

4. Delo in moč električnega toka

4.1 ENERGIJA, DELO IN MOČ

- ⇒ **Energija je zmožnost opravljanja dela.** Pojavlja se v **različnih oblikah** (toplotna, potencialna, kinetična, električna, svetlobna, kemijska ...) in lahko prehaja **iz ene oblike v drugo**.
- ⇒ **Električna energija** je energija **elektrine** ali **naelektrenega telesa**.
- ⇒ Posledica spremembe oblike energije je **dogodek**, ki mu pravimo **delo**.

Velikost energije telesa podamo z delom, ki je energijo v telesu nakopičilo oziroma ki ga telo lahko opravi, zato sta oznaki in osnovni enoti za merjenje energije in dela enaki.

- ⇒ Oznaka za **energijo** in **delo** je ***W***.
- ⇒ Osnovna enota za merjenje energije in dela je **džul** (joule, **J¹**).

Enoto **J** uporabljamo najpogosteje za toplotno delo, medtem ko sta se za mehansko in električno delo uveljavili enakovredni in enako veliki enoti **Nm** (njutonmeter) in **Ws** (vatsekunda).

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws}$$

Če želimo neko delo opraviti **hitreje**, je potrebno v **enoti časa** opraviti **več dela**.

- ⇒ Delu v enoti časa, pravimo **moč** (***P***).

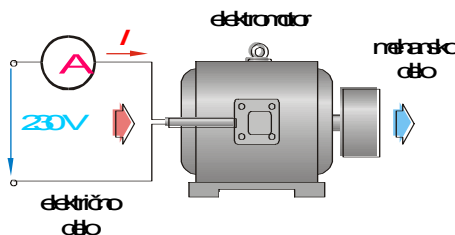
$$P = \frac{W}{t} \quad (\text{W}) \quad (\text{J/s} = \text{Ws/s} = \text{W}) \quad W(\text{Ws}); \quad t(\text{s})$$

- ⇒ Osnovna enota za merjenje moči je **vat** (watt², **W**).

4.2 ELEKTRIČNO DELO

4.2.1 Odvisnost električnega dela

- ⇒ Za delovanje električnih porabnikov, ki opravljajo določeno delo, je potreben **električni tok**.



Ko govorimo o delu električnega toka ali **električnem delu**, nimamo v mislih dela, ki ga opravlja električni porabnik (mehansko, svetlobno ...), ampak delo v električnem krogu, ki se pretvarja v delo električnega porabnika. Ker je električni tok v bistvu pretok elektrine, lahko rečemo:

- ⇒ Električno delo ***W*** je delo **prenosa elektrine *Q*** pod vplivom električne napetosti ***U***.

Ugotovili smo že, da za ustvarjanje električne napetosti ***U*** morajo npr. generatorji elektrarn opravljati delo ločevanja elektrin, ki je enako $W = Q \cdot U$.

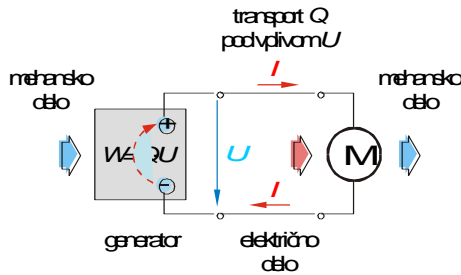
Ker je električno delo prenosa iste elektrine ***Q*** skozi porabnik pod vplivom ustvarjene napetosti ***U*** enako delu ustvarjanja napetosti, lahko delo električnega toka skozi porabnik ali delo električnega porabnika računamo na osnovi enake enačbe:

¹ Joule, angleški fizik
² Watt, škotski inženir

$$W = Q \cdot U \quad (\text{Ws})$$

$$U(\text{V}); Q(\text{C})$$

⇒ Električno delo je **premo sorazmerno** z električno **napetostjo** in množino prenesene **elektrine**.



Navedena enačba pa za računanje dela električnega toka ni praktična, saj elektrina Q ni enostavno določljiva, ne z merjenjem in ne z računanjem. Na osnovi enačbe za jakost toka $I = Q/t$ in Ohmovega zakona pa lahko dobimo za računanje dela bolj praktične enačbe. V enačbi

$W = Q \cdot U$ upoštevajmo, da je $Q = I \cdot t$, $U = I \cdot R$ ali tudi, da je $I = U/R$. Dobili bomo:

$$W = U \cdot I \cdot t \quad (\text{Ws})$$

$$U(\text{V}); I(\text{A}); t(\text{s})$$

$$W = I^2 \cdot R \cdot t \quad (\text{Ws})$$

$$I(\text{A}); R(\Omega); t(\text{s})$$

$$W = \frac{U^2}{R} \cdot t \quad (\text{Ws})$$

$$U(\text{V}); R(\Omega); t(\text{s})$$

⇒ Delo električnega toka je **premo sorazmerno** z **napetostjo** in **tokom** oziroma s **kvadratom toka** in **upornostjo** električnega porabnika ter **časom** opravljanja.

⇒ Delo električnega toka je **premo sorazmerno** s **kvadratom napetosti** in **časom** opravljanja, ter **obratno sorazmerno** z **upornostjo** porabnika.

V splošni elektrotehniški praksi je praviloma znana moč porabnika, npr. grelnika, žarnice, motorja ... Zato lahko delo električnega toka ali porabnika najpogosteje in najenostavneje računamo že na osnovi enačbe:

$$W = P \cdot t \quad (\text{Ws})$$

$$P(\text{W}); t(\text{s})$$

⇒ Električno delo je **premo sorazmerno** z **močjo** električnega porabnika in **časom** opravljanja.

Ker je Ws relativno majhna enota, uporabljamo na področju elektroenergetike za merjenje dela **kilovatno uro** (kWh). Tudi merilniki električnega dela v gospodinjstvih (števci) merijo delo v kWh in tudi obračunska enota za vrednotenje in plačilo električnega dela je kWh.

$$1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 10^3 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Ws} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

⇒ Delo **1 kWh** opravi električni tok, če električni porabnik z močjo **1 kW** deluje **1 uro**.

Pogosto bomo rezultate računanja električnega dela pretvarjali tudi v obratni smeri, zato zapišimo še:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws} = 1/3,6 \cdot 10^6 \text{ kWh} = 0,278 \cdot 10^{-6} \text{ kWh}.$$

Primeri:

1. Električni spajkalnik, katerega moč je 50 W, je deloval 4 ure. Kolikšno električno delo je bilo opravljeno?

$$W = P \cdot t = 50 \text{ W} \cdot 4 \text{ h} = 200 \text{ Wh} = 0,2 \text{ kWh}.$$

2. V kolikšnem času bo električni tok opravil delo 1 kWh, če je moč žarnice 100 W?

$$W = P \cdot t \quad \Rightarrow \quad t = \frac{W}{P} = \frac{1 \text{ kWh}}{100 \text{ W}} = \frac{1000 \text{ Wh}}{100 \text{ W}} = 10 \text{ h}.$$

3. Kolikšno električno delo opravi električni tok v enem mesecu (30 dni), če imamo električni porabnik s podatki 230 V / 0,45 A vključen dnevno povprečno 4 ure?

$$W = U \cdot I \cdot t = 230 \text{ V} \cdot 0,45 \text{ A} \cdot 4 \text{ h} \cdot 30 = 12420 \text{ Wh} = \mathbf{12,4 \text{ kWh}}$$

4. Skozi električni grelnik z upornostjo 11 Ω teče tok 20 A po vodnikih, katerih skupna upornost je 0,1 Ω . Kolikšno električno delo opravi tok v grelniku in kolikšno v vodnikih v času 10 h?

$$W_{\text{gr}} = I^2 \cdot R_{\text{gr}} \cdot t = (20 \text{ A})^2 \cdot 11 \Omega \cdot 10 \text{ h} = 4000 \text{ Wh} = \mathbf{44 \text{ kWh}}$$

$$W_{\text{vod}} = I^2 \cdot R_{\text{vod}} \cdot t = (20 \text{ A})^2 \cdot 0,1 \Omega \cdot 10 \text{ h} = 400 \text{ Wh} = \mathbf{0,4 \text{ kWh}}$$

4.2.2 Merjenje električnega dela

Delo električnega toka moramo **plačati**, saj je postavitve in vzdrževanje elektroenergetskega sistema ter proizvodnja in prenos električne energije za elektrogospodarstvo velik **strošek**. Če hočemo delo vrednotiti, ga moramo najprej **izračunati** ali **izmeriti**.

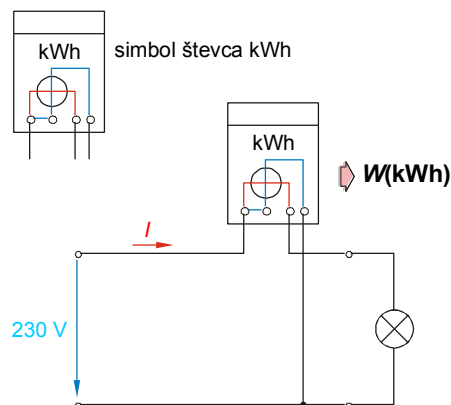
Neposredno merjenje električnega dela

Neposredni način merjenja električnega dela je merjenje, pri katerem opravljeno delo **odčitamo neposredno** na merilniku. Delovanje merilnika temelji na šteju kWh v času opravljanja dela.

