

Belastning av kabler i distribusjonsnettet

Norsk elektroteknisk spesifikasjon



© NEK har opphavsrett til denne publikasjonen.

Ingen del av materialet skal reproduseres uten skriftlig tillatelse fra NEK.

INNHold

NASJONALT FORORD	5
INNLEDNING	6
Viktige begrep	6
1 Omfang	7
2 Normative referanser	7
3 Termer, definisjoner og symboler	7
4 Belastningsforutsetninger	9
5 Belastningstabeller	10
6 Korreksjonsfaktorer	14
6.1 Korreksjon for forlegning i jord	14
6.2 Korreksjon for lufttemperatur	15
6.3 Korreksjon for forlegning i luft	16
6.3.1 Flat forlegning med avstand mellom kablene	16
6.3.2 Trekant og flat tett forlegning	17
6.3.3 Forlegning uten korreksjon	17
7 Kommentarer til tabellene	18
7.1 Jordtemperatur	18
7.2 Massers termiske resistivitet	18
7.3 Uttørring av jorden	19
7.4 Forlegning av kabler ved siden av hverandre	19
7.5 Støpte kabelkanaler	19
7.6 Varierende forlegningsforhold	20
7.7 Solstråling	20
7.8 Parallellkobling av kabler	20
7.9 Anlegg med en-leder kabel	22
7.10 Beregning av komplekse forlegninger og/eller med dynamisk belastning	22
Figur 1 – Avstand mellom kabler eller grupper	15
Figur 2 – En-leder kabler i trekantforlegning på åpne hyller	17
Figur 3 – Tre-leder kabler i flat forlegning på åpne hyller	17
Figur 4 – Tre tre-leder kabler på vegg	18
Figur 5 – To parallellkoblede kabler i et trefasesystem	21
Figur 6 – Tre parallellkoblede kabler i et trefasesystem	21
Figur 7 – Fire parallellkoblede kabler i et trefasesystem	22
Figur 8 – Kabelgrøft – ledningssone	23
Figur 9 – Kabelgrøft – gjenfyllingssone	23
Tabell 1 – Maksimalt tillatt temperatur for ulike driftssituasjoner	10
Tabell 2 – Nominell strømføringssevne for én PVC flerlederkabel – Merkespenning 0,6/1(1,2) kV	10
Tabell 3 – Nominell strømføringssevne for én PEX flerlederkabel – Merkespenning 0,6/1(1,2) kV	11

Tabell 4 – Nominell strømføringsevne for én tre-lederkabel – Merkespenning 6/10 (12) kV til 18/30 (36) kV	11
Tabell 5 – Tre en-leder kabler i én gruppe forlagt i jord. Merkespenning 6/10 (12) kV til 18/30 (36) kV	12
Tabell 6 – Belastning av kabel, tre en-leder kabler i én gruppe forlagt i luft. Merkespenning 6/10 (12) kV til 18/30 (36) kV	13
Tabell 7 – Én enkel fler-leder hengekabel type EX og EXW. Merkespenning 0,6/1 kV (Aluminiumsledere)	13
Tabell 8 – Korreksjon for forlegningsdybde	14
Tabell 9 – Korreksjon for jordtemperatur	14
Tabell 10 – Korreksjon for jordens termiske resistivitet	14
Tabell 11 – Korreksjon for forlegning av like kabler ved siden av hverandre	15
Tabell 12 – Korreksjon for kabler i plastrør i jord eller betong	15
Tabell 13 – Korreksjonsfaktor for lufttemperatur	16
Tabell 14 – Korreksjonsfaktorer for flat forlegning i luft med avstand mellom kablene	16
Tabell 15 – Korreksjon for trekant og flat tett forlegning i luft	17
Tabell 16 – Geografiske variasjoner for jordtemperatur	18
Tabell 17 – Termisk resistivitet for jord	18

NORSK ELEKTROTEKNISK KOMITE

Belastning av kabler i distribusjonsnettet

NASJONALT FORORD

- 1) Norsk Elektroteknisk Komite (NEK) er det norske medlemmet i IEC (International Electrotechnical Commission) og CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization). NEKs formål er å fremme internasjonalt, europeisk og nasjonalt samarbeid knyttet til standardisering. NEK publiserer standarder og andre teknisk relaterte dokumenter utviklet av NEK, IEC og/eller Cenelec, heretter kalt NEK-publikasjoner. Enhver person med interesse og kompetanse kan delta i utvikling av NEK-publikasjoner. Myndigheter, industri og ikke-offentlige organisasjoner kan delta.
- 2) De formelle beslutningene i NEK som gjelder tekniske saker er basert på, så langt det er praktisk mulig, konsensus mellom interessentene organisert gjennom NEKs tekniske komiteer
- 3) Denne publikasjonen har krav, anbefalinger og/eller informasjon for nasjonalt bruk. Selv om det gjøres mye for å sikre at innholdet i NEK-publikasjoner er korrekt, kan NEK ikke holdes ansvarlig for måten de benyttes på, eventuelle feil, eller feiltolkninger gjort av brukeren.
- 4) For å bidra til internasjonal harmonisering brukes EN IEC-publikasjoner når det lar seg gjøre. Eventuelle forskjeller mellom EN IEC-publikasjoner og NEK-publikasjoner som NEK er gjort kjent med, synliggjøres for brukeren.
- 5) NEK utfører ikke samsvarsvurderinger. Selvstendige sertifiseringsorganisasjoner utfører slike tjenester. NEK er ikke ansvarlig for tjenester utført av tredjepart, eksempelvis et sertifiseringsselskap.
- 6) Alle brukere bør forsikre seg om at de har anskaffet den korrekte versjonen av denne publikasjonen.
- 7) NEK eller dets ledere, ansatte, innleide, hjelpere, individuelle eksperter og medlemmer av standardiseringsgrupper, er ikke ansvarlig for personskade, materiellskade eller annen skade av noe slag, direkte eller indirekte, eller for kostnader (inkludert saksmkostninger) og utlegg relatert til, bruk av, eller referanse til, denne NEK-publikasjonen eller andre NEK-publikasjoner.
- 8) Merk at eventuelle normative referanser referert i denne publikasjonen er nødvendige for riktig forståelse av denne publikasjonen.
- 9) Merk muligheten for at elementer i denne NEK-publikasjonen kan være gjenstand for patentrettigheter. NEK skal ikke holdes ansvarlig for å identifisere patentrettigheter.

Dette dokumentet er forankret i standardiseringskomité NEK/NK 20.

Denne utgave 1 av dette dokumentet erstatter NEN 62.75:1975 og utgjør en teknisk revisjon.

Eventuelle tolkninger og rettelser til dette dokumentet kan bli publisert på www.nek.no.

Vesentlige endringer i forhold til forrige utgave:

- a) 12 kV til 36 kV PVC, papir og oljeisolert kabel er tatt ut av omfanget
- b) Verdier oppgis for 65°C fordi dette er ansett å representere en temperatur der massene ikke tørker ut.
- c) Innholdet er tilpasset tilsvarende spesifikasjoner i Sverige for å unngå unødvendige forskjeller.

INNLEDNING

Dette dokumentet var opprinnelig basert på resultatet fra et nordisk arbeidsutvalg med representanter fra Danmark, Finland, Norge og Sverige, som resulterte i NEN 62.75 (1975). NEK IEC 60287 er benyttet som grunnlag for beregningsmetodene.

