

RA 639

December 2022

TEGRA-modellen – Skalering

Gennemgang af skalering anvendt i TEGRA

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

| | |
|----------------------------|-------------------------------|
| Netteknisk rapport: | RA639 |
| 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

Denne rapport beskriver, hvordan det beregnede forstærkningsbehov skaleres til landsplan i TEGRA-modellen.

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

Kapitel 2 gennemgår, hvordan skalering udføres på LV-, MV- og HV-niveau. Denne varierer på baggrund af netmodelleringen af hvert enkelt spændingsniveau.

Kapitel 3 gennemgår, hvordan der interpoleres mellem nedslagsår, så der kan beregnes et forstærkningsbehov for hvert enkelt år, uanset afstanden mellem nedslagsår.

I kapitel 4 gives en oversigt over de resultater, som fremkommer efter skalering, og som danner basis for de økonomiske beregninger af investeringsbehov.

INDHOLDSFORTEGNELSE

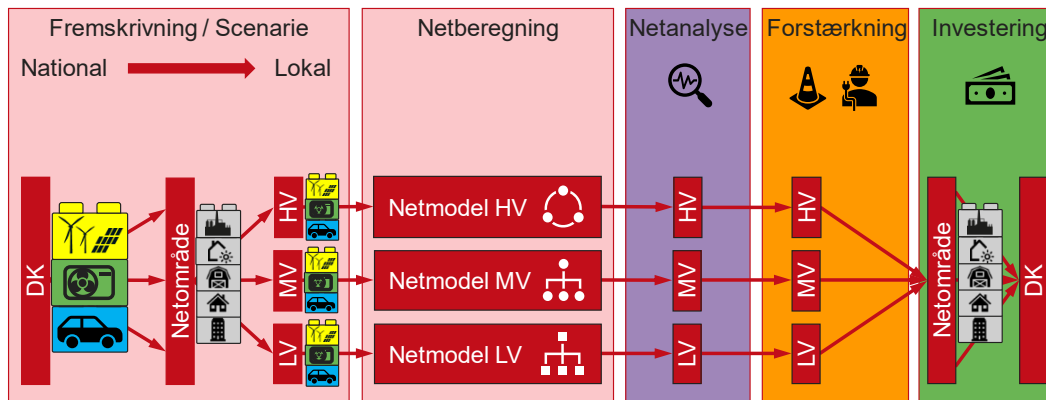
| | |
|---|-----------|
| Versionslog | 5 |
| Resume | 6 |
| Indholdsfortegnelse | 7 |
| 1. Indledning | 8 |
| 1.1. <i>Oversigt over TEGRA-modellen</i> | 8 |
| 1.2. <i>Oversigt over TEGRA-dokumentation</i> | 8 |
| 1.3. <i>Forudsætninger for denne rapport</i> | 8 |
| 2. Skalering | 9 |
| 2.1. <i>Skalering af LV og MV</i> | 9 |
| 2.2. <i>Skalering af HV</i> | 12 |
| 2.3. <i>Skalering af øvrige komponenter</i> | 14 |
| 3. Interpolation mellem nedslagsår | 15 |
| 4. Resultater | 16 |
| APPENDIKS 1. 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 | TEGRA – Introduktion |
| 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 – 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 DENNE RAPPORT

Processerne beskrevet i denne rapport forudsætter, at der er beregnet forstærkningsbehov.

