

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte

Enerģētikas institūts

**Edvīns VANZOVIČS, Svetlana BERJOZKINA**

## **ELEKTRISKĀS SLODZES**

**Metodiskie norādījumi kursa darba izstrādei priekšmetā  
„Elektroapgāde”**



RĪGA - 2012

UDK 621. 311.1 (075.8)

**Vanzovičs E., Berjockina S.** Elektriskās slodzes. – Rīga, RTU Izdevniecība, 2012. 36 lpp.

Mācību metodiskie norādījumi paredzēti enerģētikas un elektrotehnikas specialitāšu studentiem kursa darba izstrādei priekšmetā „Elektroapgāde”. Materiālu var izmantot elektroapgādes projektēšanā un sistēmas elementu izvēlē.

Darbs apkopo priekšmeta „Elektroapgāde” elektrisko slodžu noteikšanas teorētisko materiālu, kā arī praktiskos piemērus ar aplēses slodžu un raksturīgo elektrisko lielumu aprēķiniem. Izskatīti elektrisko slodžu raksturīgie lielumi un koeficienti, aplēses slodzes noteikšanas metodes, pīķa slodzes aprēķins, elektroenerģijas zudumu noteikšana elektropārvades līnijās.

Recenzenti: Dr.habil.sc.ing., prof. Antans Sauhats  
Dr.sc.ing., prof. Anatolijs Maņņitko

Literārā redaktore: Silvija Minkevica

© E.Vanzovičs, S.Berjockina, 2012. g.  
© Rīgas Tehniskā universitāte, 2012. g.



Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā «Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai».

ISBN 978-9934-10-293-6

# Saturs

Saturs .....	3
Literatūra .....	5
Ievads.....	6
1. Elektriskās slodzes.....	7
1.1. Raksturīgie lielumi .....	7
1.2. Raksturīgie koeficienti.....	9
2. Aplēses slodzes noteikšanas metodes.....	12
2.1. Sakārtoto diagrammu metode.....	12
2.1.1. Efektīvo patērētāju skaits un to noteikšanas metodes .....	13
2.1.2. Aplēses slodzes noteikšanas īpatnības, kad $n > 3$ , bet $n_e < 4$ .....	14
2.1.3. Reaktīvās slodzes noteikšana pēc sakārtoto diagrammu metodes .....	14
2.2. Pieprasījuma koeficienta metode.....	15
3. Pīķa (smaistrāvas) slodzes aprēķins .....	16
4. Elektroenerģijas zudumu noteikšana elektropārvades līnijās.....	17
5. Uzdevumi .....	19
5.1. Raksturīgo elektrisko lielumu un koeficientu noteikšana pēc slodzes grafika (1. uzdevums) .....	19
5.2. Aplēses slodzes noteikšana pēc vienkāršotas sakārtoto diagrammu metodes (2. uzdevums).....	21
5.3. Aplēses slodzes noteikšana pēc sakārtoto diagrammu metodes, ņemot vērā reaktīvas jaudas kompensācijas iekārtu (3. uzdevums) .....	22
5.4. Aplēses slodzes noteikšana pēc pieprasījuma koeficienta metodes (4. uzdevums) .....	23
5.5. Elektroenerģijas zudumu noteikšana gaisvadu līnijā (5. uzdevums).....	24
5.6. Pīķstrāvas (smaistrāvas) noteikšana (6. uzdevums) .....	25
6. Uzdevumu atrisinājuma piemēri.....	26
6.1. Raksturīgo elektrisko lielumu un koeficientu noteikšana pēc slodzes grafika (1. uzdevums) .....	26
6.2. Aplēses slodzes noteikšana pēc vienkāršotās sakārtoto diagrammu metodes (2. uzdevums).....	28
6.3. Aplēses slodzes noteikšana pēc sakārtoto diagrammu metodes, ņemot vērā reaktīvās jaudas kompensācijas iekārtu (3. uzdevums) .....	30
6.4. Aplēses slodzes noteikšana pēc pieprasījuma koeficienta metodes (4. uzdevums) .....	33

6.5. Elektroenerģijas zudumu noteikšana gaisvadu līnijā (5. uzdevums).....	34
6.6. Piķstrāvas (smaistrāvas) noteikšana (6. uzdevums) .....	36

## Literatūra

1. „Elektrisko staciju un apakšstaciju elektriskā daļa”, K.Timmermanis, J.Rozenkrons. Rīga, „Zvaigzne”, 1988. g.
2. ФЕДОРОВ А.А., СЕРБИНОВСКИЙ Г.Б. (под ред.). Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Книга вторая. М., Изд-во "Энергия", 1973.
3. ФЕДОРОВ А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий. М., Изд-во Энергия, 1972.
4. Gerharda J. red., “Elektroapgāde”, Rīga, Zvaigzne, 1989. 329 lpp.
5. Meļņikovs V. Elektroapgāde. I daļa.; Rīga, 2006. 224 lpp.
6. ФЕДОРОВ А.А., СЕРБИНОВСКИЙ Г.Б. (под ред.). Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Книга первая. М., Изд-во "Энергия", 1973.
7. КАРПОВ Ф.Ф. КОЗЛОВ В.Н. Справочник по расчету проводов и кабелей. М-Л., Изд-во Энергия, 1964.
8. КНЯЗЕВСКИЙ Б.А., ЛИПКИН Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий. М., Изд-во Энергия, 1969 г.
9. Meļņikovs V. Elektroapgāde. II daļa. Rīga, 2006. 142 lpp.
10. Vanags A. Elektriskie tīkli un sistēmas. I daļa. Rīga: RTU, 2002. 471 lpp.

## Ievads

Kursa darba izstrāde ir svarīga studentu patstāvīgā darba sastāvdaļa zināšanu padziļināšanai „Elektroapgādes” pamatkursā, jo students mācās pielietot iegūtās teorētiskās zināšanas, risinot konkrētus praktiskus uzdevumus, kā arī iemācās strādāt ar tehnisko literatūru.

Metodiskajos norādījumos dots teorētiskais pamatojums uzdevumu risināšanai, kas saistīts ar dažādām elektrisko lielumu un koeficientu noteikšanas metodēm. Mācību materiāls sniedz priekšstatu par patērētāju noslodzi, to īpatnībām un ietekmi uz uzņēmuma elektroapgādi, elektroenerģijas zudumu īpatsvaru un to ekonomisko efektu, kā arī nostiprina zināšanas elektrotīkla un to elementu parametru izvēlē, kas ļauj saprast daudzus procesus energoapgādē. Tādējādi, racionāli izvēloties ražošanas uzņēmuma elektroapgādes sistēmas elementus, tiks nodrošināta pārdomāta un efektīva elektroenerģijas izmantošana uzņēmumā. Bez tam darbā aplūkoti iespējamo uzdevumu risinājumi, kas apraksta aprēķina metožu pielietojumu dažādu uzņēmumu elektroapgādes projektēšanā.

Lai pilnveidotu mācību procesu, studentiem jāprot veikt atbilstošus aprēķinus, pielietojot mūsdienu datorprogrammas, kā arī jāprot apkopot, analizēt, sagatavot un noformēt nepieciešamo informāciju.

# 1. Elektriskās slodzes

Elektroapgādes sistēmu elementus vispārīgā gadījumā izvēlas pēc diviem darba režīmiem – normālā un avārijas režīma.

Normālā režīmā slodzes lielumu nosaka patērētāji ar laikā mainīgo noslodzi (konstantas slodzes patērētājus varam uzlūkot tikai kā atsevišķu gadījumu). Līdz ar to rodas divi pamatjautājumi:

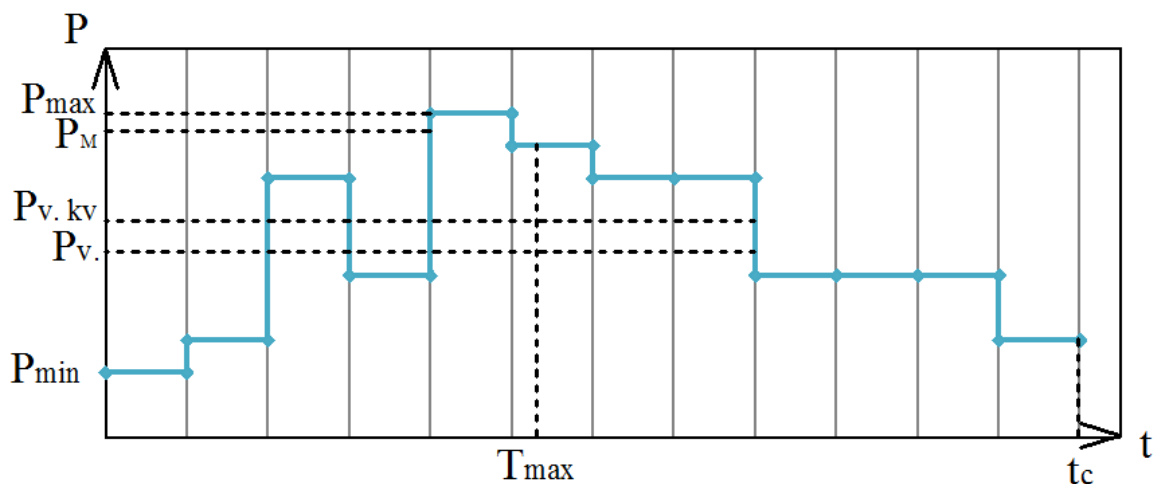
- 1) kā aprēķinos ievērot slodzes maiņu laikā;
- 2) kādas slodžu vērtības izmantot tīkla elementu aprēķinos.

Tāpēc jāaplūko metodes, ar kuru palīdzību var atrast atbildes uz abiem izvirzītajiem jautājumiem.

Zemāk tiks aplūkoti slodžu grafikus raksturojošie lielumi un koeficienti.

## 1.1. Raksturīgie lielumi

Raksturīgo lielumu noteikšanai izmantosim attēlā doto pakāpjveida grafiku.



