειτουργικών απαιτήσεων, ώστε οι λύσεις να είναι τεχνικά εφικτές και αποδοτικές.

Η συμβολή των νομικών και ρυθμιστικών αρχών είναι καθοριστική για τη συμμόρφωση με κανονιστικά πλαίσια, όπως ο Γενικός Κανονισμός για την Προστασία Δεδομένων (GDPR), και για την προστασία των θεμελιωδών δικαιωμάτων των πολιτών. Επιπλέον, οι κοινωνιολόγοι και οι ειδικοί σε θέματα ηθικής διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην κατανόηση των κοινωνικών επιπτώσεων, της αποδοχής της τεχνολογίας και των ηθικών διλημάτων που ενδέχεται να προκύψουν από την εφαρμογή της. Η διεπιστημονική προσέγγιση είναι επομένως απαραίτητη για την ασφαλή, υπεύθυνη και

¹⁷ <https://www.nature.com/articles/s41599-024-04044-8.pdf>

[Institutionalised distrust and human oversight of artificial intelligence: towards a democratic design of AI governance under the European Union AI Act | AI & SOCIETY](#)

¹⁸ [Green AI: The Rise of Sustainable LLMs - Medium Akanksha Sinha](#)

¹⁹ [Towards a More Sustainable AI: UNESCO Calls for Reducing the Energy Impact of LLMs - ActulA](#)

²⁰ [Large language models: Power, potential, and the sustainability challenge - Algorithmia](#)

αποτελεσματική ενσωμάτωση των LLMs στον ενεργειακό τομέα.²¹

Μόνο μέσα από αυτή τη συνεργατική και πολυδιάστατη προσέγγιση μπορεί να διασφαλιστεί ότι τα LLMs θα αξιοποιηθούν με τρόπο που ενισχύει την καινοτομία, χωρίς να παραβλέπονται οι κοινωνικές, νομικές και ηθικές διαστάσεις της τεχνολογικής προόδου στον τομέα της ενέργειας.

4 Περαιτέρω Εφαρμογές των LLMs στον Ευρύτερο Ενεργειακό Τομέα

Πέρα από την απλή παροχή ενεργειακών συμβουλών σε νοικοκυριά, οι δυνατότητες των Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων (Large Language Models – LLMs) εκτείνονται σε ένα ευρύ και πολυδιάστατο φάσμα εφαρμογών στον ενεργειακό τομέα. Αξιοποιώντας τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης και επεξεργασίας φυσικής γλώσσας, τα LLMs έχουν τη δυνατότητα να μετασχηματίσουν ριζικά τον τρόπο με τον οποίο διαχειριζόμαστε, παρακολουθούμε, βελτιστοποιούμε και εκπαιδευόμαστε γύρω από την ενέργεια. Συγκεκριμένα, μπορούν να λειτουργήσουν ως ευφυή συστήματα υποστήριξης αποφάσεων για εταιρείες ενέργειας, να αναλύουν μεγάλους όγκους δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, να προβλέπουν ενεργειακές ανάγκες και να εντοπίζουν ανωμαλίες ή σπατάλες στο δίκτυο.

Παράλληλα, προσφέρουν προσωποποιημένες προτάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε καταναλωτές, υποστηρίζουν την εκπαίδευση τεχνικών και στελεχών μέσω διαδραστικών πλατφορμών και διευκολύνουν την κατανόηση πολύπλοκων κανονιστικών πλαισίων μέσω φυσικής γλώσσας. Συνεπώς, η ενσωμάτωση των LLMs στον ενεργειακό τομέα δεν αποτελεί απλώς τεχνολογική καινοτομία, αλλά στρατηγική επιλογή που μπορεί να ενισχύσει τη βιωσιμότητα, την αποδοτικότητα και την προσβασιμότητα της ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο, ανοίγοντας τον δρόμο για μια πιο έξυπνη, πράσινη και συμμετοχική ενεργειακή μετάβαση.²²

²¹ https://www.energyrev.org.uk/media/1985/energyrev_aiandethics_final_202207.pdf

[Virtual Assistants for Energy Efficiency: Real World Tryouts](#)

²² <https://hdsr.mitpress.mit.edu/pub/10jsh9d1/release/8>

4.1 Βελτιστοποίηση Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Επιχειρήσεις και Βιομηχανίες

Η εφαρμογή των LLMs δεν περιορίζεται στα νοικοκυριά, αλλά επεκτείνεται με τεράστιο δυναμικό σε επιχειρηματικά και βιομηχανικά περιβάλλοντα, όπου η κατανάλωση ενέργειας είναι σημαντικά μεγαλύτερη και συχνά πιο σύνθετη. Η ικανότητά τους να επεξεργάζονται, να αναλύουν και να ερμηνεύουν δεδομένα σε φυσική γλώσσα τα καθιστά ιδανικά εργαλεία.

