

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

Διαγράμματα Sankey & Ενεργειακά Ισοζύγια

Τσικαλάκης Αντώνιος
Δρ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχ/κός Η/Υ ΕΜΠ
Εργαστηριακός Συνεργάτης ΤΕΙ Κρήτης

Τμήμα Ηλεκτρολογίας

Διαγράμματα Sankey

- Απεικονίζουν τη ροή ενέργειας, από την είσοδο της σε μια επιχειρησιακή μονάδα (ή από μία μονάδα παραγωγής) έως την τελική ωφέλιμη κατανάλωση ανά χρήση.
- Η παρουσίαση των ενεργειακών ροών μέσω ενός τέτοιου διαγράμματος συμβάλλει:
 - Στον εντοπισμό των «κρίσιμων περιοχών κατανάλωσης»
 - Στον εντοπισμό των αιτιών ενεργειακών απωλειών
 - Στη καλύτερη ιεράρχηση των πιθανών δράσεων ενεργειακής βελτίωσης

2η εργαστηριακή Άσκηση- Διαχείριση Ηλεκτρικής Ενέργειας 2

Που πάει η ενέργεια του καυσίμου- Απλοποιημένο διάγραμμα Sankey

Πρωτογενής ενέργεια Καύσιμο ή ΑΠΕ

Κινητική Ενέργεια Στροβίλου

Ηλεκτρική Ισχύς στους ακροδέκτες της Γεννήτριας

Απώλειες μετατροπής στην παραγωγή θερμότητας

Απώλειες στην στροβίλο

Απώλειες Ταβών Ανεμοσκόπου (ΑΠΕ)

Απώλειες στην στροβίλο

Απώλειες στην στροβίλο

Μηχανικές Απώλειες

Τελικά όχι περισσότερο από το 50% της θερμόγόνου δύναμης του καυσίμου γίνεται ηλεκτρισμός

2η εργαστηριακή Άσκηση- Διαχείριση Ηλεκτρικής Ενέργειας 3

Τυπικό Διάγραμμα Sankey για Φ/Β

1984 kWh/m² In plane global irradiance

1984 kWh/m² * 1142 m² Effective irradiance on PV panels

efficiency at STC = 15% PV conversion

323 MWh Array nominal energy (at STC)

5% PV degradation losses

7.12% Temperature losses

5.86% Soiling losses

265.5 MWh PV array energy

6% Internal network losses

7.84% Inverter losses

2% Transformer losses

4.54% Availability & grid connection losses

229 MWh Delivered energy to PPC

Ενέργειας 4

Τυπικό Διάγραμμα Sankey – Προηγούμενου Παραδείγματος

Θερμική Ενέργεια 500 toe

Ηλεκτρισμός 300 toe 60%

Απώλειες 30 toe 10%

Φυσικό Αέριο 14.8 toe 10%

Απώλειες 15 toe 10%

Μαζούτι 150 toe 30%

Απώλειες 15 toe 10%

Εξαισιμότητας 270 toe

Θέρμανση χώρου Α 35,2 toe

Θέρμανση χώρου Β 167,2 toe

2η εργαστηριακή Άσκηση- Διαχείριση Ηλεκτρικής Ενέργειας 5

Λογισμικό που μπορεί να μας βοηθήσει

Υποσταθμός 494,16

Υποσταθμός 454,08

Καταναλωτές Παραγωγής 432,28 87,42%

Καταναλωτές 31,8 - 4,11%

Κοπή 72,68 - 14,69%

Εκκίνηση 87,18 - 17,63%

Τυγνάλωση 146,31 29,38%

Πρόσες 127,14 25,71%

Μεταγωγή ισχύος 20,42 toe

1. Ε!Sankey πρόγραμμα για την κατασκευή τέτοιων διαγραμμάτων
<http://www.sankey-diagrams.com/>

2η εργαστηριακή Άσκηση- Διαχείριση Ηλεκτρικής Ενέργειας 6

Πόσες είναι τελικά οι απώλειες ενέργειας?				
Απώλειες	Απόλυτες Απώλειες	Ποσοστό επί διεργασίας	Ποσοστό επί τύπου ενέργειας	Ποσοστό επί συνολικής ενέργειας
Εξατμιστήρα	30	10%	6%	2,76%
Θέρμανσης Χώρου Α	14.8	29,6	2,96%	1,36%
Θέρμανσης Χώρου Β	15	10%	3%	1,38%
Μετασχηματιστή	40,08	8,11%	8,11%	3,69%
ΣΥΝΟΛΟ	99.88		11.96% Θερμικής	

2h εργαστηριακή Άσκηση- Διαχείριση Ηλεκτρικής Ενέργειας

7

Λογισμικό που μπορεί να μας βοηθήσει

- Sankey!Helper2.1 -Μοιάζει με Excel- Χρησιμοποιεί Μακροεντολές
<http://www.doka.ch/sankey.htm#download>
- Υπάρχουν addons στο Matlab

