Pilot sluttrapport: Overgang til øydrift

Forfatter: Thor Holm, Lede







CINELDI - Centre for intelligent electricity distribution

SINTEF and NTNU are the main research partners, with grid operators, technology providers, public authorities and international R&D institutes and universities as partners.

The research centre is financed by the Research Council of Norway and the Norwegian partners through the Centre for Environment-friendly Energy Research (FME) scheme. The FME scheme consists of research centres of limited duration that conduct concentrated, focused and long-term research on a high international level to solve specific challenges related to energy and the environment.



- to empower the future Smart Grid







Prosjektnotat

TITTEL							
Resultat og erfaringsnotat for Pilot: Test av øydrift i Skagerak EnergiLab							
WORK PACKAGE	ANTALL SIDER						
WP Pilot	1.0	2020-10-23	35				
FORFATTER(E)		WP-LEDER	GRADERING				
Thor Holm that folm	Signe Marie Oland Signe Marie Oland (Jun 24, 2021 11:18 GMT+2)	Maren Istad Maren Istad	- Open				

DISTRIBUSJON					

SAMMENDRAG

Batteriet i Skagerak EnergiLab er designet slik at det kan drifte stadionlyset og deler av Skagerak Arena under fotballkamper. Denne rapporten analyserer de elektriske fenomenene som oppstår ved overgang fra nettdrift til øydrift og tilbake i nettdrift, samt at stadionlyset blir slått av og på.

Det er i måleperioden ikke funnet brudd på Forskrift om Leveringskvalitet selv om det er utført en rekke forskjellig tester. Ved overgang mellom nettdrift til øydrift og tilbake til nettdrift oppstår det som forventet spenningssprang. Disse spenningssprangene vil ikke medfører funksjonssvikt for tilkoblet utstyr, men kan være synlig i lysutbytte fra lyspærer.

Rapport

Test av øydrift i Skagerak EnergiLab

Kunde: Skagerak Nett

Forfatter:

Thor Holm

Kundes referanse: Signe Marie Oland

Kvalitetssikret av: Henrik Kirkeby

Dokumentnummer: R20-11 Sider: 35

Sammendrag:

Batteriet i Skagerak EnergiLab er designet slik at det kan drifte stadionlyset og deler av Skagerak Arena under fotballkamper. Denne rapporten analyserer de elektriske fenomenene som oppstår ved overgang fra nettdrift til øydrift og tilbake i nettdrift, samt at stadionlyset blir slått av og på.

Det er i måleperioden ikke funnet brudd på Forskrift om Leveringskvalitet selv om det er utført en rekke forskjellig tester. Ved overgang mellom nettdrift til øydrift og tilbake til nettdrift oppstår det som forventet spenningssprang. Disse spenningssprangene vil ikke medfører funksjonssvikt for tilkoblet utstyr, men kan være synlig i lysutbytte fra lyspærer.

Versjon: 1,0 Dato: 23.10.2020 Kommentar: Første versjon



Innholdsfortegnelse

1	I	Innledning2				
2	I	Måle	oppsett	. 3		
3	-	Test	gjennomføring	. 4		
4	I	Evalu	uering av måleresultater	. 5		
	4.1	1	Langsomme variasjoner i RMS-spenning	. 5		
	4.2	2	Kortvarige over- og underspenninger og spenningssprang	. 9		
	4.3	3	Flimmerintensitet	15		
	4.4	1	Overharmoniske spenninger og THD	17		
	4.5	5	Spenningsusymmetri	26		
	4.6	5	Transiente overspenninger	28		
	4.7	7	Frekvens	31		
5	5 Konklusjon					
Ve	edle	egg A	: Målefeil i RMS-spenning forårsaket av hurtig frekvensvariasjon	35		



1 Innledning

Skagerak Arena er en idrettsarena med mål om å bruke mer fornybar energi. I samarbeid med Odd fotballklubb har Skagerak Nett og Skagerak Kraft bygget et mikronett tilrettelagt for utforskning av fleksible ressurser. Det er installert 5330 m² solcellepaneler på tribunetakene som til sammen gir 800 kWp installert effekt, samt et energilager på 1MW med tilhørende kontrollsystem.

Idrettsarenaen er tilknyttet to forskjellige nettstasjoner, og har flere typer laster: kontorbygg, kioskvirksomhet, flomlys og leiligheter. Gjennom omfattende funksjonstesting vil Skagerak EnergiLab samle inn store mengder data og erfaringer med teknologi og batteriets nytteverdi sett fra forskjellige aktører (nettselskap, sluttbruker, kraftselskap og myndigheter).