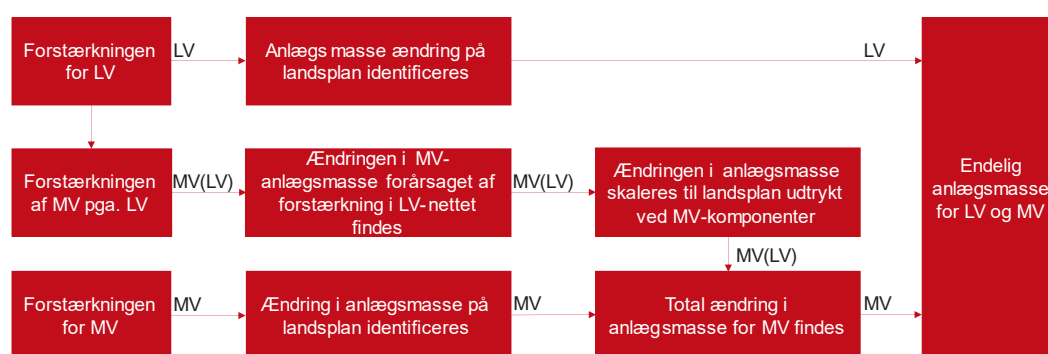
2. SKALERING

TEGRA-modellen indeholder en begrænset mængde data om det danske elnet. For at beregne resultater på landsplan er det derfor nødvendigt at skalere det beregnede forstærkningsbehov.

Skaleringen af forstærkningsbehovet kan ikke udføres ved simpel multiplikativ skalering, idet forholdet mellem forskellige arketyper ikke afspejler den nationale fordeling. Der er behov for en mere omfattende proces for skalering, som tager hensyn til forholdet mellem forskellige arketyper på landsplan, og hvad de enkelte bidrag er drevet af. I de følgende afsnit beskrives, hvordan denne skalering udføres for LV, MV og HV.

2.1. SKALERING AF LV OG MV

Skaleringsprocessen for LV og MV udføres efter bestemmelse af forstærkningsbehovet for hver enkelt arketype. Skalering har til formål at generalisere forstærkninger fra modellens specifikke arketyper til et forstærkningsbehov for hele landet. Processen fremgår af figur 2.1. I det første trin beregnes den procentvise ændring i anlægsmassen for LV- og MV-komponenter for hver arketype i de valgte nedslagsår. I det næste trin omregnes ændringen i assetmasse i hver arketype til en tilsvarende ændring i hvert netområde, som beskrevet i afsnit 2.1.1. Til sidst i processen ganges de procentvise ændringer af komponenter i hvert netområde på det samlede antal komponenter på landsplan i dag. Dermed findes de samlede ændringer i antal af LV- og MV-komponenter for den givne fremskrivning af forbrug og produktion.



Figur 2.1 Proces for skalering af LV- og MV-anlægsmasse.

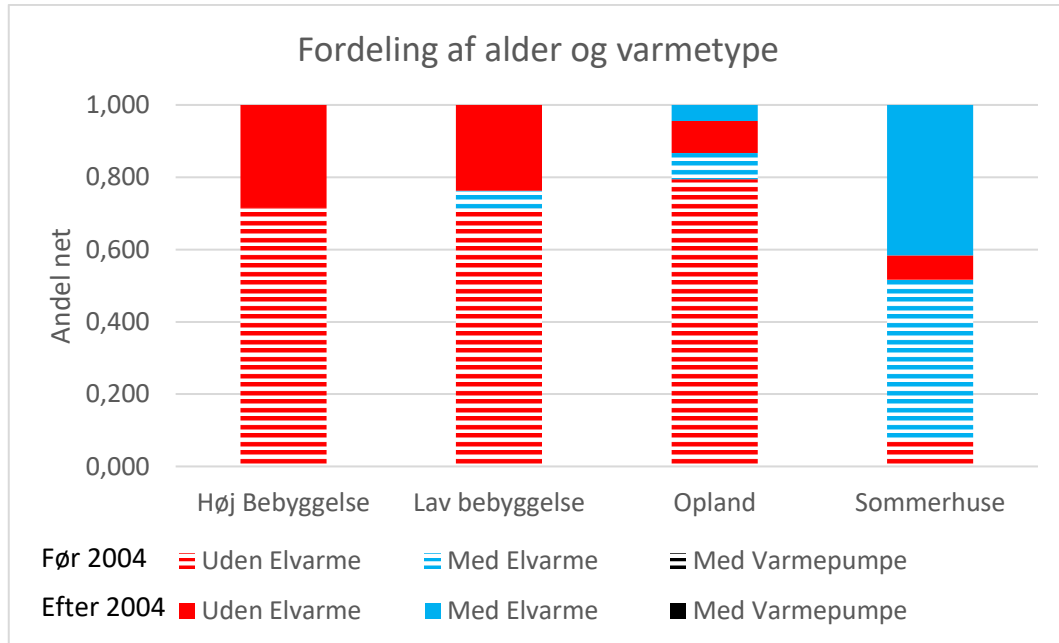
2.1.1. Arketyper til netområder

Fra forstærkningsberegningerne kendes den procentvise ændring i assetmasse for hver arketype for komponentgrupperne LV-kabler, MV-stationer og MV-kabler.

