

**Energikompentens** En rapport från Svensk Energi

# Anslutning av mindre produktionsanläggningar till elnätet – AMP



November 2011

© Utges av Svensk Energi – Swedenergy – AB  
Beställningsnummer: 30240  
Utgåva 4, november 2011

# Anslutning av mindre produktionsanläggningar till elnätet - AMP

UTGÅVA 4

Svensk Energi  
November 2011





## Förord

Föreliggande elektroniska upplaga av handledning *Anslutning av mindre produktionsanläggningar till elnätet*, AMP är en komplettering och omarbetning av tidigare utgåvor (utgåva 1 från 1999 respektive utgåva 2 från 2001).

Storleken på produktionsanläggningen, eller anläggningarna, avgör oftast om en anslutning skall ske mot region- eller lokalnät, men inte alltid. Även lokala nätförhållanden kan påverka vilket gör att mindre produktionsanläggningar anslutna till lokalnät kan ha en signifikant påverkan på regionnät.

Det går därför inte att avgränsa AMP-handledningen till en viss aggregatstorlek utan AMP fokuserar därför på anslutningar av produktionsanläggningar som enbart gör inverkan på förhållandena i lokalnätet, dvs. där inverkan på regionnätet är försumbar och kan lämnas utan särskilt avseende.

Den reviderade AMP-handledningen utgör en del av den elektroniska handledningen för *Anslutning av elproduktion i elnätet*, som även innefattar handledning *Anslutning av större produktionsanläggningar till elnätet*, ASP och *handledning för Anslutning av mikroproduktion*.

Handledningen gäller för Anslutningar av produktionsanläggningar som huvudsaklig gör inverkan på förhållandena i regionnätet.

Handledning för Anslutning av mikroproduktion gäller anslutningar av produktion via smältsäkring som är mindre än 63 A.

Det elektroniska formatet har valts för att lättare och snabbare kunna uppdatera handledningen med nytt och förändrat material. Speciellt gäller detta inom regelverksområdet där standarder och föreskrifter tillkommer eller förändras allt mer frekvent.

Användaren ska alltid kontrollera att senaste utgåvan av AMP används och ange version och datum om hänvisningar görs till dokumentet. Vidare är det alltid användarens skyldighet att kontrollera att de i AMP hänvisade standarder och föreskrifter är giltiga och inga nya utgåvor har utkommit.

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Regelverk, standarder och branschpraxis</b>	<b>4</b>
2.1	Ellagen	4
2.2	Undantag från kravet på nätkoncession Förordning (2007:215, 2008:897)	7
2.3	Miljöbalken (1998:808) och miljökonsekvensbeskrivningar Förordning (1998:905)	8
2.4	CE-märkning och EG-direktiv	9
2.5	Elsäkerhetsverkets föreskrifter om utformning och kontroll	11
2.6	Svenska Kraftnäts föreskrift om driftsäkerhetsteknisk utformning av produktionsanläggningar	11
2.7	Standarder och branschpraxis	12
2.7.1	Standarder	13
2.7.2	Branschdokument	14
2.7.3	Rutiner	15
<b>3</b>	<b>Administrativa anvisningar</b>	<b>16</b>
3.1	Förfrågan	16
3.2	Förstudie	17
3.3	Prisindikation	17
3.4	Offertförfrågan	17
3.5	Offert	17
3.6	Föranmälan	18
3.7	Färdiganmälan och idrifttagning	18
<b>4</b>	<b>Anslutning av produktionsanläggning</b>	<b>20</b>
4.1	Installation och dimensionering	20
4.2	Jordning och åskskydd	21
4.3	Faskompensering	21
4.4	Kommunikationskrav	22
4.5	Drift- och underhållssäkerhet	22
4.5.1	Underhållsmässighet	23
4.5.2	Underhållssäkerhet	23
4.5.3	Funktionssäkerhet/Tillgänglighet	23
<b>5</b>	<b>Säkerhet och skydd</b>	<b>25</b>
5.1	Personsäkerhetsansvar	25
5.1.1	Arbetsmiljölagen - Allmänna skyldigheter	25
5.1.2	Elsäkerhet vid elarbeten i produktionsanläggning	25
5.2	Anläggningsansvar	26
5.3	Behörighetsansvar	26
5.4	ESA – Elsäkerhetsanvisningar	26
5.5	Reläskydd och felbortkoppling	28
5.5.1	Över- och underfrekvensskydd	29
5.5.2	Trefasigt över- respektive underspänningsskydd	29
5.5.3	Effektriktrelä (bakeffektskydd)	29
5.5.4	Osymmetriskydd	30
5.5.5	Kortslutningsskydd	30
5.5.6	Jordfelsskydd	30
5.5.7	Skydd mot oönskad ödrift	31
5.6	Övriga skyddskrav och skyddsanordningar	32
<b>6</b>	<b>Mätning</b>	<b>34</b>
6.1	Myndighetskrav	34
6.1.1	Installationsbestämmelser	35
6.1.2	Arbete enligt ESA (Elsäkerhetsanvisning)	35

6.1.3	Personssäkerhet vid användning av mätutrustning.....	35
6.2	Mätning av överförd el.....	35
6.3	Ackreditering för kontroll av mätare och mätsystem.....	36
6.4	Mätning för elcertifikat.....	36
<b>7</b>	<b>Drift av produktionsanläggning</b>	<b>37</b>
7.1	Reaktivt effektutbyte och spänningshållning.....	37
7.2	Störningstålighet.....	38
7.3	Start och stopp av elproduktionen.....	39
7.4	Nedstyrning vid nätproblem.....	39
7.5	Ödrift.....	39
<b>8</b>	<b>Olika typer av produktionsanläggningar</b>	<b>40</b>
8.1	Vindkraftverk med fast varvtal.....	40
8.2	Vindkraftverk med dubbelmatad asynkrongenerator - DFIG.....	41
8.3	Vindkraftverk med fulleffektomriktare.....	42
8.4	Vattenkraftanläggningar.....	43
8.4.1	Francisturbiner.....	43
8.4.2	Kaplanturbiner.....	44
8.4.3	Peltonturbiner.....	44
8.5	Gasturbin- och dieselanläggningar.....	45
8.6	Värmekraftanläggningar.....	45
8.7	Kraftvärmeverk.....	45
8.8	Vågekraftanläggningar.....	45
8.9	Solcellsanläggningar.....	46
8.10	Reservkraftanläggningar.....	46
<b>9</b>	<b>Dimensioneringsförutsättningar</b>	<b>47</b>
9.1	Långsamma spänningsvariationer.....	48
9.2	Snabba spänningsändringar.....	49
9.3	Övertoner och mellantoner.....	50
<b>10</b>	<b>Beräkningsmetoder</b>	<b>54</b>
10.1	Maximalt avgiven aktiv effekt.....	54
10.2	Långsamma spänningsvariationer.....	54
10.3	Snabba spänningsändringar.....	55
10.3.1	Start.....	55
10.3.2	Drift.....	56
10.4	Övertoner.....	56
10.5	Flödesscheman.....	58
<b>11</b>	<b>Bilagor</b>	<b>62</b>
	Bilaga 1 Ordförklaringar	
	Bilaga 2 Sammanställning av regelverk, standards och branschpraxis	
	Bilaga 3 Härledning av ekvationer för dimensionering av elnätet	
	Bilaga 4 Beräkningsexempel	
	Bilaga 5 Systemjordning av vindkraftanläggning	
	Bilaga 6 Offertförfrågan för anslutning av vindkraftverk / AMP-blanketten	

## 1 Inledning

Redan 1996 beslöt regeringen om en ökad satsning på förnybar elproduktion. Vind, vatten, biobränsle och sol utpekades i förslaget som viktiga energikällor för ändamålet. Utvecklingen mot förnybar elproduktion drivs nu särskilt av EU:s mål till 2020 gällande klimat och förnybar energi, men också av nationella mål och ambitioner. Vindkraften har visat sig spela en stor roll för planeringen av det framtida energisystemet. Svensk Energi gör bedömningen att det krävs 15-20 TWh vindkraft i det svenska energisystemet år 2020 för att Sverige skall klara sin del av EU:s förnyelsebarhetsmål.

Detta innebär att elnäten kommer att genomgå stora förändringar på kort sikt. Produktionskällor kommer att bli allt mer vanligt förekommande inom alla spänningsområden och i alla typer av nät, vilket i sin tur medför ökade krav på elnäten och elnätsföretagen. Goda vindlägen finns oftast på perifera platser som kuster, öar och fjällområden. Bebyggelsen i sådana områden är normalt gles med följd att elnätet oftast har en begränsad kapacitet. Detta i kombination med återkommande start och stopp av kraftverken samt överföring av stora mängder elenergi påverkar elnätet.

Vid alla förändringar av kraftsystemets utnyttjande måste nätägaren skaffa sig ett underlag för beslut om vilka förstärkningsåtgärder som krävs för att upprätthålla en fullgod service till samtliga nätkunder. Detta inkluderar såväl anslutning av konsumerande kunder som anslutning av producerande kunder. Kostnaderna för eventuella förstärkningar ska också ligga till grund för den anslutningsavgift som exploatören ska betala.

En grundläggande del av en elektrisk produktionsanläggning utgörs av den del där anläggningen ansluts till elnätsföretagets nät och där mätning sker. Anslutningen och mätsystemets utförande samt rutiner för anmälan och idrifttagning är viktiga faktorer för rationell och säker anslutning av en produktionsanläggning. Denna handledning utgör, förutom ett hjälpmedel för elnätsföretaget vid bedömningen av åtgärder vid anslutningen av anläggningen till distributionsnätet, också en kravspecifikation för de skydd elnätsföretaget bör kräva för att systemet ska ha ett fullgott skydd vid fel i produktionsanläggningen eller i elnätet. Rekommendationerna är tillämpbara för samtliga typer av produktionsanläggningar, även om de kritiska faktorerna kan variera. Vid större anhopningar av framför allt asynkron generering i en punkt måste fler aspekter tas med i bedömningen än vad som nämns i denna handledning.

AMP-handledningen gäller för nyanslutning av alla typer av produktionsanläggningar där den huvudsakliga inverkan av anslutningen begränsas till lokalnäten och inverkan på regionnätetsnivå endast är marginell.

Detta är den tredje versionen av AMP, tidigare utgåvor utkom 1999 och 2001. Revisionen är framför allt föranledd av att det har utkommit flera nya föreskrifter och nya svenska standarder sedan senaste revisionen.



## 2 Regelverk, standarder och branschpraxis

Avsnittet om regelverk, standarder och branschpraxis är avsett att lyfta fram och belysa det huvudsakliga innehållet i de viktigaste delarna, samt för att lotsa läsaren vidare till relevant källmaterial. För detaljer och fullständighet hänvisas till de olika bakomliggande dokumenten.

Elnätsföretagens och kraftverksägares rättigheter och skyldigheter regleras i allmänna ordalag i ellagen. Eftersom nätverksamhet är koncessionspliktig och därmed monopol, blir den med nödvändighet relativt hårt reglerad. Energimarknadsinspektionen är den myndighet som utövar tillsyn över elnätsföretagens nätverksamhet.

Svenska Kraftnät har, i sin egenskap av systemansvarig myndighet, givit ut föreskriften SvKFS 2005:2, *Affärsverket svenska kraftnäts föreskrifter och allmänna råd om driftsäkerhetsteknisk utformning av produktionsanläggningar*. Där specificeras olika krav för olika produktionsslag och olika anläggningsstorlekar. Kraven är utformade för att produktionsanläggningarna ska bidra till att upprätthålla en säker drift av rikets elförsörjning. Svenska Kraftnät är som systemansvarig myndighet, i princip berörd av alla produktionsanläggningar i landet.

Elsäkerhetsverket utövar tillsyn av elektriska starkströmsanläggningar och ger ut föreskrifter om hur elektriska starkströmsanläggningar ska vara utförda (*ELSÄK-FS 2008:1*), och om hur innehavaren ska kontrollera elektriska starkströmsanläggningar och elektriska anordningar (*ELSÄK-FS 2008:3*). Elsäkerhetsverket ger även ut föreskrifter om elektromagnetisk kompatibilitet (*ELSÄK-FS 2007:1*) och om varselmärkning vid elektriska starkströmsanläggningar (*ELSÄK-FS 2008:2*).

Speciellt inom områdena elkvalitet och elektromagnetisk kompatibilitet finns utarbetade standarder och branschpraxis, t ex *Vindkraftverk – Del 21: Mätning och bedömning av elkvalitet för nätanslutna aggregat* (SS-EN 61400-21), *Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) - Del 4-30: Mät- och provningsmetoder – Mätning av spänningsgodhet och elkvalitet* (SS-EN 61000-4-30), och *Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) – Del 2-2: Miljöförhållanden – Kompatibilitetsnivåer för lågfrekventa ledningsbundna störningar och signalnivåer på elnät* (SS-EN 61000-2-2). Svenska Kraftnät och andra nätägare tillämpar även tekniska riktlinjer av olika slag för att hålla en tillräckligt hög och jämn kvalitet på sina egna nät och stationer, samt på andra anläggningar anslutna till det elektriska kraftsystemet.

I *bilaga 2* återfinns en sammanställning av alla de regelverk, standarder och branschpraxis som nämns i AMP.

### 2.1 Ellagen

Ellagen är den mest grundläggande och minst detaljerade delen av det regelverk som styr anslutning och drift av elektriska produktionsanläggningar. Lagarna ändras sällan och de ska ligga till grund för mer detaljerade regler, därav har Ellagen en central betydelse för förståelsen av efterföljande förordningar och föreskrifter. Nedanstående citat från Ellagen ger bakgrunden till flera av de regler som AMP hänvisar till.

#### **Nätkoncession mm, Allmänt om nätkoncession**

Ellagen 2 kap, 1 §, 2 § (1997:857)

*”En elektrisk starkströmsledning får inte byggas eller användas utan tillstånd (nätkoncession) av regeringen. Till byggandet av en ledning räknas även schaktning, skogsavverkning eller liknande åtgärder för att bereda plats för ledningen. Regeringen får bemyndiga nätmyndigheten att pröva frågor om nätkoncession som inte avser en utlandsförbindelse.”*

*”En nätkoncession skall avse en ledning med i huvudsak bestämd sträckning (nätkoncession för linje) eller ett ledningsnät inom ett visst område (nätkoncession för område). I ett beslut om nätkoncession för område skall en högsta tillåtna spänning för ledningsnätet anges.”*

#### **Nätverksamhet mm, Inledande bestämmelse**

Ellagen 3 kap, 1 § (2005:404)

*”Ett företag som bedriver nätverksamhet ansvarar för drift och underhåll och, vid behov, utbyggnad av sitt ledningsnät och, i tillämpliga fall, dess anslutningar till andra ledningsnät. Företaget svarar också för att dess ledningsnät är säkert, tillförlitligt och effektivt och för att det på lång sikt kan uppfylla rimliga krav på överföring av el.”*

#### **Skyldighet att ansluta anläggning**

Ellagen 3 kap, 6 §, 7 §, 8 § (2005:404)

*”Den som har nätkoncession för linje är, om det inte finns särskilda skäl, skyldig att på skäligen villkor ansluta en elektrisk anläggning till ledningen.”*

*”Den som har nätkoncession för område är, om det inte finns särskilda skäl, skyldig att på skäligen villkor ansluta en elektrisk anläggning inom området till ledningsnätet.”*

*”Vill någon ansluta en elektrisk anläggning till en ledning som omfattas av en nätkoncession för linje i stället för till ett ledningsnät som omfattas av en nätkoncession för område, får den som har nätkoncession för linje göra anslutningen endast efter medgivande av den som har nätkoncession för området.”*

#### **Skyldighet att överföra el**

Ellagen 3 kap, 9 § (2005:1110)

*”Den som har nätkoncession är skyldig att på skäligen villkor överföra el för annans räkning. Överföringen av el skall vara av god kvalitet.*

*En nätkoncessionshavare är skyldig att avhjälpa brister hos överföringen i den utsträckning kostnaderna för att avhjälpa bristerna är rimliga i förhållande till de olägenheter för elanvändarna som är förknippade med bristerna.”*

#### **Ersättning vid inmatning av el**

Ellagen 3 kap, 15 § (2002:121)

*”Innehavare av en produktionsanläggning har rätt till ersättning av den nätkoncessionshavare till vars ledningsnät anläggningen är ansluten.*

*Ersättningen skall motsvara*

- 1. värdet av den minskning av energiförluster som inmatningen av el från anläggningen medför i nätkoncessionshavarens ledningsnät, och*
  - 2. värdet av den reduktion av nätkoncessionshavarens avgifter för att ha sitt ledningsnät anslutet till en annan nätkoncessionshavares ledningsnät som blir möjlig genom att anläggningen är ansluten till ledningsnätet.*
- Regeringen får meddela närmare föreskrifter om beräkningen av ersättningen.”*

#### **Nättariffer, Allmänt om nättariffer**

Ellagen 4 kap, 1 § (2005:404)

*”Nättariffer skall vara utformade så, att nätkoncessionshavarens samlade intäkter från nätverksamheten är skäligen i förhållande till dels de objektiva förutsättningarna att bedriva nätverksamheten, dels nätkoncessionshavarens sätt att bedriva nätverksamheten.*

*Nättariffer skall vara objektiva och icke-diskriminerande.*

*Vid utformandet av nättariffer för överföring av el skall särskilt beaktas antalet anslutningspunkter, anslutningspunkternas geografiska läge, mängden överförd energi och abonnerad effekt och kostnaderna för överliggande nät samt kvaliteten på*

*överföringen av el.*

*Vid utformandet av nättariff för anslutning till en ledning eller ett ledningsnät skall särskilt beaktas anslutningspunktens geografiska läge och den avtalade effekten i anslutningspunkten."*

#### **Särskilt om nättariffer för mindre produktionsanläggningar**

Ellagen 4 kap, 10 § (2002:121)

*"En innehavare av en produktionsanläggning som kan leverera en effekt om högst 1500 kilowatt skall för överföring av el betala endast den del av avgiften enligt nättariffen som motsvarar den årliga kostnaden för mätning, beräkning och rapportering på nätkoncessionshavarens nät. Innehavaren skall dessutom betala engångsavgift för anslutningen.*

*Om flera sådana anläggningar som är belägna i närheten av varandra gemensamt matar in el på ledningsnätet, skall anläggningarna betraktas som separata anläggningar vid tillämpningen av denna paragraf.*

*En elanvändare som har ett säkringsabonnemang om högst 63 ampere och som producerar el vars inmatning kan ske med en effekt om högst 43,5 kilowatt ska inte betala någon avgift för inmatningen. Detta gäller dock bara om elanvändaren under ett kalenderår har tagit ut mer el från elsystemet än han har matat in på systemet."*

#### **Tidplan för handläggning och anslutning av elproduktionsanläggning**

Ellagen 4 kap, 12§ (2010:602)

*"En nätkoncessionshavare som har tagit emot en ansökan om anslutning av en elproduktionsanläggning ska ange en tidsplan för handläggningen av ansökan."*

*"När uppgift lämnas i fråga om anslutning av en elproduktionsanläggning, ska nätkoncessionshavaren även ange en tidsplan för anslutningen."*

#### **Kostnader för teknisk anpassning vid anslutning till elnätet**

Ellagen 4 kap, 13 § (2010:602)

*"Den som har nätkoncession ska offentliggöra principer för hur kostnaderna för teknisk anpassning ska fördelas vid anslutning till elnätet."*

#### **Skyddsåtgärder**

Ellagen 9 kap, 1 § (1997:857) och 2 § (2007:217)

*"Elektriska anläggningar, elektriska anordningar avsedda att anslutas till sådana anläggningar, elektrisk materiel och elektriska installationer skall vara så beskaffade och placerade samt brukas på sådant sätt att betryggande säkerhet ges mot person- eller sakskada eller störning i driften vid den egna anläggningen eller vid andra elektriska anläggningar.*

*Regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer får, i den mån det behövs från elsäkerhetssynpunkt, meddela föreskrifter om kontroll, provning eller besiktning samt andra föreskrifter som rör elektriska anläggningar, anordningar avsedda att anslutas till sådana anläggningar, elektrisk materiel eller elektriska installationer.*

*Om en elektrisk anläggning genom inverkan på en redan befintlig sådan anläggning kan vålla person- eller sakskada eller störning i driften, svarar innehavaren av den förstnämnda anläggningen för de åtgärder som behövs vid hans anläggning för att förebygga sådan skada eller störning."*

## **Ansvar för skada genom inverkan av el från starkströmsanläggning**

Ellagen 10 kap, 1 § (207:217)

*"Har någon tillfogats person- eller sakskada genom inverkan av el från en starkströmsanläggning, skall skadan, även om det inte följer av allmänna skadeståndsbestämmelser, ersättas av innehavaren av den starkströmsanläggning från vilken elen senast kommit.*

*Ansvar enligt första stycket gäller inte*

- 1. den som innehar en starkströmsanläggning för produktion av el där generatoren har en märkeffekt om högst 50 kilovoltampere,*
- 2. den som innehar en starkströmsanläggning som är avsedd för användning av el och som tillförs el med en spänning av högst 250 volt mellan en ledare och jord eller, vid icke direkt jordat system, mellan två ledare,*
- 3. om skadan skett på en annan elektrisk anläggning eller en naturgasledning, för vilken det krävs koncession enligt naturgaslagen (2005:403), eller*
- 4. om den elektriska anläggningen utgörs av en inrättning för godsbefordran eller är avsedd för en sådan inrättnings behov och skada uppkommit på egendom som har blivit mottagen för sådan befordran. Lag (2007:217)."*

## **Produktansvar**

Ellagen 10 kap, 2-3 § (1997:857)

*"2 § Om en skada orsakas av säkerhetsbrist i el som har satts i omlopp från en elektrisk anläggning med egen generator eller transformator är innehavaren, om inte annat följer av 3 §, skyldig att betala skadestånd för personskada samt för sakskada på egendom som till sin typ vanligen är avsedd för enskilt ändamål, om den skadelidande vid tiden för skadan använde egendomen huvudsakligen för sådant ändamål. Med säkerhetsbrist avses att elen inte är så säker som skäligen kan förväntas. Avtalsvillkor som inskränker skadeståndsskyldigheten är utan verkan.*

*3 § Skadeståndsskyldig enligt 2 § är inte den som*

- 1. visar att han inte har satt elen i omlopp i en näringsverksamhet,*
- 2. gör sannolikt att säkerhetsbristen inte fanns när han satte elen i omlopp,*
- 3. visar att säkerhetsbristen beror på att elen måste stämma överens med tvingande föreskrifter som har meddelats av en myndighet, eller*
- 4. visar att det på grundval av det vetenskapliga och tekniska vetandet vid den tidpunkt då han satte elen i omlopp inte var möjligt att upptäcka säkerhetsbristen."*

## **Skadestånd vid driftstörning**

Ellagen 10 kap, 4 § (1997:857)

*"Har driften vid en elektrisk anläggning störs genom inverkan av el från en annan sådan anläggning och vållar störningen personskada, sakskada eller ren förmögenhetsskada, skall innehavaren av sistnämnda anläggning ersätta skadan, om störningen har uppstått till följd av uppsåt eller vårdslöshet från hans sida."*

## **2.2 Undantag från kravet på nätkoncession Förordning (2007:215, 2008:897)**

Regeringen har förskrivit undantag från ellagens allmänna krav på att en elektrisk starkströmsanläggning inte får byggas eller användas utan tillstånd (nätkoncession), för lokala ledningsnät vars enda uppgift är att koppla ihop ett antal produktionsenheter inom en större grupp för att sedan ansluta till en gemensam punkt i en nätägarens nät. Ett sådant lokalt ledningsnät kan få uppföras och ägas av ett produktionsbolag utan krav på formell koncession. Nätet måste emellertid uppfylla alla tillämpliga myndighetskrav. I normalfallet blir anslutningsledningen från produktionsgruppen till anslutningspunkten mot ovanliggande nät koncessionspliktig.

Tre kriterier kan ställas upp för när ledningar skulle kunna undantas från kravet på koncession.

Det första kriteriet är att ledningen eller ledningsnätet är ett internt nät dvs. att innehavaren överför el för egen räkning. Oftast rör det sig om nät som har en begränsad omfattning och befinner sig på privat område. Ett sådant nät medför inte heller något intrång i nätkoncessionshavarens ensamrätt att överföra el för annans räkning inom koncessionsområdet.

Det andra kriteriet är att ett internt nät inte får ha alltför stor utbredning. Koncessionsplikten syftar till en långsiktigt effektiv nätutbyggnad till lägsta samhällskostnad, varvid parallella nät bör undvikas. Ett stort internt nät skulle kunna skapa svårigheter för koncessionshavaren att bygga ut sitt nät på ett rationellt sätt. Detta blir främst aktuellt om kunder inom området för det interna nätet eller bortom detta skall anslutas till lokalnätet.

Det tredje kriteriet gäller för interna nät inom en viss angiven typ av område. Dessa typer av områden är listade i förordningen (2007:215), men grundläggande är att det lätt går att fastställa områdets belägenhet och utbredning, dvs. att det enkelt går att konstatera var gränsen mellan området och övrig mark går. Området skall vara väl avgränsat. Vidare får ett internt nät som förbinder två eller flera elektriska anläggningar för produktion, vilka utgör en funktionell enhet, byggas och användas utan nätkoncession (förordning 2008:897).

### **2.3 Miljöbalken (1998:808) och miljökonsekvensbeskrivningar Förordning (1998:905)**

Bestämmelserna i miljöbalken syftar till att främja en hållbar utveckling som innebär att nuvarande och kommande generationer tillförsäkras en hälsosam och god miljö. En sådan utveckling bygger på insikten att naturen har ett skyddsvärde och att människans rätt att förändra och bruka naturen är förenad med ett ansvar för att förvalta naturen väl.

Miljöbalken skall tillämpas så att:

1. människors hälsa och miljön skyddas mot skador och olägenheter oavsett om dessa orsakas av föroreningar eller annan påverkan,
2. värdefulla natur- och kulturmiljöer skyddas och vårdas,
3. den biologiska mångfalden bevaras,
4. mark, vatten och fysisk miljö i övrigt används så att en från ekologisk, social, kulturell och samhällsekonomisk synpunkt långsiktigt god hushållning tryggas, och
5. återanvändning och återvinning liksom annan hushållning med material, råvaror och energi främjas så att ett kretslopp uppnås.

En miljökonsekvensbeskrivning skall ingå i en ansökan om tillstånd att anlägga, driva eller ändra verksamheter som orsakar miljöskador. Syftet med en miljökonsekvensbeskrivning för en verksamhet eller åtgärd är att identifiera och beskriva de direkta och indirekta effekter som den planerade verksamheten eller åtgärden kan medföra dels på människor, djur, växter, mark, vatten, luft, klimat, landskap och kulturmiljö, dels på hushållningen med mark, vatten och den fysiska miljön i övrigt, dels på annan hushållning med material, råvaror och energi. Vidare är syftet att möjliggöra en samlad bedömning av dessa effekter på människors hälsa och miljön.

Kravet på en miljökonsekvensbeskrivning vid byggande av nya elledningar kan delas upp i två kategorier:

1. För byggande av ledning som ingår i elnätsföretagets områdeskoncession krävs vanligtvis ingen miljökonsekvensbeskrivning, men skall vid vissa tillfällen upprättas. Om påverkan på naturen blir stor skall man göra en anmälan om samråd enligt miljöbalkens 12 kap. 6 §.
2. För byggande av ledning som kräver linjekoncession skall en miljökonsekvensbeskrivning upprättas enligt ellagen 2 kap. 8a §.

Miljökonsekvensbeskrivningen ska föregås av ett samråd, med länsstyrelsen, tillsynsmyndigheten och de enskilda som kan antas bli särskilt berörda, om verksamheten eller åtgärden kräver tillstånd eller beslut om tillåtlighet enligt miljöbalken eller enligt föreskrifter som har meddelats med stöd av miljöbalken. Samrådet ska genomföras i god tid och i behövlig omfattning innan en ansökan om tillstånd görs och innan miljökonsekvensbeskrivningen upprättas. Samrådet ska avse verksamhetens eller åtgärdens lokalisering, omfattning, utformning och miljöpåverkan samt miljökonsekvensbeskrivningens innehåll och utformning.

## 2.4 CE-märkning och EG-direktiv

Produkter som omfattas av EG-direktiv skall vara försedda med CE-märkning. CE-märkningen är tillverkarens, eller importörens, sätt att enkelt informera kunden om att produkten överensstämmer med kraven i applicerbara EG-direktiv. De EG-direktiv som är av intresse i kontakten mellan nätägare och innehavaren av en elproduktionsanläggning är främst maskindirektivet, lågspänningsdirektivet och EMC-direktivet. I regel omfattas samtliga elproduktionsanläggningar av något av dessa direktiv och skall i så fall vara försedda med CE-märkning. För elproduktionsanläggningar där exempelvis produktionsenhet och omriktare säljs separat skall båda dessa enheter vara CE-märkta.

### Maskindirektivet 2006/42/EG

Maskindirektivet anger vilka grundläggande hälso- och säkerhetskrav som gäller för maskiner som släpps ut på marknaden inom EU. Genom att följa de harmoniserade standarder som utarbetats för att precisera kraven i maskindirektivet förutsätts man uppfylla maskindirektivets grundläggande hälso- och säkerhetskrav. Som maskin räknas den funktionella enheten som omger generatoren såväl mekaniskt som elektriskt. För vindkraftverk inkluderar detta torn, maskinhus, fundament och tillhörande nätstation om den placeras i anslutning till vindkraftverket. Varje vindkraftverk i en grupp är en separat maskin.

### Lågspänningsdirektivet 2006/95/EG

Lågspänningsdirektivet gäller, med vissa undantag, all elektrisk utrustning konstruerad för användning vid en märkspänning mellan 50 och 1 000 V för växelström och mellan 75 och 1 500 V för likström. Medlemsstaterna skall vidta alla skäligen åtgärder för att säkerställa att elektrisk utrustning endast får marknadsföras om den, efter att ha tillverkats i enlighet med inom gemenskapen gällande god säkerhetsteknisk praxis, inte riskerar säkerheten för människor, husdjur eller egendom, då den är korrekt installerad och underhållen och används för de ändamål den är avsedd för.

De viktigaste säkerhetskraven för elektrisk utrustning konstruerad för användning inom vissa spänningsgränser delas upp i allmänna villkor, skydd mot risker orsakade av elektrisk utrustning, och skydd mot risker som kan orsakas av yttre påverkan på den elektriska utrustningen.

### 1. Allmänna villkor

- a) För att säkerställa att den elektriska utrustningen används säkert och i tillämpningar som den är avsedd för, skall de väsentliga uppgifterna anges på utrustningen eller, om detta inte är möjligt, på en medföljande anvisning.
- b) Fabrikatets namn eller varumärket anges klart och tydligt på den elektriska utrustningen eller, då detta inte låter sig göras, på förpackningen.
- c) Den elektriska utrustningen, tillsammans med tillhörande komponenter, utförs på ett sådant sätt att det finns garantier för att den kan monteras och anslutas på ett säkert och korrekt sätt.
- d) Den elektriska utrustningen konstrueras och tillverkas så att skydd mot sådana risker som anges i punkterna 2 och 3 nedan garanteras, förutsatt att utrustningen används till de ändamål den är avsedd för och underhålls på ett nöjaktigt sätt.

