

19.2. Kiskostot

19.2.1. Tekniset vaihtoehdot

Suurten virtojen ($I_n \geq 1000 \text{ A}$) siirto edellyttää virtapiireiltä muista johdoista oleellisesti poikkeavia ratkaisuja. Vaatimukset voidaan toteuttaa jollakin seuraavista vaihtoehdoista nimellis- tai oikosulkuvirran suuruudesta, kohteen tärkeydestä ym. seikoista riippuen:

- rinnan kytketyillä kaapeleilla,
- suurvirtakaapeleilla,
- avoimilla tai yhtenäiskoteloiduilla kiskoilla tai
- vaihe-erotetuilla kiskostoilla.

Rinnankytkettyjä kaapeleita voidaan käyttää nimellisvirroilla 1000...1600 A, kun oikosulkuvirta ei ylitä ko. kaapelille sallittua arvoa. Käyttökohteina ovat lähinnä vähemmän tärkeitä laitosten väliset yhdistykset.

Suurvirtakaapeleita voidaan käyttää useamman tuhannen ampeerin virroilla ja riittävästi tuetuna myös suurilla oikosulkuvirroilla. Suurvirtakaapelit ovat yleensä kilpailukykyisiä yhdistettäessä kaukana toisistaan olevia laitoksen osia tai kun kulkureitti on monimutkainen.

Avoimia ja yhtenäiskoteloituja kiskostoja voidaan käyttää aina 8000 A nimellisvirroille ja aina 300 kA oikosulkuvirroille saakka.

Kun kiskoston nimellisvirta ylittää 8000 A on käytettävä vaihe-erotettuja kiskostoja. Näitä on rakennettu aina 30000 A nimellisvirroille.

Varsinaisten kiskostojen, niin avoimien, yhtenäiskoteloitujen kuin myös vaihe-erotettujen käyttökohteita ovat kaikki generaattoreiden, suurempien muuntajien ja suurten kojeistojen väliset yhdistykset, joissa vaaditaan ehdotonta käyttövarmuutta. Jakokeskuksien (nimellisjännitteeltään enintään 1000 V kytkinlaitoksien) kiskostoille on omat standardit lattakiskoille ja pyörökiskoille (SFS 5556 ja SFS 2516).

19.2.2. Kuormitettavuus

Kiskoston nimellisvirran mukaan mitoitettaessa on otettava huomioon seuraavat seikat:

- ympäristön lämpötila,
- sallittu kiskoston lämpenemä,
- kiskostossa käytetty metallilaji,
- kiskon pinnan säteilykerroin,
- kunkin vaiheen osakiskojen sijainti toisiinsa nähden,
- ympäröivän ilman nopeus kiskoon nähden (tuuletus) ja
- virtalaji (tasa- tai vaihtovirta).

Normaaleissa sisäolosuhteissa voidaan virtakiskoja kuormittaa taulukoiden 19.2a, b ja c virroilla niiden ollessa asennetut siten, että osakiskojen väliin jäävät raot ovat pystysuunnassa. Ympäristön lämpötila on $+35^\circ\text{C}$ ja kiskon lämpenemä $+30^\circ\text{C}$, jolloin kiskon loppulämpötila on $+65^\circ\text{C}$. Taulukot ovat standardien DIN 43671 dez,-75 (Cu lattakiskot) ja DIN 43670 dez,-75 (Al-lattakiskot) mukaisia. Taulukkojen 19.2b ja c arvot on redusoitu Suomessa yleisesti käytetylle alumiiniseokselle E-AlMgSi-T6, jonka sähkönjohtavuus on $31,9 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$.

Kiskojen johtavuuden poiketessa taulukoissa 19.2a, b ja c ilmoitetuista saadaan sallitut kuormitusvirrat käyttämällä kuvan 19.2a korjauskertoimia k_1 . Muita ympäristön ja kiskon lämpötiloja vastaavat virta-arvot saadaan kertomalla taulukkoarvot kuvan 19.2b diagrammista saadulla kertoimella k_2 .

Taulukko 19.2a. Kuparilattakiskojen (E-Cu F30) kuormitettavuus (sähkönjohtavuus $56 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$).

Mitat mm	Poikkipinta mm^2	Nimellisvirta/A 50Hz					
		Maalattut kiskot			Kirkkaat kiskot		
		Kiskojen lukumäärä			Kiskojen lukumäärä		
		I	II	III	I	II	III
20x5	99	319	560	728	274	500	690
20x10	199	497	924	1320	427	825	1180
30x5	149	447	760	944	379	672	896
30x10	299	676	1200	1670	573	1060	1480
40x5	199	573	952	1140	482	836	1090
40x10	399	850	1470	2000	715	1290	1770
50x5	249	697	1140	1330	583	994	1260
50x10	499	1020	1720	2320	852	1510	2040
60x10	599	1180	1960	2610	985	1720	2300
80x10	799	1500	2410	3170	1240	2110	2790
100x10	999	1810	2850	3720	1490	2480	3260
120x10	1200	2110	3280	4270	1740	2860	3740
160x10	1600	2700	4130	5360	2220	3590	4680

Taulukko 19.2b. Alumiinilattakiskojen (E-AlMgSi-T6) kuormitettavuus (sähkönjohtavuus $31.9 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$).

