

Tiltak for å redusere brannrisikoen i distribusjonstavler

Masteroppgave
NTNU student: Mohamed Al-Najjar
Trondheim, Høst 2023

Abstract

The master's thesis focuses on fire risks within electrical fuse boxes and how these risks can be mitigated through effective fire safety measures and preventive strategies.

The study includes a review of literature, case studies, and a temperature analysis of circuit breakers using Comsol. This analysis aims to identify causes, consequences, and risk factors associated with fires in fuse boxes.

Various fire safety measures were evaluated, such as thermal monitoring, electrical system dimensioning, and ventilation within the fuse boxes. Their effectiveness, limitations, and challenges were discussed extensively.

The findings led to specific recommendations and guidelines to enhance fire safety in electrical fuse boxes. Additionally, the thesis highlights the necessity for further research, education, and awareness in this field.

Sammendrag

Masteroppgave handler om brannrisiko i elektriske sikringsskap og hvordan den kan reduseres gjennom effektive brannsikringstiltak og forebyggende strategier.

I oppgaven er det gjennomført en litteraturgjennomgang, Case-studier og en temperaturanalyse av automatsikringer med hjelp av Comsol. Det for å identifisere brannårsaker, konsekvenser og risikofaktorer i sikringsskap.

Det ble også evaluert ulike brannsikringstiltak, som termisk overvåking, dimensjonering av elektrisk anlegg og ventilasjon i sikringsskap. Det ble også diskutert deres effektivitet, begrensninger og utfordringer.

Det er kommet frem til noen konkrete anbefalinger og retningslinjer for å forbedre brannsikkerheten i elektriske sikringsskap, samt pekt på behovet for mer forskning, utdanning og bevissthet på dette området.

Innhold

| | | |
|----------|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Innledning | 1 |
| 1.1 | Bakgrunn og motivasjon for valg av emne | 1 |
| 1.2 | Problemstilling og forskningsspørsmål | 2 |
| 1.3 | Mål og begrensninger for oppgaven | 3 |
| 2 | Teoretisk rammeverk | 4 |
| 2.1 | Elektrisitet og brannrisiko: Grunnleggende prinsipper | 4 |
| 2.2 | Relevante lover, forskrifter og standarder | 6 |
| 2.3 | Elektriske sikringsskap: Funksjon, utstyr og oppbygging | 7 |
| 2.3.1 | Bryteranlegg og automatsikring | 8 |
| 2.3.2 | Varmeutvikling i elektriske sikringsskap. | 13 |
| 3 | Metode | 16 |
| 3.1 | Datainnsamlingsprosess | 16 |
| 3.1.1 | Litteraturgjennomgang | 16 |
| 3.1.2 | Case-studier | 17 |
| 3.1.3 | Geometri og Studieoppsett | 17 |
| 4 | Case-studier og analyser | 19 |
| 4.1 | Studier av tidligere branner i elektriske sikringsskap | 19 |
| 4.2 | Analyse av brannårsaker og konsekvenser | 23 |
| 4.3 | Brannrisiko og forebygging | 23 |
| 4.3.1 | Dårlig kontakt | 24 |
| 4.3.2 | Jordfeil | 24 |
| 4.3.3 | Overspenning | 25 |
| 4.3.4 | Feilinstallasjon | 25 |
| 4.3.5 | Aldring, slitasje og mekanisk skade | 27 |
| 4.4 | Temperaturanalyse av automatsikringer. | 28 |
| 4.4.1 | Analyse av temperatur i automatsikring. | 29 |
| 5 | Evaluering av brannsikringstiltak og effektiviteten deres | 34 |
| 5.1 | Brannutvikling i elektrisk installasjonsmateriell | 34 |
| 6 | Brannsikringstiltak i elektriske sikringsskap | 37 |
| 6.1 | Termisk overvåking | 37 |
| 6.2 | Dimensjonering av elektrisk anlegg | 39 |
| 6.3 | Ventilasjon i elektrisk anlegg | 41 |
| 7 | Drøfting | 43 |
| 7.1 | Brannårsaker og Risikofaktorer | 43 |
| 7.2 | Effektiviteten av Brannsikringstiltak | 45 |
| 7.3 | Begrensninger i Forskningen | 49 |
| 7.4 | Lover og Regler | 50 |
| 7.5 | Utdanning og Bevissthet | 52 |
| 7.6 | Selvkritikk | 53 |
| 8 | Konklusjon | 55 |

Figurer

| | | |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | <i>Konstruksjonsdeler av Høyspenningsbryteranlegg.[1]</i> | 10 |
| 2 | <i>Grunnleggende konstruksjonselementer av automatsikringer.[2]</i> | 12 |
| 3 | <i>Beste ventilasjonsmetoder for elektriske skap: (a) fra front til bak, (b) fra front til topp, (c) fra front til topp og bak, (d) fra bunn til topp, på forhøyet gulv.[3]</i> | 15 |
| 4 | <i>automatsikring 3D-modell.</i> | 18 |
| 5 | <i>Hendelse i Re med gnistrende lyder fra sikringsskapet før brann[4]</i> | 20 |
| 6 | <i>Hendelse i Tønsberg med eksplosjonslignende lyd i sikringsskapet[5]</i> | 21 |
| 7 | <i>Sikringsskap etter et kraftig tordenvær i Forsand[6]</i> | 22 |
| 8 | <i>Varmgang grunnet dårlig kontakt og/eller feil på utstyr[7]</i> | 24 |
| 9 | <i>Feilkoblet bryter, der jordledningen (PE) er koblet til den nøytrale fasen ved aktivering av bryteren.[8]</i> | 26 |
| 10 | <i>Gammel type ledninger[9]</i> | 27 |
| 11 | <i>Slitte ledninger[10]</i> | 28 |
| 12 | <i>Temperaturfordeling på automatsikring under drift ved maksimal belastning (25 A).</i> | 30 |
| 13 | <i>Temperaturfordeling på automatsikring under drift ved 50% belastning (12,5 A).</i> | 30 |
| 14 | <i>Temperaturfordeling på automatsikring under overbelastningstilstand (30 A).</i> | 31 |
| 15 | <i>Temperaturfordeling på automatsikring med dårlige ledningstilkoblinger ved nominell belastning (25 A).</i> | 32 |
| 16 | <i>Temperaturfordeling på automatsikring under bedre ventilasjonstilstand og belastning på 25 A.</i> | 33 |
| 17 | <i>Antallet branner forårsaket av ulike typer installasjonsmateriell er fordelt basert på typen materiell som var årsaken til brannen[11]</i> | 35 |
| 18 | <i>Antallet branner forårsaket av ulike typer installasjonsmateriell er fordelt basert på typen materiell som var årsaken til brannen[11]</i> | 36 |
| 19 | <i>Termisk sensor fra el-watch[12]</i> | 38 |
| 20 | <i>Strømforbruk[13]</i> | 47 |

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og motivasjon for valg av emne

Bakgrunnen for valg av emne for denne masteroppgaven er den risikoen som branner i elektriske sikringsskap utgjør for både menneskers liv og eiendom. Sikringsskap er kritiske komponenter i elektriske installasjoner og spiller en avgjørende rolle i å beskytte elektriske systemer mot blant annet overbelastning og kortslutning. Imidlertid er sikringsskapene også kjent for å være potensielle brannkilder, og branner som starter i disse skapene kan raskt eskalere og forårsake omfattende skader.

Motivasjonen for å utforske dette emnet ligger i behovet for å forbedre brannsikkerheten i elektriske anlegg og redusere risikoen for branner i sikringsskap. Gjennom forskning og analyse av brannårsaker, brannsikringsstrategier og forebyggende tiltak i sikringsskap, vil denne masteroppgaven bidra til å identifisere effektive metoder og løsninger for å minimere brannrisikoen i disse viktige elektriske komponentene.

Videre er det et behov for å øke kunnskapen og bevisstheten blant både fagpersoner og publikum om brannfare i elektriske sikringsskap. Ved å undersøke tidligere brannhendelser og analysere deres årsaker og konsekvenser, kan denne oppgaven bidra til å utvikle beste praksis-retningslinjer og informere om nødvendige sikkerhetstiltak for installasjon, vedlikehold og overvåking av sikringsskap.

Denne masteroppgaven vil derfor kunne bidra til økt kunnskap, forbedret praksis og styrket brannsikkerhet i forbindelse med elektriske sikringsskap. Resultatene og anbefalingene som fremkommer vil være av interesse for både fagmiljøer innen elektroteknikk og brannsikkerhet, samt for installatører, inspektører og eiere av elektriske anlegg som ønsker å redusere brannrisikoen og beskytte eiendom og menneskers liv.

1.2 Problemstilling og forskningsspørsmål

Problemstillingen:

«Hvordan kan brannrisikoen i elektriske sikringsskap reduseres gjennom effektive brannsikringstiltak og forebyggende strategier?»

For å besvare problemstillingen, vil følgende forskningsspørsmål bli utforsket:

1. Hva er de vanligste årsakene til branner i elektriske sikringsskap?
2. Hvilke faktorer bidrar til økt brannrisiko i sikringsskap?
3. Hvilke forebyggende tiltak kan implementeres for å redusere brannrisikoen i sikringsskap?

Disse forskningsspørsmålene vil danne grunnlaget for en analyse av eksisterende litteratur, brannstatistikk, relevante lover og forskrifter, samt eventuelle case-studier av branner i elektriske sikringsskap. Gjennom forskningsspørsmålene vil det søkes etter kunnskap og innsikt som kan bidra til å identifisere de mest effektive tiltakene og strategiene for å redusere brannrisikoen i elektriske sikringsskap. Resultatene fra denne studien vil gi verdifull innsikt for bransjefagfolk, regulatorene og de som er ansvarlige for planlegging, installasjon og vedlikehold av elektriske anlegg, med det overordnede målet om å forbedre brannsikkerheten og beskytte menneskers liv og eiendom.

1.3 Mål og begrensninger for oppgaven

Målet med denne masteroppgaven er å bidra til økt forståelse om brannrisiko i elektriske sikringsskap og identifisere effektive brannsikringstiltak og forebyggende strategier for å redusere denne risikoen. Gjennom å analysere brannårsaker, vurdering av eksisterende brannsikringstiltak og evaluering av deres effektivitet, har oppgaven som mål å gi konkrete anbefalinger og beste retningslinjer til fagmiljøer innen elektroteknikk og brann sikkerhet.

Det er imidlertid viktig å merke seg noen begrensninger for denne oppgaven. Først og fremst er det begrenset tid og ressurser tilgjengelig for forskningen, noe som kan påvirke omfanget og dybden av analysene som kan gjennomføres. Videre kan tilgjengeligheten av brannstatistikk og case-studier være begrenset, og dermed kan det være utfordrende å få et fullstendig bilde av brannhendelser i elektriske sikringsskap.

Det er også verdt å merke seg at denne oppgaven vil fokusere spesifikt på brannrisiko i elektriske sikringsskap og brannsikringstiltak knyttet til dem. Andre aspekter av brann sikkerhet, som foreksempel alarm- og slukkesystemer, vil ikke være hovedfokus i denne oppgaven, selv om det kan være overlappende områder som diskuteres. Oppgaven vil hovedsakelig fokusere på lavspent, selv om den også vil inkludere noe teori om høyspent.

Selv om oppgaven har som mål å gi praktiske anbefalinger, er det viktig å merke seg at implementeringen av disse anbefalingene kan være avhengig av lokale forskrifter, standarder og praksis. Det er derfor opp til relevante myndigheter, bransjefagfolk og interessenter å vurdere og tilpasse anbefalingene i henhold til lokale forhold og bestemmelser.

Ved å tydeliggjøre målene og begrensningene for oppgaven, er det mulig å sette realistiske forventninger til resultatene og bidra til en mer nøyaktig tolkning av funnene som presenteres.

2 Teoretisk rammeverk

Kapittelet om teoretisk rammeverk gir oversikt over nøkkelkonsepter og kunnskap som er relevant for forståelsen av branner i elektriske sikringsskap. Dette kapittelet legger grunnlaget for videre analyse og undersøkelse av brannrisiko, forebyggende tiltak og brannsikringstiltak i sikringsskap. Gjennom en kombinasjon av teori og eksisterende forskning på området, vil kapittelet utforske de sentrale aspektene ved elektriske sikringsskap, elektrisitetens rolle i brannrisiko, og relevante lover, forskrifter og standarder som påvirker brannsikkerheten i elektriske installasjoner. Ved å etablere dette teoretiske rammeverket vil man kunne bygge en solid forståelse av kompleksiteten og viktigheten av brannsikkerhet i elektriske sikringsskap, og samtidig danne et grunnlag for videre analyser og vurderinger av forebyggende tiltak og effektive strategier for brannbeskyttelse.

2.1 Elektrisitet og brannrisiko: Grunnleggende prinsipper

Elektrisitet spiller en avgjørende rolle i moderne samfunn, men det kan også utgjøre en betydelig brannrisiko hvis det ikke håndteres riktig. For å forstå brannrisiko knyttet til elektrisitet, er det viktig å være kjent med noen grunnleggende prinsipper.