Στις μικρομεσαίες επιχειρήσεις (ΜΜΕ), τα Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα (LLMs) μπορούν να λειτουργήσουν ως εικονικοί ενεργειακοί σύμβουλοι, διαμορφώνοντας εξατομικευμένες προτάσεις βάσει των χαρακτηριστικών της εκάστοτε επιχείρησης. Μέσω έξυπνων ερωτήσεων σχετικά με τον τύπο δραστηριότητας (π.χ. γραφεία, καταστήματα, εστιατόρια), τον αριθμό υπαλλήλων, τον ενεργοβόρο εξοπλισμό (όπως ψυγεία, φωτιστικά και συστήματα κλιματισμού) και τις ώρες λειτουργίας, τα LLMs μπορούν να συλλέξουν κρίσιμες πληροφορίες για την ενεργειακή συμπεριφορά της επιχείρησης. Με βάση αυτά τα δεδομένα, παρέχουν στοχευμένες συστάσεις και αναλύσεις κόστους-οφέλους, προτείνοντας λύσεις όπως η εγκατάσταση αισθητήρων κίνησης για τον φωτισμό, η αναβάθμιση παλαιού εξοπλισμού, η βελτιστοποίηση συστημάτων θέρμανσης και ψύξης ή η αξιολόγηση της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων, συνοδευόμενες από αναλυτική εκτίμηση κόστους, οφέλους και χρόνου απόσβεσης.

AI Benefits to the Energy Sector by Industry							
Benefit	Energy Storage	Electric Grid	Geo-thermal	Hydro	Nuclear	Oil & Gas	Wind & Solar
Reliability	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Optimization	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Operational	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
System Management		✓				✓	
Infrastructure Planning		✓		✓		✓	✓
Sustainability & Compliance		✓			✓	✓	✓
Market Management	✓	✓				✓	✓
Resource Development			✓	✓		✓	✓
Innovation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Education & Engagement		✓		✓	✓	✓	✓
Risk Management	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Εικόνα 14 Οφέλη της Τεχνητής Νοημοσύνης για τον Ενεργειακό Τομέα ανά Βιομηχανία²³

Στον βιομηχανικό τομέα, τα LLMs μπορούν να ενσωματωθούν με προηγμένα συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου, όπως τα Συστήματα Ελέγχου Επιτήρησης και Απόκτησης Δεδομένων (SCADA) και εκτεταμένα δίκτυα Internet of Things (IoT), για την παρακολούθηση βιομηχανικών διεργασιών σε πραγματικό χρόνο. Μέσω της συλλογής δεδομένων από αισθητήρες, μηχανήματα και γραμμές παραγωγής, τα LLMs συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης, στην πρόβλεψη αναγκών και στον εντοπισμό ανωμαλιών, ενισχύοντας την αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα των βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Έτσι μπορούν να προτείνουν βελτιστοποιήσεις όπως προληπτική συντήρηση εξοπλισμού για αποφυγή βλαβών που οδηγούν σε απώλειες ενέργειας, αλλαγή χρονοδιαγραμμάτων παραγωγής για εκμετάλλευση χαμηλότερων τιμών ενέργειας (π.χ., νυχτερινό τιμολόγιο), ή αυτόματη προσαρμογή παραμέτρων λειτουργίας για μέγιστη απόδοση.²⁴

²³ [LLMs: The New Electricity? Future of Coding! -Andrej Karpathy](#)

²⁴ [Μέθοδοι ενεργειακής βελτιστοποίησης κτηριακών εγκαταστάσεων\(ΣυγγραφέαςΔημήτριος Καλαμαράς\)](#)

<https://arxiv.org/pdf/2410.16070>

4.2 Διαχείριση Έξυπνων Δικτύων (Smart Grids)

Η πολυπλοκότητα των σύγχρονων ηλεκτρικών δικτύων, ιδίως με την αυξανόμενη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και την αποκεντρωμένη παραγωγή, απαιτεί προηγμένα συστήματα διαχείρισης. Τα LLMs, σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες AI, μπορούν να γίνουν ένα ισχυρό εργαλείο για τους διαχειριστές αυτών των έξυπνων δικτύων.^{25 26}

Τα Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα (LLMs) προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες στη βελτίωση των προβλέψεων ζήτησης και παραγωγής ενέργειας, καθώς και στη βελτιστοποίηση της ροής ενέργειας και της ισορροπίας των δικτύων. Στο πλαίσιο της πρόβλεψης ζήτησης, τα LLMs μπορούν να επεξεργάζονται πολλαπλά σύνολα δεδομένων, όπως ιστορικά στοιχεία κατανάλωσης, καιρικές συνθήκες, κοινωνικές εκδηλώσεις και ακόμη δεδομένα από μέσα κοινωνικής δικτύωσης, προκειμένου να προβλέπουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τις αιχμές και τις κοιλάδες της ζήτησης ενέργειας.

Για την πρόβλεψη παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές, τα LLMs ενσωματώνουν δεδομένα καιρού σε πραγματικό χρόνο, όπως ηλιοφάνεια και ταχύτητα ανέμου, καθώς και προγνωστικά μοντέλα, ώστε να εκτιμούν την παραγωγή αιολικής και ηλιακής ενέργειας με μεγαλύτερη αξιοπιστία, λαμβάνοντας υπόψη τον διαλείποντα χαρακτήρα τους. Επιπλέον, τα LLMs συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση της ροής ενέργειας και στη διατήρηση της ισορροπίας του δικτύου. Μέσω προηγμένων αναλύσεων, υποστηρίζουν τους διαχειριστές στη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο για την κατανομή ενέργειας από διαφορετικές πηγές, όπως παραδοσιακές μονάδες, ανανεώσιμες πηγές και συστήματα αποθήκευσης, εξασφαλίζοντας την ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης.