Cikla laiks ( $t_c$ ) - var pieņemt jebkuras vērtības (parasti – maiņa, diennakts, gads).

1. *Aktīvā elektroenerģija*, ko izsaka grafika ierobežotais laukums [1]:

$$A_a = \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i . \quad (1.1)$$

Analogi no reaktīvās slodzes grafika var atrast reaktīvo elektroenerģiju  $A_r$ . Eksploatācijā patērēto elektroenerģiju nosaka pēc skaitītājiem, bet projektēšanā - pēc slodzes grafikiem.

2. Vidēji svērtais jaudas koeficients:

$$\cos \varphi_{v.sv} = \frac{A_a}{\sqrt{A_a^2 + A_r^2}}. \quad (1.2)$$

3. Vidējā slodze, ko nepārtraukti mainīgajam grafikam nosaka pēc sakarības:

$$P_V = \frac{\int_0^{t_c} p(t) dt}{t_c}, \quad (1.3)$$

bet pakāpjveida grafikam - patērētāju grupai:

$$P_V = \sum P_v = \frac{A_a}{t_c}. \quad (1.4)$$

Vidējo slodzi izmanto elektroenerģijas patēriņa aprēķiniem, bilances sastādīšanai. Praksē šiem aprēķiniem visbiežāk izmanto visvairāk noslogotās maiņas vidējo slodzi.

4. Vidējā kvadrātiskā slodze, ko nepārtraukti mainīgam grafikam nosaka pēc sakarības:

$$P_{v.kv.} = \sqrt{\frac{1}{t_c} \int_0^{t_c} p^2(t) dt}, \quad (1.5)$$

bet pakāpjveida grafikam:

$$P_{vid.kv.} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}}. \quad (1.6)$$

Vidējo kvadrātisko slodzi (strāvu) visbiežāk izmanto:

- 1) dažādu silšanas režīmu aprēķinos, jo izdalītais siltums ir proporcionāls strāvas kvadrātam;
- 2) formas koeficienta noteikšanai.

5. Maksimāla slodze.

Pēc maksimuma ilguma izšķir divas maksimālo slodžu grupas:

- Maksimālās ilgstošās slodzes, kuras nepieciešamas elektropagādes elementu izvēlei pēc silšanas, kā arī jaudas zudumu noteikšanai šajos elementos;
- Maksimālās īslaicīgās (pīķa) slodzes, kuras ilgst dažas sekundes.

6. Aplēses slodze.

Par aplēses slodzi sauc lielāko 30 minūšu ilgu vidējo slodzi. Tās ieņem izšķirošu vietu elektroapgādes tīklu aprēķinos, jo pēc tās pārbauda tīkla elementus uz silšanu.



Ja pakāpjveida grafika maksimums ilgst 30 minūtes un vairāk, tad aplēses slodze ( $P_M$ ) skaitliski vienāda ar grafika maksimālo slodzi ( $P_{max}$ ). Pārējos gadījumos aplēses slodzes noteikšanai izmanto speciālas metodes.

#### 7. Minimālā slodze.

Tā parasti iestājas naktī. Lielākajā daļā ekspluatācijas gadījumu minimālās slodzes laikā jāatslēdz daļa transformatoru un kompensējošo iekārtu. Elektroapgādes sistēmu aprēķinos  $P_{min}$  nav noteicošā.

#### 8. Slodzes maksimuma izmantošanas laiks.

Tas ir laiks, kurā patērētājs strādājot ar aplēses slodzi (lielāko pusstundu ilgo maksimālo slodzi) aplūkojamā cikla laikā patērētu tādu pašu enerģijas daudzumu kā strādājot ar reālo, grafikā attēloto mainīgo slodzi, un to var noteikt pēc šādas izteiksmes:

$$T_{max} = \frac{A_a}{P_{max}}. \quad (1.7)$$

Slodzes maksimuma izmantošanas laikam ir liela nozīme projektēšanā, jo dažādām ražošanas nozarēm un dažādām maiņu skaitam maksimuma izmantošanas laiks dots rokasgrāmatās [2]. Zinot  $P_M$ , var noteikt elektroenerģijas patēriņu attiecīgajā laika posmā. Izvēloties  $T_{max}$  no rokasgrāmatas, jāraugās, lai šis laiks nepārsniedz pilno grafika laiku  $t_c$ .

Reaktīvās slodzes maksimuma izmantošanas laiks arī atrodams rokasgrāmatās [2]. Tuvinātos aprēķinos var izmantot sakarību:

$$T_{max\ r} \approx (1,0-1,2)T_{max\ a}. \quad (1.8)$$

## 1.2. Raksturīgie koeficienti

Lai atvieglinātu augstākminēto slodzes grafikus raksturojošo lielumu noteikšanu, izmanto vairākus koeficientus, kuri izsaka dažādu šo lielumu attiecību un kas doti rokasgrāmatās. Bez tam šos koeficientus var izmantot gan individuāliem patērētājiem (parasti apzīmē ar mazo burtu "k"), gan patērētāju grupām (parasti apzīmē ar lielo burtu "K").

#### 1. Izmantošanas koeficients:

$$k_{izm} = \frac{P_V}{P_n}. \quad (1.9)$$

Fizikāli koeficients raksturo to, kāda uzstādītās jaudas daļa tiek izmantota.

#### 2. Ieslēgšanas koeficients.

Tas izsaka patērētāju darba laika attiecību pret pilno cikla laiku, kurā grafiks aplūkots. Individuālam patērētājam tas izsakās šādi:

$$k_{iesl.} = \frac{t_d}{t_c}, \quad (1.10)$$

bet patērētāju grupai pēc izteiksmes:

$$k_{iesl.} = \frac{\sum k_{iesl.} \cdot P_n}{\sum P_n}. \quad (1.11)$$

Šis koeficients atkarīgs no tehnoloģiskā procesa. Projektēšanā to var noteikt pēc tabulām [2], bet ekspluatācijā var precizēt eksperimentāli.

### 3. Noslodzes koeficients.

Tas izsaka vidējās jaudas attiecību, ko patērētājs izmanto ieslēgtā stāvoklī, pret tā nominālo jaudu:

$$k_{nosl.} = \frac{P_v \cdot t_c}{P_n \cdot t_{iesl.}} \text{ vai} \quad (1.12)$$

$$k_{nosl.} = \frac{P_{vid.iesl.}}{P_n}, \quad (1.13)$$

bet grupai:

$$k_{nosl.} = \frac{\sum k_{izm}}{\sum k_{iesl.}}, \quad (1.14)$$

### 4. Formas koeficients.

Tas raksturo grafika nevienmērību laikā, un to nosaka kā strāvas vai pilnās jaudas vidējās kvadrātiskās vērtības attiecību pret vidējo vērtību. Ja formas koeficientu attiecina uz aktīvo jaudu [3], tad tas izsakās kā:

$$k_{form.} = \frac{P_{vid.kv.}}{P_v}. \quad (1.15)$$

### 5. Maksimuma koeficients.

Tas izsaka aplēses slodzes (pusstundas maksimuma) attiecību pret attiecīgā cikla vidējo slodzi [4]:

$$k_{max} = \frac{P_{max}}{P_v}. \quad (1.16)$$

Aprēķinos doto koeficientu atrod tabulās vai pēc līknēm.

### 6. Pieprasījuma koeficients.

Tas izsaka aplēses slodzes attiecību pret attiecīgās patērētāju grupas nominālo slodzi:

$$k_p = \frac{P_{\max}}{P_n}. \quad (1.17)$$

Ja sadalīsim skaitītāju un saucēju ar  $P_v$ , iegūsim:

$$k_p = k_{\max} \cdot k_{izm}. \quad (1.18)$$

Fizikāli koeficients ņem vērā to, ka visi patērētāji nedarbojas vienlaicīgi, un to, ka šie patērētāji kopumā nav noslogoti ar nominālo slodzi. Koeficientam liela nozīme tuvinātos slodzes aprēķinos un to atrod rokasgrāmatās.

#### 7. Grafika aizpildījuma koeficients.

Tas izsaka vidējās slodzes attiecību dotā cikla laikā pret aplēses slodzi (pusstundas maksimumu). Grafika aizpildījuma koeficients, tāpat kā maksimuma koeficients, parasti attiecas uz patērētāju grupu un ir šī koeficienta atgrieztais lielums:

$$k_{gr.aizp.} = \frac{P_v}{P_{\max}} \text{ vai} \quad (1.19)$$

$$k_{gr.aizp.} = \frac{1}{k_{\max}}. \quad (1.20)$$

#### 8. Maksimuma nobīdes koeficients.

Tas izsaka sistēmas mezgla summārās aplēses slodzes attiecību pret atsevišķo šī mezgla patērētāju grupu aplēses slodžu summu:

$$k_{m.n.} = \frac{P_{m\Sigma}}{\sum P_m} \leq 1. \quad (1.21)$$

Fizikāli maksimuma nobīdes koeficients raksturo slodžu nobīdi laikā atsevišķām patērētāju grupām, kas izsauc summārās slodzes samazināšanos mezglu barojošajā pievadā.

