



**Notat** TP98-328b  
PCD/KSC, 17. april 2000  
Dok.nr. 74174

**2. udgave**

***Tilslutningsbetingelser for vindmølleparker  
tilsluttet transmissionsnettet***

1. Indledning .....	1
1.1 Gyldighedsområde.....	1
1.2 Formål .....	1
1.3 Grundlag.....	2
1.4 Ansvarlig for Tilslutningsbetingelserne .....	2
1.5 Definitioner .....	3
2. Effekt og effektregulering .....	3
2.1 Produktionsregulering .....	3
2.2 Start .....	4
3. Frekvensforhold .....	4
4. Spændingsforhold .....	5
4.1 Definitioner .....	5
4.2 Reaktiv effektkompensering .....	5
4.3 Spændingskvalitet .....	6
4.4 Temporære overspændinger .....	8
5. Samspil mellem elsystem og møllepark ved fejl i elsystemet.....	9
5.1 Krav til stabilitet.....	9
5.2 Mere omfattende fejl .....	10
5.3 Magnetiseringsstrømme til møllepark ved udkobling af fejl .....	11
6. Beskyttelse .....	11
7. Kommunikation til/fra vindmøllepark .....	12
8. Eftervisninger og prøver .....	12

## 1. Indledning

### 1.1 Gyldighedsområde

Tilslutningsbetingelserne skal følges for vindmølleparker, der skal tilsluttes transmissionsnettet (spændingsniveauer over 100 kV).

Tilslutningsbetingelserne er den systemansvarliges minimumkrav til anlægsejeren. Kravene tilgodeser den systemansvarliges interesser vedrørende det overordnede elsystem.

Tilslutningsbetingelserne skal følges ved nybygning, ændringer og udvidelser af vindmølleparker. Der skal altid anvendes aktuel gældende version af Tilslutningsbetingelserne.

De egenskaber, som sikres gennem Tilslutningsbetingelserne, skal opretholdes gennem hele vindmølleparkens levetid ved vedligeholdelse og kontrol.

#### *Kommentar:*

*En eller flere vindmølleparker anses for tilsluttet til transmissionsnettet, når der ikke findes elforbrugere tilsluttet nettet mellem vindmøllerne og transmissionsnettet. Pr. februar 1999 er det kun havmølleparker, der er planlagt at opnå en størrelse, der kræver tilslutning til transmissionsnettet.*

### 1.2 Formål

Formålet med Tilslutningsbetingelserne er at sikre de egenskaber, som er væsentlige for systemets drift i henseende til forsyningssikkerhed, driftsikkerhed og elkvalitet på såvel kort som langt sigt.

Tilslutningsbetingelserne skal i samspil med "Kraftværksspecifikationer" og "Dimensioneringskriterier for 400-150 kV-samarbejdsnettet" bidrage til en optimal allokering af ressourcer. Dette inkluderer blandt andet en afbalancering af kravene til de forskellige anlægstyper.

Filosofien bag Tilslutningsbetingelserne er, at de skal sikre visse egenskaber ved driften af elsystemet, hvordan og i hvilken udstrækning disse egenskaber anvendes, og den økonomiske konsekvens af en sådan anvendelse aftales andet steds.

#### *Kommentar:*

*Det er vigtigt, at man stiller krav om at udvikle de muligheder, som vindmølleparker har for at bidrage til en sikker drift af elsystemet. Et sådant krav vil bidrage til udvikling af mølleparkeres kompatibilitet med elsystemet og dermed give plads til en større vindmølledel i elsystemet. Kravene vil også være en naturlig konsekvens af pålægget af 13. februar 1998 fra Miljø- & Energiministeriet om at gennemføre et demonstrationsprojekt med fem vindmølleparker på tilsammen 750 MW.*

### 1.3 Grundlag

Det fremgår af lov om Elforsyning samt Bekendtgørelse nr. 231 af 21. april 1998 om adgang til elforsyningsnettet m.v., at den systemansvarlige virksomhed er ansvarlig for at opretholde en effektiv og sikker elforsyning. Bekendtgørelsens § 8 og Eltra's vedtægter foreskriver, at Eltra som systemansvarlig virksomhed for Jylland-Fyn udarbejder et sæt retningslinier for opfyldelse af dette krav.