Παράλληλα, εντοπίζουν σημεία στο δίκτυο με σημαντικές απώλειες ενέργειας και προτείνουν λύσεις για την ελαχιστοποίησή τους. Μέσω της ανάλυσης δεδομένων από αισθητήρες, μπορούν να προβλέψουν πιθανές βλάβες ή σημεία φθοράς, προλαμβάνοντας διακοπές ρεύματος και βελτιώνοντας τη συνολική αξιοπιστία του συστήματος.

Όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα (LLMs) μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο και στη διαδραστική επικοινωνία με τους καταναλωτές και στη διαχείριση της ζήτησης ενέργειας. Μέσω αυτοματοποιημένων μηχανισμών επικοινωνίας, είναι σε θέση να ενημερώνουν τους χρήστες για φθηνότερες ώρες κατανάλωσης στο πλαίσιο δυναμικής τιμολόγησης, για περιόδους αυξημένης παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ή για προγραμματισμένες εργασίες στο δίκτυο.

²⁵ [How AI is Changing Smart Grid Management - Mesh-AI](#)

²⁶ <https://www.dxbnewsnetwork.com/ai-in-energy-2025-smart-grids-and-efficient-consumption-management>

Παράλληλα, μπορούν να υποστηρίξουν στρατηγικές απόκρισης ζήτησης (demand response), διευκολύνοντας την προσαρμογή της κατανάλωσης σε πραγματικό χρόνο, ώστε να επιτευχθεί καλύτερη ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης.

Η αξιοποίηση αυτών των δυνατοτήτων συμβάλλει στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, στη μείωση του κόστους για τους καταναλωτές και στην ενίσχυση της ευελιξίας των ενεργειακών συστημάτων, ενώ ταυτόχρονα μπορούν να διευκολύνουν την ενεργό συμμετοχή των καταναλωτών στη διαχείριση της ζήτησης, ενθαρρύνοντας τη μετατόπιση της κατανάλωσης σε ώρες χαμηλότερου φορτίου ή υψηλότερης παραγωγής ΑΠΕ.²⁷

4.3 Ανάπτυξη Νέων Ενεργειακών Προϊόντων και Υπηρεσιών

Οι εταιρείες ενέργειας, οι πάροχοι υπηρεσιών και οι κατασκευαστές εξοπλισμού μπορούν να αξιοποιήσουν τα Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα (LLMs) ως ισχυρά εργαλεία για την προώθηση της καινοτομίας, την κατανόηση των αναγκών των πελατών και την ανάπτυξη εξατομικευμένων λύσεων. Μέσω προηγμένων τεχνικών ανάλυσης δεδομένων, τα LLMs είναι σε θέση να επεξεργάζονται μεγάλα σύνολα πληροφοριών που προέρχονται από αλληλεπιδράσεις με πελάτες, όπως κλήσεις σε κέντρα εξυπηρέτησης, ηλεκτρονικά μηνύματα και σχόλια σε μέσα κοινωνικής δικτύωσης. Η ανάλυση αυτή επιτρέπει τον εντοπισμό κοινών προβλημάτων, ανεκπλήρωτων αναγκών, προτιμήσεων και αναδυόμενων τάσεων στην ενεργειακή αγορά, συμβάλλοντας στον σχεδιασμό στρατηγικών που ανταποκρίνονται στις πραγματικές απαιτήσεις των καταναλωτών.

Παράλληλα, τα LLMs μπορούν να υποστηρίξουν τον εντοπισμό ευκαιριών για καινοτομία, διευκολύνοντας την ανάπτυξη νέων ενεργειακών προϊόντων και υπηρεσιών, όπως έξυπνοι θερμοστάτες, προγράμματα εξοικονόμησης ενέργειας βασισμένα στη συμπεριφορά των χρηστών ή καινοτόμες μορφές ενεργειακών συμβολαίων.

Επιπλέον, η δυνατότητα δημιουργίας λεπτομερών προφίλ κατανάλωσης για κάθε πελάτη επιτρέπει την παροχή εξατομικευμένων προσφορών, προσαρμοσμένων πακέτων υπηρεσιών και προτάσεων για αναβάθμιση εξοπλισμού. Η αξιοποίηση αυτών των δεδομένων ενισχύει επίσης τη βελτιστοποίηση των καμπανιών μάρκετινγκ, καθιστώντας δυνατή τη στοχευμένη προώθηση προϊόντων και υπηρεσιών σε συγκεκριμένες ομάδες πελατών, όπως για παράδειγμα η προώθηση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε νοικοκυριά με υψηλή κατανάλωση ενέργειας. Έτσι, η εφαρμογή αυτών των πρακτικών συμβάλλει στη βελτίωση της εμπειρίας των πελατών, στην αύξηση της αποδοτικότητας και στην