En av hovedårsakene til branner forårsaket av elektrisitet er overbelastning. Overbelastning oppstår når en elektrisk kurs blir utsatt for en strømstyrke som er høyere enn det den er beregnet for å håndtere. Dette kan føre til oppvarming av ledninger, komponenter eller apparater, noe som igjen kan forårsake brann. Overbelastning er definert som belastningsstrøm over normalstrømmen. Det er viktig å merke seg at overbelastningsvern skal beskytte mot slike strømmer. Imidlertid, hvis en automatsikring/jordfeilautomat kobler ut strømmen i det termiske området, kan det føre til oppvarming i vernet, som igjen kan resultere i oppvarming av fordelingen.

En annen kilde til brannrisiko er kortslutning. Kortslutning oppstår når det dannes en

direkte elektrisk forbindelse mellom to eller flere strømførende ledere med lav motstand. Dette kan føre til en unormalt høy strømstyrke, som kan generere intens varme og potensielt forårsake brann. Kortslutninger kan skyldes skadede ledninger, feilaktig installasjon eller feil ved elektriske apparater.

Et annet viktig prinsipp er jordfeil. En jordfeil oppstår når strømmen fra en elektrisk kurs ledes til jord i stedet for å følge den normale kursen. Dette kan skje når ledninger er skadet eller dårlig isolert, eller hvis et elektrisk apparat blir påvirket av fuktighet eller andre forstyrrelser. Slike forhold kan utgjøre en risiko for brann hvis de ikke oppdages og håndteres.

For å redusere brannrisikoen knyttet til elektrisitet, er det viktig å implementere riktig dimensjonerte ledninger og elektriske komponenter, og følge Fel og Nek standarder for installasjon og vedlikehold. Det er også viktig å ha røyk og brannalarmsystemer på plass for tidlig oppdagelse av branner, samt å ha brannslukkingsutstyr tilgjengelig. Regelmessig inspeksjon, vedlikehold og oppdatering av elektriske systemer er også avgjørende for å minimere brannrisikoen og sikre trygg bruk av elektrisitet.[14, 15]

2.2 Relevante lover, forskrifter og standarder

Brannsikkerhet i forbindelse med sikringsskap er regulert gjennom en rekke lover, forskrifter og standarder som er utviklet for å sikre trygg og pålitelig elektrisk installasjon. Disse har som formål å sikre trygg og pålitelig bruk av elektrisitet, samt å forebygge brann og skade. Noen av de viktigste lovverkene og forskriftene er:

- Lov om tilsyn med elektriske anlegg og elektrisk utstyr (el-tilsynsloven): Denne loven gir rammer for tilsyn med elektriske anlegg og utstyr, samt ansvar og plikter for eiere, brukere, installatører og produsenter. Loven stiller også krav til kvalifikasjoner og sertifisering for personer som utfører arbeid med elektriske anlegg og utstyr. [16, 17]
- Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg (FEL): Denne forskriften gir utfyllende regler for planlegging, utførelse, endring og vedlikehold av elektriske lavspenningsanlegg, inkludert sikringsskap. Forskriften viser til normer og standarder som angir hvordan kravene kan oppfylles, for eksempel NEK 400, som er en norm for elektriske lavspenningsanlegg. [16, 14, 15]
- Forskrift om elektriske forsyningsanlegg (FEF): Denne forskriften gir utfyllende regler for planlegging, utførelse, endring og vedlikehold av elektriske forsyningsanlegg, inkludert høyspenningsanlegg og nettstasjoner. Forskriften viser til normer og standarder som angir hvordan kravene kan oppfylles, for eksempel NEK 399, som er en norm for tilknytning av el-produksjonsanlegg til nettet. [16, 18]
- Forskrift om elektroforetak og kvalifikasjonskrav for arbeid knyttet til elektriske anlegg og elektrisk utstyr (FEK): Denne forskriften gir regler for registrering, organisering og drift av elektroforetak, samt kvalifikasjonskrav for personer som utfører arbeid knyttet til elektriske anlegg og utstyr. Forskriften stiller også krav til dokumentasjon og merking av elektriske anlegg og utstyr. [19, 20]

Disse lovverkene og forskriftene er retningslinjer for utforming, installasjon, vedlikehold og bruk av elektriske sikringsskap. Det er derfor viktig for alle som er involvert i elektrisk arbeid å være kjent med dem og følge dem for å sikre overholdelse av sikkerhetsstandarder og forskrifter.

Noen eksempler på relevante lover og standarder for denne oppgaven:

NEK 439 er en norm som omhandler spesifikasjoner for lavspenningsfordelingsanlegg. Denne normen som er i tråd med IEC 61439, fastsetter standarder og retningslinjer for design, konstruksjon, testing, installasjon, drift og vedlikehold av lavspenningsfordelingsanlegg.[21]

I FEL § 22. som sier om beskyttelse mot skadelige termiske virkninger Elektriske anlegg skal være slik utført at det ikke er noen fare for antennelse av brennbare materialer på grunn av for høy temperatur eller elektrisk lysbue. Det skal ved normal drift heller ikke være noen fare for at mennesker eller husdyr kan bli utsatt for forbrenning.[22]

2.3 Elektriske sikringsskap: Funksjon, utstyr og oppbygging

Elektriske sikringsskap er avgjørende komponenter i elektriske installasjoner som har som hovedfunksjon å beskytte elektriske systemer mot overbelastning og kortslutning. Disse skapene fungerer som kontrollsentraler som inneholder ulike elektriske komponenter og beskyttelsesenheter. Hovedformålet med sikringsskap er å sikre trygg distribusjon av elektrisk strøm til ulike deler av et bygg eller anlegg, samtidig som de gir beskyttelse mot farlige situasjoner som kan oppstå som følge av elektriske feil.

Sikringsskap består av flere viktige komponenter. Hovedinngangsenheten er der strømmen fra det eksterne strømnettet kobles til, vanligvis gjennom hovedsikringer eller hovedbryter.

Denne enheten bestemmer den totale strømmen inn i sikringsskapet og er ansvarlig for overbelastningsbeskyttelse. Innenfor sikringsskapet er det også en rekke overstrømsvern, som er individuelle beskyttelsesenheter for hver elektrisk kurs. Disse overstrømsvernene reagerer på overbelastning eller kortslutning og kobler ut strømmen for å forhindre skade på ledninger, apparater eller annet elektrisk utstyr.

Oppbyggingen av et sikringsskap kan variere, men de fleste består av en kabinettramme eller et skap med dør som gir fysisk beskyttelse og isolasjon for de elektriske komponentene. Inne i skapet er det vanligvis en montasjeplate eller skinneresystem der de forskjellige komponentene monteres, inkludert hovedinngangsenheten, overstrømsvern, overspenningsvern og jordfeilbrytere. Det er også vanlig å finne betjeningsorganer som gir mulighet for å slå av eller på strømmen til de forskjellige kursene, samt indikatorer for å overvåke strømtilførsel og eventuelle feil i systemet.

Det er viktig å merke seg at de spesifikke komponentene og oppbyggingen av sikringsskap kan variere i henhold til nasjonale forskrifter, installasjonsstandarder og bygningstyper. Slike forskjeller kan ha betydning for brannsikkerheten i sikringsskapene. Forståelsen av funksjonen, komponentene og oppbyggingen av elektriske sikringsskap er derfor avgjørende for å kunne analysere brannrisiko og identifisere effektive brannsikringstiltak i disse viktige elektriske installasjonene.

2.3.1 Bryteranlegg og automatsikring

Bryteranlegg er et system som regulerer, beskytter og isolerer elektrisk utstyr ved å kontrollere strømmen. Det finnes vanligvis i industrielle fabrikker og i elektriske distribusjons og overføringssystemer for forsyningsnett. Hovedfunksjonene til bryteranlegg er elektrisk beskyttelse, elektrisk isolasjon og styring. Det består vanligvis av sikringer og brytere koblet sammen av metallstrukturer inne i en metallinnkapsling. Arbeidsprosessen til bryteranlegg kan variere basert på typen enhet, men et grunnleggende bryteranlegg vil handle ved å kutte strømmen for å beskytte utstyret inne i innkapslingen mot skader når en elekt-

risk feil oppstår. [23, 24, 25]

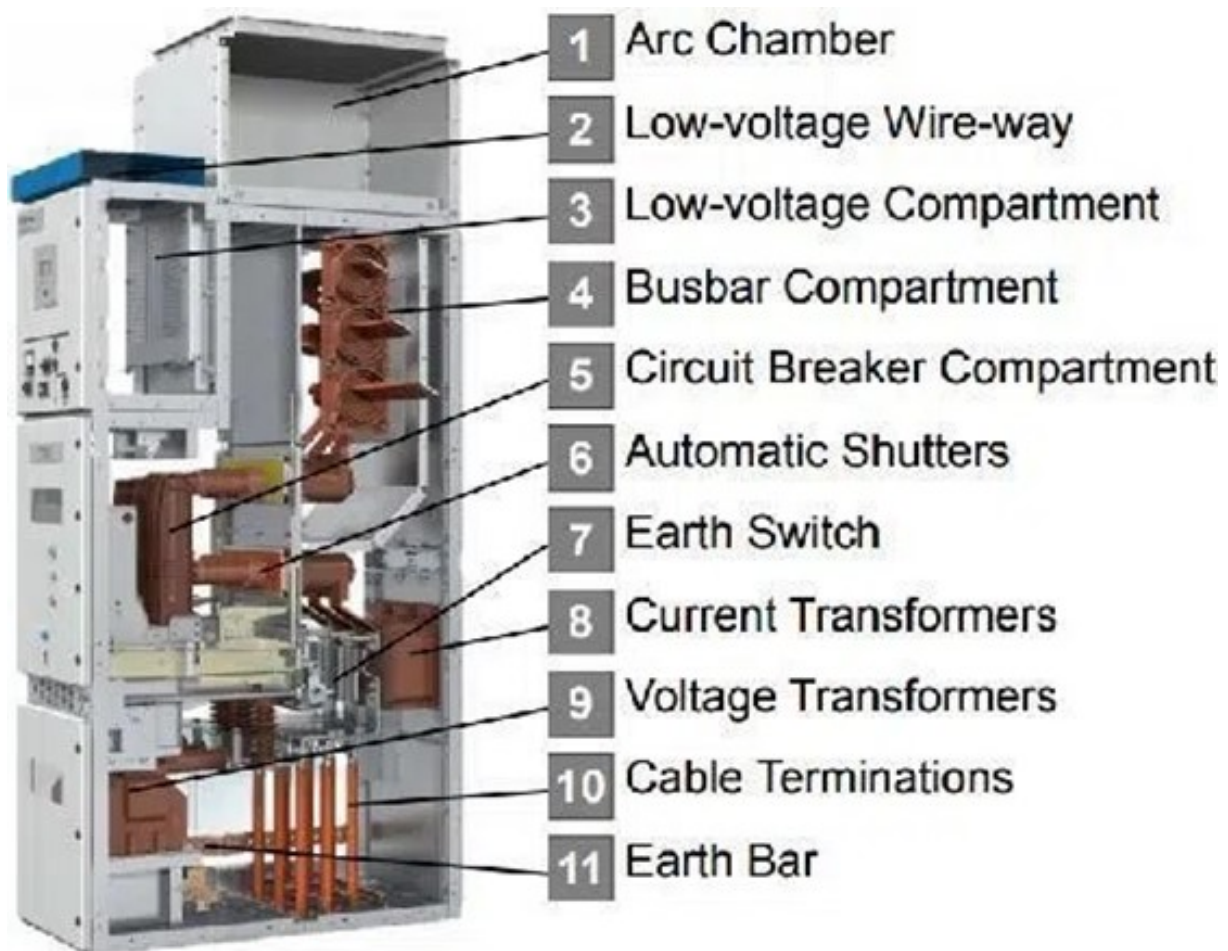
Bryteranlegg kan klassifiseres i to forskjellige typer basert på spenningsnivåer: lavspennings (LV) og høyspennings (HV).

1. Lavspenningsbryteranlegg kontrollerer opp til 1 kV.
2. Høyspenningsbryteranlegg kontrollerer 1 kV eller høyere.

Metallkledde bryteranlegg er en type høyspennings elektrisk bryteranlegg der alle elektriske komponenter er innkapslet i separate metallkamre for å gi et ekstra nivå av sikkerhet og enkelt vedlikehold [26]. Figur 1 viser konstruksjonsdeler av et høyspenningsbryteranlegg.

Effektbryter er den vanligste komponenten som finnes i bryteranlegg, og de spiller en essensiell rolle i å bryte strømmen under en elektrisk feil, og begrenser effektivt skader på systemet. Bryteranlegg gir også isolasjon av kurser fra strømforsyninger, slik at mer enn en kilde kan forsyne en last [25, 27].

Bryteranlegg er designet for å beskytte utstyr tilknyttet strømforsyningen mot trusselen om elektrisk overbelastning, som kan føre til branner. Det brukes også til å frakoble utstyr for sikre tester, vedlikehold og feilretting. Fordi det er designet for å kontrollere strømmen, spiller bryteranlegg en rolle i å forbedre energieffektiviteten og sikkerheten til en anleggsplass.



