

RA 637

December 2022

TEGRA-modellen –

Netanalyse

Gennemgang af netanalyse anvendt i TEGRA

Rapporten er udarbejdet af:	Can Karatas Jasmin Mehmedalic Jonas B. B. Hansen	Green Power Denmark Green Power Denmark Green Power Denmark
------------------------------------	--------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------

Netteknisk rapport:	RA637
Klasse:	1
Rekvirent:	Netudvalget og Teknikudvalget
Dato for udgivelse:	1. december 2022
Sag:	7525

VERSIONSLOG

Version / Dato	Opdatering	Initialer
V1.0 / 2022-12-01	Første udgivelse.	CKA JBH JME

RESUME

Rapporten har til formål at dokumentere den del af TEGRA-modellen, hvor netanalysen udføres.

Kapitel 1 giver et kort overblik over TEGRA og tilhørende dokumentation samt de forudsætninger, der skal være opfyldt, for at netanalysen kan udføres.

Kapitel 2 gennemgår de netanalyser, som TEGRA foretager. Disse kan inddeles i to slags analyser:

- 1) Netanalyser til beregning af netforstærkning
- 2) Netanalyser til at skabe indblik.

Den første type netanalyser skal producere de output, som er nødvendige for at kunne regne på netforstærkning af nettene i TEGRA-modellen. Den anden type analyser bruges til at give et mere detaljeret indblik i, hvordan de enkelte arketyper påvirkes af scenariet for fremtidigt forbrug og produktion, og skal afdække tekniske sammenhænge mellem det fremskrevne forbrug og produktion, arketyper og udfordringer.

INDHOLDSFORTEGNELSE

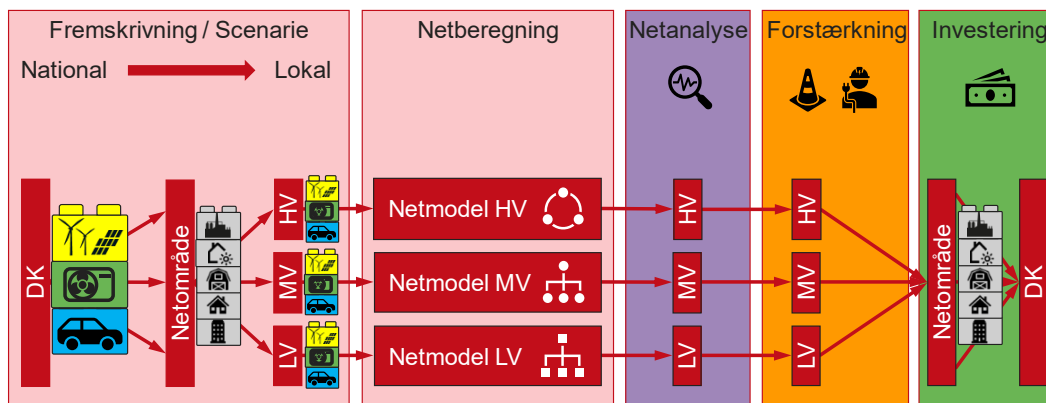
Versionslog	5
Resume	6
Indholdsfortegnelse	7
1. Indledning	8
<i>1.1. Oversigt over TEGRA-modellen</i>	<i>8</i>
<i>1.2. Oversigt over TEGRA-dokumentation</i>	<i>8</i>
<i>1.3. Forudsætninger for netanalysen</i>	<i>8</i>
2. Netanalyse	9
<i>2.1. Netanalyse til beregning af netforstærkning</i>	<i>9</i>
<i>2.2. Netanalyse til at skabe indblik</i>	<i>12</i>
APPENDIKS 1. Dimensioneringskriterier	16
APPENDIKS 2. Oversigt over komponentkategorier	17

1. INDLEDNING

Denne rapport er en del af en serie, der dokumenterer TEGRA-modellens opbygning og anvendelse.

1.1. OVERSIGT OVER TEGRA-MODELLEN

Figur 1.1 viser de overordnede processer i TEGRA-modellen.



Figur 1.1 TEGRA – overblikdiagram.

