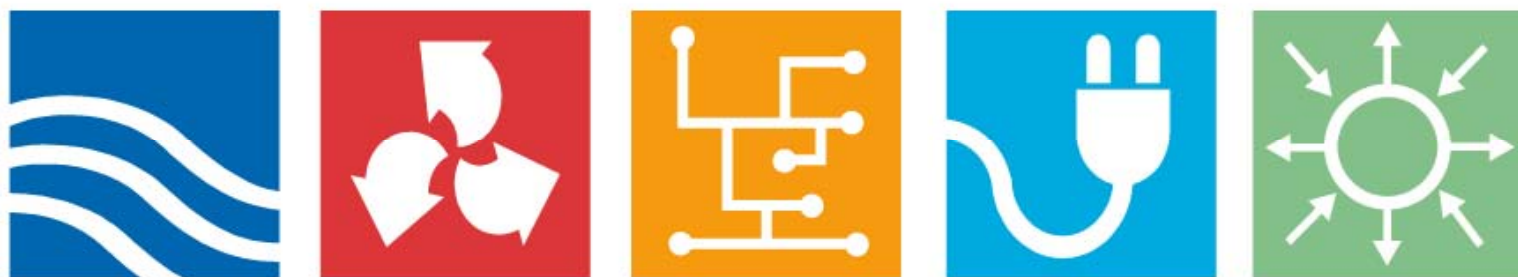


Förstudie: On-line PD-mätningar på mellan- och högspänningskablar

Elforsk rapport 07:02



Jens Zoëga Hansen DEFU, Sverre Hvidsten SINTEF Energiforskning AS,
Ulf Grape Vattenfall Research & Development AB

Januari 2007

ELFORSK

Förstudie: On-line PD-mätningar på mellan- och högspänningskablar

Elforsk rapport 07:02

Förord

Förstudieprojektet initierades av DEFU vid ett av det nordiska kabelnätverket NORKAB's möten 2006. Det beslutades att genomföra förstudien. Sintef och DEFU hade egna medel till förfogande. Den svenska delen av förstudien genomfördes med förstudiemedel som varje år tas in från företagen som är representerade i Elforsks styrelse.

Förstudieprojektet föreslår ett huvudprojekt på tre år, där tre parallella delprojekt genomförs i DEFUs, SINTEFs och Elforsks regi. Styrgrupp för projektet föreslås den existerande nordiska nätverksgruppen NORKAB. Nationella referensgrupper kompletterar projektets organisation.

Huvudprojektet startas under 2007, enligt plan. En offert sänds ut till de svenska elnätsföretagen, där denna rapport utgör en bilaga

Sven Jansson

Programområde Överföring & Distribution

Elforsk AB

Sammanfattning

Denne rapport beskriver det arbejde, som er udført i forbindelse med forprojektet, "*On-line PD målinger på mellem- og højspændingskabler*", som er udført i samarbejde mellem Sintef i Norge, Elforsk i Sverige og DEFU i Danmark.

Rapporten giver en beskrivelse af on-line PD målinger på kabler herunder hvilke type målinger der kan tænkes udført, overvejelser der skal gøres mht. valg af målesystemer, installation af udstyr og valg af målepunkter i elforsyningsnettet. Der gives en beskrivelse af mulige kommercielt tilgængelige målesystemer, som kan anvendes til on-line PD målinger på kabler.

Til sidst i rapporten præsenteres et forslag til en projektplan for et on-line PD måleprojekt i de enkle lande samt hvilke synergieffekter, som opnås ved at køre projekterne parallelt i de enkelte lande, som et fælles nordisk projekt.

I Danmark er interessen primært koncentreret omkring 10 – 20 kV 3-leder olie-papirisolerede kabler med fælles skærm. I Norge er der interesse for at undersøge lange søkabler både på mellem- og højspændingsniveau. I Sverige er interessen koncentreret om specielt on-line PD målinger på PEX kabler og som i Norge både på mellem- og højspændingsniveau.

Følgende aktiviteter i de enkelte lande tænkes gennemført i et on-line PD måle projekt:

- Norge:
Prosjektet er planlagt å deles inn i hovedsaklig to hovedaktiviteter 1) laboratoriealdring og 2) feltmåling (hovedsaklig) lange sjøkabler.

Aldring av masse/papirkabel i laboratoriet der fokus vil være å detektere tidsforløp for typiske feiltyper; forskyvning av papir slik at det dannes hulform enten i kabel eller skjørt, uttørking av olje og vanninntrengning. Kabler er allerede installert i laboratoriet. Her er det planlagt å gjøre sammenlignende målinger med konvensjonelt utstyr samt lokaliseringsutstyr (tilpasset korte lengder i laboratoriet).

Feltmålinger gjennomføres på noen utvalgte kabler i samarbeid med enkelte everk. Det er ønskelig å utprøve alle de tre teknikkenen som er valgt ut i de tre landene for sammenligning. Kabeltypen kan enten være PEX-kabel eller masse/papirkabel.

- Sverige:

Undersök möjligheter till övervakning och diagnos på mellanspänningskabel (12 och 24 kV) med ett system för mätning av PD inkopplat On-line samt erhålla erfarenhet av PD-nivåer i kabelisolation och tillbehör med målsättning att kunna relatera PD-nivåer till kabelns kondition. Provade kabelsystem skall vara av typen 3-ledare med gemensam skärm. Såväl rena pappers-oljekablar, blandade pappers-olje- och PEX-kablar som rena PEX-kablar skall ingå i studien. Dessutom undersöks möjligheten till övervakning av PEX-isolerad högspänningskabel (1-ledare) med det aktuella mätsystemet.

- Danmark:

Undersøge målemetoder og målesystemers anvendelse til on-line PD målinger på 3-leder olie-papirisoleret kabler med fælles skærm på 10 – 20 kV niveau.

Opbygning af et erfaringsgrundlag for, hvad der er acceptabelt PD niveau i kabel- eller mufisolationen og hvad der ikke er acceptabelt med henblik på tilstandsvurdering af kabler.

Opbygge erfaring med at tolke PD måledata fra målinger på 3-leder kabler med fælles skærm.

Et fælles nordisk projekt tænkes kørt over 3 år med opstart i 2007.

Kort ordlista med översättning från danska och norska till svenska:

Anbefalning – Förslag

Elforsyning – Elförsörjning

Everk – Eldistributionsföretag

Erfaringsgrundlag – Erfarenhetsunderlag

Fejlhyppighet – Felfrekvens

Forskellige – Olika

Fælles – Gemensam

Mangel – Avsaknad, Brist

Muffer – Kabelavslutningar

Målemetoder – Mätmetoder

Måleudstyr – Mätutrustning

Rådighet - Förfogande

Skjøt – Kabelskarvning

Støj – Störning, brus

Størrelsen – Storleken

Tilstandsvurdering – Tillståndsbedömning

Uforstyrret – Ostört

Ældning – Åldring

Innehåll

1	Konklusion	1
2	Indledning	2
2.1	Motivation for igangsættelse af et on-line PD måle projekt i Danmark	2
2.2	Motivation för start av ett on-line PD mättningsprojekt i Sverige	3
2.3	Motivation for igangsættelse af et on-line PD måle projekt i Norge.....	3
2.4	On - line og off – line PD måling	4
2.5	Formål med et on-line PD måleprojekt.....	5
2.5.1	Aktiviteter i Danmark.....	5
2.5.2	Aktiviteter i Norge	5
2.5.3	Aktiviteter i Sverige	6
2.5.4	Fællesnordisk projekt.....	6
3	PD måling på kabler og kabeludrustning	7
3.1	PD signal og grundlag for den elektriske PD detektering	7
3.1.1	PD i olie-papirisoleret kabler og udrustning	7
3.1.2	Udbredelse af PD signaler i kabler.....	7
3.1.3	Kortlægning af PD aktivitet i et kabel og kabeludrustning	8
3.2	Støj.....	8
4	On-line PD målinger på kabler og kabeludstyr	10
4.1	Udvælgelse af kabelstrækning	10
4.2	PD målinger.....	10
4.2.1	Fastlæggelse af PD aktivitet og PD niveau i kabler.....	10
4.2.2	Kortlægning af PD	11
4.2.3	PD overvågning	11
4.2.4	Off-line måling	12
4.3	Rapportering	12
4.4	Sammenfatning af måleserie.....	13
5	Installation af udstyr	14
5.1	Valg af målepunkt	14
5.1.1	Mellemspændingsniveau.....	14
5.1.2	Højspændingsniveau.....	15
5.2	Valg af sensorer	15
5.2.1	Kapacitive sensorer	15
5.2.2	Induktive sensorer	15
5.3	Installation af sensorer.....	16
6	Valg af on-line PD målesystemer til kabler	18
6.1	Målesystem fra IPEC Engineering Inc.....	18
6.1.1	Erfaringer opnået med OSM-Longshot PD systemet og PD mapping	20
6.1.2	Vurdering af IPEC Engineerings målesystem i forhold til on – line måleprogram på kabler	21
6.1.3	Pris, leveringstid og uddannelse	22
6.2	Målesystem udviklet af KEMA	22
6.3	Målesystem udviklet af Power Diagnostix Systems (PDS) GmbH.....	23
7	Forslag til projektplan for on-line måleprogram	25
7.1	Gennemførelse af måleprogram i Danmark.....	25
7.1.1	Antal af kabler i måleprogram	25
7.1.2	Valg af kabler til måleprogram	25

7.1.3	Målinger	26
7.1.4	Resultater	27
7.1.5	Organisering.....	27
7.1.6	Projektkostnader.....	28
7.2	Genomförande av mätprogram i Sverige	28
7.3	Gennemførelse af måleprogram i Norge.....	29
7.3.1	Antall kabler i måleprogrammet.....	29
7.3.2	Valg av kabler til måleprogrammet.	29
7.3.3	Målinger	29
7.3.4	Organisering.....	29
8	Referenceliste	30

1 Konklusion

Et måleprojekt med det formål at undersøge muligheden for at anvende on-line partiel udladnings (PD) målinger til tilstandsvurdering af mellemspændings kabler (12 og 24 kV) vurderes på baggrund af nærværende rapport at være relevant at få sat i gang. Udviklingen inden for PD måleteknik på kabler i de senere år er blevet orienteret mod on-line målinger og vurderes at være et lovende redskab for elselskaber til tilstandsvurdering af kabler, da der opnås nogle fordele som ikke haves ved off-line PD målinger på kabler. Her kan nævnes, at kablet kan testes under driftsforhold, testen påvirker kun elforsyningen mens udstyr installeres, separat spændingsforsyning samme med målesystem er ikke nødvendigt, m.m.

Et måleprojekt bør undersøge forskellige målesystemer og metoder til on-line PD målinger på kabler med henblik på at vurdere systemernes anvendelighed til tilstandsvurdering af kabler. Ved at køre måleprojektet som et fælles nordisk projekt mellem Elforsk i Sverige, Sintef i Norge og DEFU i Danmark vil denne del af et måleprojekt bedst kunne opnås, da der kan undersøges forskellige målesystemer og udveksles erfaringer opnået med systemer landene i mellem. Systemerne kan også verificeres og sammenlignes med hinanden, da det bliver muligt at teste systemerne på de samme kabler. I denne forbindelse vil det være en fordel at teste systemerne på et kabel med en kunstig skabt defekt. Dette sikrer repeterbar målingerne og gør det enklere at sammenligne de enkelte målesystemer.