Rapporten inneholder en vurdering av spenningskvaliteten ved overgang fra nettdrift til øydrift og tilbake til nettdrift. Vurdering er utført opp mot Forskrift om Leveringskvalitet og hva det er forventet at elektrisk utstyr skal tåle uten å trippe / restarte, eller å bli ødelagt.



2 Måleoppsett

Skagerak Nett benyttet to av sine Elspec G4500 måleinstrumenter i oppsettet. Instrumentene er IEC 61000-4-30 klasse A. Instrumentene ble koblet opp av Skagerak Nett slik skissen nedenfor viser.

Måleperioden som er analysert er fra 10.09 2020 fra kl. 0600 til kl. 2300.

I denne rapporten er i hovedsak spenningsmålingene fra måleinstrumentet i nettstasjonen benyttet. Dette instrumentet er det som er nærmest kundene og har vært spenningssatt under hele analyseperioden.

Det er valgt å analysere fasespenningene til TN-nettet da de fleste forbruksapparatene er tilkoblet fase-nøytral. Det foreligger ikke opplysninger om stadionlyset er tilkoblet fase-nøytral eller fase-fase. Figur 3 i kapittel 4.1 vises forskjell mellom 230V og 400V spenningene. Det er noe forskjell i øydrift kontra nettdrift, men ikke så stor forskjell at en mister relevant informasjon ved å bare analysere fasespenningene.



Figur 1: Skisse av måleoppsettet



3 Testgjennomføring

Tabell 1: Oversikt over testgjennomføringen.

Tidspunkt	Test-	Nettdrift /		Beskrivelse	Effekt**	
	steg	Øy	ydrift			kVA
		Nett	Øydrift		Nett	Batteri
0800 -1500	2	X		Normal drift	350	150
				Referansemålinger		
				batteri frakoblet		
1500	3	X		Batteriet koblet fra nettet	250	0
1511 - 1514	4	X		Stadion lys på ca. 340 kVA	620	
1524	6	X		Batteri QA102 koblet inn	650	10
1525	6	X		Batteri QA101 koblet inn	570	70
1535	7	X		Stadion lys av ca. 360 kVA	280	25
				Ikke planlagt overgang		
1950	8	X		Normal drift uten lys	200	125
2000	9		X	Overgang til øydrift	-15*	-115 til -140
2010 - 2013	10		X	Stadion lys på ca. 340 kVA	-25*	-450 til -490
2026	12	X		Overgang til nettdrift 520		70
2030	13	X		Lading av batteri + lys 770		300
2045	14		Х	Overgang til øydrift	-25*	-400 til -440
2101	15		Х	Stadion lys av ca. 310 kVA	-6* -125	
2104	16	X		Overgang til nettdrift	430 310	
				Planlagt overgang		
2120	17	X		Normal drift uten lys 420		320
2121	18		Х	Overgang til øydrift -8*		-100
2131 - 2134	19		Х	Stadion lys på ca. 340 kVA -20* -450		-450 til -480
2146	21	X		Overgang til nettdrift 760		300
2146 - 2201	22	X		Normal drift med lys	al drift med lys 760 3	
2201	23		X	Overgang til øydrift	-28* -450 til -500	
2212	24		Х	Stadion lys av ca. 350 kVA	-6* -105	
2219	25	Х		Overgang til nettdrift	430 340	

* Tomgangstap på nettettransformatoren.

** Verdiene i kVA i tabellen er i hovedsak gjennomsnittsverdier. Effekter benevnt med minus er uttak fra batteriet

Bortfall av forsyningsspenningen ble utført ved å koble ut 11 kV bryteren foran nettransformatoren. Det er ikke testet hvordan batterisystemet reagerer ved en kortslutning på en 11 kV forsyningskabel, fram til Skagerak Arena, med etterfølgende utfall av forsyningskursen. En slik test er problematisk å utføre da dette vil skape utfall for flere kunder og en "dyp" kortvarig underspenning for store deler av Skien sentrum. En "dyp" kortvarig underspenning vil medføre funksjonssvikt for noe utstyr.



4 Evaluering av måleresultater

I dette kapittelet foretas en evaluering av måleresultatene etter parameterne beskrevet i Forskrift om Leveringskvalitet (FoL). En mer detaljert forklaring av selve parameterne og grenseverdiene kan finnes i NVEs veileder for FoL.¹

4.1 Langsomme variasjoner i RMS-spenning

Langsomme variasjoner i RMS-spenning måles som ett minutts gjennomsnitt. Hurtigere endringer kommenteres i senere kapitler.