²⁷ [AI-Powered Smart Grids: Revolutionizing Energy Management and Efficiency - FRC Blog](#)

ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας των επιχειρήσεων στον ενεργειακό τομέα

Η εκπαίδευση και η υποστήριξη του προσωπικού στον ενεργειακό τομέα μπορούν να ενισχυθούν σημαντικά μέσω της αξιοποίησης των Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων (LLMs). Τα LLMs λειτουργούν ως εσωτερικοί μηχανισμοί γνώσης, παρέχοντας άμεσες και ακριβείς απαντήσεις σε πολύπλοκα ζητήματα, όπως ρυθμιστικά πλαίσια, τεχνικές προδιαγραφές και βέλτιστες πρακτικές. Η δυνατότητα πρόσβασης σε πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο επιταχύνει τη διαδικασία εκπαίδευσης νέου προσωπικού και βελτιώνει την ποιότητα της εξυπηρέτησης πελατών. Μέσω αυτής της προσέγγισης, οι επιχειρήσεις μπορούν να μειώσουν τον χρόνο προσαρμογής των εργαζομένων, να ενισχύσουν την αποτελεσματικότητα των λειτουργιών τους και να διασφαλίσουν υψηλά επίπεδα συμμόρφωσης και τεχνικής επάρκειας.²⁸

4.4 Περιβαλλοντική Εκπαίδευση και Ευαισθητοποίηση Ευρείας Κλίμακας

Η παγκόσμια πρόκληση της κλιματικής αλλαγής και της ενεργειακής βιωσιμότητας απαιτεί ευρεία κατανόηση, εκπαίδευση και αλλαγή συμπεριφοράς σε όλα τα επίπεδα της κοινωνίας. Στο πλαίσιο αυτό, τα Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα (LLMs) μπορούν να λειτουργήσουν ως ισχυροί πολλαπλασιαστές της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης και ευαισθητοποίησης, προσφέροντας καινοτόμες λύσεις για την ενημέρωση και την αλληλεπίδραση με τους πολίτες. Μέσω διαδραστικών εκπαιδευτικών πλατφορμών, τα LLMs έχουν τη δυνατότητα να δημιουργούν εκπαιδευτικά chatbots και εφαρμογές που εξηγούν σύνθετες έννοιες της ενεργειακής βιωσιμότητας, όπως το αποτύπωμα άνθρακα, η κυκλική οικονομία και η λειτουργία έξυπνων δικτύων, με απλό και κατανοητό τρόπο.

Επιπλέον, προσαρμόζουν το περιεχόμενο ανάλογα με το επίπεδο γνώσης και το ενδιαφέρον του χρήστη, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα κοινού, από παιδιά έως ενήλικες, και παρέχοντας εξατομικευμένες πληροφορίες που συνδέονται με την προσωπική κατανάλωση και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της.

Παράλληλα, τα LLMs μπορούν να υποστηρίξουν τη δημιουργία προσομοιώσεων σεναρίων και οπτικοποιήσεων δεδομένων, διευκολύνοντας την κατανόηση των επιπτώσεων ενεργειακών αλλαγών και πολιτικών. Μέσω αυτών των εργαλείων, οι χρήστες μπορούν να αντιληφθούν, για παράδειγμα, πόση ενέργεια εξοικονομείται από την αντικατάσταση λαμπτήρων με LED ή πώς η χρήση ανανεώσιμων πηγών επηρεάζει την ατμόσφαιρα. Επιπλέον, οι προσομοιώσεις μπορούν να απεικονίσουν τις πιθανές

²⁸ [The Role of Artificial Intelligence in Renewable Energy: Smart Grids and Predictive Maintenance - WattCrop](#)

[AI and the Future of Workforce Training | Center for Security and Emerging Technology](#)

συνέπειες διαφορετικών πολιτικών, όπως επιδοτήσεις ή φορολογικές ελαφρύνσεις, στο ενεργειακό αποτύπωμα μιας περιοχής ή χώρας.

Η αξιοποίηση αυτών των δυνατοτήτων καθιστά τα LLMs πολύτιμα εργαλεία για την προώθηση της περιβαλλοντικής συνείδησης και την υποστήριξη της ενεργειακής μετάβασης προς ένα πιο βιώσιμο μέλλον.²⁹

5 Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις

Τα Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα (LLMs) έχουν πλέον ενσωματωθεί σε κρίσιμες εφαρμογές που καλύπτουν ποικίλους τομείς της καθημερινής ζωής, της βιομηχανίας και των υπηρεσιών, επηρεάζοντας ουσιαστικά τον τρόπο με τον οποίο εργαζόμαστε, επικοινωνούμε και λαμβάνουμε αποφάσεις. Η εξέλιξη αυτών των τεχνολογιών έχει οδηγήσει σε ραγδαία αύξηση της χρήσης τους, με εφαρμογές που εκτείνονται από την αυτοματοποίηση διαδικασιών και την ανάλυση δεδομένων έως την υποστήριξη λήψης αποφάσεων και την παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών. Μέχρι το 2025, η αξιοποίηση των LLMs έχει επεκταθεί σημαντικά τόσο στον ιδιωτικό όσο και στον δημόσιο τομέα, καθιστώντας τα αναπόσπαστο στοιχείο της ψηφιακής μετάβασης και της τεχνολογικής καινοτομίας.