Hensikten med dette dokumentet er å fastsette verdier for den strømmen som kraftkabler kan belastes med under gitte forutsetninger. Det er videre angitt hvordan verdiene skal korrigeres når forutsetningene endrer seg. Ved hjelp av tabellverdier og korreksjonsfaktorer er det mulig å finne frem til hensiktsmessige kabeltyper og tverrsnitt, slik at isolasjonen ikke aldres for hurtig på grunn av for høye temperaturer.

Utgangspunktet for å fastsette omfanget beskrevet i Avsnitt 1, er kabler i distribusjonsnett som eies av netteier. Selv om dette inkluderer PVC kabel for 1 kV har det ikke vært en del av arbeidet å se på kabler i bygninger som ellers er godt dekket av NEK 400. Fordi det er en viss overlapp mellom dette dokumentet og NEK 400 for lavspenning, er det verdt å merke seg at belastningstabellene i NEK 400 er basert på 30 °C omgivelsestemperatur og ikke 25 °C som i dette dokumentet.

Viktige begrep

Noen uttrykk og begreper er avgjørende for riktig forståelse av innholdet:

Normativ tekst:	Tekst som inneholder de krav som gjelder ved erklæring om samsvar med standarden.
Normative referanser	Dette er dokumenter som det refereres til i teksten og som er uunnværlige for å ha tilgang til alle gjeldende krav.
MERKNAD	Tekst som gir tilleggsinformasjon til det aktuelle kravet, men som ikke inneholder krav. En merknad kan inneholde sitat fra et krav om kildehenvisningen tas med og at merknaden er formulert informativt om kravet.

Kravene i dette dokumentet er gjennomgående formulert på en bestemt måte med tanke på å øke forståelsen for hva de forskjellige kravene innebærer, og hvilken tyngde bestemte ord har. «ISO/IEC Directives 2» beskriver dette nærmere, men deler av dette er gjengitt som følger:

Skal	Krav formulert med «skal» er et krav som ikke kan fravikes. Det kan forekomme betingelser knyttet til kravet, men om disse betingelsene er til stede, er det ikke mulighet for fravik.
Bør	Krav formulert med «bør» innebærer en sterk anbefaling. Den kan fravikes, men underforstått skal det sterke faglige grunner til for ikke å følge anbefalingen. Formuleringen «bør» leses som et krav om etterlevelse, men ikke nødvendigvis for alle situasjoner.
Kan	Krav formulert med «kan» innebærer en mulighet, eller en akseptert løsning.

NORSK ELEKTROTEKNISK KOMITE

Kraftkabler – Belastningstabeller

1 Omfang

Dette dokumentet omhandler belastning av kraftkabler ved de mest vanlige forlegningsmetoder i netteiers distribusjonsnett, og omfatter følgende:

- PVC-isolert kabel 1 kV
- PEX-isolert kabel 1 til 36 kV.

Dette dokumentet gjelder for driftsfrekvent vekselstrøm 50 Hz ved trefasedrift.

Dette dokumentet gjelder ikke for installasjoner for som er ment dekket av NEK 400, eksempelvis bygningsinstallasjoner.

Dimensjonering for feilstrømmer tas ikke hensyn til i dette dokumentet.

2 Normative referanser

Det er ingen normative referanser i dette dokumentet. Se bibliografi for øvrige referanser.

3 Termer, definisjoner og symboler

3.1 Termer og definisjoner

3.1.1

leder*conductor*

del av kabel som er egnet til å føre elektrisk strøm

[KILDE: IEV 461-01-01]

3.1.2

isolert leder*insulated conductor / core*

sammenstilling av en leder med tilhørende isolasjon.

[KILDE: IEV 461-04-04, endret]

3.1.3

isolert kabel*insulated cable*

sammenstilling av:

- én eller flere isolerte ledere,
- eventuelt individuelle kapper
- eventuelt beskyttelse av sammenstillingen
- eventuelt annen ytre kappe

MERKNAD 1 Uisolerte ledere kan også være en del av en kabel.

[KILDE: IEV 461-06-01, endret]

3.1.4

linje*line*

enhet som består av ledere, isolasjon og tilbehør for å overføre elektrisk energi mellom to punkter.

EKSEMPEL to-leder line, polyfase-line, koaksial line, bølgeleder

[KILDE: IEV 151-12-27]

3.1.5

luftlinje / hengekabel

overhead line

en elektrisk linje som holdes oppe over bakken ved hjelp av isolatorer og annet tilbehør

MERKNAD 1 Noen luftlinjer kan også være isolerte.

[KILDE: IEV 466-01-02, modifisert]

3.1.6

kappe

sheath/jacket

uniform og kontinuerlig tubeformet lag av metallisk eller ikke-metallisk materiale, vanligvis ekstrudert.

[KILDE: IEV 461-05-03]

3.1.7

åpen kappe/skjerm

open sheet/screen

metallkapper, konsentriske ledere eller skjermmer forbundet med hverandre og til jord, kun i den ene enden av kabelanlegget.

3.1.8

lukket kappe/skjerm

closed sheet/screen

metallkapper, konsentriske ledere eller skjermmer forbundet med hverandre i begge ender av kabelanlegget og jordnet minst i den ene enden.

3.1.9

strømføringssevne

current-carrying capacity

maksimal verdi av elektrisk strøm som, under spesifiserte forhold, kan føres kontinuerlig av en leder, et utstyr eller et apparat uten at lederens, utstyrets eller apparatets stasjonære temperatur overstiger en spesifisert verdi

[KILDE: IEV 826-11-13]

3.1.10

kortslutningsstrøm

short-circuit current

strøm som ved et gitt punkt i et nettverk, er resultatet av en kortslutning med et annet punkt i det samme nettverket.

[KILDE: IEV 603-02-26]

3.1.11

korreksjonsfaktor

correction factor

faktor som belastningstabellenes verdier korrigeres med ved avvikende forutsetninger.

3.1.12

forlegningsdybde

avstanden mellom overflaten og kabelgruppens senterakse

MERKNAD 1 Kabelens senterakse er beskrevet i NEK IEC 60287-2-1.

3.1.13

FEM (finite element method)

numerisk metode for å løse matematiske og tekniske problemer

MERKNAD 1 FEM forstås best med hensyn til dens praktiske anvendelse, kjent som «*finite element analysis*» beskrevet i ISO 23555-1:202 3.1.1.3

[KILDE: ISO 23555-1:2022 3.1.1.4]

3.1.14

ledningssone

området rundt en eller flere kabler i jord med egnet masse for å forhindre uttørking og skade på kabelen

3.1.15

gjentfyllingssone

området over ledningssonen og over kabelrør

3.2 Symboler

3.2.1

U_0

merkespenning mellom faseleder og jordleder eller metallskjerm;

[KILDE: NEK IEC 60502-2:2014, 4.1]

3.2.2

U

merkespenning mellom faseledere

[KILDE: NEK IEC 60502-2:2014, 4.1]

3.2.3

U_m

maksimal systemspenning for tilkoblet utstyr

[KILDE: NEK IEC 60502-2:2014, 4.1]

4 Belastningsforutsetninger

Belastningstabellene gjelder for kontinuerlig strøm. For kortslutningsstrømmer er det kun angitt høyeste tillatte ledertemperaturer.