⇒ Električno delo merimo s **števci kWh**.



Števec kWh



Simbol in priključitev števca kWh

Električno delo je premo sorazmerno z napetostjo in tokom ($W = U \cdot I \cdot t$), zato je merilni del števca izveden tako, da je tudi štetje kWh premo sorazmerno z napetostjo in tokom. Posledično ima števec kWh **tokovni** in **napetostni** merilni del ter tokovni in napetostni par priključnih sponk.

⇒ **Tokovni** del števca vključimo v električni krog enako kot A-meter (zaporedno s porabnikom), **napetostni** del pa kot V-meter.

Klasični števec kWh deluje na **elektromotorski** način, novejše izvedbe števecv pa so v celoti **elektronske**. Število vrtljajev (n) rotorja števca v času opravljanja dela je premo sorazmerno z opravljenim delom W , zato leto odčitamo kot spremembo stanja na številčnici, ki je povezana z rotorjem števca.

Elektronski števci kWh so **digitalni števci**. Delujejo na podoben način kot drugi digitalni merilniki, informacije o delu pa lahko tudi shranjujejo.

Med karakterističnimi podatki števec kWh lahko na njegovi napisni tablici razberemo nazivno napetost (npr. 230 V), vrsto in velikost toka (npr. 10–40 A), razred točnosti (npr. 2) in pri klasičnih števcih **konstanto** števca **C** (npr. 600 vrtljajev / kWh).

⇒ Konstanta števca (**C**) pove, **koliko vrtljajev** naredi rotor števca pri opravljenem električnem delu **1 kWh**.

Z uporabo konstante števca in štetjem števila vrtljajev rotorja števca lahko izmerimo tudi dela, **manjša** od **desetinke kWh**, ki jo še lahko odčitamo na številčnici števca. Izmerjeno delo v tem primeru izračunamo po enačbi:

$$W = \frac{n}{C} \text{ (kWh)} \quad n(\text{vrt.}); C(\text{vrt./kWh})$$

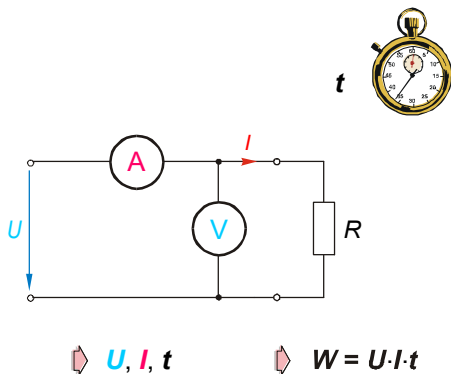
Merjenje tako majhnih del električnega toka je v splošni elektrotehniški praksi bolj malo. Če je čas merjenja krajši od **treh minut**, je merjenje tudi preveč **netočno**.

Posredno merjenje električnega dela

Posredno merjenje električnega dela temelji na merjenju **napetosti**, **toka** in **časa**, v katerem se opravlja delo, ter **računanju** opravljenega dela na osnovi znane enačbe:

$$W = U \cdot I \cdot t \text{ (Ws)} \quad U(\text{V}); I(\text{A}); t(\text{s})$$

Ker je čas mogoče meriti zelo točno, je točnost takega merjenja električnega dela odvisna predvsem od točnosti merjenja napetosti in toka.



Posredno merjenje električnega dela

4.3 ELEKTRIČNA MOČ

4.3.1 Odvisnost moči električnega toka

⇒ Električna moč **P** je določena z električnim delom **W** v enoti časa **t**.

$$P = \frac{W}{t} \text{ (W)} \quad W(\text{Ws}); t(\text{s})$$

Električna moč je tudi merilo delovnih zmogljivosti električnih porabnikov in izvorov, zato jo večinoma najdemo med nazivnimi podatki le-teh. Orientacijske velikosti moči nekaterih električnih porabnikov in izvorov podaja preglednica.

Moči električnih izvorov in porabnikov

Izvor ali porabnik	Moč, ca ³ .
JE Krško (slovenski del)	632 MW
mikrofon	5 nW
električna lokomotiva	4 MW
električna peč	5 kW
sušilnik za lase	1 kW
polnilnik mobilnega telefona	2 W

Če upoštevamo enačbe za električno delo, dobimo tri enakovredne enačbe za računanje električne moči:

$$P = U \cdot I \quad (W) \quad U(V); \quad I(A)$$

$$P = I^2 \cdot R \quad (W) \quad I(A); \quad R(\Omega)$$

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (W) \quad U(V); \quad R(\Omega)$$

- ⇒ Električna moč je premo sorazmerna z napetostjo in tokom oziroma s kvadratom toka in upornostjo porabnika.
- ⇒ Električna moč je premo sorazmerna s kvadratom napetosti in obratno sorazmerna z upornostjo porabnika.

Primeri:

1. Skozi grelnik električne peči, ki je priključen na napetost 230 V, teče tok 7,2 A. Kolikšna je električna moč grelnika?

$$P = U \cdot I = 230 \text{ V} \cdot 7,2 \text{ A} = 1656 \text{ W} = \mathbf{1,66 \text{ kW}}$$

2. Žarnica ima nazivne podatke 60 W / 230 V. Kolikšen tok bo tekel skozi žarnico, ko jo priključimo na njeno nazivno napetost?

$$P = U \cdot I \quad \Rightarrow \quad I = \frac{P}{U} = \frac{60 \text{ W}}{230 \text{ V}} = \mathbf{0,26 \text{ A}}$$

3. Kolikšna električna moč je potrebna za tok 15 A skozi porabnik z upornostjo 14 Ω in kolikšna skozi vodnike, katerih skupna upornost je 0,1 Ω?

$$P_p = I^2 \cdot R_p = (15 \text{ A})^2 \cdot 14 \Omega = 225 \text{ A} \cdot 14 \Omega = 3150 \text{ W} = \mathbf{3,15 \text{ kW}},$$

$$P_v = I^2 \cdot R_v = (15 \text{ A})^2 \cdot 0,1 \Omega = 225 \text{ A} \cdot 0,1 \Omega = \mathbf{22,5 \text{ W}}$$

4. Na kolikšno najvišjo napetost lahko priključimo upor z nazivnimi podatki 1,2 kΩ / 0,5 W?

$$P = \frac{U^2}{R} \quad \Rightarrow \quad U = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{0,5 \text{ W} \cdot 1,2 \cdot 10^3 \Omega} = \mathbf{24,5 \text{ V}}$$

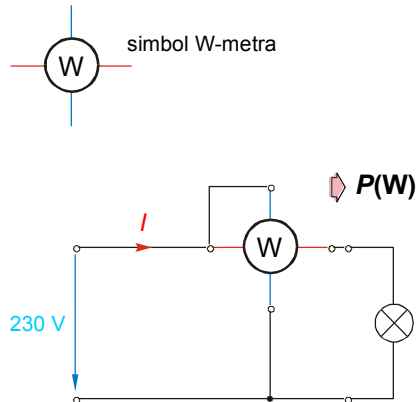
4.3.2 Merjenje električne moči

Neposredno merjenje električne moči

- ⇒ Neposredno merimo električno moč z električnimi **vatmetri** (W-metri).

Ker je električna moč premo sorazmerna z napetostjo in tokom ($P = U \cdot I$), je merilni mehanizem W-metra izveden tako, da je tudi prikazana vrednost merjenja premo sorazmerna z napetostjo in tokom. Zato ima W-meter, podobno kot števec kWh, **tokovni** in **napetostni** merilni del ter tokovni in napetostni par priključenih sponk.

³ circa, lat. okrog, približno



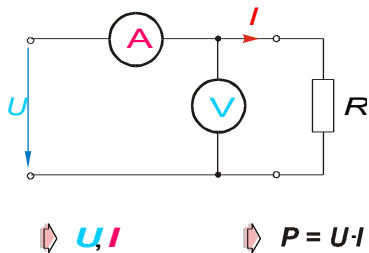
⇒ Tokovni del W-metra vključimo v električni krog tako kot **A-meter** (zaporedno s porabnikom), napetostni del pa kot **V-meter**.

Razen na pravilno priključitev moramo paziti tudi na **merilno območje** W-metra. Enaka električna moč, npr. 1000 W, je lahko določena s produktom zelo različnih napetosti in tokov. To pomeni, da pri neprekoračenem merilnem območju moči 1000 W lahko prekoračimo **napetostno** ali **tokovno** merilno območje W-metra.

⇒ Preden priključimo W-meter, moramo glede na pričakovano moč, napetost in tok izbrati ustrezno merilno območje **moči, napetosti in toka**.