Η ενσωμάτωσή τους δεν περιορίζεται σε απλές εφαρμογές, αλλά συνδέεται με στρατηγικές που στοχεύουν στη βελτίωση της αποδοτικότητας, της ακρίβειας και της προσβασιμότητας της πληροφορίας, συμβάλλοντας στη διαμόρφωση ενός νέου πλαισίου λειτουργίας για οργανισμούς και κοινωνίες. Οι πιο διαδεδομένες εφαρμογές των Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων (LLMs) καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών που ενισχύουν την αποδοτικότητα και την καινοτομία σε διάφορους τομείς.

Στον χώρο της επεξεργασίας εγγράφων, τα LLMs χρησιμοποιούνται για την αυτόματη ανάγνωση, κατηγοριοποίηση και σύνοψη περιεχομένου, διευκολύνοντας τη διαχείριση πληροφοριών σε επιχειρήσεις, νομικά γραφεία και δημόσιες υπηρεσίες. Παράλληλα, συμβάλλουν στην ανάλυση δεδομένων, μετατρέποντας μη δομημένα δεδομένα, όπως αναφορές, ηλεκτρονικά μηνύματα και αρχεία PDF, σε χρήσιμη επιχειρησιακή γνώση. Επιπλέον, τα LLMs υποστηρίζουν τη δημιουργία εικονικών βοηθών (AI Agents) που κατανοούν φυσική γλώσσα, αυτοματοποιούν ροές εργασίας,

²⁹ [Evaluating the role of Artificial Intelligence in sustainable development goals with an emphasis on “quality education” | Discover Sustainability](#)

[Predictive modeling of climate change impacts using Artificial Intelligence: a review for equitable governance and sustainable outcome | Environmental Science and Pollution Research](#)

απαντούν σε ερωτήματα και εκτελούν ενέργειες, ενισχύοντας την παραγωγικότητα.

Στον τομέα της εξυπηρέτησης πελατών, χρησιμοποιούνται σε chatbots και φωνητικούς βοηθούς για την παροχή άμεσης υποστήριξης, επίλυση προβλημάτων και προτάσεις λύσεων, βελτιώνοντας την εμπειρία του χρήστη. Σημαντική είναι επίσης η συμβολή τους στη δημιουργία περιεχομένου για σκοπούς marketing, επικοινωνίας και ενημέρωσης, όπως άρθρα, αναρτήσεις και περιγραφές προϊόντων. Στην εκπαίδευση, τα LLMs προσφέρουν εξατομικευμένη υποστήριξη μάθησης, δημιουργία κουίζ και επεξήγηση εννοιών, λειτουργώντας ως ψηφιακοί εκπαιδευτικοί βοηθοί για φοιτητές.

Στον νομικό τομέα, διευκολύνουν την ανάλυση συμβολαίων, τον εντοπισμό νομικών κινδύνων και την υποστήριξη διαδικασιών due diligence, μειώνοντας τον χρόνο και το κόστος ελέγχων. Στην υγεία, παρέχουν υποστήριξη στο ιατρικό προσωπικό μέσω σύνοψης ιατρικών φακέλων, δημιουργίας αναφορών και απαντήσεων σε ερωτήσεις ασθενών, με σεβασμό στην ιδιωτικότητα.

Επιπρόσθετα, χρησιμοποιούνται στη διαχείριση κοινωνικών μέσων για δημιουργία περιεχομένου, ανάλυση συναισθήματος και αλληλεπίδραση με το κοινό σε πλατφόρμες όπως Facebook, X και LinkedIn. Παρέχουν επίσης δυνατότητες αυτόματης μετάφρασης και πολυγλωσσικής υποστήριξης, διευκολύνοντας την παγκόσμια επικοινωνία. Τέλος, συμβάλλουν στην ασφάλεια και τη συμμόρφωση, ανιχνεύοντας παραβιάσεις πολιτικής, παρακολουθώντας κινδύνους και υποστηρίζοντας ελέγχους κανονιστικής συμμόρφωσης.³⁰

Η ευρεία υιοθέτηση των LLMs σε αυτούς τους τομείς καταδεικνύει τη μετασχηματιστική τους δύναμη και την ανάγκη για συνεχή έρευνα, αξιολόγηση και υπεύθυνη εφαρμογή τους. Η αξιοποίηση των Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων (LLMs) στον ενεργειακό τομέα αναμένεται να ενισχυθεί περαιτέρω μέσω της ενσωμάτωσης προηγμένων τεχνολογιών και λειτουργιών. Η σύνδεση με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) θα επιτρέψει την άμεση παρακολούθηση και διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, μέσω έξυπνων πριζών, αισθητήρων θερμοκρασίας, φωτός, υγρασίας και κίνησης, καθώς και οικιακών αυτοματισμών. Τα LLMs θα μπορούν να λαμβάνουν δεδομένα από το περιβάλλον και να προσαρμόζουν δυναμικά τις συμβουλές τους ανάλογα με τις συνθήκες.