## 2. Aplēses slodzes noteikšanas metodes

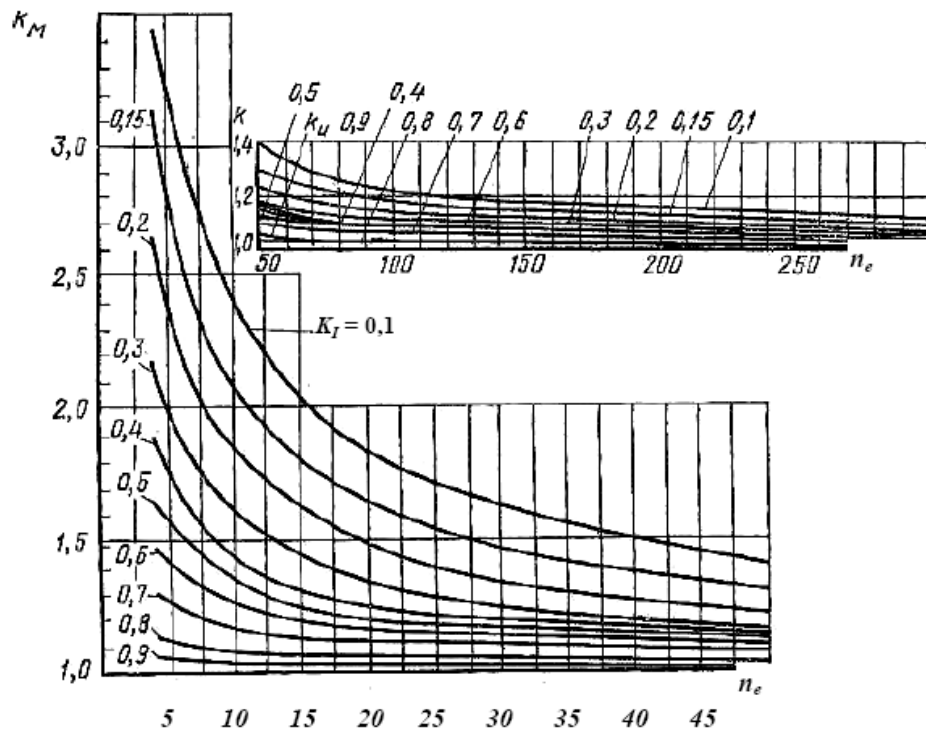
### 2.1. Sakārtoto diagrammu metode

Metode izstrādāta, izmantojot varbūtības teoriju un balstoties uz plašu statistisko materiālu. Tuvinātā veidā metode izsaka elektroenerģijas pieprasījumu atsevišķām patērētāju grupām atkarībā no to galvenajiem režīma rādītājiem un patērētāju skaita. Galvenā analītiskā sakarība iegūta, modelējot iespējamās slodžu grafikus, kas sakārtoti pēc ilguma. Pēc sakārtoto diagrammu metodes aplēses slodzi visām raksturīgajām elektrofīklu vietām nosaka ar maksimuma koeficienta  $K_{\max}$  un vidējās jaudas palīdzību:

$$P_M = k_{\max} \cdot P_V = k_{\max} \cdot k_{izm} \cdot P_n. \quad (2.1)$$

Izteiksmē (2.1) ieejošie lielumi:

- 1) *nominālā jauda*  $P_n$  ;
- 2) *maksimuma koeficients*  $k_{\max}$ , ko nosaka pēc līknēm kā funkciju no grupas izmantošanas koeficienta  $K_{izm}$  un efektīvā patērētāju skaita  $n_e$  , redzams attēlā [5].



- 3) *izmantošanas koeficientu*  $k_{izm}$  atsevišķām patērētāju grupām, kurās ieiet pēc režīma vienādi patērētāji, atrod rokasgrāmatās. Kopīgo izmantošanas koeficientu visam slodzes mezglam atrod no summārās vidējās un summārās nominālās slodzes attiecības šim mezglam;

4) *efektīvo patērētāju skaitu* nosaka pēc zemāk aplūkotajām metodēm atkarībā no faktiskā elektropatērētāju skaita un nepieciešamās aprēķinu precizitātes.

### 2.1.1. Efektīvo patērētāju skaits un to noteikšanas metodes

Par dažādas jaudas un dažāda režīma elektropatērētāju grupas efektīvo skaitu sauc tādu vienādas jaudas un vienāda režīma patērētāju skaitu, kas dod to pašu aplēses slodzi, ko reālā nevienādās jaudas un režīma patērētāju grupa.

Precīzi efektīvo patērētāju skaitu var noteikt pēc izteiksmes:

$$n_e = \frac{\left( \sum_{i=1}^{i=n} P_{ni} \right)^2}{\sum_{i=1}^{i=n} P_{ni}^2}. \quad (2.2)$$

Taču praktiskos aprēķinos precīzo metodi rekomendē lietot (piemēram, [6]), ja patērētāju skaits  $n \leq 5$  un  $n_e$  nevar pieņemt vienādu ar  $n$ .

Atsevišķi jāaplūko vairāki gadījumi, kad efektīvo patērētāju skaita aprēķinu var vienkāršot.

I. Gadījumi, kad drīkst pieņemt  $n_e = n$ :

- a) ja visu patērētāju jaudas vienādas;
- b) ja izmantošanas koeficients  $k_{izm} \geq 0.8$ ;
- c) ja  $n \geq 4$  un izpildās nosacījums:

$$m = \frac{P_{n \max}}{P_{n \min}} \leq 3, \quad (2.3)$$

kur  $P_{n \max}$  — grupas vislielākā patērētāja jauda,

$P_{n \min}$  — grupas vismazākā patērētāja jauda. Nosakot vismazāko patērētāju grupā, jāizslēdz sīkie elektropatērētāji, kuru summārā jauda nepārsniedz 5% no visas patērētāju grupas jaudas.

II. Gadījumi, kad iepriekšējie nosacījumi neizpildās un faktiskais patērētāju skaits  $n > 5$ , rekomendē  $n_e$  noteikt pēc sekojošas vienkāršotas metodes:

a) aprēķina divus palīgliešumus:

$$P_* = \frac{P_{n\Sigma}}{P_n \Sigma}; \quad n_* = \frac{n_1}{n}, \quad (2.4)$$

kur  $n$  — kopīgais patērētāju skaits grupā;

$P_{n\Sigma}$  – visas grupas patērētāju summārā nominālā jauda;

$n_1$  – to patērētāju skaits grupā, kuru nominālā jauda ir vienāda vai lielāka par pusi no lielākā grupas patērētāja jaudas;

$P_{n1\Sigma} - n_1$  patērētāju summārā nominālā jauda.

b) aprēķina pēc tabulām [7] vai līknēm atrod relatīvo efektīvo patērētāju skaitu:

$$n_{e*} = \frac{n_e}{n}, \quad (2.5)$$

no kurienes savukārt nosaka meklēto efektīvo patērētāju skaitu  $n_e$  :

$$n_e = n_{e*} \cdot n. \quad (2.6)$$

III. Vienfāzes patērētājiem atļauts  $n_e$  noteikt pēc sekojošas vienkāršotas izteiksmes:

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^{i=n} P_{ni}}{3 \cdot P_{n \max}}, \quad (2.7)$$

kur  $\Sigma P_{ni}$  – mezglam pieslēgto vienfāzīgo patērētāju jaudu summa;

$\Sigma P_{n \max}$  – lielākā vienfāžu patērētāju jauda.

### 2.1.2. Aplēses slodzes noteikšanas īpatnības, kad $n > 3$ , bet $n_e < 4$

Šajā gadījumā 2.1. att. dotās līknes maksimuma koeficienta  $K_{\max}$  noteikšanai nav izmantojamas, jo tās interpolētas tikai līdz  $n_e = 4$ . Tāpēc pie minētajiem nosacījumiem atsevišķai patērētāju grupai aplēses slodzi var noteikt pēc izteiksmes:

$$P_M = \sum k_{nosl} \cdot P_n, \quad (2.8)$$

kur  $k_{nosl}$  — atsevišķu patērētāju noslodzes koeficients.

Ja aktīvā aplēses slodze noteikta pēc (2.8) izteiksmes, tad arī reaktīvā slodze jānosaka pēc analogas izteiksmes:

$$Q_M = \sum k_{nosl} \cdot Q_n = \sum k_{nosl} \cdot P_n \cdot tg \varphi_n. \quad (2.9)$$

Jāpiezīmē, ka tad, ja  $n \leq 3$ , aplēses slodzi nosaka kā nominālo slodžu summu.

### 2.1.3. Reaktīvās slodzes noteikšana pēc sakārtoto diagrammu metodes

I. Reaktīvās slodzes nosaka sekojoši:

a) atrod vidējo reaktīvo slodzi

$$Q_V = P_V \cdot tg \varphi_{v. sv}. \quad (2.10)$$

kur  $t_{\varphi v. sv}$  – atrod no  $\cos \varphi_{v. sv}$  attiecīgajai viendabīgajai patērētāju grupai, kas savukārt dots rokasgrāmatās;

b) atkarībā no efektīvā patērētāju skaita nosaka reaktīvās slodzes aplēses vērtību:

- ja  $n_e \leq 10$ , tad  $Q_M = 1.1 \cdot Q_V$ ; (2.11)
- ja  $n_e > 10$ , tad  $Q_M = Q_V$ .

Ja runa ir par slodzes mezglu, izteiksme (2.11) paliek spēkā, tikai  $Q_V$  vietā jāņem visu mezglam pieslēgto reaktīvo slodžu summa.

II. Reaktīvo slodzi var noteikt, izmantojot aktīvās slodzes maksimuma koeficientu:

$$Q_M = k_{\max} \cdot Q_V. \quad (2.12)$$

Lai apgūtu aplēses slodzes noteikšanu pēc sakārtoto diagrammu metodes, zemāk tiks apskatīti divi raksturīgākie piemēri:

- 1) aplēses slodzes noteikšana pēc sakārtoto diagrammu metodes vienkāršotos gadījumos;
- 2) aplēses slodzes noteikšana pēc sakārtoto diagrammu metodes, ņemot vērā reaktīvās jaudas kompensācijas iekārtu.

## 2.2. Pieprasījuma koeficienta metode

Parasti doto metodi izmanto elektrostaciju un apakšstaciju slodžu aprēķinos. Šī metode pieskaitāma tuvinātām aplēses slodzes noteikšanas metodēm un to rekomendē lietot projektēšanas sākuma stadijās.

Aplēses slodzi pēc režīma viendabīgai patērētāju grupai nosaka, izmantojot šādas sakarības:

$$P_M = k_p \cdot P_n, \quad Q_M = P_M \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (2.13)$$

kur  $P_n$  – patērētāju grupas nominālā jauda;

$k_p$  – attiecīgai patērētāju grupai raksturīgais pieprasījuma koeficients (no rokasgrāmatām);

$\operatorname{tg} \varphi$  – koeficients, kuru atrod no attiecīgajai patērētāju grupai raksturīgā vidēji svērtā jaudas koeficienta.

