



ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΟΣ  
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ  
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

# Υπολογισμός Απωλειών ΕΣΜΗΕ

Έκδοση 1.0  
Ιούλιος 2020

## Πίνακας περιεχομένων

1	Σκοπός.....	2
2	Πρόβλεψη απομαστεύσεων και εγχύσεων ισχύος.....	3
3	Υπολογισμός προβλεπόμενης ροής ισχύος στα στοιχεία του Συστήματος .....	5
4	Υπολογισμός προβλεπόμενων απωλειών.....	6
	Αναφορές.....	7

## 1 Σκοπός

Ο σκοπός της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι η πρόβλεψη των απωλειών του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας για την επόμενη μέρα Κατανομής. Η μεθοδολογία θα εφαρμόζεται:

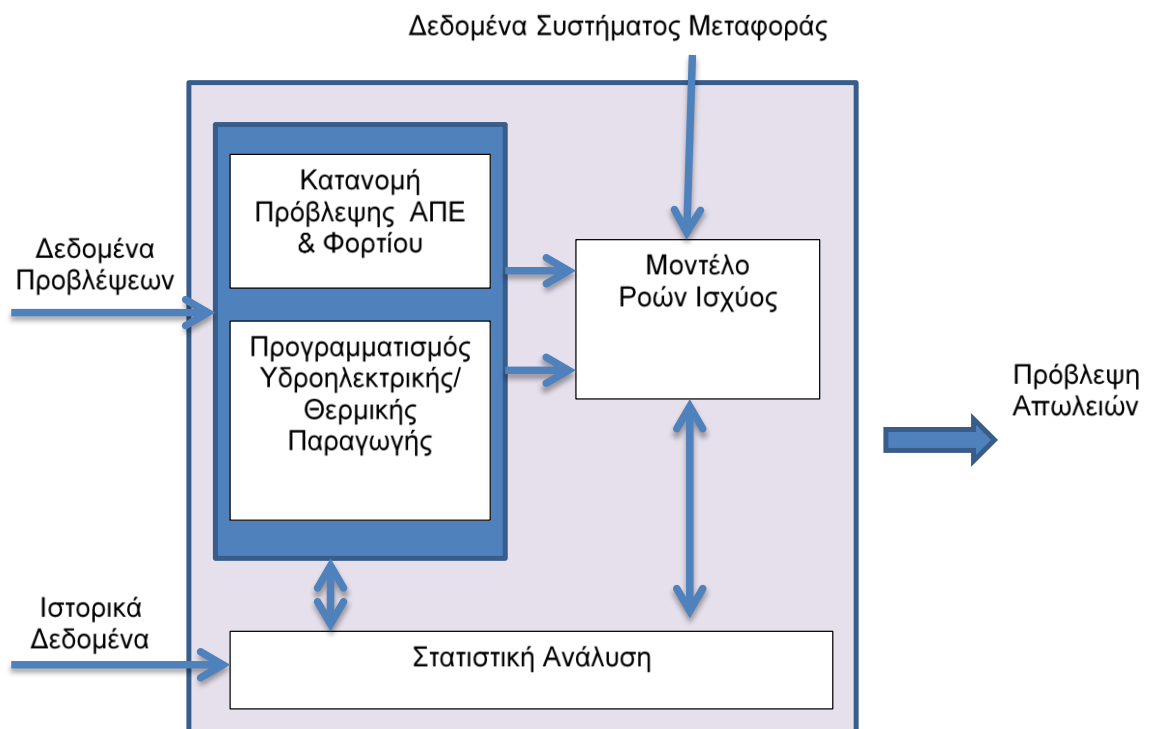
- πριν την εκτέλεση της Προημερήσιας Αγοράς (Day-Ahead Market - DAM) και
- πριν την εκτέλεση της Ενδοημερήσιας Αγοράς (Intra-Day Market - IDM).

Στην πρώτη περίπτωση εφαρμογής (DAM), η πρόβλεψη αφορά περίοδο 24 ωρών, αρχίζοντας από τις 00:00 CET της επομένης ημέρας. Στην δεύτερη περίπτωση (IDM), η έναρξη και διάρκεια της περιόδου πρόβλεψης προσαρμόζεται αντίστοιχα με το χρονικό σημείο εκτέλεσης της ενδοημερήσιας αγοράς. Η περίοδος κατανομής των προβλέψεων μπορεί να είναι 30 ή 60 λεπτά.