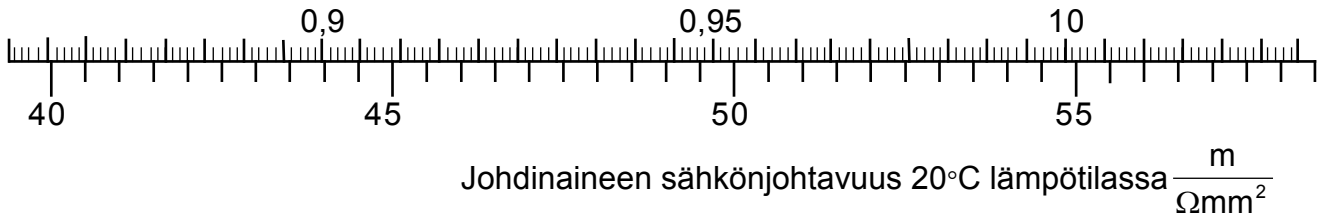
Mitat mm	Poikkipinta mm^2	Nimellisvirta / A 50Hz					
		Maalattut kiskot			Kirkkaat kiskot		
		Kiskojen lukumäärä			Kiskojen lukumäärä		
		I	II	III	I	II	III
20x5	99	240	420	535	200	370	505
20x10	199	370	690	1000	310	605	885
30x5	149	335	570	695	275	495	650
30x10	299	505	900	1260	420	780	1130
40x10	399	640	1115	1560	526	970	1380
50x10	499	770	1320	1830	630	1140	1615
60x10	599	895	1520	2075	730	1310	1830
80x10	799	1150	1890	2510	930	1620	2245
100x10	999	1400	2250	2935	1125	1935	2630
100x15	1500	1700	2750	3520	1370	2360	3040
120x10	1200	1630	2590	3340	1315	2230	3020
120x15	1800	1970	3130	4000	1585	2690	3445
160x10	1600	2090	3265	4135	1675	2785	3765

Taulukko 19.2c. Alumiinisten U-kiskojen (E-AlMgSi-T6) kuormitettavuus (sähkönjohtavuus $31.9 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$).

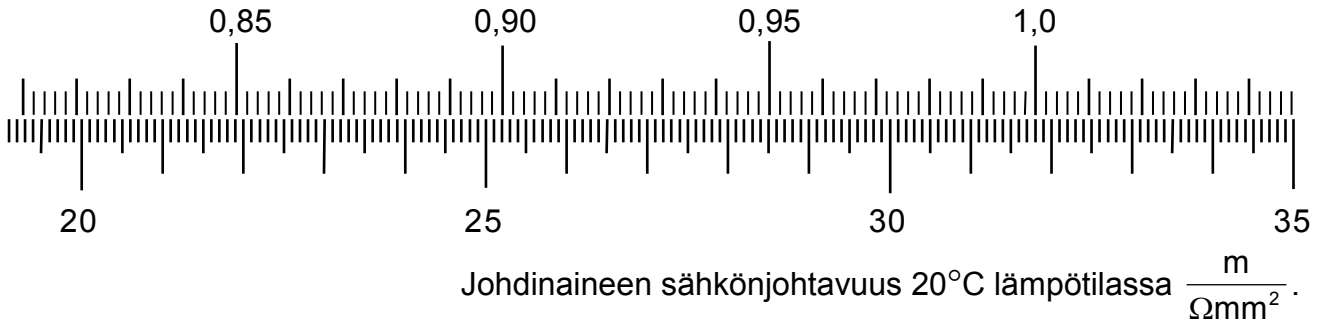
Mitat				Poikkipinnat		Nimellisvirta/A (50 Hz)			
h mm	b mm	s mm	i mm	I mm^2	II mm^2	Maalattut kiskot		Kirkkaat kiskot	
						I	II	I	II
80	37,5	6	25	858	1720	1380	2400	1075	1890
100	37,5	8	25	1270	2540	1890	3255	1460	2550
120	45	10	30	1900	3800	2570	4435	1980	3540
140	52,5	11	35	2450	4900	3160	5475	2455	4340
160	60	12	40	3070	6140	3775	6610	2930	5100

Kiskojen mitat on ilmoitettu luvussa 2.1 taulukossa 2.1b ja 2.1c.

