

Kafli 6. Rafleiðarar



# Verkmenntaskólinn á Akureyri

2022

Verkmenntaskólinn á Akureyri  
Rafdeild



## Efnisyfirlit

6. Rafleiðarar .....	3
Málmar. ....	3
Einangrarar .....	4
Eðlisleiðni.....	6
Viðnám í leiðurum.....	6
Áhrif hita á málmleiðara .....	9



## 6. Rafleiðarar

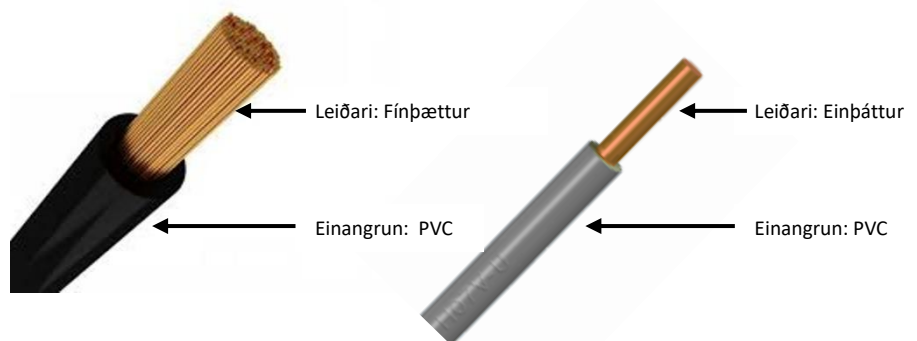
### Málmar.

Efni hafa mismunandi fjölda óbundinna eða frjálsra rafeinda. Að efni hafi frjálsar rafeindir er forsenda þess að það geti leitt rafstraum. Út frá þessu eru efni flokkuð í fjóra flokka með tilliti til rafleiðni þeirra.

Málmar eru þau frumefni sem hafa tiltölulega flestar óbundnar rafeindir og þar að auki er gott rými milli frumeindanna sem frjálsar rafeindir geta ferðast í hindrunarlítið. Þessi efni eru því góðir rafleiðarar. Þegar rafstraumur fer eftir leiði af 1. flokki hreyfast eingöngu rafeindir.

Silfur er sá málmur sem best leiðir rafstraum og er það mikið notað í rafiðnaði, t.d. í bræðivörum og einnig er algengt að rafleiðnihlutar aflrofa séu silfurhúðaðir.

Eir er næstbesti leiðarinn, en sá sem er mest notaður í rafleiðara, vegna þess að hann er mun ódýrari en silfur. Eirinn hefur líka þá kosti að auðvelt er að framleiða úr honum þráð, hann er sveigjanlegur, hann tærist ekki og hann tekur vel tinlóðningu.



Mynd 6.1



Þriðji besti leiðarinn er gull. Gull er helst notað á snertifleti t.d. á tölvuáhlutum s.s. minniskort en einnig á tengi á köplum t.d. HDMI og ýmsum hljóð snúrum.

Ál er fjórði besti leiðarinn, Kostir áls sem leiðara eru nýttir í framleiðslu loftlínu- og jarðstrengja. Léttleiki álsins gerir það sérstaklega vinsælt í loftlínunum, en þá er oft nauðsynlegt er að styrkja það með burðarvír úr stáli. Einn helsti kostur álsins er þó sá að það er mun ódýrara en eir.

Allar málmblöndur eru verri leiðarar en hreindir málmar, og eru t.d. oft notaðir í hitöld (element), þar sem talsvert viðnám er æskilegt. Sjá töflu 4.1 yfir eðlisviðnám, á bls. 4.1.

## Einangrarar



Mynd 6.2  
Einangrarar á  
háspennulínu

Í svonefndum einangrunarefnum eru rafeindirnar fastbundnar kjörnunum og svo til engar frjálsar rafeindir fyrir hendi. Við venjulegar aðstæður leiða þessi efni ekki rafstraum, þó segja megi að öll efni leiði rafstraum ef spennan yfir það verður nógu há.