Η διασύνδεση με έξυπνους μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας θα επιτρέψει την ακριβή καταγραφή της κατανάλωσης ανά ώρα, ημέρα ή συσκευή, διευκολύνοντας τον εντοπισμό μοτίβων κατανάλωσης, την ανίχνευση ασυνήθιστων αυξήσεων και την παροχή άμεσων προτάσεων εξοικονόμησης. Παράλληλα, η ενσωμάτωση δεδομένων καιρού, όπως

³⁰ <https://www.scitepress.org/Papers/2025/130943/130943.pdf>

[Intelligent Document Processing Solutions with LLMs | deepset Blog](#)

[GitHub - dswang2011/DocLLM: DocLLM: A layout-aware generative language model for multimodal document understanding](#)

θερμοκρασία, υγρασία, ηλιοφάνεια και άνεμος, θα επιτρέψει την προσαρμογή των ενεργειακών συμβουλών στις εξωτερικές συνθήκες, για παράδειγμα με προτάσεις αξιοποίησης φυσικού φωτισμού ή την ενεργοποίηση φωτοβολταϊκών σε ημέρες μεγάλης ηλιοφάνειας. Η συνεχής εκπαίδευση των LLMs με μεγάλα ενεργειακά σύνολα δεδομένων, που περιλαμβάνουν στατιστικά κατανάλωσης, τιμές ενέργειας, αποδόσεις συσκευών και πρότυπα χρήσης, θα ενισχύσει την ακρίβεια και τη χρησιμότητα των προτεινόμενων συμβουλών.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση στοιχείων παιχνιδιού, όπως πόντοι επιβραβεύσεις και πίνακες κατάταξης, μπορεί να ενισχύσει τη συμμετοχή των χρηστών και να ενθαρρύνει τη διατήρηση ενεργειακά αποδοτικών συνηθειών. Τέλος, η ενσωμάτωση των LLMs σε φωνητικούς βοηθούς και έξυπνα ηχεία θα επιτρέψει την άμεση, φυσική αλληλεπίδραση με το σύστημα, παρέχοντας στους χρήστες τη δυνατότητα να ζητούν συμβουλές, να ενημερώνονται για την κατανάλωση και να λαμβάνουν ειδοποιήσεις μέσω φωνητικών εντολών.^{31 32}

Συνοψίζοντας, η παρούσα εργασία ανέδειξε το μετασχηματιστικό δυναμικό των Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων (LLMs) στην παροχή εξατομικευμένων ενεργειακών συμβουλών και στην ευρύτερη εφαρμογή της Τεχνητής Νοημοσύνης στον ενεργειακό τομέα. Το σύστημα ενεργειακού συμβούλου βασισμένου σε LLMs που εξετάστηκε προσφέρει μια ευέλικτη, προσβάσιμη και αποτελεσματική πλατφόρμα που μπορεί να συλλέγει δυναμικά πληροφορίες, να αναλύει σύνθετα δεδομένα κατανάλωσης και να παρέχει στοχευμένες, πρακτικές συστάσεις για εξοικονόμηση ενέργειας σε νοικοκυριά και επιχειρήσεις.

Τα LLMs υπερέχουν λόγω της προσαρμοστικότητάς τους, της ικανότητας κατανόησης φυσικής γλώσσας, του αυτοματισμού που επιτρέπουν, της εκπαιδευτικής τους αξίας, της δυνατότητας ενσωμάτωσης με διάφορα συστήματα και της πολυγλωσσικής τους υποστήριξης. Πέρα από την ατομική καθοδήγηση, οι εφαρμογές των LLMs στον ενεργειακό τομέα είναι ευρείες και περιλαμβάνουν την κρίσιμη βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, την ενίσχυση της διαχείρισης των έξυπνων δικτύων (smart grids) μέσω βελτιωμένων προβλέψεων και ισορροπίας, την υποστήριξη στην ανάπτυξη καινοτόμων ενεργειακών προϊόντων και υπηρεσιών, καθώς και την προώθηση της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης

³¹ [Buyya, R., Vecchiola, C., & Selvi, S. T. \(2013\). Mastering Cloud Computing: Foundations and Applications Programming. Morgan Kaufmann.](#)

³² [Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., Katz, R., Konwinski, A., ... & Zaharia, M. \(2010\). A view of cloud computing. Communications of the ACM, 53\(4\), 50–58.](#)

και ευαισθητοποίησης σε ευρεία κλίμακα.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωριστούν και να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις, όπως οι υψηλές υπολογιστικές απαιτήσεις των LLMs, το κόστος προετοιμασίας των δεδομένων, την ανάγκη για εξειδίκευση, τη διασφάλιση της ακρίβειας και την αντιμετώπιση των ζητημάτων απορρήτου και ασφάλειας των δεδομένων. Παρά τις προκλήσεις αυτές, η συνεχής έρευνα και η συνεχής ανάπτυξη του τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης και των LLMs υπόσχεται να ξεπεράσει αυτούς τους περιορισμούς.³³