Merilna območja so označena na skali analognega W-metra ali ob preklopnikih pri W-metrih z več merilnimi območji in pri digitalnih W-metrih.

Posredno merjenje električne moči



Posredna metoda merjenja električne moči temelji na merjenju napetosti in toka in računanju moči na osnovi znane enačbe. Na ta način merimo moč, če nimamo možnosti direktnega merjenja ali če želimo pri merjenju imeti pregled tudi nad napetostjo in tokom. Točnost merjenja moči je v tem primeru odvisna od točnosti merjenja napetosti in toka in, kot bomo ugotovili pri sestavljenih električnih krogih, od načina priključitve V-metra in A-metra.

4.4 VREDNOTENJE ELEKTRIČNEGA DELA

Električno delo je zelo **koristna dobrina**, ki pa, žal, ima tudi svojo **ceno** in pomeni za uporabnika spoštovanja vreden **strošek**. Ker so stroški pomembne prvine gospodarjenja tako v gospodinjstvih kot v industriji, bomo vrednotenje dela električnega toka obravnavali z namenom spoznavanja in obvladovanja stroška električnega dela.

⇒ Strošek (**S**) električnega dela lahko izračunamo, če poznamo velikost opravljenega dela in ceno oziroma **tarifo**⁴ kWh (**T**):

$$S = T \cdot W \text{ (€)}$$

$$T \text{ (€/kWh); } W \text{ (kWh)}$$

⁴ ital. *tariffa* iz ar. *ta'rif* – objava, npr. cene dela

Opravljen električno delo lahko izračunamo ali izmerimo, ceno kWh pa moramo poznati. Pri tem se v vsakdanjem pogovornem jeziku srečamo z »dražjo« in »cenejšo« elektriko in podobnimi »strokovnimi« imeni različnih cen kWh v različnih delih dneva ter dvema številčnicama na števcu kWh.

4.4.1 Stroški in cena kwh

- ⇒ **Stroški**, ki so potrebni za delovanje elektroenergetskega sistema, so stroški **proizvodnje, prenosa, distribucije, vzdrževanja, razvoja, plač zaposlenih, dobička ...**).
- ⇒ **Cena kWh** električne energije temelji na stroških delovanja elektroenergetskega sistema.

V teku dneva se število in vrsta vključenih električnih porabnikov (gospodinjstva, industrija ...) zelo spreminja. Ker **trenutno** vključeni porabniki narekujejo **trenutno** moč, s katero mora delovati elektroenergetski sistem, se tudi **moč delovanja** sistema čez dan **spreminja**, kar povzroča elektrogospodarstvu precej nevspečnosti:

- ⇒ **Konica** dnevne obremenitve narekuje **potrebno inštalirano moč** elektroenergetskega sistema (elektrarn, omrežij, razdelilnih postaj ...).
- ⇒ Inštalirana moč sistema **zunaj konic ni dovolj izkoriščena**.
- ⇒ **Velikost inštalirane moči** sistema močno vpliva na **stroške** delovanja sistema ter **ceno kWh**.
- ⇒ Potrebe porabnikov lahko iz različnih razlogov v času konice (naključni odjem, sezona ...) **presežejo** razpoložljivo moč sistema in lahko povzročijo tudi razpad elektroenergetskega sistema.

V primeru obremenitev, ki so večje od razpoložljive moči sistema, si elektrogospodarstvo mora električno energijo sposoditi iz drugih sistemov, celo zunaj državnih meja, po navadno **višji ceni**, kar tudi vpliva na ceno kWh.



Elektroenergetski sistem Slovenije

4.5 PRETVARJANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Omenili smo že, da električno energijo s pridom uporabljamo iz dveh razlogov:

- ⇒ mogoče jo je **enostavno prenašati** tudi na večje razdalje,
- ⇒ na enostaven način jo je mogoče **spreminjati** v druge **oblike** energije.

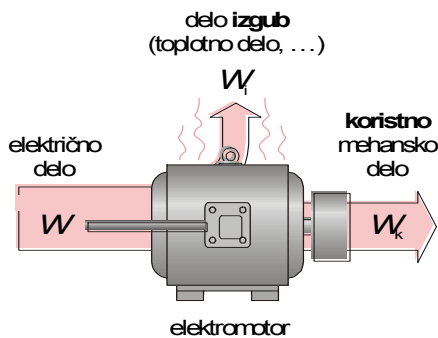
Ko govorimo o električnem delu, mislimo na električno energijo, ki smo jo v električnem porabniku (elektromotorju, grelniku, ...) spremenili v drugo vrsto energije (toplotno, mehansko, svetlobno, ...).

- ⇒ Električni porabniki so **pretvorniki električne energije** v energije **druge oblike**.

4.5.1 Izkoristek pretvornika električne energije

Pretvarjanje oblik energije nikoli **ni idealno**. V **koristno** obliko energije se sicer lahko pretvori večji del energije, ki jo pretvarjamo, določen del pa vedno **izgubimo** na račun pretvarjanja. Tako npr. bencinski motor kemijske

energije goriva ne pretvori v celoti v mehansko energijo in tudi žarnica pretvori le del električne energije v svetlobno. Tipičen primer koristne in nekoristnih oblik energije je tudi npr. elektromotor.



- ⇒ Pretvorbo oblike energije vedno spremlja določena »izguba« energije.
- ⇒ Energija W , ki jo pretvorimo v druge oblike energij, je po zakonu o ohranitvi energije enaka vsoti koristne energije W_k in energije izgub W_i .

$$W = W_k + W_i \quad (\text{kWh})$$

$$W_k(\text{kWh}); \quad W_i(\text{kWh})$$

Kot smo že omenili, sta energija in delo istovrstni fizikalni veličini, ki ju merimo z enakima merskima enotama, čeprav se v svojih pojavnih oblikah razlikujeta. Zato zapisana enačba velja tudi za računanje električnega dela W na **priključni strani** električnega porabnika ter **koristnega dela** W_k in **izgubnega dela** W_i porabnika. Če levo in desno stran navedene enačbe delimo s časom t , lahko po enačbi $P = W/t$, izgube pri pretvorbi energije izrazimo tudi z močjo:

$$P = P_k + P_i \quad (\text{W})$$

$$P_k(\text{W}); \quad P_i(\text{W})$$

Iz praktičnih razlogov se dogovorimo, da bomo z oznako W in P vedno označevali **električno** energijo, delo in moč na **priključni strani** električnega porabnika, pretvorjene oblike energije, dela in moči pa z W in P ter ustreznim **indeksom**.

- ⇒ Razmerju **koristnega dela** W_k in **električnega dela** W pravimo **izkoristek** (η^5) električnega pretvornika ali porabnika.

$$\eta = \frac{W_k}{W} \quad \text{ali tudi} \quad \eta = \frac{W_k}{W} \cdot 100 \quad (\%)$$

Če v navedenih enačbah upoštevamo enačbo za delo $W_k = P_k \cdot t$ in $W = P \cdot t$ pa lahko izkoristek električnega porabnika izrazimo tudi v obliki:

$$\eta = \frac{P_k}{P} \quad \text{ali tudi} \quad \eta = \frac{P_k}{P} \cdot 100 \quad (\%)$$

- ⇒ Izkoristek električnega porabnika je določen tudi z razmerjem **koristne in električne moči** porabnika.

Zaradi razmerja enakih fizikalnih veličin je izkoristek električnih porabnikov in drugih pretvornikov energije število **brez dimenzij**, zaradi dejstva, da je vedno $W_k < W$, ali $P_k < P$, pa je njegova vrednost vedno **manjša** od 1 ali 100 %. Izkoristke nekaterih tipičnih porabnikov prikazuje preglednica.

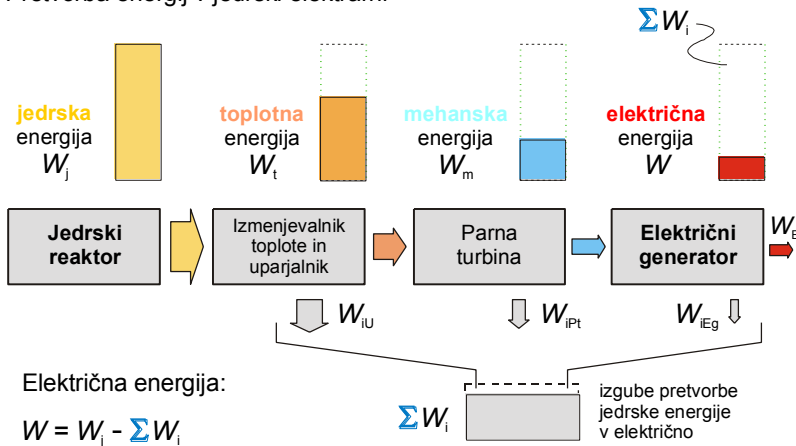
Izkoristki porabnikov

Porabnik	Izkoristek
transformator velike moči	0,99
transformator majhne moči	0,7
trifazni motor 2,2 kW	0,8
enofazni motor 120 W	0,5
potopni grelnik 1000 W	0,95
žarnica z žarilno nitko 40 W	0,015

⁵ eta, mala črka grške abecede

Izgube energije so tudi pri pretvorbi drugih oblik energije v električno. Slika prikazuje primer pretvorb energij v jedrski elektrarni.

