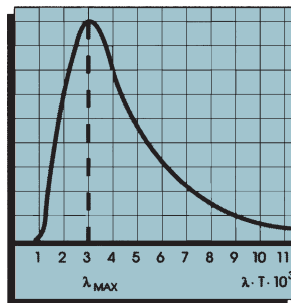




Teknistä tietoa Loval-putkivastuksista

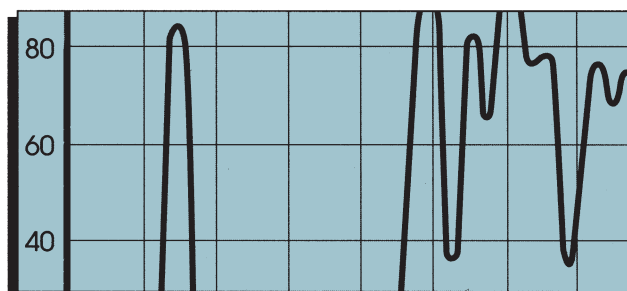
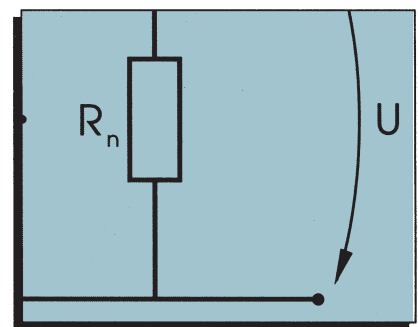
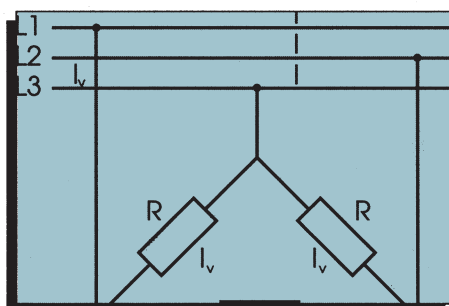


$$R = \rho \frac{1}{A} = \frac{4l}{D^2}$$

$$q = \lambda \frac{A}{d} (T_2 - T_1) t$$

$$\frac{J^2}{(S)} = \bar{R}$$

$$\Delta l = 18 \cdot 10^{-2}/K \cdot 2000 \text{ mm} \cdot 680 \text{ K} =$$



Sisältö

1	Sähkölämpö.....	3
1.1	Lämpö, lämpötila	3
1.2	Ominaislämpö.....	3
1.3	Vastuslämpö.....	3
1.4	Resistanssi ja sen lämpötilariippuvuus	4
1.5	Kiinteiden aineiden fysikaalisia ominaisuuksia	5
1.6	Kaasujen fysikaalisia ominaisuuksia	6
1.7	Nesteiden fysikaalisia ominaisuuksia	6
2	Lämmön siirtyminen, lämpölaajeneminen.....	8
2.1	Johtuminen	8
2.2	Säteilylämmitys.....	8
2.2.1	Yleistä.....	8
2.2.2	Lämpösäteilyn ominaisuuksia	9
2.2.3	Putkivastus säteilylämmityselementtinä	11
2.3.	Putkivastuksen lämpötila.....	12
2.4.	Vastuksen lämpöpitenemä	12
2.5	Kaasujen lämpölaajeneminen.....	13
3	Lämpötehon laskenta.....	14
3.1	Yleistä	14
3.2	Lämpöhäviöt.....	14
4	Vastusten kytkennät	15
4.1	Resistanssi ja teho sarjakytkennässä	15
4.2	Resistanssi ja teho rinnankytkennässä	15
4.3	Vastukset kolmivaihejärjestelmässä 230 V/400 V	16
4.3.1	Tähtikytkentä.....	16
4.3.2	Kolmiokytkentä.....	17



Linnunrata 5
 07900 Loviisa
 Puhelin 019-51 731
 Fax 019-532 955
 Sähköposti: loval@loval.fi
 www.loval.fi

1 Sähkölämpö

1.1 Lämpö, lämpötila Lämpö on eräs energiamuoto. Pohjimmiltaan se on kappaleen tai aineen pienimpien rakenneosien, molekyylien ja atomien liike-energiaa. Siten kappaleen sisältämän lämpöenergian määrä on mainittujen rakenneosien yhteenlaskettu liike-energia.

Lämpötila on eräs aineen tai kappaleen tilaa kuvaava perussuure. Se on yhteydessä kappaleen lämpöenergiaan: lämpötilan noustessa kasvaa myös lämpöenergia. Kappaleen lämpötilan muutoksiin liittyy monenlaisia seurausilmiöitä: lämpölaajeneminen, olomuodon muutokset, sähkönjohtavuuden muutokset jne. Näiden avulla määritellään lämpötila-asteikko ja mitaan lämpötilaa.

Lämpötilan yksikkö on kelvin (K), ja sen avulla ilmaistaan sekä lämpötila että lämpötilaero. Käytännössä lämpötilaa mitataan tavallisesti celsiusasteissa (°C). Näiden kahden asteikon välillä on riippuvuus.

$$\vartheta = T - 273.15 \quad ; \quad \text{jossa } \vartheta = \text{lämpötila } ^\circ\text{C}$$

$$T = \text{lämpötila } \text{K}$$

Edellisen perusteella lämpötilaero saa saman arvon molemmilla asteikoilla.

1.2 Ominaislämpö Aineen ominaislämmöllä (ominaislämpökapasiteetilla) tarkoitetaan sitä energiamäärää, joka tarvitaan yhden painoyksikön lämpötilan nostamiseen yhdellä asteella. Ominaislämmön laatu on siten J/kg K (tai J/kg °C).