Med baggrund af ovennævnte lovgivning og Eltra's "Retningslinier for Systemansvaret i det jysk-fynske område" udarbejdes tekniske forskrifter som nærværende "Tilslutningsbetingelser for vindmølleparker tilsluttet transmissionsnettet".

#### *Kommentar:*

*Den i regeringens energiplan "Energi 21" forudsatte havmølleudbygning på 4.000 MW i Danmark inden år 2030 vil medføre drastiske ændringer i elsystemets egenskaber. Den i forhold til elsystemets størrelse meget store udbygning med en hidtil delvis ukendt teknik vil medføre en række krav og udfordringer til elsystemet. Heller ikke i international sammenhæng findes en tilsvarende udbygning, hvorfra erfaringer kan hentes. Tilslutningsbetingelserne er derfor baseret på modeller af og erfaringer med det nuværende elsystem. Det må forventes, at Tilslutningsbetingelserne løbende modificeres, efterhånden som nye tekniker udvikles, elsystemets egenskaber ændres, og erfaringerne gøres med stor udbygningsgrad og storskala-vindmølleparker.*

### 1.4 Ansvarlig for Tilslutningsbetingelserne

Tilslutningsbetingelserne er udstedt af den systemansvarlige. Den systemansvarlige vil fremover:

1. Tage initiativ til opdateringer af Tilslutningsbetingelserne.
2. Kontrollere, at Tilslutningsbetingelserne følges.
3. Udstede dispensationer fra Tilslutningsbetingelserne.

## 1.5 Definitioner

Elsystemet	Det eksisterende elsystem, hvis transmissionsnet vindmølleparken skal tilsluttes.
Tilslutningspunktet	Fællespunktet mellem transmissionsnet og vindmøllepark.
Vindmøllepark	Vindmøller, opsamlingsnet plus forbindelse til tilslutningspunkt.
Effektverdier for vindmøllepark	Defineret i tilslutningspunkt.
Maksimumeffekt	Den maksimale 10-minutters gennemsnitsværdi af den aktive effekt fra vindmølleparken. Værdien har primært betydning for termisk dimensionering af udrustning.
Afregningspunkt	Hvor afregningsmålinger foregår.

## 2. Effekt og effektregulering

### 2.1 Produktionsregulering

Det skal være muligt at kontrollere produktionen fra mølleparken, så produktionen ikke overstiger en bestemt MW-værdi: produktionsgrænse.

Produktionen bestemt som en 1-minuts gennemsnitsværdi må til enhver tid ikke overskride bøværdien med mere end 5 % af mølleparkens maksimumeffekt.

Produktionsgrænsen skal være regulerbar med et enkelt centralt signal. Reguleringens bøværdi skal kunne komme fra et eksternt signal eller afledes af lokalt målte værdier af f.eks. frekvens og/eller spænding. Reguleringsmulighederne skal aftales for hver møllepark, og det skal være muligt at ændre reguleringsalgoritmerne senere.

Reguleringen skal ske på den enkelte mølle, og produktionen skal kunne reguleres så hurtigt, at produktionen kan reduceres til under 20 % af maksimumeffekten på under 2 sekunder.

*Kommentar:*

Kravet om, at reguleringen skal ske på den enkelte mølle, er begrundet i systemets behov, specielt vil en fortsat kraftig udbygning med vindmøller og decentrale kraftvarmeverker forøge dette behov. Hvis reguleringen skete ved at stoppe og starte møller, ville man ikke kunne opnå de nødvendige svaregenskaber. Der kan eventuelt tillades kortvarige ud- og genindkoblinger med generatorafbryderne i sekundområdet. Som muligheder for reguleringsbehov kan nævnes:

- 1) Maks. MW-grænse fra driftscentral ved ledningsmangler i nettet. Langsom regulering svarende til tidskonstanten for ledninger og kabler, hvilket er ca. 15 minutter.
- 2) Nedreguleringer af produktion i park ved netfejl for at sikre mølleparkens stabilitet, signal kan være frekvens og/eller spænding. Hurtig nedregulering, størrelsesorden få sekunder. Automatisk opregulering igen efter fejl. Frekvensreguleringen skal ske således, at en kontrolleret fuld ned- og opregulering er tilendebragt inden for ca. 30 sekunder.
- 3) Bidrag til udregulering af MW-fluktuationer på udlandsforbindelser. Reguleringshastigheder af størrelsesorden 10 sekunder.
- 4) Begrænse MW-stigningstakt ved opkørsler, det vil sige en maks. MW/min. opad.
- 5) Regulering ved frekvenstransienter efter systemfejl, hvor alle AC-forbindelser til udlandet falder ud, eller hvor et mindre område med vindmølleparken isoleres fra det øvrige system. Primær en nedregulering ved overfrekvenser. Hvis der før fejlen har været en nedregulering i forhold til den mulige produktion, vil der også kunne ske en opregulering ved underfrekvens. Reguleringsignal, frekvens med dødbånd og statik, reguleringshastighed få sekunder.
- 6) Lav spænding ved vindmølleparken, f.eks. efter et fejlforløb, kan være en indikation på risiko for spændingskollaps på grund af det reaktive forbrug i vindmølleparken. En automatisk reduktion af produktionen i vindmølleparken ved lave spændinger kan derfor være en fordel. Reguleringsignal, spænding, reguleringshastigheder få sekunder.

## 2.2 Start

Vindmølleparken skal indeholde et signal, der viser status for vindmølleparken, f.eks. om parken er stoppet på grund af mangel på vind, for høj vind, fejlforløb, eksterne signaler m.m. Dette signal skal sammen med signaler fra den systemansvarlige, lokale målinger (f.eks. spænding, frekvens og vindhastighed) indgå i en logik, der styrer fristillingen af vindmøllerne. Signaler og principper aftales for den enkelte møllepark.

Ved stop på grund af høj vindhastighed må samtlige møller ikke stoppes samtidigt.

## 3. Frekvensforhold

Vindmølleparken skal kunne drives ved afvigende frekvenser som angivet nedenfor ved spændinger i fuldlastområdet, uden at det skal være nødvendigt at reducere produktionen på vindmølleparken:

Underfrekvenser	Ved frekvenser under 47,0 Hz skal udkobles efter 0,3 sekunder. Ved frekvenser under 47,5 Hz tillades udkobling efter 10,0 sekunder. Mindst 5 minutters drift ved frekvenser mellem 47,5 og 48,0 Hz. Mindst 25 minutters drift ved frekvenser mellem 48,0 og 49,0 Hz. Ingen begrænsninger ved underfrekvenser over 49,0 Hz.
Overfrekvenser	Ved frekvenser over 53,0 Hz skal udkobles efter 0,3 sekunder. Mindst 1 minuts drift ved frekvenser mellem 51,0 og 53,0 Hz. Mindst 30 minutters drift ved frekvenser mellem 50,3 og 51,0 Hz. Ingen begrænsninger ved overfrekvenser under 50,3 Hz.

Frekvenser under 49,0 Hz og frekvenser over 50,3 Hz forventes at optræde højst nogle gange pr. år. Normalt holdes frekvensen inden for grænserne  $50 \pm 0,1$  Hz.

#### 4. Spændingsforhold

##### 4.1 Definitioner

Spændinger og reaktiv effekt defineres i tilslutningspunktet.

Spændingsbetegnelse	Maksimal driftspænding kV	Variationsområde for driftspænding kV	Normale driftsspændinger <sup>1)</sup> kV	Fuldlastområdet <sup>2)</sup> kV
150 kV	170	122-170 <sup>3)</sup>	165-169	146-170
400 kV	420	360-420	415-420	360-420

- 1) Ved den nuværende driftsform. Værdierne kan være af betydning ved bestemmelse af tabsforhold i vindmølleparken.
- 2) Ved spændinger i fuldlastområdet må spændingsafvigelser ikke medføre begrænsninger i produktionsmulighederne i vindmølleparken.
- 3) 150 kV-systemet er udlagt, så spændingen ved ekstreme saltbelægninger kan sænkes til 122 kV. Denne driftsform forekommer meget sjældent.

Nettene er effektivt jordede.

##### 4.2 Reaktiv effektkompensering

Vindmølleparken skal have en reaktiv effektkompensation, så den kan være reaktiv effektneutral (i tilslutningspunktet) ved alle produktioner i det angivne fuldlastområde for spændingen efter regulering på transformernes viklingskoblere.