### 2. Skydd mot risker orsakade av elektrisk utrustning

Åtgärder av teknisk art bör föreskrivas i överensstämmelse med punkt 1 för att säkerställa

- a) att människor och husdjur är tillfredsställande skyddade mot fara för fysisk skada eller annan skada som kan orsakas av direkt eller indirekt beröring,
- b) att temperaturer, ljusbågar eller strålning, som skulle kunna orsaka fara, inte kan uppstå,
- c) att människor, husdjur och egendom är tillfredsställande skyddade mot faror som inte är av elektrisk natur, vilka enligt erfarenhet kan orsakas av den elektriska utrustningen,
- d) att isoleringen är lämplig för de förhållanden som kan förutses.

### 3. Skydd mot risker som kan orsakas av yttre påverkan på den elektriska utrustningen

Tekniska åtgärder skall fastställas i överensstämmelse med punkt 1 för att säkerställa

- a) att den elektriska utrustningen uppfyller de förväntade mekaniska kraven på ett sådant sätt att människor, husdjur och egendom inte utsätts för fara,
- b) att den elektriska utrustningen är motståndskraftig mot påverkan som inte är av mekanisk natur under de förväntade miljöbetingelserna på ett sådant sätt att människor, husdjur och egendom inte utsätts för fara,
- c) att den elektriska utrustningen inte utsätter människor, husdjur och egendom för fara vid överbelastningsförhållanden som kan förutses.

### **EMC-direktivet 2004/108/EG**

Bestämmelserna i EMC-direktivet gäller utrustnings elektromagnetiska kompatibilitet. Syftet är att säkerställa EU-marknadens funktion genom krav på att utrustning skall överensstämma med en adekvat nivå av elektromagnetisk kompatibilitet.

De viktigaste EMC-kraven delas upp i skyddskrav och särskilda krav för fasta installationer.

#### 1. Skyddskrav

Utrustning skall med beaktande av aktuell tillämpbar teknik vara så konstruerad och tillverkad att

- a) den elektromagnetiska störning den alstrar inte överskrider den nivå över vilken radio- och teleutrustning eller annan utrustning inte kan fungera som avsett,

b) den har en sådan tålighet mot den elektromagnetiska störning som kan förväntas vid avsedd användning att dess avsedda funktion inte i oacceptabel utsträckning försämras.

## 2. Särskilda krav för fasta installationer

En fast installation skall installeras enligt god branschpraxis och i enlighet med informationen om hur dess komponenter är avsedda att användas för att uppfylla skyddskraven enligt punkt 1. God branschpraxis skall dokumenteras och den eller de ansvariga personerna skall hålla dokumentationen tillgänglig för kontroll för berörda nationella myndigheter så länge som den fasta installationen är i drift. All elproduktion ska vara fast ansluten.

## **2.5 Elsäkerhetsverkets föreskrifter om utformning och kontroll**

I starkströmsförordningen (SFS 2009:22) föreskrivs att Elsäkerhetsverket är tillsynsmyndighet (enligt ellagen (1997:857) 12 kap. 1§ första stycket) när det gäller frågor om elsäkerhet. Elsäkerhetsverket får därför, i den utsträckning som behövs för att förebygga person- eller sakskada på grund av el, meddela föreskrifter om utförande av elektriska anläggningar och anordningar, samt kontroll och provning av sådana anläggningar och anordningar. För anslutning av mindre produktionsanläggningar till elnätet är det främst följande delar av starkströmsföreskrifterna som är av intresse:

- Elsäkerhetsverkets föreskrifter och allmänna råd om hur elektriska starkströmsanläggningar ska vara utförda (ELSÄK-FS 2008:1, 2010:1).
- Elsäkerhetsverkets föreskrifter och allmänna råd om innehavarens kontroll av elektriska starkströmsanläggningar och elektriska anordningar (ELSÄK-FS 2008:3, 2010:3).
- Elsäkerhetsverkets föreskrifter och allmänna råd om elsäkerhet vid arbete i yrkesmässig verksamhet (ELSÄK-FS 2006:1).

Elsäkerhetsverket har även gett ut en särskild föreskrift om elektromagnetisk kompatibilitet:

- Elsäkerhetsverkets föreskrifter om elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) (ELSÄK-FS 2007:1)

## **2.6 Svenska Kraftnäts föreskrift om driftsäkerhetsteknisk utformning av produktionsanläggningar**

I föreskriften (SvKFS 2005:2) ställs krav på viss teknisk dimensionering av produktionsanläggningar för att skapa de nödvändiga förutsättningarna för driftsäkerhet i det nationella systemet. Föreskriften gäller anläggningar från och med 1,5 MW och oavsett spänningsnivå för anslutningspunkten. I föreskriften ställs krav på störningstålighet (ibland kallad fault-ride-through), spänningsreglering, effektregering, samt verifiering och dokumentation. Kraven varierar något beroende på produktionsanläggningens typ och storlek.

### **Störningstålighet**

Produktionsanläggningar ska kunna upprätthålla utmatning av effekt för stationära avvikelser i frekvens och/eller spänning, som varierar i intervallerna 47,5-52,5 Hz och 85-110% av nominell spänning. I vissa av intervallens utkanter krävs endast drift under viss tid och/eller med reducerad effektutmatning. För anläggningar upp till 25 MW gäller spänningsintervallet 90-105% av nominell spänning.



Spänningsvariationer i samband med kortslutningar i det angränsande maskade stamnätet, med en varaktighet upp t.o.m. 250 ms, får inte leda till produktionsbortkoppling. Vidare ska produktionsanläggningar, med bibehållen nätanslutning, klara de variationer i spänningen, på en eller flera faser, som kan uppträda vid momentant bortkopplade fel i det anslutande maskade nätet.

Samtliga produktionsanläggningar ska vidare klara bibehållen drift vid kortvariga spänningsvariationer, som kan uppträda i nätet i samband med vanligt förekommande händelser, såsom åskfel och kopplingar.

### **Spänningsreglering**

Produktionsanläggningar, utom direktanslutna asynkrongeneratorer skall ha automatisk spänningsreglering för att bidra till stabiliseringen av spänningen vid störda förhållanden. Spänningsregleringen ska kunna arbeta med en karakteristik (en reaktiv reglerstyrka uttryckt i Mvar/kV).

Vindkraftgrupper skall utformas så att det reaktiva utbytet kan regleras till noll.

### **Effektreglering**

Vindkraftaggregat ingående i vindkraftgrupp skall ha individuell möjlighet till inställning av den nivå då aggregatet automatiskt stoppas på grund av yttre omständigheter. Vid stopp på grund av för stark vind får inte alla vindkraftaggregat i en vindkraftgrupp stoppas samtidigt och högst 30 MW/minut får kopplas bort. Vid start av vindkraftaggregat ingående i vindkraftgrupp bör inte alla vindkraftaggregat startas samtidigt. Högst 30 MW/minut bör inkopplas när vindkraftgrupp startas.

Det ska vara möjligt att kontrollera produktionen från vindkraftgrupp så att produktionen inte överstiger ett bestämt effektvärde (MW). Effektvärdet ska kunna vara reglerbart med en utifrån kommande signal. Det ska vara möjligt att ändra i regleralgoritmen. Produktionen skall kunna regleras så snabbt att den reduceras till under 20% av maximal effekt inom 5 sekunder.

### **Verifiering och dokumentation**

En produktionsanläggnings förmåga att uppfylla föreskriftens krav skall vara verifierad. Verifiering av att en produktionsanläggning uppfyller de krav som ställs i föreskriften kan ske på olika sätt, exempelvis genom fullskaleprov, tekniska beräkningar, simuleringar och reläinställningsplaner. Fullskaleprov är det bästa och mest tillförlitliga alternativet. Vissa krav som anges i föreskriften är dock av sådan art att fullskaleprov i praktiken inte låter sig göras. Det kan exempelvis vara prov som skulle innebära onödigt stora påfrestningar på elsystemet, eller prov som kan anses påverka en anläggnings tekniska livslängd negativt. Då fullskaleprov inte är lämpliga kan andra verifieringsmetoder tillämpas.

En produktionsanläggnings konstruktion och däri ingående apparaters tekniska data skall vara dokumenterade. Då Svenska Kraftnät begär det skall dokumentation tillställas Svenska Kraftnät om de tekniska data som är relevanta för föreskrifternas reglerande funktioner. Vid förändring av tekniska data skall Svenska Kraftnät informeras om detta.

## **2.7 Standarder och branschpraxis**

För att på ett enhetligt, samordnat och tekniskt realiserbart sätt uppfylla de krav som i det tvingande regelverket ofta är uttryckt i relativt allmänna termer om säkerhet för människors liv och hälsa, skydd för naturen, produktansvar och leveranskvalitet, har ett stort antal standarder utarbetats. I vissa viktigare frågeställningar saknas gällande standard och istället refereras till en för varje tid gällande branschpraxis, som i större eller mindre grad antas motsvara vad som är acceptabla lösningar inom

verksamhetsområdet. Standarder och branschpraxis kan sägas beskriva en rådande samsyn om hur man uppfyller krav i lagar och förordningar. I andra mindre kritiska frågeställningar lämnas ett större spelrum för branschens aktörer att finna egna och olika vägar, såväl gällande tekniska krav och lösningar som administrativ hantering.

Svenska Kraftnät och andra nätägare tillämpar även tekniska riktlinjer av olika slag för att hålla en tillräckligt hög och jämn kvalitet på sina egna nät och stationer, samt på andra anläggningar anslutna till det elektriska kraftsystemet. Ett exempel på en sådan riktlinje är TR6-02, *Tekniska riktlinjer för elkvalitet – Del 2: Planerings- och emissionsnivåer, mätmetoder och ansvarsfördelning avseende elkvalitet i stamnätet*. Även om riktlinjen enbart gäller för stamnätet, så kan delar av den mycket väl vara tillämpliga även på lägre spänningsnivåer.

### 2.7.1 Standarder

Nedan presenteras några viktiga standarder i samband med nätanslutning av produktionsanläggningar. Notera att dessa samt några ytterligare lämpliga standarder finns sammanställda i *bilaga 2*.

#### **SS-EN 50110-1: Skötsel av elektriska anläggningar**

Standarden gäller all skötsel av och allt arbete på eller nära elektriska starkströmsanläggningar oberoende av spänning, och ligger till grund för branschpraxisen ESA.

#### **SS-EN 50160: Spänningens egenskaper i elnät för allmän distribution**

Standarden definierar, beskriver och specificerar huvudegenskaperna hos spänningen i en elnätanvändares anslutningspunkt i ett allmänt distributionsnät för låg- och mellanspänning under normala driftförhållanden. Standarden beskriver de gränser mellan vilka spänningens egenskaper kan förväntas bibehållas sett över hela det publika elnätet, vilket dock inte innebär en beskrivning av en medelsituation som vanligen kan förväntas hos en enstaka elnätanvändare. Standardens ändamål är att definiera och beskriva egenskaperna hos matningsspänningen beträffande frekvens, storlek, kurvform och symmetri mellan fasspänningarna.

#### **SS-EN 61400-21: Vindkraftverk – Del 21: Mätning och bedömning av elkvalitet för nätanslutna aggregat**

Standarden finns tillgänglig på engelska (IEC standard) och beskriver karakteristiska elkvalitetsparametrar för vindkraftverk, standardiserade testprocedurer och underlag för bedömning av elkvaliteten.

#### **SS-EN 61000-4-30: Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC)- Del 4-30: Mät- och provningsmetoder – Mätning av spänningsgodhet och elkvalitet**

Standarden finns tillgänglig på engelska (IEC standard). Standarden definierar metoder för mätning av elkvalitetsparametrar i 50/60 Hz växelströmssystem och för tolkning av resultaten. Mätmetoder beskrivs för var och en av de relevanta elkvalitetsparametrarna, så att tillförlitliga och repeterbara resultat erhålles. Standarden beskriver så kallade *in situ* mätningar, dvs mätningar som görs kontinuerligt på plats i det i drift varande växelströmssystemet. Standarden är begränsad till ledningsburna spänningsfenomen. De elkvalitetsparametrar som behandlas är kraftfrekvens, spänningens amplitud, flicker (flimmer), spänningsdippar och temporära spänningshöjningar, spänningsavbrott, transienta spänningar, osymmetri i spänningen, övertoner och mellantoner i spänningen, samt snabba spänningsändringar.

## **SS-EN 61000-2-2: Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) – Del 2-2: Miljöförhållanden – Kompatibilitetsnivåer för lågfrekventa ledningsbundna störningar och signalnivåer på elnät**

Standarden finns tillgänglig på svenska (utgåva: 1) och behandlar ledningsbundna störningar i frekvensområdet 0 kHz till 9 kHz. Den anger kompatibilitetsnivåer för allmänna distributionsnät för lågspänning med en nominell spänning om högst 420 V enfas eller 690 V trefas och 50 Hz eller 60 Hz nominell frekvens.

De i standarden angivna kompatibilitetsnivåerna gäller i den gemensamma anslutningspunkten. Störningsnivåerna vid anslutningsklämmorna (strömintaget) på den utrustning som matas från dessa nät kan i allmänhet anses överensstämma med nivåerna i respektive gemensamma anslutningspunkt. I vissa fall är det dock annorlunda, särskilt när installationen ensam matas av en lång ledning eller när störningen genereras eller förstärks i den installation vari utrustningen ingår.

Kompatibilitetsnivåerna är specificerade för elektromagnetiska störningar av de slag som kan förväntas i allmänna distributionsnät för lågspänning, avsedda att tjäna som vägledning när:

1. gränser skall fastläggas för emission av störningar till allmänna distributionsnät (inklusive de planeringsnivåer som definieras i kapitel 9)
2. immunitetsgränser skall bestämmas, av produktkommittéer (i det elektrotekniska standardiseringsarbetet) eller andra, för utrustning som utsätts för de ledningsbundna störningar som förekommer i allmänna distributionsnät.

De störningsfenomen som behandlas är:

1. snabba spänningsändringar och flicker/flimmar
2. övertoner upp till och med den 50:e
3. mellantoner upp till den 50:e övertonen
4. spänningsdistorsioner vid högre frekvenser (över den 50:e övertonen)
5. kortvariga sänkningar av matningsspänningen och kortvariga spänningsavbrott
6. osymmetri i spänningen
7. transienta överspänningar
8. variationer i matningsspänningens frekvens
9. likspänningskomponenter
10. signalering på elnätet

## **SS-EN 50308: Vindkraftverk – Säkerhet och skydd vid skötsel och underhåll**

Denna standard har tagits fram för att dokumentera de säkerhetsfordringar som finns för drift och underhåll för vindkraftverk, med avseende på hälsa och säkerhet för personal som arbetar med drift och underhåll av vindkraftverk. Riskbedömningen som ligger till grund för säkerhetskraven för en vindkraftanläggning kan skilja sig från de riskbedömningar som görs för elanläggningar inom eldistributionsnät. Då elanslutningen innebär att exempelvis brytare och mätutrustning tillhörande elnätsbolaget installeras inom vindkraftverket så är det viktigt att säkerställa en betryggande arbetsmiljö och godtagbara säkerhetsnivåer, i paritet med övriga anläggningar där elnätsföretagets personal verkar. För dessa utrymmen bör kraven i avsnitt 5.6, Övriga skyddskrav och skyddsanordningar, vara uppfyllda.

### **2.7.2 Branschdokument**

Tillämplig standard blir alltmer internationell och de flesta svenska standarder är idag IEC eller Europa standard. Branschpraxis kan tolkas som en nationell anpassning av standarderna, som mer i detalj beskriver tillvägagångssätt i olika situationer, t ex i samband med nätanslutning av produktionsanläggningar.

Elarbeten enligt ESA (Elsäkerhetsanvisningar) är ett begrepp som vuxit sig starkt inom branschen. Svensk Energi ger ut dokument och håller kurser inom ESA. Arbete enligt ESA är väl etablerat inom branschen och det sker en kontinuerlig utveckling för att höja elsäkerheten.

EBR (Elbyggnadsrationalisering) är ett annat begrepp som satt sin prägel på elnätsverksamheten i Sverige. Svensk Energi bevakar, påverkar och genomdriver förändringar av teknik, regler och andra villkor för nätverksamhet. Vidare bedriver man utbildning och tar fram dokument om rationell elbyggnadsverksamhet, som sätter en de facto-standard inom området i Sverige.

*Anslutning av kundanläggningar 1-36 kV till elnätet (IBH-04)*, utgiven av Svensk Energi, är ett exempel på nedteknad och utgiven branschpraxis. Dokumentet är gemensamt upprättat av nätägarna i Sverige som vägledning för kunder och installatörer när de ska ansluta nya högspänningsanläggningar (1-36 kV) till elnätet liksom vid större ombyggnader av befintliga anläggningar. I dokumentet redovisas administrativa rutiner, såsom anslutnings- och leveransavtal, föransökan och beställning, färdigamälan och besiktning, samt tillkoppling. Vidare beskrivs tekniska krav för olika delar av installationen samt hur debiteringsmätning ska utföras. IBH-04 innehåller även blanketter för föransökan och färdigamälan, samt för besiktningsprotokoll

*Anslutning Mätning Installation (AMI)*, är en web-baserad handbok utgiven av Svensk Energi, där man snabbt och enkelt finner svaren på många viktiga frågor i samband med anslutning av produktionsanläggningar till elnätet.

*Krav, Råd och Rekommendationer om mätning på elmarknaden (KRR-handboken)*, är en handbok utgiven av Svensk Energi, för personal på elnätsföretagen som arbetar med dimensionering och kontroll av mätsystem.

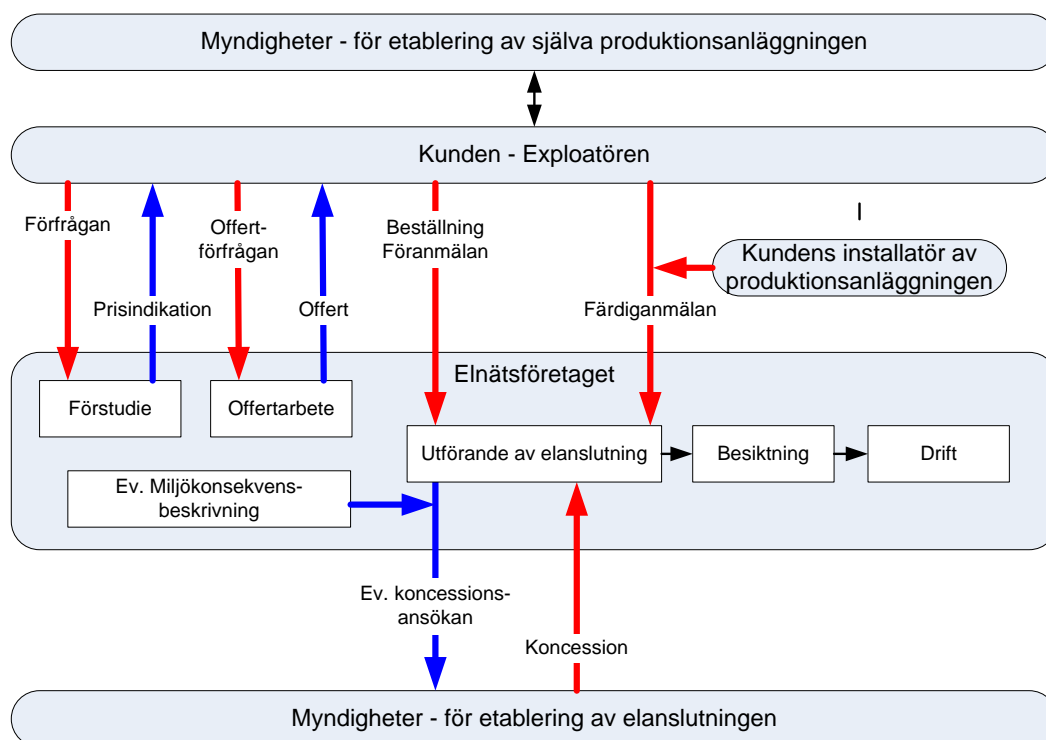
*Wind Power and Fault Clearance (Elforsk rapportnummer 10:99)* är i huvudsak ett vägledande dokument vid konstruktion av felbortkopplingssystem i elnät i samband med anslutning av vindkraftproduktion. För interna fel och kritiska driftfall för vindkraftverket ges en kort överblick av rimliga skyddsfunktioner.

### **2.7.3 Rutiner**

Förutom den branschgemensamma praxisen har respektive elnätsföretag sina specifika rutiner i samband med anslutning och drift av mindre produktionsanläggningar. De flesta elnätsföretagen har sina rutiner beskrivna på respektive hemsida.

### 3 Administrativa anvisningar

Den administrativa och tillståndsmässiga vägen från idé till ansluten och drifttagen produktionsanläggning kan vara lång. Administration och tillstånd kan delas upp i två delar, en del för själva produktionsanläggningen och en del för elanslutningen. En exploatör arbetar sig ofta parallellt och successivt framåt inom de båda delarna. I detta avsnitt fokuseras på relationer och utbyte mellan kunden, elnätsföretaget och olika myndigheter, för att åstadkomma en elanslutning till en planerad produktionsanläggning. I *figur 3:1* illustreras de olika momenten och deras inbördes ordning.



Figur 3:1, Aktiviteter och kontakter för anslutning av produktionsanläggning.

#### 3.1 Förfrågan

Det är viktigt att kunden i ett tidigt stadium inkommer med en förfrågan, till det elnätsföretag som har områdeskoncession i det aktuella området, för att diskutera alternativa anslutningsmöjligheter. Anslutning av ny elproduktion innebär i de flesta fall att någon form av utredning behöver göras. En förfrågan skall alltid lämnas för den planerade anläggningen för att fastställa om det går att ansluta den tillkommande effekten till befintligt nät eller om nätet behöver förstärkas eller byggas ut.

Förfrågan ska vara skriftlig och bör innehålla följande:

- Kontaktuppgifter
- Antal aggregat
- Typ av aggregat
- Anläggningens totala effekt
- Anläggningens plats (fastighetsbeteckning/karta/koordinater/anslutningsvägar)
- Preliminär tidplan

### 3.2 Förstudie

Efter inkommen förfrågan startar elnätsföretaget en förstudie. Komplexiteten på denna beror på kapacitet i befintligt nät och storleken på den tillkommande effekten. Förstudien är oftast av enklare karaktär för att möjliggöra en prisindikation till kunden. Utförligare analyser görs i ett senare skede i offertarbetet.

### 3.3 Prisindikation

För att kunden skall kunna få en uppfattning om anslutningsavgiftens storlek och hur det är tekniskt möjligt att genomföra tänkt anslutning enligt förfrågan, lämnas normalt en prisindikation på en övergripande nivå till kunden.

Observera att en prisindikation inte innebär någon bindande kostnadsuppskattning. Det vill säga, en anslutning till elnätet enligt en prisindikation är en nulägesuppskattning, och ingen garanti för att anslutningsvillkoren gäller vid ett senare skede vare sig ekonomiskt eller tekniskt.

En prisindikation från elnätsföretaget ska, enligt SOU 2008:13, innehålla:

- Ett ungefärligt pris och eventuellt en skiss över anslutningen.
- Vilka eventuella förbehåll som kan finnas (förstärkningar, begränsningar, behov av fördjupade utredningar, markfrågor, bygglov, etc.) anges om så är möjligt.

Normala handläggningstider hos elnätsföretagen enligt SOU 2008:13:

Nät	Handläggningstid
Lokalnät 0,4 kV	10-20 arbetsdagar
Lokalnät 10-20 kV	40 arbetsdagar

Beroende på projektets art och omfattning kan handläggningstiderna bli kortare eller längre.

### 3.4 Offertförfrågan

För att elnätsföretaget ska kunna lämna en bindande offert måste kunden lämna en skriftlig offertförfrågan. Uppgifterna i AMP-blanketten (*se bilaga 6*) utgör en viktig del av offertunderlaget, och ska ingå i offertförfrågan. AMP-blanketten är särskilt framtagen för vindkraftanslutningar, men används, i tillämpliga delar, även för anslutning av andra typer av produktionsanläggningar.

Kraftverkens nätpåverkan är typberoende och därför måste fabrikat och typ anges i offertförfrågan. Ändrar kunden typ eller fabrikat efter att offerten lagts måste elnätsföretaget ges möjlighet att förnya beräkningarna och presentera en ny offert för anslutningen.

### 3.5 Offert

En bindande offert efterfrågas normalt av kunden i ett skede då eventuella tillstånd för anslutningen har erhållits.

Elnätsföretagens mål är att tiden till offertgivande skall vara så kort som möjligt från inkommen offertförfrågan från kund. Långa handläggningstider kan exempelvis uppstå till följd av naturvårdsintressen, markägarfrågor eller rent tekniska frågor. Finns det

många förfrågningar inom samma område krävs normalt en större och mer övergripande utredning för att hitta en framtida nätstruktur.

Offert lämnas normalt mot avgift och garanterar anslutning till nätet under den tid offerten gäller. Den offertavgift som tas ut baseras på kostnader som elnätsföretaget har för att kunna offerera anslutningen. Offertavgiften avräknas vid beställning. Avgiften anses dock som förverkad i fallet att ingen beställning sker.

En bindande offert bör, enligt SOU 2008: 13, innehålla:

- Teknisk kravspecifikation avseende den aktuella anslutningspunkten
- Anslutningsavgift
- Offertens giltighetstid, 2 månader
- Beräknad tidpunkt för anslutningen
- Information om gällande tariff och eventuell nätnytta
- Leveransomfattning inklusive parternas åtagande

Normala handläggningstider hos elnätsföretagen enligt SOU 2008: 13:

Nät	Handläggningstid
Lokalnät 0,4 kV	20 arbetsdagar
Lokalnät 10-20 kV	60 arbetsdagar

Beroende på projektets art och omfattning kan handläggningstiderna bli kortare eller längre.

### 3.6 Föranmälan

En skriftlig anmälan skall göras till aktuellt elnätsföretag för elinstallationsarbete som kräver ny eller ändrad servis eller större utbyggnad av en installerad starkströmsanläggning innan arbetet får påbörjas.

Det är till den som innehar koncession som en skriftlig anmälan om anslutning ska ställas och det är elnätsföretaget som anger vem som skall göra anmälan, vilka krav som skall vara uppfyllda för anslutningen och vilka uppgifter som i övrigt ska lämnas.

En skriftlig föranmälan skall lämnas av behörig elinstallatör för varje anslutningspunkt mot elnätsföretagets nät.

### 3.7 Färdiganmälan och idrifttagning

Före första tillkoppling av produktionsanläggning skall anläggningen färdiganmälas av behörig elinstallatör samt nätavtal vara påtecknat.

Protokoll över utförda funktionsprov av de elektriska skyddsfunktionerna för den färdiga anläggningen, samt över uppmätt jordtagsresistans för det enskilda jordtaget med bryggmetoden enligt EBR U303H: 10, skall bifogas.

Om utförandet avviker från vad som angivits i föranmälan skall nya uppgifter samt eventuellt nytt kopplingschema inlämnas för godkännande av elnätsföretaget.

Elnätsföretag skall innan drifttagningen ges möjlighet att:

- utföra besiktning av anslutnings- och mätanordning
- delta i funktionsprov av reläanläggningen
- delta vid inkoppling

Utbyte av kontaktvägar mellan kundens driftorganisation och elnätsföretagets driftorganisation skall ske före inkoppling av anläggningen. Kontaktvägarna bör följa vedertagen standard enligt ESA och även anslås i anläggningen, se även kapitel 5.

Ägogräns respektive driftledningsgräns mellan produktionsanläggningen och elnätsföretagets nät skall fastställas och dokumenteras.

Anläggningen får tas i drift först sedan elnätsföretaget lämnat sitt medgivande.



## 4 Anslutning av produktionsanläggning

Placeringen av produktionsanläggningar styrs oftast av helt andra faktorer än lämpligheten att ansluta till ett befintligt elnät. Goda vindlägen för vindkraftverk finns till exempel ofta på perifera platser där bebyggelsen är gles och där det befintliga elnätet är förhållandevis svagt.

Vid alla förändringar av kraftsystemets utnyttjande, såsom anslutning av nya kunder, måste elnätsföretaget skaffa sig ett underlag för att besluta om vilka förstärkningsåtgärder, som kan behöva göras för att upprätthålla en fullgod service till samtliga nätkunder, såväl de som levererar el till elnätet, som de som konsumerar el.

Samtliga elnätsföretag i kedjan från anslutningspunkten till stamnätet har att kontrollera, och vid behov förstärka sina anläggningsdelar, med avseende på:

1. Felströmsnivåer. Alla komponenter i kraftsystemet måste uthärda de felströmmar som de kan utsättas för.
2. Belastningsströmmar. Kraftsystemets komponenter måste uthärda de belastningsströmmar som de kan utsättas för.
3. Förluster. Överföringsförluster och så kallad "nätnytta" skall påföras kunderna på ett rättvist sätt.
4. Spänningsreglering. Inmatning av aktiv effekt från ett kraftverk påverkar överföringsförlusterna i systemet och därmed spänningen i andra anslutningspunkter.
5. Övertoner, mellantoner, osymmetrier och flicker/flimmer. Produktionsanläggningens bidrag till övertoner, mellantoner, osymmetrier och flicker måste hållas inom vissa gränser, som kan variera beroende på tidigare nivåer och vad nätet tål.
6. Felbortkoppling. Föreskriftsenlig felbortkoppling av såväl kortslutningar som jordslutningar måste upprätthållas. Härvid svarar respektive elnätsföretag för sitt nät, medan anläggningsägaren ansvarar för felbortkoppling inom produktionsanläggningen och eventuellt icke koncessionspliktigt nät.

Vidare måste produktionsanläggningen vara robust mot förekommande händelser och driftförutsättningar i angränsande nät, såsom fel, transienta överspänningar, onormala drifttillstånd, onormala kopplingslägen, etc.

### 4.1 Installation och dimensionering

Generatoraggregat med tillhörande utrustning skall vara utfört och uppställt enligt gällande starkströmsföreskrifter och vara utrustat med de skyddsanordningar som specificeras i kapitel 5.

Asynkrongenerator skall förses med faskompenseringsutrustning.

Inkoppling av asynkrongenerator, som ej är försedd med särskild startanordning för begränsning av inkopplingsströmmen, skall ske vid 98 – 102% av det synkrona varvtalet.

Eventuell förekomst av utrustning för återinkoppling (ÅI) eller snabbåterinkoppling (SÅI) för linje skall meddelas av elnätsföretaget i förutsättningarna.

