

Procedurer og principper for elkvalitet ved tilslutning af store anlæg

Denne vejledning beskriver de procedurer og principper, der til dels skal anvendes i forbindelse med elkvalitet ved nettilslutning af større forbrugsanlæg på mellem- eller højspændingsniveau i distributionsnettet.

Vejledningen har fokus på de dele af elkvalitet, som har de største indvirkninger på tværs af spændingsniveauer og kan medvirke til resonansfænomener. De overordnede krav til *alle* dele af elkvalitet findes i "[Vejledning for tilslutningskrav i mellem- og højspændingsnet](#)" på Dansk Energis hjemmeside.

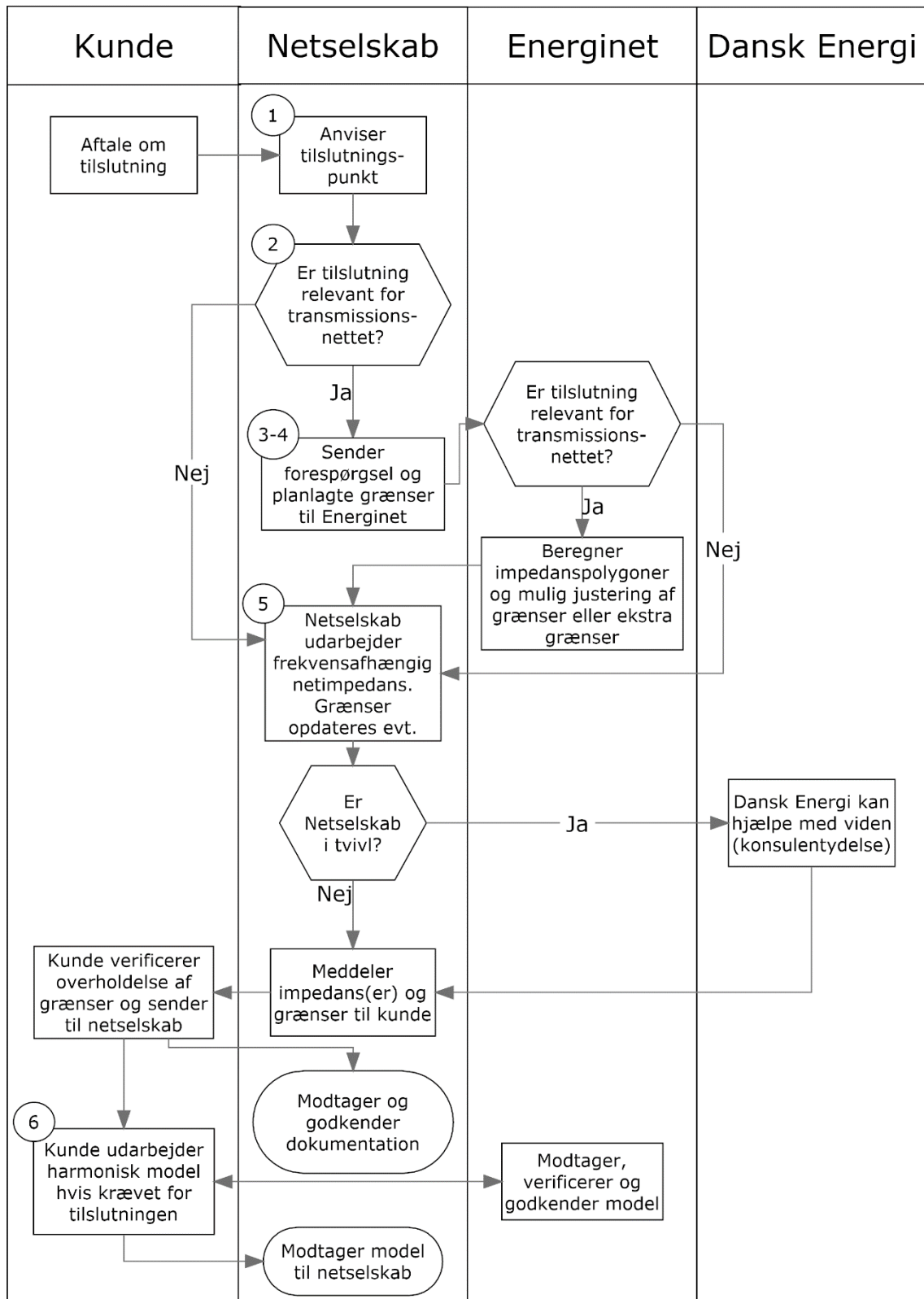
Procedurerne og principperne har fokus på elkvalitet ved tilslutning af forbrugsanlæg til mellem- eller højspændingsnettet, men kan i vid udstrækning også anvendes for produktionsanlæg i kategori C- og D, hvor emissionsgrænser udregnes i spændingsgrænser og ikke i strømgrænser. Strømgrænser anvendes for mindre produktionsanlæg i kategori A og B, samt for forbrugsanlæg tilsluttet lavspænding, og behandles ikke i nærværende vejledning.