Følgende forutsetninger gjelder for tabellene i Avsnitt 5.

- a) Lufttemperatur: 25 °C
- b) Jordtemperatur: 15 °C
- c) Forlegningsdybde: 0,7 m
- d) Jordens termiske resistivitet: 1,0 K·m/W
- e) Maksimal ledertemperatur på PEX-isolert kabel ved kontinuerlig drift: 90 °C
- f) Anbefalt driftstemperatur for å redusere uttørking av masser og tap i kabelen: 65 °C
- g) Symmetrisk belastning

MERKNAD 1 Det ikke tatt hensyn til solinnstråling i beregningene for kabel i luft.

MERKNAD 2 Beregninger i NEK 400 er gjort med utgangspunkt i 30 °C omgivelsestemperatur i luft og 20 °C i jordtemperatur.

Strømføringssevne oppgitt i tabellene i Avsnitt 5 er beregnet med sikte på å ikke overstige verdiene i Tabell 1.

MERKNAD 3 Beregninger for overlast er beskrevet i NEK IEC 60287.

Tabell 1 – Maksimalt tillatt temperatur for ulike driftssituasjoner

Kabeltype		Ledertemperatur	
Isolasjon	Spenning U_0/U kV	Ved kontinuerlig strøm °C	Ved kortslutningsstrøm °C
PVC	0,6/1(1,2)	70	150
PEX	0,6/1(1,2) – 18/30(36)	90	250
PE ^b	0,6/1(1,2)	70	135
PP-TPE	6/10 (12) – 18/30(36)	90	a
PP-TPE	0,6/1(1,2)	90	a

^a Ledertemperaturer ved kortslutningsstrøm for PP-TPE er under vurdering. Dimensjonering for feilstømmer tas ikke hensyn til i dette dokumentet.

^b PE-materiale benyttes vanligvis på hengekabler (EX 1kV).

5 Belastningstabeller

Beregningene for maksimal belastning av kabler i jord og hengekabler under forutsetningene i Avsnitt 4, er angitt i Tabell 2 til Tabell 7.

Verdiene for tre-leder-kabel gjelder også for fire-leder-kabel når den fjerde lederen benyttes som nøytralleder.

Tabell 2 – Nominell strømføringsevne for én PVC flerlederkabel – Merkespenning 0,6/1(1,2) kV

Tverrsnitt og strømføringsevne (A)								
mm ²	Jord				Luft			
	AL		CU		AL		CU	
	65 °C	70 °C	65 °C	70 °C	65 °C	70 °C	65 °C	70 °C
25	95	100	124	130	81	85	105	110
35	-	-	152	160	-	-	128	135
50	143	150	181	190	119	125	152	160
70	-	-	228	240	-	-	200	210
95	209	220	271	285	185	195	238	250
120	-	-	309	325	-	-	276	290
150	276	290	352	370	247	260	314	330
185	-	-	399	420	-	-	361	380
240	356	375	456	480	333	350	428	450
300	-	-	523	550	-	-	485	510
400	-	-	617	650	-	-	580	610

MERKNAD 1 Verdiene for 65 °C er beregnet med en faktor på 0,95 på verdien for 70 °C

MERKNAD 2 For PVC representerer 70 °C maksimalt tillatt temperatur for isolasjonsmaterialet.

**Tabell 3 – Nominell strømføringsevne for én PEX flerlederkabel –
Merkespenning 0,6/1(1,2) kV**

Tverrsnitt og strømføringsevne (A)								
mm ²	Jord				Luft			
	AL		CU		AL		CU	
	65 °C	90 °C	65 °C	90 °C	65 °C	90 °C	65 °C	90 °C
25	106	125	136	160	89	105	115	135
35	-	-	162	190	-	-	145	170
50	153	180	196	230	140	165	179	210
70	-	-	238	280	-	-	221	260
95	221	260	281	330	208	245	264	310
120	-	-	323	380	-	-	306	360
150	285	335	366	430	272	320	349	410
185	-	-	408	480	-	-	400	470
240	370	435	472	555	366	430	468	550
300	420	495	536	630	-	-	536	630
400	485	570	629	740	-	-	638	750
MERKNAD Verdiene for 65 °C er beregnet med en faktor på 0,85 på verdien for 90 °C								

**Tabell 4 – Nominell strømføringsevne for én tre-lederkabel –
Merkespenning 6/10 (12) kV til 18/30 (36) kV**

Tverrsnitt og strømføringsevne (A)								
mm ²	Jord				Luft			
	AL		CU		AL		CU	
	65 °C	90 °C	65 °C	90 °C	65 °C	90 °C	65 °C	90 °C
10	-	-	80	100	-	-	70	90
16	-	-	100	125	-	-	95	115
25	105	125	135	160	95	120	125	155
35	125	145	160	190	115	145	150	190
50	145	175	190	225	140	175	180	225
70	180	210	235	275	170	220	220	280
95	215	255	280	325	210	260	270	340
120	245	290	315	370	240	305	310	390
150	275	325	355	420	275	345	355	445
185	315	370	400	475	315	400	405	510
240	365	430	465	550	370	470	475	600
300	415	485	525	620	425	540	545	690
400	475	560	595	705	495	630	625	795

**Tabell 5 – Tre en-leder kabler i én gruppe forlagt i jord.
Merkespenning 6/10 (12) kV til 18/30 (36) kV**

Tverrsnitt og strømføringssevne (A)																
mm ²	Flat forlegning ^a								Trekantforlegning							
	Åpen skjerm				Lukket skjerm				Åpen skjerm				Lukket skjerm			
	AL		CU		AL		CU		AL		CU		AL		CU	
	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C
25	125	145	155	185	125	145	155	185	110	130	145	170	110	130	145	170
35	150	175	195	225	150	175	185	220	135	160	175	205	135	160	175	205
50	175	205	225	265	170	200	220	260	155	185	205	240	155	185	205	240
70	220	260	280	330	215	250	270	315	205	240	255	300	200	235	255	300
95	255	300	330	390	251	295	315	370	240	295	295	350	235	280	295	350
120	295	345	375	440	281	330	345	415	270	330	340	400	265	320	335	395
150	330	390	425	500	315	370	385	455	305	370	385	455	300	360	380	450
185	375	440	475	560	349	410	425	500	345	410	435	510	330	405	425	500
240	435	510	545	640	395	465	485	570	395	465	500	590	385	465	485	570
300	485	570	620	730	438	515	530	625	445	515	570	670	435	525	545	640
400	570	670	720	850	502	590	590	695	525	590	645	760	510	615	625	735
500	645	760	810	955	553	650	645	760	590	650	725	855	570	695	695	815
630	720	850	900	1060	608	715	700	825	665	715	805	950	635	780	755	890
800	780	920	980	1180	672	790	765	930	750	790	895	1060	700	885	830	995
1000	875	1025	1050	1230	740	870	820	1000	835	870	980	1160	770	990	890	1075
1200	915	1090	1085	1290	786	925	870	1050	895	925	1030	1235	820	1065	940	1130

^a Verdiene i tabellen er beregnet basert på oppgitt avstand mellom kablene. Avstanden mellom kablene er én kabeldiameter for kabler opptil 70 mm kabediameter. For større tverrsnitt er avstanden 70 mm.