För att anläggningsinnehavaren och dennes entreprenörer och konsulter ska kunna dimensionera produktionsanläggningen och dess komponenter på ett riktigt sätt måste

man få tillgång till data och villkor som gäller i anslutningspunkten. Elnätsföretaget tillhandahåller normalt uppgift om maximalt respektive minimalt förekommande kortslutningseffekt (relaterad till en viss spänning i anslutningspunkten). Vidare ställer elnätsföretaget krav på spänningskvalitet i anslutningspunkten, som oftast är relaterad till gällande standard. Elnätsföretaget är ansvarigt för spänningsregleringen i nätet och ska säkerställa att eventuell inverkan på spänningshållningen från produktionsanläggningen kan hållas inom acceptabla gränser.

Det är viktigt med koordinering av skydd i de olika anläggningsdelarna för att:

- 1) säkerställa bortkoppling av felströmsbidrag från nätet vid fel i produktionsanläggningen, och att
- 2) säkerställa bortkoppling av felströmsbidrag från produktionsanläggningen vid fel i nätet.

Med tillfredsställande felbortkoppling menas normalt att för varje fel, oavsett felläge och feltyp, så finns en ordinarie felbortkopplingsfunktion och en reservbortkopplingsfunktion och att dessa i någon mån är oberoende, samt att felbortkopplingstiderna är i enlighet med gällande föreskrifter. Felbortkopplingen ska vara snabb, säker, selektiv och i överensstämmelse med kraven om bibehållen nätanslutning, enligt SvKFS 2005:2. Om det föreligger risk för att övertonsströmmar eller mellantonströmmar från produktionsanläggningen kan ge upphov till alltför höga nivåer på övertonsspänningar eller mellantonsspänningar, så måste nätimpedansen som funktion av frekvensen bestämmas, för olika kopplingslägen i nätet.

## 4.2 Jordning och åskskydd

Samtliga PEN-ledare i anläggningen ska anslutas till huvudjordningsskena som ansluts till eget jordtag utanför anläggningen. Produktionsanläggningen bör dessutom förses med ändamålsenligt åskskydd. Åskledaranläggningen skall anslutas till huvudjordningsskenan (se bilaga 5).

Nollpunkten i Y-kopplad generator som är direktansluten till lågspänningsnätet med egen last skall direktjordas till eget jordtag.

I de fall en produktionsanläggning ansluts via en kabel till en luftledning på mellanspänningsnätet bör ventilavledare anslutas i övergången mellan luftledning och kabel. Ventilavledare behövs dessutom, på samma sätt som vid anslutning direkt till en friledning, även i kundens anläggning eftersom åsköverspänningar förstärks genom reflektioner mot kundens transformator och kan uppnå för höga nivåer då kabeln är kortare än 1500 m.

Eventuell systemjordning av ett eller flera kraftverk i en grupp eliminerar inte kravet på ett enskilt och mätbart jordtag för respektive kraftverk. Däremot ska systemjordningen i förekommande fall anslutas till huvudjordningsskenan för att undvika skillnad i jordpotential och för att förbättra det resulterande jordtagsvärdet.

## 4.3 Faskompensering

En produktionsanläggning har i regel inverkan på elnätsföretagens råkraftuttag. Hög produktion ger lägre aktivt uttag men kan ge högre reaktivt uttag. Faskompenseringsutrustning installerad i produktionsanläggningen minskar behovet av ökat uttag av reaktiv effekt från ovanliggande nät. Svenska Kraftnäts föreskrifter SvKFS 2005:2 ställer krav på reaktiv förmåga för alla produktionsanläggningar från och med 1,5 MW. Inom ramen för Svenska Kraftnäts krav kan överenskommelse om hur mycket reaktiv effekt produktionsanläggningen får producera respektive konsumera regleras i nätavtalet som skrivs mellan elnätsföretaget och ägaren av produktionsanläggningen..

Kraftverk med asynkrona maskiner förses vanligen med kondensatorer som faskompensering, som automatiskt kopplas in och ur i proportion till den aktiva effektens variationer.

Används en aggregatkonstruktion med variabelt varvtal och kraftelektronik, finns större möjlighet att snabbt och kontinuerligt styra den reaktiva effekten. Metoden innebär även att det inom vissa ramar går att reglera spänningen för att uppnå önskad spänningsnivå i anslutningspunkten vid produktion.

Svenska Kraftnäts föreskrifter SvKFS 2005:2 gäller oberoende av nätets spänningsnivå. Det lokala elnätsföretaget kan ställa krav på ytterligare reaktiv förmåga. I elnätsföretagens lågspänningsnät skall faskompenseringsutrustning alltid frångöras före frångöring av generatoren. Föreligger risk för resonans mot nätet skall anläggningen förses med lämpligt filter.

Ansluts produktionsanläggningen till mellanspänningsnätet ska den reaktiva effekten regleras mot noll om ingen annan överenskommelse görs med elnätsföretaget. Svenska Kraftnät har ett krav på nollutbyte av reaktiv effekt mot elnätsföretaget, vilket elnätsföretaget i sin tur även kan tillämpa för vindkraftsgrupper och mellanspänningsanslutna produktionsanläggningar.

Om flera vindkraftverk är placerade i grupp kan det bli aktuellt att komplettera med en gruppkompensering. Om man väljer att spänningsreglera med utrustningen måste reglerfunktionen koordineras med andra spänningsreglerande anläggningar, t.ex. lindningskopplarreglering i matande station.

Det kan även bli aktuellt att behöva kompensera för den reaktiva effekt som kablar i större uppsamlingsnät genererar. Beroende på var anslutningspunkten finns och hur nätet är konstruerat kan denna kompensering hamna antingen hos kunden eller hos elnätsföretaget.

#### **4.4 Kommunikationskrav**

I enlighet med Svenska Kraftnäts driftsäkerhetstekniska föreskrifter så skall vindkraftparker vara försedda med möjlighet till kommunikation för att externt kunna styra effekten. Hur denna signal skall vara utförd praktiskt är inte specificerat.

En kommunikationsstandard för vindkraftverk är definierat i *SS-EN 61400-25, Vindkraftverk - Kommunikation för övervakning och styrning av vindkraftverk*. Kommunikation enligt denna standard är kompatibel med *SS-EN 61850-7-serien* för kommunikation med fördelningsstationer och ställverk.

#### **4.5 Drift- och underhållssäkerhet**

Målet med en väl fungerande elproduktionsanläggning med hög drift- och underhållsmässighet är att till så låg kostnad som möjligt se till att utrustningen håller en så hög tillgänglighet och driftsäkerhet som möjligt. För att uppnå hög driftsäkerhet bör hänsyn tas till de tre centrala begreppen underhållsmässighet, underhållssäkerhet och funktionssäkerhet.

Det är mycket viktigt att det ställs höga krav på personsäkerhet, anläggnings säkerhet och elsäkerhet redan i projekteringsstadiet och att samma höga nivå behålls genom anläggningens hela livstid. Detta innebär att en produktionsanläggning måste planeras och utformas för en hög drift- och underhållsmässighet redan från drifttagningen. Produktionsanläggningen ska sedan kunna underhållas så att den bibehåller sin kvalitetsnivå under hela sin tekniska livslängd. Det innebär även att man måste beakta

hur vindkraftverk och tillhörande transformatorbokiosker, kopplingsutrustning och apparater skall fjärrkontrollanpassas för att kunna övervakas och styras.

#### **4.5.1 Underhållsmässighet**

En utrustnings underhållsmässighet kan påverkas i konstruktionsfasen eftersom det är ett mått som karakteriserar en utrustnings anpassning för underhåll. För att öka underhållsmässigheten är det viktigt att påpeka de modifieringar som är nödvändiga i god tid så att konstruktörer kan anpassa utrustningen till ställda krav.

#### **4.5.2 Underhållssäkerhet**

Underhållssäkerhet är ett mått på hur väl underhållsorganisationen kan utföra de underhållsåtgärder som krävs för att hålla utrustningen i gott skick.

En förutsättning för god underhållssäkerhet är ett väl fungerande underhållssystem där information om underhållsintervall samt underhållsinstruktioner och dokumentation om komponenter finns tillgängligt.

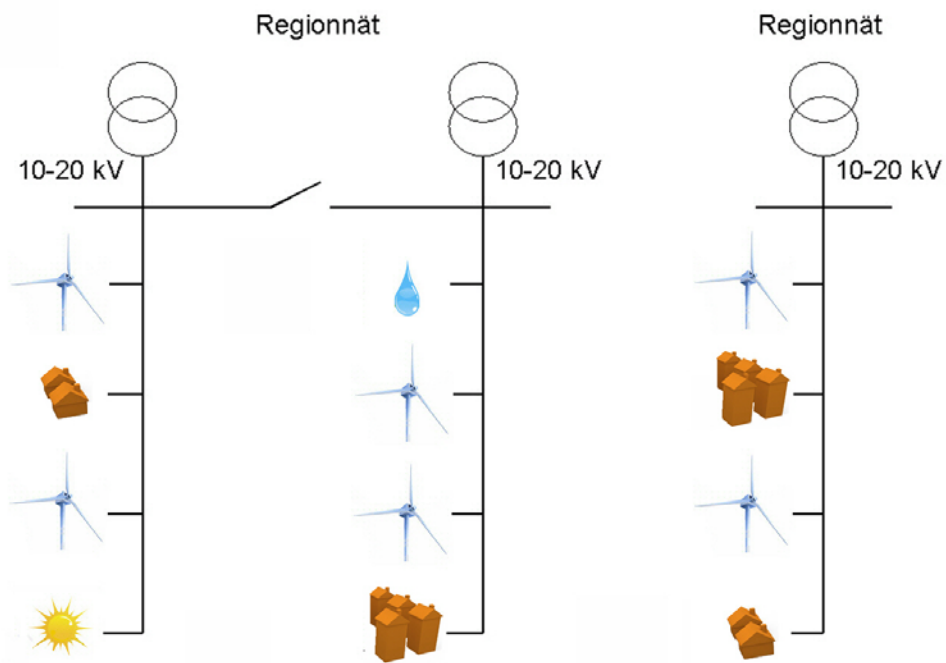
Det innebär också att elnätsföretaget ska ha möjlighet att kunna göra erforderligt underhålls- och förnyelsearbete på sina anläggningsdelar, t ex att vid behov ta anslutningsledning och/eller transformator ur drift för arbete.

#### **4.5.3 Funktionssäkerhet/Tillgänglighet**

Ett elkraftsystems komponenter, såsom transformatorer, brytare och ledningar, kan befinna sig i ett av två tillstånd, antingen i drift eller ur drift.

Normalt dimensioneras stam- och regionnät enligt det s.k. (n-1) kriteriet. Det innebär att en godtycklig komponent, ledning, samlingsskena eller transformator, ska kunna kopplas ur utan att någon elkund får sin matning bortkopplad. Tanken är att reparationstiden inte ska vara längre än att den felaktiga komponenten hinner komma i drift innan nästa fel inträffar.

Däremot så konstrueras många lokalnät och uppsamlingsnät för t.ex. vindkraft som radialledningar, som i de flesta fall saknar redundans. Det innebär att produktionsbortfallet kan bli stort vid längre avbrott t.ex. vid ett transformatorhaveri, se även *figur 4: 1*.



*Figur 4: 1*, Radialledningar innebär ökad risk för produktionsbortfall under längre tid vid störningar eller underhåll på elnätet.

## 5 Säkerhet och skydd

Ellagen kräver att elektriska anläggningar ska vara så beskaffade och placerade samt brukas på ett sådant sätt att betryggande säkerhet ges mot person- eller sakskada eller störning i driften vid den egna anläggningen eller vid andra elektriska anläggningar.

Arbetsmiljölagen anger att arbetsgivare ska vidta alla åtgärder som behövs för att förebygga att arbetstagare utsätts för ohälsa eller olycksfall. Lagen anger även att betryggande skyddsåtgärder vidtas mot skada som orsakas av elektrisk ström. Arbetsmiljölagen hänvisar till ellagstiftningen för detaljfrågor.

Det är ägaren till respektive anläggning som är ansvarig för att det viktiga elsäkerhetsarbetet följs. Det brukar ofta delas upp i tre olika ansvarsområden; Personsäkerhetsansvar, Anläggningsansvar och Behörighetsansvar.

### 5.1 Personsäkerhetsansvar

Arbetsgivaren har ansvar för sina anställdas personsäkerhet enligt arbetsmiljölagstiftningen, där Arbetsmiljöverket är tillsynsansvarig myndighet. Utöver arbetsmiljölagstiftningen finns föreskriften *ELSÄK-FS 2006:1*, vilken reglerar elsäkerhet vid arbete i yrkesmässig verksamhet. Anläggningsinnehavaren ska kunna ge svar på vem i organisationen som har personsäkerhetsansvaret. Detta kan lösas genom olika delegationsordningar som passar den enskilda organisationen.

#### 5.1.1 Arbetsmiljölagen - Allmänna skyldigheter

Arbetsgivaren ska vidta alla åtgärder som behövs för att förebygga att arbetstagare utsätts för ohälsa eller olycksfall. Detta enligt arbetsmiljölagen 3 kap "Allmänna skyldigheter". Det är därför arbetsgivarens skyldighet att se till att allt arbete planläggs och anordnas så att en tillfredsställande arbetsmiljö skapas. Kravet på ett systematiskt arbetsmiljöarbete finns konkretiserat i Arbetarskyddsverket författning om *"Systematiskt arbetsmiljöarbete AFS 2001:1"*

Enligt arbetsmiljölagen 1977:1160 och dess föreskrifter har Byggarbetsmiljösamordnaren (BAS) en viktig funktion. Arbetsmiljölagen säger följande: *Det är den som låter utföra ett byggnads- eller anläggningsarbete ("byggherren") som har det grundläggande ansvaret för att under förberedelsen av byggprojektet (planeringen och projekteringen) beakta arbetsmiljön under byggskedet, han ska:*

- under varje skede av planeringen och projekteringen se till arbetsmiljösynpunkter beaktas när det gäller såväl byggskedet som det framtida brukandet,
- utse en lämplig byggarbetsmiljösamordnare för planering och projektering av arbetet, BAS-P,
- utse en lämplig byggarbetsmiljösamordnare för utförande av arbetet, BAS-U."

För vägledning om byggherreansvar se EBR publikation HMS 6:09, *Byggherreansvar- Byggarbetsmiljösamordning för nät och produktion.*

#### 5.1.2 Elsäkerhet vid elarbeten i produktionsanläggning

Ett kraftverk är en elektrisk anläggning, som ur vissa aspekter kan betraktas som en maskin eller en anordning vilket gör att den faller under både Maskindirektivet och Elmaterieförordningen. Arbetsmiljöverket har till uppgift att kontrollerar att

Maskindirektivets krav efterlevs, framförallt vad gäller arbetsmiljösäkerheten. Elsäkerhetsverket kontrollerar framförallt elsäkerheten och elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) enligt Elmaterieförordningen.

Drift- och underhållsarbeten som utförs av elnätsföretagets personal måste kunna utföras på ett säkert och effektivt sätt. Säkerhetsavstånd, utrymningsvägar, etc., måste vara tillfredsställande, så att krav och praxis avseende arbetsmiljö och elsäkerhet efterlevs. Detta kan tex. innebära att transformator och mätarutrustning måste placeras i en egen station utanför ett vindkraftverket för att tex. kunna uppfylla krav på utrymningsvägar etc.

Inför inkoppling av en elektrisk anläggning, en elektrisk maskin eller en elektrisk anordning, skall anläggningsägaren intyga att (maskinen eller anordningen) uppfyller alla vid tidpunkten gällande krav och riktlinjer avseende personsäkerhet, anläggningssäkerhet och driftsäkerhet.

## 5.2 Anläggningsansvar

Huvudansvaret för elsäkerheten vilar enligt starkströmsförordningen (2009:22) på innehavaren av starkströmsanläggningen. För att uppfylla ansvaret måste innehavaren följa de föreskrifter om starkströmsanläggningars utförande och skötsel som finns.

Det ska vara fastställt vem eller vilka som bär anläggningsinnehavarens ansvar. I en stor organisation kan innehavarens ansvar vara uppdelat mellan olika organisatoriska enheter för olika anläggningsdelar.

Elektriska anordningar som är anslutna till elanläggningen innefattas också av anläggningsansvaret.

Elsäkerhetsverkets föreskrift *ELSÄK-FS 2008:3* reglerar anläggningsinnehavarens ansvar för kontroll av elektriska starkströmsanläggningar och elektriska anordningar. Föreskriften är ingen ramföreskrift utan ska följas utan hänvisning till någon standard.

## 5.3 Behörighetsansvar

Om organisationen utför behörighetskrävande elarbeten som faller in under elinstallatörsförordningen (1990:806), ska en behörig elinstallatör vara anställd i organisationen. Det är elinstallatören som har ansvaret för att alla elarbeten utförs i enlighet med gällande regelverk. Elinstallatören ska kunna redovisa vilken standard och eventuella egna kompletterande anvisningar som han eller hon arbetar efter i syfte att uppfylla kraven i utförandeföreskriften *ELSÄK-FS 2008:1*.

Den som är arbetsgivare, anläggningsinnehavare, eller elinstallatör förväntas alltså ha en eller flera personer anställda med ansvar för personsäkerhet, anläggningssäkerhet och behörighet. Det kan vara samma befattning i form av en elchef eller flera olika. Den behörighetsansvarige ska alltid ha allmän behörighet AB eller i förekommande fall ABL. Behörigheten är personlig i Sverige.

## 5.4 ESA – Elsäkerhetsanvisningar

I Elsäkerhetsverkets föreskrifter om elsäkerhet vid arbete, *ELSÄK-FS 2006:1* och *ELSÄK-FS 2008:3*, finns regler för hur arbete på elanläggningar ska utföras. Föreskrifterna innehåller även regler om hur en elanläggning ska skötas, samt hur innehavaren ska utföra tillsyn. I vissa fall hänvisar Elsäkerhetsverkets föreskrifter till svensk standard eller annan erkänd standard alternativt god elsäkerhetsteknisk praxis.

Innehavaren av en produktionsanläggning ska fastställa anvisningar för att förebygga skada orsakad av el, i de fall då svensk standard måste kompletteras där anläggningens beskaffenhet eller skötsel så kräver det.

Elsäkerhetsanvisningarna (ESA) är ett exempel på sådana anvisningar (dvs. annan erkänd standard/praxis) som avses i föreskrifterna för såväl skötsel som arbete. ESA är kraftindustrins gemensamma anvisningar som täcker sådana anläggningar som är vanliga inom branschen.

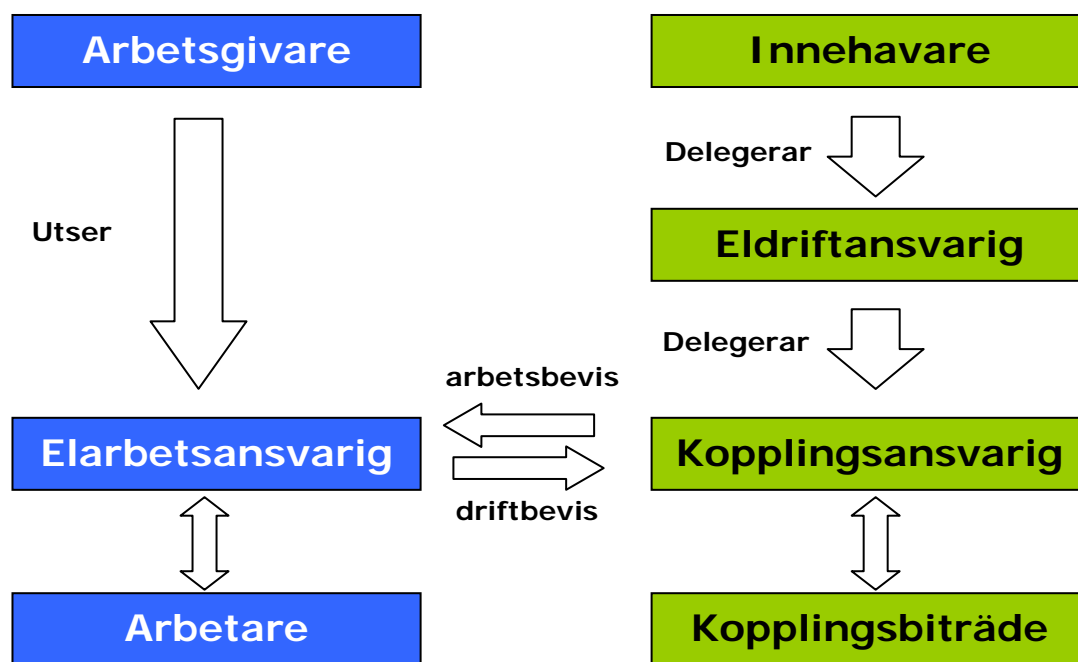
Arbetsgivaren fastställer om arbetet ska utföras enligt dessa anvisningar med hänsyn till arbetets karaktär och där anläggningens beskaffenhet eller skötsel så kräver det.

Företagets ESA-organisation ska vara tydlig, se *figur 5: 1*. Ett sätt att uppnå tydlighet är att använda ESA Grund med komplement, för arbete utan, med eller nära spänning, som Svensk Energi har tagit fram och som är vedertagen praxis inom elbranschen i Sverige.

### Driftorganisation

Utbyte av kontaktvägar mellan kundens driftorganisation och nätägarens driftorganisation skall ske före inkoppling av produktionsanläggning. Denna bör följa vedertagen praxis enligt ESA.

### ESA Organisation



*Figur 5: 1, Ansvarsfördelning, kontaktvägar och relationer enligt ESA-Organisation.*

#### Arbetsgivare/Innehavare

Arbetsgivare/innehavare är ansvarig för att nödvändiga funktioner utses och tillämpas.

#### Elarbetsansvarig

Arbetsgivaren skall för varje arbete utse en för arbetet ansvarig person, den elarbetsansvarige, som antingen är en skriftligt namngiven person eller en person som kan namnges med hjälp av en för varje tidpunkt aktuell vaktlista, beredskapsförteckning eller liknande. Elarbetsansvarig ska alltid befinna sig på eller i anslutning till arbetsplatsen (se ESA grund).



### **Arbetare**

Arbetare är den person, oberoende av tjänsteställning, som under ledning av en elarbetsansvarig, utför arbete.

### **Eldriftansvarig**

Innehavaren skall ha utsett en eldriftansvarig för varje anläggnings skötsel. Med skötsel avses all verksamhet som behövs för att ett arbete skall kunna genomföras på ett säkert sätt - eller för att en anläggning eller anordning skall vara säker. Detta innefattar allt arbete där det kan finnas elektrisk fara. Enligt ESA så avser det arbete som bedrivs enligt någon av arbetsmetoderna: Arbete utan spänning, Arbete med spänning eller Arbete nära spänning.

### **Kopplingsansvarig**

Person som planlägger och svarar för kopplingar inom, av eldriftansvarig, angivet område är kopplingsansvarig.

### **Kopplingsbiträde**

Person som på order av kopplingsansvarig utför kopplingar benämnes kopplingsbiträde.

## **5.5 Reläskydd och felbortkoppling**

Elektriska anläggningar kan drabbas av fel av olika slag och kan av varierande orsaker hamna i onormala drifttillstånd. Felströmmar såväl som onormal frekvens eller spänning kan orsaka personskador, skador eller haveri på utrustning eller anläggningsdelar eller störa driften. För att minimera skadeverkningsarna i samband med fel och onormala drifttillstånd förses elkraftsystemet och dess komponenter med reläskydd av olika slag, för att isolera felbehäftade anläggningsdelar och för att skydda icke-felbehäftade anläggningsdelar mot skada vid onormala drifttillstånd. Kraven på felbortkoppling är beskrivna i föreskrifterna (*ELSÄK-FS 2008: 1*). En starkströmsanläggning ska enligt föreskrifterna vara utförd enligt god elsäkerhetsteknisk praxis så att den ger betryggande säkerhet mot person- eller sakskada på grund av el. För att uppfylla föreskriftens krav på betryggande säkerhet måste felbortkopplingssystemet var snabbt och tillförlitligt. Reläskyddssystemen ska utformas så att de skyddar såväl produktionsanläggningen som elnätet, oavsett var felet inträffar. God elsäkerhetsteknisk praxis i fråga om utformning av felbortkopplingssystemet innebär normalt att alla fel, oavsett feltyp (jordfel eller kortslutning) och felläge, ska ha både ordinarie bortkoppling och reservbortkoppling.

För att upprätthålla en hög driftsäkerhet i det sammankopplade nationella systemet ställer Svenska Kraftnät krav på bibehållen nätanslutning och effektutmatning, dels för stationära avvikelser, från nominella värden, i spänning och frekvens, dels för spänningsprofiler i stamnätet i samband med störningar. Det är viktigt att reläskyddsinställningarna inte strider mot föreskriften *SvKFS 2005: 2*.

I elektriska kraftsystem med omriktarstyrda produktionsenheter blir felströmsnivåerna lägre och ibland obetydligt högre än de normala belastningsströmmarna. Sådana system kräver särskild uppmärksamhet vid utformningen av felbortkopplingen.

Varje produktionsanläggning som ansluts till elnätet skall, som skydd för elnätet, förses med nedanstående skyddsfunktioner:

- över- och underfrekvensskydd
- trefasigt över- och underspänningsskydd
- kortslutningsskydd
- skydd för oönskad ödrift

– jordfelsskydd (i förekommande fall, se nedan)

Varje produktionsanläggning bör, som skydd för produktionsanläggningen och dess komponenter, förses med nedanstående skyddsfunktioner:

- över- och underfrekvensskydd
- trefasigt över- och underspänningsskydd
- kortslutningsskydd
- överströmsskydd
- jordfelsskydd (i förekommande fall, se nedan)
- effektriktrelä (bakeffektskydd)
- osymmetriskydd

Skydden enligt ovan ska tolkas som den nödvändiga uppsättningen, som i de flesta fall även bör vara tillräcklig. I vissa fall kan skyddsupsättningen behöva kompletteras. Det kan t ex vara olämpligt med överströmsskydd och man tvingas anskaffa underimpedansskydd.

Rekommenderade funktionsvärden i nedanstående skydd skall kunna justeras utifrån de yttre förutsättningarna.

### 5.5.1 Över- och underfrekvensskydd

Skyddet är i första hand till för att förhindra önätsdrift samt för att inte förvärpa uppkomna systemfel i nätet. Förutom att det skyddar elnätet fungerar det också som ett internt skydd i kraftverket genom att skydda generatoren mot onormal drift.

*Rekommenderade inställningar för underfrekvensskyddet:*

- Skyddet skall bryta aggregatets förbindelse med nätet vid en frekvens understigande 47,5 Hz, med 0,5 sekunders fördröjning.

*Rekommenderade inställningar för överfrekvensskyddet:*

- Skyddet skall bryta aggregatets förbindelse med nätet vid en frekvens överstigande 52,5 Hz (för vindkraftgrupper gäller 52,0 Hz), med en tidsfördröjning av 0,5 sekunder.

### 5.5.2 Trefasigt över- respektive underspänningsskydd

Spänningsskyddet skyddar mot över- respektive underspänning i elnätet samt minskar påverkan på kraftverket vid fel eller onormala förhållanden i elnätet. Överspänning i kombination med normal eller låg frekvens kan leda till skadlig övermagnetisering av generatoren eller aggregattransformatorn. Underspänningsskyddet kan även indirekt skydda mot överström i vissa lägen. Spänningsskydden bör, så långt möjligt, ställas selektivt mot övriga skydd i nätet.

*Rekommenderade inställningar:*

Minst två olika nivåer med separat tidsfördröjning för över- och underspänning:

- Ett snabbt skydd som fränkopplar anläggningen för en spänning överstigande 120%, med en tidsfördröjning om 0,2 s.
- Ett snabbt skydd som fränkopplar anläggningen för en spänning understigande 80%, med en tidsfördröjning om 0,5 s. Speciellt underspänningsskyddet kan kräva uppmärksamhet för att inte riskera att ge oselektiv bortkoppling.

### 5.5.3 Effektriktrelä (bakeffektskydd)

Skyddet skall skydda mot mekaniska påfrestningar i kraftverket, slitage, oönskad effektförbrukning och onormal drift.

*Rekommenderade inställningar:*

– Frånkoppling inom 5 sekunder efter att generatoren börjat gå som motor. Effektförbrukningen vid motordrift varierar beroende på kraftverkstyp, men brukar vara någon eller några procent av märkeffekten. Effekttinställningen väljs vanligen till halva värdet för effektförbrukningen vid motordrift.

#### 5.5.4 Osymmetriskydd

Osymmetriskyddet skall vid bortfall av en eller två faser frånkoppla aggregatet från nätet innan ledningsskyddet i fördelningsstationen löser.

*Rekommenderade inställningar:*

– Mindre osymmetrier i produktionsanläggningens strömvärden skall kunna detekteras (med "mindre" menas att det inte får uppstå, eller riskeras att uppstå, större osymmetri i anslutande elnätet än totalt 2% minusföljdsspänning, enligt SS-EN-61000-2-2). Normalt ställs osymmetriskyddet efter vad generatoren tål.

#### 5.5.5 Kortslutningsskydd

För skydd mot kortslutning i produktionsanläggningen som matas från nätet kan överströmsskydd i kombination med effektbrytare alternativt smältsäkringar normalt användas. Storleken på aggregaten eller nätimpedansen får avgöra valet av kortslutningsskydd. Det är anläggningsinnehavaren som ansvarar för att rätt typ av överströmsskydd väljs och att utlösningvillkor enligt föreskrifterna uppfylls. Aktuell nätimpedans erhålls av elnätsföretaget vid förfrågan. Används gängsäkringsapparater skall dessa monteras så att bottenplattan ansluts till nätsidan i anläggningen.

För bortkoppling av felströmsbidrag från produktionsanläggningen vid kortslutning i nätet är felströmmens storlek beroende på produktionsanläggningens utformning och kan i vissa fall bli av samma storleksordning som den normala driftströmmen, varvid överströmskriterier inte är tillräckliga för att detektera kortslutning. Bortkoppling av produktionsanläggningen kan därför istället ske av underimpedansskydd eller via fjärrutlösning.

*Rekommenderade inställningar för skydd av aggregatet:*

– Vid aggregattransformatorer  $\leq 800$  kVA kan överströmsskyddet för produktionsanläggningen utgöras av smältsäkringar. Säkringsstorlek och typ väljs i samförstånd med elnätsföretaget för att erhålla selektivitet gentemot överströmsskydd i anslutande nät.

- Vid aggregattransformatorer  $> 800$  kVA ska överströmsskyddet för produktionsanläggningen utgöras av reläskydd och effektbrytare. Lämpliga inställningsvärden väljs i samförstånd med elnätsföretaget för att erhålla selektivitet gentemot överströmsskydd i anslutande nät.

*Rekommenderade inställningar för skydd av anslutande nät:*

– Kortslutningsskydd av lämplig typ, baserat på produktionsanläggningens förmåga att mata ut felström, väljs i samförstånd med elnätsföretaget.

- Inställningsvärden väljs så att selektivitet så långt möjligt erhålles gentemot skydd i anslutande nät.