Dæmi um algenga einangrara:

Plast

Pappír

Gler

Postulín

Plast

Lakk,

Gúmmí

## Eðlisviðnám

Eðlisviðnám efnis er það viðnám sem er í einum lengdarmetra af efni sem er einn fer millimetri að



Þverflatarmáli við 20° Celsíus.

Viðnám í eirleiðara af þessari tilteknu stærð er 0,0178  $\Omega$  við 20°C. Sjá töflu 4.1.

Það skiptir því meginmáli úr hvaða efni rafleiðari er, því það ræður miklu um viðnám hans. Leiðari úr jární hefur t.d. um sjö sinnum meira viðnám heldur en samsvarandi leiðari úr eir, eða með öðrum orðum, eðlisviðnám járn er sjö sinnum stærra en eirs.

<b>Rafleiðnieiginleikar málma:</b>			
	<b>Eðlisviðnám:</b>	<b>Eðlisleiðni:</b>	<b>Hitastuðull:</b>
	$\rho$ (hró)		$\alpha$ (alfa)
Silfur	0,0167	60	0,0041
Eir	0,0178	56	0,0039
Gull	0,022	45,7	0,00398
Ál	0,0278	36	0,004
Wolfram	0,055	18,2	0,0046
Zink	0,0625	16	0,0042
Nikkel	0,095	10,5	0,0055
Járn	0,1	10	0,00657
Platína	0,098	10,2	0,0038
Blý	0,208	4,8	0,00422
Manganín	0,43	2,33	0,01
Konstantan	0,49	2,04	0,04
Kvikasilfur	0,9406	1,063	0,0009

Tafla 6.1

Tafla 6.2

Tafla 6.3



## Eðlisleiðni

Eðlisleiðni efna er í öfugu hlutfalli við eðlisviðnám þeirra eða  $1/\rho$  og einingin er Siemens. Í töflu 4.2 er sýnd eðlisleiðni þeirra sömu málmtegunda sem hafa uppgengið eðlisviðnám í töflu 6.1.

Eðlisleiðni silfurs sem er besti leiðarinn reiknast því einn deilt með eðlisviðnámi þess, eða  $1 / 0,0167 = 60$  siemens.

Eins og sjá má af töflunni er sá málmur sem hefur besta rafleiðni settur efstur og síðan í röð niður eftir leiðni.

## Viðnám í leiðurum

Hugtakið viðnám var útskýrt í 3.kafli á bls. 6, en hér verður sérstaklega fjallað um viðnám í rafleiðurum. Viðnám í leiðara fer eftir lengd hans og gildleika, en líka eftir því hvaða efni er í leiðaranum og hitastigi.



Sver leiðari, lítið viðnám.



Stuttur leiðari, lítið viðnám.



Grannur leiðari, meira viðnám.



Langur leiðari, meira viðnám.

Ef við tökum fyrst fyrir lengd leiðara, þá gefur auga leið að árekstrar frjálsra rafeinda við frumeindir og aðrar frjálsar rafeindir, hljóta að verða fleiri í löngum leiðara en stuttum. Hinsvegar því sverari sem leiðarinn er, því meira rými hafa þessar frjálsu rafeindir til að ferðast í og því minna viðnám hefur leiðarinn.



Viðnámið hlýtur líka að fara eftir efninu sem er í leiðaranum, því eins og áður er sagt hafa hin ýmsu efni mismikið magn frjálsra rafeinda og mismunandi eðlisviðnám.

Viðnám í leiðara í eykst í réttu hlutfalli við hitastig hans og því er sett fram eftirfarandi líking fyrir viðnámi sem er miðuð við hitastigið + 20 gráður á Celsius:

Mælieiningin eitt ohm ( $\Omega$ ) er skilgreind á eftirfarandi hátt:

Kvikasilfurssúla sem er 1 mm<sup>2</sup> að þverflatarmáli og er 1,063m að lengd hefur viðnámið 1 ohm við 0°C.

$R$  = viðnám

$l$  = heildarlengd leiðarans í metrum

$A$  = þverflatarmál leiðarans í mm<sup>2</sup>

$\rho$  (hró) = eðlisviðnám efnis

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad [\Omega]$$

Í rafmagnsfræðidæmum eru formúlur alltaf settar upp og snúið ef þörf er á í bókstöfum, síðan eru tölugildin sett inn.

Góð regla er að tvískrika alltaf undir lokasvar.

Uppsetningu á dæmum má sjá í sýnidæmunum á næstu síðu.

**Sýnidæmi 6.1**

Reiknaðu viðnámið í eirþræði sem er 200 m og hefur þverflatarmálið 2,5 mm<sup>2</sup>.

**Lausn:**

Í Töflu 6.1 er að finna eðlisviðnám eirs sem er  $\rho = 0,0178$  Viðnám þráðarins reiknast:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{0,0178 \cdot 200}{2,5} = 1,424 \Omega$$

**Sýnidæmi 6.2**

Það á að vinda spólu með 20 ohma viðnám úr þræði sem hefur eðlisviðnámið 0,4 og er 0,8 mm<sup>2</sup> að þverflatarmáli.

Hve langan þráð þarf í spóluna?

**Lausn:**

Við notum sömu líkingu og áður en nú á ekki að finna stærðina R heldur stærðina l. Því þarf að snúa jöfnunni.

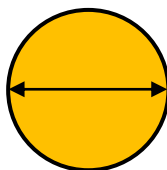
$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \Rightarrow l = \frac{R \cdot A}{\rho} = \frac{20 \cdot 0,8}{0,4} = 40 \text{ m}$$

**Sýnidæmi 6.3**

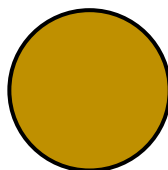
Hve mikið er viðnámið í eirþræði sem er 628 m langur og 2 mm í þvermál (d)?

**Lausn:**

Athuga skal að gefið er upp þvermál leiðarans en í líkinguna fyrir viðnám verður að nota þverflatarmál leiðarans. Því verður að byrja á að finna þverflatarmál hans.



Þvermál (d) í mm.

Þverflatarmál (A) í mm<sup>2</sup>

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 2^2}{4} = 3,14 \text{ mm}^2$$





Viðnámið reiknast síðan:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{0,0178 \cdot 628}{3,14} = 3,56 \Omega$$

### Sýnidæmi 6.4

Hve stórt þverflatarmál hefur 100 m langur eirþráður sem hefur viðnámið 0,4 ohm?

Lausn:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \Rightarrow A = \frac{\rho \cdot l}{R} = \frac{0,0178 \cdot 100}{0,4} = 4,45 \text{ mm}^2$$

### Áhrif hita á málmleiðara

Það eru nokkur atriði sem hafa áhrif á viðnám rafleiðara.

Hér á undan hefur verið minnst á lengd, sverleika og efni, en hreinleiki efnis, hvernig það hefur verið meðhöndlað (valsað, dregið o.s. frv.) hefur líka áhrif á viðnámið.

Í málmum eykst viðnámið örlítið við hverja gráðu sem efnið hitnar. Þessi örlitla stærð er kölluð hitastuðull efnisins og er táknuð með gríska stafnum  $\alpha$  (alfa).

Þetta segir í raun að við hverja gráðu celsíus sem efnið hitnar eykst rafviðnám þess í ohmum um það gildi sem gefið er upp sem hitastuðull.

Sjá töflu 6.3 á bls. 5 yfir hitastuðla nokkurra málmtegunda.



Nokkrar málmblöndur t.d. konstantan og manganín hafa hitastuðulinn svo að segja núll. Þessi efni henta vel þar sem þörf er fyrir viðnám sem breytist ekki með hitasveiflum, eins og t.d. í mælitækjum.

Sá eiginleiki efna að breyta viðnámi sínu í hlutfalli við hitastig, gerir þau hæf til notkunar sem hitaskynjara fyrir rafmagnshitamæla o.fl.. Til þess eru framleiddar svokallaðar eiginbreytilegarmótstöður, sem hafa ýmist neikvæðan eða jákvæðan hitastuðul (NTC, PTC). Þetta þýðir að í NTC-mótstöðunni minnkar viðnám við aukinn hita en eykst hinsvegar í PTC-mótstöðunni.

Í ýmsum raftækjum er notaður leiðari með hærra eðlisviðnám heldur en í rafleiðurum til straumflutnings, eins og t.d. wolfram ( $\rho = 0,055$ ) í ljósaperum og konstantan ( $\rho = 0,5$ ) í elementum (hitöldum). Í þeim tilfellum er æskilegt að mynda tiltölulega hátt viðnám (R).

Áhrif hita á leiðara geta verið mikil og breytileg. Bæði getur verið breyting á umhverfishita leiðarans af utanaðkomandi orsökum og svo hitnar leiðarinn vegna straumflutnings um hann. Í rafleiðurum sem flytja straum til notanda er æskilegast að viðnámið sé sem minnst og þar af leiðandi minni varmamyndun í leiðaranum.

Við útreikninga á viðnámsbreytingu við hitabreytingu eru notuð eftirtalin líkingatákn:

$R_{t1}$  = viðnám við upphafshitastig.

$R_{t2}$  = viðnám við lokahitastig.

$t_1$  = upphafshitastig.

$t_2$  = lokahitastig.

$\Delta t$  (Delta t) = hitastigsbreyting.

$\alpha$  (alfa) = hitastuðull efnis.



Ef viðnám í leiðara er  $R_{t_1}$  við hitastigið  $t_1$  og hitinn vex

um  $\Delta t$  gráður C upp í hitastigið  $t_2$ , verður viðnámið  $R_{t_2}$  eftir hitaaukninguna:

$$R_{t_2} = R_{t_1} + R_{t_1} \cdot \alpha \cdot \Delta t \text{ eða}$$

$$R_{t_2} = R_{t_1} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

Þessa jöfnu má til dæmis nota til þess að reikna hitastigsaukningu ( $\Delta t$ ) í spólum, spennum, mótorum o.fl. tækjum.

### Sýnidæmi 6.5

Eirþráður hefur viðnámið  $1 \Omega$  við  $20^\circ\text{C}$ .

Finnið viðnámið við  $80^\circ\text{C}$ .

### Lausn:

Í töflu 6.3 má finna að hitastuðullinn  $\alpha$  fyrir eir er 0,0039.

Gefið er upp að  $t_1$  er  $20^\circ\text{C}$  og  $t_2$  er  $80^\circ\text{C}$ .

Þá má finna hitastigsbreytinguna:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 80 - 20 = 60^\circ\text{C}$$

Þá má reikna viðnám við lokahitastig ( $R_{t_2}$ ):

$$R_{t_2} = R_{t_1} + R_{t_1} \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

$$R_{t_2} = 1 + 1 \cdot 0,0039 \cdot 60 = 1,234 \Omega$$

Ath. liðurinn fyrir aftan + táknið í formúlunni er í raun viðnámsaukningin sem síðan er lögð við viðnámið eins og það var fyrir hitastigsaukninguna.



### Sýnidæmi 6.6

Viðnámið í sáturvöfum rafala (eir) mælist  $2 \Omega$  áður en hann er tekinn í notkun. Eftir einnar klst. notkun er viðnámið  $2,4 \Omega$ .

Hve mikið hefur hitinn aukist í vöfum rafalans ( $\Delta t$ ) ?

### Lausn:

Hitastigsaukningin er fundin með jöfnunni:

$$R_{t_2} = R_{t_1} + R_{t_1} \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

Hér þarf að einangra  $\Delta t$  út úr jöfnunni og það er gert á eftirfarandi hátt:

$$R_{t_2} = R_{t_1} + R_{t_1} \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

$$\Rightarrow R_{t_1} \cdot \alpha \cdot \Delta t = R_{t_2} - R_{t_1}$$

$$\Rightarrow \Delta t = \frac{R_{t_2} - R_{t_1}}{R_{t_1} \cdot \alpha} = \frac{2,4 - 2}{2 \cdot 0,0039} = 51^\circ\text{C}$$