Aplēses slodzi elektroapgādes sistēmas mezglam (ceham, korpusam, uzņēmumam) nosaka, summējot atsevišķu viendabīgu patērētāju grupu aplēses slodzes un ievērojot maksimumu nobīdes koeficientu  $K_{m.n.}$ :

$$S_M = k_{m.n.} \sqrt{(\sum P_M)^2 + (\sum Q_M)^2}, \quad (2.14)$$

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_M}. \quad (2.15)$$

### 3. Pīķa (smaistrāvas) slodzes aprēķins

Pīķa slodze ir maksimāla 1-2 s ilga slodze. No šīs slodzes aprēķina pīķa strāvu, ko izmanto releju aizsardzības iestādījumu izvēlei, dzinēju palaišanas nosacījumi aprēķinam, sprieguma svārstību noteikšanai.

Pīķa strāvu aprēķina pēc izteiksmes:

$$I_{pik} = i_{pik \max} + (I_M - k_{izm.} \cdot i_{n \max}), \quad (3.1)$$

kur  $i_{pik \max}$  – dotās grupas atsevišķa patērētāju vislielākā pīķa strāva pēc pases datiem;

$i_{n \max}$  – tā patērētāja nominālā strāva, kurai ir vislielākā pīķa strāva;

$k_{izm}$  – tā patērētāja raksturīgais izmantošanas koeficients, kuram ir vislielākā pīķa strāva;

$I_M$  – patērētāju grupas aplēses strāva.

Par atsevišķa patērētāja lielāko pīķa strāvu pieņem:

1) dzinējiem – palaišanas strāvu. Ja trūkst kataloga datu, var pieņemt sekojošas tuvinātas vērtības:

a) asinhronajiem dzinējiem ar ieslēgtu rotoru un sinhronajiem dzinējiem  $I_{pal} = 5 \cdot I_N$  ;

b) asinhronajiem dzinējiem ar fāžu rotoru un līdzstrāvas dzinējiem  $I_{pal} = 2.5 \cdot I_N$  .

Ja vairāki dzinēji var ieslēgties vienlaicīgi, tad lielākā dzinēja pīķa strāvas vietā jāņem visas šīs grupas palaišanas strāvu summa:

$$i_{pik \max} = \sum I_{pal.} . \quad (3.2)$$

2) metināšanas un krāšņu transformatoriem  $k_{pal} \geq 3$ , tad  $I_{pal} \geq 3 \cdot I_N$  .



## 4. Elektroenerģijas zudumu noteikšana elektropārvades līnijās

Praksē jaudas zudumu noteikšanā izmanto gan aptuvenas, gan precīzas metodes.

Aptuvenās metodes:

- 1) kopīgo zudumu noteikšana no transformatoru nominālās jaudas [8];
- 2) aktīvās jaudas zudumu noteikšana no slodzes maksimuma [8]

(šajā uzdevumā netiks apskatīti).

Aktīvās jaudas zudumus līnijā aprēķina pēc šādas izteiksmes [9]:

$$P_L = \frac{P_m^2 + Q_m^2}{U_n^2} \cdot R_L, \quad (4.1)$$

kur  $P_m$  – maksimālā aktīvā jauda, kW;

$Q_m$  – maksimālā reaktīvā jauda, kVAr;

$U_N$  – līnijas spriegums, kV;

$R_L$  – līnijas aktīvā pretestība,  $\Omega$ .

Reaktīvās jaudas zudumus līnijā aprēķina pēc šādas izteiksmes [9]:

$$Q_L = \frac{P_m^2 + Q_m^2}{U_n^2} \cdot X_L, \quad (4.2)$$

kur  $X_L$  - līnijas induktīvā pretestība,  $\Omega$ .

Līnijas aktīvo pretestību aprēķina pēc formulas [10]:

$$R_L = \rho_0 \cdot L, \quad (4.3)$$

kur  $\rho_0$  – līnijas vadu īpatnējā aktīvā pretestība,  $\Omega/\text{km}$ ;

$L$  - līnijas garums, km.

Līnijas induktīvo pretestību aprēķina pēc formulas [10]:

$$X_L = x_0 \cdot L, \quad (4.4)$$

kur  $x_0$  – līnijas īpatnējā induktīvā pretestība,  $\Omega/\text{km}$ .

Līnijas vadu īpatnējo aktīvo un induktīvo pretestību vērtības var atrast literatūrā vai rokasgrāmatu tabulās.

Izskatīsim precīzo zudumu noteikšanu elektropārvades līnijās.

Elektropārvades līnijas zudumu noteikšanai parasti izmanto gada ilguma grafikus, no kuriem viegli varam konstruēt strāvas kvadrāta ilguma grafiku. Aktīvās enerģijas zudumus

$$\Delta A_a = 3 \cdot R \int_0^{T_g} i^2 dt \quad (4.5)$$

izsaka grafika laukums. Ja šo laukumu aizstāj ar vienlielu taisnstūri, tad enerģijas zudumus līnijā var izteikt ar sekojošu, praktiskos aprēķinos plaši izmantojamu izteiksmi:

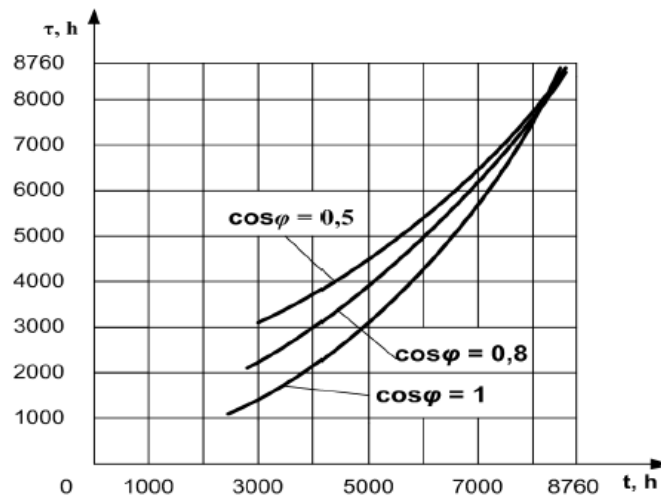
$$\Delta A_a = 3 \cdot R_l \cdot I_M^2 \cdot \tau, \quad (4.6)$$

kur  $R_L$  – attiecīgās līnijas aktīvā pretestība;

$I_M$  – aplēses strāva (30 minūšu maksimums gada grafikā);

$\tau$  – zudumu laiks, tāds laiks, kurā aplēses strāva, plūstot pa līniju, izraisītu tos pašus enerģijas zudumus, ko reālā mainīgā strāva laikā  $T_g = 8760$  st.

Zudumu laiku var atrast, ja zināms slodzes grafiks. Ja slodzes grafiks nav zināms, uzdevumā jāuzdod maksimuma izmantošanas laiks  $T$  un vidējais jaudas koeficients  $\cos\varphi$ . No līknēm  $\tau = f(T_{\max})$ , kas atspoguļoti attēlā [9], atrod zudumu laiku  $\tau$  ( $T$  – maksimālās slodzes izmantošanas laiks gadā, h).  $T$  ir atkarīgs no slodzes rakstura un maiņu skaita.



## 5. Uzdevumi

### 5.1. Raksturīgo elektrisko lielumu un koeficientu noteikšana pēc slodzes grafika (1. uzdevums)

**Dots:** patērētāju slodzes standarta grafiks (dati blakus tabulā relatīvās vienībās), summārā uzstādītā (nominālā) jauda ir X kW, maksimālā jauda ir Y kW. Dažādos variantos atšķirīgās jaudas vērtības dotas apakšējā tabulā.

**Noteikt:** aktīvās elektroenerģijas patēriņu, vidējo jaudu, vidējo jaudu ieslēgšanas laikā, aplēses slodzi, vidējo kvadrātisko slodzi, slodzes maksimuma izmantošanas laiku, izmantošanas koeficientu, ieslēgšanas koeficientu, noslodzes koeficientu, formas koeficientu, maksimuma koeficientu, pieprasījuma koeficientu, grafika aizpildījuma koeficientu.

Stundas, h	Jauda, r.v.
0-2	0,1
2-4	0,4
4-6	0,6
6-8	0,8
8-10	0,5
10-12	0,5
12-14	0,6
14-16	0,7
16-18	1,0
18-20	0,8
20-22	0,8
22-24	0,7

Varianta Nr.	Nominālā jauda X, kW	Maksimālā jauda Y, kW	Jauda, r. v.
000.	150	130	2-4 h→ 0,2; 4-6 h→ 0,3
001	145	130	4-6 h→ 0,4; 6-8 h→ 0,9
002.	155	135	4-6 h→ 0,5; 6-8 h→ 0,7
003.	160	140	6-8 h→ 0,6; 8-10 h→ 0,3
004.	165	145	8-10 h→ 0,4; 10-12 h→ 0,1
005.	170	150	10-12 h→ 0,5; 12-14 h→ 0,3
006.	175	155	12-14 h→ 0,4; 14-16 h→ 0,5
007.	180	160	14-16 h→ 0,3; 16-18 h→ 0,8
008.	185	165	16-18 h→ 0,9; 18-20 h→ 0,7
009.	190	170	18-20 h→ 0,9; 20-22 h→ 0,6
000.	195	175	20-22 h→ 0,7; 22-24 h→ 0,5
010.	200	180	2-4 h→ 0,3; 4-6 h→ 0,4
020.	205	185	4-6 h→ 0,4; 6-8 h→ 0,9
030.	210	190	6-8 h→ 0,7; 8-10 h→ 0,8
040.	215	200	8-10 h→ 0,7; 10-12 h→ 0,4
050.	220	205	10-12 h→ 0,3; 12-14 h→ 0,5
060.	225	210	12-14 h→ 0,7; 14-16 h→ 0,4
070.	230	215	14-16 h→ 0,6; 16-18 h→ 0,7
080.	235	220	16-18 h→ 0,5; 18-20 h→ 0,6
090.	240	225	18-20 h→ 0,8; 20-22 h→ 0,5
000.	245	230	20-22 h→ 0,5; 22-24 h→ 0,6
100.	250	235	2-4 h→ 0,5; 4-6 h→ 0,2
200.	255	240	4-6 h→ 0,5; 6-8 h→ 0,5

300.	260	245	6-8 h→ 0,8; 8-10 h→ 0,6
400.	265	250	8-10 h→ 0,4; 10-12 h→ 0,2
500.	270	255	10-12 h→ 0,7; 12-14 h→ 0,8
600.	275	260	12-14 h→ 0,3; 14-16 h→ 0,8
700.	280	265	14-16 h→ 0,4; 16-18 h→ 0,9
800.	285	270	16-18 h→ 1,0; 18-20 h→ 0,7
900.	290	275	18-20 h→ 0,5; 20-22 h→ 0,8

## 5.2. Aplēses slodzes noteikšana pēc vienkāršotas sakārtoto diagrammu metodes (2. uzdevums)

*Dots:* no 380 V tīkla barojas trīs vienādi tilta celtņi, katram no šiem celtņiem ir 4 dažādi dzinēji:

1. 50 kW 50%;
2. 15 kW 45%;
3. 55 kW 30%;
4. 10 kW 20%.