Den første del af skaleringsprocessen er at omregne disse til procentvise ændringer for hvert af de fem netområder (høj bebyggelse, lav bebyggelse, opland, sommerhus og industri).

2.1.1.1. LV

For LV er arketyperne en direkte underinddeling af netområderne baseret på typen af opvarmning og alderen på elnettet. Det betyder, at der for hvert netområde skal foretages en vægtet summing af de relevante arketyper. Konceptet er illustreret i figur 2.2.



Figur 2.2 Eksempel på fordeling af LV-arketyper på netområder.

Beregningerne udføres for alle tre komponentgrupper – LV-kabler, MV-stationer og MV-kabler. For MV-kabler er der tale om bidraget fra LV (se figur 2.1).

2.1.1.2. MV

For MV ses der på komponentgruppen MV-kabler. For hver MV-arketype beregnes, hvordan MV-kabler er fordelt på tværs af de fem netområder. For at finde disse fordelinger bruges en blanding af GIS-data og estimater af fordelingen af arketyper.

GIS-dataene giver et solidt grundlag for, hvordan MV-kabler i hver af de to overordnede MV-arketyper (høj energitæthed og lav energitæthed) fordeles ud på de fem netområder. Denne fordeling er vist i tabel 2.1.

| Energitæthed | Høj bebyggelse | Lav bebyggelse | Opland | Sommerhus | Industri |
|--------------|----------------|----------------|--------|-----------|----------|
| Høj | 0,971 | 0,520 | 0,119 | 0,298 | 0,748 |
| Lav | 0,029 | 0,480 | 0,881 | 0,702 | 0,252 |

Tabel 2.1 Fordeling af MV-kabler på netområder og MV-net med hhv. høj og lav energitæthed.

Fordelingen i tabel 2.1 ganges med estimater for fordelingen af arketyper inden for hhv. høj og lav energitæthed for at udregne relationen mellem MV-arketyper og netområder. Relationen mellem MV-arketyper og netområder er vist i tabel 2.2.

| MV-arketype | Høj bebyggelse | Lav bebyggelse | Opland | Sommerhus | Industri |
|-------------|----------------|----------------|--------|-----------|----------|
| HEI | 0,146 | 0,052 | 0,012 | 0,000 | 0,075 |
| HEB | 0,603 | 0,323 | 0,095 | 0,298 | 0,464 |
| HEP | 0,049 | 0,052 | 0,012 | 0,000 | 0,075 |
| HEF | 0,175 | 0,094 | 0,000 | 0,000 | 0,135 |
| LEI | 0,003 | 0,048 | 0,088 | 0,000 | 0,025 |
| LEB | 0,020 | 0,341 | 0,706 | 0,702 | 0,179 |
| LEP | 0,003 | 0,048 | 0,088 | 0,000 | 0,025 |
| LEF | 0,003 | 0,043 | 0,000 | 0,000 | 0,023 |

HE = Høj energitæthed, LE = Lav energitæthed
I = Industrinet, B = Blandet net, P = Produktionsnet, F = Blandet net med fjernvarmeværk

Tabel 2.2 Relation mellem MV-arketyper og netområder.

Når ændringen i MV-kabler fra forstærkning af hhv. LV- og MV-nettet er beregnet, summeres de to bidrag for at få den endelige ændring i mængden af MV-kabler.

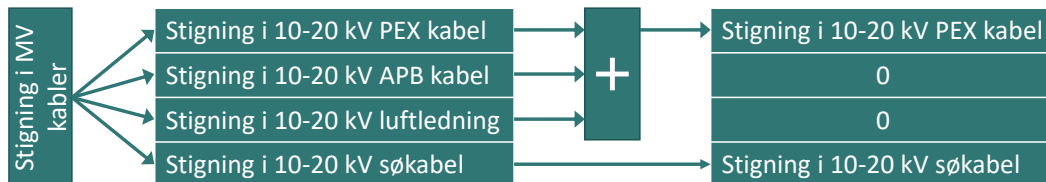
2.1.2. Skalering inden for komponentgrupper

Forstærkningen af LV- og MV-net er opdelt i tre komponentgrupper – LV-kabler, MV-stationer og MV-kabler. Hver af disse grupper kan dække over flere kategorier af komponenter. Når skaleringen for hver komponentgruppe er beregnet på de fem netområder, skal skaleringen af hver komponentkategori også beregnes.