Kobling og styring af den reaktive effekt skal kunne udføres, så der i stationær tilstand højst fås en reaktiv effektproduktion eller absorption på 10 % af maksimumeffekten.

Hvis vindmølleparken indeholder større reaktive kompenseringenheder, som f.eks. kondensatorbatterier eller reaktorer til kompensering af AC-kabler, skal disse efter nærmere aftale kunne indgå i den reaktive effektkontrol i elsystemet. Denne styring kan være fjernstyring, tidsstyring eller spændingsstyring. I sådanne situationer er vindmølleparken ikke reaktiv effektneutral.

Tilsluttes vindmølleparken gennem HVDC-lignende forbindelser, skal reguleringsmulighederne for den reaktive effekt ved denne løsning kunne anvendes af den systemansvarlige.

*Kommentar:*

*Den reaktive effektkompensation placeres ikke nødvendigvis bedst i parken. Med AC-kabler til vindmølleparker fås en reaktiv effektproduktion i disse kabler. Den reaktive effektproduktion fra disse kabler vil efter nærmere aftale kunne indgå i parkens reaktive effektbalance.*

### 4.3 Spændingskvalitet

Vurderingen af mølleparkens påvirkning på spændingskvaliteten sker på basis af følgende begreber:

- Hurtige spændingsændringer eller spændingsspring (rapid voltage changes).
- Spændingsvariationer og flicker (voltage fluctuations og flicker).
- Telefonforstyrrelser.
- Harmoniske.
- Forstyrrelser af telekommunikation.

Ovenstående begreber dækker ikke forstyrrelser i frekvensområdet 2,5 kHz til 40 kHz. Tilsluttes vindmølleparken gennem HVDC-lignende forbindelser, kan der være risiko for forstyrrelser i dette frekvensområde. Der er ikke fundet normer eller erfaringer med begrænsning af forstyrrelser i frekvensområdet 2,5 til 40 kHz. I de konkrete projekter skal det sikres, at der ikke opstår utilladelige forstyrrelser i dette frekvensområde.

Den systemansvarlige kan kræve påvirkningerne på spændingskvaliteten yderligere begrænset end angivet nedenfor, så kravene også vil være opfyldte ved senere udbygninger.

#### Hurtige spændingsændringer

Hurtige spændingsændringer defineres som en enkelt hurtig ændring af spændingens effektivværdi, og hvor spændingsændringen har en vis varighed. Vil f.eks. kunne opstå



ved koblinger i mølleparken. Maksimal tilladte værdier for hurtige spændingsændringer fra mølleparken i tilslutningspunktet er:

Generel begrænsning	< 3,0 %
Indtil en hyppighed på 10 per time	< 2,5 %
Indtil en hyppighed på 100 per time	< 1,5 %

Krav baseret på tabel 8 side 45 i IEC 1000-3-7.

### Spændingsvariationer og flicker

Flicker-bidraget fra vindmølleparken i tilslutningspunktet skal begrænses så:

$P_{st} < 0,30$ , bestemt som et vægtet gennemsnit af flicker-bidraget over 10 minutter.

$P_{lt} < 0,20$ , bestemt som et vægtet gennemsnit af flicker-bidraget over 2 timer.

Flicker-bidragene  $P_{st}$  og  $P_{lt}$  er definerede i IEC 868 og IEC 1000-3-7.

### Telefonforstyrrelser

Telefonforstyrrelsesfaktoren (THFF - Telephone Harmonic Form Factor) defineres som:

$$THFF = \sqrt{\sum_{n=1}^{50} \left( \frac{U_n}{U_1} \times F_n \right)^2}$$

$$F_n = P_n \times n \times \frac{f_1}{800}$$

$f_n$ : frekvens for den n'te harmoniske, Hz.

$U_1$ : 50 Hz komponent af fasespændingen (RMS), kV.

$U_n$ : den n'te harmoniske af spændingen (RMS), kV.

$n$ : nummer for den harmoniske.

$P_n$ : relative forstyrrelser ved frekvens  $f_n$  i et telefonkredsløb som bestemt ud fra psufometrisk vægtfaktor i henhold til CCITT (Directives Concerning the Protection of Telecommunication Lines Against Harmfull Effects from Electric Lines, CCITT 1978).

Faktoren THFF må ikke overstige 1 % i tilslutningspunktet.