Pretvorba energij v jedrski elektrarni



Primeri:

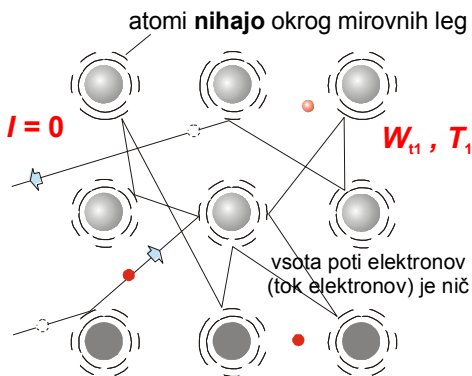
1. Kolikšen je izkoristek elektromotorja, ki deluje z močjo 4 kW, električno omrežje pa obremenjuje z močjo 4,65 kW?

$$\eta = \frac{P_k}{P} = \frac{4 \text{ kW}}{4,65 \text{ kW}} = 0,86.$$

2. Kolikšno delo nameri števec kWh, če 2-kilovatni motor z izkoristkom 80 % deluje s polno močjo 4 ure?

$$\eta = \frac{P_k}{P} \cdot 100 \Rightarrow P = \frac{P_k}{\eta} \cdot 100 = \frac{2 \text{ kW}}{80} \cdot 100 = 2,5 \text{ kW},$$

$$W = P \cdot t = 2,5 \text{ kW} \cdot 4 \text{ h} = 10 \text{ kWh}.$$



3. Električna moč žarnice na žarilno nitko je 200 W. Koliko koristnega svetlobnega dela in koliko nekoristnega toplotnega dela opravi žarnica v času 50-urnega delovanja, če je izkoristek pretvorbe električne energije v svetlobno 8 %?

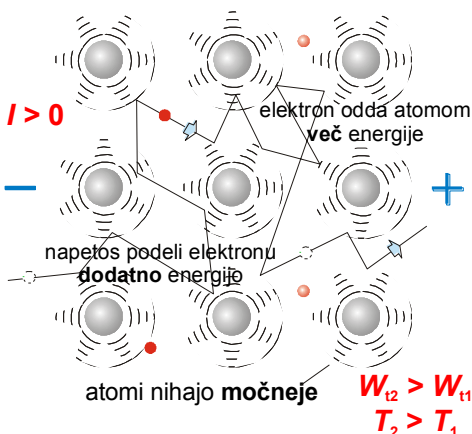
$$\eta = \frac{W_k}{W} \cdot 100 \Rightarrow W_k = W \cdot \frac{\eta}{100} = 10 \text{ kWh} \cdot \frac{8}{100} = 0,8 \text{ kWh},$$

$$W = W_k + W_i \Rightarrow W_i = W - W_k = 10 \text{ kWh} - 0,8 \text{ kWh} = 9,2 \text{ kWh}.$$

4.5.2 Toplotno delo električnega toka

Nosilci elektrine, ki v električnem toku napredujejo skozi snov, s trki oddajo del svoje kinetične energije atomom snovi in jih vzbujajo k intenzivnejšemu nihanju okrog njihovih osrednjih leg. Ker je energija nihanja atomov **toplotna energija** snovi, pomeni povečanje intenzivnosti nihanja atomov povečanje toplotne energije in dvig temperature snovi.

- ⇒ Električni tok v snovi z določeno električno **upornostjo**, spreminja **električno** energijo v **toplotno**.
- ⇒ Uporovnim pretvornikom električne energije v toplotno pravimo električni uporovni **grelniki**.



Električne grelnike uporabljamo tako v gospodinjstvih kot v industriji. Izdelujemo jih iz **uporovnih zlitin**, ki najpogosteje temeljijo na niklju in kromu in so odporne proti visokim temperaturam. Velikost toplot-

nega dela (W_k) neposredno v grelnikih je enaka velikosti opravljenega električnega dela (W), zato ga lahko računamo po že znanih enačbah za delo električnega toka.

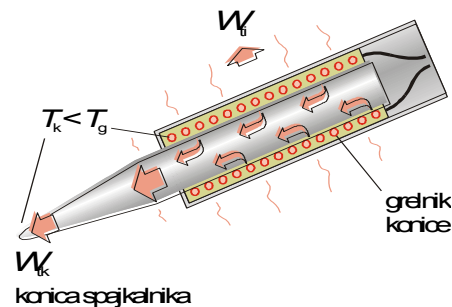
Toplotna energija električnih grelnih teles pa s **toplotnim tokom** (prenosom intenzivnejšega nihanja z atoma na atom) odteka v hladnejšo snov (kovino, vodo, zrak, ...), ki obdaja grelna telo, tam dviga temperaturo in lahko opravlja koristno delo. Ker se na enak način toplota širi iz grelnika tudi v neželene smeri, torej tudi **ob** snovi in **iz** snovi, ki jo segrevamo, je izkoristek segrevanja lahko zelo različen.

Pri fiziki smo se učili, da je toplotno delo W_t^6 enako spremembi toplotne energije snovi in da je ta premo sorazmerna s spremembo temperature ΔT , mase m in specifične toplote⁷ snovi c :

$$W_t = c \cdot m \cdot \Delta T \quad (\text{J, Ws}) \quad c(\text{J/kgK}); \quad m(\text{kg}); \quad \Delta T(\text{K})$$

Specifične toplote snovi

Snov	$c(\text{J/kgK})$
platina	134
srebro	234
baker	381
jeklo	460
aluminij	896
granit	790
steklo	840
zrak	1000
voda	4190



Primeri:

1. Kolikšno koristno toplotno delo je potrebno za segrevanje vode polnega 80-litrskega bojlerja od 14 °C na 65 °C?

$$\Delta T = \Delta \vartheta = 65 \text{ °C} - 14 \text{ °C} = 51 \text{ °C} = 51 \text{ K},$$

$$W_t = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 80 \text{ kg} \cdot 51 \text{ K} = 17095 \cdot 10^3 \text{ J},$$

$$W_t = 17095 \cdot 10^3 \cdot 0,278 \cdot 10^{-6} \text{ kWh} = \mathbf{4,75 \text{ kWh}}.$$

2. 500 W potopni električni grelnik segreje 1 l vode v 8 minutah z 10 °C na 60 °C. Izračunaj izkoristek segrevanja!

Opravljen električno delo:

$$W = P \cdot t = 0,5 \text{ kW} \cdot \frac{8}{60} \text{ h} = 0,067 \text{ kWh}.$$

Koristno toplotno delo in izkoristek segrevanja:

$$W_t = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 1 \text{ kg} \cdot 54 \text{ K} = 0,063 \text{ kWh},$$

$$\eta = \frac{W_k}{W} = \frac{0,063 \text{ kWh}}{0,067 \text{ kWh}} = \mathbf{0,94 \text{ ali } 94 \%}$$

3. V 300-litrskem, toplotno dobro izoliranem akumulatorju tople vode želimo v času manjše tarife (0,02866 €/kWh, brez prispevkov in DDV) segreti vodo s povprečno 12 °C na 95 °C. Kolikšna mora biti električna moč potopnega grelnika in kolikšen je strošek segrevanja, če je izkoristek segrevanja 0,96?

Koristno toplotno delo:

$$W_t = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 300 \text{ kg} \cdot 82 \text{ K} = 28,6 \text{ kWh}.$$

⁶ V toplotni tehniki označujemo količino toplote in toplotno delo s Q .

⁷ Toplota (delo), ki je potrebna, da se 1 kg snovi segreje za 1 K

Potrebno električno delo in strošek dela:

$$W = \frac{W_t}{\eta} = \frac{28,6 \text{ kWh}}{0,96} = 29,8 \text{ kWh},$$

$$S = MT \cdot W_{MT} = 0,02866 \frac{\text{euro}}{\text{kWh}} \cdot 29,8 \text{ kWh} = 0,854 \text{ euro}.$$

Potrebna moč električnega grelnika:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{29,8 \text{ kWh}}{6 \text{ h}} = \mathbf{5 \text{ kW}}.$$

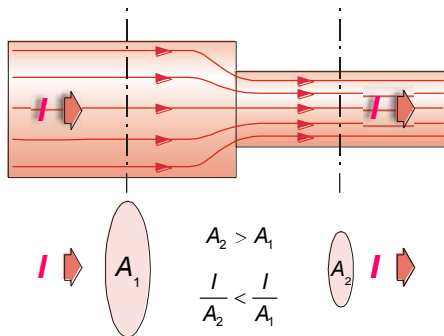
Električni tok pa pogosto opravlja toplotno delo tudi tam, kjer to **ni** ravno najbolj **koristno**. Segreva vodnike električnih inštalacij, navitja elektromotorjev in transformatorjev ter najrazličnejše elektronske elemente (upore, transistorje, procesorje ...), jih **ogroža** z visokimi temperaturami, z opravljenim delom pa povzroča **izgube** električne energije.