Figur 1: *Konstruksjonsdeler av Høyspenningsbryteranlegg.*[1]

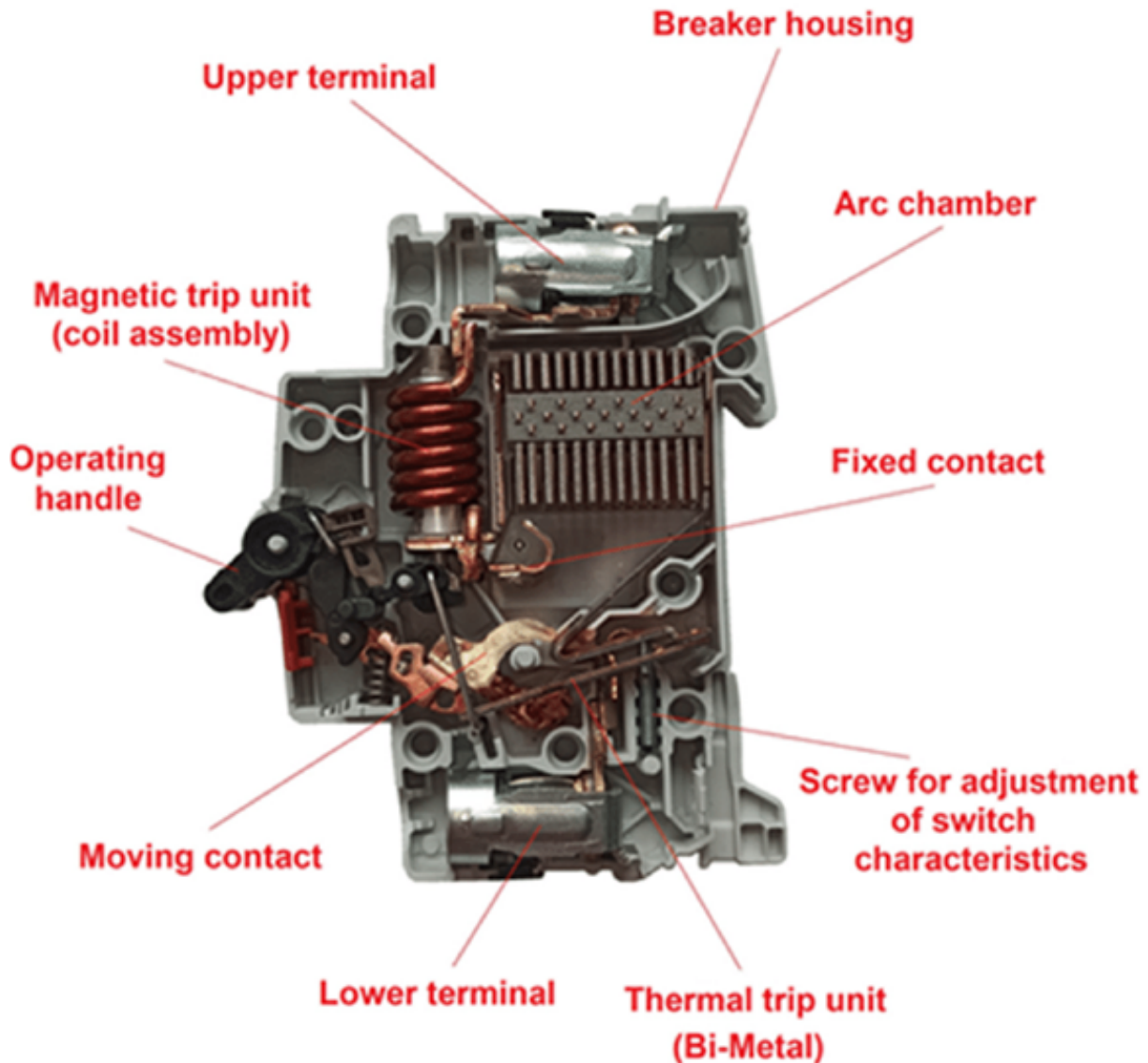
Automatsikring er en automatisk bryter som beskytter elektriske kurser mot overstrømmer, som kortslutninger og overbelastninger. Automatsikringer er små i størrelse sammenlignet med tradisjonelle strømbrytere, noe som gjør dem ideelle for bruk på trange steder. De fungerer ved å oppdage strømmen som strømmer gjennom en elektrisk kurs og automatisk avbryte strømmen når den overskrider et bestemt nivå, for å forhindre skader på kursen og potensielle brannfarer. Automatsikringer er vedlikeholdsfrie, enkle å betjene og kan bli brukt til å gjenopprett raskt strømtilførselen. De kan nullstilles raskt og krever ikke vedlikeholdskostnader[28, 29].

Figur 2 presenterer de grunnleggende konstruksjonselementene til en automatsikring. Når kontinuerlig overstrøm flyter gjennom automatsikring, blir den bimetalliske strimlen oppvarmet og avbøyer seg. Denne avbøyningen av den bimetalliske strimlen frigjør en mekanisk lås. Ettersom denne mekaniske låsen er festet til betjeningsmekanismen, forårsaker den at kontakten til automatsikringen åpnes, og automatsikring slås av, noe som stopper strømmen i kursen. For å starte strømmen igjen, må automatsikring slås på manuelt. Denne mekanismen beskytter mot feil som oppstår på grunn av overstrøm. Men under kortslutningsforhold stiger strømmen plutselig, noe som fører til elektromekanisk forskyvning av stempelet knyttet til en utløserkveil eller solenoid. Stempelet treffer utløserarmen og forårsaker umiddelbar frigjøring av låsemekanismen, og åpner dermed kontakten til bryteren. Dermed gir en bimetall beskyttelse mot overbelastningsstrøm, og en elektromagnet gir beskyttelse mot strøm i kortslutning [30, 31], men det behøver ikke være slik. Ved å introdusere en betydelig overbelastning, kan systemet utløses elektromagnetisk. På den andre siden kan en kortslutningsstrøm langt ute i nettet generere en så lav strøm at den aktiverer en termisk utløsning. Det er viktig å merke seg at dagens standarder krever at systemet kobles ut innen 5 sekunder ved kortslutning, noe som i praksis betyr at det må skje i det momentet kortslutningen oppstår.

Denne studien vil benytte begrepet "automatsikringer" for å referere til en rekke elektriske vern som har som formål å beskytte elektriske kretser. Det er viktig å påpeke at i tillegg til å dekke standard automatsikringer, vil begrepet også inkludere kombinerte vern, som for eksempel jordfeilautomater.

Det finnes flere typer automatsikringer basert på ulike faktorer som strømnominell verdi, spenningsnominell verdi og utløserkarakteristikk. Automatsikringer er installert i rom avhengig av behovet til apparatet. Derfor vil man finne flere typer automatsikringer som kan brukes til ulike formål. Typene betegnes som type A, B, C, D, K og Z. Av disse er B, C og D de mest brukte. Disse kategoriene er ofte basert på deres utløserkurve eller utløsningsevner. Automatsikringer brukes primært som erstatning for UZ-elementer, som

tidligere ble benyttet i eldre installasjoner. [30, 32].



Figur 2: *Grunnleggende konstruksjonselementer av automatsikringer.*[2]

Automatsikringer er kritiske komponenter i bygningsinfrastrukturen, og de gir elektrisk distribusjon og beskyttelse. Imidlertid utgjør de også spesifikke brannfarer hvis de ikke håndteres riktig. Denne studien har som hensikt å undersøke vanlige årsaker til branner i elektriske sikringskap, utforske faktorer som bidrar til økt brannrisiko i skap, skissere forebyggende tiltak for å redusere brannrisikoen, og utforske temperaturfordelingen til automatsikringer under ulike driftsforhold.

2.3.2 Varmeutvikling i elektriske sikringsskap.

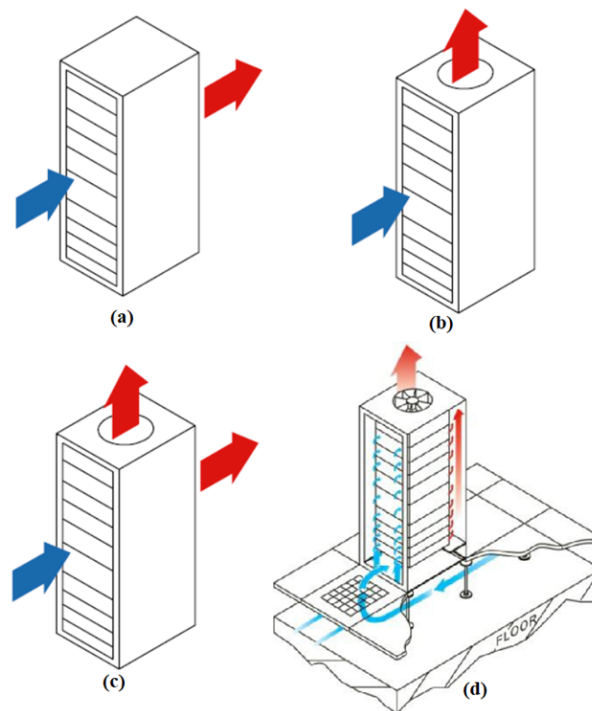
Elektrisk utstyr genererer hovedsakelig varme fra ohmske tap, også kjent som kobbertap, i strømbanen. Dette skyldes Joule/resistiv varmeutvikling, der elektronene i en elektrisk strøm kolliderer med gitterets ioner, og noe av strømmens energi absorberes av gitteret og konverteres til varme. En annen kilde til varmeutvikling er varmen fra jern-tap, som oppstår på grunn av virkningen av virvelstrømtap og hysteretap når et magnetfelt endrer retning i en ferromagnetisk struktur. Jerntap avhenger av materialegenskapene og frekvensen av strømmen, og er mer til stede i magnetiske elementer som jern. I denne analysen antas det at bare ohmske tap er til stede [33].

Hovedproblemet med varmeutvikling er at enheten eller utstyret kanskje ikke tåler temperaturen. Hvis temperaturen overstiger grensen for utstyrstemperaturen, er det fare for feilfunksjon, degradering av kvalitet eller fullstendig svikt. Dette kan føre til skade på utstyr, forkortet levetid og i ekstreme tilfeller brann. Overoppheting kan også kompromittere ytelsen og påliteligheten, påvirke maskiner direkte og føre til ugunstige effekter på arbeidsmiljøet, for eksempel ubehag for ansatte og redusert produktivitet.

Branner i elektriske sikringsskap kan oppstå på grunn av flere faktorer. Overbelastning av kurser, kortslutninger, feilaktig ledningsføring og opphopning av varme er vanlige årsaker. Overbelastede kurser genererer overdreven varme, noe som fører til isolasjonssvikt og potensielle brannfarer. Kortslutninger, derimot, oppstår som følge av utilsiktet kontakt mellom ledningene i forskjellige faser eller mellom en strømførende ledning og jord. Disse hendelsene kan føre til plutselige strømsvingninger, potensielt med intens varmeutvikling og brann. Feilaktig ledningsføring, løse forbindelser og dårlig vedlikehold av elektriske komponenter bidrar også til brannrisiko, da de kan forårsake gnister og påfølgende antenelse av brennbare materialer. Videre kan utilstrekkelig ventilasjon i sikringsskap og skap forverre varmeutviklingen, og dermed øke risikoen for brannhendelser. Risikoen for brann i elektriske skap forsterkes av flere faktorer. Tilstedeværelse av brennbare materialer, feil

lagring av brennbare gjenstander eller nærhet av tennkilder til farlige materialer øker sjansen for brann. Overfylte sikringskap med elektriske komponenter, der hver genererer varme, hindrer riktig ventilasjon, noe som fører til overdreven varmeopphopning. I tillegg kan PVC-materialer utgjøre en spesiell risiko på grunn av muligheten for klorgassutvikling ved høye temperaturer. Klorgassen kan føre til irring av kontaktene i skapet, noe som potensielt kan øke overgangsmotstanden og dermed bidra til ytterligere oppvarming. PVC er en klorert polymer eller med andre ord plast. Den består av 57 prosent klor og 43 prosent råvare fra olje og gass. Disse faktorene understreker nødvendigheten av riktig design og regelmessig vedlikehold av elektriske skap for å redusere brannrisikoen [34, 35, 36].

For å minimere risikoen for branner i elektriske skap kan en rekke forebyggende tiltak iverksettes. Regelmessig inspeksjon og vedlikehold av elektriske komponenter og tilkoblinger er avgjørende for å identifisere potensielle brannfarer. Å sikre tilstrekkelig ventilasjon og kjølesystemer er like viktig for å effektivt spre varmen. Dette kan oppnås ved bruk av vifter, blåsere, viftebrett, klimaanlegg osv. Figur 3 viser beste metoder for ventilasjon i elektriske skap. I henhold til byggt teknisk forskrift (TEK) kan det være krav om bruk av brannspjeld i ventilasjonssystemer for å hindre spredning av brann og røyk gjennom kanaler. [37, 38].



Figur 3: *Beste ventilasjonsmetoder for elektriske skap: (a) fra front til bak, (b) fra front til topp, (c) fra front til topp og bak, (d) fra bunn til topp, på forhøyet gulv.[3]*

Å designe skap for å begrense brannspredning og beskytte omkringliggende områder krever grundig vurdering. Bruk av brannbestandige materialer i konstruksjonen av skapene tjener som et avgjørende forebyggende tiltak. Å inkorporere brannbarrierer eller rominndeling innenfor skap begrenser brannspredningen til tilstøtende områder. I tillegg hjelper riktige klaringer og avstander mellom komponenter med å forhindre varmeoverføring og minimere risikoen for brannhendelser. Forsegling av kabelgjennomføringer er også en viktig designfunksjon for å begrense brann og røyk innenfor skapet og begrense spredningen.