1.2. OVERSIGT OVER TEGRA-DOKUMENTATION

RA635	Introduktion til TEGRA-modellen
RA619	Definition af netområder og arketyper i distributionsnettet
RA620	Analyseforudsætninger for distributionsnettet DEL 1: Metodebeskrivelse for fordeling af elbiler, varmepumper og solcelleanlæg på netområder
RA623	Analyseforudsætninger for distributionsnettet DEL 2: Simuleringsprofiler
RA636	TEGRA-modellen – Netmodeller og netberegninger
RA637	TEGRA-modellen – Netanalyse
RA638	TEGRA-modellen – Forstærkning
RA639	TEGRA-modellen – Skalering
RA640	TEGRA-modellen – Merinvesteringer

Tabel 1.1 Oversigt over TEGRA-dokumentation.

1.3. FORUDSÆTNINGER FOR NETANALYSEN

Netanalysen forudsætter, at belastningsdata og loadflow-resultater fra netberegningerne er tilgængelige, og at der er defineret dimensioneringskriterier for net og komponenter.

2. NETANALYSE

Netanalysen spiller en meget vigtig rolle i TEGRA-modellen. Den er med til at give indblik og skabe ny viden om, hvilke tekniske påvirkninger forskellige scenarier for samfundets grønne omstilling har på elnettet.

Netanalysen skal opfylde flere formål:

1. Identificere, hvilke net og komponenter der er udfordret ift. deres dimensioneringskriterier i et givent nedslagsår.
2. Identificere, hvilke parametre nettet og komponenterne er udfordret i forhold til (strøm/effekt eller spænding).
3. Beregne i hvilken grad nettenes og komponenternes dimensioneringskriterier er overskredet.
4. At skabe overblik over, hvordan net og komponenter påvirkes i et givent nedslagsår, herunder:
 - a. Hvordan den dimensionerende belastning fra forbrug og produktion har ændret sig og hvorfor.
 - b. Hvor belastede net og komponenter er i forhold til strøm/effekt og spænding.
 - c. Hvor stor en andel af net og komponenter der er udfordret og på hvilke parametre.

Punkt 1-3 er primært rettet mod at producere input til den efterfølgende netforstærkning (se RA638).

Punkt 4 er primært rettet mod at give en bedre forståelse af, hvordan net og komponenter påvirkes i det enkelte scenarie/fremskrivning. Det skal give viden om, hvilke net og komponenter der påvirkes, hvad de påvirkes mest af og i hvor stort omfang.

2.1. NETANALYSE TIL BEREGNING AF NETFORSTÆRKNING

I denne del af analysen vurderes alle net og komponenter i forhold til deres dimensioneringskriterier. Et overblik over de benyttede dimensioneringskriterier kan ses i appendiks 1, og yderligere information om dimensioneringskriterierne kan findes i RA638 om netforstærkning.

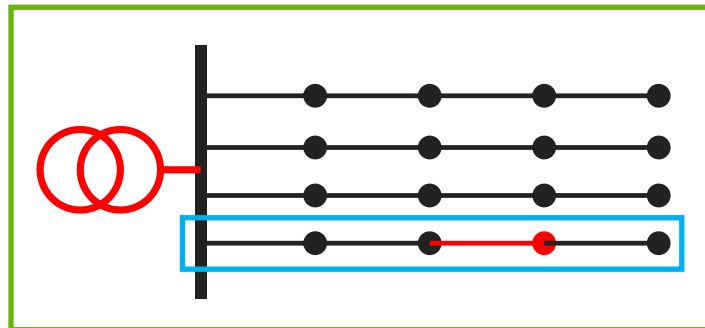
Selve netanalysen er opdelt pr. spændingsniveau. Den primære årsag til dette er, at de forudgående netberegninger og den efterfølgende netforstærkning er forskellige, baseret på hvilket spændingsniveau der ses på.

2.1.1. Lavspænding

For lavspændingsnet analyseres både kabler og stationer på baggrund af loadflow-resultaterne fra netberegningerne. Alle lavspændingsnet analyseres på tre niveauer:

- Komponentniveau
- Udføringsniveau
- Netstationsniveau.

Figur 2.1 viser definitionen af de enkelte niveauer på visuel form. De røde markeringer viser enkeltkomponenter – altså evaluering på komponentniveau. Den blå kasse viser en udføring og alt, hvad denne omfatter – altså evaluering på udføringsniveau. Den grønne kasse viser en netstation og alt, hvad denne forsyner – altså evaluering på netstationsniveau.



Figur 2.1 Definition af komponentniveau, udføringsniveau og netstationsniveau.