Visos gadījumos: izmantošanas koeficients  $k_{izm}=0,3$ ; kopīgais jaudas koeficients dots tabulā  $\cos\varphi=Z$ .

*Noteikt:* aplēses strāvu, aplēses pilno slodzi, ko rada trīs celtņi.

Varianta Nr.	Variantā atšķirīgās dzinēja jaudas, kW	Atšķirīgie dzinēju operāciju periodi (OP), %	Jaudas koeficienti, $\cos\varphi$ Z
000.	1. – 35	1. – 45	0.7
001	2. – 28	1. – 55	0.5
002.	3. – 70	4. – 25	0.6
003.	4. – 30	2. – 45	0.5
004.	1. – 28	2. – 55	0.55
005.	2. – 30	3. – 15	0.65
006.	3. – 75	4. – 15	0.8
007.	1. – 100	2. – 25	0.85
008.	2. – 45	1. – 15	0.9
009.	3. – 120	4. – 50	0.5
000.	4. – 25	2. – 15	0.7
010.	1. – 150	1. – 35	0.8
020.	2. – 20	2. – 25	0.65
030.	3. – 70	3. – 60	0.55
040.	4. – 15	4. – 45	0.9
050.	2. – 30	3. – 15	0.4
060.	1. – 55	1. – 55	0.45
070.	2. – 20	2. – 50	0.5
080.	3. – 60	3. – 35	0.6
090.	4. – 15	4. – 25	0.7
000.	1. – 80	1. – 45	0.75
100.	2. – 30	2. – 50	0.5
200.	3. – 95	3. – 55	0.9
300.	4. – 28	4. – 20	0.55
400.	1. – 150	1. – 15	0.45
500.	2. – 45	2. – 35	0.85
600.	3. – 125	3. – 50	0.7
700.	4. – 18	4. – 15	0.65
800.	1. – 105	1. – 45	0.8
900.	2. – 35	4. – 55	0.85

### 5.3. Aplēses slodzes noteikšana pēc sakārtoto diagrammu metodes, ņemot vērā reaktīvās jaudas kompensācijas iekārtu (3. uzdevums)

**Dots:** no 380 V tīkla barojas trīs patērētāju grupas:

I. Grupā - metālgriešanas darbgaldi ( $k_{izm}=0.2$ ;  $\cos\varphi=0.5$ )

$$2 \cdot 8 \text{ kW} + 3 \cdot 10 \text{ kW} + 5 \cdot 14 \text{ kW}.$$

II. Grupā - ventilatori un sūkņi ( $k_{izm}=0.7$ ;  $\cos\varphi=0.85$ )

$$5 \cdot 10 \text{ kW} + 7 \cdot 14 \text{ kW} + 8 \cdot 28 \text{ kW}.$$

III. Grupā - transportieri  $4 \cdot 8 \text{ kW}$  ( $k_{izm}=0.4$ ;  $\cos\varphi=0.8$ ).

Kompensācijas iekārtas reaktīvā slodze ir vienāda ar X kVAr.

**Noteikt:** aplēses aktīvo slodzi, aplēses reaktīvo slodzi, aplēses pilno slodzi, aplēses strāvu.

Varianta Nr.	Patērētāju skaits grupās	Kompensācijas iekārtas reaktīvā slodze, kVAr, X	Jaudas koeficients grupās, $\cos\varphi$
000.	I. gr. - (2+5+5)	200	I - 0.7
001	II. gr. - (5+7+6)	205	II - 0.5
002.	III. gr. - (3)	210	III - 0.6
003.	I. gr. - (2+4+5)	215	I - 0.5
004.	II. gr. - (6+6+6)	220	II - 0.6
005.	III. gr. - (4)	185	III - 0.65
006.	I. gr. - (2+6+5)	190	I - 0.8
007.	II. gr. - (5+8+6)	195	II - 0.85
008.	III. gr. - (5)	200	III - 0.9
009.	I. gr. - (2+5+7)	205	I - 0.55
000.	II. gr. - 4+8+6)	210	II - 0.7
010.	III. gr. - (6)	215	III - 0.8
020.	I. gr. - (3+5+5)	220	I - 0.65
030.	II. gr. - (8+8+6)	185	II - 0.55
040.	III. gr. - (3)	190	III - 0.93
050.	I. gr. - (2+3+5)	195	I - 0.4
060.	II. gr. - (7+8+6)	200	II - 0.45
070.	III. gr. - (4)	205	III - 0.5
080.	I. gr. - (2+6+5)	210	I - 0.6
090.	II. gr. - (6+7+7)	215	II - 0.75
000.	III. gr. - (5)	220	III - 0.75
100.	I. gr. - (2+7+5)	185	I - 0.9
200.	II. gr. - (6+8+6)	190	II - 0.9
300.	III. gr. - (8)	195	III - 0.55
400.	I. gr. - (3+5+5)	200	I - 0.45
500.	II. gr. - (4+8+6)	205	II - 0.85
600.	III. gr. - (9)	210	III - 0.7
700.	I. gr. - (2+4+4)	215	I - 0.65
800.	II. gr. - 3+10+6)	220	II - 0.93
900.	III. gr. -(7)	190	III - 0.85

## 5.4. Aplēses slodzes noteikšana pēc pieprasījuma koeficienta metodes

### (4. uzdevums)

**Dots:** 380/220 V līnija baro darbnīcu, kurā uzstādīti dzinēji ar summāro nominālo jaudu Y kW. Apgaismes slodzes summārā nominālā jauda X kW, apgaismes pieprasījuma koeficients 0,85, spēka slodzei pieprasījuma koeficients 0,5, jaudas koeficients  $\cos\varphi$  uzdots tabulā kā Z. Slodžu maksimumu nobīdes koeficients pieņemts 1.

**Noteikt:** aplēses strāvu.

Varianta Nr.	Apgaismes slodze, kW X	Summārā spēka slodze, kW Y	Vidējais jaudas koeficients, $\cos\varphi$ Z
000.	26	85	0.75
001	27	90	0.5
002.	28	95	0.6
003.	29	100	0.55
004.	30	105	0.65
005.	31	110	0.75
006.	32	115	0.8
007.	33	120	0.85
008.	34	125	0.9
009.	35	130	0.5
000.	36	135	0.75
010.	37	140	0.8
020.	38	145	0.65
030.	39	150	0.6
040.	40	155	0.9
050.	41	160	0.4
060.	42	165	0.5
070.	43	170	0.55
080.	44	165	0.65
090.	45	155	0.7
000.	46	145	0.8
100.	47	135	0.75
200.	48	125	0.9
300.	49	115	0.55
400.	50	105	0.45
500.	25	95	0.85
600.	26	85	0.75
700.	27	100	0.6
800.	28	120	0.8
900.	29	130	0.85

## 5.5. Elektroenerģijas zudumu noteikšana gaisvadu līnijā (5. uzdevums)

**Dots:** slodzes grafiks jāiegūst no pirmā uzdevuma diennakts grafika, reizinot pakāpes ar 365.

Vada marka X, gaisvadu līnijas garums Y km un jaudas koeficients  $\cos\phi$  (tabulā Z) uzdoti tabulā. Spriegums - 10 kV.

Tēraudalumīnija vada marka	16	25	35	59	70
Tēraudalumīnija vada pretestība, $\Omega/\text{km}$	1.772	1.146	0.773	0.592	0.42

**Noteikt:** aplēses jaudu, elektroenerģijas patēriņu gadā, enerģijas zudumus, maksimuma izmantošanas laiku, zudumu laiku.

Varianta Nr.	Gaisvadu līnijas garums, km Y	Vada marka X	Jaudas koeficients, $\cos\phi$ Z
000.	15	AS-50	0.7
001	18	AS-50	0.5
002.	21	AS-35	0.65
003.	24	AS-35	0.5
004.	27	AS-35	0.7
005.	30	AS-25	0.65
006.	33	AS-25	0.8
007.	35	AS-50	0.85
008.	12	AS-25	0.9
009.	15	AS-25	0.5
000.	19	AS-16	0.75
010.	23	AS-16	0.85
020.	27	AS-16	0.6
030.	31	AS-35	0.5
040.	35	AS-70	0.9
050.	38	AS-70	0.45
060.	10	AS-35	0.5
070.	15	AS-35	0.5
080.	20	AS-50	0.6
090.	25	AS-50	0.7
000.	30	AS-50	0.8
100.	35	AS-50	0.5
200.	40	AS-70	0.9
300.	36	AS-70	0.6
400.	37	AS-70	0.45
500.	38	AS-50	0.65
600.	39	AS-25	0.7
700.	20	AS-25	0.85
800.	25	AS-35	0.85
900.	20	AS-35	0.75



## 5.6. Pīķstrāvas (smaļstrāvas) noteikšana (6. uzdevums)

**Dots:** piectonnīgam celtnim ir 3 dzinēji:

1. 11 kW;
2. 3,3 kW;
3. 8 kW.