#### 5.5.6 Jordfelsskydd

I *Elsäkerhetsverkets föreskrifter och allmänna råd om hur elektriska starkströmsanläggningar ska vara utförda*, ELSÄK-FS 2008: 1, redovisas allmänna bestämmelser, god elsäkerhetsteknisk praxis, grundläggande säkerhetskrav och särskilda säkerhetskrav för olika anläggningstyper. Av speciellt intresse är att:

- En högspänningsanläggning som ingår i ett direktjordat system ska vara så utförd att jordslutningar kopplas ifrån automatiskt inom högst 0,5 sekunder (5 kap., 8 §).
- En högspänningsanläggning i ett icke direktjordat system ska vara utförd så, att en- eller flerpoliga jordslutningar kopplas ifrån snabbt och automatiskt. Härmed menas fränkoppling inom 2 eller 5 sekunder beroende på storleken av spänningssättningen av jordade delar. Undantag gäller för en anläggning för högst 25 kV nominell spänning som inte innehåller någon luftledning. En sådan anläggning får vara utförd så, att en enpolig jordslutning enbart signaleras automatiskt (5 kap., 3 §).
- En högspänningsanläggning i ett icke direktjordat system i vilken det ingår
  - en friledning i förstärkt utförande,
  - en friledning med plastbelagda ledare eller,
  - en luftledning utförd med kabel utan metallmantel eller skärm ska jordfelsskydden ha högsta möjliga känslighet vid detektering av jordfel.Reläfunktionen för fränkoppling ska vara säkerställd för resistansvärden upp till 5 000  $\Omega$  (5 kap., 4 §).
- En högspänningsanläggning i ett icke direktjordat system för högst 25 kV nominell spänning, i vilken det ingår luftledningar av något annat slag än vad som anges i 4 §, ska ha jordfelsskydden ordnade så, att reläfunktionen för fränkoppling är säkerställd för resistansvärden upp till 3 000  $\Omega$ . Inom områden som inte omfattas av detaljplan får en sådan anläggning innehålla ett fåtal spann friledning med plastbelagda ledare (5 kap., 5 §).

*Rekommenderade inställningar:*

- Vid jordfel i direktjordade system säkerställs fränkoppling inom 0,5 s.
- Vid jordfel i icke direktjordade system säkerställs fränkoppling inom 2 s. I de fall man får problem med selektiviteten i icke direktjordade system konsulteras starkströmsföreskrifterna (ELSÄK-FS 2008:1, Tabll 1) för att utröna huruvida felbortkopplingstiden kan utsträckas till 5 s.

I de fall det föreligger risk för att anläggningen kan gå i ödrift, skall ett jordfelsskydd, som mäter nollföljdsspänningen i elnätsföretagets nät, monteras i anslutningspunkten.

### 5.5.7 Skydd mot oönskad ödrift

Ödrift, ibland även kallad önätsdrift, uppstår när en mindre del av ett elkraftsystem, innehållande både produktion och belastning, förlorar den elektriska kopplingen till ett större elkraftsystem, spontant, i samband med fel eller som en planerad driftåtgärd. Vid oplanerad övergång till ödrift kommer frekvensen eller spänningen i de allra flesta fall att snabbt gå utanför reläskyddens inställningsvärden och produktionsanläggningar i önätet kopplas bort, varvid önätet blir spänningslöst. För det fall att såväl aktiv som reaktiv effektbalans råder i önätet, förhållanden som säkerställs vid planerad övergång till ödrift, kommer inga frekvens- eller spänningsskydd att detektera ödriften. Problemet med oplanerad ödrift, där önätet är i såväl aktiv som reaktiv balans, är att felbortkoppling inte är säkerställd. Det kan t ex bli så att nollpunktsutrustning för jordfelldetektering hamnat utanför önätet.

För att förhindra oplanerad ödrift är de skydd som beskrivits tidigare i detta avsnitt tillräckliga, i de flesta fall. Aktivering av över- eller underspänningsskydd eller över-

eller underfrekvensskydd innebär att produktionsanläggningarna i önätet fränkopplas och därmed också matningen till önätet.

I de fall där aktiv och reaktiv effektbalans råder i önätet vid övergången kan det ta lång tid innan avvikelserna mellan produktion och konsumtion blir tillräckligt stora för att spännings- eller frekvensskydden skall koppla från produktionsanläggningarna. I de fall där önätet har såväl frekvensreglerförmåga som spänningsreglerförmåga kan önätet drivas under mycket lång tid, utan att något reläskydd detekterar ödriften.

Fasskiftsskydd eller frekvensderivatskydd har ibland använts för att få en snabbare fränkoppling än vad frekvens- och spänningsskydden ger. Fasskiftet uppstår i samband med fel och kopplingar, men inte med säkerhet vid övergång till ödrift, varför skyddet får betraktas som irrelevant för ödriftsdetektering. I samband med stora störningar blir, enligt Svenska Kraftnät, beloppet av frekvensderivatan upp mot 0,5 Hz/s omedelbart efter störningen (-0,15 och +0,10 Hz/s har uppmätts). Svenska Kraftnät ställer krav på bibehållen nätanslutning så länge frekvensen ligger i intervallet 47,5-52,5 Hz (övre gränsen är för vindkraft 52,0 Hz) och spänningen ligger i intervallet 90-105%, oavsett vilket värde frekvensderivatan har. Skulle en systemseparation uppstå kan frekvensderivatan bli ännu större. För ett fall där övergången till ödrift skulle leda till en frekvensderivata som ligger utanför vad som kan erhållas i samband produktions- eller lastfränslag, skulle man kunna tänka sig att använda ett frekvensderivatskydd för att detektera ödriften. Med de inställningsvärden som kan bli aktuella skulle ödriften ändå detekteras av över- eller underfrekvensskydden inom maximalt 5 s.

Med modern GPS-teknik för noggrann tidssynkronisering finns metoder och produkter, så kallade PMU:er (Phasor Measurement Unit), för att med hög noggrannhet kunna jämföra fasläget för växelströmsstorheter, som uppmäts på geografiskt skilda platser. Även om det finns en icke försumbar sannolikhet att ett oplanerat önät förblir i aktiv och reaktiv balans, är det ytterst osannolikt att spänningen i önätet, sedan önätet förlorat synkronismen med det övriga nätet, även bibehåller sitt fasläge relativt spänningarna i det övriga nätet. Med hjälp av en PMU i produktionsanläggningen och en eller flera PMU:er, som representerar fasläget i det övriga nätet, så går det att konstruera en önätsdetekteringsfunktion med stor tillförlitlighet (dvs stor sannolikhet för funktion vid ödrift och liten sannolikhet för funktion när ödrift inte råder).

I vissa elnätsstrukturer skulle olika kombinationer av brytar- och fränskiljarlägen kunna utnyttjas för att detektera ödrift och via fjärr fränkoppla produktionsanläggningar i önätet.

För att säkerställa att önätet och produktionsanläggningen inte drivs med ett bestående jordfel gäller kravet ovan under rubriken "Jordfelsskydd", d v s mätning av nollföljdsspänning i önätet.

## 5.6 Övriga skyddskrav och skyddsanordningar

I produktionsanläggningens lågspänningscentral skall läsbar elkopplare med brytförmåga för anläggningens totala effekt monteras i ledningen till transformatorn. Elkopplaren skall kunna blockeras i öppet läge. Levererar anläggningen sin produktion direkt till elnätsföretagets lågspänningsnät skall elkopplaren vara åtkomlig för elnätsföretagets personal och vara försedd med skylt med texten "Elkopplare för anläggning med egen generator". Den skall också vara märkt med elnätsföretagets littera.

Om produktionsanläggningen är ansluten till elnätsföretagets högspänningsnät skall läsbar elkopplare med brytförmåga för anläggningens totala märkeffekt monteras i anslutningspunkten till elnätsföretagets nät.

För att möjliggöra byte av mättransformatorer skall jordningsmöjlighet genom kulbult alternativt fasta jordningskopplare finnas på båda sidor om mättransformatorerna.

Ställverksrum skall vara utformat enligt kraven i SS 421 01 01 där bland annat krav på utrymningsvägar, nödbelysning och nödöppnare är specificerade. Anpassning av reläskyddsanläggningen som möjliggör reläskyddsprovning under drift, t. ex. genom användning av standardiserad provhandske, rekommenderas, för att minska produktionsbortfallet.

Reläskyddsanläggningen ska vara provad och driftsatt innan produktionsanläggningen spänningssätts, så att reläskydden kan koppla bort eventuella fel i anläggningen i samband med den första spänningssättningen.

Modern numerisk skyddsutrustning har ofta självövervakning och möjlighet att sända larmsignal för vissa typer av signalbortfall eller interna fel. Vidare utrustas allt fler skyddsterminaler standardmässigt med störningsskrivare. Det är önskvärt att utnyttja den moderna teknikens möjligheter till larm och registrering.

Produktionsanläggningen skall vara utförd för att kunna hantera automatisk återinkoppling av mottagande distributionsledning i förekommande fall.

## 6 Mätning

Innehavare av nätkoncession är enligt 3 kap 10 § ellagen (1997:857) skyldig att utföra mätning och rapportering av överförd el. Vid mätning av inmatning ska mätarna utgöras av energimätare i kombiutförande med mätterminal för 1-timmesvärden som registrerar uttagen respektive inmatad aktiv och reaktiv effekt.

### 6.1 Myndighetskrav

Föreskrifter och råd gällande krav på mätsystemet meddelas av SWEDAC, "Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll". SWEDAC:s regelverk omfattar alla mätare och mätsystem i in- och utmatningspunkter till koncessionspliktigt nät samt i gränspunkter mellan nät med olika ägare. Det betyder att endast mätare som används av ett elnätsföretag omfattas av reglerna.

Kundanläggningarna delas upp i fem kategorier med avseende på storlek. Största tillåtna fel i mätsystemet skall vid normala driftförhållanden inte överstiga angivna värden i tabell 6:1.

Mätsystem för mätning av överförd el indelas i följande kategorier:		
Kategori 1	Lågspänning utan mättransformator - direktmätning	± 5%
Kategori 2	Lågspänning med strömtransformator (>63A)	± 2%
Kategori 3	Högspänning med ström- och spänningstransformator med mätsystemeffekt < 2MW	± 2%
Kategori 4	Högspänning med ström- och spänningstransformator med mätsystemeffekt 2 – 10 MW	± 1%
Kategori 5	Högspänning med ström- och spänningstransformator med mätsystemeffekt > 10 MW	± 0,5%

Tabell 6:1, Kategorier av mätsystem samt största tillåtna fel i procent.

Elmätare omfattas av *Mätinstrumentdirektivet, 2004/22/EG*, vars tillämpningsområde är begränsat till elmätare i mätpunkter med säkringsstorlek upp till och med 63 A, dvs. för kategori 1. För övriga mätsystem gäller nationella regler. SWEDAC föreskrifter om elmätning och elmätare se *Tabell 6:2*.

SWEDAC:s föreskrifter som rör elmätning	
Författning	Beskrivning
STAFS 2009:8	Om mätsystem för mätning av överförd el
STAFS 2009:9	Om återkommande kontroll av mätare för aktiv elenergi

Tabell 6:2, SWEDAC:s föreskrifter som rör elmätning.

*STAFS 2009:8* kan ses som den övergripande författningen som omfattar alla mätsystem vad gäller mätvärdesregistrering. Därutöver finns i huvudsak bestämmelser om mätsystem i kategori 2 - 5 vad avser krav på delkomponenter, största tillåtna fel för mätsystemet, kontroll vid idrifttagande samt återkommande kontroll.

*STAFS 2009:9* tillämpas endast på elmätare i kategori 1 upp till och med 63A och innehåller bestämmelser om största tillåtna fel som en mätare får ha i drift samt hur elnätsföretagen ska säkerställa att mätaren fortsättningsvis uppfyller föreskrivna krav genom så kallad återkommande kontroll.

### 6.1.1 Installationsbestämmelser

Installation av mätanläggning vid lågspänning ska utföras av behörig installatör och enligt Svensk Standard, *SS 4370140*. Svensk Energis webbaserade handbok *AMI* (Anslutning-Mätning-Installation) innefattar även branschöverenskommelser inom området som tidigare var standardiserade i *SS 4370140*, tex. hanteringen av för- och färdiganmälan.

Installation av mätanläggning vid högspänning ska utföras av behörig installatör. Installation av mätanordning ska vid inomhus kundanläggning för 3,3-22 kV utföras enligt "*Installationsbestämmelser för högspänningsanläggningar - IBH 04*". I bestämmelserna IBH 04 finns bl. a. tekniska regler och krav för mätinstallationens utförande och tillhörande utrustning och apparater. Det bör dock observeras att i IBH 04 krävs bara 2-systemig mätning men idag rekommenderas alltid 3-systemig.

### 6.1.2 Arbete enligt ESA (Elsäkerhetsanvisning)

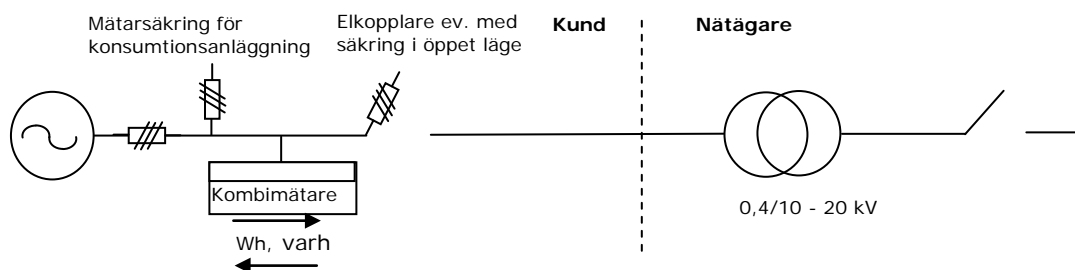
I de flesta fall är kontroll och revision att betrakta som en normal skötselåtgärd enligt *ESA-G:05*. Varje person som deltar i arbetet ska vara en fackkunnig eller instruerad person eller övervakas av en sådan person.

### 6.1.3 Personsäkerhet vid användning av mätutrustning

Instrument och mät hjälpmedel ska kontrolleras regelbundet med avseende på elsäkerhet. Mätinstrument och mätledningar bör vara utförda enligt gällande standard, t ex *SS EN 61010-1*, avseende tålighet mot förväntade transienta överspänningar enligt Cat II, III eller IV (framgår av bruksanvisning och av märkning på instrumentet).

## 6.2 Mätning av överförd el

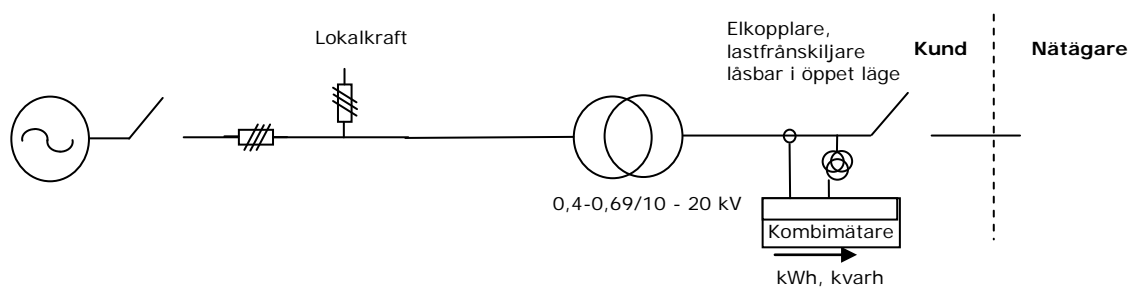
Mätning av elleveransen skall ske i inmatningspunkten, dvs. i den punkt där elproducenten är ansluten till och matar in på elnätsföretagets nät. Är producentens anläggning ansluten på 400 V sker mätningen på lågspänningssidan, se *Figur 6:1*.



*Figur 6:1*, Ren inmatningsleverans alternativt kombinerad inmatnings- och uttagsleverans på 400 V.

Äger producenten tex. en transformator till 10 kV sker mätningen på uppsidan av transformatorn, se *Figur 6:2*.





Figur 6:2, Ren inmatningsleverans alternativt kombinerad inmatnings och uttagsleverans på 10 eller 20 kV.

En produktionsanläggning har normalt ett nettouttag i anslutningspunkten vid låg eller ingen produktion varför den aktiva effekten mäts i båda riktningarna. Normalt mäts även den reaktiva effekten i båda riktningarna.

Plats ska finnas för elnätsföretagets mätutrustning inklusive hjälpkraft 230 V.

Ett mätsystem enligt kategorierna 2-5 ska enligt *STAFS 2009:8* kontrolleras i sin helhet innan det tas i drift. Mätsystemets funktion och största fel ska fastställas och kontrollrapport upprättas. Elnätsföretaget har för kategorierna 2-5 dessutom en skyldighet att fortlöpande kontrollera och verifiera mätsystemet vart 6:e år varför mättransformatorernas primär- och sekundäranslutningar måste vara enkelt åtkomliga.

Mätsystemet och elmätaren måste utformas så att de fungerar på avsett sätt i den miljö där de installeras.

Många elnätsföretag har arbetat fram rutiner och utrustning för att underlätta installation, utbyte och kontroll av mätare samt tillhörande mättransformatorer.

### 6.3 Ackreditering för kontroll av mätare och mätsystem

Den som utför kontroll av mätsystem i samband med drifttagning eller återkommande kontroll ska vara ett ackrediterat kontrollorgan av typ A, B eller C. Kontrollorganet ska därvid uppfylla kvalitetsstandarden *SS-EN ISO/IEC 17020*, och rapporterna ska vara försedda med information om att kontrollen utförts i organisationens egenskap av kontrollorgan.

### 6.4 Mätning för elcertifikat

För producenter anslutna till elnät som används med stöd av koncession svarar elnätsföretaget för mätning och rapportering till Svenska Kraftnät. För producenter anslutna till nät som används utan stöd av koncession ska anläggningens innehavare mäta och rapportera den certifikatsberättigande produktionen till Svenska Kraftnät.

## 7 Drift av produktionsanläggning

Elleverans från en produktionsanläggning skall ha en sådan kvalitet att elnätsföretaget, på kort såväl som på lång sikt, kan uppfylla elkvalitetskraven i tillämpliga standarder till anslutna kunder, t ex:

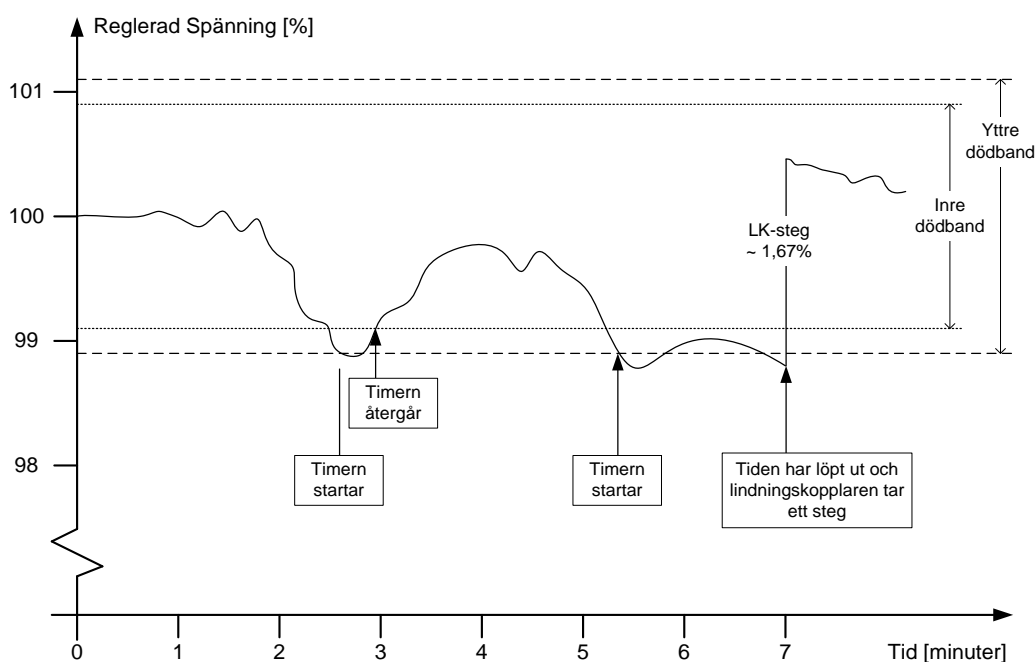
- *SS-EN 61000-2-2 Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC)– Del 2-2: Miljöförhållanden - Kompatibilitetsnivåer för lågfrekventa ledningsbundna störningar och signalnivåer på elnät (för lågspänning)*
- *SS-EN 50160 Spänningens egenskaper i elnät för allmän distribution (upp till 35 kV)*

För att Elnätsföretagen ska kunna säkerställa att elkvalitetskraven uppfylls tilldelas respektive produktionsanläggning bara en del av störningsutrymmet som anges i standarder. Vilka nivåer som gäller finns beskrivet i kapitel 9, *Dimensioneringsförutsättningar*.

### 7.1 Reaktivt effektutbyte och spänningshållning

Utgångspunkten är att reaktivt effektutbyte mellan en produktionsanläggning och ett matande lokalnät skall hållas på ett minimum för att förhindra onödiga förluster i nätet. I vissa fall kan elnätsföretaget villkora anslutningen med att produktionsanläggningen på lämpligt sätt bidrar till spänningsregleringen, t ex genom att kompensera för spänningspåverkan av den egna produktionen.

Spänningshållning i lokalnätet sköts normalt med hjälp av lindningskopplare på matande krafttransformator. En lindningskopplare kopplar in eller ur olika steg på transformatorns lindning och förändrar därmed omsättningsförhållandet mellan upp- och nedsida på transformatorn. Eftersom lindningskopplaren verkar genom fysisk in- eller urkoppling av lindningsvarv är den till sin funktion relativt långsam (spänningsregleringen sker med tidsfördröjningar på 10-tals sekunder). *Figur 7:1* visar ett typiskt scenario för lindningskopplareglering, där börvärdet för den reglerade spänningen är 100%. Distributionssystemet befinner sig under pålastning med sjunkande spänning. När spänningen sjunker under nedre nivån för det yttre dödbandet startar en timer. Om spänningen stiger till värden över nedre nivån för det inre dödbandet så återgår timern. Om däremot timern löper ut beordras ett lindningskopplarseg (i riktning mot börvärdet). Det yttre dödbandet väljs ungefär 120% av lindningskopplarseget och det inre dödbandet väljs något mindre.



Figur 7: 1, Lindningskopplarreglering med typiska steg och tidsfördröjningar.

I fall då en generator används för spänningsreglering saknar normalt transformatorn lindningskopplare, alternativt är lindningskopplaren låst i ett bestämt läge. Om både lindningskopplare och generator ska reglera spänningen eller om det finns flera spänningsreglerande generatorer anslutna alltför nära varandra finns en risk att de börjar arbeta mot varandra, varför en koordination mellan de olika enheterna krävs.

## 7.2 Störningstålighet

Svenska Kraftnäts föreskrift *SvKFS 2005:2* definierar små anläggningar som anläggningar med en installerad effekt mellan 1,5 och 25 MW. Anläggningar med en installerad effekt understigande 1,5 MW omfattas inte av *SvKFS 2005:2*.

Störningstålighet för produktionsanläggningar understigande 1,5 MW kan delas in i tre kategorier:

- Vid *kortslutningar eller jordfel* i kraftverket eller i anslutande nät är det av yttersta vikt att felströmsbidraget från kraftverket kopplas bort snabbt och säkert.
- *Kopplingar* eller liknande som utförs av elnätsföretaget kan ge upphov till transienter i nätet. För att undvika onödig fränkoppling och därtill kopplat produktionsbortfall bör produktionsanläggningen vara utrustad så att den klarar att bibehålla nätanslutningen och fortsätta effektutmatningen vid sådana händelser.
- *Åskstörningar* i nätägarens nät kan ge upphov till spänningsdippar eller överspänningar. För dessa händelser bör innehavaren av produktionsanläggningen avgöra om man önskar fränkoppla sig från nätet för att skydda sin anläggning eller om man önskar kvarstå och därmed undvika onödigt produktionsbortfall.

### 7.3 Start och stopp av elproduktionen

För att kraven på spänningsvariationer skall kunna uppfyllas krävs att elproduktionsanläggningar inte startas eller stoppas för snabbt utan att lindningskopplarna i anslutande nät hinner reglera spänningen. Detta kan vara ett problem exempelvis vid upprepade start och stopp vid maxproduktion. För vindkraftverk motsvarar detta start och stopp vid märkvind.

Vid behov skall vindkraftaggregat förses med anordning för begränsning av antal inkopplingar till nätet per tidsenhet. Den skall vara utförd så att nytt inkopplingsförsök fördröjs i 10 – 60 minuter räknat från senaste inkoppling. Inställningen får ej ändras utan elnätsföretagets medgivande.

### 7.4 Nedstyrning vid nätproblem

Produktionsanläggningar är ofta radiellt anslutna till nätet. Vid fel på anslutande ledning eller transformator bortkopplas i sådana fall hela produktionsanläggningen av brytare.

Att fränkoppla en elproduktionsanläggning med hjälp av brytaröppning vid full produktion kan innebära stora påfrestningar på anläggningen och även innebära att anläggningsinnehavaren blir tvungen att manuellt återställa anläggningen.

Även vid onormal koppling eller störd drift i angränsande delar av elnätet kan det vara nödvändigt att styra ned eller fränkoppla elproduktionsanläggningar. Kontrollerad nedstängning eller nedstyrning är skonsammare för produktionsanläggningen. Det kan därför vara av intresse för kraftverksinnehavaren att särskilt avtala med elnätsföretaget om att styra ner effekten istället för att fränkoppla i de fall där det är möjligt.

Nedstyrning av effekt kan ske genom att elnätsföretaget kontaktar driftcentralen för respektive elproduktionsanläggning eller att elnätsföretaget har möjlighet att sända nedstyrningssignal direkt till anläggningen. För vindkraftparker finns det definierade kommandon för effektbegränsning och nedstängning i standarden *SS-EN 61400-25 Vindkraftverk - Kommunikation för övervakning och styrning av vindkraftverk*.

Kravet på nedreglering i Svenska Kraftnäts föreskrift *SvKFS 2005:2* är att vindkraftgrupper skall kunna regleras så snabbt att effekten reduceras till under 20% av maximal effekt inom 5 sekunder.

I avtalet mellan elnätsföretaget och anläggningsägaren bör det framgå vilka kommandon som ska vara tillgängliga och vilken information som skall vara tillgänglig för nätägaren samt vilka åtgärder som skall vidtas för att upprätthålla god IT-säkerhet.

### 7.5 Ödrift

Leverans till elnätet får normalt inte ske om nätet tappat sin ordinarie spänningsmatning. Föreligger möjlighet till ödrift, där elnätsföretagets nät ingår i önätet, skall ödrift genomföras i samförstånd mellan elnätsföretaget och driftansvarig för produktionsanläggningen.

Uppkommer ett spontant önat där elnät eller produktionsanläggningar, som inte särskilt är anpassade för ödrift, ingår, skall produktionsanläggningen fränkopplas.

## 8 Olika typer av produktionsanläggningar

I detta avsnitt presenteras en översikt av olika typer av mindre produktionsanläggningar. Vidare belyses fördelar, nackdelar och erfarenheter. Speciellt beskrivs äldre vindkraftverk av fastvarvtalstyp och mer moderna vindkraftverk med variabelt rotorvarvtal.

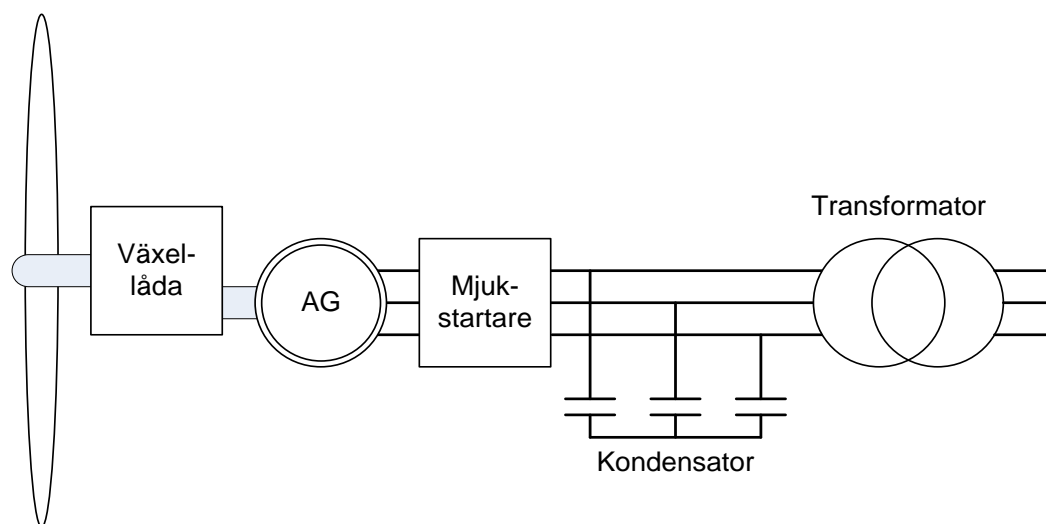
Fördelen med fastvarvtalsvindkraftverket är att det är en robust, enkel och beprövad teknik. Dock har systemet flera nackdelar såsom stora effektvariationer, ingen möjlighet att styra reaktiv effekt och det krävs en kraftig mekanisk dimensionering. Några av de viktigaste fördelarna med variabelt rotorvarvtal är betydligt lägre axialkrafter, inga övermoment, mindre effektvariationer och möjlighet att styra den reaktiva effekten. Detta leder till lägre flickerpåverkan och en lättare konstruktion.

Två olika typer av vindkraftverk med variabelt varvtal beskrivs, det så kallade DFIG-systemet respektive fulleffektomriktarsystemet. Vid normalt driftläge är det ingen större skillnad mellan de två systemen. Dock kan fulleffektomriktarsystemet hantera störningar på elnätet bättre än DFIG-systemet.

Vidare presenteras vattenkraftanläggningar, gasturbin- och dieselanläggningar, vägkraftanläggningar, solcellsanläggningar och reservkraftanläggningar.

### 8.1 Vindkraftverk med fast varvtal

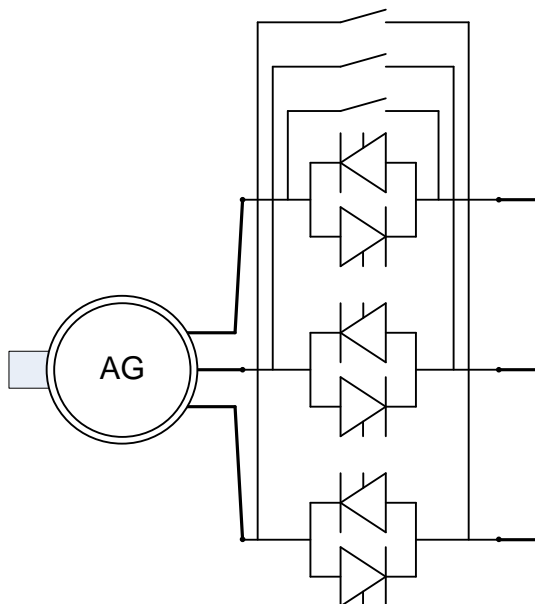
I figur 8: 1 visas ett aggregat för fast varvtal. Systemet består av turbin, asynkrongenerator, mjukstartare, kondensatorer och nättransformator. Kondensatorerna brukar vara dimensionerade för att kompensera för den reaktiva effekten i tomgång, samt i vissa vindkraftverk även för den reaktiva effekten som generatoren konsumerar vid högre vindhastigheter.