Å implementere brannverntiltak og forebyggende strategier i eksisterende sikkerhetsskap resulterer i en håndgripelig reduksjon av brannhendelser og deres påfølgende innvirkning. Tidlig deteksjon og slukking av branner bidrar til å minimere skader og sikrer forbedret sikkerhet for personell og omkringliggende områder. Videre fører disse tiltakene til overholdelse av sikkerhetsregler og standarder, og legger dermed til et ekstra lag av beskyttelse til den generelle elektriske infrastrukturen.

3 Metode

3.1 Datainnsamlingsprosess

I dette kapittelet vil datainnsamlingsprosessen som ble gjennomført for å studere branner i elektriske sikringsskap, bli beskrevet. Målet med datainnsamlingen var å få en dypere forståelse av brannårsaker og konsekvenser, samt identifisere potensielle risikofaktorer for å utvikle effektive brannforebyggende tiltak. Følgende metoder ble brukt:

3.1.1 Litteraturgjennomgang

Her ble det først gjort en gjennomgang av eksisterende litteratur og forskning relatert til branner i elektriske sikringsskap. Dette inkluderte tidligere studier, brannrapporter, forskningsartikler og andre relevante kilder. Litteraturgjennomgangen ga et solid fundament for forskningen og bidro til å identifisere nøkkelvariabler og forskningsspørsmål.

Dokumentgjennomgang: Det ble analysert brannrapporter og aviser knyttet til branner i elektriske sikringsskap. Dette bidro til informasjon om tidligere hendelser, inkludert brannårsaker, hvor brannene startet i sikringsskapet, omfang av skader og eventuelle observerte mønstre.

3.1.2 Case-studier

For å få dypere innsikt i branner i sikringsskap, ble det gjennomført Case-studier av utvalgte hendelser. Deretter ble det tatt kontakt med Norges Brannvernforbund, brannvesenet og forsikringsselskaper for å samle mer detaljert informasjon om brannene. Selv om samarbeidet med disse instansene var verdifullt, var det noen begrensninger knyttet til tilgangen til informasjon. Mye av de dataene var privat informasjon, og kunne ikke deles på grunn av personvern.

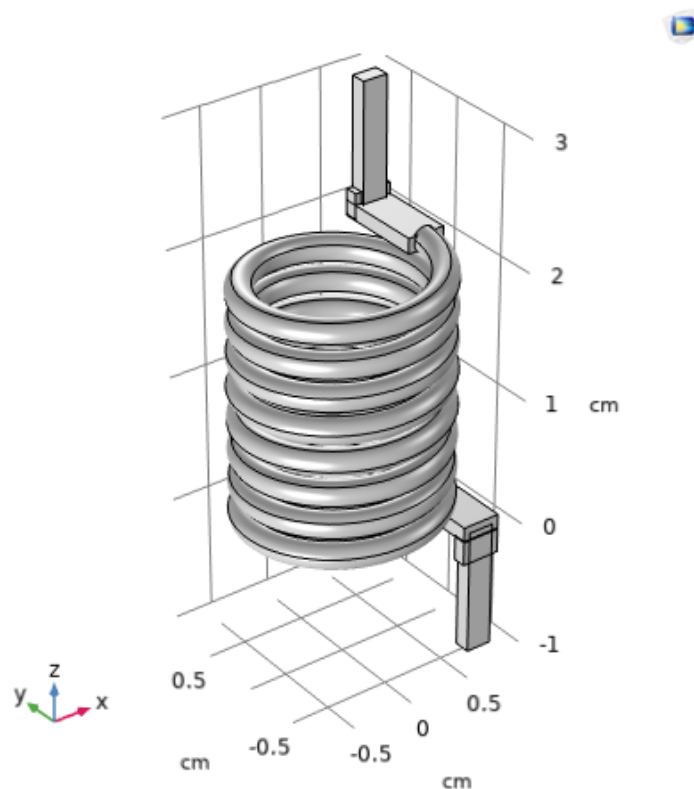
Som et resultat av disse begrensningene ble det fokusert på observasjonene fra tilgjengelig litteratur som for eksempel aviser. Deretter ble de nøye analysert for å trekke ut relevante funn og mønstre. Det ble undersøkt brannårsaker, skadeomfang, reaksjonstid, samt effekten av eventuelle sikkerhetstiltak som var implementert i sikringsskapene og hvordan dette kan forbedres. Videre ble funnene kombinert med tilgjengelig litteratur for å danne et helhetlig bilde av brannårsaker og konsekvenser i elektriske sikringsskap.

3.1.3 Geometri og Studieoppsett

På grunn av kompleksiteten ved å modellere en typisk automatsikring (som den presentert i figur 2), har det blitt opprettet en forenklet 3D-modell ved hjelp av COMSOL Multiphysics 6.1. Automatsikring-modellen består av en kortslutningsbryter-spole koblet til to kontakter. Kontaktene er også koblet til ledninger der strømmen går inn og ut av automatsikring. For å forenkle tilkoblingen av ledninger til automatsikring-kontaktene, er de modellert i en kubisk form i stedet for sylindrisk. Figur 4 viser geometrien til 3D-modellen for automatsikring.

Automatsikringens nominelle strøm antas å være 25 ampere. Spolens radius er 7 mm, og spoletrådets radius er 1 mm. Antallet spolemganger er 8. Romtemperaturen (referansetemperaturen i COMSOL Multiphysics, Tref) er satt til 293,15 K, som tilsvarer 20 °C. Konvektiv varmeoverføringskoeffisient antas å være 10 W/(m²K).

Etter å ha opprettet geometrimodellen, må materialet til hver del tilordnes i COMSOL Multiphysics. I denne studien ble kobber valgt som materialet for alle deler. Neste trinn var å legge til nødvendig fysikk for å løse problemet. Derfor ble fysikkene for elektrisk strøm (ec) og varmeoverføring i faste stoffer (ht) lagt til problemet. For å akselerere simuleringstiden ble det valgt en grov nettverkselementstørrelse.



Figur 4: *automatsikring 3D-modell.*

4 Case-studier og analyser

4.1 Studier av tidligere branner i elektriske sikringskap

Det er viktig å studere tidligere branner i elektriske sikringskap for å identifisere risikofaktorer og utvikle brannforebyggende tiltak. Dette delkapitlet gir en oppsummering av disse studiene, deres funn og implikasjoner.

I figur 5 fremstilles en spesifikk hendelse som fant sted i byen Re. I denne situasjonen ble det oppdaget knitring som kom fra sikringskapet, etterfulgt av en brann som brøt ut. Etter å ha analysert figuren av denne hendelsen, peker bevisene mot en mulig årsak – dårlig kontakt mellom sikringen og kabelen.



Figur 5: *Hendelse i Re med gnistrende lyder fra sikringsskapet før brann[4]*

I figur 6 fremstilles en hendelse som fant sted i Tønsberg, der beboere rapporterte om at sikringsskapet ga fra seg en kraftig eksplosjonslignende lyd. En analyse av hendelsesforløpet viser at brannen startet fra jordfeilbryteren, noe som antyder at store jordfeilstrømmer kan ha vært en medvirkende faktor. Disse strømmene kan ha vært for store for jordfeilbryteren til å håndtere, noe som førte til eksplosjonslignende lyd.



Figur 6: *Hendelse i Tønsberg med eksplosjonslignende lyd i sikringsskapet*[5]

I figur 7 illustreres et sikringsskap som har blitt påvirket av et kraftig tordenvær i Forsand. Etter hendelsen er det tydelig synlige tegn på skader og mulige elektriske forstyrrelser som kan ha oppstått som følge av lynnedslag eller elektriske overspenninger.



Figur 7: Sikringsskap etter et kraftig tordenvær i Forsand[6]

4.2 Analyse av brannårsaker og konsekvenser

Analyse av brannårsaker og konsekvenser er avgjørende for å øke bevisstheten om potensielle risikoer i elektriske sikringsskap og implementere tiltak som kan forhindre branner.

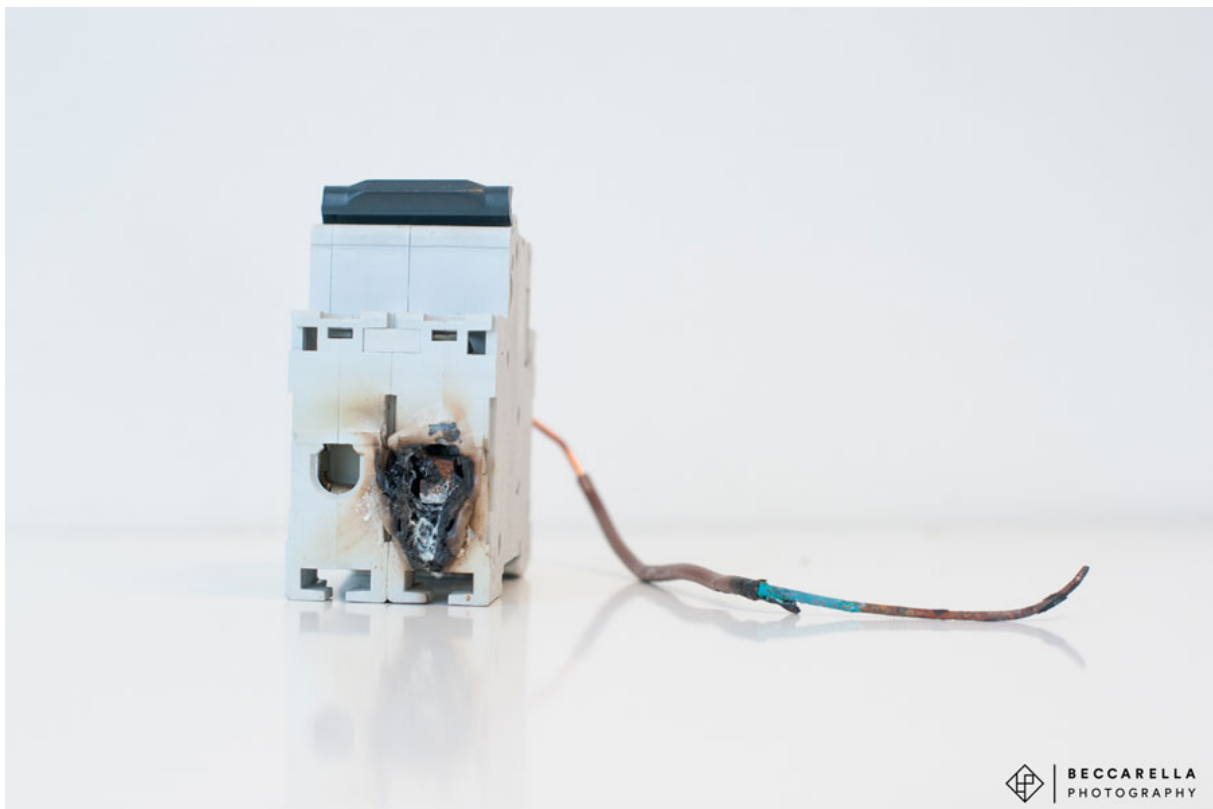
Gnistrende lyder kan være et tidligvarsel om en potensiell brannfare i elektriske sikringsskap. Dårlig kontakt mellom sikringen og kabelen kan føre til høy motstand og varmeutvikling, noe som til slutt kan utløse en brann.

Jordfeilbrytere spiller en kritisk rolle i elektriske installasjoner ved å beskytte mot elektriske jordfeil. Når en jordfeil oppstår, vil si en unormal lekkasje av strøm til jord, bryter jordfeilbryteren strømmen og forhindrer farlige situasjoner, som elektriske støt og branner. Imidlertid kan store jordfeilstrømmer overstige kapasiteten til jordfeilbryteren, noe som fører til at den ikke fungerer som forventet og åpner for muligheten av brann.

Tordenvær utgjør en potensiell risiko for elektriske anlegg og kan forårsake omfattende skader på sikringsskap og tilknyttede komponenter. Lynnedslag og kraftige atmosfæriske elektriske utladninger kan føre til overspenninger i elektriske systemer, noe som kan forstyrre normal strømforsyning og skade elektrisk utstyr.

