



# Teknisk håndbok

## Kraftkabel

4. utgave



# Innholdsfortegnelse

## **Del 1. Materialegenskaper, betegnelser og elektriske begrep**

Innledning .....	4
Kabeltyper .....	4
Kabelkonstruksjon og -produksjon .....	5
Egenskaper hos ledermaterialer .....	5
Egenskaper hos isolasjons og kappmaterialer .....	6
Plaster .....	6
Gummi .....	9
Kabelbetegnelser .....	12
Merkesystem .....	13
Normer og forskrifter .....	13
Elektriske begrep .....	14

## **Del 2. Kabelvalg, dimensjonering og installasjon**

Valg av kabel .....	22
Kabeltyper .....	22
Kraftkabel .....	22
Installasjons- og tilkoblingskabel .....	25
Signalkabel .....	25
Optisk Kabel .....	27
Brennegenskaper .....	28
Dimensjonering av kabelanlegg .....	30
Bestemmelse av kabeltverrsnitt .....	31
Jordkabelanlegg .....	32
Kabelanlegg i luft .....	33
Kabelanlegg i vann .....	33
Blandede forhold .....	34
Parallellekobling .....	34
Skjermer .....	35
Overbelastning i drift .....	36
Vern av kabler og ledninger .....	36
Kortslutningsstrøm .....	39
Spenningsfall .....	40
Økonomisk dimensjonering .....	41
Installasjon i bakken .....	44
Installasjon av isolerte luftledninger .....	48
Universalkabel, 12 og 24 kV .....	49
TSLF 12 og 24kV med halvledende ytre sjikt .....	50
BLX/PAS-W - systembeskrivelse .....	51
Installasjon Innendørs .....	54
Brannbeskyttelse .....	54
Kabeltilbehør .....	57
Test etter installasjon .....	58
Feilsøking .....	59
Feilsøkingsmetoder .....	60

## **Del 3. Tabeller**

Innholdsfortegnelse for tabeller .....	63
Målenheter, betegnelser og anvisninger .....	64
Materialegenskaper og installasjonsanvisninger .....	77
Elektriske data .....	80
Belastningstabeller .....	95

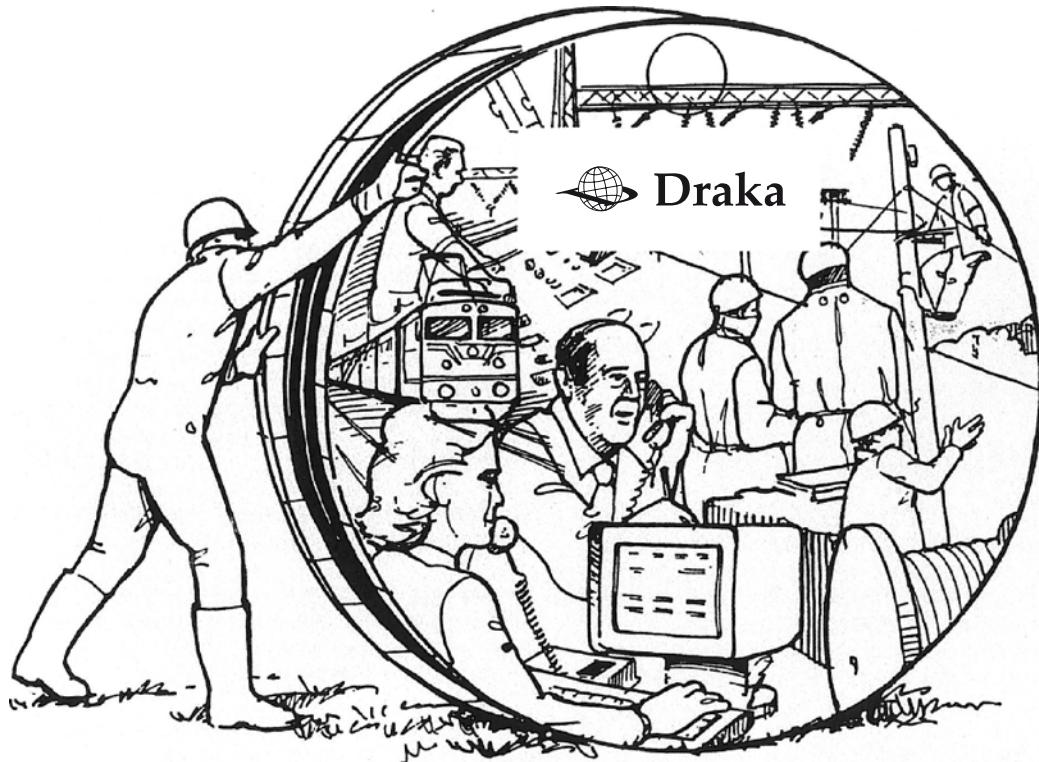
## Innledning

Denne tekniske håndbok behandler kabel-teknikk for installasjons-, kraft- og signalkabel.

Boken er tenkt som et oppslagsverk for de som prosjekterer elektriske anlegg, samt for opplæring innen kabelteknikk.

Kabler er en viktig del av det nettet som forsyner samfunnet med elektrisk energi. Uten kabel ville vi ikke kunne utnytte våre

kraftverk. Alt ville stoppe, maskiner, varslingssystem og lys slukke. Det stilles store krav til kabler. De skal kunne klare kulde, varme, store mekaniske og elektriske på-kjenninger, og likevel fungere uten problemer år etter år.



## Kabeltyper

### Kraftkabel

er til bruk i faste installasjoner og har en merkespenning på minst 1 kV. Den er konstruert i henhold til NEK, IEC eller CENELEC-normer.

### Installasjonskabel

er også til bruk i faste installasjoner, men merkespenningen er mindre enn 1 kV og den er konstruert i henhold til NEK-normer.

### Signalkabel

er til bruk for styringer og i signalanlegg, og er konstruert i.h.t. NEK-normer.

### Bevegelig kabel

for flyttbart utstyr er konstruert i henhold til CENELEC-normer.

### Skipskabel

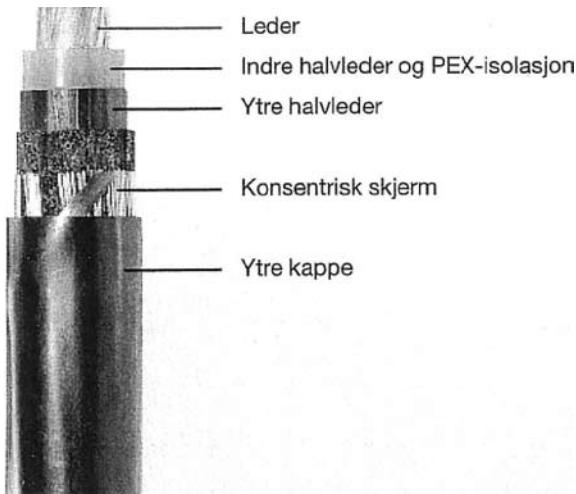
for installasjon ombord i skip og sjøredskaper er konstruert i.h.t. IEC-normer.

### Kommunikasjonskabel

kan være vanlig telekabel eller optisk fiber-kabel. Disse er konstruert etter Tele-direktoratets forskrifter. (Telenor)

# Kabelkonstruksjon og -produksjon

En kabel er oppbygd av flere lag med ulike materialer. Disse forskjellige deler har normerte betegnelser. Bildet viser hvordan en kraftkabel kan være oppbygd.



Bilde 2. 12 eller 24 kV kabel.

**Lederen** består av kobber eller aluminium. Den er rund eller sektorformet, og kan være en-, fler eller mangetrådet. Ved produksjon brukes metall med en bestemt renhetsgrad, som trekkes ned til en bestemt dimensjon. Skal lederen være fler eller mangetrådet, tvinnes flere tråder sammen til en leder.

**Lederisolasjon** består for det meste av plast eller gummi. Gummi og plast er en fellesnevner for et stort antall materialer. For kabler med merkespenning over 1 kV er det mest PEX som brukes. Ellers er det PVC, PE og EPR som brukes. Isolasjonen ekstruderes på lederen.

**Halvledende lag** brukes i kabler med merkespenning over 3 kV og har som oppgave å jevne ut overgangen mellom ledere og isolas-

jon, og mellom isolasjon og skjerm. Dette for å få en jevn elektrisk feltfordeling og hindre glimming mellom leder/skjerm og isolasjon.

**Fyllkappe/båndering** brukes både for å holde snokonstruksjonen sammen, og for å lage en tilnærmet rund kabel. Som fyllkappe kan brukes en masse som ekstruderes på lederne, eller det kan legges inn fyllmateriale som fyllstrenger, bånd o.l. Båndering kan bestå av papir eller plastbånd.

**Skjerm/konsentrisk leder** kan bestå av kobbertråder eller langsgående al-bånd. For signalkabler er hovedhensikten at den skal beskytte kabelen mot ytre elektriske forstyrrelser samt at den skal fungere som personbeskyttelse. Når det gjelder kraftkabler skal skjermen fungere som personbeskyttelse om det oppstår skade på kablen. Den må derfor ha stort nok tverrsnitt til å føre maks feilstrøm (topolet jordslutning) uten for høy spenningsstigning. For høyspenningskabel har skjermen dessuten den viktige funksjonen å lede ladestrømmen for kablen. For 1 kV kabel kan den også fungere som nulleder og jordleider.

**Armering** brukes for å gi kablen en god mekanisk beskyttelse. Det brukes vanligvis stålband eller ståltrådarmering. For skips- og offshorekabler brukes kobbertrådfletting.

**Ytre kappe** skal beskytte mot mekanisk og kjemisk påvirkning. Den kan bestå av plast eller gummi, og ekstruderes på kabelskjermen. PVC og PE er de mest brukte plastmaterialer, men det benyttes også mange forskjellige gummimaterialer.

## Egenskaper hos ledermaterialer

Som ledermateriale brukes i dag kobber og aluminium. I de grove kraftkablene har aluminium nå nesten helt erstattet kobber. Dette har sin bakgrunn i at Al ved kjøp av en gitt

ledningsevne er mer enn 50 % rimeligere enn Cu, ved et «normalt» prisforhold mellom metallene.

## Kobber

Ved produksjon av kabel brukes elektrolyttkobber, dvs. kobber som har blitt raffinert i et elektrolyttbad. Ved bruk av denne metoden kan man få en renhetsgrad som er høyere enn 99,9%. All kobbertråd som brukes i kabel glødes for å bli bøyelig. Kobber har en god ledningsevne, er lett å tilkoble, og har høy bruddstyrke.

## Aluminium

Siden begynnelsen av 60-tallet har aluminium

blitt brukt som ledermateriale i kraftkabler. Den kvalitet som brukes har en renhetsgrad på 99,5%.

Aluminium har lavere densitet og bruddstyrke enn kobber. Ledningsevnen er ca. 60% av kobberets. Ved tilkobling av aluminium er det viktig at man er nøyde p.g.a. at det dannes aluminiumoksyd som er elektrisk isolerende og at aluminium kaldflyter lettere enn kobber. Bl.a. av disse grunner finnes ikke Al for lavere tverrsnitt enn 25 mm<sup>2</sup>.

## Egenskaper hos isolasjons- og kappematerialer

I dag brukes det hovedsakelig plast og gummi for kraftkabler, både som isolasjons- og kappe-materiale. Plast og gummi har p.g.a. enkel bearbeiding og store variasjonsmuligheter i egenskaper nesten helt erstattet impregnert papir- og tekstilmateriale for kabel for spenninger under 36 kV.

De plast- og gummimaterialer som brukes har ulike termiske, mekaniske og elektriske egenskaper. Aldringsegenskaper, kjemikaliebestandighet og brannegenskaper varierer også sterkt.

Det er derfor viktig å velge rett materiale for det aktuelle bruksområdet.

## Plaster

### Polyvinylklorid (PVC)

#### Termiske egenskaper

PVC er et termoplastisk materiale, dvs. at det mykner ved oppvarming og stivner ved nedkjøling. Mykhetsgradene ved forskjellige temperaturer er avhengig av mengden av mykner i blandingen.

Vanligvis kan PVC-isolerte kabler brukes opp til + 70°C. Ved temperatur omkring + 100°C over lengre tid stivner PVC av standardkvalitet p.g.a. at mykneren trekkes ut.

#### Mekaniske egenskaper

PVC har meget god trekk- og rivholdsfasthet. Hardheten kan avpasses etter anvendingsområdene gjennom ulik innblanding av mykner.

#### Elektriske egenskaper

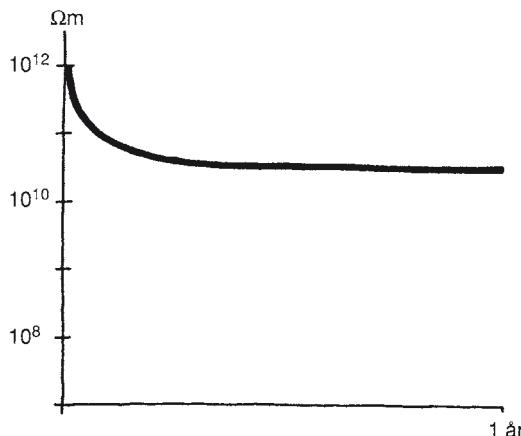
På grunn av oppbygging og klorinnholdet er di-elektrisitetskonstant og tapsfaktorer store, noe som gjør at PVC ikke egner seg til isolasjon for høyspenningskabel, eller som isolasjon i telekabel for høye frekvenser.

Disse faktorene er også avhengige av temperaturer. Gjennomslags-holdfastheten er stor, og isolasjonsmotstanden varierer på samme måte som hos andre isolasjonsmaterialer med temperatur, og er ved + 60°C ca. 100 ggr. lavere enn ved + 20°C.

En god isolasjonsblanding opprettholder sine elektriske egenskaper under lengre opphold i vann.

#### Aldringsegenskaper

Ved bruk utendørs er sort PVC det beste, men en riktig blanding av lys PVC kan også brukes. PVC har en god holdfasthet mot ozon.



Bilde 3. Isolasjonsmotstand hos PVC etter lagring i 40°C vann

## Kjemikaleresistens

PVC er meget motstandsdyktig mot syrer, alkalier, motorolje og et stort antall løsningsmidler. Noen løsningsmidler og oljer kan likevel forårsake en utskilling av mykner, noe som resulterer i at PVC blir hardere. Dette forringes ikke de elektriske egenskaper.

Mykneren i PVC kan etter langvarig kontakt med andre materialer forårsake klebing og andre forandringer hos f.eks. lakkerte overflater og plater.

## Brannegenskaper

Hard PVC inneholder 57% kjemisk bundet klor, noe som gjør at PVC har vanskelig for å brenne.

Klor hindrer tilførsel av oksygen og demper forbrenningen av PVC. Den PVC som brukes i kabler og ledninger inneholder mykner som ofte er brennbar. Dette gjør at PVC-ens selvslukkende egenskaper forringes, særlig ved høye temperaturer. Ved å sette til forskjellige brannhemmende kjemikalier kan likevel de selvslukkende egenskaper forbedres, også ved høye temperaturer. Dette må imidlertid avpasses med henblikk på å opprettholde de mekaniske og elektriske egenskaper.

PVC-materialets selvslukkende egenskap kan fastslås ved å måle oksygenindeks og selvantenningstemperatur.

## Polyetylen (PE)

Vanligvis brukes i dag LD-polyetylen (Low Density). Det finnes også andre kvaliteter PE, MD-polyetylen (medium density) og HD-polyetylen (High Density). Disse brukes der hvor kravene til styrke og deformasjon ved høy temperatur er store.

## Termiske egenskaper (LD-PE)

På grunn av materialets termoplastiske egenskaper er høyeste kontinuerlige driftstemperatur + 70°C. Polyetylen blir stivere i kulde slik som andre plaster, men blir sprø først ved - 80°C.

## Mekaniske egenskaper

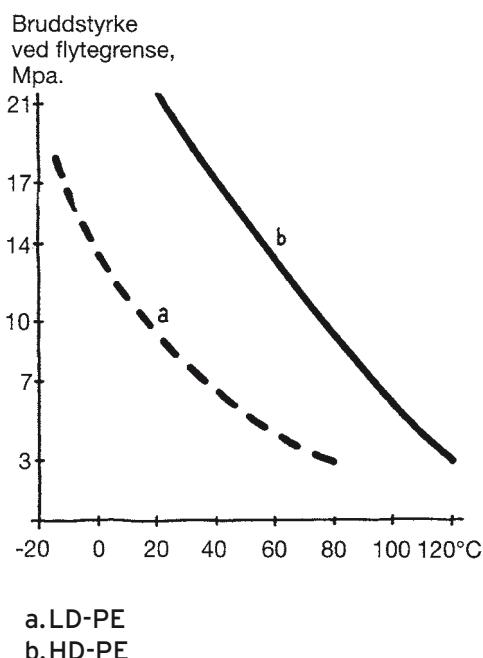
De mekaniske egenskaper er meget gode. HD-polyetylen er bedre enn LD-polyetylen.

## Elektriske egenskaper

Polyetylen har gode elektriske egenskaper. Disse påvirkes imidlertid av varme, men ikke av å ligge i vann.

## Aldringsegenskaper

Polyetylen har gode aldringsegenskaper selv ved høy temperatur. De ultrafiolette strålene i sollyset forårsaker sprekkdannelser i materialet så lenge det ikke tilsettes sot. Polyetylen som skal være værbestandig bør derfor være sort.



Bilde 4. Flytegrens for PE er temperaturavhengig

## Kjemikaleresistens

Ved romtemperatur er polyetylen meget motstandsdyktig mot kjemikalier, olje og løsningsmidler. De elektriske egenskaper kan likevel forringes ved absorpsjon av visse typer olje og løsningsmidler, selv i romtemperatur.

Polyetylen inneholder ikke mykner, og påvirker derfor ikke andre materialer. Når det er i kontakt med PVC eller gummi vil polyetylen absorbere små mengder mykner, noe som kan påvirke de elektriske egenskaper, spesielt tapsfaktoren.

## Brannegenskaper

Polyetylen underholder forbrenning, men branngassene er halogenfrie og røyksvake.

## Tverrbundet polyetylen (PEX)

Polyetylen har lenge vært brukt som isolasjonsmateriale i kabler p.g.a. sine gode mekaniske og elektriske egenskaper, gode bøyeegenskaper i kulde og god motstand mot fuktighet og kjemikalier.

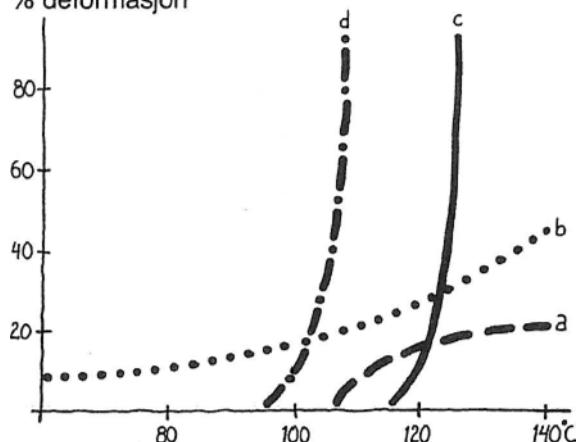
LD-polyetylen har noen begrensninger når det gjelder bruk til isolasjon. Ved høy temperatur (+ 105°C/115°C) mykner alle termoplaster, og det oppstår mulighet for sprekkdannelse.

Ved å ta i bruk en prosess som ligner vulkanisering av gummi, tverrbindes PE-molekylene, slik at de termiske og mekaniske egenskapene forbedres, uten at de elektriske egenskapene forringes. Tendensen til sprekkdannelse forsvinner, og ved å tilsette antioksydanter får materialet meget gode aldringsegenskaper. Materialet er ikke lenger en termoplast slik som PE er. Det mykner ved PEs smeltepkt. (+ 105°C/115°C) og det endres til en gummilignende konsistens. Denne tilstand opprettholdes opp til + 300°C. Da vil materialet brytes ned og forkulles.

## Termiske egenskaper

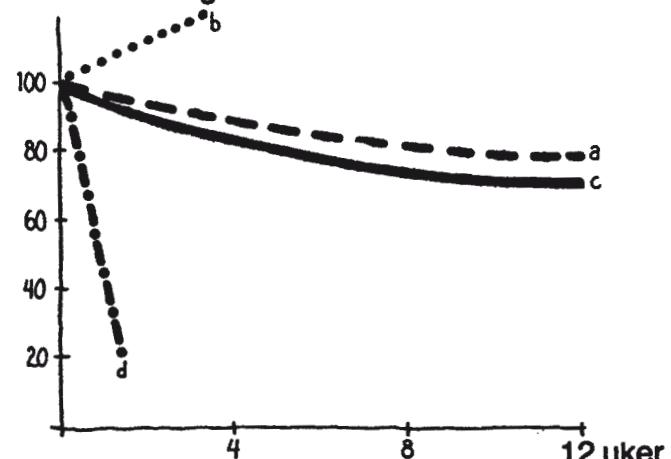
På grunn av tverrbindingen får PEX en god motstand mot deformasjon ved høy temperatur. Derfor kan det tillates en vesentlig høyere driftstemperatur enn for vanlig PE. Som for PE har PEX gode bøyeegenskaper ned mot -40°C. PEX kan brukes i kontinuerlig drift opp til +90°C.

### % deformasjon



Bilde 5. Deformasjonstest

## Relativ endring av bruddholdfasthet



Bilde 6. Aldring i varmluft ved + 120°C

## Brannegenskaper

PEX underholder forbrenning på samme måte som PE og også denne har halogenfrie branngasser. Utfylt PEX drypper betydelig mindre enn PE, noe som helt kan unngås ved tilsetting av fyllmiddel. Fylt PEX kan brukes som lavspenningsisolasjon, men høye spenninger krever ufylte isolasjonsmaterialer.

## Termoplastiske elastomere (TPE)

Termoplastisk elastomer er et samlingsnavn for flere høypolymere plastmaterialer, som brukes både som isolasjons og kappmateriale i kabler.

Ettersom TPE materialene er blanding av to eller flere ulike basismaterialer, finnes det nesten en uendelig mulighet for kombinasjoner. Myk - hard, polare - upolare gir muligheter for mange ulike anvendelsesområder.

## Elektriske egenskaper

Polyetylenets gode elektriske egenskaper opprettholdes etter tverrbindingen. Disse egenskapene forandres ubetydelig med temperatur og omtrent ikke ved forlegging i vann.

## Mekaniske egenskaper - aldringsegenskaper

På samme måte som for PE har PEX gode mekaniske egenskaper. Av de vanligste isolasjonsmaterialer som brukes i kabel er

det bare silikon som har bedre aldringsegenskaper enn PEX ved høy temperatur. Værbestandigheten er meget god for sort PEX.

### Kjemikalieresistens

Den kjemiske oppbygningen hos PEX og PE er den samme, dette gjør at visse upolare oljer og organiske løsningsmidler absorberes av PEX. Svelingen er allikevel liten og merkes først ved høy temperatur (+ 70°C). Polare oljer og løsningsmidler har mindre innvirkning på PEX enn på PE.

### Polyuretan (PUR, uretanplast)

Gode mekaniske egenskaper, slik som høy slitasjebestandighet, gjør at materialet er godt egnet som kappemateriale, men det har en høy pris. Polyuretan har også gode bøyeegenskaper i kulde ned mot - 40°C, og god motstand mot olje, bensin og de fleste løsningsmidler. Materialet er godt egnet på sjøkabel for vanntette innstøpninger.

### Halogenfri selvslukkende Polymer (FRPE)

Disse røyksvake og korrosjonsfrie materialer benyttes i sikkerhetskabler. Materialene er basert på EVA og har mekaniske og elektriske egenskaper som ligger nær opptil PVC. Prisen er forholdsvis høy, men når det kreves at landbaserte kabler skal ha lav røykutvikling og ingen korrosive gasser ved brann, er dette det beste valget.

### Polyamid (PA, Nylon)

Polyamid kjennetegnes ved at de har stor slitasjebestandighet og god motstand mot kjemikalier. Det finnes et stort antall forskjellige Polyamid kvaliteter. Overtrekk av Polyamid utenpå en kabel benyttes for å beskytte mot kjemikalier, mekanisk slitasje eller termitter.

## Gummi

Gummi har i de senere år blitt et samleord for et stort antall materialer som etter vulkanisering (tverrbinding) blir elastisk.

De blandinger som brukes i kabelproduksjon er syntetisk laget, f.eks. Etylenpropylen, Neopren, Hypalon, Silikon og Aton. Egenskapene kan varieres hos de forskjellige materialene ved å forandre sammensetninger i blandingerne.

### Etylen propylen-gummi (EPR, EPDM)

Etylenpropylengummi eller EP-gummi er et samlingsnavn for to ulike polymertyper, EPM og EPDM. EPM brukes bare til isolering av høyspentkabel, mens EPDM har mange anvendelsesområder innenfor kabelteknikken. EP-gummi har fått en dominerende rolle som isolasjonsmateriale i skipskabel og fleksible gummikabler.

### Termiske egenskaper

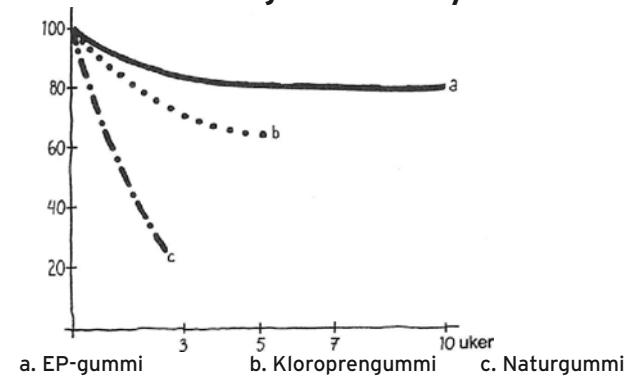
EP-gummi kan brukes i kontinuerlig drift opp til + 90°C. De mekaniske egenskaper blir noe dårligere ved oppvarming, men ved normal

mekanisk belastning kan materialet en kort stund klare en temperatur opp til + 250°C.

### Mekaniske egenskaper

Isolasjonsmateriale på EP-basis har allerede ved romtemperatur forholdsvis lav mekanisk hold-fasthet, noe som ikke forverrer seg nevneverdig ved forhøyet temperatur. De gode aldringsegenskapene kompenserer de opprinnelige lave holdfasthetsverdier. I kabler beskyttes isolasjonsmaterialet av en mekanisk sterkere kappe.

### % relativ endring av bruddstyrken



Bilde 7. Varmluftsaldring av forskjellige gummityper. Bruddstyrke i % av opprinnelig verdi.



## Aldringsegenskaper

EP-gummi har god aldringsbestandighet selv ved høy temperatur, og overgår også naturgummi når det gjelder dette.

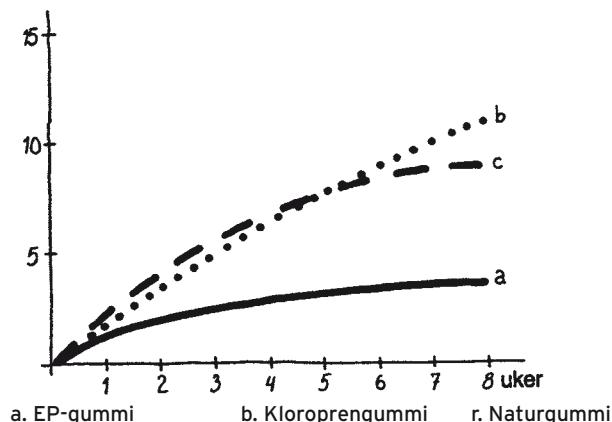
## Elektriske egenskaper

EP-isolasjon har gode elektriske egenskaper som kun forandres ubetydelig under påvirkning av vann eller varme.

## Fuktabsorbsjon

EP-gummienes lave fuktabsorbsjon sammenlignet med naturgummi gjør den godt egnet til isolasjonsmateriale.

## Vannabsorbsjon mg/cm<sup>2</sup>



Bilde 8. Vannabsorbasjon hos forskjellige gummityper ved + 70°C.

## Kjemikalieresistens

Både mineralolje og diverse løsningsmidler forårsaker svelling av både naturgummi og EP-gummi, men EP-gummi er mer motstandsdyktig mot uorganiske kjemikalier enn naturgummi.

## Brannegenskaper

EP-gummi underholder forbrenning, og brenner langsomt med liten røykutvikling. Branngassene er halogenfrie og på samme måte som PE og PEX kan EP-gummi gjøres mer flammebestandig gjennom å tilsette ulike stoffer.

## Ozon-og værbestandighet.

EP-gummi har god ozon- og værbestandighet.

## Kloropren gummi (CR/PCP, Neopren)

### Termiske egenskaper

Den maksimale kontinuerlige driftstemperaturen er + 80°C, avhengig av krystallisasjon, noe som varierer avhengig av type polymer og blandingens sammensetning. Kloropren-gummi av standardkvalitet stivner i kulde, og blir meget stift ved - 40°C.

### Mekaniske egenskaper

Kloropren-gummi har meget gode mekaniske egenskaper, og brukes på grunn av sin slitestyrke mer og mer som kappemateriale.

## Elektriske egenskaper

På grunn av sin kjemiske struktur er kloropren-gummienes elektriske egenskaper ikke så gode. Det kan lages spesialblandinger for isolasjon som har bedre elektriske egenskaper, noe som går på bekostning av den mekaniske holdfastheten. De elektriske egenskaper hos kloropren-gummi påvirkes i større grad ved lagring i vann enn hos naturgummi, PVC og PE.

## Aldringsegenskaper

Aldringsegenskapene er meget gode selv i tropiske klima, dvs. under påvirkning av sterkt sollys, ozon og fuktighet.

## Kjemikalieresistens

Kloropren-gummienes motstandskraft mot olje, løsningsmiddel, syrer og alkalier er god. Det er spesielt holdfastheten mot olje som er viktig med tanke på at den brukes som kabelmateriale.

## Brannegenskaper

Kloropren-gummi underholder ikke forbrenning. Klorinnholdet i en normal PCP-blanding er omtrent halvparten av hva den er i en PVC-blanding.

## Tarmo

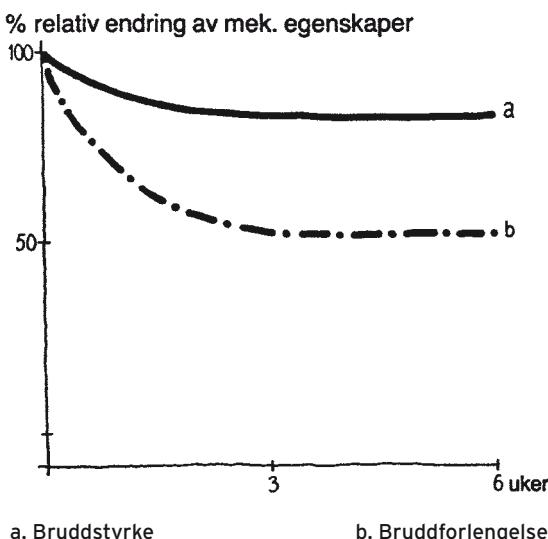
Tarmo er et varemerke for en gummiblanding som er halogenfri, selvslukkende, olje- og værbestandig og som har meget gode termiske egenskaper. Anbefalt temperaturområde er +90°C til -50°C.

## Silikongummi (MQ, kiselgummi)

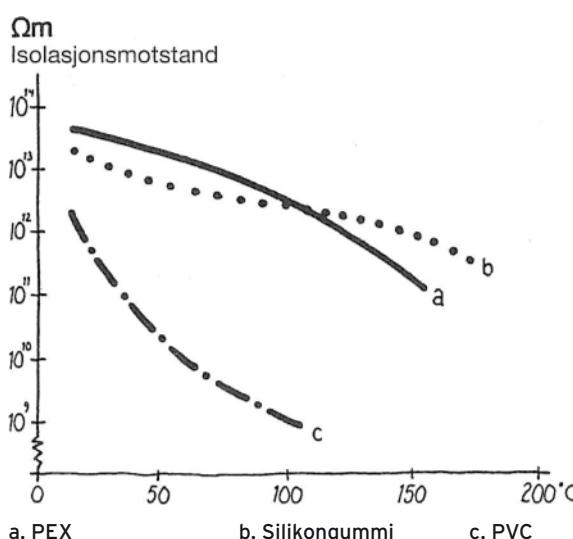
Ledninger som kontinuerlig utsettes for høye temperaturer, f.eks. elektriske ovner, lages nå med isolasjon av silikongummi. Den gode varmebestandigheten hos dette materialet skyldes at kisel forekommer i molekylkjedene.

## Termiske egenskaper

Silikonisolert ledning må ikke utsettes for høyere kontinuerlig temperatur enn + 180°C. Materialet kan i et kortere tidsrom klare + 250°C. Ved oppvarming til over + 400°C går silikongummien over til pulveraktig kiseloksyd. Dette er et ypperlig isolasjonsmateriale i tørr tilstand. Silikongummi opprettholder sin elastisitet og bøyelighet helt ned til - 70°C.



Bilde 9. Relativ endring av mekaniske egenskaper hos silikongummi ved aldring i varmluft ved 200°C



Bilde 10. Isol. motstandens temperaturavhengighet hos silikongummi, PEX og PVC.

## Mekaniske egenskaper.

Silikongummien holdfasthet ved romtemperatur er noe svakere enn EP-gummi. Både ved høye og lave temperaturer er silikongummiens mekanisk overlegen andre gummityper.

## Elektriske egenskaper

Elektriske egenskaper forandres ubetydelig med temperaturen

## Aldringsegenskaper

Aldringsbestandigheten for silikongummi ved + 200°C er omtrent som for naturgummi ved + 70°C. Værbestandigheten er meget god, selv i tropiske klima.

## Kjemikalieresistens

Silikongummi har god holdfasthet mot ozon og de fleste utspedde syrer og baser. Organiske løsningsmidler forårsaker svelling av gummiens, men etter tørking kommer de opprinnelige egenskaper tilbake. Holdfastheten mot animalske og vegetabiliske oljer, samt tunge smøreoljer, er god.

## Brannegenskaper

Silikongummi brenner, men den etterlatter en isolerende rest av kiseldioksyd, slik at ledningen kan fungere både under og etter en brann hvis isolasjonen holdes sammen av f.eks. en fletting av glassgarn.

## Etylenvinylacetat-gummi (EVA)

### Bruksområde:

Bruktes som kappemateriale i halogenfrie offshore-kabler, hvor det er krav til god motstand mot brannspredning.

## Termiske egenskaper:

Anbefalt temperaturområde er +110 °C til - 40 °C.

## Ozon- og aldringsegenskaper:

Angripes ikke av Ozon og har ypperlig bestandighet mot vær og vind.

## Elektriske egenskaper:

Materialet har gode isolerende egenskaper, men brukes sjeldent som isolasjon.

**Oljebestandighet:**

EVA har god bestandighet mot vanlige smøreoljer. Oljer med høyt aromat innhold påvirker materialet slik at det sveller og nedbrytes.  
(f.eks Drilling Mud )

**Brannegenskaper:**

Ved å tilsette de riktige kjemikalier oppnås blandinger med gode selvslukkende egenskaper. EVA er halogenfritt og ingen korrosive gasser frigjøres ved overoppheating eller brann. Det avgis nesten ikke røyk, slik at rømningsveier lett kan finnes.

**Klorsulfonert polyetylen  
(CSM/CSP, Hypalon)****Termiske egenskaper**

Kontinuerlig driftstemperatur for vanlige kappeblanding er 100°C. Med høytemperatur egenskaper som det primære krav kan kappeblanding med 120°C som kontinuerlig driftstemperatur lett utarbeides.

Vanlige Hypalon kappeblanding har driftsegenskaper til -20°C. Kappeblanding til -40°C kan utarbeides.

**Ozon- og korona-bestandighet**

Hypalons polymere struktur gjør den bestandig mot ozonangrep. En spesiell egenskap hos Hypalon er stor motstand mot koronaangrep. En kabel som utsettes for

koronautladninger må ikke bare være bestandig mot høye ozonkonsentrasjoner, men den må også tåle dielektrisk utmatning og overflateerosjon. Hypalon klarer dette på en utmerket måte.

**Elektriske egenskaper**

Hypalon kan brukes som isolasjonsmateriale opp til 1 kV, men brukes lite da bedre løsninger finnes med andre polymere materialer.

**Aldringsegenskaper**

Hypalons bestandighet mot vær og vind er ypperlig. Fargede kapper har like god bestandighet som sorte når de har UV stabile pigmenter. Dette er en spesiell egenskap hos Hypalon.

**Kjemikaleresistens**

Kapper av Hypalon er bestandige mot petroleumbaserte oljer. Hypalon er også bestandig mot syrer, alkalier og mange kjemikalier.

**Brannegenskaper**

Hypalon har den felles egenskap med Neopren at den inneholder klor. De brannhemmende egenskapene er temmelig like, og ved riktig reseptoppbygging, vil både Hypalon og Neopren slukke når de fjernes fra flammene. Ulemper i denne sammenheng er dannelse av saltsyre (HCl) og sterkt røykutvikling.

## Kabelbetegnelser

For å beskrive de ulike kablers konstruksjon, og delvis derved også deres anvendelsesområder, brukes det bokstavkombinasjoner. Hvert enkelt land har sine egne betegnelser, men det finnes også system som er felles for Europa. I Norge brukes det et system som inneholder 4 bokstaver. Det finnes imidlertid enkelte unntak, så som for rørtråd og bevegelig kabel.

I 4-bokstavkoden har de forskjellige bokstavene følgende betydning:

1. Lederisolasjon
2. Fyllkappe/båndering
3. Skjerm/armering
4. Ytre kappe

Vi viser til tabell 2 når det gjelder fullstendig oversikt over bokstavkodene.

**Det felles europeiske system, CENELEC**

Cenelec har innført harmoniserte, dvs. samordnede produktnormer for en del ulike kabeltyper. Dette betyr at det har blitt innført ett felles merkesystem, som inntil videre brukes parallelt med de nasjonale systemer.

I tabell 3 vises hvordan dette system er bygget opp. De harmoniserte og godkjente kabler merkes med «HAR», eller en merketråd som for Norges del er 1 cm sort, 1 cm rød og 7 cm gul. HAR-godkjente kabler kan omsettes fritt i Cenelecs medlemsland.

# Merkesystem

Kabler skal merkes for å lette identifisering av bl.a. ledere, typer og produsenter. Det finnes ulike systemer avhengig av hvilken type kabel det gjelder.

## Ledermerking

Ledermerking kan bestå av tall, farger eller riller. Ledermerkingen kreves bare for kabler inntil 1 kV. Følgende hovedregler gjelder:

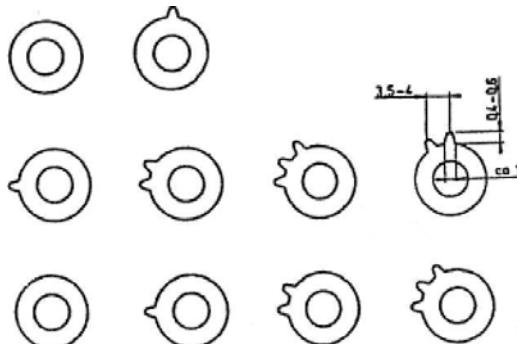
- Jordleder skal alltid være merket gul/grønn. Unntak fra dette er signal referansejord, tele og data som tillater gul/rød. Ledere med annen farge eller fargekombinasjoner skal ikke brukes som jordleder. Ledere som ikke har riktig fargekombinasjon skal merkes om med tape, isolasjonsstrømpe e.l.
- Lyseblå leder skal fortrinnsvis brukes som nulleder.

I kraftkabel for spenning < 1 kV benyttes fargemerking.

Signalkabel er merket med tall fra 1 og oppover, og alltid fra sentrum. I par-kabler merkes ledene slik at parene inneholder nummer i løpende rekkefølge med start i

kabelens sentrum. På EX-hengeledning merkes ledene med langsgående riller.

For ledermerking av installasjons- og bevegelig kabel brukes alltid farger.



Bilde 11. Lederidentifisering for EX.

## Kappemerking

Kraftkabler har vanligvis en påtrykt merking med en tekst som viser kabelens typebetegnelse og merkespenning.

Merkingen kan også inneholde lederantall og tverrsnitt. All kabel skal også merkes med produsent. Det kan gjøres på to måter, enten med en merketråd inne i kabelen, eller merking på kappen. Hver enkelt produsent har sin egen merketråd, og for Draka Norsk Kabel er dette en rød tråd.

# Normer og forskrifter

En kabels konstruksjon, prøving og bruksområde er ting som reguleres av normer og forskrifter. I normene og forskriftene gis det bare anbefalinger og bestemmelser for hvordan man utifra et sikkerhetssynspunkt skal få et tilfredsstillende anlegg.

Økonomiske hensyn tas ikke.

## Organisasjoner

Forskrifter for elektriske anlegg utgis av Norsk elektroteknisk norm Elektriske lavspenningsinstallasjoner.

NEK, norges elektrotekniske normer, utgis av Norsk Elektroteknisk Komite.

NEMKO, Norges Elektriske Materiellkontroll, typeprøver elektrisk materiell.

Det internasjonale standardiseringsarbeide drives av IEC, med ca. 40 medlemsland. Cenelec utarbeider felles normer og bestemmelser for medlemslandene utifra IECs spesifikasjon. Formålet er at man gjennom å lage en felles standard for de nasjonale normer og forskrifter skal lette handelen mellom medlemslandene. Cenelec har ca. 18 medlemsland.

## Elektriske begrep

### Spanning, strøm, effekt

Nedenfor vises noen definisjoner på spenningsuttrykk som brukes:

Spenninger til kraftforsyning er som regel enten **ikespenning** (DC = Direct Current) eller sinusformet **vekselspenning** (AC = Alternating Current) med et gitt antall per- oder i sekundet angitt i Herz (Hz), normalt 50 Hz i Europa eller 60 Hz i USA og mange andre steder i verden.

**Linjespenningen** er spenningen mellom de spenningsførende fasene i et overføringssystem. Den betegnes også ofte som **driftspanning** eller **systemspanning**, og noteres U.

**Fasespenningen** er spenningen mellom faseleder og skjerm eller jord og noteres  $U_0$ . I et symmetrisk trefasesystem er  $U_0 = U/\sqrt{3}$ .

Forskrifter opererer med «sterkstrøms-» og «svakstrøms-» anlegg, som følger:

**Svakstrømsanlegg** er et anlegg hvor elektrisiteten brukes til overføring av lyd, bilder o.l. med lav spenning eller strøm. Normalt opp til 50 V.

Med **sterkstrømsanlegg** forstår alle elektriske anlegg som ikke kan anses som svakstrøms-anlegg.

En annen og mer eksakt inndeling er:

**Lavspenningsanlegg** - anlegg for spenning opp til og med 1000 V ved vekselspenning (effektivverdi) eller 1500 V ved likespenning

**Høyspenningsanlegg** - anlegg for spenning høyere enn 1000 V ved vekselspenning (effektivverdi) eller 1500 V ved likespenning

Begrepet mellomspenning er ikke lenger i bruk i Norge, mens det i andre land brukes om spenninger mellom 1 og 36 kV. («medium voltage»)

Spanningsområder for en kabel angis med fasespenning/driftspanning, f.eks. 0,6/1 kV, 7/12 kV eller 14/24 kV.