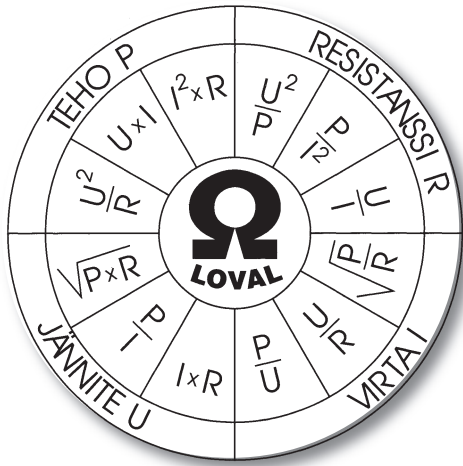
Edellä olevan mukaisesti on ainemäärän m lämmittämiseen lämpötilasta T_1 lämpötilaan T_2 tarvittava lämpö Q

$$Q = m c (T_2 - T_1) \quad ; \quad c = \text{ominaislämpö}$$

Ominaislämpö riippuu jonkin verran lämpötilasta, mutta käytännön laskelmissa tätä ei yleensä tarvitse ottaa huomioon. Kaasuja lämmitettäessä on merkitystä myös lämmitysjärjestelmällä, koska kaasun ominaislämpö vakioaineessa (c_p) poikkeaa tuntuvasti ominaislämmöstä vakiotilavuudessa (c_v). Käytännössä on ensinmainittu tapaus tavallisempi, ja siten taulukossa on annettu vain c_p :n arvo.

Useimmilla tavanomaisilla kaasuilla ja niiden seoksilla, esim. ilmalla, on ominaislämpö c_p käytännössä paineesta riippumaton. On kuitenkin tapauksia (mm. vesihöyry), joissa tämä riippuvuus on otettava huomioon.

1.3 Vastuslämpö Sähköenergiaa voidaan muuttaa lämmöksi lukuisilla eri tavoilla. Yksinkertaisin menettely on vastuslämmitys, jossa kappaleessa kulkevan sähkövirran energia muuttuu lämmöksi resistanssin vaikutuksesta. Vastuslämmitykseen liittyvien eri suureiden keskinäiset yhteydet käyvät esille seuraavalla sivulla olevasta kuviosta.



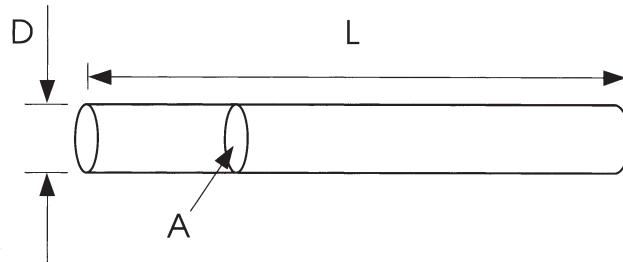
Merkintä	Suure	Yksikkö	Nimi
P	teho	W	watti
U	jännite	V	voltti
I	sähkö	A	ampeeri
R	resistanssi	Ω	ohmi

1.4 Resistanssi ja sen lämpötilariippuvuus

Kappaleen resistanssi riippuu sekä aineominaisuuksista että kappaleen mitoista. Ensinmainittua tekijää kuvaa ominaisresistanssi (ρ), joka on kullekin aineelle tyypillinen sähkönjohtavuuteen liityvä ainevakio.

Kappaleen geometrian vaikutus resistanssiin on helposti esitettävissä matemaattisesti. Tarkastellaan vastusspiraalia. Jos se ajatellaan oikaistuksi, kyseessä on pitkä sylinterimäinen kappale vastuslankaa. Oletetaan, että langan halkaisija on D ja pituus l . Langan poikkileikkauksen ala $A = \pi D^2 / 4$. Tällöin langan (päiden välinen) resistanssi R saa muodon

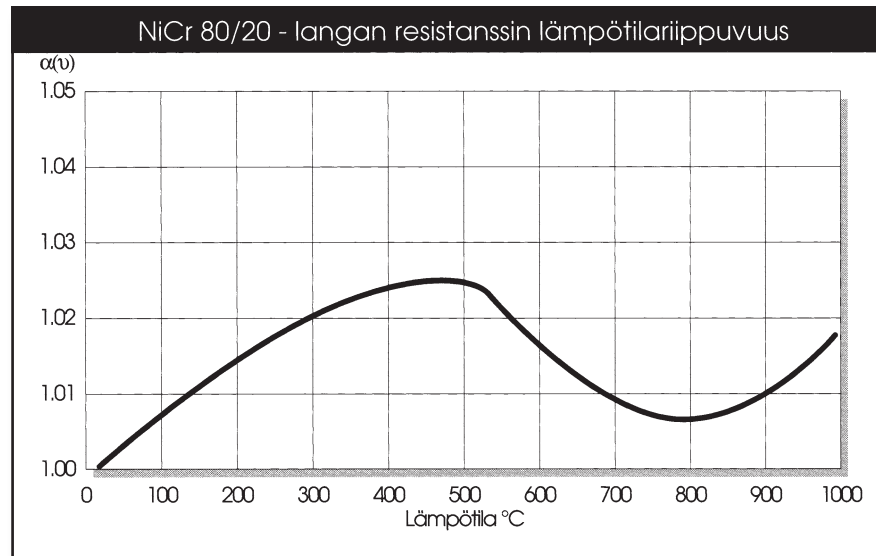
$$R = \rho \frac{l}{A} = \rho \frac{4l}{\pi D^2}$$