Εν κατακλείδι, η ενσωμάτωση των LLMs στον ενεργειακό τομέα μπορεί να μεταμορφώσει όχι μόνο την ατομική και εταιρική κατανάλωση ενέργειας, αλλά και τον τρόπο που σχεδιάζουμε, διαχειριζόμαστε και εκπαιδεύουμε γύρω από την ενέργεια το καθένα ξεχωριστά. Με αυτόν τον τρόπο βοηθάει στη δημιουργία ενός μελλοντικού μοντέλου πιο πράσινου και αποδοτικού.³⁴

³³ <https://arxiv.org/pdf/2411.17722>

³⁴ [The Promise of AI in Energy: Unlocking Energy Independence and Ensuring National Security - CRES Forum | Clean Energy Production = Clean Energy Jobs](#)

Πηγές

Ακαδημαϊκά Περιοδικά, Συνέδρια και Βιβλία

- **Amjad, F., Korōtko, T., & Rosin, A. (2025).** Review of LLMs Applications in Electrical Power and Energy Systems. *IEEE Access*, 13, 150951-150969.
- **Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., Katz, R., Konwinski, A., ... & Zaharia, M. (2010).** A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, 53(4), 50–58.
- **Brown, T., et al. (2020).** Language Models are Few-Shot Learners. *arXiv preprint*. <https://arxiv.org/abs/2005.14165>
- **Buyya, R., Vecchiola, C., & Selvi, S. T. (2013).** *Mastering Cloud Computing: Foundations and Applications Programming*. Morgan Kaufmann.
- **Jiang, S., Chai, W., Zhang, M., Cao, J., Xuan, S., & Shen, J. (2026).** Verifying energy generation via edge LLM for web3-based decentralized clean energy networks. *Information Fusion*, 127, 103752.
- **Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2023).** *Speech and Language Processing* (3rd ed. draft). Pearson.
- **Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2020).** *Management Information Systems: Managing the Digital Firm* (16th ed.). Pearson.
- **Liu, C., & Nie, Q. (2025).** A blockchain-based LLM-driven energy-efficient scheduling system towards distributed multi-agent manufacturing scenario of new energy vehicles within the circular economy. *Computers & Industrial Engineering*, 201, 110889.
- **Ouyang, L., et al. (2022).** Training language models to follow instructions with human feedback. *arXiv preprint*. <https://arxiv.org/abs/2203.02155>
- **Usman, Y., Ihejirika, C. J., Offor, S. N., Akl, R., & Chataut, R. (2025).** Green Cybersecurity: Leveraging AI, ML, and LLMs to Optimize Energy, Threat Detection, and Sustainability Frameworks. *IEEE Access*, 13, 159345-159379.
- **Zhang, Y., et al. (2023).** Conversational AI for Energy Efficiency: A Review. *Energy Informatics*, 6(1), 1–15.
- **Zhao, W. X., et al. (2023).** A Survey of Large Language Models. *arXiv preprint*. <https://arxiv.org/abs/2303.18223>
- **International Journal of Swarm Intelligence Research. (2022).** A Novel Discrete Binary Gaining-Sharing Knowledge-Based Optimization Algorithm for the

Travelling Counselling Problem for Utilization of Solar Energy. 13(1), 1-24.

- **Discover Sustainability.** (2023). Evaluating the role of Artificial Intelligence in sustainable development goals with an emphasis on “quality education”.
- **Environmental Science and Pollution Research.** (2023). Predictive modeling of climate change impacts using Artificial Intelligence: a review for equitable governance and sustainable outcome.
- **Harvard Data Science Review.** (2019). A Unified Framework of Five Principles for AI in Society. Issue 1.1.
- **IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering.** (2022). Virtual Assistants for Energy Efficiency: Real World Tryouts. <https://www.iosrjournals.org/iosr-jeee/Papers/Vol17-Issue5/Ser-1/F1705013240.pdf>

Πανεπιστημιακές Διατριβές & Ελληνική Βιβλιογραφία

- **Βαρβουτίδης, Γ. (2023).** *Τίτλος Διατριβής* [Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας]. https://dspace.lib.uom.gr/bitstream/2159/28919/3/BarboutidisGeorg_ePhd2023.pdf
- **Βασιλειάδης, Π. Δ. (2022).** *Ευφυείς Ψηφιακοί Βοηθοί: Συστηματική καταγραφή και κριτική παρουσίαση της τρέχουσας κατάστασης.* Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος.
- **Λαγδάς, Σ. (2022).** *Ευφυείς Ψηφιακοί Βοηθοί* [Πτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής]. https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/11400/4096/Lagdas_51204080.pdf
- **Πανεπιστήμιο Πειραιώς.** (2005). *Τίτλος Διατριβής* (από *dione.lib.unipi.gr*). <https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/582/DT2005-0356.pdf>
- **Ζαχαράκης, Ε. (2001).** *Ευφυή Πληροφοριακά Συστήματα και Ευρετικές Μέθοδοι.* (zaharakis1.pdf).
- **Proxima Consulting (2025).** *Αυτοματοποίηση Επιχειρησιακών Διαδικασιών: Η Επανάσταση στον Εργασιακό Χώρο.*
- **ΤΑ ΝΕΑ (2024).** *Σταθερά vs κυμαινόμενα τιμολόγια – Ποια προϊόντα συμφέρουν εν μέσω κρίσης.*
- **Βικιπαίδεια / Τεχνολογικοί Οδηγοί.** *Τί είναι OCR - Οπτική Αναγνώριση Χαρακτήρων.*