Močno obremenjene elektromotorje, transformatorje, tranzistorje, procesorje, ... varujemo pred previsokimi temperaturami tudi z intenzivnim odvajanjem proizvedene toplote s hladilnimi rebri ali z vsiljenim pretokom hladilnega sredstva (zraka, olja, ...). Toda če želimo neželene toplotne učinke res obvladati, jih moramo omejevati že pri samem nastajanju.

⇒ Toplotni učinek toka v vodniku je odvisen od **jakosti toka na enoto preseza vodnika**.

⇒ Jakost toka na enoto preseza imenujemo **gostota toka (J)**.



Gostota toka v vodniku

Gostota toka je pomembna električna veličina za uporabo in obvladovanje toplotnih učinkov električnega toka. Računamo jo po enačbi:

$$J = \frac{I}{A} \quad (\text{A/m}^2) \quad I(\text{A}); \quad A(\text{m}^2)$$

Primer:

Skozi vodnik preseza $2,5 \text{ mm}^2$ teče tok 15 A . Kolikšna je gostota toka v vodniku?

$$J = \frac{I}{A} = \frac{15 \text{ A}}{2,5 \text{ mm}^2} = \mathbf{6 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}}.$$

Toplotna obremenitev in dimenzioniranje vodnikov

Velika gostota električnega toka s toplotnim učinkom lahko **ogroža** izolacijo vodnikov električnih inštalacij, pa tudi same vodnike. Do takih primerov lahko pride v **preobremenjenih** vodnikih električnih inštalacij. Zato moramo gostoto toka v vodnikih omejiti na dopustno, jih ustrezno varovati, pri zahtevi po prevajanju večjih tokov pa povečati prerez vodnikov.

Eksperimentalno so ugotovljene tiste gostote električnega toka, ki še ne povzročajo nevarnega pregrevanja vodnikov. Pravimo jim **dopustne gostote toka**, predstavljajo pa osnovo za določanje potrebnih prerezov vodnikov električnih inštalacij, navitij električnih strojev in podobno.

⇒ Pri znanem toku izberemo prerez vodnika tako, da dejanska **gostota toka** ne preseže **dopustne**.

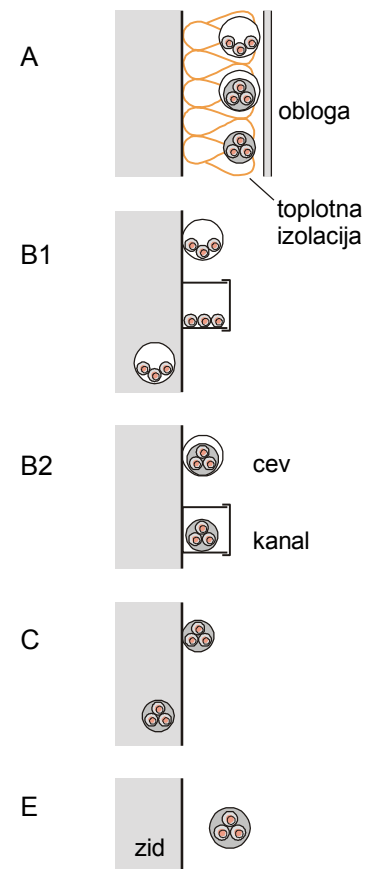
Ker so **načini** uporabe oziroma **postavitve** vodnikov in kablov v praksi **različni** (preglednica), so tudi **možnosti odvajanja toplote** vodnikov **različne**. To narekuje za različne inštalacije **različne dopustne gostote toka**. V preglednici je na osnovi dopustnih gostot navedenih **pet različnih skupin tokov** za določeni prerez vodnika in temperaturo okolice **do 30 °C**.

Obratovalni pogoji za vodnike in kabla

Vrsta inštalacije	Opis inštalacije po sliki 4.5.10
A	inštalacija v toplotno izoliranih stenah
B1	inštalacija vodnikov v instalacijskih ceveh in kanalih na/v zidu
B2	inštalacija kablov v instalacijskih ceveh in kanalih na zidu
C	direktna inštalacija na steno, pod omet, ...
E	prosta inštalacija v zraku z neoviranim hlajenjem

Dopustna obremenitev Cu vodnikov

Vrsta inštalacije	A		B1		B2		C		E	
Št. žil	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
Nazivni prerez (mm ²)	Cu vodniki s PVC izolacijo Dopustni trajni tok v A pri temperaturi okolice 30 °C									
1,5	15,5	13	17,5	15,5	15,5	14	19,5	17,5	20	18,5
2,5	19,5	18	24	21	21	19	26	24	27	25
4	26	24	32	28	28	26	35	32	37	34
6	34	31	41	36	37	33	46	41	48	43
10	46	42	57	50	50	46	63	57	66	60
16	61	56	76	68	68	61	85	76	89	80
25	80	73	101	89	90	77	112	96	118	101
35	99	89	125	111	110	95	138	119	145	126



⇒ Pri enakem prerezu prenesejo **največje** toke **prostoležeči** vodniki (E), najmanjše pa vodniki v toplotni izolaciji (A)!

Primeri:

- Električni porabnik 230 V / 75 A želimo priključiti na omrežno napetost 230 V s prostoležečim kablom dolžine 3,5 m. Določi potrebni prerez vodnikov kabla!

Kabel, ki ga potrebujemo, sodi v skupino tokov **E**. Iz preglednice 4.5.3 razberemo, da je za tok 75 A te skupine, če želimo ostati v mejah dopustne gostote toka, potreben prerez vodnika **16 mm²**.

- Fazni in nevtralni vodnik vtičnice za napetost 230 V imata prerez 2,5 mm², sta enožilna vodnika in sta položena v instalacijsko cev v zidu. Kolikšen električni tok dovoljujeta in kolikšna je lahko največja električna moč porabnika, ki ga priključimo na vtičnico?

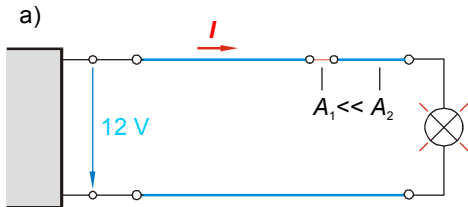
Način postavitve vodnikov inštalacije določa v danem primeru skupino tokov **B1**, prerez 2,5 mm² pa dopušča tok **24 A**. Moč, ki jo brez škode za izolacijo (kljub določenemu segrevanju) omogoča dobljeni tok, je:

$$P = U \cdot I = 230 \text{ V} \cdot 24 \text{ A} = 5520 \text{ W} = \mathbf{5,52 \text{ kW}}$$

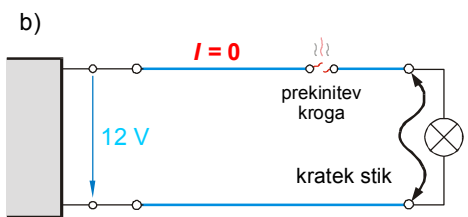
Toplotna obremenitev in varovanje vodnikov

Do **preobremenitve** lahko pride tudi v primeru pravilno dimenzioniranih vodnikov inštalacij. Tak primer je lahko nepredvidna priključitev porabnika **prevelike moči**, preveliko **število porabnikov** (moči se seštevajo), velik tok **kratkega stika**, ... Če taka preobremenitev traja **dovolj časa**, lahko toplotni učinek poškoduje izolacijo, v najslabšem primeru pa povzroči požar, tudi s hudimi posledicami.

Kratki stik je sklenitev električnega kroga **brez porabnika**, zato je tok določen le z neznatno upornostjo vodnikov in je **zelo velik**. Pogosti vzroki kratkih stikov so mehanske ali toplotne poškodbe izolacije na občutljivih delih električnih krogov.