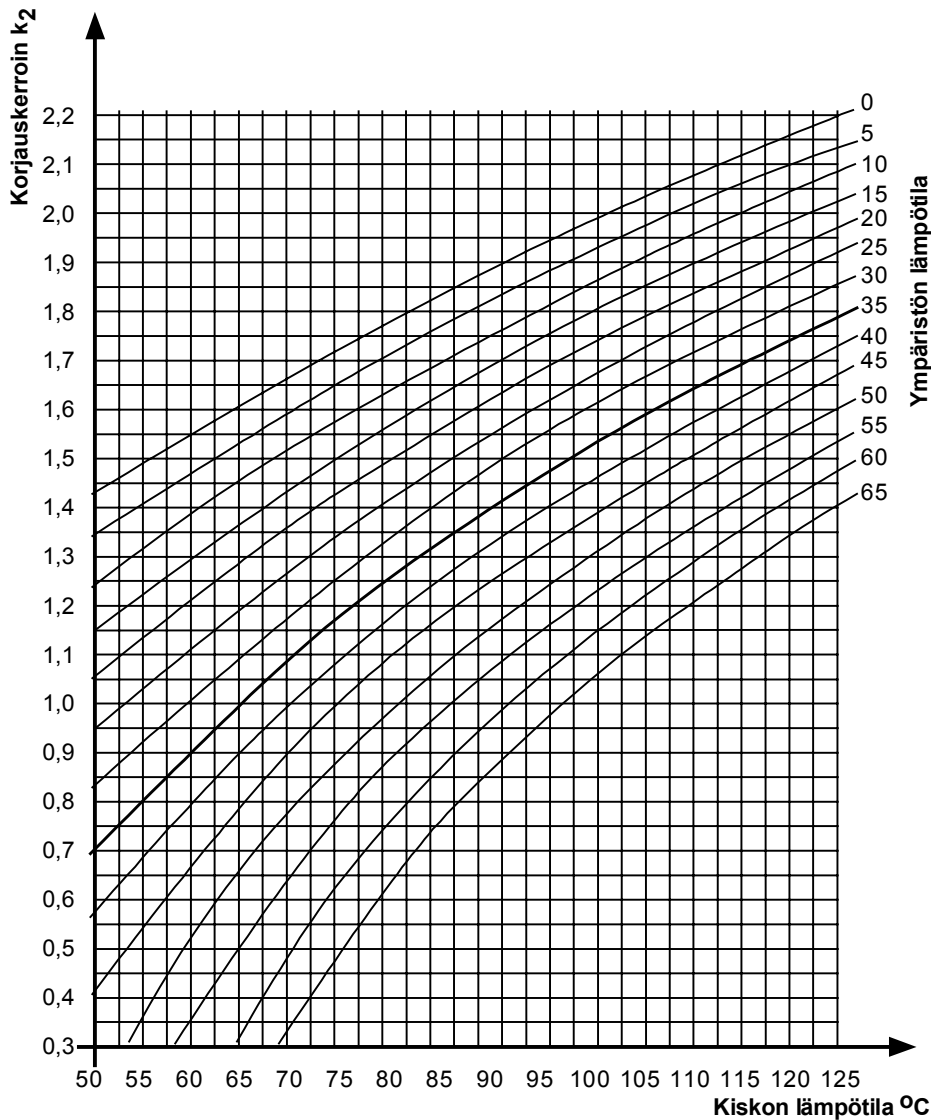
Korjauskerroin k_1 kuparille



Korjauskerroin k_1 alumiinille



KUVA 19.2a. Korjauskerroin k_1 poikkeavia sähkönjohtavuuksia varten.



KUVA 19.2b. Kuormitusvirran korjauskerroin k_2 jos ympäristön lämpötila (kiskon lämpenemisaikavakiota pidempää aikaa vastaava keskilämpötila) on muu kuin 35 °C ja/ tai kiskon lämpötila on muu kuin 65 °C.

Jos kiskot on asennettu lappeelleen (\equiv) voidaan taulukkoarvoja (19.2a, b ja c) käyttää korkeintaan 2 m pitkillä kiskoilla. Pidemmällä osuuksilla on virta-arvo kerrottava taulukosta 19.2f saatavalla korjauskertoimella k_3 . Mikäli vaiheiden väli on pieni, on käytettävä kuvassa 19.2c b) ja c) olevia kertoimia.

Taulukko 19.2d. Korjauskerroin k_3 lappeelleen asennetuille kiskoille.

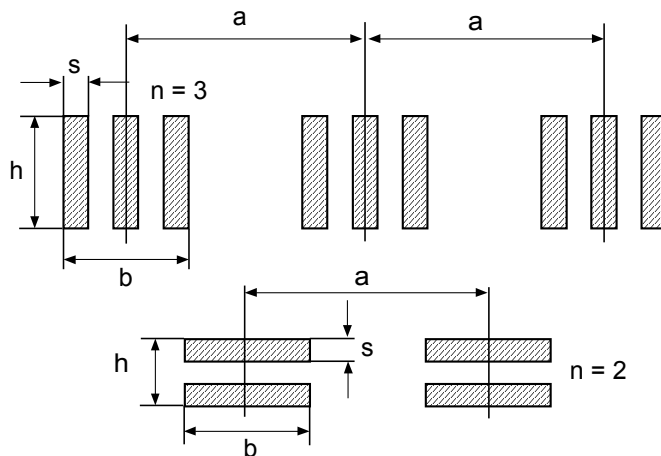
Kiskojen lukumäärä	Kiskon leveys	Kiskon paksuus mm x)	Korjauskerroin	
			Maalatut kiskot xx)	Kirkkaat kiskot
1	50...200	5...10	0,90	0,85
2	50...200	5...10	0,85	0,80
3	50...80	5...10	0,85	0,80
	100...120	5...10	0,80	0,75

x) Kiskojen etäisyyden tulee olla vähintään sama kuin kiskon paksuuden

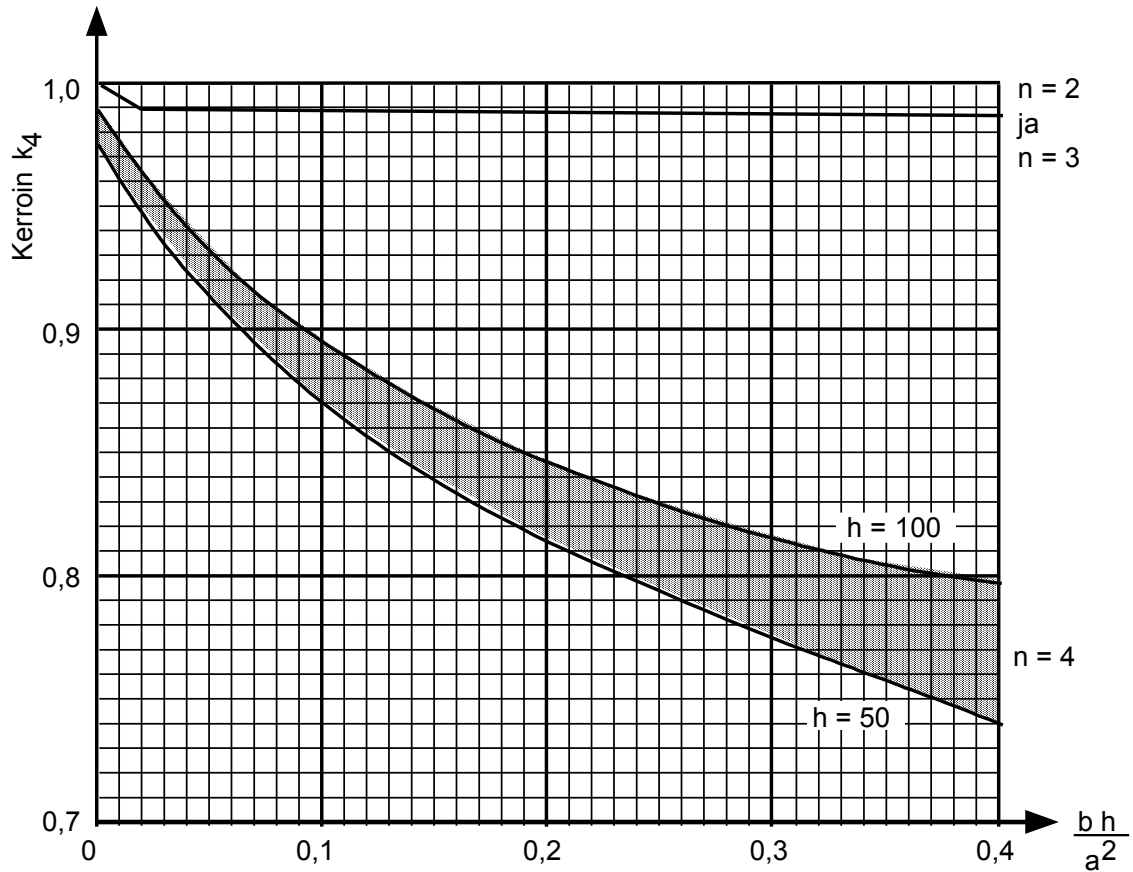
xx) Säteilukertoimen tulee olla vähintään 0,90