MERKNAD 1 Belastninger i Ampere

MERKNAD 2 Se også § 4-4 Veiledning til forskrift om elektriske forsyningsanlegg, med hensyn til bruk av åpen skjermkrets. En åpen skjermkrets er jordet kun i den ene enden for å unngå induserte strømmer. Dette medfører normalt forhøyet berøringsrisiko.

**Tabell 6 – Belastning av kabel, tre en-leder kabler i én gruppe forlagt i luft.
Merkespenning 6/10 (12) kV til 18/30 (36) kV**

Tverrsnitt og strømføringssevne (A)																
mm ²	Flat forlegning ^a								Trekantforlegning							
	Åpen skjerm				Lukket skjerm				Åpen skjerm				Lukket skjerm			
	AL		CU		AL		CU		AL		CU		AL		CU	
	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C
16	90	110	110	135	90	110	110	135	80	98	98	120	80	98	98	120
25	115	140	145	180	110	135	145	175	100	125	130	160	100	125	130	160
35	145	175	180	220	140	170	175	215	125	155	165	200	125	155	160	195
50	170	210	215	265	165	205	210	255	160	195	200	255	160	195	205	250
70	215	265	280	340	210	255	260	320	190	235	245	300	190	235	240	295
95	260	320	335	410	255	310	310	380	235	285	295	360	230	280	300	355
120	300	370	385	470	285	350	350	430	270	330	345	420	265	325	335	410
150	345	425	425	520	325	395	390	480	310	380	390	480	300	370	380	465
185	395	485	500	615	360	440	435	535	350	430	445	545	345	425	435	535
240	465	570	590	725	420	515	500	615	410	505	525	640	400	490	505	620
300	530	650	670	820	475	580	560	685	475	580	595	730	460	565	575	705
400	645	790	815	1000	555	680	640	785	565	695	710	870	555	680	680	835
500	750	920	940	1150	615	755	710	870	655	800	805	985	635	775	765	940
630	850	1040	1060	1300	685	840	785	960	745	915	910	1115	720	880	845	1035
800	995	1250	1240	1520	740	910	850	1045	855	1060	1030	1290	810	1005	945	1200
1000	1140	1430	1390	1740	815	1005	915	1130	970	1205	1150	1440	910	1195	1045	1330
1200	1245	1580	1495	1880	865	1075	970	1190	1060	1315	1230	1545	975	1230	1110	1415

^a Verdiene i tabellen er beregnet basert på oppgitt avstand mellom kablene. Én kabel diameter opptil 70 mm kabel diameter. For større tverrsnitt er avstanden 70 mm.

MERKNAD 1 Belastninger i Ampere

MERKNAD 2 Se også § 4-4 Veiledning til forskrift om elektriske forsyningsanlegg, med hensyn til bruk av åpen skjermkrets. En åpen skjermkrets er jordet kun i den ene enden for å unngå induerte strømmer. Dette medfører normalt forhøyet berøringsrisiko.

**Tabell 7 – Én enkel fler-leder hengekabel type EX og EXW.
Merkespenning 0,6/1 kV (Aluminiumsledere)**

Ledertverrsnitt mm ²	Belastning A
25	95
50	140
95	220
150	295
MERKNAD Ledertemperatur 70 °C	

6 Korreksjonsfaktorer

6.1 Korreksjon for forlegning i jord

Tabell 8 – Korreksjon for forlegningsdybde

Forlegningsdybde	Merkespenning / Korreksjonsfaktor	
	0,6/1(1,2) kV	6/10(12) kV – 18/30(36) kV
0,50 – 0,70 m	1,00	1,00
0,71 – 0,90 m	0,97	0,99
0,91 – 1,10 m	0,95	0,98
1,11 – 1,30 m	0,93	0,96
1,31 – 1,50 m	0,92	0,95
1,51 – 2,0 m	0,90	0,91
2,01 – 3,0 m	0,87	0,88

Tabell 9 – Korreksjon for jordtemperatur

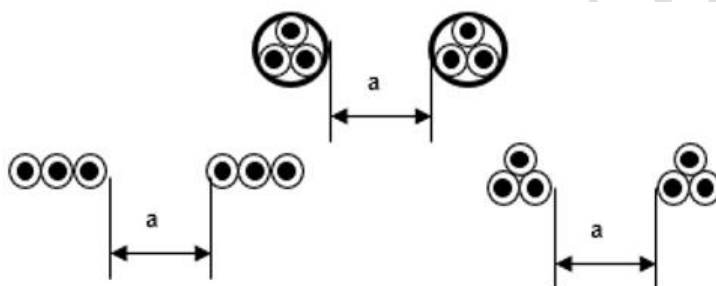
Jordtemperatur °C	Korreksjonsfaktor ved ledertemperatur	
	65 °C	90 °C
-5	1,13	1,19
0	1,10	1,14
5	1,06	1,10
10	1,03	1,05
15	1,00	1,00
20	0,96	0,95
25	0,93	0,89
30	0,89	0,84

Tabell 10 – Korreksjon for jordens termiske resistivitet

Termisk resistivitet [K·m/W]	Korreksjonsfaktor
0,7	1,10
1,0	1,00
1,2	0,92
1,5	0,85
2,0	0,75
2,5	0,69
3,0	0,63
MERKNAD Tabellen gjelder ikke for milliken	

Tabell 11 – Korreksjon for forlegning av like kabler ved siden av hverandre

Avstand mellom kabler eller grupper av kabler	Antall ^b						
	2	3	4	5	6	8	10
Tett forlegning	0,79	0,69	0,63	0,58	0,55	0,50	0,46
70 mm ^a	0,85	0,75	0,68	0,64	0,60	0,56	0,53
250 mm ^a	0,87	0,79	0,75	0,72	0,69	0,66	0,64
500 mm ^a	0,91	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75	0,74
1 000 mm ^a	0,95	0,91	0,89	0,88	0,87	0,87	0,86
^a Se Figur 1 ^b Med antall forstås antall tre-leder kabler eller grupper av tre en-leder kabler. Se Tegnforklaring: a = Se Tabell 11 Figur 1.							



Tegnforklaring: a = Se Tabell 11

Figur 1 – Avstand mellom kabler eller grupper**Tabell 12 – Korreksjon for kabler i plastrør i jord eller betong**

Avstand mellom rør mm	Antall rør							
	1	2	3	4	5	6	8	10
0 ^a	0,80	0,75	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50
70	-	0,75	0,70	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55
250	-	0,75	0,70	0,70	0,70	0,65	0,65	0,65
^a Noen rørprodusenter anbefaler minst 100 mm innbyrdes avstand for å sikre god fylling av masse mellom rørene, med mindre rørene har tilstrekkelig mekanisk styrke.								

6.2 Korreksjon for lufttemperatur

Tabell 13 viser korreksjon for andre omgivelsestemperatur enn 25°C ved forlegning i luft.

MERKNAD Omgivelsestemperaturen kan være høyere på deler av et kabelstrekk. For eksempel ved ytre påvirkning fra varmekilder som ventilasjonskanaler og vannrør.