Lielākās jaudas dzinēja nominālā strāva  $I_n = X$  A, palaišanas strāva  $I_{pal.} = Y$  A, visiem dzinējiem  $OP = 25\%$ .

Darba spriegums ir 380 V.

**Noteikt:** piectonnīga celtņa radīto pīķstrāvu.

Varianta Nr.	Dzinēja jauda, kW	Nominālā strāva, A	
		X	Y
000.	1. – 15	22	44
001	2. – 37	22	66
002.	3. – 13	22	88
003.	1. – 18	22	110
004.	2. – 39	25	50
005.	3. – 15	25	75
006.	1. – 22	25	100
007.	2. – 43	25	125
008.	3. – 18	22	44
009.	1. – 25	22	66
000.	2. – 45	22	88
010.	3. – 20	22	110
020.	1. – 28	25	50
030.	2. – 50	25	75
040.	3. – 23	25	100
050.	1. – 30	25	125
060.	2. – 55	22	44
070.	3. – 25	22	66
080.	1. – 32	22	88
090.	2. – 58	22	110
000.	3. – 30	25	50
100.	1. – 13	25	75
200.	2. – 60	25	100
300.	3. – 31	25	125
400.	1. – 17	22	44
500.	2. – 65	22	66
600.	3. – 27	22	88
700.	1. – 19	22	110
800.	2. – 68	25	50
900.	3. – 22	25	75

## 6. Uzdevumu atrisinājuma piemēri

### 6.1. Raksturīgo elektrisko lielumu un koeficientu noteikšana pēc slodzes grafika (1. uzdevums)

Lai vieglāk varētu apgūt 1. nodaļas teorētisko pamatojumu, zemāk tiks apskatīts atbilstošs piemērs.

**Uzdevumā dots** patērētāju slodzes standarta grafiks, summārā uzstādītā jauda ir 150 kW, maksimālā jauda ir 130 kW.

**Jānosaka:** aktīvās elektroenerģijas patēriņu, vidējo jaudu, vidējo jaudu ieslēgšanas laikā, aplēses slodzi, vidējo kvadrātisko slodzi, slodzes maksimuma izmantošanas laiku, izmantošanas koeficientu, ieslēgšanas koeficientu, noslodzes koeficientu, formas koeficientu, maksimuma koeficientu, pieprasījuma koeficientu, grafika aizpildījuma koeficientu.

Stundas h	Strāva r.v.
0 – 2	0
2 – 4	0,3
4 – 6	0,5
6 – 8	0,9
8 – 10	0,5
10 – 12	0,5
12 – 14	0,5
14 – 16	0,8
16 – 18	1,0
18 – 20	0,7
20 – 22	0,7
22 – 24	0,7

*Atrisinājums.*

$$P_{\max} = 130 \text{ kW}$$

$$t_d = 22 \text{ h}$$

$$t_c = 24 \text{ h}$$

$$P_n = 150 \text{ kW}$$

$$t_{(h)t} = 2 \text{ h}$$

1. *Aktīvās elektroenerģijas patēriņš:*

$$\begin{aligned} A_a &= \left( \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i \right) \cdot P_{\max} = \\ &= (0 \cdot 2 + 0,3 \cdot 2 + 0,5 \cdot 2 + 0,9 \cdot 2 + 3 \cdot 0,5 \cdot 2 + 0,8 \cdot 2 + 1 \cdot 2 + 3 \cdot 0,7 \cdot 2) \cdot 130 = \\ &= 1846 \text{ kWh} \end{aligned}$$

2. *Vidējā jauda:*

$$P_v = \frac{A_a}{t_c} = \frac{1846}{24} = 76,92 \text{ kW}$$

3. *Vidējā jauda ieslēgšanas laikā:*

$$P_{\text{vid.iesl.}} = \frac{A_a}{t_d} = \frac{1846}{22} = 83,91 \text{ kW}$$

4. *Aplēses slodze:*

$$P_m = P_{\max} = 130 \text{ kW}$$

5. *Slodzes maksimuma izmantošanas laiks:*

$$T_{\max} = \frac{A_a}{P_{\max}} = \frac{1846}{130} = 14,2 \text{ h}$$

6. *Vidējā kvadrātiskā slodze:*

$$P_{\text{vid.kv.}} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n P_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \right)^{0,5} \cdot P_{\max} = 84,0 \text{ kW}$$

7. *Izmantošanas koeficients:*

$$k_{izm} = \frac{P_V}{P_n} = \frac{76,92}{150} = 0,51$$

8. *Ieslēgšanas koeficients:*

$$k_{iesl.} = \frac{t_d}{t_c} = \frac{22}{24} = 0,92$$

9. *Noslodzes koeficients:*

$$k_{nosl.} = \frac{P_V \cdot t_c}{P_n \cdot t_d} = \frac{76,92 \cdot 24}{150 \cdot 22} = 0,56$$

10. *Formas koeficients:*

$$k_{form.} = \frac{P_{\text{vid.kv.}}}{P_V} = \frac{84,0}{76,92} = 1,09$$

11. *Maksimuma koeficients:*

$$k_{\max} = \frac{P_{\max}}{P_V} = \frac{130}{76,92} = 1,69$$

12. *Pieprasījuma koeficients:*

$$k_p = k_{\max} \cdot k_{izm} = 1,69 \cdot 0,51 = 0,86$$

13. *Grafika aizpildījuma koeficients:*

$$k_{gr.aizp.} = \frac{1}{k_{\max}} = \frac{1}{1,69} = 0,59$$

## 6.2. Aplēses slodzes noteikšana pēc vienkāršotās sakārtoto diagrammu metodes (2. uzdevums)

**Dots:** no 380 V tīkla barojas divi vienādi tilta celtņi, katram no šiem celtņiem ir 4 dažādi dzinēji ar savu operācijas periodu (OP):

1. 60 kW ar OP=60%;
2. 20 kW ar OP=45%;
3. 50 kW ar OP=30%;
4. 8 kW ar OP=25%.

Visos gadījumos: izmantošanas koeficients  $k_{izm}=0,3$ ; kopīgais jaudas koeficients  $\cos\varphi=0,8$ .

**Jānosaka:** aplēses strāvu un aplēses pilno slodzi, ko rada divi celtņi.

*Atrisinājums.*

1. Kopējā celtņu dzinēju nominālā jauda ilgstošā režīmā:

$$P_N = 2 \sum_{i=1}^n P_{Ni} \sqrt{OP_i} = 2 \cdot (60 \cdot \sqrt{0,6} + 20 \cdot \sqrt{0,45} + 50 \cdot \sqrt{0,3} + 8 \cdot \sqrt{0,25}) = 182,6 \text{ kW} .$$

2. Kopējā vidējā aktīvā slodze ilgstošā režīmā:

$$P_V = \sum_{i=1}^n P_{Vi} = \sum_{i=1}^n P_{Ni} \sqrt{OP_i} \cdot k_{izm} = 182,6 \cdot 0,3 = 54,78 \text{ kW} .$$

3. Kopējā vidējā reaktīvā slodze ilgstošā režīmā:

$$Q_V = \sum_{i=1}^n Q_{Vi} = \sum_{i=1}^n P_{Vi} \cdot \operatorname{tg}\gamma_i = 54,78 \cdot 0,75 = 41,09 \text{ kVar} .$$

4. Efektīvo patērētāju skaitu nosaka pēc izteiksmes (2.2):

$$n_e = \frac{\left( \sum_{i=1}^{i=n} P_{ni} \right)^2}{\sum_{i=1}^{i=n} P_{ni}^2} = \frac{\left( \sum_{i=1}^{i=n} P_{ni} \sqrt{OP_i} \right)^2}{\sum_{i=1}^{i=n} \left( P_{Ni} \sqrt{OP_i} \right)^2} = \frac{(182,6 \cdot 10^3)^2}{2 \cdot \left( (46,48 \cdot 10^3)^2 + (13,42 \cdot 10^3)^2 + (27,39 \cdot 10^3)^2 + (4 \cdot 10^3)^2 \right)} = 5,36 .$$

5. Nosakām maksimālo aktīvo slodzi:

$$P_{N \max} = 46,48 \text{ kW} .$$

Puse no maksimālās aktīvās slodzes:

$$P_{N \max} \cdot 0,5 = 23,24 \text{ kW} .$$

6. Aprēķinām divus palīglieļumus pēc izteiksmes (2.4), tad:

$$n_* = \frac{n_1}{n} = \frac{2 \cdot 2}{8} = 0,5; \quad P_* = \frac{P_{n1}}{P_N} = \frac{147,74}{182,6} = 0,81 .$$

7. Zinot  $n_*$  un  $P_*$ , var noteikt pēc tabulām vai līknēm *relatīvo efektīvo patērētāju skaitu*  $n_{e*}$ , savukārt pēc izteiksmes (2.6) var aprēķināt meklēto efektīvo patērētāju skaitu  $n_e$ :

$$n_e = n_{e*} \cdot n = 0,69 \cdot 8 = 5,52.$$

8. Pēc atbilstošām tabulām vai līknēm (skat. 2.1. att.) nosaka *maksimuma koeficienta* vērtību kā funkciju no izmantošanas koeficienta ( $k_{izm}$ ) un efektīvā patērētāju skaita ( $n_e$ ), tad  $k_{max}$  ir vienāds ar 1,9.