Ominaisresistanssi on lämpötilasta riippuva tekijä. Käytettäville vastuslangoille on tunnusomaista, että riippuvuus on poikkeuksellisen pieni: kyseeseen tulevilla lämpötila-alueella (20)...~1000°C muutos on vain muutamia prosentteja. Kuitenkin tämä tekijä otetaan huomioon vastuksen mitoituksessa. Nimellisteho ja -jännitettä vastaava nimellisresistanssi (R_{ϑ}) on resistanssi käyttölämpötilassa, mutta valmistuksessa tapahtuva ottotehon tarkistus perustuu resistanssiin huoneenlämpötilassa (R_0). Näiden kesken on riippuvuus

$$R_{\vartheta} = a(\vartheta) R_0 ; \quad a(\vartheta) = \text{lämpötilakerroin}$$

Lämpötilakerroin $a(\vartheta)$ riippuu vastuslankamateriaalista ja vastuslangan lämpötilasta. Jotta kerroin voitaisiin määrittää kullekin vastussovellutukselle on pystyttävä arvioimaan vastusspiraalin lämpötila käyttöoloissa. Arviointi tapahtuu käyttökohteesta saatujen tietojen ja vastuksen rakenteen perusteella.



1.5 Kiinteiden aineiden fysikaalisia ominaisuuksia

Merkkien selitys

M = molekyylipaino
 ρ = tiheys, kg/m³
 25°C
 λ = lämmönjohtavuus, W/m K
 c_p = ominaislämpökapasiteetti, J/kg K
 t_s = sulamislämpötila °C
 q_s = sulamislämpö, KJ/kg

Nimi	Kem. merkki	M	ρ	λ	c_p	t_s	q_s
Alumiini	Al	26,98	2 700	230	900	660	400
Antimoni	Sb	121,75	6 680	20	210	631	165
Bakeliitti	-	-	1 300	0,1	1 600	-	-
Betoni	-	-	2 300	1,5	650	-	-
Hiili, amorf.	C	12,01	1 900	1	850	3 550	-
Hiili, grafiitti	C	12,01	2 220	160	690	3 550	-
Hopea	Ag	107,87	10 500	420	230	961	110
Incoloy 800	-	-	7 950	12	500	1 360	-
Inconel 600	-	-	8 420	15	460	1 370	-
Jää	H ₂ O	18,02	900	2	2 220	0	332
Kadmium	Cd	112,40	8 640	100	230	321	54
Koboltti	Co	58,93	8 800	70	425	1 495	260
Kromi	Cr	52,00	7 200	43	445	1 920	280
Kulta	Au	196,97	19 300	290	130	1 063	65
Kupari	Cu	63,54	8 920	390	385	1 083	205
Lasi	-	-	2 600	1	840	-	-
Lyijy	Pb	207,19	11 345	35	130	327	25
Magnesium	Mg	24,31	1 740	155	1 020	651	370
Manga ani	Mn	54,94	7 200	-	475	1 244	265
Messinki 70	-	-	8 550	120	400	915	-
Molybdeeni	Mo	95,94	10 200	140	255	2 620	255
Monel 400	-	-	8 830	22	420	1 300	-
Nailon	-	-	1 100	0,2	1 700	-	-
Nikkeli	Ni	58,71	8 900	86	460	1 455	300
Paperi	-	-	950	0,1	1 900	-	-
Parafini	-	-	900	0,2	2 900	56	145
Polyeteeni(LD)	-	-	920	0,3	2 300	-	-
Polystyreeni	-	-	1 050	0,1	1 350	-	-
Puu (mänty)	-	-	500	0,2	1 900	-	-

Nimi	Kem. merkki	M	ρ	λ	c_p	t_s	q_s
Rauta	Fe	55,85	7 860	65	445	1 535	290
Rikki, amorf.	S	32,06	1 900	0,2	-	120	-
Rikki, kit.	S	32,06	2 070	0,2	720	119	40
Sinkki	Zn	65,37	7 140	107	390	419	102
Steatiitti	-	-	2 600	3	840	-	-
Teräs, ruost. 18/9	-	-	7 910	15	460	1 400	-
Teflon	-	-	2 150	0,2	1 050	-	-
Tina	Sn	118,69	7 280	65	220	232	60
Titaani	Ti	47,90	4 500	16	520	1 725	-
Valurauta	-	-	7 200	50	500	1 150	-
Vanadiini	V	50,94	5 960	-	480	1 710	-
Volframi	W	183,85	19 350	170	135	3 380	190

1.6 Kaasujen fysikaalisia ominaisuuksia

Merkkien selitys

M = molekyylipaino
 ρ = tiheys, kg/m^3
 c_p = ominaislämpökapasiteetti, J/kg K
 t_k = kiehumislämpötila, $^{\circ}\text{C}$
 (normaalipaine)
 q_k = höyrystymislämpö, kJ/kg
 (kiehumislämpötila)

Nimi	Kem. kaava	M	ρ	C_p	t_k	q_k
Ammoniakki	NH_3	17,03	0,71	2,19	-33	1370
Argon	Ar	39,95	1,63	0,52	-186	160
Asetyleeni	C_2H_2	26,04	1,08	1,70	-84	830
Etaani	C_2H_6	30,07	1,24	1,77	-89	490
Eteeni	C_2H_4	28,06	1,15	1,55	-104	520
Happi	O_2	32,00	1,31	0,92	-183	213
Helium	He	4,00	0,16	5,2	-269	21
Hiilidioksidi	CO_2	44,01	1,81	0,86	-79	573
Hiilimonoksidi	CO	28,01	1,14	1,04	-192	218
Ilma	-	28,97	1,19	1,01	-192	209
Kloori	Cl_2	70,91	2,94	0,48	-35	260
Metaani	CH_4	16,04	0,66	2,24	-162	510
Propani	C_3H_8	44,10	1,85	1,67	-42	426
Rikkidioksidi	SO_2	64,06	2,68	0,44	-10	402
Rikkivety	H_2S	34,08	1,41	0,88	-60	548
Typpi	N_2	28,02	1,14	1,04	-196	200
Typpimonoksidi	NO	30,01	1,23	0,98	-152	460
Vesihöyry $Q=100^{\circ}\text{C}$	H_2O	18,02	0,60	1,90	100	2256
Vety	H_2	2,02	0,08	14,4	-253	460