4.3 Brannrisiko og forebygging

Identifikasjon av brannårsaker i elektriske sikringsskap er en kritisk oppgave for å forstå potensielle risikofaktorer og implementere effektive brannforebyggende tiltak. Gjennom å analysere tidligere studier og kontakte fagfolk med erfaring, var det mulig å identifisere flere mulige brannårsaker som kan være relevante for branner i elektriske sikringsskap. [39][7]



Figur 8: Varmgang grunnet dårlig kontakt og/eller feil på utstyr[7]

4.3.1 Dårlig kontakt

En av de vanligste brannårsakene i elektriske sikringsskap er dårlig kontakt mellom sikringen og kabelen. Dette kan føre til høy motstand mellom kabelen og sikringen, og derved kunne forårsake en lysbue. Dersom det ikke er avmantlet nok av kabelen som kobles i sikringen kan dette redusere tverrsnittet og dermed er det mindre strømføringsveie i dette punktet. Dette kan føre til varmegang og kan til slutt utløse en brann eller påvirke komponentene rundt seg på en måte som bidrar til å skape en brann.[39]

4.3.2 Jordfeil

Brann som følge av jordfeil er en annen potensiell brannårsak i elektriske systemer. Jordfeil oppstår av forskjellige årsaker. En av årsakene kan være isolasjonsfeil som oppstår når isolasjonen rundt en strømførende leder blir skadet eller svekket. Strømmen får en vei til

jord, som skaper en uønsket strømvei og øker risikoen for varmeutvikling, om jordfeilen blir stående uten å bli frakoblet. Dette fører til en varmgang mellom svakpunktet på isolasjonen og jord.[40][41]

4.3.3 Overspenning

Lynnedslag kan generere betydelige overspenninger på strømmettet. Disse transientene, som har høy energi og kort varighet, kan komme igjennom inntakskablene inn i sikringsskapet. Denne overspenningen har potensial til å påføre alvorlig skade på tilkoblet elektrisk utstyr, og i verste tilfelle utløse brann. Områder med luftledninger er særlig utsatt for dette fenomenet, ettersom de fungerer som naturlige innfangere for lyn. Til sammenligning har kabler som er nedgravd i bakken lavere sannsynlighet for å bli påvirket av direkte lynnedslag.[42]

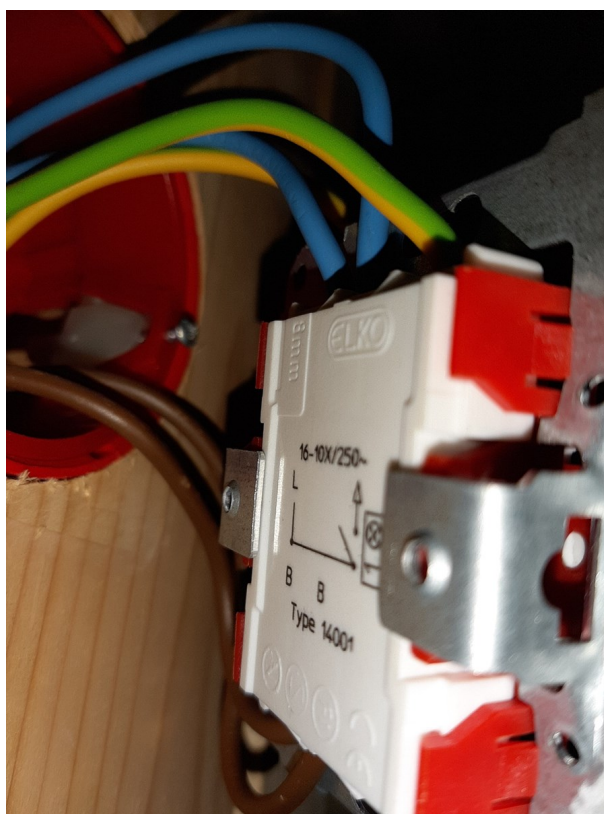
4.3.4 Feilinstallasjon

Feilmontering av elektrisk utstyr som for eksempel, utilstrekkelig stramming av ledninger, løse kontakter og feilkobling, utgjør en annen brannfare.

Når elektriske ledninger ikke er tilstrekkelig strammet, oppstår det ofte dårlig kontakt mellom ledningene og tilkoblingspunktene. Dette kan føre til høy motstand i kretsen, noe som resulterer i varmgang. Varmgangen skader gradvis isolasjonen rundt ledningene, og over tid kan dette føre til at isolasjonen smelter eller brenner. Den resulterende gnisten eller den varme ledningen kan lett antenne nærliggende materialer. Derfor er det viktig å sikre at alle ledninger i elektriske systemer er riktig strammet ifølge manualen til utstyret.[7]

Løse kontakter utgjør en annen alvorlig brannfare. Enten det er i automatsikringer eller andre elektriske tilkoblinger, kan løse kontakter føre til varmgang. Strømmen kan møte hindringer på grunn av den dårlige kontakten, og det kan føre til at kontakten selv blir varm. Den økte varmeutviklingen øker risikoen for brann, spesielt hvis kontakten befinner seg nær brennbare materialer.[7]

Feil tilkobling av elektrisk utstyr kan utgjøre en alvorlig brannfare. Hvis utstyret er ment å tåle en spenning på 24 volt, men blir tilkoblet en 400 volts strømkilde, kan dette føre til kritiske problemer. Overbelastningen av utstyret kan forårsake overoppheting og skader på komponenter. Resultatet kan være en elektrisk brann, da den økte strømstyrken overskrider enhetens kapasitet og kan føre til at ledninger smelter, isolasjonen brenner, eller andre deler blir ødelagt.[7]



Figur 9: Feilkoblet bryter, der jordledningen (PE) er koblet til den nøytrale fasen ved aktivering av bryteren.[8]

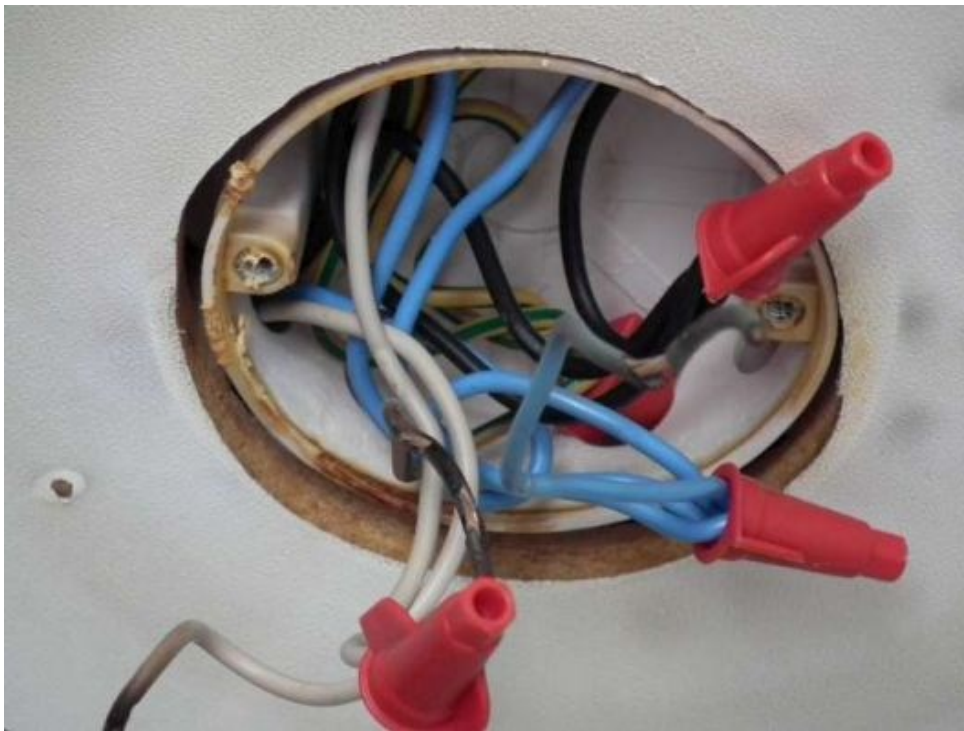
4.3.5 Aldring, slitasje og mekanisk skade

Elektriske utstyr, inkludert automatsikringer og ledninger, er utsatt for aldring og slitasje over tid. Dette kan redusere deres effektivitet, og øke risikoen for feil. Eldre automatsikringer kan miste evnen til å bryte strømmen når det er nødvendig, og slitte ledninger kan få svekkelser på isolasjoner som øker faren for kortslutninger og jordfeil.[7]

Fysisk skade på elektrisk utstyr, som for eksempel automatsikringer, utgjør en brannfare. Hvis automatsikringer blir fysisk skadet, kan deres funksjonsevne svekkes, og de kan mislykkes i å beskytte mot overstrømmer. Fysiske skader kan inkludere sprekkdannelse, deformasjoner eller brudd på sikringselementene. Disse skadene kan oppstå som følge av mekanisk stress, vibrasjoner, utilsiktede støt eller korrosjon over tid.[7]



Figur 10: *Gammel type ledninger*[9]



Figur 11: *Slitte ledninger*[10]

4.4 Temperaturanalyse av automatsikringer.

I denne seksjonen vil en forenklet modell av en automatsikring utvikles, deretter vil temperaturen i automatsikring bli analysert under ulike forhold. Dette med tanke på faktorer som dårlig tilkobling til kabelen, drift ved maksimal belastning eller overbelastning. Effekten av ventilasjon vil også bli undersøkt i denne simuleringen.

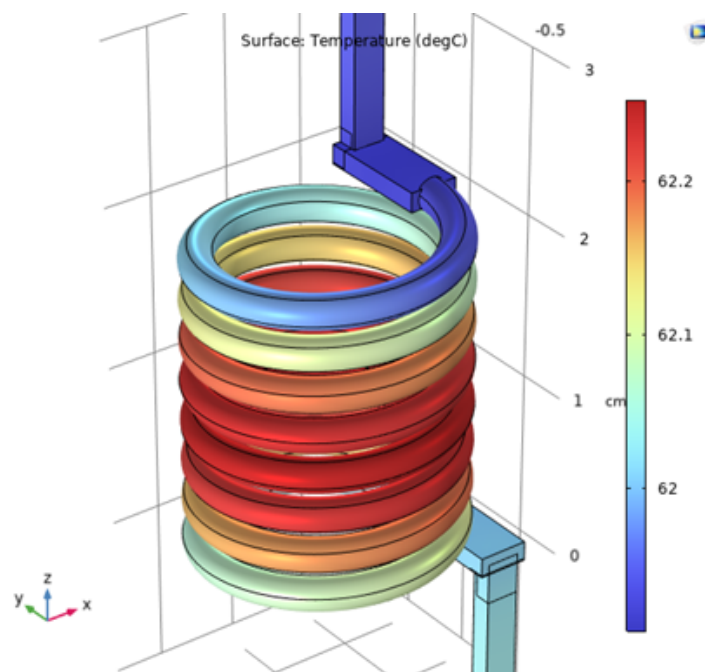
4.4.1 Analyse av temperatur i automatsikring.

Når en effektbryter opererer ved maksimal belastning eller nær sin kapasitet, kan den generere varme på grunn av strømmen som passerer gjennom den. Denne varmen er en normal del av driften, men den bør ligge innenfor trygge grenser definert av produsenten. Overdreven varme kan føre til at effektbryteren kobler ut, noe som indikerer overbelastning eller et potensielt problem. For å forhindre overoppheting er effektbrytere utformet med termisk beskyttelse som automatisk kobler ut bryteren hvis temperaturen overskrider en forhåndsdefinert terskel. Dette bidrar til å beskytte kretsen og forhindre skade eller brannfare. Figur 12 viser temperaturfordelingen på automatsikring som opererer ved maksimal belastning på 25 A. Som det er vist, er det varmeste området midtpartiet av kortslutningsbryter-spole, med en temperatur på rundt 62,3 °C. Det er verdt å merke seg at i alle simuleringene er automatsikring-kassen og dens effekt på varmetransport neglisjert på grunn av kompleksiteten i modellering av varmetransportfysikk. Med hensyn til denne problemstillingen og de andre elementene i automatsikringer (som ikke er inkludert i denne modellen), vil den virkelige temperaturen i automatsikring være høyere enn resultatene fra simuleringen.

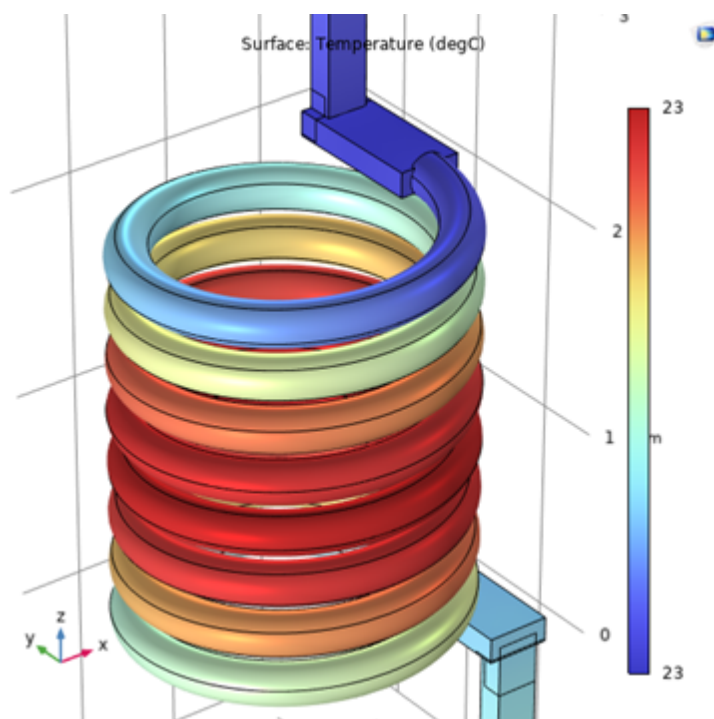
For å modellere drift ved 50% av den nominelle belastningen, ble strømmen endret til 12,5 A. I figur 13 er det presentert temperaturfordelingsgraf. Den maksimale temperaturen i automatsikring reduseres til omtrent en tredjedel sammenlignet med tilfellet med maksimal belastningsdrift. Derfor er det ingen merkbar brannfare under denne betingelsen.