2.1.1.1. Komponentniveau

Analysen på komponentniveau undersøger nøje alle komponenters belastning i forhold til deres dimensioneringskriterier. Det er her, det analyseres, om der er nogle komponenter, som er overbelastet på grund af for høj strøm/effekt. For hver komponent findes den time, hvor komponenten er mest belastet. Vurderingen af, om en komponent er overbelastet, foretages på baggrund af den mest belastede time, da denne time er dimensionerende for komponenten. Vurderingen laves for alle LV-kabler og transformere i MV-stationer. Alle komponenter, som er overbelastet pga. strøm/effekt, markeres, og graden af overbelastning ift. dimensioneringskriterierne beregnes.

2.1.1.2. Udføringsniveau

Analysen på udføringsniveau undersøger den enkelte udføring. Først ses der på, om der er nogle komponenter (dvs. LV-kabler) på udføringen, som er overbelastet på grund af for høj strøm/effekt. Dette er grundlæggende en opsamling på analysen på komponentniveau. Hvis nogle af komponenterne på en udføring er overbelastet pga. strøm/effekt, markeres udføringen, og graden af overbelastning beregnes som den maksimale værdi af enkeltkomponenternes overbelastning.

Herefter analyseres spændingen på hver udføring. Spændingsfald og -stigning på hver udføring beregnes som forskellen på spændingen ved netstationens 0,4 kV-skinne og den mindste/højeste spænding i samtlige knudepunkter på udføringen. Både spændingsfald og -stigning sammenlignes med de tilhørende dimensioneringskriterier, og det vurderes, om den enkelte udføring har et spændingsfald/-stigning, som er større end det tilladte (overbelastning pga. spænding). Alle udføring, som er overbelastet pga. spænding, markeres, og graden af overbelastning ift. dimensioneringskriterierne beregnes.

2.1.1.3. Netstationsniveau

Analysen på netstationsniveau undersøger hele netstationer. Der er grundlæggende tale om en opsamling af analysen på udføringsniveau. Der er særlig fokus på transformeren i MV-stationen, og hvor belastet denne er.

2.1.2. Mellemspænding

For mellemspændingsnet analyseres kabler på baggrund af loadflow-resultaterne fra netberegningerne. Alle mellemspændingsnet analyseres på to niveauer:

- Komponentniveau
- Radialniveau.

2.1.2.1. Komponentniveau

Analysen på komponentniveau undersøger alle MV-kablers belastning i forhold til deres dimensioneringskriterier. Her analyseres, om der er kabler, som er overbelastet på grund af for høj strøm/effekt. For hvert kabel findes den time, hvor kablet er mest belastet, hvorpå belastningen i denne time bruges til at vurdere, om kablet er overbelastet. Alle kabler, som er overbelastet pga. strøm/effekt, markeres, og graden af overbelastning ift. dimensioneringskriterierne beregnes.

2.1.2.2. Radialniveau

Analysen på radialniveau undersøger den enkelte radial. Først laves en opsamling af analysen på komponentniveau for at finde ud af, om der er radialer, som er overbelastet pga. strøm/effekt. Hvis nogle af kablerne på en radial er overbelastet pga. strøm/effekt, markeres radialen, og graden af overbelastning beregnes som den maksimale værdi af kablernes overbelastning.

Herefter analyseres spændingen på hver radial. Spændingsfald og -stigning på hver radial beregnes som forskellen på spændingen ved HV-stationens 10 kV-skinne og den mindste/højeste spænding i samtlige knudepunkter på radialen. Både spændingsfald og -stigning sammenlignes med de tilhørende dimensioneringskriterier, og det vurderes, om den enkelte radial har et spændingsfald/-stigning, som er større end det tilladte (overbelastning pga. spænding). Alle radialer, som er overbelastet pga. spænding, markeres, og graden af overbelastning ift. dimensioneringskriterierne beregnes.

2.1.3. Højspænding

Netanalysen for højspændingsnet er relativt begrænset. For hver arketype findes timen med den hhv. maksimale og minimale effekt i HV-stationer og HV-kabler i blandede net samt i opsamlingsnet.