Η μεθοδολογία πρόβλεψης των απωλειών βασίζεται στην πρόβλεψη των εγχύσεων και απομαστεύσεων ισχύος στους ζυγούς του Συστήματος συνδυάζοντας:

- διαθέσιμα δεδομένα πρόβλεψης
- ιστορικά δεδομένα
- την εμπειρία του Διαχειριστή του Συστήματος, και
- οποιαδήποτε διαθέσιμα δεδομένα αναφορικά με τη διαθεσιμότητα των συμβατικών μονάδων παραγωγής.

Με βάση τα πιο πάνω υπολογίζεται για κάθε περίοδο Κατανομής η ροή ισχύος σε κάθε κύκλωμα του Συστήματος και στη συνέχεια υπολογίζονται οι αναμενόμενες απώλειες μετά από επεξεργασία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης ροής ισχύος. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η ροή διαδικασιών που προβλέπεται από τη μεθοδολογία.



ΣΧΗΜΑ 1 ΡΟΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

## 2 Πρόβλεψη απομαστεύσεων και εγχύσεων ισχύος

Το πρώτο βήμα της μεθοδολογίας πρόβλεψης απωλειών είναι η πρόβλεψη της απομάστευσης και έγχυσης ενέργειας σε κάθε ζυγό.

Για τον καθορισμό της απομαστευόμενης ισχύος σε κάθε ζυγό, χρησιμοποιείται η διαθέσιμη πρόβλεψη φορτίου Συστήματος (η οποία αφορά το σύνολο του Συστήματος) η οποία λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά της επόμενης ημέρας (π.χ. καιρικές συνθήκες, τύπος ημέρας κλπ.).

Τα διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα του φορτίου Συστήματος ανά ζυγό χρησιμοποιούνται για τη στατιστική εκτίμηση συντελεστών συμμετοχής, που εκφράζουν την αναλογία φορτίου κάθε ζυγού προς συνολικό φορτίο Συστήματος.

Για το σκοπό αυτό, τα διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα κατατάσσονται σε υποσύνολα από αντιπροσωπευτικές ημέρες, λαμβάνοντας υπόψη ενδεικτικούς παράγοντες όπως την εποχή του χρόνου, τύπο ημέρας (εργάσιμη, Σάββατο/Κυριακή, αργία), την πρόβλεψη θερμοκρασίας και ηλιοφάνειας ανά περιοχή, κλπ.

Συμβολίζοντας ενδεικτικά το μέσο συντελεστή συμμετοχής φορτίου ζυγού ως  $\lambda_{t,n}^i$  για κάθε ζυγό ( $n$ ), χρονική περίοδο ( $t$ ) και αντιπροσωπευτική ημέρα ( $i$ ), η συνολική πρόβλεψη φορτίου  $D_t$  επιμερίζεται ανα ζυγό ως:

$$d_{t,n} = \lambda_{t,n}^i \cdot D_t.$$

Οι συντελεστές συμμετοχής προκύπτουν με βάση στιγμιότυπα του Συστήματος, όπως αναπτύσσονται και αποθηκεύονται συνεχώς (χρησιμοποιώντας τεχνικές Εκτίμησης Κατάστασης), και τα οποία θα αφορούν στην πιο πρόσφατη ημέρα ίδιας κατηγορίας με την εξεταζόμενη ημέρα κατανομής. Με τον τρόπο αυτό θα λαμβάνεται υπόψη ο τύπος της ημέρας (καθημερινή, Σάββατο/Κυριακή, αργία) καθώς και οι καιρικές συνθήκες (θερμοκρασία, ηλιοφάνεια, αέρας), προκειμένου οι κάθε φορά εφαρμοζόμενοι συντελεστές συμμετοχής  $\lambda_{t,n}^i$  να αντιστοιχούν κατά το δυνατόν στο προφίλ της ημέρας κατανομής που εξετάζεται.

Για την πρόβλεψη της έγχυσης ενέργειας από σταθμούς ΑΠΕ ανά ζυγό, χρησιμοποιείται η διαθέσιμη πρόβλεψη παραγωγής σταθμών ΑΠΕ ανά τεχνολογία η οποία κατανέμεται στους ζυγούς του δικτύου κατ' αναλογία με την ικανότητα των αντίστοιχων μονάδων.