Sammenhengen mellom strømmen I, aktiv effekt P og spenningen U finner man i følgende formler:

$$\text{Likestrøm} \quad I = \frac{P}{U}$$

$$\text{Enfaset vekselstrøm} \quad I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi}$$

$$\text{Trefaset vekselstrøm} \quad I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3}}$$

### Resistans

Lederresistansen, eller ledermotstanden er avhengig av lederens areal og ledermaterialelets spesifikke resistivitet. I IEC 60 228 angis høyeste tillatte verdi på lederresistansen for kraftkabler og signalkabler. Verdiene angir likestrømsresistans for ferdig kabel.

Lederresistansen kan beregnes utifra formelen:

$$R_{20} = \rho \frac{L}{A}$$

$R_{20}$  = resistansen ved 20 °C i ohm/km

$\rho_{20}$  = resistiviteten ved 20°C i ohm · mm²/km

For kobber er  $\rho_{20} = 17,241 \text{ ohm} \cdot \text{mm}^2/\text{km}$

For aluminium er  $\rho_{20} = 28,264 \text{ ohm} \cdot \text{mm}^2/\text{km}$

A = lederens tverrsnitt i mm²

L = lederens lengde i km

De resistansverdiene som oppgis i tabellene er høyere enn de man regner seg fram til med formelen ovenfor. Dette tillegget skyldes snoing av tråder til ledere og kabling av ledere til flerledekabel.

Resistansen øker med økende temperatur. Temperaturavhengigheten er så godt som lineær, og angis med temperaturkoeffisienten a. Resistanser kan regnes om fra 20°C til annen temperatur i henhold til formelen:

$$R_t = R_{20} (1 + \alpha (t - 20))$$

$R_{20}$  = Motstand ved 20°C

t = Ledertemperatur i °C

$\alpha$  = 0,00393 for kobber

$\alpha$  = 0,00403 for aluminium

Ettersom temperaturen har stor betydning for ledernes resistans under drift, bør man regne om resistansen til aktuell temperatur når spenningsfall, belastningstap o.l. skal beregnes. For en PVC-kabel er høyeste tillatte ledertemperatur 70°C. Resistansen er da 20% høyere enn ved 20°C. For en PEX-kabel, der høyeste tillatte ledertemperatur er 90°C, er resistansen 28% høyere enn ved 20°C.

Ved vekselspenning (AC) vil resistansen i en faseleder i en kabel være større enn ved likespenning (DC). Dette på grunn av induksjon, som ytrer seg som **strømfortrengning** (påvirkning fra strømmen i lederen selv) og **næreffekt** (påvirkning fra strømmen i nærliggende ledere). Ved 240 mm<sup>2</sup> Cu er 50 Hz AC-motstanden 2,8 % større enn DC-motstanden. Ved 240 mm<sup>2</sup> Al og 400 mm<sup>2</sup> Al er økningen henholdsvis 1,2 og 2,2 %. Større tverrsnitt og høyere frekvens gir større økning. For vanlige praktiske formål ved 50 Hz er det derfor tilstrekkelig å regne med DC-motstand til og med 240 mm<sup>2</sup> Cu og 400 mm<sup>2</sup> Al (mindre enn 3 % feil). Ved vekselspenning oppstår det også **strømmer i skjerm og armering**. Dette kan redusere overføringskapasiteten for kabel og er tatt hensyn til i belastningstabeller.

Resistans er det viktigste begrepet ved likespenning. For store tverrsnitt (> 50 mm<sup>2</sup>) og ved vekselspenning kommer i tillegg induktans og kapasitans inn, på alle spenningsnivå. Spenningspåkjenningene på isolasjonsmaterialer er dessuten ulike ved de to ulike spenningstypene, noe som spesielt har betydning for valg av isolasjonsmateriale ved høyspenning. For kabel med driftsspenninger under 1 kV spiller det mindre rolle.

## Induktans

Induktansen virker som en ekstra motstand

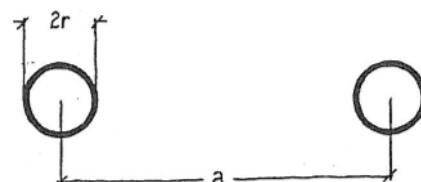
i en leder ved vekselspenning. Den utvikler ikke varme, og strømmen gjennom en induktans vil alltid være faseforskjøvet 90° etter spenningen over induktansen. Induktansen for en leder hvor returstrømmen går i en parallel leder i konstant avstand, kan beregnes i henhold til formelen:

$$L = 0,05 + 0,2 \cdot \ln \frac{a}{r} \text{ mH/km}$$

L = induktansen i mH/km

a = avstanden mellom ledene i mm

r = lederradien i mm



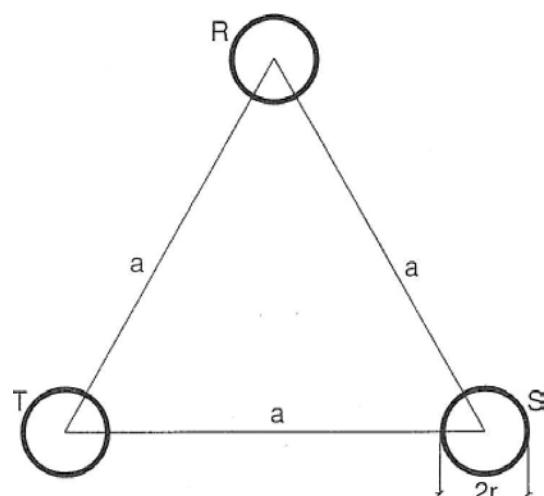
Bilde 12. Parallelle ledere.

Formelen gjelder for induktansen i en kabel i et enfasesystem der de to ledene fungerer som frem- og tilbakeleder. Av formelen fremgår det at L bare avhenger av avstanden mellom ledene og den aktuelle lederns radius. Induktansen øker med a og avtar med r.

I et trefasesystem med ledene forlagt i symmetrisk trekant, som ved trelederkabel og ved enleder i tett trekant, gjelder den samme formelen for beregning av **ekvivalent pr. fase induktans**. Denne kommer i serie med leders-(pr.fase-)resistansen.

$$L_R = L_S = L_T = L$$

$$L = 0,05 + 0,2 \cdot \ln \frac{a}{r} \text{ mH/km}$$



Bilde 13. 3-leder i likesidig trekant

Når lederne i et trefasesystem er forlagt i plan, blir induktansen ulik for de tre lederne. Man kan regne seg frem til en forenklet middelverdi ved hjelp av formelen:

$$L_{\text{mid}} = 0,05 + 0,2 \cdot \ln \frac{\bar{a}}{r} \text{ mH/km}$$

$$\bar{a} = \sqrt[3]{2} \cdot a = 1,26 \cdot a$$



Bilde 14. Tre ledere i flat forlegging

$1,26 \cdot a$  er den geometriske middelavstanden mellom lederne. Av formelen ses at trelederkabel eller enlederkabel i tett trekant vil ha mindre induktans enn plan forlegning av enlederkabel.

Formelen gjelder for sirkulære ledere. Med sektorformede ledere i en flerlederkabel, vil induktansen bli noen prosent mindre enn ved sirkulære. Med magnetisk materiale i kabelen, f.eks. ved stålarmering, vil induktansen bli høyere.

## Kapasitans

En kabel kan elektrisk sett betraktes som et system av kondensatorer. Sett fra en leder vil lederen selv være den ene elektroden. De andre elektrodene vil være nærliggende metalldeler, d.v.s. ledene i de andre fasene samt eventuell kabelskjerm, eller bare isolasjonskjermen, hvis de isolerte ledene har individuelle elektriske skjermer (H-kabel). Isolasjonen tilsvarer kondensatorens dielektrikum.

Påtrykt vekselspenning over en kapasitans gir en strøm som er  $90^\circ$  fasforskjøvet foran spenningen. Kapasitansen i en kabel kommer i parallel mellom ledene og mellom ledene og jord. Det er ønskelig å regne med en enkelt kapasitans, d.v.s. en ekvivalent kapasitans mellom leder og jord. Dette kalles (pr. fase) driftskapasitansen for systemet.

Avhengig av om hver fase er skjermet hver for seg, eller om det er en 3-leder med felles skjerm, brukes ulike metoder for å beregne kapasitansen.

## Kapasitans ved separat skjermde faser

For en 1-leder, eller en flerlederkabel med skjerm rundt hver leder, blir kapasitansen

$$\ln - C = k \cdot \frac{\epsilon}{D} \cdot \frac{F}{km}$$

$k$  = konstant 0,0556

$\epsilon$  = isolasjonsmaterialets dielektriske konstant

$D$  = diameter over isolasjon, mm

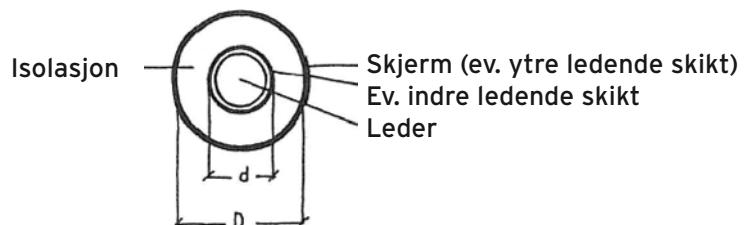
$d$  = diameter under isolasjon, mm

$\epsilon_{PE} = 2,3$

$\epsilon_{PEX} = 2,3$

$\epsilon_{PVC} = 5,0$

$\epsilon_{EPR} = 3,0$



Bilde 15. Snitt av kabel.

$C$  er i dette tilfellet lik driftskapasitansen  $C_d$ . Kapasitansen i en PVC-kabel er dobbelt så stor som i en PEX-kabel med samme dimensjon.

Gjennom en kondensator i vekselspenningsnettet flyter det en kapasitiv vekselstrøm. I en kabel kalles denne strøm for ladestrøm  $I_c$ . I et trefasesystem blir ladestrømmen i hver fase

$$I_c = U_o \cdot \omega \cdot C_d \cdot 10^{-3} A/km \text{ og fase}$$

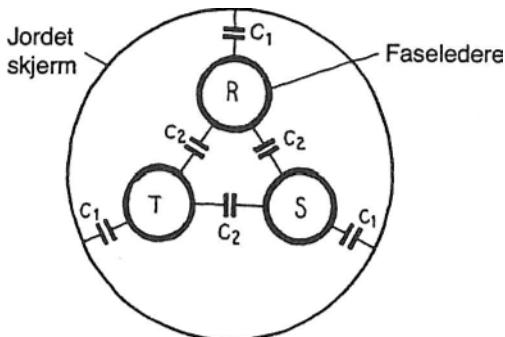
$U_o$  = fasespenning, kV

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$  (vinkelhastighet)

$f$  = frekvensen i Hz

Ved enfase jordfeil i et trefasesystem med skjermde ledere oppstår det en kapasitiv jordslutningsstrøm  $I_j$  som er tre ganger større enn ladestrømmen.

$$I_j = 3 \cdot I_c$$



Bilde 16. Kapasitansen i en 3-leder kabel.

### Kapasitans ved felles skjerm for alle faser

For en kraftkabel der lederen ikke har separate skjermer eller ledende sjikt, f.eks. en PFSP, er det vanskeligere å regne ut  $C$  og  $C_d$ .  $C$  og  $C_d$  er i dette tilfellet heller ikke like.

For at man på en enkel måte skal kunne fastsette  $C$ , må man finne delkapasitansene i kabelen. Først måles kapasitansen  $C'$  mellom en leder og de andre lederne som er forbundet med skjermen.

$$C' = C_1 + 2C_2 \text{ } \mu\text{F}/\text{km}$$

Deretter kobler man de tre lederne sammen og måler kapasitansen  $C$  mellom disse og skjermen

$$C'' = 3C_1 \text{ } \mu\text{F}/\text{km}$$

Når man har målt kapasitanser  $C'$  og  $C''$  kan man regne ut delkapasitanser  $C_1$  og  $C_2$  som følger:

$$C_1 = C''/3 \quad (\text{leder - skjerm})$$

$$C_2 = C'/2 - C''/6 \quad (\text{leder-leder})$$

$C_1$  (leder - skjerm) vil alltid være større enn  $C_2$  (leder - leder), med en faktor i området 2 til 5.

Når man kjenner delkapasitansene, kan driftskapasitansen regnes ut:

$$C_d = C_1 + 3C_2 = 3/2C' - 1/6C''$$

Driftskapasitansen vil domineres av kapasitansen mot jord ( $C_1$ ), som vil utgjøre minst 50 % av  $C_d$ .

Ladestrømmen  $I_c$  beregnes ved hjelp av formelen:

$$I_c = U_0 \omega C_d \cdot 10^{-3} \text{ A/km og fase}$$

Jordslutningsstrømmen  $I_j$  (feilstrøm ved enfase jordfeil):

$$I_j = 3 \cdot U_0 \omega C_1 \cdot 10^{-3} \text{ A/km}$$

### Kapasitans ved skjermlös kabel.

Skjermlös fireledekkabel vil ikke ha full symmetri i kapasitetene, verken mellom fasene, eller mellom fasene og null-lederen. På grunn av mangelen på skjerm vil driftskapasitans i utgangspunktet også være vesentlig mindre enn for kabel med skjerm.

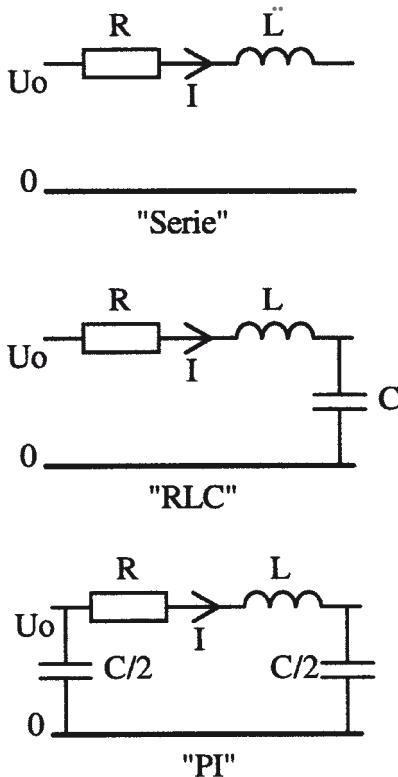
Ulik kabel med skjerm, vil driftskapaciteten for skjermlös kabel også bestemmes av kabelens omgivelser. Spesielt vil kapasiteten mot jord være avhengig av disse. Det er derfor ikke mulig å gi fullstendige kapasitans data for skjermtøs kabel.

### Pr.fase ekvivalentskjema,

Et trefase system (minst tre ledere) vil halvere spenningsfall og overføringstap sammenlignet med enfase (to ledere), ved samme ledertverrsnitt, samme linjespenning og samme overført effekt. Dette er hovedbakgrunnen for trefasesystemers utbredelse. Beregninger kan fort bli komplekse ved trefase, men bruk av **pr. fase ekvivalentskjema** børter på dette. Skjemaet baserer seg på at spenningene er symmetrisk fordelt, d.v.s. med  $120^\circ$  faseforskjell og like store. Hvis spenningen mellom fasene er  $U$  innebærer dette at spenningen i forhold til nøytral-punktet (jord) er  $U/\sqrt{3} = U_0$ . Med belastning  $S$  på endene blir da strømmen i hver leder  $I = (S/3)/(U/\sqrt{3}) = S/(\sqrt{3}U)$ . Hvis spenningsfallet langs en leder (fase) er  $\Delta U_F$  vil spenningsfallet i linjespenningen være

$$\Delta U = \Delta U_F \sqrt{3}.$$

Resistans  $R$  og induktans  $L$  er seriekomponenter, og kapasitansen  $C$  er en parallellkomponent.  $R$  er knyttet til lederen, mens både  $L$  og  $C$  er knyttet til rommet mellom lederne. Alle tre parametre er i virkeligheten fordelt langs lederne. Dette gir følgende alternative ekvivalentskjemaer:



$\pi$ -(pi)-ekvivalenten er den mest nøyaktige, men den er bare aktuell ved høyspenning (>36 kV) eller svært lange 12/24 kV kabler. For 1 kV og lavere, og også i de fleste 12/24 kV tilfeller, er  $C$  liten nok til at kapasitiv strøm til jord (=ladestrøm) er neglisjerbar i forhold til laststrømmen ( $I$ ). For beregning av spenningsfall og tap er derfor den enkle serie-ekvivalenten ( $R-L$ ) normalt tilstrekkelig. Kapasitansen til jord har derimot betydning ved beregning av feilstrøm ved enfase jordfeil i nett med isolert nullpunkt.

### Reaktans (pr. fase).

Ved vekselspenning kan induktansen og kapasitansen hensiktsmessig uttrykkes i [ohm], som induktiv reaktans  $X_L$  og kapasitiv reaktans  $X_C$ . De beregnes etter formlene:

$$X_L = \omega \cdot L \cdot 10^{-3} \text{ ohm/km}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$f$  = frekvensen i Hz

$L$  = induktansen i mH/km

Den kapasitive reaktansen  $X_C$  blir

$$X_C = \frac{10^6}{\omega \cdot C_d} \text{ ohm} \cdot \text{km}$$

$C_d$  = driftskapasitansen i  $\mu\text{F}/\text{km}$

For kraftkabel ligger den induktive reaktansen rundt 0,1 ohm/km (i serie). Den kapasitive reaktansen er langt høyere, i størrelsesorden 10 000 ohm\*km (i parallell). Reaktansen tolkes derfor oftest som pr. fase induktans målt i ohm, mens kapasitanser kommer inn bare ved beregning av ladestrøm og eventuelle jordfeilstrømmer.

### Impedans (pn fase).

Impedans er i kraft-teknikken definert som vekselstrømsmotstand [ohm/km], og er sammensatt av resistans, induktans og kapasitans. Impedans i denne forstand må ikke forveksles med transmisjonsteknisk bølgeimpedans eller karakteristisk impedans. Som nevnt kan kapasitans i kabel neglisjeres i de fleste sammenhenger. Impedansen for en kabel kan da beregnes etter serieekvivalenten, (  $R$  i serie med  $X$  ), d.v.s. iflg. formel:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \text{ ohm/km og fase}$$

$R$  = lederresistens i ohm/km

$X_L$  = induktiv reaktans i ohm/km

$Z$  = impedansen for en fase i ohm/km

### Ledertap

Når en kabel belastes med en strøm, utvikles det en varmeeffekt i lederen som er proporsjonal med strømmen i kvadrat og direkte proporsjonal med lederresistansen. Det må tas hensyn til disse tap når man dimensjonerer et kabelanlegg. Dette fordi kabelen ikke skal få for høy temperatur og på den måten få en kortere levetid, og fordi energitap koster penger.

Ledertap kan beregnes ved hjelp av formelen:

$$P_f = n \cdot I^2 R \text{ W/km}$$

$n$  = antall ledere

$I$  = strøm i A

$R$  = resistans i AC ved driftstemperatur i Ohm/km

### Dielektriske tap

Isolasjonen blir oppvarmet av de tap som ladestrømmen forårsaker. For å kunne beregne tapene må man kjenne til isolasjonsmaterialets tapsfaktor  $\tan\delta$ . Verdien av  $\tan\delta$  avhenger delvis av spenning og temperatur,

men i første rekke materialegenskaper. For PVC er  $\tan\delta$  ca.  $70 \times 10^{-3}$  for fylt PEX ca.  $1,0 \times 10^{-3}$ , for ufylt PEX ca.  $0,2 \times 10^{-3}$  og for papirkabel ca.  $8 \times 10^{-3}$ . De dielektriske tap i et trefasesystem kan beregnes ved hjelp av formelen:

$$P_d = U^2 \omega \cdot C_d \cdot \tan\delta \text{ W/km}$$

$P_d$  = dielektriske tap i W/km

$U$  = hovedspenning i kV

$\tan\delta$  = isolasjonsmaterialets tapsfaktor, en materialekonstant

Av formelen ser en at de dielektriske tap er proporsjonale med spenningen i kvadrat.

### Tilleggstap

I en 1-lederkabel som leverer vekselstrøm oppstår det en indusert spenning i de omliggende kablene skjermer. Denne spenningen kan føre til to typer tap p.g.a. strøm i skermene.

- Virvelstrømmer er strømmer som induseres av ledestrømmen i nærheten av skermen. Disse strømmene er uavhengige av hvordan skermene kobles i kabelendene (åpne eller lukket). Strømmen avtar med økende avstand mellom kablene. Virvelstrømstapene er normalt så små at de kan overses i forhold til ledertapene.
- Sirkulerende strømmer som drives av den induserte spenning oppstår om det brukes skjermer som er lukket (sammenkoblet i begge ender). Skermkretsene lager kretser som strømmene kan flyte i. Strømmenes størrelse avhenger av skermresistansen, avstand mellom kablene og ledestrøm.

Den induserte spenningen i skermen ved to parallele enlederkabler fremgår av formelen:

$$E_s = I \cdot m \text{ [v/km]}$$

$I$  = ledestrøm i A

$$X_m = 2\pi f M \cdot 10^{-3} \text{ [ohm/km]}$$

Den gjensidige induktansen  $M$  mellom lederne og skerm gis av

$$M = 0,2 \ln \frac{2S}{d}$$

$S$  = avstand mellom kabelakser i m  
 $d$  = diameter over skerm i m

Skermimpedansen er

$$Z_s = \sqrt{R_s^2 + X_m^2} \text{ [ohm/km]}$$

$R_s$  = skermresistans i ohm/km

Strømmen i skermen blir derfor

$$I_s = \frac{E_s}{\sqrt{R_s^2 + X_m^2}} \text{ A}$$

Skjermtapene (tilleggstapene) er da

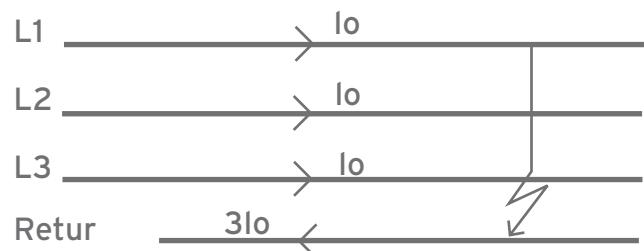
$$P_t = I_s^2 \cdot R_s = \frac{I^2 \cdot X_m^2 \cdot R_s}{R_s^2 + X_m^2} \text{ [W/km]}$$

Ved fremstilling av belastningstabellene har man tatt hensyn til ledertap, tilleggstap og dielektriske tap.

**Nullimpedans (nullsystemimpedans).**

Beregning av strømmer ved enfase og tofase jordslutning krever kjennskap til overføringssystemets nullimpedans. Ved feilberegninger i tre-fasesystemer anvendes symmetriske komponenter (pluss-, minus-, nullsystem), hvor «impedansen i null-systemet» inngår. Nullimpedansen kan anskueliggjøres som fysisk størrelse på følgende måte:

Gitt at alle tre faseledere påtrykkes lik strøm (i både fase og størrelse). Strømmene finner en felles returvei gjennom null-leder, skerm, eller ledende strukturer, avhengig av forutsetningene



for feilen. Nullimpedansen er da den impedansen som fasestrømmen «ser» i strømsloyfen (faseledere i parallel og returvei).

Ved oppgaver over nullimpedans for kabel forutsettes at returveien er gjennom kabelens komponenter.

## Dette er:

Kabeltype	Returvei for nullstrøm, med resistans $R_R$
treleder uten skjerm	ingen, bortsett fra kapasitiv avleddning til andre faser i nettet (Qordstrom i Itsystemer)
treleder med skjerm	skjerm
fireleder uten skjerm	null-leder
fireleder med skjerm	null-leder og skjerm i prallell

Returveien tar altså  $3 \cdot$  fasestrømmen. Nullresistansen er da  $R_0 = R_F + 3R_R$ , hvor resistans i faseleder er  $R_F$  og resistans i returvei er  $R_R$ .

Null-reaktansen,  $X_0$ , er avhengig av geometrien og er normalt større enn pr.fase symmetrisk reaktans.

Nullimpedansen er ikke aktuell i ledningssystemer med isolert nullpunkt, men er en viktig størrelse i systemer med direkte jordet nullpunkt. Etter forskriftene (2000) skal feilstrømmen ved kortslutning til jord-og/eller null-leder være «minst 2 ganger merkestrømmen til nærmest forankoblede sikringer». Dette vil kunne være dimensjonerende for kabelen, særlig ved litt lengre strekk i bygnings- og industriinstallasjoner eller ved ekstremt lav kortslutningsytelse. Oversikt over maks. lengde i h.h.t. dette kriteriet ved ulike tverrsnitt er gitt i tabell bak i boken.

## Impedans i returleder.

Beregning etter forskriftene av berøringsspenning ved feil, krever kjennskap til impedansen,  $Z_{PE(N)}$ , i returveien. (Berøringsspenning =  $Z_{PE(N)}$  feilstrøm). Resistansen er  $R_R$ . Reaktansen  $X_{PE(N)}$  er alltid mindre enn  $X_0$ . Hvis returleder er kon-sentrisk leder (skjerm) kan  $X_{PE(N)}$  alltid neglisjeres (- 0).

## Nett-systemer.

IEC-364 har entydige betegnelser på trefase-systemer i installasjoner, og disse er nå innarbeidet i norske forskrifter. Det er fire leder-typer:

Faseledere	(L1, L2 og L3)
Null leder	(N)
Beskyttelsjord	(PE)
Kombinert PE- og N-leder	(PEN)

Systemet beskriver videre nettets tilknytning til jord, hvorav de viktigste er:

- IT** Nett med isolert nullpunkt
- TT** Nett med jordet nullpunkt uten N-, PE- eller PEN-leder
- TN-C** Nett med jordet nullpunkt med fremføring av PEN-leder
- TN-S** Nett med jordet nullpunkt med fremføring av både N- og PE-leder.

I en husinstallasjon er spenningen mellom faser ved TN-nett 400 V, og 230 V tas ut mellom fase og null-leder. TN-nett (TN-C og TN-S) gir og krever sikker utløsning ved jordfeil. En jordslutning her er i prinsippet også en kortslutning og løser ut sikringen. Ved IT nett tas 230 V ut mellom fasene. IT-nett gir svært liten strøm ved enfase jordfeil og utkobling er betinget av spesielt jordfeilvern.



## Valg av kabel

Når man velger kabel må man ta et standpunkt til de ulike krav som blir stilt.

Avgjørende faktorer er blant annet normer, forskrifter og naturligvis økonomi.

Kabler deles inn i fire hovedgrupper etter merkespenning og forleggingsmåte.

Gruppene er:

- **Kraftkabel**, merkespenning 1 kV og høyere, brukes til fast forlegging.
- **Installasjonskabel**, merkespenning under 1 kV, brukes til fast forlegging.
- **Bevegelig kabel**, brukes til flyttbare forlegginger.
- **Signalkabel**, merkespenning under 1 kV, brukes til styre- og signalformål.

## Kabeltyper

Ved valg av kabeltype må man ta hensyn til driftspenning, normer og forskrifter, forleggingsmåte, miljø rundt kabelen og eventuelt brannegenskaper.

Generelt gjelder det at kabel som skal legges i jorden skal være skjermet. Samtlige kraftkabler i standardutførelse med PVC- eller PEX-isolasjon kan legges i jord, luft og vann under følgende vilkår.

- **I jorden:** Kabel som skal legges i jorden må beskyttes mot mekanisk påkjenning. For å sikre dette må man legge kabelen

minst 0,50 m under jordens overflate. Den uskjermede elverkskabel TFXP kan forlegges på samme måte som skjermet jordkabel.

- **I vann:** Kabelen bør armeres hvis den kan bli utsatt for store påkjenninger. (Rådfør deg med leverandøren i tvilstilfeller.)
- **I luft:** Ved innendørs installasjoner må det benyttes selvslukkende kabler. Ved større ansamlinger av kabler innendørs må forholdsregler tas for å hindre brannspredning.

## Kraftkabel

Valg av kraftkabel innebærer at man, med utgangspunkt i driftsforholdet, bestemmer hvilken av kabeltypene som er mest egnet for det aktuelle forleggingsalternativ.

Nedenunder angis hvordan kabelkonstrukasjonen bygges opp.

### Valg av ledere

Ved valg av ledere bestemmes først hvilket materiale, kobber eller aluminium, som skal brukes. Deretter bestemmes hvordan lederen skal være oppbygd, om den skal være en-, fler- eller mangetrådet og hvilken form den skal ha.

For ledere med areal  $<16 \text{ mm}^2$  er kun kobber tillatt. For lederareal  $25 \text{ mm}^2$  dominerer aluminium, men ved forlegging i vann er kobber å foretrekke fordi det er mindre utsatt for korrosjon.

Valg av lederoppbygning bestemmes av bruken og hvor den skal legges. En massiv leder er alltid stivere enn en flertrådet, men den massive lederen gir mer kompakt kabel med mindre ytterdiameter. Leder glødes for å kunne håndteres enkelt. Hvis det er viktig å beholde god bruddstyrke, benyttes uglødd (hard) leder.

Valg av rund leder eller sektorformet leder er ofte gitt av kabelkonstruksjonen. Hensikten med sektorformet leder er at kabelen skal få en så liten ytre diameter som mulig og dermed lavere vekt og mindre materialforbruk. Sektorformet leder produseres fra og med  $35 \text{ mm}^2$ . Sektorformens ulempe er at lederen må rundpresses før den avsluttes eller skjøtes. Formen gir dessuten et dårligere elektrisk feilbilde enn den runde lederen, men dette må selvfølgelig kabelprodusen-

tene ta hensyn til når isolasjon på legges.

En fortinnet kobberleder gir en bra beskyttelse mot korrosjon og gode loddegenskaper ved tilkobling der lederne avisoleres. Dette kan være en fordel i visse industrimiljøer som f.eks. svovelholdig atmosfære.

### Valg av isolasjonsmateriale

Ved valg av isolasjon er det elektriske egenskaper, fleksibilitet og mekaniske egenskaper som er viktigst.

De vanligste isolasjonsmaterialene er PVC, PE, HFFR, PEX og EP-gummi. Når isolasjonsmateriale velges må man også bestemme hvilket kappemateriale som skal velges. Man kan ikke legge en gummitappe på en plastisolasjon. PEX og EP-gummi er kryssbundede materialer med de beste termiske egenskaper. Disse tåler kontinuerlig driftstemperaturer på 90°C, mens PE, HFFR og PVC tåler max. 70°C.

### Valg av kappemateriale

Ved valg av kappe er det mekanisk styrke, fleksibilitet, kjemisk, bestandighet og brannegenskaper som er viktigst. Samt at materialet kan farges og være godt lysstabilit.

PVC, PE, HFFR og EP-gummi, som også her benyttes mye, har stort sett samme evne til å motstå kjemikalier og olje. Gummi-materialer som PCP/CR, TARMO, CSP/CSM og EVA har bedre kjemikalie- og oljebestandighet, særlig hvis temperaturen blir høy. Krav til lave og høye temperaturer kan også være avgjørende når kappemateriale skal velges. Kabel med PVC-kappe kan ikke anbefales til forlegging hvis kabelen har en temperatur under -10°C, mens gummi-kabel kan forlegges ved temperaturer ned til -30°C/-50°C. Ved temperaturer under +70°C tåler PE punkttrykk fra stener o.l. mye bedre enn PVC.

Ved maks. last og vanlig forlegning blir det ca. 10-15°C lavere temperatur på kappen enn på lederne. En fullastet (90°C) 1 kV PEX-kabel kan ha overflatetemperatur opp imot 80 °C. Dette er berøringfarlig, og

der hvor det er relevant kan dermed overflatetemperatur ha betydning for kabeldimensjoneringen. Massekabel vil ha større temperaturfall gjennom isolasjonen p.g.a. dårligere varmeledningsevne enn plast eller gummi.

PE er godt egnet som kappe på sjøkabel, mens Polyuretan benyttes hvis det er krav til fleksibilitet og støping.

Kappematerialets brannegenskaper får større og større betydning. Disse spørsmål behandles i avsnittet om brannbeskyttet kabel.

Beste beskyttelse mot brannspredning av de nevnte materialer har CSP/CSM og PVC, mens HFFR, PE, PEX, EPR og EVA ikke avgir korrosive gasser ved brann.

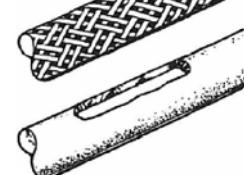
### Valg av skjermtypen

De vanligste skjermtypene er kobbertrådskjerm (konsentrisk skjerm) og aluminiumsbåndskjerm. Over kobbertrådskjerm legges motspiral av kobber. Under aluminiumsbåndskjermen legges uisolert kobbertråd som tilkoblings- og jordleder.

Trådskjerm  
(Konsentrisk skjerm)



Fletting



Langsgående Al-bånd  
med PVC eller PE kappe

Bilde 17. Skjermtypen

Al - PE skjerm består av et aluminiumsbånd brettet med overlapp og med en plastbelagt side som laminerer seg fast til PE-kappen.

- CU-skjermen har normalt bedre korrasjonsegenskaper enn Al-skjermen, samt enkel tilkobling. Cu-skjerm er den mest brukte skjermtypen for kraftkabel.
- For tilkobling av Al-PE-skjermen kreves en tilkoblingslisse.

- Al-PE-skjermen er heltrukket, hvilket gir en bedre personbeskyttelse enn en glissen kobbertrådkjerm, men store kabler blir stive.
- Al-PE-skjermen har gode skjermegenskaper, samt god kjemikalie- og vanntetthet.

Av andre skjermtyper kan kobbertrådfletting nevnes. Kobbertrådfletting består av mange tynne tråder flettet sammen, slik at de dekker en viss prosent av kabelens overflate. Fletting gir den mest fleksible kabelen og anvendes bl.a. på skipskabler.

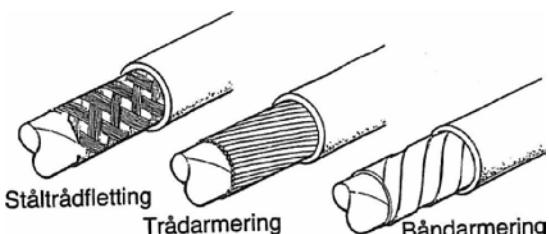
### Valg av armering

Om risikoen for mekanisk påkjenning er stor, krever forskriftene at kabelen armeres. Legging i vann og vertikale sjakter er eksempler på slike steder. Man bør alltid armere kabel som skal ligge i bakken hvis risikoen for påkjenninger er for stor. En annen form for mekaniske skader er angrep av bitende dyr som gnagere og termitter. Det eneste effektive middelet mot disse angrep er en armering av metall og i noen tilfeller en beskyttelse av Nylon 11.

Armering av 1-lederkabel skal bestå av umagnetisk materiale.

Ved sjøforlegging kan forholdene variere mye. Eksempel på vanskelige forhold er:

- Store dyp (over 10 m)
- Store strømmer (tidevann og trange sund)
- Risiko for mekanisk påkjenning gjennom anker, is, synkende tømmer etc.



Bilde 18. Armeringstyper

Ved ekstremt vanskelige forhold som ikke kan kontrolleres, f.eks. tråling og ankring anbefales spesiell beskyttelse av kabelen.

Armering kan deles inn i tre typer: båndarmering, trådarmering og ståltrådsfletting.

### Båndarmering

Båndarmering er hovedsakelig tiltenkt å tåle trykkpåkjenninger. Eksempel på steder hvor båndarmering brukes:

- Installasjon innendørs der risiko for mekaniske påkjenninger forekommer.
- Installasjon i bakken der påkjenninger på kappen av f.eks. stener, er store.
- Som beskyttelse mot bitende dyr.
- For å forbedre beskyttelsen mot induserte spenninger (dette gjelder spesielt signalkabler). Kombinasjonen av umagnetisk ledende materiale og stål-bånd gir god reduksjonsfaktor.

Ved risiko for store mekaniske påkjenninger kan båndarmering erstattes med en ytre separat kabelbeskyttelse av f.eks. rør eller halvrør.

### Trådarmering

Trådarmering er i første rekke tenkt å ta opp streknpåkjenninger og brukes i følgende tilfeller:

- Ved sjøforlegging (spesielt i vanskelige tilfeller)
- For å ta opp unormalt store drakrefter ved vertikal opphenging eller ved uttrekking av lange og tunge kabler.
- Ved risiko for påkjenninger i bakken.

Trådarmering fyller forøvrig de samme funksjonene som båndarmering og kan ofte erstatte denne. Ulempen er større ytre diameter, høyere vekt og dårligere bøyeegenskaper.

### Ståltrådsfletting

Ståltrådsfletting er den mest fleksible armeringstypen og derfor mest aktuell for bøyelige kabler, som f.eks. skipskabler. Den mekaniske beskyttelsen er begrenset.

## **Valg av ameringsbeskyttelse**

Det menes her en ytre beskyttelse som legges utenpå armeringen. Se også kapitlet om kappe-materiale. Som korrosjonsbeskyttelse

og ytre kappe brukes:

- Asfaltimpregnert armering og PE ytre kappe.
- Polyuretan kappe.

# **Installasjons- og tilkoblingskabel**

Normer og forskrifter for installasjons- og tilkoblingskabler er ofte mer detaljerte enn for kraftkabler. Se avsnittet om normer og forskrifter.

Kabeltypen bestemmes i hovedsak av bruks-området og miljøet rundt kabelen, men valget påvirkes også av kabelens driftspenning.

Det kan i enkelte tilfeller være aktuelt med en spesiell miljøundersøkelse ettersom isolasjons- og kappematerialets holdbarhet i stor grad er avhengig av miljøet. Kablenes holdbarhet i ulike miljøer beskrives mer detaljert i avsnittet om isolasjons- og kappe-materiale. Tiltak for brannbeskyttelse behandles i avsnittet om brannbeskyttet kabel

# **Signalkabel**

Krav til signalkabel øker i takt med den økende automatiseringen. Signalkabelen må fungere ved forstyrrelser av ulike slag, der de elektriske forstyrrelsene er vanskeligst å mestre. Dette avsnittet behandler de elektriske forstyrrelser og tiltak for å redusere virkningen av disse.

### **Elektromekanisk kompatibilitet (EMC).**

Et annet krav til signalkabelen kan være at den skal opprettholde funksjonen ved brann. Tiltak for brannbeskyttelse av signalkabel behandles i avsnittet om brannbeskyttet kabel.

Valg av signalkabler påvirkes i første rekke av hvilke krav som stilles til signalets kvalitet. Naturligvis må det også tas hensyn til miljøet på forleggingsplassen, krav om brannsikkerhet, driftspenning, spenningsfall m.m.

- Nullstrømmer i kraftnett. (Strømmer i nulederen)
- Jordfeilstrømmer i kraftnett
- Strømmer og spenninger hos andre ledere i samme kabel.
- Raske strømforløp som oppstår ved betjening på nettet.
- Lynoverspenninger

Forstyrrelsene i en signalkabel er frekvensavhengig og de deles inn i lav- og høy-frekvente forstyrrelser.

### **Lavfrekvent støy**

Den lavfrekvente støy ligger i frekvensområdet 0-1 kHz. Den vanligste årsaken til disse forstyrrelsene er en feil i et kraftnett som induserer en spenning i en nærliggende og parallelgående signalkabel.

Forstyrrelsene deles inn i ytre og indre forstyrrelser.

### **Ytre forstyrrelser**

Den ytre forstyrrelsen forårsakes av induktiv eller kapasitiv kobling mellom kraftkabelen og signalkabelen. Hvis signalkabelen har skjermen jordet kan man se bort fra den kapasitive koblingen til den ytre forstyrrelseskilden.

For å minske disse forstyrrelsene kan man ta hensyn til støyrisikoen allerede ved ut-

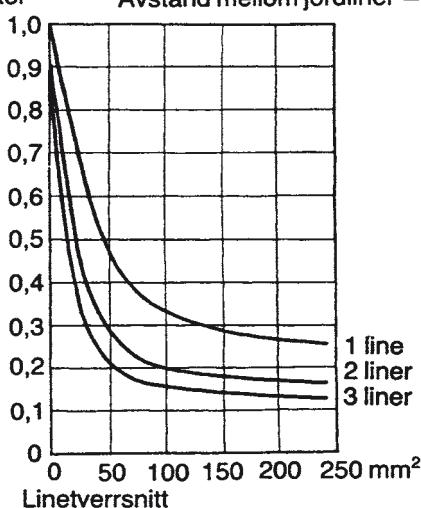
### **Forstyrrelser**

De elektriske forstyrrelsene deles inn i støyspenninger og overspenninger. Med støyspenninger menes det spenning som gir forstyrrelser på kabelens funksjon og med overspenning slik spenning som kan skade anlegget eller den person som betjener det. Støyspenninger og overpenninger forårsakes av:

formingen og forleggingen av kraftnettet. Man kan konstruere og legge signalkabelen slik at de induserte spenningene ikke overstiger det tillatte. Nedenfor følger en sammenfatning av tiltak for å minske risikoen for forstyrrelser.

- Effektivt jordet skjerm med lav resistens. Skjermen skal være tilkoblet jord i begge endepunktene, men helst enda flere tilkoblingspunkter. Halv-ledende ytre kappe kan benyttes for kontinuerlig forbindelse.
- Under vanskelige forhold kan man bruke en skjerm med god ledningsevne i kombinasjon med båndarmering av stål. Man kan også forbedre beskyttelsen ved å legge jordline nært og parallelt med signalkabelen. Se bilde nr. 19.
- Avstanden mellom kraftkabel og signalkabel bør være så stor som mulig.
- Kryssing mellom kraftkabel og signalkabel bør skje i rett vinkel.
- Ved parallelforlegging av signalkabel og kraftkabel i kanaler eller i luft bør signalkabelen legges i sjakt eller stålør som jordes effektiv.

Reduksjonsfaktor  
Avstand mellom kabel og jordline = 0,2 m  
Avstand mellom jordliner = 0,1 m.



Bilde 19. Reduksjonsfaktor for beskyttelseslinjer av kobber

- Bruk signalkabler med partvinnede ledere og koble apparatene til lederne i samme par.
- Hvis jording er påbudt bør den utføres i ett eneste jordpunkt. Unngå sløyfer i jordings-systemet.

## Indre forstyrrelser

Lederne i en signalkabel kan også forstyrre hverandre innbyrdes og på den måten påvirke funksjonen hos tilkoblede apparater. Denne forstyrrelsen kalles overhøring og avhenger av induktiv og kapasitiv kobling mellom lederne. Elektronikksystemer som arbeider med lave signalnivåer er spesielt vare for overhøring.