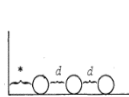
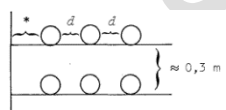
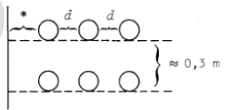
Tabell 13 – Korreksjonsfaktor for lufttemperatur

Ledertemperatur	Lufttemperatur / K-faktor							
	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C
90 °C	1,12	1,08	1,04	1	0,95	0,9	0,85	0,8
65 °C	1,2	1,14	1,07	1	0,93	0,85	0,77	0,68

6.3 Korreksjon for forlegning i luft

6.3.1 Flat forlegning med avstand mellom kablene

Tabell 14 – Korreksjonsfaktorer for flat forlegning i luft med avstand mellom kablene

Kabel-type (antall) ^a		Forlegningsmåte										
		På gulv	På tette hyller				På åpne hyller				Over hverandre på vegg	
				1	2	3	6	1	2	3	6	Åpen mot vegg
En-leder	1	0,92	0,92	0,87	0,84	0,82	1	0,97	0,96	0,94	0,94	0,89
	2	0,89	0,89	0,84	0,82	0,80	0,97	0,94	0,93	0,91	0,91	0,86
	3	0,88	0,88	0,83	0,81	0,79	0,96	0,93	0,92	0,90	0,89	0,84
Tre-leder	1	0,95	0,95	0,90	0,88	0,86	1	1	1	1	1	-
	2	0,90	0,90	0,85	0,83	0,81	0,98	0,95	0,94	0,93	0,93	-
	3	0,88	0,88	0,83	0,81	0,79	0,96	0,93	0,92	0,90	0,90	-
	6	0,85	0,85	0,81	0,79	0,77	0,93	0,90	0,89	0,87	0,87	-
	9	0,84	0,84	0,80	0,78	0,76	0,92	0,89	0,88	0,86	0,86	-
												

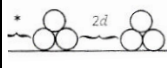
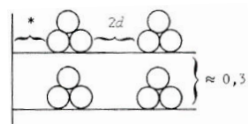
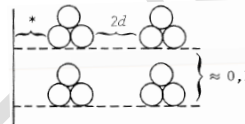
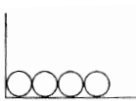
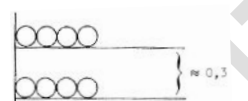
^a Med antall forstås antall tre-leder kabler eller grupper av en-leder kabler

^d Minimum kabeldiameter avstand mellom kablene

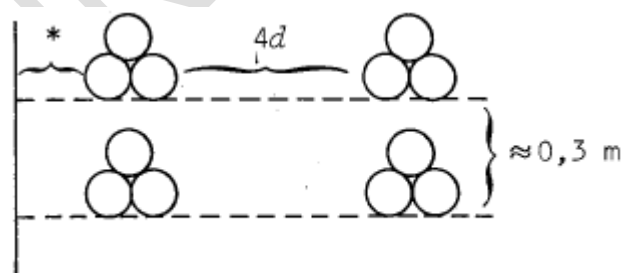
^{*} Minimum 20 mm avstand til vegg

6.3.2 Trekant og flat tett forlegning

Tabell 15 – Korreksjon for trekant og flat tett forlegning i luft

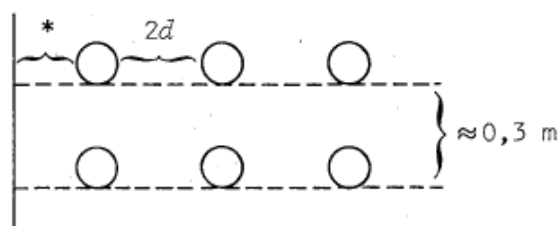
Forlegning og antall kabler		Forlegningsmåte									
		På gulv	På tette hyller				På åpne hyller				Over hverandre på vegg
			1	2	3	6	1	2	3	6	
En-leder Trekant	1	0,95	0,95	0,90	0,88	0,86	1	1	1	1	-
	2	0,90	0,90	0,85	0,83	0,81	0,98	0,95	0,94	0,93	-
	3	0,88	0,88	0,83	0,81	0,79	0,96	0,93	0,92	0,90	-
Tre-leder Flat tett ^a	1	0,90	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
	2	0,84	0,84	0,80	0,78	0,76	0,84	0,80	0,78	0,76	0,78
	3	0,80	0,80	0,76	0,74	0,72	0,80	0,76	0,74	0,72	0,73
	6	0,75	0,75	0,71	0,70	0,68	0,75	0,71	0,70	0,68	0,68
	9	0,73	0,73	0,69	0,68	0,66	0,73	0,69	0,68	0,66	0,66
Trekantforlegning											
Tett forlegning											
^a Ved tett forlegning på hyller er korreksjonsfaktorene de samme for åpne og tette hyller. ^d Minimum 2 x kabeldiameter avstand mellom gruppene for trekantforlegning [*] Minimum 20 mm avstand til vegg for trekantforlegning											

6.3.3 Forlegning uten korreksjon



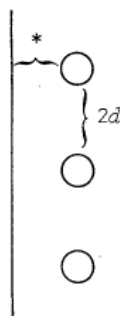
MERKNAD Minimum 4 x kabeldiameter avstand mellom gruppene.

Figur 2 – En-leder-kabler i trekantforlegning på åpne hyller



MERKNAD Minimum 2 x kabeldiameter avstand mellom kablene. Antall kabler ved siden av hverandre er likegyldig.

Figur 3 – Tre-leder-kabler i flat forlegning på åpne hyller



MERKNAD Minimum to 2x kabeldiameter avstand mellom kablene. Antall kabler over hverandre er likegyldig.

* Minimum 20 mm avstand til vegg

Figur 4 – Tre tre-leder kabler på vegg

7 Kommentarer til tabellene

7.1 Jordtemperatur

Ved beregningene har utgangspunktet vært en forlegningsdybde på 0,7 meter. Den høyeste jordtemperatur i denne dybde inntreffer vanligvis i juli og august. I de nordligste deler av landet kommer jordtemperaturen bare kortvarig opp i sin høyeste verdi. Laveste jordtemperatur inntreffer i februar og mars. Tabell 16 viser tilnærmede verdier.

Tabell 16 – Geografiske variasjoner for jordtemperatur

	Jordtemperatur	
	Høyeste	Laveste
Sørlige Norge	17 °C	0 °C
Midtre Norge	15 °C	0 °C
Nordlige Norge	13 °C	-5 °C

Tabell 8 og Tabell 9 angir korreksjonsfaktorer for omregning til andre forlegningsdybder og jordtemperaturer enn de som er benyttet for tabell verdiene.

7.2 Massers termiske resistivitet

Kabler i jord omgis vanligvis av sand med godt gradert kornstørrelse fra 0 til 4 mm, se NS-EN 13242. Normalt komprimert og jordfuktig sand har en termisk resistivitet på ca. 1 K·m/W. For uttørket sand vil termisk resistivitet øke, og ofte være ca 2,5 K·m/W for normalt komprimert sand.

Svært fuktig sand og leirholdig sand og jord har vanligvis lavere termisk resistivitet enn 1 K·m/W. Stedlige masser som mold, jord og porøse sandholdige masser har høyere termisk resistivitet enn 1 K·m/W. Her vil det være store geografiske variasjoner, men Tabell 17 angir verdier for forskjellige forhold. Tabell 10 angir korreksjonsfaktorer for termiske resistivitet.