Figur 8: 1, Fastvarvtalsturbin med asynkrongenerator (AG).

Ofta förekommer i fastvarvtalssystemet två olika hastigheter för generatoren. Detta kan åstadkommas med två olika asynkrongenerators med olika polpartal på samma axel eller med en asynkrongenerator där man kan ändra polpartalet. Den "mindre" generatoren med lägre synkront varvtal används vid lägre vindhastigheter och har en märkeffekt på ca 25% av märkeffekten på turbinen. Den "större" generatoren används vid högre vindhastigheter och har också ett högre synkront varvtal. Anledningen till att man använder sig av "två" generators är att minska förlusterna vid lägre vindhastigheter och därigenom förbättra verkningsgraden. Vidare kan turbinen antingen

vara stallreglerad eller aktiv stallreglerad. Inkopplingsdonet, den så kallade mjukstartaren, består av antiparallella tyristorer som kan förbikopplas, se *figur 8:2*, när verket har startat upp.



*Figur 8:2*, Mjukstartare med antiparallella tyristorer för asynkrongenerator (AG).

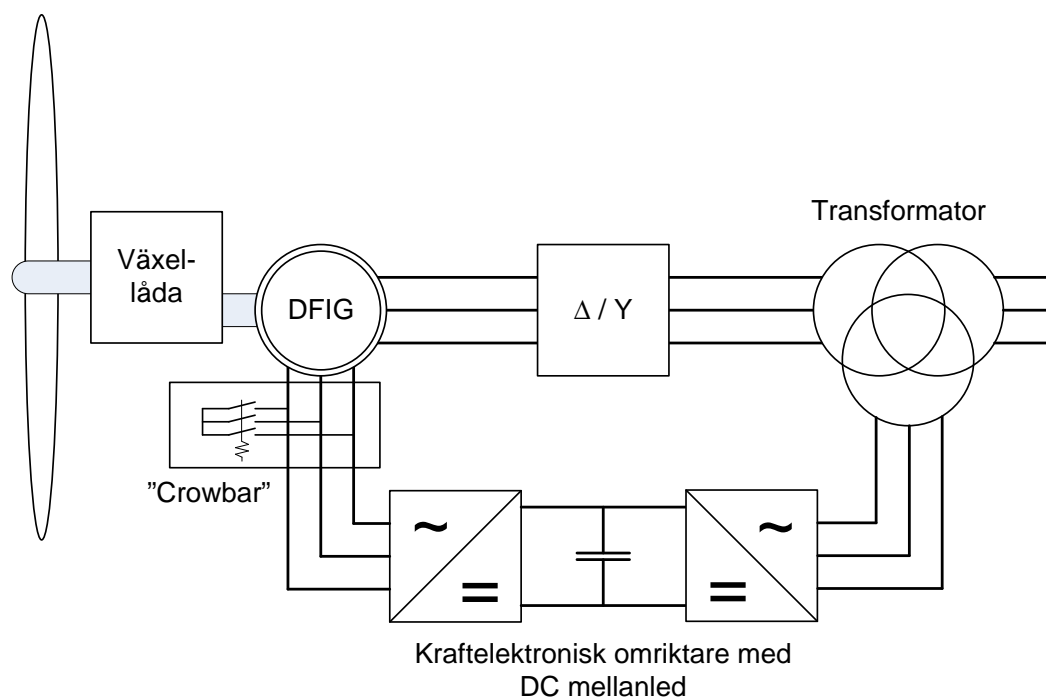
En fördel med fastvarvtalsvindkraftverket är att det är en väl beprövad teknik som visats sig fungera bra. Dock har systemet flera nackdelar så som stora effektvariationer, ingen möjlighet att styra reaktiv effekt och systemet kräver en "kraftig" mekanisk struktur.

Vid kortslutning på generatorklämmorna ger asynkronmaskinen initialt en felström som bestäms av maskinens subtransienta reaktans, men redan efter ett fåtal perioder dör fältet i maskinen ut och felströmmen avtar mot noll. Vid dimensioneringsberäkningar innebär detta i praktiken att asynkronmaskinen bidrar till stötströmmen men inte till den termiska uppvärmningen. Vid överslagsberäkningar brukar den subtransienta maskinreaktansen sättas till 0,20 per unit, varvid kortslutningsströmmen uppskattas till 5 gånger märkströmmen.

## 8.2 Vindkraftverk med dubbelmatad asynkrongenerator - DFIG

Systemet med dubbelmatad asynkrongenerator eller DFIG där rotorkretsen matas från en växelriktare är ett av de vanligaste systemen för vindkraftverk med variabelt varvtal. Detta innebär att generatoren är en asynkronmaskin med en lindad rotor och släpningar.

I *figur 8:3* visas en principskiss av ett vindkraftverk med DFIG-systemet. Systemet består bl.a. av turbin, växellåda, generator, omriktare och transformator. Som visas i figuren så finns också en  $\Delta/Y$ -omkopplare mellan statorn på generatoren och transformatorn och en "crowbar" (engelska för "kofot") mellan rotorkretsen och omriktaren. Den så kallade "crowbar:en" används för att kortsluta rotorkretsen vid överström, för att skydda omriktaren. Överström i rotorkretsen kan t ex uppstå vid kortslutning på statorsidan eller i anslutande nät.



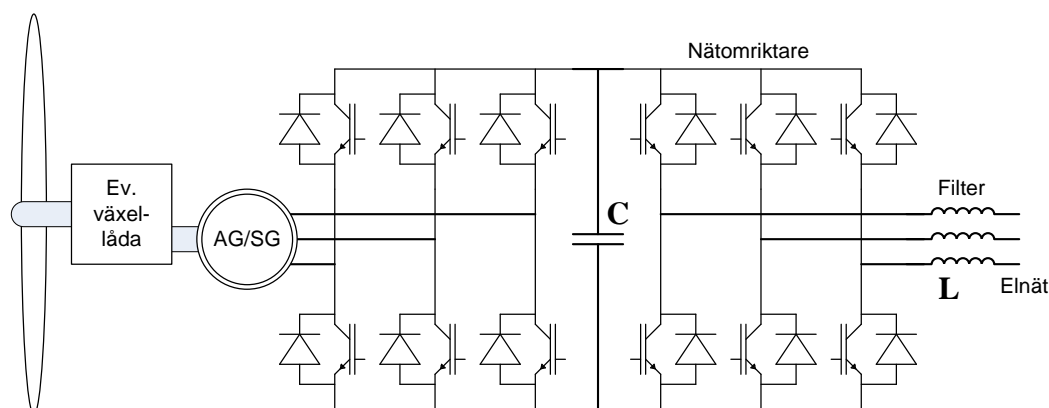
Figur 8:3, Exempel på ett DFIG vindkraftverk

DFIG-systemet är lämpligt att användas för vindkraftverk eftersom vindkraftverkets varvtal varierar i ett begränsat varvtalsområde. Omriktaren för DFIG-systemet behöver bara hantera eftersläpningseffekten. För ett vindkraftverk kommer omriktarens storlek endast att behöva vara 20–30% av märkeffekten för turbinen. Detta ger en lägre kostnad, lägre vikt och lägre förluster.

Eftersom maskinens stator är direkt kopplad till anslutande elnät beräknas felströmsbidraget på samma sätt som för en direktansluten asynkronmaskin, dvs ett stötströmsbidrag om c:a 5 gånger märkströmmen och inget bidrag till uppvärmning.

### 8.3 Vindkraftverk med fulleffektomriktare

Till skillnad från DFIG-systemet så hanterar system med fulleffektomriktare hela den producerade effekten och generatoren är "isolerad" från elnätet. Systemen med fulleffektomriktare kan se ut på lite olika sätt beroende på bland annat typ av generator. *Figur 8:4* visar ett exempel på ett fulleffektomriktarsystem, som består av växelåda och asynkrongenerator (AG), alternativt en direktdriven synkrongenerator (SG), en maskinomriktare som reglerar generatoren, ett likspänningsmellanled, en nätomriktare som reglerar mellanledningsspänningen och ett nätfilter. I figuren är både maskin- och nätomriktaren uppbyggda med IGBT moduler.



Figur 8:4, Exempel på ett vindkraftverk med fulleffektomriktare.

Generatoren kan antingen vara en asynkrongenerator eller en synkrongenerator (elektriskt magnetiserad eller med permanent magneter).

Under normal drift är det ingen större skillnad mellan ett DFIG-system och ett fulleffektomriktarsystem. Dock är det lättare att hantera störningar på elnätet, som leder till spänningsdippar, med fulleffektomriktarsystemet än med DFIG-systemet. En anledning till detta är att generatoren i fulleffektomriktarsystemet är "isolerad" från elnätet medan generatoren i DFIG-systemet är direkt kopplad till elnätet. Detta innebär att överströmmar uppkommer i DFIG-systemets generator, på grund av fel på elnätet. Dessa överströmmar måste hanteras, vilket innebär komplikationer i DFIG-systemets design. Då generatoren i fulleffektomriktarsystemet inte är kopplad direkt till elnätet kan dessa problem lätt undvikas.

Vid kortslutning på nätsidan av vindkraftverket begränsas felströmsbidraget från vindkraftverket av omriktaren. Omriktaren brukar dimensioneras för en något större effekt än generatoren. För överslagsberäkningar kan man anta att fulleffektomriktarsystemet ger ett stötströmsbidrag på c:a 1,4 gånger märkström och ett termiskt bidrag som beror på generatortypen. En asynkronmaskin ger inget termiskt bidrag medan en synkronmaskin kan antas ge ett termiskt felströmsbidrag om c:a 1,4 gånger märkströmmen. För synkronmaskinalternativet blir det således omriktaren som begränsar även det termiska felströmsbidraget.

## 8.4 Vattenkraftanläggningar

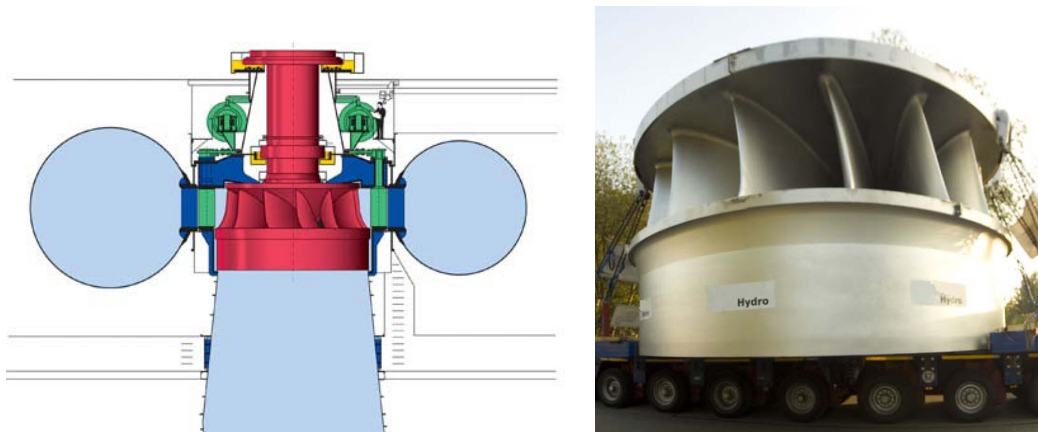
Mindre vattenkraftanläggningar saknar ofta magasin och drivs som strömningskraftverk, dvs produktionen bestäms av den inkommande vattenmängden. För att nå optimal verkningsgrad i sådana kraftverk strävar man ofta efter att hålla den övre vattenytans nivå så nära tillåten gräns som möjligt, så kallad ÖVY-reglering. Finns möjlighet att reglera produktionen, mer eller mindre oberoende av tillflödet, kan körningen optimeras mot kraftpriserna, med en tidshorisont som beror av magasinets storlek. Vattenkraftanläggningar har bättre möjligheter att medverka i frekvensregleringen, och kan därmed få en del intäkter genom att sälja reglerstyrka. Traditionellt har mångpoliga synkrongeneratorer använts i vattenkraftstationer, men på senare tid har även asynkronmaskiner med växelåda (för att få upp varvtalet) kommit i bruk.

### 8.4.1 Francisturbiner

Den vanligaste typen av turbin i vattenkraftverk är francisturbinen, se figur 8:5 Moderna francisturbiner är oftast vertikala, medan äldre kan vara horisontella ("liggande francis"). Vattnet leds in till löphjulet, som saknar rörliga delar, från



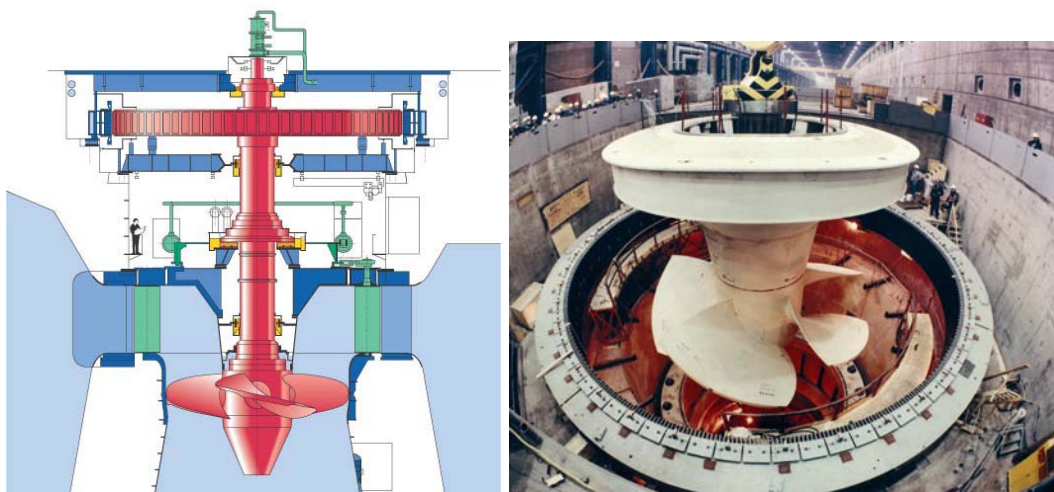
tillloppstuben via en spiralformad snäcka, med ställbara leddskovlar. Vattnets huvudsakliga tangentiella hastighet i inloppet till löphjulet länkas om till en axiell rörelse genom löphjulet, varvid vattnets energi överförs till axeln. Francisturbinen används för fallhöjder från 10 till c:a 500 m.



Figur 8:5, Francisturbin med vertikal axel och inledningsnäcka, respektive löphjul.

#### 8.4.2 Kaplanturbiner

Löphjulet i en kaplanturbin liknar en propeller och har ställbara skovlar, se *figurer 8:6*. Bladen ställs med hjälp av hydraulik, som är ansluten i turbinaxelns topp. Tillloppstub, snäcka och leddskovlar skiljer sig inte mycket från en francisturbin. Kaplanturbinen används vid lägre fallhöjder (8-60 m) och varierande vattenflöde. Turbinbladen ställs in olika beroende på aktuell fallhöjd och vattenflödet genom turbinen, för att uppnå högsta möjliga verkningsgrad. Förfarandet kallas kombinerad. Kaplanturbinen kan ses som en vidareutveckling av francisturbinen.

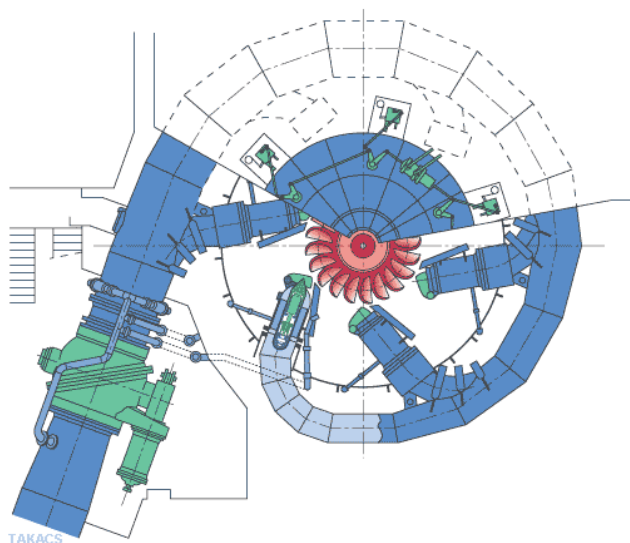


Figur 8:6, Kaplanturbin samt foto av ett löphjul.

#### 8.4.3 Peltonturbiner

Peltonturbiner, används mest vid höga fallhöjder (50-1000 m), och är vanliga i Norge och i alpländerna, men ovanligare i Sverige. Peltonturbinen är konstruerad med dubbla rader av skovlar runt dess ytterkant. Turbinen drivs med hjälp av en eller flera strålar som med hög hastighet träffar skovlarna, se *Figur 8:7*. En peltonturbin arbetar i luft

under normala atmosfärsförhållanden medan andra turbintyper arbetar i vatten med hjälp av tryckskillnader.



Figur 8: 7, Peltonturbinens arbetsprincip samt foto av ett modernt löphjul.

## 8.5 Gasturbin- och dieselanläggningar

Gasturbin- och dieselmotorkraft används oftast som reservkraft. Gasturbiner i kombination med avgaspanna och ångturbin kan få en relativt hög verkningsgrad, och så kallade gaskombikraftverk, även i mindre skala, har blivit vanligare på senare tid.

Dieselanläggningar är nästan uteslutande dimensionerade för nöd- eller reservkraft i önetsdrift. Frekvensregleringen sköts då i sin enklaste form av en varvtalsregulator på dieselmotorn.

## 8.6 Värmekraftanläggningar

Värmekraftanläggningar uppträder sällan som "mindre anläggningar". De är oftast stora kol- eller oljeeldade anläggningar på flera hundra megawatt, eller kärnkraftanläggningar med effekter i gigawattområdet.

## 8.7 Kraftvärmeverk

Kraftvärmeverk för produktion av el i kombination med fjärrvärme eller processånga är relativt vanliga som mindre anläggningar om något tiotal megawatt, anslutna till lokalnät. Ofta förekommer kraftvärmeverk som kommunala anläggningar, där fjärrvärmebehovet är det produktionsstyrande underlaget. Primärbränslet är vanligtvis flis, avfall eller restprodukter. Generatoren är ofta en konventionell synkronmaskin i turboutförande för relativt höga varvtal (1500 eller 3000 rpm).

## 8.8 Vågkraftanläggningar

Vågkraftanläggningar finns i olika former, men befinner sig än så länge på ett forskningsstadium. Principerna kan bygga på att omvandla vågornas upp- och nedåtgående rörelser till en rotationsrörelse i en traditionell generator eller till en fram- och återgående rörelse i en linjär generator, alternativt på att, med ett linssystem

samla ihop vatten och tvinga upp det på en högre nivå, för att därifrån driva ett traditionellt vattenkraftverk.

## 8.9 Solcellsanläggningar

Solcellsanläggningar är vanliga för specifika applikationer, med litet effektbehov, där det är dyrt eller opraktiskt att göra en traditionell elanslutning. Solcellsanläggningar för utmatning av energi på elnätet blir allt vanligare även i Sverige, men kräver växelriktning av den alstrade likströmmen. Solceller för direkt omvandling av solljus till elektricitet är fortfarande dyra, även om priserna är på väg ner.

## 8.10 Reservkraftanläggningar

Reservkraftanläggningar finns som fasta eller mobila enheter. Fasta enheter finns ofta i fastigheter där nödeffekt för kommunikation, larm- och låssystem, samt nödbelysning är särskilt viktiga. I händelse av ett strömavbrott av viss varaktighet startar reservkraftverket (ofta en dieselgenerator) igång och kopplar in sig mot skenan för reservkraft och spänningssätter systemet. När den normala spänningen återkommer bör reservkraftanläggningen vara utrustad med fasningsutrustning för att kunna fasa in sig mot yttre nät, för att därigenom få en avbrottsfri övergång till normal matning, innan reservkraften stängs av. Saknas fasningsutrustning måste reservkraftgeneratorn frångkopplas innan ordinarie matning kan tillkopplas.

Mycket avbrottskänsliga anläggningsdelar matas med avbrottsfri kraft. Ett sådant system bygger på ett batteri som i normaldrift hålls uppladdat av likriktare matade från det ordinarie växelströmsnätet. Likströmsmatade objekt matas direkt från batteriet, medan växelströmsmatade objekt matas via växelriktare. I händelse av avbrott i den ordinarie matningen fortsätter matningen av det avbrottsfria systemet från batteriet, direkt eller via växelriktare, intill dess att batteriets energi tar slut eller batterispänningen underskrider en viss miniminivå, alternativt att ordinarie matning återkommer och batteriet återladdas.

Svensk Energi har gett ut ett dokument *"Stationära reservkraftanläggningar: anvisningar för säker drift"*, som behandlar fyra olika typer av reservkraftanläggningar och ger anvisningar för säker installation och drift.

## 9 Dimensioneringsförutsättningar

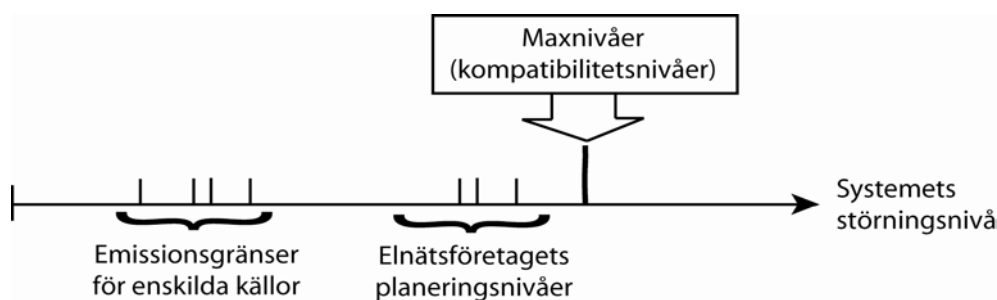
Elkvaliteten från en produktionskälla beror på samverkan mellan källan och elnätet, det vill säga både på produktionsanläggningens elektriska egenskaper och på nätets elektriska egenskaper. Det är således nödvändigt vid dimensioneringen att både betrakta produktionskällan med avseende på långsamma och dynamiska egenskaper och nätet med avseende på kortslutningseffekt och kortslutningsvinkel.

Vindkraftverken har högst varierande elektriska egenskaper. De elektriska egenskaperna beror både på vilken typ av turbinreglering och på typ av elektriskt system som vindkraftverket är utrustat med. Det är därför av största vikt att uppgifter om fabrikat och typ av vindkraftverk kan lämnas redan i planeringsstadiet för att en korrekt bedömning av nätanslutningen skall vara genomförbar. I de fall då nätföretaget inte erhåller information om värden för spänningsändringsfaktor och flickerkoefficient, används extremvärden för dessa,  $K_u=3$  och  $C_f=20$  i nätföretagets beräkningar.

Spänningsgodhet innefattar planeringsnivåer, maxnivåer samt respektive nätkunds störningsutrymme. Elnätskunder kan kräva att störningsnivån i respektive anslutningspunkter inte överskrider fastställda maxnivåer. Samtidigt kan elnätsföretaget kräva att kunden inte orsakar störningar utöver det störningsutrymme som kunden blir tilldelad. En elnätskund kan därför inte göra anspråk på hela det störningsutrymme som normerna anger utan måste hålla sig inom sitt störutrymme.

Elnätsföretagets uppgift är därmed att säkerställa att den totala störningsnivån håller sig inom maxnivåerna. Det hjälpmedel som används för detta ändamål är de planeringsnivåer som elnätsföretaget fastställer. Utifrån planeringsnivåerna tilldelas olika kunder olika störningsutrymme. Då maxnivåerna speglar nätets uppbyggnad så kommer elnätskunders störningsutrymme att vara olika i olika delar av nätet.

Sambandet mellan respektive elnätskunds störningsutrymme (emissionsgräns), elnätsföretagets planeringsnivåer samt normernas maxnivåer är illustrerade i *Figur 9: 1*.



*Figur 9: 1*, Sambandet mellan respektive elnätskunds störningsutrymme (emissionsgräns), elnätsföretagets planeringsnivåer samt normernas maxnivåer.

Mer om planering av störningsnivåer och spänningsgodhet finns att läsa i "EMC, elkvalitet och elmiljö: guide för elanvändare och allmänt sakkunniga inom elområdet", ELFORSK rapport 07:40.

Som utgångspunkt för planering av störningsutrymme används uppgifterna i bilaga 6, den sk. AMP-blanketten. Ansvar för att uppgifterna är riktiga åligger produktionsanläggningens innehavare.

## 9.1 Långsamma spänningsvariationer

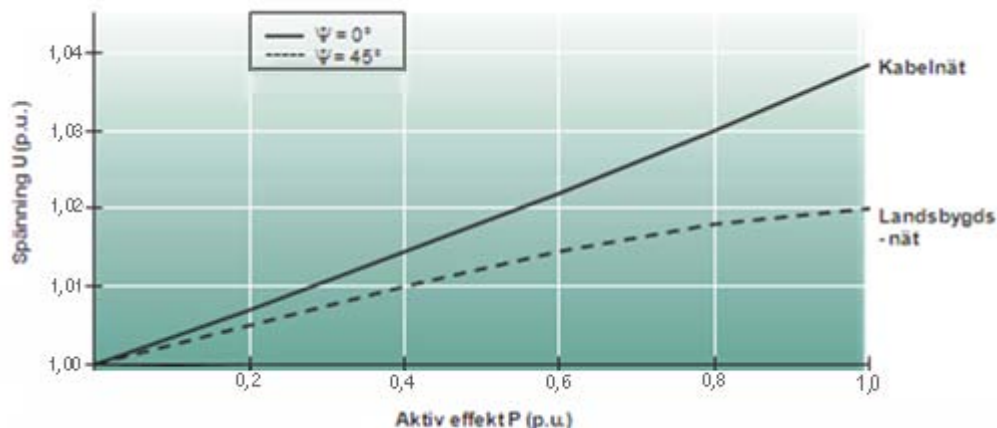
Beroende på belastningsändringar i nätet varierar spänningens effektivvärde med årstid och tid på dygnet. *SS-EN 50160*, som beskriver spänningsgodhet i elnät upp t.o.m. 35 kV, anger att effektivvärdet ska ligga inom intervallet  $\pm 10\%$  och mätt som 10-minuters medelvärde. Detta är det förväntade variationsområdet för driftspänningen, alltså den spänning som råder i det verkliga nätet. Vid planering av nät och beräkning av spänningsfall måste nätägaren använda ett snävare område. Man utgår då ifrån  $+6/-10\%$  vilket för lågspänning betyder 207 – 244 V. Så stora variationer får dock inte beräknad inverkan av produktionsanläggningar orsaka, beräkningsområdet skall täcka lastvariationer och de spänningsfall som uppstår längs en radialmatad ledning.

Den övre nivån gäller även produktionsanläggningar och därför bör i lågspänningsnät distributionstransformatorns omsättningsförhållande väljas så att tomgångsspänningen ej överstiger 230 V. Finns kunder anslutna till nätstationen måste spänningsnivån vara högre för att kompensera för spänningsfallet i lågspänningsledningen. Tomgångsspänningen bör dock i dylika fall aldrig överstiga 235 V om produktion i punkten skall vara möjlig.

Långsamma spänningsvariationer från vindkraftverk beror på variationer i effektproduktionen orsakad av vinden. Dessa variationer förekommer hos alla typer av vindkraftverk och bör maximalt förorsaka ändringar av spänningens effektivvärde med 2,5% vid sammankopplingspunkten med andra kunder. För en kund som ansluts till mellanspänningsnätet kan spänningen vid anslutningspunkten enligt "Kriterier för spänningsgodhet vid leveransspänning över 1000V" uppgå till 5% under förutsättning att gränsen på 2,5% kan hållas vid sammankopplingspunkten.

I ett vindkraftverk som arbetar med konstant varvtal ger den producerade aktiva effekten i allmänhet upphov till en spänningsökning medan den konsumerade reaktiva effekten bidrar till en spänningssänkning. Det vanliga är att vindkraftverk orsakar spänningshöjning när de producerar hög effekt, men det kan förekomma fall när den reaktiva effektförbrukningen i kombination med hög nätinduktans istället orsakar spänningssänkningar. Den långsamma spänningsvariationen beror alltså i hög grad på förhållandet mellan nätets reaktans,  $X$ , och resistans,  $R$ . Förhållandet mellan  $X$  och  $R$  är tangenten för nätets kortslutningsvinkel,  $\psi_k$ .

Figur 9:2 visar spänningvariationen som ett vindkraftverk förorsakar vid olika kortslutningsvinklar,  $\psi_k$ , på nätet och konstant kortslutningseffekt,  $S_k$ . Både spänningen på y-axeln och effekten på x-axeln är normerade så att 1 p.u. motsvarar nominell spänning respektive nominell effekt.



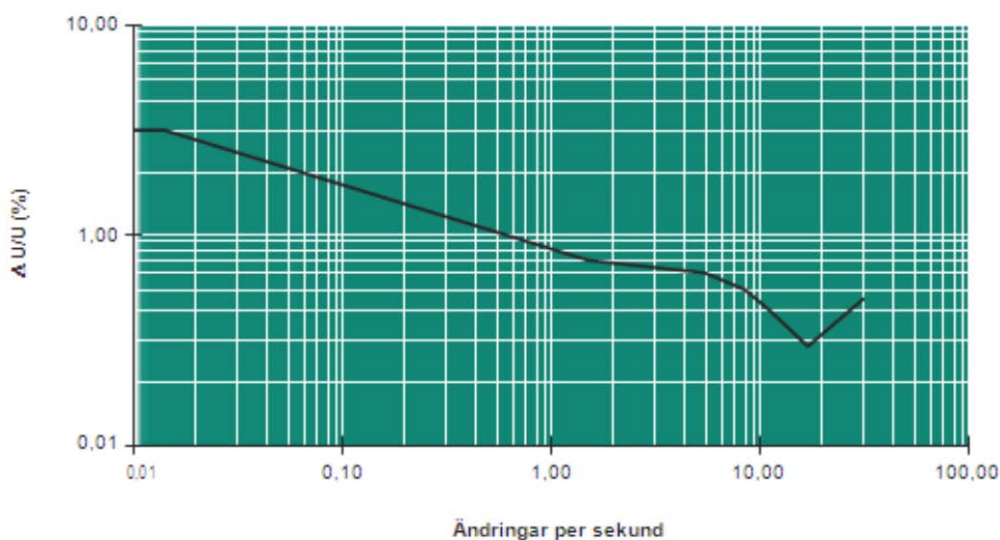
Figur 9:2, Spänningvariationen som ett vindkraftverk förorsakar vid olika kortslutningsvinklar,  $\psi_k$ , på nätet och konstant kortslutningseffekten,  $S_k$ .