Den overordnede proces for at sætte krav til elkvalitet for forbrugsanlæg fremgår af Figur 1 efterfulgt af en række nummererede afsnit, som beskriver de enkelte delpunkter i processen mere grundigt. Afsnittenes nummerering følger numrene på Figur 1.

Indhold

Procesdiagram for elkvalitetskrav ved tilslutning	2
1. Tilslutning og hvor krav fastsættes.....	3
2. Er tilslutningen relevant for transmissionsnettet?	3
3. Sende forespørgsel og planlagte grænser til Energinet.....	3
4. Principper for beregning af grænseværdier.....	4
5. Udarbejdelse af frekvensafhængig netimpedans	4
6. Krav til harmonisk simuleringsmodel.....	6
7. Anbefalinger vedrørende opsætning af elkvalitetsmåler.....	7
Bilag 1: Eksempler på forespørgsel om relevans for transmissionsnettet.....	10

Procesdiagram for elkvalitetskrav ved tilslutning



Figur 1: Processkema for de krav, der er specifikke for elkvalitet ved tilslutning. Processen er ikke den samlede proces, men udelukkende elkvalitetsdelen af den samlede tilslutningsproces.

1. Tilslutning og hvor krav fastsættes

Ved alle tilslutninger er der under den generelle tilslutning defineret et tilslutningspunkt (POC). Krav til elkvalitet bør altid fastsættes i dette tilslutningspunkt.

Anlæg, som tilsluttes og har flere tilslutningspunkter, bør få krav til elkvalitet fastsat i hvert af disse tilslutningspunkter individuelt – dvs. bør få krav fastsat på samme måde, som var det individuelle anlæg.

2. Er tilslutningen relevant for transmissionsnettet?

Visse anlæg, der tilsluttes til distributionsnettet, kan være så store, eller af en sådan beskaffenhed, at de har en betydende indvirkning på transmissionsnettet. I disse tilfælde skal Energinet Elsystemansvar inddrages i tilslutningsprocessen.

Inddragelsen af Energinet Elsystemansvar sker ved, at der kører en ekstra runde med Energinet Elsystemansvar, inden de endelige krav sendes til kunden. Netselskabet vil på denne måde kunne medtage eventuelle krav fra Energinet Elsystemansvar i et enkelt sæt samlede krav, så kunden stadig kun modtager et enkelt sæt krav, der skal overholdes.

Netselskabet skal vurdere, hvorvidt et anlæg, som tilsluttes, kan være relevant for transmissionsnettet. Anlægstyper, der som udgangspunkt kan være relevante, er følgende:

- Produktionsanlæg i kategori D kan være relevante for transmissionsnettet.
- Forbrugsanlæg over 25 MW kan være relevante for transmissionsnettet.
- Produktions- eller forbrugsanlæg, der er af en specifik beskaffenhed, hvor der enten mistænkes eller forventes en betydelig indvirkning på transmissionsnettet, kan være relevant for transmissionsnettet¹.

3. Sende forespørgsel og planlagte grænser til Energinet

Hvis netselskabet vurderer, at en tilslutning af et anlæg kan være relevant for transmissionsnettet, sendes en forespørgsel herom til Energinet Elsystemansvar (elkvalitet@energinet.dk).