Tabell 17 – Termisk resistivitet for jord

Termisk resistivitet (K·m/W)	Jordforhold	Værforhold
0,7	Veldig fuktig	Kontinuerlig fuktig
1,0	Fuktig	Ofte regn
2,0	Tørr	Sjeldent regn
3,0	Veldig tørr	Lite eller ikke regn
MERKNAD Denne tabellen er hentet fra NEK IEC 60287-3-1		

7.3 Uttørking av jorden

Varmetapene i kabelen vil føre til en økt overflatetemperatur på kabelen. Dette kan medføre uttørking av massene nærmest kabelen og at en sone rundt kabelen har forhøyet termisk resistivitet. Dette hender når likevekten mellom fordampet vann som transporteres vekk fra kabelen og vann som renner tilbake etter kondensering lenger vekk fra kabelen opphører. Faktorer som påvirker graden av uttørking i tillegg til kabelens overflatetemperatur er massenes hydrauliske egenskaper, komprimering, lastmønster og varmefluksen fra kabeloverflaten. Uttørking av en sone rundt kabelen vil føre til økt temperatur i kabelen, som igjen vil øke tapene i kabelen. Det kan derfor oppstå en ustabil situasjon med for høye temperaturer og kabelen ødelegges.

MERKNAD CIGRE TB 714 har mer informasjon om dette tema.

Ved vanlige belastning med en eller flere belastningstopper om dagen og med lav last om natten, foreligger det liten risiko for uttørking. Ved høy, kontinuerlig last over lengre tid er derimot faren for dette til stede, og den blir større jo høyere overflatetemperaturen på kabelen er. Mange land benytter en overflatetemperatur på kabelen på 50 °C ved kontinuerlig belastning som grenseverdi, i henhold til NEK HD 620 10K og 12K. Siden mange faktorer påvirker faren for uttørking finnes ingen fast grenseverdi, og faren for uttørking må derfor vurderes om massen har høy dreneringsevne, omkringliggende masser har lavt fuktinnhold eller lignende.

Overflatetemperaturen til en kabel forlagt i jord, bestemmes av kabelens ledertemperatur, av dens indre termiske resistivitet og av jordens termiske resistivitet. I de tilfeller hvor det forventes høyere temperaturer, bør de termiske forholdene i jordsmonnet vurderes for at en riktigere belastning kan bli beregnet. Det bør også tas hensyn til belastningsvariasjoner over et døgn og variasjon i last avhengig av årstid og klima, når belastningsevnen for et bestemt anlegg skal fastsettes.

En mer termisk stabil masse kan oppnås ved at sand tilsettes en liten mengde av sement. Denne blandingen, som omtales som mager betong, vil holde bedre på fuktigheten enn ren sand. Ved god komprimering til høy tetthet kan stabile verdier omkring 1 K·m/W for tørr masse oppnås.

For kritiske anvendelser bør det vurderes om en termisk stabil masse skal benyttes, om belastningsevne bør beregnes med en tørr sone rundt kabelen i henhold til NEK IEC 60287-2-1, eller om konservative, høye verdier for termisk resistivitet hvor man har tatt hensyn til at massene har tørket fullstendig ut skal benyttes.

7.4 Forlegning av kabler ved siden av hverandre

Ved forlegning av kabler ved siden av hverandre i jord, vil jordtemperaturen øke mer enn om det bare var én kabel til stede. Selv om belastningen reduseres i henhold til Tabell 11 slik at ledertemperaturen ikke blir høyere enn tillatt, vil likevel overflatetemperaturen bli høyere enn for én enkelt kabel. Dette forhold blir mer utpreget jo flere kabler som ligger ved siden av hverandre. Legges det derfor mange kabler i samme grøft, bør det tas spesielle forholdsregler. Belastningsevnen reduseres også når flere kabler føres ved siden av hverandre i luft, men ikke så mye som ved forlegning av kablene i jord. Korreksjonsfaktorene i Tabell 11 og 6.3 tar hensyn til gjensidig oppvarming ved forlegning av kabler ved siden av hverandre.

7.5 Støpte kabelkanaler

Støpte kabelkanaler består av en matrise med plastrør støpt inn i betong, og er mye benyttet i kabelanlegg hvor ekstra beskyttelse av kablene er nødvendig eller skal inngå som en del av annen infrastruktur. I de fleste tilfeller vil det være flere kabelsett med ulike kabler eller belastning i en støpt kabelkanal og denne tabellsamlingen vil ikke være dekkende. I de tilfeller hvor tabellsamlingen beskriver kabelanlegget med unntak av den støpte kabelkanalen kan samme reduksjonsfaktor som for rør benyttes. Betong som normalt benyttes til støpte kabelkanaler har lavere termisk motstand enn sand og grus, slik at den tabulerte belastningsevne som fremkommer vil være konservativ.

7.6 Varierende forlegningsforhold

I kabelens lengderetning er den temperaturutjevne varmestrømmen begrenset. Ved forlegning av en kabel i forskjellige omgivelser, skal belastningsevnen beregnes separat for hver av forlegningsmåtene, og belastningen fastsettes i henhold til den forlegningsmåte som gir lavest belastning. Eksempler på dette er forlegning i rør ved vei- eller gatekrysninger.

For én enkelt kabel som delvis er forlagt i jord og delvis i luft, kan luftføringen bli dimensjonerende. Ved forlegning av flere kabler ved siden av hverandre, blir reduksjonen i belastningsevne mindre for kabler forlagt i luft enn for kabler forlagt i jord. Derfor kan belastningsevnen for flere kabler i luft bli bedre enn for det samme antall kabler i jord, selv om det motsatte er tilfellet for én enkelt kabel.

For kabel som delvis er forlagt i sjøvann og delvis i jord på land, vil normalt landkabeldelen være dimensjonerende for belastningen. Det er imidlertid blitt registrert eksempler på høy termisk resistivitet i massene på sjøbunnen og i slam ved landtakene. I et par tilfeller er det registrert varmegjennomslag i sjøen. For sjøkabler generelt anbefales at brukeren tar kontakt med en kabelfabrikant, slik at så vel mekaniske som termiske forhold ved sjøkabelanlegg kan bli vurdert i hvert enkelt tilfelle.

7.7 Solstråling

NEK 440 fastsetter krav til installasjoner over 1 kV. Følgende er utdrag fra NEK 440:2022, 4.4.2.2, som blant annet sier følgende om solstråling:

Solstråling opp til en grense på 1000 W/m² (på en klar dag midt på dagen) skal hensyntas.

MERKNAD 1 Ved spesielle solforhold kan det være nødvendig med tiltak, for eksempel tak, forsert ventilasjon etc., eller lastreduksjon for ikke å overskride den angitte temperaturstigningen.