Για την πρόβλεψη της ροής ισχύος από τις διασυνδέσεις με τις όμορες χώρες, χρησιμοποιούνται οι δηλώσεις χρήσεως μακροπρόθεσμων φυσικών δικαιωμάτων μεταφοράς (διαθέσιμες στις 9:30 CET της προηγούμενης μέρας D-1 για την ημέρα D για την οποία γίνεται η πρόβλεψη) καθώς επίσης και η τελευταία διαθέσιμη λύση της διαδικασίας προγραμματισμού. Συγκεκριμένα, σε κάθε διασύνδεση, ορίζεται ως προβλεπόμενη εισροή/εκροή ισχύος το μέγιστο μεταξύ της τιμής σύμφωνα με την τελευταία διαθέσιμη λύση της διαδικασίας προγραμματισμού και των αντίστοιχων δηλώσεων χρήσης φυσικών δικαιωμάτων μεταφοράς, λαμβάνοντας υπόψη και την καθαρή δυνατότητα μεταφοράς (NTC) όπως έχει υπολογιστεί για την επόμενη ημέρα.

Τέλος για την πρόβλεψη εγχύσεων από συμβατικούς σταθμούς (θερμική και υδροηλεκτρική παραγωγή) συνδυάζονται ιστορικά δεδομένα, η τελευταία διαθέσιμη λύση του Προγράμματος Κατανομής, και η αναγγελθείσα διαθεσιμότητα

των μονάδων παραγωγής. Συγκεκριμένα, σαν σημείο εκκίνησης θεωρείται ότι όλες οι διαθέσιμες μονάδες που βρέθηκαν σε κατάσταση λειτουργίας την προηγούμενη μέρα (σύμφωνα με την επίλυση της αγοράς για την προηγούμενη μέρα) μπορεί να παραμείνουν σε κατάσταση λειτουργίας, εκτός αν υπάρχει άλλη διαθέσιμη πληροφορία στο ΚΕΕ. Επίσης θεωρείται ότι οι υδροηλεκτρικές μονάδες παράγουν κατ' ελάχιστον σύμφωνα με την υποχρεωτική τους φόρτιση (αρδεύσεις, πλημμύρες κλπ.) ανά μονάδα.

Χρησιμοποιώντας την πιο πάνω κατανομή εγχύσεων ως αρχικό σημείο, προσαρμογές στην τελευταία διαθέσιμη λύση του Προγράμματος Κατανομής μπορεί να είναι απαραίτητες λόγω:

- (i) της ημερήσιας μεταβλητότητας του φορτίου, της παραγωγής ΑΠΕ και των εισροών/εκροών μέσω διασυνδέσεων με όμορες χώρες
- (ii) μεταβολών στη διαθεσιμότητα υδροηλεκτρικών και θερμικών μονάδων. Η προσαρμογή αυτή θα βασίζεται στην εμπειρία του Διαχειριστή Συστήματος, λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις προγραμματισμού της επόμενης ημέρας, καθώς επίσης και το ενδεικτικό ελάχιστο μέσο μεταβλητό κόστος των μονάδων.

Για την ένταξη/απένταξη μονάδων λόγω των παραπάνω παραγόντων λαμβάνονται υπόψιν ενδεικτικές μέσες τιμές μεταβλητού κόστους των μονάδων του Συστήματος. Δεδομένου ότι το μοντέλο αγοράς καθορίζει το επίπεδο παραγωγής κάθε μονάδας με στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους ενέργειας, δεν είναι δυνατή η παράλληλη ελαχιστοποίηση των απωλειών καθώς αυτό θα αλλοίωνε το βασικό κριτήριο λειτουργίας της αγοράς. Για τους σκοπούς της παρούσας μεθοδολογίας, η εκτίμηση των απωλειών επόμενης ημέρας με βαρύτητα στα βραχυπρόθεσμα ιστορικά αποτελέσματα της αγοράς ("Persistence Method") θεωρείται ως η πλέον δόκιμη.