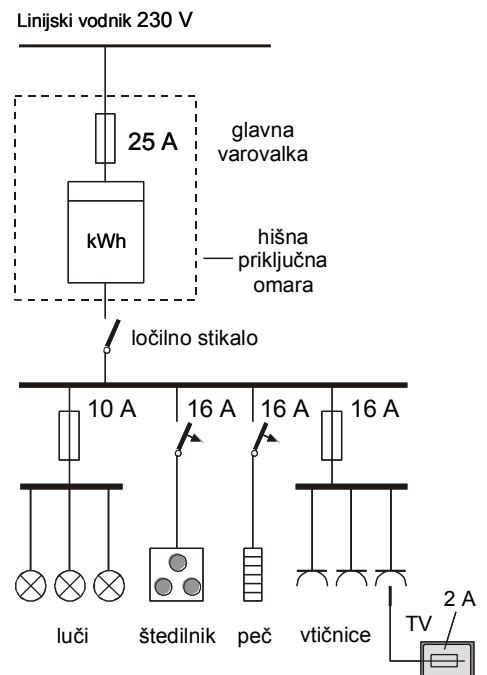
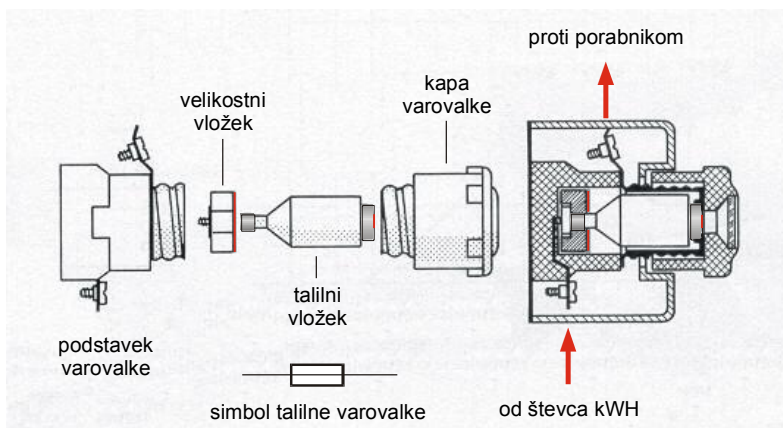
Električni krog s šibkim delom



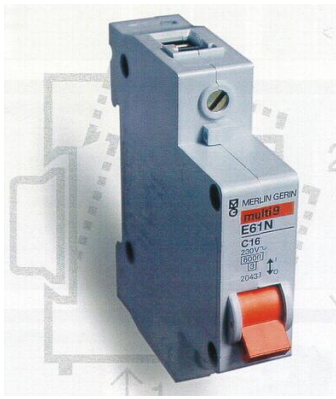
⇒ Pred posledicami nepredvidenih preobremenitev lahko vodnike električnih napeljav varujemo tako, da **pravočasno prekinemo električni krog**.

Pravočasno prekinitev preobremenjenih električnih krogov omogočajo **talilne varovalke** in **inštalacijski odklopniki** z magnetnim proženjem. **Talilna** varovalka je v bistvu namenoma ustvarjena **šibka točka** na dostopnem mestu električnega kroga, njeno delovanje pa temelji na odvisnosti toplotnega učinka od gostote toka.

Sestav in sestavne dele talilne varovalke prikazuje slika. Njen poglavitni del je vložek s **tankim talilnim vodnikom**, ki v električnem krogu predstavlja prej omenjeno šibko točko. Ni težko sklepati, da v primeru potrebe po zamenjavi vložka talilne varovalke mora le-ta **tudi po zamenjavi** predstavljati **najšibkejši del** električnega kroga. Zato so vložki talilnih varovalk za posamezne prereze vodnikov **standardizirani**, skupaj z ohišjem varovalke pa preventivno izvedeni tako, da v ohišje **ne moremo vstaviti** vložka z **večjo** nazivno vrednostjo toka od predpisane. Razlike vložkov so poudarjene tudi z **barvami**.



- ⇒ Uničeni vložek varovalke vedno nadomestimo le s predpisanim novim vložkom.
- ⇒ Pred zamenjavo vložka varovalke je potrebno odpraviti vzrok uničenja vložka oziroma napako v električnem krogu.



Inštalacijski odklopniki imajo pred talilnimi varovalkami določene prednosti. Enostavnejši so za uporabo, saj jih enostavno, podobno kot stikalo, ponovno vklopimo, zaradi zaprte izvedbe pa predstavljajo tudi manjšo nevarnost neposrednega dotika.

Ker varovalka v primeru preobremenitve prekine električni krog, je dobro, da prekine **le tisti krog**, v katerem je prišlo do **preobremenitve**. V nasprotnem primeru bi po nepotrebnem ostali brez električne energije tudi drugi deli inštalacij in porabniki.

- ⇒ Električne inštalacije in naprave varujemo s sistemom varovalk **različnih jakosti**.
- ⇒ Namestitev varovalk mora biti **selektivna** (izbirna).

Iz sheme dela hišne inštalacije s tako postavljenimi varovalkami je razvidno, da imajo varovalke v **odcepih** vedno **nižje vrednosti** od varovalke v **dovodu**. To pomeni, da bo »pregorela« vedno varovalka **le v krogu z okvaro** ali v samem porabniku, preostali del električnih inštalacij in porabniki pa bodo delovali naprej.

Iz preglednice je razvidno, da varovalka prekine električni krog šele pri relativno veliki jakosti toka. Preveliki v primerjavi s tokom 50 mA, ki je za človeka lahko že smrtno nevaren.

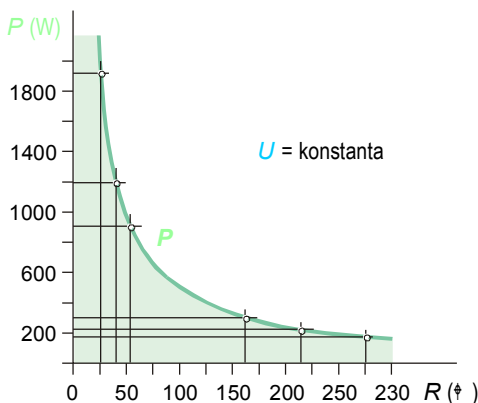
- ⇒ Talilne varovalke in inštalacijski odklopniki **ne varujejo človeka** pred nevarnostjo **neposrednega dotika**.

Krmiljenje moči električnih grelnikov

Pri različnih intenzivnostih segrevanja (pri kuhanju, segrevanju prostorov, materialov v industriji, ...) je potrebno prilagajati ali krmiliti moč električnih grelnikov. Poglejmo, kako v takih primerih krmilimo moč.

Spomnimo se na enačbe odvisnosti električne moči:

$$P = U \cdot I, \quad P = I^2 \cdot R, \quad \text{in} \quad P = \frac{U^2}{R}.$$



Pri napetosti (npr. omrežja, 230 V ali podobnega izvora) upoštevajmo, da je napetost konstantna oziroma da je ne moremo spreminjati. Na moč grelnika lahko potem vplivamo le še s spreminjanjem njegove upornosti **R**.

- ⇒ Moč električnih grelnikov krmilimo s spreminjanjem **upornosti**.
- ⇒ Z zmanjševanjem upornosti **proti nič** moč **strmo narašča**.

Grelnik kuhalne plošče je sestavljen iz več neodvisnih grelnih segmentov različnih upornosti. S preklopnikom izbiramo posamezne segmente ali pa jih vežemo v različne kombinacije zaporedne ali vzporedne vezave. Odvisnost upornosti od načina vezave uporov bomo obravnavali v okviru poglavja o sestavljenih električnih krogih. Z zaporedno vezavo vseh uporovnih segmentov (1. stopnja) dobimo največjo upornost in s tem najmanjšo moč, z vzporedno vezavo vseh uporovnih segmentov pa najmanjšo upornost in največjo moč (npr. 6. stopnja). Izbira posameznih segmentov in preostalih vmesnih vezav omogoča vmesne stopnje moči grelnika.

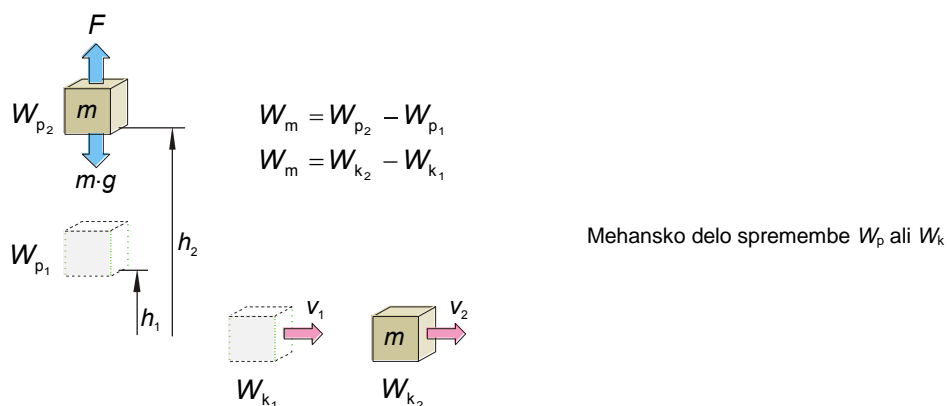
Pri dimenzioniranju priključnega kabla grelnika, ki mu lahko spreminjamo moč, ter vodnikov inštalacij in varovalk moramo upoštevati največjo moč grelnika.

4.5.3 Mehansko delo električnega toka

Pri dviganju in prenosu bremen, pogonu transportnih sredstev in obdelovalnih strojev ... sodelujejo tudi elektromotorji.

- ⇒ Električni tok omogoča opravljanje **mehanskega** dela.