Komponentgruppen LV-kabler består af to kategorier af komponenter – 0,4 kV-kabel og 0,4 kV-luftledning. Da 0,4 kV-luftledning udgør en forsvindende lille del af komponentgruppen, og der ikke længere anlægges 0,4 kV-luftledninger, tilskrives hele stigningen i komponentgruppen til 0,4 kV-kabel.

Komponentgruppen MV-stationer består af 8 kategorier af komponenter. Ændringen i MV-stationer opdeles på de 6 kategorier af stationer, som indeholder en transformer, baseret på deres indbyrdes forhold i dag.

Komponentgruppen MV-kabler består af 4 kategorier af komponenter – luftledning og tre kategorier af kabler. Ændringen i MV-kabler opdeles på disse 4 kategorier baseret på deres indbyrdes forhold i dag. Herefter tilskrives ændringen i luftledninger og APB-kabler til PEX-kabler, som vist i figur 2.3, da der ikke længere anlægges hverken luftledninger eller APB-kabler i MV-net. Luftledning udgør endvidere en forsvindende lille del af komponentgruppen MV-kabler.



Figur 2.3 Skalering inden for komponentgruppen MV-kabler.

2.1.3. Skalering af andre komponenter

Udbygning af MV-kabler vil også kræve en tilsvarende udbygning af 10-20 kV slukkespøler. Den procentvise ændring i MV-kabler påtrykkes derfor også komponentkategorien 10-20 kV slukkespole.

2.2. SKALERING AF HV

Skaleringsprocessen for HV udføres efter bestemmelse af forstærkningsbehovet for hver enkelt arketype. Skalering har til formål at generalisere forstærkninger fra modellens specifikke arketyper til et forstærkningsbehov for hele landet. Først beregnes den procentvise ændring i anlægsmassen for hver HV-arketype i de valgte nedslagsår. Derefter omregnes ændringen i assetmasse i hver arketype til en tilsvarende ændring i hvert netområde, som beskrevet i afsnit 2.2.1. Til sidst i processen ganges de procentvise ændringer af komponenter i hvert netområde på det samlede antal komponenter på landsplan i dag. Dermed findes de samlede ændringer i antal af HV-komponenter for den givne fremskrivning af forbrug og produktion.

Skaleringsprocessen er konceptmæssigt ikke anderledes end skaleringen for LV- og MV-komponenter, men den tekniske implementering for HV-komponenter er en smule anderledes end for LV- og MV-komponenter pga. forskellene i netmodellering, analyse og forstærkning.

2.2.1. Arketyper til netområder

Fra forstærkningsberegningerne kendes den procentvise ændring i assetmasse for hver arketype for komponentgrupperne HV-kabler og HV-stationer.

Den første del af skaleringsprocessen er at omregne disse til procentvise ændringer for hvert af de fem netområder (høj bebyggelse, lav bebyggelse, opland, sommerhus og industri). Relationen mellem HV-arketyper og netområder beregnes på baggrund af GIS-data og er vist i tabel 2.3.

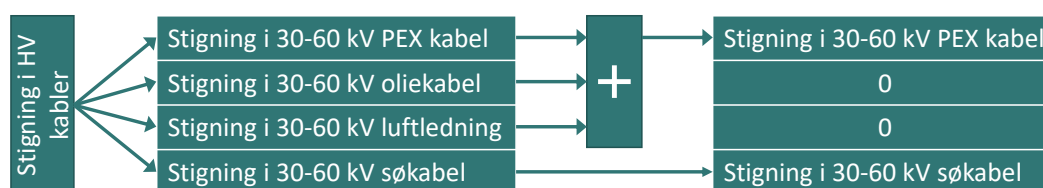
| HV Arketype Komponentgruppe | Høj bebyggelse | Lav bebyggelse | Opland | Sommerhus | Industri |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|--------|-----------|----------|
| Forbrugsnet Kabler | 0,042 | 0,279 | 0,573 | 0,000 | 0,106 |
| Forbrugsnet Stationer | 0,025 | 0,331 | 0,461 | 0,000 | 0,183 |
| Produktionsnet Kabler | 0,002 | 0,080 | 0,647 | 0,000 | 0,271 |
| Produktionsnet Stationer | 0 | 0,143 | 0,708 | 0,000 | 0,149 |