Taulukoiden 19.2a, b ja c virta-arvot ovat voimassa myös pystysuorille ≤ 3 metrin kiskoille. Pitemmällä kiskoilla ne on kerrottava luvulla 0,85.

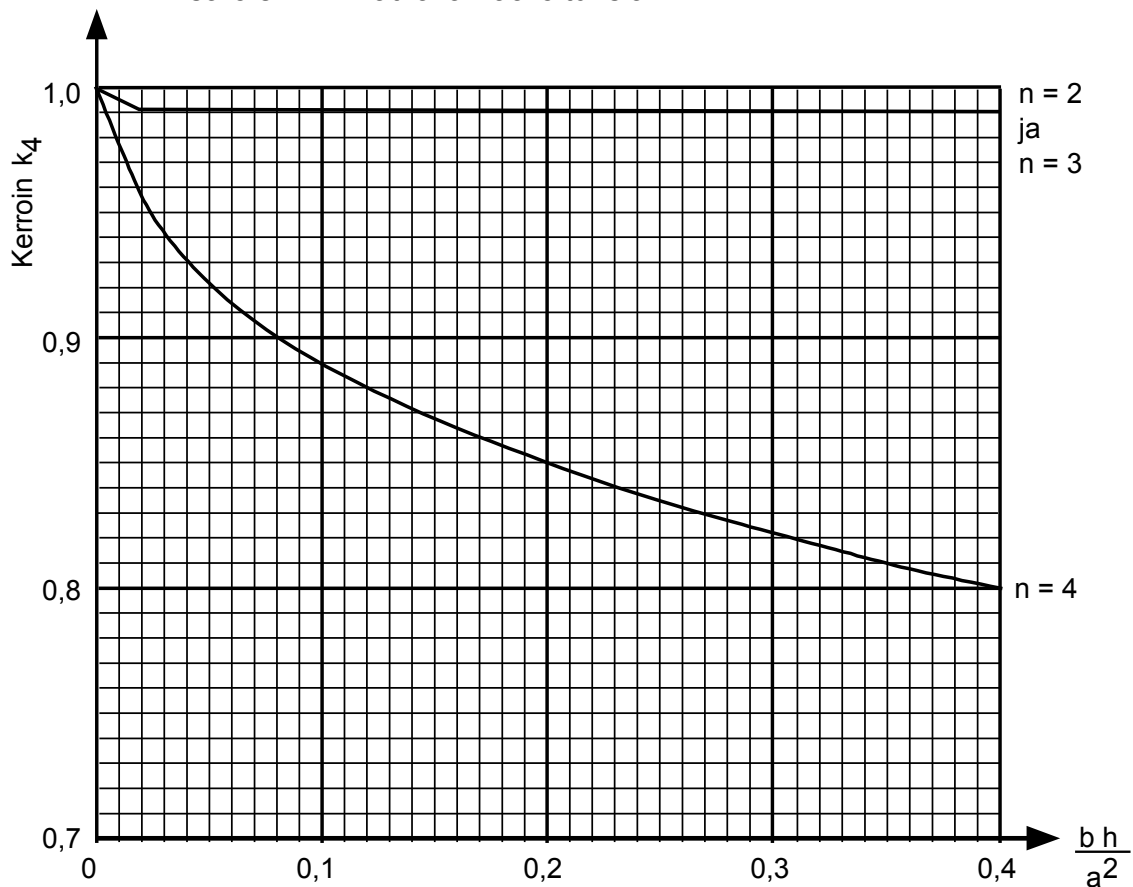
a)