2.2. NETANALYSE TIL AT SKABE INDBLIK

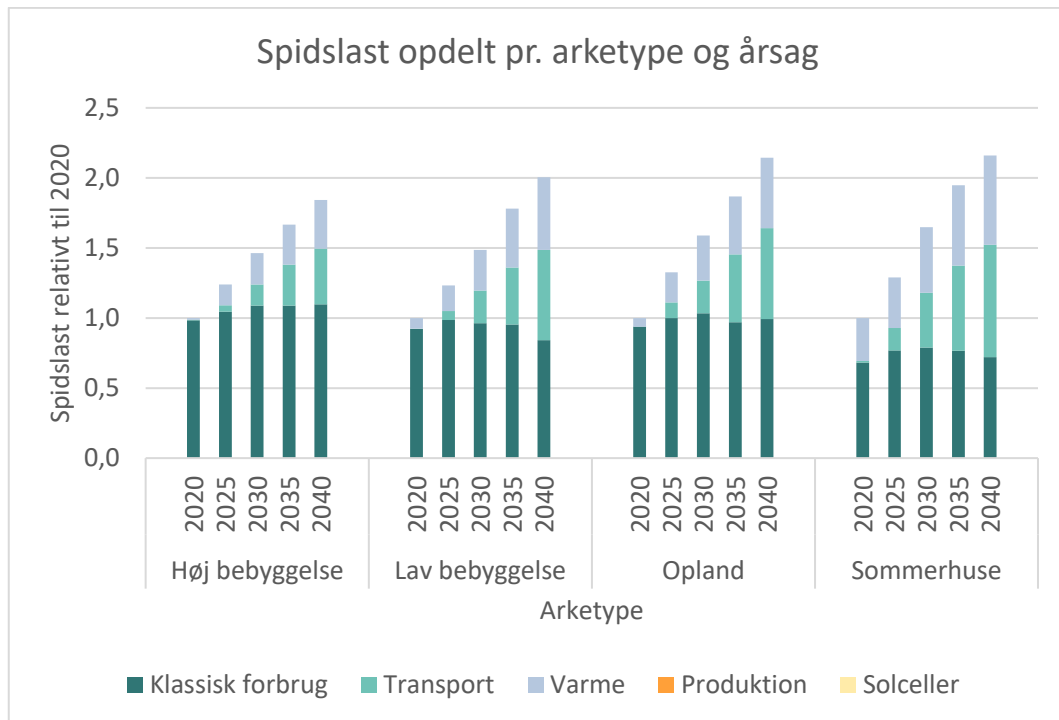
I denne del af analysen undersøges en række forskellige parametre på tværs af nettene for at give en bedre forståelse af, hvordan net og komponenter påvirkes i det enkelte scenarie/fremskrivning. Analyserne skal give viden om, hvilket net og komponenter der påvirkes, hvad de påvirkes mest af og i hvor stort omfang.

På baggrund af fremskrivningen i det enkelte scenarie og resultaterne fra netberegningerne kan der laves en lang række forskellige netanalyser. I det følgende beskrives de analyser, som laves automatisk, når TEGRA regner på et scenarie. Yderligere analyser kan tilføjes på sigt, såfremt det vurderes, at disse er nødvendige og tilføjer tilstrækkelig værdi til den overordnede TEGRA-model.