Mehansko delo je vzrok ali posledica spremembe **potencialne** ali **kinetične** energije telesa:



$$W_m = W_{p_2} - W_{p_1} = m \cdot g \cdot h_2 - m \cdot g \cdot h_1 \quad \text{ali}$$

$$W_m = m \cdot g \cdot (h_2 - h_1) \quad (\text{Nm} = \text{J} = \text{Ws}) \quad m(\text{kg}); \quad g(\text{m/s}^2); \quad h(\text{m})$$

$$W_m = W_{k_2} - W_{k_1} = m \cdot \frac{v_2^2}{2} - m \cdot \frac{v_1^2}{2} \quad \text{ali}$$

$$W_m = \frac{m}{2} \cdot (v_2^2 - v_1^2) \quad (\text{Nm} = \text{J} = \text{Ws}) \quad m(\text{kg}); \quad v(\text{m/s})$$

Spremembo potencialne ali kinetične energije lahko dosežemo le s premagovanjem **gravitacijskih** sil in **vztrajnosti** teles.

⇒ Mehansko delo je **premagovanje sile** na določeni **poti**.

Zaradi trenja pa je potrebno mehansko delo tudi za gibanje teles s **konstantno hitrostjo** v vodoravni smeri (brez spremembe W_p in W_k).

$$W_m = F \cdot s \quad (\text{Nm} = \text{J} = \text{Ws}) \quad F(\text{N}); \quad s(\text{m})$$

Mehansko moč pa dobimo iz znane enačbe $P = W/t$.

$$P_m = \frac{W_m}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot \frac{s}{t}; \quad \frac{s}{t} = v.$$

$$P_m = F \cdot v \quad (\text{W}) \quad F(\text{N}); \quad v(\text{m/s})$$

Mehansko delo se opravlja tudi pri rotacijskih gibanjih teles, toda za osnovno spoznavanje primerov mehanskega dela električnega toka bodo zadostovale že navedene ugotovitve in enačbe.

Primeri:

1. Kolikšno koristno mehansko delo bo opravil elektromotor gradbenega dvigala, ki dvigne 100 kg cementa z višine 15 m na višino 45 m?

$$W_m = m \cdot g \cdot (h_2 - h_1) = 100 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (45 - 15) \text{ m} = 30000 \text{ Nm}$$

$$= 30000 \text{ Ws} = 30000 \cdot 0,278 \cdot 10^{-6} \text{ kWh} = \mathbf{8,34 \text{ Wh}}$$

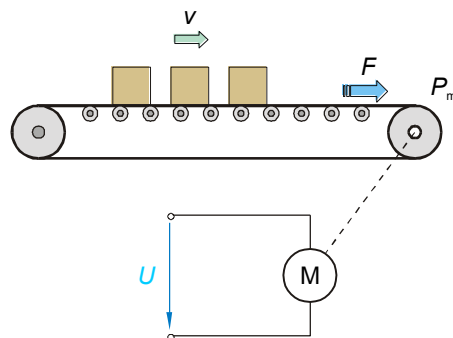
2. Dvigalo servisne delavnice dvigne avtomobil z maso 1250 kg na višino 2,5 m. Koliko koristnega mehanskega dela je opravil elektromotor dvigala? S kolikšno koristno mehansko močjo je delovalo, če je avtomobil dvignilo na omenjeno višino v času 7 sekund?

$$W_m = m \cdot g \cdot h = 1250 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2,5 \text{ m} = 31250 \text{ Nm} = 31250 \text{ Ws},$$

$$P_m = \frac{W_m}{t} = \frac{31250 \text{ Ws}}{7 \text{ s}} = 4464 \text{ W} = \mathbf{4,5 \text{ kW}}.$$

3. Transportni trak prenaša tovor s hitrostjo 1,2 m/s. S kolikšno koristno mehansko močjo poganja elektromotor trak, če je vlečna sila traku 1500 N?

$$P_m = F \cdot v = 1500 \text{ N} \cdot 1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1800 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 1800 \frac{\text{Ws}}{\text{s}} = \mathbf{1,8 \text{ kW}}.$$



4.5.4 Izkoristek sistema pretvornikov energije

Pogosto je potrebno obliko energije od razpoložljive do želene **pretvoriti večkrat** in jo tudi **prenesti** od pretvornika do pretvornika. Značilen primer takega večkratnega pretvarjanja je že primer z električno energijo, če jo spremljamo od elektrarne do porabnika. Tudi prenos energije brez spremembe koristne oblike vzame svoj davek in vpliva na končni izkoristek. Podobnih primerov je v praksi veliko, zato je zanimivo in tudi potrebno vedeti, kolikšen je izkoristek sistema **pretvornikov** in **prenosnih poti**, ki so v »navezi« od razpoložljive do končne oblike energije.

Vsak pretvornik in prenos energije v sistemu ima svoj izkoristek. V sistemu nastajanja in prenosa električne energije v osnovi sodelujejo turbina, reduktor in prenosnik vrtljajev na generator, generator in električno omrežje, zato lahko zapišemo:

$$\eta_t = \frac{P_{t_{izh}}}{P_{t_{vnh}}}; \quad \eta_r = \frac{P_{r_{izh}}}{P_{r_{vnh}}}; \quad \eta_g = \frac{P_{g_{izh}}}{P_{g_{vnh}}}; \quad \eta_o = \frac{P_{o_{izh}}}{P_{o_{vnh}}}.$$

Z namenom, da dobimo izkoristek sistema, zmnožimo med seboj leve in desne strani enačb za izkoristek posameznega pretvornika ter produkta izenačimo:

$$\eta_t \cdot \eta_r \cdot \eta_g \cdot \eta_o = \frac{P_{t_{izh}}}{P_{t_{vnh}}} \cdot \frac{P_{r_{izh}}}{P_{r_{vnh}}} \cdot \frac{P_{g_{izh}}}{P_{g_{vnh}}} \cdot \frac{P_{o_{izh}}}{P_{o_{vnh}}}.$$

Upoštevajmo, da so pretvorniki in prenosne poti energije v zaporedni navezi, in zato velja, da je izhodna moč predhodnega člena enaka vhodni moči naslednjega člena:

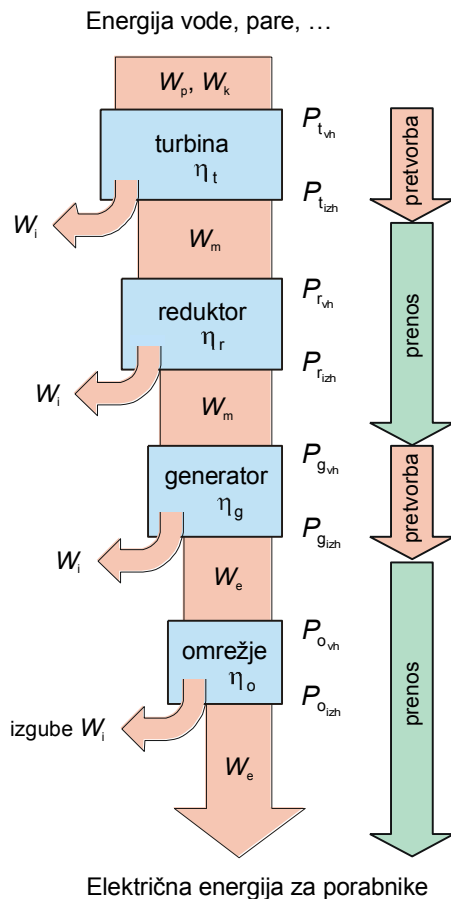
$$P_{t_{izh}} = P_{r_{vnh}}; \quad P_{r_{izh}} = P_{g_{vnh}} \quad \text{in} \quad P_{g_{izh}} = P_{o_{vnh}}.$$

Desno stran predhodne enačbe lahko torej s krajšanjem poenostavimo v obliko:

$$\eta_t \cdot \eta_r \cdot \eta_g \cdot \eta_o = \frac{P_{o_{izh}}}{P_{t_{vnh}}}$$

Ker je z razmerjem moči na izhodu in vходу sistema podan izkoristek sistema, lahko zapišemo splošno enačbo za njegov izkoristek:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \dots \cdot \eta_n$$



⇒ Izkoristek sistema pretvornikov in prenosnih poti energije je določen s **produktom izkoristkov** posameznih **pretvornikov** in **prenosnih poti** energije.

Primeri:

1. S črpalko, ki jo poganja elektromotor, načrpamo v 1 uri 80 m³ vode v bazen, ki leži 50 m nad gladino črpanja. Kolikšna je koristna moč motorja, če je izkoristek črpalke 0,74?

Potrebno mehansko delo črpalke za dvig vode:

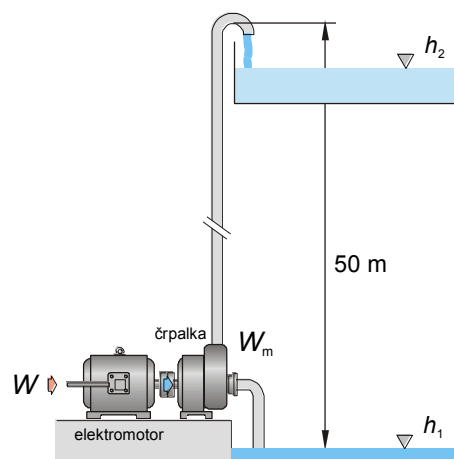
$$W_{m\check{c}} = m \cdot g \cdot \Delta h = 80 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 50 \text{ m} = 40 \cdot 10^6 \text{ Nm.}$$

Potrebna mehanska moč črpalke:

$$P_{m\check{c}} = \frac{W_m}{t} = \frac{40 \cdot 10^6 \text{ Nm}}{1 \text{ h}} = \frac{40 \cdot 10^6 \text{ Ws}}{3,6 \cdot 10^3 \text{ s}} = 11,1 \cdot 10^3 \text{ W} = 11,1 \text{ kW.}$$

Potrebna moč motorja:

$$\eta_{\check{c}} = \frac{P_{m\check{c}}}{P_{mm}} \Rightarrow P_{mm} = \frac{P_{m\check{c}}}{\eta_{\check{c}}} = \frac{11,1 \text{ kW}}{0,74} = \mathbf{15 \text{ kW.}}$$



2. Elektromotor transportnega traku (slika pri prejšnji nalogi), ki se giblje s hitrostjo 1,25 m/s, ima električno moč 20 kW. Kolikšna je vlečna sila traku, če je izkoristek prenosa moči z motorja na trak 0,8, izkoristek elektromotorja pa 0,85. Kolikšno električno delo in kolikšno koristno delo traku bo opravljeno v času 5 ur?

Izkoristek sistema:

$$\eta = \eta_m \cdot \eta_{pr} = 0,85 \cdot 0,8 = 0,68.$$

Moč in vlečna sila transportnega traku:

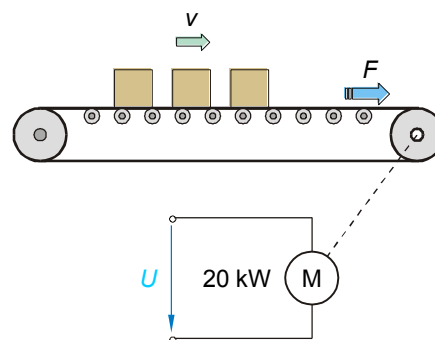
$$\eta = \frac{P_{tr}}{P} \Rightarrow P_{tr} = \eta \cdot P = 0,68 \cdot 20 \text{ kW} = 13,6 \text{ kW,}$$

$$P_{tr} = F \cdot v \Rightarrow F = \frac{P_{tr}}{v} = \frac{13,6 \text{ kW}}{1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = \mathbf{11,3 \text{ kN.}}$$

Koristno delo in pot traku:

$$\eta = \frac{W_{tr}}{W} \Rightarrow W_{tr} = \eta \cdot W = 0,68 \cdot 1 \text{ kWh} = 0,68 \text{ kWh,}$$

$$W_{tr} = F \cdot s \Rightarrow s = \frac{W_{tr}}{F} = \frac{0,68 \cdot 3,6 \cdot 10^3 \text{ kNm}}{11,3 \text{ kN}} = \mathbf{216 \text{ m.}}$$



3. Osebno dvigalo stolpnice se pri obremenitvi 5000 N (teža kabine je kompenzirana s protiutežmi) dviga s hitrostjo 1,2 m/s. S kolikšno močjo je obremenjeno električno omrežje, če je izkoristek elektromotorja 0,85 in izkoristek dviganja 0,75?

Izkoristek sistema:

$$\eta = \eta_m \cdot \eta_{dv} = 0,85 \cdot 0,75 = 0,64.$$

Mehanska in električna moč dviganja:

$$P_{dv} = F \cdot v = 5000 \text{ N} \cdot 1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 6000 \text{ W,}$$

$$\eta = \frac{P_{dv}}{P} \Rightarrow P = \frac{P_{dv}}{\eta} = \frac{6 \text{ kW}}{0,64} = \mathbf{9,37 \text{ kW.}}$$

NALOGE:

1. Žarnica z nazivnima podatoma 230 V / 100 W je vključena 4 ure in 12 min. Izračunaj tok skozi žarnico in opravljeno električno delo! (0,435 A; 0,42 kWh)
2. Sesalnik za prah z nazivno močjo 700 W je dnevno vključen 10 min. Kolikšno delo opravi v enem letu (365) dni? (42,6 kWh)
3. Kolikšno delo opravi električni tok v gospodinjstvu v enem mesecu (30 dni), če so porabniki vključeni takole:
 - žarnice s skupno močjo 600 W po 1,2 uri dnevno,
 - likalnik z nazivno močjo 1 kW povprečno 0,25 ure dnevno,
 - grelnik vode 1,5 kW po 3 ure dnevno,
 - štedilnik s skupno močjo 3 kW po 2 uri dnevno. (344 kWh)
4. Skozi navitje elektromagneta teče pri napetosti 230 V tok 7,2 A. Kolikšna je električna moč magneta? (1,66 kW)
5. Pri prvem odčitavanju števec kWh je bilo stanje na številčnici VT 1237,8 kWh, na številčnici MT pa 837,1 kWh. Kolikšno električno delo je bilo opravljeno po treh mesecih in koliko ga moramo plačati, če je novo stanje števca na številčnici VT 1582,3 kWh in na številčnici MT 1039,4 kWh? Upoštevaj dejansko ceno kWh v preteklih mesecih! (546,8 kWh)
6. Električni spajkalnik z nazivnima podatoma 230 V / 60 W priključimo na omrežno napetost, katere velikost je le 210 V. Kolikšna je dejanska moč spajkalnika? (50 W)
7. Kolikšna je upornost grelnika električnega kuhalnika, priključenega na napetost 230 V, če smo v uri in pol ugotovili na števcu kWh spremembo stanja za 0,2 kWh? (397 Ω)
8. S kolikšno močjo obremenjuje električno omrežje elektromotor, katerega koristna moč je 10 kW in izkoristek 0,85? (11,8 kW)
9. Koristna moč transformatorja je 50 MVA, izkoristek pa 0,98. Kolikšne so dnevne izgube električne energije pri polni obremenitvi transformatorja? (24 MVAh)
10. Z električno grelni ploščo, katere električna moč je 2,2 kW, segrejemo 2,5 l vode v 9 minutah s 5 °C na 68 °C. Kolikšen je izkoristek segrevanja? (46,6 %)
11. V električni žarilni peči, katere izkoristek je 0,65, segrejemo 5 kg jekla s 20 °C na 700 °C. Kolikšen je čas segrevanja, če je priključna moč peči 4 kW? (~ 11 min)
12. Priključna moč 10-litrskega grelnika vode je 2000 W. Napolnimo ga z vodo iz vodovoda (11 °C), regulator temperature pa nastavimo na 52 °C. Kolikšen je izkoristek segrevanja vode, če regulator izklopi grelnik vode po 16 min? (89 %)
13. Izračunaj moč, tok in upornost električnega grelnika, ki v času 0,5 h pri napetosti 230 V in izkoristku 0,9 segreje 10 l vode z 10 °C na 90 °C! (2,07 kW; 9 A; 25,5 Ω)
14. Hladilno telo iz aluminija z maso 0,6 kg se ohladi s 120 °C na 30 °C. Koliko toplote odda pri tem v prostor? (49,68 kJ)
15. Koliko toplote odda dnevno okolici bakreni vod dolžine 100 m s prerezom posameznega vodnika 1,5 mm², če teče skozi vodnika tok 10 A? (5,52 kWh)
16. Skozi bakreno zbiralko pravokotnega prereza z višino 120 mm in debelino 10 mm teče tok 2000 A. Kolikšna je gostota toka v zbiralki? (1,66 · 10⁶ A/m²)
17. Skozi navitje tuljave bo tekla tok do 1,35 A. Kolikšen mora biti preoz vodnika navitja, če naj gostota toka ne preseže 3,5 A/mm²? (0,385 mm²)
18. Električnemu porabniku z nazivnim tokom 30 A dovajamo električno energijo po krajšem, v inštalacijsko cev v zidu položenem dvožilnem Cu kablju. Določi potreben preoz vodnikov v kablju! (4 mm²)
19. Termoakumulacijsko električno peč z močjo 4,5 kW želimo priključiti na omrežno napetost 230 V s krajšim, trižilnim, ob zidu prosto ležečim Cu kablom. Kolikšen mora biti preoz vodnikov kabla? (2,5 mm²)
20. Na višini 150 m nad elektrarno je akumulacijsko jezero z 1.500.000 m³ vode. Koliko energije je akumulirane v razpoložljivi vodi? (625 MWh)
21. Kolikšna je koristna moč črpalke, ki dvigne 25 m³ vode v minuti 20 m visok (83,3 kW)
22. Kolikšna je priključna moč elektromotorja črpalke, ki načrpa 90 m³ vode v 2 urah 9 m visoko? Izkoristek motorja je 90 %, črpalke pa 68 %! (1,8 kW)
23. Skozi turbino hidroelektrarne teče z višine 19 m vsako sekundo 110 l vode. Kolikšno moč oddaja generator, če je izkoristek turbine 73 %, generatorja pa 89 %? (13,32 kW)