Tabel 2.3 Relation mellem HV-arketyper, komponentgrupper og netområder.

2.2.2. Skalering inden for komponentgrupper

Forstærkningen af HV-net er opdelt i to komponentgrupper – HV-kabler og HV-stationer. Hver af disse grupper kan dække over flere kategorier af komponenter. Når skaleringen for hver komponentgruppe er beregnet på de fem netområder, skal skaleringen af hver komponentkategori også beregnes.

Komponentgruppen HV-kabler består af 4 kategorier af komponenter – luftledning og tre kategorier af kabler. Ændringen i HV-kabler opdeles på disse 4 kategorier baseret på deres indbyrdes forhold i dag. Herefter tilskrives ændringen i luftledning og olie-kabel til PEX-kabler som vist i figur 2.4. Dette gøres, fordi der ikke længere anlægges olie-kabler, og fordi det forventes, at luftledninger i stigende grad vil blive udskiftet med kabler, når HV-nettet forstærkes eller fornyes.



Figur 2.4 Skalering inden for komponentgruppen HV-kabler.

Komponentgruppen HV-stationer består af to kategorier af komponenter – transformere < 20 MVA og transformere ≥ 20 MVA. Ændringen i HV-stationer opdeles ligeligt på de to kategorier af transformere, da det forventes, at der fremadrettet vil være en stigende andel af større transformere.

2.2.3. Skalering af andre komponenter

Udbygning af HV-kabler og HV-stationer vil også kræve en tilsvarende udbygning af andre komponenter.

Udbygning af HV-kabler vil kræve en tilsvarende udbygning af 30-60 kV slukkespøler. Den procentvise ændring i HV-kabler påtrykkes derfor også komponentkategorien 30-60 kV slukkespøle.

Udbygningen af HV-stationer vil kræve en tilsvarende udbygning af 30-60 kV felter og 10-20 kV felter. Der skelnes her mellem de to typer af forstærkning (1-1-forstærkning og 1-mange-forstærkning). Ved 1-1-forstærkning, hvor transformeren i HV-stationen blot udskiftes med en større transformer, forudsættes det, at det også kræver udskiftning af de tilhørende transformertelter – altså ét 30-60 kV felt og ét 10 kV felt.

Ved 1-mange-forstærkning, hvor der bygges en helt ny HV-station, vil behovet for felter være langt større. En gennemsnitlig HV-station vil have tre 30-60 kV felter og syv 10-20 kV felter. For hver ny HV-station udbygges antallet af felter derfor tilsvarende.

2.3. SKALERING AF ØVRIGE KOMPONENTER

Ud over de komponenter, som er behandlet i afsnit 2.1 og 2.2, er der en række andre komponenter, der også skal tages stilling til. Det drejer sig navnlig om komponentkategorierne:

- 30-60 kV shuntreaktor
- 30-60 kV kondensatorbatteri
- 0,4 kV kabelskabe.

Shuntreaktorer og kondensatorbatterier bruges i elnettet til at kompensere for reaktiv effekt. For nuværende regnes der ikke på forstærkning af disse komponenter, og der foretages derfor heller ikke en skalering.