2h εργαστηριακή Άσκηση- Διαχείριση Ηλεκτρικής Ενέργειας

8

Ορισμός Ισοζυγίων

- Δομημένος τρόπος απεικόνισης ενεργειακών μεγεθών
- Παρουσιάζουν κυρίως:
 - Τι και πόσο παράγεται
 - Τι και πόσο καταναλώνεται
 - Που καταναλώνεται
- Ισορροπία μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης
- Κοινή μονάδα Μέτρησης-Τόνοι Ισοδυνάμου Πετρελαίου (ΤΙΠ στα Αγγλικά Τοε)

2h εργαστηριακή Άσκηση- Διαχείριση Ηλεκτρικής Ενέργειας

9

Ενεργειακοί Συντελεστές για μετατροπές

- Γαϊάνθρακας $tn \times 0,700 \text{ ΤΙΠ} / tn$
- Ξηρός Λιγνίτης: $tn \times 0,38 \text{ ΤΙΠ} / tn$
- Φυσικός Λιγνίτης: $tn \times 0,14 \text{ ΤΙΠ} / tn$
- Ντίζελ : $tn \times 1,095 \text{ ΤΙΠ} / tn$
- Μαζούτ : $tn \times 1,055 \text{ ΤΙΠ} / tn$
- Βενζίνη : $tn \times 1,128 \text{ ΤΙΠ} / tn$
- Κηροζίνη : $tn \times 1,133 \text{ ΤΙΠ} / tn$
- Υγραέριο : $tn \times 1,195 \text{ ΤΙΠ} / tn$
- Ηλεκτρισμός : $tn \times 0,086 \text{ ΤΙΠ} / tn$
- Αν έχω κάποια άλλη πηγή π.χ βιομάζα, ο λόγος της θερμότητας προς τη θερμότητα του πετρελαίου δίνει την αντίστοιχη ποσότητα

2h εργαστηριακή Άσκηση- Διαχείριση Ηλεκτρικής Ενέργειας

10

Κατηγορίες ισοζυγίου

- A πρωτογενής παραγωγή
- B Καθαρές Εισαγωγές
- Γ Ακαθόριστη Εγχώρια Κατανάλωση $=A+B$
- Δ Μετατροπή από τη μία μορφή ενέργειας σε μία άλλη
- Ε Κατανάλωση Ενεργειακού Τομέα
- ΣΤ Απώλειες Μεταφοράς
- Ζ Στατιστικές Διαφορές
- Η Τελική Ενεργειακή Κατανάλωση $H=Γ-Δ-Ε-ΣΤ+Ζ$
- Θ Εκπομπές CO₂

2h εργαστηριακή Άσκηση- Διαχείριση Ηλεκτρικής Ενέργειας

11

Εθνικό Ισοζύγιο για το έτος...

Τυπικό Excel που ακολουθεί...

2h εργαστηριακή Άσκηση- Διαχείριση Ηλεκτρικής Ενέργειας

12

Παράδειγμα 1

Μία επιχειρησιακή μονάδα χρησιμοποίησε τους παρακάτω ενεργειακούς πόρους

Υγραέριο, Πετρέλαιο θέρμανσης, Μαζούτ και Ηλεκτρισμός.

Για το έτος 2002, βάσει τιμολογίων, αγοράστηκαν οι παρακάτω ποσότητες:

- 1.Υγραέριο(LPG) = 310 τόνοι
- 2.Πετρέλαιο Θέρμανσης (Ντίζελ) = 35 τόνοι
- 3.Μαζούτ = 175 τόνοι
- 4.Ηλεκτρισμός = 5.750 MWh

2η εργαστηριακή Άσκηση- Διαχείριση Ηλεκτρικής Ενέργειας 13

Ενεργειακές Είσοδοι

Για να μπορούμε σωστά να απεικονίσουμε τις ενεργειακές εισόδους θα πρέπει να μετατραπούν σε κοινή μονάδα μέτρησης π.χ ΤΙΠ

- 1.Υγραέριο(LPG) = 310 τόνοι * 1,195ΤΙΠ / τόνο = 370,45 ΤΙΠ
- 2.Πετρέλαιο Θέρμανσης (Ντίζελ) = 35 τόνοι * 1,095ΤΙΠ / τόνο = 38,33ΤΙΠ
- 3.Μαζούτ = 175 τόνοι * 1,055ΤΙΠ / τόνο = 184,63ΤΙΠ
- 4.Ηλεκτρισμός = 5.750 MWh*0,086 ΤΙΠ / MWh= 494,50ΤΙΠ