Vindkraftverk anslutna via egen transformator till 10-20 kV bör inte orsaka långsamma spänningvariationer som är större än 2,5% i sammankopplingspunkten. I den långsamma spänningvariationen skall även spänningsregleringens dödband inräknas. Större variationer i spänningen kan tillåtas om nätet så medger, dock krävs i sådana fall mycket noggranna spänningsberäkningar och nätstudier.

## 9.2 Snabba spänningsändringar

Regelbundet återkommande snabba spänningvariationer förorsakar flicker genom att ljuset från glödlampor varierar med spänningen. I handledningen Anslutning av elproduktion i elnätet används den engelska termen *flicker*, vilket har motsvarande innebörd som svenskans *flimmer*, och som även definieras i SS-EN 50160 som "visuellt intryck av instabilitet orsakat av ljusintensity som varierar intensitetsmässigt över tiden". Fenomenet flicker behandlas i flera standarder och rapporter, t.ex. för bedömning av inverkan från anläggningar IEC/TR 61000-3-7 och för flickermätare SS-EN 61000-4-15. Regelbundet återkommande stegvisa spänningsändringar kan bedömas med hjälp av kurvan i figur 9:3. Det bör i sammanhanget poängteras att en spänningsdip räknas som två ändringar, dvs. först sjunker spänningen (ändring nummer ett) sedan återgår spänningen (ändring nummer två).

Snabba spänningsändringar förorsakade av vindkraftverk uppstår både vid start och drift. Spänningsförändringar vid drift beror i första hand på effektpulsationer orsakade av tornskugga och vindgradient, s.k. 3-p pulsationer. Om till exempel en turbin har tre blad och roterar med 30 varv per minut uppstår tre ändringar per sekund. Enligt figur 9:3 får då inte spänningsändringen överstiga 0,65% för en flickeremission motsvarande  $P_{st}=1$  som ett viktat genomsnitt över 10 minuter. Kurvan i figur 9:3 definierar flickeremissionen  $P_{st}=1$ . Enstaka snabb spänningsändring som förorsakas av strömändring i anslutningen får på motsvarande sätt uppgå till högst 3% om den inträffar högst en gång under två timmar.



Figur 9:3, Regelbundet återkommande stegvisa ändringar av spänningens effektivvärde i procent som ger flickervärdet  $P_{st} = 1,0$ .

Enligt IEC61000-3-7 bör flickeremissionen från en enstaka källa i sammankopplingspunkten inte överstiga  $P_{st}=0,35$  som ett viktat genomsnitt över 10 minuter eller  $P_{it} = 0,25$  som ett viktat genomsnitt över 2 timmar.

Effektpulsationer under drift förekommer i första hand hos vindkraftverk som arbetar med konstant varvtal, det vill säga som har en generator direkt ansluten till nätet. Ett uppmätt värde på flickerkoefficienten,  $c(\Psi_k)$ , krävs enligt SS-EN 61400-21 från tillverkaren av vindkraftverket. Saknas värdet beräknas spänningsändringen förorsakat av effektpulsationer med en flickerkoefficient,  $c(\Psi_k)=20$ .

Spänningsändringar vid start beror i första hand på magnetiseringen av generatorn. Vindkraftverk startar normalt sett automatiskt vid låga vindhastigheter och ger då en aktiv uteffekt lika med eller nära noll, däremot upptas en reaktiv effekt från nätet. Den reaktiva effekt som upptas vid magnetisering av generatorn beror till stor del på hur länge mjukstartaren körs. Normalt körs mjukstartartaren 2-3 sekunder på pitchreglerade vindkraftverk och 0,2 sekunder på stallreglerade vindkraftverk. Ett värde på spänningsändringsfaktorn,  $k_u(\Psi_k)$ , krävs enligt SS-EN 61400-21 från tillverkaren av vindkraftverket. Spänningsändringsfaktorn är den uppmätta spänningsändringen under en linjeperiod som uppträder vid inkoppling av ett vindkraftverk. Den bestäms utifrån uppmätt ström och spänning mot ett referensnät med nätets kortslutningsvinkel,  $\Psi_k$ , som parameter. Vid avsaknad av värde beräknas spänningsändringen med en spänningsändringsfaktor,  $k_u(\Psi_k)=3$ .

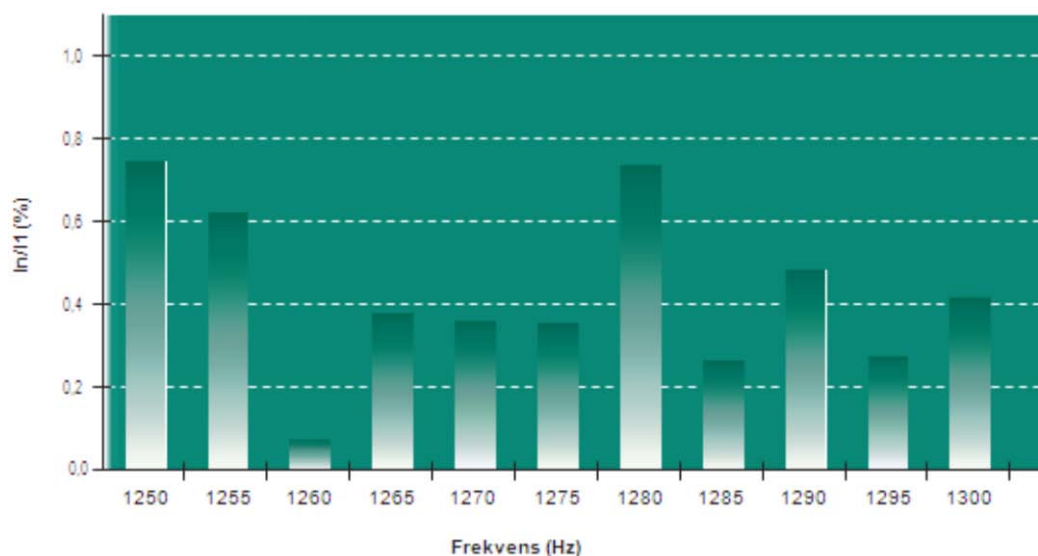
### 9.3 Övertoner och mellantoner

Övertoner är periodiska ström- eller spänningskomponenter med en frekvens som är en heltalsmultipel av grundtonsfrekvensen. Övertoner (eng. harmonics) betecknas med sin heltalsmultipel, exempelvis kallas en överton med frekvensen 150 Hz för den 3:e tonen. Mellantoner (eng. interharmonics) är på motsvarande sätt periodiska ström- eller spänningskomponenter med en frekvens som inte är en heltalsmultipel av grundtonsfrekvensen.

Övertoner och mellantoner kan förekomma såväl i nätspänningen som i strömmen från anslutna objekt. Övertoner i nätspänningen anses uppkomma genom att en del

anslutna objekt har s.k. olinjär karakteristik, dvs genererar övertoner i den från nätet uttagna strömmen. Den samlade återverkan på nätet från olinjära anslutningsobjekt uppträder alltså som en förekomst av övertoner i nätspänningen, vars nivåer är nätägarens ansvar.

Över- och mellantoner skall enligt Svensk Standard *SS EN 61000-4-7* beräknas med hjälp av en diskret Fourier transform med en fönstervidd på 10 linjeperioder av systemets frekvens, 50 Hz. Fönstervidden ger en distans på 5 Hz mellan två på varandra följande toner. *Figur 9:4* visar som exempel periodiska strömkomponenter mellan 1250 Hz till 1300 Hz i den uppmätta strömmen från ett vindkraftverk med frekvensomriktare. De periodiska strömkomponenterna är angivna i procent i förhållande till grundtonens märkström.

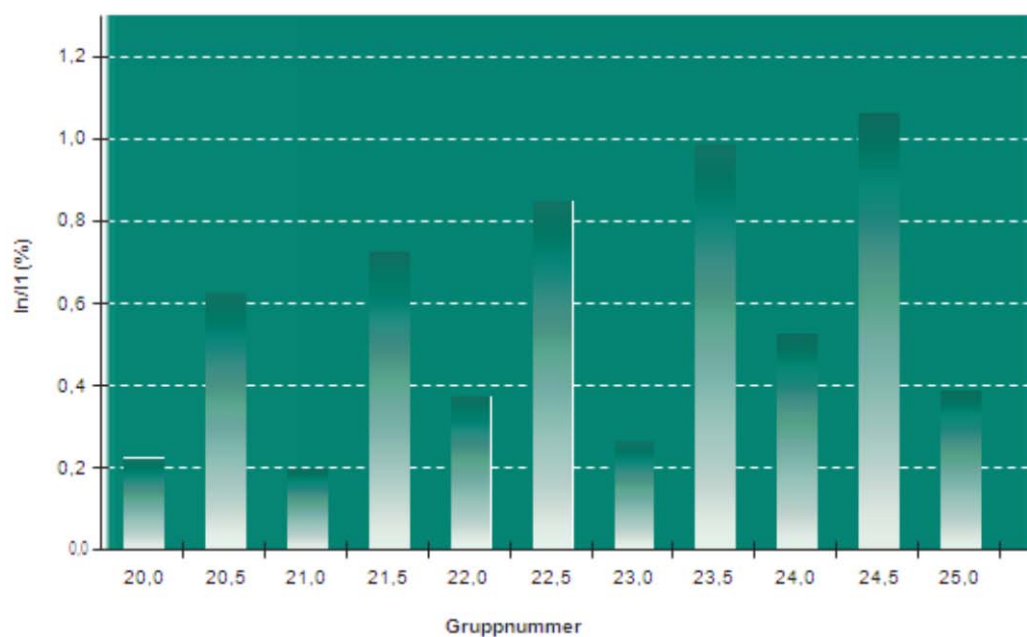


*Figur 9:4*, Periodiska strömkomponenter från ett vindkraftverk med frekvensomriktare.

Som framgår av figuren finns i det här fallet nio stycken mellantoner mellan varje överton. Dessa mellantoner kan indelas i mellantonsgrupper (eng. interharmonic groups). Mellantonsgrupperna betecknas med en halvtals-multipel i förhållande till de övertoner den gränsar mot. Till exempel kallas mellantonsgruppen mellan 5:e och 6:e övertonen för 5,5.

*Figur 9:5* illustrerar över- och mellantonskomponenter i den uppmätta strömmen från ett vindkraftverk med frekvensomriktare. Mellantonsgrupperna blir i fallet med denna frekvensomriktare, där en varierande omkopplingsfrekvens används, större än övertonerna. När denna typ av teknik används begränsas de rena övertonerna medan mellantonerna och mellantonsgrupperna ökar. Över- och mellantoner i strömmen från produktionsanläggningar förekommer i huvudsak hos generatorer som är utrustade med någon form av frekvensomriktare.





Figur 9:5, Övertoner och mellantonsgrupper i den uppmätta strömmen från ett vindkraftverk med frekvensomriktare.

Svensk standard *SS-EN 50 160* anger för nätspänningens relativa övertonshalt nivåer enligt *tabell 9:1*. I standarden finns inte något gränsvärde för mellantonsgrupper angivet. Det bör poängteras att mellantoner inte ingår i THD (eng. Total Harmonics Distortion) eftersom det bara är ett mått på det totala övertonsinnehållet. Den totala harmoniska distortionen definieras som:

$$THD = \sqrt{\sum_{i=2}^{i=n} \left(\frac{U_i}{U_1}\right)^2}$$

där  $U_1$  är nätspänningens grundton och  $U_i$  är nätspänningens överton av ordning  $i$ . Enligt både svensk standard *SS-EN 50160* och *SS-EN 61000-2-2* skall övertoner upp till 40:e ordningen medtas.

Udda övertoner				Jämna övertoner	
Ickemultipler av 3		Multipler av 3			
Ordning h	Relativ spänning	Ordning h	Relativ spänning	Ordning h	Relativ spänning
5	6%	3	5%	2	2%
7	5%	9	1,5%	4	1%
11	3,5%	15	0,5%	6.....24	0,5%
13	3%	21	0,5%		
17	2%				
19	1,5%				
23	1,5%				
25	1,5%				

Tabell 9:1, Nivåer för nätspänningens relativa övertonshalt enligt SS-EN 50160.

Emission av mellantoner skall undvikas, se även "Kriterier för spänningsgodhet vid leveransspänning över 1000 V" som gavs ut av dåvarande Sveriges Elleverantörer (numera Svensk Energi). Förekommer kännedom om att anläggningar kommer att avge mellantoner skall samråd med nätägaren ske redan i projektstadiet.

## 10 Beräkningsmetoder

Beräkningsmetoderna bygger till stor del på erfarenheterna från Elforskprojektet "Vindkraft i lokala och regionala nät", som utvecklats och anpassats till de nätåterverkningsfaktorer som utarbetats i standarden IEC 61400-21, "Vindkraftverk – Del 21: Mätning och bedömning av elkvalitet för nätanslutna aggregat".

### 10.1 Maximalt avgiven aktiv effekt

Vindkraftverk kan under vissa väderleksbetingelser avge en högre aktiv effekt än referenseffekten. Bland de faktorer som påverkar detta kan nämnas typ av turbinreglering, smuts på turbinbladen, lufttemperatur och lufttryck. Tillverkaren skall upplysa om övre gräns för aktiv effekt. Värdet anges som en faktor  $p$  multiplicerat med vindkraftverkets referenseffekt och skall vara omräknat för de specifika väderleksförhållanden som råder på platsen för uppställning. Vid angiven faktor  $p$  beräknas maximal effekt som:

$$P_{max} = pP_{ref} \quad (10.1)$$

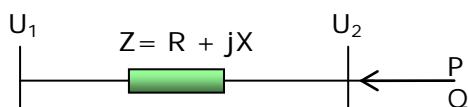
Vid beräkning av stationära spänningsvariationer skall det maximala värdet på avgiven aktiv effekt mätt som ett medelvärde över 10 minuter användas. Det bör poängteras att hos asynkrongeneratorer ökar den reaktiva effektförbrukningen när den aktiva effektproduktionen ökar. Tillverkaren bör därför även upplysa om reaktiv effektförbrukning refererat till märkspänningen vid maximal avgiven aktiv effekt.

### 10.2 Långsamma spänningsvariationer

Långsamma spänningsfall längs en radial, eller mellan två knutpunkter, som förorsakas av vindkraftverk kan som ett första överslag beräknas enligt:

$$\frac{\Delta U}{U_1} \cong \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{U_1^2} \cdot 100\% \quad \frac{\Delta U}{U_1} \cong \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{U_1^2} \cdot 100\% \quad (10.2)$$

där  $\Delta U$  är skillnaden mellan spänningen i radialens borte ände,  $U_1$ , och spänningen i anslutningspunkten  $U_2$ ,  $R$  är resistansen och  $X$  är reaktansen mellan knutpunkterna,  $P$  är aktiv effekt,  $Q$  är reaktiv effekt med generatoriska referenser enligt figur 10.1. Ekvationen kan användas för beräkning av spänningsfall både på lågspänningssidan och på högspänningssidan av transformatorn, se ex. 5 i Bilaga 4. Spänningsfallet är beroende av både storlek och riktning på aktiv och reaktiv effekt. Om ledningen mellan vindkraftverk och transformatorn mot matande överliggande nät är kort eller om överliggande nät har låg kortslutningseffekt kommer en stor del av spänningsvariationen att ligga på ledningarna i det överliggande nätet. Med anledning av detta bör kontroll av spänningsvariationen i det överliggande nätet ske i de fall där ledningen mellan vindkraftverk och transformatorn mot matande överliggande nät är mycket kort eller om det överliggande nätet har låg kortslutningseffekt. Vid osäkerheter är en mer noggrann beräkning av spänningsvariationerna i samtliga knutpunkter att rekommendera.



Figur 10.1, Enkel impedansmodell för beräkning av långsamma spänningsvariationer.

## 10.3 Snabba spänningsändringar

Snabba spänningsvariationer förorsakade av vindkraftverk uppstår både vid start och drift. Snabba spänningsvariationer ger upphov till flickeremission. Flickeremissionen under en tvåtimmarsperiod från en enskild källa i sammankopplingspunkten skall enligt SS EN 61000-3-7 understiga  $P_{fl}=0,25$ .

### 10.3.1 Start

Erforderlig kortslutningseffekt,  $S_k$ , i anslutningspunkten vid en enkel inkoppling kan bestämmas med hjälp av vindkraftsfabrikantens upplysning om spänningsändringsfaktor,  $k_u(\Psi_k)$ , som:

$$S_k \geq 25k_{umax}(\Psi_k) S_{ref} \quad (10.3)$$

där  $S_{ref}$  är vindkraftverkets skenbara referenseffekt. Det högsta värdet på spänningsändringsfaktorn skall användas. Detta uppträder vanligtvis under start vid märkvind. Saknas angivet värde beräknas spänningsändringen med en spänningsändringsfaktor,  $k_u(\Psi_k)=3$ .

Flickeremissionen vid ett upprepat antal starter bestäms av formen på spänningsvariationen som vindkraftverkets start orsakar. Eftersom spänningsvariationen beror på kortslutningsvinkeln i anslutningspunkten bör tillverkaren ange vindkraftverkets flickerstegfaktor som funktion av kortslutningsvinkel,  $k_f(\Psi_k)$ . Vidare bör antalet inkopplingar per timme begränsas av vindkraftverkets styrutrustning. Erforderlig kortslutningseffekt kan bestämmas utgående från flickerstegfaktorn,  $k_f(\Psi_k)$ , och det maximala antalet inkopplingar,  $N_{120}$ , under en tvåtimmarsperiod beräknas enligt:

$$S_k \geq 8 \frac{1}{P_{lt}} k_f(\Psi_k) N_{120}^{3,2} S_{ref} \quad S_k \geq 8 \frac{1}{P_{lt}} k_f(\Psi_k) N_{120}^{3,2} S_{ref} \quad (10.4)$$

Om flera vindkraftverk ansluts till samma punkt är det maximala antalet inkopplingar lika med antalet verk multiplicerat med det maximala antalet inkopplingar per verk, se ex. 2 i Bilaga 4.

Den sammanlagda flickeremissionen förorsakad av start av olika verk anslutna till samma punkt summeras lämpligen enligt:

$$P_{lt,tot} = \sqrt[3,2]{\sum_k P_{lt,k}^{3,2}} \quad (10.5)$$

där  $P_{lt,k}$  är flickeremissionen från vindkraftverk nummer  $k$ .

### 10.3.2 Drift

Vindkraftverk kan förorsaka flicker under drift. Nätets kortslutningsvinkel,  $\Psi_k$ , har en stor inverkan vid beräkning av flicker under drift. Erforderlig kortslutningseffekt beräknas därför utifrån tillverkarens upplysningar om flickerkoefficient,  $C_f(\Psi_k)$  som:

$$S_k \geq \frac{1}{P_{lt}} C_f(\Psi_k) S_{ref} \quad (10.6)$$

Normalt kan avvikelserna på flickerkoefficient beroende på skillnad i turbulensintensitet mellan provplats och uppställningsplats bortses från.

Vid anslutning av flera likadana vindkraftverk till samma punkt beräknas erforderlig kortslutningseffekt som:

$$S_k \geq \frac{1}{P_{lt}} C_f(\Psi_k) S_{ref} \sqrt{k} \quad (10.7)$$

där  $k$  är antalet vindkraftverk, se ex. 3 i *Bilaga 4*.

Sammanlagd flickeremission från flera olika vindkraftverk under drift kan summeras enligt:

$$P_{lt,tot} = \sqrt[2]{\sum_k P_{lt,k}^2} \quad (10.8)$$

där  $P_{lt,k}$  är flickeremissionen från vindkraftverk nummer  $k$ , se ex. 4 i *Bilaga 4*.

## 10.4 Övertoner

Vindkraftverk som arbetar med variabelt varvtal kan förorsaka övertoner på nätet. Tillverkaren bör upplysa om förekomsten av övertoner och mellantoner i strömmen. Tillåten amplitud på strömövertoner beräknas som:

$$i_n = \frac{u_n U^2}{Z_n S_{max}} \quad i_n = \frac{u_n U^2}{Z_n S_{max}} \quad (10.9)$$

där  $u_n$  är tillåten spänning för överton av ordningstal  $n$ ,  $U$  är nominell nätspänning,  $S_{max}$  är vindkraftverkets maximala skenbara effekt och  $Z_n$  nätimpedansen för överton av ordningstal  $n$ .

I en given punkt på radialen kan nätimpedansen,  $Z_n$ , för överton av ordningstal  $n$  med god approximation skrivas som:

$$Z_n \cong n(X_k + X_l) \quad (10.10)$$

där  $X_k$  är transformatorns kortslutningsreaktans för grundtonen,  $X_l$  är reaktansen i ledningen för grundtonen och  $n$  är övertonens ordningstal. Med transformatorn avses transformatorn i det överliggande nätet, ej vindkraftverkets transformator.

Om flera vindkraftverk ansluts till samma punkt summeras övertonerna som:

$$i_n = \sqrt[\alpha]{\sum_k i_{n,k}^\alpha} \quad (10.11)$$

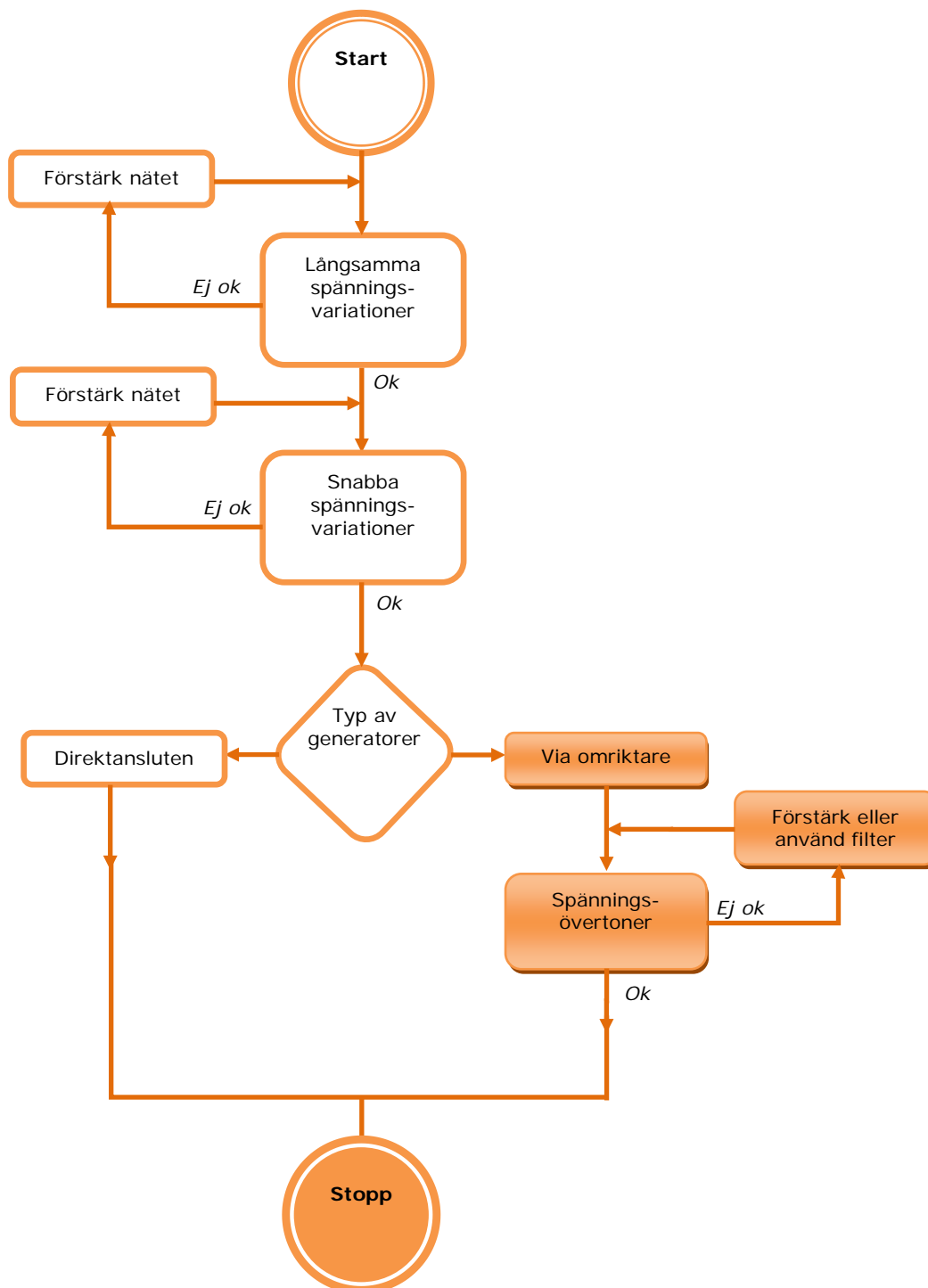
där  $i_{n,k}$  är överton av ordningstal  $n$  från vindkraftverk nummer  $k$  och  $\alpha$  en exponent som väljs enligt *tabell 10:1*.

$\alpha$	överton nummer $n$
1	$n < 5$
1,4	$5 \leq n \leq 10$
2	$n > 10$

*Tabell 10:1*, Summationsexponent för övertoner.

## 10.5 Flödesscheman

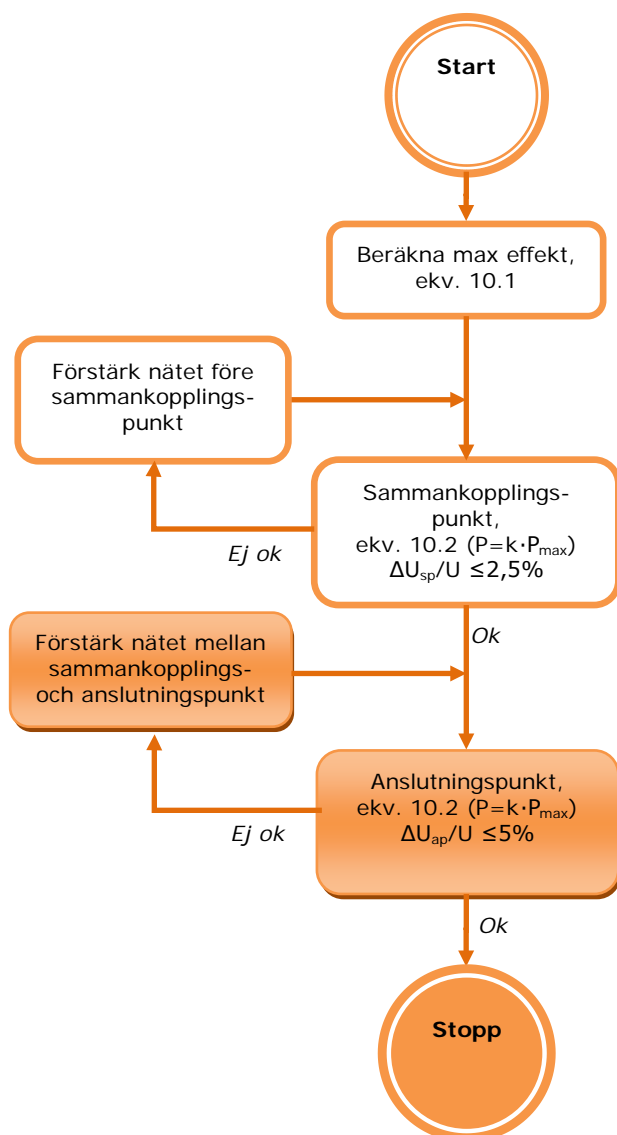
### Flödesschema över beräkningsgång





### Flödesschema - Långsamma spänningsvariationer

Vid anslutning av  $k$  st generatorer till samma punkt.



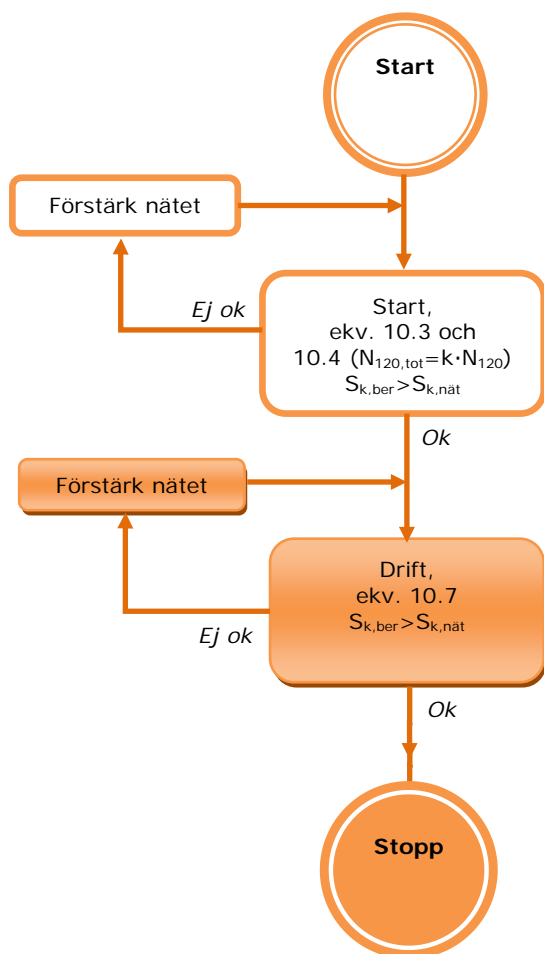
$\Delta u_{sp}$  avser total spänningsvariation i sammankopplingspunkten

$\Delta u_{ap}$  avser total spänningsvariation i anslutningspunkten

total spänningsvariation inkluderar även spänningsregleringens dödband

### Flödesschema - Snabba spänningsvariationer

Vid anslutning av  $k$  st likadana generatorer till samma punkt.