Forespørgslen skal som minimum indeholde følgende informationer²:

- Forventet tilslutningspunkt (plus evt. reserve/alternativt forsyningspunkt).
- Forbrug eller produktion, samt type af anlæg.
- Størrelse af det samlede anlæg.
- Forventede spændingskvalitetsgrænser til det tilsluttede anlæg.
- Eventuelle netændringer i forbindelse med tilslutningen.
- Øvrige anlæg, som er relevante for transmissionsnettet, allerede tilsluttet under samme hovedstation.
- Forventet længde af net for tilslutning (det kabel/den linje, der anvendes til tilslutning af kunden).

¹ Dette kan fx være, hvis anlægget har en større indvirkning på impedansforholdene i tilslutningspunktet, idet det vil kunne skabe kraftige resonansfænomener el.lign.

² Se også eksempler i Bilag 1.

Hvis ikke Energinet Elsystemansvar finder anlægget relevant for transmissionsnettet, fortsætter netselskabet deres tilslutningsproces som normalt efter principperne i afsnit 4.

Hvis Energinet Elsystemansvar finder anlægget relevant for transmissionsnettet, vil de udarbejde frekvensafhængige impedanspolygoner, justeringer til grænser eller et alternativt sæt grænser for transmissionsniveau – som sendes til netselskabet til indarbejdelse i de endelige krav til kunden.

4. Principper for beregning af grænseværdier

Beregning af grænseværdier foregår efter principperne i IEC/TR 61000-3-6³ og IEC/TR 61000-3-7. Disse er internationalt udarbejdede forslag til planlægningsgrænser og beregningsmetoder for, hvordan den tilladelige forvrængning af elkvaliteten beregnes, og tildeles tilslutninger efter deres størrelse.

Bemærk, at forbrug og produktion ikke nødvendigvis støjer på en måde, så det udligner hinanden, men sagtens kan støje ens, så deres støj summeres op. Af denne årsag er det vigtigt at anvende summen af en transformers forbrug og produktion, når støj tildeles tilslutninger.

I praksis vil støj under en transformer således skulle deles imellem to gange dens mærkeeffekt – så fx en transformer, der kan levere 50 MW, skal dele den tilladelige støj for tilslutninger ud fra 100 MW støjende tilslutninger (50 MW støjende forbrug og 50 MW støjende produktion).

5. Udarbejdelse af frekvensafhængig netimpedans

Ved de fleste tilslutninger anvendes den forsimplede impedansmodel, hvor impedansen udregnes på baggrund af $S_{k, \text{elkvalitet}}$ og den tilhørende kortslutningsvinkel.

Beregning af grænseværdier gøres efter principperne i afsnit 4.

I tilfælde, hvor $S_{k, \text{elkvalitet}}$ ikke er tilgængelig, anvendes i stedet følgende alternative beregning af $S_{k, \text{elkvalitet}} = (S_{k, \text{min}} + S_{k, \text{maks.}}) / 2$. Kortslutningsvinklen beregnes da ved at tage den direkte midelværdi af de angivne kortslutningsvinkler for $S_{k, \text{min}}$ og $S_{k, \text{maks.}}$

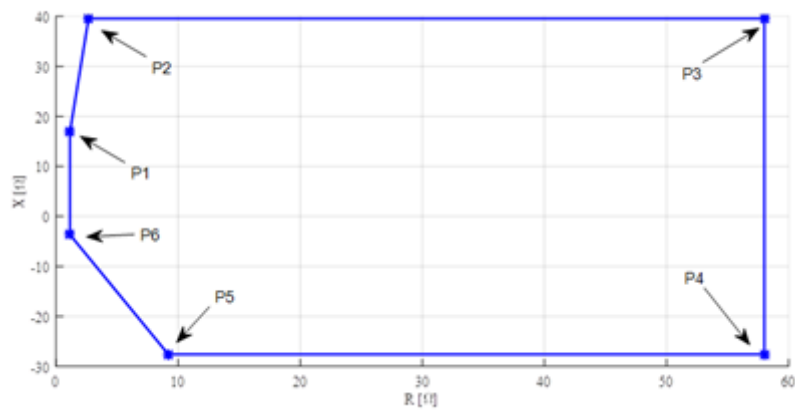
Den beregnede $S_{k, \text{elkvalitet}}$ og kortslutningsvinkel opgives herefter til kunden, samt eventuelt den

beregnete netimpedans $|Z_{net,h}| = \sqrt{R_{50}^2 + (h \cdot X_{50})^2}$.