Den andre tilstanden som ble simulert i denne studien, var overbelastning. En overbelastning oppstår når strømmen som strømmer gjennom en krets, overstiger den nominelle kapasiteten til effektbryteren. Det kan skyldes en feilfunksjon i enheten, flere enheter som trekker overdreven strøm samtidig, eller en kortslutning. I slike tilfeller oppdager effektbryteren overbelastningen og kobler ut for å avbryte strømflommen. Utkoblingen forhindrer overdreven varmeoppbygging og potensiell skade på kretsen eller tilkoblede enheter. Når overbelastningen er løst eller feilen er eliminert, kan effektbryteren manuelt

tilbakestilles for å gjenopprette normal drift.

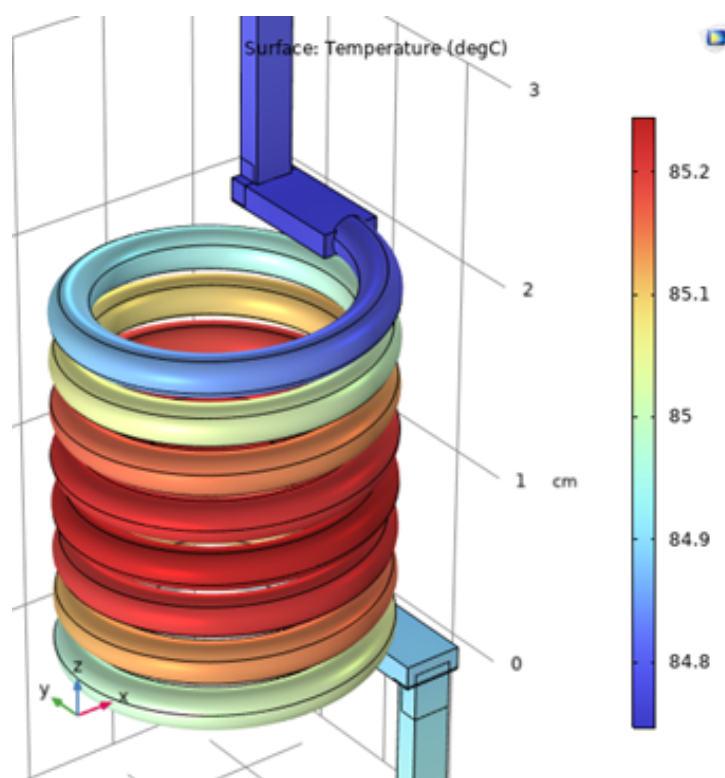


Figur 12: *Temperaturfordeling på automatsikring under drift ved maksimal belastning (25 A).*



Figur 13: *Temperaturfordeling på automatsikring under drift ved 50% belastning (12,5 A).*

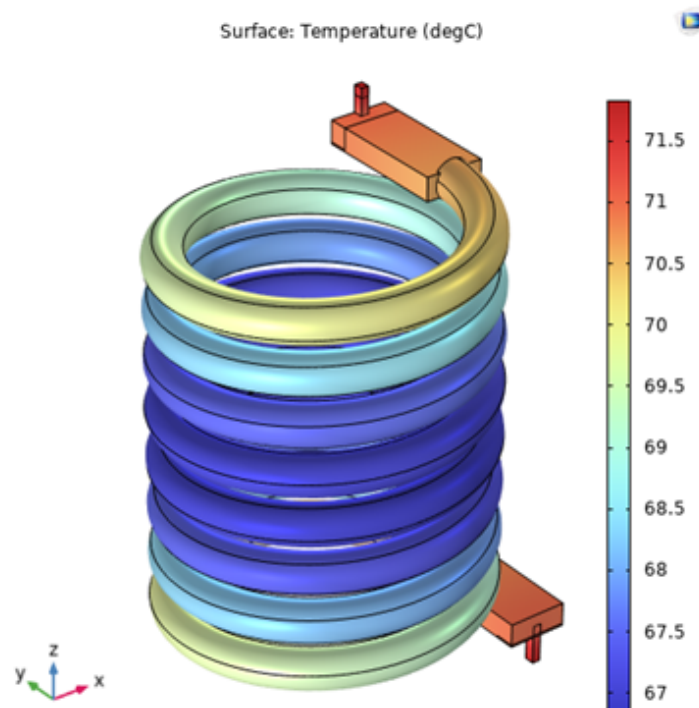
Dersom vi antar et problem med automatsikringens utkoblingsmekanisme: strømverdien ble endret til 30 A for å evaluere automatsikring temperaturen under overbelastning. Dette tillot at man kunne studere de stasjonære resultatene av overbelastningstilstanden i simuleringen. Figur 14 viser temperaturfordelingen på automatsikring under overbelastning. Temperaturen oversteg 85 °C og kunne vært høyere, dersom andre automatsikringelementer og -kapsling var inkludert i modellen. Derfor, hvis en overbelastet automatsikring ikke kobles ut i rett tid, kan det føre til overdreven temperaturstigning og øke risikoen for brannfarer.



Figur 14: Temperaturfordeling på automatsikring under overbelastningstilstand (30 A).

Når en kabel har en dårlig tilkobling til effektbryteren, kan det føre til økt motstand på tilkoblingspunktet. Denne økte motstanden kan forårsake en temperaturstigning på grunn av den resistive oppvarmingseffekten. Over tid kan varmen generert av den dårlige tilkoblingen føre til ytterligere forringelse, smelting eller til og med brannfare. Derfor er det viktig å stramme og tilkoble godt mellom kabler og effektbrytere for å unngå slike

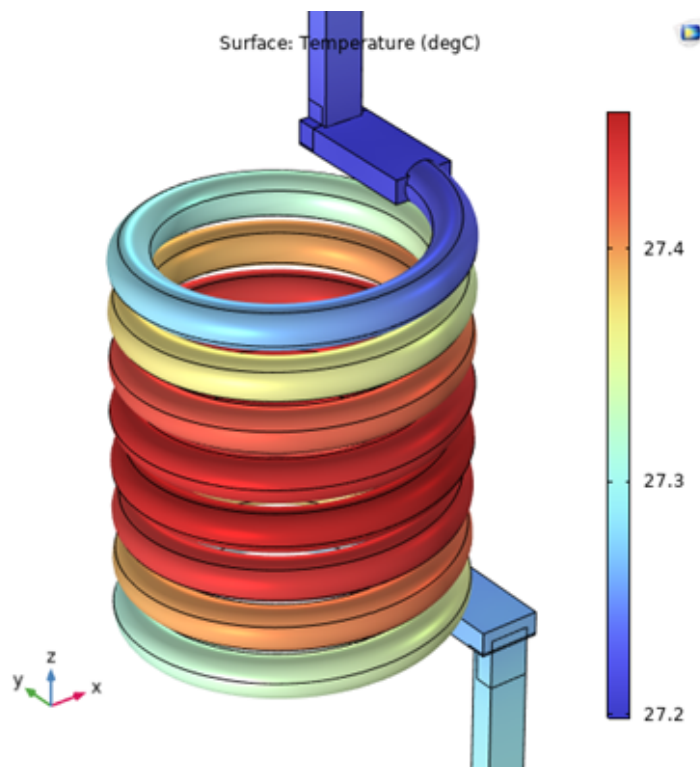
problemer. Regelmessige inspeksjoner og vedlikehold kan bidra til å identifisere og rette opp eventuelle dårlige tilkoblinger. For å modellere dårlig kabeltilkobling, ble dybden og bredden på ledningen redusert for å modellere den mindre kontakt delen. Figur 15 viser temperaturfordelingen under denne tilstanden. Strømverdien antas å være nominell 25 A. Den høyeste temperaturen i dette tilfellet observeres ikke midt i spoleområdet, men ved tilkoblingspunktene der det er høy elektrisk motstand på grunn av dårlig tilkobling av ledningene til automatsikring. Dette har forårsaket en temperatur på rundt 71,5 °C ved tilkoblingspunktet.



Figur 15: *Temperaturfordeling på automatsikring med dårlige ledningstilkoblinger ved nominell belastning (25 A).*

Det siste studiet er å undersøke effekten av ventilasjon/konveksjon på resultatene. For å evaluere denne parameteren ble den konvektive varmeoverføringskoeffisienten endret fra $10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ til $30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, noe som modellerer en bedre ventilasjon rundt automatsikring. Figur 16 illustrerer temperaturfordelingen på automatsikring under denne tilstanden ved nominell strømverdi på 25 A. Sammenligning av resultatet med det i figur 12, viser at

forbedret ventilasjon reduserer automatsikring temperaturen betydelig. Den ble redusert fra 62 °C til 27 °C, som er mindre enn halvparten. Dette bekrefter viktigheten av riktig design og ventilasjon i brannvernforebyggende strategier.



Figur 16: *Temperaturfordeling på automatsikring under bedre ventilasjonstilstand og belastning på 25 A.*

5 Evaluering av brannsikringstiltak og effektiviteten deres

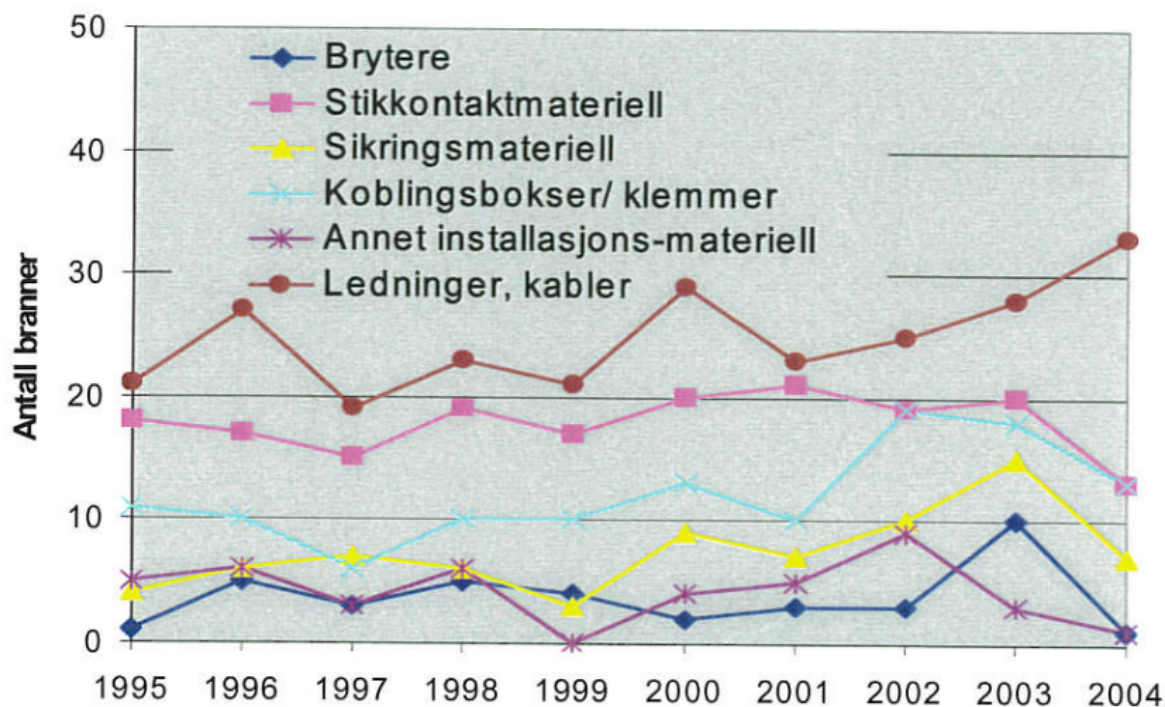
5.1 Brannutvikling i elektrisk installasjonsmateriell

I løpet av tiårsperioden fra 1995 til 2004 har det vært en økning i antallet branner i elektrisk installasjonsmateriell. I første halvdel av tiåret var det i gjennomsnitt rundt 60 branner, mens tallet steg til omtrent 80 branner i siste halvdel av perioden. Gjennomsnittlig per tiår var det totalt 70 branner som oppstod på grunn av feil i elektrisk materiell. Disse brannene utgjorde omtrent 7% av alle boligbranner i statistikken til Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB). Branner som skyldtes feil i elektrisk installasjonsmateriell utgjorde i gjennomsnitt ca. 25% av brannene med elektrisk årsak i boliger i første halvdel av tiåret. Denne andelen økte til ca. 35% i siste halvdel av perioden.[11]

Figur 17 illustrerer utviklingen av branner forårsaket av ulike typer elektrisk installasjonsmateriell. Det er tydelig at ledninger og kabler er den største kilden til brannene i installasjonsmateriell, og antallet slike branner har økt i løpet av tiårsperioden, fra litt over 20 til over 30 branner. Andelen av disse brannene i installasjonsmateriell har imidlertid vært relativt stabil, med unntak av en økning i 2004. For perioden frem til og med 2003 utgjorde branner i ledninger og kabler omtrent 30-40% av alle branner i installasjonsmateriell. Imidlertid økte denne andelen betydelig til 50% i 2004.[11]