9. Aprēķinām *aktīvās slodzes aplēses vērtību*:

$$P_M = k_{max} \cdot P_V = 1,9 \cdot 54,78 = 104,08 \text{ kW}.$$

10. Aprēķinām *reaktīvās slodzes aplēses vērtību*, ievērojot izteiksmes (2.11) nosacījumus, tad

$$Q_M = 1,1 \cdot Q_V = 1,1 \cdot 41,085 = 45,19 \text{ kVar}.$$

11. Nosakām *pilno slodzes aplēses vērtību*:

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} = \sqrt{104,08^2 + 45,19^2} = 113,47 \text{ kVA}.$$

12. Zinot pilno slodzi, var noteikt aplēses strāvu, ko rada divi celtņi:

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{113,47}{0,38 \cdot \sqrt{3}} = 172,4 \text{ A}.$$

### 6.3. Aplēses slodzes noteikšana pēc sakārtoto diagrammu metodes, ņemot vērā reaktīvās jaudas kompensācijas iekārtu (3. uzdevums)

Dots: no 380V tīkla barojas trīs patērētāju grupas:

I. grupā – 8 metālgriešanas darbagaldi ( $k_{izm} = 0,2$ ;  $\cos\varphi = 0,5$ )

2 – 8 kW;

3 – 10 kW;

3 – 12 kW.

II. grupā – 10 ventilatoru un sūkņu ( $k_{izm} = 0,7$ ;  $\cos\varphi = 0,85$ )

2 – 20 kW;

3 – 25 kW;

5 – 28 kW.

III. grupā – 6 transportieri pa 8 kW ( $k_{izm} = 0,4$ ;  $\cos\varphi = 0,8$ ).

Kompensācijas iekārtas reaktīvā slodze ir vienāda ar 200 kVAr.

**Jānosaka:** aplēses aktīvo slodzi, aplēses reaktīvo slodzi, aplēses pilno slodzi, aplēses strāvu.

*Atrisinājums.*

1. Nosakām nominālās jaudas pēc grupām:

$$P_{n1} = \sum_{i=1}^n P_{ni} = 2 \cdot 8 + 3 \cdot 10 + 3 \cdot 12 = 82 \text{ kW};$$

$$P_{n2} = \sum_{i=1}^n P_{ni} = 2 \cdot 20 + 3 \cdot 25 + 5 \cdot 28 = 255 \text{ kW};$$

$$P_{n3} = \sum_{i=1}^n P_{ni} = 6 \cdot 8 = 48 \text{ kW}.$$

2. Nosakām summāro vidēji aktīvo jaudu pēc grupām:

$$\sum P_V = \sum_{i=1}^n P_{ni} \cdot k_{izm} = 82 \cdot 0,2 + 255 \cdot 0,7 + 48 \cdot 0,4 = 16,4 + 178,5 + 19,2 = 214,1 \text{ kW}.$$

3. Nosakām summāro vidēji reaktīvo jaudu pēc grupām:

$$\cos\varphi = 0,5 \Rightarrow \operatorname{tg}\varphi = 1,73 \quad \cos\varphi = 0,85 \Rightarrow \operatorname{tg}\varphi = 0,62 \quad \cos\varphi = 0,8 \Rightarrow \operatorname{tg}\varphi = 0,75$$

$$\sum Q_V = \sum_{i=1}^n P_{Vi} \cdot \operatorname{tg}\phi_i = 16,4 \cdot 1,73 + 178,5 \cdot 0,62 + 19,2 \cdot 0,75 = 153,44 \text{ kVar}.$$

4. Aprēķinām izmantošanas koeficientu:

$$k_{izm} = \frac{\sum P_V}{\sum P_{ni}} = \frac{214,1}{82 + 255 + 48} = 0,556.$$

5. Efektīvo patērētāju skaitu nosaka pēc izteiksmes (2.2):

$$n_e = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{ni}\right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{ni}^2} = \frac{385^2}{2 \cdot 8^2 + 3 \cdot 10^2 + 3 \cdot 12^2 + 2 \cdot 20^2 + 3 \cdot 25^2 + 5 \cdot 28^2 + 6 \cdot 8^2} = 19,79.$$

6. Nosākām maksimālo aktīvo slodzi:

$$P_{N \max} = 28 \text{ kW}.$$

Puse no maksimālās aktīvās slodzes:

$$P_{N \max} \cdot 0,5 = 14 \text{ kW}.$$

7. Aprēķinām divus palīglieļumus pēc izteiksmes (2.4), tad:

$$n_* = \frac{n_1}{n} = \frac{10}{24} = 0,42; \quad P_* = \frac{P_{n2}}{P_N} = \frac{255}{385} = 0,66.$$

8. Zinot  $n_*$  un  $P_*$ , var noteikt pēc tabulām vai līknēm relatīvo efektīvo patērētāju skaitu  $n_{e*}$ , savukārt pēc izteiksmes (2.6) var aprēķināt meklēto efektīvo patērētāju skaitu  $n_e$ :

$$n_e = n_{e*} \cdot n = 0,8 \cdot 24 = 19,2.$$

9. Pēc atbilstošām tabulām vai līknēm (skat. 2.1. att.) nosaka maksimuma koeficienta vērtību, tad  $k_{\max}$  ir vienāds ar 1,18.

10. Aktīvās slodzes aplēses vērtība:

$$P_M = k_{\max} \cdot P_V = 1,18 \cdot 214,1 = 252,64 \text{ kW}.$$

11. Reaktīvās slodzes aplēses vērtība, ievērojot izteiksmes (2.11) nosacījumus:

$$Q_M = Q_V = 153,44 \text{ kVar}.$$

12. Maksimālā reaktīvā jauda, ievērojot reaktīvās jaudas kompensāciju:

$$Q_{M_{komp}} = Q_M - Q_k = 153,44 - 200 = -46,56 \text{ kVar}.$$

13. Pilnā slodzes aplēses vērtība:

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} = \sqrt{252,64^2 + (-153,44)^2} = 295,59 \text{ kVA}.$$

14. Maksimālā pilnā jauda, ievērojot reaktīvās jaudas kompensāciju:

$$S_{M_{komp}} = \sqrt{P_M^2 + Q_{M_{komp}}^2} = \sqrt{252,64^2 + (-46,56)^2} = 256,85 \text{ kVA}.$$

15. Maksimālā aplēses strāva:

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{295,59}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 449,1 \text{ A.}$$

16. *Maksimālā aplēses strāva, ievērojot reaktīvās jaudas kompensāciju:*

$$I_{M_{komp}} = \frac{S_{M_{komp}}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{256,85}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 390,2 \text{ A.}$$



## 6.4. Aplēses slodzes noteikšana pēc pieprasījuma koeficienta metodes

### (4. uzdevums)

**Dots:** 380/220 V līnija baro darbnīcu, kurā uzstādīti dzinēji ar summāro nominālo jaudu 72kW. Apgaismes slodzes summārā nominālā jauda 3,5kW, apgaismes pieprasījuma koeficients 0,85, spēka slodzei pieprasījuma koeficients 0,3, jaudas koeficients ir 0,86. Slodžu maksimumu nobīdes koeficients pieņemts 1.

**Jānosaka:** aplēses strāvu.

*Atrisinājums.*

Dzinēji:  $P_{N1} = 72 \text{ kW} ; \quad k_{p1} = 0,3 .$

Apgaismojums:  $P_{N2} = 3,5 \text{ kW} ; \quad k_{p2} = 0,85 .$

$\cos \phi = 0,86 \Rightarrow \operatorname{tg} \phi = 0,59 ; \quad k_{mn} = 1,0 .$

1. *Dzinēju un apgaismes aktīvās un reaktīvās aplēses slodzes nosaka pēc izteiksmes (2.13):*

$$P_{M1} = P_{N1} \cdot k_{p1} = 72 \cdot 0,3 = 21,6 \text{ kW} ;$$

$$P_{M2} = P_{N2} \cdot k_{p2} = 3,5 \cdot 0,85 = 2,975 \text{ kW} .$$

$$Q_{M1} = P_{M1} \cdot \operatorname{tg} \phi = 21,6 \cdot 0,59 = 12,744 \text{ kVar} ;$$

$$Q_{M2} = P_{M2} \cdot \operatorname{tg} \phi = 2,975 \cdot 0,59 = 1,755 \text{ kVar} .$$

2. *Kopējā aktīvā un reaktīvā aplēses slodze:*

$$P_M = k_{mn} \cdot \sum_{i=1}^n P_{Mi} = 1,0 \cdot (21,6 + 2,975) = 24,575 \text{ kW} .$$

$$Q_M = k_{mn} \cdot \sum_{i=1}^n Q_{Mi} = 1,0 \cdot (12,744 + 1,755) = 14,5 \text{ kVar} .$$

3. *Maksimālā pilnā jauda:*

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} = \sqrt{24,575^2 + 14,5^2} = 28,534 \text{ kVA} .$$

4. *Maksimālā aplēses strāva:*

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{28,534}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 43,35 \text{ A} .$$

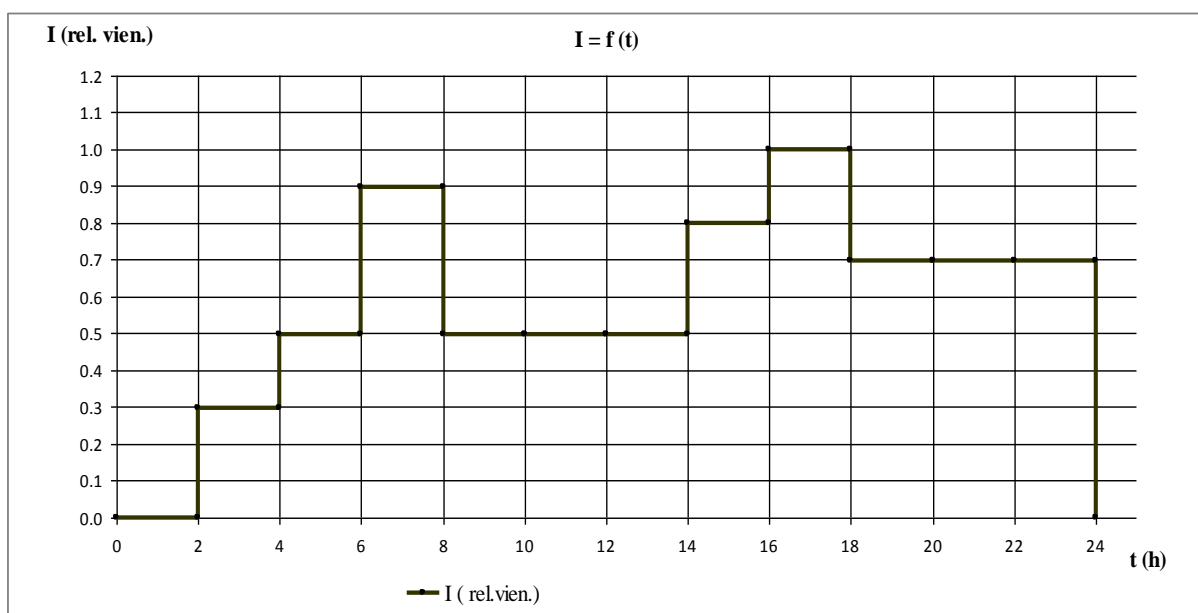
## 6.5. Elektroenerģijas zudumu noteikšana gaisvadu līnijā (5. uzdevums)

Zemāk tiks apskatīta elektroenerģijas zudumu noteikšana elektropārvades līnijās.

**Dots:** slodzes grafiks (skat. 6.1. att.), vada marka ir A-35, gaisvadu līnijas garums 15 km un jaudas koeficients vienāds ar 0,7, spriegums - 10 kV.

**Jānosaka:** aplēses jaudu, elektroenerģijas patēriņu gadā, enerģijas zudumus, maksimuma izmantošanas laiku, zudumu laiku.

*Atrisinājums.*



6.1. att. Slodzes grafiks.

$$\text{Pieņemam } 1,0 \cdot I_{rel.vien.} = I_M = 100 \text{ A}$$

1. Slodzes izmantošanas laiks:

$$I = 100 \text{ A} \quad t_d = 2 \text{ h} \quad t_g = t_d \cdot 365 = 2 \cdot 365 = 730 \text{ h}$$

$$I = 90 \text{ A} \quad t_d = 2 \text{ h} \quad t_g = t_d \cdot 365 = 2 \cdot 365 = 730 \text{ h}$$

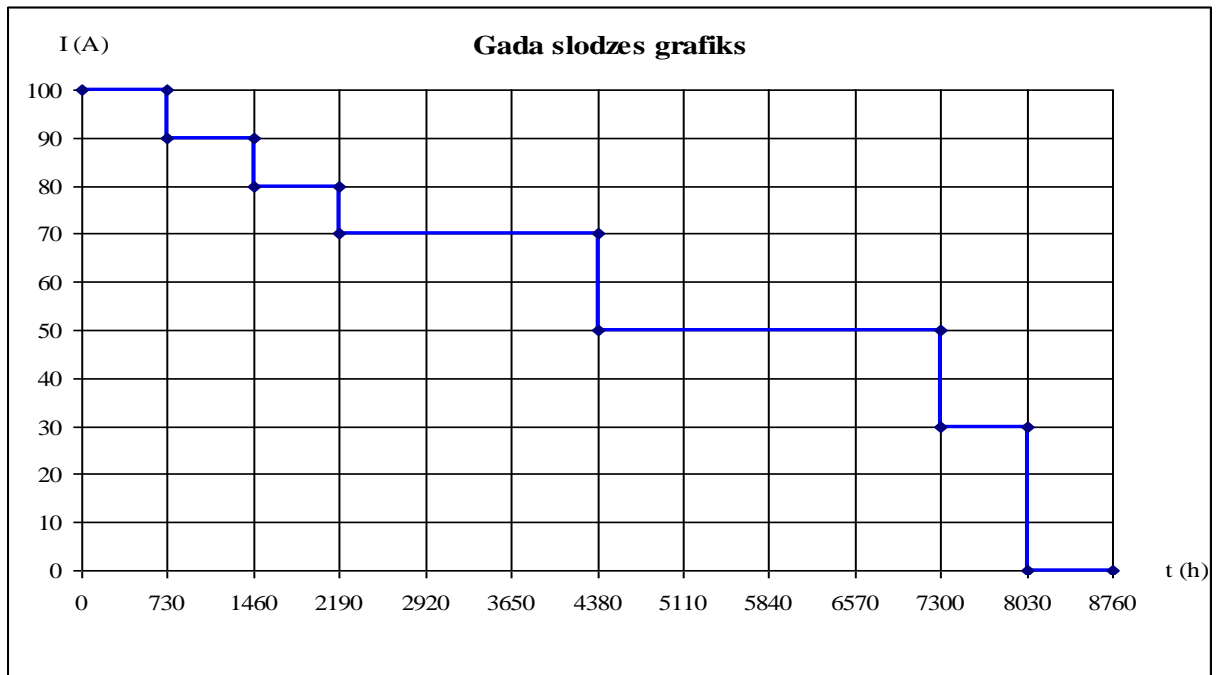
$$I = 80 \text{ A} \quad t_d = 2 \text{ h} \quad t_g = t_d \cdot 365 = 2 \cdot 365 = 730 \text{ h}$$

$$I = 70 \text{ A} \quad t_d = 6 \text{ h} \quad t_g = t_d \cdot 365 = 6 \cdot 365 = 2190 \text{ h}$$

$$I = 50 \text{ A} \quad t_d = 8 \text{ h} \quad t_g = t_d \cdot 365 = 8 \cdot 365 = 2920 \text{ h}$$

$$I = 30 \text{ A} \quad t_d = 2 \text{ h} \quad t_g = t_d \cdot 365 = 2 \cdot 365 = 730 \text{ h}$$

$$t_g = \sum t_d \cdot 365 = (2 + 2 + 2 + 6 + 8 + 2) \cdot 365 = 8030 \text{ h (skat. 6.2. att.)}$$



6.2. att. Gada slodzes grafiks.

2. Līnijas aktīvā pretestība noteikta pēc izteiksmes (4.3):

$$R_L = \rho_0 \cdot l = 0,92 \cdot 15 = 13,8 \, \Omega.$$

3. Maksimālā aktīvā jauda:

$$P_M = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_M \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 0,7 = 1,212 \text{ MW}.$$

4. Gada elektroenerģijas patēriņš:

$$A_a = \sum_{i=1}^n p_i \cdot t_i = \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \left( \sum_{i=1}^n I_i \cdot t_i \right) =$$

$$= \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0,7 \cdot (100 \cdot 730 + 90 \cdot 730 + 80 \cdot 730 + 70 \cdot 2190 + 50 \cdot 2920 + 30 \cdot 730) = 6,284 \text{ GWh}.$$

5. Elektroenerģijas zudumi gadā:

$$\Delta A = 3 \cdot R_L \cdot \sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot t_i =$$

$$= 3 \cdot 13,8 \cdot (100^2 \cdot 730 + 90^2 \cdot 730 + 80^2 \cdot 730 + 70^2 \cdot 2190 + 50^2 \cdot 2920 + 30^2 \cdot 730) = 1,514 \text{ GWh}.$$

6. Slodzes maksimuma izmantošanas laiks gadā:

$$T_M = \frac{A_a}{P_M} = \frac{6284}{1,212} = 5184,8 \text{ h}.$$

7. Elektroenerģijas zudumu laiks gadā:

$$\tau = \frac{\Delta A_a}{3 \cdot R_L \cdot I_M^2} = \frac{1,514 \cdot 10^9}{3 \cdot 13,8 \cdot 100^2} = 3657,3 \text{ h}.$$

## 6.6. Pīkstrāvas (smailstrāvas) noteikšana (6. uzdevums)

**Dots:** piectonnīgam celtnim ir 3 dzinēji:

1. 11 kW;
2. 33 kW;
3. 11 kW.

Pirmā dzinēja nominālā strāva  $I_n=22A$ , palaišanas strāva  $I_{pal.}=44A$ , visiem dzinējiem  $OP=25\%$ . Darba spriegums ir 380 V.

**Jānosaka:** piectonnīgā celtņa radīto pīkstrāvu.

*Atrisinājums.*

8. Pēc atbilstošām tabulām vai līknēm atrod *izmantošanas koeficientu*  $k_{izm}$  un *jaudas koeficientu*  $\cos\varphi$ , šinī gadījumā  $k_{izm}=0,35$  un  $\cos\varphi=0,75$ .

9. *Nominālā strāva* visjaudīgākajam dzinējam:

$$I_N = \frac{P_N}{U \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{3}} = \frac{33}{0,38 \cdot 0,75 \cdot \sqrt{3}} = 66,93 \text{ A}.$$

10. *Vislielākā pīķa strāva:*

$$i_{pik \max} = 5 \cdot I_N = 5 \cdot 66,93 = 334,7 \text{ A}.$$

11. *Aktīvā aplēses slodze:*

$$P_M = \sum_{i=1}^n P_{Ni} \sqrt{OP_t} = (11+33+11) \sqrt{0,25} = 27,5 \text{ kW}.$$

12. *Reaktīvā aplēses slodze:*

$$Q_M = \sum_{i=1}^n P_{Ni} \cdot \sqrt{OP_t} \cdot \operatorname{tg}\varphi = (11+33+11) \sqrt{0,25} \cdot 0,88 = 24,2 \text{ kVar}.$$

13. *Pilnā aplēses slodze:*

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} = \sqrt{27,5^2 + 24,2^2} = 36,63 \text{ kVA}.$$

14. *Aplēses strāva:*

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{36,63}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 55,72 \text{ A}.$$

15. Tā patērētāja *nominālā strāva*, kurai ir vislielākā pīķa strāva:

$$i_{n \max} = I_N \cdot \sqrt{OP} = 66,93 \cdot \sqrt{0,25} = 33,47 \text{ A}.$$

16. *Pīķa strāvu* aprēķina pēc izteiksmes (3.1):

$$I_{pik} = i_{pik \max} + (I_M - k_{izm} \cdot i_{n \max}) = 334,7 + (55,72 - 0,35 \cdot 33,47) = 378,7 \text{ A}.$$