2.2.1. Effektstigning

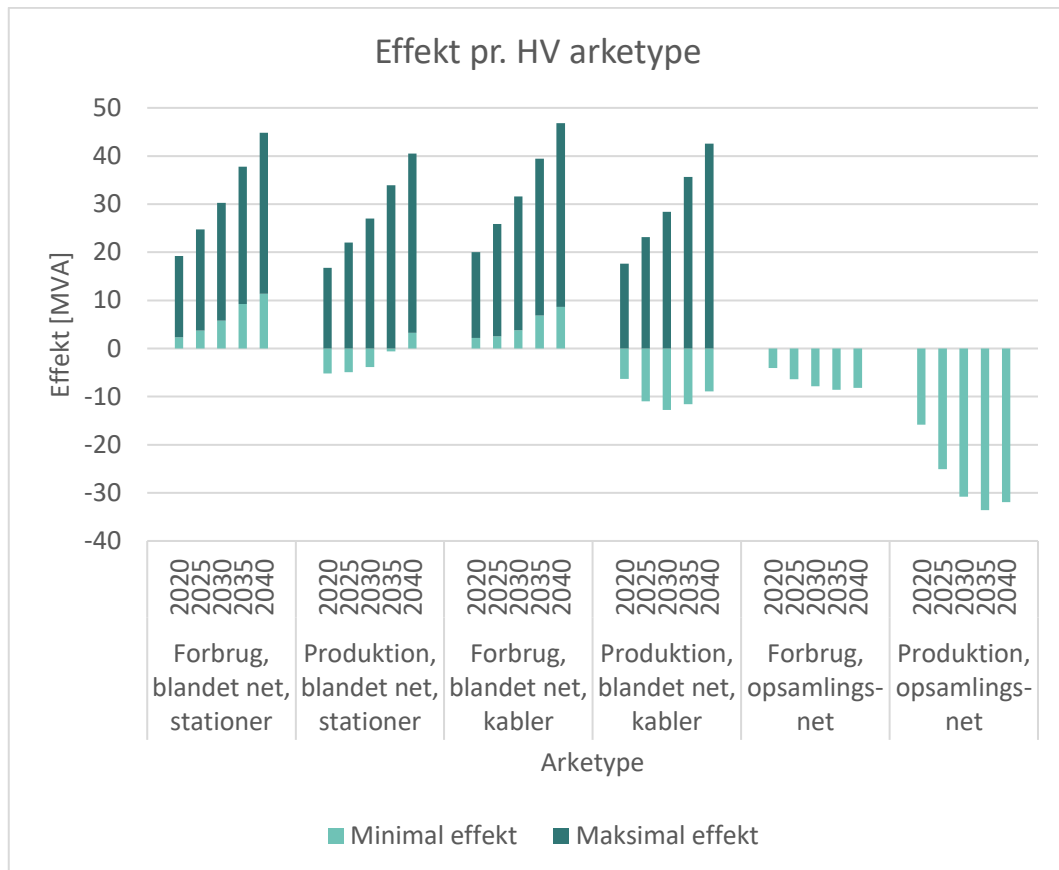
Analysen undersøger, hvor stor en stigning i spidslast (effektstigning) hver enkelt arketype oplever. På lav- og mellemspænding beregnes den relative effektstigning for hver arketype i forhold til udgangsåret. Samme beregning laves også på den overordnede områdekategorisering – høj bebyggelse, lav bebyggelse, opland og sommerhuse for lavspændingsnet og høj/lav energitæthed for mellemspændingsnet.

Den relative effektstigning opdeles på årsag, så det kan tydeliggøres, hvad der giver anledning til effektstigningen. Årsagsangivelse er fordelt på klassisk forbrug, forbrug til opvarmning og forbrug til transport, produktion fra solceller og anden produktion. Et eksempel er vist i figur 2.2, hvor klassisk forbrug er angivet med rød farve, forbrug til opvarmning er angivet med blå farve, og forbrug til transport er angivet med grå farve.



Figur 2.2 Eksempel på effektstigning i lavspændingsnet med årsangsangivelse.

På højspænding ses der på den absolutte maksimale og minimale effekt for hver arketype, hvor negativ effekt angiver, at effekten strømmer fra kunderne til nettet – altså at der er et overskud af produktion. Der noteres ikke årsangsangivelse. Et eksempel er vist i figur 2.3.



Figur 2.3 Eksempel på maksimal og minimal effekt i højspændingsnet.

Analyserne af effektstigning bruges primært til at vurdere, hvad der driver udviklingen i de enkelte arketyper, og hvilke arketyper der bliver påvirket mest i det givne scenarie for fremtidigt forbrug og produktion.

2.2.2. Mængden af udfordrede net

For lav- og mellemspændingsnet beregnes der på baggrund af analyserne i afsnit 2.1.1 og 2.1.2, hvor stor en andel af nettene i hver arketype der er udfordret. Mængden af udfordrede net opdeles yderligere på typen af udfordring. Typerne af udfordring er:

- Udfordring med strøm/effekt
- Udfordring med spænding
- Udfordring med både strøm/effekt og spænding.

Analyserne bruges primært til at vurdere, om der er bestemte typer af udfordringer, som er dominerende i de enkelte arketyper, såvel som hvilke arketyper der er mest udfordret i det givne scenarie for fremtidigt forbrug og produktion.

2.2.3. Grunddata om net

For lav- og mellemspændingsnet laves der analyser af nettenes grunddata. Dette omfatter parametre som længden på udføringer/radialer, antallet af kunder og mindste kortslutningseffekt.