Impedansen beregnes op til den 40. harmoniske (2000 Hz), hvorefter den ikke stiger yderligere (impedansen over 2000 Hz er således den samme som impedansen ved 2000 Hz).

I tilfælde, hvor der anvendes impedanspolygoner, oplyses disse af Energinet for lavspændings-siden af hovedstationen (50 eller 60 kV skinnen) som en polygon bestående af en række punkter, som forbindes med rette linjer. En polygon kan fx se ud som vist på Figur 2.

³ Bemærk, at den forsimplede impedansmodel i IEC/TR 61000-3-6 ikke anvendes. Den frekvensafhængige impedans i denne vejledning anvendes i stedet.



Figur 2: Eksempel på en impedanspolygon som oplyst af Energinet.

En sådanne impedanspolygon oplyses for en række frekvensspænd, så der samlet set oplyses en komplet impedanspolygon som vist i Tabel 1, som angiver polygonens hjørnepunkter indenfor hvert enkelt frekvensspænd (angivet som harmoniske overtoner).

	1 <- h > 10		10 <- h -> 17		17 <- h > 26		26 <- h > 32		32 <- h -> 50	
	R	X	R	X	R	X	R	X	R	X
P1	1.0777	13.722	2.2863	28.158	2.1373	44.929	0.79719	17.378	0.78573	17.246
P2	8.5374	108.7	29.78	366.78	19.408	407.98	37.933	826.93	34.706	761.77
P3	99.812	108.7	623.44	366.78	775.02	407.98	1606.9	826.93	1233.8	761.77
P4	99.812	-19.75	623.44	-285.98	775.02	-371.74	1606.9	-737.01	1233.8	-816.63
P5	26.972	-19.75	42.87	-285.98	86.682	-371.74	37.307	-737.01	22.987	-816.63
P6	1.0777	-0.83067	2.2863	-16.054	2.1373	-9.6482	0.79719	-16.578	0.78573	-29.383

Tabel 1: Komplet oplyst impedanspolygon for et punkt.

Er tilslutningen direkte til den pågældende hovedstation, kan impedanspolygonerne videregives direkte til kunden.

Er tilslutningen *ikke* direkte til hovedstationen, men har et længere stykke net mellem hovedstationen og tilslutningen, bør det mellemliggende net indregnes ved udelukkende at medregne det stykke net, som forbinder kunden direkte til hovedstationen (det resterende elnet bør dermed ikke medregnes).

6. Krav til harmonisk simuleringsmodel

Krav til konkrete harmoniske simuleringsmodeller for forbrugsanlæg afhænger af anlæggets størrelse. Dette afsnit er udelukkende relevant for harmoniske simuleringsmodeller og er ikke anvendeligt for øvrige simuleringsmodeller.

Forbrugsanlæg mindre end og lig 10 MW

Forbrugsanlæg på 10 MW og herunder har som udgangspunkt ikke noget egentligt krav om en harmonisk simuleringsmodel. Forbrugsanlæggets harmoniske emissioner, som anvendes til at verificere overholdelse af de angivne grænseværdier for forbrugsanlægget, er normalt fyldestgørende.

Forbrugsanlæg over 10 MW og til og med 25 MW

Forbrugsanlæg, som er over 10 MW til og med 25 MW, har som udgangspunkt ikke yderligere krav til harmonisk simuleringsmodel end forbrugsanlæg på 10 MW eller herunder – dog kan der være krav om en harmonisk simuleringsmodel, hvis:

- anlægget i sjældne tilfælde er relevant for transmissionsnettet.
- anlægget kan have en betydelig indvirkning på den frekvensafhængige impedans lokalt.

Hvis ikke nogen af ovenstående er gældende, er de harmoniske emissioner, som anvendes til at verificere overholdelse af de angivne grænseværdier, fyldestgørende.