Da der på nuværende tidspunkt ikke eksisterer den store erfaring mht. on-line PD målinger og tolkning af PD måledata på kabler i de tre lande bør et af formålene med et on-line PD måleprojekt være at få opbygget erfaringsregler for PD i kabler, som på sigt kan anvendes af elselskaber til at kategorisere kablerne mht. deres isolationstilstand. Et fælles nordisk projekt omkring on-line PD målinger på kabler vurderes også i dette tilfælde at bidrage betragtelig til resultatet af et måleprojekt, da det giver flere muligheder med hensyn til parameter som kan undersøges.

On-line PD målinger på kabler med mulighed for at lokalisere svage punkter er et relativt nyt område med hensyn til kommercielt tilgængelige målesystemer. I rapporten præsenteres tre lovende systemer, som også kommercielt er tilgængelige. Elforsk i Sverige har set på et system fra KEMA i Holland, Sintef i Norge har set på et system fra Power Diagnostix i Tyskland og DEFU i Danmark har set på et system fra IPEC Engineering i England. Ud over at der er tale om udstyr fra tre forskellige firmaer er der også tale om tre forskellige måleprincipper. Det er derfor ikke kun forskellige målesystemer men også forskellige måleprincipper, som kan undersøges i et fælles nordisk projekt, hvis det f.eks. ender med at være de tre ovennævnte systemer, som anskaffes.

2 Indledning

Det er bredt anerkendt, at måling af partielle udladninger (PD) er en af de mest effektive værktøjer til at vurdere elektriske isolationssystemers tilstand, da PD i isolationen ofte/normalt går forud for selve fejlen på elforsyningskomponenten. Øget PD aktivitet kan derfor betragtes som et tegn på en forringet isolationstilstand og en forstående fejl. Bliver PD detekteringen foretaget inden en elforsyningskomponent fejler, kan fejlmekanismen, som generer PD repareres eller komponenten kan vælges at blive udskiftet.

Gennem de sidste mange år er der opbygget stor erfaring med diagnosticering af isolationssystemet på baggrund af PD målinger. Ved at se på parametre såsom tænd- og slukkespænding for PD, amplitude, polaritet, pulsantal, pulsernes fase-mæssige placering i forhold til 50 Hz signalet m.m. er det muligt ud fra et kendskab til ældnings- og nedbrydnings mekanismer i isolationsmaterialer at sige noget omkring alvorligheden af PD aktiviteten og typen af de defekter, som generer PD. F.eks. om der er tale om indre udladninger i lufthuller i isolationsmaterialet, koronaudladninger omkring luft- og gasisolerede anlæg, udladninger langs isolationsoverflader eller i grænsefladen mellem forskellige isolationsmaterialer (*eng. tracking*) m.m.. Efterhånden er metoderne til at analysere PD måledata forbedret betydeligt. På kabelområdet betyder det, at defekter, som generer PD på kabelstrækninger på op til nogle km kan lokaliseres relativt præcist inden for nogle få meter.

I et fælles nordisk on-line PD måleprojekt vil et af formålene være at opstille kriterier for om et kabel skal udskiftes eller ej på baggrund af PD måledata. Sådanne kriterier, som f.eks. kan baseres på størrelsen af PD, antal af PD pr. tidsenhed, faseplacering af PD, analyse af kurveform, trendanalyser, hvor før nævnte parameter følges som funktion af tiden, m.m. vil løbende skulle etableres efterhånden som målingerne i løbet af projektperioden udføres og verificeres ved f.eks. laboratorium test.

2.1 Motivation for igangsættelse af et on-line PD måleprojekt i Danmark

I Danmark er der i dag over 15.000,00 km olie-papirisolerede kabler installeret på 10 – 20 kV niveau (*kilde: Den landsdækkende afbruds- og fejlstatistik, EL-FAS 2004*), hvoraf en stor procentdel har været i drift i 40 – 50 år eller længere. Enkelte netselskaber har oplevet en tendens til stigende fejlfrekvenser på selve kablerne, dvs. isolationsfejl, som må forventes at stige markant i de kommende år.

Hidtil har udskiftningen af ældre kabler primært været baseret på alder. En sådan fremgangsmåde betyder imidlertid, at kablerne ikke udskiftes på baggrund af deres egentlige tilstand, hvorfor en del "raske" kabler, som uden problemer kunne være i drift i op til mange år fremover, må forventes at blive udskiftet på bekostning af kabler, som er i en ringere tilstand men yngre. Ressourcerne, som er til rådighed for netselskaberne, anvendes derfor ikke optimalt og en fornyelse af elnettet bliver dyrere end ved en udskiftning baseret på kablernes egentlige tilstand frem for alder. I forbindelse med

planlægningen af udskiftningen af de ældste kabler er der behov for et pålideligt værktøj, som kan hjælpe de enkelte netselskaber med at prioritere, hvilke kabler og kabelstrækninger, som ressourcerne i første omgang skal koncentreres om.

2.2 Motivation för start av ett on-line PD mätningssprojekt i Sverige

I Sverige har under senare år i huvudsak PEX-kablar förlagts, men åtskilliga pappers-oljekablar används fortfarande i mellanspänningsnätet. Då dessa kablar uppnår allt högre ålder kan ökad felfrekvens befaras och tillgång till goda diagnostiska metoder, helst On-line, är angelägen. Synen på kabeldiagnostik har i hög grad också påverkats av de stora problem som uppstått med PEX-kablar tillverkade fram till mitten av 1970-talet. Visserligen finns en bra diagnostisk metod för dessa (IDA), men bland annat genom att metoden innebär driftavbrott har i många fall kablar bytts utan diagnos, vilket i praktiken innebär en kapitalförstöring. PEX-kablar av senare datum är klart bättre, men i varje fall för 80-talskablar har ändå en åldringsprocess identifierats. Det är angeläget att ta fram en fungerande metod även för dessa kablar. Särskilt efter stormen Gudrun ställs höga krav på leveranssäkerhet i landsbygdsnät, vilket gjort att kabel ersätter luftledning i stor skala. Dessa nät är i allmänhet radiella, ett förhållande som ökar behovet av goda diagnostiska metoder samtidigt som det är än mer fördelaktigt om metoden är On-line.

Kabeldiagnos On-line kan genomföras antingen genom avsökning av kablar i nätet en efter en med mobil utrustning eller genom permanent uppkoppling. Det senare alternativet rekommenderas av vissa instrumenttillverkare eftersom det ger bättre möjlighet att upptäcka fel i tid, men permanent uppkoppling innebär en investeringskostnad som möjligen kan motiveras för ett mindre antal kablar på mellanspänningsnivå. Kablar för högre spänning kan dock i fler fall vara så viktiga att permanent installation kan motiveras. Det är därför intressant att undersöka möjligheten till en effektiv övervakning med On-line PD-mätning även på högspänningskablar.

2.3 Motivation for igangsættelse af et on-line PD måle projekt i Norge

Tilstandskontroll av massekabler er av stor interesse for enkelte everk i Norge da det eksisterer fortsatt betydelige lengder av denne kabeltypen. Lange sjøkabler vanlig langs kysten, og disse kablene er kritiske for sikker leveranse av energi (rene radiale nettverk).

For å kunne detektere tilstanden til slike kabler, er det nødvendig med en (eller flere) god tilstandskontrollmetode. Delutladninger vil alltid finnes i masse/papirkabler også i vanlig drift. Når det gjelder PEX kabler er slike utladninger ikke ønskelig da PEX degraderes hurtig når slike utladninger oppstår. Dette er også basert på erfaring fra drift.

Delutladninger kan variere med tiden og er svært avhengig av lokale forhold i isolasjonen. Arbeid ved SINTEF Energiforskning har vist at delutladninger i

PEX kabler (kabelutstyr) kan gjerne være intermitterende av natur. Det er også rapportert internasjonalt at massekabler har havarert i drift uten at det ble detektert noen delutladninger under tilstandskontroll av kablene (off-line metoder der målingene er gjennomført i relativt kort tid typisk noen timer). Det er derfor viktig å kunne detektere utladninger over tid uten å måtte koble ut nettet over lang tid som for eksempel er umulig når det gjelder sjøkabler. On-line metoder vil kunne i utgangspunktet egne seg godt for dette. For at metoden skal kunne være anvendbar må følsomhet samt diagnosekriterier utvikles. Det er dette som den norske delen av prosjektet vil fokusere på.

2.4 On - line og off – line PD måling

Metoder til at lokalisere PD aktivitet på en kabelstrækning har hidtil været baseret på off-line teknologi , dvs. at kablet under test tages ud af drift. Inden for de sidste par år er tendensen imidlertid gået mod at udvikle måleudstyr, som kan detektere og lokalisere PD på kabler i drift (on-line), da der herved opnås nogle fordele såsom:

Kablet bliver testet for PD under driftmæssige forhold, dvs. ved driftsspændingen, driftsfrekvensen og alle tre faser spændingssat. Off-line målinger foretages traditionelt ved at spændingssætte kablet med en 0,1Hz spænding eller en dæmpet sinusspænding med frekvenser op til nogle 100 Hz (OWS, oscillating wave system).

1. On-line målinger kan foretages kontinuert over en tidsperiode og dermed give et billede af, hvordan PD aktiviteten udvikler sig over tid, f.eks. et døgn eller en uge, hvilket er relevant, da PD aktivitet i kabelisolationen f.eks. påvirkes af kablets temperatur og dermed belastning [Ref. 1]. Trendanalyser, hvor PD aktiviteten følges over længere tid, er ligeledes vigtig, når alvorligheden af PD i et kabel skal vurderes. Målinger over længere tid kan vise sig at være nødvendig for at få en korrekt billede af kablets isolationstilstand.
2. On-line målinger kræver kun, at en kabelstrækning tages ud i kort tid i forbindelse med installation af sensorer. Ved off-line målinger skal kablet være udkoblet under hele testforløbet.

Punkt 1 og 2 er væsentlige set ud fra et teknisk synspunkt, da kabelisolationens tilstand bestemmes i forhold til det stress kablet er udsat for under normale driftsforhold. Punkt 3 er mere væsentlige ud fra et økonomisk og forsyningsikkerhedsmæssigt synspunkt, da målingerne foregår uden at påvirke elforsyningen væsentligt.

On-line PD målinger giver også nogle udfordringen i forhold til off-line målinger:

- 1) Støjniveauet er væsentligt højere ved en on-line måling, da støj kommende fra andre steder i elnettet er tilstede, hvilke sætter større krav til måleudstyrets evne til at skelne mellem støjsignaler og PD signaler fra kablet.
- 2) Ved kortlægning af PD på et kabel gøres der traditionelt ved off-line målinger brug af refleksionen af PD signalet i den fjerne ende af kablet. Ved on-line målinger, hvor den fjerne ende af kablet ikke er koblet ud,

vil reflektionen være mindre og i værste fald nul, hvilket giver nogle udfordringer med at kortlægge PD på kablet ved brug af traditionelle metoder.

- 3) Ved on-line målinger er det ikke muligt at fastsætte tænd- og slukke spændingen for PD, som det er ved off-line målinger. Tænd- og slukkespændingen er en vigtig parameter i forbindelse med tolkning af PD data i forbindelse med tilstandsvurdering af isolationen.
- 4) Testspændingen ved on-line målinger er konstant og lig systemspændingen, hvorimod denne kan varieres ved off-line målinger. Kun PD ved netspændingen vil derfor kunne detekteres. Da der kan være store forskel på tænd- og slukkespændingen, kan PD aktiviteten være antændt af overspændinger i forbindelse med en jordfejl eller transiente overspænding og derefter forsætte ved netspændingen selvom PD normalt ikke tændes ved netspændingen.

Ovenstående punkter skal der tages højde for i et on-line PD måleprojekt.

2.5 Formål med et on-line PD måleprojekt

2.5.1 Aktiviteter i Danmark

Da erfaringen i Danmark med PD målinger på olie-papirisoleret kabler er begrænset på nuværende tidspunkt, vil formålet med et on-line PD måleprojekt i første omgang bestå i at få opbygge en viden omkring PD i olie-papirisolerede kabler og om hvordan PD aktiviteten kan detekteres on-line. Følgende områder vil set fra netselskaberne perspektiv være interessante at arbejde med i forbindelse med et on-line PD måleprojekt:

- Undersøge anvendeligheden af forskellige PD målesystemer og metoder med henblik på anvendelse i netselskaberne i fremtiden til tilstandsvurdering af olie-papirisolerede kabler.
- Opbygning af et erfaringsgrundlag for, hvad der er et acceptabelt PD niveau i kabel- eller mufteisolationen og hvad der ikke er acceptabelt.
- Opbygge erfaring med at tolke PD måledata fra målinger på 3-leder kabler med fælles skærm herunder f.eks. PD signalers fasemæssige placering i forhold til en referencespænding (en af fasespændingerne), sammenhæng mellem PD og kabelbelastning, erfaringsregler for at klassificere PD mht. til type af defekt, som generer PD, m.m.. Målingerne kan f. eks. verificeres ved at grave kabler op for at reparere dem for derefter at foretage opfølgende målinger.

2.5.2 Aktiviteter i Norge

For at metoden skal kunne være anvendbar må følsomhet samt diagnosekriterier utvikles. Det er dette som den norske delen av prosjektet vil fokusere på. Prosjektet er planlagt å deles inn i hovedsaklig to hovedaktiviteter 1) laboratoriealdring og 2) feltmåling (hovedsaklig) lange sjøkabler.

Aldring av masse/papirkabel i laboratoriet der fokus vil være å detektere tidsforløp for typiske feiltyper; forskyvning av papir slik at det dannes hulform enten i kabel eller skjøt, uttørking av olje og vanninntrengning. Kabler er allerede installert i laboratoriet. Her er det planlagt å gjøre sammenlignende målinger med konvensjonelt utstyr samt lokaliseringstutstyr (tilpasset korte lengder i laboratoriet).

Feltmålinger gjennomføres på noen utvalgte kabler i samarbeid med enkelte everk. Det er ønskelig å utprøve alle de tre teknikkene som er valgt ut i de tre landene for sammenligning. Kabeltypen kan enten være PEX-kabel eller masse/papirkabel.

2.5.3 Aktiviteter i Sverige

Utöver den inriktning som beskrivs i avsnitt 2.5.1 studeras i det svenska projektet möjligheterna att diagnosticera PEX-kablar för mellanspänning med On-line PD-mätning. Dessutom undersöks möjligheten till övervakning av PEX-kablar för högspänning med det aktuella mätsystemet.

2.5.4 Fællesnordisk projekt

Forprojektet såvel som et egentligt on-line PD måleprojekt udføres i samarbejde mellem SINTEF i Norge, ELFORSK i Sverige og DEFU i Danmark med henblik på at drage nytte af hinandens erfaringer og for at opnå nogle synergier i forbindelse med et PD måleprojekt. Af mulige synergier der kan tænkes opnået ved et samarbejde, kan nævnes:

- Forskellige type af on-line PD måleudstyr kan undersøges i tilfælde af, at det ikke er det samme udstyr som anskaffes i de tre lande.
- Det kommer til å være forskjellig fokus med hensyn til type kabel i de tre landene (PEX-kabel, massekabel og sjøkabel (lange kabler)). Dette øker informasjon om anvendelse av de ulike metodene. Det forutsettes her at det gjøres en innledende studie med hensyn til følsomhet for metodene. Det vil her være maksimalt tre metoder som skal undersøkes.
- Datagrundlag for en videndatabase omkring PD aktivitet i kabler (ikke nødvendigvis kun 3-leder olie-papirisolerede kabler med felles skærm) bliver større.
- Ressurser kan utnyttes ved at det kan gjennomføres materialstudier ved SEfAS på kabler tatt fra drift i de tre landene. Eventuelle databaser mht feiltyper kan dermed økes betydelig.

Herudover vil der generelt være en fordel ved at have sparringspartnere i et projekt, som problemstillinger kan vendes med.

3 PD måling på kabler og kabeludrustning

Måleprincippet, der anvendes ved kommercielle PD målinger på et nedgravet kabel, er elektrisk detektering af PD, da metoder baseret på dette kun kræver adgang til kabelinstallationen i kabelenderne, hvor dette normalt er muligt.

3.1 PD signal og grundlag for den elektriske PD detektering

Partielle udladninger (PD), som i følge EN 60280 [Ref. 2] defineres som et lokalt delvis overslag eller gennemslag i en gas, finder sted i hulrum i isolationsmaterialet, når det elektriske felt overstiger gennemslagsfeltstyrken for gassen i hulrummet. Ved en partiel udladning ioniseres gassen i hulrummet og en separering af positive og negative ladningsbærere finder sted. Herved opbygges en rumladning i isolationsmaterialet. Denne rumladning fører til, at der induceres en ladning i faselederne og kabelskærmen, som generer et elektrisk signal, der kan detekteres med passende valg af måleudstyr og sensorer.

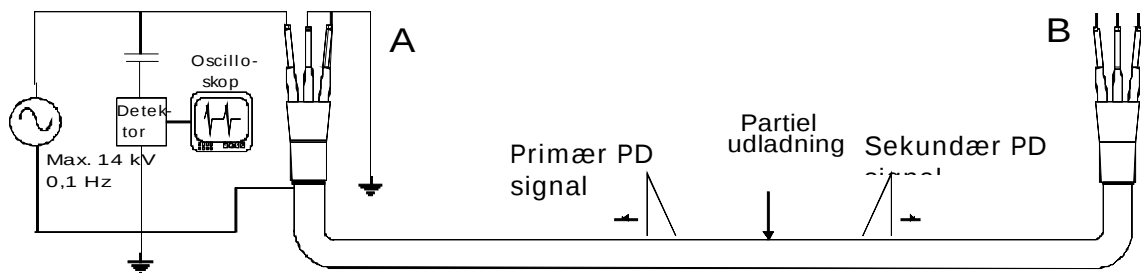
Efter en PD har fundet sted genopbygges det elektriske felt i gassen til dette igen er lig gassens gennemslagsfeltstyrke, hvorefter der forekommer en ny PD, som kan forekomme i samme halvperiode for spændingen eller i den efterfølgende, hvor spændingen har modsat polaritet.

3.1.1 PD i olie-papirisoleret kabler og udrustning

I olie-papirisolerede kabler med tyktflydende kabelolie (massekabler) er der altid små hulrum tilstede, hvor PD kan finde sted. Tilstedeværelsen af disse hulrum skyldes til dels de varmecykler, et kabel udsættes for, hvor nogle hulrum fyldes med kabelolie, mens nye hulrum opstår andre steder i kabelisolationen. I et sundt olie-papirisoleret kabel vil der derfor altid forekomme PD aktivitet. PD aktiviteten i et sundt olie-papirkabel er imidlertid ikke koncentreret et sted, og størrelsen af udladningerne i et sundt kabel vil normalt også være så små, at de i praksis er uskadelige for kabelisolationen. Store udladninger i kabelisolationen kan imidlertid være tegn på væsentlig ælde og et forestående gennemslag og dermed kabelfejl.

3.1.2 Udbredelse af PD signaler i kabler

PD i et kabel giver anledning til to signaler, der udbredes i hver af kablets retninger som vandrebølger, som vist på figur 3.1, hvor måleopstillingen ved en traditionel off-line PD måling på et kabel også er skitseret.



Figur 3.1: Skitse af vandreboelgers bevægelser generet af en partiel udladning.

Når et PD signal udbredes langs et kabel sker der både dispersion og en dæmpning af signalet. Dispersion af signalet finder sted, da PD signallets forskellige frekvenskomponenter udbredes langs kablet ved forskellige hastigheder. Dæmpningen af signalet skyldes til dels ohm'ske og dielektriske tab, men også dispersion kan siges at bidrage til amplitude dæmpningen. Dæmpningen af PD signalet på grund af ohm'ske og dielektriske tab er størst ved de høje frekvenser, hvilke får indflydelse på signalets båndbredde i målepunktet. Signalets båndbredde afhænger derfor meget af, hvor lang fra målepunktet PD aktiviteten forekommer, altså hvor langt signalet skal udbredes langs kablet før det detekteres. Forekommer PD aktiviteten tæt på målepunktet kan der forekomme båndbredde på op til nogle 100 MHz og endda højere, hvorimod båndbredden kan være helt nede på nogle MHz, hvis PD aktiviteten finder sted et godt stykke ude på en kabelstrækning.

3.1.3 Kortlægning af PD aktivitet i et kabel og kabeludrustning

Kortlægning af PD aktivitet på et kabel er hidtil anvendt i stor udstrækning ved off-line målinger på kabler, hvor der anvendes TDR teknologi (*eng. Time Domain Reflectometry*). Ved TDR teknologi ses der på tidsforskellen mellem PD signalet, som bevæger sig direkte mod målepunktet og PD signalet, som bevæger sig mod den modsatte åbne kabelende, hvor det reflekteres og bevæger sig tilbage mod målepunktet. Med kendskab til kablets transmissionslinje karakteristik og tidsforskellen mellem det direkte og det reflekterede PD signal kan PD aktiviteten lokaliseres [Ref. 3], se figur 3.1.

Ved on-line målinger, hvor kablet under test ikke er udkoblet, kan der være problemer forbundet med at detektere det reflekterede PD signal, da kun en del eller i værste fald intet af dette signal reflekteres i enden modsat målepunktet. Anvendelige målesystemer til on-line PD måling på kabler skal derfor kunne overkomme disse "problemer" forbundet med kortlægningen af PD aktivitet langs kablet.

3.2 Støj

Ved PD målinger, både off-line og on-line, er støj et problem. Som udgangspunkt skal signal til støj forholdet (*eng. SNR*) være 2 eller mere i henhold til EN 60270 [Ref. 2].

Traditionelt anvendes der ved PD målinger div. fysiske filtre (højpasfiltre), som er tilpasset båndbredden, hvor signal til støjforholdet optimeres mest muligt. *Noise gating*, hvor baggrundsstøjen måles og efterfølgende fratrækkes målesignalet indeholdende PD signalet bruges også i mange målesystemer. En ulempe ved disse støjfiltreringsmetoder er, at en del af selve PD signalerne også påvirkes. Alternativt gøres der brug af matematiske algoritmer, som fjerner støj fra målesignalet på baggrund af en signalanalyse.

Valg af sensorer og installation af disse får også stor indflydelse på signal til støj forholdet.

Overvejelser omkring støjproblematikken skal gøres ved valg af måleudstyr og placering af sensorer.

4 On-line PD målinger på kabler og kabeludstyr

I det følgende beskrives, hvordan on-line PD målinger på en kabelstrækning kan tænkes udført.

4.1 Udvalgelse af kabelstrækning

Udvælgelsen af kabelstrækninger, som der skal foretages on-line PD målinger på, skal foretages på baggrund af kvalificerede udvælgelseskriterier for at få mest udbytte ud af måleudstyret. Et oplagt kriterium er en fejlstatistik, hvor fejlfrekvensen bestemmes som funktion af kablernes alder, hvilket kan give information om, hvornår det er relevant at begynde at overveje at foretage PD målinger på et kabel. I forbindelse med et on-line PD måleprogram på kabler vil det derfor være relevant at starte en sådan fejlstatistik op.

Data til fejlstatistikken vil først blive indrapporteret i løbet af projektet og statistikken vil derfor ikke være til rådighed, når de første kabelstrækninger skal udvælges.

Udvælgelsen af de første kabelstrækninger må derfor foretages på baggrund af netselskabernes driftserfaringer med kabelstrækningerne. Disse erfaringer med kabelstrækninger kan være stor fejlfrekvens på en given strækning, strækninger med mange samlemuffer, strækninger sammensat af både PEX- og olie-papirisolerede kabler, strækninger der er af vital betydning for forsynings sikkerheden m.m., og de vil også være et uundværligt element i en udvælgelsesproces, selv når der er etableret en mere detaljeret fejlstatistik.

I Danmark er DEFU i gang med at starte en speciel fejlstatistik op for olie-papirisolerede kabler med henblik på at bestemme fejlfrekvensen som funktion af alderen.

4.2 PD målinger

Når en kabelstrækning er udvalgt, kan følgende PD målinger tænkes udført.

4.2.1 Fastlæggelse af PD aktivitet og PD niveau i kabler

En indledende on-line PD måling på et kabel, hvor PD aktiviteten og niveauet måles, kan indledningsvis give information omkring, hvor alvorlig en given PD aktivitet er i et kabel og bruges til at vurdere om det er relevant at bruge ressourcer på at kortlægge PD aktiviteten i kablet og om det evt. er relevant at foretage en PD måling over et længere tidsinterval.

Hvor lang tid en indledende PD måling tager, afhænger af antallet af pulser pr. tidsenhed og hvor mange pulser der skal bruges for at danne et ordentligt billede af PD aktiviteten i kablet. Dette vil variere fra kabel til kabel.

4.2.2 Kortlægning af PD

Kortlægningen af PD aktiviteten på en kabelstrækning kan udføres, hvis den målte PD aktivitet i forbindelse med en indledende måling vurderes alvorlig. Kortlægningen foretages for at lokalisere defekter i kabelisolationen langs kablet. Da PD signaler kan stamme fra flere forskellige defekter i kabelisolationen på en kabelstrækning, er det vigtigt, at det anvendte måleudstyr er i stand til skelne PD signaler kommende fra forskellige steder og typer af defekter på kablet.

Når et PD aktivitetskort for en kabelstrækning skal analyseres, bør dette gøres under anvendelse af tilgængelige oplysninger om kabelstrækningen. PD kortet kan f.eks. sammenlignes med placering af muffe, krydsning af veje, lokale hotspots, forskellige typer af kabler m.m..

Ved at foretage kortlægningen af PD aktiviteten i kablet kan det vurderes om PD signaler skyldes enkelte spredte defekter, f.eks. i muffe, eller om aktiviteten er jævnt fordelt over hele eller dele af kabelstrækningen. Skyldes PD aktiviteten f.eks. en muffe, er der ingen belæg for at udskifte en hel kabelstrækning. Ligeledes kan målingen vise, at det kun er nødvendigt at udskifte en del af kablet eller kabelstrækningen, hvis resten af denne ikke har nogen nævneværdig PD aktivitet.

4.2.3 PD overvågning

Med PD overvågning menes der her, at der over en længere periode foretages PD målinger på et kabel. PD overvågningen på et kabel kan tænkes udført på to måder, som begge er relevante i forbindelse med diagnosticering på et kabel.

Måling over en kontinuert tidsperiode

PD aktiviteten i et isolationssystem afhænger af kablets belastning. Specielt i olie-papirisolerede kabler, hvor olien til dels flyder til lufthuller og dermed reetablerer isolationen, hvor PD udvikles, må det forventes at PD aktiviteten varierer afhængig af kablets belastning. Ved at foretage en kontinuert on-line måling på et kabel over nogle dage eller evt. en uge eller længere tid, kan PD udviklingen kortlægges som funktion af kablets belastning. Dette forudsætter, at oplysninger omkring kablets belastning er tilgængelig i måleperioden og kan synkroniseres med PD målingen.

Opfølgende målinger med jævne tidsintervaller

Afhængig af hvor alvorlig PD aktiviteten i et kabel vurderes at være, kan det besluttes løbende at følge udviklingen på kablet. Der kan f.eks. laves målinger på et kabel hvert halve år eller en gang om året. Sådanne opfølgende målinger vil være relevante på kabler, hvor der kan være tvivl omkring, hvorvidt et kabel skal udskiftes her og nu eller om udskiftningen skal udsættes nogle år.

I starten af et on-line PD måle projekt på kabler vil opfølgende målinger også kunne bidrage væsentligt til tolkningen af fremtidige målinger på kabler, da erfaringer med, hvordan PD aktiviteten udvikler sig i et kabel som funktion af tiden, er en væsentlig oplysning i forbindelse med vurderingen af, hvornår et kabel bør udskiftes på baggrund af den målte PD aktivitet.

4.2.4 Off-line måling

Klassificeres en kabelstrækning eller dele af denne til at være i en dårlig tilstand, kan en anbefaling være, at der udføres en off – line PD måling på kabelstrækningen for at få en nærmere undersøgelse af isolationstilstanden. Off-line målingen vil f.eks. give mulighed for at bestemme tænd- og slukkespændinger for PD aktivitet samt at variere testspændingen. Off – line målingen kræver, at udstyr til off – line målinger er tilgængelig. Et kriterium for valg af on-line måleudstyr kan være, at dette også skal kunne anvendes i forbindelse med off-line målinger.

Off-line måling vil kræve en alternativ energiforsyning til at spændingssætte kablet under test, hvilket der også skal tages højde for.

I starten af et on-line PD måleprojekt, kan det også være relevant både at foretage on-line målinger og off-line målinger på et kabel for at have noget at sammenligne on-line PD dataene med, da der eksisterer noget erfaring mht. til diagnosticering af kabelisolationen på baggrund af off-line målinger.

4.3 Rapportering

En on-line PD måling på en kabelstrækning skal ende ud i en tilstandsvurdering af kabelstrækningen og en anbefaling af, hvilken aktion der bør gøres. Følgende inddelingskriterier, som anvendes i forbindelse med tilstandsvurdering af elektriske komponenter kan forstilles:

Tilstand	Beskrivelse af kabelisolation	Aktion
1	God	Ingen
2	Ældet	Følge kablet (ny måling inden for et 3-5 år eller to)
3	Betydeligt ældet	Følge kablet (ny måling inden for et 1-3 år eller alternativ udskiftning inden for nærmeste fremtid)
4	Dårlig	Udskiftning anbefales

Tabel 4.1: Diagnosticering af kabel/kabelstrækning.

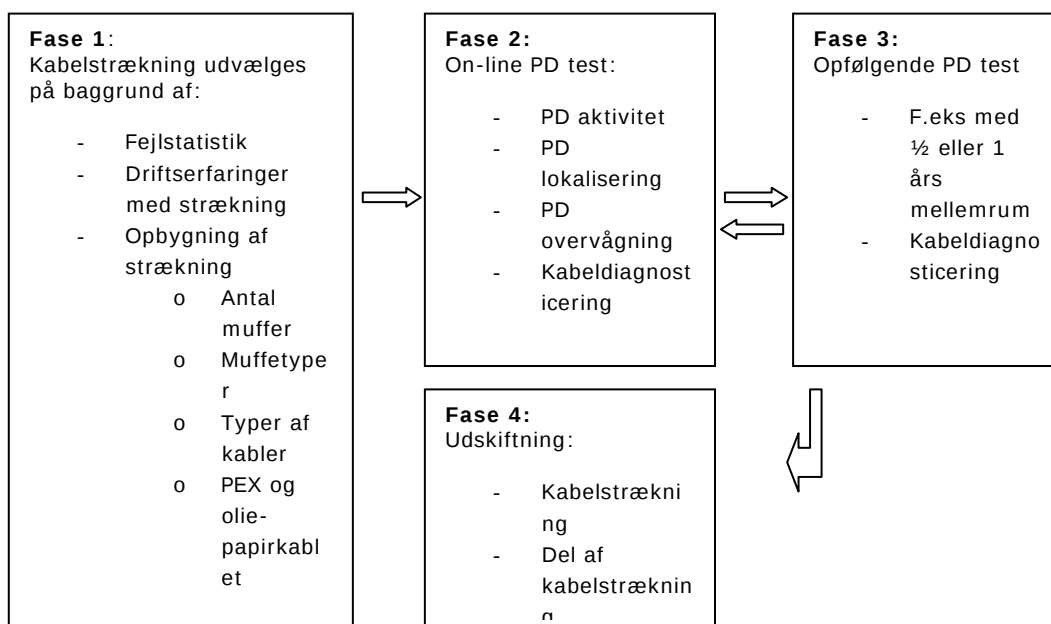
En klassificering af et testet kabel på baggrund af tabel 4.1, vil kræve, at der opbygges erfaring med, hvor alvorlig den målte PD udvikling i et kabel er. Der bør indgå mange forskellige elementer såsom amplitude, antal, fasemæssig placering, analyse af kurveform, forskellige statistiske størrelser, trendanalyser, m.m. i klassificeringen, da alvorligheden af PD aktiviteten ikke kun er et spørgsmål omkring størrelsen af de målte PD signaler.

En væsentlig del af et nordisk projekt omkring on-line PD måling vil være at opstille sådanne kriterier, som kan bruges til at foretage en klassificering ud fra tabel 4.1.

For å bygge opp slike kriterier er det av avgjørende betydning at det foretas materialanalyse evt. elektrisk testing i laboratoriet (levetid mhp pd / gjennomslagsprøving).

4.4 Sammenfatning af måleserie

I diagrammet på figur 4.1 er princippet bag det foreslåede måleprogram på et kabel vist, hvor måleprogrammet er opdelt i 4 faser. Enkelte af faserne kan springes over, hvis f.eks. PD aktiviteten, som måles i fase 2 er så alvorlig, at en øjeblikkelig udskiftning anbefales. En kontinuert PD måling over f.eks. et døgn eller en uge kan ligeledes vise sig at være irrelevant, såfremt PD niveauet målt ved en indledende måling og kortlægningen af PD aktiviteten er så stor, at udskiftning anbefales.



Figur 4.1: On-line PD måleserie på en kabelstrækning.

5 Installation af udstyr

Når et måleudstyr til on-line PD måling vælges, skal der gøres nogle overvejelser omkring valg af målepunkt, sensorer og installation af udstyr. I det følgende gennemgås disse problemstillinger.

5.1 Valg af målepunkt

5.1.1 Mellemspændingsniveau

Målepunktet skal vælges, så det er enkelt at komme til kablet. Herudover skal der tages højde for, at der rent fysisk er plads til at måleudstyret kan placeres, så det er beskyttet mod vind og vejr, mekaniske påvirkninger og uautoriseret betjening. Der skal også gerne være tilgang til 230 V spændingsforsyning og kommunikation.

Oplagte valg af målepunkter er netselskabernes 50-60 kV transformerstationer, hvorfra de enkelte 10-20 kV kabelstrækninger udgår. Det er her relativt let at komme til jordingskablerne i koblingsfelterne og måleudstyret kan placeres indendørs og relativt uforstyrret, da kun bemyndiget personel har adgang til stationerne. Transformerstationer har ofte adgang til Internettet eller tilgang til andre kommunikationsforbindelser og 230 V spændingsforsyning er tilstede.

Hvis kun transformerstationer kan benyttes som målepunkter, kan det betyde, at det ikke er muligt at foretage PD målinger på hele radialer, hvis disse er for lange. Et andet problem ved at begrænse målepunkterne til transformerstationer, er, at radialer kan have afgreninger. Dette kan give problemer i forbindelse med at lokalisere PD kilden.

Alternative målepunkter, som kan eliminere de ovennævnte problemer, er netstationer¹ sløjfet ind på kabelstrækningen. Problemet med netstationer er mangel på plads. I kompaktstationer er det ikke muligt at placere måleudstyr, men netstationer etableret i rum i huse kunne være en mulighed. Internet eller anden kommunikation er dog sjældent tilgængelig her. Kompaktstationer kan dog tænkes anvendt som målepunkt til on-line målinger over kortere tidsrum, hvor en operatør kan være tilstede under hele testforløbet, f.eks. i forbindelse med PD kortlægning. I et sådant tilfælde behøver udstyret ikke nødvendigvis at være placeret indendørs. Dette eliminerer dog muligheden for at udføre kontinuerlige målinger over f.eks. nogle døgn eller en uge.

¹ Med netstationer menes små distributionstransformerstationer (10 -15 kV/0,4 kV), som placeres ude ved forbrugerne i enten kompaktstationer eller små murede rum i f.eks. lejlighedskomplekser eller kontorbygninger.

5.1.2 Højspændingsniveau

Även för högspänningskablar gällar att mätpunkterna skall vara lätt åtkomliga samt att mätutrustningen skall vara väl skyddad. Lämpliga mätpunkter finns att söka i transformatorstationer, varigenom också kravet på kommunikationsmöjlighet och lågspänningsmatning tillgodoses. För högspänningskablar kan man befara att inkopplingen av sensorerna kan bli mer komplicerad än för mellanspänningskablar.

5.2 Valg af sensorer

Typer af sensorer, som anvendes ved elektrisk detektering af PD signaler, kan opdeles i to hovedgrupper capacitive sensorer og induktive sensorer.

5.2.1 Capacitive sensorer

Kapacitive sensorer detekterer højfrekvente signaler såsom PD signaler og bortfiltrere 50 Hz signalet (fasespændingen). Sensorerne kan installeres på en eller alle tre faseledere i koblingsfeltet på transformerstationen, hvor en kabelstrækning termineres. Capacitive koblere anvendes ofte i forbindelse med on-line PD målinger på f.eks. generatorer og motorer, men har nogle ulemper i forbindelse med on-line målinger på kabler.

- Kabelstrækningen, som der skal måles på, skal tages ud af drift, når de capacitive sensorer skal installeres, da dennes ene elektrode skal forbindes direkte til en af kablernes faseledere.
- Installationen skal gøres omhyggeligt for at undgå korona og tracking.
- En capacitive sensor vil i de fleste situationer skulle afmonteres efter endt måling, da der formentlig ikke vil være plads til at have sensorerne fast installeret. Sensoren skal f.eks. være afskærmet i henhold til gældende regler.
- Kondensatoren, som udgøre den capacitive sensor, kan selv have defekter, som generer PD signaler og derfor være en støj kilde. Kondensatorer, som produceres med henblik på PD målinger, vil dog normalt opfylde nogle overordentlige strenge krav mht. PD tændspændinger og niveauer. Fugt, skidt og støv kan være en kilde til tracking og dermed støj i forbindelse med en kondensator, men kan undgås ved en omhyggelig installation.
- I nyere indkapslede koblingsanlæg kan det være et problem at kunne komme til at installere den capacitive kobler.

5.2.2 Induktive sensorer

Induktive sensorer i form af høj frekvens strømtransformere, HFCT, kan også anvendes til at måle PD signaler. Klemmes sensoren omkring en leder, hvor der løber et PD signal, vil der induceres en spænding i sensorens spole, som kan måles af måleinstrumentet. Fordelen ved en HFCT sensor ved on-line PD målinger er, at denne forholdsvis let kan installeres på det kabel, som der skal måles på.

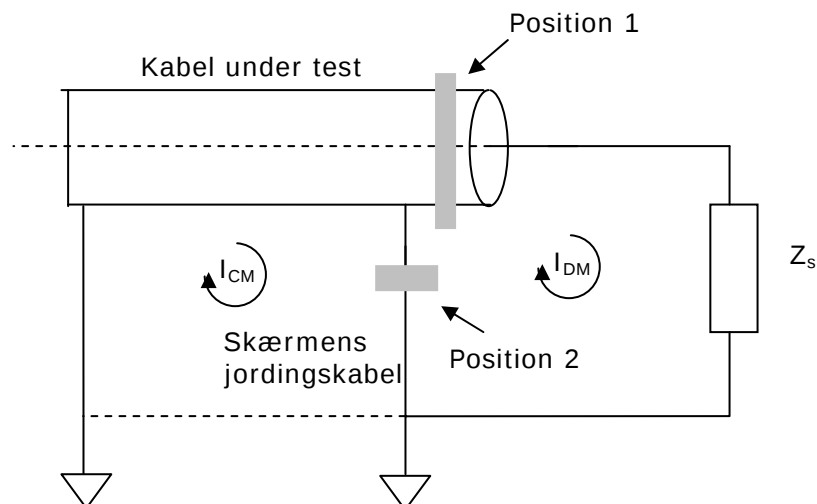
Ved valg af HFCT sensor skal der tages højde for dennes frekvenskarakteristik, der skal være tilpasset den forventede båndbredde for PD signaler kommende fra kabler, som ligger fra omkring nogle MHz og op til nogle 100 MHz afhængig af hvor langt ude på en strækning PD aktiviteten finder sted. Ydermere skal HFCT'en være resistent over for støj i stationen, hvor udstyret installeres.

Rogowskispoler har den fordel, at spolens opbygning betyder, at dennes overføringsfunktion er uafhængig af spolens placering omkring den leder, hvori et PD signal ønskes målt. Dette letter installationen væsentligt og eliminerer samtidig støj fra signaler uden for HFCT'en. Der vil dog være krav til, at spolen er tilpas afskærmet mod eksterne elektriske felter, som kan genere støj i målingen.

HFCT sensorer i form af Rogowskispoler vurderes mest anvendelige til on-line PD målinger på kabler, og de målesystemer, som er undersøgt i forbindelse med dette projekt, gør også som udgangspunkt brug af Rogowskispoler, hvorfor det i det følgende antages, at disse anvendes.

5.3 Installation af sensorer

Når det skal vælges, hvor en sensor skal monteres på kablet under test, skal der tages højde for flere parametre for at optimere målingen. Først og fremmest skal der tages højde for personsikkerhed, forsyningssikkerhed og beskyttelse af instrumenter. Når disse forhold er opfyldt, skal der så vælges en position, hvor signal til støj forholdet (*eng. SNR*) fra kablet under test er optimalt. Når sikkerhedskrav er opfyldt, er der to reelle muligheder tilbage. På figur 5.1 er disse indikeret for et kabelsystem.



Figur 5.1: Placering af induktive sensor på kabel under test.

IDM (*eng. Differential-mode current*), er strømmen der løber gennem faselederne, kablets termineringsimpedans på transformerstationen og retur gennem enten transformerstationens jordingsanlæg, kablets skærm eller begge. ICM (*eng. Common-mode current*) er strømmen som induceres i

kredsen kabelskærm-jord. Sidstnævnte kan betegnes som ren støj ved en PD måling og er derfor uønsket. Z_s er kablets termineringsimpedans.

Position 1, hvor sensoren monteres over kablets skærm og hvor jordingskablet enten er ført tilbage gennem sensoren eller er monteret på skærmen før sensoren, er den mest optimale placering mht. støjniveau, da I_{CM} enten ikke måles eller elimineres, hvorfor I_{DM} er den eneste strøm, som måles. I_{DM} indeholder stadigvæk støj kommende fra andre dele af nettet. Position 2, hvor sensoren monteres omkring kabelskærmens jordingskabel, medfører at også I_{CM} måles.

Montagen af sensoren er enklest og sikrest i position 2. Det vil også kræve en større indre diameter af sensoren i position 1, da den skal kunne klemme omkring hele kablet under test. Så i praksis vil position 2 formentlig skulle vælges. Position 2 kræver at kabelskærmens jordingskabel er tilgængelig.

6 Valg af on-line PD målesystemer til kabler

På markedet findes i dag primært off-line PD målesystemer, som samtidig kan kortlægge PD aktiviteten langs kabler. Skal målesystemet anvendes on-line og samtidig kunne kortlægge PD langs kablet, er udvalget af kommercielle målesystemer begrænset på nuværende tidspunkt, hvilket til dels skal ses i lyset af, at der er tale om et relativt nyt område inden for kommerciel detektering af PD på kabler.

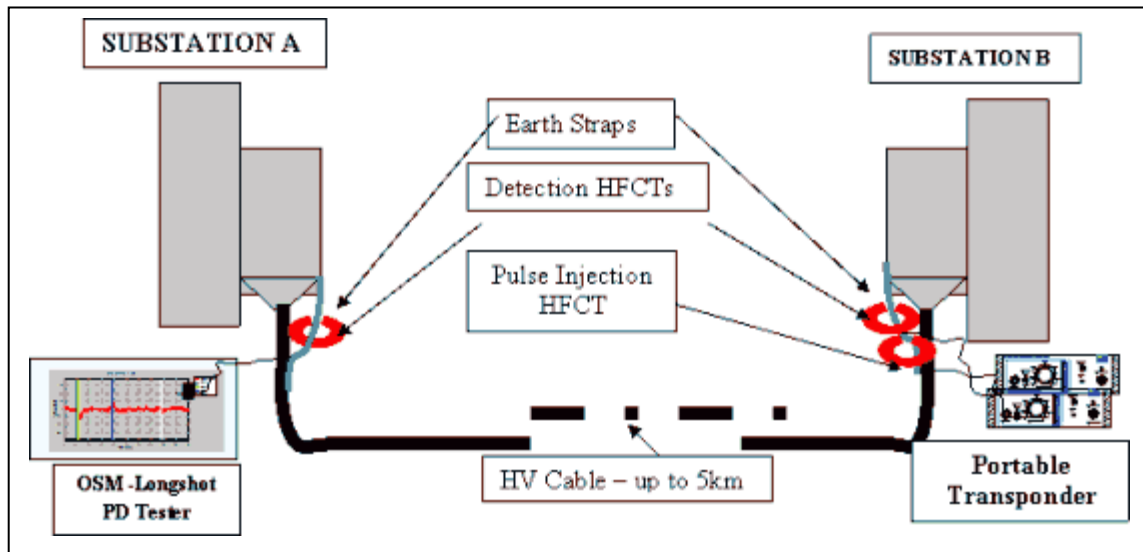
I det følgende beskrives tre lovende målesystemer fra henholdsvis IPEC Engineering Inc., KEMA og Power Diagnostix System GmbH, hvor DEFU specielt har kigget på udstyret fra IPEC Engineering, ELFORSK på udstyret fra KEMA og SINTEF på udstyret fra Power Diagnostix System GmbH.

6.1 Målesystem fra IPEC Engineering Inc.

Systemet består af et instrument OSM-Longshot PD Spot Tester (OSM er eng. forkortelse for on-line substation monitor). Instrumentet er udviklet til on-line PD målinger på højspændingsapparater såsom kabler, koblingsanlæg, transformere, generatorer, m.m.. OSM-Longshot systemet egner sig primært til korte "spot-tests" af 5 – 10 minutters varighed, men kan også anvendes til PD overvågning ved for eksempel at måle over et døgn eller nogle dage.

OSM Longshot systemet er baseret på et digitaliseringsudstyr med en høj båndbredde til dataopsamling. Den høje båndbredde gør instrumentet egnet til at detektere de enkelte PD pulseres kurveform samt kurveformer fra anden elektrisk aktivitet såsom baggrundsstøj og koblingstransienter kommende fra andre steder i nettet med en høj opløsning. Instrumentet er udviklet til på baggrund af den efterfølgende databehandling og analyse at skelne PD aktivitet kommende fra kablet fra støj og anden elektrisk aktivitet og adskille PD signaler kommende fra forskellige PD kilder på baggrund af enkelte pulseres kurveform.

OSM-Longshot PD Spot Tester'en er ikke som udgangspunkt udviklet til PD kortlægning på en kabelstrækning. Kortlægning af PD kræver derfor, at OSM-Longshot systemet kombineres med speciel udviklet software, PD Map©Software, og en transponderenhed, PTT 2000 – CT Portable Transponder, som består af et PD detekteringssystem og en pulsgenerator, som installeres i kabelenden modsat OSM-Longshot systemet. På figur 6.1 er en skitse af det installerede målesystem til on-line PD kortlægning vist.



Figur 6.1: Skitse af måleopstilling ved on-line PD mapping [ref.2].

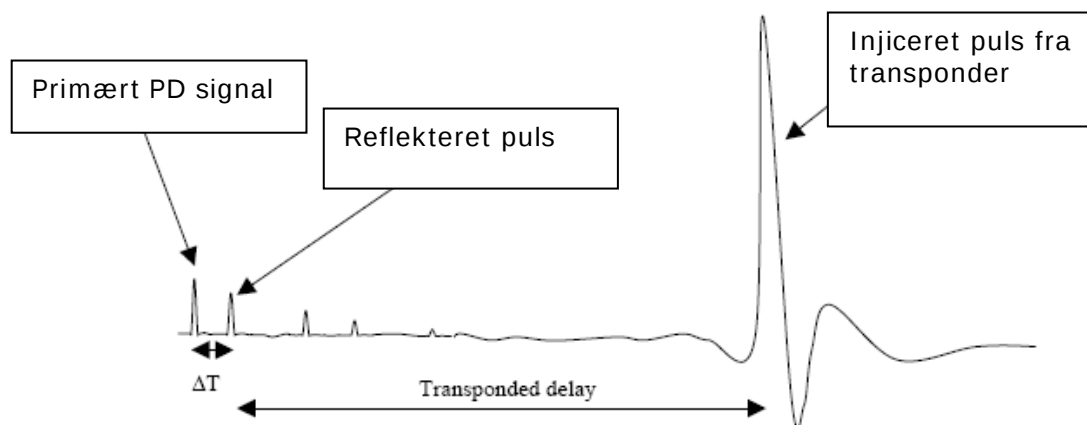
Ved on-line PD måling på kabler, anvendes som sensorer højfrekvensstrømtransformere, HFCT, der er kalibreret til udstyret, og som monteres omkring kabelskærmens jordingskabel eller direkte omkring faselederne på transformerstationen. Det er dog muligt også at anvende capacitive sensorer. På figur 6.1 er vist, hvordan sensorerne installeres på kabelstrækningen i forbindelse med kortlægning af PD kablet.

Som udgangspunkt kan HFCT sensorerne leveres kalibreret af IPEC Engineering, men disse kan i princippet anskaffes separat.

Måleprincip ved PD kortlægning

OSM-Longshot PD Spot Tester'en placeres i måleenden af kabelstrækningen og transponderenheden i den fjerne ende, se figur 3. PD i kabelisolationen generer et PD signal, som bevæger sig direkte mod måleenden, og et PD signal, som bevæger sig mod den fjerne ende, hvor transponderenheden injicerer en puls ind i kablet, når denne trigges af PD signalet. Den injicerede puls fra transponderenheden har samme funktion som det reflekterende PD signal ved off-line kortlægning af PD og bevæger sig mod måleenden, hvor det detekteres af OSM-Longshot PD Spot Tester'en.

Med kendskab til tidsforskellen mellem det direkte målte PD signal og den injicerede puls samt kendskab til kablets transmissionsliniekarakteristik og længde, kan PD aktiviteten i kabelisolationen lokaliseres på kabelstrækningen på samme måde som ved off-line målinger. På figur 6.2 er princippet vist med det direkte PD signal og den injicerede puls fra transponderenheden.



Figur 6.2: Eksempel på kurveformer ved on-line PD kortlægning, hvor metode udviklet af IPEC Engineering anvendes.

Ønskes kurveformen målt for den reflekterede PD puls, kan transponderenheden indstilles med en tidsforsinkelse, så den injicerede puls ikke ligger oven i det reflekterede PD signal. I dette tilfælde anvendes den injicerede puls til at trigge OSM Longshot PD Spot Tester'en og til at lokalisere det reflekterede PD signal.

Selve kortlægningen af PD er ikke fuld automatiseret, da udvælgelsen af de pulser, som denne baseres på, skal gøres manuelt af operatøren, som foretager målingen.

6.1.1 Erfaringer opnået med OSM-Longshot PD systemet og PD mapping

I UK er der opnået en del erfaring med brugen af OSM-Longshot PD systemet til on-line PD målinger på olie-papir kabler. EDF Energy (elektricitetsselskabet i London) har i stor udstrækning gjort brug af OSM-Longshot PD systemet, da de står over for de samme problemer, som de danske netselskaber, mht. øget fejlfrekvens og ældning på olie-papirisoleret kabler. Anvendelsen af OSM Longshot PD Spot tester systemet og erfaringerne er rapporteret i en del publicerede artikler.

Generelt rapporteres gode resultater ved brug af OSM-Longshot systemet på kabler og god præcision ved PD kortlægning på kabler, hvor målinger efter udbedringer af kabeldefekter og analyser af kabelisolationen har verificeret resultaterne fra on-line PD målingerne [Ref. 1, Ref. 4 - Ref. 8].

Et vigtigt parameter for et on-line PD målesystem, hvis dette skal anvendes på kabler, er den største kabellængde, for hvilken udstyret med succes kan lokalisere PD aktivitet. IPEC Engineering rapporterer, at de med succes har lokaliseret PD aktivitet på kabler op til omkring 5 km. EDF Energi oplyser, at udstyret kan bruges på kabler på op til 2 – 3 km. Hvor lange kabler, udstyret

kan anvendes på, varierer dog afhængig af støjniveauet på det sted, hvor måleapparatet installeres, og størrelsen af de enkelte PD signaler.

6.1.2 Vurdering af IPEC Engineerings målesystem i forhold til on – line måleprogram på kabler

OSM-Longshot PD Spot Tester systemet plus den tilhørende PD mapping teknologi kan udføre de funktioner, som er krævet i forbindelse med en on-line PD kortlægning på et kabel. En ulempe er, at PD kortlægningen ikke kan foretages fuldt automatisk, men kræver tilstedeværelsen af en operatør med en vis viden omkring PD signaler. Dette betyder, at der skal bruges noget mere tidsforbrug pr. måling end, hvis udstyret kunne installeres og målingerne efterfølgende udføres automatisk.

Tidsforbruget forbundet med en PD kortlægning på kabler er afgørende for, hvor stor en ulempe en delvis manuel PD kortlægning bliver på sigt. EDF Energy har oplyst, at deres gennemsnitlige tidsforbrug forbundet med en PD kortlægning på et kabel ligger på omkring en ½ arbejdsdag. Dette inkluderer også installation og opsætning af måleudstyret. Under svære betingelser f.eks. ved et stort støjniveau, hvor det kan være svært at detektere de enkelte PD pulser, kan en måling inkl. PD kortlægning tage op til en hel dag.

Udstyret og den tilhørende software virker velegnet til diagnostiske målinger på kabler og har flere forskellige funktioner, som hjælper brugeren af udstyret i forbindelse med at detektere og tolke PD signaler fra kablet. Her kan blandt andet nævnes:

Udstyret
Udstyret kan både anvendes on- og off-line (off-line kræver dog en separat spændingsforsyning)
HFCT sensorerne gør det forholdsvis enkelt at installere udstyret i transformerstationer og evt. i netstationer. Det kræver, at der er adgang til kabelskærmens jordingskabel.
Udstyret fylder fysisk ikke meget og er det let at transportere rundt.
Udstyret kan anvendes til PD målinger på andet udstyr end kabler, f.eks. afbrydere.

Software
Støjfiltrering baseret på analyse af kurveformen.
Software er udviklet til at skelne mellem PD signaler kommende fra forskellige kilder på baggrund af en analyse af kurveformen i tids- og frekvensdomænet og kan dermed være en hjælp ved evalueringen af PD signaler (kan dog formentlig ikke erstatte en ekspertvurdering fuldstændig, hvorfor operatøren af udstyret forsat skal have en god viden omkring PD fænomener). Software giver forskellige muligheder for at præsentere resultaterne grafisk, for eksempel PD signalers fasebeliggenhed i forhold til reference spænding (ekstern eller intern).

Størrelsen af det detekterede PD signal evalueres i pC frem for signalamplitude. Sidstnævnte påvirkes væsentligt mere af den afstand, et PD signal skal bevæge sig langs et kabel, hvorfor amplituden af PD signaler ikke er velegnet til at sammenligne to PD signaler fra forskellige kilder på et kabel.

Mht. databehandling, støjfiltrering m.m., virker systemet lovende på baggrund af de oplysninger der er indhentet hos IPEC Engineering og EDF Energy.

Som navnet på instrumentet antyder, er der her tale om et udstyr, der primært er udviklet til spot-test af kortere varighed på kablerne og til at udføre diagnostiske test, men udstyret kan også anvendes til overvågning over f.eks. et døgn eller nogle dage.

6.1.3 Pris, leveringstid og uddannelse

Pris

OSM-longshot PD Spot Tester systemet incl. PD kortlægningssteknologien, sensorer og uddannelse vil koste omkring følgende:

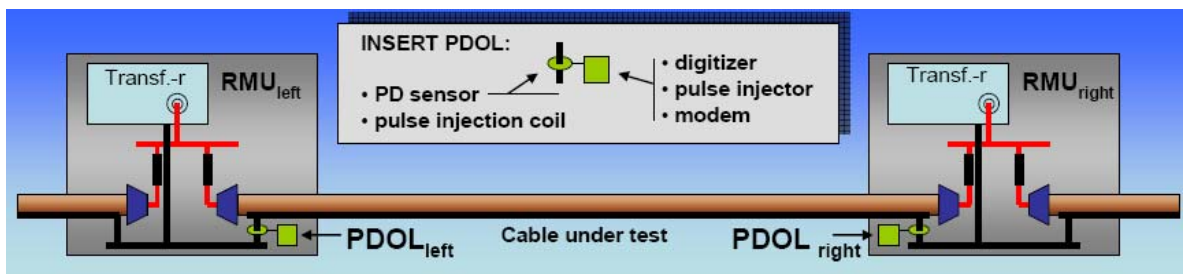
Produkt	Pris
OSM-Longshot system (inkl. software)	300.000,00 dkr
Sensorer og tilbehør	61.000,00 dkr
PD kortlægningsudstyr og software	132.000,00 dkr
3 dages træning og uddannelse (optil 4 deltagere)	67.000,00 dkr
Forsendelse og pakning	3000,00 dkr
I alt	563.000,00 dkr

Leveringstiden på udstyret er oplyst til 6 uger fra udstyret bestilles. IPEC Engineering anbefaler 3-5 dages uddannelse i brug af udstyret i en af køberens transformerstationer. Prisen for uddannelsen indgår i tilbud på køb af instrumentet.

6.2 Målesystem udviklet af KEMA

KEMA har tillsammans med universitetet i Eindhoven utvecklat en metod kallad PDOL för detektering av PD On-Line med samtidig bestämning av positionen av den punkt där defekten finns. Urladdningarna registreras med hjälp av PD-sensorer monterade runt skärmanslutningarna. Eftersom reflexion inte kan påräknas i kabeländarna vid On-lineuppkoppling finns PD-sensorer i båda ändarna. Genom noggrann tidssynkronisering mellan mätsystemen i respektive ände kan man få en lägesbestämning av den svaga punkten med bra precision. Prov har visat att felet är ca ½ m för en 300 m lång kabel. Av flera tänkbara möjligheter till tidssynkronisering har man valt att sända en puls från en ände som registreras i båda ändarna.

Under utviklingsfasen var målsætningen i første hand att finna dåliga skarvar, men hittillsvarande erfaringer er lovande og metoden forefaller nu ogsaa blir anvendbar till att finna og lokalisera andra defekter. I første stadiet avsågs metoden främst för pappers-oljekabel, men metoden förväntas även kunna användas för PEX-kabel. Provet pågår på PEX-kabel och preliminära resultat emottas inom kort. I avvaktan på mer erfaring kan man befara att förvarningstiden för isolationsfel i en PEX-kabel blir förhållandevis kort, i varje fall om den svaga punkten finns i själva kabelisolationen. För fel i tillbehör kan troligen bättre förvarningstid påräknas.



Metoden innebär:

- Permanent installation og overvakning (rekommanderas av leverantören)
- alternativt mobilt arrangement for systematisk diagnos i kabelnät
- Overvakning av PD-trend
- Oppdaget av kortvariga PD enda fram till tidpunkt for gjennomslag
- Intern overvaknings- og kalibreringsfunksjon
- Enkel installation
- Fjærrinsamling av data via webben

Utrustningen leveras nu till tre elbolag for omfattende pilottester. Systemet förväntas vara kommersielt tilgjengelig inom ett par måneder.

Priset beror på kabelarrangement og tilgang til internet, men oppges till ca 10000 Euro per måtsystem. Byte till en annan kabel oppges kosta ca 1000 Euro.

Måtsystemet beskrivs nærmere [Ref. 9].

6.3 Målesystem utviklet af Power Diagnostix Systems (PDS) GmbH

PDS har utviklet en rekke systemer for måling av delutladninger både konvensjonelt (i henhold til IEC 60270) og for systemer basert på deteksjon av høyfrekvente komponenter i utladningssystemet (både elektrisk og akustisk). Det er ikke utviklet et eget system for on-line målinger på kabler, men til lokalisering og deteksjon av delutladninger er det mulig å benytte et generelt detekteringsinstrument (ICM Compact). Dette instrumentet muliggjør både faseoppløst utladningskarakterisering samt lokalisering (tidsoppløst).

utladningspulser) av utladningsstedet. Det finnes et stort utvalg av utstyr til dette instrumentet, både filtre, forsterkere og ulike typer sensorer [Ref. 10].

Systemet utviklet av PDS er basert på reflektometri. Prinsippet for dette er forklart i kapittel 6.1. Det er mulig å synkronisere utstyret til andre frekvenser enn 50 Hz. Dette muliggjør også off-line målinger ved andre frekvenser enn 50 Hz med dette utstyret (kan synkroniseres ved ulike frekvenser fra 500 Hz ned til 20 mHz). Det er også mulig å få frem faseoppløst utladningssignatur ved disse frekvensene.

PDS har også mulighet til å levere enheter som høyspent spoler eller kondensatorer (utladningsfrie) som kan plasseres i motsatt ende (i forhold til installert sensor) av kabelen for å øke impedansen ved on-line målinger. Dette er nødvendig for å øke refleksjonen ved dette punktet. Det er ennå ikke mulig å ta ut det faseoppløste spekteret for en spesiell plassering på kabelen der det er utladninger (cluster). Dette er under utvikling av PDS, der et nytt kontrollerkort kan gjøre dette. Det er ikke klart når dette kan leveres.

PDS leverer sensorer for on-line tilstandskontroll av kabler. HFCT's leveres i separate moduler eller integrert i en koblingskondensator i en enhet. De leverer også såkalte "clamp-on" enheter som kan plasseres rundt hele kabelen. Båndbredden for disse sensorene er fra ca 1 til 25 eller til 80 MHz.

Pris på systemet avhenger av det utstyret/tilleggsutstyret som velges. Totalt vil det trolig ligge på ca 350 – 400 kNOK.

PDS arrangerer seminarer der blant annet både bruk av utstyret samt tolkning av måleresultater inngår. Også egen opplæring på ulike systemer gjennomføres.

7 Forslag til projektplan for on-line måleprogram

I det følgende afsnit opstilles et forslag til en projektplaner for on-line PD måleprogrammer på mellem- højspændingskabler i henholdsvis Danmark, Sverige og Norge med udgangspunkt i de foregående afsnit overvejelser omkring typer af PD målinger og systemer.

7.1 Gennemførelse af måleprogram i Danmark

Projektplanen udarbejdes med henblik på at projektet skal give netselskaberne i Danmark grundlæggende viden omkring PD aktivitet i olie-papirisolerede kabler, og at selskaberne efterfølgende skal kunne bruge denne viden til at diagnosticere deres kabler på baggrund af PD målinger.

7.1.1 Antal af kabler i måleprogram

Opbygning af en videnbase omkring PD i olie-papirisolerede kabler kræver, at der måles på en del kabelstrækninger for at få et tilstrækkeligt datagrundlag til at vurdere f.eks. acceptable PD niveauer i kabler og muffer.

Tidsmæssigt er der en begrænsning på antallet af kabler, der kan måles på i løbet af et projekt. Antages projektet at vare tre år og regnes der med et årligt tidsforbrug på 500 timer, er et bud på antallet af kabler/kabelstrækninger, der kan måles på, omkring 40 – 50 stk. Beslutes det at foretage opfølgende målinger på alle kabler, vil der i så fald kunne måles på 20 - 25 forskellige kabelstrækninger i løbet af projektet. Det vil dog formentlig ikke være relevant at lave opfølgende målinger på alle kabler.

7.1.2 Valg af kabler til måleprogram

Kablerne, der indgår i programmet, skal være 3-leder olie-papirisolerede 10 – 20 kV kabler med fælles skærm. Principielt vil der også kunne udføres PD målinger på kabler med højere spændingsniveauer, men da disse normalt er 1-leder kabler, kan der være forskel på, hvordan PD måldata skal tolkes, hvorfor det vælges kun at se på 3-leder kabler med fælles skærm for ikke at sprede målingerne på for mange forskellige kabeltyper. På sigt vil mange resultater formentlig kunne overføres direkte til 1-leder olie-papirisolerede kabler på højere spændingsniveauer.

Kablernes længde, dvs. mellem to punkter, hvor det er muligt, at komme til kabelskærmens jordingskabel, må ikke være længere end, at PD signaler kan lokaliseres med det anvendte udstyr. Dvs. at der maksimalt kan regnes med kabellængder på 2-3 km.

Principielt set kan der måles på alle kabler i ovenstående kategori, men da målingerne i dette projekt skal bruges til at opbygge erfaring omkring PD i olie-papirisolerede kabler, vil det en være fordel, at de kabler som udvælges,

er kabler, hvor der er en forventning om, at der forekommer PD aktivitet, både i kabelisolationen og mufferne. Dette kan f.eks. være kabler med en høj fejlfrekvens, kabler med mange muffer, kabler med mere end 40 års drift, kabler der vides at være i dårlig tilstand, m.m..

Kabelstrækningerne skal både være rene olie-papirisolerede strækninger og strækninger, som både består af olie-papirisolerede kabler og PEX-kabler. Sidstnævnte kan give visse problemer i forbindelse med kortlægningen af PD aktivitet, da der er forskel på olie-papirisolerede kablers og PEX kablers transmissionsliniekarakteristik. Det er derfor vigtigt at få noget erfaring med, om måleudstyret kan bruges på sådanne strækninger eller om der bliver for stor en usikkerhed i forbindelse med lokaliseringen.

7.1.3 Målinger

For hvert kabel/kabelstrækning, der udvælges til projektet, skal der udføres en indledende PD måling for at fastlægge PD aktiviteten og niveauet i kablet samt at vurdere om der kan siges noget omkring hvilken type defekt, der er tale om. Dvs. om der tale om indre udladninger i isolationen eller udladninger i interfacet mellem leder-isolationen/skærm-isolation. På baggrund af PD signalernes faseplacering i forhold til en reference spænding, dvs. en af de 3 fasespændinger, kan det vurderes om der kan indhentes brugbar information omkring PD aktiviteten fra en sådan analyse.

Efterfølgende foretages der en kortlægning af PD aktiviteten på kabelstrækningen forudsat PD niveauet er tilstrækkelig højt til at dette kan lade sig gøre. For at verificere måleinstrumentet kan PD kortlægningen på udvalgte kabelstrækninger tænkes udført fra begge ender af kablet under test, hvorefter resultaterne kan sammenlignes for at vurdere om de to målinger stemmer overens.

Tidsforbruget forbundet med en måling til fastlæggelse og kortlægning af PD aktiviteten på et kabel afhænger til dels af, hvor lang tid en måling skal foretages over for at have tilstrækkelig med PD pulser til at danne et ordentligt billede af PD aktiviteten, men også af den tid der bruges på installation og opsætning af udstyret. Førstnævnte afhænger meget af selve PD aktiviteten, dvs. hvor mange PD pulser pr. 50 Hz periode og amplituden af disse. Ved et højt støjniveau kan målingen også blive væsentlig længere end ved et lavt støjniveau. Tidsforbruget forbundet med installation og opsætning vil afhænge meget af tilgængeligheden af målepunktet, dvs. kabelskærmens jordleder, men det må forventes, at noget tid kan spares her efterhånden, som der opbygges noget erfaring med udstyret.

For nogle af kablerne kan det besluttes at foretage kontinuerlige målinger over f.eks. nogle døgn for at fastlægge PD aktiviteten som funktion af kablets belastning. Denne type målinger er mest tidskrævende og bør derfor ikke udføres på alle kabler. Erfaringer omkring en kabelstrækningens belastningsprofil, kan bruges til at vurdere om der skal foretages en kontinuerlig måling på et kabel. F.eks. kan det tænkes, at et kabel forsyner en belastning, som er høj i et givent tidsrum og lav i andre. En måling af denne type kan give viden omkring, hvordan PD aktiviteten varierer som funktion af belastningen.

Opfølgende målinger på kablerne efter f.eks. et år for at vurdere udviklingen i PD aktiviteten bør ligeledes foretages, da dette kan sige noget omkring, hvor alvorlig PD aktiviteten er og dermed give et grundlag for at fastsætte acceptable PD niveauer. Længere tidsintervaller mellem målinger vil være en fordel, men forudsættes det, at måleprojektet skal køre over 3 år er et 1 år et realistisk tidsinterval. En opfølgende måling på et kabel bør dog kun udføres, hvis den første måling viste en målbar PD aktivitet i kablet. Ligeledes kan opfølgende målinger vise, at et tidsinterval på et år ikke giver nogen mærkbar ændring i PD aktiviteten, hvorefter det kan besluttes ikke at udføre disse og anvende ressourcerne på andre kabelstrækninger.

Det kan også tænkes for nogle enkelte af de kabler, der måles på, at en detekteret kabeldefekt efterfølgende kan udbedres, og at der derefter at foretages en ny PD måling på kablet for at verificere måleudstyret og de PD målinger som er udført på kablet. En sådan måling kræver, at det pågældende netselskab er villig til at foretage noget gravearbejde og montagearbejde.

7.1.4 Resultater

Måleprojektet skal gerne ende ud i, at der genereres viden om PD niveauer i 3-leder olie-papirisoleret kabler og at der kan foretages en form for klassificering i acceptable og ikke acceptable PD niveauer. Optimalt set kan en klassificering i henhold til tabel 4.1 tænkes, men hvor det for hver kategori angives, hvor store PD signaler må være i f.eks. picoCoulomb, hvor mange PD signaler der må forekomme pr. tidsenhed, m.m. Klassificeringen bør laves for både kabelisolationen og mufteisolationen og indeholde flest mulige parameter.

For ikke at skulle starte fra bunden bør analysen af måledata kombineres med et litteraturstudie omkring PD fænomener i olie-papirisolerede kabler og en undersøgelse af hvad der findes af erfaringsregler omkring acceptable PD niveauer.

En evaluering af det brugte måleudstyr skal foretages. Da der meget vel kan komme nye kommercielt tilgængelige målesystemer i løbet af et projekt, bør disse også vurderes i forhold til det brugte måleudstyr.

En analyse af gennemsnitlig tidsforbrug forbundet med en on-line PD måling på et kabel bør udføres for at kunne foretage en vurdering af økonomien i on-line PD målinger og af, om denne type målinger er rentable for netselskaber på sigt.

7.1.5 Organisering

Et måleprojekt i Danmark kræver, at der er netselskaber i Danmark, som er villige til at deltage i projektet og stille kabelstrækninger til rådighed, hvor on-line udstyret kan installeres på, og mandetimer til rådighed i forbindelse installation af udstyr. Et forslag i første omgang for at finde interesserede netselskaber vil være at nedsætte en arbejdsgruppe, hvor netselskaber med mange olie-papirisolerede kabler installeret er repræsenteret.

Netselskaber, som deltager i projektet, skal være indstillet på at stille egnede kabelstrækninger til rådighed samt nødvendigt mandskab i forbindelse med udførelse af målinger på kablerne.

7.1.6 Projektomkostninger

Følgende budget kan opstilles for et on-line PD måleprojekt i Danmark, som løber over en 2 års periode.

Budget:	Arbejdstimer	Omkostning [Dkr.]
On-line måleudstyr (inkl. Uddannelse og div. tilbehør)		500.000,00
1. år		
DEFU	500	
Div. omkostninger (rejseudgifter m.m.)		50.000,00
2. år		
DEFU	500	
Div. omkostninger (rejseudgifter m.m.)		50.000,00
3. år		
DEFU	500	
Div. omkostninger (rejseudgifter m.m.)		50.000,00

I budgettet er der ikke indregnet de mandetimer og andre udgifter, som de enkelte netselskaber har i forbindelse med målinger på kablerne.

Ansøgninger omkring penge til projektet kan med fordel søges på årsbasis, hvorved muligheden for at stoppe projektet efter et år er til stede, hvis resultaterne ikke er lovende.

7.2 Genomförande av mättningsprogram i Sverige

För att ge bästa möjlighet till jämförelse mellan de olika mätsystemen och få synergieffekter görs mätningar och övriga aktiviteter i Sverige på samma sätt som beskrivits för Danmark i avsnitt 7.1. Således mäts på rena pappers-oljekablar av 3-ledartyp för mellanspänning och på sträckor med pappers-oljekabel skarvad mot PEX-kabel. En tillkommande typ av provobjekt för svensk del är rena PEX-kabelsträckor, företrädesvis med flera skarvar. Dessutom undersöks möjligheten att mäta på en eller ett fåtal PEX-isolerade högspänningskablar med konstruktionsspänning inom området 52 – 84 kV.

Budgeten för det svenska projektet sätts till samma eller jämförbar nivå som det danska, innebärande en initial kostnad för bl.a. On-line mätutrustning på 600000 SEK samt årliga omkostnader på 60000 SEK och 500 arbetstimmar.

Det svenska projektet drivs i Elforsks regi. Resultatet samordnas med de danska och norska resultaten varefter en gemensam utvärdering görs.

7.3 Gennemførelse af måleprogram i Norge

I Norge vil gjennomførelsen i prosjektet bestemmes etter at styringskomiteen for et eventuelt prosjekt har vedtatt de foreslåtte aktivitetene. Som tidligere nevnt vil hovedfokus ligge på forståelse av mekanismer for utladningsaktivitet samt sjøkabler. Det er viktig at everkene får kunnskap om hva som kan være mulig med hensyn til tilstandskontroll av massekabler og lange kabler (sjøkabler) uten at kablene tas ut av drift.

7.3.1 Antall kabler i måleprogrammet

Det er viktig å få undersøkt om systemet kan diagnostisere aktuelle feil samt at en eventuell teknikk med å sette inn spoler/kondensatorer vil fungere. Det vil sannsynligvis bli tatt ut noen få kabler som er tilgjengelig og fokusere på disse (totalt maksimalt 5-10 under prosjektet). I tillegg kommer noen utvalgte laboratoriekabler.

7.3.2 Valg av kabler til måleprogrammet.

Det er viktig å undersøke følsomheten til utstyret på typiske sjøkabelkonstruksjoner, samt å måle på både masse og PEX-kabler, samt at de har en viss alder (eldre enn ca 30 år). Kabeldesign er viktig for demping/attenuasjon. Her inngår også kabler med felles skjerm. Lengden vil være opp til 5 km avhengig av design og følsomhet til utstyret.

I laboratoriet velges det ut noen massekabler med defekt (feks hull i ytterkappe der fukt kan trenge inn).

7.3.3 Målinger

Innledningsvis gjøres off-line målinger av kabelen med utstyret ved ulike spenninger (og frekvenser). Varigheten av hver måling avhenger av de resultatene som oppnås. Det startes med kabler med kort lengde.

I laboratoriet gjennomføres både konvensjonelle målinger samt bruk av et utstyr som eventuelt anskaffes.

7.3.4 Organisering

Prosjektet vil inngå i et nytt prosjekt innen EBL-K med norske everk og forskningsrådet som bidragsyttere i prosjektet. SEfAS vil være utførende. Det vil etableres en prosjektkomite bestående av representanter for EBL-K og norske everk.

8 Referenceliste

- Ref. 1: Lee Renforth, Ross Mackinlay and Matthieu michel, "MV Cable Diagnostics – Applying Online PD Testing and Monitoring", MNC-CIRED, September 2005 – Asia Pacific Conference on MV Power Cable Technologies
- Ref. 2: IEC/EN 60270 – High-voltage test techniques – Partial discharge measurements, 1. udgave, IEC/Cenelec, 2002
- Ref. 3: *Måling af olie/papirkablers isolationstilstand*, Teknisk rapport 428, DEFU, Juli 1999
- Ref. 4: OSM Longshot PD Spot Tester – PD Map© Software Manual, version 3, IPEC Engineering Ltd./HVSL, September 2005
- Ref. 5: Cliff Walton and Ross Mackinlay, "PD Monitoring – A Critical Tool for Condition-Based Assesments", Transmission & Distribution World, December 2003
- Ref. 6: R.R. Mackinlay, M. Michel and C.W. Walton, "Tools for Partial Discharge Testing MV Cables and Plant", CIRED, Turin, June 2005 – 18th International Conference on Electricity Distribution
- Ref. 7: Lee Renforth, Ross Mackinlay and Matthieu michel, "MV Cable Diagnostics – Applying Online PD Testing and Monitoring", MNC-CIRED, September 2005 – Asia Pacific Conference on MV Power Cable Technologies
- Ref. 8: R.R. Mackinlay, M. Michel and Lee Renforth, "Partial Discharge Measurements and Damage to High Voltage Cables", Electrical Insulation Organisation, Birmingham, May 2006 – 10th INSUCON International Electrical Insulation Conference
- Ref. 9: P.C.J.M. van der Wielen, J. Veen, P.A.A.F. Wouters, E.F. Steennis, "On-Line Partial Discharge Detection of MV Cables with Defect Localisation (PDOL) Based on Two Synchronised Sensors", CIRED, Turin, 6-9 June 2005
- Ref. 10: Power Diagnostix Systems GmbH: "Diagnosis, monitoring, quality control, research and development".