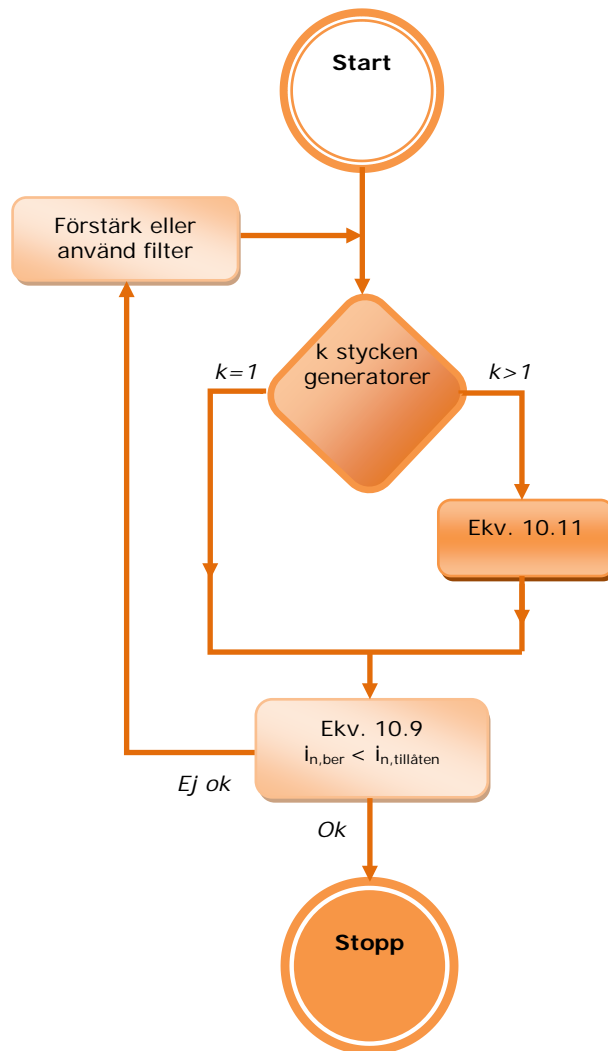


$S_{k,nät}$  avser nätets kortslutningseffekt i sammankopplingspunkten

$S_{k,ber}$  avser beräknad erforderlig kortslutningseffekt i sammankopplingspunkten

### Flödesschema – Spänningsövertoner

Vid anslutning av  $k$  st generatorer till samma punkt



$i_{n,tillåten}$   
 $i_{n,ber}$

avser tillåten övertonsström i anslutningspunkten av ordning  $n$   
avser beräknad övertonsström av ordning  $n$

## 11 Bilagor

**Bilaga 1** Ordförklaring

**Bilaga 2** Sammanställning av regelverk, standards och branschpraxis

**Bilaga 3** Härledning av ekvationer för dimensionering av elnätet

**Bilaga 4** Beräkningsexempel

**Bilaga 5** Systemjordning av vindkraftanläggning

**Bilaga 6** Offertförfrågan för anslutning av vindkraftverk / AMP-blanketten

## Bilaga 1 - Ordförklaringar

Anläggning	En anläggning är en fast konstruktion som tillhör fastigheten där den ligger, om den inte är anlagd på ofri grund." (fastighet och ofri grund beskrivs i jordabalken; konstruktion är sammansättning eller dimensionering av komponenter mänskligt utförda för visst ändamål
Anslutningspunkt	Den punkt i vilken elektrisk energi kan överföras mellan en kundanläggning och ett koncessionspliktigt nät.
Faktorn p	Förhållandet mellan det maximala 10 minuters medelvärdet av ett vindkraftverks produktion av aktiv effekt och vindkraftverkets referenseffekt.
Flicker/flimmer	Subjektiva intrycket av spänningsfluktuationer i en glödlampa, det vill säga hur hjärnan och ögat uppfattar flimmer, definierade enligt SS-EN-61000-4-15 med tillägg.
Flickerkoefficienten, $c_f(\Psi_k)$	Bestäms av uppmätta momentanvärden för strömmar och spänningar eller aktiv och reaktiv effekt samt ett referensnät med nätets kortslutningsvinkel, $\Psi_k$ , som parameter (se IEC 61400-21).  Flickerkoefficienten används för att beräkna flickernivån under drift i den första anslutningspunkten i det nät till vilket vindkraftverket ansluts. Den anger ej flickerbidraget vid inkoppling av vindkraftverkets generator(er).
Flickerstegfaktor, $k_f(\Psi_k)$	Bestäms av uppmätta momentanvärden för strömmar och spänningar eller aktiv och reaktiv effekt samt ett referensnät med nätets kortslutningsvinkel, $\Psi_k$ , som parameter, se (IEC 61400-21).  Flickerstegfaktorn används för att beräkna flickernivån inom det vindområde där generatorkopplingar bidrar mest till flickernivån.
Kortslutningsförhållandet	$\frac{S_k}{S_{ref}}$ där $S_k$ är kortslutningseffekten i första anslutningspunkten och $S_{ref}$ är vindkraftverkets skenbara referenseffekt.
Kortslutningsvinkel, $\Psi_k$	Nätets kortslutningsvinkel i första anslutningspunkten kan bestämmas av uttrycket:  $\Psi_k = \arctan \frac{X_k}{R_k}$

	där $R_k$ och $X_k$ är nätets kortslutningsresistans och kortslutningsreaktans i anslutningspunkten.
Maximal angiven effekt, $P_{max}$	Den maximala effekt, mätt som ett 10 minuters medelvärde, som vindkraftverket inte överskrider oberoende av väder- och nätförhållanden.
Pitchreglering (bladvinkelreglering)	Reglermetod för att, vid höga vindhastigheter, begränsa uteffekten från turbinen genom att vrida (eng. pitch) bladen.
Referenseffekt, $P_{ref}$	Den maximala effekt som kan avläsas på ett vindkraftverks effektkurva uppmätt som angivits i IEC 61400-12. Referenseffekten är ett 10 minuters medelvärde av effekten vid en lufttemperatur på 15°C och ett lufttryck på 1013,3 mbar.
Referensström, $I_{ref}$	10 minuters medelvärde av strömmens effektivvärde när vindkraftverket producerar skenbar referenseffekt.
Sammankopplingspunkt (PCC)	Punkten i ett elnät, elektriskt närmast till en specifik anläggning, och till vilken andra installationer är eller kommer att anslutas. Installationen tillåts både att tillföra eller konsumera elektricitet.
Skenbar referenseffekt, $S_{ref}$	10 minuters medelvärde av skenbar effekt när vindkraftverket producerar referenseffekt vid nominell spänning och frekvens med kondensatorbatteriet inkopplat.
Rotorströmsreglering	Reglering av rotorvarvtalet genom variation av asynkrongeneratorns rotorström.
Spänningsregulatorns dödband	Bestäms av storleken på stegen i transformatorns lindningskopplare.  Till exempel är dödbandet för en transformator vars lindningskopplare har stegen $\pm 1,67\%$  $(\pm 1,67 * 1,2) / 2 = \pm 1\%$  faktorn 1,2 är en säkerhetsfaktor för att inte lindningskopplaren skall reglera kontinuerligt.
Spänningsändringsfaktorn, $k_u(\Psi_k)$	Bestäms utifrån uppmätt ström och spänning samt ett referensnät med nätets kortslutningsvinkel, $\Psi_k$ , som parameter, se IEC 61400-21.  Faktorn används för att beräkna den största spänningsändringen som uppträder vid inkoppling av ett vindkraftverks generator(er).
Stallreglering (överstegsreglering)	Reglermetod för att begränsa effekten från turbinen vid höga vindhastigheter. Bladens aerodynamiska utformning åstadkommer turbulens och därigenom en effektminskning

	vid höga vindhastigheter. Turbinen sägs då överstegra (eng. stall).
Ödrift	Produktionskälla som matar lokalt nät fränkopplat från ett starkt frekvensstyrande nät.

*Fotnot: Beträffande övriga definitioner hänvisas till gällande Standard, starkströmsföreskrifter och Elordlistan (SEK-handbok 417).*

## Bilaga 2 - Sammanställning av regelverk, Bilaga 2 - Sammanställning av regelverk, standards och branschpraxis

















### 1 Lagar och direktiv



Namn	Utgivare	År
<b>Elmarknadsdirektivet</b> (2009/72/EG) - om gemensamma regler för den inre marknaden för el och om upphävande av direktiv 2003/54/EG	Europaparlamentets och rådets direktiv	2009
<b>Maskindirektivet</b> (2006/42/EG) - om maskiner och om ändring av direktiv 95/16/EG	Europaparlamentets och rådets direktiv	1996
<b>Lågspänningsdirektivet</b> (2006/95/EG) - om harmonisering av medlemsstaternas lagstiftning om elektrisk utrustning avsedd för användning inom vissa spänningsgränser	Europaparlamentets och rådets direktiv	1996
<b>Mätinstrument direktivet</b> - EG-direktiv (2004/22/EG) om mätinstrument (MID)	Europaparlamentets och rådets direktiv	2004
<b>EMC-direktivet</b> (2004/108/EG) - om tillnärmning av medlemsstaternas lagstiftning om elektromagnetisk kompatibilitet och om upphävande av direktiv 89/336/EEG	Europaparlamentets och rådets direktiv	2004
<b>Ellag</b> (1997: 857)	Näringsdepartementet	1997
<b>Lag om elcertifikat</b> (2003: 113)	Näringsdepartementet	2003
<b>Arbetsmiljölagen</b> (1977: 1160)	Arbetsmiljöverket	1977
<b>Miljöbalk</b> (1998: 808)	Naturvårdsverket	1999

### 2 Förordningar och föreskrifter

Namn	Utgivare	År
Elförordning (1994: 1250)	Näringsdepartementet	1994
Starkströmsförordning (2009: 22)	Näringsdepartementet	2009
Förordning (1999: 716) om mätning, beräkning och rapportering av överförd el	Näringsdepartementet	1999
Förordning (2003: 120) om elcertifikat	Näringsdepartementet	2003
Förordning (2007: 215) om undantag från kravet på nätkoncession enligt ellagen (1997: 857)	Näringsdepartementet	2007



Förordning (1998:905) om miljökonsekvensbeskrivningar	Miljödepartementet		1998
Elinstallatörförordning (1990:806)	Näringsdepartementet		1990
NUTFS 1998:1 - Föreskrifter och allmänna råd om redovisning av nätverksamhet	Närings- och teknikutvecklingsverkets		1998
NUTFS 1999:1 - Föreskrifter om offentliggörande av avgifter och övriga villkor för överföring av el	Närings- och teknikutvecklingsverkets		1999
STEMFS 2009:3 - Föreskrifter och allmänna råd om elcertifikat	Energimarknadsinspektionen		2009
STEMFS 2007:5 - Föreskrifter och allmänna råd om mätning, beräkning och rapportering av överförd el	Energimarknadsinspektionen		2007
STAFS 2009:8 - Föreskrifter och allmänna råd om mätsystem för mätning av överförd el	SWEDAC		2009
STAFS 2009:9 - Föreskrifter och allmänna råd om återkommande kontroll av mätare för aktiv elenergi	SWEDAC		2009
SvKFS 2005:2 - Föreskrifter och allmänna råd om driftsäkerhetsteknisk utformning av produktionsanläggningar	Svenska Kraftnät		2005
ELSÄK-FS 2006:1 – Föreskrifter och allmänna råd om elsäkerhet vid arbete i yrkesmässig verksamhet	Elsäkerhetsverket		2006
ELSÄK-FS 2008:1 - Föreskrifter och allmänna råd om hur elektriska starkströmsanläggningar ska vara utförda	Elsäkerhetsverket		2008
ELSÄK-FS 2010:1, ändringsföreskrift till ELSÄK-FS 2008:1. De viktigaste ändringar berör det sjätte och sjunde kapitlet och innebär en återgång till de bestämmelser som fanns i ELSÄK-FS 1999:5 för byggnader under högspänningsledning och kontaktledningsanläggningar för högst 750 V nominell spänning.			2010
ELSÄK-FS 2008:2 - Föreskrifter och allmänna råd om varselmärkning vid elektriska starkströmsanläggningar	Elsäkerhetsverket		2008
ELSÄK-FS 2010:2, ändringsföreskrift till ELSÄK-FS 2008:2. Ändringen är en uppdatering till den nya starkströmsförordningen (2009:22) och till Arbetsmiljöverkets föreskrifter.			2010
ELSÄK-FS 2008:3 - Föreskrifter och allmänna råd om innehavarens kontroll av elektriska starkströmsanläggningar och elektriska anordningar	Elsäkerhetsverket		2008
ELSÄK-FS 2010:3, ändringsföreskrift till ELSÄK-FS 2008:3, ändringen är en uppdatering till den nya			2010

<i>starkströmsförordningen (2009:22).</i>		
ELSÄK-FS 2007:1 - Föreskrifter om elektromagnetisk kompatibilitet	Elsäkerhetsverket	 2007
Systematiskt arbetsmiljöarbete AFS 2001:1	Arbetsmiljöverket	 2001

### 3 Svensk och Internationell Standard






Svensk Energi garanterar inte att uppgivna standarder är den senaste utgåvan av respektive standard.

Standarder revideras med jämna mellanrum och förses då med ett nytt utgåvenummer efter standardbeteckningen. Som handläggare bör du kontrollera vilken utgåva som är den gällande vid användartillfället. Säkrast görs detta genom att man kontaktar [SEK](#), Svensk Elstandard, eller att går in på SIS-förlags [hemsida](#) och kontrollera standardförteckningen.

Beteckning	Fastställd	Beskrivning
SS-EN 62056-62	2007	Elmätare - Datakommunikation för avläsning av elmätare - Del 62: Gränssnittsklasser
SS-EN 62056-31	2000	Elmätare - Datakommunikation för avläsning av elmätare och för styrning av tariff och belastning - Del 31: Lokala nät (LAN) med tvinnad parkabel
SS-EN 62056-21	2003	Elmätare - Datakommunikation för avläsning av elmätare och för styrning av tariff och belastning - Del 21: Lokal dataöverföring
SS-EN 62053-61	1998	Elmätare – Del 61: Fordringar på spänning och effektförbrukning
SS-EN 62053-31	1998	Elmätare - Del 31: Fordringar på pulsgivare för elektromekaniska eller elektroniska mätare
SS-EN 62052-11	2003	Elmätare - Allmänna fordringar och provning - Del 11: Mätare
SS-EN 61850-7-xx	2004	System och nät för kommunikation i stationer och ställverk
SS-EN 61000-4-30	2009	Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC)- Del 4-30: Mät- och provningsmetoder – Mätning av spänningsgodhet och elkvalitet
SS-EN 61400-25	2009	Vindkraftverk - Kommunikation för övervakning och styrning av vindkraftverk
SS-EN 61400-21	2002	Vindkraftverk – Del 21: Mätning och bedömning av elkvalitet för nätanslutna aggregat
SS-EN 61010-1	2002	Elektrisk utrustning för mätning, styrning och för laboratorieändamål - Säkerhet - Del 1: Allmänna fordringar
SS EN 61000-4-7	2002	Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) - Del 4-7: Mät- och provningsmetoder - Vägledning vid övertonsmätning på elnät

		och på nätansluten utrustning
SS-EN 61000-2-2	2002	Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) – Del 2-2: Miljöförhållanden – Kompatibilitetsnivåer för lågfrekventa ledningsbundna störningar och signalnivåer på elnät
SS 4370140	2006	Anslutning av lågspänningsinstallationer till elnätet
SS 436 21 04	1984	Nödöppnare för dörrar till ställverksrum
SS 430 01 10	2005	Mätarskåp
SS 430 01 01	2005	Mätartavlor
SS 406 01 73	1987	Provningsutrustning för elmätare
SS 406 01 08	1988	Elmätare - Fjärrmätning av energi och medeleffekt
SS-EN 50308	2005	Vindkraftverk – Säkerhet och skydd vid skötsel och underhåll
SS-EN 50160	2008	Spänningens egenskaper i elnät för allmän distribution (upp till 35kV)
SS-EN ISO/IEC 17020	2005	Allmänna krav på verksamhet hos olika typer av organisationer som utför kontroll (ISO/IEC 17020:1998)

#### 4 Praxis och riktlinjer

Namn/Beteckning	Länk	Förklaring
ESA (Elsäkerhetsanvisningar)		Anvisningar (dvs. annan erkänd standard) som avses i ELSÄK-föreskrifterna för så väl skötsel som arbete. ESA är kraftindustrins gemensamma anvisningar som täcker sådana anläggningar som är vanliga inom branschen. I AMP hänvisas bla. till: ESA-G:05
EBR (Eldbyggnadsrationalisering)		EBR är ett system för rationell planering, byggnation och underhåll av eldistributionsanläggningar på 0,4-145 kV. I AMP hänvisas bla. till: EBR U303H: 10(jordtag) och HMS 6:09 (Byggherreansvar-Byggarbetsmiljösamordning för nät och produktion)
Kriterier för spänningsgodhet vid leveransspänning över 1000 V		Svensk Energis (tidigare Sveriges Elleverantörers) rekommendation och förslag till standardiserade avtalspunkter som kan användas för att specificera elkvaliteten vid högspänningsleveranser.
Anslutning av kundanläggningar 1-36 kV till elnätet - IBH 04		Publikation och handling som gäller för anslutning av nya högspänningsanläggningar (1-36kV) samt ändring av befintliga, Utgiven av Svensk Energi 2004.
Anslutning Mätning Installation		Ett webb-baserat arbetsredskap och

(AMI)		handbok för den personal på elnätsföretagen som arbetar med kundnära arbetsuppgifter inom områdena Anslutning, Mätning och Installation. Utgiven av Svensk Energi och uppdateras regelbundet
Krav, Råd och Rekommendationer om mätning på elmarknaden (KRR-handboken)		En handbok utgiven av Svensk Energi för personal på elnätsföretagen som arbetar med dimensionering och kontroll av mätsystem. KRR-handboken ingår i Svensk Energis webbaserade handbok <i>AMI (Anslutning Mätning Installation)</i> men finns även att tillgå separat.
Tekniska anvisningar för anslutning av reservkraftaggregat i kundanläggningar		Anvisningarna gäller för såväl stationära som mobila reservkraftaggregat om högst 1500 kVA avsedda att anslutas till kundanläggning som är skild från det matande nätet. Utgiven av Svensk Energi 2005.
"EMC, elkvalitet och elmiljö: guide för elanvändare och allmänt sakkunniga inom elområdet" ELFORSK rapport 07:40		EMC, elkvalitet och elmiljö – guide för elanvändare och allmänt sakkunniga inom elområdet. Utgiven av ELFORSK 2007
Svensk Elmarknadshandbok		En handbok och uppslagsbok som beskriver rutiner och arbetssätt på den svenska elmarknaden. Ett samarbetsprojekt mellan Svensk Energi, SvK & Oberoende elhandlare
Svenska Kraftnäts Tekniska riktlinjer för elkvalitet Del 2: TR6-02		Planerings- och emissionsnivåer, mätmetoder och ansvarsfördelning avseende elkvalitet i stamnätet

## Bilaga 3 - HÄRLEDNING AV EKVATIONER FÖR DIMENSIONERING AV ELNÄTET

### Beteckningar

$S_k$	kortslutningseffekt i anslutningspunkten
$S_{ref}$	vindkraftverkets skenbara referenseffekt
$k_u(\Psi_k)$	spänningsändringsfaktor vid nätvinkel $\Psi_k$
$k_f(\Psi_k)$	flickerstegfaktor vid nätvinkel $\Psi_k$
$c_f(\Psi_k)$	flickerkoefficient vid nätvinkel $\Psi_k$
$N_{120}$	maximalt antal inkopplingar under ett 2 timmars intervall
$F$	formfaktor, def. enligt IEC 61000-3-7
$d$	spänningssteg i procent, $d=\Delta U/U$ (%)
$T$	tid i sekunder

### Spänningsfall vid start

Spänningsändringsfaktorn vid inkoppling av vindkraftverket beräknas ur den uppmätta spänningsändringen under en linjeperiod enligt:

$$k_u = \frac{\Delta U}{U} \cdot \frac{S_k}{S_{ref}} \quad (B3.1)$$

det relativa spänningsändringen kan då skrivas som:

$$\frac{\Delta U}{U} = k_u \frac{S_{ref}}{S_k} \quad (B3.2)$$

Om ett relativt spänningssteg på 4% tillåts fås:

$$\frac{4}{100} \geq k_u \frac{S_{ref}}{S_k} \quad (B3.3)$$

Erforderlig kortslutningseffekt i anslutningspunkten vid inkoppling kan då skrivas som:

$$S_k \geq 25 k_u S_{ref} \quad (B3.4)$$

### Flickeremission vid start

Enligt IEC 61000-3-7 kan flickeremissionen orsakat av enstaka stegformade spänningsändringar beräknas enligt:

$$P = \sqrt[3,2]{\frac{\sum_i^N 2,3(F_i D_i)^{3,2}}{T}} \quad (B3.5)$$

om spänningsändringarna har samma form kan (B3.5) uttryckas som:

$$P_t = \left(\frac{2,3N_{120}}{T}\right)^{\frac{1}{3,2}} F d \quad (B3.6)$$

spänningsändringen  $d$  kan uttryckas som

$$d = \frac{\Delta U}{U} = k_f \frac{S_{ref}}{S_k} \quad (B3.7)$$

där  $k_f$  är flickerstegsfaktorn beräknad ur spänningsändringen under startförloppet, ekvation (B3.7) insatt i (B3.6) ger:

$$P_{lt} = \left( \frac{2,3N_{120}}{T} \right)^{\frac{1}{3,2}} F d \frac{\Delta U}{U} \quad (B3.8)$$

Om approximationen

$$\frac{\Delta U}{U} (\%) = \frac{k_f S_{ref}}{S_k} 100 \quad (B3.9)$$

insättes i (B3.8) fås

$$P_{lt} = \left( \frac{2,3N_{120}}{T} \right)^{\frac{1}{3,2}} F k_f \frac{S_{ref}}{S_k} 100 \quad (B3.10)$$

Flickeremissionen  $P_{lt}$  beräknas för 2 timmar, det vill säga  $T=7\ 200$  sekunder. Om spänningsändringens formfaktor antas vara  $F=1$  kan (B3.10) skrivas:

$$P_{lt} = \left( \frac{2,3N_{120}}{7200} \right)^{\frac{1}{3,2}} 1 k_f \frac{S_{ref}}{S_k} 100 \approx 8 N_{120}^{\frac{1}{3,2}} k_f \frac{S_{ref}}{S_k} \quad (B3.11)$$

Erforderlig kortslutningseffekt i anslutningspunkten vid upprepade inkopplingar kan således skrivas som:

$$S_k \geq 8 \frac{1}{P_{lt}} N_{120}^{\frac{1}{3,2}} k_f S_{ref} \quad (B3.12)$$

En enskild last i 10-20 kV nät skall enligt *IEC 61000-3-7* ej ge upphov till en flickeremission överstigande  $P_{lt}=0,25$ . Om  $P_{lt}=0,25$  insättes i (B3.12) fås erforderlig kortslutningseffekt som:

$$S_k \geq 32 N_{120}^{\frac{1}{3,2}} k_f S_{ref} \quad (B3.13)$$

### Flickeremission under drift

Flickerbidraget från ett vindkraftverk under drift kan beräknas utifrån flickerkoefficienten,  $c_f(\Psi_k)$ :

$$P_{lt} = c_f(\Psi_k) \frac{S_{ref}}{S_k} \quad (B3.14)$$

vilket ger en kortslutningseffekt på:

$$S_k \geq \frac{c_f(\Psi_k) S_{ref}}{P_{lt}} \quad (B3.15)$$

Om  $P_{lt}=0,25$  insättes får erforderlig kortslutningseffekt som:

$$S_k \geq 4 c_f(\Psi_k) S_{ref} \quad (B3.16)$$

Vid anslutning av flera likadana vindkraftverk till samma punkt beräknas erforderlig kortslutningseffekt som:

$$S_k \geq 4 c_f(\Psi_k) S_{ref} \sqrt{k} \quad (B3.17)$$

där  $k$  är antalet vindkraftverk.

Sammanlagd flickeremission från flera olika vindkraftverk kan summeras enligt:

$$P_{lt,tot} = \sqrt[2]{\sum_k P_{lt,k}^2} \quad (B3.18)$$

### Övertoner

I en given punkt på radialen kan nätimpedansen,  $Z_n$ , för övertonen med ordningstalet  $n$  med god approximation skrivas:

$$Z_n \cong n (X_k + X_l) \quad (B3.19)$$

där  $X_k$  är transformatorns kortslutningsreaktans för grundtonen,  $X_l$  är reaktansen i ledningen för grundtonen och  $n$  är övertonens ordningstal. Förhållandet mellan en övertonsström och en övertonsspänning kan tecknas som:

$$i_n = \frac{u_n U}{Z_n I_{max}} = \frac{u_n U^2}{Z_n S_{max}} \quad (B3.20)$$

där  $S_{max}$  är vindkraftverkets maximala effekt,  $U$  är nominell spänning och  $u_n$  är spänningen av ordningstal  $n$ . Om flera vindkraftverk ansluts till samma punkt kan övertonerna summeras enligt:

$$u_n = \sqrt[\alpha]{\sum_k u_{n,k}^\alpha} \quad (\text{B3.21})$$

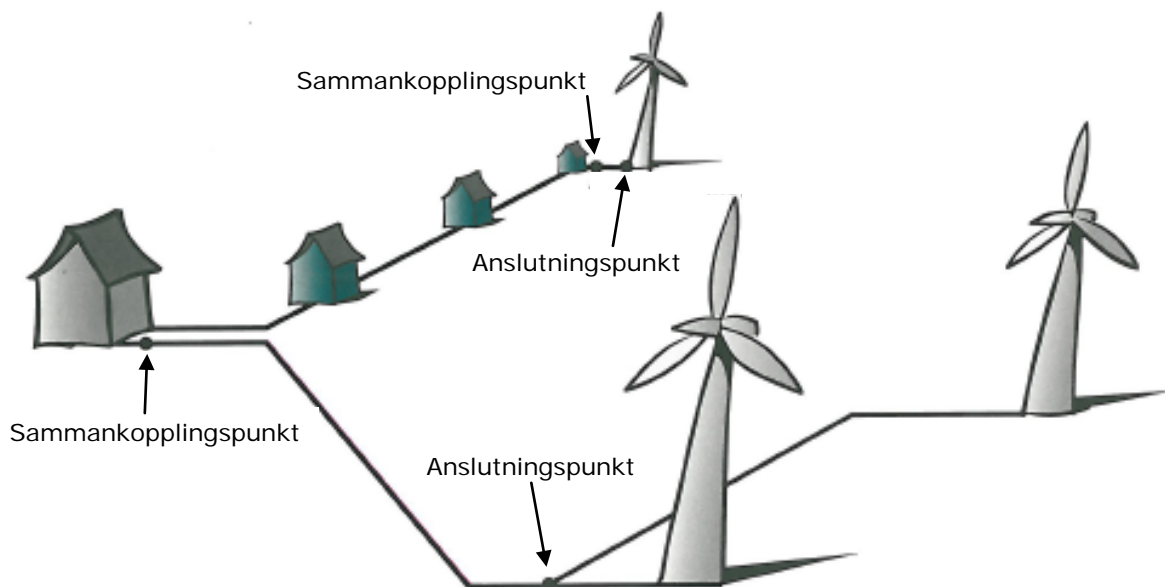
där  $k$  är antalet vindkraftverk, exponenten  $\alpha$  väljs enligt *tabell B3:1*. Ekvation (B3.21) är även giltig för summation av övertonsströmmar.

$\alpha$	överton nummer $n$
1	$n < 5$
1,4	$5 \leq n \leq 10$
2	$n > 10$

*Tabell B3:1*, Summationsexponent för övertoner.



## Bilaga 4 - BERÄKNINGSEXEMPEL



Figur B4: 1, Begreppen anslutningspunkt respektive sammankopplingspunkt.

### Dimensioneringskriterier:

I sammankopplingspunkten tillåts en maximal ändring av spänningens effektivvärde på 2.5 %. I anslutningspunkten kan en större ändring, upp till 5 %, i många fall tillåtas.

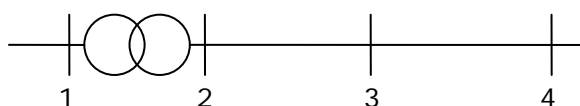
I sammankopplingspunkten ska flickeremissionen,  $P_{it}$ , inte överstiga 0,25.

### Exempel 1:

#### Långsamma spänningsvariationer

Fem vindkraftverk ska anslutas till en 10 kV-radial enligt *figur B4:2*. Varje vindkraftverk förbrukar en reaktiv effekt på 200 kvar vid en avgiven aktiv maximal effekt på 750 kW. Mellan knutpunkt 2 och knutpunkt 3 finns en 5 km lång kabel av typ AXCE 240, mellan knutpunkt 3 och knutpunkt 4 finns en 1 km lång friledning av typ FeAl 99. Antag att första kund är ansluten vid knutpunkt 3. Knutpunkt 3 benämnes då sammankopplingspunkt och knutpunkt 4 benämnes anslutningspunkt.

Antag att nätet ovanför 10 kV -radialen har hög kortslutningseffekt och inte påverkar spänningsvariationen.



Figur B4: 2, 10 kV-radial

Kabeln och friledningen har följande data:

AXCE 240:  $R=0,125 \Omega/\text{km}$                        $X=0,085 \Omega/\text{km}$

FeAl 99:      $R=0,329 \Omega/\text{km}$                        $X=0,346 \Omega/\text{km}$

Sammanlagd resistans respektive reaktans i kabel och friledning mellan knutpunkt 2 och knutpunkt 4 blir således:

$$R_{2-4} = 5 \cdot 0,125 + 1 \cdot 0,329 = 0,625 + 0,329 = 0,954 \Omega$$

$$X_{2-4} = 5 \cdot 0,085 + 1 \cdot 0,346 = 0,425 + 0,346 = 0,771 \Omega$$

Vindkraftverken kommer enligt ekvation 10.2 att orsaka en spänningsvariation i anslutningspunkten på:

$$\frac{\Delta U}{U} \cong \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{U^2} \cdot 100\% = \frac{0,954 \cdot (5 \cdot 0,75) + 0,771 \cdot (5 \cdot (-0,20))}{10^2} \cdot 100\% = 2,8\%$$

Spänningsvariationen i anslutningspunkten hamnar inom nivån 5 %, som kan accepteras i en ren produktionsradial.

Observera tecknet på den av vindkraftverken upptagna reaktiva effekten.

På samma sätt kommer vindkraftverken att förorsaka en spänningsvariation i sammankopplingspunkten på:

$$\frac{\Delta U}{U} \cong \frac{0,625 \cdot (5 \cdot 0,75) + 0,425 \cdot (5 \cdot (-0,20))}{10^2} \cdot 100\% = 1,9\%$$

I sammankopplingspunkten hamnar spänningsvariationen inom tillåten nivå 2,5 %.

## Exempel 2:

### Snabba spänningsvariationer

*Startförlopp:*

Åtta vindkraftverk med en referenseffekt på vardera 600 kW ska anslutas till en 10 kV-ledning med kortslutningsvinkeln  $73^\circ$ . Av de tekniska upplysningarna framgår att flickerstegfaktorn,  $k_f(70^\circ)=1,1$  och det maximala antalet inkopplingar för ett verk per tvåtimmarsperiod är,  $N_{120} \leq 12$ .

Erforderlig kortslutningseffekt i sammankopplingspunkten vid start blir enligt ekvation 10.4, där  $k$  är antalet verk:

$$S_k \geq 8 \cdot \frac{1}{P_{lt}} \cdot k_f(\Psi_k) \cdot (k \cdot N_{120})^{1/3,2} \cdot S_{ref} = 8 \cdot \frac{1}{0,25} \cdot 1,1 \cdot (8 \cdot 12)^{1/3,2} \cdot 0,6 = 88 \text{ MVA}$$

I beräkningen har den skenbara referenseffekten,  $S_{ref}$ , för enkelhetens skull ersatts med den aktiva referenseffekten, 600 kW. Har vindkraftverket en effektfaktor  $>0,98$  vid referenseffekt ger denna förenkling ett fel på mindre än 2%.