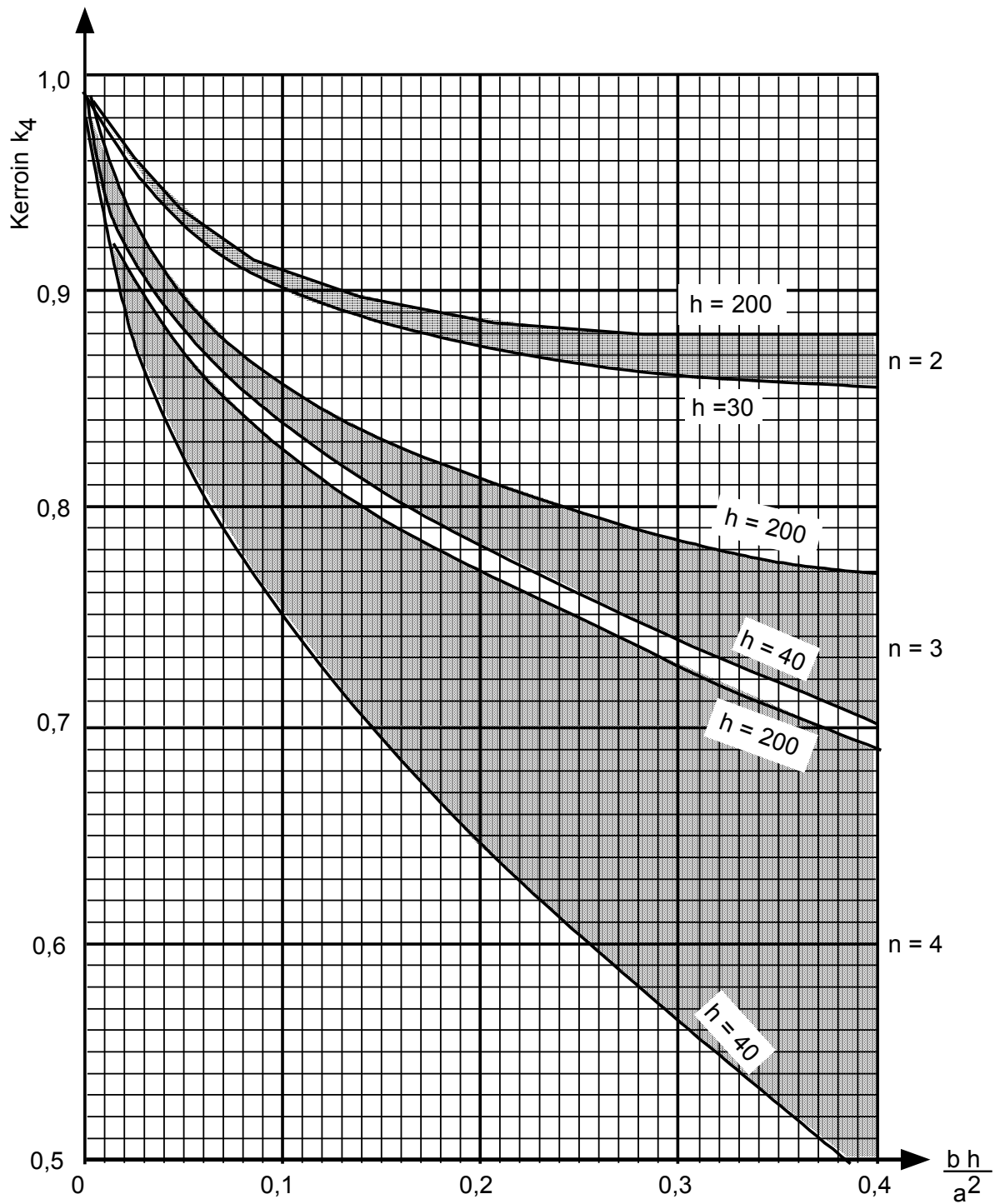
KUVA 19.2c. a) Kiskostoasetelmat.



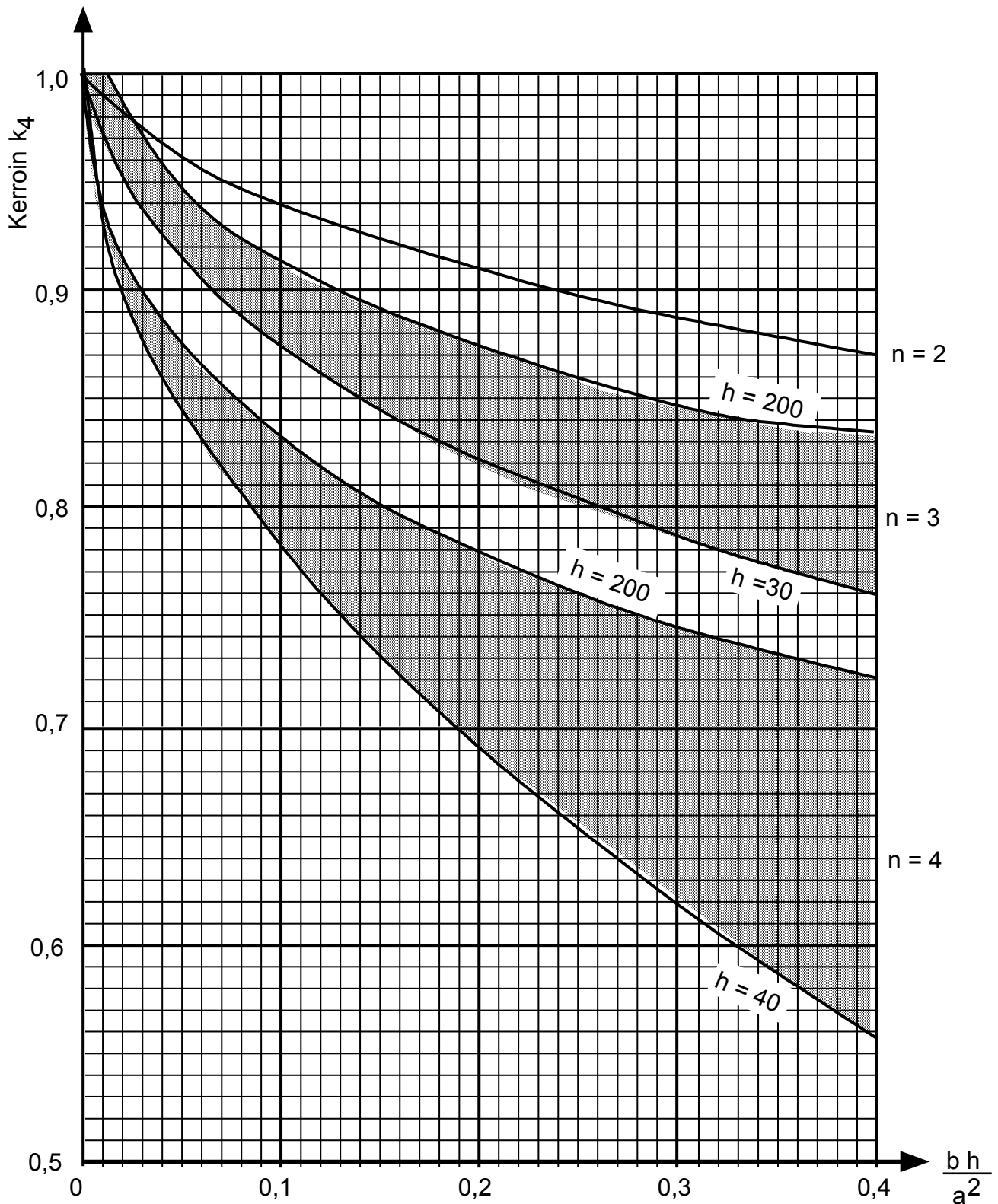
KUVA 19.2c. b) $s = 5$ mm Cu-kisko. Korjauskerroin k_4 3-vaiheiselle vaihtovirta (max 60 Hz) Cu- kiskolle, kun vaiheväli a on pieni eikä kiskossa ole 2 m matkalla haaroituksia.