1.6 Nesteiden fysikaalisia ominaisuuksia

Nimi	Kem. kaava	M	ρ	C_p	t_k	q_k
Amyyli-alkoholi	$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$	88,15	810	2,00	132	510
Asetoni	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$	58,08	787	2,15	56	520
Bentseeni	C_6H_6	78,12	876	1,73	80	394
Butanoli	$\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$	74,13	810	1,65	118	590
Eetteri	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	74,13	715	2,21	35	372
Elohopea	Hg	200,59	13600	0,14	357	295
Etanoli	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	46,07	787	2,45	79	845
Freon-11 24°C	CCl_3F	137,37	1480	0,87	24	180
Freon-12 neste	CCl_2F_2	120,91	1315	0,97	-30	165
Glykoli	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$	62,07	1100	2,37	197	800
Glyseroli	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$	92,10	1260	2,63	290	975

Merkkien selitys

M = molekyylipaino
 ρ = tiheys, kg/m³
 (25°C normaalipaine)
 c_p = ominaislämpö-
 kapasiteetti, kJ/kg K
 t_k = kiehumislämpö-
 tila, °C (normaali-
 paine)
 q_k = höyrystymislämpö,
 KJ/kg
 (kiehumislämpötila)

Nimi	Kem. kaava	M	ρ	c_p	t_k	q_k
Heksaani	C_6H_{14}	86,18	657	2,27	69	365
Hiilitetra- kloridi	CCl_4	153,82	1590	0,87	77	194
Metanoli	CH_3OH	32,04	789	2,54	65	1100
Oliiviöljy	-	-	930	2,0	300	-
Pellavaöljy	-	-	980	1,8	290	-
Pentaani	C_5H_{12}	72,15	630	2,20	36	357
Polttoöljy (kevyt)	-	-	850	1,9	-	330
Polttoöljy (raskas)	-	-	980	1,6	-	270
Propanoli	C_3H_7OH	60,10	802	2,37	98	780
Rikkihappo	H_2SO_4	98,08	1850	1,38	330	590
Rikkihiili	CS_2	76,14	1265	0,99	46	352
Risiiniöljy	-	-	960	2,0	-	-
Tetrakloorieteeni	C_2Cl_4	165,83	1620	0,90	121	209
Tolueneeni	C_7H_8	92,14	865	1,72	110	360
Trikloori- eteeni	C_2HCl_3	131,39	1460	0,96	87	242
Terpineeni	$C_{10}H_{16}$	136,24	870	1,78	180	293
Vesi	H_2O	18,02	1000	4,18	100	2256

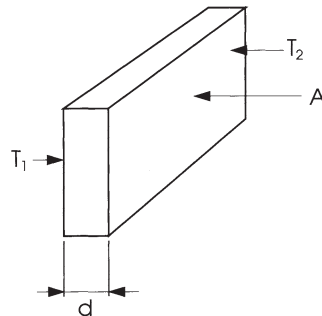
2 Lämmön siirtyminen, lämpölaajeneminen

2.1 Johtuminen

Lämpö voi siirtyä kolmella tavalla: kuljettamalla, johtumalla ja säteilemällä.

Kuljettamalla lämpö siirtyy liikkuvan aineen tai kappaleen mukana. Esimerkkinä tästä on huoneenlämmittimestä ylöspäin virtaava ilma.

Kappaleen tai aineen sisällä olevat lämpötilaerot pyrkivät tasoittumaan johtumalla. Lämmönjohtumiseen liittyvää energian siirtymistä voidaan tarkastella yksinkertaistetuissa tapauksissa seuraavasti:



Oletetaan, että yhdensuuntaisten, toisistaan etäisyydellä d olevien pintojen (A) välillä on pysyvä lämpötilaero (lämpötilat T_1 ja T_2). Tällöin on aikayksikössä kappaleen läpi siirtyvä lämpö (ns. lämpövirta) q :

$$q = \lambda \frac{A}{d} (T_2 - T_1)$$

jossa verrannollisuuskerrointa λ sanotaan aineen lämmönjohtavuudeksi. λ :n laatu on W/m K (tai $\text{W/m}^\circ\text{C}$).

Vastaavasti on ajassa t siirtynyt lämpö Q

$$Q = \lambda \frac{A}{d} (T_2 - T_1)t$$

λ on kullekin aineelle ominainen, lämpötilasta riippuva suure. Käytännön laskuissa riittää useimmiten se, että λ :lle otetaan vakioarvo.

2.2 Säteilylämmitys

2.2.1 Yleistä

Säteilylämmittimet ovat nimensä mukaisesti laitteita, joista hyödyksi käytettävä lämpöenergia saadaan ensisijaisesti säteilynä. Se on kuitenkin vain osa lämmittimestä ympäristöön siirtyvästä energiasta, ja lisäksi tämä osuus vaihtelee tuntuvasti lämmitintyyppin ja ympäristöolojen mukaan. Lämmittimen ottoteho on siten vastaavasti mitoitettava tarvittavaa hyötytehoa suuremmaksi.