Ιστοσελίδες, Διαδικτυακά Άρθρα και Blogs

- **ActuIA.** (2024). *Towards a More Sustainable AI: UNESCO Calls for Reducing the Energy Impact of LLMs.*
- **AI+ Program.** (2024). *AI for Energy Management: Smart Homes to Sustainable Smart Cities.*
- **Algorithma.** (2024). *Large language models: Power, potential, and the sustainability challenge.*
- **Cegal.** (2024). *How AI and language models can change the energy industry.*
- **CSET.** (2023). *AI and the Future of Workforce Training.* Center for Security and Emerging Technology.
- **CRES Forum.** (2024). *The Promise of AI in Energy: Unlocking Energy Independence.*
- **Deepset.ai.** (2024). *Intelligent document processing with LLMs.* <https://www.deepset.ai/blog/intelligent-document-processing-with-llms>
- **EcoPowerHub.** (2024). *How AI is Revolutionizing Energy Efficiency in Smart Homes.*
- **Energy Trust.** (2024). *AI Improving Energy Efficiency: Innovations For Domestic Homes.*
- **EnergyREV.** (2022). *AI and Ethics in Energy Systems.* https://www.energyrev.org.uk/media/1985/energyrev_aiandethics_final_202207.pdf
- **FRC Blog.** (2024). *AI-Powered Smart Grids: Revolutionizing Energy Management.*
- **GitHub.** (2024). *DocLLM: A layout-aware generative language model for multimodal document understanding.* <https://github.com/dswang2011/DocLLM>
- **IEA (International Energy Agency).** (2023). *Smart metering – Policies.*
- **Kalami (Medium).** (2024). *Powering the Grid with Language: How LLMs Are Transforming Energy Systems.* <https://kalami.medium.com/powering-the-grid-with-language-how-llms-are-transforming-energy-systems-54a12a915323>
- **Mesh-AI.** (2024). *How AI is Changing Smart Grid Management.*
- **NREL Research-Hub.** (2024). *Large Language Models (LLMs) for Energy Systems Research.*
- **Penn State IEE.** (2024). *Why AI uses so much energy and what we can do about it.* <https://iee.psu.edu/news/blog/why-ai-uses-so-much-energy-and-what-we-can-do-about-it>
- **ResearchGate.** (2024). *Large language models for building energy applications: Opportunities and challenges.*

- **ResearchGate.** (2024). *Can large language models replace human experts? Building energy retrofit challenges.* <https://www.researchgate.net/publication/390321440>
- **Schneider Electric.** (2024). *AI-assisted advising implementation to accelerate energy sustainability.* <https://perspectives.se.com/>
- **ScitePress.** (2025). *Conference Paper on AI Systems.* <https://www.scitepress.org/Papers/2025/130943/130943.pdf>
- **Sinha, A. (Medium).** (2024). *Green AI: The Rise of Sustainable LLMs.*
- **Tecknexus.** (2024). *Rule-Based vs LLM-Based AI Agents: A Side-by-Side Comparison.* <https://tecknexus.com/rule-based-vs-llm-based-ai-agents-a-side-by-side-comparison/>
- **Utility Analytics.** (2024). *Large Language Models: Applications, Limitations and Potential Risks for Power Grids.*
- **UWE Repository.** (2024). *Sustainable energy decision-making with an RAG-LLM system.*
- **WattCrop.** (2024). *The Role of Artificial Intelligence in Renewable Energy: Smart Grids.*
- **XenonStack.** (2024). *How AI is Enabling Smart Energy Consumption in Homes and Industries?*
- **Zintego.** (2024). *Building trust through transparent billing practices and accurate invoices.* <https://www.zintego.com/blog/building-trust-through-transparent-billing-practices-and-accurate-invoices/>
- **Arxiv.** (2025). *Recent Advances in LLMs for Energy.* <https://arxiv.org/abs/2503.17783>
- **Arxiv.** (2024). *Multimodal Document Understanding.* <https://arxiv.org/pdf/2411.17722>
- **NeurIPS.** (2020). *Language Models Research Paper.* <https://proceedings.neurips.cc/paper/2020/file/1457c0d6bfcb4967418bfb8ac142f64a-Paper.pdf>
- **Arxiv.** (2022). *Smart Metering and AI Policy Integration.* <https://arxiv.org/abs/2203.02155>
- **Medium.** (2024). *The Environmental Impact of Large Language Models.*
- **ResearchGate.** (2023). *Energy Efficiency and LLMs: A Comprehensive Guide.*
- **NREL.** (2024). *LLMs for Energy Systems Research: A Technical Report.*