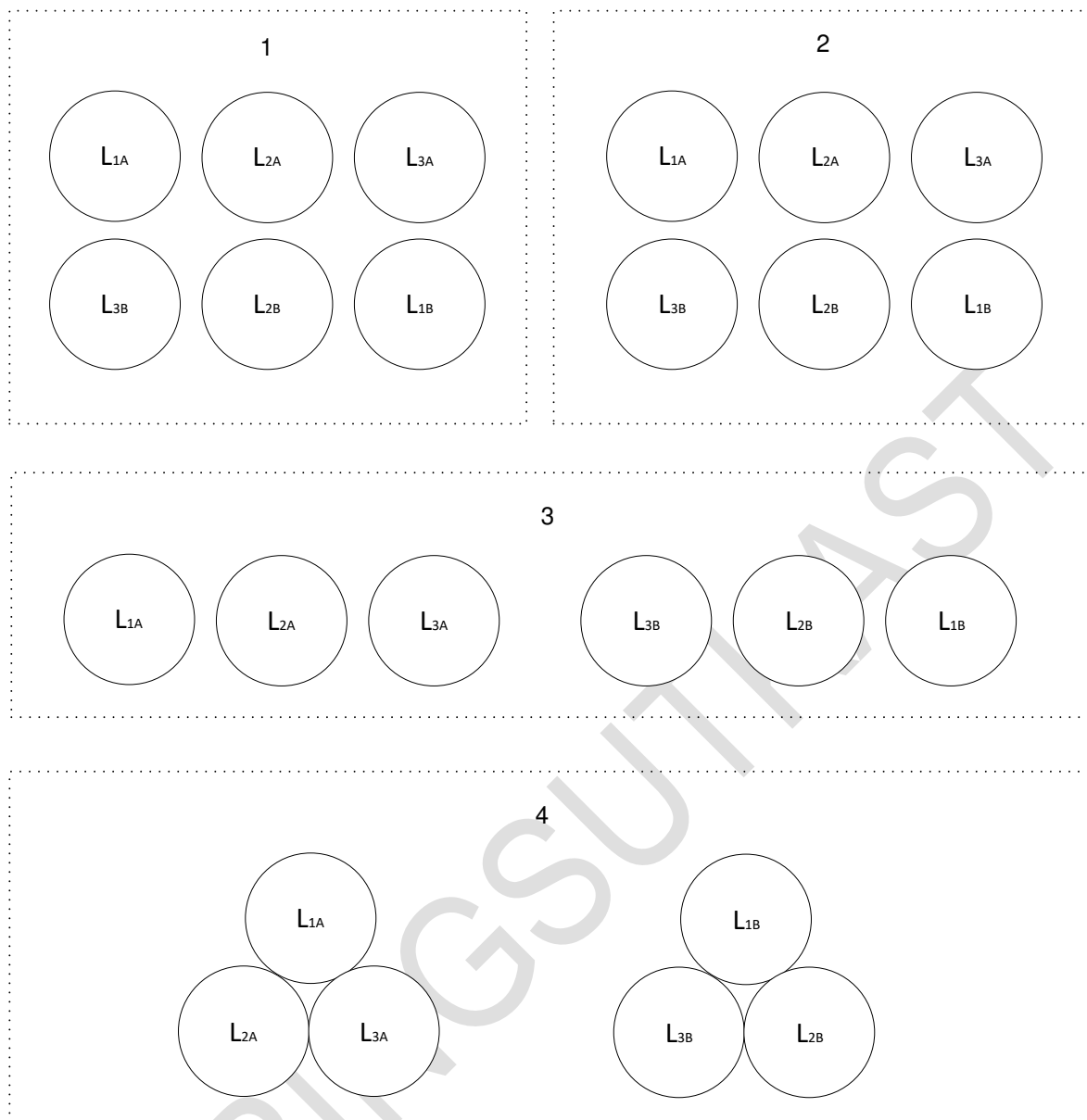
MERKNAD 2 Detaljer om global solstråling er gitt i NEK EN IEC 60721-2-4.

7.8 Parallellkobling av kabler

Når én enkelt kabel ikke er tilstrekkelig, kan den ønskede overføringsevne oppnås ved parallellkobling av flere kabler. Parallellkobling benyttes også av andre grunner, f.eks. hvor én kabel allerede er installert eller endeavslutningene ikke tillater bruk av en større dimensjon.

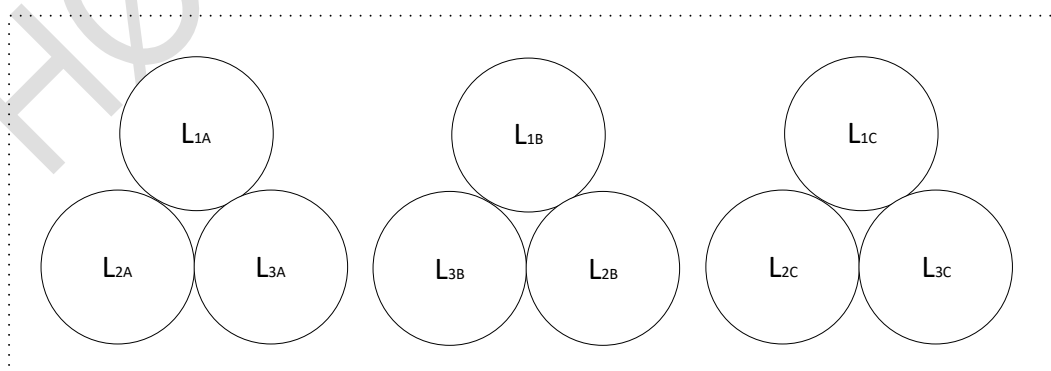
Ved valg av kabel bør det tas hensyn til overføringens lengde. Ved lange kabelforbindelser kan det være fordelaktig å benytte en-leder kabel med stort tverrsnitt. Parallellkobling av flere tre-leder kabler er også en del anvendt. Ved korte kabelforbindelser er som regel tre-leder kabel det mest lønnsomme. Disse kan kobles parallelt som tre-leder. En annen mulighet er at alle lederne i kabelen sammenkobles, og at kabelen anvendes som en-leder kabel. En forutsetning for å opprettholde belastningsevnen ved bruk av tre-leder kabel som en-leder, er at metallkappe og konsentrisk leder eller skjerm bare er forbundet til jord i den ene enden, og at eventuell armering er u-magnetisk. En slik sammenkoblet tre-leder kabel kan belastes med den samlede strøm for de tre lederne som angitt i Tabell 2, Tabell 3 og Tabell 4, og korrigert i henhold til Tabell 8 og 6.3.

Ved parallellkobling av kabler er det viktig at belastningen blir jevnt fordelt på de enkelte ledere. Figur 5, Figur 6 og Figur 7 viser forlegning som gir best resultat ved parallellkobling.



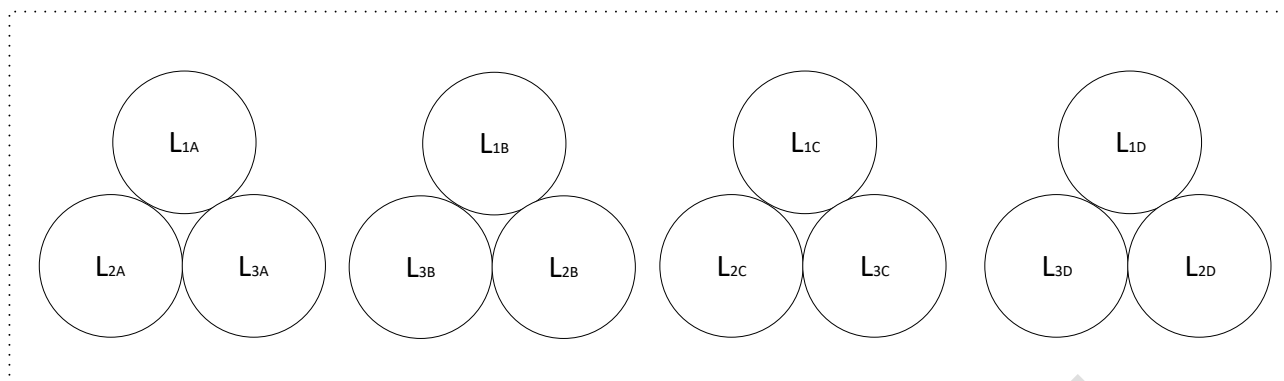
MERKNAD Betegnelse A og B angir to kabelsett.