### Exempel 3:

#### Snabba spänningsvariationer

Drift:

Tio vindkraftverk med en referenseffekt på vardera 500 kW ska anslutas till en 10 kV-ledning. Tillverkaren har, vid kortslutningsvinkeln  $\psi=70^\circ$ , angett flickerkoefficienten  $c_f(70^\circ)=5,6$ . Erforderlig kortslutningseffekt i sammankopplingspunkten vid drift blir enligt *ekvation 10.7*:

$$S_k \geq \frac{1}{P_{lt}} \cdot c_f(\Psi_k) \cdot S_{ref} \sqrt{k} = \frac{1}{0,25} \cdot 5,6 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{10} = 35 \text{ MVA}$$

### Exempel 4:

#### Snabba spänningsvariationer

Drift:

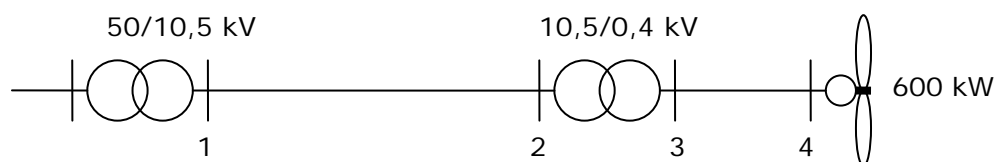
Ett vindkraftverk med fulleffektomriktare ska anslutas i samma punkt som ett redan befintligt vindkraftverk är anslutet. Flickeremissionen under drift för det befintliga vindkraftverket, med fast varvtal, har beräknats till  $P_{lt}=0,43$ . Flickeremissionen från det nya verket, med variabelt varvtal, har beräknats till  $P_{lt}=0,092$ . Den totala flickeremissionen under drift i anslutningspunkten blir enligt *ekvation 10.8*:

$$P_{lt,tot} = \sqrt{\sum_k P_{lt,k}^2} = \sqrt{0,43^2 + 0,092^2} = 0,44$$

Flickeremissionen från ett vindkraftverk kan beräknas med hjälp av *ekvation B3.14, Bilaga 3 - Härledning av ekvationer*.

### Exempel 5:

Ett vindkraftverk med märkeffekten 600 kW ska anslutas till en 10 kV-radial, se *figur B4:3*. Anslutningspunkten är i knutpunkt 2 vilket också antas vara sammankopplingspunkten. Antag att transformatorn mellan knutpunkt 2 och 3 inte påverkar spänningsvariationerna.



Figur B4:3, Vindkraftverk anslutet till en distributionsradial.

#### Långsamma spänningsvariationer

Lågspänningssidan:

Enligt vindkraftfabrikanten är den maximala uteffekten 115% av märkeffekten, dvs  $1,15 \cdot 0,6 = 0,69$  MW. Vid en uteffekt på 0,69 MW förbrukar vindkraftverket 0,175 Mvar reaktiv effekt. Vindkraftverket är på

lågspänningssidan anslutet till 400 V via en kabel vars resistans är 0,005  $\Omega$  och reaktans är 0,001  $\Omega$ . Det ger, med ekvation 10.2, en spänningsvariation på lågspänningssidan mellan knutpunkt 3 och 4 på:

$$\frac{\Delta U}{U} \cong \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{U^2} \cdot 100\% = \frac{0,005 \cdot 0,69 + 0,001 \cdot (-0,175)}{0,4^2} \cdot 100\% = 2,0\%$$

*Högspänningssidan:*

Ledningsimpedansen mellan knutpunkt 1 och 2 är 2,01 +j0,87  $\Omega$ . Spänningsvariationen på högspänningssidan blir på motsvarande sätt

$$\frac{\Delta U}{U} \cong \frac{2,01 \cdot 0,69 + 0,87 \cdot (-0,175)}{10,5^2} \cdot 100\% = 1,1\%$$

Lindningskopplaren på 50/10,5 kV transformatorn har steg på 1,67 %. Med säkerhetsfaktorn 1,2 blir spänningsregulatorns dödband då:

$$\frac{\pm 1,67\% \cdot 1,2}{2} = 1,0\%$$

Den totala spänningsvariationen i sammankopplingspunkten blir således 1,1+1,0=2,1 %, vilket är mindre än tillåtna 2,5 %.

Spänningsvariationen på lågspänningssidan vid verket, i knutpunkt 4, blir 1,1+1,0+2,0=4,1%.

## **Snabba spänningsvariationer**

*Startförlopp:*

Kortslutningseffekten i sammankopplingspunkten, knutpunkt 2, är beräknad till 60 MVA med en kortslutningsvinkel  $\Psi = 45^\circ$ . Av de tekniska upplysningarna från vindkraftfabrikanten framgår att spänningsändringsfaktorn,  $k_u(50^\circ) = 1,4$ , flickerstegfaktorn,  $k_f(50^\circ) = 1,4$ , flickerkoefficienten,  $c_f(50^\circ) = 6$  och att maximalt antal kopplingar under en tvåtimmarsperiod,  $N_{120} \leq 12$ . Flickerkoefficienten är vald för kortslutningsvinkeln  $50^\circ$  eftersom den ligger närmast nätets  $45^\circ$ .

Kortslutningseffekten i sammankopplingspunkten måste vid en enkel inkoppling först och främst överstiga:

$$S_k \geq 25 \cdot k_u(\Psi_k) \cdot S_{ref} = 25 \cdot 1,4 \cdot 0,6 = 21 \text{ MVA}$$

I värsta fall kan vindkraftverket kopplas in 12 gånger under en tvåtimmarsperiod,  $N_{120} = 12$ . För att inkopplingarna inte ska orsaka flicker måste kortslutningseffekten i sammankopplingspunkten vara större än:

$$S_k \geq 8 \cdot \frac{1}{P_{lt}} \cdot k_f(\Psi_k) \cdot N_{120}^{1/3,2} \cdot S_{ref} = 8 \cdot \frac{1}{0,25} \cdot 1,4 \cdot 12^{1/3,2} \cdot 0,6 = 58 \text{ MVA}$$

*Drift:*

För att vindkraftverket inte skall orsaka flicker under drift måste kortslutningseffekten i sammankopplingspunkten vara större än

$$S_k \geq \frac{1}{P_{lt}} \cdot c_f(\Psi_k) \cdot S_{ref} = \frac{1}{0,25} \cdot 6 \cdot 0,6 = 14 \text{ MVA}$$

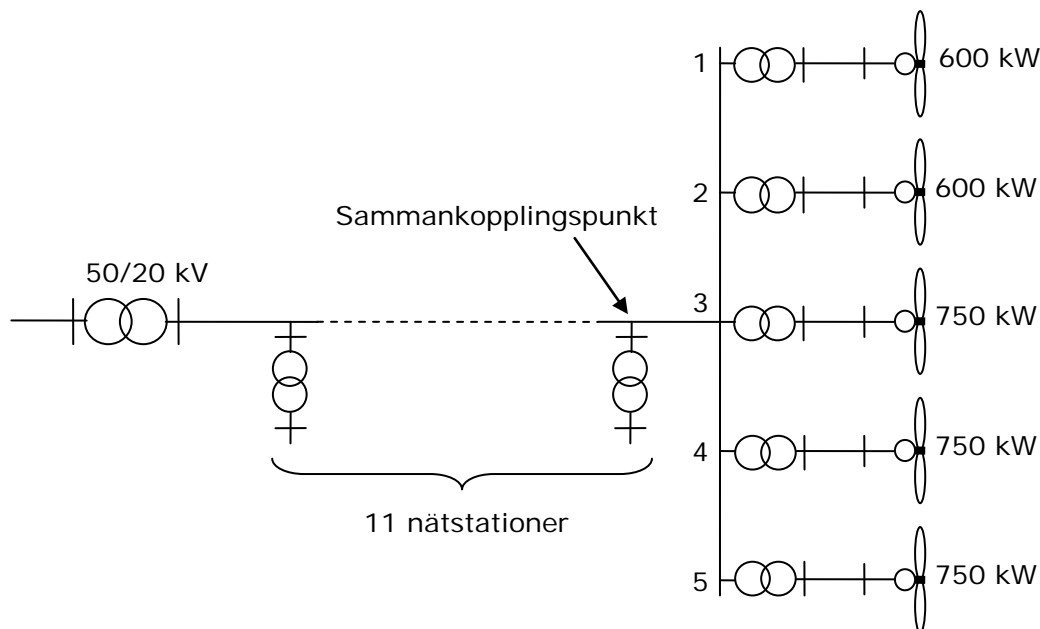
De tekniska kraven för anslutning av vindkraftverket kan därmed anses uppfyllda.

### Exempel 6:

En vindkraftpark bestående av fem verk ska anslutas till en 20-kV radial. Två verk har märkeffekten 600 kW och tre verk har märkeffekten 750 kW. Matningen sker via en distributionsradial från en 50/20 kV transformatorstation, se figur B4: 4. Längs distributionsradialen finns totalt elva nätstationer, 20/0,4 kV.

Är verken separat anslutna till radialen är verkens anslutningspunkt i respektive knutpunkt 1-5. Är verken istället gemensamt anslutna till radialen via ett internt nät är anslutningspunkten i knutpunkt 3. Sammankopplingspunkten är i nätstationen närmast vindkraftparken.

I sammankopplingspunkten beräknas kortslutningseffekten uppgå till minst 62 MVA och impedansen,  $R_k + jX_k$ , är  $4,52 + j6,30$ . Impedansen i ledningen mellan sammankopplingspunkten och 50/20 kV-stationen,  $R_l + jX_l$ , är  $3,67 + j2,55 \Omega$ .



Figur B4: 4, Fem vindkraftverk anslutna till en distributionsradial med 11 nätstationer, 20/0,4 kV, längs radialen.

### Långsamma spänningsvariationer

*Högspänningssidan:*

Enligt tillverkaren är 750 kW-verkets maximala uteffekt 113 % av märkeffekten, dvs.  $P_{\max} = 1,13 \cdot 750 = 848$  kW. Vidare har tillverkaren angivit en skenbar märkeffekt på 765 kVA vilket ger en reaktiv effektförbrukning vid märkeffekt på:

$$Q_{\text{ref}} = \sqrt{S_{\text{ref}}^2 - P_{\text{ref}}^2} = \sqrt{765^2 - 750^2} = 151 \text{ kvar}$$

Den reaktiva effektförbrukningen hos en asynkrongenerator är proportionell mot effekten i kvadrat, dvs:

$$Q = k \cdot P^2 \Rightarrow k = \frac{Q}{P^2} = \frac{151}{750^2} = 2,68 \cdot 10^{-4}$$

Den maximala förbrukningen av reaktiv effekt vid maximal aktiv effektproduktion blir då:

$$Q_{\max} = k \cdot P_{\max}^2 = 2,68 \cdot 10^{-4} \cdot 848^2 = 193 \text{ kvar}$$

På motsvarande sätt har följande värden beräknats för 600 kW-verket:  $P_{\max} = 672$  kW,  $S_{\text{ref}} = 623$  kVA och  $Q_{\max} = 210$  kVAR

Spänningsvariationen i sammankopplingspunkten på högspänningssidan blir:

$$\frac{\Delta U}{U} \cong \frac{3,67 \cdot (3 \cdot 0,848 + 2 \cdot 0,672) + 2,55 \cdot (3 \cdot (-0,193) + 2 \cdot (-0,210))}{20^2} \cdot 100\% = 2,93\%$$

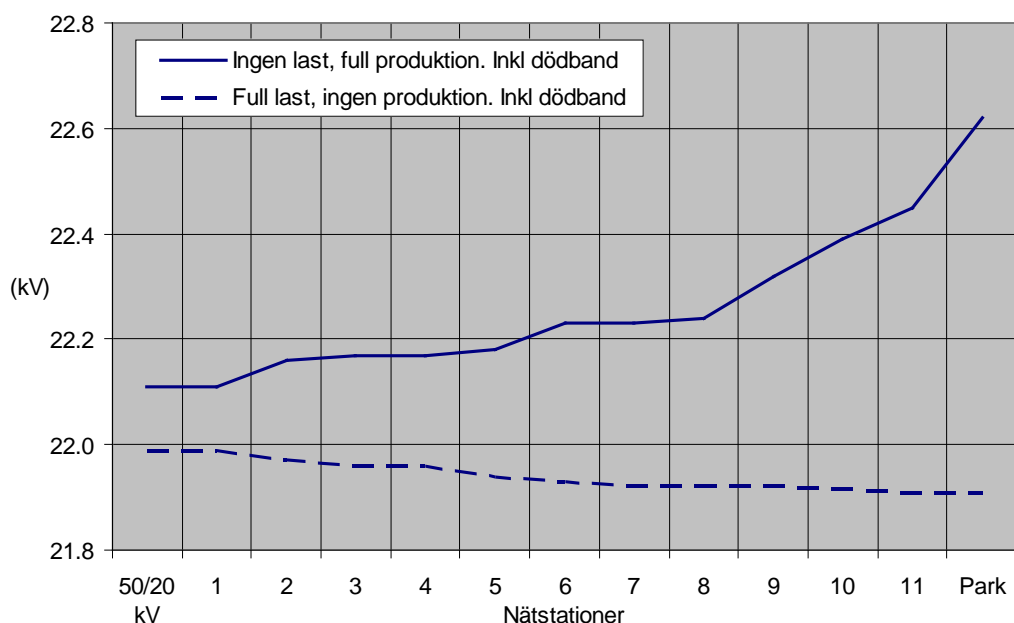
Lindningskopplaren på 50/20 kV transformatorn har steg på 1,67 %.  
Spänningsregulatorns dödband blir då, med säkerhetsfaktorn 1,2:

$$\frac{\pm 1,67\% \cdot 1,2}{2} = 1,0\%$$

Den totala spänningsvariationen i sammankopplingspunkten blir således  $2,9 + 1,0 = 3,9\%$ , vilket är större än tillåtna 2,5%. Detta föranleder en mer noggrann studie av spänningsvariationerna längs distributionsradialen.

För att beräkna de av vindkraftverken uppkomna långsamma spänningsvariationerna har ett nätberäkningsprogram använts där spänningen i alla elva knutpunkterna (20/0,4 kV-stationer) kan studeras. Resultatet ses i *figur B4:5*. Spänningen längs radialen är beräknad för de två extremfallen:

- ingen belastning och full effektproduktion hos vindkraftverken
- full belastning och ingen effektproduktion hos vindkraftverken



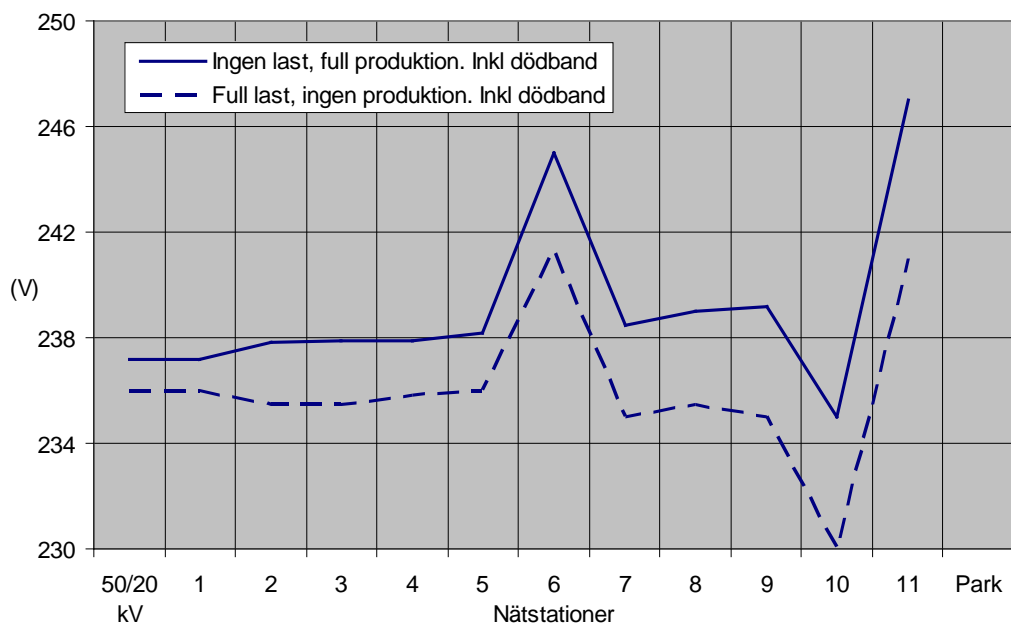
Figur B4:5, Spänningsnivåer längs 20 kV-distributionsradialen.

Som framgår av figur B4:5 är spänningsvariationen längs 20 kV-radialen störst vid vindkraftparken, drygt 3,5%. I första sammankopplingspunkt, nätstation 11, är spänningsvariationen 2,7% på 20 kV-sidan.

#### Lågspänningssidan:

Figur B4:6 visar motsvarande spänningar på lågspänningssidan vid nätstationerna. I figuren är den verkliga spänningsomsättningen hos varje 20/0,4 kV-transformator medtagen. Som framgår av figuren blir spänningen för hög, över 244 V, i station 6 och 11. För att en vindkraftetablering ska bli möjlig krävs en lägre spänningsomsättning i dessa två stationer så att spänningen ligger närmare 230 V och definitivt under 244 V. Är transformatorerna omkopplingsbara kan omsättningen justeras på befintliga transformatorer, i annat fall måste de bytas mot transformatorer med en lägre spänningsomsättning.

Spänningsvariationen i första sammankopplingspunkt, station 11, är ungefär 2,6 % vilket är i största laget. Emellertid är denna variation baserad på två extremfall i belastning och vindproduktion. Slutsatsen är att de långsamma spänningsvariationerna är acceptabla om transformatorerna i station 6 och 11 kopplas om eller byts.



Figur B4:6, Spänningsnivåer på lågspänningssidan vid nätstationerna.

### Snabba spänningsvariationer

Startförlopp:

På AMP-blanketten, se bilaga 6, för respektive vindkraftverk är en spänningsändringsfaktor,  $k_u(\Psi_k)$ , angiven vid olika kortslutningsvinklar. Kortslutningsvinkeln i den aktuella anslutningspunkten är:

$$\Psi_k = \arctan \frac{X_k}{R_k} = \arctan \frac{6,30}{4,52} = 54^\circ$$

Spänningsändringsfaktorn är,  $k_u(50^\circ) = 1,4$  för 750 kW-verket och  $k_u(50^\circ) = 2,1$  för 600 kW-verket. Erforderlig kortslutningseffekt med avseende på en start av ett 750 kW-verk blir enligt ekvation 10.3:

$$S_k \geq 25 \cdot k_u(\Psi_k) \cdot S_{ref} = 25 \cdot 1,4 \cdot 0,765 = 27 \text{ MVA}$$

och ett 600 kW-verk:

$$S_k \geq 25 \cdot k_u(\Psi_k) \cdot S_{ref} = 25 \cdot 2,1 \cdot 0,623 = 33 \text{ MVA}$$

Vid låga vindhastigheter kan vindkraftverken komma att startas och stoppas upprepade gånger. Flickeremissionen vid upprepade starter kan enligt ekvation 10.4 beräknas som, med antalet verk k:

$$S_k \geq 8 \cdot \frac{1}{P_{lt}} \cdot k_f(\Psi_k) \cdot (k \cdot N_{120})^{1/3,2} \cdot S_{ref} \Rightarrow P_{lt} \leq 8 \cdot k_f(\Psi_k) \cdot (k \cdot N_{120})^{1/3,2} \cdot \frac{S_{ref}}{S_k}$$



Enligt AMP-blanketten är flickerstegsfaktorn för 750 kW-verket,  $k_f(50^\circ) = 1,1$  och  $k_f(50^\circ) = 2,1$  för 600 kW-verket. Vidare framgår att maximala antalet starter per verk och tvåtimmarsperiod är,  $N_{120} \leq 12$ . Detta gäller båda typerna av verk. Flickeremissionen vid upprepade starter blir då för de tre 750 kW-verken:

$$P_{lt} \leq 8 \cdot 1,1 \cdot (3 \cdot 12)^{1/3,2} \cdot \frac{0,765}{62} = 0,33$$

och för de två 600 kW-verken:

$$P_{lt} \leq 8 \cdot 2,1 \cdot (2 \cdot 12)^{1/3,2} \cdot \frac{0,623}{62} = 0,46$$

Den totala flickeremissionen blir då, enligt ekvation 10.5:

$$P_{lt,tot} = \sqrt[3,2]{\sum_k P_{lt,k}^{3,2}} = \sqrt[3,2]{0,33^{3,2} + 0,46^{3,2}} = 0,50$$

Högsta tillåtna flickeremission från vindkraftgruppen är 0,25. Som framgår av ovanstående beräkning är den totala flickeremissionen för hög.

Om antalet starter per tvåtimmarsperiod begränsas till  $N_{120} \leq 2$  för 750 kW-verken och  $N_{120} \leq 1$  för 600 kW-verken fås flickeremissionen för de tre 750 kW-verken:

$$P_{lt} \leq 8 \cdot 1,1 \cdot (3 \cdot 2)^{1/3,2} \cdot \frac{0,765}{62} = 0,19$$

och för de två 600 kW-verken:

$$P_{lt} \leq 8 \cdot 2,1 \cdot (2 \cdot 1)^{1/3,2} \cdot \frac{0,623}{62} = 0,21$$

vilket ger en total flickeremission vid upprepade starter på:

$$P_{lt,tot} = \sqrt[3,2]{0,19^{3,2} + 0,21^{3,2}} = 0,25$$

*Drift:*

Flickeremissionen under drift beräknas utgående från en av tillverkaren angiven flickerkoeficient,  $c_f(\Psi_k)$  och kan beräknas enligt:

$$S_k \geq \frac{1}{P_{lt}} \cdot c_f(\Psi_k) \cdot S_{ref} \cdot \sqrt{k} \Rightarrow P_{lt} \leq c_f(\Psi_k) \cdot \frac{S_{ref}}{S_k} \cdot \sqrt{k}$$

Flickerkoefficienten för 750 kW-verket är  $c_f(50^\circ) = 6,44$  och för 600 kW-verket,  $c_f(50^\circ) = 4,14$ . Flickeremissionen för de tre 750 kW-verken blir:

$$P_{lt} \leq 6,44 \cdot \frac{0,765}{62} \cdot \sqrt{3} = 0,14$$

och för de två 600 kW-verken:

$$P_{lt} \leq 4,14 \cdot \frac{0,623}{62} \cdot \sqrt{2} = 0,059$$

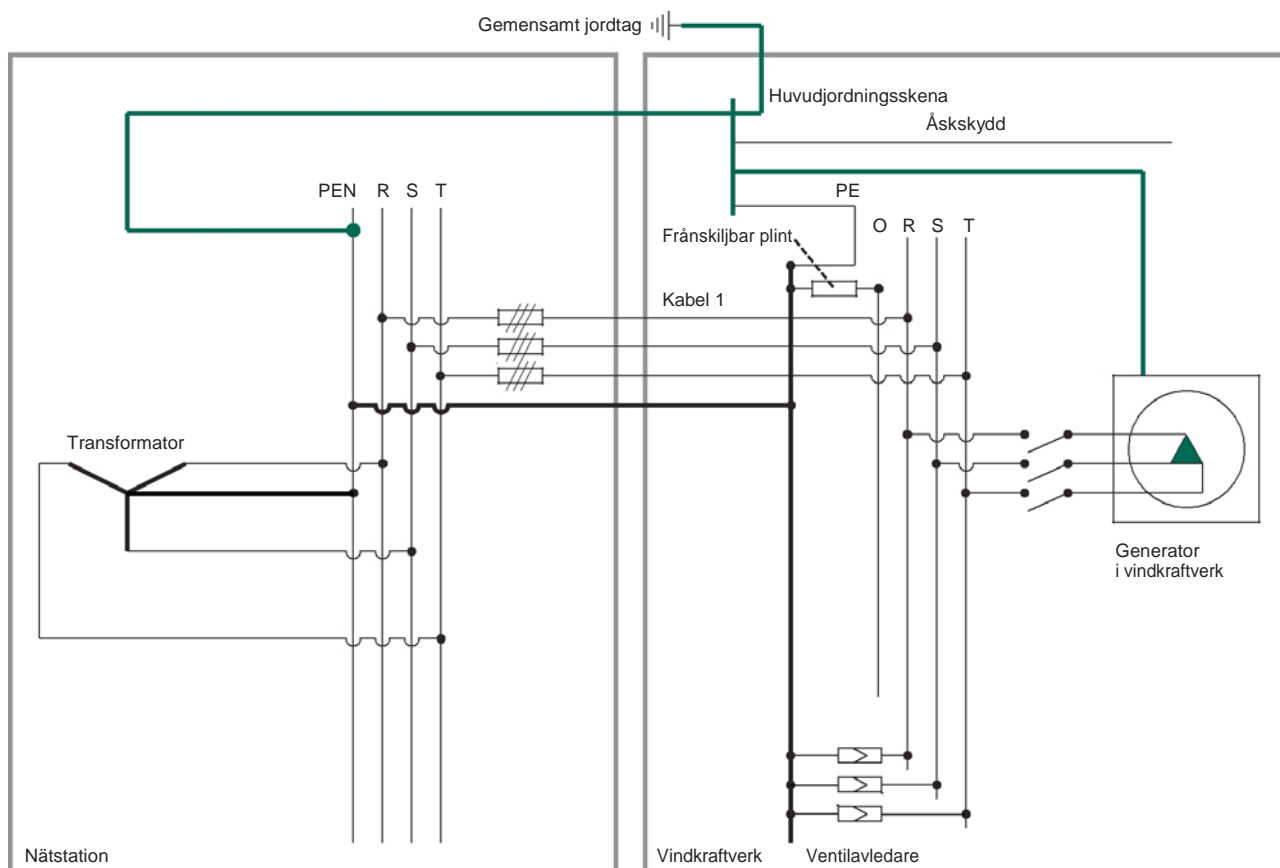
Total flickeremission under drift från vindkraftparken blir då, enligt ekvation 10.8:

$$P_{lt,tot} = \sqrt{\sum_k P_{lt,k}^2} = \sqrt{0,14^2 + 0,059^2} = 0,15$$

De tekniska kraven för anslutning av vindkraftverken kan anses uppfyllda under förutsättning att:

- transformatorerna i station 6 och 11 kopplas om eller byts ut
- antalet starter begränsas till två per timme för 750 kW-verken och en per timme för 600 kW-verken.

## Bilaga 5 - Systemjordning av vindkraftanläggning



## OFFERTFÖRFRÅGAN FÖR ANSLUTNING AV VINDKRAFTVERK

Undertecknad anhåller härmed om offert för anslutning av nedanstående Vindkraftverk.

### Teknisk upplysning:

Placering: (Karta med koordinater SWEREF99 (RT90-format) bifogas)

Fabrikat: Typ:

Antal verk:

• Princip:  Direktansluten  DFIG  Fulleffektomriktare

• Effektreglering:  Stallreglering  Pitchreglering  Aktiv stallreglering  
 Rotorströmsreglering<sup>1</sup>  Frekvensomformare<sup>1</sup>

- Totalt abonnerad effekt (inmatning) kW
- Vindkraftverkets referenseffekt (Pref): kW/verk
- Maximal effektproduktion  $P_{max}$  (10 minuters medelvärde): kW/verk
- Maximal effektproduktion (0,2 sekunders medelvärde): kW/verk
- Uttagen reaktiv effekt vid märkspänning:
  - Vid tomgång kvar/verk
  - Vid referenseffekt med kompensering: kvar/verk
  - Vid referenseffekt utan kompensering: kvar/verk
- Maximalt uttag av reaktiv effekt under drift vid mätpunkt: kvar/verk  
(10 minuters medelvärde)
- Vindkraftverkets märkspänning: V
- Generatorn/generatorernas märkeffekter: kVA
- Maximalt antal generatorinkopplingar under 2 timmar ( $N_{120}$ )/verk:
  - Inkoppling av generator/lindning 1 vid startvind: st.
  - Inkoppling av generator 2 vid omkopplingsvind: st.

### Handlingar och uppgifter som ska bifogas:

- spänningsnivån för angivna testvärden
- namn på anläggningens innehavare
- mätrapport (typprovning) visande fasspänningarna eller huvudspänningarna före och under minst 3 på varandra följande urkopplingsförlopp
- förteckning över skyddsfunktioner med funktionsnivåer och funktionstider
- för var och en av övertonsordningarna 2-50, uteffekt vid vilken maximal övertonsström inträffar samt övertonsströmmens storlek (redovisas i tabellen på nästa sida)
- För var och en av mellantonsordning med frekvens upp till 2500 Hz, uteffekt vid vilken maximal mellantonsström inträffar samt mellantonsströmmens storlek (redovisas med särskilt dokument)
- högsta totala övertonsström
- kompletterande uppgifter för gruppkompensation
- dynamisk data<sup>1</sup>

<sup>1</sup> I tillämpliga fall

	Generator/lindn 1 Inkoppling vid startvind eller stopp (högsta värde)				Generator/lindn 2 Inkoppling vid omkopplingsvind				Inkoppling vid märkvind			
	30°	50°	70°	85°	30°	50°	70°	85°	30°	50°	70°	85°
Kortslutningsvinkel ( $\Psi_k$ )												
Spänningsändringsfaktor ( $k_n$ ) $\leq$												
Flickerstegfaktor ( $k_f$ ) $\leq$												

Kortslutningsvinkel ( $\Psi_k$ )	30°	50°	70°	85°
Flickerkoeficient ( $c_f$ ) $\leq$				

#### Redovisning av övertonsströmmar

Ordning	Utmatad Effekt kW	Övertonsström % av ( $I_n$ )	Ordning	Utmatad Effekt kW	Övertonsström % av ( $I_n$ )
2			3		
4			5		
6			7		
8			9		
10			11		
12			13		
14			15		
16			17		
18			19		
20			21		
22			23		
24			25		
26			27		
28			29		
30			31		
32			33		
34			35		
36			37		
38			39		
40			41		
42			43		
44			45		
46			47		
48			49		
50					
Maximalt effektivvärde av total övertonsström angivet som % av $I_n$					
Uteffekt (kW) vid maximalt effektivvärde av total övertonsström					
Maximalt effektivvärde för diskret mellantonsström angivet som % av $I_n$					
Uteffekt (kW) vid maximalt effektivvärde av diskret mellantonsström					

Datum: \_\_\_\_\_ Underskrift: \_\_\_\_\_  
Namnförtydligande: *Vindkraftverkets leverantör*

Datum: \_\_\_\_\_ Underskrift: \_\_\_\_\_  
Namnförtydligande: *Vindkraftverkets innehavare*

Svensk Energi – Swedenenergy – AB  
101 53 Stockholm

---

[www.svenskenergi.se/forlag](http://www.svenskenergi.se/forlag)

**SVENSK**  
**energi**