Forbrugsanlæg over 25 MW

Forbrugsanlæg, som er over 25 MW, har kun krav om en harmonisk simuleringsmodel, hvis:

- forbrugsanlægget anses som værende relevant for transmissionsnettet.
- der af andre årsager skal anvendes impedanspolygoner for beregninger med impedansen.
- anlægget har en betydelig indvirkning på den frekvensafhængige impedans lokalt.

Hvis ikke nogen af ovenstående er gældende, er de harmoniske emissioner, som anvendes til at verificere overholdelse af de angivne grænseværdier, fyldestgørende.

Forbrugsanlæg, som er relevante for transmissionsnettet, skal overholde de harmoniske simuleringsmodelkrav, som er beskrevet i afsnittet omkring harmoniske simuleringsmodeller i NETWORK CODE ON DEMAND CONNECTION (DCC) - KRAV TIL SIMULERINGSMODEL (Dok. 17/07437-43).

Produktionsanlæg over 10 MW skal altid levere en model, som overholder de harmoniske simuleringsmodelkrav, der er beskrevet i afsnittet omkring harmoniske simuleringsmodeller i REQUIREMENTS FOR GENERATORS (RFG) BILAG 1.B – KRAV TIL SIMULERINGSMODEL (Dok. 18/00436-1).

Levering af harmonisk simuleringsmodel, hvor tilslutningen er relevant for transmissionsnettet

Levering og verifikation af harmonisk simuleringsmodel, hvor anlægget er relevant for transmissionsnettet, foregår direkte mellem anlægsejer og Energinet Elsystemansvar.

Netselskabet skal også bruge en harmonisk simuleringsmodel. Den harmoniske simuleringsmodel, som udarbejdes og godkendes af Energinet Elsystemansvar, sendes herefter til netselskabet.

7. Anbefalinger vedrørende opsætning af elkvalitetsmåler

Opsætning af elkvalitetsmåler ved et anlæg bør udelukkende foretages i de tilfælde, hvor det giver teknisk eller økonomisk mening. Dette afhænger af en række parametre, herunder hvilke krav der er til anlægget.

Overvejelser ifm. mulighed for opsætning af elkvalitetsmåler ved nye anlæg som tilsluttes

Overvejelser ifm. mulighed for tilslutning af elkvalitetsmåler afhænger primært af, hvad der skal måles, dvs. oftest om den nye tilslutning har krav, der er fastsat som strømme eller spændinger.

Anlæg med emissionskrav i strømme

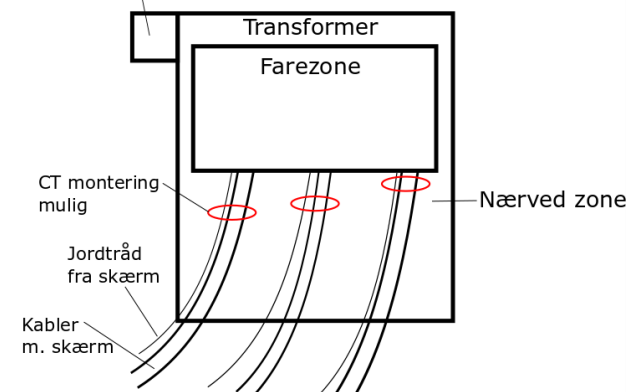
I alle typer anlæg, hvor kravene til anlæggets emissioner er givet i strømme, bør det sikres, at der er let tilgængelig mulighed for at tilslutte en elkvalitetsmålers strømprober omkring de enkelte faseledere (med skærmen ført tilbage igennem målepunktet, så den bliver annulleret).

Figur 3 og Figur 4 viser eksempler på montering af både midlertidige strømtransformere i nærved-zonen og på permanent monteret i farezonen, hvor det sikres, at evt. påvirkning fra skærmen ikke er med i målingen.