FoL har kun krav til langsomme spenningsvariasjoner i lavspenningsnettet, hvor kravet er at variasjonen skal være innenfor ± 10 % av nominell spenning. For høyere spenningsnivå er det ingen krav, men dette kan være regulert i tilknytningsavtaler.²

En kort oppsummering av resultatene for langsomme variasjoner i RMS-spenningen for måleperioden:

- Tilfredsstiller FoL
- Kundene vil ikke oppfatte variasjoner i lysutbytte grunnet forandringer i 1 min RMS-verdier
- Variasjonene i RMS spenningene skal ikke medføre funksjonssvikt for elektriske apparater
- Når øydrift er etablert holder spenningen seg meget stabil.

I perioden før kl. 1500 lå spenningen (1 minutt gjennomsnitt) stabilt rundt 239 V. Utkobling av batteriet gav en spenningsheving på ca. 2V. Innkobling av stadionlyset gav en reduksjon i spenningen på ca. 2V. Disse spenningsendringene er som forventet ved lastvariasjoner.



Figur 2: Langsomme variasjoner i spenningen ved teststeg 2 til 7, referansemåling.

¹ <u>http://publikasjoner.nve.no/veileder/2018/veileder2018</u>07.pdf

² Den europeiske spenningskvalitetsnormen som FoL er basert på, EN 50160, har tilsvarende krav for høyere spenningsnivå. Kravene i denne er imidlertid oppgitt som 10 minutts gjennomsnitt, og gjelder 95 % av tiden.



Ikke planlagt overgang mellom nettdrift og øydrift.

Ved overgang mellom nettdrift og øydrift, teststeg 9-10 og 14-15, er det spenningsvariasjoner på 3 til 7 V (1 minutt gjennomsnitt for fasespenningene) avhengig av hvilken fasespenning som ble avlest. Se figur 3. Disse spenningsvariasjonene er å forvente ved overgang mellom nettdrift til øydrift og tilbake til nettdrift. Det antas at forsyningsspenningen ut fra omformerne til batteriet er stilt inn på 235 V. Det forventes at spenningen ved nettdrift på vinterstid ligger rundt 235 V, så innstilling av spenningsnivået på batteriet ved øydrift virker fornuftig.



I figur 3 er det valgt å vise både 230V og 400V spenning. Variasjonene i spenningene sammenfaller.

Figur 3: Langsomme variasjoner i spenningen ved teststeg 8 til 16, ikke planlagt overgang. Både 230V og 400 V spenningene vises.



Planlagt overgang mellom nettdrift og øydrift.

Ved overgang mellom nettdrift og øydrift, teststeg 18-19 og 23-24, synker spenningen 3 til 7V avhengig av hvilken fasespenning som ble avlest.

Under øydrift holder spenningen seg meget stabilt rundt 234V med små variasjoner avhengig av lasten. Det eneste som er å bemerke er øket spenningsusymmetri under øydrift. Dette blir analysert under punktet spenningsusymmetri.



Figur 4: Langsomme variasjoner i spenningen ved teststeg 17 til 25, planlagt overgang.



Under øydrift holder RMS spenningen (1 minutt gjennomsnitt) ut fra omformerne (målt på 400 V i batterikiosken) seg konstant på ca. 235V uavhengig av om stadionlyset blir slått på eller av. Eksempel, teststeg 10 ca. kl. 2013. Spenningen i batterikiosken holdes nesten konstant på 235V mens nettstasjonen får 2V lavere spenning ved dette teststeget grunnet spenningsfall i mellomtrafo og 100 m kabel. Dette er små variasjoner og uten praktisk betydning, men det beskriver hvor gode omformerne er til å holde spenningen konstant ved lastpåslag.



Figur 5: RMS spenning (1 minutt gjennomsnitt) målt på 400V i batterikiosken ved overgang til øydrift kl 2000 (teststeg 9) og innkobling av stadionlys kl 2010-2013 (teststeg 10)



4.2 Kortvarige over- og underspenninger og spenningssprang

Kortvarige overspenninger omfatter alle økninger av spenningen som går over 110 % av nominell spenning, med en varighet på 10 ms til 60 s. Tilsvarende er kortvarige underspenninger (også kalt spenningsdipp) spenninger mellom 5-90 % av nominell spenning med samme definert varighet. Spenninger under 5 % er definert som avbrudd.

Spenningssprang er hurtige endringer av spenningen innenfor grensen på ± 10 % av nominell spenning. Endringene har hurtigere variasjon enn 0,5 % av nominell spenning per sekund (For 230 V blir dette 1,15 V/s), og total endring større enn 3 % for stasjonære endringer og 5 % for midlertidige endringer. Spenningssprang påvirker (normalt) ikke elektrisk utstyr, men vil kunne vises som blunk i belysning.