Stikkontaktmateriell forårsaker nest flest branner, med et gjennomsnitt på omtrent 20 branner per år. Hyppigheten av disse brannene har vært relativt stabil, som det fremgår av figur 17. Deretter følger branner i koblingsbokser/klemmer (med 10-15 branner per år) og sikringsmateriell (5-10 branner per år). Brytere og annet installasjonsmateriell har hatt det laveste antallet branner, med kun 1-10 branner per år.[11]

Installasjonsmateriell

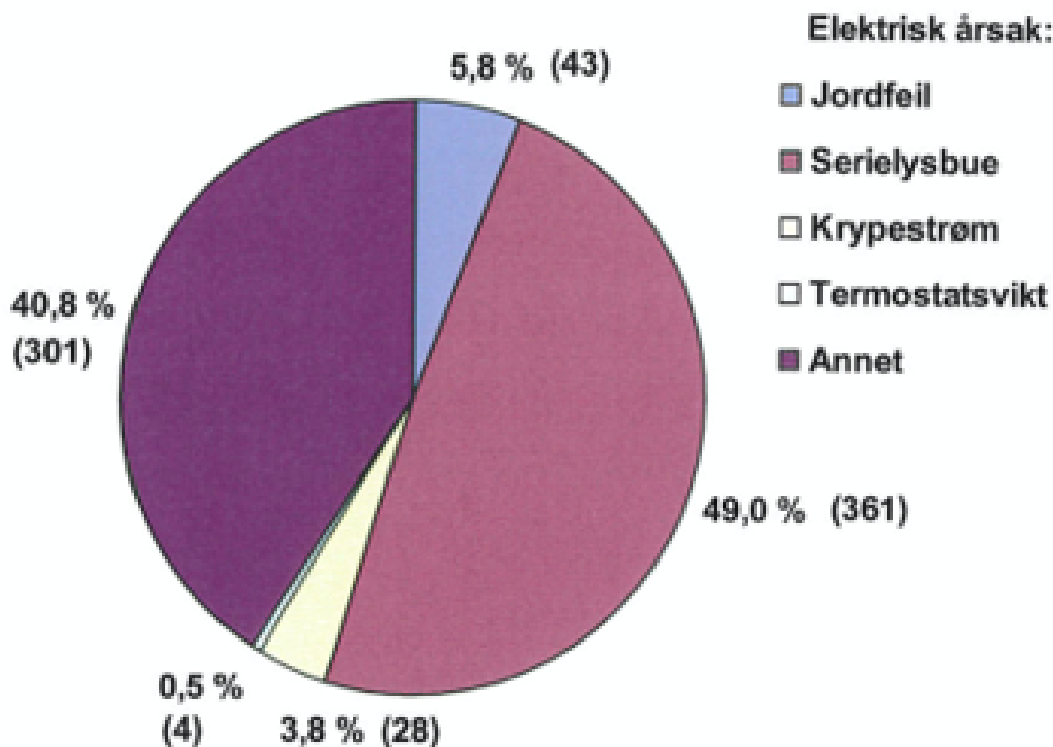


Figur 17: Antallet branner forårsaket av ulike typer installasjonsmateriell er fordelt basert på typen materiell som var årsaken til brannen[11]

Basert på en grundig gjennomgang av statistikken, er det mulig å fastslå at "Annet"-kategorien i stor grad omhandler tydelige tilfeller av elektriske brannårsaker. Dette inkluderte primært situasjoner knyttet til overoppheting og kortslutning, men det ble også hyppig nevnt problemer som kontaktsvikt og smeltede ledninger. Likevel utgjorde den største andelen branner i "Annet"-kategorien tilfeller hvor brannårsaken eller den spesifikke elektriske feilen ikke kunne defineres klart, bortsett fra at det var en åpenbar elektrisk årsak til brannen.

Figur 18 gir en visuell fremstilling av de ulike brannårsakene (i henhold til DSBs klassifisering av brannårsaker) for ulike kategorier av elektrisk installasjonsmateriell, inkludert ledninger og kabler, stikkontaktmateriell, sikringsmateriell, koblingsbokser/klemmer, brytere og annet installasjonsmateriell. Diagrammet klargjør at serielysbue og "Annet"

(annen brannårsak) var de mest dominerende brannårsakene for alle kategorier av installasjonsmateriell.



Figur 18: Antallet branner forårsaket av ulike typer installasjonsmateriell er fordelt basert på typen materiell som var årsaken til brannen[11]

Blant branner som involverte kabler/ledninger, stikkontaktmateriell og koblingsbokser/klemmer, var serielysbue den klart mest hyppige brannårsaken (i 50-57 % av tilfellene). Når det kom til sikringsmateriell og annet installasjonsmateriell, samt delvis brytere, var imidlertid "Annet" den mest fremtredende brannårsaken (50-70 %). Jordfeil utgjorde den tredje mest vanlige brannårsaken i installasjonsmateriell. Andelen branner forårsaket av jordfeil varierte mellom 2 % og 13 % avhengig av materialet. Den laveste andelen ble registrert for stikkontaktmateriell og koblingsbokser/klemmer (2 %), mens den høyeste andelen ble observert for kabler/ledninger (7 %), sikringsmateriell (9 %), annet installasjonsmateriell (12 %) og brytere (13 %).

Krypestrøm utgjorde den mest vanlige brannårsaken i stikkontaktmateriell (8 %) og brytere (5 %), mens det ikke ble registrert noen tilfeller av krypestrøm i sikringsmateriell og

annet installasjonsmateriell.

6 Brannsikringstiltak i elektriske sikringsskap

Dette kapitlet gir en gjennomgang av brannsikringstiltak i elektriske sikringsskap, og utforsker hvorfor det er nødvendig å diskutere og implementere slike tiltak. Ved å bygge videre på analysene av brannårsaker og risikofaktorer presentert i kapittel 4 og 5, vil dette kapitlet fokusere på konkrete tiltak for å redusere brannrisikoen i distribusjonstavler.

6.1 Termisk overvåking

Termisk overvåking fungerer ved å måle temperaturen i ulike deler av sikringsskapet ved hjelp av sensorer som termistorer, termoelementer, infrarøde kameraer eller fiberoptiske kabler. Disse sensorene sender kontinuerlig signaler til en sentral enhet, som deretter analyserer dataene og gir tilbakemelding ved eventuelle avvik fra forhåndsinnstilte nivåer.

Et eksempel av termisk overvåking er bruken av termisk sensor, for eksempel figur 19. Denne sensoren gir informasjon av temperaturen i sikringsskapet og kan utløse varsler ved overskridelse av forhåndsdefinerte grenser. Ved forhøyet temperatur kan systemet sende alarm til eieren. Dette bidrar aktivt til å forhindre ytterligere oppvarming og potensiell antennelse.[\[12\]](#), [\[43\]](#)



Figur 19: *Termisk sensor fra el-watch[12]*

Termisk overvåking adresserer flere potensielle brannårsaker, inkludert løse koblinger, feil dimensjonerte ledninger, overbelastning og kortslutninger. Ved å identifisere disse farene gir systemet en proaktiv respons. Flere leverandører, som el-watch og agderkameraservice, tilbyr termiske overvåkingssystemer i Norge.

Termisk overvåking er ikke bare nyttig for å forebygge branner, men også for å spare energi og penger. Ved å overvåke temperaturen i sikringsskapet, kan man oppdage feil eller slitasje på elektriske komponenter og utføre nødvendig vedlikehold eller utskifting før det blir et større problem. Dette kan bidra til å redusere strømforbruket og forlenge levetiden til sikringsskapet.[44], [45], [46]

6.2 Dimensjonering av elektrisk anlegg

Her skal det ses nærmere på hvordan dimensjonering av elektrisk anlegg kan bidra til å redusere brannfaren i tavler og skap. I kapittel 5 ble det gjennomført en analyse av en 25 A automatsikring, hvor det simulerte verdier for nominell strøm ble anvendt. Resultatene viste at ved en 50% belastning oppstod en betydelig temperaturforskjell på 40 °C. Denne observasjonen understreker viktigheten av riktig dimensjonering i elektriske anlegg, inkludert valg av sikringsstørrelse og ledningstype, for å unngå overbelastning.

Det er essensielt å velge riktig dimensjonering, da dette har direkte innvirkning på temperaturen. En dimensjonering til en høyere verdi enn nødvendig kan positivt påvirke temperaturen og dermed redusere risikoen for brann. Det bør også bemerkes at plasseringen av automatsikringene spiller en betydelig rolle. For eksempel kan kurser som er mer overbelastet enn andre, påvirke tilstøtende kurser og ytterligere øke temperaturen.

For å dimensjonere et elektrisk anlegg på en sikker og effektiv måte, må det ta hensyn til flere faktorer, som for eksempel:

1. Strømforbruket til de ulike apparatene og utstyrene som er tilkoblet anlegget. Dette kan variere avhengig av bruksmønster, effekt og spenning.
2. Ledningstverrsnittet til de ulike kretsene i anlegget. Dette bestemmer hvor mye strøm som kan gå gjennom ledningen uten at den blir for varm. Jo større tverrsnitt, jo lavere motstand og varmetap, men også høyere kostnad og plassbehov.
3. Sikringsstørrelsen til de ulike kursene i anlegget. Dette bestemmer hvor mye strøm som kan gå gjennom kursen før sikringen bryter og kutter strømmen. Jo større sikring, jo mer strøm kan kursen tåle, men også høyere risiko for overbelastning

Ved å beregne og sammenligne disse faktorene, kan man finne den optimale dimensjoneringen av et elektrisk anlegg som oppfyller kravene til sikkerhet, funksjonalitet og økonomi. Det finnes standarder og normer som gir retningslinjer og anbefalinger for hvordan man

skal dimensjonere et elektrisk anlegg, som for eksempel NEK 400 og NEK439 i Norge. Det er viktig å følge disse for å sikre at anlegget er i samsvar med gjeldende lover og forskrifter, Imidlertid gir normer og standarder ikke mye informasjon om hvordan plasseringen av automatsikringen i sikringsskapet bør være, eller hvor mye belastning automatsikringen skal håndtere av dens maksimale belastningskapasitet.

6.3 Ventilasjon i elektrisk anlegg

Ventilasjon har som formål å fjerne overskuddsvarme fra skapet og forhindre overoppheting av utstyret. Dette reduserer risikoen for brann, skade og feilfunksjon i det elektriske systemet. I tillegg bidrar ventilasjon til å forbedre energieffektiviteten og levetiden til det elektriske utstyret.

Det finnes ulike metoder for å ventilere et elektrisk anlegg, avhengig av størrelsen, plasseringen og designen av skapet, samt kravene til temperatur, luftstrøm og støvbeskyttelse. Noen av de vanligste ventilasjonsmetodene er:

1. **Naturlig ventilasjon:** Dette innebærer å bruke åpninger i skapet, som spalter, rister eller hull, for å tillate naturlig luftstrøm inn og ut av skapet. Denne metoden er enkel, billig og krever lite vedlikehold, men den er også begrenset av omgivelsestemperaturen, luftfuktigheten og støvnivået. Naturlig ventilasjon kan være utilstrekkelig for å fjerne nok varme fra skapet, spesielt i varme eller fuktige omgivelser, eller i skap med høy varmeproduksjon.
2. **Mekanisk ventilasjon:** Dette innebærer å bruke vifter for å tvinge luft inn eller ut av skapet. Denne metoden er mer effektiv, fleksibel og kontrollerbar enn naturlig ventilasjon, da den kan tilpasses etter behovet for luftstrøm og temperatur i skapet. Mekanisk ventilasjon krever imidlertid mer energi, plass og vedlikehold, og kan også øke støv- og støynivået i skapet. Mekanisk ventilasjon kan være nødvendig for å oppfylle kravene til brannsikkerhet, spesielt i skap med høy varmeproduksjon.

Uansett hvilken ventilasjonsmetode som brukes, er det viktig å følge noen grunnleggende prinsipper for å sikre en effektiv og sikker ventilasjon i elektrisk anlegg:

1. **Sikre tilstrekkelig luftstrøm:** Det bør være nok luft som sirkulerer inn og ut av skapet for å fjerne overskuddsvarmen og holde temperaturen innenfor de tillatte grensene.

2. **Sikre riktig plassering av åpninger:** Åpningene for ventilasjon bør være plassert slik at de utnytter den naturlige konveksjonen av varm luft som stiger oppover og kald luft som synker nedover. Dette betyr at åpningene for innluft bør være plassert i bunnen av skapet, mens åpningene for utluft bør være plassert i toppen av skapet som vist på figur 3 (d). Dette skaper en vertikal luftstrøm som effektivt fjerner varmen fra skapet. Åpningene bør også være plassert slik at de ikke blokkeres av andre gjenstander eller hindrer tilgangen til skapet.

3. **Sikre tilstrekkelig filtrering:** Filtrering er nødvendig for å forhindre at støv eller andre partikler kommer inn i skapet og forurenses eller skader det elektriske utstyret. Filtrering bør være tilpasset etter støvnivået i omgivelsene, og bør rengjøres eller byttes regelmessig for å opprettholde god luftkvalitet og luftstrøm i skapet. Filtrering bør også være plassert slik at den ikke reduserer luftstrømmen i skapet.