Σύνολο = 1.087,90 ΤΙΠ

2η εργαστηριακή Άσκηση- Διαχείριση Ηλεκτρικής Ενέργειας 14

Ενεργειακές Είσοδοι-Κατανομή

Εισροές	ΤΙΠ	Ποσοστό	
Θερμική Ενέργεια			
LPG	370,45	34,05 του συνόλου	62,43 της θερμικής
Diesel	38,33	3,52 του συνόλου	6,46 της θερμικής
Mazout	184,63	16,97 του συνόλου	31,11 της θερμικής
Ηλεκτρική Ενέργεια	494,50	45,45 του συνόλου	
Σύνολο	1.087,90		

2η εργαστηριακή Άσκηση- Διαχείριση Ηλεκτρικής Ενέργειας 15

Κατανομή Τελικών Χρήσεων

	Κατηγορία Εξοπλισμού	Κατανάλωση	Ώρες Λειτουργίας	Συντελεστής Μετατροπής	ΤΙΠ
Υγραέριο	Πλυντήρια	3700 Mwh για όλο το έτος		0,086	318,20
Πετρέλαιο Θ.	Θέρμανση χώρου A	2.000.000,00 kcal	176,00	0,0000001	35,20
Μαζούτ	Θέρμανση χώρου B	9.500.000,00 kcal	176,00	0,0000001	167,20
Ηλεκτρισμός	Φωτισμός	0,01 MW	4.224,00	0,086	3,63
	Εξοπλισμός	0,01 MW	4.224,00	0,086	3,63
	Ψύξη χώρων	0,12 MW	1.408,00	0,086	14,53
	Εκτύπωση μετάλλου	0,24 MW	4.224,00	0,086	87,18
	Κοπή	0,20 MW	4.224,00	0,086	72,65
	Συγκόλληση	0,40 MW	4.224,00	0,086	145,31
	Πρόσες	0,35 MW	4.224,00	0,086	127,14
	Σύνολο Ηλεκτρισμού				454,08

Εδώ είναι οι τιμές Συγκεντρωτικά χωρίς απώλειες.

2η εργαστηριακή Άσκηση- Διαχείριση Ηλεκτρικής Ενέργειας 16

Κατανομή Τελικών Χρήσεων

Εκροές	ΤΙΠ	Ποσοστό
1. Πλυντήρια τεμαχίων	318,20	
Απώλειες καυστήρων	32,25	14,10 του LPG
2. Θέρμανση χώρου A	35,20	
Απώλειες καυστήρων	3,13	8,15 του Diesel
3. Θέρμανση χώρου B	167,20	
Απώλειες καυστήρων	17,43	9,44 του Mazout
4. Χρήσεις Ηλεκτρισμού		
4.1. Βασικές Καταναλώσεις		
Φωτισμός	3,63	0,73 του Ηλεκτρισμού
Εξοπλισμός	3,63	0,73 του Ηλεκτρισμού
Ψύξη χώρων	14,53	2,94 του Ηλεκτρισμού
Σύνολο 4.1	21,80	4,41 του Ηλεκτρισμού
4.2. Καταναλώσεις Παραγωγής		
Εκτύπωση μετάλλου	87,18	17,63 του Ηλεκτρισμού
Κοπή	72,65	14,69 του Ηλεκτρισμού
Συγκόλληση	145,31	29,38 του Ηλεκτρισμού
Πρόσες	127,14	25,71 του Ηλεκτρισμού
Σύνολο 4.2	432,28	87,42 του Ηλεκτρισμού
Σύνολο 4	454,08	
Απώλειες Μετασχηματισμού	40,42	8,17 του Ηλεκτρισμού
Σύνολο	1.087,90	

Θα δούμε το Sankey Diagramme και τις απώλειες σε λίγο

2η εργαστηριακή Άσκηση- Διαχείριση Ηλεκτρικής Ενέργειας 17

Παράδειγμα Ισοζυγίου...

Καταγραφή τυπικού ισοζυγίου ενός θερμαινόμενου/κλιματιζόμενου εστιατορίου-ψησταριάς με μικρό τζάκι

A) Καταγραφή πιθανών εισόδων-ενεργειακών πόρων

2η εργαστηριακή Άσκηση- Διαχείριση Ηλεκτρικής Ενέργειας 18



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.
ΧΕΙΜΕΡΙΝΟ ΕΞΑΜΗΝΟ 2016-2017
ΜΑΘΗΜΑ: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΔΙΔΑΣΚΩΝ: Δρ. Τσικαλάκης Αντώνιος-

2η Εργαστηριακή Άσκηση Ισοζύγια-Μετρητές Ενέργειας

Άσκηση 1^η Εξοικείωση με τα ενεργειακά Ισοζύγια

Μία πενταόροφη οικοδομή κατανάλωσε κατά προσέγγιση τα εξής:

Πετρέλαιο Θέρμανσης: (Αριθμός μητρώου) κιλά

Ηλεκτρισμός: (Αριθμός Μητρώου/100) MWh

Το πετρέλαιο θέρμανσης αξιοποιήθηκε αποκλειστικά για Θέρμανση χώρων

Ενδεικτική κατανομή Χρήσεων Ηλεκτρισμού:

Ζεστό Νερό Χρήσης	12%	Φωτισμός	22%
Κλιματισμός	16%	Μαγείρεμα	20%
Κίνηση/Αντλίες	10%	Ψυγεία	10%
Λοιπές Ηλεκτρονικές Συσκευές	10%		

Να συμπληρωθεί ο πίνακας του ενεργειακού ισοζυγίου για ένα έτος, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των σημειώσεων για τους ΤΠΠ

Στη συνέχεια να χωριστεί το έτος στις παρακάτω περιόδους για τις οποίες η ζήτηση είναι κατανεμημένη στις τελικές χρήσεις ομοιόμορφα σε κάθε μήνα εκτός από τις παρακάτω:

Νοέμβριος-Μάρτιος: Χωρίς κλιματισμό αλλά με θέρμανση. Το 45% του φωτισμού καταναλώνεται τότε και το 33% της ψύξης (Φοιτητές με λήγοντα μονό αριθμό)

Ιούνιος-Σεπτέμβριος: Κλιματισμός στο σύνολό του. Καταναλώνεται το 25% του φωτισμού και το 50% της ψύξης. (Φοιτητές με λήγοντα ζυγό αριθμό)

Άσκηση 2^η Χρήση συνάρτησης κατασκευής διαγράμματος Sankey (Μόνο Υπολογισμοί Χωρίς MATLAB)

Να συμπληρωθεί ο παρακάτω πίνακας:

Στη συνέχεια για το σύστημα ηλεκτρικής Ενέργειας που θα σας υποδειχθεί, συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα:

		MWh
Απώλειες Γραμμών Μεταφοράς		
Απώλειες στους Υ/Σ Υ.Τ/Μ.Τ	0.5%	
Απώλειες στα δίκτυα διανομής Μέσης τάσης	3%	
Απώλειες στους Υ/Σ Μ.Τ/Χ.Τ	1.5%	
Απώλειες στις γραμμές διανομής Χ.Τ	2%	
Τελική Διανεμούμενη Ενέργεια		

Προαιρετικά

Θα χρησιμοποιηθεί η έτοιμη συνάρτηση drawSankey του MATLAB. Να χρησιμοποιήσετε την εντολή αυτή για να φτιάξετε το διάγραμμα sankey του ΣΗΕ αυτού.
Για την εκτέλεσή της στο Command window του MATLAB θα πρέπει να πληκτρολογήσετε:

```
function drawSankey(inputs, losses, unit, labels, varargin)
```

Τα ορίσματα της συνάρτησης είναι

Inputs: Διάνυσμα-Πίνακας 1 γραμμής ο οποίος περιλαμβάνει τις ροές εισόδου. Το πρώτο στοιχείο θα είναι η κυριότερη είσοδος η οποία σχεδιάζεται κεντρικά ενώ οι άλλες εισοδοί θα σχεδιάζονται δίπλα από αυτήν.

Losses Ένα διάνυσμα-πίνακας 1 γραμμής ο οποίος περιλαμβάνει όλες τις απώλειες της διεργασίας και οι οποίες απεικονίζεται πάνω από την κύρια γραμμή του διαγράμματος Sankey.

labels: Μία λίστα των επικεφαλίδων για τις διαφορετικές ροές ξεκινώντας με τις επικεφαλίδες των εισόδων, κατόπιν τις επικεφαλίδες για τις επι μέρους απώλειες και τελικά την έξοδο του συστήματος. Το πλήθος αυτών των στοιχείων θα πρέπει να είναι το άθροισμα του πλήθους των στοιχείων εισόδου, των στοιχείων εξόδου +1. Η σύνταξη αυτών των στοιχείων γίνεται με ({}) κι όχι αγκύλες ([])

Unit : Αλφαριθμητικό κειμένου string το οποίο εκφράζει τις μονάδες που χρησιμοποιούνται.

sep: Προαιρετικό: Λίστα διαχωρισμού των γραμμών

Παράδειγμα

Έστω ότι έχουμε τις παρακάτω εισόδους τις οποίες τις γράφουμε στη γραμμή εντολών του MATLAB.

```
inputs = [75 32]; losses = [10 5 2.8]; unit = 'MW'; sep = [1,3];  
labels = {'Main Input','Aux Input','Losses I','Losses II','Losses III','Output'};
```

Αν μετά στη γραμμή εντολών γράψουμε
`drawSankey(inputs, losses, unit, labels, sep);`

Το αποτέλεσμα θα είναι το παρακάτω διάγραμμα Sankey