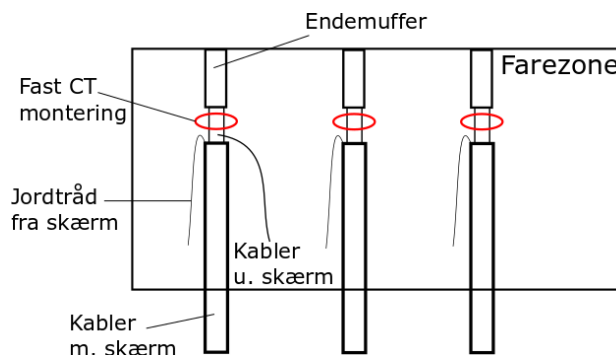
Det bør også sikres, at der er mulighed for at tilgå eventuel eksisterende måletransformer for spændingen (hvis det er tilsluttet til mellemspændingsniveau), da elkvalitetsmålere ofte skal bruge dette som referencepunkt.

Dette omfatter alle forbrugsanlæg, som tilsluttes lavspænding, samt produktionsanlæg i kategori A eller B.

Eksisterende
spændingstransformer



Figur 3: Tilslutning af midlertidige måletransformere til måling af strøm - måling om kabel med skærm.



Figur 4: Permanent tilsluttede strømtransformere – måling efter skærm. De permanente strømtransformere skal her være en type, som kan måle stabilt hele vejen op i frekvens, hvor der er fastsat krav (typisk 9 kHz).

Anlæg med emissionskrav i spændinger

I alle typer anlæg, hvor kravene til anlæggets emissioner er givet i spændinger, bør det sikres, at der er installeret en måletransformer til spændingen, som er stabil i hele det frekvensområde, hvortil der stilles emissionskrav (normalt op til 9 kHz). Derudover bør det overvejes, om der kan sikres en let tilgængelig mulighed for at tilslutte en elkvalitetsmålers strømprober omkring de enkelte faseledere (efter en metode i stil med den i Figur 3), af hensyn til forbedret mulighed for diagnosticering.

Dette omfatter forbrugsanlæg, som tilsluttes mellem- eller højspænding, samt produktionsanlæg i kategori C eller D.

Overvejelser ifm. opsætning af elkvalitetsmåler ved nye anlæg, som tilsluttes

Der er en række specifikke situationer, hvor det kan være en fordel at opsætte en elkvalitetsmåler til at verificere påvirkningen af elnettet. Fx:

- Anlæg bestående af enten flere forskellige typer enheder, eller et højt antal (> 10) enheder. I disse tilfælde er der en god sandsynlighed for, at udligningen af støj ikke passer med de almindelige matematiske summeringsregler i de anvendte IEC-standarder. Yderligere er det her, et anlæg kan begynde at have uforudsete interaktioner mellem de enkelte enheder, som kan skabe problemer med resonanser, sekundær emission mv.
- Anlæg med krav til emissioner givet i spændinger, da en før- og efter-måling er den eneste måde, hvor overholdelse af støjgrænser kan verificeres med måling her, samt at det er den eneste måde at verificere, at den anvendte impedans passer med virkeligheden.
- I områder, hvor spændingskvaliteten forventes udfordret, eller hvor der tidligere har været klager, kan det også være fordelagtige at have en måling opsat til at verificere, at spændingskvaliteten stadig er i orden efter den nye tilslutning.

Hvor længe skal en elkvalitetsmåler sidde?

En elkvalitetsmåler, som skal verificere overholdelse af spændingskvaliteten, skal som minimum sidde en uge (7 hele, sammenhængende døgn).

En elkvalitetsmåler, som skal sikre overholdelse af emissioner fra en ny tilslutning, skal minimum sidde i en uge (7 hele, sammenhængende døgn) – muligvis længere. Verificering af en ny tilslutning skal inkludere målinger af alle driftspunkter – så en vindmølle skal have produktion varierende fra nul til fuld produktion, en solcelle mellem nat og optimalt solindfald og et forbrugsanlæg alle normalt forventelige driftspunkter.

Fx vil en fabrik med planer om at køre 1/3 produktion om sommeren, men ellers fuld produktion, skulle verificeres over en eller flere måleperioder, som dækker både fuld produktion og den reducerede sommerproduktion.

Længere målinger af elkvaliteten kan også være fordelagtige, så målingerne ud over variation i emission også udsættes for variation i kortslutningsniveauet.

Verifikation af visse specifikke dele af elkvalitet kræver dog længerevarende målinger. Verifikation af spændingsdyk og/eller transienter skal foretages over minimum 6 måneder, men helst 12 måneder, hvis muligt.

At opretholde måleren permanent er ikke et krav ved tilslutninger, men kan fint give mening i mange tilfælde – specielt på højspændingsniveau, da selve måleren her kun vil være en begrænset del af den samlede udgift til den evt. nødvendige måling.

Tekniske krav til elkvalitetsmåler

Elkvalitetsmålere skal være i stand til at måle de relevante parametre afhængig af formålet med den pågældende måling. Fx skal en måling efter overholdelse af EN 50160 kunne måle de parametre, der sættes krav om i EN 50160.

For tilslutning af nye anlæg skal målerne kunne måle de parametre, som der stilles krav til i de Tekniske Betingelser for nettilslutning:

- Målinger af de forskellige elkvalitetsparametre skal udføres i henhold til den europæiske norm DS/EN 61000-4-30 (klasse A).

- Måling af harmonisk forvrængning af spænding og strøm skal foretages som defineret i IEC 61000-4-7 efter de principper (harmonic subgroup) og med de nøjagtigheder, der er angivet for klasse I.
- Måling af interharmonisk forvrængning op til 2 kHz skal foretages som defineret i IEC 61000-4-7 Annex A og skal måles som interharmoniske grupper (interharmonic subgroup).
- Alternativt er det tilladt at måle harmonisk forvrængning op til 2 kHz med grouping aktiveret (harmonic groups), som specificeret i IEC 61000-4-7 og med de nøjagtigheder, der er angivet for klasse I. Hvis harmonisk forvrængning op til 2 kHz måles med grouping aktiveret, er det ikke påkrævet at måle interharmonisk forvrængning op til 2 kHz separat.
- Måling af forstyrrelser i området 2-9 kHz skal foretages jævnfør IEC 61000-4-7 Annex B og skal måles i 200 Hz-vinduer med centerfrekvenser fra 2100 Hz til 8900 Hz.

Det vil sige, at målerne ved tilslutninger af nye anlæg skal kunne måle op til 9 kHz efter metoderne specificeret i ovennævnte standarder.

Bilag 1: Eksempler på forespørgsel om relevans for transmissionsnettet.

Nedenfor er to eksempler på, hvilke informationer der skal medtages ved en forespørgsel til Energinet om, hvorvidt en tilslutning er relevant for transmissionsnettet.

Eksempel 1:

Tilslutning af pumpestation.

- Tilslutning til 132/50 kV-station ABC, direkte til 50 kV-skinen.
- Udelukkende forbrug, frekvensstyrede pumper.
- 47 MW forbrug samlet set.
- Vedhæftet VAS-EL-beregning, som angiver fordelingen af krav til elkvalitet.
- Der forventes ingen netændringer i forbindelse med tilslutningen.
- Der er ingen andre tilsluttede kunder, som er relevant for transmissionsnettet.
- Tilslutningen sker direkte til 50 kV-skinen i hovedstationen gennem et 750 meter langt kabel.

Eksempel 2:

Tilslutning af fabrik med vindmøller og solceller.

- Tilslutning til 150/60 kV-station DEF, direkte til 60 kV-skinen.
- Blandet tilslutning bestående af en fabrik med vindmølle og solceller.
 - Fabrikken har en 25 MW direkte koblet synkronmotor og herudover primært frekvensstyrede maskiner.
 - Både vindmøller og solceller er inverterbaserede.
- 72 MW forbrug til fabrikken og 27 MW blandede vindmøller og solceller.
- Vedhæftet VAS-EL-beregning, som angiver fordelingen af krav til elkvalitet.
- Det forventes, at station DEF skal forstærkes for at kunne levere den nye samlede effekt.
- Der er tilsluttet en tidligere vindmøllepark (Vindmølleparknavn) til 60 kV-skinen på hovedstation DEF, som var relevant for transmissionsnettet.
- Der skal lægges 12,7 km højspændingskabel til at forbinde installationen til hovedstation DEF.