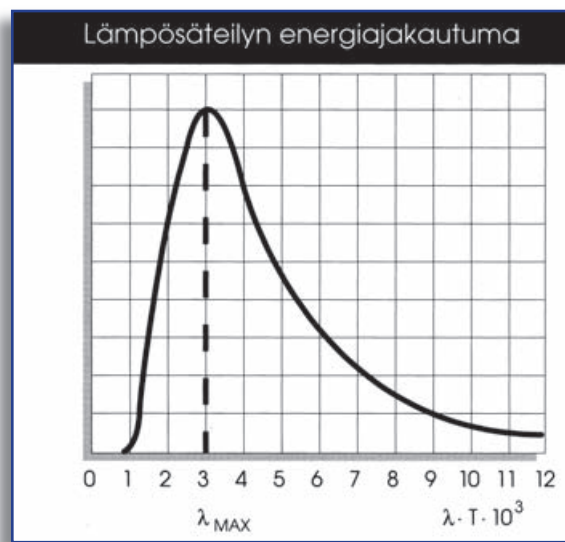
2.2.2 Lämpösäteilyn ominaisuuksia

Kaikki kappaleet ovat energianvaihdossa ympäristönsä kanssa lähettämällä ja vastaanottamalla säteilyä. Lämpösäteily on sähkömagneettista aaltoliikettä eikä siis periaatteessa poikkea jollakin tavoin aikaansaadusta sähkömagneettisesta säteilystä. Lämpösäteilyyn voidaan siten soveltaa optiikasta tunnettuja menetelmiä säteilyn heijastamiseksi ja kokoamiseksi linssien tai peilipintojen avulla.

Lämpösäteilyllä on seuraavia ominaisuuksia:

1

Säteilyn energia jakautuu laajalle aallonpituusalueelle; energijakautuman muoto käy selville kuviosta.



2

Kappaleen absoluuttinen lämpötila T ja sen lähettämän säteilyn energijakautuma maksimoidaan aallonpituus λ_{\max} noudattavat seuraavaa lakia:

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2898 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

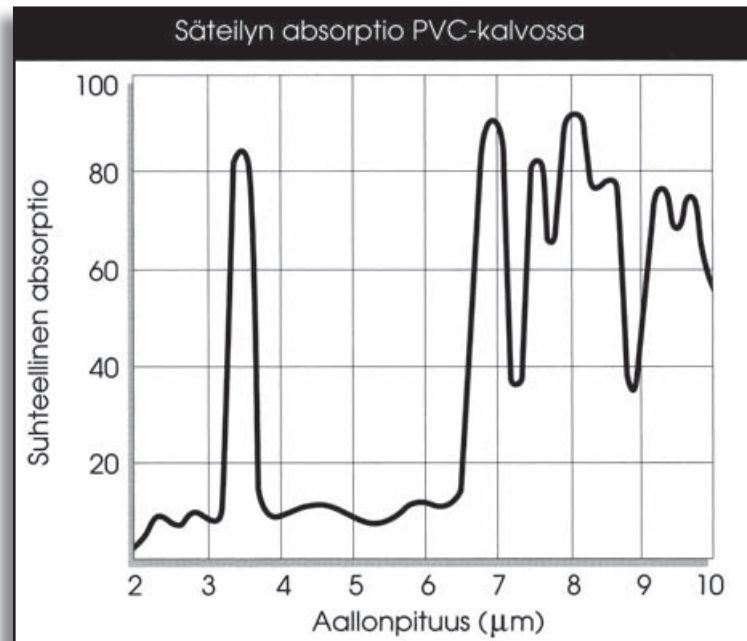
Tällä tiedolla on merkitystä esim. ohuiden muovikalvojen tai maali-pintojen säteilylämmityksessä. Säteilyn aallonpituusjakautuma sovitetaan lämmitettävän aineen absorptio-ominaisuuksien kanssa yhteen halutun lämmitysvaikutuksen aikaansaamiseksi.

Esimerkki: PVC-kalvo absorboi säteilyn eri aallonpituuksia seuraavasti (kuvio 2). Jos halutaan säteilytehon mahdollisimman tehokasta hyväksikäyttöä ohuen kalvon lämmityksessä, on lämmittimien säteilymaksimin oltava n. $3,4 \mu\text{m}$:n kohdalla. Siitä seuraa, että lämmittimen pintalämpötilan on oltava

$$T = \frac{2898 \mu\text{m} \cdot \text{K}}{3,4 \mu\text{m}} \approx 850\text{K} \approx 580^\circ\text{C}$$

Jos taas halutaan lämmittää paksua PVC-levyä syvyysuunnassa mahdollisimman tasaisesti, valitaan absorptiokäyrän minimikohta, tässä tapauksessa n. 5 μm . Vastaavasti säteilylämmittimien pintalämpötilaksi tulee

$$T = \frac{2898 \mu\text{m} \cdot \text{K}}{5,0 \mu\text{m}} \approx 580\text{K} \approx 300^\circ\text{C}$$



Kuvio 2

3

Kappaleen lähettämän lämpösäteilyn voimakkuus säteilijän pinta-alayksikköä kohden on esitettävissä kaavalla

$$M = \sigma (T^4 - T_0^4)$$

$$\sigma = \text{vakio} = 5,67 \times 10^{-8} (\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$$

$$T = \text{säteilevän pinnan lämpötila (K)}$$

$$T_0 = \text{ympäristön lämpötila (K)}$$

Esimerkki: Normaalilämpötilaisessa huoneessa oleva lämmityselementti, jonka pintalämpötila on 700°C , antaa säteilemisvoimakkuuden

$$M = 5,67 \times 10^{-8} \text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4 (973^4 - 293^4) \text{K}^4 \\ \approx 5,0 \times 10^4 \text{W}/\text{m}^2 = 5,0 \text{W}/\text{cm}^2$$

Säteilyvoimakkuuden kaava pätee vain ideaalitapauksessa (täysin musta kappale); käytännössä on otettava mukaan säteilevän pinnan laatua kuvaava termi ϵ , jota sanotaan pinnan emissio- (tai absorptio-) kertoimeksi. Se on suhdeluku, joka ilmaisee, kuinka suuri on tietyssä lämpötilassa olevan kappaleen lähettämä säteilemisvoimakkuus verrattuna samassa lämpötilassa olevan täysin mustan kappaleen säteilyyn.

Edellä oleva kaava tulee siten muotoon $M = \epsilon \cdot \sigma (T^4 - T_0^4)$

Tyypillisiä emissiokertoimen arvoja:

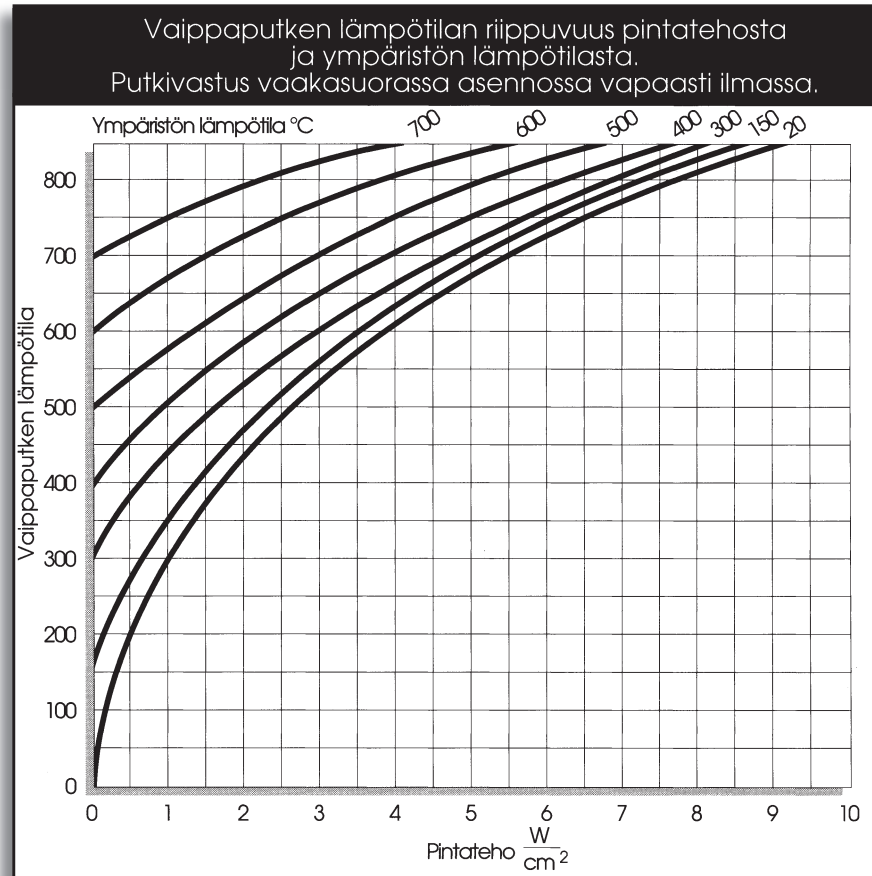
Pinta	ϵ
• täysin musta	1,0
• keramiikka, muovi	
lasi, vesi, maali	0,80...0,98
• hapettunut metalli	0,30...0,95
• kirkas metalli	0,01...0,25

2.2.3 Putkivastusta käytetään säteilylämmityselementtinä

Putkivastusta käytetään säteilylämmityselementtinä sovellutuksissa, joissa elementin pintalämpötila on luokkaa 400...850°C, ts. energijakautuman maksimi on aallonpituusalueella 2,7...4,3 μm . Useimmiten säteilyn energijakautumalla ei ole suurta merkitystä, koska käyttökohteet ovat sellaisia, että säteily absorboituu kutakuinkin täydellisesti (esim. suljetut huoneenlämmittimet, kiuas, grilli jne.). Poikkeuksena tästä ovat ohuet kalvot, joiden lämmityksessä säteilyn energijakautuman sovitus kohteen absorptio-ominaisuuksiin saattaa olla aiheellista.

Edellä olevasta pinnan emissiviteettiä kuvaavasta taulukosta käy ilmi, että kirkkaan ja hapettuneen metallipinnan säteilyominaisuuksissa voi olla merkittäviä eroja. Siksi erityisesti korkealämpötilaisissa sovellutuksissa pyritään pinnan suureen emissiviteettiin: tällöin elementin toimintalämpötila on mahdollisimman matala ja tämä puolestaan on edullista elementin eliniän kannalta.

2.3. Putkivastuksen lämpötila



2.4. Vastuksen lämpöpitenevä

Aineiden ja kappaleiden ominaistilavuus riippuu jossakin määrin lämpötilasta, koska lämpötilan nousuun liittyy yleensä tilavuuden kasvua. Aineen lämpölaajenemiskertoimella α tarkoitetaan pituuden muutosta pituusyksikköä ja lämpöastetta kohti. Matemaattisesti esitettynä:

$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta \vartheta \quad ; \quad \begin{aligned} \Delta l &= \text{pituuden muutos} \\ l_0 &= \text{kappaleen alkupituus} \\ \Delta \vartheta &= \text{lämpötilan muutos} \end{aligned}$$

Tässä oletetaan, ettei tarkasteltavalla lämpötila-alueella aineessa tapahdu olomuodon- tai faasinmuutoksia, koska tällöin α muuttuu poikkeuksellisella tavalla.

Kertoimen α arvo riippuu jonkin verran lämpötilasta, ja siksi sen yhteydessä yleensä annetaan lämpötila-alue, jolle arvo keskimäärin on voimassa.

Tarkasteltaessa putkivastuksen lämpölaajenemista ratkaiseva tekijä on vaippaputki.

Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa on joidenkin putkivastuksen vaippamateriaalin lämpölaajenemiskertoimia suunnilleen kunkin aineen käyttölämpötila-alueella.

Keskimääräinen lämpölaajenemiskerroin				
	Kupari (20...100°C)	Seostamaton teräs (20...400°C)	Ruostumaton teräs AISI 304 (20...700°C)	Incoloy 800 (20...800°C)
α (1/K)	$17 \cdot 10^{-6}$	$12 \cdot 10^{-6}$	$18 \cdot 10^{-6}$	$17 \cdot 10^{-6}$

Esimerkki: Ruostumaton teräsvastus, U-taivutettu, asennuspituus 1 m, kokonaispituus 2 m, laajenee lämpötila-alueella 20...700°C

$$\Delta l = 18 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K} \cdot 2000 \text{ mm} \cdot 680 \text{ K} = 24,5 \text{ mm}$$

$$\text{Asennuspituus : } \Delta l_{\text{as}} \approx \Delta l / 2 \approx 12 \text{ mm}$$

Siis: 1 m asennuspituus suurenee n. 12 mm.

Lämpöpitenevä on syytä ottaa huomioon ensinnäkin sen vaatiman tilan vuoksi, ja toisaalta silloin kun vastus on suorassa kosketuksessa toiseen kiinteään kappaleeseen. Mikäli rakenne ei ole tasapainoinen, kappaleiden erilaisesta lämpölaajenemisesta saattaa olla seurauksena haitallisia ilmiöitä: puristusliitoksessa ääniä ja vastusten ”ryömimistä”, juotosliitoksessa käyristymistä ja muodonmuutoksia.

2.5 Kaasujen lämpölaajeneminen

Kaasujen lämmityksen erikoispiirteenä on otettava huomioon niiden voimakas lämpölaajeneminen. Vakiopaineessa on tietyn kaasumäärän tilavuus suoraan verrannollinen sen absoluuttiseen, so. kelvineissä ilmaistuun lämpötilaan. Kaasujen fysikaaliset ominaisuudet ilmoitetaan yleensä ns. normaaliolosuhteissa (1 ilmakehän paine, 0°C). Tyypillisessä kaasulämmitystapauksessa paine pysyy vakiona, jolloin lämmenneen kaasun tilavuus on laskettavissa taulukkoarvoista seuraavasti.

$$V_{\vartheta} = \frac{\vartheta + 273}{273} \cdot V_0$$

V_0 = kaasun tilavuus lämpötilassa 0°C

V_{ϑ} = kaasun tilavuus lämpötilassa ϑ (°C)

3 Lämpötehon laskenta

3.1 Yleistä

Aineen tai kappaleen lämpötilan nostamiseen tarvittavan energiamäärän suuruus riippuu useista tekijöistä: aineesta, lämpötiloista ja ympäristöstä. Varsinaisen lämpötilan nousun vaatiman energian lisäksi on otettava huomioon mahdolliset olomuodon muutokset, ja lisäksi käytännössä osa energiasta siirtyy häviöinä ympäristöön. Tarvittava kokonaisenergia on kaikkien näiden tekijöiden summa.

Esimerkki: Höyrynkemittimessä tuotetaan normaalipaineessa vesihöyryä 2,5 kg tunnissa. Laitteeseen tuleva vesi on 20°C:ssa. Mikä on laitteen tarvitsema teho?

1. Veden lämmittäminen 20°C:sta 100°C:een vaatii energiamäärän

$$\begin{aligned} Q_1 &= mc_p \Delta \vartheta \\ &= 2,5 \text{ kg} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot 80^\circ\text{C} \\ &= 836 \text{ kJ} \end{aligned}$$

2. Veden höyrystäminen 100°C:ssa vaatii energiamäärän

$$\begin{aligned} Q_2 &= m \cdot q_k \\ &= 2,5 \text{ kg} \cdot 2256 \text{ kJ/kg} \\ &= 5640 \text{ kJ} \end{aligned}$$

3. Koko prosessin vaatima energia

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 + Q_2 \\ &= 6476 \text{ kJ} \end{aligned}$$

4. Teho P on energia aikayksikköä kohden

$$\begin{aligned} P &= \frac{Q}{t} ; \quad t = \text{aika} \\ &= \frac{6476 \text{ kJ}}{3600\text{s}} = 1,80 \text{ kJ/s} = 1,80 \text{ kW} \end{aligned}$$

3.2 Lämpöhäviöt

Käytännössä tärkeänä tekijänä on otettava huomioon systeemistä ympäristöön siirtyvät lämpöhäviöt. Niiden osalta joudutaan yleensä turvautumaan melko karkeisiin arvioihin. Alla on joitakin esimerkkejä häviöiden suuruusluokasta eri tapauksissa.

Avoin säiliö, häviöt veden pinnasta

60°C - 1,5...3 kW/m²

90°C - 5...10 kW/m²

Teräseinämä, eristämätön

100°C - 1 kW/m²

200°C - 3 kW/m²

Teräseinämä, eristys 5 cm

100°C - 150 W/m²

200°C - 300 W/m²

4 Vastusten kytkennät

Toisinaan lämpökojeen tehoa halutaan ohjata valintakytkimellä. Tätä varten tarvitaan vähintään kaksi lämmityselementtiä, joista eri tehoportaita voidaan valita tarpeen mukaan. Mahdollisuuksia on tällöin lukuisia: kukin vastus voidaan ottaa erikseen, ja lisäksi voidaan tehdä erilaisia sarja- ja rinnankytkentöjä joko yksittäisille vastuksille tai vastusryhmille.

4.1 Resistanssi ja teho sarjakytkennässä

Oletetaan n kappaletta vastuksia, joiden resistanssi on R_1, R_2, \dots, R_n . Kytkettäessä nämä vastukset sarjaan on kokonaisresistanssi

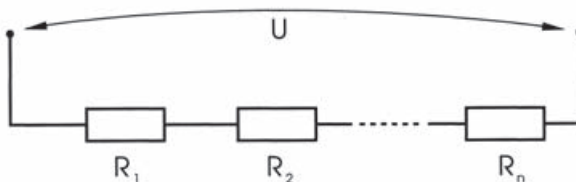
$$R_{\text{kok}}(s) = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

ja kokonaisteho jännitteellä U

$$P_{\text{kok}}(s) = \frac{U^2}{R_{\text{kok}}(s)} = \frac{U^2}{R_1 + R_2 + \dots + R_n}$$

Jos yksittäisten vastusten nimellisteho jännitteellä U on P_1, P_2, \dots, P_n , kokonaisteho voidaan ilmaista niiden avulla seuraavasti:

$$\frac{1}{P_{\text{kok}}} = \frac{1}{P_1} + \frac{1}{P_2} + \dots + \frac{1}{P_n}$$

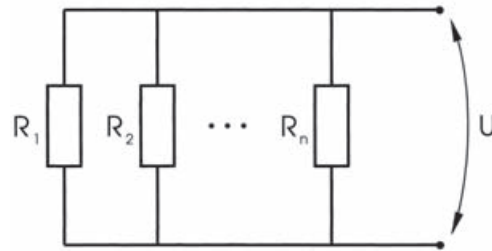


4.2 Resistanssi ja teho rinnankytkennässä

Kytettäessä rinnan n kappaletta vastuksia, joiden resistanssi on R_1, R_2, \dots, R_n ja teho jännitteellä U vastaavasti P_1, P_2, \dots, P_n saadaan kokonaisresistanssille ja -teholle lausekkeet

$$\frac{1}{R_{\text{kok}}(r)} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$P_{\text{kok}}(r) = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$



4.3 Vastukset kolmivaihejärjestelmässä 230 V/400 V

Kolmivaihejärjestelmässä käytetään yleisesti kahta symmetristä kytkentätapaa, ns. tähti- ja kolmiokytkentää. Kolme resistanssiltaan yhtä suurta vastusta (R) on liitetty verkkoon alla olevien kaavioiden mukaisesti. Molemmissa on järjestelmän kokonaisteho P ilmaistavissa kaavalla

$$P = \sqrt{3} \ U \cdot I$$

$$= 3 \ U_v \cdot I_v$$

U = pääjännite

U_v = vaihejännite

I = päävirta

I_v = vaihevirta

4.3.1 Tähtikytkentä

Vaihejännite U_v = 230 V

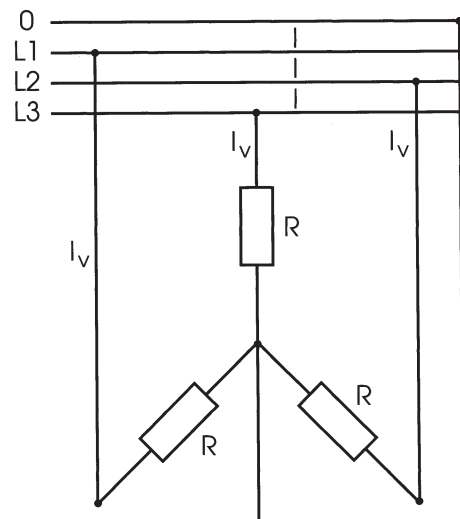
$$\text{Vaihevirta } I_v = \text{päävirta } I = \frac{230}{R} \text{ (A)}$$

$$\text{Yhden vaiheen teho } P_v = U_v \cdot I_v$$

$$= \frac{230^2}{R} \text{ (W)}$$

Koko järjestelmän teho

$$P_{\text{kok}} = 3 \cdot P_v$$



4.3.2 Kolmiokytkentä

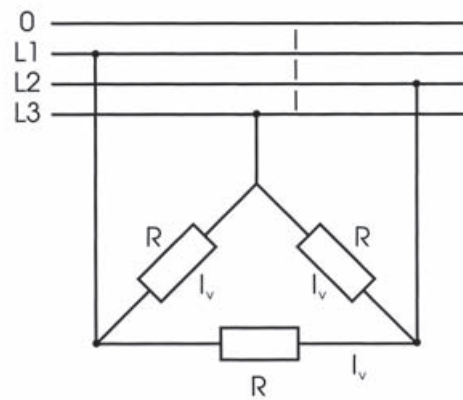
Vaihejännite $U_v =$ pääjännite $U = 400 \text{ V}$

$$\text{Vaihevirta} \quad I_v = \frac{I}{\sqrt{3}} = \frac{400}{R} \text{ (A)}$$

$$\begin{aligned} \text{Yhden vaiheen teho} \quad P_v &= U_v \cdot I_v \\ &= \frac{400^2}{R} \text{ (W)} \end{aligned}$$

Koko järjestelmän teho

$$P_{\text{kok}} = 3 \cdot P_v$$



Edellä oleva tarkastelu osoittaa, että muuttamalla tähtikytkentä kolmiokytkennäksi teho nousee kolminkertaiseksi.



Loval Oy
Linnunrata 5
07900 Loviisa
Puhelin 019-51 731
Fax 019-532 955
Sähköposti: loval@loval.fi
www.loval.fi