Om forstyrrelsen må reduseres, f.eks. på følsomme elektronikkutrustninger, anbefales følgende tiltak:

- Koble apparater til jord så symmetrisk som mulig.
- Velg en kabel med lav kapasitiv tilkoblingsverdi f.eks.
  - Firersnodd PVC-signalkabel 110 nF/km
  - Parsnodd PE-telekabel 45 nF/km
  - Individuelt skjermet parsnodd PE-signalkabel 70 nF/km
- Følsomme apparaters tilkobling bør ligge så langt fra hverandre som mulig, helst i separate kabler.
- Minsk belastningsimpedansen ved å koble til en parallelmotstand over apparatinngangen.

## Høyfrekvent støy

Høyfrekvent støy oppstår ved inn- og utkobling av strømkretser. Spesielt ved kobling av transformatorer og kondensatorer samt ved tyristor-regulerte motorer kan vanskelige forstyrrelser oppstå. Kortslutning og jordingsfeil på høyspente kabelnett kan også forårsake denne typen forstyrrelser. Ved høyfrekvente forstyrrelser skiller man på ytre og indre forstyrrelser.

## Ytre forstyrrelser

Ved ytre høyfrekvente forstyrrelser induseres spenninger i signalkabelens ledere. Disse spenningene kan bli store i uskjermde kabler. En effektiv dobbeltjordet og tett skjerm er av stor betydning som beskyttelse mot høyfrekvente forstyrrelser. Skjermens relative koblingsimpedans er et mål på skjermingsegenskapene hos skjermen. Verdien skal være så lav som mulig. Bilde 20 viser skjermingsegenskapene hos noen signalkabler.

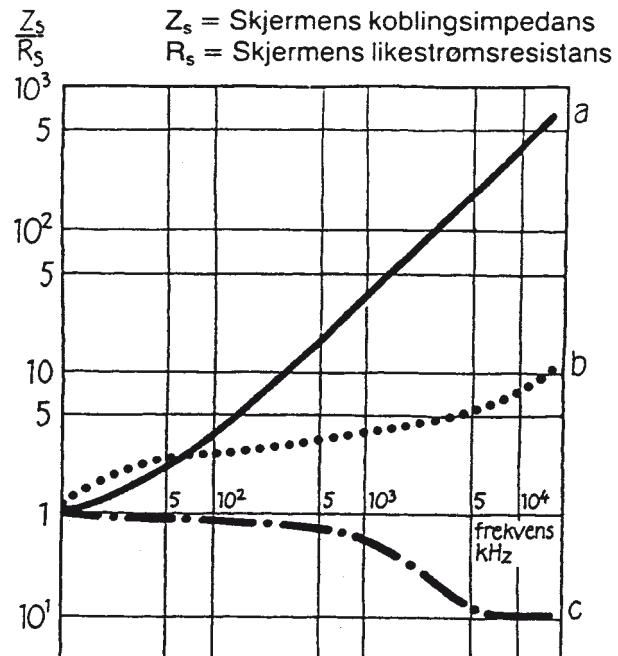
## Indre forstyrrelser

For de indre forstyrrelsene gjelder det samme som for lavfrekvente indre forstyrrelser.

## Jording av skjerm

For å unngå forstyrrelser på signalkabler kan skjermen jordes som følgende:

- Hovedregel:** Skjerm, metallkappe og jordliner jordes i begge ender.
- Unntak:** Ved usymmetri til jord hos ledere eller apparater kan jording medføre økte forstyrrelser gjennom tverrspenninger. I disse tilfeller anbefales jording i en ende.



Bilde 20. Skjermens relativekoblingsimpedans hos kabel type a, med konsentrisk cuskjerm. Type b, med viklet AL/PS-folie. Og type c, med langsgående AL-skjerm

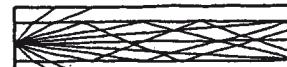
## Optisk Kabel

Fiberoptikken har sitt største bruksområde innenfor telekommunikasjonen, men kan også brukes for styring og overvåkning av anlegg og prosesser innen industrien.

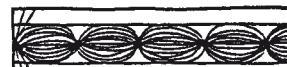
Teknikken med fiberoptikk bygger på at lys overføres i en glassfiberleder. Lyset behøver ikke å ligge innen det bølgeområdet som er

synlig for det menneskelige øyet. Ettersom det er lys som overføres, er en fiberkabel upåvirket av ytre elektriske forstyrrelser, hvilket betyr at den kan brukes til overføring av styresignaler i følsomme elektriske miljøer og i eksplosjonsfarlige områder.

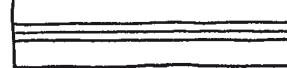
Trinn-indeks fiber  
(Multimodus)



Gradert indeks fiber  
(Multimodus)



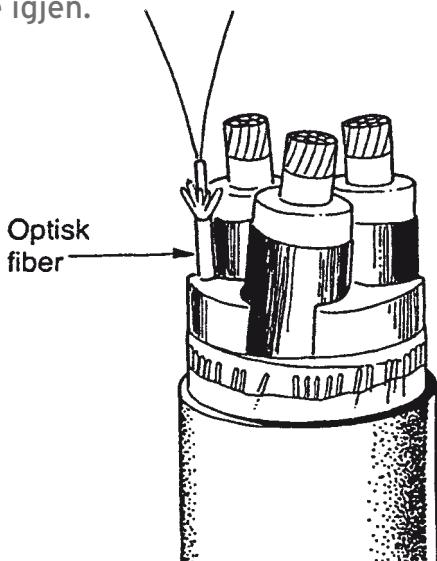
Singelmodus fiber



Bilde 21. Refleksjon i fiberkabelen

En optisk fiber er oppbygget av en kjerne, som omgis av en kappe. Kjernen inneholder glass med høyere brytningsindeks enn kappen. Dette gjør at en lysstråle som sendes gjennom fiberen reflekteres i grensesjiktet mellom kjerne og kappe og lysignalet transmitteres langs fiberen med lave tap.

Fiberoptikk egner seg for digital overføring der 1 representerer lys og 0 ikke lys. Ved å bruke multiplex kan en stor mengde informasjon overføres samtidig på én fiber. Multiplex innebærer at man systematisk blander signalene fra flere ulike kanaler for overføring samtidig på en eller to ledere. I den andre enden av kabelen skiller kanalene igjen.



Bilde 22. Kombinerte kabler

Fibrene er utstyrt med beskyttende kappe av ulike slag og satt sammen til optiske fiberkabler. Det finnes også kombinerte kabler hvor vi har både fibre og konvensjonelle ledere av kobber eller aluminium.

## Brannegenskaper

En kabels oppførsel under brann er avhengig av hvilke materialer kabelen er bygget opp av, hvordan kabelen forøvrig er konstruert, forleggingsmåte og ytre forhold ved brannen. For å kunne bedømme risikoen for brann eller spredning av brann i kabler

### Tilkobling og skjøting

En optisk fiber tilkobles det øvrige systemet med optiske kontakter. Å montere kontakten på fiberkabel er et arbeid som krever stor presisjon. Som alternativ finnes det prefabrikerte kontakter med ca. en meter fiber, som skjøtes til den installerte kabelen.

Fibrene kan skjøtes enten gjennom liming eller gjennom sveising. Ved liming plasseres fiberendene mot hverandre i et spor med et lite mellomrom og låses med en limdråpe.

Når fibrene skal sveises sammen, kuttes først fiberenden med et spesielt kutteverktøy. Endene legges nå i holdere på en sveiseskjøtingsmaskin. Maskinen er som regel automatisk og foretar resten av prosessen selv.

### Optisk kabel i styresystem

Ettersom en optisk leder er ufølsom for elektriske forstyrrelser er det mulig å bruke fiberoptikk for styring av store energislukende anlegg som kan gi kraftige nettforstyrrelser.

Konvensjonelle signalkabler kan på den typen anlegg, spesielt der feil oppstår, utsettes for så kraftige forstyrrelser at styresystemet settes ut av funksjon.

En optisk kabel derimot, er upåvirkelig for de strømmer og spenninger som kan induseres i systemet, om man ser bort fra tilkoblingskontakter i kabelens endepunkter og eventuelt metallinnhold i kabelen. Dette er oftest ikke noe problem ettersom det finnes metallfrie kabler, og tilkoblingskontakter som har så små dimensjoner at de er lette å avskjerme.

er det derfor ikke tilstrekkelig å kjenne kabelmaterialenes brennbarhet alene, eller for den saks skyld brannegenskapene til en enkelt kabel. Mens en enkelt kabel kan være ute av stand til å spre en brann, kan en bunt av samme kabler gi en voldsom

brannutvikling. I dette avsnitt behandles krav til kabel, mens tiltak når det gjelder forlegging beskrives i forleggingsavsnittet. I tabell 13 vises en sammenligning av kablers brannegenskaper.

## SPEIELLE KRAV TIL KABLENE

### Selvslukkende egenskaper

Brennbarhetsmessig bør alle kabler ha ytre kappe av selvslukkende materiale, i.h.t. IEC 60332-1, som beskriver testmetode for brannspredningsegenskaper i en kabel. For anlegg med stor grad av brannrisiko, f.eks. petrokjemisk industri og offshoreanlegg, bør dette kravet minimum knyttes til f.eks. IEC 60332-3, som beskriver en testmetode for undersøkelse av brannspredningsegenskaper til kabelbunter.

For kravene til brannspredning kan det enkelte ganger være aktuelt å tillate disse oppnådd ved totalbeskyttelse med brannhemmende maling. Forutsetningene er da at «forlegningen» er testet som for «rene» kabler, og at malingen ikke medfører ulemper som nedsatt belastningsevne, vanskeligere vedlikehold, ønsket avgassing etc.

### Oksygenindeks

Oksygenindeksen har tidligere vært tillagt relativt stor vekt ved bedømmelse av kablers brannsikkerhet. Det synes imidlertid å være

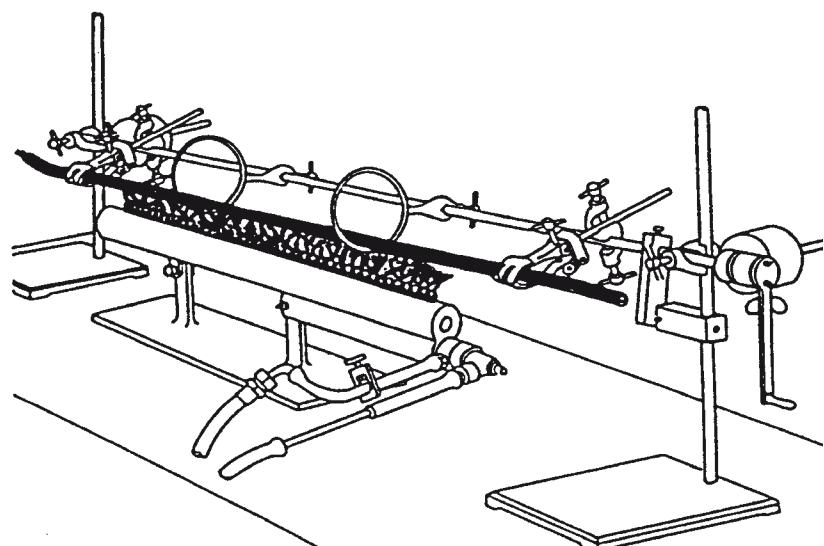
stadig større enighet om å forlate denne som en begrensende faktor i valg av kabler, idet oksygenindeksen alene gir liten informasjon om de totale brannegenskapene. Som en bakgrunn for vurdering av antennelighet kan dog oksygenindeksen være til stor nytte, bare en samtidig er klar over dens avhengighet av temperaturen. I forbindelse med brennbarhet bør det også legges vekt på den brannbelastning de forskjellige kabler utgjør.

### Funksjonssikkerhet

Funksjonsdyktighet under brann er en betingelse for både kraft- og signalkabler fram til utstyr som har livsviktige funksjoner også under brann, dvs. en viss tid etter at brann har startet. Slike kabler som skal opprettholde funksjonsevnen testes etter f.eks. IEC-60331, som beskriver testmetoden. Kabelen defineres som brannsikker hvis den opprettholder funksjonen ved 750°C gassbrann i 90 minutter og full driftspanning. Norske byggeforskrifter stiller også krav tilbrannsikring av enkelte viktige funksjoner, som f.eks. krafttilførsel for heis.

Det er de senere års utvikling av brannsikre materialer som har gjort det mulig å konstruere kabler med så god funksjonsevne under brann, men dette fordyrer selvfølgelig kablene og man benytter dem fortrinnsvis i de viktigste funksjonene.

Branntemp.	:	750 C
Påtrykt spenning	:	Merkespennung
Belastning	:	3 A
Funksjonstid	:	Min. 90 minutter



Bilde 23. Branntest. Funksjonsdyktighet, IEC 60331

## Halogeninnhold og røyk

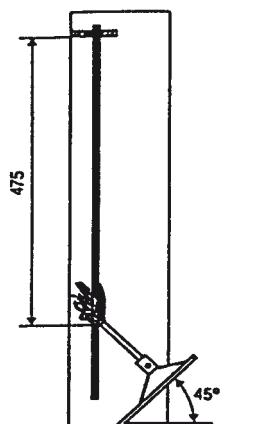
Røyk og avgassing under overoppheeting og brann er et av de vanskeligste problemer å angi entydige testmetoder for. Generelt bør selvsagt kablene avgi minst mulig røyk og gass, og den beste testmetoden er IEC 61034. Cube-test oven. Denne testen angir røykens optiske gjennomsiktighet.

Gassenes giftighet i forbindelse med brann er ofte blitt overdrevet da det som regel er andre årsaker som gir eventuell forgiftning eller død lenge før kabelavgassene når opp i farlige konsentrasjoner. Et langt større problem utgjør korrosive avgasser fra brennende kabler. Dessverre har

det gjerne vært slik at de minst brennbare kablene inneholder halogener som danner korrosive spaltningsprodukter, noe en også må ta med i risikovurderingene ved valg av kabler.

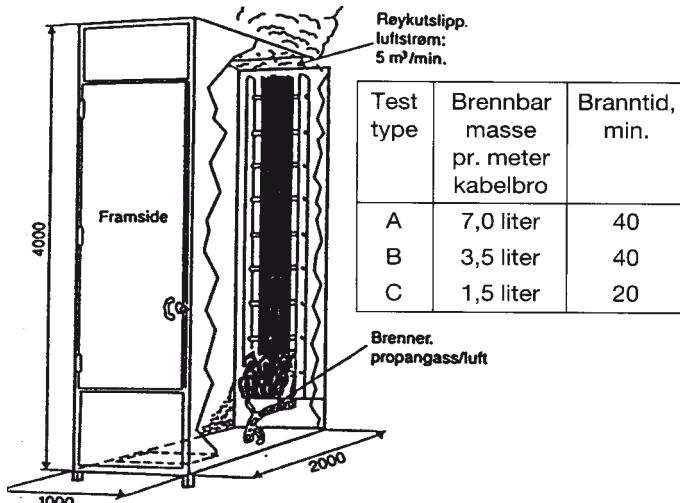
I den senere tid er det utviklet halogenfrie kabler som også fullt ut tilfredsstiller de øvrige krav til brannegenskaper. Generelt bør halogenholdige materialer unngås i og nær rom med elektronisk utstyr.

For å teste halogenfrie kabler benyttes IEC 60754, som angir mål og grenseverdier for korrosiviteten i avgassene fra en brennende kabel.



MAX. BRANNSPREDNING : 5 CM FRA TOPPEN AV KABELEN/LEDNINGEN.

Bilde 24. Branntest IEC 60332-1



MAX. BRANNSPREDNING : 0,5 METER FRA TOPPEN AV STIGEN.

Bilde 25. Fullskala Branntest IEC 60332-3

## Dimensjonering av kabelanlegg

**Nominell strømverdi** er den høyeste strøm som kabelen kontinuerlig kan føre ved gitte forutsetninger etter belastningstabellene.

**Strømbelastning** er den strøm som kabelen kontinuerlig kan føre med hensyn til forleggingsmåte og omgivelsesforhold.

**Korreksjonsfaktor** (reduksjonsfaktor) er den faktor som multiplisert med nominell strømverdi gir maks. strømbelastning ved aktuelle forhold.

**Nødlaststrøm** er den strøm som ved kortvarige, sjeldent inntrufne belastninger gir

lederen høyere temperatur enn den tillatte kontinuerlige strøm.

**Kortslutningsstrøm** er strømmens effektverdi i kortslutningstiden.

**Åpen skjerm** er metallkappe, konstruktive ledere eller skjermer som ikke er forbundet, eller som bare er forbundet med hverandre i den ene enden, og jordet i ett punkt.

**Lukket skjerm** er metallkapper, konstruktive ledere eller skjermer som er forbundet med hverandre i begge ender, og jordet i minst den ene enden.

# Bestemmelse av kabeltverrsnitt

Utgangspunktet for kabeldimensjonering er behovet for overføring av en gitt effekt. Som regel er spenningsnivå og antall faser (en eller tre) gitt, slik at strømmen dermed er bestemt. Valg av Al eller Cu som ledermateriale er som regel også gitt av andre forhold enn selve overføringsbehovet. Dimensjoneringen består da i å finne riktig ledertverrsnitt.

Driftstemperaturen i lederne bestemmes av effekttapet pr. leder ( $= R \cdot I^2$ ), antall ledere, termisk ledningsevne i kabelens lag utover fra leder(e), samt av kabelens omgivelser (luft, jord, temperatur, kjøleevne). Dette setter en grense for hvor mye strøm en kabel kan overføre, og kriteriet er at isolasjonsmaterialer ikke skal utsettes for skadelige temperaturer.

Maksimal strøm gis av belastningstabeller for kabeltype og -tverrsnitt, gjeldende for gitte forleggingsforhold. Tabellene angir termisk grenselast, d.v.s. den strøm som gir maks. tillatt ledertemperatur. Hvis forlegging eller forhold i omgivelser avviker fra belastningstabellenes forutsetninger, må termisk grenselast korrigeres i henhold til tabeller for *Korreksjonsfaktor*.

**Korreksjonsfaktor** (også kalt reduksjonsfaktor) bestemmes av:

- Forlegging, mange kabler (kjøling)
- Forlegging i rør eller kanal (kjøling)
- Omgivelsestemperatur (luft, jord)
- Forleggingsdybde i jord (kjøling)
- Gjenfyllingsmassers varmeledningsevne (kjøling)
- Forlegging, hensyn til skjevfordelt strøm ved flere ledere pr. fase (gjensidig induktiv kobling)
- Overharmoniske strømmer (3. overharmoniske =  $3 \times 50 = 150$  Hz)

Svært ofte kommer også andre kriterier inn og blir dimensjonerende. Følgende tabell gir en oversikt over dimensjoneringskriterier og når de er aktuelle:

Dimensjoneringskriterium:	Aktuelt ved:
Termisk grenselast (belastningstabeller)	korte lengder / liten brukstid på belastningen
Spenningsfall	lange overføringer (uansett system)
Økonomisk tverrsnitt (tapsoptimalisering)	i fordelingsnett/matekabler/generatorkabler /kabler med høy brukstid på belastningen
Krav til sikker utløsning ved feil	lange lengder i TN-nett
Krav til maks berøringsspenning ved feil	lange lengder i TN-nett
Kortslutningsstrøm	høye kortslutningsytelser i nettet (stift nett)

Ved høye kortslutningsytelser og bruk av enlederkabel må det også tas spesielle hensyn til selve forleggingen, slik at den tåler de pulserende mekaniske krefter som oppstår mellom faseledere i kortslutning. (Se under «Kortslutningsstrøm»)

I oppsummering blir gangen ved valg av tverrsnitt som følger:

1. Bestem strøm som skal overføres.
2. Velg kabeltype.
3. Velg stort nok tverrsnitt og antall ledere pr. fase, ref. termisk grenselast (belastningsevne) i tabell.
4. Studer forleggingsmåte og omgivelser.
5. Korrigér hvis forlegning eller omgivelser avviker fra forutsetninger i belastningstabell.
6. Velg stort nok kabeltverrsnitt og antall ledere pr. fase nå.
7. Sjekk mot andre kriterier enn termisk grenselast.

Det kan da være nødvendig å gå flere runder i sekvensen (3), 4, 5, 6.

## Jordkabelanlegg

Ved dimensjonering av kabler som skal legges i bakken må man ta hensyn til dybden kabelen skal legges på, jordtemperatur og jordens termiske resistivitet. Hvis flere kabler legges i samme grøft må man også tenke på at kablene varmer hverandre.

Jordens store varmekapasitet gjør at temperaturendringene i kablene skjer langsomt, dvs. den termiske tidskonstanten er stor.

Den vanligvis høyeste jordtemperaturen på 0,5 m dyp, som er en normal forleggingsdybde, er 15-20°C i gjennomsnitt i Norge.

Den ideelle verdien for jordens termiske resistivitet er  $1 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{m/W}$ . Sand og leirejord med høy fuktighet har lavere resistivitet mens lett jord og fyllmasser som inneholder bygningsavfall vanligvis har høyere verdi.

### Jordsmonn

De beregningsmetoder som brukes forutsetter at jorden omkring kablene er homogen ut fra et varmeledningssynspunkt. Ettersom jordens termiske resistans øker med dybden må man korrigere for forleggingsdybden.

Når flere kabler legges i samme kabelgrøft må man korrigere for den gjensidige oppvarmingen.

I NEK 400 og NEN 62.75 behandles forlegging av kraftkabler. I normen angis forleggingsdybde, kabelisolasjon og innbyrdes avstand samt tilbakefyllmateriale.

På grunn av varmetap kan jorden nærmest kabelen under visse forhold tørke ut, noe som medfører at den termiske resistiviteten øker. Temperaturen på kabelen øker da ytterligere og et ustabilt forhold oppstår, noe som kan lede til at temperaturen blir så høy at kabelen ødelegges.

Yttertemperaturen for kabler som er lagt ned i jord bestemmes av kabelens ledertemperatur og indre termiske resistans samt av jordens termiske resistivitet. På en korrekt dimensjonert PVC-kabel når yttertemperaturen normalt ikke opp til 50°C.

Derimot kan utsiden på en PEX-kabel, som tillates å arbeide med 90°C ledertemperatur, ved kontinuerlig belastning bli betydelig varmere.

Ved den vanlige belastningstypen med en eller to topper pr. døgn og lavest om natten er risikoen for jorduttørking liten. Det er for kabler med kontinuerlig belastning og høy yttertemperatur som risikoen for jorduttørking er størst. For kabler med kontinuerlig last bør yttertemperaturen være høyst 50°C. For å forhindre virkningen av jorduttørking kan kablene legges i en seng av termisk stabil fylling. Sengen kan bestå av en blanding av sand med ulike kornstørrelser eller sand med en tilsetning av cement, såkalt «weak mix» (1 del cement, 1 del vann og 14 deler sand). Fyllingen komprimeres til høy densitet slik at den termiske resistiviteten blir stabil. Er cementblandingen riktig komprimert er den lett å bryte i stykker hvis kabelen skal byttes ut.

### Kabel i rør

Kabler legges i rør der kabelgrøften ikke kan åpnes for uttrekking eller utbytting, f.eks. ved vei- og gatekrysninger. Det vanligste er at plastrør brukes, men også betongrør forekommer.

Ved forlegginger i rør omgis kablene av stillestående luft, hvilket medfører at varmeavgivningen svekkes. Belastningen må derfor reduseres sammenlignet med forleggingen direkte i jord.

Ved flere parallelle rør med en 3-lederkabel eller tre 1-lederkabler i hvert rør, og hvis kablene belastes samtidig, reduseres belastningsevnen ytterligere. Korreksjonsfaktoren ved forlegging av parallele rør oppgis i belastningstabellene.

# Kabelanlegg i luft

NEK og NEN behandler forlegging og strømføringssevne på kraftkabel. NEK 400 gjelder for bygningsinstallasjoner inntil 1 kV. NEN 62.75 gjelder øvrige kraftkabel forlegginger inntil 24 kV. Komplette belastningstabeller og korreksjonsfaktorer er lagt inn som tabeller bak i denne håndbok.

Legging under nominelle forhold innebærer at luft skal kunne sirkulere rundt kablen og at omgivelsestemperaturen ikke forhøyes til over +25/30°C ved belastning. Avviker omgivelsestemperaturen fra dette skal man korrigere den tillatte belastningen. Kabler i luft er vanligvis forlagte på stiger, hyller, vegg, gulv eller i tak.

For kabler som ligger på en åpen kabelstige slik at luft fritt kan sirkulere rundt og mellom kablene kan man se bort fra den termiske vekselvirkningen som finnes mellom kablene. Ligger kablene derimot tett sammen må belastningen reduseres.

## Skjult forlegging

Med skjult forlegging menes legging i rør og forlegging i kanalsystem.

## Åpen forlegging

Nominell strømverdi ved forlegging i luft angis i NEK. Den nominelle strømverdi korrigeres vanligvis bare ved forlegging mot bygningsdel, på stige eller hylle.

## Mot bygningsdel

Med forlegging mot bygningsdel menes at kabelen forlegges åpen på gulv, vegg eller i tak. Man kan ikke regne med at luften kan sirkulere fritt rundt kablene og belastningen må reduseres. Det er viktig å tenke på at korreksjonsfaktorene er ulike om kablene

ligger inntil hverandre eller med innbyrdes avstand. For at det skal regnes som forlegging med avstand skal den frie avstanden mellom kablene være minst en kabeldiameter. Tabellverdiene er beregnet for kabler i ett lag.

## På stige og hylle

Trinnene på en kabelstige kan opta maks. 10% av stigens lengde for at de korreksjonsverdiene som angis i tabell for åpne hyller skal gjelde. Med tett hylle menes her en kabelrenne av metall med tett bunn. Samme regler for avstand mellom kablene gjelder ved forlegging på stige og hylle som for for-legging mot bygningsdel. Avstanden mellom kabelstigene og hyllene bør være minst 0,3 m.

## I kanal og kulvert

Kabler som er lagt i en kanal eller kulvert kan vanligvis behandles som kabler i luft. Man bør bare være oppmerksom på at om kablenes varmetap høyner omgivelses-temperaturen, må man redusere belastningene.

I kulverter er det ofte nødvendig med brannsperrer som skal hindre at brann kan spre seg langs kablene. Brannsperrene må ikke være utformet slik at luftsirkulasjonen rundt kablene hindres og belastningsevnen minskes.

Det finnes ingen utprøvde enkle metoder for å beregne den tillatte strømbelastningen for kabler i små kanaler. Enklest er det å gjøre målinger i tilsvarende kanaler og anvende de verdier man da får frem.

# Kabelanlegg i vann

For kabel i vann er belastningsevnen normalt større for den del av kablen som ligger på sjøbunnen i direkte kontakt med vannet enn for den del som går på land. Selv om kablen har sunket ned i bunnlaget,

har det omgitte materialets termiske resistivitet oftest en stabil og lav verdi. Man skal derfor vanligvis dimensjonere sjøkabler etter forholdet for den del av kablen som er forlagt på land.

## Blandede forhold

I et anlegg kan miljøforholdet for en kabel variere. Den temperaturutjevnende egenskap i kabelens lengderetning er ubetydelig, og derfor bør man dimensjonere etter forholdet i den omgivelse som gir den laveste varmeavledningen. Forlegging i rør ved gatekryss og gjennomgang av varmeisolerte veggger er eksempler på steder der varmeavgivningen er nedsatt.

Gjennomføringer i vegg er ofte tettet for å hindre brannspredning. Dette fører til at den termiske resistiviteten øker, og det i sin tur leder til at ledertemperaturen ved gjennomgangen øker. Temperaturstigningen er avhengig av tetningsmaterialet og veggens utførelse og tykkelse.

I betongvegger under 200 mm med tetning

av lettbetong er temperaturstigningen ubetydelig. Brukes et varmeisolerte materiale kan temperaturstigningen bli betydelig. Ved gjennomføring av en vegg på 100 mm med et 30 mm tykt lag av mineralull som isolasjon rundt kabelen, må belastningen reduseres med 5-10%. Er vegggen 200 mm kan det være nødvendig med en reduksjon på 15-20%. Prefabrikerte, moderne gjennomføringer krever vanligvis ingen reduksjon.

Ved overgang mellom jord og luft kan det dimensjonerende miljøet variere etter forleggingsforholdet. Er en kabel dimensjonert for legging i bakken må man kontrollere at temperaturen i luftavsnittet ikke blir for høy.

## Parallellkobling

Hvis man skal overføre en så stor strøm at én kabel ikke er tilstrekkelig, kan flere kabler parallellkobles.

### 1-lederkabel

Ved parallellkobling av 1-lederkabler må man sørge for at strømfordelingen mellom kablene blir så jevn som mulig. Jevn strømfordeling får man om kablene er like lange og lagt slik at reaktansen blir lik for de parallellkoblede kablene. Tar man ikke hensyn til at reaktansen skal være lik for ledene som utgjør samme fase, kan ujevn strømfordeling medføre at visse kabler overbelastes.

Lik strømfordeling mellom del-lederne i en og samme fase sikres ved:

1. At del-lederne i en fase ligger likt i forhold til del-lederne i de to andre fasene, d.v.s. at

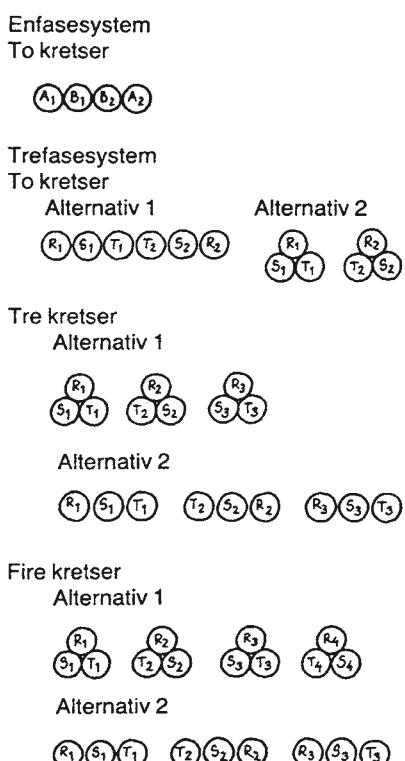
A. *tyngdepunktene for fasene faller sammen*, og at

B. fasene ligger godt blandet og med *lik spredning*, evt. i flere bunter.

Derved oppnås (så langt som det er mulig) symmetri i koblingene mellom del-lederne i en fase og del-lederne i de andre fasene. Se Bilde 26.

2. At del-lederne i en fase ligger likt fordelt i forhold til hverandre over forleggingen sett under ett. Dette oppnås ved revolvering (transponering) i forleggingen, som gir symmetri i koblingene mellom del-lederne i en og samme fase.

Normalt er pkt.2 (revolvering) mindre viktig enn pkt. 1 (faseblanding), fordi avstander mellom del-ledere i en og samme fase oftest er større (=svakere induktiv kobling) enn avstander mellom del-lederne i ulike faser.



Bilde 26. Forlegging av parallelkkoblede kabler

Faseblanding i form av tett trekant gir bedre fordeling enn flat forlegging. For forlegging med tre del-ledere eller mer pr. fase

anbefales en reduksjonsfaktor på 0,9 ved flat forlegging og 0,95 ved tett trekant, forutsatt faseblanding. For tverrsnitt under 50 mm<sup>2</sup>, eller ved full revolvering i forleggingen, er dette ikke nødvendig. Uten faseblanding og/eller revolvering kan reduksjonsfaktoren bli vesentlig mindre, helt ned mot 0,5.

### 3-lederkabler

En 3-lederkabel kan kobles slik at de tre ledene til sammen brukes som en 1-leder. Dette anbefales kun hvis kobberdimensjonen er minst 95 mm<sup>2</sup> eller om aluminiumsdimensjonen er minst 120 mm<sup>2</sup>. For at tabellverdiene skal gjelde skal skjermen være jordet i kun den ene enden av kabelanlegget. Eventuell armering må være umagnetisk. En 3-leder koblet som 1-leder kan belastes med den sammenlagte strømmen for de tre ledene iflg. belastningstabellen for 3-leder. Brukes en parallellkoblet 3-lederkabel pr. fase må korrektsjonen for 3 parallellkabler benyttes i jord. Også likestrømskabler kan parallellkobles. Skjermen kan da jordes i begge ender.

## Skjerner

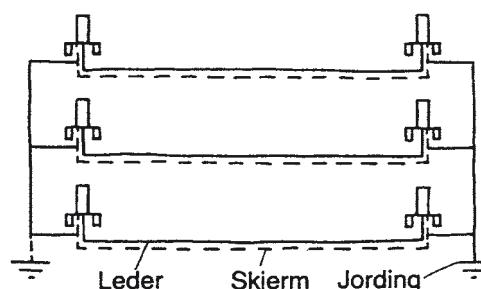
Det er fordelaktig å bruke 1-lederkabel når man skal overføre store strømmer som krever flere parallellkabler pr. fase. Når 1-lederkabel brukes for overføring av vekselspenninger kan skjermene kobles ulikt etter forleggingsmåten.

### Lukket skjerm

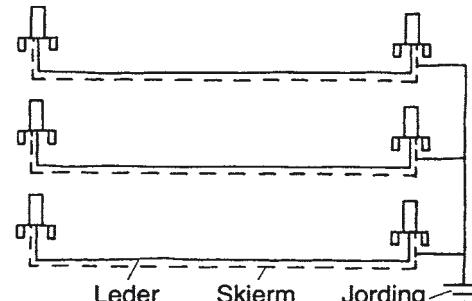
Er skjermen forbundet i begge ender og jordet i minst den ene iflg. bilde 27 kalles det lukket skjerm. I en lukket skjerm får man en strøm som gir opphav til tap, og som minsker belastningsevnen. Lavest tap med lukket skjerm oppnåes ved trekantforlegging.

### Åpen skjerm

Er skjermene forbundet med hverandre og jordet bare i den ene enden av kabelanlegget kalles dette en åpen skjerm, se bildet 28.



Bilde 27. Lukket skjerm



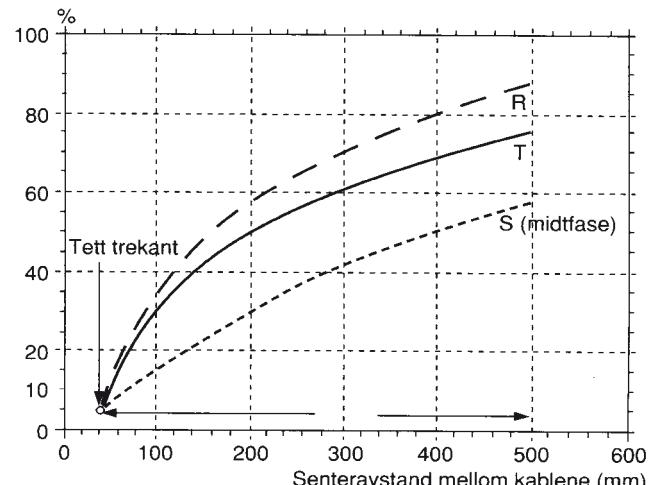
Bilde 28. Åpen skjerm

I en åpen skjerm induseres en spenning mellom skjerm og jord. Man må derfor passe på at avslutninger og skjermer i den ujordede enden er beskyttet mot berøring. Skjermen skal være isolert mot jord langs hele kabelanlegget. PVC- eller PE-kappe på kablene er vanligvis nok isolasjon.

Den induserte spenningen er proporsjonal med kabelens lengde og belastningsstrøm. I lange kabler med stor strøm kan den induserte spenningen bli altfor stor. Man bør derfor ikke bruke åpen skjerm på kabler som er lengre enn 200 m. Beregningsmetode, se under «Elektriske begrep, Tilleggstab».

Vedlagte kurve viser hvordan tilleggstab kan arte seg ved 24 kV enleder forlagt h.h.v. i tett trekant og flat forlegging med faseavstander (mellom kabelakser) fra 40 til 500 mm og lukket skjerm. Som vist kan tilleggstabene, og dermed reduksjonen i overføringsevne, bli betydelige hvis avstandene mellom fasene er store. Dette på grunn av de store gjensidige induktivitetene i sløyfene som fasene danner. Uten revolvering av fasene blir det også noe større tap i ytterfasene enn i midtfasen.

Effektutviklingen i kabelkjernene regnet i prosent av effektutviklingen i en kabelledder. Skjermutsnitt 35 mm<sup>2</sup> Cu, Kabelledder-tverrsnitt 240 mm<sup>2</sup> Al. Kabelskermene er jordet i begge ender.



## Overbelastning i drift

Hvis kabelen utsettes for overstrøm kommer levetiden til å reduseres p.g.a. den høye ledertemperaturen. Man bør derfor begrense tiden for belastning med overstrøm så mye som mulig. Tiden for overstrøm bør ikke overstige 50 timer pr. gang. Overbelastning bør skje så sjeldent som

mulig. Ledertemperaturen må ikke bli så høy at kabelisolasjon, kappen eller nærliggende kabler skades.

På en PEX-kabel kan en ledertemperatur på 130°C tillates ved overbelastning, hvis tiden begrenses til noen få timer. For PVC-isolert kabel tillates ingen overstrøm.

## Vern av kabler og ledninger

Vern av kabler og ledninger er beskrevet i forskrifter for bygningsinstallasjoner og for forsyningsanlegg.

«Mennesker, husdyr og eiendom skal være beskyttet mot skade fra for *høye temperaturer* eller *elektro-mekaniske påkjenninger* som skyldes noen form for påregnelige

overstrømmer i strømførende ledere. Beskyttelse oppnås ved:

- å sørge for automatisk utkobling av en overstrøm før denne antar farlig størrelse, varigheten tatt i betraktning,

eller ved:

- å begrense overstrøm til ufarlig størrelse og varighet.»

I tillegg til krav om vern mot *overstrøm*, har forskriften krav om:

- utkobling ved /begrensning av *berøringsspenning* på utsatt anleggsdel ved feil (ref. NEK 400)
- og
- sikker utløsning ved *minste forekommende feilstrøm*.

Alle tre momenter er dimensjonerende for vernet. I visse tilfeller kan de ulike forholdene kreve installasjon av flere typer vern, f.eks. overbelastningssikring og eget kortslutningsvern. Leder-tverrsnittet inngår i beregningene, og hvis vernet er gitt eller begrenset, kan de samme tre momenter også være tverrsnitts-dimensjonerende.

### **Overstrøm.**

Overstrøm kan oppstå på grunn av overbelastning eller p.g.a. feil, d.v.s. kortslutning eller jordslutning. Det er den aktuelle installasjon som skal sikres, og NEK 400 inneholder derfor ikke sikringstabeller referert de ulike kabeltverrsnitt, slik som tidligere.

### **Overbelastningsvern.**

Ledningsinstallasjonen er karakterisert ved:  
IB - dimensjonerende belastningsstrøm  
IZ - forlegningens (oftest kabelens) strømføringsevne

Vern karakteriseres ved:

- IN - merkestrøm for vernet (eventuelt innstilt verdi)
- I2 - utløsestrøm for vernet (høyeste prøvingsstrøm som gir utkobling innen fastsatt prøvingstid for vernet)

Innbyrdes forhold mellom disse størrelsene skal etter NEK være som følger:



Vernets merkestrøm (IN) må være minst så stor som maks. belastningsstrøm (IB), men ikke større enn forlegningens strømførings-evne (IZ). Utløsestrømmen (I2) må ikke overskride  $1,45 \cdot IZ$ . Dette åpner for muligheter for en viss overbelastning ( $I2 < IZ$ ), hvilket som hovedregel bør unngås.

### **Beskyttelse av parallelkoblede ledere mot overbelasning.**

Ett vernet kan beskytte flere parallelkoblede ledere bare når installasjonene er utført slik at hver av de parallele ledene fører lik strøm. IZ kan da settes lik summen av strømføringsevnene for hver enkelt leder. Ledene må da ha samme materiale, lengde og tverrsnitt, og skjevlast p.g.a. usymmetriske reaktansforhold må unngås.

Parallelle ledere som sikres hver for seg, må være merket for å varsle om at enkelte ledere kan være spenningsførende selv om andre ledere i parallelkoblingen har utkoblet sikring.

### **Kortslutningsvern.**

Vernet må ha tilstrekkelig bryteevne til å koble ut største forekommende kortslutningsstrøm i forleggingen (trefase kortslutning i nærlende). Der dette er aktuelt, må det også kunne gi sikker utløsning ved minste forekommende feilstrøm (enfasje jordfeil i fjernende), med de marginer som forskrifter krever.

Vernet må kunne bryte strømmen «før en slik strøm kan bli farlig med henblikk på termiske og mekaniske virkninger på ledninger og koblinger». Utløsetiden begrenses normalt etter «femsekunders-regelen», se kapitelet om kortslutningsstrøm.

Ved TN-systemer er det ikke påkrevet med overstrømsvern av N-leder, forutsatt at N-leder har minst samme (ekvivalent) tverrsnitt som faseleder.

## Maksimal berøringsspenning.

Det finnes også norm-krav om maks. berøringsspenning ved feil på utsatt anleggsdel («beskyttelse mot indirekte berøring»). Varig spenning mot jord på feilbefengt utsatt anleggsdel skal ikke overskride 50 V AC eller 120 V DC. Høyere spenninger enn dette krever enten utløsing (med spenningsavhengig utløsingstid) eller begrensning av spenningen til under grenseverdiene.

I IT-nett vil jordfeil normalt gi svært lav jordstrøm, avhengig av utstrekning av kapasitet mot jord i galvanisk tilkoblet kabelnett. Kravet om maks. spenning gjelder uansett, men er spesielt aktuelt ved jordfeil i TN-nett. Her er det også krav om at alle utsatte deler skal være tilknyttet anleggets PE eller PEN-leder, og en jordfeil kan dermed gi en høy kortslutningsstrøm. Vernet må da dimensjoneres slik at det kan bryte en slik feilstrøm fort nok hvis berøringsspenningen overskridet 50 V. Alternativt kan det legges ekstra utjevningsforbindelse parallelt og i forbindelse med PE-leder. Dette reduserer spenningen langs returveien for feilstrømmen og dermed også berøringsspenningen.

## Minste feilstrøm.

Spesielt for TN-fordelingsnett hos everk gjelder at:

«Anleggene skal være slik dimensjonert at strømmen som oppstår ved kortslutning mellom ytterledere og N-, PEN-, PE-leder eller jordet anleggsdel, for ledninger og kabler i det fri, bli minst 2 ganger merkestrømmen for nærmeste forankoblede sikringer.»

Dette for å sikre at alle feil, uansett beliggenhet i nettet, skal resultere i utkobling. Ved en gitt sikring setter dette grenser for utstrekningen av kursene. Lengre kurser resulterer da i redusert overføringsevne eller krever økt tverrsnitt på fase og/eller PEN-leder,

## Vern mot overspenninger.

Normalt vil isolasjon på lavspenningskabel ha langt høyere holdfasthet mot impuls-(lyn-) overspenninger ( $> 20 \text{ kV/mm}$  isolasjonstykke) enn blanke punkt og andre komponenter i en bygningsinstallasjon. Eventuell overspenningsbegrensning i bygg er primært et komponentvern, men vil også beskytte kabelisolasjon. Bildet blir mer komplekst ved anlegg i friluft. Høyspenningskabel innskutt i luftledningsnett bør generelt ha overspenningsbeskyttelse.

## Kortslutningsberegninger

I det følgende gjengis noen hovedformler for kortslutningsberegninger.

### Trefase kortslutning (TN og IT):

$$I_{K3} = (C \cdot U_N / \sqrt{3}) / (\sqrt{(R^2 + X^2)})$$

hvor

C - «spenningsfaktor». Settes lik 1 ved beregning av maks feil strøm og lik 0,95 ved beregning av min. feilstrøm.

$U_N$  - nominell spenning ved spenning skilden, «stift nett», (linjespenning, ref. lavspenning ved beregning på lavspennings-siden)

R -  $R_{HS} + R_T + R_F$  : sum pr. fase resistans, referert samme spenningsnivå, fra «stift nett» og frem til feilsted (se kortslutning fase-jord)

X -  $X_{HS} + X_T + X_F$  : sum pr. fase symmetrisk reaktans, referert samme spenningsnivå, fra «stift nett» og frem til feilsted (se kortslutning fase-jord)

### Tofase kortslutning (TN og IT):

$$I_{K2} = \sqrt{3}/2 \cdot I_{K3} = 0,87 \cdot I_{K3}$$

### Kortslutning en fase - jord (TN):

$$I_{K1} = C \cdot \sqrt{3} \cdot U_N / (\sqrt{(R_{SUM}^2 + X_{SUM}^2)})$$

hvor

$$R_{SUM} = 2 \cdot (R_{HS} + R_T) + R_{OT} + 3 \cdot (R_F + R_G)$$

$$X_{SUM} = 2 \cdot (X_{HS} + X_T) + X_{OT} + 3 \cdot (X_F + X_G)$$

hvor

- $R_{HS}$  - pr. fase kortslutningsresistans matende høyspennignsnett, referert lavsp.
- $X_{HS}$  - pr. fase kortslutningsreaktans matende høyspennignsnett, referert lavsp.
- $R_T$  pr. fase kortslutningsresistans for fordelingstrafo, referert lavsp.
- $X_T$  - pr. fase kortslutningsreaktans for fordelingstrafo, referert lavsp.
- $R_{OT}$  - nullresistans fordelingstrafo, referert lavsp.

- $X_{OT}$  - nullreaktans fordelingstrafo, referert lavsp.
- $R_F$  - sum resistans pr. fase f.o.m. mateledning t.o.m. feilsted
- $X_F$  - sum reaktans pr. fase f.o.m. mateledning t.o.m. feilsted
- $R_G$  - sum resistans i null-leder f.o.m. mateledning t.o.m. feilsted
- $X_G$  - sum reaktans i null-leder f.o.m. mateledning t.o.m feilsted

## Kortslutningsstrøm

Ved dimensjonering av kabler som inngår i nett med store kortslutningseffekter er det viktig å ta hensyn til kablenes kortslutningssikkerhet. Den tillatte korttidsstrømmen for en kabel bestemmes tildels av den maksimalt tillatte ledertemperaturen, dels av kortslutningstiden, dvs. tiden fra kortsluttingen begynner og til den brytes av beskyttelsesutrustningen. Gjelder det store strømmer bør man i tillegg ta hensyn til kraften mellom lederne. Tillatte temperaturer og strømtetthet gis i tabell 26.

### Korttidsstrøm for faseledere

Med korttidsstrøm menes effektivverdien, den kvadratiske middelverdien av kortslutningsstrømmen i løpet av kortslutningstiden. I tabellene 27 og 28 angis den høyeste tillatte korttidsstrømmen for faselederen i 1 sekund. Høyeste kortslutningsstrøm for tiden mellom 0,5 og 5 sekunder kan man beregne med formelen:

$$I_k = \frac{I_1}{\sqrt{t_k}}$$

- $I_k$  = korttidstrømmen i A for tiden  $t_k$
- $I_1$  = korttidsstrømmen i A for tiden 1 s
- $t_k$  = kortslutningstiden i sek.

For tider kortere enn 0,5 sekunder brukes formelen:

$$I_k = \frac{I_1}{\sqrt{0,05+t_k}}$$

De høyeste tillatte sluttemperaturene på faselederen angis i tabell 26. Tilsvarende korttidsstrømtetthet i 1 sekund er også tatt med.

### Korttidsstrømtetthet for Cu-skjerm og blykappe

Den høyeste tillatte temperaturen på skjerm av kobber for PEX-isolerte kabler er 300° ved korttidsstrøm, om denne ikke varer lengre enn 5 sekunder. Tilsvarende korttidsstrømtetthet er 200 A/mm<sup>2</sup> i 1 sekund. For blykappe er tilsvarende verdier 200°C og 29 A/mm<sup>2</sup>.

### Elektromekaniske krefter

Den elektromekaniske kraften mellom to enledekkabler ved en topolet kortslutning kan beregnes med følgende formel:

$$F = \frac{0,2 \cdot I_s^2}{d} \text{ N/m}$$

- $F$  = Kraften mellom kablene, N/m
- $I_s$  = støtsrømmen, kA
- $d$  = avstanden mellom kablene

Ved trefaset kortslutning i et system med tre 1-ledekkabler plassert i plan blir resultatet av kreftene følgende:

- Mellom en ytterkabel og øvrige kabler 0,81 F
- Mellom midtkabelen og øvrige kabler 0,87 F

Ved trefaset kortslutning i et system med tre 1-lederkabler plassert symmetrisk i trekant, blir resultatet av kraften 0,87 F.

Den enkle formelen gir ved  $I_s = 40 \text{ kA}$  (i støt) og  $d = 0,07 \text{ m}$  en kraft  $F$  lik  $4,6 \text{ kN/m}$ , d.v.s.  $4 \text{ kN/m}$  ( $408 \text{ kp/m}$ ) ved tett trekant. Kraften pulserer mellom O og F (frastøttende, aldri tiltrekkende) med det dobbelte av nettfrekvensen, og det kan være tale om dramatiske virkninger. I ekstreme installasjoner kan støtstrømmen komme helt opp i  $200 \text{ kA}$  (kraft:  $10 \text{ tonn/m!}$ , som slår 100 ganger pr. sek.!)

### Støtstrøm i 1-24 kV kabel.

Momentanverdien,  $I_s$  (støtstrømmen), umiddelbart etter kortslutning er 2,5 til 3,0 ganger høyere enn den beregnede kortslutningsstrøm  $I_k$  (effektiv-verdi) på feilstedet. Faktoren er størst nær generatorer og motorer. Støtstrømmen har som vist stor betydning for de elektromekaniske

påkjenningene på forlegningen.

Innsvingningen mot  $I_k$  tar normalt noe mindre enn 0,1 sek. Ved svært raskt vern (brytetid < 0,2 sek.), kan det være nødvendig å ta hensyn til de termiske virkningene av støtstrømmen. For termisk dimensjonering med hensyn til kortslutningsstrøm er det ellers tilstrekkelig å anvende  $I_k$ , d.v.s i de langt fleste tilfellene (brytetid > 0,2 sek.).

Trelederkabel har vist seg i seg selv å ha god nok bestandighet mot de mekaniske krefter som virker mellom fasene ved en kortslutning, ved at båndering, skjerming og ytterkappe holder ledene på plass, som i et rør. Kreftene fordeles og punktvis påkjenning unngås. Installasjon av enleder kabel stiller derimot strengere krav til nøyaktig og solid bunting og festing til underlag (stige), spesielt der kortslutningsstrømmene er høye. Dårlig utførte enlederanlegg vil kunne ødelegges ved kortslutning.

## Spenningsfall

I et anlegg forårsaker kabelens resistans og reaktans et spenningsfall. Spenningsfallet øker med kabellengde og strøm, men avtar med økende ledertverrsnitt. I lavspenningsanlegg med lang overføringsavstand påvirker spenningsfallet dimensjoneringen.

I følge leveringsvilkår skal everksunder ikke ha spenningsvariasjoner over en viss verdi, normalt  $\pm 10\%$  av nominell spennin, normalt 230 V. Et godt (f.eks. økonomisk) dimensjonert nett vil gi en stivere spennin frem til kunde enn et nett som f.eks. er termisk dimensjonert. En vanlig grenseverdi for spenningsfall ved kraftoverføring til installasjoner er maks. 5 %, referert maks. last.

For å kontrollere at spenningsfallet ikke overstiger tillatt verdi kan man bruke følgende formel:

Trefase:

$$\Delta U = \frac{P \cdot L \cdot (R_1 \cdot \cos\phi + X_L \cdot \sin\phi)}{U^2 \cdot \cos\phi} \cdot 100\%$$

Enfase vekselspenning:

$$\Delta U = \frac{2P \cdot L \cdot (R_1 \cdot \cos\phi + X_L \cdot \sin\phi)}{U^2 \cdot \cos\phi} \cdot 100\%$$

P = Overført effekt, kW

L = lengde, m

$R_1$  = ledermotstand, ohm/km

$X_L$  = reaktans, ohm/km

U = driftsspenning, V

$\Delta U$  = spenningsfall, %

$\cos\phi$  = effektfaktor hos belastningsobjekt.

Spenningsfall ved forskjellige kabel-tverrsnitt og belastninger angis i tabell 25.

Ved likespenning er spenningsfallet

$\Delta U = 2 \cdot (R \cdot L) \cdot (P/U) [V]$ , d.v.s. som enfase vekselstrømstilfellet, men med

$X_L = 0$  og  $\cos\phi = 1$ . For 1 kV en- og trefase

kabel (to- og treleder) med Al tverrsnitt

150 mm<sup>2</sup> og lavere, eller Cu-tverrsnitt

70 mm<sup>2</sup> og lavere, er det ved vekselspenning nøyaktig nok å regne med  $X_L = 0$ .

Forutsetningen er i tillegg at  $\cos\phi$  er større enn ca 0,95. Dette gir høyden noen prosent feil i spenningsfallberegningen. Dette gjelder også for de minste tverrsnittene ved høyspenningskabel, unntatt ved enleder i flat forlegging.

### Tverrsnittsbestemmelse basert på forenklet spenningsfallsberegning (ved bruk av strømtetthet).

Aktuell problemstilling er ofte:

Gitt lengde, strøm og maks tillatt spenningsfall. Hvilket tverrsnittet kreves?

I stedet for å anta et tverrsnitt (som oftest er feil ved første forsøk), kan det beregnes en maks. tillatt strømtetthet, som så kobles til gitt strøm for beregning av minste tverrsnitt (riktig ved første forsøk).

Metoden gjelder DC-beregning uansett tverrsnitt og er også nøyaktig nok ved 50 Hz AC-beregning for Al-tverrsnitt fra 120 mm<sup>2</sup> og lavere og Cu-tverrsnitt fra 50 mm<sub>2</sub> og lavere.

Følgende nøkkeltall («spesifikt spenningsfall») brukes:

Spesifikt spenningsfall $u_s$ [V pr. A/mm <sup>2</sup> og km]		
	Enfase (AC og DC)	Trefase (AC)
Cu:	35	30
Al:	57	49

$$(1) \Delta U = u_s \cdot j \cdot l \quad \text{gir} \quad j = \Delta U / (u_s \cdot l)$$

$$(2) j = i/A \quad \text{gir} \quad A = i/j$$

U: [V] maks. spenningsfall (for den konkrete lengden)

$u_s$ : [V pr. A/mm<sup>2</sup> og km] spesifikt spenningsfall

j: [A/mm<sup>2</sup>] strømtetthet  
l: [km] overføringens lengde  
A: [mm<sup>2</sup>] tverrsnitt (pr. fase)  
i: [A] strøm (pr. fase)

### Eksempel:

25 m Cu, 12 A ved 12 V likespenning (=enfase) med maks. tillatt spg. fall 0.5 V.

### Tillatt strømtetthet:

$$j = \Delta U / (35 \cdot l) = 0.5 / (35 \cdot 0.025) = 0.57 \text{ A/mm}^2 \text{ iflg. (1)}$$

### Minste tverrsnitt:

$$A = i/j = 12 / 0.57 = 21 \text{ mm}^2, \text{ d.v.s. } 25 \text{ mm}^2 \text{ Cu. iflg. (2)}$$

## Økonomisk dimensjonering

Med begrepet økonomisk dimensjonering menes at summen av kostnadene for kabel med tilbehør, forleggingskostnadene og tapskostnadene akkumulert i løpet av kabelens livslengde, skal bli lavest mulig ved en gitt belastning. Dette illustreres i bilde 29 som viser totalkostnaden for to ulike kabeldimensjoner.

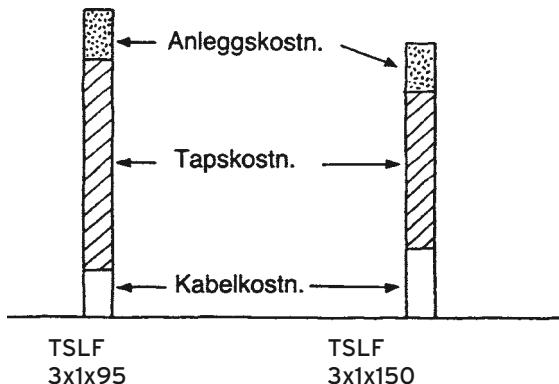
For enkelt å kunne bestemme den økonomiske dimensjonen kan man som hoved-regel regne med at den økonomiske strømtettheten er maks. 1 A/mm<sup>2</sup> for aluminiumkabler og 2 A/mm<sup>2</sup> for kobberkabler.

Årsaken til at den økonomiske dimensjoneringens betydning øker, er at tapskostnadene får større betydning ved økede energikostnader.

Ved å benytte en økonomisk dimensjonering beholder man foruten den økonomiske fortjenesten, mange tekniske fordeler.

Lavere ledertemperatur ved normaldrift innebærer at:

- Kabelen til tider kan overbelastes mer.
- Kabelen får en lengre aldringstid, hvilket medfører lengre teknisk livslengde.
- Når kabelen er helt avskrevet har den ofte ca. 60-70% av teknisk livslengde igjen.



Bilde 29. Økonomisk dimensjonering.

### Beregning av tapskostnadene

Hvis man vil gjøre en beregning av kostnadene for tap i løpet av kabelens økonomiske livslengde kan man bruke formelen:

$$\text{Tapskostnad} = P_t \cdot K_t \cdot S, \text{ hvor:}$$

$P_t$  = de aktive tapene (kW) ved maksimal belastningen det første året, beregnet som beskrevet i avsnittet «elektriske begrep, Ledertap

$K_t$  = kostnaden av 1 kW tap (kr/kW/år) i det første året, gitt av formelen:

$$K_t = K_p + \tau_f \cdot K_w, \text{ hvor:}$$

$K_p$  = effektkostnad kr/kW/år

$K_w$  = energikostnad kr/kWh

$\tau_f$  = tapenes brukstid timer pr. år, se det følgende

$S$  = en faktor som innbefatter virkningen av belastningsutvikling, realprisstigning på energi og effekt, og valgt kalkulasjonsrente, det hele summert over kabelens økonomiske livslengde. Forutsatt eksponentiell utvikling både på maksimalbelastning og på realpris på energi (og effekt), er  $S$  gitt av formelen

$$S = \sum_{n=0}^k \left( \frac{1+P_0}{100} \right)^{2n} \cdot \left( \frac{1+P_1}{100} \right)^n \cdot \left( \frac{1+P_2}{100} \right)^{-n}$$

der:

$P_0$  = belastningsutvikling, % pr. år  
 $P_1$  = realprisstigning på energi, % pr. år  
 $P_2$  = kalkulasjonsrente, % pr. år  
 $k$  = kabelens økonomiske livslengde

### Belastningsutvikling

Denne er avhengig av belastningstypen. F.eks. har et ferdigbygget villaområde en tilvekst på ca. 1-2 %, mens en industri kan ha enten nullvekst eller meget høy tilvekst avhengig av typen industri.

### Energiens realprisutvikling.

Energikostnadenes utvikling er vanskelig å bedømme ettersom den påvirkes av så mange ulike faktorer, ikke minst politiske.  $P_1 = 0\%$  innebærer en energiprisstigning tilsvarende inflasjonen.

### Kalkulasjonsrente

Kalkulasjonsrenten representerer, i en kalkyle, «kostnaden» på kapital.

Kalkulasjonsrenten er avhengig av flere faktorer, f.eks. finansieringsstruktur, lånerente, krav til avkastning, skatteeffekter m.m. Dette innebærer at kalkulasjonsrenten varierer, avhengig av de ulike bedriftsøkonomiske eller samfunnsøkonomiske betraktninger som legges til grunn.

### Kabelens livslengde

Normalt kan antas at kabelens økonomiske livslengde er 25 år.

### Belastningens brukstid

Brukstiden er et mål på hvor stor del av anlegget som utnyttes. Hvis den høyeste effekten man tar ut i løpet av året er  $P_{max}$  blir belastningens brukstid:

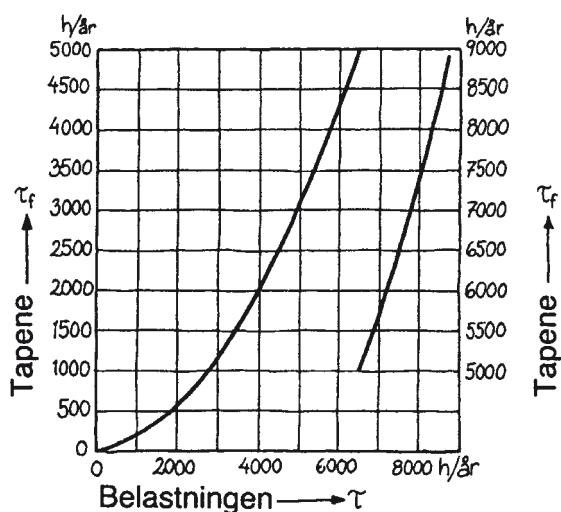
$$\tau = \frac{W}{P_{max}} \text{ h/år}$$

der

$W$  = Totaltenergiforbruk i løpet av et år.

## Tapenes brukstid

Sammenhengen mellom belastningens og tapenes brukstid er avhengig av belastningskurvens form. Ettersom tapene er kvadratisk avhengige av belastningen innebærer det at korte belastningstopper får stor innvirkning.

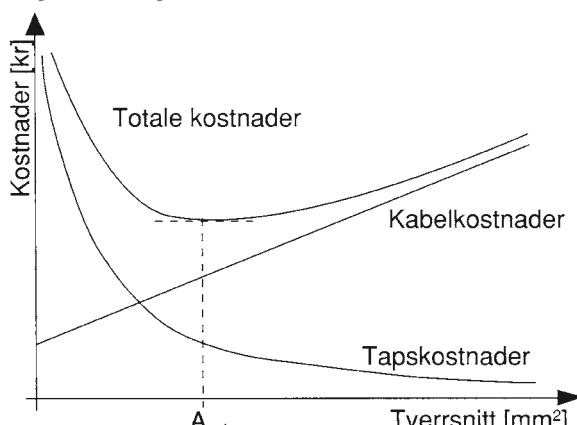


Bilde 30. Forholdet mellom  $\tau$  og  $\tau_f$ . Diagrammet bygger på normalkurver

Som hjelpemiddel til overslagsberegninger kan man benytte kurven i bilde 30, som angir forholdet mellom belastningens og tapenes brukstider.

## Optimal strømtetthet.

Den enkle fysiske sammenhengen er at kapitaliserte tapskostnader er omvendt proporsjonale med kabeltverrsnittet, mens kabelkostnadene øker nærmest lineært med kabeltverrsnittet, slik som illustrert på følgende figur.



Kostnader som funksjon av ledertverrsnitt

Optimum (= minimumsverdien for summen av kostnader) er relativt «flatt», på den måten at merkostnad ved å ligge ett tverrsnittstrinn for lavt er vesentlig større enn merkostnad ved å ligge ett trinn høyere enn det optimale. Det koster altså normalt lite å være på «den sikre siden» m.h.t. tverrsnittsvalg, når kapitaliserte tapskostnader tas i betraktning, samtidig som anlegget da også vil ligge bedre an i forhold til fremtidig lastøkning. Som nevnt er økonomisk dimensjonering høyst aktuell ved belastninger med høy brukstid, som f.eks. forsyningsekabler i lavspennings fordelingsnett. Med samfunnsøkonomiske tapskostnader lagt til grunn og Al som ledermateriale, går regnestykket ut med ca 0,8 A/mm<sup>2</sup> som optimal strømtetthet for denne type belastning. Termisk grenselast ligger på ca 1,8 A/mm<sup>2</sup> for 240 mm<sup>2</sup> Al og høyere for lavere tverrsnitt.

## Installasjon i bakken

For å få best mulig driftsikkerhet og økonomi ved sitt kabelanlegg må man være nøyaktig når man planlegger og gjennomfører forleggingsarbeidet. Man skal også ta hensyn til forskriftenes paragrafer som bl.a. behandler følgende:

- fellesføring med telekabel
- kablene innbyrdes plassering og avstand
- forleggingsdybde
- markering og beskyttelse av kablene
- grøftedimensjoner og fyllmateriale
- rørforlegging

### Valg av forlegningsmåte

Kabelens konstruksjon, vekt og lengde samt terrenghold er noen av de faktorer som styrer valget av forlegningsmåte. Det er derfor viktig at man allerede ved planleggingen av anlegget undersøker hvilke ressurser som finnes tilgjengelige og bestemmer forlegningsmåte. De vanligste

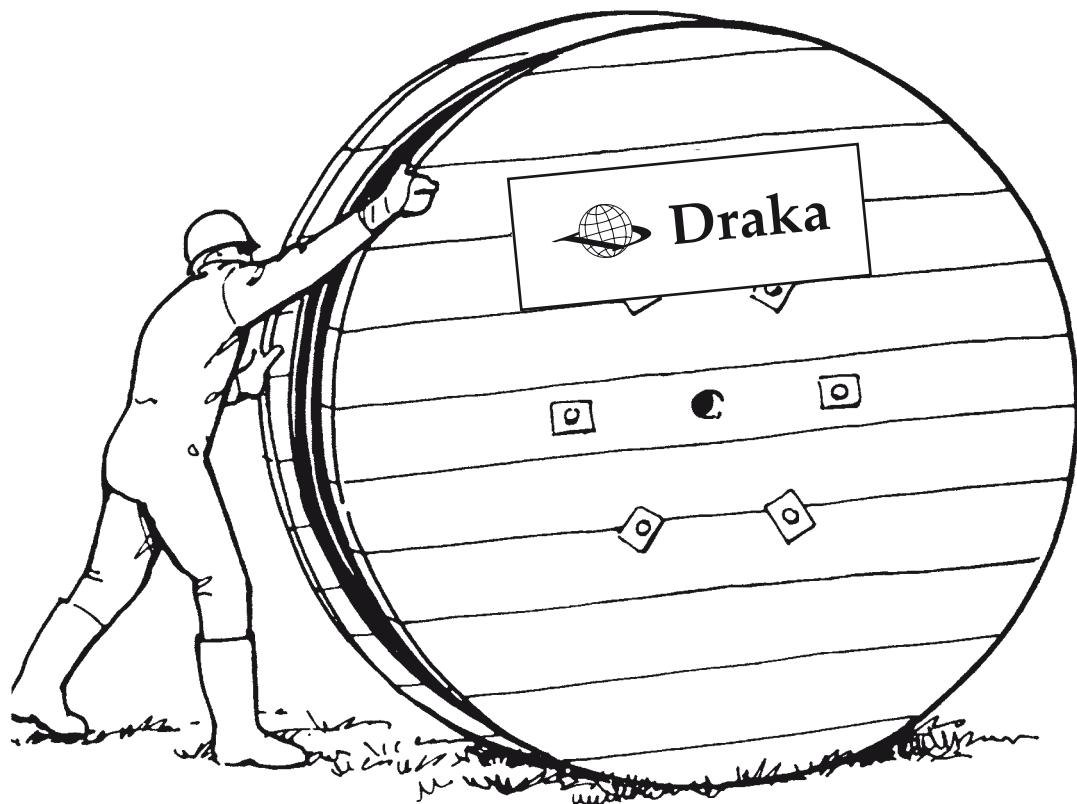
metodene ved forlegging i bakken er:

- uttrekk for hånd
- uttrekk med maskin
- utkjøring
- forlegging i rør.

### Noen vanlige råd

Selv om en kraftkabel gir et robust inntrykk må den behandles forsiktig under legging. Alle bevegelser skal gjøres mykt og følsomt uten rykk. Kabelen kan ikke legges ved for lav temperatur da den kan skades ved kulde. Den må heller ikke bøyes med for liten bøyradius eller utsettes for unormale strekkpåkjenninger.

Unngå å vri kabelen ettersom armeringen, om den finnes, kan løsne. Kjøretøy skal ikke kjøre over kabelen selv om underlaget er mykt. Ved uttrekking skal man se etter at kablene ikke skraper mot skarpe stener eller kanter.



Bilde 31. Tromlen rulles

Kabelen bør legges ut svakt buktet så den kan ta opp lengdeutvidelser ved vekslende belastning, og på en slik måte at den ikke skades om det blir setninger i bakken. Om det er hindringer i bakken, f.eks. andre kabler, rør eller store stener skal kabelen legges med så mye overskudd at man kan gå rundt hinderet, og slik at det finnes plass for beskyttelse. Bruker man planker eller lange plastprofiler som kabelbeskyttelse, må kabelen legges så rett at den dekkes av beskyttelsen.

### Skjøting og endeavslutning

Ved skjøting og endeavslutninger skal man legge kabler i en bøy. Lengden skal være så stor at man kan kappe bort en skadet kabellengde og at ny montering kan gjøres enkelt og bekvemt. En kabel må aldri strekkes hardt ved fest til en kabelavslutning, den må legges med en bukt.

### Bøy kabelen riktig

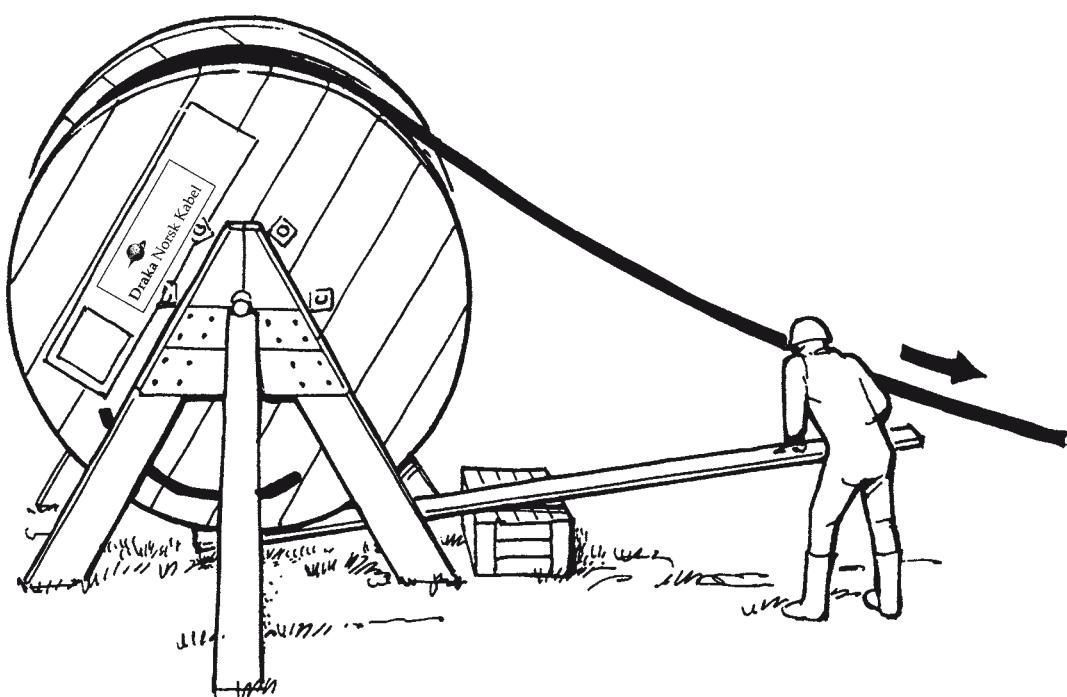
Under hele forleggingsarbeidet, fra kabelen forlater trommelen og til den er sluttmontert, må man se etter at kablene ikke blir for hardt bøyet. Bruk større bøyeradius under selve forleggingen enn

under sluttmonteringen. Om man bruker en mal ved monteringen kan man uten å skade kabelen minske bøyeradius noe. I tabell 16 angis minste tillatte bøyeradius ved forlegging og montering av noen ulike kabeltyper.

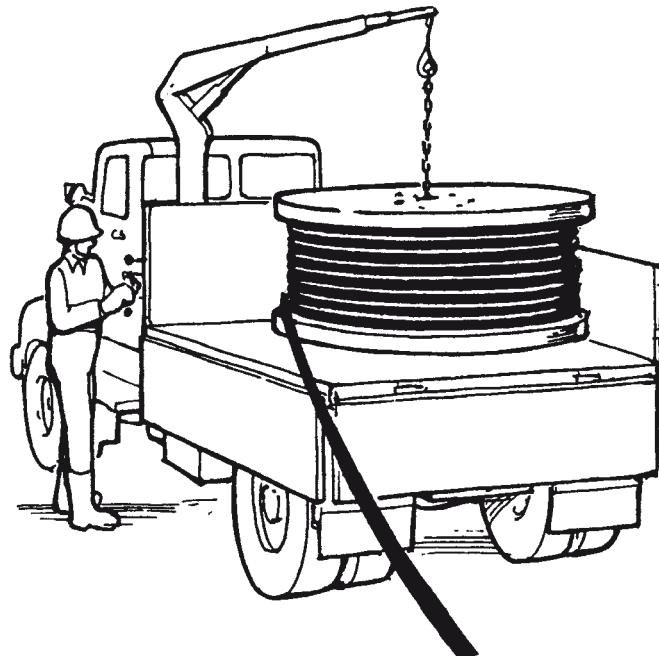
Skal man bøye en kabel når det er kaldt må man være forsiktig så ikke isolasjonen eller kappen skades. PVC-kabel og PEX-kabel med PVC-kappe må ikke håndteres eller forlegges uten forutgående oppvarming dersom kabeltemperaturen er lavere enn -10°C. Det samme gjelder for PEX-kabel med kappe av PE om kabeltemperaturen er lavere enn -20°C. Installasjonsregler finnes i tabell 14 og 16.

### Avspoling fra trommel

Når en kabeltrommel rulles på bakken skal rotasjonsretningen være motsatt av hva trommelen har ved avspoling. Rulles trommelen i feil retning kan kabelen løsne. Ved avspoling skal kabeltrommelen settes opp på bukker eller lignende ved den ene enden av kabelanlegget. Kontroller hele tiden ved avspoling at kablene løper uten hindring. Vær spesielt oppmerksom ved veksling mellom to lag.



Bilde 32. Bremsing av trommelen



Bilde 33. Utkjøring ved hjelp av roterende trommelløfter

Trommelen må aldri rotere fortare enn kabelen løper ut. Ved en bråstopp i uttrekkingen må trommelens rotasjon snarest kunne stanses, ellers kan kabelen følge med inn under trommelen og skades. En brems kan lett ordnes med en planke som legges som en hevstang over en kloss, se bilde 32. Når man bremser trykker man planken mot trommelvangen. Bremsen skal være oppstilt på samme side av trommelen som kabelen spoles av på, slik at planken trekkes nedover av trommelen når man bremser. På store tromler kan det være nødvendig med en brems på hver vange.

Det finnes spesielle vogner med motor-drevne aggregater for avrulling og bremsing av kabeltromler. Spesielt når man har store tromler bør en slik vogn brukes for å få tilstrekkelig effektiv bremsing.

### **Uttrekking for hånd**

Når man trekker ut kabel for hånd stilles trommelen opp ved den ene enden av kabelanlegget. Metoden brukes for lette kabler eller for tunge kabler i korte lengder.

### **Uttrekking med maskin**

På kraftkabel som tåler store trekkpåkjenninger kan uttrekking gjøres med maskin. Kabeltrommelen settes opp på bukker ved den ene enden av kabelanlegget og ruller plasseres ut med jevne mellomrom i kabelgrøften.

Kabelenden kobles til en trekklime og trekkes frem med en motordrevet vinsj, en beltetraktor eller et annet egnet kjøretøy.

Når man skal trekke tunge kabler i lange strekninger eller når strekningen er kronglete må flere vinsjer brukes. Vinsjene stilles opp slik at trekkingen gjøres før kurver og bakkeskråninger. Det er viktig at vinsjenes trekking og hastighet samordnes.

Trekklinene festes i trekkstrømper eller i kabelens ledere. Tillatte trekkrefter angis i tabell 15. For å forhindre for høy trekkraft i kabelen anbefales at en treksikring monteres mellom festepunktene for linene. En treksikring kan lages av en av lederne ved 3-lederkabel. Ved en 1-lederkabel bør treksikringen ikke overstige en tredjedel av lederdimensjonen. For å minske påkjenningsene kan man kople to trekkstrømper til hver line. Trekkstrømpenes øyne forenes

med en stropp som er ca. en meter lengre enn avstanden mellom øynene. Trekklinen kan festes i stroppen med et kastblokk som glir på stroppen og kan på en slik måte fordele trekkraften likt på trekkstrømpene.

Når kabelen er uttrukket skal den løftes av rullene og legges til rette i kabelgrøften. For tung kabel kan man trenge et spett for å få den ut av rullene. Kabelen legges slik at den får sin rette form i alle bøyninger og avlastes fra unødvendig strekking. Finnes det flere kabler i grøften skal de ligge parallelt og ikke krysser hverandre unødvendig.

### Utkjøring

Skal kabelen kjøres ut, må det ikke finnes noen hindringer som kabelen må stikkes under. Det må heller ikke finnes trær eller stolper som hindrer utkjøring.

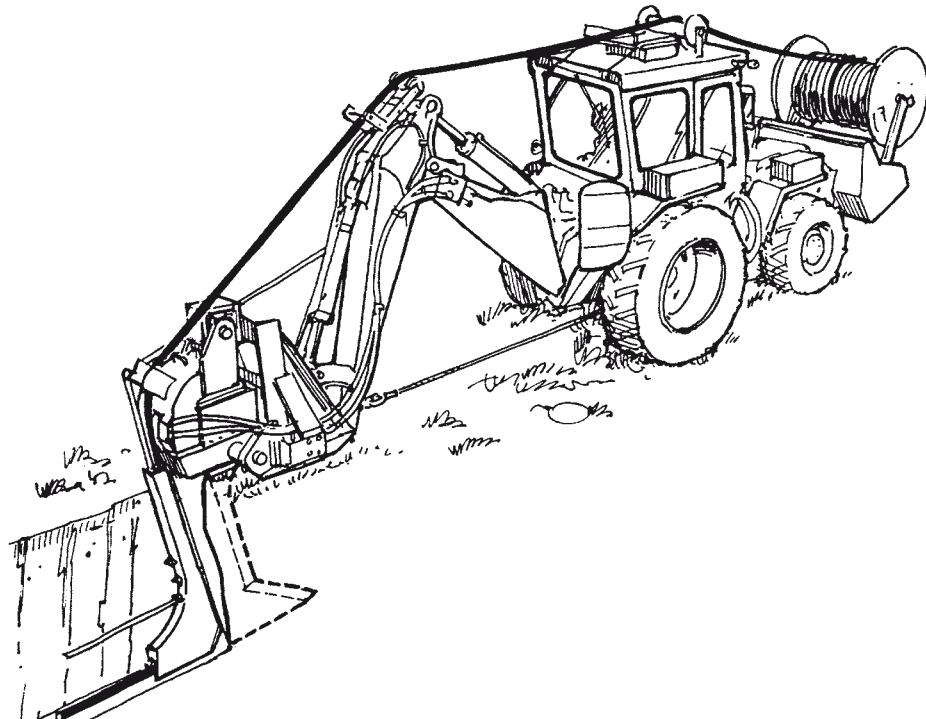
Ved utkjøringen kan trommelen henges opp mellom lagerbukkene på en vogn som kjøres langs kabelstrekningen samtidig som man lar kabelen løpe ut. Man kan også bruke en lastebil med hydralift for containere. Kabeltrommelen heises da opp i en aksel mellom liftens gafler, og kabelen rulles ut mens bilen kjører langs kabel-strekningen.

Ved trommelvekter opp til 5 tonn kan trommelen henges opp i kranen på en lastebil. Man bruker da en roterende trommelløfter som festes i trommelens sentrumshull. Når trommelen skal bremses, senkes den ned mot planet.

### Forlegging rør

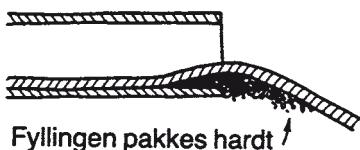
En fordel ved forlegging av kabel i rør er at rør legges i forbindelse med bygging av gater og veier, deretter trekkes kablene på et gunstig tidspunkt. En annen stor fordel med å legge kabel i rør er at man lett kan trekke ut en skadet kabel av et rør. Dessuten gir et plastrør god mekanisk beskyttelse i stenholidig grunn og der man må legge kabelen grundt.

Rørets innerdiameter skal være ca. det dobbelte av kabeldiametren. Rørmunningen må ikke ha noen skarpe kanter som kan skade kabelen og man må påse at ingen steiner følger med kabelen inn i røret og gir inntrykninger i kappen. Det kan være fornuftig å sette en myk trakt på munningen, eller lage en pute av fyllingen under kabelen ved munningen.



Bilde 34. Nedpløying av kabel

Skal kabel trekkes lange strekninger i rør, kan det forekomme stor friksjon. For å minske trekkraftbehovet kan man bruke vann eller alkaliel fri såpe som glidemiddel. Ved bruk av 1-lederkabel i stålør (magnetisk materiale) skal samtlige tre kabler (faser) trekkes i samme rør. Ellers før saker tilleggstapene i stålørret en kraftig reduksjon av kabelens belastningsevne.



Bilde 35. Kabel i rørmunning

## Sjekkliste

### Før forleggingen

- Gå igjennom forberedelsene og fordel arbeidsoppgavene.
- Kontroller at det rette gjenfyllingsmaterialet er utplassert etter planen.
- Kontroller trafikkanordninger og avsperringer.
- Instruer personalet. Gi uttrykk for viktigheten av at kabelen håndteres forsiktig.

- Kontroller at alle rør er gjort rene og at trekkliner er trukket igjennom.
- Gransk trommelgavlene. Det må ikke finnes spiker eller andre skarpe gjenstander som kan skade kabelen.
- Avdekk kabelendene, se etter at de er tettet.
- Se etter at kabelens innerende er løsnet og kan løpe fritt gjennom hullet i trommelgavlen.

### Etter forleggingen

- Inspiser kabelen og undersøk eventuelle skader.
- Se etter at kappede kabelender som ikke umiddelbart skal skjøtes eller avsluttes blir ordentlig tildekket.
- Ta bort steiner som har fallt ned i nærheten av kabelen før kabelgrøften fylles igjen.
- Kontroller at kabelen er overdekket og beskyttet mot skader der det er fare for ras.
- Se etter at broer legges, at beskyttelsesanordninger, f.eks. bukker settes opp og at det finnes varsellys.

## Installasjon av isolerte luftledninger

Ved isolerte luftledninger for høyst 1 kV skiller man mellom hengekabel (8 talls kabel) og hengeledning (EX). Forskjellen består i at hengekablene har ytterkappe, noe hengeledningen mangler.

Man bør passe på følgende ved bygging med isolert luftledning:

- Anlegget må tilfredsstille gjeldende norske normer og forskrifter.
- Bruk normert tilbehør.
- Pass på at innspenningskretene deles likt mellom lederne (EX).
- Tenk på risikoen for mekaniske skader. Kabelen må ikke trekkes over skarpe steiner, kanter eller friledninger.

# Universalkabel, 12 og 24 kV

De vanligste grunner til å bruke Universal-kabel for høyspenning er følgende:

- Behov for provisorisk forsyning.
- Der man av f.eks. miljø-, kostnads- eller reguleringsårsaker ikke kan gå fram med brede ledningsgater og friledning eller kabel i mark.
- Sambygging med lavspennings- og telekabel.
- Ingen dyre kabelavslutninger og ventilav-ledere er nødvendig ved overgang mellom jord- og luftforlegning.

Av økonomiske og estetiske årsaker bør stolpene utnyttes for så mange ledninger som mulig. I forskriftene finnes bestemmelser for sambygging mellom forskjellige ledningstyper. Forskriftene oppgir sambygging med såvel lavspenning som telekabel.

## Kabelkonstruksjon

ELPEX Kombi AXLJ-RMF er en universal-kabel som kan henges opp i stolper og forlegges i mindre elver og småvann. I tillegg er den en robust jordkabel som er godt egnet til kabelpløying og annen nedgravning.

Dette betyr at samme kabel kan benyttes hele veien i et distribusjonsnett - over åker og eng, i vann og luft. Denne fullisolerte kabel kan ligge i fellesføring med andre kraftkabler, EX hengeledning eller telekabler.

## Monteringsanvisning

Aluminiumslederen er forsterket med en Al-legert sentrumstråd, men lederdiameter er identisk med våre andre 12 og 24 kV kabler. Bruk dyppress kontaktpressing. Strekkfaste skjøter er ennå ikke utviklet, lag skjøt i en avspenningsstolpe med avspenningsspiraler til begge sider. Ytre halvleder er fastvulket til PEX isolasjonen og skal fjernes med et egnet skrelleverktøy.

Endeavslutninger og skjøtesett finnes fra flere leverandører. Velg endeavslutning og skjøt for standard PEX kabel.

I luften spennes kablen opp med avspenningsspiraler. Mellomfester brukes ved rette spenn og ved vinkler opp til 40° brukes kun et mellomfeste. Ved uttrekking av lange lengder eller ved store vinkler anbefales mellomfeste med ruller, for å skåne kablen ved uttrekking.

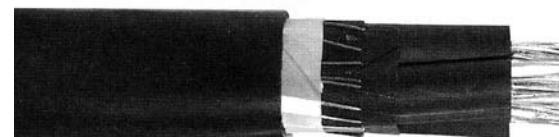
## Tilbehør

Et bredt spekter av tilbehør er tilgjengelig på markedet.

Komplett utstyrssiste kan utarbeides av din elverksgrossist.

REN anbefalingene bør følges, denne gir hele prosjektersunderlaget.

## ELPEX Kombi AXLJ-RMF



Bilde 36. Universalkabel

**Leder:** Flertrådet aluminium med legert sentrumstråd. Lederen er fylt med svellepulver, slik at fuktighet ikke trenger inn i konstruksjonen.

**Isolasjon:** Indre halvleder. PEX isolasjon. Fastvulket ytre halvleder.

**Skjerm:** Halvledene bånd. Konsentriske kobbertråder.

**Kappe:** Robust ytre kappe av Polyetylen, som binder konstruksjonen sammen.

## Kompakt linjesystem

## TSLF 12 og 24kV med halvledende ytre sjikt

### Kabelfakta

Draka Norsk Kabel leverer nå TSLF 12 og 24kV med halvledende ytre sjikt. Dette er standard TSLE-kabel hvor det i tillegg er ekstrudert et tynt halvledende PE-sjikt utenpå den opprinnelige ytterkappen. Begge kappene ekstruderes i en og samme operasjon. Selve PE-kappen er UV-bestandig.

Fordelen med det halvledende ytre sjiktet er at kabelen kan testes for kappefeil før grøften lukkes. Hvis feil eventuelt skulle oppdages kan denne repareres på et tidlig tidspunkt slik at innstrenging av fuktighet unngås. Dermed reduseres risikoen for vekst av vanntrær og kabelhavari forebygges. Testing av kabel forlagt i røranlegg er en annen positiv gevinst ved valg av denne type kabel. Den ekstra halvledende ytterkappen er også med på å øke kabelens mekaniske styrke.

### Måling av kappestrøm.

Måling utføres gjerne ved hjelp av en høy-spenningsgenerator (DC)

Spanningen bør reguleres gradvis fra 0 opp til maksimum 5kV for å unngå tenning av flere kappefeil samtidig. De største feilene vil på denne måten detekteres først.

Målespenning er avhengig av type kappe-materiale. For PE (polyetylen) vil maksimal målespenning være 5kV. Maksimal stømytelse vil typisk være noen hundre mA.

Kappestrøm kan også bestemmes ved bruk av megger.

Formelen for kappestømmen vil da være:

$$I = U/(R \cdot l)$$

hvor  $I$  er kappestrøm pr. lengde (A/km),

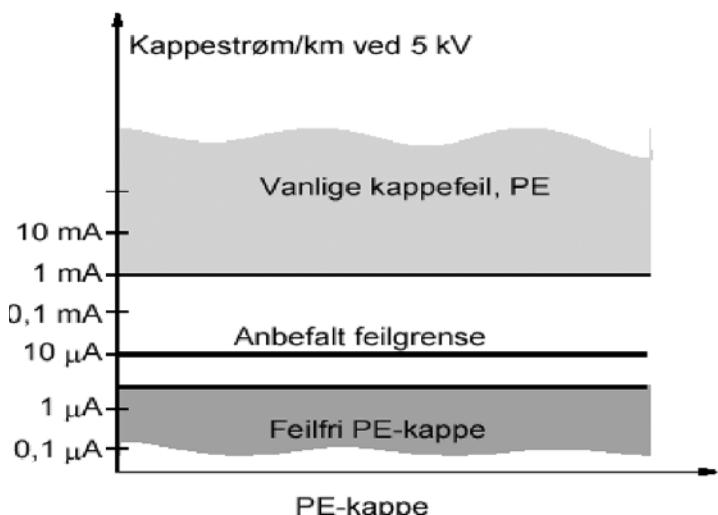
$U$  er påtrykt spenning (V),  $R$  er avlest

kappemotstand( $\Omega$ ) og

$l$  er kabelens lengde (km).

observert at meget små kappefeil (0,3mm) på kabler med svellebånd kan gi lekkstrøm mindre enn  $10\mu\text{A}/\text{km}$ . Dette kan skyldes at svellepulver tetter igjen skadestedet.

Som grenseverdi for registrering av kappefeil på PE-kapper anbefales  $10\mu\text{A}/\text{km}$ .



### Tolkning av måleresultatet.

Feilfrie polyetylenkapper har en typisk lekkasjestøm på  $1\mu\text{A}/\text{km}$  ved påtrykt spenning 5kV.

Kappefeil på PE-kapper gir normalt lekkstrømmer større enn  $1\text{mA}/\text{km}$ . Det er imidlertid

# BLX/PAS-W systembeskrivelse

Betegnelsen BLX er nå innarbeidet som betegnelse på det nordiske belagt linesystemet for høyspennings fordeling. Drakas betegnelse på denne linjen er nå endret til PAS-W. De tre faselederne er her innfattet og belagt med isolerende og UV-bestandig materiale uten ytre halvleder. Fasene er hengt opp med liten faseavstand og på hver sine isolatorer. Synlig forskjell fra systemer med blank line er i prinsippet bare det at lina er belagt og at faseavstanden er mindre. Ved 24 kV BLX/PAS-W: 50 cm, blank: 150 cm.

## Færre avbrudd

Hensikten med å legge isolasjon på faselederne er å unngå utkoblinger p.g.a.:

- berøring innbyrdes mellom liner (fasesammenslagning) og
- berøring mellom line og jordet gjenstand, f.eks. grener.

## Lynoverspenninger krever spesielle forholdsregler

Hvis en lysbue får fotpunkt i en punktering på en belagt line, vil lysbuen ikke kunne flytte seg og lina vil kunne brenne delvis eller helt av. Det samme kan gjelde over-

ganger mellom blanke og belagte punkt eller områder. Belagte linesystemer krever derfor spesielle forholdsregler, linevern, for håndtering av lysbuer. D.v.s.:

- Lysbuer ute i spenn må forhindres i å oppstå.
- Der lysbuer kan oppstå, må skader unngås.

Fare for punktering/lysbue ute i spenn kan oppstå ved direkte lynnedslag. Retningslinjer for valg av type vern og plassering (hyppighet) av linevernet, er tatt opp i eget senere punkt. Tilknyttede komponenter (trafo, kabel, bryter) vernes i prinsippet som ved blank line.

## Belagt line i forhold til andre 12-24 kV system for luftlinjer

Følgende tabell plasserer aktuelle systemer for luftledning i forhold til hverandre, med hovedvekt på elektriske egenskaper. Med «fullisolert» forstår her at isolasjonssystemet har feltstyring, d.v.s. at det er halvledende skikt på begge sider av isolasjonen.

**Beskrivelse av 12-24 kV fordelingssystemer**

	Hengekabel	AXUS	BLX/PAS-W belagt line	Blank line
Konstruksjon	Treleder under felles skjerm og kappe. Egen bæreline.	Tre snodde én-ledere uten skjerm eller kappe	Tre belagte liner, med liten faseavstand (50 cm) og mulighet for fasesammen slagning i spenn	Tre blanke liner, med faseavstand 150 cm (22kV)
Isolasjonssystem	Fullisolert, PEX, med ytre halvleder forb. til ledende og jordet skjerm.	Fullisolert, PEX, med ytre halvleder på flytende potensial.	I normal drift: Luft Ved trepåfall: /fasesammenslag: PEX uten ytre halvleder.	Luft Tåler ikke trepåfall eller fasesammenslagning.
Metallisk skjerm	Ja, jordet i en eller begge ender	Nei	Nei	Nei
Oppheng	ikke isolerende	isolerende	isolerende	isolerende
Terminering Skjøt Avgrening	Som ved jordkabel (skjøter og endeavslutninger	Som ved jordkabel	Som ved blank, men med penetrerende klemmer som avgrening	Klemmer, hylser
Overspenningsvern av systemet	Som ved jordkabel	Som ved jordkabel	Linevern (vern mot avbrenning), d.v.s. lysbuehorn, gnistgap eller avledere	Jordline, gnistgap
Vern av komponenter	Som i kabelnett	Som i kabelnett	Som i blank linjenett	Gnistgap, avledere
Tåler direkte lynnedslag	Nei	Nei	Ja, forutsatt linevern. (Punkttering i PEX ved nedslagssted kan gi lokal svekkelse.)	Ja

## **BLX/PAS-W - FORDELER**

Fordelene ved belagt line, sammenlignet med blank, er relatert til de 2.3 mm med PEX-belegg og kan oppsummeres som følger:

- Økt pålitelighet, ingen utkobling ved fasesammenslag eller ved berøring av trær eller andre jordede gjenstander. Feilhyppigheten kan forventes redusert med over 70 % i skogslende. Feilretting kan skje innenfor normal arbeidstid og som en planlagt operasjon.
- Mindre fare for antenning av skogbrann.
- Mindre risiko for fugler og dyr (elektrokusjon).
- PEX-belegg i kombinasjon med innfettet line gir god korrosjonsbeskyttelse.
- Faseavstand kan reduseres til 50 cm (fra 150 cm ved blank), hvilket videre gir:
- Smalere trase, mindre grunnavståelse og skogsrydding, lettere fremføring.
- Mulighet for flere linesett i kompakt oppheng. Mulighet for vertikaloppfeng, om ønsket.
- Mer kompakt utseende, mindre dominerende i terrenget.
- Bedre arbeidsstillinger under montasje i mastetopp.
- Mye mindre momentbelastning på mastetopp og mindre påkjenninger på ytterfaser.
- Lavere magnetisk felt.
- Arbeidsmetoder, verktøy og utstyr er i hovedsak som ved blank line. Ingen store krav til omskolering.
- Lavere livsløpskostnader.

## **BLX/PAS-W MONTASJE**

Det følgende gir anbefalinger for linjemontasje og montasje av linevern.

### **13 regler for montasje av BLX/PAS-W:**

1. Trommelstativ med brems anbefales.
2. Lina trekkes ut slepefritt og uten fare for skade eller kiling.
3. Trinsdiametre må være store nok, spesielt der lina skifter vinkel.
4. Alle punkt som skal ta montasjestrekk må avmantles.
5. Ved avspenninger avmantles lina ikke mer enn nødvendig, d.v.s. slik at belegget etter montasje slutter tett inntil klemma på begge sider.

6. Loop avmantles ikke.
7. Unngå riss i lederen.
8. Det strekkes til pilhøyde referert temperatur 5-10 °C kaldere enn lokal temperatur, for å ta høyde for setning (sig) i lina.
9. Unngå vridning av lina ved innhuking av avspenningsisolator.
10. Preformede bendlingsspiraler må være tilpasset isolatornakke og linedimensjon.
11. Klemmedeler på stå- eller hengeisolatorer må være tilpasset lina og ikke ha skarpe kanter.
12. Alle ledende eller halvledende materialer i isolatortoppen må potensialforbindes.
13. Penetrerende klemmer (avgrenninger) og avspenningsklemmer må tiltrekkes med foreskrevet moment.

### **13 regler for linevern påBLX/PAS-W:**

#### **Valg av type:**

1. Med hensyn til evnen til å verne lina mot avbrenning er det i praksis ingen forskjell mellom de tre ulike hovedtyper vern. (lysbuehorn, gnistgap, avleder)

#### **Plassering:**

2. På steder som er sterkt utsatt for lynnedslag plasseres linevern i hver mastetopp.
3. I åpent lende ellers plasseres linevern minimum for hver ca 200 m.
4. I skog og ikke utsatte områder plasseres vern for hver ca 300 m, d.v.s. der hvor det uansett må være jordingspunkt.

#### **Utførelse:**

5. Blanke punkt i et belagt linesystem må ha lysbuestyring, i form av lysbuehorn, gnistgap (eller avledere), og punktene må være plassert likt på alle tre faser.
6. Ved avgrenninger (klemmer) bør det være linevern i samme mast eller ved nærmeste nabomast.
7. Lysbuehorn skal peke opp ved avspennings- og hengeisolator og ned ved ståisolator (pigg/linepost/støtte).
8. Lysbuehorn plasseres på belastningsside ved ensidig effektretning, og på begge sider ved ringmating.

9. Ved bruk av gnistgap eller avledere trengs det bare ett sett, både ved ensidig mating og ringmating
10. Metalldeler eller halvledende belegg i eller ved isolatortopp bør kortsluttes, for å eliminere mulig radiostøy.
11. Klemmer må tiltrekkes med momentnøkkel etter anvisning.

**Jording:**

12. Mastetopper med direkte jordet travers bør ha linevern.
13. Ved tretravers med vern må isolatorpigger eller evt. traverselektroder kobles sammen i et felles punkt.

## Installasjon Innendørs

Den normale måten å legge kabel på innendørs er enten å legge kabelen mot bygningsdel eller på stige.

### Mot bygningsdel

Ved legging mot bygningsdel bør man velge klammer med så bred overflate som mulig, slik at kabelen ikke utsettes for unødig høye punkttrykk. Dette gjelder spesielt PVC-isolert kabel og kabel med PVC-kappe. Ved klamring av grov kabel skal klammeret være ca 5-10 mm for stort, slik at kabelen ikke skades om den blir varm og eksanderer. Mellomrommet kan fylles ut med PVC-tape.

Ved klamring av 1-lederkabel må det tas hensyn til lengdeutvidelsen som er ca. 0,1 % ved en temperaturstigning på 50°C. Avstanden mellom klamrene skal være så lange at kabelen kan bukte seg ved en kortslutning. Klammer av umagnetisk materiale kan benytte for å unngå jerntap ved klamring av en 1-lederkabel.

Kabelen må ikke trykkes mot skarpe kanter. Skal kabelen gå rundt et hjørne, bør det finnes et mykt mellomlegg mellom kabel og underlag. Unngå å feste kabelen med ståltråd. Ved oppvarming mykner kabelen og tråden kan da lett skjære gjennom kappen. Ved horisontal forlegging er det for armert

kabel hensiktsmessig at avstanden mellom klamrene er 35 ganger større enn ytterdiameteren på kabelen. For uarmert kabel bør avstanden være 20 ganger ytterdiameteren. Avstanden skal dog ikke være større enn en meter.

Ved vertikal forlegging kan avstanden variere avhengig av kabel- og klammertype, men avstanden mellom klamrene bør ikke være større enn 1,5-2 meter.

### På stige

Ved horisontal forlegging av flerlederkabel på stige behøver ikke kabelen i å hoppe av. Ved kortslutning bør stigen ha høy kant. 1-lederkabel må derimot bунtes for at den skal ligge stille ved en kortslutning. Buntingen eller klamrene som brukes må være dimensjonerte for å holde for de store mekaniske krefter som kan oppstå ved store kortslutningsstrømmer. Klamring for hver 30 cm kan være påkrevet ved høye kortslutningsstrømmer. Man skal helst bruke flatebånd av spunnet eller vevd kunstfiber til buntingen. Runde liner er lette å knytte, men kan ved store påkjenninger skade kabelen. Er påkjenningene lave, kan man bruke glassfiberarmert tape. Ved forlegging av lange strekninger på stige må man tenke på lengdeutvidelsen.

## Brannbeskyttelse

Ved store ansamlinger av kabler må det gjøres tiltak som forhindrer at en brann kan spre seg langs kabelgaten. Tiltakene må dog ikke forhindre nødvendig avkjøling av kablene. Det eksisterer en rekke tiltak som

vil være med på å nedsette brannrisikoen i slike anlegg.

I hovedtrekk kan metodene for brannbeskyttelse av kabelforlegging deles i følgende hovedgrupper:

- Bruk av kabler med gode brannegenskaper
- Bruk av fornuftige konstruktive løsninger, knyttet til trasevalg, seksjonering, skjerming etc.
- Bruk av direkte kabelbeskyttelse, som f.eks. brannbeskyttende maling eller belegg
- Bruk av aktiv beskyttelse i form av deteksjons- og slukkeutstyr

### **Brannårsaker**

Kablene utgjør sjeldent i seg selv noen brannfare. Det er oftest i kablenes omgivelser brannfarene finnes. Noen vanlige brannårsaker er:

- varmegang i motorer og kontaktorer
- sveiseulykker og sveiseglør
- røyking og uforsiktig omgang med åpen ild
- lekkasje av gasser og væsker som eksploderer
- tilsmussing og belegg av brennbart materiale
- mekanisk påvirkning på kabelanlegget
- kjemiske angrep på kabelanlegget.

### **Begrensning av brannfarene**

Eksisterende kabelanlegg kan man minske brannfarene og forbedre brannvernet ved å gjennomføre følgende tiltak:

- oversikt og forbedring av kabelanleggets brannseksjonering
- prioritering av kabelanlegget fra et brannvern-synspunkt
- kontroll av renhold og renholdsrutiner
- forbedring av brannbeskyttelsen i kanaler, kulverter og sjakter
- kontroll av brannalarm og brannslukkere
- trimme personalet med brannøvelser.

I nye anlegg bør man ta hensyn til brannvernet allerede ved prosjekteringen av bygget. Det beste brannvernet får man ved forlegging i grunn. Unngå hvis mulig vertikale kabelsjakter. Hvis kablene må

forlegges i kulverter bør man tenke på følgende:

- separering av kabelanleggene
- tettinger og seksjoneringer
- horisontale avskjerminger mellom anleggene
- automatisk brannalarm og faste slukningsanordninger
- branncelleinndeling og brannventilasjon

### **Utforming av kabelanleggene**

En viktig del i arbeidet med å skape et bra brannvern er separering av kabelanleggene. Noen av de krav man skal stille ved separeringen av kabelanleggene er at det i hvert anlegg bare skal inngå kabler med samme funksjon. Videre skal anleggene være så adskilte at en begrenset brann i et anlegg ikke påvirker driften i tilleggende anlegg. Det oppnås dersom anleggene alltid legges i adskilte kanaler og sjakter. Helst skal disse kanaler og sjakter utgjøre hver sin branncelle med egen ventilasjon. Åpninger der et kabelanlegg går fra en branncelle til en annen må tøttes.

Hvis flere anlegg legges i samme branncelle, bør man ha horisontale avskjerminger med brannsikre plater mellom anleggene. Anleggene kan dessuten behandles med brannbeskyttende maling.

Signalkabler for følsomme prosesser må noen ganger også beskyttes mot elektriske forstyrrelser. Man kan da kombinere beskyttelsen mot brann og elektriske forstyrrelser ved å legge kabelanlegget i et metallrør eller en platerenne med lokk.

### **Noen forleggingsråd**

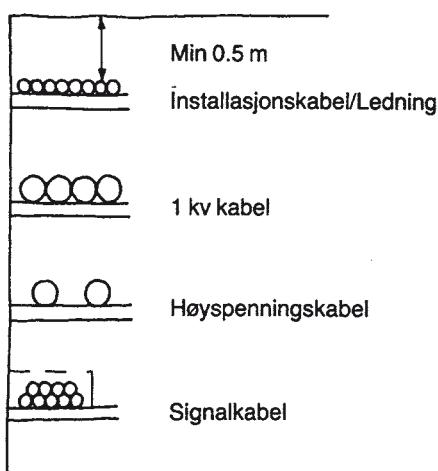
Unngå forlegging i tak, ettersom faren for brannsprøding er størst nærmest taket. Avstanden til taket bør være minst en halv meter.

Legg ikke små kabler, installasjonskabler og signalkabler med mellomrom, ettersom de da lettere forårsaker brannspredning. Legg dem i stedet så tett sammen som mulig. Belastningen er oftest så liten at man ikke behøver å ta hensyn til avkjølingen. Bare husk å sjekke dette i forhold til strømføringsevne osv.

Velg kabelklammer som ved en normal brann beholder sitt grep i minst 30 minutter. Fest ikke plastkabel med ståltråd. Ved oppheting mykner og utvider plasten seg, slik at tråden skjærer inn i isolasjonen og forårsaker kortslutning.

Ved horisontal forlegging av flere anlegg med ulike funksjoner i samme kulvert bør man plassere anleggene i følge bilde 38. Bruk skjermer i brannherdet materiale. En plate av ubrennbart materiale under kabelanlegget forhindrer brannspredning. Samle ikke for mange kabler i hvert anlegg.

- Bruk bare selvslukkende kabler. Kabelforlegningen gjennomløper vanligvis større del av bygningen, og kan således være hovedårsak til at en brann sprer seg.
- Bruk halogenfrie og røyksvake kabler for installasjoner hvor korrosive avgasser kan forårsake skader. Sekundærskadene ved en brann kan langt overskride de primære brannskadene.



Bilde 38. Plassering av kabelanlegg med ulike funksjoner

- Bruk funksjonssikker kabel for strømforsyning til f.eks. heiser, nødlys, nødstrøm og alarm- og kontrollsystemer, slik at funksjonen er intakt en viss tid under brann.

## Tetting og seksjonering

Det er viktig at man ved utformingen av kabelanlegget forhindrer at det ved en brann i eller ved elanlegget kan oppstå skorsteinseffekt. Skorsteinseffekt oppstår ikke bare i vertikale sjakter. Til og med i horisontale og nedadgående kabelanlegg kan branner spre seg på grunn av den trekken som oppstår.

Tenk på følgende ved planlegging og bygging av kabelanlegget:

- Planlegg anleggets gater slik at store, åpne, vertikale sjakter unngås.
- Ved lange, horisontale anlegg i kulverter kan det være nødvendig med brannsperrer hver 25. meter.
- Alle gjennomføringer i bjelkelag og vegger må tettes. Glem heller ikke innføringer gjennom gulvet i apparat-anlegg.
- I byggetiden er ofte brannfaren størst. Installer derfor tettinger, foreløpige eller permanente, så tidlig som mulig.
- I høyspentanlegg bør tettinger og seksjoneringer utføres slik at de tåler trykket fra eventuelle kortslutninger i kablene.
- Forlegger man kabelanlegg under mellomgulv i apparatrom, bør dels gulvene være brannsikre, dels alle kabelgjennomføringer tettet og brannsikre.

## Brannbeskyttende maling

For å få et tilstrekkelig vern når man bruker brannbeskyttende maling ved tetting og seksjonering bør man stille følgende krav til malingen:

- Malingen skal forhindre brannspredning
- Malingen skal være miljøvennlig
- Kabel og maling må være tilpasset hverandre. Malingen skal være så elastisk at den tåler kabelens belastningsvariasjoner.
- Malingen må ikke begrense kabelens belastningsevne.
- Aldringsegenskapene og miljøegenskapene må ikke være dårligere enn kabelmaterialet.

Baksiden av et vanskelig tilgjengelig kabelanlegg behøver normalt ikke males. Hvis anlegget ligger på et ikke brennbart underlag holder det ofte om man maler forsiden. Lange anlegg behøver ikke behandles i hele sin lengde. For å forhindre brannspredning i vertikale sjakter trengs maling på en ca. seks meter lang strekning.

### Tetting av gjennomføringer

Ved nyinstallasjoner brukes som regel prefabrikerte modulbaserte branntettinger. I gamle anlegg kan nedenfor angitte metoder brukes:

Når man skal tette åpninger maks. ca: 100x400 mm, fyller man først åpningen med glassvatt eller stenull. Med tanke på avkjølingen bør tykkelsen være høyst 150 mm. Deretter legges brannbeskyttende maling eller kitt på begge sider av gjennomføringen og på ca. en meter av kabelanlegget.

En gjennomføring i gulvet i et apparatrom kan man brannsikre ved å la kablene gå

gjennom en brannsikker skive der alle sprekker og åpninger er fylt med flammesikkert kitt eller lignende. Deretter males en meter av kabelanlegget på hver side av tettingen med flammesikker maling.

Disse ulike typer av tettinger gir et brannvern som tilsvarer minst klasse B60, hvilket innebærer at de også er røyk- og gasstette.

### Avskjerminger mellom anlegg

En enkel og relativt billig metode å hindre brannspredning i horisontale kulverter på er å plassere langsgående skjermer mellom hvert kabelanlegg eller hver tredje eller fjerde kabelstige. Avskjermingene skal være minst like brede som kabel-stigene og bestå av plater i ubrennbart materiale. Jernplater mellom stigene gir et bra flammevern men har den bakdelen at de leder varmen mellom anleggene.

### Midlertidige anlegg

Det er i alminnelighet vanskelig og dyrt å brannbeskytte midlertidige anlegg. Hvis man i første rekke innretter seg på å beskytte de viktigste anleggene, kan kostnadene holdes nede. En av de enkleste tiltakene er ofte å forbedre branncelleinndelingen.

Det er viktig at man innfører rutiner for rengjøring av kabelanleggene. Spyl rent med vann eller bruk støvsuger. Etter rengjøringen kommer tetting, seksjonering og maling av kabelanlegget som de vanligste tiltakene. Størst brannfare forekommer ofte under byggeperioden.

## Kabeltilbehør

### Lederskjøting

Det er viktig at klemmer og hylser har passende dimensjon i forhold til lederen.

### Kobberleder

Kontaktpressing anbefales, men det er også mange klemmekonstruksjoner som gir tilfredsstillende tilkobling.

### Aluminiumleder

Kontaktpressing anbefales. Rundt al-trådene dannes alltid et sjikt med aluminiumsoksyd, dette er et hardt og isolerende sjikt som må presses i stykker. Det er stor forskjell mellom hard og glødd aluminium. Glødet leder stiller de største krav til kontaktpressing, men testforsøk viser at dyp-press med en egnet dor gir et godt resultat. Hard

leder og legert al-leder for hengeledning bør kontaktpresses med sekskantpressing for å oppnå tilstrekkelig bruddstyrke.

### Kabelavslutninger

Kabelavslutninger for høyspentkabler har til oppgave å gi en god elektrisk feltfordeling i kabelens endepunkter slik at det ikke oppstår glimming med etterfølgende gjenomslag. Avslutninger som skal plasseres utendørs må dessuten tåle nedsmussing og fuktighet uten at yttersjiktet påvirkes av krypstrømmer. Innendørs kan man vanligvis bruke enklere avslutninger.

Med hensyn til ulike krav finnes det ulike typer kabelavslutninger, tapede, krympede og prefabrikerte avslutninger.

### Tapede og krympede avslutninger

Tapede avslutninger er oppbygd av et halvledende sjikt og et isolerende sjikt av selvvulkende tape. Det halvledende sjikten skal jevne ut det elektriskefeltet. Over det halvledende sjikten vikles og vikles et lag selvvulkende EPDM-tape. Over tapen vikles silikongummitape som krypstrømsbeskyttelse. Krympede avslutninger leveres komplett og krympes med varme.

### Prefabrikerte avslutninger

Den prefabrikerte avslutningen er oftest en feltutjevnende kon som geometrisk fordeler feltet. Feltutjevningskonen er laget av EPDM-gummi eller silikongummi. Den er utformet slik at de høye feltpåkjenningskonsentreringene konsentreres inne i konen. EPDM-

gummien må være komponert for høy krypstrømsholdfasthet, men må allikevel være så elastisk at avslutningen klarer de dimensjonsvariasjoner som kan forekomme. Når avslutningen brukes utendørs må den forsynes med mansjetter for å øke krypstrekningen.

### Skjøter

En kabelskjøt må elektrisk og mekanisk være likeverdig med kabelen for at et driftsikkert kabelsystem skal opprettholdes. For å oppnå dette kreves:

- en god lederskjøt
- et indre ledende lag som har en glatt overflate og god kontakt med isolasjonen.
- at isolasjonen er fri for luftbobler og forurensinger
- at det ytre ledende laget er godt festet til isolasjonen.

### Tapede og krympede skjøter

I en tapet skjøt behøver ikke kabelisolasjonen kones ned. På hver side av skjøtehylsen belegges isolasjonen med et lag feltfordelende materiale. Over skjøtehylsen vikles ledende tape, slik at god kontakt opprettholdes med det ledende materialet og at mellomrommet mellom skjøtehylsen og kabelisolasjonen fylles ut. Isolasjonen bygges opp med selvvulkende isolasjonstape. Krypeskjøter leveres komplett og krympes med varme.

## Test etter installasjon

Alle kabler er leveringstestet ifølge gjeldende normer når de forlater fabrikken. For at man skal få en kontroll av spenningsholdfastheten etter transport og forlegging foretar man en ny test før kabelen settes i drift. I NEK-HD620 angis hvilken spennin man skal bruke når kabler testes med likespenning i 15 minutter eller med vekselspenning. I tabell 35 finnes en oppstilling over testspenninger for PEX-kabler.

Også eldre anlegg kan, ved en teknisk bedømming og vurdering, behøve testing på liknende måte som ved idriftsetting av et nytt. Man kan da ikke følge de normer som gjelder ved testing av en ny kabel. I stedet velges en prøvespenning som er rimelig med hensyn til anleggets alder og allmenne tilstand. Erfaring tilslirer at spenningsprøving på høyspennings PEX-kabel som har vært i drift, bør skje med vekselspenning.

Bruk av likespenning har vist seg å kunne gi havari ved senere påtrykk av drifts-spenning. Denne svakheten mot like-spenningsprøving har sammenheng med mulige vanntrær i PEX isolasjonen.

Alternativet er da vekselspenning, hvor IEC 60502 anbefaler enten linjespenning påtrykt i 5 min. mellom fase og jord, eller driftsspenning i 24 timer. Utstyr for lavfrekvent spenningsprøving er nå også tilgjengelig, i tilfeller der eksterne spenningskilder ønskes benyttet. Mobilt utstyr for nettfrekvent prøving av kabel vil ha liten ytelse.

Testing foregår slik at man først skiller ut og jorder de delene av anlegget som ikke skal testes. Det kan f.eks. være transforma-

torer, brytere og ventilavledere. Deretter gjennomføres testen med den spenningen som angis i normene. Det er viktig å ikke overskride de angitte verdier, ettersom det er spørsmål om maksimalverdien. Bruk et testutstyr der også lekkasjestrømmen kan måles. Denne skal ligge på et konstant lavt nivå, helst under 5 mA. Etter testen skal man jorde anlegget slik at all statisk elektrisitet forsvinner fra dette og testutstyret. La jordingen være på til kabelen tas i bruk.

## Feilsøking

Det finnes ingen universalmetode for feilsøking, men feilsøkingen må alltid tilpasses den aktuelle kabelen og feiltypen. Man må derfor bestemme kabeltype og hvilken type feil det er på kabelen før man kan velge feilsøkings-metode.

Det første man skal gjøre ved feilsøkingen er å se etter at kabelen blir fraskilt i begge ender. Deretter skal kabelanlegget og avslutningene kontrolleres for å se om det finnes noen synlige tegn som viser hvor feilstedet er. Undersøk om det finnes noen synlige gjennomslag eller om kabelen har vært utsatt for mekanisk påvirkning. Det finnes kanskje noen mistenkelige kabelskjøter.

Hvis man fortsatt ikke har funnet feilen kan feiltypen bestemmes ved at følgende målinger gjøres:

- Mål isolasjonsmotstanden mellom lederne og mellom lederne og jord med en megger.
- Bruddtest ved å forbinde samtlige ledere med skjermen i den ene kabelenden.

Kontroller med en summer eller motstandsbro om det er brudd på noen av lederne.

De ulike feiltypene kan deles inn i følgende kategorier:

- Dårlig isolasjon mellom lederne, dvs. kortslutning. Det kan også være dårlig isolasjon mellom en eller flere ledere og ytre kappe, dvs. jordfeil. Minst én leder skal være feilfri.
- Kortslutning eller jordfeil på samtlige faser men ikke brudd på noen av lederne.
- Brudd på en eller flere ledere men god isolasjon mellom lederne.
- Brudd på en eller flere ledere og jordfeil.
- Høyohmige ( $> 300-500$  ohm) og lavohmige feil

Bestemmelsen av feiltype og isolasjonstilstand kalles gjerne *formåling*. Den danner grunnlag for *forlokalisering* og *punktbestemmelse* og for valg av metode. En rekke teknikker er tilgjenegelige i markedet.

## Feilsøkingsmetoder

Metodene kan deles inn i *terminalmetoder* og i *søkemetoder*

De klassiske terminalmetodene er ulike former for bromålinger, som normalt krever lavohmig feil. Nyere metoder baserer seg på impulsrefleksjon fra feilstedet («pulsekko»), og er mer anvendelige enn bromålingene. Med høyspente pulser kan refleksjonssteknikker også håndtere høyohmige feil.

Søkemetodene baserer seg på deteksjon av innsendte signaler i kabelen, ved at følere flyttes langs kabeltraséen, slik at trasé og evt. feilsted «søkes» frem (punktbestemmelse). De mest kjente teknikkene er støtspenningsmetoden, skrittspenningsmetoden og drallmetoden, hvis anvendelse og prinsipp blir grovt skissert til slutt i dette kapitelet.

Moderne apparater for feilsøking kan kombinere flere teknikker.

### Motstandsmålebro

Hvis kabelen har kortslutning eller jordslutning men minst en feifri leder, kan feilen lokaliseres ved måling med kabelfeilsøker eller Murrays sløyfemetode som metoden også kalles.

En feifri leder kobles til uttaket «Uskadede ledere» og en leder med feil til uttaket «Skadede ledere» på kabelfeilsøkeren. For å minske feilvisningen tilkoples et galvanometer med egne måleledninger. Tilkoplingen vises i bilde 39.

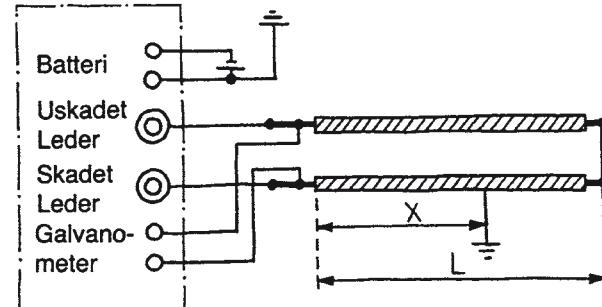
Avstanden til feilen beregnes ifølge formelen:

$$X = \frac{n \cdot L}{100}$$

$L$  = kabelens lengde i meter

$X$  = avstanden til feilstedet i meter

$n$  = summen av avlest verdi på målehjulene i %

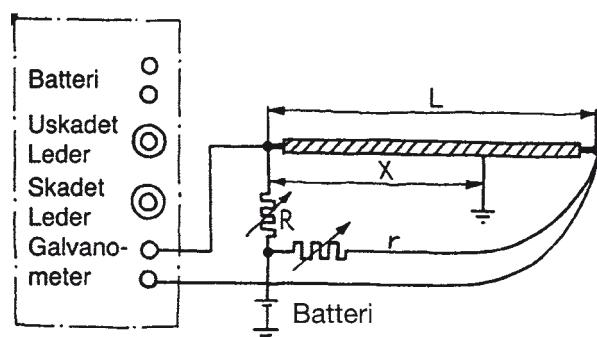


Bilde 39. Tilkobling av kabelfeilsøker

### Målebro med to hjelpeledninger

Hvis kabelen har kortslutning eller jordslutning på alle fasene kan man lokalisere feilen ved hjelp av en kabelfeilsøker og to hjelpeledninger. Hjelpeledningene bør være like lange og ha tverrsnitt på 1,5 mm<sup>2</sup> eller mer. Man kan bruke to ledere i f.eks. en signalkabel eller installasjonskabel. Man trenger også to variable motstander på ca. 1000 ohm hver. I kabelfeilsøkeren bruker man bare galvanometeret.

Først må hjelpeledernes resistans måles. Kople dem sammen i den ene enden og mål den totale resistansen i de sammenkoplede hjelpelederne med et resistansmåler. Deretter halveres den målte verdien. Kople så inn kabelfeilsøkeren, ifølge bilde 40. Gjør galvanometeret strømløst med motstand  $R$ . Som  $R$  er greit å bruke en dekademotstand med fire dekader på tilsammen 1000 ohm.



Bilde 40. Tilkopling av kabelfeilsøker med hjelpeledninger.

Avstanden til feilen kan beregnes med formelen:

$$X = L \cdot \frac{R}{R+r}$$

$L$  = kabelens lengde i meter

$X$  = avstanden til feilstedet i meter

$R$  = innstilt verdi på motstand  $R$

$r$  = resistansen hos den ene hjelpelederen pluss eventuell seriemotstand.

Hvis  $R$  er liten, ligger feilen nær den enden som  $R$  er tilsluttet. For å få en sikker verdi på  $X$  bør man da øke  $R$  med en seriemotstand. Blir  $R$  derimot stor, betyr dette at feilen ligger nær den andre enden av kabelen. For å få en sikker verdi kan det da bli nødvendig å gjøre målingen om igjen fra den andre enden av kabelen.

### Kapasitansbro

Ved brudd på en eller flere ledere kan man ikke bruke kabelfeilsøkere. Man kan da istedet bruke en kapasitansbro og vekselstrøm. Metoden bygger på at kabelen betraktes som en kondensator.

### Flerledekabel med feilfri leder

- Kople inn kapasitansbroen ifølge bilde 41.
- Mål kapasitansen hos den feilfrie lederen. De øvrige lederne skal være forbundet med kappe og skjerm.
- Mål kapasitansen hos en feilaktig leder. De øvrige lederne skal være forbundet med kappe og skjerm.

Beregn feilstedet med formelen

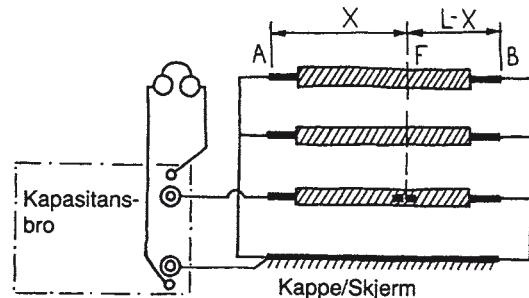
$$X = L \cdot \frac{C_2}{C_1}$$

$X$  = avstanden til feilstedet i meter

$L$  = kabelens lengde i meter

$C_1$  = kapasitansen hos den feilfrie lederen

$C_2$  = kapasitansen hos lederen med feil



Bilde 41. Tilkobling av kapasitansbro

### Flerledekabel med brudd på samtlige ledere

- Kople inn kapasitansbroen ifølge bilde 41.
- Mål kapasitansen på en leder fra A. Øvrige ledere i A og samtlige i B skal være forbundet med kappe eller skjerm.
- Mål kapasitansen på samme leder fra B. Øvrige ledere i B og samtlige i A skal være forbundet med kappe eller skjerm.

Beregn feilstedet med formelen

$$X = L \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

$X$  = avstanden fra A til feilstedet i meter

$L$  = kabelens lengde i meter

$C_1$  = kapasitansen på lederen målt fra A

$C_2$  = kapasitansen på lederen målt fra B

Hvis man kjenner kabelens kapasitans pr. km, kan man også beregne hvor feilstedet ligger ved hjelp av den ene oppmålte kapasitansen.

### Impulsrefleksjon

Med impulsrefleksjonsmetoden eller puls-ekkometoden som den også kalles, kan man lokalisere både kortslutninger, jordslutninger og lederbrudd. Metoden bygger på at pulser sendes inn langs kabelen. Pulsen reflekteres i feilstedet tilbake til senderen der tiden mellom sendt og mottatt puls registreres på en bildeskjerm. Når man vet hvor lang tid det tar for pulsen å gå til feilstedet og tilbake, kan man beregne avstanden. Man bør gjøre målinger fra begge endene på kabelen.

Metoden forutsetter at bølgehastigheten i kabelen er kjent. Den kan kalibreres ved å måle refleksjonstiden på en feilfri fase med kjent lengde. For PEX- og PE- kabel ligger bølgehastigheten på ca. 170 m/ $\mu$ sek. Massekabel og PVC ligger på ca. 160 m/ $\mu$ sek.

Ved måling av kortslutninger og jordslutninger skal resistansen i feilstedet helst være lavere enn 500 ohm. Er resistansen høyere, må feilstedet brennes ut, slik at det får lavere resistans. Visse teknikker takler høyohmige feil uten utbrenning.

### Støtspenningsmetoden

Ved feilsøking med akustiske impulsmedoder mates en kraftig elektrisk puls inn i kabelen. Impulsen forårsaker et overslag i feilstedet. Ved overslaget lages en lydimpuls som brer seg ut i bakken. Feilstedet lokaliseres ved at man lytter etter lydimpulsen med en jordmikrofon. Aktuell ved høy ohmfeil.

### Skrittspenningsmetoden

Hvis det har oppstått en feil slik at en feilstrøm går ut i jord, kan feilen lokaliseres ved skrittspenningsmetoden. En opphakket likestrøm drives gjennom skjermen eller en leder slik at den går til jord i feilstedet. Med to jordelektroder og et galvanometer kan man registrere potensialforskjeller i jorden nær feilstedet. Når måling gjøres rett over feilstedet, viser galvanometeret null. Metoden anvendes for lokalisering av kappefeil og er også svært aktuell ved punktbestemmelse av feil på skjermløs kabel. Den er ikke anvendbar ved feil på faser i en kabel med skjerm.

### Drallmetoden

Drallmetoden utnytter det at fasene i en kabel er snodd og forutsetter kortslutning mellom to eller flere faser, enten ved lask i enden eller ved lavohmig kortslutningsfeil mellom faser. To faser tilkobles og det påtrykkes et strømsignal i den sløyfen som disse fasene danner sammen med kortslutningen. Ved søking langs kabelen med en radiomottaker tilpasset signalet, høres en karakteristisk endring i lydbildet for hvert kryss av ledene i kabelen, etterhvert som de passeres. Når kortslutningen nås, opphører lyden, og evt. feilsted er bestemt med stor nøyaktighet.

# Innholdsfortegnelse for tabeller

## Måleenheter, betegnelser og anvisninger

Tabell 1	Diverse måleenheter .....	64
	Små lengde-enheter .....	64
	Enheter i USA for lengde, flate, volum, vekt og tverrsnitt .....	64
	SI-målesystem .....	65
	Det greske alfabet .....	65
	Desimalfaktorer .....	66
	Temperaturskalaer .....	66
	Kraft og trykk .....	66
	Energi og effekt .....	66
Tabell 2	Norsk kode for typebetegnelse .....	67
	Tabell for firebokstavkode .....	68
Tabell 3	CENELEC kode for typebetegnelse .....	69
Tabell 4	Eksempler på aktuelle CENELEC normer .....	72
Tabell 5	Lederidentifisering .....	72
Tabell 6	Kabeloppbygning .....	73
Tabell 7	Kabellengde på tretrommel .....	74
Tabell 8	Kabellengde på maskinsneller .....	75
Tabell 9	Kabellengde på maskintrommel .....	76

## Materialegenskaper og installasjonanvisninger

Tabell 10	Tekniske data for kobber og aluminium .....	77
Tabell 11	Kabelsko .....	77
Tabell 12	Materialegenskaper for isolasjon og kappe .....	78
Tabell 13	Eksempler på kablers brannegenskaper .....	79
Tabell 14	Laveste temperatur ved installasjon .....	79
Tabell 15	Høyeste trekraft ved installasjon .....	79
Tabell 16	Minste bøyeradius ved installasjon .....	80

## Elektriske data

Tabell 17	Lederresistans .....	80
Tabell 18	Elektriske kabelparametre, PFSP Cu-leder/Cu-skjerm. PVC-isolert .....	81
Tabell 19	Elektriske kabelparametre, PFSP Al-leder/Cu-skjerm. PVC-isolert .....	82
Tabell 20	Elektriske kabelparametre, TFSP Al-leder/Cu-skjerm. PEX-isolert .....	83
Tabell 21	Elektriske kabelparametre, TXFP Al, PEX-isolert, uten skjerm .....	83
Tabell 22	Elektriske kabelparametre, EMC-Line og Firetuf 0,6/1kV, Cu-leder/Cu-skjerm, PEX isolert .....	84
Tabell 23	Induktans, kapasitans og jordslutningsstrøm for 12 og 24 kV PEX-isolert 1-lederkabel .....	85
Tabell 24	Induktans, kapasitans og jordslutningsstrøm for 12 og 24 kV PEX-isolert 3-lederkabel .....	85
Tabell 25	Spenningsfall i 1 kV PVC-kabel .....	86
Tabell 26	Tillatte temperaturer og strømtetthet ved kortslutning .....	86
Tabell 27	Tillatt korttidsstrøm for 1 kV PVC-isolert kabel .....	87
Tabell 28	Tillatt korttidsstrøm for 1-24 kV PEX-isol. kabel .....	88
Tabell 29	Belastningstabell - tidskurve for PVC isolert kobberkabel .....	89
Tabell 30	Belastningstabell - tidskurve for PVC isolert aluminiumskabel .....	90
Tabell 31	Belastningstabell - tidskurve for PEX isolert kobberkabel .....	91
Tabell 32	Belastningstabell - tidskurve for PEX isolert aluminiumskabel .....	92
Tabell 33	Maks. sikringsstørrelse ved gitt lengde på matekabel i TN-C nett .....	93
Tabell 34	Dielektriske tap i W/km trefase for PEX-isolert kabel .....	94
Tabell 35	Prøvespenning for 12-24 kV kabler etter installasjon .....	94

## Belastningstabeller

Tabell 36	Belastningstabell for bevegelig gummikabel (HD 516) .....	95
Tabell 37	Belastning etter NEN 62.75 Belastningsforutsetninger .....	95
Tabell 38	Treleder kabel 1 kV i jord eller luft .....	96
Tabell 39	Enleder kabel 1 kV i jord .....	97
Tabell 40	Enleder kabel 1 kV i luft .....	98
Tabell 41	Hengeledning 1 kV .....	98
Tabell 42	Signalkabel i luft .....	99
Tabell 43	Treleder kabel 12-24 kV i jord eller luft .....	99
Tabell 44	Enleder kabel 12-24 kV i jord .....	100
Tabell 45	Enleder kabel 12-24 kV i luft .....	101
Tabell 46	Korreksjonsfaktorer for forlegging i jord .....	102
Tabell 47	Korreksjonsfaktorer for forlegging i rør eller kanal .....	103
Tabell 48	Korreksjonsfaktor for forlegging i luft .....	104

## Belastning etter NEK 400

Tabell 49	Belastningsforutsetninger .....	106
Tabell 50	Forlegningsmåte A, B, C, E og F .....	107
Tabell 51	Forlegningsmåte D .....	108
Tabell 52	Korreksjonsfaktorer .....	109

## DIVERSE MÅLEENHETER

Små lengdeenheter.

### Enheter i USA for lengde, flate, volum og vekt

Mikron	$\mu$	$1\mu$	$= 10^{-6} \text{ m}$	$= 10^{-3} \text{ mm}$
Ångstrøm	$\text{\AA}$	$1\text{\AA}$	$= 10^{-10} \text{ m}$	$= 10^{-7} \text{ mm}$

#### Lengde

1 nautisk mil (int.)	$= 1852 \text{ m}$
1 mile	$= 1609,3 \text{ m}$
1 yard	$= 0,9144 \text{ m}$
1 foot	$= \frac{1}{3} \text{ yard} = 3,048 \text{ dm}$
1 inch	$= \frac{1}{12} \text{ foot} = 25,4 \text{ mm}$
1 mm	$= 0,03937 \text{ inches}$
1 Mil (M)	$= \frac{1}{1000} \text{ inches} = 0,0254 \text{ mm}$

#### Flate

1 square yard	$= 0,8361 \text{ m}^2$
1 square foot	$= 9,29 \text{ dm}^2$
1 square inch	$= 645,2 \text{ mm}^2$
1 mm <sup>2</sup>	$= 1,55 \cdot 10^{-3} \text{ square inches}$
1 Circular Mil /CM)	$= \text{sirkelareal med diam. } 1 \text{ M} = 0,5067 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2$
1 MCM = 1000 CM	$= 0,5067 \text{ mm}^2$
1 mm <sup>2</sup> = 1973,5 CM	$= 1,9735 \text{ MCM}$

#### Volum

1 cubic yard	$= 0,7646 \text{ m}^3$
1 cubic foot	$= 28,32 \text{ dm}^3$
1 cubic inch	$= 16,39 \text{ cm}^3$
1 gallon	$= 3,785 \text{ liter}$
1 pint	$= 0,4732 \text{ liter}$
1 liter	$= 0,2642 \text{ gallons} = 2,113 \text{ pints}$

#### Vekt

1 pound	$= 0,4536 \text{ kg}$
1 ounce	$= 28,35 \text{ g}$
1 kg	$= 2,205 \text{ pounds} = 35,27 \text{ ounces}$

### Vanlige ledertverrsnitt i USA omregnet til mm<sup>2</sup>

SIZE AWG/MCM	Circular mils	Tverrsnitt mm <sup>2</sup>	Diameter massiv tråd	
			inches	mm
24	404.0	.204	.0201	.51
22	642.4	.321	.0253	.64
21	810.1	.412	.0285	.72
20	1.020	.520	.0320	.81
19	1.290	.653	.0359	.91
18	1.620	.823	.0403	1.02
16	2.580	1.31	.0508	1.29
14	4.110	2.08	.0641	1.63
12	6.530	3.31	.0808	2.05
10	10.380	5.3	.1019	2.59
9	13.090	6.6	.1144	2.91
8	16.510	8.4	.1285	3.26
6	26.240	13.3	.1620	4.12
4	41.740	21.15	.2043	5.19
3	52.620	26.7	.2294	5.83
2	66.630	33.6	.2576	6.54
1	83.690	42.4	.2893	7.35
1/0	105.600	53.5	.3249	8.25
2/0	133.100	67.4	.3648	9.27
3/0	167.800	85.0	.4096	10.40
4/0	211.600	107.2	.4600	11.68
250	250.000	126.7	.5000	12.70
300	300.000	152.0	.5476	13.91
350	350.000	177.3	.5917	15.03
400	400.000	202.7	.6323	16.06
500	500.000	253.4	.7071	17.96
600	600.000	304.0	.7744	19.67
750	750.000	380.0	.8661	22.00
1.000	1.000.000	506.7	1.000	25.40

**SI-målesystem for vanlige elektriske og magnetiske størrelser.**

Størrelse	SI-målesystem	
	Symbol	Navn
Lengde	m	meter
Masse	kg	kilogram
Tid	s	sekund
Elektrisk strøm	A	ampere
Kraft	N	newton
Energi	J	joule
Effekt	W	watt
Elektrisk spenning	V	volt
Resistans	$\Omega$	ohm
Elektrisk feltstyrke V/m	volt	$\frac{\text{volt}}{\text{meter}}$
Elektrisk konduktans	S	siemens
Elektrisk ladning	C	coulomb
Frekvens	Hz	hertz
Kapasitans	F	farad
Magnetisk feltstyrke	A/m	$\frac{\text{ampere}}{\text{meter}}$
Magnetisk fluks	Wb	weber
Magnetisk induksjon	$T = \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$	tesla
Induktans	H	henry

**Det greske alfabet:**

Store bokstaver	Små bokstaver	Benevnelse
A	$\alpha$	alfa
B	$\beta$	beta
$\Gamma$	$\gamma$	gamma
$\Delta$	$\delta$	delta
E	$\epsilon$	epsilon
Z	$\zeta$	zeta
H	$\eta$	eta
$\Theta$	$\theta, \nu$	theta
I	$\iota$	jota
K	$\kappa$	kappa
$\Lambda$	$\lambda$	lambda
M	$\mu$	my
N	$\nu$	ny
$\Xi$	$\xi$	ksi
O	$\circ$	omikron
$\Pi$	$\pi$	pi
P	$\rho$	rho
$\Sigma$	$\sigma$	sigma
T	$\tau$	tau
Y	$\upsilon$	upsilon
$\Phi$	$\varphi$	fi
X	$\chi$	khi
$\Psi$	$\psi$	psi
$\Omega$	$\omega$	omega

## Desimalfaktor,

For å oppnå enklere tale- og skrivemåter, forsyner man ofte kjente enheter med et prefiks som angir en potens av 10. De mest vanlige prefiks er følgende:

Prefiks	Tera	Giga	Mega	Kilo	Milli	Mikro	Nano	Piko
Symbol	T	G	M	K	m	$\mu$	n	p
Desimalfaktor	$10^{12}$	$10^9$	$10^6$	$10^3$	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$10^{-12}$

## Temperaturskalaer.

Ved temperaturmålinger benyttes bl.a. følgende skalaer:

1. Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ )
2. Kelvin (K)
- 0 K =  $-273,15^{\circ}\text{C}$
- $0^{\circ}\text{C} = 273,15 \text{ K}$
3. Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ )

Relasjonen mellom Celsius- og Fahrenheit-skalaene er gitt ved ligningene:

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} ^{\circ}\text{C} + 32$$

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

Eksempler på karakteristiske temperaturer:

$$\begin{aligned} -40\ ^{\circ}\text{C} &= -40\ ^{\circ}\text{F} \\ 0\ ^{\circ}\text{C} &= 32\ ^{\circ}\text{F} \\ 20\ ^{\circ}\text{C} &= 68\ ^{\circ}\text{F} \\ 100\ ^{\circ}\text{C} &= 212\ ^{\circ}\text{F} \end{aligned}$$

## Kraft og trykk.

### Kraft

1 Newton (N)	= $10^5$ dyn = 0,10197 kp
1 kp	= 9,80665 N

### Trykk

1 Pa	= 1 N/m <sup>2</sup> = $10,197 \cdot 10^{-6}$ at = 0,01 mb
1 at	= $7,5006 \cdot 10^{-3}$ Torr = 9,8692 · atm
1 bar (b)	= 1 kp/cm <sup>2</sup> = 10 m vannsøyle
1 Torr	= $98,0665 \cdot 10^3$ Pa = 980,665 mb
1 atm	= 735,56 Torr = 0,96784 atm
1 atm	= 1000 millibar (mb) = $10^5$ Ba
1 pound per square inch (1 b/sq.in.)	= 1,0197 at = 750,06 Torr = 0,98692 atm
1 N/cm <sup>2</sup>	= 1 mm kvikksølvøyle $1/760$ atm
1 kp/cm <sup>2</sup>	= 133,32 Pa = $1,35951 \cdot 10^{-3}$ at
	= 1,3332 mb
1 atm	= 760 mm kvikksølvøyle = 760 Torr
1 N/cm <sup>2</sup>	= $101,33 \cdot 10^3$ Pa = 1,0332 at = 1013,3 mb
1 kp/cm <sup>2</sup>	= 0,6895 N/cm <sup>2</sup> = 0,0703 kp/cm <sup>2</sup>
	= 1,450 lb/sq. in.
	= 14,22 lb/sq. in.

## Energi og effekt.

### Energi

1 Joule	= 1 Ws = 1 Nm = $10^7$ erg = $10^7$ dyncm
1 Nm	= 0,10197 kpm = $0,27778 \cdot 10^{-6}$ kWh
1 kpm	= $0,23885 \cdot 10^{-3}$ kcal = $0,94782 \cdot 10^{-3}$ Btu
1 kWh	= $9,80665$ Nm = $2,7241 \cdot 10^{-6}$ kWh
1 kcal	= $2,3423 \cdot 10^{-3}$ kcal = $9,2949 \cdot 10^{-3}$ Btu
1 Btu	= $3,6 \cdot 10^6$ Nm = $0,36710 \cdot 10^6$ kpm
	= 859,845 kcal = $3,4121 \cdot 10^3$ Btu
	= 4186,8 Nm = 426,935 kpm
	= $1,163 \cdot 10^3$ kWh = 3,9683 Btu
	= $1,0551 \cdot 10^3$ Nm = 107,59 kpm
	= $0,29307 \cdot 10^{-3}$ kWh = 0,251996 kcal

### Effekt

1 Hk	= 75 kpm/s = 735,5 W
------	----------------------

## Tabell 2

### Norsk kode for typebetegnelse

Typebetegnelsen benyttes for telefonkabel og kabel for sterkstrømsanlegg.

Betegnelsen består av inntil fire hovedledd. Det må påpekes at det er bokstavenes plass i rekkefølgen som bestemmer betydningen. Videre gjøres det oppmerksom på at en del eldre kabler ikke følger dette systemet, f.eks. PN, NMH og PR.

Fire bokstavkode angir kablenes mekaniske oppbygging, se neste side hvor koden er oppgitt.

**Bruksområde** angis med følgende symboler:

A = abonnent	K = koaksial 2,6/9,5
B = bærefrekvens	L = langlinje
C = telesentral (stasjonskabel)	M = koaksial 1,2/4,4
D = husinstallasjonskabel	N = skip
F = innføring	P = pupinspoleledning/kabel
G = fiberoptisk kabel	R = koaksial (ulk K og M)
H = hjelpepar	U = utendørs (ledning)
I = innendørs (ledning)	

**Elektriske/Optiske egenskaper** angis med følgende symboler:

D = diagonalrevolvert firer	L = 1300 nm optisk fiber
DF = diagonalrevolvert firer med kappe	P = par
DM = to par tvunent til firer	PF = par med kappe
F = femmer	R = parallel
K = koaksial	S = 850 nm optisk fiber
Volt = driftsspenning	T = treer

**Ledertype** angis ofte kun når det er avvik fra det normale. Ledertype angivelsen kan bestå av fra 0 til 3 bokstaver og i tillegg kommer dimensjonsangivelsen:

Ledermateriale	Lederens tilstand	Lederens utførelse/form
A = aluminium	G = glødet	B = «Borge»-leder
C = kadmiumkobber	H = hårdtrukket	E = entrådet
K = kobber	S = forsølvet	F = flertrådet
S = stål	T = fortinnet	M = mangetrådet
	W = copperweld (kobberkledd)	P = profiltråder (parallel)
		R = rund
		V = sektor

**Opplysningsledd** kan benyttes som avslutning på betegnelsen hvis det er behov.

B = bærefrekvenspar (antall)	FR = selvslukkerende
R = armeringstråd (mm Ø på enkeltråd)	HF = halogenfri
W = bærewire (mm Ø på enkeltråd)	LSFROH = selvslukkende og halogenfri
M = måletråd (mm Ø)	Materialbetegnelser
S = skjermede par (antall)	Normer
D = Metallfri kabel	Varemerker

**Eksempel på telekabel:**

L 24-0,9	FEQE	- 45 D	- B 6
1. ledd Bruksområde	2. ledd Firebokstavkode	3. ledd Elektriske egenskaper	4. ledd Opplysningsledd

**Eksempel på kraftkabel:**

PFSP	1 kV	3 x 50 AFV/16 mm <sup>2</sup>	4. ledd
1. ledd Firerbokstavkode	2. ledd Elektriske egenskaper	3. ledd Ledertype og dimensjon	Opplysningsledd

**Tabell over firebokstavkoden**

1. bokstav Isolasjon	2. bokstav Kappe o.l.	3. bokstav Armering, skjerm	4. bokstav Ytre kappe, korr.v.
A Fiber, tett kleddning	A Aluminium (evt. m/korr.vern)	A Strekkavlastning garn	A Garn + asfalt
B Tape + isolasjon	B	B 2 stålband	B Forbedret hydro- carbon bestandighet
C	C Polycloropren – PCP – CPE	C Ståltrådfletting	C PCP–CPE
D Impregnert papir dryppfri kabel	D	D Oljekabelforst. (langs og tvers)	D
E Polyetylen – PE Polypropylen – PP	E PE eller PP	E Oljekabelforst. (tverrforst).	E PE eller PP
F PE eller PP + fyllmasse	F Fyllkappe/Båndering	F Ståltråd, flat	F Halvledende PE
G Polyamid – PA	G	G	G PE + PA
H	H Klorosulfonert polyetylen CSP	H Stålband + ståltråd	H CSP
I Halogenfri, brann- hemmende plast	I Halogenfri, brann- hemmende plast	I 4 stålband + evt. aluminiumtråder	I Halogenfri, brann- hemmende plast
K Papir (evt. m/Kordel)	K Bly	K Ståltråd, plast- eller gummibelagt	K Bly
L Luft + plast	L Al-laminat + plastkappe (*)	L Aluminiumlaminat	L
M Ekspandert PE eller PP + fyllmasse	M Polyester	M	M Polyester
N	N Polyuretan	N Stållaminat	N Polyuretan
O Impregnert papir Oljekabel	O Bly + plast	O Koppertråd-fletting	O
P Polyvinylklorid PVC	P Polyvinylklorid PVC	P Bronsetråd-fletting	P Polyvinylklorid PVC
Q Fiber i rør	Q	Q Ståltråd + evt. motspiral	
R EP-gummi	R EP-gummi	R Ståltråd + fyllmasse	R EP-gummi
S Silikongummi	S Fyllkappe/båndering + konsentrisk ledet (*)	S Konsentrisk ledet	S Silikongummi
T Tverrbundet polyetylen PEX	T	T Al-tråd + stålband	T PEX
U	U Etylen vinylacetat – EVA/EMA	U	U EVA/EMA
V Fiber i spor	V Aluminium-skjerm	V Dobbel trådarmering	V Andre HF-materialer
W Andre materialer	W Andre materialer	W Bæreline	W Andre materialer
X Ingen isolasjon	X Ingen kappe o.l.	X Ingen armering e.l.	X Ingen kappe eller korr.vern
Y	Y Kobber-skjerm (evt. m/tilleggsjikt)	Y	Y
Z Fluorplast (PTFE, FEP)	Z Fluorplast	Z	Z Fluorplast

\*) Brukes bare når 3. bokstav er oppatt, f.eks. med W.

## Tabell 3

### CENELEC kode for typebetegnelse

CENELEC gir en fullstendig beskrivelse av ulike utførelsers harmoniseringsstatus, merkespenning og oppbygging av de enkelte elementer som f.eks., fyllkappe, bånd, skjerm, armering m.v., samt om det er entrådet, flerrådet eller mangetrådet og kobber eller aluminium osv.

Ny Cenelec HD 361 S3 fra 1999 har redusert omfanget til kun å omfatte harmonisert kabel (H og A typer) og driftspenning inntil 750V.

#### 1a Alle typebetegnelser innledes med en bokstavkode som angir harmoniseringsstatus:

Symbol	Bestemmelsens status
H	Harmonisert type
A	Autorisert nasjonal type, godtatt av CENELEC
N	Nasjonal type, som ikke er autorisert

#### 1b Deretter følger ett eller to siffer som angir merkespenning for vedkommende type:

00	< 100/100 V
01	≥100/100 V: < 300/300 V
03	300/300 V
05	300/500 V
07	450/750 V
1	0,6/1 kV
3	1,7/3 kV
6	3,5/6 kV
10	6/10 kV
20	12/20 kV

#### 2a Neste ledd angir isolasjonsmaterialet og den ikke-metalliske kappen:

Symbol	Materiale
B	EP-gummi (EPDM)
B2	EP-gummi, ekstra hard
B3	Butyl-gummi
E	Polyetylen
E2	Polyetylen, HD
E4	Polytetrafluoretylen, PTFE
E5	Perfluorinert etylene-propylen, FEP
E6	Etylen-tetrafluoretylen
E7	Polypropylen
G	Etylenvinylacetat, EVA
J	Glassfiber fletting
J2	Glassfiber lag
M	Mineral isolasjon
N	Neopren CR (PCP)
N2	Neopren, spesial compound
N4	Hypalon CSM (CSP)
N5	Nitrilgummi, NBR
N6	Fluorelastomer, Viton
N7	Nitril/PVC, NBR/PVC
P	Impregnert papirisolasjon
Q	Polyuretan, PU
Q2	Polyetylen tereftalat, PETP
Q3	Polystyren
Q4	Polyamid, Nylon, PA
Q5	Polymid
Q6	Polyvinylidenfluorid
R	Naturgummi eller syntetisk gummi for 60°C.
S	Silikongummi
T	Tekstilstoffetting
V	Polyvinylklorid, PVC
V2	PVC for 90°C
V3	PVC for ekstra kuldebestandig
V4	PVC, kryssbundet
V5	PVC, spesielt oljebestandig
X	Kryssbundet PE, PEX
Z	Halogenfri Polyolefin, kryssbundet
Z1	Halogenfri Polyolefin, termoplastisk

**2b Deretter følger symbolet for metallkappe eller skjerm.**

Symbol	Materiale
A2	Aluminium, ekstrudert eller sveiset, glatt
A3	Aluminium, ekstrudert eller sveiset, korrugert
A4	Aluminiumskappe på hver leder
A5	Aluminiumsbånd
C2	Kobberkappe
C3	Kobberkappe, korrugert
F	Stålkappe
F3	Stålkappe, korrugert
K	Sinkskappe
L	Blykappe, legering
L2	Blykappe, rent
A	Aluminium, konsentrisk skjerm
A6	Aluminium, ceander skjerm
C	Kobber, konsentrisk skjerm
C6	Kobber, ceander skjerm
C9	Kobber, delt konsentrisk skjerm
A7	Aluminium skjerm
A8	Aluminium skjerm på hver leder
C4	Kobberfletting, fellesskjerm
C5	Kobberfletting skjerm på hver leder
C7	Kobber skjerm av tråd eller bånd
C8	Som C7, men skjerm på hver leder

**2c Neste ledd angir hvilke armering som finnes.**

Symbol	Armering
Z2	Rund ståltråd eller line
Z3	Flat ståltråd
Z4	Stålband
Z5	Ståltråd fletting
Z6	Ståltråd fletting som bæreelement
Z7	Profilerte ståltråder
Y2	Rund aluminiumstråd
Y3	Flat aluminiumstråd
Y5	Armering av spesielt eller blandet materiale
Y6	Ståltråder og/eller stålband og kobbertråder

**2d Dette ledd angir spesielle konstruksjonselementer hvis dette finnes i kabelen.**

Symbol	Konstruksjon
D2	Bæreelement av stål eller tekstil i snokonstruksjonen eller kappen.
D3	Bæreelement av stål eller tekstil i senter av kabel eller i en flat kabel.
D4	Selvbærrende kabel hvor ledene utgjør bæreelementet.
D5	Fyllmateriale i senter.
D7	Som D3, men på utsiden av kabelen.
D8	Som D7, men med steg og 8-talls form.

**2e Hvis det er en spesiell oppbygging så angis dette med følgende symbol.**

Symbol	Konstruksjon
H	Flat, delbar kabel eller ledning
H2	Flat, ikke delbar kabel eller ledning
H3	Flat, forsterket med veving
H4	Flat, flerleder med en uisolert leder
H5	Snokonstruksjon av minst 2 ledere
H6	Flat-kabel, minst 3 leder etter HD359
H7	Ekstrudert dobbelt isolasjon
H8	Uttrekkbar blymantel

Alle symboler i kolonne 2a t.o.m. 2e skal plasseres i betegnelsen i den rekkefølge de finnes i kabelen.  
(Regnet fra sentrum av kabelen).

**2f Neste ledd angir ledermaterialet. Det angir ikke noe symbol hvis lederen er av kobber.**

Symbol	Materiale
-A	Aluminium
-Z	Annet materiale enn cu eller Al.

**2g** Dette ledet kommer etter symbolet for ledermateriale og angir lederformen. Bindestrekken foran symbolet skal uteslåtes hvis 2f symbolet også er med.

**Symbol Lederform**

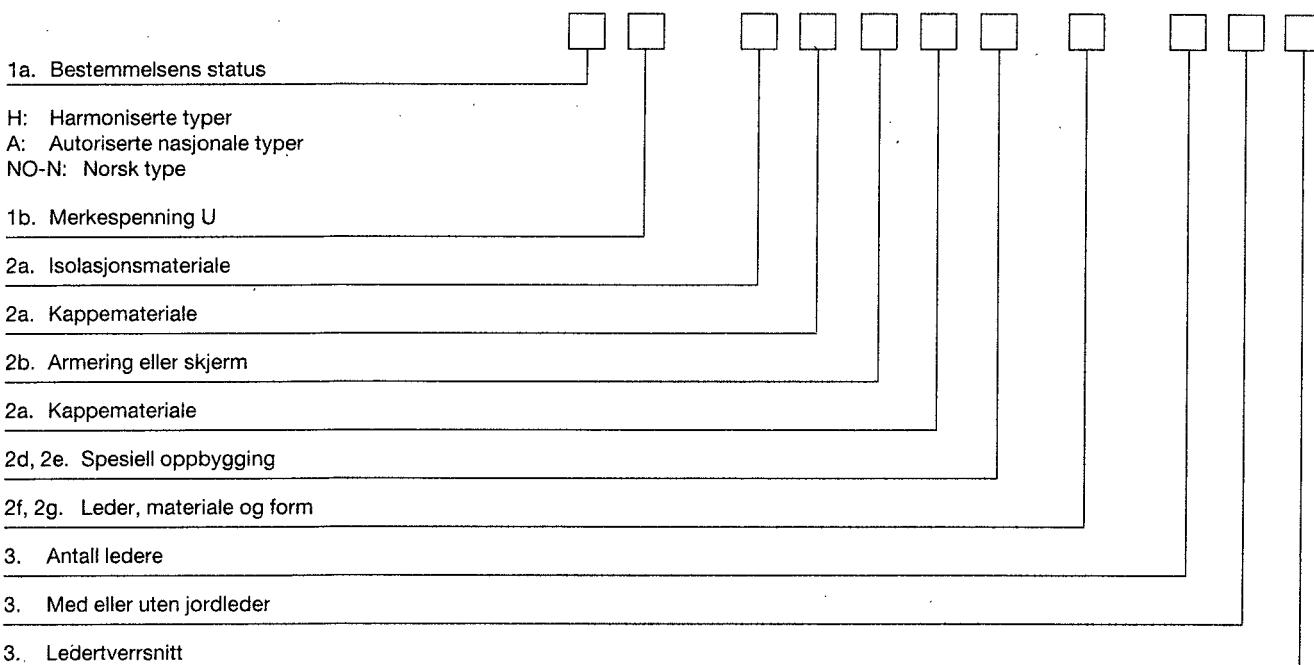
-F	Mangetrådet, bevegelig kabel
-H	Ekstra mangetrådet, bevegelig kabel
-K	Mangetrådet, fast installasjon
-M	Milliken ledet
-R	Flertrådet, rund
-S	Flertrådet, sektorformet
-U	Entrådet, rund
-W	Entrådet, sektorformet
-Y	Tinsel
-Z	Leder med annen form

**3** Tredje ledd i typebetegnelsen angir antall ledere og leder-tverrsnitt. Hvis en kabel ikke har gul/grønn jordleder markeres dette med en X. Hvis det derimot er en gul/grønn jordleder i kabelen, så brukes bokstaven G istedet.

**Symbol Antall ledere og tverrsnitt**

nXs	n ledere med $s \text{ mm}^2$ tverrsnitt uten gul/grønn jordleder
nGs	n ledere med $s \text{ mm}^2$ tverrsnitt med gul/grønn jordleder
nXs <sub>1</sub> /s <sub>2</sub>	n ledere med s <sub>1</sub> mm <sup>2</sup> tverrsnitt og konsentrisk leder med s <sub>2</sub> mm <sup>2</sup> tverrsnitt
n <sub>1</sub> Xs <sub>1</sub> +n <sub>2</sub> Xs <sub>2</sub>	n <sub>1</sub> leder med s <sub>1</sub> mm <sup>2</sup> tverrsnitt og i tillegg n <sub>2</sub> ledere med s <sub>2</sub> mm <sup>2</sup> tverrsnitt

Systemets oppbygging vises av følgende skjematiske fremstilling.



Denne skjematiske oppstilling angir kabelelementene i den rekkefølge som er meget vanlig i våre kabler.

Rekkefølgen må endres ved spesielle oppbygginger. Alle symbolene som her er beskrevet må ikke være med. Hvis f.eks. kabelen ikke har armering eller skjerm, uteslåtes kolonne 2b. helt. Det må påpekes at det er symbolenes plass i rekkefølgen som bestemmer betydningen.

**Tabell 4**
**Eksempler på aktuelle CENELEC normer**

CENELEC Europa Norm	IEC	TITTEL
EN50200	60331	Elektrisk funksjonsdyktighet under brann for små kabler Elektrisk funksjonsdyktighet under brann.
EN50265-2-1 HD 405.1	60332-1	Selvslukkende egenskap på en enkel kabel
EN50265-2-2	60332-2	Selvslukkende egenskap på en enkel liten kabel
HD405.3	60332-3	Selvslukkende egenskap på en kabelbunt
EN50267-2-1	60754-1	Måling av halogeninnhold i materialene
EN50267-2-2	60754-2	Måling av pH og ledningsevne i avgassene. Korrosivitet.
EN50268-2	61034-2	Måling av siktbarhet i røyk. Røykutvikling.
CENELEC	Gammel norsk norm, som er utgått	TITTEL
HD 603-3J	NEK 536	1kV PVC isolert kabel ( PFSP og PFXP grå)
HD 603-5J	NEK 536	1kV PEX isolert kabel ( TFSP grå)
HD 603-5M	NEK 194	1kV PEX isolert kabel ( TFXP grønn )
HD 604-5D	NEK 591	1kV Halogenfri kabel ( IFSI )
HD 620-5K og 6K	NEK 136	12-36kV PEX isolert kabel ( TSLE og TSLF )
HD 626-3I, 5I, 9I	NEN 73.77	1kV PE isolert hengeledning ( EX )
HD 627-4B1	NEK 538	PVC signalkabel ( PFSP 500V )
HD 627-4B2	NEK 538	PVC signalkabel ( PFSP 750V )
HD 627-7B1	NEK 538/591	Halogenfri signalkabel ( IFSI 500V )
HD 627-7B2	NEK 538/591	Halogenfri signalkabel ( IFSI 750V )

**Tabell 5**
**Lederidentifisering**

Antall ledere	Lavspentkabel Inkluderer kraftkabel, installasjonskabel, bevegelig kabel og skipskabel
2-leder	Blå, brun
2-leder+jord	Gul/grønn, blå, brun
3-leder	Brun, sort, grå
3-leder+jord	Gul/grønn, brun, sort, grå
4-leder	Blå, brun, sort, grå
4-leder+jord	Gul/grønn, blå, brun, sort, grå
5-leder	Blå, brun, sort, grå, sort

12 og 24kV har ikke lederidentifisering

Antall ledere	Hengeledning.EX	Signalkabel NEK-normert
2-leder		Signalkabel merkes med sorte tall på hvit isolasjon. Det benyttes samme koding om kablene er oppbygd av enkelte ledere eller av par, trippel eller firer.
3-leder		Nr. 1 begynner alltid i kabelens sentrum.
4-leder		

**Tabell 6**

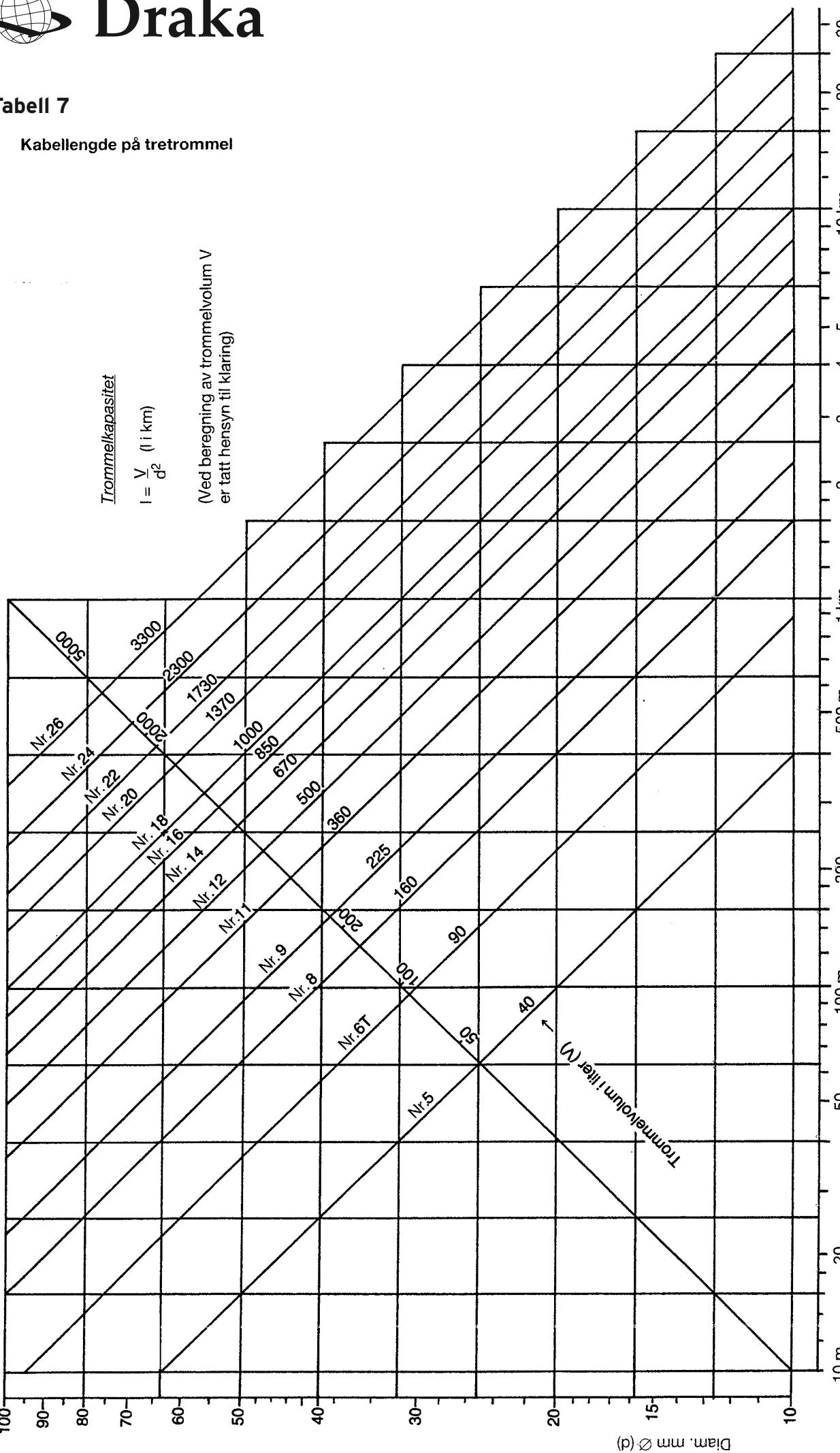
**Kabeloppbygning**

Geometrisk riktig oppbygning i konsentriske lag.

Antall elementer	LAG OPPBYGGING						
	1	2	3	4	5	6	7
7	1	6					
10	2	8					
12	3	9					
14	4	10					
19	1	6	12				
24	2	8	14				
27	3	9	15				
30	4	10	16				
37	1	6	12	18			
44	2	8	14	20			
48	3	9	15	21			
52	4	10	16	22			
61	1	6	12	18	24		
70	2	8	14	20	26		
75	3	9	15	21	27		
80	4	10	16	22	28		
91	1	6	12	18	24	30	
102	2	8	14	20	26	32	
108	3	9	15	21	27	33	
114	4	10	16	22	28	34	
127	1	6	12	18	24	30	36
140	2	8	14	20	26	32	38
147	3	9	15	21	27	33	39
154	4	10	16	22	28	34	40

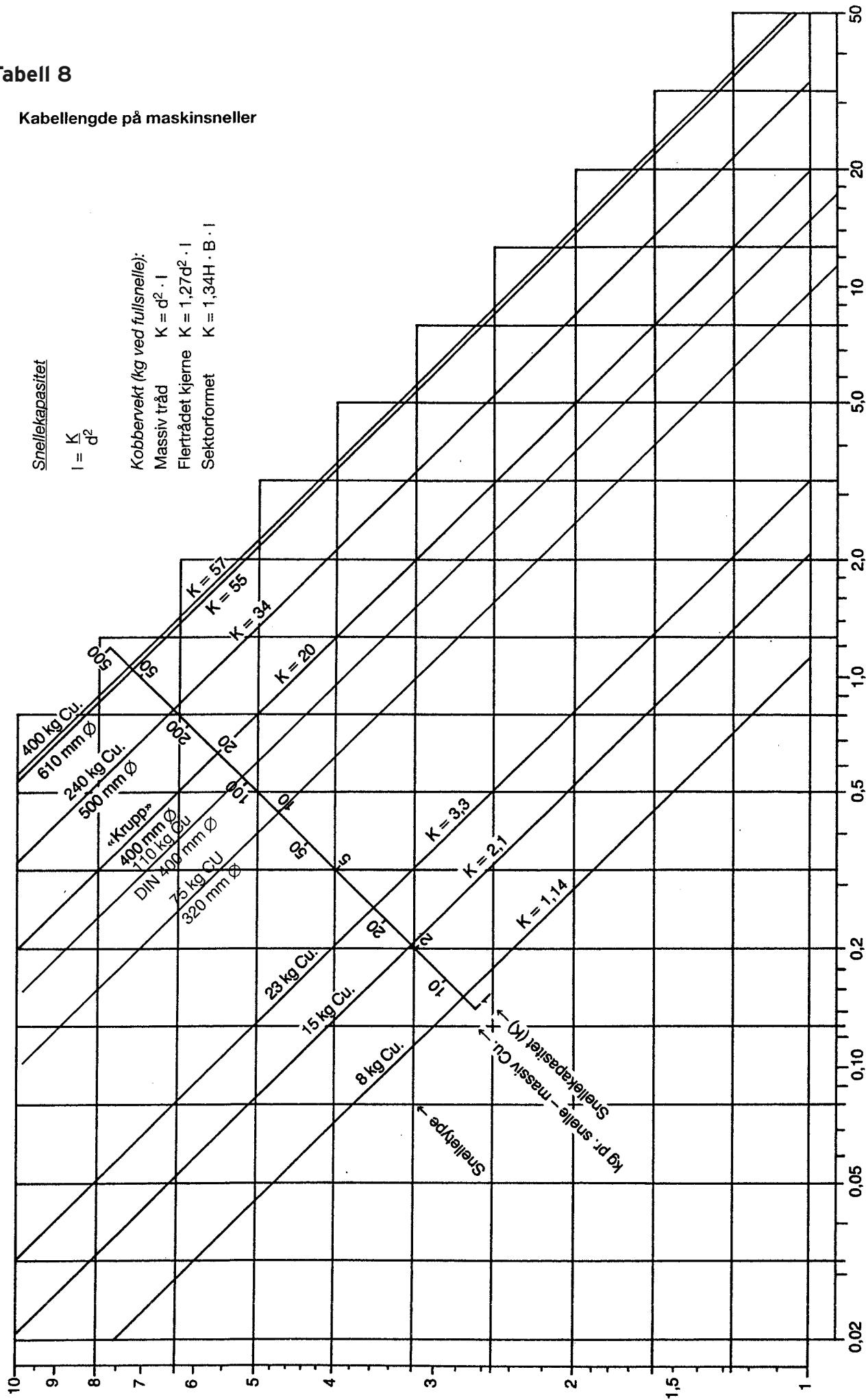
## Tabell 7

### Kabellengde på tretrommel



**Tabell 8**

### Kabellengde på maskinsneller



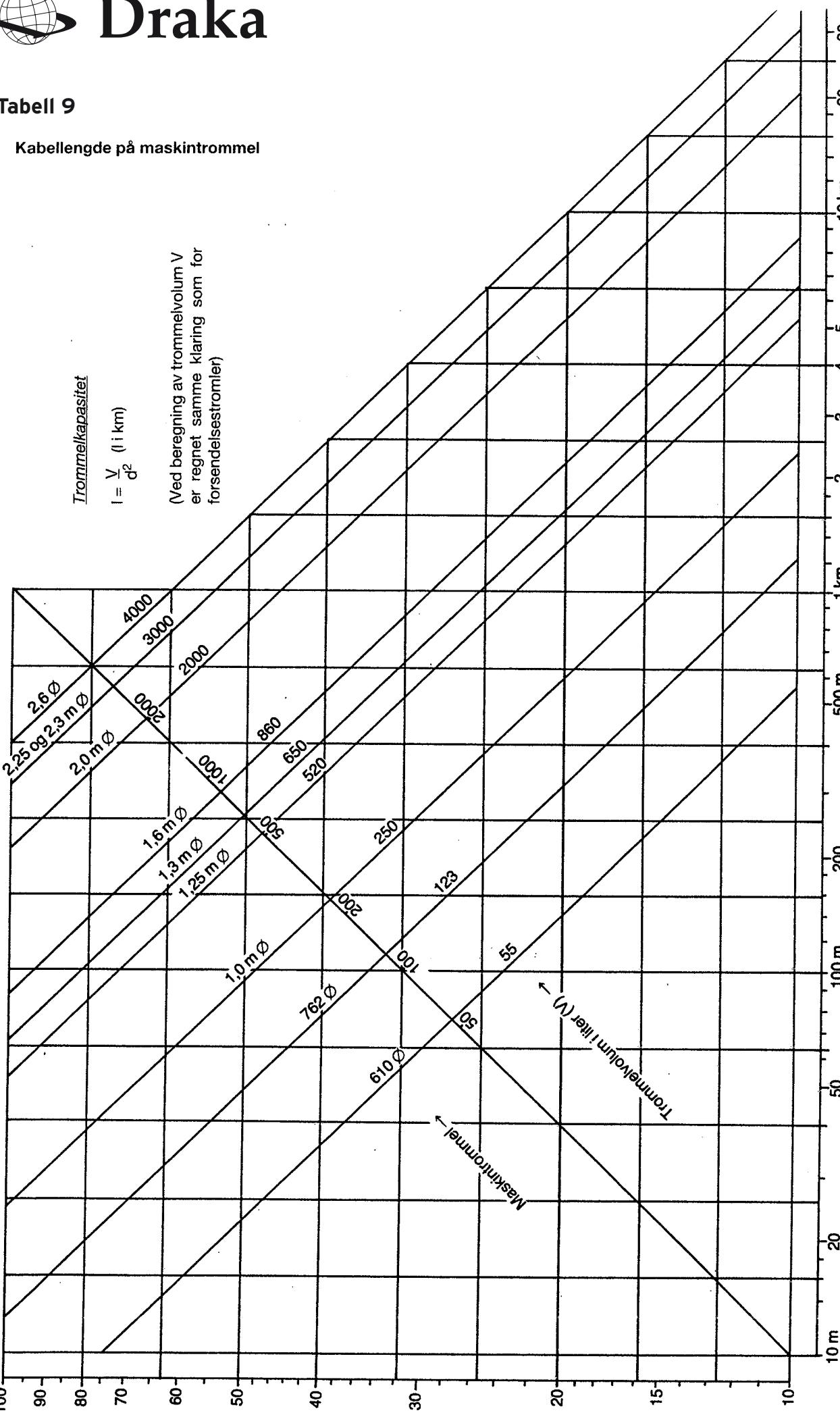
km pr. full snelle () →  
NB! Ved diam. = 0,1 d. blir lengde = 100 l.



# Draka

**Tabell 9**

Kabellengde på maskintrommel



**Tabell 10**

Tekniske data for kobber og aluminium.

Egenskaper	Enhet	Cu glødet	Cu hard	Al glødet	Al hard
Resistivitet	ohm · mm <sup>2</sup> /km, 20°C	17,24	–	28,26	–
Temperaturkoeffisient	10 <sup>-3</sup> /°C	3,9	–	4,0	–
Egenvekt	kg/m <sup>3</sup>	8890	–	2700	–
Bruddstyrke	N/mm <sup>2</sup>	240	440	70–80	155–170
Forlengelse, A <sub>250</sub> mm	%	15–35	–	24–35	–
Lengde utv.koeffisient	10–6/°C	16,8	–	23,6	–
Varmeledningsevne	W/m°C	397	–	230	–
Smeltepunkt	°C	1083	–	658	–

**Tabell 11**

Kabelsko. – Oversikt over sammenheng mellom lederdiameter og tverrsnitt.

Indre diameter i kabelskoens hylse mm minstemaál	Leder diameter mm		Tverrsnitt av kobberlerere i mm <sup>2</sup>		
	over	til	entrådet	flertrådet	mangetrådet
1,4	–	1,4	0,75	–	0,75
			1,5	–	1,0
1,8	1,4	1,8	2,5	–	1,0
2,3	1,8	2,3	4	–	2,5
3,1	2,3	3,1	6	4	2,5
4,3	3,1	4,2	10	10	6
5,4	4,2	5,3	16	16	10
6,8	5,3	6,7	25	25	16
8,2	6,7	8	–	35	25
9,5	8	9,3	–	50	35
11,2	9,3	11	–	70	50
13,5	11	13,2	–	95	70
15	13,2	14,7	–	120	–
16,5	14,7	16,2	–	150	95
18,5	16,2	18	–	185	120
21	18	20,5	–	240	150
23,5	20,5	23	–	300	185
27	23	26,5	–	400	240
30	26,5	29,5	–	500	300
33,5	29,5	33	–	–	400
37,5	33	37	–	–	500
42	37	41,5	–	–	–

**Tabell 12**
**Plast- og gummimaterialer til isolasjon og kappe på kraftkabel**

Tegnforklaring:

+ hovedanvendelse

1 - utmerket, 2 - meget god, 3 - god, 4 - middels, 5 - dårlig

\*) HF/FR = halogenfri/flammeretarderende, (I) = isolasjon

EGENSKAP	MATERIALE											
	PVC	PE	PEX	EVA	CPE	CR	CSM	EPDM	SI	TEFLON	PUR	NYLON
Kort betegnelse	poly-vinyl-klorid		kryss-bundet polyetylen		etyleng-vinyl-acetat		klorert poly-etylen		stilen-propylen		silikon-gummi	
Kjemisk navn	poly-vinyl-klorid		kryss-bundet polyetylen		etyleng-vinyl-acetat		klor-sulfonet polietylen		fluor-plast		poly-uretan	
Isolasjon	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +
Kappe	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +
Mekanisk	3 2-3	2-1	3	3	2-3	2-3	2-3	4	1-2	2	1-2	3
Varmealdring	3-4	4	2	3	2-3	3	2-3	2	1-2	1	3	2-3
Kuldebestandighet	4-3	3-4	3-4	3	3	2-3	3	2	1	2	2	2
Vær-bestandighet	2	2	2	2	2	2	2	2	1-2	2	3	2-3
Olje-bestandighet	4-3	3	2-3	4	2-3	2-3	2-3	4-5	3-4	2	2-3	4
Vann-bestandighet	3-2	2-1	2-1	3	3	3	3	2	2-3	2	3-4	3
Flamme-spredning	3-4	5	4	2-3	2-3	2-3	2	4	2-3	1	4	4
Røyktethet	5	3	3	2-3	4-5	4-5	4-5	2	2	2-3	4-5	4
Korrasjonsfare ved brann	5	2	2	2	4-5	4-5	4-5	1-2	3-4	2-3	2-3	1
Densitet [g/cm³]	1,2-1,6	0,92-0,96	0,92	1,3-1,6	1,4-1,6	1,4-1,6	1,4-1,7	1,2-1,4	1,2-1,7	2,1-2,2	1,2	1,14
Isolasjons-motsstand v/20°C [ohm · cm]	10¹¹-10¹⁴	10¹⁶	10¹³-10¹⁴		10¹⁰-10¹³	10¹³-10¹⁵	10¹⁴	10¹⁴-10¹⁵	10¹⁶	10¹⁰-10¹³	10¹⁴ (I)	
Rel.dielektriskkonstant v/20°C	4-10	2,27	2,3	4-6	5-7	4-6,5	5,5-7	3-3,5	3-10	2,0	6-10	3,5
Tapsvinkel v/20°C tanδ	0,1	0,0002	0,003-0,0007	0,004	0,004	0,05	0,003-0,005	0,0025-0,004	0,0005	0,0005	0,038 (I)	

**Tabell 13****Eksempler på kablers brannegenskaper**

Kabeltype	Selvslukkende IEC 60332-1 eller IEC 60332-3	Funksjonsdyktig IEC 60331	Branngass Røyk
PN, PR, PFSP, PFXP	Ja	Nei	Tett og korrosiv
TFXP, TFSP	Ja	Nei	Ganske tett og korrosiv
TSLE, TSLF	Nei	Nei	Lite og halogenfri
H05RN-F, H07RN-F	Ja	Nei	Tett og korrosiv
TARMO	Ja	Nei	Lite og halogenfri
RFOU	Ja	Nei	Lite og halogenfri
FIRETUF BI og BFSI-EMC, BFOU	Ja	Ja	Lite og halogenfri
IFSI, IFLI, EMC-Line, IX, IXXI	Ja	Nei	Lite og halogenfri

**Tabell 14****Laveste temperatur ved installasjon**

1-24 kV kraftkabel	0/-10°C
PEX-isolasjon, HFFR-kappe (IFLI, IFSI, EMC-Line, FIRETUF))	0/-10°C
PEX-isolasjon, PVC-kappe (TFSP)	0/-10°C
PEX-isolasjon, PE-kappe (TFXP, TSLE, TSLF)	-10/-20°C
PVC-isolasjon, PVC-kappe (PFSP, PFXP)	0/-10°C
Installasjonskabel (PR, PFXP)	0/-10°C
Bevegelig kabel (TARMO)	-20/-50°C
Bevegelig kabel DRAKAFLEX H05RN-F, H07RN-F	-15/-25°C
Skipskabel (TI, TXOI)	0/-10°C
Offshorekabel (RFOU, BFOU)	-10/-20°C

Temperaturen til venstre for skråstreken angir normal forlegging, ved temperaturen som angis til høyre må man forlegge med stor forsiktighet.

Hvis man skal forlegge kabel ved lavere temperatur enn dette, må kabelen forvarmes. F.eks. lagres i varmt rom.

Hvis det er lave temperaturer når kabel skal transporteres, må denne behandles forsiktig og ikke kastes, bankes på eller lignende.

**Tabell 15****Høyeste trekraft ved installasjon**

Ved uttrekking av kabel/ledning når det trekkes direkte i lederne, må følgende verdier ikke overskrides.

For kabel med kopperleder	50 N/mm <sup>2</sup> Ledertverrsnitt
For kabel med aluminiumleddere	25 N/mm <sup>2</sup> Ledertverrsnitt
Høyspentkabel med al-ledere	40 N/mm <sup>2</sup> Ledertverrsnitt

Som ledertverrsnitt skal skjerm eller koncentrisk leder ikke medregnes. Med disse belastningene vil ikke ledermaterialet bli forlenget med mer enn 0,2%, og dette er viktig for metallets egenskaper. Maksimal trekraft skal ikke overstige 20 kN.

Samme trekraft kan også tillates når det benyttes trekkstrømpe på kabel.

Ved ståltrådarmerte kabler må man beregne kabelens bruddstyrke for hvert tilfelle.

**Tabell 16**

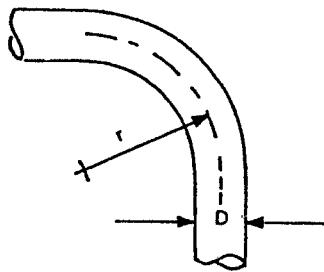
Minste bøyeradius ved installasjon.

			Installasjon			
			Produksjons- håndtering	Ut- trekking	En gangs bøyning	Gjentatte bøyinger
1-24 kV (PFSP, TXFP, TXXP, TSLF, EMC-Line, FIRETUF BFSI-EMC)						
En-leder (samt alle med AL-bånd skjerm)			10xD	15xD	10xD	-
Flere-leder			8xD	12xD	8xD	-
Bevegelig kabel, PVC	(H05VV-F, PMH) (H03VVH2-F, PL)		5xD	-	-	6xD
Koblingsledning	(H07V-R, PN) (H07V-K, RK)		5x(D)	-	-	6xD
Signalkabel uten skjerm eller cu-skjerm	(IFSI, PFSP, FKAR)		8xD	8xD	3xD	-
Signalkabel med AL-bånd skjerm	(PFSP, PFLP)		6xD	8xD	3xD	6xD
Bevegelig kabel, gummi	(H05RN-F, H07RN-F)		5xD	-	-	6xD
Skipskabel	(TI, TXOI)		6xD	8xD	6xD	-
Installasjonskabel	(PFXP *) (PR, IFLI)		8xD	10xD	3xD	-
			15x(D),D	15x(D),D	2x(D),D	-

 \*) ≤ 6 mm<sup>2</sup>, for større tverrsnitt se 1-24 kV kraftkabel

Produksjonshåndtering = Intern håndtering og spoling hos produsent ved romstemperatur.

r = bøyeradius  
 D = kabelens ytre diameter  
 (D) = Kabelens høyde


**Tabell 17**
**Lederresistans**

Tabellene angir maks. tillatt resistans, ved 20°C, i ohm/km.

Kabel og ledning for fast opplegg: (IEC 228, Klasse 1 og 2).

Bevegelige ledninger og kabler: (IEC 228, Klasse 5).

Tverrsnitt mm <sup>2</sup>	Kobber-leder		Aluminium- leder
	Ufortinnet	Fortinnet	
0,5	36,0	36,7	-
0,75	24,5	24,8	-
1	18,1	18,2	-
1,5	12,1	12,2	-
2,5	7,41	7,56	-
4	4,61	4,70	-
6	3,08	3,11	-
10	1,83	1,84	-
16	1,15	1,16	1,91
25	0,727	0,734	1,20
35	0,524	0,529	-
50	0,387	0,391	0,641
70	0,268	0,270	-
95	0,193	0,195	0,320
120	0,153	0,154	-
150	0,124	0,126	0,206
185	0,0991	0,100	-
240	0,0754	0,0762	0,125
300	0,0601	0,0607	0,100
400	0,0470	0,0475	0,0778
500	0,0366	0,0369	0,0605
630	0,0283	0,0286	0,0469
800	0,0221	0,0224	0,0367
1000	0,0176	0,0177	0,0291
1200	0,0151	0,0151	0,0247

Tverrsnitt mm <sup>2</sup>	Kobber-leder	
	Ufortinnet	Fortinnet
0,5	39,0	40,1
0,75	26,0	26,7
1	19,5	20,0
1,5	13,3	13,7
2,5	7,98	8,21
4	4,95	5,09
6	3,30	3,39
10	1,91	1,95
16	1,21	1,24
25	0,780	0,795
35	0,554	0,565
50	0,386	0,393
70	0,272	0,277
95	0,206	0,210
120	0,161	0,164
150	0,129	0,132
185	0,106	0,108
240	0,0801	0,0817
300	0,0641	0,0654

**Tabell 18**

Elektriske kabelparametere, PFSP Cu-leder/Cu-skjerm, PVC-isolert

Relativ dielektritiskkonstant: 4,0 (ved 20°C)		X/R < 0,2 (X og L kan negligeres)		Forutsettning ved usymmetrisk feil: Returvei via skjerm.							
3-leder:		Symmetriske parametre (pr. fase)				Parametre i nullsystemet (pr. fase)					
Leder-tverrsnitt (mm <sup>2</sup> )	Skjerm-tverrsnitt (mm <sup>2</sup> )	Resistans DC 20°C R (ohm/km)	Resistans AC 70°C X (ohm/km)	Reaktans Induktans L (mH/km)	Driftskapasitet (μF/km)	Null-resistans 20°C (ohm/km)	Null-reaktans (mH/km)	Null-induktans (mH/km)	Null-resistans 20°C (ohm/km)	Null-reaktans (ohm/km)	Retur-induktans (mH/km)
3x1,5	1,5	12,100	14,48	0,108	0,35	0,23	48,40	0,123	0,390	12,10	0,001
3x2,5	2,5	7,410	8,87	0,101	0,32	0,26	29,64	0,120	0,382	7,41	0,001
3x4	4	4,610	5,52	0,100	0,32	0,26	18,44	0,118	0,374	4,61	0,001
3x6	6	3,080	3,69	0,094	0,30	0,29	12,32	0,113	0,360	3,08	0,001
3x10	10	1,830	2,19	0,087	0,28	0,34	7,32	0,108	0,342	1,83	0,001
3x16	16	1,150	1,38	0,082	0,26	0,39	4,60	0,103	0,328	1,15	0,001
3x25	16	0,727	0,870	0,078	0,25	0,44	4,18	0,098	0,311	1,15	0,001
3x35	16	0,524	0,627	0,079	0,25	0,44	3,97	0,097	0,309	1,15	0,001
3x50	25	0,387	0,464	0,079	0,25	0,44	2,57	0,096	0,306	0,727	0,001
3x70	35	0,268	0,321	0,076	0,24	0,48	1,84	0,095	0,302	0,524	0,001
3x95	50	0,193	0,232	0,075	0,24	0,49	1,35	0,094	0,299	0,387	0,001
3x120	70	0,153	0,184	0,074	0,23	0,52	0,96	0,093	0,296	0,268	0,001
3x150	70	0,124	0,150	0,074	0,24	0,52	0,93	0,092	0,294	0,268	0,001
3x185	95	0,099	0,121	0,074	0,24	0,52	0,68	0,091	0,290	0,193	0,001
3x240	120	0,075	0,093	0,072	0,23	0,55	0,53	0,090	0,288	0,153	0,001
		Symmetriske parametre (pr. fase)				Parametre i nullsystemet (pr. fase)					
<b>4-leder:</b>	*) Beregnet som ved treleder		*)				Forutsettning ved usymmetriske feil: Returvei via skjerm og null-leder.				
4x1,5	1,5	12,100	14,48	0,114	0,36	0,23	30,25	0,19	0,62	6,05	0,025
4x2,5	2,5	7,410	8,87	0,111	0,35	0,26	18,53	0,19	0,60	3,71	0,024
4x4	4	4,610	5,52	0,107	0,34	0,26	11,53	0,18	0,59	2,31	0,023
4x6	6	3,080	3,69	0,101	0,32	0,29	7,70	0,18	0,56	1,54	0,022
4x10	10	1,830	2,19	0,096	0,30	0,34	4,58	0,17	0,54	0,92	0,022
4x16	16	1,150	1,38	0,092	0,29	0,39	2,88	0,18	0,57	0,58	0,027
4x25	16	0,727	0,870	0,089	0,28	0,44	2,06	0,19	0,60	0,45	0,031
4x35	16	0,524	0,627	0,087	0,28	0,44	1,60	0,21	0,66	0,36	0,038
4x50	25	0,387	0,464	0,086	0,27	0,44	1,14	0,19	0,62	0,25	0,035
		Symmetriske parametre (pr. fase)				Parametre i nullsystemet (pr. fase)					

**Tabell 19**

Elektriske kabelparametere, PFSP Al-leder/Cu-skjerm, PVC-isolert

2-leder: Resistans og reaktans som ved treleder. Nullparametere sjeldent aktuelt (ikke beregnet)		Relativ dielektrisitetskonstant: 4,0 (ved 20°C)		X/R < 0,2 (X og L kan neglisjeres)		Forutsetning ved usymmetrisk fel: Returvei via skjerm.							
3-leder:		Symmetriske parametere (pr. fase)						Parametere i nullsystemet (pr. fase)					
Leder-tverrsnitt	Skjerm-tverrsnitt	Resistans DC 20°C R	Resistans AC 70°C	Reaktans X	Induktans L	Driftskapasitet	Null-resistans 20°C	Null-reaktans	Null-induktans	Retur-resistans 20°C	Retur-reaktans	Retur-induktans	
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(ohm/km)	(ohm/km)	(ohm/km)	(mH/km)	(μF/km)	(ohm/km)	(ohm/km)	(mH/km)	(ohm/km)	(ohm/km)	(mH/km)	
3x16	10	1,910	2,29	0,083	0,26	0,39	7,40	0,102	0,325	1,83	0,001	0,002	
3x25	10	1,200	1,44	0,082	0,26	0,40	6,69	0,098	0,312	1,83	0,001	0,002	
3x50	16	0,641	0,77	0,079	0,25	0,44	4,09	0,095	0,301	1,15	0,001	0,002	
3x95	35	0,320	0,39	0,075	0,24	0,49	1,89	0,094	0,299	0,52	0,001	0,002	
3x150	50	0,206	0,25	0,074	0,24	0,51	1,37	0,092	0,293	0,39	0,001	0,002	
3x240	70	0,125	0,15	0,073	0,23	0,53	0,93	0,090	0,286	0,27	0,001	0,002	
Symmetriske parametere (pr. fase)													
4-leder:		*) Beregnet som ved treleder						Forutsetning ved usymmetrisk fel: Returvei via skjerm og null-leder.					
4x16	10	1,910	2,29	0,090	0,29	0,39	4,71	0,16	0,50	0,93	0,020	0,062	
4x25	10	1,200	1,44	0,088	0,28	0,40	3,37	0,18	0,56	0,72	0,027	0,086	
4x50	16	0,641	0,77	0,086	0,27	0,44	1,88	0,20	0,63	0,41	0,035	0,112	
4x95	35	0,320	0,39	0,083	0,26	0,49	0,92	0,18	0,57	0,20	0,031	0,099	
4x150	50	0,206	0,25	0,081	0,26	0,51	0,61	0,18	0,58	0,13	0,032	0,101	
4x240	70	0,125	0,15	0,081	0,26	0,53	0,38	0,19	0,59	0,09	0,034	0,108	

## Tabell 20

## **Elektriske kabelparametere, TFSP Al-leder/Cu-skjerm, PEX-isolert**

Relativ dielektrisitetskonstant: 2,3 (ved 20°C) X/R < 0,2 (X og L kan negligeres)										Forutsetning ved usymmetrisk feil: Returvei via skjerm.					
3-leder:										Parametre i nullsystemet (pr. fase)					
Symmetriske parametre (pr. fase)					Null-resistans 20°C					Null-induktans		Retur-resistans 20°C		Retur-reaktans	Retur-induktans
Leder-tverrsnitt (mm <sup>2</sup> )	Skjerm-tverrsnitt (mm <sup>2</sup> )	Resistans DC 20°C R	Resistans AC 70°C (ohm/km)	Induktans L	Driftskapasitet (μF/km)	(ohm/km)	(mH/km)	(ohm/km)	(mH/km)	(ohm/km)	(ohm/km)	(ohm/km)	(mH/km)	(mH/km)	
3x25	10	1,200	1,540	0,077	0,24	0,27	6,69	0,094	0,299	1,83	0,000	0,000	0,001	0,001	
3x50	16	0,641	0,822	0,074	0,23	0,30	4,09	0,091	0,288	1,15	0,000	0,000	0,001	0,001	
3x95	35	0,320	0,411	0,071	0,23	0,34	1,89	0,090	0,286	0,52	0,000	0,000	0,001	0,001	
3x150	50	0,206	0,265	0,071	0,23	0,33	1,37	0,088	0,280	0,39	0,000	0,000	0,001	0,001	
3x240	70	0,125	0,162	0,070	0,22	0,34	0,93	0,087	0,278	0,27	0,000	0,000	0,001	0,001	
Symmetriske parametre (pr. fase)										Parametre i nullsystemet (pr. fase)					
*) Beregnet som 4-leder:										Forutsetning ved usymmetriske feil: Returvei via skjerm og null-leder.					
4x95	35	0,320	0,411	0,078	0,25	0,34	0,916	0,17	0,54	0,199	0,029	0,09	0,031	0,10	
4x150	50	0,206	0,265	0,078	0,25	0,33	0,609	0,18	0,56	0,134	0,031	0,10	0,033	0,10	
4x240	70	0,125	0,162	0,078	0,25	0,35	0,381	0,18	0,57	0,085	0,085	0,085	0,085	0,10	

Tabell 21

#### **Elektriske kabelparametere, TFXP AI, PEX-isolert, uten skerm**

*) Basert på målinger på trommel. Udefinert og alltid større når forlagt i jord.														
Relativ dielektrisitetskonstant: 2,3			$X/R < 0,2$ (X og L kan negligeres)			Forutsetning ved usymmetrisk feil: Returvei via PEN-leder.								
Symmetriskeparametene (pr. fase)														
4-leder:	PEN-tverrsnitt (mm <sup>2</sup> )	Resistans DC 20°C R (ohm/km)	Resistans AC 70°C (ohm/km)	Reaktans X (ohm/km)	Induktans L (mH/km)	Driftskapasitet (μF/km)	Nullresistans 20°C (ohm/km)	Nullreaktans (ohm/km)	Nullinduktans (mH/km)	Nullresistans 20°C (ohm/km)	Nullreaktans (ohm/km)	Nullinduktans (mH/km)	Returreaktans (ohm/km)	Returinduktans (mH/km)
4x25	25	1,200	1,540	0,084	0,27	0,17	4,80	0,336	1,069	1,200	0,084	0,267		
4x50	50	0,641	0,822	0,081	0,26	0,18	2,56	0,323	1,028	0,641	0,081	0,257		
4x95	95	0,320	0,411	0,078	0,25	0,20	1,28	0,310	0,985	0,320	0,078	0,247		
4x150	150	0,206	0,265	0,078	0,25	0,23	0,82	0,310	0,985	0,206	0,077	0,246		
4x240	240	0,125	0,162	0,077	0,25	0,25	0,50	0,305	0,969	0,125	0,076	0,242		

**Tabell 22**

Elektriske kabelparametere, EMC-Line og Firetuf 0,6/1kV, Cu-leder/Cu-skjerm, PEX isolert.

Relativ dielektrisitetskonstant: 2,3 (ved 20°C)						Forutsetning ved usymmetrisk feil: Returvei via skjerm.				
3-leder		Symmetriske parametere(pr fase)				Parametere i nullsystemet (pr fase)				
Leder-Tversnitt	Skerm-Tversnitt	Resistans DC 20°C R	Resistans AC 70°C	Reaktans X	Induktans L	Drifts-Kapasitet C	Nullresistans DC 20°C Ro	Nullreaktans Xo	Nullinduktans Lo	Returresistans DC 20°C
(mm²)	(mm²)	(Ohm/km)	(Ohm/km)	(Ohm/km)	(mH/km)	(μF/km)	(Ohm/km)	(Ohm/km)	(mH/km)	(Ohm/km)
3X1,5	1,5	12,10	14,48	0,108	0,35	0,20	48,40	0,123	0,390	12,10
3X2,5	2,5	7,410	8,87	0,101	0,32	0,21	29,64	0,120	0,382	7,41
3X4	4	4,610	5,52	0,100	0,32	0,23	18,44	0,118	0,374	4,61
3X6	6	3,080	3,69	0,094	0,30	0,24	12,32	0,113	0,360	3,08
3X10	10	1,830	2,19	0,087	0,28	0,25	7,32	0,108	0,342	1,83
3X16	16	1,150	1,38	0,082	0,26	0,26	4,60	0,103	0,328	1,15
3X25	16	0,727	0,870	0,079	0,25	0,28	4,18	0,098	0,311	1,15
3X35	16	0,524	0,627	0,079	0,25	0,29	3,97	0,097	0,309	1,15
3X50	25	0,387	0,464	0,076	0,24	0,30	2,57	0,096	0,306	0,727
3X70	35	0,268	0,321	0,074	0,24	0,32	1,84	0,095	0,302	0,524
3X95	50	0,193	0,232	0,071	0,23	0,34	1,35	0,094	0,299	0,387
3X120	70	0,153	0,184	0,071	0,23	0,34	0,96	0,093	0,296	0,268
3X150	70	0,124	0,150	0,071	0,23	0,33	0,93	0,092	0,294	0,268
3X185	95	0,099	0,121	0,071	0,23	0,34	0,68	0,091	0,290	0,193
3X240	120	0,075	0,093	0,070	0,22	0,35	0,53	0,090	0,288	0,153
							Forutsetning ved usymmetrisk feil: Returvei via skjerm og nuleder.			
4-leder	Symmetriske parametere(pr fase)						Parametere i nullsystemet (pr fase)			
4X1,5	1,5	12,10	14,48	0,114	0,36	0,20	30,25	0,19	0,62	6,05
4X2,5	2,5	7,410	8,87	0,111	0,35	0,21	18,53	0,19	0,60	3,71
4X4	4	4,610	5,52	0,107	0,34	0,23	11,53	0,18	0,59	2,31
4X6	6	3,080	3,69	0,101	0,32	0,24	7,70	0,18	0,56	1,54
4X10	10	1,830	2,19	0,096	0,30	0,25	4,58	0,17	0,54	0,92
4X16	16	1,150	1,38	0,092	0,29	0,26	2,88	0,18	0,57	0,58
4X25	16	0,727	0,870	0,089	0,28	0,28	2,06	0,19	0,60	0,45
4X35	16	0,524	0,627	0,087	0,28	0,29	1,60	0,21	0,66	0,36
4X50	25	0,387	0,464	0,080	0,25	0,30	1,14	0,19	0,62	0,25
4X70	35	0,268	0,321	0,079	0,24	0,32	0,80	0,19	0,62	0,18
4X95	50	0,193	0,232	0,078	0,24	0,34	0,58	0,18	0,57	0,13
4X120	70	0,153	0,184	0,078	0,24	0,34	0,45	0,18	0,57	0,10
4X150	70	0,124	0,150	0,078	0,24	0,33	0,38	0,18	0,57	0,08
4X185	95	0,099	0,121	0,078	0,24	0,34	0,30	0,18	0,57	0,07
4X240	120	0,075	0,093	0,078	0,24	0,35	0,23	0,18	0,57	0,05

**Tabell 23**

Induktans, kapasitans og jordslutningsstrøm for 12 og 24 kV PEX-isolert 1-lederkabel

Merkespenning kV	Ledertverrsnitt mm <sup>2</sup>	Induktans mH/km		Kapasitans μF/km	Jordslutnings- strøm A/km
		i trekant	i plan*)		
12	35	0,43	0,75	0,21	1,4
	50	0,41	0,72	0,23	1,5
	70	0,39	0,69	0,27	1,7
	95	0,37	0,66	0,30	1,9
	120	0,36	0,64	0,32	2,1
	150	0,35	0,62	0,35	2,3
	185	0,34	0,61	0,38	2,5
	240	0,32	0,58	0,42	2,8
	300	0,31	0,57	0,47	3,1
	400	0,30	0,54	0,53	3,4
	500	0,29	0,53	0,59	3,9
	630	0,28	0,51	0,66	4,3
24	35	0,47	0,76	0,15	1,9
	50	0,44	0,73	0,16	2,1
	70	0,41	0,70	0,18	2,4
	95	0,40	0,67	0,21	2,7
	120	0,39	0,65	0,22	2,9
	150	0,37	0,63	0,24	3,2
	185	0,36	0,61	0,27	3,5
	240	0,35	0,59	0,29	3,8
	300	0,34	0,57	0,32	4,1
	400	0,32	0,55	0,36	4,7
	500	0,32	0,54	0,40	5,2
	630	0,31	0,52	0,44	5,8

\*) Ved plan forlegging er beregnet 7 cm kabelavstand

**Tabell 24**

Induktans, kapasitans og jordslutningsstrøm for 12 og 24 kV PEX-isolert 3-lederkabel.

Merkespenning kV	Ledertverrsnitt mm <sup>2</sup>	Induktans mH/km	Kapasitans μF/km	Jordslutningsstrøm A/km
12	10	0,45	0,14	0,9
	16	0,41	0,16	1,1
	25	0,38	0,19	1,2
	35	0,36	0,21	1,4
	50	0,34	0,23	1,5
	70	0,32	0,27	1,7
	95	0,31	0,30	1,9
	120	0,30	0,32	2,1
	150	0,29	0,35	2,3
	185	0,28	0,35	2,5
	240	0,27	0,42	2,8
	300	0,26	0,47	3,1
24	25	0,43	0,14	1,8
	35	0,40	0,15	1,9
	50	0,38	0,16	2,1
	70	0,36	0,18	2,4
	95	0,35	0,21	2,7
	120	0,33	0,22	2,9
	150	0,32	0,24	3,5
	240	0,30	0,29	3,8
	300	0,29	0,32	4,1

**Tabell 25**

Spenningsfall i 1 kV PVC-kabel

$\Delta_u$ %		LEDERTVERRSNITT															
		2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400
		IxL															
1	Cu	3	5	8	13	21	31	42	55	76	101	120	139	167	200	226	-
	Al	2	3	5	8	12	19	27	34	50	65	80	95	114	137	160	196
2	Cu	6	10	16	26	42	62	84	110	152	202	240	278	334	400	452	-
	Al	6	9	15	24	38	54	68	100	130	160	190	228	274	320	392	-
3	Cu	9	15	24	39	63	93	126	165	228	303	360	417	501	600	678	-
	Al	6	9	15	24	36	57	81	102	150	195	240	285	342	411	480	588
4	Cu	12	20	32	52	84	124	168	220	304	404	480	556	668	800	904	-
	Al	8	12	20	32	48	76	108	136	200	260	320	380	456	548	540	784
5	Cu	15	25	40	65	105	155	210	275	380	505	600	695	835	1000	1130	-
	Al	10	15	25	40	60	95	135	170	250	325	400	475	570	685	800	980
6	Cu	18	30	48	78	126	186	252	330	456	606	720	834	1002	1200	1356	-
	Al	12	18	30	48	72	114	162	204	300	390	480	570	684	822	960	1176
7	Cu	21	35	56	91	147	217	294	385	532	707	840	973	1169	1400	1582	-
	Al	14	21	35	56	84	133	189	238	350	455	560	665	798	959	1120	1372
8	Cu	24	40	64	104	168	248	336	440	608	808	960	1112	1336	1600	1808	-
	Al	16	24	40	64	96	152	216	272	400	520	640	760	912	1096	1280	1568

 Spenningsfall  $\Delta_u$  i % ved 380 V. I x L = belastningsstrømmen i Ampere x kabellengden i 100 m.

 Ex.: I = 30 A, L = 5,5 (550 m).  $30 \times 5,5 = 165$ , ved  $50 \text{ mm}^2$  Cu blir  $\Delta_u$  3 %.

**Tabell 26**
**Tillatte temperaturer og strømtetthet ved kortslutning**

Spennin g kV	Isolasjon	Maks. leder temp.	Tilsvarende strømtetthet i 1 sek.	
			°C	Kobber A/mm <sup>2</sup>
1	EPR	250	140	90
1 - 24	PEX	250	140	90
1	PVC	160	110	70
1	PE	135	95	65
1	HFFR	160	110	70
Konsentrisk cu-skjerm		300	200	-
Individuell cu-skjerm på hver fase		250	180	-

**Tabell 27****Tillatt korttidsstrøm for 1 kV PVC-isol.kabel**

Strøm i Ampere og 1 sekunds varighet.

Leder tverrsnitt mm <sup>2</sup>	Kobberleder Begynnelsestemperatur °C			Aluminiumleder Begynnelsestemperatur °C		
	35	50	70	35	50	70
1,5	228	211	184			
2,5	375	344	302			
4	590	541	475			
6	868	797	700			
10	1420	1300	1150			
16	2250	2070	1810	1480	1350	1190
25	3480	3200	2810	2290	2090	1850
35	4860	4460	3920	3190	2920	2580
50	6900	6340	5560	4530	4150	3660
70	9620	8830	7760	6320	5780	5100
95	13000	11900	10500	8540	7820	6890
120	16400	15000	13200	10800	9840	8680
150	20500	18800	16500	13400	12300	10800
185	25200	23100	20300	16500	15100	13300
240	32600	29900	26300	21400	19600	17300
300	40700	37300	32800	26700	24400	21600
400	54100	49700	43600	35600	32500	28700
500	67700	62100	54500	44400	40700	35900
630	83800	76900	67500	55000	50300	44400
800	107000	98400	86400	70400	64400	56800
1000	134000	123000	108000	88000	80500	71000

**Tabell 28**
**Tillatt kortidsstrøm for 1-24 kV PEX-isol.kabel**

Strøm i Ampere og 1 sekunds varighet.

Leder tverrsnitt mm <sup>2</sup>	<b>Kobberleder</b>				
	Begynnelsestemperatur °C				
	35	50	65	80	90
1,5	294	277	267	253	243
2,5	479	456	434	414	398
4	752	717	682	651	625
6	1110	1060	1000	959	920
10	1810	1730	1640	1570	1510
16	2870	2740	2600	2490	2390
25	4450	4240	4030	3850	3690
35	6200	5910	5620	5370	5150
50	8810	8400	7980	7620	7310
70	12300	11700	11100	10600	10200
95	16600	15800	15000	14400	13800
120	20900	19900	18100	17400	17000
150	26100	24900	23700	22600	21700
185	32100	30600	29100	27800	26700
240	41600	39700	37700	36000	34600
300	51900	49500	47100	44900	43100
400	69100	65900	62600	59800	57400
500	86400	82300	78300	74700	71700
630	107000	102000	969000	92500	88800
800	137000	130000	124000	118000	114000
1000	171000	163000	155000	148000	142000

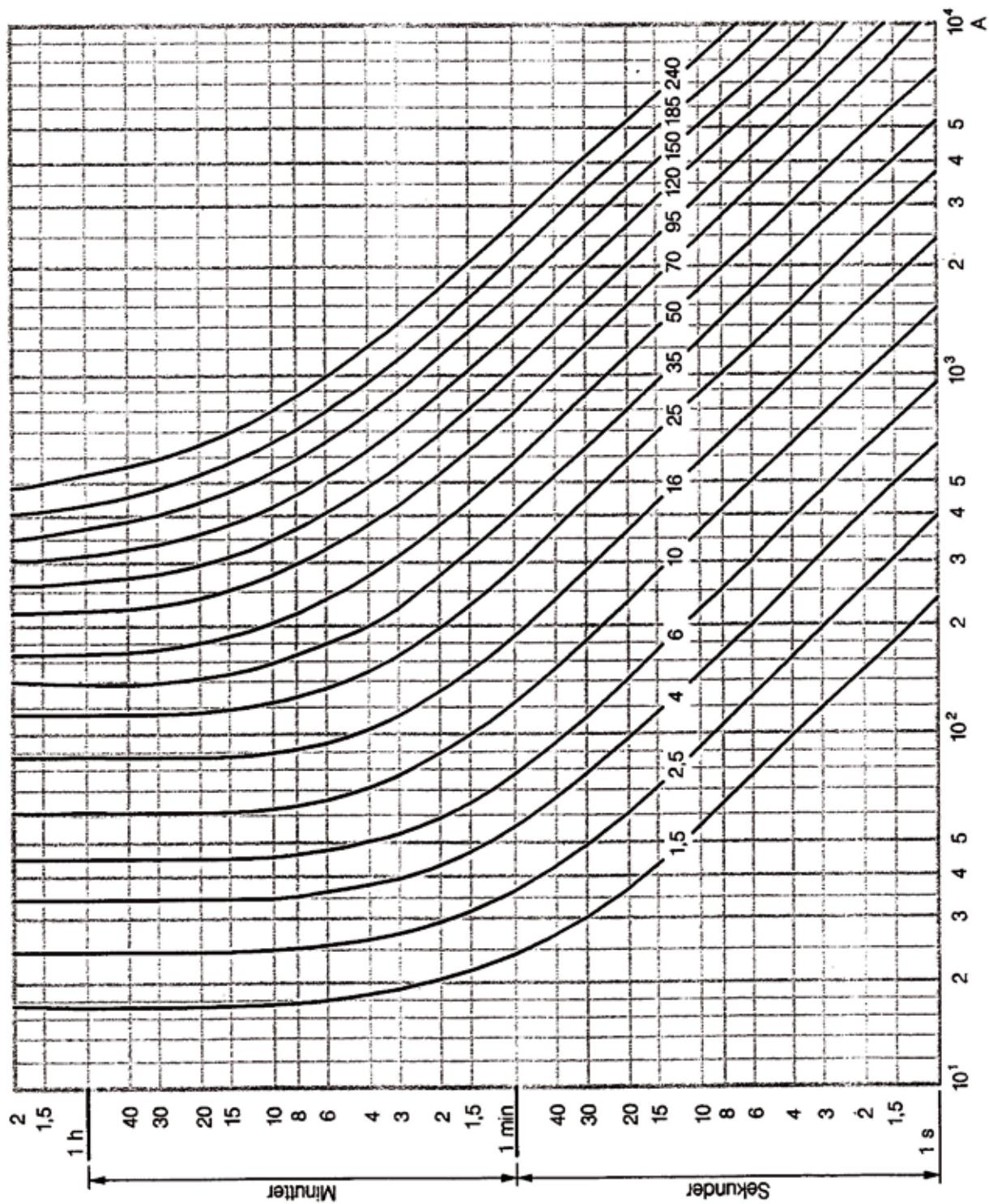
Leder tverrsnitt mm <sup>2</sup>	<b>Aluminiumleder</b>				
	Begynnelsestemperatur °C				
	35	50	65	80	90
16	1880	1800	1710	1630	1560
25	2910	2780	2650	2520	2420
35	4060	3880	3700	3520	3370
50	5770	5510	5250	5000	4790
70	8040	7690	7330	6970	6680
95	10900	10400	9900	9420	9030
120	13700	13100	12500	11900	11400
150	17100	16300	15600	14800	14200
185	21100	20100	19200	18200	17500
240	27300	26000	24800	23600	22600
300	34000	32500	31000	29500	28200
400	45200	43200	41200	39200	37600
500	56600	54000	51500	49000	47000
630	70000	66900	63800	60600	58000
800	89600	85600	81600	77600	74400
1000	112000	107000	102000	97000	93000

**Tabell 29**

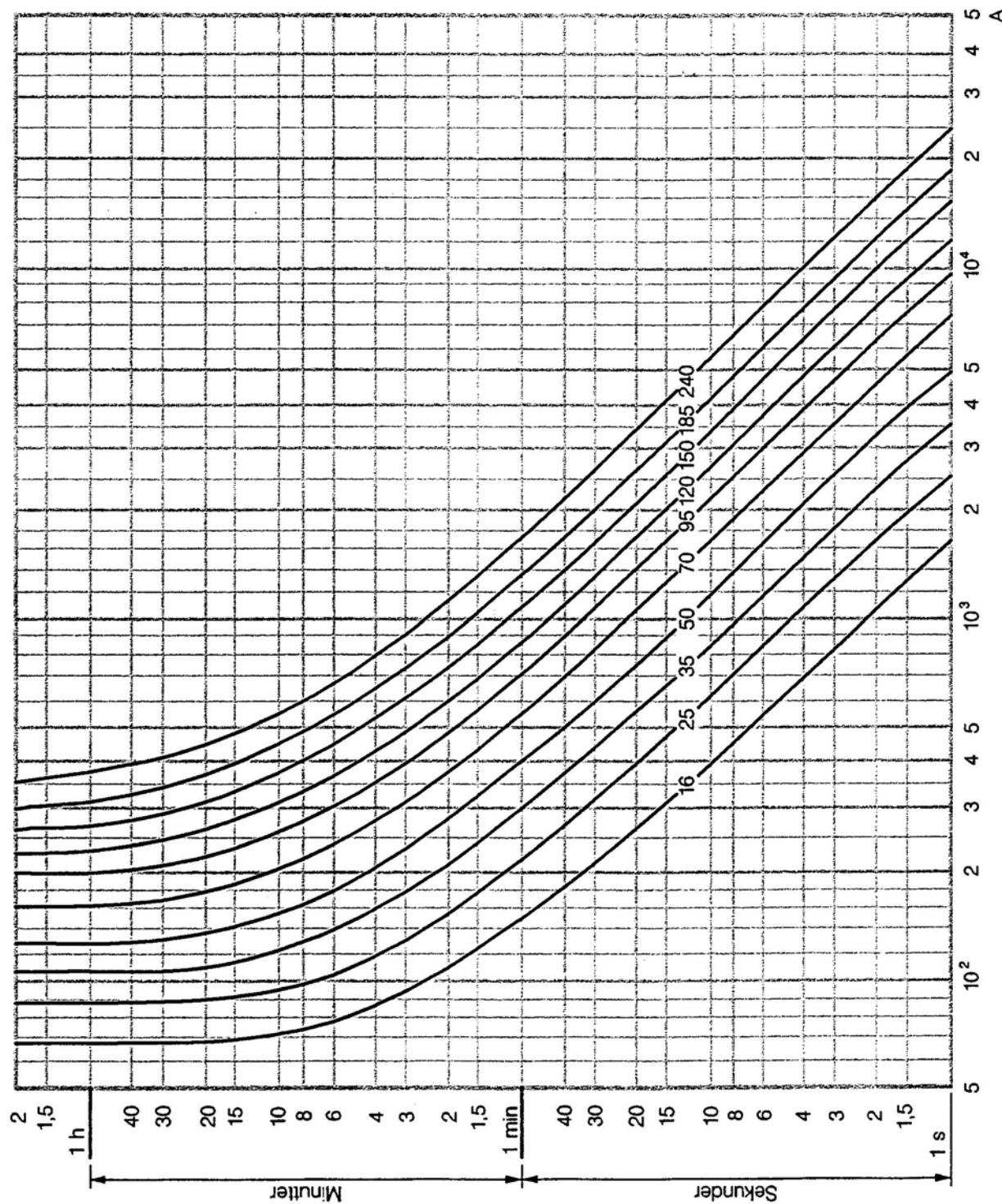
**Belastningstabell-tidskurve for PVC-isolert kabel**

Tabellene på kurven angir tverrsnitt i mm<sup>2</sup>

**Kobberleder**



**Tabell 30**
**Belastningstabell-tidskurve for PVC-isolert kabel**

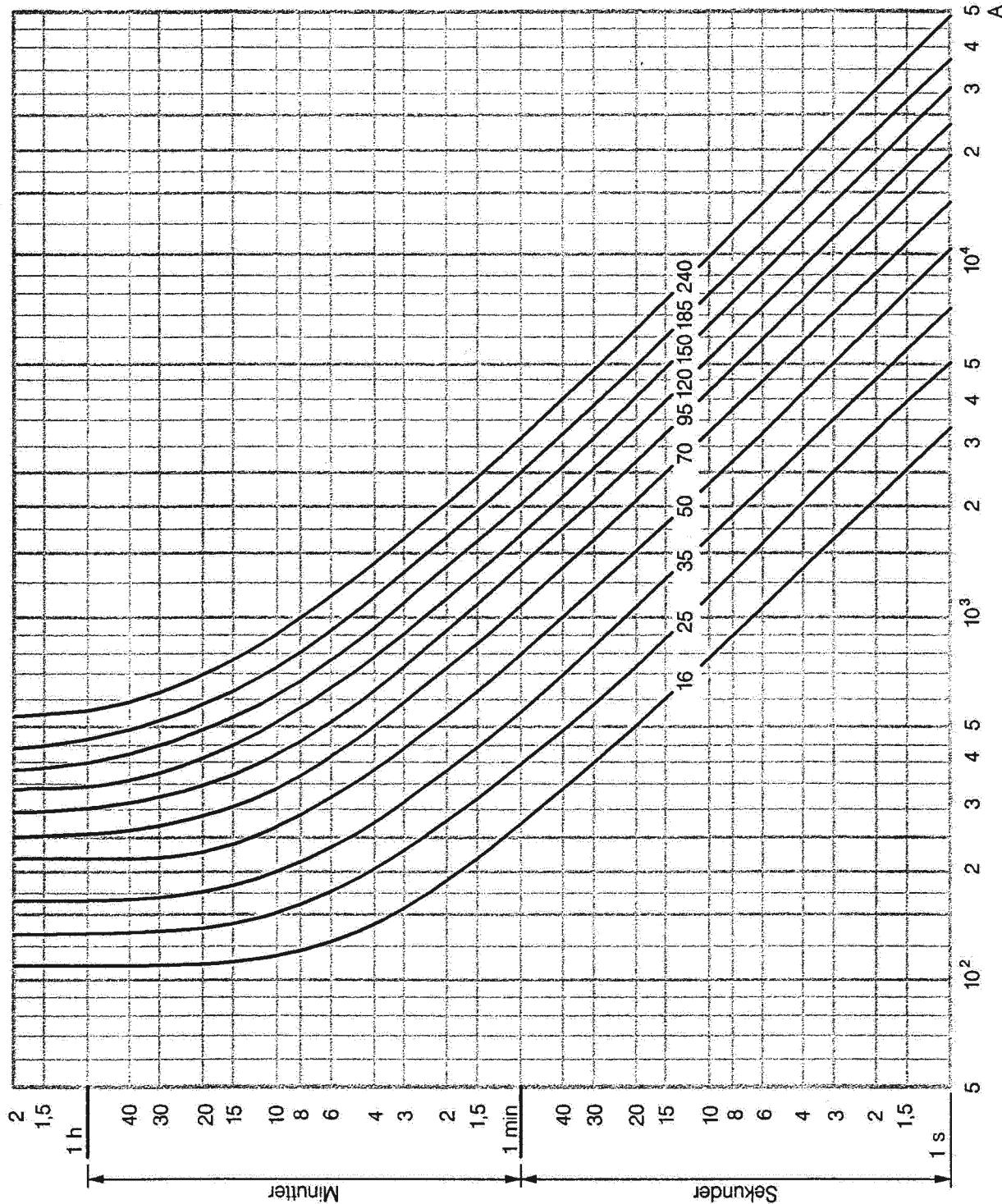
 Tabellene på kurven angir tverrsnitt i mm<sup>2</sup>
**Aluminiumsledder**


**Tabell 31**

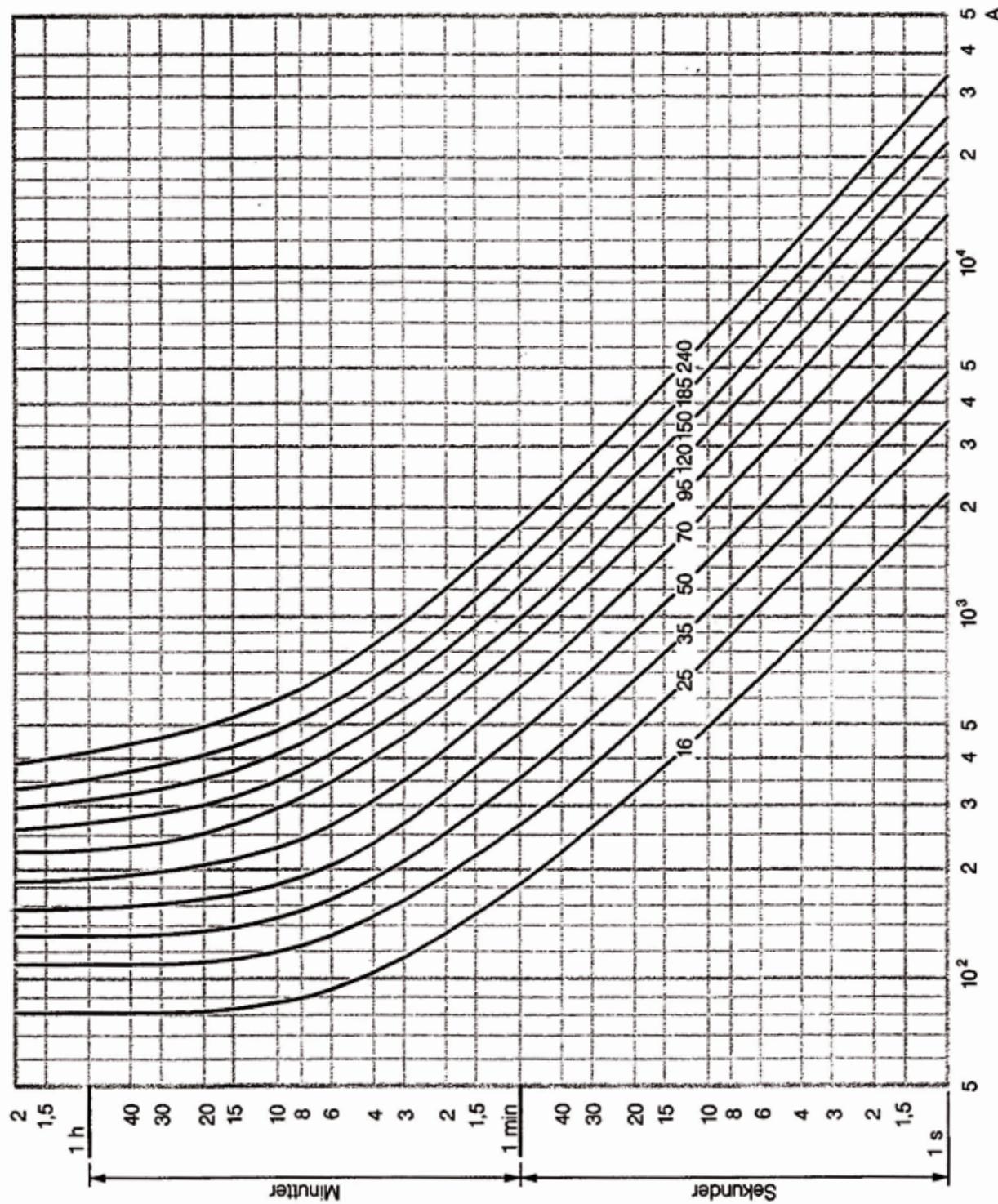
**Belastningstabell-tidskurve for PEX-isolert kabel**

Tabellene på kurven angir tverrsnitt i mm<sup>2</sup>

**Kobberleder**



Tabell 32

**Belastningstabell-tidskurve for PEX-isolert kabel**Tabellene på kurven angir tverrsnitt i mm<sup>2</sup>**Aluminiumsledder**

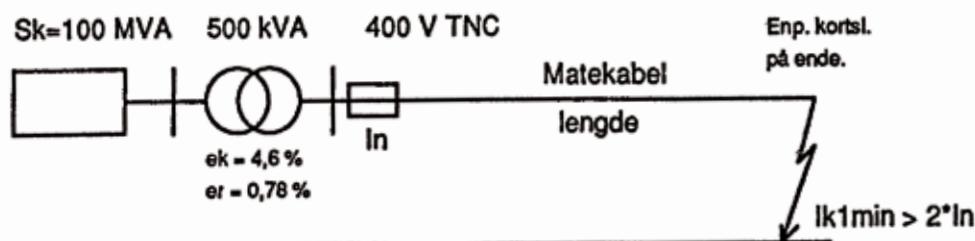
**Tabell 33**

**Maks. sikringsstørrelse ved gitt lengde på matekabel i TN-C nett**

**Utkobling av TN-anlegg:**

«Anleggene skal være slik dimensjonert at strømmen som oppstår ved kortslutning mellom ytterleder og N-leder, PEN-leder, PE-leder eller jordet anleggsdel, for ledninger og kabler i det fri blir minst 2-ganger merkestrømmen for de nærmeste forankoblede sikringer.»

Maks lengder [m] avviker bare noen % ved variasjon i bakenforliggende effekt, trafostørrelse eller-parametre.  
Forutsetninger i beregningene:



Kabeltemperatur: Maks. ledertemperatur i hele kabelen (PVC = 70°C, PEX = 90°C)

Merkestrøm sikring. [A]	25	35	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	
Minste enpolet kortslutningsstrøm	50	70	100	126	160	200	250	320	400	500	630	800	1000	
TFXP [A] Al, 90°C gr.														
4x25	125	1180	835	593	467	370	296	237	x					
4x50	180	2216	1566	1103	876	688	552	441	345	x				
4x95	260			2209	1757	1382	1104	883	689	551	439	x		
4x150	335				2707	2143	1711	1366	1065	850	678	536	x	
4x240	435					3295	2639	2110	1643	1310	1043	823	643	x
TFSP Al/Cu, 90°C														
3x25/10	125	940	667	473	376	294	235	188	x					
3x50/16	180	1574	1138	796	634	500	400	318	249	x				
3x95/35	260			1687	1336	1052	841	672	524	419	335	x		
3x150/50	335				1894	1499	1198	957	746	597	476	377	x	
3x240/70	435					2243	1791	1434	1119	893	712	564	442	x
PFSP Al/Cu, 70°C														
3x16/10	78	804	580	399	321	x								
3x25/10	100	1000	713	506	402	315	251	x						
3x50/16	150	1668	1206	843	671	530	424	338	x					
3x95/35	220			1787	1419	1117	892	713	557	445	x			
3x150/50	290				2011	1589	1270	1015	790	632	505	x		
3x240/70	375					2396	1911	1530	1194	953	760	602	x	
PFSP Cu/Cu, 70°C														
3x10/10	77	821	590	416	328	x								
3x16/16	100	1319	944	662	526	414	330	x						
3x25/16	130	1600	1159	810	645	510	408	323	x					
3x50/25	190	2728	1942	1362	1080	845	678	543	425	x				
3x95/50	285				2610	2063	1630	1303	1041	810	649	518	x	
3x150/70	370					2395	1912	1531	1194	953	761	602	x	
3x240/120	480						2568	2006	1600	1276	1008	790	x	

**Tabell 34**

Dielektriske tap i W/km trefase for PEX-isolert kabel.

Leder tverrsnitt mm <sup>2</sup>	PEX-isolert	
	12 kV	24 kV
10	7	
16	8	
25	9	23
35	10	26
50	11	29
70	12	33
95	15	36
120	15	39
150	16	42
185	18	45
240	20	51
300	21	57

**Tabell 35**

Prøvespenning for 12-24 kV kabler etter installasjon.

Merke- spenning kV	Isolasjon	Likespenning		Vekselspenning		Merke- spenning kV	Isolasjon	Likespenning *)		Vekselspenning	
		kV	tid	kV	tid			kV	tid	kV	tid
Nytt kabelanlegg						Gammelt kabelanlegg					
12	PEX	25	15 min	7 12	24 h 5 min	12	PEX	15	1 min	7 12	24 h 5 min
24	PEX	50	15 min	14 24	24 h 5 min	24	PEX	25	1 min	14 24	24 h 5 min

\*) Det anbefales å unngå likespenning på gamle høyspenningskabler.

## Tabell 36

**Belastningstabell for bevegelig gummikabel (HD 516).**

Kabel tverrsnitt	1-fas	3-fas
0,75 mm <sup>2</sup>	6	6
1 mm <sup>2</sup>	10	10
1,5 mm <sup>2</sup>	16	16
2,5 mm <sup>2</sup>	25	20
4 mm <sup>2</sup>	35	30
6 mm <sup>2</sup>	44	37
10 mm <sup>2</sup>	62	52
16 mm <sup>2</sup>	82	69
25 mm <sup>2</sup>	109	92
35 mm <sup>2</sup>	135	114
50 mm <sup>2</sup>	169	143
70 mm <sup>2</sup>	211	178
95 mm <sup>2</sup>	250	210
120 mm <sup>2</sup>	292	246
150 mm <sup>2</sup>	335	282
185 mm <sup>2</sup>	378	319
240 mm <sup>2</sup>	447	377
300 mm <sup>2</sup>	509	430

Belastninger i amperes

CENELEC HD angir maksimal ledertemperatur til 60°C for H05RN-F og H07RN-F gummikablene.  
Utvendig kappetemperatur skal ikke overstige 50°C.

## Tabell 37

**Belastning etter NEN 62.75**  
**Belastningsforutsetninger.**

Følgende forutsetninger gjelder for tabellene

Lufttemperatur: 25°C  
Jordtemperatur: 15°C  
Jordens termiske resistivitet: 1,0°C m/W

Kabelmaterialenes termiske resistivitet:

Impregnert papir i massekabel	6,0°C m/W
Impregnert jute	6,0
PVC	7,0
PE og PEX	4,0
Naturgummi	5,0

Ledertemperatur:

(°C)	Ved kortslutningsstrøm:	Ved kontinuerlig strøm:	
	Ved kortslutningsstrøm:	Ved kontinuerlig strøm:	
			↓
PVC-isolert kabel 0,6/1 kV	70	150	↓
PVC-isolert kabel 7/12 kV	65	135	
Papirisolert massekabel 0,6/1 kV	80	250	
Papirisolert massekabel 7/12-14/24 kV	65	250	
PEX-isolert kabel 0,6/1-42/72 kV	90	250	
PE-isolert kabel 0,6/1 kV	70	135	
PE-isolert kabel 7/12-42/72 kV	65	150	
PVC-isolert kabel inntil 750 V	70		
Gummi-isolert kabel inntil 750 V	60		

Ved flat forlegning av enleder kabler i gruppe, er det forutsatt minst én kabeldiameters avstand mellom kablene, maksimum 70 mm.

Ved forlegning av enleder kabler i trekantgruppe, er det forutsatt tett forlegning, dvs. ingen avstand mellom de tre kabler.

De angitte temperaturer gjelder selve kabelen. Det må påses at materiell som benyttes (skjøter, endeavslutninger m.v.) tåler de samme temperaturer somkabelen. Hvis ikke dette er tilfelle, skal belastning og kortslutningsstrøm reduseres tilsvarende det materiellet tåler.

**Tabell 38**

**Belastning av kabel. (NEN 62.75) Treleder kabel i jord eller luft.  
Merkespenning 0,6/1 kV.**

Leder tverrsnitt mm <sup>2</sup>		Merkespenning					
		I jord			I luft		
		Papir	PVC	PEX	Papir	PVC	PEX
Kobber	1,5		26			17	
	2,5		35			24	
	4		46			33	
	6		57			43	
	10		77			59	
	16	115	100	125	94	83	105
	25	145	130	160	120	110	135
	35	175	160	190	150	135	170
	50	210	190	230	180	160	210
	70	260	240	280	230	210	260
	95	310	285	330	275	250	310
	120	350	325	380	315	290	360
	150	400	370	430	365	330	410
	185	450	420	480	410	380	470
	240	525	480	555	480	450	550
Aluminium	300	595	550	630	560	510	630
	400	700	650	740	680	610	750
	16	90	78		74	65	
	25	115	100	125	95	85	105
	50	165	150	180	140	125	165
	95	240	220	260	215	195	245
	150	310	290	335	285	260	320
	240	410	375	435	375	350	430

Belastninger i ampere

**Tabell 39**

**Belastning av kabel. (NEN 62.75)**

**Tre enleder kabler i én gruppe forlagt i jord.**

**Merkespenning 0,6/1 kV.**

Leder-tverrsnitt mm <sup>2</sup>		Flat forlegning						Trekantforlegning					
		Åpen kappe/skjerm <sup>1)</sup>			Lukket kappe/skjerm			Åpen kappe/skjerm <sup>1)</sup>			Lukket kappe/skjerm		
		Papir	PVC	PEX	Papir	PVC	PEX	Papir	PVC	PEX	Papir	PVC	PEX
Kobber	16	135	120	150	135	120	150	125	110	130	125	110	130
	25	175	160	195	175	160	190	160	145	175	160	145	170
	35	210	195	230	210	195	220	190	175	215	190	175	215
	50	250	225	270	250	225	255	225	205	250	225	205	245
	70	310	285	335	310	275	310	280	255	305	280	255	295
	95	365	335	400	365	315	355	335	305	360	335	305	350
	120	420	380	450	420	350	400	385	345	405	385	345	395
	150	475	425	500	475	385	440	430	390	455	430	390	440
	185	535	480	570	525	420	480	485	440	515	475	440	495
	240	615	555	645	600	475	540	560	500	585	560	500	565
	300	690	625	730	660	520	595	625	570	665	625	560	630
	400	800	725	855	745	580	645	730	665	770	720	640	720
Aluminium	500	895	810	960	810	630	700	805	745	855	800	700	800
	630	990	895	1070	875	690	750	900	820	945	880	770	880

Belastninger i amper

1) Bruk av åpen kappe/skjerm d.v.s. kappe/skjerm jordet i bare en ende, krever Elektrisitetstilsynets godkjennelse. Denne kolonne benyttes for uskjermet kabel.

**Tabell 40**

**Belastning av kabel. (NEN 62.75)**  
**Tre enlede kabler i én gruppe forlagt i luft.**  
**Merkespenning 0,6/1 kV.**

Leder-tverrsnitt mm <sup>2</sup>		Flat forlegning						Trekantforlegning					
		Åpen kappe/skjerm <sup>1)</sup>			Lukket kappe/skjerm			Åpen kappe/skjerm <sup>1)</sup>			Lukket kappe/skjerm		
		Papir	PVC	PEX	Papir	PVC	PEX	Papir	PVC	PEX	Papir	PVC	PEX
Kobber	16	115	100	130	115	100	130	100	90	110	100	90	110
	25	155	135	170	155	135	170	135	120	150	135	120	150
	35	190	170	210	190	165	205	170	150	185	165	150	185
	50	230	205	260	230	195	240	200	180	225	200	180	225
	70	300	265	335	300	245	300	260	235	290	260	230	285
	95	365	325	405	365	290	355	315	285	355	315	275	350
	120	420	375	470	420	330	400	365	325	410	365	320	400
	150	495	430	545	480	375	450	425	375	480	425	365	460
	185	565	490	625	545	420	500	490	430	545	480	415	525
	240	670	580	735	635	480	570	580	510	645	570	485	625
	300	780	665	845	720	535	630	670	580	735	655	555	695
	400	935	795	1015	855	610	715	805	695	880	790	650	815
Aluminium	500	1065	910	1170	945	680	790	915	785	1010	895	745	915
	630	1210	1060	1340	1050	750	865	1030	900	1150	1005	845	1020

Belastninger i ampere

1) Bruk av åpen kappe/skjerm d.v.s. kappe/skjerm jordet i bare en ende, krever Elektrisitetstilsynets godkjennelse. Denne kolonne benyttes for uskjernet kabel, f.eks. TXXP 1kV.

**Tabell 41**

**Belastning og sikring av kabel. (NEN 62.75)**  
**En enkel treleder hengeledning type EX og EXW.**  
**Merkespenning 0,6/1 kV. Aluminiumledere**

Omgivelsestemperatur: 25°C Ledertemperatur: 70°C	Leder-tverrsnitt mm <sup>2</sup>	Belastning A	Sikring A
	25	115	80
	50	180	125
	95	280	200
	150	370	300

**Tabell 42**
**Belastning av kabel. (NEN 62.75)**  
**En enkel signalkabel i luft.**

Belastningsverdier i ampère. Lederne forutsettes likt belastes. Belastningen er bare avhengig av antall belastede ledere i kabelen og tilnærmet uavhengig av det totale antall ledere i kabelen.

Antall belastede ledere	Ledertverrsnitt mm <sup>2</sup>		
	0,75	1,5	2,5
Inntill 4	10	17	20
“ 8	8	13	16
“ 12	7	11	13
“ 16	6	10	12
“ 20	6	9	11
“ 24	5	8	11
“ 28	5	8	10
“ 32	5	7	9
“ 40	4	7	9
“ 60	4	6	8
“ 90	3	5	7

**Tabell 43**
**Belastning av kabel. (NEN 62.75)**  
**En enkel treleder kabel i jord eller luft. Merkespenning 7/12 og 14/24 kV.**

Leder tverrsnitt mm <sup>2</sup>		Merkespenning 7/12 – 14/24 kV					
		I jord			I luft		
		Papir	PVC	PEX	Papir	PVC	PEX
Kobber	25	120	115	145	105	97	135
	35	150	140	175	135	120	165
	50	175	165	215	160	140	205
	70	220	210	260	200	175	250
	95	260	250	310	240	215	295
	120	300	290	350	275	245	340
	150	335	330	400	315	275	390
	185	380	370	440	360	320	435
	240	440	420	510	415	370	515
	300	495	475	580	470	425	590
Aluminium	400	580	555	680	575	500	700
	25	94	90	115	85	75	110
	50	140	130	170	125	110	160
	95	205	195	240	190	170	230
	150	265	255	310	245	215	305
	240	345	330	400	325	290	400

Belastninger i ampere

**Tabell 44**
**Belastning av kabel. (NEN 62.75).**
**Tre enlede kabler i én gruppe forlagt i jord.**
**Merkespenning 7/12 og 14/24 kV.**

Leder-tverrsnitt mm <sup>2</sup>		Flat forlegning						Trekantforlegning					
		Åpen kappe/skjerm <sup>1)</sup>			Lukket kappe/skjerm			Åpen kappe/skjerm <sup>1)</sup>			Lukket kappe/skjerm		
		Papir	PVC	PEX	Papir	PVC	PEX	Papir	PVC	PEX	Papir	PVC	PEX
Kobber	25	150	140	185	150	140	185	140	130	170	140	130	170
	35	180	170	225	180	170	220	170	160	205	170	160	205
	50	210	200	265	210	200	260	200	185	240	200	185	240
	70	265	255	330	265	255	315	250	235	300	250	235	300
	95	315	300	390	315	295	370	295	275	350	295	275	350
	120	360	340	440	360	335	415	335	315	400	335	310	395
	150	410	385	500	410	375	455	380	360	455	380	350	450
	185	460	435	560	460	405	500	430	405	510	430	390	500
	240	530	500	640	520	460	570	490	465	590	490	450	570
	300	600	565	730	570	490	625	560	525	670	550	510	640
	400	700	655	850	650	545	695	650	610	760	640	590	735
	500	785	740	955	700	590	760	725	680	855	700	650	815
	630	870	815	1060	760	645	825	800	750	950	780	710	890
Aluminium	25	115	110	145	115	110	145	105	100	130	105	100	130
	50	165	155	205	165	155	200	155	145	185	155	145	185
	95	250	230	300	250	230	295	230	215	280	230	215	275
	150	320	300	390	325	290	370	300	280	360	300	280	355
	240	420	390	510	410	380	465	385	365	465	385	365	455
	400	550	515	670	530	450	590	515	480	615	510	480	600
	630	700	655	850	640	5400	715	650	610	780	640	600	745

Belastninger i amperes.

1) Bruk av åpen kappe/skjerm d.v.s. kappe/skjerm jordet i bare en ende, krever Elektrisitetstilsynets godkjenning.

**Tabell 45**

**Belastning av kabel. (NEN 62.75).**

**Tre enleder kabler i én gruppe forlagt i luft.**

**Merkspenning 7/12 og 14/24 kV.**

Leder-tverrsnitt mm <sup>2</sup>		Flat forlegning						Trekantforlegning					
		Åpen kappe/skjerm <sup>1)</sup>			Lukket kappe/skjerm			Åpen kappe/skjerm <sup>1)</sup>			Lukket kappe/skjerm		
		Papir	PVC	PEX	Papir	PVC	PEX	Papir	PVC	PEX	Papir	PVC	PEX
Kobber	25	130	125	180	130	125	175	120	115	160	120	115	160
	35	165	155	220	165	155	215	145	140	200	145	140	195
	50	200	185	265	200	180	255	175	170	255	175	170	250
	70	255	240	340	250	235	320	225	215	300	225	215	295
	95	310	290	410	300	280	380	270	260	360	270	260	355
	120	360	340	470	350	320	430	315	305	420	315	305	410
	150	415	390	520	405	365	480	360	350	480	360	345	465
	185	475	445	615	455	405	535	415	400	545	415	390	535
	240	560	525	725	535	460	615	490	465	640	480	455	620
	300	650	605	820	600	505	685	570	535	730	560	520	705
	400	770	725	1000	700	575	785	680	635	870	670	610	835
	500	880	830	1150	780	640	870	770	725	985	755	695	940
Aluminium	630	1000	950	1300	860	695	960	870	840	1115	845	790	1035
	25	205	97	140	105	97	135	90	90	125	90	90	125
	50	155	145	210	155	145	205	140	135	195	140	135	195
	95	240	225	320	240	220	310	215	205	285	215	205	280
	150	325	305	425	320	285	395	285	275	380	280	275	370
	240	440	410	570	420	375	515	385	360	505	385	360	490
	400	610	575	790	575	495	680	540	505	695	530	505	680
	630	810	770	1040	730	630	840	705	690	915	695	650	880

Belastninger i ampere.

1) Bruk av åpen kappe/skjerm d.v.s. kappe/skjerm jordet i bare en ende, krever Elektrisitetstilsynets godkjennelse.

**Tabell 46**
**KORREKSJONSAKTORE (NEN 62.75)  
FOR FORLEGGING I JORD**
**Korreksjon for forleggingsdybde.**

Forleggingsdybde m	Merkespenning kV	
	0,6/1	7/12-14/24
0,50-0,70	1,00	1,00
0,71-0,90	0,97	0,99
0,91-1,10	0,95	0,98
1,11-1,30	0,93	0,96
1,31-1,50	0,92	0,95

**Korreksjon for jordtemperatur**

Leder- temperatur °C	Jordtemperatur °C							
	÷ 5	0	5	10	15	20	25	30
90	1,13	1,10	1,06	1,03	1,00	0,96	0,93	0,89
80	1,14	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88
70	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85
65	1,19	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84

**Korreksjon for Jordens termiske resistivitet.**

Merkespenning kV	Ledertverrsnitt mm <sup>2</sup>	Term. resistivitet °C · m/W						
		0,7	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
0,6/1	≤ 25	1,11	1,00	0,94	0,87	0,78	0,72	0,67
	35-95	1,13	1,00	0,93	0,86	0,76	0,70	0,64
	120-500	1,14	1,00	0,92	0,85	0,73	0,69	0,63
7/12	≤ 25	1,09	1,00	0,95	0,85	0,80	0,74	0,69
	35-94	1,11	1,00	0,94	0,87	0,78	0,72	0,66
	120-500	1,12	1,00	0,93	0,86	0,77	0,70	0,65
14/24	≤ 25	1,08	1,00	0,96	0,90	0,81	0,75	0,70
	35-95	1,10	1,00	0,95	0,89	0,79	0,73	0,67
	120-500	1,11	1,00	0,94	0,88	0,78	0,72	0,66
21/36-42/72	≤ 95	1,08	1,00	0,95	0,90	0,82	0,76	0,71
	120-500	1,09	1,00	0,95	0,89	0,80	0,74	0,69

**Korreksjon for forlegging ved siden av hverandre.**

Innbyrdes avstand	Antall*						
	2	3	4	5	6	8	10
Tett forlegging	0,79	0,69	0,63	0,58	0,55	0,50	0,46
70 mm	0,85	0,75	0,68	0,64	0,60	0,56	0,53
250 mm	0,87	0,79	0,75	0,72	0,69	0,66	0,64

\* Med antall forstås antall treleder kabler eller trekantgrupper av enleder kabler.

Innbyrdes avstand	Antall*						
	6	9	12	15	18	24	30
70 mm	0,85	0,75	0,68	0,64	0,60	0,56	0,53

\* Med antall forstås antall enledere forlagt i flat forlegning.

## Tabell 47

### KORREKSJONSAKTORENE (NEN 62.75) FOR FORLEGGING I RØR ELLER KANAL

#### Korreksjon for en enkelt kabel i rør.

Forlegningsmåte	
I rør i jord	0,80
I rør/kanal i bygning	0,72

#### Korreksjon for kabler i rør ved siden av hverandre.

Antall rør ved siden av hverandre							
2	3	4	5	6	8	10	
0,87	0,78	0,73	0,69	0,67	0,63	0,60	

#### Korreksjon for lufttemperatur.

Ledertemperatur °C	Lufttemperatur °C							
	10	15	20	25	30	35	40	45
90	1,12	1,08	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80
80	1,14	1,09	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77
70	1,18	1,12	1,06	1,00	0,93	0,86	0,79	0,71
65	1,20	1,14	1,07	1,00	0,93	0,85	0,77	0,68
60	1,22	1,16	1,07	1,00	0,92	0,85	0,75	0,65

Belastningsevnen baseres på forlegging direkte i jord.

Ved forlegging av flere rør ved siden av hverandre, benyttes korreksjonsfaktorene i tabell for kabler i rør i tillegg til korreksjonsfaktorene i tabell for kabler i rør ved siden av hverandre. Det forutsettes tett forlegging.

Eksempel: Paprisolert kabel 7/12 kV, 3 x 150 mm<sup>2</sup>, Al. 5 kabler forlagt i rør i jord.

Belastningsevne i h.h.t. tabell 37:  
265 A.

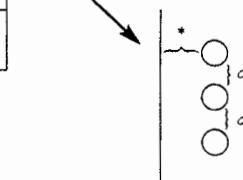
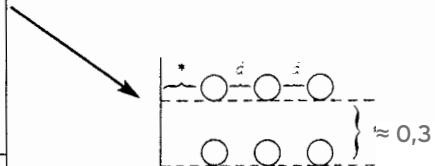
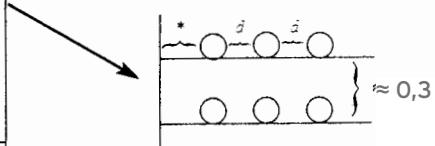
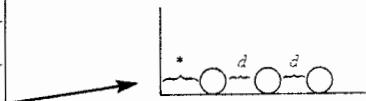
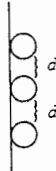
Korreksjonsfaktor for rør: 0,80.  
Korreksjonsfaktor for 5 rør ved siden av hverandre: 0,69.  
Belastningsevne for 5 kabler i rør ved siden av hverandre i jord:  
 $265 \cdot 0,80 \cdot 0,69 \approx 146$  A.

**Tabell 48**
**KORREKSJONSAKTORENE (NEN 62.75) FOR FORLEGGING  
VED SIDEN AV HVERANDRE I LUFT**
**Korreksjon for flat, åpen forlegging.**

Forleggingsmåte	Kabeltype: Enleder			Kabeltype: Treleder				
	Antall kabler**			Antall kabler**				
	1	2	3	1	2	3	6	9
På gulv	0,92	0,89	0,88	0,95	0,90	0,88	0,85	0,84
På tette hyller								
1 hylle	0,92	0,89	0,88	0,95	0,90	0,88	0,85	0,84
2 hyller	0,87	0,84	0,83	0,90	0,85	0,83	0,81	0,80
3 hyller	0,84	0,82	0,81	0,88	0,83	0,81	0,79	0,78
6 hyller	0,82	0,80	0,79	0,86	0,81	0,79	0,77	0,76
På åpne hyller								
1 hylle	1,00	0,97	0,96	1,00	0,98	0,96	0,93	0,92
2 hyller	0,97	0,94	0,93	1,00	0,94	0,92	0,89	0,88
3 hyller	0,96	0,93	0,92	1,00	0,94	0,92	0,89	0,88
6 hyller	0,94	0,91	0,90	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86
Over hverandre på vegg								
Åpen mot vegg	0,94	0,91	0,89	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86
Tett mot vegg	0,89	0,86	0,84					

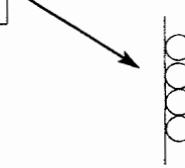
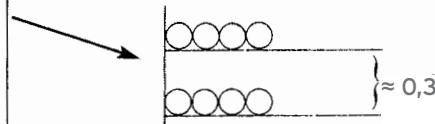
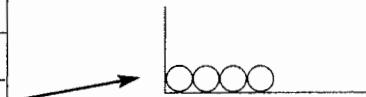
d = minimum kabeldiameter avstand mellom kablene.

\* = minimum 20 mm avstand til vegg

\*\* = Med antall kabler forstår antall treledekkabler  
eller grupper av enledekkabler

**Korreksjon for flat, tett forlegging.**

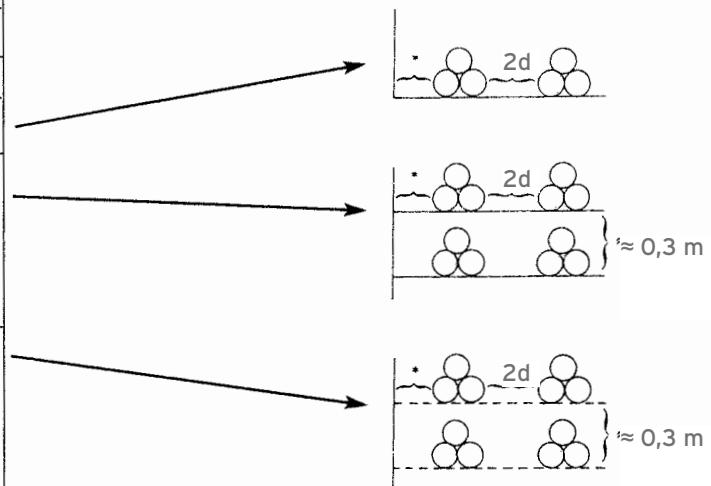
Forleggingsmåte	Kabeltype treleder				
	Antall kabler				
	1	2	3	6	9
På gulv	0,90	0,84	0,80	0,75	0,73
På hyller*					
1 hylle	0,95	0,84	0,80	0,75	0,73
2 hyller	0,95	0,80	0,76	0,71	0,69
3 hyller	0,95	0,78	0,74	0,70	0,68
6 hyller	0,95	0,76	0,72	0,68	0,66
Over hverandre på vegg	0,95	0,78	0,73	0,68	0,66

\* Ved tett forlegning på hyller er korreksjonsfaktorene de samme for åpne og tette hyller.



### Korreksjon for trekantforlegging.

		Kabeltype: Enleder		
Forleggingsmåte		Antall grupper		
		1	2	3
På gulv	0,95	0,90	0,88	
På tette hyller 1 hylle	0,95	0,90	0,88	
2 hyller	0,90	0,85	0,83	
3 hyller	0,88	0,83	0,81	
6 hyller	0,86	0,81	0,79	
På åpne hyller 1 hylle	1,00	0,98	0,96	
2 hyller	1,00	0,95	0,93	
3 hyller	1,00	0,94	0,92	
6 hyller	1,00	0,93	0,90	



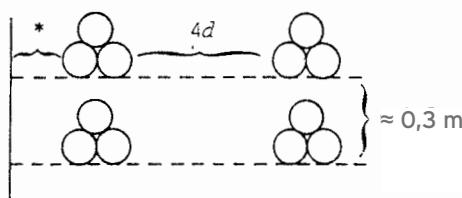
2d = minimum to kabeldiametre avstand mellom gruppene.

\* = minimum 20 mm avstand til vegg.

### Forlegging uten korreksjon.

#### Enleder kabler i trekantforlegning på åpne hyller.

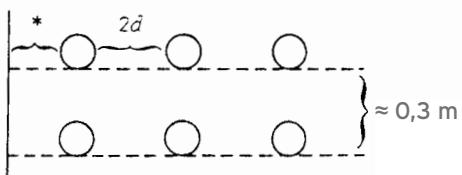
Minimum fire kabeldiametre avstand mellom gruppene.



#### Treleder kabler i flat forlegging på åpne hyller.

Minimum to kabeldiametre avstand mellom kablene.

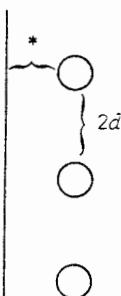
Antall kabler ved siden av hverandre er likegyldig.



#### Treleder kabler på vegg.

Minimum to kabeldiametre avstand mellom kablene.

Antall kabler over hverandre er likegyldig.



### Korreksjon for lufttemperatur.

Leder-temperatur °C	Lufttemperatur °C										
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
90	1,12	1,08	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	-	-	-
80	1,14	1,09	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	-	-	-
70	1,18	1,12	1,06	1,00	0,93	0,86	0,79	0,71	0,61	0,50	0,35
65	1,20	1,14	1,07	1,00	0,93	0,85	0,77	0,68	-	-	-
60	1,22	1,16	1,07	1,00	0,92	0,85	0,75	0,65	-	-	-

**Tabell 49**
**Veiledning**

Hvis det skulle vise seg at det er uoverensstemmelse mellom våre data og NEK, er det ALLTID NEK som er den gjeldende forskrift.

**Strømføringsevne etter NEK 400.**
**Belastringsforutsetninger**

Følgende forutsetninger gjelder for tabellene

Lufttemperatur: 30°C

Jordtemperatur: 20°C

Jordens termiske resistivitet: 2,5°C m/W

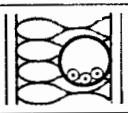
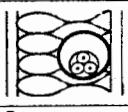
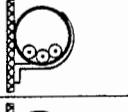
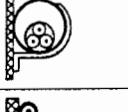
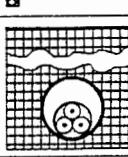
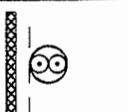
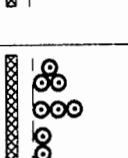
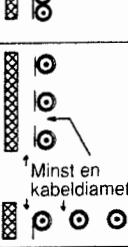
Høyeste tillatte ledertemperatur:

PVC-isolasjon 70°C (brukes også for gummiisol.)

PEX-isolasjon 90°C

EPR-isolasjon 90°C

**Forlegningsmåte (referansemetode for installasjon)**

1	2
	A1 Isolerte ledere i rør i en termisk isolert vegg
	A2 Flerlederkabel i rør i en termisk isolert vegg
	B1 Isolerte ledere i rør på en trevegg
	B2 Flerlederkabel i rør på en trevegg
	C En- eller flerlederkabel montert på en trevegg
	D Flerlederkabel i en kabelkanal i jord
	E Flerlederkabel i luft
	F Enlederkabler i luft som berører hverandre
	G Enlederkabler i luft med avstand mellom kablene  Minst en kabeldiameter

## Tabell 50

Strømføringsevne, NEK 400, forlegningsmåtene A, B, C, E og F.

**TABELL A52-1**  
Strømføringsevner i amper

Forlegnings-måte jfr. tabell 52-B1	Antall strømførende ledere/isolasjonsmateriale											
	A1		Tre PVC	To PVC		Tre PEX	To PEX					
A2	Tre PVC	To PVC		Tre PEX	To PEX							
B1				Tre PVC	To PVC		Tre PEX		To PEX			
B2			Tre PVC	To PVC		Tre PEX	To PEX					
C					Tre PVC		To PVC	Tre PEX		To PEX		
E						Tre PVC		To PVC	Tre PEX		To PEX	
F							Tre PVC		To PVC	Tre PEX		To PEX
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Kobber</b>												
1,5	13	13,5	14,5	15,5	17	18,5	19,5	22	23	24	26	-
2,5	17,5	18	19,5	21	23	25	27	30	31	33	36	-
4	23	24	26	28	31	34	36	40	42	45	49	-
6	29	31	34	36	40	43	46	51	54	58	63	-
10	39	42	46	50	54	60	63	70	75	80	86	-
16	52	56	61	68	73	80	85	94	100	107	115	-
25	68	73	80	89	95	101	110	119	127	135	149	161
35	-	-	-	110	117	126	137	147	158	169	185	200
50	-	-	-	134	141	153	167	179	192	207	225	242
70	-	-	-	171	179	196	213	229	246	268	289	310
95	-	-	-	207	216	238	258	278	298	328	352	377
120	-	-	-	239	249	276	299	322	346	382	410	437
150	-	-	-	-	285	318	344	371	395	441	473	504
185	-	-	-	-	324	362	392	424	450	506	542	575
240	-	-	-	-	380	424	461	500	538	599	641	679
<b>Aluminium</b>												
16	41	43	48	53	58	61	66	73	77	84	91	-
25	53	57	63	70	73	78	83	90	97	101	108	121
35	-	-	-	86	90	96	103	112	120	126	135	150
50	-	-	-	104	110	117	125	136	146	154	164	184
70	-	-	-	133	140	150	160	174	187	198	211	237
95	-	-	-	161	170	183	195	211	227	241	257	289
120	-	-	-	186	197	212	226	245	263	280	300	337
150	-	-	-	-	226	245	261	283	304	324	346	389
185	-	-	-	-	256	280	298	323	347	371	397	447
240	-	-	-	-	300	330	352	382	409	439	470	530

Tabellene 52-C1 til 52-C12 må sjekkes for å finne hvilke ledertverrsnitt som kan anvendes innen de respektive forlegningsmåter.

**Tabell 51**

Strømføringsevne, NEK 400, forlegningsmåtene D.

**TABELL A52-2**  
**Strømføringsevner i ampere**

Forlegnings- måte tabell 52-B1	Tverrsnitt mm <sup>2</sup>	Antall belastede ledere og isolasjonsmateriale			
		To PVC	Tre PVC	To PEX	Tre PEX
D	<b>Kobber</b>				
	1,5	22	18	26	22
	2,5	29	24	34	29
	4	38	31	44	37
	6	47	39	56	46
	10	63	52	73	61
	16	81	67	95	79
	25	104	86	121	101
	35	125	103	146	122
	50	148	122	173	144
	70	183	151	213	178
	95	216	179	252	211
	120	246	203	287	240
	150	278	230	324	271
D	185	312	258	363	304
	240	361	297	419	351
	300	408	336	474	396
	<b>Aluminium</b>				
	16	62	52	73	61
	25	80	66	93	78
	35	96	80	112	94
	50	113	94	132	112
	70	140	117	163	138
	95	166	138	193	164
	120	189	157	220	186
	150	213	178	249	210
	185	240	200	279	236
	240	277	230	322	272
	300	313	260	364	208

## Tabell 52

Korreksjonsfaktorer for temperatur og forlegning, NEK 400.

### Temperatur

Omgivelses-temp. °C	Luft		Jord	
	PVC	PEX	PVC	PEX
10	1,22	1,15	1,10	1,07
15	1,17	1,12	1,05	1,04
20	1,12	1,08	1,00	1,00
25	1,06	1,04	0,95	0,96
35	0,94	0,96	0,84	0,89
40	0,87	0,91	0,77	0,85
45	0,79	0,87	0,71	0,80
50	0,71	0,82	0,63	0,76
55	0,61	0,76	0,55	0,71
60	0,50	0,71	0,45	0,65
65		0,65		0,60
70		0,58		0,53
75		0,50		0,46
80		0,41		0,38

(Tabell 52 D1 og D2)

### Forlegning

(Anvendes sammen med strømføringsevner i tabell A52-1)

Nr.	Arrangement	Antall kurser eller flerledekkabler								
		1	2	3	4	6	9	12	16	20
1	Innstøpt eller innkapslet	1,00	0,80	0,70	0,70	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40
2	Enkelt lag på vegg, gulv eller påuperforert bro	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	-	-	-
3	Enkelt lag festet direkte under en trehimling/tak	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	-	-	-
4	Enkelt lag på en horisontal eller vertikal perforert bro	1,00	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70	-	-	-
5	Enkelt lag på kabelstige, knekter eller knagger etc.	1,00	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	-	-	-