KUVA 19.2c. c) $s = 5$ mm Al-kisko. Korjauskerroin k_4 3-vaiheiselle vaihtovirta (max 60 Hz) Al- kiskolle, kun vaiheväli a on pieni eikä kiskossa ole 2 m matkalla haaroituksia.



KUVA 19.2c. d) $s = 10$ mm Cu-kisko. Korjauskertoimen k_4 3-vaiheiselle vaihtovirta (max 60 Hz) Cu-kiskolle, kun vaiheväli a on pieni eikä kiskossa ole 2 m matkalla haaroituksia.



KUVA 19.2c. e) $s = 10$ mm Al-kisko. Korjauskerroin k_4 3-vaiheiselle vaihtovirta (max 60 Hz) Al-kiskolle, kun vaiheväli a on pieni eikä kiskossa ole 2 m matkalla haaroituksia.

19.2.3. Oikosulkukestoisuus

Kiskoston termistä oikosulkulujuutta määriteltäessä on tunnettava

- johtimen alkulämpötila ja
- oikosulun kesto aika.

Nykyisin sallitaan sekä kuparille että alumiinille (paljaat johtimet) loppulämpötilaksi 200 °C, sekä Al-seokselle 170 °C. Dynaaminen oikosulkumitoitus tapahtuu yleisesti siten, että oikosulkuvirraksi valitaan kolmivaiheista oikosulkua vastaava virta, voimat taas lasketaan olettaen, että tämä virta kulkee kahdessa vierekkäisessä vaihejohtimessa. Tällä tavalla saavutetaan pieni ylimääräinen marginaali. Jos kolmivaiheinen oikosulku alkaa samanaikaisesti kaikissa vaiheissa, on suurin mahdollinen voima kahden vaiheen välillä sama kuin tilanteessa, jossa näissä vaiheissa kulkisi virta 0,93 x kolmivaiheisen virran huippuarvo. Tämä suurin voima kohdistuu keskivaiheeseen. Voima on 0,87-kertainen ensin mainitulla likimääräisellä tavalla laskettuun verrattuna. Likimääräinen tapa johtaa siten n. 13 % marginaaliin, kun mitoitus tehdään tällä tavalla laskettujen voimien mukaisesti.

Kiskoja mitoitettaessa lasketaan erikseen

- vaiheitten väliset voimat ja
- osakiskojen väliset voimat.