### 3 Υπολογισμός προβλεπόμενης ροής ισχύος στα στοιχεία του Συστήματος

Το δεύτερο βήμα της μεθοδολογίας πρόβλεψης απωλειών είναι η πρόβλεψη της ροής ισχύος, με βάση τις προαναφερθείσες προβλεπόμενες τιμές εγχύσεων και απομαστεύσεων ενέργειας ανά ζυγό, καθώς επίσης και τις παραμέτρους και την τοπολογία του δικτύου. Η τοπολογία και οι τεχνικές παράμετροι των στοιχείων του δικτύου υπολογίζονται με βάση ιστορικά αρχεία ροής φορτίου και ανανεώνονται όποτε κριθεί απαραίτητο μετά από κάθε σημαντική αλλαγή στην τοπολογία του Συστήματος.

Για τον υπολογισμό της προβλεπόμενης ροής φορτίου χρησιμοποιείται η προσέγγιση συνεχούς ρεύματος (DC Load Flow - DCLF), καθώς η απόκλιση μεταξύ χρήσης AC ή DC μεθοδολογίας είναι πολύ μικρή όσον αφορά τις υπολογιζόμενες απώλειες. [1].

Η πιθανή αδυναμία σύγκλισης της AC μεθόδου είναι εξαιρετικά σημαντικός παράγοντας, καθώς τα διαθέσιμα χρονικά περιθώρια για τις διαδικασίες της αγοράς είναι περιορισμένα και δεδομένου του γεγονότος ότι η DCLF παρέχει επαρκή ακρίβεια και εξασφαλίζει πάντοτε τη σύγκλιση σε μία αποδεκτή λύση στο νέο περιβάλλον αγοράς επιλέχθηκε η χρήση αυτής της μεθόδου. Είναι και η συνήθως χρησιμοποιούμενη μέθοδος σε εφαρμογές που αφορούν περιβάλλον αγοράς.

Συγκεκριμένα, συμβολίζοντας με  $\mathbf{P}_t = [p_{t,1}, \dots, p_{t,N}]$  το διάνυσμα προβλεπόμενων εγχύσεων/απομαστεύσεων σε όλους τους ζυγούς του δικτύου πλην του ζυγού αναφοράς, και με  $\mathbf{B}_t$  τον πίνακα αγωγιμοτήτων του Συστήματος, για κάθε χρονική περίοδο ( $t$ ) επιλύεται η εξίσωση:

$$\mathbf{P}_t = \mathbf{B}_t \cdot \boldsymbol{\theta}_t$$

με σκοπό τον προσδιορισμό του διανύσματος φάσεων της τάσης σε όλους τους ζυγούς του συστήματος  $\boldsymbol{\theta}_t = [\theta_{t,1}, \dots, \theta_{t,N}]$  πλην του ζυγού αναφοράς, για τον οποίο ορίζεται φάση τάσης  $\theta_{t,0} = 0$ .

Σημειώνεται ότι ο πίνακας αγωγιμοτήτων του Συστήματος  $\mathbf{B}_t$  περιέχει το σύνολο του εξοπλισμού του Συστήματος που αφορά τη μελέτη ροής φορτίου, εν προκειμένω γραμμές μεταφοράς, μετασχηματιστές, εγκάρσια στοιχεία κλπ.

## 4 Υπολογισμός προβλεπόμενων απωλειών

Με βάση τη λύση της πρόβλεψης ροής ισχύος συνεχούς ρεύματος ανά περίοδο κατανομής, η πρόβλεψη των συνολικών απωλειών του Συστήματος μεταφοράς υπολογίζεται ως:

$$L = \sum_t \sum_{ij} g_{ij} (\theta_{t,i} - \theta_{t,j})^2$$

όπου,

$ij$ : δείκτης γραμμής μεταφοράς του Συστήματος,

$g_{ij}$ : η επιδεκτικότητα της γραμμής  $ij$  η οποία δίνεται από τη σχέση  $g_{ij} = \frac{r_{ij}}{r_{ij}^2 + x_{ij}^2}$

$r_{ij}$ : η ωμική αντίσταση του κυκλώματος  $ij$ ,

$x_{ij}$ : επαγωγική αντίσταση του κυκλώματος  $ij$ .

Με την πιο πάνω μεθοδολογία εκτιμώνται τελικά οι προβλεπόμενες συνολικές απώλειες του Συστήματος ανά περίοδο κατανομής.

## Αναφορές

- [1] G. Gross και S. Tao, «A Physical-Flow-Based Approach to Allocating Transmission Losses in a Transaction Framework,» *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS*, VOL. 15, NO. 2, pp. 631-637, MAY 2000.