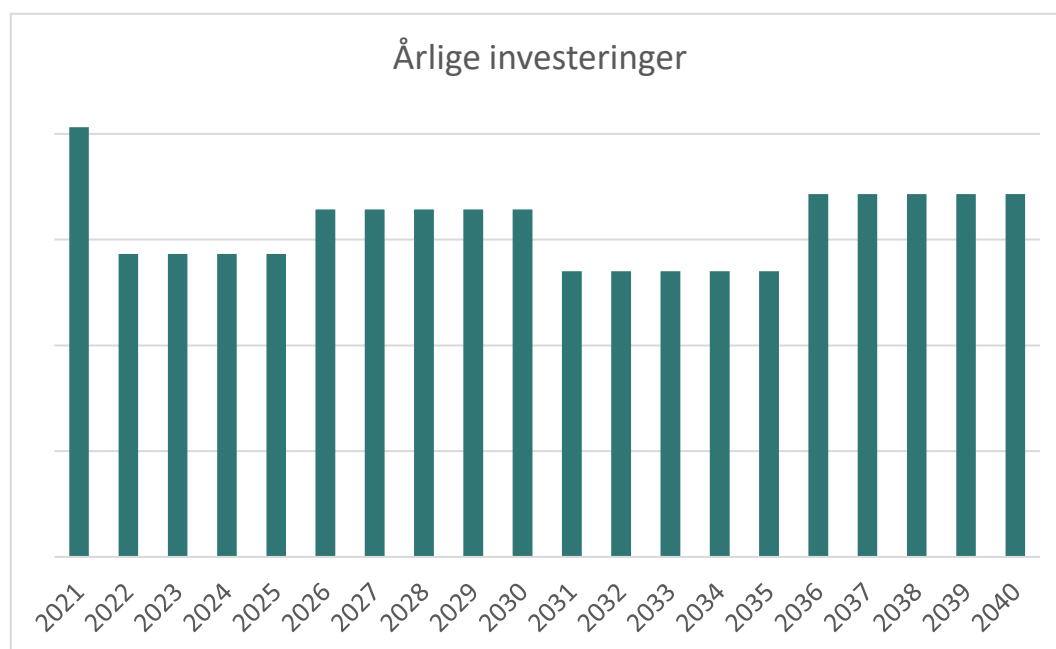
Kabelskabe bruges til at forsyne kunder i lavspændingsnettet. Da TEGRA regner på et uændret antal kunder, vil antallet af kabelskabe ikke ændre sig. Der er derfor heller ikke foretaget en skalering for denne komponentkategori.

3. INTERPOLATION MELLEM NEDSLAGSÅR

Af hensyn til investeringsberegninger skal der bruges resultater for hvert enkelt kalenderår. Da netberegning, analyse, forstærkning og skalering kun udføres på nedslagsår, er det derfor nødvendigt at foretage en interpolation af resultaterne.

Interpolationen skal være robust over for antal nedslagsår og afstand mellem nedslagsår, således at disse kan varieres frit, fx 2020, 2025, 2030, 2050.

Der benyttes lineær interpolation mellem nedslagsår. Lineær interpolation er valgt primært pga. den lette implementering. Den lineære interpolation betyder, at den årlige udvikling i komponenter, og dermed de årlige investeringer, har diskrete trin i nedslagsårene og er flad mellem nedslagsårene. Et eksempel er vist i figur 3.1.



Figur 3.1 Eksempel på årlige investeringer med lineær interpolation.

Andre typer af interpolation kan implementeres, men de vil ikke give et mere retvisende resultat. Hvis der ønskes en højere detaljegrad i mellemliggende år, vil den korrekte løsning være at tilføje flere nedslagsår.

4. RESULTATER

Efter skalering ligger der årlige resultater for udviklingen i alle komponentkategorier (komponenter opdeles i samme kategorier som i Forsyningstilsynets benchmarkmodel).

Udviklingen i komponenter er opdelt på følgende:

- De fem netområder
- Spændingsniveauer
- Typen af forstærkning.

Den detaljerede opdeling af resultaterne giver et dybdegående indblik i, hvordan forskellige områder påvirkes af udviklingen i forbrug og produktion. Det bliver muligt at se, hvilke komponentkategorier der spiller den største rolle i hvert netområde og på hvert spændingsniveau.

Ydermere gør opdelingen på typen af forstærkning det muligt at foretage yderligere analyser ifm. investeringsberegninger. Det gør det blandt andet muligt at vurdere, om der er sammenfald mellem forstærkning af komponenter og den aldersbaserede udskiftning af komponenter.

APPENDIKS 1. 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 1. 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 | | |