Analyserne bruges til at udtrække en række nøgleparametre og til at berige de øvrige analyser med teknisk information, som kan være med til at forklare resultaterne eller give en dybere teknisk forståelse af sammenhænge. For eksempel bruges analyser af grunddata sammen med analysen af udfordrede net (se afsnit 2.2.2) til at undersøge, hvordan bestemte netkarakteristika, fx længde, hænger sammen med mængden og typen af udfordringer.

APPENDIKS 1. DIMENSIONERINGSKRITERIER

I tabel a1.1 vises de dimensioneringskriterier, som anvendes i netanalysen til beregning af netforstærkning. Værdierne er fremkommet på baggrund af de benyttede forstærkningsregler og manuelle beregninger fra netselskaberne. Værdierne er ikke nødvendigvis retvisende for de dimensioneringskriterier, der bruges i netselskaberne, men er de værdier, som i TEGRA-modellen giver den mest korrekte netforstærkning af nettene. Yderligere baggrund og forklaring af værdierne kan findes i RA638 om netforstærkning.

Net	Parameter	Grænseværdi
LV	Overbelastning kabler	90,0 %
	Overbelastning transformer	110,0 %
	Dimensioneringskriterie for overspænding	1,025 pu
	Dimensioneringskriterie for underspænding	0,950 pu
MV	Overbelastning kabler	70,0 %
	- Særligt for HEB	56,0 %
	- Særligt for HEF	56,0 %
	Dimensioneringskriterie for overspænding	1,025 pu
	Dimensioneringskriterie for underspænding	0,950 pu
	- Særligt for HEB	0,945 pu
	- Særligt for HEF	0,945 pu
	- Særligt for LEB	0,940 pu
HEB: Høj energitæthed, blandet net		
HEF: Høj energitæthed, blandet net med fjernvarmeværk		
LEB: Lav energitæthed, blandet net		

Tabel A1.1 Oversigt over anvendte dimensioneringskriterier.

Der fremgår ikke dimensioneringskriterier for højspændingsnet af tabel a1.1, da højspændingsnet er modelleret på en sådan måde, at der ikke er direkte anvendelse af dimensioneringskriterier ifm. netanalyse og netforstærkning.

APPENDIKS 2. OVERSIGT OVER KOMPONENTKATEGORIER

Benchmarkkategori	Overordnet komponentgruppe	Tarifkunde-kategori
30-60 kV kabel, tryksat olie-kabel	HV-kabler	A-høj
30-60 kV kabel, andre		
30-60 kV kabel, sø		
30-60 kV slukkespole		
30-60 kV luftledning		
30-60 kV kondensatorbatteri	Kondensatorbatteri	
30-60 kV åbent felt med effektafbryder	HV-stationer, 30-60 kV felter	A-lav
30-60 kV åbent felt med adskillere uden effektafbryder		
30-60 kV gasisoleret felt med effektafbryder		
30-60 kV transformer < 20 MVA	HV-stationer, 30-60 kV transformer	
30-60 kV transformer ≥ 20 MVA		
30-60 kV shuntreaktor	Shuntreaktor	A-høj
10-20 kV felt med effektafbryder	HV-stationer, 10-20 kV felter	A-lav
10-20 kV landkabel, APB	MV-kabler	B-høj
10-20 kV landkabel, PEX		
10-20 kV kabel, sø		
10-20 kV luftledning		
10-20 kV slukkespole		

Appendiks 2. Oversigt over komponentkategorier

Benchmarkkategori	Overordnet komponentgruppe	Tarifikunde-kategori
10-20/0,4 kV netstation, konventionel uden transformere	MV-stationer	B-lav
10-20/0,4 kV netstation, konventionel med transformereffekt < 500 kVA		
10-20/0,4 kV netstation, konventionel med transformereffekt 500-2000 kVA		
10-20/0,4 kV netstation, konventionel med transformereffekt > 2000 kVA		
10-20/0,4 kV netstation, automatiseret uden transformere		
10-20/0,4 kV netstation, automatiseret med transformereffekt < 500 kVA		
10-20/0,4 kV netstation, automatiseret med transformereffekt 500-2000 kVA		
10-20/0,4 kV netstation, automatiseret med transformereffekt > 2000 kVA		
0,4 kV kabel	LV-kabler	C
0,4 kV luftledning		
0,4 kV kabelskabe	Kabelskabe	
Målere - fjernaflæsning	Målere	Målere
Målere - ikke fjernaflæsning		