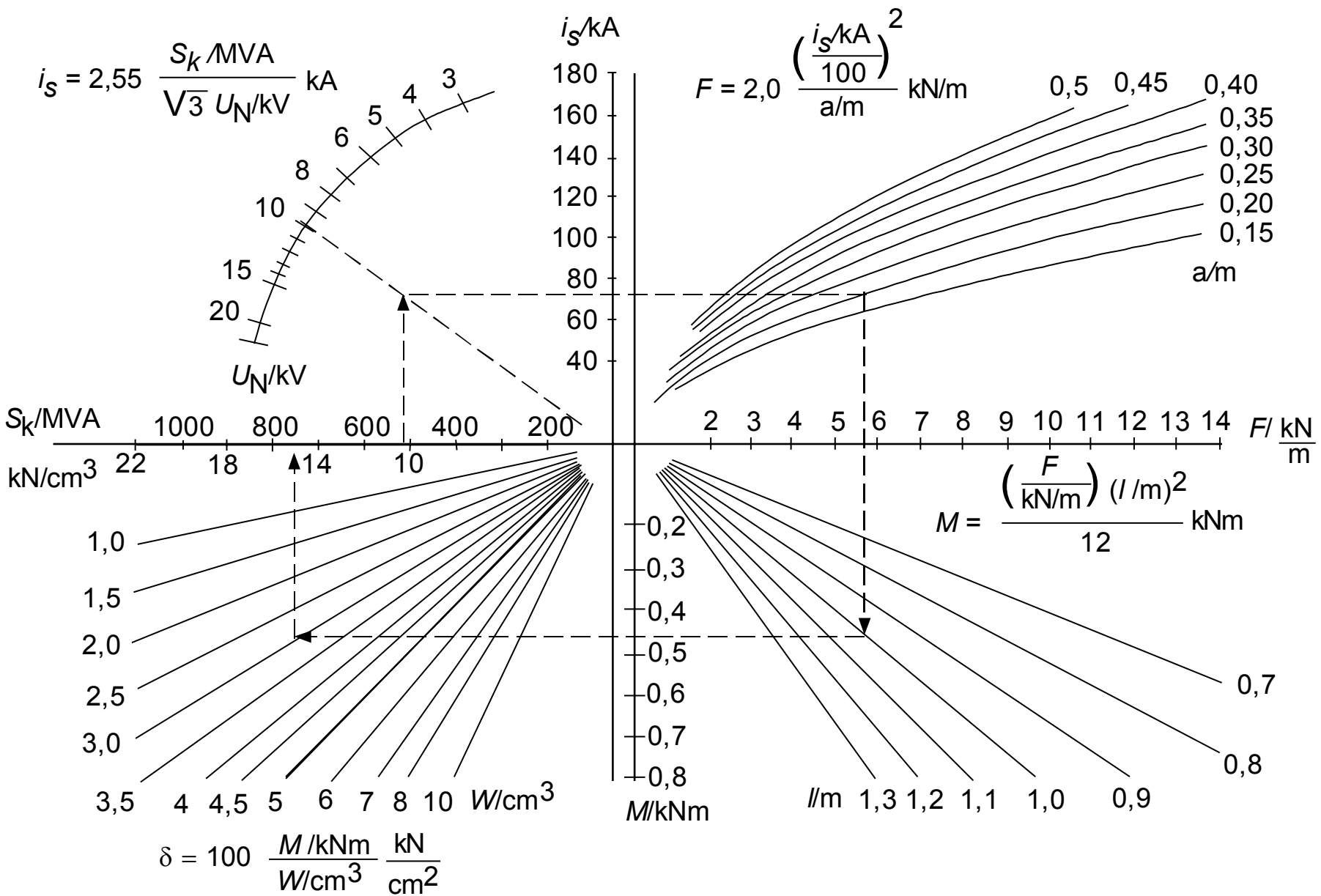
Näitten voimien avulla voidaan määrätä niin vaihe kuin osajohtimiin kohdistuva raskuus. Tätä raskuudesta määrättäessä on otettava huomioon lisäksi kiskoston tuenta (joustavat jatkokset ja tukieristimien sijainti).

Kiskoja mitoitettaessa voidaan sallia pieni muodonmuutos ja ottaa täten huomioon kiskoaineen myötämisen aiheuttama jännityksen tasoittuminen. Sallittu pysyvä taipuma on 1 % tukiväliä kohti.

Kiskoston mitoitus kestämään dynaamisten oikosulkuvirtojen aiheuttamia voimia on vaativa tehtävä. VDE-normissa 0103 ja IEC-standardissa 60865 on annettu yksityiskohtaiset ohjeet siitä, kuinka komplisoidutkin kiskostot voidaan mitoittaa.

Kuvassa 19.2d on esitetty nomogrammi, jolla voidaan nopeasti tarkistaa yksinkertaisten kiskojen (1 lattakisko vaihetta kohti) lujuus esiintyvissä oikosulkutapauksissa jännitteillä 3...25 kV. Siinä käytetyt merkinnät ovat:

S_k	= oikosulkuteho	[MVA],
U_n	= pääjännite	[kV],
I_s	= sysäysoikosulkuvirta	[kA],
a	= johtimien keskiöetäisyys	[m],
F	= johtimiin kohdistuva voima	[kN/m],
l	= tukiväli	[m],
M	= taivutusmomentti	[kNm],
W	= taivutusvastus	[cm ³],
d	= taivutusrasitus	[kN/cm ²],
l_k	= johtimen resonanssipituus (kuva 19.2e)	[m],
d	= johtimen poikkipinnan leveys taivutussuunnassa	[mm].



KUVA 19.2d. Yksinkertaisen kiskoston lujuus oikosulussa.

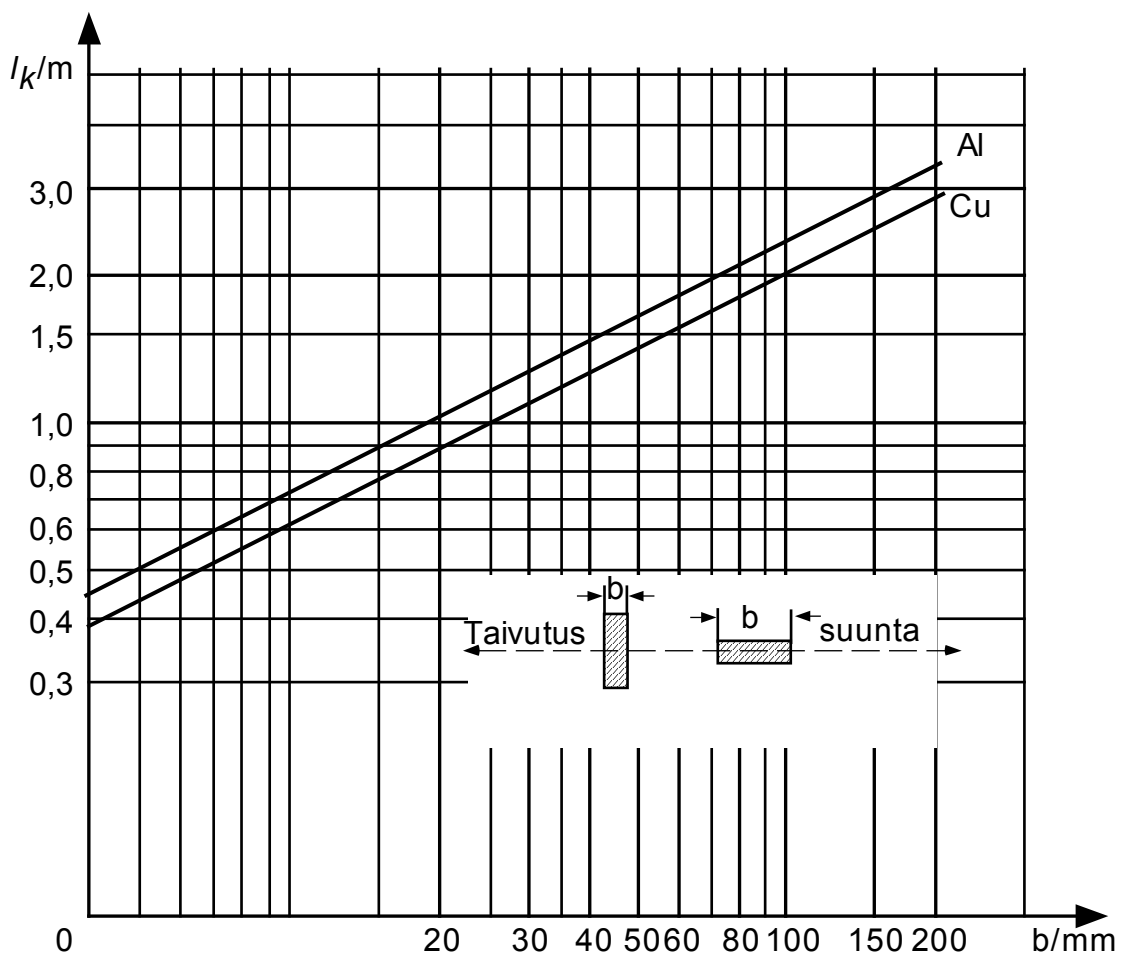
Kuvan 19.2d käyttöohje:

Vedä apusuora origosta jänniteasteikolla olevan, pääjännitettä vastaavan pisteen kautta. Sen jälkeen lähde oikosulkutehon, S_k , asteikolta esimerkin mukaan. Esimerkissä $U_n = 10 \text{ kV}$, $S_k = 500 \text{ MVA}$. Oletetuilla kiskoston arvoilla saadaan rasitukseksi $15,0 \text{ kN/cm}^2$.

Kiskon lujuutta mitoitettaessa ei resonanssin aiheuttamaa voiman lisää tarvitse ottaa huomioon kiskoaineen plastisuuden johdosta. Sen sijaan tukirakenteita ajatellen, sekä resonanssin aiheuttaman ääni-ilmiön eliminoimiseksi on kiskoston resonanssialue selvitettävä ja pyrittävä sen ulkopuolelle. Jos kuvasta 19.2e saadun kriittisen pituuden suhde tukivälin pituuteen, $l_k/l = 0,7 \dots 1,3$ on ryhdyttävä toimenpiteisiin, joilla tältä resonanssialueelta päästään pois. Tukieristimen on kestävä kiskoon tukivälillä kohdistuva voima. Lisäksi on otettava huomioon kiskon kiinnitystapa eristimeen sekä mahdollisesta kiskoston resonanssista aiheutuva lisä.

Sallittava rasitus prosentteina valmistajan kullekin eristintyyppille takaamasta taivutuslujuudesta vaihtelee laajasti eri kansallisissa standardeissa. Suomessa voidaan suositella seuraavia rasitussuhteita:

- jos tukieristimelle on ilmoitettu lujuusluokka, niin 70 %,
- jos tukieristimelle on ilmoitettu arvo, jolla 5 % eristimistä särkyvät niin 90 % ko. arvosta.



KUVA 19.2e. Kriittinen pituus kiskoresonanssien kannalta.

19.2.4. ABB kiskostot

Pienillä nimellisvirroilla ja dynaamisten oikosulkuvirtojen ollessa alle 100 kA voidaan käyttää lattakiskoja. Vaihtovirroilla ilmenevän virranahdon vuoksi ei ole suositeltavaa käyttää useampaa kuin kolmea rinnakkaista lattakiskoa samassa vaiheessa muulloin kuin erikoista-pauksissa.

Vaihtovirralla on edullista käyttää sellaisista muototangoista tehtyjä kiskostoja, joilla vaihejohtimille saadaan putkimainen muoto. Esim. kaksi U- tai C-kiskoa asennettuina avoimet puolet vastakkain sallivat samalla kokonaispoikkipinnalla 60...80 % suuremman kuormitusvirran, kuin neljä rinnan asennettua lattakiskoa.

ABB :n valmistamien kiskostojen johdinaine on alumiini. Kuparia käytetään vain poikkeustapauksissa, joissa tilanahtaus vaatii pienempiä poikkipintoja. Alumiini vaatii aivan erikoisen liittämistekniikan alumiinin pintaan nopeasti muodostuvan eristävän oksidikerroksen vuoksi. Ruuviliitoksia varten onkin ABB:llä kehitetty tekniikka, jolla pystytään tekemään liitoksia myös ulkoilmaolosuhteisiin. Järeämpien kiskostojen liitokset tehdään kuitenkin hitsaamalla. Hitsausaumamat röntgenkuvataan täydellisen varmuuden saavuttamiseksi.

Suurvirtaisia kiskostoja suunniteltaessa on otettava huomioon myös kiskoston ympärillä olevat metallirakenteet, kuten kiskoston oma tukeline, kotelointi, rakennuksen metalliosat (esim. palkit ja betoniraudat) sekä mahdolliset ympäristössä olevat laitteet. ABB valmistaa alumiinista myös metallirakenteet, jotka joutuvat 0,5 metriä lähemmäksi kiskoja. Samoin käytetään kiskoston kotelointiin joko alumiiniverkkoa tai alumiinilevyä.