



## Status for bruk av lysbuevern i Norge

| IFE/E-2021/004 | 15.11.2021

**Forskning for en bedre fremtid**

Rapport nummer: <b>IFE/E-2021/004</b>	ISSN 2535-6380	Tilgjengelighet: Åpen	Publikasjonsdato: 06.12.2021
Revision No.:			
Klient: Nelfo	ISBN: 978-82-7017-934-3	DOCUS ID: 52931	Antall sider: 33
Tittel: Status for bruk av lysbuevern i Norge			
Sammendrag:  <p>Prosjektet har hatt som mål å gi en uavhengig vurdering av status for bruk av lysbuevern i Norge, hovedsakelig basert på publisert forskning på området og informasjon innhentet fra myndigheter, fageksperter og produsenter som tilbyr lysbuevern på det norske markedet. Arbeidet er begrenset til å gjelde komponenter med spesifikasjoner i samsvar med lysbuevernstandarden (IEC 62606).</p> <p>Spesifiserte problemstillinger og spørsmål knyttet til bruk av lysbuevern i Norge har blitt belyst i rapporten. Dette kan for eksempel være om det er særnorske forhold som gjør at lysbuevern er et treffsikkert brannforebyggende tiltak eller om påliteligheten er god nok for lysbuevernene som finnes i dagens marked. En overordnet teknisk beskrivelse av fenomenet lysbuedannelse har blitt presentert, sammen med en gjennomgang av lysbuevernets funksjon og virkemåte. I tillegg har testkravene i lysbuevernstandarden blitt vurdert. Det har også vært diskutert hva som kan være årsaken til den høye forekomsten av serielysbue som brannårsak i den norske brannstatistikken.</p> <p>Arbeidet i dette prosjektet har ført frem til følgende anbefalinger:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Det anbefales en gjennomgang av årsakskategoriene for brann med elektrisk årsak i DSB sin brannstatistikk og det bør vurderes om årsakskategorien "serielysbue" skal endres til "seriefeil".</li> <li>• Det anbefales at lysbuevernstandarden (IEC 62606) utvides med nye og mer omfattende testkrav som bedre gjenspeiler betingelsene i en reell elektrisk anleggsinstallasjon.</li> <li>• Det anbefales at en uavhengig aktør utfører en teststudie der et stort antall lysbuevern plasseres i elektriske installasjoner av ulike slag og monitoreres over tid.</li> <li>• Det anbefales at det fremskaffes dokumentasjon på at lysbuevern er et effektivt brannforebyggende tiltak før et eventuelt krav om lysbuevern i elektriske anleggsinstallasjoner innføres.</li> </ul>			
Utarbeidet av:	Ørnulf Nordseth	DocuSigned by: <i>Ørnulf Nordseth</i>	
Kontrollert av:	Sean Erik Foss	52008A7332A5476... DocuSigned by: <i>Sean Erik Foss</i>	
Godkjent av:	Sean Erik Foss	DocuSigned by: <i>Sean Erik Foss</i>	
Rapport distribusjon:	Åpen	1B2D3A872D144D2...	

## Innholdsfortegnelse

1	Innledning .....	1
2	Brannstatistikk .....	2
2.1	Norge.....	2
2.1.1	Rapporteringssystemet BRIS.....	2
2.1.2	BRASK – brannskadestatistikk.....	3
2.1.3	Knitre – erfaringsdatabasen for brannetterforskning.....	4
2.2	Internasjonalt.....	5
3	Lysbuedannelse i en elektrisk installasjon .....	6
3.1	Hendelsesforløp for en seriefeil.....	7
3.1.1	Motstandsoppvarming.....	8
3.1.2	Glødende kontaktforbindelse .....	8
3.1.3	Lysbuedannelse ved seriefeil .....	8
3.2	Forskning i Norge og internasjonalt.....	9
4	Lysbuevern .....	11
4.1	Historikk .....	11
4.2	Det norske markedet .....	11
4.3	Komponentfunksjon .....	12
4.4	Deteksjonsprinsipp .....	13
4.5	Standarder .....	14
4.5.1	Elektriske lavspenningsinstallasjoner - NEK 400:2018.....	14
4.5.2	Lysbuevernstandarden - IEC 62606 .....	15
5	Betraktninger .....	17
5.1	Brannårsak .....	17
5.2	Testkrav for lysbuevern.....	20
5.3	Særnorske forhold .....	21
5.4	Påliteligheten til lysbuevern .....	22
5.5	Feilsøking etter utkobling .....	25
5.6	Brannforebyggende tiltak .....	26
6	Oppsummering og anbefalinger .....	29
7	Referanser.....	32

## 1 Innledning

Formålet med dette arbeidet er å gi en uavhengig vurdering av status for bruk av lysbuevern i Norge, hovedsakelig basert på publisert forskning på området og informasjon innhentet fra myndigheter, fagekspertene og produsenter som tilbyr lysbuevern på det norske markedet. Arbeidet er begrenset til å gjelde komponenter med spesifikasjoner i samsvar med standarden IEC 62606 - *General requirements for Arc Fault Detection Devices (AFDD)* [1], også referert til som lysbuevernstandarden. Arbeidet er i tillegg begrenset til å være en litteraturstudie, noe som innebærer at det ikke er blitt gjennomført ny forskning eller blitt utført eksperimentelle forsøk i dette prosjektet.

Et lysbuevern er enkelt forklart en elektronisk komponent som kobler ut den elektriske kursen som skal vernes i en elektrisk anleggsinstallasjon når den gjenkjenner farlig lysbuedannelse. Slik lysbuedannelse, enten det er serielysbue eller parallelllysbue, vil typisk ikke fanges opp av jordfeilvern og overbelastningsvern. Farlig lysbuedannelse i elektriske anlegg utgjør en brannrisiko og brannstatistikker antyder at et betydelig antall bygningsbranner oppstår årlig i Norge som følge av lysbuedannelse. I Norge er det fra 1. januar 2019, gjennom normen *NEK 400:2018 Elektriske lavspenningsinstallasjoner* [2], innført en anbefaling om iverksetting av tiltak for å beskytte mot virkninger av seriefeil i forbrukerkurser. Norske myndigheter har altså foreløpig ikke innført krav om bruk av lysbuevern.

Denne rapporten vil ta for seg og belyse spesifiserte problemstillinger og spørsmål knyttet til bruk av lysbuevern i Norge. Dette kan for eksempel være om det er særnorske forhold som gjør at lysbuevern er et treffsikkert brannforebyggende tiltak eller om påliteligheten er god nok for produktene som finnes i dagens marked. Rapporten vil først presentere relevant informasjon hentet fra tilgjengelige brannstatistikker, deretter gi en overordnet teknisk beskrivelse av fenomenet lysbuedannelse, etterfulgt av en gjennomgang av lysbuevernets funksjonalitet, virkemåte og testkrav. Til slutt presenteres en del betraktninger knyttet til bruk av lysbuevern som et brannforebyggende tiltak.

## 2 Brannstatistikk

I de fleste land finnes det brannstatistikker. Ikke alle slike statistikker er offentlig tilgjengelig, og detaljnivå og kategorier varierer gjerne fra land til land. I dette kapittelet vil det fokuseres på statistikk for bygningsbranner med elektrisk årsak, da disse er mest relevant for vurderinger relatert til bruk av lysbuevern.

### 2.1 Norge

I Norge finnes følgende brannstatistikker:

- Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) sin statistikk basert på registreringer i rapporteringssystemet **BRIS**
- Finans Norge sin brannskadestatistikk (**BRASK**) basert på forsikringsutbetalinger
- Norsk brannvernforening sin statistikk basert på Kripos sine registreringer (**Knitre**-databasen)

#### 2.1.1 Rapporteringssystemet BRIS

DSB har utarbeidet statistikk for branner siden 1986. BRIS er en forkortelse for "brann, redning, innrapportering og statistikk", og er et rapporteringssystem som ble satt i drift januar 2016. Dataene som samles inn i BRIS brukes både av brannvesenet og andre som jobber med brannforebyggende arbeid. *Brannstatistikk.no* er en nettbasert tjeneste fra DSB som gir oversikt over alle utrykningene til brann- og redningstjenesten i hele Norge siden 2016. Målet med *Brannstatistikk.no* er ifølge DSB å tilgjengeliggjøre dataene fra BRIS og sette et større søkelys på brannforebygging. Tjenesten ble lansert for innloggede brukere fra brannvesen og 110-sentralene i juni 2019. Den åpne tjenesten ble lansert i betaversjon november 2019.

En rapport som oppsummerer brannstatistikken for 2018 er tilgjengelig på DSB sine nettsider [3]. Av totalt 5089 registrerte oppdrag i 2018 knyttet til bygningsbranner var 3537 oppdrag (ca. 70 %) knyttet til boliger. Brannkilde for boligbrannoppdragene fordeler seg slik [3]:

- |                        |        |
|------------------------|--------|
| - Ikke rapportert:     | 50,9 % |
| - Ukjent:              | 20,2 % |
| - Elektrisk tennkilde: | 13,1 % |
| - Åpen ild:            | 8,6 %  |
| - Annen kilde:         | 4,0 %  |
| - Selvantennelse:      | 2,7 %  |
| - Naturlig fenomen:    | 0,5 %  |

Tilsvarende fordeler registrert brannårsak for disse boligbrannoppdragene seg som følger [3]:

- |                                |        |
|--------------------------------|--------|
| - Ikke rapportert:             | 50,9 % |
| - Ukjent:                      | 22,1 % |
| - Feil bruk:                   | 11,3 % |
| - Feil på utstyr/produkt:      | 5,1 %  |
| - Annet:                       | 4,0 %  |
| - Påsatt:                      | 3,4 %  |
| - Feil på installasjon/anlegg: | 2,9 %  |

En umiddelbar kommentar til denne statistikken er at underrapporteringen er svært høy og det er derfor grunn til å stille spørsmål om datagrunnlaget er særlig godt da man ikke kan forutsette at de ukjente og ikke rapporterte årsakene fordeler seg likt som de brannene som har fått fastsatt en spesifisert årsak. Uansett vil antall branner med elektrisk årsak være statistisk signifikant og utgjøre en vesentlig andel.

I DSB sin brannstatistikk er elektriske årsaker delt inn i 8 underkategorier og fordelingen av disse i tidsrommet 2009 – 2014 var som følger [4]:

- Annen/ukjent elektrisk årsak: 51 %
- Serielysbue: 35 %
- Komponentsvikt: 7 %
- Kortslutning/parallelysbue: 3 %
- Krypstrøm: 2 %
- Jordfeil: 1 %
- Overspenning: 1 %
- Linjebrudd: 0%

Det kan her legges til at DSB sine definisjoner av serielysbue, jordfeil og krypstrøm er som følger [5][6]:

- **Serielysbue** skyldes dårlig kontakt i en kobling. Kontaktsvikt gir lokalt høyere motstand med påfølgende varmgang og kan føre til en stående lysbue. Dette kan føre til avbrenning eller antenning av isolasjon, med påfølgende brann som resultat.
- **Jordfeil** betyr at en eller flere faseledere har tilfeldig eller uønsket forbindelse til jord, for eksempel til metallkapslinger på utstyr eller metallskjermer i kabler.
- **Krypstrøm** er strøm på ville veier. Pga. dårlig rengjøring (støv, oljesøl etc.) og lynoverspenninger kan det bli dannet uønskede strømbaner mot jord eller mellom strømførende ledere med oppvarming som resultat.

I kategorien **Annen/ukjent elektrisk årsak** føres både branner der man ikke kjenner årsaken (ukjent årsak) utover det at den skyldes elektrisk årsak og branner med årsak som ikke dekkes av de definerte underkategoriene (annen årsak).

### 2.1.2 BRASK – brannskadestatistikk

Finans Norge står bak BRASK og de mener at kvaliteten på datagrunnlaget antas å være tilstrekkelig god til å vise et korrekt bilde av skadeutviklingen. Grunnlaget for dataene i BRASK er brannskader meldt til skadeforsikringsselskapene. Alle de største forsikringsselskapene i Norge har siden 1985 levert data til BRASK. Til sammen dekker disse mer enn 90 % av det norske forsikringsmarkedet. For å få et korrekt bilde av skadeomfanget, oppdateres skadeopplysningene to år bakover i tid. Bare skader som er tilstrekkelig godt kodet og som har resultert i erstatning er inkludert i BRASK. Kodeverket ble revidert i 2009. Feltene "bransje" og "bygningssalder" ble da innført. Disse feltene er kodet som ukjent for skader før 2009.

Det er registrert om lag 15-20 ganger flere branner i boliger i BRASK sammenlignet med antall boligbranner i BRIS. Dette kan skyldes ulik definisjon på brann og at det er mange små branner og mindre branntilløp som kun rapporteres til forsikringsselskapene hvor brannvesenet ikke har rykket ut. En brann i BRASK gjenspeiler en polise som det er registrert utbetaling på. Branner som medfører erstatninger større enn kr. 200 000 blir samkjørt og registrert som én brann dersom flere poliser er involvert. I BRASK inkluderes også elektrisk fenomenskade som typisk er overspenningsskader som medfører at f. eks. en fryser eller annet elektrisk utstyr ødelegges, men som ikke er en brann med åpen flamme. Disse skadene er mange i antall, men utgjør en liten del av de totale erstatningene til boligbranner [5].

I Tabell 1 og 2 nedenfor er det gitt et par eksempler på registrerte skadesaker hentet ut fra BRASK for tiårs-perioden fra 2010 til 2020.

**Tabell 1: Antall årlige skadesaker for private boliger der kilden er fastmontert elektrisk utstyr fordelt på årsak.**

Årsak	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	SUM
Antatt påsatt	2	0	3	18	14	9	5	2	5	6	15	79
Selvantennelse	33	40	8	7	13	28	34	17	24	29	23	256
Menneskelig feil	17	15	29	36	34	26	46	38	41	41	42	365
Teknisk svikt	101	111	115	125	130	108	257	185	257	221	212	1822
Lynnedslag	154	481	270	616	1926	502	800	545	505	964	677	7440
Elektrisk fenomenskade	480	674	705	1025	1439	1005	1316	1109	1421	1419	1357	11950
Annet eller ukjent	181	145	190	240	317	356	383	315	424	457	449	3457
SUM	968	1466	1320	2067	3873	2034	2841	2211	2677	3137	2775	25369

**Tabell 2: Antall årlige skadesaker for private boliger for alle brannkilder fordelt på årsak.**

Årsak	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	SUM
Antatt påsatt	181	195	118	198	160	173	148	174	169	192	174	1882
Selvantennelse	439	501	352	347	308	422	473	348	483	409	394	4476
Menneskelig feil	492	548	860	962	843	957	1161	820	1055	952	803	9453
Teknisk svikt	890	970	619	663	614	550	993	932	961	767	588	8547
Lynnedslag	2200	4552	1345	3374	8334	1761	4087	2051	2046	3755	2154	35659
Elektrisk fenomenskade	2803	3945	2985	4177	6233	2981	3766	2653	3200	3386	2881	39010
Annet eller ukjent	7847	7185	5826	6821	8854	6917	8292	10720	12491	13488	11919	100360
SUM	14852	17896	12105	16542	25346	13761	18920	17698	20405	22949	18913	199387

En umiddelbar kommentar til disse tallene er at det er relativt store variasjoner fra år til år. For eksempel er antallet skadesaker i 2014 i Tabell 2 veldig høy sammenlignet med f.eks. antallet for 2015, og årsaken til dette kan det se ut til var et større skadeomfang fra lynnedslag.

### 2.1.3 Knitre – erfaringsdatabasen for brannetterforskning

Norsk brannvernforening samarbeider med Seksjon for Brann og kjemi hos Kripos om databasen Knitre. Knitre ble lansert 13. november 2020 og samler erfaringsdata knyttet til brannårsaker med utgangspunkt i resultater fra brannetterforskning. Databasen samler i tillegg litteratur og forsøk nasjonalt og internasjonalt for å fange opp årsaker, forskning og utvikling generelt. Databasen skal motivere for mer brannetterforskning, bygge opp erfaringsdata og dele kunnskap. I tillegg kan erfaringene fra Knitre påvirke det forebyggende arbeidet. Det er Brannvernforeningen og Seksjon for Brann og Kjemi hos Kripos som strukturerer og kvalitetssjekker innholdet i Knitre.

Målene for opprettelsen av databasen er følgende:

- Bidra til oppklaring av brannårsaker.
- Bidra til at politiets og øvrige interessenters samfunnsengasjement til brannvern styrkes.
- Bidra til oppmerksomhet og engasjement om resultater fra brannetterforskning.
- Bidra i samarbeid og kunnskapsdeling mellom brannetterforskningsmiljøer både nasjonalt og internasjonalt.

Databasen er ikke åpen for allmenheten, men er laget for å hjelpe politi, brannvesen, det lokale eiltilsyn og forsikringsbransjen i arbeidet med å avdekke brannårsaker og forebygge branner. Det kan søkes om avtaleregulert tilgang for personer som jobber med utredning av branner i kommersielt øyemed og for privatpersoner som ikke driver kommersiell virksomhet, men som er bidragsyttere innenfor brannetterforskningsområdet.

Nelfo fikk tilgang til Knitre-databasen i oktober 2021 med tillatelse til å gjengi statistikken vist i denne rapporten. Pr. 1. november 2021 er totalt 447 saker blitt registrert i databasen. Av disse er 14 saker

registrert i årsakskategorien "serielysbue", 9 saker registrert i årsakskategorien "kortslutning/parallelllysbue", 17 saker registrert i årsakskategorien "kontaktsvikt" og 5 saker registrert i årsakskategorien "overoppheting", og summerer man opp alle disse sakene (45 stk.) utgjør de omtrent 10 % av alle saker som er registrert i databasen. Lysbue er blitt nevnt i relativt mange av etterforskningssakene som er blitt registrert i disse fire årsakskategoriene.

I dette prosjektet har en del av etterforskningssakene som er relatert til lysbuedannelse blitt studert nærmere. En sak som er registrert i databasen har typisk hovedfokus på dokumentering av selve brannårsaken, noe som innebærer at det er lite informasjon om hva som var foranledningen (f. eks. bruk av feil installasjonsmateriell, mangelfull installasjon, eller mangelfullt vedlikehold) eller hva som ble konsekvensen (skadeomfanget). I flere saker er det lagt inn detaljerte fotografier av smeltede kobberperler og overflateoksidasjon av kobberledere, noe som er typiske kjennetegn for seriefeil i elektriske kurser med høy strømlast. Dette vil bli utdypet i kapittel 3.

## 2.2 Internasjonalt

Det finnes også tilsvarende internasjonale brannstatistikker der andelen av registrerte branner med elektrisk årsak kan hentes ut. Tabell 3 oppsummerer prosentvis andel av alle registrerte branner med elektrisk årsak i utvalgte land og regioner.

**Tabell 3: Andel av branner med elektrisk årsak i ulike land i angitt tidsrom [7][8].**

Land	Andel	Periode
EU	13-20 %	2004
USA	5-18 %	2009-2011
Storbritannia	18 %	2010-2020
Tyskland	33 %	2002-2013
Kina	27 %	2005-2010
Norge	21 %	2009-2013

En umiddelbar kommentar til tallene i Tabell 3 er at det ikke ser ut til at andelen branner med elektrisk årsak er vesentlig forskjellig i Norge sammenlignet med andelen registrert i andre, relevante industrialiserte land.



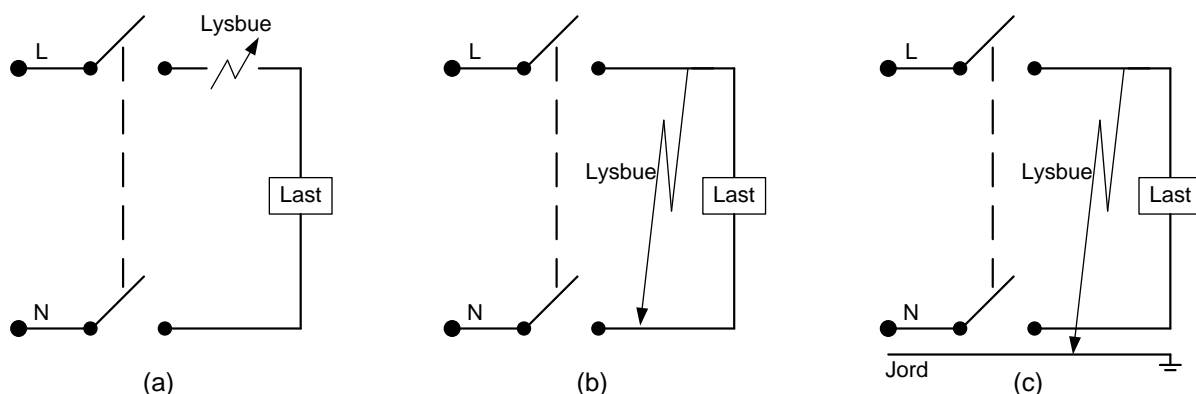
### 3 Lysbuedannelse i en elektrisk installasjon

I International Electrotechnical Vocabulary (IEC 60050) defineres en lysbue som følger:

- *“Luminous discharge of electricity across an insulating medium, usually accompanied by the partial volatilization of the electrodes”.*

Tilsvarende er Store norske leksikon sin definisjon på lysbue *“en lysende, buet strømbane som går mellom to strømførende metall- eller kullstifter i luft”*. Lysbue i denne sammenheng oppstår når man får en svak elektrisk forbindelse mellom strømførende deler (elektriske ledere eller koblingspunkt), noe som medfører at det oppstår en gnist eller stående lyn-lignende lysbue med veldig høy temperatur i luftrommet rundt forbindelsen. Den primære forskjellen mellom en gnist og en lysbue er at en gnist er et transient fenomen, mens en lysbue vil ha en viss varighet [9]. I en elektrisk installasjon er lysbuedannelse uønsket og potensielt farlig, men det finnes også en rekke forbrukerutstyr som genererer (ønskede) lysbuer som en del av funksjonen, for eksempel elektriske børstemotorer som finnes blant annet i støvsugere og elektriske driller. Det kan henvises til referanser [4], [10] og [11] for en oppsummering av de fysiske aspektene ved fenomenet lysbue.

Lysbuedannelse i en elektrisk installasjon kan opptre i ulike former, og man skiller gjerne mellom serielysbue og parallelllysbue. Figur 1 illustrerer forskjellen mellom dem. En serielysbue finner sted i serie med lasten (Figur 1a), mens en parallelllysbue kan oppstå mellom de to lederne (L og N) i installasjonen i parallell med lasten (Figur 1b) eller mellom en leder og jord (Figur 1c).



**Figur 1: Ulike type lysbuedannelse som kan oppstå i en elektrisk installasjon. (a) Serielysbue, (b) parallelllysbue, (c) jordfeillysbue.**

Lysbuer kan ha mange opphav, men de tre hovedårsakene til at lysbuedannelse oppstår i en elektrisk installasjon er [12]:

1. **Kortslutning.** Dette oppstår når det plutselig blir lav resistans og høy strømføring, gjerne som et resultat av at to strømførende metalliske ledere kommer i kontakt med hverandre. Generelt er strømmen i en kortslutningslysbue omvendt proporsjonal med impedansen i lederne.
2. **Karbonisering av isolasjonen.** I lavspenningsnettet kan det oppstå vedvarende lysbuer som en følge av at det er blitt dannet et såkalt karbonisert spor i isolasjonen mellom to ledere. Fukt og forurensninger på overflaten av isolasjonen kan forårsake lekkasjestrømmer og over tid kan dette skape et forkullet spor i isolasjonen som følge av en termisk dekomponeringsprosess. Polyvinylklorid (PVC) er et vanlig isolasjonsmateriale i ledninger og kabler i elektriske installasjoner, da det er et billig materiale med gode mekaniske egenskaper,

men uheldigvis er PVC relativt utsatt for slik forkulling sammenlignet med andre polymermaterialer, som for eksempel krysslinket polyetylen (XLPE) [7].

3. **Ytre ionisering av luften.** I luft ved vanlig atmosfærisk trykk er det vanskelig å etablere lysbuer ved påtrykk av 230 V vekselspanning fordi den dielektriske styrken til luft er 3 MV/m ved disse betingelsene. Dersom det dannes et plasma av ioniserte gasser i luften kan den dielektriske styrken til luft bli betydelig redusert. Lysbuedannelse eller flammer kan være kilder til slik plasmadannelse, og dersom denne ioniserte gassen blir ført bort til andre anleggsdeler kan ytterligere lysbuer (brannindusert lysbuedannelse) skapes.

### 3.1 Hendelsesforløp for en seriefeil

I samlebegrepet seriefeil inngår serielysbue. Ifølge DSB sin brannstatistikk er seriefeil en hyppig brannårsak i elektriske installasjoner, der serielysbue er registrert som årsak til om lag 1/3 av branner med elektrisk årsak. Den største faren for seriefeil er i svake eller svekkede elektriske forbindelser hvor strømlasten er høy, dvs. hvor strømkrevende utstyr fører til en høy belastning i kursen. Utfordringen er at strømmen i kursen ikke påvirkes vesentlig av en seriefeil, noe som medfører at konvensjonelle sikkerhetsinstallasjoner som for eksempel en automatsikring (overbelastningsvern) eller et jordfeilvern ikke er i stand til å oppdage feilen og koble ut strømtilførselen til kursen.

For å forstå hvordan en seriefeil kan utvikle seg til en brann gjelder det å få klarhet i selve hendelsesforløpet. Figur 2 viser en skisse som har som hensikt å illustrere sammenhengene mellom de ulike begrepene som inngår i fenomenbeskrivelsen. En seriefeil er en svak elektrisk forbindelse som kan oppstå av ulike årsaker. Feilen fører til en elektrisk barriere som påvirker strømgjennomgangen i punktet der feilen har oppstått. Det påfølgende hendelsesforløpet er komplekst og dynamisk med ulike stadier som kan opptre i ulik rekkefølge og samtidig påvirke hverandre. Dannelsen av ulike former for lysbuer i forløpet er derfor i stor grad avhengig av elektriske parametre, opprinnelige betingelser, og tidligere stadier i prosessen, for eksempel motstandsoppvarming og gløding. Utfallet av en seriefeil kan være dissipasjon av elektrisk energi med påfølgende varmeutvikling og lokal overoppheting, noe som medfører en høy risiko for antennelse av brennbart materiale og påfølgende brann. De ulike stadiene i hendelsesforløpet vil beskrives i det følgende.



Figur 2: Skisse som illustrerer forløpet fra en seriefeil oppstår (årsak) til en brann bryter ut (konsekvens).

### 3.1.1 Motstandsoppvarming

I et punkt med en svak eller svekket elektrisk forbindelse vil den elektriske motstanden være høyere, og denne forhøyede elektriske motstanden kan medføre en lokal oppvarming når det er en betydelig strømlast. Temperaturøkningen kan framskynde en prosess som innebærer oksidering og siging av metall. Et oksidbelegg, i form av  $\text{Cu}_2\text{O}$ , kan dannes og utbrede seg på overflaten av kobberlederen noe som medfører at strømmen tar veien gjennom dette belegget.  $\text{Cu}_2\text{O}$ -belegget har vesentlig høyere elektrisk motstand enn metallet og utfallet er en prosess som er selvforsterkende eller progressiv, der temperaturen fortsetter å øke fordi oksidasjonen av metallet øker i omfang. Et slikt kontaktpunkt kan potensielt generere en varmeutvikling på 30 – 40 W ved en strømstyrke på 15 – 20 A gjennom punktet [9]. Det finnes også andre årsaker til motstandsoppvarming i en elektrisk installasjon, inkludert [9]:

- For mye isolasjon
- Kraftig overbelastning
- Lekkasje strøm og jordfeil
- Overspenning/spenningsstøt

### 3.1.2 Glødende kontaktforbindelse

I en svak elektrisk forbindelse kan varmeutviklingen bli så stor at kontaktforbindelsen blir glødende. Årsaken til dette er at det kan oppstå høy effektdissipasjon på et relativt avgrenset område (punkt). Sammenhengen mellom temperatur, motstand, strøm og spenning i en svak elektrisk forbindelse ved påtrykk av vekselspenning er oppsummert i referanse [10]. Sletbak m. fl. studerte  $\text{Cu}_2\text{O}$ -dannelsen og fant ut at dette oksidsjiktet (filamentet) glødet ved 1200 – 1300°C, noe som er tilstrekkelig høy temperatur til å antenne de fleste vanlige brennbare materialer [13]. Grunnen til at strømmen innsnevres i et tynt filament i overflaten av oksidlaget henger sammen med at oksydet har en negativ temperaturkoeffisient. De fant videre at strømmen kunne bli konsentrert i et slikt filament allerede ved en strømstyrke på 0,15 A, og at effektdissipasjonen avhenger av strømstyrken og alderen på filamentet. I deres tilfelle målte de en effektdissipasjon på 17 W ved 1 A [13]. I andre studier har det også vært observert at glødende kontaktforbindelser kan oppstå ved relativt lave strømstyrker, rundt 0,15 – 0,8 A [14].

### 3.1.3 Lysbuedannelse ved seriefeil

En løs strømførende forbindelse kan i mange situasjoner utsettes for mekaniske vibrasjoner som gjør at elektrodene beveger seg relativt til hverandre. Mekaniske vibrasjoner kan ha ulike opphav og kan ha en periodisk eller transient oppførsel. Slike vibrasjoner kan forårsake en bevegelse som gjør at elektrodene blir midlertidig separert fra hverandre, noe som kan skape små lysbuer mellom lederne [13]. Det har blitt beskrevet fire ulike måter en serielysbue kan oppstå [15]:

1. Når strømførende elektroder separeres fra hverandre dannes en lysbue. Lysbuen slukker dersom avstanden blir for stor. Lysbuer kan skapes på denne måten, selv med lavere spenning.
2. En lysbue kan oppstå når den elektriske spenningen over to elektroder blir høyere enn gjennomslagsspenningen til materialet som skiller elektrodene. Mellom elektrodene vil det da kunne oppstå en gnist som vil kunne utvikle seg til en lysbue dersom strøm og spenning er tilstrekkelig høy.
3. Ved dannelse av et karbonisert spor mellom elektrodene kan det oppstå lysbuer som tar veien om dette karboniserte sporet.
4. En glødende kontaktforbindelse mellom elektrodene kan føre til lysbuedannelse.

Et eksempel på et hendelsesforløp som er blitt observert for en seriefeil er som følger [16]: Ved en nydannet lysbue har det blitt observert at det i starten (i gnistringsfasen) oppstår en utladning som

genererer hvit støy. Etter hvert forsvinner lav- og høyfrekvent støy mens varmeutviklingen fortsetter og denne utladningen går etter en tid over til en glødefase, med en glødende strømbane i oksidsjiktet som utvikles fra den ene elektrodens metalloverflate til den andre elektrodens metalloverflate. Strømbaner med utstrekning på flere centimeter er blitt observert [13][16]. Under glødefasen øker både lengde og tykkelse av oksidsjiktet. I gapet mellom elektroden fylles rommet med kopperoksid. Samtidig forsvinner metallisk kopper fra elektrodene. Denne prosessen etser vekk elektrodene et stykke fra feilstedet, noe som betyr at det foregår en materialtransport mot kontaktområdet. Resultatet er ansamling av et tykt oksidlag omkring elektrodene ved kontaktpunktet. Etter hvert blir strømbanen langs oksidsjiktet så langt at evnen til å lede strøm et glødende filament i oksidsjiktet ikke kan opprettholdes. Det observeres da to alternativer for det videre forløpet:

- Man klarer ikke lengre å få strømledning ved 230 V spenningspåtrykk, dvs. feilstedet forblir isolerende inntil en overspenningspuls klarer å starte ledning igjen.
- Det inntreer en tilstand der spenningen over feilstedet er rundt 500 mV. Den lave varmeutviklingen vil kunne gjøre at denne tilstanden er av langvarig karakter, gitt at noe ikke skjer som forandrer forholdene ved kontaktstedet (strømlast, mekaniske spenninger, brudd, korrosjon). Slutttilstanden er derfor enten et fullstendig brudd eller en ledende tilstand med nær ohmsk oppførsel.

Det hevdes også at lysbuer vanskelig kan oppstå i 230 V elektriske installasjoner uten at atmosfæren allerede er blitt ionisert, enten fra eksisterende/nærliggende lysbue eller en brann (røykgasser). Brannindusert lysbuedannelse blir ansett for å være den mest vanlige situasjonen med hensyn til spor forårsaket av lysbuer på branntomter [9].

### 3.2 Forskning i Norge og internasjonalt

Det har ved Institutt for elkraftteknikk, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), under veiledning av førsteamanuensis Eilif Hugo Hansen, vært gjennomført tre masteroppgaver innen tematikken seriefeilvern i perioden 2012-2016. I disse oppgaver rapportene har fenomenet seriefeil vært redegjort for relativt omfattende og det kan anbefales å lese disse rapportene for å få ytterligere teknisk innsikt:

- **Seriefeilvern i elektriske installasjoner**, 2012 [11]: Hovedmålet med masteroppgaven var å undersøke om det finnes løsninger for deteksjon av seriefeil på markedet, hvilke krav andre land stiller til slike vern og hvilke løsninger for deteksjon av seriefeil som finnes i de land som stiller til krav seriefeilvern.
- **Seriefeilvern som beskyttelse mot brann**, 2015 [10]: Masteroppgaven gikk ut på å utforske forholdene knyttet til antennelse ved ulike typer seriefeil og undersøke egnethet for typer seriefeilvern-løsninger for å beskytte mot brann. Det ble blant annet forsøkt å finne den utløsende årsaken til antennelse. Testene viste at det under visse betingelser er mulig å starte en brann kun som følge av glødende kontaktforbindelse. Videre ble lysbuevern fra ulike leverandører testet, der hensikten var å utforske lysbueverns potensiale og begrensning.
- **Test av lysbuevern**, 2016 [4]: I denne masteroppgaven ble seriefeilvern med lysbuedeteksjon testet i henhold til standard IEC 62606, og eventuelle svakheter ved lysbuevernet ble vurdert.

Det ble gjennomført en studie ved Energiforsyningens forskningsinstitutt A/S (EFI) tidlig på 90-tallet på oppdrag fra Gjensidige Forsikringsselskap A/S. Dette arbeidet ble nylig gjort åpent tilgjengelig i rapporten "Detektor for kontaktfeil/isolasjonsfeil" [16]. I rapporten undersøkes det muligheter for å detektere seriefeil i elektriske installasjoner.

En studie fra NTNU og SINTEF med tittelen "Glowing contact areas in loose copper wire connections" ble publisert i 1991 [13]. Basert på flere forsøk med glødende kontaktforbindelser støttes i denne

studien påstanden om at branner som skyldes seriefeil ikke nødvendigvis skyldes serielysbue. En av formuleringene er som følger: *“Det er svært sannsynlig at prosessene som ble demonstrert i modellforsøkene også vil finne sted i løse kontakter under reelle forhold. Det antas at de representerer en mer sannsynlig forklaring enn lysbuer for det store antallet branner forårsaket av seriefeil.”*

En rekke rapporter har vært utarbeidet ved SINTEF NBL (Norges Branntekniske Laboratorium) med temaer som er relevante for lysbuevern. DSB har vært oppdragsgiver for mange av disse rapportene.

- Analyse av DSBs brannstatistikk for bygningsbranner i tiårsperioden 1994-2003, Rapport NBL A04122, 2004 [17].
- Brannskadeutviklingen i Norge sammenlignet med andre nordiske land – Årsaker til forskjeller, Rapport NBL A06116, 2006 [18].
- Branner på grunn av elektrisk installasjonsmateriell, Rapport NBL A06121, 2007 [9].
- Hendelser med brann i elektriske anlegg, Rapport NBL A12137 [19].
- Varmgang i elektrisk materiell og utstyr som tennkilde i bygninger, Rapport NBL A06122, 2007 [20].
- Brann på grunn av elektrisk feil i installasjonsmateriell og lavtemperatur varmepåvirkning fra belysning, Rapport NBL A08120, 2008 [21].
- Brannskadeutviklingen i Norge - tiltak for å redusere brannskadene, Rapport NBL A08111, 2008 [22].
- Elektriske kabler og brannrisiko, Rapport NBL A12123, 2012 [23].

Av internasjonal litteratur kan det nevnes arbeidene til V. Babrauskas, J. Shea og J. M. Martel:

- V. Babrauskas har publisert flere bøker og en rekke vitenskapelige journalartikler med tematikk knyttet til årsaken til at brann oppstår i elektriske fordelingsanlegg [15][24][25]. Babrauskas grunnla Fire Science and Technology Inc. (FSTI) i 1993.
- J. Shea har publisert mye forskning med tematikk knyttet til årsakssammenhengene for branner som oppstår i elektriske anleggsinstallasjoner [26]-[29]. Shea har vært affiliert med Schneider Electric Company og Eaton Corporation siden 1993.
- J. M. Martel publiserte sin doktorgradsavhandling med tittel “Series arc faults in low-voltage AC electrical installations” i 2018. Avhandlingen tar for seg mange års forskning på fenomenet lysbuedannelse i elektriske installasjoner og metoder for deteksjon av lysbuer i form av AFDD [7]. Martel har vært affiliert med Siemens AG i over 10 år.

## 4 Lysbuevern

Et lysbuevern har som hovedfunksjon å beskytte mot både serie- og parallelllysue ved å bryte strømmen i kursen dersom det detekteres en lysbue som vernet identifiserer som farlig. I dette kapitlet presenteres ulike sentrale aspekter ved lysbuevernet.

### 4.1 Historikk

Siemens utga i 2012 et såkalt White Paper som tok for seg historikken for lysbuevern, som i USA refereres til som *arc fault circuit interrupter* (AFCI) [30]. Teknologien for deteksjon av lysbuer ble utviklet tidlig på 1990-tallet, og i 1993 finner teknologien veien inn i effektbrytere. Det første kommersielle lysbuevernet ble tilgjengelig i 1997, og det samme året kom det første forslaget om å innføre krav til beskyttelse mot lysbuer i USA. I National Electric Code (NEC) ble det i 1999-utgaven listet at det ville komme krav fra 1. januar 2002 til installasjon av AFCI i soverom i nye bygg og i «remodeling projects», altså hadde kravet ikke tilbakevirkende kraft. Kravet ble i 2008 utvidet til å gjelde kurser for oppholdsrom og videre utvidet i 2014 til også å gjelde kjøkken. AFCI er nå påkrevd i 48 stater i USA gjennom NEC. Canada har hatt samme tilnærming som USA når det gjelder innføring av krav til lysbuevern. I 2017 utgaven av NEC er formuleringen i Section 210.12 som følger:

- *All 120-volt, single-phase, 15- and 20-ampere branch circuits supplying outlets or devices installed in dwelling unit kitchens, family rooms, dining rooms, living rooms, parlors, libraries, dens, bedrooms, sunrooms, recreation rooms, closets, hallways, laundry areas, or similar rooms or areas shall be protected by AFCIs.*

Det nevnes i Siemens sitt notat at motivasjonen for å utvikle denne teknologien var at United States Fire Administration (USFA) på 1980-tallet gjennom en studie oppdaget at dødsratene for brann i USA var 2 - 4 ganger høyere enn i Europa, og at brann i elektriske installasjoner var en stor bidragsyter til dette problemet [31]. Det kan legges til at i USA og Canada er det 120 V vekselspanning (60 Hz) på strømmettet, mens det i Europa er 230 V vekselspanning (50 Hz). Strømlasten i elektriske installasjoner vil derfor typisk være større i USA og Canada enn i Europa.

Det har i over 10 år i Europa vært kommersielt tilgjengelig lysbuevern, dvs. AFDD, som er tilpasset det Europeiske strømmettet, men det har hittil ikke kommet utstrakt krav til implementasjon fra myndigheter. I Tyskland ble det i desember 2017 innført krav om lysbuevern i bygninger der brann vil være kritisk, dvs. museer, historiske bygninger, daghjem, sykehjem o.l [32]. I de fleste andre land, inkludert Norge, er det foreløpig kun anbefalinger om bruk av lysbuevern i visse installasjoner der konsekvensen ved brann er høy, noe som vil utdypes i seksjon 4.5.

### 4.2 Det norske markedet

I september 2001 ble det introdusert et norskprodusert lysbuevern basert på forskning utført ved EFI [15] og et patent utviklet av trondheimsbedriften TransiNor. Produktet ble kalt EIDetector og ble videreutviklet og satt i produksjon av bærumsbedriften IT & Prosess (ITP). I tillegg til å detektere lysbuer i elektriske anleggsinstallasjoner hadde enheten også funksjoner for retningsbestemt jordfeilindikator og spenningsmålinger [33]. EIDetector er også nevnt i en SINTEF NBL-rapport fra 2008 der det opplyses om at Gjensidige Forsikring har dette lysbuevernet under utvikling og at dette produktet ble testet i SINTEF sin studie [21]. Der oppgis det at produsenten av EIDetector var PowerCraft.Net.

I 2014 introduserte Siemens en AFDD-enhet tilpasset det norske markedet, og nå 7 år senere er det minst 6 ulike produsenter som tilbyr lysbuevern i Norge. Blant disse produsentene finner man ABB, Eaton, Garo, Hager, Schneider Electric og Siemens. Alle lysbuevern som tilbys i Norge vil være

konstruert i henhold til kravene som stilles i IEC-standarden for lysbuevern (IEC 62606). Uavhengige sertifiseringsorgan vil typisk utføre en komponentsertifisering ved at de kontrollerer at komponenten tilfredsstiller kravene definert i denne standarden. Et eksempel på et slikt sertifiseringsorgan er *VDE Testing and Certification Institute* i Tyskland.

Det er ukjent nøyaktig hvor mange AFDD-enheter som er solgt på det norske markedet, men det virker å være relativt lav etterspørsel etter slike produkter så lenge det kun er en anbefaling fra norske myndigheter om bruk av lysbuevern. Et anslag basert på tilbakemelding fra produsentene som tilbyr lysbuevern tilsier at det er blitt installert færre enn 1000 lysbuevern i Norge i syvårsperioden fra 2014 til 2021. Til sammenligning selges det flere hundretusen kombiautomater (jordfeilvern kombinert med overbelastningsvern) årlig i Norge.

### 4.3 Komponentfunksjon

Primærfunksjonen til et lysbuevern er å beskytte mot farlig lysbuedannelse i en elektrisk installasjon. Et lysbuevern må installeres i starten av kursen den skal beskytte. Dersom det detekteres en lysbue som vernet identifiserer som farlig vil strømtilførselen til kursen brytes, noe som gjelder for både serie- og parallelllysuer. Samtidig skal lysbuevernet ideelt sett være i stand til å identifisere ufarlig lysbuedannelse som normalt vil kunne genereres av forbrukerutstyr og ikke koble ut kursen i slike tilfeller. I en AFDD-enhet vil det ofte være bygd inn tilleggsfunksjonalitet, noe som gjør at enheten vil kunne gi beskyttelse mot jordfeil, overbelastning, kortslutning (ingen impedans på feilstedet) og overspenning. Slike AFDD-enheter kalles gjerne AFDD-kombiautomater. Det er også andre egenskaper ved en typisk AFDD-enhet som kan nevnes, for eksempel vil vernet løse ut ved varig forhøyet spenning i installasjonen (>275 VAC) som følge av en feil i lav/høyspenningsnettet, slik som fasebortfall eller bortfall av N-leder.

Konvensjonelle jordfeilvern, overspenningsvern, automatsikringer og kombiautomater vil normalt ikke kunne oppdage lysbuedannelse i en elektrisk installasjon. Tabell 4 oppsummerer beskyttelsesfunksjonene til disse komponentene sammenlignet med lysbuevern og AFDD-kombiautomater.

**Tabell 4: Sammenligning av beskyttelsesfunksjon for ulike komponenter.**

Komponent	Kortslutning	Overbelastning	Jordfeil	Serie-lysue	Parallell-lysue	Transient overspenning	Stående forhøyet feilspenning
Jordfeilvern <sup>1</sup>	×	×	√	×	×	×	×
Overspenningsvern <sup>2</sup>	×	×	×	×	×	√	×
Automatsikring <sup>3</sup>	√	√	×	×	×	×	×
Kombiautomat <sup>4</sup>	√	√	√	×	×	×	×
Lysbuevern <sup>5</sup>	×	×	×	√	√	×	√
AFDD-kombiautomat <sup>4,5</sup>	√	√	√	√	√	×	√

Figur 3 viser typisk utforming av en AFDD-kombiautomat. Det er også tilgjengelig på markedet AFDD-enheter som kun har lysbuevern og som kun bygger 1 modul (18 mm bredde). De viktigste spesifikasjonene for et lysbuevern vil typisk være tilgjengelig i datablader for slike produkter. Enheten

<sup>1</sup> Konstruert med spesifikasjoner i samsvar med standarden NEK IEC 61008-1:2010

<sup>2</sup> Konstruert med spesifikasjoner i samsvar med standarden NEK IEC 61643-11:2012

<sup>3</sup> Konstruert med spesifikasjoner i samsvar med standarden NEK IEC 60898-1:2019

<sup>4</sup> Konstruert med spesifikasjoner i samsvar med standarden NEK IEC 61009-1:2010

<sup>5</sup> Konstruert med spesifikasjoner i samsvar med standarden NEK IEC 62606:2013

har en manuell testknapp som tester vernets utløserfunksjon. I tillegg kan vernet ha en innebygget selvtest-funksjon som tester den analoge elektronikken og deteksjonsalgoritmene med et tidsintervall på noen timer. Det finnes gjerne også en LED-indikator plassert på fremsiden som angir operasjonstilstand for enheten og kan gi forbrukeren informasjon om årsaken til en utkobling. Garantitiden for et lysbuevern varierer typisk fra 1 til 5 år, mens forventet levetid er ofte oppgitt i form av antall elektriske operasjoner (typisk > 4000) og mekaniske operasjoner (typisk > 20000). Prisen for en AFDD-kombiautomat avhenger av spesifikasjonene, men ligger gjerne på rundt 2000 NOK (inkl. mva) for en privatkunde. Til sammenligning koster en kombiautomat i underkant av 500 NOK (inkl. mva).



Figur 3: Typisk utforming av en AFDD-kombiautomat med 3 moduler (54 mm bredde).

#### 4.4 Deteksjonsprinsipp

Strømgjennomgangen i en seriefeil vil typisk medføre høy- og lavfrekvente støysignaler som kan brukes til deteksjon på sentrale steder i en elektrisk installasjon, for eksempel i et fordelingskapp. Disse støysignalene forplantes både i nettet (ledningsbundet) og i rommet (utstrålt radiostøy) [16]. Et lysbuevern som monteres i et fordelingskapp vil kontinuerlig overvåke intensiteten og varigheten av sekvenser med høyfrekvent støy på strømkurvene. En innebygd mikroprosessor kjører algoritmer som analyserer disse signalene og kobler ut den tilkoblede kursen momentant ved deteksjon av unormale tilstander, f.eks. ved dannelse av farlige lysbuer. Algoritmene og deteksjonsprinsippene vil gjerne variere fra produsent til produsent. Det er blitt påstått at det trolig er en forutsetning at deteksjonen må foregå i den første tiden etter at kontaktfeilen oppstår (i gnistringsfasen), da det er mest lav- og høyfrekvent støy i starten. Utladningen starter som en lysbue-/gnistutladning med støyfrekvenser (hvit støy) opp mot 300 MHz. Etter hvert forsvinner lav- og høyfrekvent støy mens varmeutviklingen fortsetter. Når feilen går over til glødefasen avtar støyfrekvensen til under ca. 1 MHz [16].

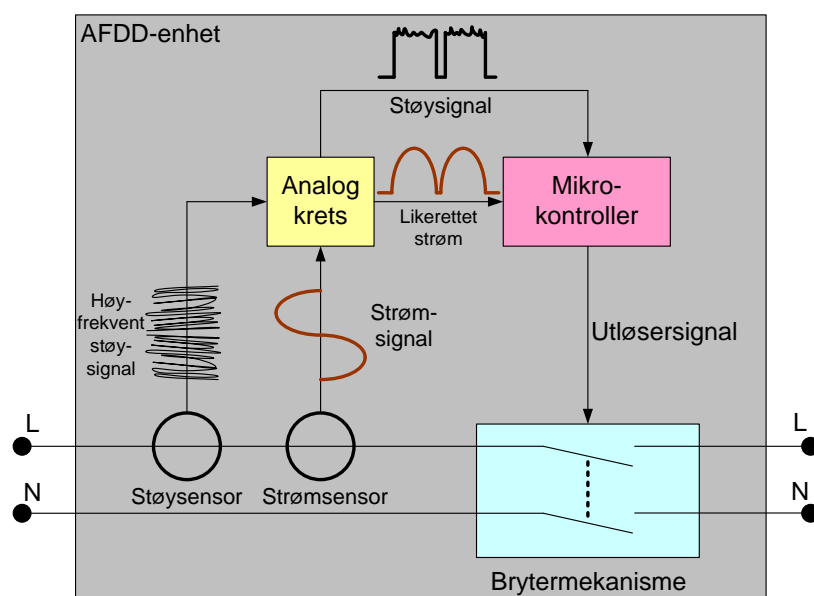
Ulikt elektrisk utstyr vil kunne produsere høy- og lavfrekvente støysignaler under normale forhold, og således er en av de største utfordringene for AFDD-teknologien å skille mellom belastninger som produserer støysignaler som ligner på farlig lysbuedannelse og tilfeller der det er en reell farlig lysbuedannelse i den elektriske installasjonen. For å skille støy fra lysbuedannelse i en elektrisk installasjon fra annen tilfeldig elektrisk støy (f.eks. ønskede lysbuer) må det tas hensyn til [16]:

- Strømstyrke av støysignalet
- Strømsprang ved kontaktslutning
- Grad av asymmetri for ladningstransporten
- Elektrisk støy over 10 MHz
- Grad av kaos i asymmetri og høyfrekvent støy



Det kan legges til at styrken på støysignalene avtar med økende strømgjennomgang i en seriefeil, slik at det typisk vil bli vanskeligere å detektere lysbuedannelse basert på høyfrekvente støysignaler ved høy strømlast [4]. Det er også observert at støyfrekvensen vil øke med økende gapavstand mellom lederne [16].

Prinsippene for Siemens sitt lysbuevern (5SM6) er beskrevet relativt omfattende i produktets datablad [34]. Dette lysbuevernet beskytter mot både parallell- og serielysbuedannelse. En skisse som illustrerer designprinsippet for enheten er vist i Figur 4. Generelt går deteksjonsprinsippet til lysbuevern ut på å måle og analysere høyfrekvente støysignaler og strømkurver på lederen (L) som er koblet til enheten. Disse signalene blir behandlet i en analog krets før de blir sendt til en mikrokontroller for prosessering. Når mikroprosessen gjenkjenner farlig lysbuedannelse vil det sendes et utlørsignal til brytermekanismen som sørger for å koble ut begge lederne på kursen.



Figur 4: Prinsippskisse for designet til et Siemens 5SM6 lysbuevern [34].

For selve deteksjonen av lysbuedannelse for et Siemens 5SM6 lysbuevern defineres en parameter RSSI som står for "Received Signal Strength Indication", som representerer effekten til lysbuen ved en gitt frekvens og båndbredde. Det er to betingelser som må være oppfylt for at lysbuevernet skal tolke støysignalet som skadelig lysbuedannelse. Først må RSSI oppnå en verdi som er høyere enn en forhåndsdefinert grenseverdi. Dersom den tidsderiverte RSSI-verdien i tillegg er større enn en forhåndsdefinert grenseverdi vil begge betingelser være oppfylt. Så snart den akkumulert feilen har oversteget en forhåndsdefinert grenseverdi vil mikrokontrolleren sende ut et utkoblingsignal til brytermekanismen. Uønskede utkoblinger forhindres ved at akkumulert feil umiddelbart tilbakestilles til null hvis vernet gjenkjenner en "utypisk lysbue" [34].

## 4.5 Standarder

### 4.5.1 Elektriske lavspenningsinstallasjoner - NEK 400:2018

I NEK 400:2018, delnorm 4-42 med tittel *Beskyttelse mot termiske virkninger*, er det fra 1. januar 2019 innført en anbefaling om iverksetting av tiltak for å beskytte mot virkninger av seriefeil i forbrukercurser [2]. Dette inkluderer:

- Områder beregnet for sovende personer

- Områder med brannfare på grunn av egenskaper til materialer som bearbeides eller lagres (BE2-områder)
- Områder med brennbare konstruksjonsmaterialer (CA2-områder)
- Bygningskonstruksjoner som bidrar til å spre brann (CB2-områder)
- Områder med uerstattelige verdier

Videre påpekes det at i vekselstrømkurser vil bruk av et lysbuedeteksjonsutstyr (AFDD) i samsvar med IEC 62606 tilfredsstillende anbefalingene overfor. Når en AFDD anvendes skal den plasseres i begynnelsen av kursen den skal beskytte.

Det er også et informativt tillegg til NEK 400:2018 (Tillegg 42A) som omhandler lysbue deteksjonsutstyr. Her nevnes det blant annet at i AC-kurser kan bruken av AFDD i samsvar med IEC 62606 bidra til å redusere risikoen for personer, husdyr og eiendom som skyldes omfattende branner som forplantes fra elektriske installasjoner og apparater. Følgende tre enheter er spesifisert i IEC 62606:

- AFDD som en enkelt enhet, bestående av en AFD-enhet og åpningsinnretninger, og som er ment å være koblet i serie med et egnet overstrømsvern
- AFDD som en enkelt enhet, bestående av en AFD-enhet integrert i et overstrømsvern
- AFDD som består av en AFD-enhet og et spesifisert overstrømsvern som skal monteres på stedet.

NEK 400 revideres normalt hvert 4. år, og neste utgave er planlagt utgitt i juli 2022.

Det kan i tillegg nevnes at med NEK 400:2002 kom det i Norge krav om jordfeilbryter på alle forbrukerkurser som beskyttelse mot brann. Tidligere hadde krav om jordfeilvern blitt gradvis innført i Norge ved at det i 1991 ble krav om jordfeilbrytere i alle våtrom og i 1998 ble det krav om jording i alle forbrukerkurser.

#### 4.5.2 Lysbuevernstandarden - IEC 62606

En egen standard for lysbuevern, *IEC 62606 – General requirements for arc fault detection devices*, ble publisert i 2013 [1]. Standarden er relativt omfattende, og dokumentet er totalt på rundt 150 sider. Det defineres i standarden en rekke krav som lysbuevernet må tilfredsstillende. AFDD-enhetene på markedet er typisk designet og konstruert for å møte disse kravene. I tillegg til generelle krav og tester, som for eksempel svitsje-kapasitet, dielektriske og isolerende egenskaper, levetid, varmebestandighet, elektromagnetisk kompatibilitet, termisk, mekanisk og elektrisk utholdenhet, er det i kapittel 8 i standarden gitt spesifikke krav som er rettet mot komponentens funksjon, blant annet responstid ved deteksjon av farlig lysbuedannelse. Grenseverdier for lysbuevernets brytetid ved deteksjon av farlig lysbuedannelse for ulike teststrømmer er angitt, og disse spesifiserer at vernet skal bryte strømtilførselen til kursen innenfor grenseverdiene gitt i Tabell 5 og 6 for teststrømmer henholdsvis under og over 63 A [1].

**Tabell 5: Grenseverdier for brytetid for gitt teststrøm ved 230 V vekselspanning opp til 63 A.**

Teststrøm (rms-verdi)	2,5 A	5 A	10 A	16 A	32 A	63 A
Maksimal tid før brudd	1 s	0,5 s	0,25 s	0,15 s	0,12 s	0,12 s

**Tabell 6: Maksimalt antall lysbue-halvsykler i løpet av 0,5 s for 230 V vekselspanning over 63 A.**

Teststrøm (rms-verdi)	75 A	100 A	150 A	200 A	300 A	500 A
Antall lysbue-halvsykler	12	10	8	8	8	8

I lysbuevernstandarden er det beskrevet tre spesifikke metoder for å lage lysbuer som skal benyttes i testingen. Lysbuer blir enten generert med en lysbuegenerator eller ved bruk av spesialkonstruerte kabelprøver. Lysbuegeneratoren brukes til serielysbuetester og skal ha en overgang bestående av en elektrode av kobber og en elektrode av karbon separert med en avstand som kan varieres. Den ene kabelprøven brukes også til serielysbuetester og er en skadet flerkjerne kabel med et karbonisert spor i isolasjonen, mens den andre kabelprøven brukes til parallelllysbuetesting og er en flerkjerne kabel som kuttes med et tynt knivblad av stål. Knivbladet vil i dette tilfellet skape en kortslutning mellom lederne [1]. Merk at det er ingen tester i lysbuevernstandarden som simulerer svak kontaktforbindelse. Årsaken til dette er mest sannsynlig at forsøkene fort vil få en lang varighet og dessuten bli uforutsigbare og vanskelige å reproducere.

Det er definert totalt 20 forskjellige tester som skal gjennomføres for å sikre at lysbuevernene fungerer tilfredsstillende. Disse er listet opp i tabell 8 i standarden og er gjengitt i listen nedenfor [1]. Testene inkluderer blant annet verifisering av serie- og parallelllysbuedeteksjon, deteksjonsegenskaper ved maskering/tildekking av lysbuestøyen (forstyrrende laster kobles til) og immunitet mot feilutslag, og alle disse faller inn under punkt 7 i listen.

1. Indelibility of marking
2. Reliability of screws, current-carrying parts and connections
3. Reliability of terminals for external conductors
4. Protection against electric shock
5. Dielectric properties
6. Temperature-rise
7. Verification of the operating characteristic
8. Mechanical and electrical endurance
9. Behavior under short-circuit conditions
10. Resistance to mechanical shock and impact
11. Resistance to heat
12. Resistance to abnormal heat and to fire
13. Verification of the trip-free mechanism
14. Test of resistance to rusting
15. Verification of limiting values of the non-operating current under overcurrent conditions
16. Behavior in case of surges caused by impulse voltage
17. Verification of reliability
18. Verification of ageing of electronic components
19. Electromagnetic compatibility
20. Verification of protection due to overvoltage due to a broke neutral in a three phase system

## 5 Betraktninger

I dette kapittelet vil tematikken presentert i de foregående kapitlene diskuteres og settes i sammenheng. De mest sentrale spørsmålene som er forsøkt belyst er:

- Hvor mange branner og branntilløp er det reelt årlig i Norge som er forårsaket av lysbuedannelse i elektriske anleggsinstallasjoner?
- Hvor gode er egentlig testmetodene og kravene som stilles i lysbuevernstandarden, dvs. vil et lysbuevern som er konstruert for å tilfredsstille kravene i lysbuevernstandarden faktisk klare å fange opp farlig lysbuedannelse skapt i en reelle situasjoner der betingelsene gjerne er annerledes og uforutsigbare?
- Hvor pålitelige er dagens kommersielt tilgjengelige lysbuevern når de plasseres i en forbrukerkurs, både med tanke på å detektere farlig lysbuedannelse og å unngå utilsiktet utkobling (feildeteksjon)?
- Vil innføring av krav om lysbuevern i elektriske anleggsinstallasjoner i Norge være et godt brannforebyggende tiltak?

### 5.1 Brannårsak

Det er en del svakheter i DSB sin brannstatistikk. Generelt bærer datagrunnlaget knyttet til brannårsak preg av en høy grad av underrapportering (ikke rapportert brannårsak) og feilrapportering (rapportert, men ukjent brannårsak). Gjennom et rundskriv fra Riksadvokaten til politietaten er politiet pålagt å etterforske alle branner for å finne brannårsak. I praksis viser DSB sin statistikk at det kun mottas brannårsaksrapport for omkring 70 % av bygningsbrannene som brannvesenet rykker ut til. Dersom de resterende 30 % er skjevfordelt, så vil dette være en feilkilde. I tillegg er Norge et land med liten befolkningstetthet. Dette medfører at en rekke politikamre får liten erfaring med å etterforske branner. Noen av dem har bare noen få eller færre enn én brann i året å etterforske. Dette kan være en medvirkende årsak til at andelen branner med årsak «Ukjent» er så høy som en fjerdedel. DSB kommenterer statistikken som fremkommer fra registreringene i BRIS for årsrapport for 2018 med at tallene må sees på som brann- og redningsvesenets vurdering der og da, i en hektisk situasjon, og kan variere i hvert enkelt tilfelle fra den brannårsak politiet kommer frem til [3]. I en DSB-rapport fra 2010 som omhandler statistikk for omkomne i brann i perioden 1986-2009 [35] skrives det at "*det har i hele perioden vært et problem at brannårsakskoden «Ukjent» har utgjort en svært høy andel, rundt 20 %. For å forsøke å bedre på dette forholdet har man i de senere år i deler av landet prøvd ut sammensatte etterforskningsteam, bestående av representanter fra politi, brannvesen og Det Lokale Eitilsyn (DLE). På sikt håper man at dette vil øke kompetansen innen brannetterforskning, og således bringe brannårsaksstatistikken til et høyere nivå*".

Frem til desember 2009 har noen deler av registrerings skjemaet vært ufullstendig utfylt, og det har også frem til dette tidspunktet vært mulig å registrere flere enn ett alternativ i enkelte skjemaposter, noe som har ført til såkalte dubletter. Fra desember 2009 ble dette rettet opp ved innføringen av styrt elektronisk rapportering. Innføringen av registrerings systemet BRIS og opprettelsen av Knitre-databasen vil kunne være gode tiltak for nettopp å bringe kvaliteten på brannårsaksstatistikken til et høyere nivå. Man har i hvert fall fått på plass en elektronisk plattform som har potensiale for å sørge for bedre kontroll og kvalitetssjekk av data som registreres i systemet. Man kan dog stille spørsmål om personene som registrerer data i BRIS har tilstrekkelig tid og kompetanse til å skape et datagrunnlag av høy kvalitet. Det kreves trolig en høy grad av ekspertise når det kommer til å bestemme brannårsak der kilden ser ut til å være den elektriske installasjonen. Det er uklart hvor mange brannetterforskere i Norge som besitter slik kompetanse.

Serielysbue er den vanligste registrerte brannårsak for branner med elektrisk årsak. Andelen ligger på rundt 35 % og den har ikke endret seg nevneverdig over de to siste tiårene. Det ser derfor ikke ut til

at det er noen trend i den ene eller andre retningen basert på registreringene i brannstatistikken over en relativt lang periode. DSB sin definisjon av serielysbue konstaterer nærmest at kontaktfeil (seriefeil) som det samme som serielysbue. Det kan stilles spørsmål med om dette er hensiktsmessig. Man har ikke noe godt vitenskapelig grunnlag for å si at samtlige kontaktfeil medfører lysbuedannelse. Allerede i 1992 kommenterte Sletbak at brannårsaker registrert som serielysbue er høyst sannsynlig samme fenomen som andre land registrerer som glødende kontaktforbindelse [13]. SINTEF NBL har i flere rapporter påpekt at [21]:

- *"det er et paradoks at det ifølge DSB sin brannstatistikk er ca. halvparten av boligbrannene er forårsaket av serielysbue, samtidig som begrepet serielysbue ikke blir omtalt som brannårsak i den internasjonale brannlitteraturen. Den alternative forklaringen i litteraturen, dvs. glødende kontaktpunkt, som store deler av el-miljøet i Norge ikke ser ut til å være klar over, ble dokumentert av norske forskere rundt 1990 (Sletbak)".*

Videre påpekes det i en norsk studie fra 2012 følgende [11]:

- *"Serielysbue i brannårsakssammenheng er derfor høyst sannsynlig samme fenomen som det andre land registrerer som glødende kontaktforbindelse. Ettersom både serielysbue og glødende kontaktforbindelse er typiske seriefeil, og begge skyldes kontaktsvikt, tyder mye på at de registreres som samme feil. Dette indikerer at brannetterforskere tolker elektriske feil forskjellig, sannsynligvis på grunn av at årsaken til elektriske branner enda ikke er forstått skikkelig. Det påpekes imidlertid at forskjellene mellom fenomenene etter et brannforløp kan være vanskelig å skille"*
- *"Hovedproblemet med seriefeil i elektriske installasjoner er sannsynligvis hovedsakelig glødende kontaktforbindelser, og ikke serielysbue."*

Lignende påstander er lagt frem i en SINTEF NBL-rapport fra 2008 [22]:

- *"Serielysbue er årsak til omtrent halvparten av brannen i el-installasjoner i Norge er ifølge DSBs brannårsaksstatistikk. Det andre land kaller glødende kontaktforbindelse er høyst sannsynlig den samme årsak som DSB betegner serielysbue. Begge årsakene er typiske seriefeil og begge skyldes kontaktsvikt. Ut fra hvordan slike fenomener defineres er imidlertid en stående serielysbue en mer intens tennkilde enn en glødende kontaktforbindelse. Rapporterte temperaturer ved glødende kontaktforbindelser er 1200-1300 °C og stående lysbuer kan gi flere tusen grader. Dette er langt høyere enn hva plastmaterialer utsettes for i henhold til standarder for godkjenning av plastmaterialer anvendt i elektrisk materiell og utstyr, som for eksempel den europeiske standarden IEC 60695 og den amerikanske standarden UL94."*

I en studie fra 2015 skrives følgende [10]:

- *"DSBs brannårsaksstatistikk har imidlertid en svakhet. Politiførstebetjent Susanne Moen ved branngruppa i Oslo politidistrikt skriver i en mail 17. mars 2015 at det ikke eksiterer noen enhetlige retningslinjer for hva som skal til for at det kan konkluderes med en brannårsak. Det betyr at det vil bli enkeltpersoners vurderinger som avgjør hvorvidt en brann blir registrert med eksempelvis "elektrisk årsak", eller om bevisene vurderes for svake slik at brannårsaken blir registrert som "Ukjent" i stedet. Fra 2010 til og med 2013 er andelen branner registrert med "Ukjent" brannårsak 19 %"*
- *"Heller ikke for registrering av de forskjellige elektriske årsakene er det gitt klare føringer for når en konklusjon av brannårsak kan tillates. Dette er også noe som må vurderes av den enkelte. At det kan være vanskelig å komme med en konkret konklusjon dersom bevisene ikke vurderes holdbare nok, kan være en del av forklaringen på hvorfor hele 48 % av de elektriske årsakene registreres som "annet"."*
- *"Resultatet av de manglende retningslinjene for brannårsaksregistrering er at eksempelvis en brann, som ser ut til å ha startet i en stikkontakt, ikke nødvendigvis blir registrert med en mer konkret årsak enn "ukjent" eller "annen elektrisk årsak". Uten en grundigere teknisk"*

*undersøkelse vil, for eksempel, en serielysbue vanskelig kunne dokumenteres godt nok til å være et holdbart bevis. Overfor DSB kan politiet registrere dette som "ukjent" eller "annen elektrisk årsak", med noen ord om den sannsynlige brannårsaken i kommentarfeltet. Konsekvensen av denne feilkilden er at brannårsaken motstandsoppvarming og serielysbue sannsynligvis er større enn hva statistikken til DSB antyder. Dette er en påstand som bekreftes i en telefonsamtale med Moen, 16. mars 2015, og som støttes av Stensaas gjennomgang av kommentarene i kommentarfeltet til DSBs registreringskjemaer [9]."*

Flere SINTEF NBL rapporter har tatt opp spørsmålet om varmgang i elektrisk installasjonsmateriell skyldes gløding eller serielysbue. Her skrives det blant annet [21]:

- *"Når det er oppstått brann i en bolig, og brannetterforskningen påviser varmgang i et koblingspunkt i arnestedsområdet, konkluderes det vanligvis med at brannårsaken er elektrisk feil som følge av serielysbue."*
- *"I en analyse av DSBs brannstatistikk for tiårsperioden 1995-2004 ble det påvist at 50 % av brannene i elektrisk installasjonsmateriell generelt og 57 % av brannene i stikkontakter er registrert med serielysbue som brannårsak."*
- *"Til sammenligning er tilsvarende statistikk fra USA (NFPA), basert på vel 19000 branner pr. år som har startet i installasjonsmateriell i boliger i femårsperioden 1999-2003, viser at kun 6 % av brannene hadde serielysbue som brannårsak, mens 47 % av brannene hadde forskjellige former for kortslutning som brannårsak."*
- *"Ovennevnte tallmateriale indikerer tydelig at man ikke har forstått hva varmgang i installasjonsmateriell egentlig skyldes, og at slike feil tolkes forskjellig."*
- *"Serielysbue omtales i svært liten grad som brannårsak i andre land (USA, Japan, England, Canada). Varmgang i elmateriell forklares med dannelse av kobberoksid i koblingspunktet. Dette medfører økt motstand og varmeutvikling, slik at det til slutt begynner å gløde med temperatur i området 1200-1300 °C."*

Dette illustrerer betydningen av å utforme rapporteringskjemaer av høy kvalitet når man skal samle inn informasjon til statistikkformål. Et eksempel på dette kan være brannstatistikken vist i Tabell 7, der antall registrerte branner med elektrisk årsak og feil bruk av elektrisk utstyr er fordelt etter årsakskategori for perioden 1996 til 1998, hentet fra DSB-utgivelsen *Elsikkerhet* nr. 56. I 1997 kan det se ut til at årsakskategorien varmegang ble innført og denne vokste raskt til å bli den største kategorien i 1998 (sammen med jordfeil). Samtidig ser man at antall registrerte branner i kategorien serielysbue er nesten halvert fra 1997 til 1998, og man kan jo spekulere i om dette er forårsaket av at mange av registreringene som normalt endte opp i denne kategorien nå har endt opp i varmegang-kategorien. Et betimelig spørsmål å stille kan være om ikke lysbuedannelse er overvurdert i brannstatistikken fordi rapporteringskjemaene er mangelfullt utformet. Kategorien serielysbue kan ha blitt en sekkepost for dårlig elektrisk forbindelse (kontaktsvikt).

Det er også verdt å merke seg i Tabell 7 at kategorien jordfeil er vesentlig større enn kategorien serielysbue i 1998. I perioden 2009-2014 havner derimot kun 1 % av registrerte branner med elektrisk årsak i årsakskategorien jordfeil (mens altså ca. 35 % havner i kategorien serielysbue). Dette kan ha sammenheng med at det er blitt gradvis innført krav om jording og jordfeilbryter i alle forbrukerкурser.

**Tabell 7: Antall registrerte branner der årsak er elektrisk eller feil bruk fordelt etter årsakskategori for perioden 1996 til 1998.**

ÅRSAK	1996	1997	1998	Totalt
Annen feil bruk	24	29	67	120
Annen kjent årsak	155	164	239	558
Dårlig vedlikehold	33	56	73	162
Jordfeil	83	365	490	938
Kortslutningslysbue	46	80	67	193
Krypstrøm	46	47	57	150
Materialsvikt	151	244	332	727
Serielysbue	462	652	363	1477
Stråling	14	8	1	23
Termostatsvikt	20	22	35	77
Tildekking	14	25	20	59
Tørrkoking/overoppheting	19	39	51	109
Varmegang		195	462	657
Årsak ukjent/Ikke oppgitt	57	77	122	256
<b>Sum</b>	<b>1124</b>	<b>2003</b>	<b>2379</b>	<b>5506</b>

## 5.2 Testkrav for lysbuevern

I lysbuevernstandarden (IEC 62606) er den minste strømstyrken der det settes krav til at farlig lysbuedannelse skal detekteres satt til 2,5 A med en grenseverdi for brytetid på 1 sekund for 230 V vekselspanning, jamfør Tabell 5. Hensikten med utløserkarakteristikken gitt i Tabell 5 er å begrense dissipert energi til 100 J, der man har antatt en konstant lysbuespenning på 40 V [7]. For 120 V vekselspanning er tilsvarende krav satt til 5 A og 1 sekund. Det stilles altså ikke krav i Norge til at lysbuevernet skal løse ut for farlig lysbuedannelse for strømlaster lavere enn 2,5 A. Det har blitt antydnet gjennom eksperimentelle forsøk at allerede ved lysbuestrømmer så lave som 1,7 A, og muligens lavere, eksisterer det en mulighet for antennelse av omkringliggende materialer [29]. En annen studie fant at ved lysbuestrømmer lavere enn standardens minstekrav, var det mulig å antenne en kabelprøve som var benyttet i forsøket. Lysbuevernene brøt ikke strømmen i kursen, og kabelprøven som brant fikk dermed kontinuerlig tilført energi [10]. I den samme studien ble det foreslått å gjøre en vurdering av hvorvidt den minste lysbuestrømmen, som standarden krever deteksjon av lysbuer ved, kan reduseres uten at dette fører til en uakseptabel økning av utilsiktede utkoblinger [10].

Det er altså blitt stilt spørsmål om denne strømgrensen på 2,5 A er hensiktsmessig. Det fremstår som uklart hva som er den historiske årsaken til at grenseverdien er satt til 2,5 A. Det kan være et kompromiss for å oppnå ønsket komponentfunksjon (få utilsiktede utkoblinger) og akseptabel brannrisiko (lav sannsynlighet for antennelse). Det har blitt observert at spenningsfall over en kontaktfeil er typisk av størrelse 10 – 30 V. Det har blitt nevnt at hvis man antar at faren for en antennelse settes til å gå ved en effektdissipasjon i feilstedet på 30 W, innebærer dette en strømlast på 1 til 3 A [16]. Det har blitt utført tester med lysbuer i PVC-kabler der sannsynligheten for antennelse ved 1 A strømlast var 11 % når selve lysbuestrømmen var 0,8 A. Tilsvarende ved 2 A strømlast og 1,6 A lysbuestrøm var sannsynligheten for antennelse over 50 % [7].

Det viser seg at det også er utfordringer med å designe gode eksperimentelle oppsett for realistisk testing av lysbuevern. Det er blitt rettet kritikk mot lysbuevernstandarden at det ikke kreves mer omfattende tester for feildeteksjoner og for deteksjoner av lysbuer i en kurs med flere tilkoblede

laster, som kan gi strømmer som likner lysbuestrømmer [10]. Noe av utfordringen ligger i at det er vanskelig å utvikle metodikk for generering av lysbuer med ulike karakteristikk og samtidig ha en forventning om at slike standardtester skal være reproducerbare. Det er heller ikke nødvendigvis slik at det å kunne generere lysbuer med ulike karakteristikk på en reproducerbar måte er tilstrekkelig for å avdekke om lysbuevernet er egnet til å beskytte den elektriske installasjonen. Det er en potensiell risiko for at lysbuevernet kun blir designet for å detektere de veldefinerte og reproducerbare lysbuene til testprosedyren. Det er viktig at variansen til lysbuekarakteristikken er forstått, akseptert og implementert i testmetoden [7]. Det har også blitt påpekt at når testene i lysbuevernstandarden utføres er karbon allerede til stede i feilpunktet enten ved materialvalg (elektrode av karbon) eller ved termisk dekomponering av materiale (PVC-isolasjon). Karbon har termioniske egenskaper, dvs. at ladede partikler blir emittert når det varmes opp, noe som medfører ionisering av omkringliggende luft. Det er derfor blitt påstått at verifikasjonstestene i lysbuevernstandarden er ganske kunstige, og at det virker som det er en uoverensstemmelse mellom prosedyren definert i standarden og reelle seriefeil som kan oppstå i en elektrisk installasjon [8].

Lysbuedannelser i elektriske installasjoner er et komplekst fenomen og det virker som det kreves mer forskning og uttesting for å kunne videreutvikle lysbuevernstandarden i form av innføring av nye metodikker for testing og definisjon av mer realistiske testkrav. I en omfattende studie fra 2018 blir det lagt frem en rekke forslag til forbedringer for lysbuevernstandarden basert på eksperimentelle forsøk. Noe av hensikten med studien var å verifisere om testene og kriteriene for lysbuevern var fornuftige og avdekke om metodene benyttet for å generere lysbuer for gjennomføring av slike tester var compatible med lysbuekarakteristikk som oppstår i reelle situasjoner. Noen av anbefalingene fra denne studien inkluderer [7]:

- Start verifikasjon av serielysbuer ved en deteksjonsstrøm på 1 A, dvs. en vesentlig reduksjon fra nåværende grenseverdi på 2,5 A.
- Lysbueenergien bør måles direkte i stedet for å måle brytetiden og sammenligne resultatet med utløserkarakteristikken, dvs. det bør innføres grenseverdier for lysbueenergien i stedet for tid-strøm-karakteristikk.
- Undersøkelsene avslørte at nettspenningen har liten påvirkning på effektdissipasjonen til serielysbuer og det anbefales derfor at utløserkarakteristikken for serielysbue er identiske for ulike nettspenninger (120 V, 230 V, 400 V).
- Det bør benyttes karboniserte kabler for å generere serielysbuer og det bør unngås å benytte lysbuegenerator med grafitt- og kobberelektroder.
- Det bør utføres maskerings- og feilutkoblingstester med en kombinasjon av flere enn to apparater.

I tillegg er det kommet en anbefaling ut fra en relativt ny studie som går ut på at lysbuevernstandarden også bør ta hensyn til kapasitive laster da det kan se ut til at lysbuevern har problemer med å oppdage serielysbuer når det er kapasitive laster i kursen [36].

### 5.3 Særnorske forhold

Som nevnt over havner en relativt stor andel av registrerte boligbranner med elektrisk årsak i årsakskategorien "Serielysbue" (rundt 35 %). Det har tidligere vært spekulert at det kan være særnorske forhold som gjør at denne andelen er så høy. Blant forholdene som har vært nevnt er følgende [9]:

- Strømnettet er unikt (IT-/TN-nett).
- Mye bebyggelse i tre
- Strøm brukes til oppvarming og kan medføre kontinuerlig høy belastning i forbrukerkurser
- Mangelfull brannerforskning
- Ulik tolkning av de elektriske feilene



- Høy feilfrekvens i elektrisk anlegg

Norske husholdninger har tradisjonelt i stor grad benyttet elektrisk varmeavgivende utstyr, noe som ofte medfører høy og langvarig belastning i forbrukerkurser. En seriefeil vil derfor potensielt kunne gi stor effektutvikling og således kunne utgjøre en større brannfare i Norge enn i andre land [11]. Ved sammenligning av den norske brannstatistikken med tilsvarende statistikker for andre nordiske land har det blitt gjort noen funn som kan oppsummeres med det følgende [18]:

- Det omkommer ikke flere i brann i Norge sammenlignet med de andre nordiske landene. Gjennomsnittlig antall omkomne pr. år pr. 100000 innbygger i årene 1999-2003 var 1,3 for Norge, 1,4 for Sverige, 1,5 for Danmark og 1,7 for Finland.
- Det er ikke større brannhyppighet i Norge sammenlignet med de andre nordiske landene. Gjennomsnittlig antall brannutrykninger pr. år pr. 1000 innbygger i årene 2000-2004 var 2,7 for Norge, 2,9 for Sverige, 3,2 for Danmark og 2,5 for Finland.
- Elektrisk årsak er en mindre hyppig registrert årsak til dødsbranner i Sverige (3 %) sammenlignet med Norge (9 %), Finland (9%) og Danmark (12 %).
- Norge har en forholdsvis høy andel av registrerte boligbranner med elektrisk årsak (20 %) sammenlignet med Sverige (8 %) og Danmark (13 %).

Det ser altså ikke ut til at det er spesielt høy brannrisiko i Norge, tvert imot, men det kan se ut til at registrerte boligbranner i Norge oftere har elektrisk årsak sammenlignet med de andre nordiske landene. Som en mulig forklaring på dette nevnes det i studien at elektrisitet er mindre vanlig som oppvarmingskilde i Sverige, samt at en større andel av befolkningen i Sverige bor i blokker og leiegårder der kontroll med elektrisk anlegg kan være bedre [18]. Det er likevel verdt å merke seg at andelen registrerte branner med elektrisk årsak i Norge ikke skiller seg vesentlig fra andelen registrert i EU eller Storbritannia, jamfør Tabell 3.

Det fremstår som uklart hvorfor årsakskategorien "serielsbue" utgjør en relativt stor andel av branner med elektrisk årsak i den norske brannstatistikken. Som nevnt i kapittel 5.1 kan det ha sammenheng med utformingen av registreringsskjemaene og definisjonen DSB har valgt for serielsbue. Det er i dette prosjektet ikke funnet dokumentasjon på at farlig lysbuedannelse faktisk forekommer oftere i elektriske installasjoner i Norge sammenlignet med de andre nordiske landene. Det er heller ikke funnet forskning som kan si noe om hyppigheten av lysbuedannelse i elektriske installasjoner.

#### 5.4 Påliteligheten til lysbuevern

Lysbuevernstandarden beskriver en rekke krav som lysbuevern må tilfredsstillere. Noen av testene kontrollerer at lysbuevernet klarer å detektere farlig lysbuedannelse (serie-, parallell- og jordfeillysbue), der det også undersøkes om lysbuevernene kan detektere farlig lysbuedannelse i kurser hvor det er ulike forstyrrende laster som kan maskere den karakteristiske lysbuestøyen. Videre blir det undersøkt om lysbuevernet kan håndtere å bli utsatt for kilder som genererer støysignaler og strømkurver som kan ligne på farlig lysbuedannelse uten at en utilsiktet utkobling inntreffer (feildeteksjon). Ideelt sett skal et lysbuevern oppdage all farlig lysbuedannelse samtidig som ufarlig lysbuedannelse ikke skal medføre utilsiktede utkoblinger. Å konstruere et slikt lysbuevern kan vise seg å være en teknologisk utfordring, tatt i betraktning det komplekse hendelsesforløpet til en seriefeil i en elektrisk installasjon, jamfør Figur 2.

Det er blitt publisert enkelte uavhengige studier der påliteligheten til AFDD-enheter har blitt testet systematisk. I en norsk studie fra 2015 utført ved NTNU ble lysbuevern fra ulike produsenter testet for feildeteksjoner ved at ulike laster ble tilkoblet testkursen samtidig [10]. Dette innebar blant annet testing med flere og andre typer laster enn de som er beskrevet i lysbuevernstandarden. Motivasjonen for dette var å skape en mer reell situasjon enn det lysbuevernstandarden tester representerer, og

resultatet av testene var vurdert å kunne gi betydningsfulle svar på hvordan lysbuevernet fungerer i en virkelig boliginstallasjon. Resultatdelen bærer preg av at det er vanskelig å gjennomføre gode, reproducerbare forsøk når lysbuer blir fremprovosert i dårlige kontaktforbindelser. Mange ulike hendelsesforløp for kontaktfeilen ble observert, noe som igjen illustrerer at seriefeil i en elektrisk installasjon har en kompleks og dynamisk karakteristikk. Når derimot en lysbuegenerator, i form av en eksperimentell rigg bygget av Siemens [7] tilsvarende den som blir definert i lysbuevernstandarden, og kabelprøver med karbonisert spor i isolasjonen (spesiallaget i et høyspenningslaboratorium hos Siemens i Tyskland) ble benyttet til å skape lysbuer var forsøkene og testresultatene mer forutsigbare. Fem lysbuevern fra to ulike produsenter ble benyttet i testene. Noen av de viktigste betraktningene og funnene fra studien kan oppsummeres med det følgende [10]:

- *"Lysbuer som lages med karboniserte kabelprøver er den testmetoden i lysbuestandarden som i størst grad etterlikner lysbuer som kan oppstå i en boliginstallasjon."*
- *"Forsøkene med de karboniserte kabelprøvene ga gode resultater for alle vern. Resultatene fra testene en tydelig indikasjon på at lysbuevernene er i stand til å beskytte mot skadelige lysbuer som kan oppstå i en installasjon"*.
- *"Testene med lysbuegeneratoren ga utilfredsstillende resultater. Kravene i lysbuestandarden ble ikke innfridd. De tilfellene som ikke tilfredsstilte lysbuestandarden, resulterte ved nesten alle tilfeller i ingen deteksjon av lysbuer. Årsaken til dette kan være at lysbuene blir tolket som en ufarlig normalsituasjon av lysbuevernet"*.
- *"Lysbuegeneratoren vil ikke lage lysbue av identisk art av det som kan forventes å oppstå i en boliginstallasjon. Grunnen til det er at grafittelektroden oppfører seg annerledes enn hva en kobber Elektrode gjør. Gassene som utvikles når en grafittelektrode blir utsatt for varmen fra en lysbue vil ikke være de samme gassene som utvikles fra en kobber Elektrode. En kobber Elektrode vil komme til å smelte under påvirkningen av en lysbue. Det at grafittelektroden ikke smelter er fordelaktig når en lysbue skal produseres. Fordi avstanden mellom elektrodene ikke økes like hurtig når en grafittelektrode er involvert, vil det være betydelig enklere å lage en stabil lysbue"*.
- *"Lysbuevernene gjorde aldri noen feildeteksjoner av lysbuer da de ble testet med ulike kjøkkenapparater (håndmikser, stavmikser, hårføner, støvsuger, strykejern og varmevifte)."*
- *"Imidlertid løste vernene heller ikke ut da krevende laster ble kombinert med lysbuer, slik de burde ha gjort"*.
- *"Testene som skulle teste vernet for feildeteksjoner er langt fra tilstrekkelige til å gi en konklusjon på lysbuevernenes evne til ikke å gjøre lysbuedeteksjoner. Grunnen til det er blant annet at for få ulike apparater ble testet. Det burde også testes apparater av samme type, men av ulike produsenter. Testene bør da bestå av både gamle og nye produkter. Det ble også utført for få tester per lysbuevern til at resultatene kan regnes som pålitelige"*.
- *"Lysbuevern virker å ha et stort potensial for å beskytte mot en betydelig andel av skadelige seriefeil som kan forekomme i en boliginstallasjon, begrunnet i at seriefeil som varierer mellom å være lysbuer og glødende kontaktforbindelser ser ut til å være de mest skadelige"*.

I en annen norsk studie fra 2016 utført ved NTNU ble det undersøkt hvorvidt lysbuevernene kan fungere tilfredsstillende når de ble utsatt for tester som ikke tilsvarer de som er definert i lysbuevernstandarden [4]. I studien ble det utført flere forsøk med forskjellige typer belastninger som hadde strømkurver og støydannelse lignende de som oppstår i kurser hvor det er en farlig lysbuedannelse. Det ble også sett på belastninger som gir en stor startstrøm som kan minne om strømmen til en parallelllysue. Fem lysbuevern fra to ulike produsenter ble benyttet i testene. Alle lysbuevernene ble utsatt for tre ulike tester (svak kontaktforbindelse med oksidbelegg, glødende kontaktforbindelse mellom stål og kobber, vibrerende svak kontaktforbindelse) for deteksjon av farlig lysbuedannelse ved relativt høy laststrøm (15 A), i tillegg til en test for feildeteksjon i form av utilsiktet utkobling. Noen av de viktigste betraktningene og funnene fra studien kan oppsummeres med det følgende [4]:

- "Med andre typer testoppsett kan man finne ut om lysbuevernene kun er egnet for å detektere lysbuer som er med i lysbuevernstandarden, eller om vernene tilfredsstillende alle typer lysbuer som kan oppstå i boliginstallasjoner".
- "Det er vanskeligere å finne et enkelt og pålitelig testoppsett som skal simulere en svak kontaktforbindelse i en boliginstallasjon. Oftest tar det lang tid før det oppstår seriefeil i en svak kontaktforbindelse, og årsaken kan være at kontaktforbindelsen er svakt tilskrudd, at deler av lederne er skadet, eller at det er høy strømbelastning i strømkursen".
- "I alle forsøkene som ble utført med en svak kontaktforbindelse oppsto det serielysbue i koblingspunktet, og alle lysbuevernene detekterte serielysbue og koblet bort strømmen fra kretsen".
- "Rett før det oppsto serielysbue i koblingspunktet, smeltet isolasjonen rundt koblingspunktet. Det antas at lufta inneholdt ioniserte gasser fra den smeltede plastikkisolasjonen til koblingspunktet da det oppsto serielysbue, og det kan ha bidratt til at det oppsto en kraftig og vedvarende lysbue".
- "Lysbuevernene har en svakhet med deteksjonsmetoden for parallelllys buer. Det er flere elektriske apparater og verktøy som kan generere stor startstrøm, slik at vernet antar at det er parallelllys bue og vil koble bort strømmen fra kretsen".
- "De fleste boligeiere har elektrisk utstyr med lavpassfilter i sine hjem. Dette gjelder spesielt i sikringskursene som går til stuen og kjøkkenet. I et forsøk ble en PC-strømforsyning tilkoblet kretsen og i et annet forsøk ble en lysrørarmatur med konvensjonell forkobling tilkoblet kretsen. I disse forsøkene greide ikke lysbuevernet å detektere serielysbue i kretsen".

I en svensk studie fra 2021 utført ved Kungliga Tekniska högskolan (KTH) ble det satt søkelys på testing av ulike kommersielt tilgjengelige lysbuevern for bedre å forstå ytelsen til komponentene og avdekke om de faktisk utfører den funksjonen de er tenkt å gjøre. Ulike fremgangsmåter ble benyttet for å skape serielysbuer (parallelelektroder, brent plugg/stikkontakt og løs kobling i stikkontakt) og testene ble utført med ulike laster i testkursen. Lysbuevern fra fire ulike produsenter (Eaton, Hager, Schneider Electric og Siemens) ble testet for deteksjon av serielysbuedannelse. Lysbuevernene ble ikke testet for utilsiktet utkobling. Noen av de viktigste betraktningene og funnene fra studien kan oppsummeres med det følgende [36]:

- Observasjonene fra forsøkene ledet til hypotesen om at lysbuevernene har veldig ulike deteksjonsalgoritmer, og mest sannsynlig er det forskjellige parametre som analyseres for de ulike lysbuevernene.
- Det virker å være en klar trend at lysbuevernenes ytelse er mye bedre når det ikke er kapasitive laster i kursen. Ytelsen til lysbuevernene var generelt dårlig når kursen inkluderte kapasitive laster (Apple MacBook lader og en LCD-skjerm). I dagens forbrukerkurser er det som oftest kapasitive laster til stede og det er en bekymring at lysbuevernene ikke fungerer som tiltenkt under slike forhold.
- Det konkluderes at lysbuevern kan være nyttige i anvendelser der det er høy risiko, da i form av en tilleggsbeskyttelse da vernene er i stand til å oppdage en andel av lysbuer som kan oppstå og koble ut kursen. Men lysbuevernene er ikke fullt ut pålitelige da det er tilfeller der serielysbuer ikke detekteres.

En engelsk studie fra 2020 tester et lysbuevern ved å benytte en lysbuegenerator med elektroder av karbon og en kableprøve med karbonisert spor preparert i henhold til lysbuevernstandarden. Det foreligger relativt få detaljer om eksperimentet i den publiserte rapporten. Funnene fra studien kan oppsummeres med det følgende [8]:

- Bruk av lysbuegenerator med avkuttete karbonelektroder og en laststrøm på 7,5 A førte til lysbuedeteksjon som ikke var pålitelig.

- En endring av geometrien og temperaturen til karbonelektrode, som en følge av den forutgående lysbuedannelsen (elektrodematerialet ble forbrukt), førte til pålitelig lysbuedeteksjon ved 7,5 A laststrøm.
- Det er mulig at utformingen av karbonelektrode påvirker tettheten til karbondampen i området med lysbuedannelse, og at dette kombinert med økt temperatur førte til en endret aktiveringsspennning og dermed en endring i skulderformasjonen i strømkurvene.
- Når laststrømmen ble senket til 1 A (230 W) og elektrodegeometrien fra forrige punkt ble benyttet, klarte ikke lysbuevernene å detektere lysbuer selv om lysbuer kunne observeres.
- Bruk av kabelprøve med karbonisert spor førte til at lysbuevernene detekterte lysbuer i de fleste tilfeller, men ikke alle.
- Det er tydelig at det er en margin der farlig lysbuedannelse kan eksistere uten å bli detektert.

Det virker som det er forholdsvis lite dokumentasjon tilgjengelig på det som omhandler testing av lysbuevern under betingelser som ikke nødvendigvis sammenfaller med dem som er definert i lysbuevernstandarden (IEC 62606). Studiene nevnt over er å anse som ikke omfattende nok til å konkludere med at påliteligheten til et lysbuevern i en reell elektrisk installasjon ikke er god nok eller ikke. Men en generell kommentar til studiene er at det er forholdsvis urovekkende at det tilsynelatende er relativt enkelt å konstruere tester (betingelser) der lysbuevernene enten ikke er i stand til å oppdage serielysbuer eller foretar en utilsiktet utkobling. Seks av produsentene som tilbyr lysbuevern på det norske markedet har blitt forespurt om de har utført feltstudier der et større antall lysbuevern har blitt installert i elektriske installasjoner (i reelle bygningsinstallasjoner) og overvåket over tid. Ingen av produsentene har kunnet dokumentere at slike feltstudier er blitt gjennomført i Norge. Lysbuevernene på det norske markedet er sertifisert, noe som innebærer at et uavhengig sertifiseringsorgan har kontrollert at lysbuevernene tilfredsstiller kravene som stilles i lysbuevernstandarden. Produsentene har sertifikater for lysbuevern tilgjengelig for de som etterspør slike.

## 5.5 Feilsøking etter utkobling

Lysbuevernet har som hovedfunksjon å koble ut kursen den skal beskytte når farlig lysbuedannelse detekteres. Databladet for produktet oppgir gjerne en prosedyre som forbrukeren kan benytte når lysbuevernet har foretatt en utkobling. Når en utkobling inntreffer vil forbrukeren kunne foreta en avlesning på lysbuevernet for å få mer informasjon om hva som forårsaket utkoblingen. Typisk vil antall blink for en LED-indikator angi feilen. Generelle råd og systematiske instruksjoner for videre oppfølging kan forbrukeren som oftest finne i produktets datablad. Avhengig av årsaken til utkoblingen kan produsentens oppgitte feilsøkingsskjema fort bli relativt komplisert for en forbruker uten grunnleggende kompetanse om elektrisitet og elektriske installasjoner. I mange tilfeller vil den mest hensiktsmessige løsningen etter en utkobling være å tilkalle en godkjent elektriker som kan utføre feilsøking med korrekt utstyr og metodikk.

Noen umiddelbare refleksjoner knyttet til feilsøking etter en utkobling er:

- Det er viktig at antall utilsiktede utkoblinger for lysbuevern er svært lav slik at forbrukeren respekterer både at det kan være en potensiell feil i den elektriske installasjonen og at det eksisterer en risiko for brann så lenge feilen ikke blir funnet og korrigert.
- Å engasjere en elektriker for utføring av feilsøk etter en utkobling er forholdsvis kostbart og mange forbrukere vil derfor kunne vegre seg for å tilkalle elektriker og heller starte egen feilsøking. Det bør kanskje derfor foreligge klare retningslinjer eller anbefalinger fra myndigheter eller forsikringsselskap for forventninger og krav som settes til forbrukeren etter at en kurs har blitt koblet ut. Dette vil antakelig bli særlig relevant hvis det innføres krav om lysbuevern i forbrukerkurser i boliginstallasjoner.

- På lik linje med feilsøking etter jordfeil virker det som tradisjonelle metoder for feilsøking kan benyttes for å avdekke lokasjonen til en lysbuedannelse en elektrisk installasjon. Dette inkluderer elektriske målinger, termografi, oppsplitting av kursen, samt visuelle inspeksjoner kombinert med observasjon av lyd-, lys- og luktdannelse. Ved kontaktfeil oppstår elektrisk (radio)støy som forplantes både i ledningsnettet og i omgivelsene. Utstrålt støy til omgivelsene avtar sterkt med avstanden og kan således være aktuelt å benytte for lokasjon etter en deteksjon av lysbuedannelse. Bli f.eks. avstanden til kontaktfeilen under 10 m vil støynivået mest sannsynlig være høyere enn bakgrunnsstøyen [16]. Det finnes spesialutstyr tilgjengelig på det norske markedet for søk etter kortslutninger i spenningsatte kabler. Et eksempel på et slikt utstyr er et reflektometer (ekkometer) som kan måle avstand til kortslutninger for spenningspåtrykk opptil 600 V og kabellengde opptil 3000 m [37]. Det ville for eksempel være av interesse at produsentene av lysbuevern utvikler pålitelige instrumenter for å lokalisere lysbuedannelse i elektriske installasjoner, eller eventuelt videreutvikler lysbuevernene slik at de får innebygde funksjoner for lokalisering av lysbuer.
- Hvis det skulle oppstå en brann i en elektrisk installasjon etter at en kurs er blitt koblet inn igjen uten at feilen er sjekket grundig ut og eventuelt korrigert, hvem er da ansvarlig? Anta at en godkjent elektriker ikke finner årsaken til at lysbuevernet koblet ut kursen; hva bør være kriteriene for at forbrukeren kan ta i bruk kursen igjen? Også her bør klare retningslinjer fra myndigheter foreligge.

## 5.6 Brannforebyggende tiltak

Det har vært en markant nedgang i antall omkomne i brann siden DSB startet registreringene av omkomne i brann i 1979. I denne perioden har over 80 % av alle de omkomne i brann omkommet i boligbrann. Eldre pleietrengende, personer med nedsatt funksjonsevne og rusavhengige er utsatte grupper. Personer over 70 år har for eksempel fire til fem ganger høyere risiko for å omkomme i brann sammenlignet med resten av befolkningen. I den siste 5-årsperioden (2016-2020) har i snitt 38 personer årlig omkommet i brann.

Av 510 dødsbranner i perioden 2005-2014 ble elektrisk årsak registrert som brannårsak i 11 % av tilfellene [38]. Til sammenligning ble det i 2006 rapportert om en tilsvarende andel på 9 % av 185 dødsbranner i perioden 2001-2003 [17]. Dette innebærer at rundt 3-4 personer antas å omkomme årlig i branner med elektrisk årsak. Hvis man antar at rundt 1/3 av branner med elektrisk årsak er forårsaket av lysbuedannelse, så antyder dette at det i Norge årlig kan omkomme 1-2 personer i brann forårsaket av lysbuedannelse. Videre er det i DSB sin brannstatistikk for 2018 registrert ca. 5000 bygningsbranner. Rundt 20 % av disse brannene er registrert med elektrisk årsak, og hvis man igjen antar at rundt 1/3 av branner med elektrisk årsak er forårsaket av lysbuedannelse, så antyder dette at lysbuedannelse årlig forårsaker noen hundre bygningsbranner i Norge.

Det har altså siden 2019 vært anbefaling om bruk av lysbuedeteksjonsutstyr (AFDD) i samsvar med IEC 62606 for å beskytte mot virkninger av seriefeil [2]. Likevel har det kun vært solgt færre enn tusen AFDD-enheter i Norge, noe som tyder på at interessen for å ta produktet i bruk som et brannforebyggende tiltak er lav. Det er uklart hva som er årsaken til dette, men faktorer som kan spille inn er høy kostnad, lite kjennskap til produktet i markedet, udokumentert virkning, og at andre tiltak vurderes som mer treffsikre (effektive). For eksempel har det i det norske landbruket i de siste årene vært implementert en rekke brannforebyggende tiltak, som ikke involverer lysbuevern, for å redusere risikoen for brann. Landbrukets brannvernkomite lister opp følgende informasjon på sitt nettsted (<https://www.lbk.no/brannstatistikk/>):

- *I 2020 ble det registrert 141 branner i driftsbygninger og 140 boligbranner med skade over 100 000 kroner på norske gårdsbruk. Samlet skadeserstatning for branner i bolighus og driftsbygninger var henholdsvis 254 og 198 millioner kroner.*
- *Det omkom til sammen 852 husdyr i brann i 2020. Dette er vesentlig lavere enn siste 10 års gjennomsnitt som var 6 800 dyreliv i året, men målet er at ingen dyr skal omkomme i brann.*
- *De fleste branntilløp i driftsbygninger har elektrisk årsak – særlig varmgang i sikringsskap. For å avdekke slike utfordringer før brann oppstår, er brannforebyggende el-kontroll med varmesøkende kamera viktigste tiltak. Over 20 000 elektriske anlegg er kontrollert og utbedret for brannfarlige feil.*
- *Både å unngå brann og det å kunne slukke et branntilløp er viktig. Etter krav fra forsikringsbransjen innført i 2016 har nærmer 7 000 bønder nå tatt sertifikat i varme arbeider, der slukkeøvelse inngår.*
- *Norge var først i verden med å sikre husdyr med brannalarm. Nå er det også krav om direkte varsling til mobiltelefon.*
- *For øvrig pågår det testing av temperatursensorer for montering i sikringskap i landbruket. Hensikten er å gi et varsel på mobiltelefon om det er unormal temperaturutvikling. Dette erstatter ikke en el-kontroll, men gir bonden mulighet til å følge med på om brannfarlige el-feil som oppstår mellom hver kontroll, og dermed kan ringe en elektriker for utbedring, istedenfor å måtte ringe brannvesenet.*

Uttalelsene over antyder at el-kontroll, varsling og opplæring er brannforebyggende tiltak som har gitt dokumentert gode resultater i det norske landbruket. Et annet tiltak som ofte er nevnt er automatiske slokkesystemer. I en rapport fra 2017 er det blitt lagt frem følgende sammenhenger om virkningen slike slokkesystemer har som brannforebyggende tiltak [38]:

- *Andelen dødsbranner der det var installert automatisk slokkesystem er forsvinnende liten (0,9 %). Dette kommer etter all sannsynlighet av at de fleste dødsbranner skjer i hjemmet, og halvparten skjer da i eneboliger hvor det ikke er krav til slokkeanlegg.*
- *Videre inntreffer ¼ av dødsbranner i boligblokker og leiligheter, hvor det ikke er krav til slokkeanlegg med mindre blokken har tre eller flere etasjer og er prosjektert etter 2010. De tilfellene (dødsbrannene) i datagrunnlaget hvor det var installert slokkeanlegg oppsto på institusjoner, og brannen hadde ikke blitt stor nok i noen av tilfellene til å utløse anlegget.*
- *Det skal ikke utelukkes at et påbud om automatiske slokkeanlegg i alle boliger ville hatt betydelig effekt på antall omkomne i brann. I USA er det meldt om 83 % færre omkomne i branner i bygg hvor det var installert automatiske slokkeanlegg i perioden 2004-2013.*
- *Et mer målrettet alternativ til faste automatiske slokkeanlegg kan være å forsterke ordningen enkelte kommuner har med utplassering av mobile automatiske slokkeanlegg hos personer med forhøyet risiko for brann.*

Komfyrvakt er et annet nylig introdusert brannforebyggende tiltak. Fra 2010 ble det krav om komfyrvakt i nye boliger (inkludert fritidsboliger), noe som også gjelder dersom det legges opp ny kurs til komfyri i eldre boliger. Det er også etablert ordninger der spesielt utsatte personer kan få installert komfyrvakt gratis av hjelpemiddelsentralene. DSB sin brannstatistikk antyder at rundt halvparten av brannvesenets utrykninger skyldes komfyren. I 2019 rykket brannvesenet ut til 4323 boligbranner i private hjem, og hele 1847 (44 %) av disse var registrert som brann og branntilløp på komfyren. Det er uklart hvor mange av disse registrerte tilfellene som førte til en reell brann, men brannstatistikken antyder i stor grad at komfyren utgjør en relativt høy risiko for brann sammenlignet med annet

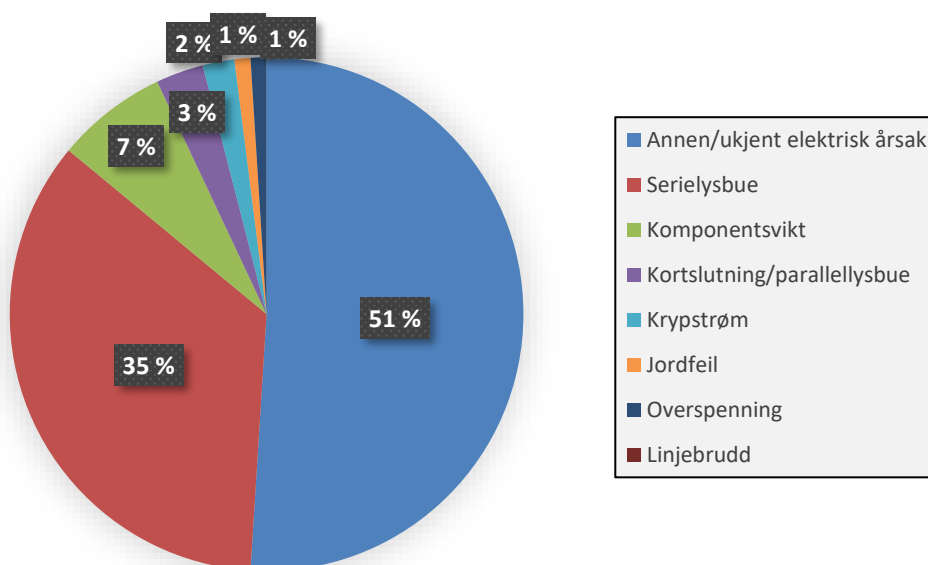
forbrukerutstyr i private hjem, og komfyrvakt virker således å være et målrettet brannforebyggende tiltak. Det kan legges til at brannstatistikken for 2019 ikke sier noe om hvor mange av komfyrene der det oppstod brann eller branntilløp hadde en komfyrvakt installert, noe som kunne bidratt til å forstå hvor effektivt komfyrvakten er som et brannforebyggende tiltak i Norge. Noen norske forsikringsselskaper gir rabatt på forsikringspremien hvis FG-godkjent komfyrvakt har blitt installert. Det samme gjelder for utføring av en el-kontroll. Gjensidige skriver følgende på sine nettsider (<https://www.gjensidige.no/godtforberedt/content/el-kontroll-gir-en-tryggere-hverdag>):

- *En el-kontroll utføres av en sertifisert kontrollør som sjekker både sikringsskapet og resten av det elektriske anlegget som ligger skjult i rør og koblinger. Stikkontakter, apparater som komfyr og vaskemaskin, røykvarsler og brannsløkkingsapparat kontrolleres også. I tillegg får du grundig informasjon om hvordan du bruker elektrisk utstyr på en trygg måte.*
- *Etter kontrollen mottar man et skjema som forteller hva som er i orden og hva som eventuelt må rettes på. Når det er gjort, har du krav på prisavslag i forsikringen, enten det gjelder hus eller fritidsbolig. Den eksakte rabatten beregnes nøyaktig i hvert enkelt tilfelle, men ligger oftest mellom 10 og 20 prosent.*

Det virker ikke som om norske forsikringsselskap har innført en tilsvarende rabattordning for installasjon av lysbuedeteksjonsutstyr (AFDD) i samsvar med IEC 62606. Som nevnt tidligere var Gjensidige Forsikring involvert i en årrekke på 1990- og 2000-tallet med utviklingen av det norske lysbuevernet EIDetector, noe som tyder på at forsikringsbransjen tidligere var svært interessert i å innføre lysbuevern som et brannforebyggende tiltak. Det er uklart hva som i er forsikringsselskapenes holdning til lysbuevern i dag.

## 6 Oppsummering og anbefalinger

DSB sin brannstatistikk inneholder mye verdifull informasjon og er således svært nyttig for samfunnet. En del data er trivielt å registrere korrekt i databasen noe som gjør at mye av statistikken har et godt datagrunnlag. Når det kommer til å registrere korrekt brannårsak er det helt klart at det er en stor utfordring å skape et godt nok datagrunnlag. Kakediagrammet i Figur 5 viser fordelingen i de 8 ulike årsakskategoriene for boligbranner med elektrisk årsak i perioden 2009-2014 og illustrerer denne utfordringen på en god måte. Mindre enn halvparten av boligbranner har historisk sett blitt registrert med en årsakskategori, noe som tyder på at det veldig ofte ikke er trivielt å finne brannårsaken i tilfellene der elektrisk energi er identifisert som tennkilden. Andre faktorer som kan spille inn er manglende ressurser og kompetanse hos instansene som har ansvar for brannetterforskning. Opprettelsen av BRIS og Knitre i henholdsvis 2016 og 2020 kan være steg i på veien til å bringe kvaliteten på brannårsaksstatistikken til et høyere nivå.



**Figur 5: Fordeling i ulike årsakskategorier for boligbranner med elektrisk årsak i perioden 2009-2014 [4].**

Serielysbue er en stor årsakskategori med en andel på rundt 35 % av alle boligbranner med elektrisk årsak. Flere fagmiljøer i Norge har siden begynnelsen av 1990-tallet påpekt at brannårsaker registrert som serielysbue er høyst sannsynlig samme fenomen som andre land registrerer som glødende kontaktforbindelse [13]. Det kan stilles spørsmål om DSB sin definisjon av serielysbue er hensiktsmessig, og det bør vurderes om årsakskategorien "serielysbue" heller bør kalles "seriefeil". Lysbuedannelse kan på samme måte som motstandsoppvarming og glødende kontaktpunkt sees på som en del av forløpet til en seriefeil. Man har ikke godt vitenskapelig grunnlag for å si at samtlige seriefeil medfører lysbuedannelse eller at lysbuedannelse alltid er utløsende faktor for antennelse av en brann. Mye tyder på at lysbuedannelse kan være en medvirkende faktor. Det er blitt påpekt at undersøkelser av ulike feilscenarier har demonstrert kompleksiteten til en seriefeil i en elektrisk installasjon [7]. Et av forløpene som er blitt skissert er at kontaktoverflatene til en svak og gnistrende kontakt blir oksidert. Dette leder til et glødende kontaktpunkt og overoppheting. Etter hvert som oksidasjonsprosessen utvikler seg og effektdissipasjonen øker, vil temperaturen til det glødende filamentet i kontaktpunktet nå en kritisk verdi og fordampe. På dette tidspunktet vil det glødende filamentet gå i stykker og en lysbue kan dannes [7]. Mekanismene som er involvert i utviklingen av en seriefeil er sammensatte og fortsatt ikke fullt ut forstått.



Lysbuedannelser i elektriske installasjoner et komplekst fenomen og det virker som videreutvikling av lysbuevernstandarden (IEC 62606) i form av innføring av nye metodikker for testing og definisjon av mer realistiske testkrav er hensiktsmessig. I flere nylige vitenskapelige studier er det blitt lagt frem en rekke forslag til forbedringer for lysbuevernstandarden basert på eksperimentelle forsøk og observasjoner. Disse forslagene til forbedringer inkluderer blant annet:

- Start verifikasjon av serielysbuer ved en deteksjonsstrøm på 1 A, dvs. en vesentlig reduksjon fra nåværende verdi på 2,5 A.
- Lysbueenergien bør måles direkte i stedet for å måle brytetiden og sammenligne resultatet med utløserkarakteristikken, dvs. det bør innføres grenseverdier for lysbueenergien i stedet for tid-strøm-karakteristikk.
- Utløserkarakteristikken for serielysbue bør være identiske for ulike nettspenninger.
- Det bør benyttes karboniserte kabler for å generere serielysbuer og det bør unngås å benytte lysbuegenerator med grafitt- og kobber Elektroder.
- Det bør utføres maskerings- og feilutkoblingstester med en kombinasjon av flere enn to apparater, der også kapasitive laster finnes i kursen

Det foreligger forholdsvis lite dokumentasjon som omhandler testing av lysbuevern under betingelser som er forskjellige fra de som er definert i lysbuevernstandarden. De få vitenskapelige studiene som er funnet er generelt ikke omfattende nok til å avdekke hvorvidt påliteligheten til et lysbuevern i en reell elektrisk anleggsinstallasjon (f.eks. i en boliginstallasjon) er god nok eller ikke. Men det er ganske urovekkende at det tilsynelatende er relativt enkelt å designe tester der lysbuevernene enten ikke er i stand til å detektere farlig lysbuedannelse i den elektriske kursen eller foretar en utilsiktet utkobling (for ufarlig lysbuedannelse). Det virker nødvendig at det utføres utstrakt felttesting av lysbuevern der troverdig dokumentasjon om lysbuevernets pålitelighet kan fremskaffes slik at man kan få avklart 1) hvor godt egnet er et lysbuevern er som beskyttelse mot seriefeil i elektriske anleggsinstallasjoner, 2) hvor stor andel av farlig lysbuedannelser man kan forvente at et lysbuevern detekterer i en reell elektrisk anleggsinstallasjon, 3) hvor mange utilsiktete utkoblinger man kan forvente av et lysbuevern i en vanlig boliginstallasjon.

Det mangler dokumentasjon på at lysbuevern er et effektivt brannforebyggende tiltak og det er ikke påvist noen sammenheng mellom bruk av lysbuevern og redusert brannrisiko. Det har i de senere år vært introdusert brannforebyggende tiltak som har vist seg å være treffsikre. EI-kontroll har fått ned risikoen for brann i landbruket. Krav om EI-kontroll for eksempel ved overdragelse av boliger kunne vært vurdert innført enten fremfor eller kombinert med innføring av krav om lysbuevern i boliginstallasjoner. Krav om lysbuevern bør først vurderes innført gradvis etter at det foreligger dokumentasjon på at det kan være et effektivt brannforebyggende tiltak. En gradvis innføring kunne bety at installasjoner med forhøyet risiko (høy strømlast, landbruk, verneverdige bygninger, alders- og sykehjem, soverom, etc.) først vil bli dekket av et slikt krav.

## Anbefalinger

Arbeidet i dette prosjektet har ført frem til følgende anbefalinger:

- Det anbefales en gjennomgang av årsakskategoriene for brann med elektrisk årsak i DSB sin brannstatistikk og det bør vurderes om årsakskategorien "serielysbue" skal endres til "seriefeil".
- Det anbefales at lysbuevernstandarden (IEC 62606) utvides med nye og mer omfattende testkrav som bedre gjenspeiler betingelsene i en reell elektrisk anleggsinstallasjon.

- Det anbefales at en uavhengig aktør utfører en teststudie (forskningsprosjekt) der et stort antall lysbuevern plasseres i elektriske installasjoner av ulike slag og monitoreres over tid.
- Det anbefales at det fremskaffes dokumentasjon på at lysbuevern er et effektivt brannforebyggende tiltak før et eventuelt krav om lysbuevern i elektriske anleggsinstallasjoner innføres.

## 7 Referanser

- [1] International Electrotechnical Commission (IEC), "General requirements for arc fault detection devices", IEC 62606, 2013.
- [2] Norsk Elektroteknisk Komite (NEK), "Elektriske lavspenningsinstallasjoner", NEK 400:2018, 2018.
- [3] Brannstatistikk 2018, "Tall fra rapporteringsløsningen (BRIS) fra brann- og redningsvesenet til DSB", Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB), 2019.
- [4] M. Fagerås, "Testing av lysbuevern". Masteroppgave, NTNU, 2016.
- [5] B. A. Mostue, "Brannskadeutviklingen i Norge - tiltak for å redusere brannskadene", SINTEF NBL as, Rapport NBL A08111, 2008.
- [6] A. Steen-Hansen, J. P. Stensaas, S. Fjær, K. Storesund, "Elektriske kabler og brannrisiko", SINTEF NBL as, Rapport NBL A12123, 2012.
- [7] J. M. Martel, "Series arc faults in low-voltage AC electrical installations", PhD thesis, Technische Universität Ilmenau, 2018.
- [8] K. Hoare, "Arc Fault Detection Devices (AFDDs) - Are they worth it?", Hoare Lea Consulting Engineers, November 2020.
- [9] J. P. Stensaas, "Branner på grunn av elektrisk installasjonsmateriell", SINTEF NBL as, Rapport NBL A06121, 2007.
- [10] M. B. Nilsen. "Seriefeilvern som beskyttelse mot brann". Masteroppgave, NTNU, 2015.
- [11] C. O. Larsson. "Seriefeilvern i elektriske installasjoner". Masteroppgave, NTNU, 2012.
- [12] V. Babrauskas, "How do electrical wiring faults lead to structure ignitions", Proc. Fire Mater. Conf., pp. 39-51, 2002.
- [13] J. Sletbak, R. Kristensen, H. Sundklakk, G. Nåvik and M. Runde, "Glowing contact areas in loose copper wire connections", IEEE Trans. Comp. Hybrids Manufact. Technol., vol. 15, no. 3, pp. 322-327, Jun. 1992.
- [14] J. Urbas, "Glowing connections experiments with alternating currents below 1 Arms", IEEE Holm Conference on Electric Contacts, 2008.
- [15] V. Babrauskas, Ignition Handbook, Fire Science Publishers, Issaquah, WA, 2003.
- [16] G. Nåvik, B. Aspmo, D. I. Ekrem, R. Kristensen, "Detektor for kontaktfeil/isolasjonsfeil", Energiforsyningens forskningsinstitutt A/S, Teknisk rapport nr. TR 3811, 1991.
- [17] B. A. Mostue, J. P. Stensaas, "Analyse av DSBs brannstatistikk for bygningsbranner i tiårsperioden 1994-2003", SINTEF NBL as, Rapport NBL A04122, 2004.
- [18] B. A. Mostue, "Brannskadeutviklingen i Norge sammenlignet med andre nordiske land – Årsaker til forskjeller", SINTEF NBL as, Rapport NBL A06116, 2006.
- [19] K. Storesund, A. S. Hansen, B. A. Mostue, C. Sesseng, "Hendelser med brann i elektriske anlegg", SINTEF NBL as, Rapport NBL A12137, 2012.
- [20] J. P. Stensaas, "Varmgang i elektrisk materiell og utstyr som tennkilde i bygninger", SINTEF NBL as, Rapport NBL A06122, 2007.
- [21] J. P. Stensaas og K. Nygård, "Brann på grunn av elektrisk feil i installasjonsmateriell og lavtemperatur varmepåvirkning fra belysning", SINTEF NBL as, Rapport NBL A08120, 2008.
- [22] B. A. Mostue, "Brannskadeutviklingen i Norge – Tiltak for å redusere brannskadene", SINTEF NBL as, Rapport A08111, 2008.
- [23] A. S. Hansen, J. P. Stensaas, S. Fjær, K. Storesund, "Elektriske kabler og brannrisiko", SINTEF NBL as, Rapport NBL A12123, 2012.
- [24] V. Babrauskas, "Mechanisms and modes for ignition of low-voltage PVC wires, cables and cords", Fire and Materials, pp. 291-309, 2005.
- [25] V. Babrauskas, "Mechanisms and modes for ignition of low-voltage, PVC-insulated electrotechnical products", Fire and Materials, pp. 151-174, 2006.
- [26] J. Shea, "Glowing contact physics", in Electrical contacts-2006, proceedings of the fifty-second IEEE Holm conference on, 2006, pp. 48-57.

- [27] J. Shea, "Conditions for Series Arcing Phenomena in PVC Wiring", IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies Volume 30, pp. 532-539 (2007)
- [28] J. Shea and X. Zhou, "Material effect on glowing contact properties", in Electrical contacts-2007, the 53rd IEEE Holm conference on, 2007, pp. 90-97.
- [29] J. Shea, "Identifying causes for certain types of electrically initiated fires in residential circuits", Fire and Materials, vol. 35, pp. 19-42, 2011.
- [30] Siemens Industry Inc., "History of the AFCI", White Paper, 2012.
- [31] J. Banks, R. L. Rardin, "Selected International Comparisons of Fire Loss", Georgia Institute of Technology, 1980.
- [32] DIN VDE 0100-420:2016-02 Errichten von Niederspannungsanlagen Teil 4-42: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen thermische Auswirkungen
- [33] Teknisk Ukeblad, "En gnistrende verdensnyhet", Produktnyheter, 15. august 2001. <https://www.tu.no/artikler/en-gnistrende-verdensnyhet/273258>
- [34] Siemens AG, 5sm6 AFD unit. technical manual, siemens ag infrastructure and cities sector low and medium voltage division, 2012.
- [35] Direktoratet for samfunnstryggleik og beredskap (DSB), "Kjenneteikn og utviklingstrekk ved dødsbrannar og omkomne i brann - Ein gjennomgang av DSBs statistikk over omkomne i brann 1986–2009, Rapport, 2010.
- [36] G. Alqabbani, "Tests of series arching and arc fault detection devices in low voltage systems", Masteroppgave, KTH Royal Institute of Technology, 2021.
- [37] LiveWire Innovation, Arc Chaser™ LW-AC120
- [38] C. Sesseng, K. Storesund, A. Steen-Hansen, "Analyse av dødsbranner i Norge i perioden 2005 – 2014", RISE Fire Research, RISE-rapport A17 20176:1, 2017.