### Harmoniske spændinger

Den harmoniske forstyrrelse  $D_n$  for hver enkelt harmonisk defineres som:

$$D_n = \frac{U_n}{U_1} \times 100\%$$

Den totale harmoniske effektive forvrængning THD defineres som:

$$THD = 100 \sqrt{\sum_{n=2}^{50} \left(\frac{U_n}{U_1}\right)^2} \%$$

$D_n$  skal være mindre end 1 % for  $1 < n < 51$  i tilslutningspunktet. THD skal være mindre end 1,5 %.

### Telekommunikationsforstyrrelser

Vindmølleparken må ikke generere støj i frekvensområdet 40-500 kHz over -35 dB (0 dB  $\approx$  0,775 V) målt på en konventionel PLC-kobling i tilslutningspunktet. Båndvidden skal være 2 kHz.

#### 4.4 Temporære overspændinger

Hvis vindmølleparken kan blive isoleret med en del af elsystemet, må der ikke kunne opstå så høje overspændinger, at der kan opstå skader på udrustning i elsystemet.

De temporære overspændinger, som defineret i IEC Pub. 71-1: Insulation Coordination, Part 1, skal derfor begrænses til 1,30 pu af udgangsspændingen og være reduceret til 1,20 pu af udgangsspændingen efter 100 ms. Ovennævnte værdier er 50 Hz komponenten, det vil sige uden deformationer på grund af harmoniske fra måtninger i komponenter.

Reduktionen af de temporære overspændinger kan f.eks. ske ved kobling med reaktive komponenter, det vil sige udkobling af kondensatorer og indkobling af reaktorer.

## 5. Samspil mellem elsystem og møllepark ved fejl i elsystemet

### 5.1 Krav til stabilitet

Vindmølleparken skal i alle driftssituationer kunne klare følgende fejlsekvenser, uden at det er nødvendigt at udkoble forbindelsen til vindmølleparken. Kravene gælder ikke for fejl på en radial forbindelse til vindmølleparken<sup>1</sup>:

Trefaset fejl på en vilkårlig ledning eller transformer med definitiv udkobling uden forsøg på genindkobling.

*Kommentar:*

*En typisk fejlsekvens vil være indtrædning af fejl, udkobling af fejlen og ledning/transformer, ingen automatisk genindkobling. Udkoblingstiden vil typisk være 0,10 sekunder, men kan visse steder være længere.*

Tofaset fejl på en vilkårlig ledning med mislykket genindkobling.

*Kommentar:*

*En typisk fejlsekvens vil være indtrædning af fejl, udkobling af fejlen og ledning, spændingsløs pause, mislykket automatisk genindkobling med definitiv udkobling af fejlen og ledning. Udkoblingstiden vil typisk være 0,1 sekunder, den spændingsløse pause 0,3 sekunder og udkoblingstiden ved den mislykkede genindkobling 0,1-0,5 sekunder.*

Vurderingen af stabiliteten skal baseres på de relevante indstillinger af relæbeskyttelsen for de berørte netdele, dog skal der for den trefasede fejl ikke antages en automatisk genindkobling. Der skal som udgangspunkt anvendes realistiske driftssituationer. Stabilitetsforholdene skal vurderes med såvel intakt net som med netmangler, f.eks. udkoblede ledninger.

Vindmølleparken skal være dimensioneret, så vindmølleparken fra en normal stationær tilstand kan klare mindst tre fejlforløb inden for en tid på to minutter, uden at det skal være nødvendigt at udkoble vindmølleparken. Det primære formål med dette krav er at sikre en tilstrækkelig robust egenforsyning til vindmøllerne.

Til at stabilisere vindmølleparken kan der ske en hurtig nedregulering af produktionen på vindmølleparken under fejlforløbet ved hjælp af produktionsgrænsen (afsnit 2.2). Når spændingen har stabiliseret sig, skal produktionen reguleres tilbage til den oprindelige værdi i løbet af 30 sekunder.

<sup>1</sup> En fejl på en radial forbindelse vil isolere vindmølleparken fra elsystemet under fejlforløbet.

Reguleringsmulighederne på vindmølleparken må ikke forsvinde på grund af kortvarige spændingsdyk eller lav spænding. I overgangsforløbet, efter en fejl er indtrådt, skal mølleparken kunne gennemføre et reguleringsforløb som krævet i afsnit 2.2 – produktionsreduktion til under 20 % af maksimumeffekten på under to sekunder – med efterfølgende stabilisering af driftstilstanden ved spændingssænkninger ned til 70 % af initial driftspænding ved selve møllerne. Den samlede tid fra fejlens indtrædning og frem til etablering af normal spænding skal kunne vare op til 10 sekunder.<sup>2</sup>

*Kommentar:*

*Viser analyserne, at en planlagt vindmøllepark vil være ustabil i visse driftsituationer, kan forholdene forbedres ved at ændre specifikationerne for vindmølleparken, forbedre relæbeskyttelsen i nettet eller bygning af nye ledninger. Det må i hvert enkelt tilfælde undersøges, hvad der er den optimale løsning. I en aktuel driftsituation, f.eks. med mangel af flere ledninger, kan stabilitetsforholdene af vindmølleparken forbedres ved at sætte begrænsninger på produktionen i den enkelte vindmølle.*

## 5.2 Mere omfattende fejl

Mere omfattende fejl end fejlforløbene beskrevet i afsnit 5.1 vil kunne forekomme.

Længerevarende spændingsfald umiddelbart efter en fejl (2-10 sekunder, spændingen under 60-80 %) er sandsynligvis en indikation på, at møllerne under fejlen er accelereret så højt op i hastighed, at elsystemet ikke uden yderligere indgreb kan trække dem tilbage til normal hastighed. For at reducere de systemmæssige konsekvenser af sådanne fejl bør man her forsøge:

- 1) En hurtig reduktion af den aktive produktion og en hurtig forøgelse af den reaktive produktion. Dette indgreb skal ske i løbet af nogle sekunder.
- 2) Hvis det med 1) ikke lykkes at retablere spændingen, skal vindmølleparken udkobles, da spændingen i modsat fald vil fortsætte med at falde, indtil der sker en opsplitning af elsystemet.

Ved større frekvenstransiente efter systemfejl, f.eks. hvis alle AC-forbindelser til udlandet falder ud, eller hvor et mindre område med vindmølleparken isoleres fra det øvrige system, skal vindmølleparken kunne bidrage til frekvensreguleringen. Vindmølleparken skal altid kunne bidrage til en nedregulering ved overfrekvenser. Hvis der før fejlen har været en nedregulering i forhold til den mulige produktion, vil der også kunne ske en opregulering ved underfrekvens. Reguleringssignalet kan være frekvens med dødbånd og statik, regulerings hastighed ca. 10 sekunder for fuld udregulering.

<sup>2</sup> Det kan i visse situationer kræve flere sekunder at detektere, at spændingen er vedvarende lav og ikke kun forbigående lav.

### 5.3 Magnetiseringsstrømme til møllepark ved udkobling af fejl

Ved bortkobling af en fejl i elsystemet kan der ved fejlbortkoblingen forekomme ret store strømme til magnetisering af asynkrongeneratorerne. Disse strømme er hovedsageligt reaktive med retning mod møllerne.

Magnetiseringsstrømmene til mølleparken ved udkobling af fejl i elsystemet må ikke medføre udkoblinger i transmissionsnettet. Forholdene må undersøges i det konkrete tilfælde. Om eventuelle ændringer sker mest hensigtsmæssigt i vindmølleparken eller i relæbeskyttelsen i transmissionsnettet, må vurderes i hvert enkelt tilfælde.

## 6. Beskyttelse

Det er anlægsejerens ansvar, ved dimensionering og beskyttelse, at sikre anlægget mod skader som følge af påvirkninger af kortslutningsstrømme, tilbagevendende spændinger ved bortkobling af netkortslutninger, asynkrone sammenkoblinger og andre påvirkninger, der forekommer ved fejl i nettet.

Efter kortslutninger i nettet foretages automatisk eller manuel genindkobling. I 150 kV- og 400 kV-nettet anvendes automatisk en- og trepolet genindkobling. Såfremt automatiske genindkoblinger mislykkes, kan der efterfølgende foretages manuel genindkobling efter 5-10 minutter.

Beskyttelsen i vindmølleparken må ikke være i strid med de øvrige krav i Tilslutningsbetingelserne.

Anlæggets beskyttelse skal være selektiv med netbeskyttelsen både ved fejl i anlægget og ved fejl i nettet.

Interne fejl i vindmølleparken skal medføre mindst mulig produktionsbortfald.

U<	U - ? % <sup>1)</sup>	2-10 sekunder, udkobling af møller.
U>	U + ? % <sup>2)</sup>	30-60 sekunder, vurderes nærmere.
U>>	U +20 % <sup>2)</sup>	<100 ms, spændingsreduktion.
f<	47,0 Hz	300 ms, maks. udkoblingstid af park.
f>	53,0 Hz	300 ms, maks. udkoblingstid af park.

- 1) Skal måles på møllesiden af eventuel transformer med viklingskobler. Formålet med underspændingsbeskyttelsen er at sikre udkobling af vindmølleparken i forbindelse med fejlsituationer, hvor spændingen i nettet ikke kan opretholdes (se også afsnit 5.2). Under stationær drift vil viklingskobleren sørge for nogenlunde konstant spænding ved møllerne ved varierende spændinger i tilslutningspunktet, og underspændingsrelæet kan derfor stilles mere følsomt ved måling på møllesiden end ved måling i tilslutningspunktet.
- 2) Skal måles i tilslutningspunkt.

Nøjagtigheden af spændings- og frekvensmålingerne skal være bedre end 1 %.

### **7. Kommunikation til/fra vindmøllepark**

Aftales for hver møllepark. Det er anlægsejerens ansvar at fremskaffe de for driften af elsystemet nødvendige signaler. Ud over den aktuelle MW-produktion og Mvar-udveksling kan også andre signaler være nødvendige, som eksempler kan nævnes vindmølleparkens status og vindhastighed.

Specifikationen af kommunikationsudstyret gøres i separat aftale mellem den systemansvarlige og anlægsejeren.

### **8. Eftervisninger og prøver**

Den systemansvarlige kan til enhver tid kræve dokumentation for, at vindmølleparken opfylder Tilslutningsbetingelserne.

Mere specifikt gælder:

#### **Spændingskvalitet**

Vindmølleparkens bidrag til spændingsvariationer/flicker, telefonforstyrrelser og harmoniske spændinger baseres på målinger af strømme og/eller effekt og derfra beregninger af bidrag til spændingerne på baggrund af impedansdiagrammer leveret af den systemansvarlige. Beregningsmetoderne aftales i forbindelse med det enkelte projekt.

#### **Stabilitet**

Ved planlægning og specifikation af vindmølleparker eftervises samspillet mellem elsystem og vindmøllepark i forbindelse med fejl i elsystemet ved simuleringer. Det er anlægsejerens ansvar at fremskaffe de nødvendige modeller til disse simuleringer. Modellerne skal dokumenteres. Da det sandsynligvis ikke vil være muligt at gennemføre for-

søg med målinger af fejlforløb på en hel vindmøllepark, kan målinger på en prototype vindmølle fra parken anvendes som dokumentation. Hvis vindmølleparken består af flere typer vindmøller, skal der præsenteres modeller for hver enkelt mølletype.

Ved vindmølleparkens idriftsættelse skal der afleveres en opdateret model for parken.

Til at kontrollere vindmølleparkens respons på fejlforløb i elsystemet skal der installeres et registreringsudstyr, der trigges ved fejlforløb. Registreringerne skal også anvendes til at verificere modellen for vindmølleparken. Registreringer skal kunne ske fra 10 sekunder før fejl til 60 sekunder efter fejl. Registreringsudstyret skal indeholde det nødvendige antal kanaler. Det skal være muligt at registrere eller ud fra registreringerne generere følgende værdier i tilslutningspunktet og for en udvalgt vindmølle for hver mølletype i parken:

For hele parken målt i tilslutningspunktet:

- spænding.
- aktiv effekt.
- reaktiv effekt.
- frekvens.
- strøm.

For en enkelt mølle af hver vindmølletype:

- omdrejningstal.
- aktiv effekt.
- reaktiv effekt.
- spænding.

Formen for afleveringen af registreringerne til den systemansvarlige aftales i forbindelse med det enkelte projekt. Triggersignaler og deres indstilling aftales ligeledes i forbindelse med det enkelte projekt.