En kort oppsummering av resultatene for kortvarige over- og underspenninger og spenningssprang for måleperioden:

- Tilfredsstiller FoL
- Kundene vil oppfatte variasjoner i lysutbytte ved spenningssprangene
- Spenningssprangene skal ikke medføre funksjonssvikt for elektriske apparater
- Det er ikke observert kortvarige over- eller underspenninger i perioden.



Kortvarige over- og underspenninger

Etter PQAs mening er det ikke målt reelle kortvarige over- og underspenninger i måleperioden. Klokken 2212 viser beregningene av RMS (figur 6) en spenning på 263V, noe som PQA mener er feil basert på sinusverdiene som vises nederst i figur 6. Sinusverdiene forutsettes målt riktig. Årsaken til feilberegningene er beskrevet i Vedlegg A.

RMS spenningen til V2N (grønn kurve) viser en spenningsstigning fra 232V til 263V (øverste kurven i figur 6), en differanse på 31V. Ved å se på toppverdien til sinuskurven V2N (nederste kurve i figur 6) har denne en spenningsstigning fra 325V (toppverdi) til 343V (toppverdi), en differanse på 18V (toppverdi). 18V (toppverdi) ÷ 1,4141 gir en tilnærmet RMS spenning på 13V. Etter PQAs mening har ikke RMS spenningen på dette klokkeslettet vært over 245-250V for V2N.



Figur 6: Kortvarig overspenning. Basert på sinuskurvene er RMS-verdien utregnet feil (teststeg 24)



Spenningssprang - 3 % for stasjonære endringer

Under testperioden er det målt to spenningssprang av denne kategorien. Begge oppstår under planlagt overgang fra nett- til øydrift. Når batteriet får kommando om å gå over i øydrift regulerer det opp spenningen ca. 3,3V i løpet av de første 50 sek for så å gå ned til innstilt spenningsnivå for øydrift når nettet er koblet fra. U_{stasjonær} er i overkant av 4%. Det presiseres av disse målingene refererer til nettstasjonen. Ved ikke planlagt overgang får en ikke denne spenningsstigningen i forkant og stasjonære endringer under 3 %. Men her får en midlertidige endringer som ligger rundt 5 %, så for kundene merkes variasjonene i lyset ved ikke planlagte overganger bedre.



Figur 7: Spenningssprang ved planlagt overgang til øydrift, teststeg 23. U_{stasjon}æ_rer i overkant av 4% Viser en spenningsstigning i forkant av overgangen.



Spenningssprang - 5 % for midlertidige endringer

Det er under testperioden observert flere spenningssprang av forskjellige størrelse rundt 5 % når det kobles over til øydrift eller stadionlyset blir slått på og av. Det er anledning til å ha inntil 24 slike hendelser i løpet av 24 timer. Slik batteriet er tenkt brukt vil dette ikke medføre brudd på FoL for denne parameteren.



Figur 8: Spenningssprang i perioden teststeg 8 til 25.





Figur 9: Spenningssprang ved ikke planlagt overgang til øydrift, teststeg 9. U_{maks} er i overkant av 8 %



Figur 10: Spenningssprang ved ikke planlagt overgang til øydrift, teststeg 14.





Figur 11: Spenningssprang ved overgang til nettdrift, teststeg 12.



Det er ingen ting som tyder på at batteriet innvirker på flimmerverdiene når det er tilkoblet nettet og lader. Under teststeg 3 kl. 1500 blir batteriet koblet fra nettet, i denne perioden er flimmerverdien (Pst) uforandret sett i forhold til timen mellom 1400 og 1500. Økningen i flimmerverdien mellom kl. 1520 og 1530 er forårsaket av teststeg 6, innkobling av batteriet.



Figur 12: Pst og Plt ved teststeg 2 til 25.



4.4 Overharmoniske spenninger og THD

Overharmoniske spenninger er variasjoner i spenningens kurveform utover grunnkomponenten på 50 Hz. Overharmoniske spenninger forårsakes av ulineære laster som tilkobles strømnettet, som likerettere, nye typer belysningsutstyr, forbrukselektronikk, osv. Overharmoniske spenninger beregnes som heltall ganget med 50 Hz, som vil si 100 Hz (2. harmoniske), 150 Hz (3. harmoniske), og videre oppover. Total virkning av alle harmoniske opp til 40. orden uttrykkes i *total harmonisk forvrengning (THD)*.

FoL stiller krav til både individuelle overharmoniske og THD. Alle krav stilles som 10 minutts gjennomsnitt. Kravet til THD i nett med nominell spenning lavere enn 35 kV er mindre enn 8 % målt som 10 minutts gjennomsnitt og mindre enn 5 % målt som ukesnitt. Kravene til de individuelle overharmoniske spenningene er vist i Tabell 3.

	Odde ha	Like h	Like harmoniske		
lkke mu	ltiplum av 3	Mult	tiplum av 3		
Orden h $U_n \le 35 \text{ kV}$		Orden h	U _n ≤35 kV	Orden h	$U_n \leq 35 \text{ kV}$
5	6,0 %	3	5,0 %	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15, 21	0,5 %	6	0,5 %
13	3,0 %	>9	0,5 %	> 6	0,5 %
17	2,0 %				
19, 23	1,5 %				
25	1,5 %				
> 25	1,0 %				

Tabell 3: Krav til individuelle overharmoniske ved nominell spenning til og med 35 kV, og mellom 35 kV og til og med 245 kV.

En kort oppsummering av resultatene for overharmoniske spenninger og THD:

- Tilfredsstiller FoL for THD
- Tilfredsstiller FoL for de enkeltharmoniske
- Det er ikke målt overharmoniske spenninger over 2,5 kHz (50. overharmoniske)
- Overharmoniske spenninger som er målt i nettstasjonen medføre ikke funksjonssvikt for elektriske apparater.
- Antagelig genererer stadionlyset høye 5th harmoniske strømmer og spenninger. Ved stadionlyset er verdiene for den den 5th harmoniske større enn det som er målt i nettstasjonen.

Spenningen i målepunktet tilfredsstiller kravene i FoL både for THD og de enkeltharmoniske i testperioden. Men det oppstår en del 5th harmoniske ved enkelte tilfeller. Dette blir beskrevet nedenfor. For de andre enkeltharmoniske er det mindre forskjell mellom de forskjellige teststegene. Når THD øker markant er det den 5th harmoniske som stort sett står for hele økningen.





Figur 13: Overharmoniske THD, ved teststeg 2 til 25.



Figur 14: Spektrumanalyse under teststeg 2, nettdrift + batteri tilkoblet. Ca. kl. 1457.



4.3 Flimmerintensitet

Flimmer er synlige endringer i utstrålning (luminans) fra belysningsutstyr, som oppleves som irriterende. Flimmer måles normalt som Pst (short term flicker) og Plt (long term flicker), som måles over henholdsvis 10 minutter og 2 timer. En Pst-verdi lik 1, tilsvarer et flimmernivå som 50 % av befolkningen finner irriterende. Kravet til flimmer i FoL avhenger av spenningsnivå, og er oppsummert i Tabell 2.

Flimmerverdier påvirket av spesifikke hendelser i nettet, som jordslutninger, transformatorinnkoblinger eller gjeninnkoblinger etter feil, tas ikke hensyn til ved kontroll av overholdelse.

Krav til flimmerverdier	Pst	Plt
$U_n \leq 35 \text{ kV}$	Pst < 1,2 (95 % av tiden)	Plt < 1,0 (100 % av tiden)
U _n > 35 kV	Pst < 1,0 (95 % av tiden)	Plt < 0,8 (100 % av tiden)

Tabell 2: Krav til flimmer i Forskrift om Leveringskvalitet

En kort oppsummering av resultatene for flimmer for måleperioden:

- Tilfredsstiller FoL
- Kundene vil oppfatte variasjoner i lysutbytte ved spenningssprangene, men disse variasjonene resulterer ikke i flimmerverdier som overskrider FoL
- Flimmerverdiene medføre ikke funksjonssvikt for elektriske apparater

Målingene viser en økning i flimmerverdien (Pst) under testperioden. Årsaken til denne økningen er spenningssprangenes innvirkning på flimmeren. Ved teststeg 19 blir stadionlyset slått på under øydrift, dette gir en flimmerverdi (Pst) rundt 0,9. Mellom teststeg 14 og 15 er det en periode med øydrift og uten spenningssprang. Flimmerverien (Pst) i denne perioden er 0,2, dette er samme verdi som under normal nettdrift.

Flimmerverdien (Pst) mellom 2200 og 2210 er høy på grunn av spenningsspranget kl. 2212 som etter PQAs mening er feilmålt (omtalt under kortvarige overspenninger og underspenninger).





Figur 15: Spektrumanalyse under teststeg 18, øydrift uten stadionlys. Ca. kl. 2127.



Figur 16: Spektrumanalyse under teststeg 19, øydrift med stadion lys. Ca. kl. 2140.





Figur 17: Spektrumanalyse under teststeg 22, nettdrift + batteri tilkoblet + lys. Ca. kl. 2150.

I figurene 18 til og med 20 nedenfor vises THD og den 5th harmoniske ved de tre hovedtestene:

- normaldrift
- ikke planlagt overgang
- planlagt overgang

Det er ved spesielt to nettkoblinger det oppstår forsterkning av de 5th harmoniske:

- Nettdrift med stadionlys påslått. Teststeg: 4, 12 og 21
- Øydrift med stadionlys avslått. Teststeg: 9, 15, 18 og 24





Figur 18: Overharmoniske THD og 5th ved referansemåling, teststeg 2 til 7.





Figur 19: Overharmoniske THD og 5th ved ikke planlagt overgang, teststeg 8 til 16.





Figur 20: Overharmoniske THD og 5th ved planlagt overgang, teststeg 17 til 25.



Som nevnt ovenfor stiger den 5th harmoniske spenningen ved nettdrift og når stadionlyset er på. Dette er sammenfallende med at den 5th harmoniske strømmen øker på sekundærsiden av nettransformatoren. I teststeg 21 er den 5th harmoniske strømmen målt til ca. 90 A, dette er ca. 9 % av den totale belastningen. Denne overharmoniske strømmen er ikke så stor at den skal ha noen betydning for Skagerak Nett eller for omformere/batteri. Men det er mulig dette kan ha betydning for utstyr hos den forbrukeren som genererer disse overharmoniske.

Årsaken til den 5th overharmoniske ved øydrift uten stadionlys er ukjent. De målingene som er foretatt er ikke tilstrekkelig til å bestemme hvor disse overharmoniske oppstår.



Figur 21: 5th overharmonisk strøm og total RMS strøm over nettransformatoren, teststeg 21.



Nedenfor beskrives i hvilke tilfeller det oppstår en mild resonans for den 5th harmoniske. Det er tatt et ca. gjennomsnitt for de tre fasene.

Tids-	Test-	Net	tdrift	Beskrivelse	Harmonisk		Merknad	
punkt	steg	/øy	/drift					
		Nett	Øy-		THD 5th			
			drift					
1545	2	Х		Normal drift	0,6	0,5		
				Referansemålinger		0,4		
				batteri frakoblet				
1500	3	Х		Batteriet koblet fra nettet	0,8	0,4		
1511 -	4	X		Stadion lys på ca 340 kVA	1,3	1,2	Usymmetri mellom fasene	
1514								
1525	6	Х		Batteri koblet inn	1,1	1,1	Usymmetri mellom fasene	
1535	7	Х		Stadion lys av ca 360 kVA	0,6	0,5		
				Ikke planlagt overgang				
1950	8	Х		Normal drift uten lys	0,8	0,7		
2000	9		Х	Overgang til øydrift	1,9	1,7		
2010	10		X	Stadion lys på ca 340 kVA	0,9	0,5	De overharmoniske synker	
2013							ved øydrift + lys	
2026	12	X		Overgang til nettdrift	1,6-	1,6-	De overharmoniske stiger	
				Lading av batteri + lys	2,2	2,1	ved nettdrift + lys.	
							Usymmetri mellom fasene	
2045	14		X	Overgang til øydrift	1,1	0,5	De overharmoniske synker	
							ved øydrift + lys	
2101	15		X	Stadion lys av ca 340 kVA	2,1	1,9	De overharmoniske stiger	
							ved øydrift uten lys	
2104	16	Х		Overgang til nettdrift	1,0	0,9		
				Planlagt overgang				
2120	17	Х		Normal drift uten lys	1,0	0,9		
2121	18		X	Overgang til øydrift	2,0	1,8	De overharmoniske stiger	
							ved øydrift uten lys	
2131 -	19		X	Stadion lys på ca 340 kVA	0,9 0,5		De overharmoniske synker	
2134							ved øydrift + lys	
2146	21	X		Overgang til nettdrift	1,7-	1,6-	De overharmoniske stiger	
				Normal drift med lys	2,3	2,2	ved nettdrift + lys.	
							Usymmetri mellom fasene	
2201	23		X	Overgang til øydrift	0,7-	0,6	De overharmoniske synker	
					1,7		ved øydrift + lys. THD har	
ļ							usymmetri mellom fasene	
2212	24		X	Stadion lys av ca 350 kVA	2,8-2,5-		De overharmoniske stiger	
					2,0	1,9	ved øydrift uten lys	
							Usymmetri mellom fasene	
2219	25	Х		Overgang til nettdrift				

Tabell 4: Oversikt over hvordan THD og den 5th harmoniske fordeler seg ved de forskjellige teststegene.



4.5 Spenningsusymmetri

Spenningsusymmetri (også kalt spenningsubalanse eller bare ubalanse) er skjevhet i linjespenningene, som typisk forårsakes av ujevn belastning, manglende revolvering av luftlinjer, osv.

Spenningsusymmetri skal i henhold til forskrift om leveringskvalitet være under 2 % til enhver tid, målt som et 10-minutts gjennomsnitt i tilknytningspunktet.

En kort oppsummering av resultatene for spenningsusymmetri for måleperioden:

- Tilfredsstiller FoL
- Den målte spenningsusymmetrien medfører ikke funksjonssvikt for elektriske apparater

Trend: Negative Sequence Unbalance (U2/U1) V123 Voltage (Auto) Average, Nettstasjon 0,5 % 0,45 % 0,4 % 0,35 % 0,3 % 0,25 % 0,2 % 0,15 % 0,1 % 10.09 20:00 20:20 20:40 21:00 21:20 21:40 22:00 22:20 22:40 - Negative Sequence Unbalance (U2/U1) V123 Average

I periodene med øydrift dobles spenningsusymmetrien.

Figur 22: Spenningsusymmetri ved teststeg 8 til 25. Spenningsusymmetrien stiger under øydrift.





Avvik i fasevinklene under øydrift øker, se figur 23. Tilsvarende avvik er observert i synkrone nett og anses som ubetydelig.

Figur 23: Avvik i fasevinklene øker under øydrift.



4.6 Transiente overspenninger

Overspenninger av svært kortvarig natur faller under kategorien transiente overspenninger. Dette er overspenninger med varighet innenfor en halvperiode (opptil 10 ms), og forårsakes typisk av lynoverspenninger, koblingstransienter eller innkobling av kondensatorbatterier. Det stilles ikke krav til transiente overspenninger i forskrift om leveringskvalitet, annet enn at NVE kan stille krav.

En kort oppsummering av resultatene for transiente overspenninger for måleperioden:

- Ingen direkte krav i FoL
- Den målte transiente overspenningene er så små og med kort varighet at de ikke medføre funksjonssvikt for elektriske apparater

Det er funnet noen transiente overspenninger under teststeg 4 når stadionlyset blir slått på under nettdrift og batteriet frakoblet. Den høyeste transiente er målt til ca. 368V, dette er en så ubetydelig overspenning at den kan betraktes som ufarlig. Når batteriet er tilkoblet er det også målt transiente, men disse er under grensen på 230 +/- 10%. Det er mulig kablene til batteriet og skilletransformatoren er med på dempe de transiente. Det må presiseres at de transiente er høyere nære den lasten som blir innkoblet (stadionlyset).





Figur 24: Den øverste og nederste delen av sinuskurvene viser transiente overspenninger. Nederste kurve viser RMS strøm ved innslag av totalt 4 trinn på stadionlys. Teststeg 4.





Figur 25: Transient overspenning ved teststeg 4.



4.7 Frekvens

I henhold til nordisk systemdriftsavtale skal frekvensen i det nordiske kraftsystemet normalt holdes innenfor 50 ± 0.1 Hz.

Systemansvarlig skal sørge for at frekvensen holdes innenfor 50 Hz \pm 2 % (49 – 51 Hz) i separatområder, det vil si i områder uten tilknytning til tilgrensende overføringsnett. Bruk av begrepet «normalt» innebærer at kravet ikke gjelder i overgangsfasen, fra tilknytning til det synkrone nordiske overføringsnettet til en tilstand uten tilknytning til tilgrensende overføringsnett, inntil frekvensen igjen er stabilisert. I stabil separat drift skal frekvensen holdes innenfor de angitte grenseverdiene.

En kort oppsummering av resultatene for frekvensen for måleperioden:

- Tilfredsstiller FoL med god margin.
- De målte frekvensvariasjonene er så små at de ikke medfører funksjonssvikt for elektriske apparater.
- Når øydriften har stabilisert seg er frekvensen bedre enn det nordiske kraftnettet.





Figur 26: Frekvensen, gjennomsnittsverdi og min/maks verdi for alle teststegene.



Ved overgang fra nettdrift til øydrift (separatområde), eller ved store lastvariasjoner (stadionlys) under øydrift oppstår det kortvarige endringer i frekvensen. Disse endringene er små og skal ikke ha noen innvirkning på tilkoblet utstyr hos kundene. Når øydriften har stabilisert seg etter ca. 20 sek holder den 50 Hz meget godt, faktisk bedre enn frekvensen i det nordiske kraftnettet.



Figur 27: Frekvensen. Average verdi for teststeg 14, overgang til øydrift. FoL aksepterer variasjoner i frekvensen inntil det oppnås stabil drift.



5 Konklusjon

Denne rapporten beskriver hvordan spenningskvaliteten er når energilageret til Skagerak EnergiLab blir brukt som UPS for å forsyne stadionlyset på Skagerak Arena og de andre forbrukerne under samme nettstasjon. Det er utført flere tester med overgang fra nettdrift til øydrift og tilbake til nettdrift ved forskjellige lastsituasjoner.

Det er i testperioden ikke funnet brudd på Forskrift om Leveringskvalitet. Overgangene mellom nettdrift til øydrift og tilbake til nettdrift medfører små spenningsvariasjoner i spenningen i form av spenningssprang. Disse spenningssprangene skal ikke medføre funksjonssvikt for tilkoblede apparater, men enkelte av dem vil være synlig i lysutbytte fra lyspærer.

Frekvensen er meget stabil under øydrift, faktisk mer stabil enn det nordiske kraftnettet. Som forventet har frekvensen behov for å svinge seg inn i det øyeblikket øydrift etableres. Disse frekvensvariasjonen er små og bør ikke medføre problemer for tilkoblede forbruksutstyr.

Ved etablert øydrift er spenningen meget stabil ut fra omformerne. Selv ved lastpåslag blir tilnærmet samme spenningsnivå levert. Men det observeres noe større spenningsusymmetri.

Det er i testperioden observert en del variasjon i de overharmoniske, THD. Denne variasjonen kommer nesten utelukkende fra den 5th harmoniske. Det er ved to nettkonfigurasjoner fenomenet oppstår, ved øydrift med stadionlys avslått og ved nettdrift med stadionlys påslått. Det er mye som tyder på at dette skyldes fenomener inne hos kundene. Denne rapporten utreder ikke dette nærmere, men antyder at stadionlyset trekker en del usymmetrisk og overharmoniske strøm når det er tilkoblet nettet.

Bortfall av forsyningsspenningen ble utført ved å koble ut 11 kV bryteren foran nettransformatoren. Det er ikke testet hvordan batterisystemet reagerer ved en kortslutning på en 11 kV forsyningskabel, fram til Skagerak Arena, med etterfølgende utfall av forsyningskursen. En slik test er problematisk å utføre da dette vil skape utfall for flere kunder og en "dyp" kortvarig underspenning for store deler av Skien sentrum. Når en slik kortslutning oppstår må denne hendelsen analyseres ved hjelp av de spenningskvalitetsinstrumentene som står fast tilkoblet i Skagerak EnergiLab.



Vedlegg A: Målefeil i RMS-spenning forårsaket av hurtig frekvensvariasjon

En målefeil som er observert flere ganger med Elspec måleinstrumenter, er feilmåling av RMSspenning ved store frekvensvariasjoner.

For å beregne RMS-spenning tas det et integral over spenningens kurveform. For å vite hvilke grenser en skal integrere over, er en avhengig av å vite frekvensen. Om en måler frekvens feil, blir dermed også RMS-beregningene feil.

Et argument for at det er dette som skjer kan sees av figuren under. Her ser vi RMS-spenning, frekvens (gjennomsnitt over 10 cycles / 200 ms), og momentanverdier for frekvensen per fase (10 ms verdier). I figuren oppstår det en forstyrrelse ca. ved 22:12:1.600. Frekvensen øker da betydelig, opp til 51,2 Hz. Men av ukjent grunn påvirker ikke dette 200 ms målingene av frekvens før ca. 400 ms senere. I perioden hvor det er et avvik mellom reell frekvens og frekvens målt som 200 ms gjennomsnitt, er RMS-spenningene sterkt varierende. Som vist i rapporten er det heller ingen sammenheng mellom amplitude på spenningens kurveform, og de målte RMS-verdiene.

PQA har observert denne målefeilen både i andre mikronett, men også i nett uten synkron tilkobling (til eksempel øyer, skip, osv.). Feilen er lett gjenkjennelig på variasjonen i RMS-spenningen (legg merke til neste sinus formet variasjon under perioden med feilmåling), og at verdiene er en del høyere enn hva en kanskje ville forventet. Ved tvil bør en derfor sammenligne RMS-spenning med spenningens kurveform.



FME CINELDI

Host: SINTEF Energy Research in cooperation with NTNU Visiting address: Sem Sælands vei 11, N-7034 Trondheim Post address: P.O.Box 4761 Torgarden, N-7465 Trondheim Telephone: +47 454 56 000* E-mail: cineldi@sintef.no Enterprise/VAT No: NO 939 350 675 MVA http://www.cineldi.no