Figur 5 – To parallellkoblede kabler i et trefasesystem



MERKNAD Betegnelse A, B og C angir tre kabelsett.

Figur 6 – Tre parallellkoblede kabler i et trefasesystem



MERKNAD Betegnelse A, B, C og D angir fire kabelsett.

Figur 7 – Fire parallellkoblede kabler i et trefasesystem

7.9 Anlegg med en-leder kabel

Når en-leder kabel benyttes for en-fase eller tre-fase vekselstrøm, kan anleggene være utført med lukket eller åpen kappe/skjem i henhold til definisjonene i Avsnitt 3.

Ved lukket kappe/skjem induseres det strømmer i skjerm som forårsaker tap i skjerm og reduserer kabelens belastningsevne. Disse tapene kan reduseres ved forskjellige tiltak, f.eks. krysskobling av skjerm så lenge anlegget består av tre, eller et multiplum av tre, like lange kabler. Ved bruk av krysskobling bør det tas kontakt med kabelfabrikanten.

Ved åpen skjerm opptrer det en spenning mellom de enkelte skjermene og mellom skjerm og jord i den ende av kabelen hvor skjerm ikke er jordet. Det må derfor påses at disse skjermene med tilhørende endemuffer er beskyttet mot berøring. Den induserte spenning i skjerm er proporsjonal med kabelens lengde og strømmen i lederen. Ved lange kabler og stor strøm kan disse spenningene anta farlige verdier. Fordi en åpen skjerm i et kabelanlegg kan anta høye spenninger i tilfelle av feil, må den anses som spenningsførende.

7.10 Beregning av komplekse forlegninger og/eller med dynamisk belastning

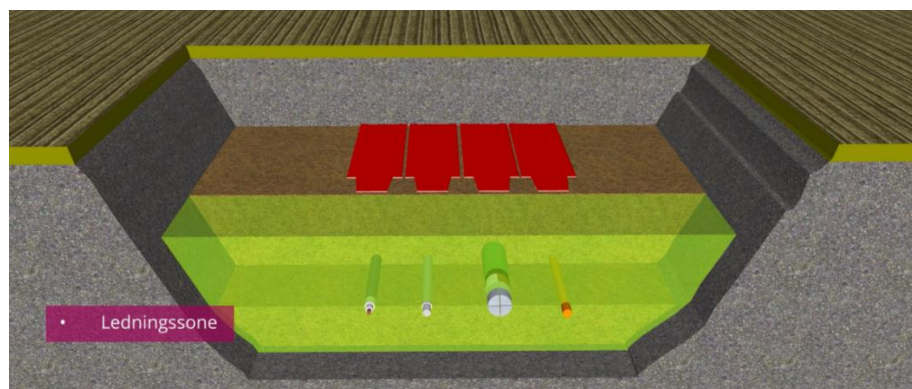
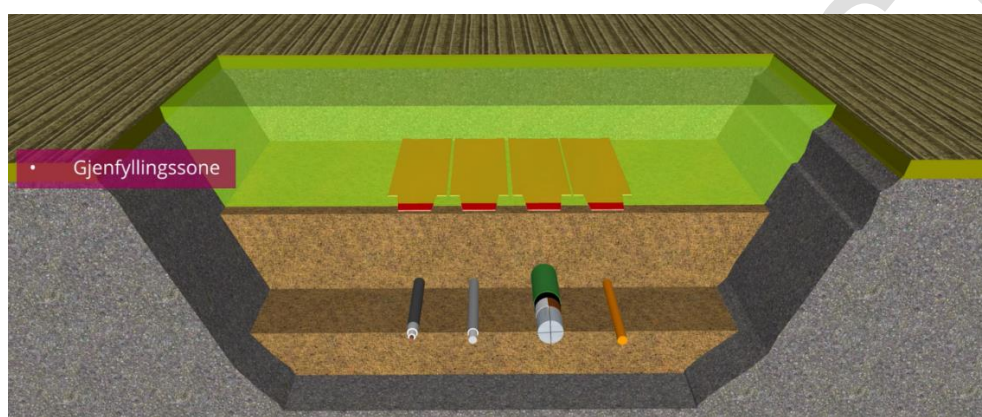
For forlegninger hvor det er ulike typer kabler, dynamisk eller ulik belastning i kablene eller heterogene masser omkring kablene, vil ikke belastningstabellene være dekkende.

I slike tilfeller kan enten et konservativt estimat benyttes, eller andre beregningsverktøy og standarder som direkte finner temperaturfordelingen i den aktuelle forlegningen.

Et konservativt estimat for en forlegning med ulike kabler kan finnes ved å velge den kabel som gir lavest belastningsevne og deretter benytte denne sammen med reduksjonsfaktor for antall kabler. Hvis det er ulike lag av masser i en kabelgrøft, velges reduksjonsfaktor for den massen med høyest termisk motstand. Dette gjelder spesielt om massene nærmest kabelen, det vil si i ledningssonen, har høyere termisk motstand enn massene i gjenfyllingssonen. Se Figur 8 og Figur 9.

For dynamiske laster kan et konservativt estimat for belastningsevnen bestemmes ved å benytte maksimal last. Den termiske treggheten i kabelforlegningen varierer med tverrsnitt og omkringliggende masser i så stor grad at det ikke er mulig å lage en generell multiplikasjonsfaktor. For disse tilfellene vil den estimerte belastningsevnen være konservativ.

Korrekt belastningsevne for komplekse forlegninger må beregnes i hvert enkelt tilfelle. Dette kan gjøres gjennom å benytte formelverket i NEK IEC 60287 og NEK IEC 60853, eller ved å løse det elektrotermiske problemet direkte gjennom numeriske beregninger. For begge disse alternativene eksisterer det kommersielle løsninger i markedet. IEC har utarbeidet en guide for beregninger ved bruk av FEM (3.1.13).

**Figur 8 – Kabelgrøft – ledningssone****Figur 9 – Kabelgrøft – gjenfyllingssone**

BIBLIOGRAFI

NEK 440 Elektriske kraftinstallasjoner

CIGRE TB 714 Long term performance of soil and backfill systems

NS EN 13242 Tilslag for mekanisk stabiliserte og hydraulisk stabiliserte materialer til bruk i bygg- og anleggsarbeid og vegbygging

NS ISO 23555-1 Gas pressure safety and control devices for use in gas transmission, distribution and installations for inlet pressures up to and including 10 MPa — Part 1: General requirements

NEK IEC 60287 (alle deler) Electric cables - Calculation of the current rating

NEK IEC 60287-2-1 Electric cables - Calculation of the current rating - Part 2-1: Thermal resistance - Calculation of the thermal resistance

NEK IEC 60287-3-1 Electric cables - Calculation of the current rating - Part 3-1: Operating conditions - Site reference conditions

NEK IEC 60502-2 Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV) - Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV ($U_m = 7,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV)

NEK EN IEC 60721-2-4 Classification of environmental conditions - Part 2-4: Environmental conditions appearing in nature - Solar radiation and temperature

NEK IEC 60853 (alle deler) Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables