



**Rafbók**



# **Rafmagnsfræði**

## **Kafli 10 Raforka -vinna**

---

**Rafmagnsfræði Kafli 10 Raforka - vinna**

---

Þetta hefti er án endurgjalds á rafbókinni.

[www.rafbok.is](http://www.rafbok.is)

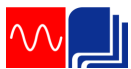
Allir rafiðnaðarmenn og rafiðnaðarnemar geta fengið aðgang án endurgjalds að rafbókinni.

Höfundur er Einar H. Ágústsson

Umbrot: Ísleifur Árni Jakobsson

Heimilt er að afrita textann til fræðslu í skólum sem reknir eru fyrir opinbert fé án leyfis höfundar eða Rafmenntar, fræðsluseturs rafiðnaðarins. Hvers konar sala á textanum í heild eða að hluta til er óheimil nema að fengnu leyfi höfundar og Rafmenntar.

Vinsamlegast sendið leiðréttingar og athugasemdir til  
Báru Laxdal Halldórsdóttur á netfangið [bara@rafmennt.is](mailto:bara@rafmennt.is)



---

**Rafmagnsfræði Kafli 10 Raforka - vinna**

---

**Efnisyfirlit**

10. Raforka - vinna .....	3
Spurningar og æfingadæmi úr 10. kafla:.....	14
Svör við dæmum í 10 kafla: .....	16

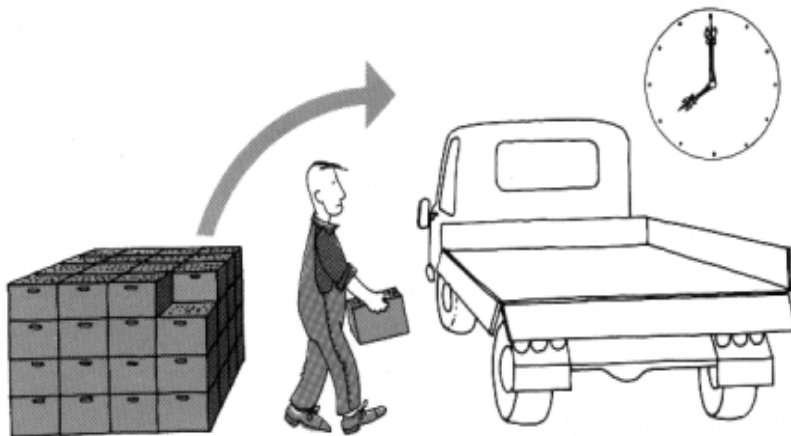
## 10. Raforka - vinna

Rafmagnsafl er eins og áður er sagt margfeldi straums og spennu og þar sem gildi straumsins er miðað við rafeindastreymi í eina sekúndu miðast aflið líka við tímann eina sekúndu. Til þess að framkvæma vinnu þurfum við oftast lengri tíma t.d. mínútur eða klukkustundir.

Raforka er margfeldi rafmagnsafls og tíma, eða m.ö.o. raforka er rafmagnsafl í tíma. Formúla fyrir raforku er því:

$$W = U \cdot I \cdot t \text{ eða } W = P \cdot t$$

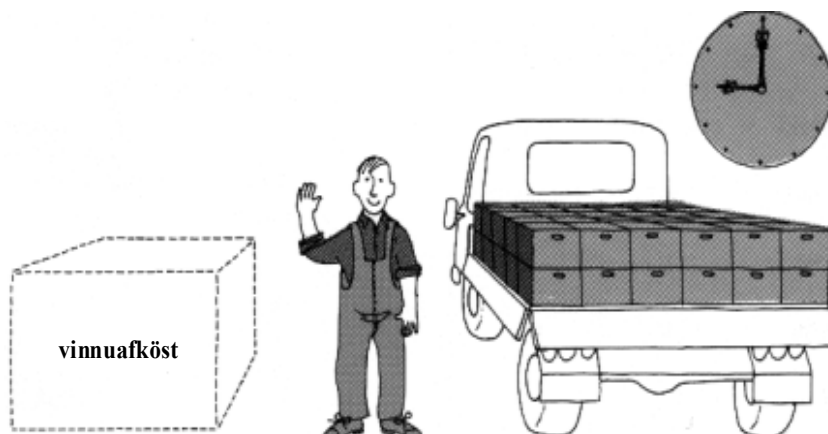
W stendur fyrir orku, P fyrir afl og t fyrir tíma.



---

**Rafmagnsfræði Kafli 10 Raforka - vinna**

---



Mynd 10.1-2

Vinna er framkvæmd þegar afl er notað í einhvern ákveðinn tíma eins og sýnt er á myndum 10.1-2.

Maðurinn hleður flutningabílinn á einni klukkustund og notar til þess eigið afl.

Þegar einingin klukkustund er notuð í orkuformúlunni breytist formúlutáknið  $t$  fyrir tíma í  $h$ .

Einingin verður wattstund.

$$W = P \cdot h \text{ [Wh]}$$

Sekúnda er smæsta tímaeining sem notuð er í formúluna. Ef sett eru wött fyrir aflið verður mælieiningin Wattsekúnda (ws), sem einnig nefnist **Joule** og er smæsta orkueiningin.

$$W = P(W) \cdot s(\text{sek.}) \text{ [wattsek. (Ws)]}$$

Afleiningin eitt watt er í raun eitt Watt í eina sekúndu eða ein wattsekúnda, svo þar koma saman hugtökin rafmagnsafl og raforka.

---

**Rafmagnsfræði Kafli 10 Raforka - vinna**

---

**Varast skal að rugla saman annars vegar formúlutákninu  $W$  fyrir raforku og hinsvegar skammstöfuninni  $W$  (watt) sem er mælieining fyrir afl.**

1 Terawattstund	TWh	1 000 000 000 000 Wh	$10^{12}$	Heildarorkuvinnsla landsins á ári
1 Gígawattstund	GWh	1 000 000 000 Wh	$10^9$	Heildarorkuvinnsla virkjana á ári
1 Megawattstund	MWh	1 000 000 Wh	$10^6$	Raforkunotkun stórnotenda
1 Kílówattstund	kWh	1 000 Wh	$10^3$	Raforkunotkun almennt
1 Wattstund	Wh	3600Ws (Joule)	$10^0$	Raforkunotkun raftækja
1 Wattsekúnda	Ws	1 Joule		Raforkunotkun rafeindarása

Tafla 10.1

Tafla 10.1 sýnir þær einingar sem notaðar eru yfir raforku, mest notaða einingin er kílówattstund (kWh) sem er almennt notuð til orkumælinga hjá rafveitum. Við útreikninga í orkueiningunni kílówattstund er aflið sett inn í formúluna í wöttum og deilt með þúsund eða beint inn í kílówöttum.

eða

$$W = P(kW) \cdot h [kWh]$$

Við útreikninga á kostnaði við raforkunotkun þarf að vera fyrir hendi verð á raforkueiningu eða með öðrum orðum verð frá orkuveitu á kílówattstund (kWh) að meðtöldum virðisaukaskatti. Formúlan verður þá:

$$Kostnaður = P(kW) \cdot h \cdot \frac{kr}{kWh} [kr]$$

Þegar rafstraumur fer eftir leiðara myndast varmi. Eins og fyrr er getið er það vegna árekstra rafeinda við frumeindir efnisins. Varminn sem myndast er í réttu hlutfalli við stærð straumsins og spennunnar.

---

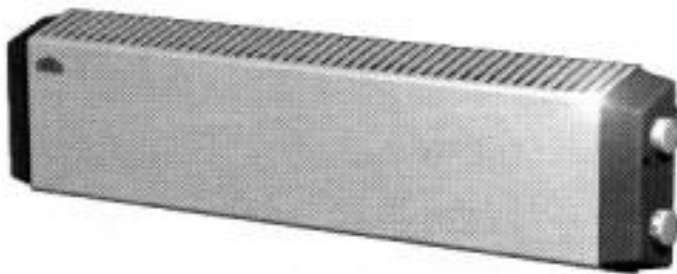
## Rafmagnsfræði Kafli 10 Raforka - vinna

---

Við flutning á raforku breytist alltaf nokkur hluti hennar í varma í leiðurum. Þetta orkutap er auðvitað óæskilegt í leiðurum og reynt er að halda því í lágmarki með því að hafa leiðara nægilega gilda og úr vel leiðandi efnum (lágt eðlisviðnám).

Raforka er mikið notuð til varmaframleiðslu og algengasta aðferðin er að leiða rafstraum í gegnum hitald.

Hitald (hitaelement) er búið til úr leiðara sem hefur mun hærra eðlisviðnám heldur en venjulegir straumleiðarar. Þegar straumur fer um slíkt efni verða miklu fleiri árekstrar rafeinda við frumeindir efnisins og það hitnar því miklu meira. Orka hefur þá breytt um form, raforka hefur breyst í varmaorku.



Rafmagnspílofn

Mynd 10.3

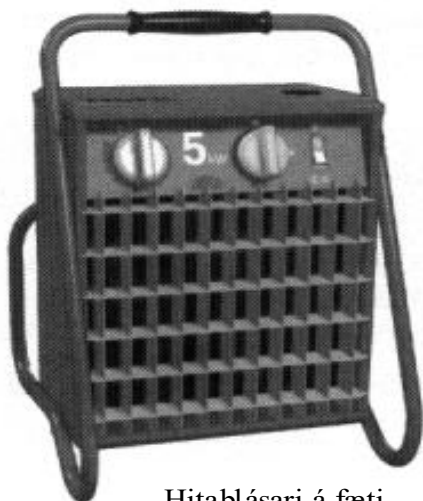
Margar tegundir eru til af rafmagnshitatækjum sem hafa hitald, t.d. rafofnum sem hita andrúmsloftið, brauðrist, vatnshiturum, olíuhiturum, eldavélum o.fl.. Hitöld þessara tækja hitna um mörg hundruð gráður á Celsíus, og eru því úr efnum sem hafa hátt bræðslumark t.d. mangan, kanthal, konstantan o.fl.

---

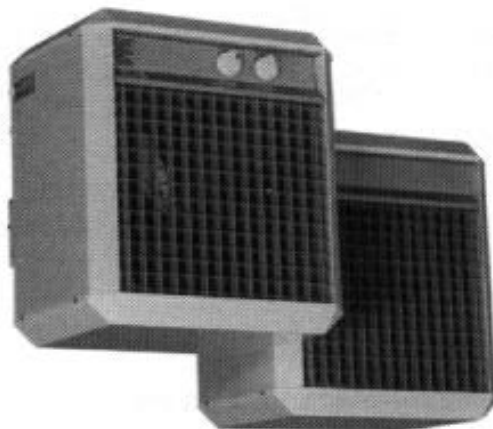
## Rafmagnsfræði Kafli 10 Raforka - vinna

---

Auk þess að hafa hærra eðlisviðnám heldur en hin venjulegu leiðaraefni (eir og ál), hafa þau mjög lágan hitastuðul ( $\alpha$ ). Það þýðir að rafviðnám þeirra breytist lítið við hitabreytingu. Þetta er kostur, því ef viðnám hitalds breytist mikið með hita breytist einnig straumur þess og afl.



Hitablásari á fæti



Hitablásarar á vegg

Mynd 10.4

Rafmagnsofn sem er notaður til þess að hita andrúmsloft í ákveðnu rými, breytir allri þeirri raforku sem til hans er flutt í varma. Það má segja að hann hafi 100% nýtni, því fyrr eða síðar fer sá varmi sem í honum myndast út í andrúmsloftið.

Aðflutt raforka verður jöfn afgefnun varma ( $W_1 = W_2$ ).

Þilofnar eru ætlaðir til upphitunar húsnæðis, hér á landi helst á svæðum sem ekki nýtur hitaveitu.

Afl þeirra er misjafnt eftir stærð rýmis sem þeir eru staðsettir í, en þeir eru yfirleitt framleiddir upp í 1500 W. Hitablásarar eru sambyggð rafhitöld og mótór með viftuspaða og eru mun fljótari að skila varmanum til umhverfisins heldur en þilofnar. Afl hitablásara er mun meira en þilofna eða allt að 15 kW.



---

## Rafmagnsfræði Kafli 10 Raforka - vinna

---

Notkunarstaðir eru helst stórir vinnustaðir og algengt er að nota þá til bráðabrigða t.d. við bygginga-framkvæmdir.



Geislahitari (innrautt ljós)

Mynd 10.5

Geislahitarar sem varpa frá sér innrauðum geislum eru algengir til notkunar utanhúss eða t.d. í garðhúsum eða yfirbyggðum svölum. Þeir varpa frá sér innrauðum geislum sem verma þann hlut sem þeir lenda á, en hita ekki beint andrúmsloftið.

CE-merking á raftækjum eins og t.d.

rafmagnshitatækjum þýðir að varan stenst tæknilegar kröfur Efnahagsbandalags Evrópu (ESB).

Sýnidæmi

### 10.1

Rafmagnsofn er tengdur 23 V spennu og tekur 6,522 A.

Hve mikinn varma gefur hann af sér á klst.?

Lausn

Orkan sem ofninn tekur frá neti er:

$$W_1 = U \cdot I \cdot t = 230 \cdot 6,522 \cdot 1 = 1500 \text{ Wh}$$

eða

$$W_1 = \frac{Wh}{1000} = 1,5 \text{ kWh}$$

---

**Rafmagnsfræði Kafli 10 Raforka - vinna**

---

Ofninn skilar öllum varmanum:

$$W_1 = W_2, \quad W_2 = 1,5kWh$$

**10.2**

Lýsing í skólastofu tekur 1800 W afl frá neti.

Meðalnotkunartími á dag eru 8 klst. og stofan er í notkun 200 daga á ári.

- a) Hve mikil er árleg raforkunotkun?
- b) Hver er orkukostnaðurinn við lýsinguna ef hver kWh kostar 7 kr.

Lausn

- a) Fyrst er að reikna heildar notkunartíma á ári í klst., þ.e. margfalda saman daga og notkunartíma á dag:

$$\text{Notkunartími á ári} = \text{dagar} \cdot \text{klst.} = 200 \cdot 8 = 1600 \text{ klst.}$$

Nú má setja inn í orkuformúluna:

$$W = \frac{P}{1000} \cdot h = \frac{1800}{1000} \cdot 1600 = 2880 \text{ kWh}$$

- b) Kostnaður á ári verður:

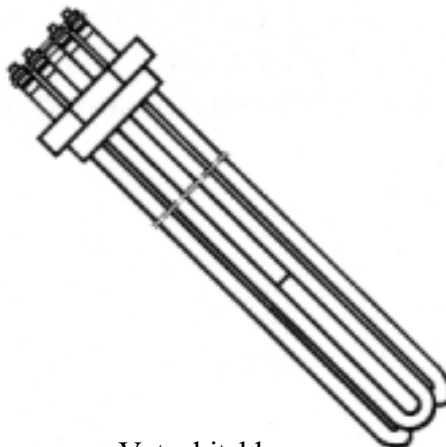
$$\text{Kostn.} = \frac{W \cdot \text{kr}}{\text{kWh}} = 2880 \cdot 7 = 20,160 \text{ kr.}$$

Rafmagnshitarar eru algengir til upphitunar á vatni, en í skipum eru líka hitarar fyrir smurolíu og svartolíu. Þessir hitarar eru gjarnan byggðir með mismunandi fjölda 5kW hitalda eins og sýnt er á mynd 10.6.

---

**Rafmagnsfræði Kafli 10 Raforka - vinna**

---



Vatnshitald

Mynd 10.6

Stórir vatnshitarar í t.d. verksmiðjum eða loðnu-bræðslum eru gjarnan svokallaðir rafskautakatlar. Þeir eru byggðir þannig að þriggja fasa rafskautum er komið fyrir í vatnsrými ketilsins og þegar spenna er sett á þau fer straumur milli þeirra í gegnum vatnið og raforkan breytist í varma í vatninu. Rafskautakatlar hafa háa nýtni sem þýðir talsverðan orkusparnað í afkastamiklum hiturum.

Formúla fyrir varmaorku í vökva er þessi:

$$W = V \cdot c \cdot \gamma \cdot \Delta t$$

Hér er:

$V$  = rúmtak í millilítrum eða lítrum,

$c$  = eðlisvarmi efnis,

$\gamma$  = eðlisþyngd efnis,

$\Delta t$  = hitabreyting í °C.

---

**Rafmagnsfræði Kafli 10 Raforka - vinna**

---

Með tilraunum hefur verið fundið að til þess að hita 1ml af vatni upp um 1°C þarf orkuna 4,167 wattsekúndur (joule).

Út frá þessari staðreynd er fundinn margföldunarstuðull eða fasti ( $k$ ) sem notaður er til þess að fá samanburð á raforkunotkun hitatækis annarsvegar og varmaorku í vökvanum hinsvegar. Ef um lág orkugildi er að ræða eru notaðar stærðar-einingarnar  $W$  (wött), ml (millilítrar), og  $s$  (sek.). Þá verður margföldunarstuðullinn  $k$ :

$$k = \frac{1}{4,167} = 0,24$$

Algengast er að um stærri orkugildi sé að ræða og þá reiknað með lítrum ( $l$ ), wöttum ( $W$ ), og klst ( $h$ ). Stuðullinn (fastinn) verður þá:

$$k = 0,24 \cdot \frac{3600}{1000} = 0,86$$

Þegar verið er að hita vökva tapast alltaf eitthvað af varmanum til umhverfisins, þrátt fyrir e.t.v. góða varmaeinangrun hitatækis. Nýtni slíks hitatækis er ekki 100% eins og þegar um upphitun á andrúmslofti var að ræða, því alltaf tapast nokkuð af varmanum til umhverfisins. Það verður því að gera ráð fyrir nýtni tækisins í orkuformúlunni.

Raforkunotkun hitatækis verður því:

$$W = P \cdot t \cdot k \cdot \eta$$

---

**Rafmagnsfræði Kafli 10 Raforka - vinna**

---

Samanburður á raforku og varmaorku, þar sem  $W_1$  er raforka, en  $W_2$  varmaorka verður:

$$W_1 = W_2$$

$$P \cdot t \cdot k \cdot \eta = V \cdot c \cdot \gamma \cdot \Delta t$$

Sýnidæmi

**10.3**

Hve aflmikið hitald þarf til þess að hita 0,5 l af vatni upp um 20°C, ef nýtni hitatækisins er 0,926 og hitunartími 5 mínútur eða 300 sek.?

Lausn

$$W_1 = W_2$$

$$P \cdot t \cdot k \cdot \eta = V \cdot c \cdot \gamma \cdot \Delta t \Rightarrow$$

$$t = \frac{V \cdot c \cdot \gamma \cdot \Delta t}{P \cdot k \cdot \eta}$$

$$P = \frac{500 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20}{300 \cdot 0,24 \cdot 0,926} = 150 \text{ wött}$$

**Ath. vatnsmagnið er sett inn í millilítrum.**

**10.4**

Hve langan tíma tekur að hita 100 l af vatni upp um 80°C með 10 kW hitatæki sem hefur nýtnina 93%?

Lausn

$$W_1 = W_2$$

$$P \cdot t \cdot k \cdot \eta = V \cdot c \cdot \gamma \cdot \Delta t \Rightarrow$$

$$t = \frac{V \cdot c \cdot \gamma \cdot \Delta t}{P \cdot k \cdot \eta}$$

---

**Rafmagnsfræði Kafli 10 Raforka - vinna**

---

$$t = \frac{100 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 80}{10000 \cdot 0,86 \cdot 0,93} = 1 \text{ klst.}$$

**Ath. að þegar fastinn 0,86 er notaður verður tíminn í klst.**

**10.5**

50 l af vatni eru hitaðir upp í 5 klst. með 800W hitara. Upphafshitastig er 20°C og nýtni hitara 0,85.

Finn lokahitastig vatnsins.

Lausn

$$W_1 = W_2$$

$$P \cdot t \cdot k \cdot \eta = V \cdot c \cdot \gamma \cdot \Delta t \Rightarrow$$

$$\Delta t = \frac{800 \cdot 0,86 \cdot 5 \cdot 0,85}{50 \cdot 1 \cdot 1} = 58,48^\circ\text{C}$$

Þar sem hitaaukningin er fundin má finna lokahitastig með því að leggja hana við upphafshitastigið:

$$t_2 = t_1 + \Delta t = 20 + 58,48 = 78,48^\circ\text{C}$$

---

**Rafmagnsfræði Kafli 10 Raforka - vinna**

---

**Spurningar og æfingadæmi úr 10. kafla:****10.1**

Hver er smæsta orkueiningin og hvernig er hún skammstöfuð?

**10.2**

Í hverju er fólgin mismunur á straumflutningsleiðurum og leiðurum sem notaðir eru í hitöld?

**10.3**

Hvaða orkueining er notuð í smásölu á raforku?

**10.4**

Hversvegna þarf viðnám hitalda helst að vera stöðugt, þrátt fyrir mikla hitabreytingu?

**10.5**

Hvaða hitatæki hafa besta nýtni, og hversvegna?

**10.6**

Lýstu eiginleikum geislahitara.

**10.7**

Hvað nefnast afkastamestu vatnshitararnir og hvernig vinna þeir?

**10.8**

Hve mikinn varma framleiðir 10W mótstaða á 10 mín. miðað við fulla lesun?

Svar í wattsekúndum (Ws).

**10.9**

Sama mótstaða og í dæmi 10.8 er tengd við málspennu í 2 klst.. Hve mikinn varma framleiðir hún?

Svar í wattstundum (Wh).

**10.10**

Rafmagnsofn tekur 9 A við 230 V spennu.

Hve mikil raforka umbreytist í varma á 5 klst.? Svar í kílówattstundum (kWh).

---

**Rafmagnsfræði Kafli 10 Raforka - vinna**

---

**10.11**

Í skólastofu eru 8 stk. lampar sem eru í notkun 1000 klst. á ári. Hver lampi notar 120 W afl.

Hvað kostar þessi lýsing á ári ef ein kWh kostar 7 kr.

**10.12**

Nokkrar hitamótstöður eru tengdar 230 V spennu og taka 25 A. Þær eru í notkun í 2500 klst. á ári.

- a) Hve mikla raforku nota þær á ári?
- b) Hver er kostnaðurinn á ári ef ein kílóvattstund kostar 5 kr.

**10.13**

Í fiskibáti eru þrjú rafgeymasett. 12 V 120 Ah ræsigeymar, 12V 160Ah geymar fyrir neyslukerfi og 24 V 200 Ah rafgeymar fyrir færarúllur.

Hve mikil raforka er fyrir hendi ef öll rafgeymasettin eru fullhlaðin?

**10.14**

0,8 líter af vatni er hitaður í potti á eldunarhellu úr 0°C í suðumark á 6 mín..

Hvert er afl hellunnar ef 75% af því nýttast í upphitunina?

**10.15**

Eldunarhella er merkt 1200 W. 88% af afli hennar nýttast í að hita 8 lítra af vatni í potti. Upphafshitastig vatnsins er 4°C.

Hve langan tíma tekur að hita vatnið í suðumark?

**10.16**

5k W hitatúpa er notuð til þess að hita upp 15 lítra af vatni, sem hefur upphafshitastig 20°C.

Nýtni hitarans er 95%.

Hve heitt er vatnið eftir 12 mín. upphitun?

**10.17**

Hve marga lítra af vatni getur hitarinn í dæmi 10.16 hitað upp um 80°C (frá 20° í 100°) á 24 mínútum?



---

**Rafmagnsfræði Kafli 10 Raforka - vinna**

---

**Svör við dæmum í 10 kafla:**

10.8	6000 Ws, 6 k.joule
10.9	20 Wh
10.10	10,35 kWh
10.11	kr. 6.720
10.12	14,375 Mwh
10.13	8,16 kWh
10.14	1240,3 W
10.15	0,84 klst, 50 mín 4,2 sek.
10.16	$\Delta t$ 0 54,5°C, $t_2 = 74,5^\circ\text{C}$
10.17	20,4 lítrar