7 Drøfting

Dette kapitlet innebærer en dypere utforskning og refleksjon over de funnene og resultatene som er fremhevet gjennom analysen av branner i elektriske sikringsskap og de tilhørende brannsikringstiltakene. Diskusjonen tar sikte på å belyse både de praktiske implikasjonene av funnene og begrensningene i studien, samt å identifisere mulige veier for videre forskning innenfor dette kritiske området for brannsikkerhet.

7.1 Brannårsaker og Risikofaktorer

I dette kapitlet diskuteres de vanligste årsakene til branner i elektriske sikringsskap, samt de faktorene som bidrar til økt brannrisiko i disse installasjonene. Det vil også sammenligne ulike synspunkter og argumenter fra eksisterende litteratur og forskning på området.

En av de vanligste årsakene til branner i sikringsskap er overbelastning av elektriske kurer, som oppstår når strømmen i en kurs overstiger den nominelle verdien. Dette kan føre til oppvarming av ledninger, komponenter og apparater, noe som kan forårsake isolasjonssvikt og potensielle brannfarer. Overbelastning kan skyldes feil dimensjonering av ledninger og komponenter, feil bruk av elektriske apparater. For å forebygge overbelastning, er det viktig å følge Fel og Nek standarder for elektrisk installasjon, samt å ha riktig dimensjonerte og merkede automatsikringer for hver kurs.

En annen vanlig årsak til branner i sikringsskap er kortslutning, som oppstår når det dannes en direkte elektrisk forbindelse mellom to eller flere strømførende ledere med lav motstand. Dette kan føre til en unormalt høy strøm, som kan generere intens varme fra en lysbue, og potensielt forårsake brann. Kortslutninger kan skyldes skadede ledninger, feilaktig installasjon eller feil ved elektriske apparater. For å forebygge kortslutning, er det viktig å ha god isolasjon og beskyttelse av ledninger. I tillegg kortslutningsvern som kobler ut raskt og har tilstrekkelig bryteevne, samt å ha jordfeilbrytere som kan oppdage

og koble ut strømmen ved jordfeil. Det er viktig å merke seg at jordfeilstrøm i IT-nett er liten og må kobles ut av jordfeilvern, mens jordfeil i TN omtrent tilsvarer kortslutning og kobles ut av overstrømsvernet.

En tredje årsak til branner i sikringsskap er dårlig kontakt mellom elektriske komponenter, som kan føre til gnister og påfølgende antennelse av brennbare materialer. Dårlig kontakt kan skyldes løse forbindelser, korrosjon, slitasje eller mekanisk skade på komponentene. For å forebygge dårlig kontakt, er det viktig å ha regelmessig inspeksjon og vedlikehold av elektriske komponenter, samt å stramme og rengjøre forbindelsene. Dette kan gjøres ved en elektrisk inspeksjon av en elektrofirma. Det er verdt å merke seg at korrosjon, en potensiell årsak til dårlig kontakt, kan igjen skyldes varmeutvikling som gir klogass fra PVC. Klor reagerer deretter med hydrogen og gir saltsyre (hydrogenklorid).

En fjerde årsak til branner i sikringsskap er varmeutvikling i elektriske komponenter, som kan føre til overoppheting og brann. Varmeutvikling kan skyldes ohmske tap i strømbanen eller jern tap i magnetiske elementer.

Disse fire årsakene til branner i sikringsskap er ikke uttømmende, og det kan være andre faktorer som påvirker brannrisikoen i disse installasjonene. En av de faktorene er aldring av elektriske komponenter, som kan føre til redusert ytelse, økt motstand, svekket isolasjon og økt varmeutvikling. Dette kan øke risikoen for elektriske feil og brann. For å forebygge aldring, er det kanskje lurt å ha regelmessig inspeksjoner og utskifting av elektriske komponenter, samt å følge produsentens anbefalinger for levetid og garantier.

En annen faktor er overspenning, som er en plutselig økning i spenningen i et elektrisk system, som kan føre til skade på elektriske komponenter og apparater. Dette kan øke risikoen for kortslutning og brann. Overspenning kan skyldes lynnedslag, kobling eller frakobling av store laster, eller feil i strømnettet. For å forebygge overspenning, er det viktig

å ha overspenningsvern som kan begrense eller koble ut spenningen ved overspenning.

En annen faktor er feilinstallasjon av elektriske komponenter og apparater, som kan føre til brudd på sikkerhetsregler og standarder, samt øke risikoen for elektriske feil og brann. Feilinstallasjon kan skyldes manglende kvalifikasjoner, erfaring eller sertifisering av installatører, eller manglende dokumentasjon og merking av elektriske anlegg. For å forebygge feilinstallasjon, er det viktig å følge Fel og Nek standarder for elektrisk installasjon, samt å ha kvalifiserte og sertifiserte installatører som kan utføre arbeidet i henhold til gjeldende regler og forskrifter.

Disse faktorene viser at brannrisiko i sikringsskap er et komplekst og sammensatt fenomen, som krever en helhetlig og systematisk tilnærming for å redusere og forebygge. De neste kapitlene vil analysere og evaluere ulike brannsikringstiltak og forebyggende strategier som kan implementeres i sikringsskap for å forbedre brannsikkerheten. Tiltakene er satt søkelys på overbelastninger av kurser og termisk beskyttelses.

7.2 Effektiviteten av Brannsikringstiltak

Termisk overvåkningstiltaket i kapittel 6 består av installasjonen av en sensor som måler temperaturen i sikringsskapet. Denne sensoren varsler hvis temperaturen overstiger en forhåndsinnstilt grenseverdi. I tillegg finnes det andre termiske overvåkningssystemer, som for eksempel infrarøde kameraer eller fiberoptiske kabler. Disse har høyere nøyaktighet, men kommer ofte med økte økonomiske kostnader og krever mer plass. Derfor kan disse løsningene kanskje ikke være aktuelle for alle. El-Watch driver nå i en demofase der de utvikler en termisk sensor som er enklere å bruke og tar mindre plass.

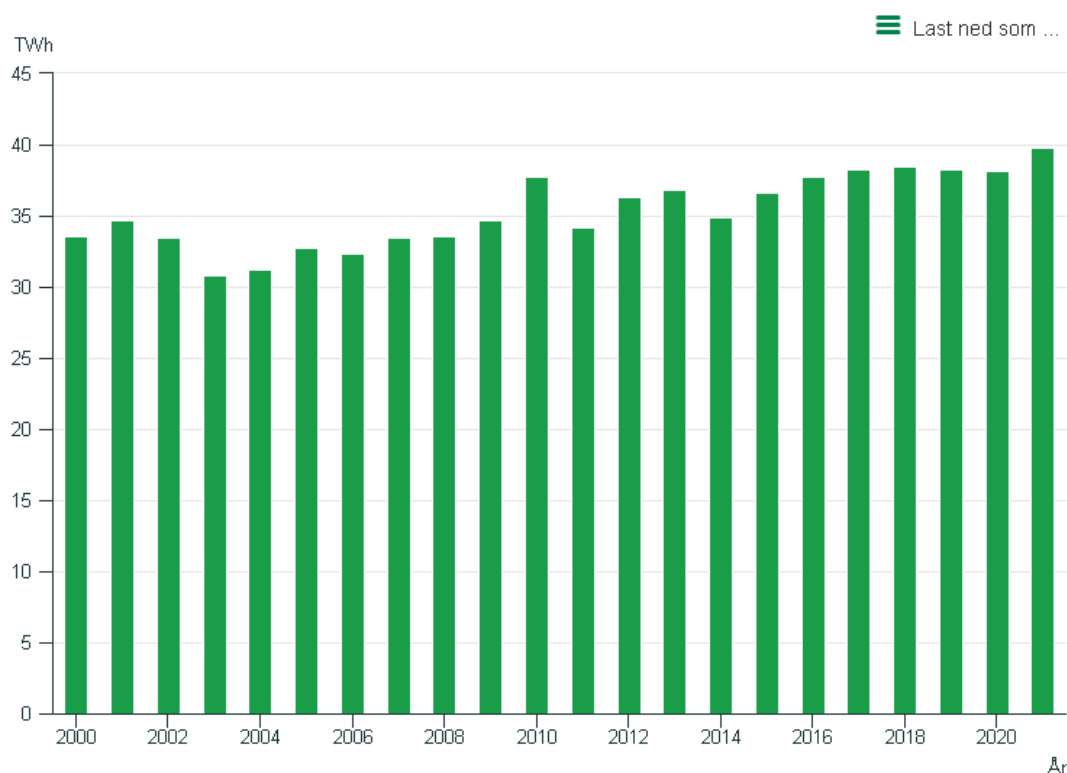
Fordelen med dette tiltaket er tidlig deteksjon av overoppheting og potensielle brannfarer, noe som kan redusere skader på elektrisk utstyr og begrense tap. Ulempen er risikoen for falske alarmer eller feilfunksjoner når sensoren er justert til en spesifikk grenseverdi.

Hvis skapets størrelse avviker fra det normale, kan det også føre til feilfunksjoner ved at sensoren ikke oppdager varmen tidlig nok.

Plasseringen av sensoren er også et viktig spørsmål for å sikre nøyaktige målinger. Noen hevder at det er best å plassere sensoren øverst for å oppdage varme siden varmen naturlig stiger oppover. Andre foreslår å plassere den i midten av skapet for å dekke et større område og unngå falske alarmer. Sensoren fra El-Watch har også en funksjon som oppdager om døren til el-skapet er åpen eller lukket. Den varsler om døren er åpen, noe som er nyttig for å hindre støv og andre uønskede ting fra å komme inn i skapet.

Dimensjonering av elektriske anlegg er et annet tiltak i kapittel 6, hvor formålet er å overdimensjonere automatsikringene eller fordele dem mer gjennom flere kurser. Det viser seg å være mer lønnsomt å ikke bruke 100% av kapasiteten til automatsikringene. Dette skyldes at når man opererer dem ved full kapasitet, kan temperaturen øke med opptil 40 °C, som tidligere vist i kapittel 4. Dette kan føre til redusert levetid for automatsikringene og øke sannsynligheten for brann. Kostnaden for overdimensjonering vil være noe høyere, men samtidig kan det vise seg å være mer lønnsomt på lang sikt.[13]

Det er tydelig at energiforbruket har økt betydelig over tid, og dette medfører at det er økende behov for større hovedsikringer, spesielt med tanke på økt bruk av for eksempel el-bil ladere. Dette understreker behovet for grundig planlegging og riktig dimensjonering av elektriske anlegg for å møte dagens og fremtidens behov. Det er viktig å sikre at sikringene og anlegget generelt ikke bare er effektive, men også trygge og pålitelige under ulike belastningsforhold og situasjoner.[13]



Figur 20: *Strømforbruk*[13]

Plasseringen av automatsikringene, kabler og annet utstyr er også viktig å vurdere, da dette kan påvirke temperaturen deres. For eksempel kan kurs som er mer overbelastet enn andre, påvirke tilstøtende kurser og ytterligere øke temperaturen. Derfor er det fornuftig å nøye vurdere lasten på de ulike kursene og vurdere å plassere dem slik at den tilstøtende kursen har mindre belastning. Samtidig kan det være lurt å vurdere muligheten for å ha mellomrom mellom dem hvis det er mulig, for å redusere varmeoverføringen og potensiell risiko for overoppheting.

Tabell 1: *Gjennomsnittlig strømforbruk i husholdninger, år 2015*[47]

| Type bolig | Størrelse | Strømforbruk per mnd | Strømforbruk per år |
|-----------------------|-----------|----------------------|---------------------|
| Enebolig | 200 kvm | 2 222 kWh | 26 667 kWh |
| Enebolig | 120 kvm | 1 333 kWh | 16 000 kWh |
| Rekkehus/Tomannsbolig | 120 kvm | 1 000 kWh | 12 000 kWh |
| Rekkehus/Tomannsbolig | 90 kvm | 750 kWh | 9 000 kWh |
| Leilighet | 80 kvm | 400 kWh | 4 800 kWh |
| Leilighet | 40 kvm | 200 kWh | 2 400 kWh |

I dag er det vanlig å ha minimal avstand mellom automatsikringer. Selv om dette er praktisk med tanke på plass, tar det ikke tilstrekkelig hensyn til brannrisiko. Noen vil argumentere for at dette bare medfører en minimal økning i varme i sikringsskapet, men det kan være fornuftig å revurdere denne praksisen. Å vurdere å skape mer avstand mellom sikringene kan faktisk bidra til å redusere varmeoverføringen og dermed minske potensiell risiko for overoppheting og brann. Dette vil kreve en annen utforming av samleskinnene for automatsikringer/jordfeilautomater, og vil dermed skape litt mer ekstraarbeid for å legge inn avdekninger i åpningene mellom elementene.

Når det gjelder kabler, er det vanlig for noen fagfolk å stripse sammen flere ledere for å gjøre det mer ryddig. Imidlertid kan dette også resultere i økt varme i el-skapet. Selv om denne økningen kanskje virker minimal, utgjør det likevel en del av det større bildet når det kommer til varmegenereringen i el-skapet. Å være oppmerksom på og vurdere slike små tiltak er viktig, da de samlet sett kan påvirke temperaturforholdene i skapet og ha en innvirkning.

Ventilasjon utgjør det siste tiltaket i kapittel 6. Mekanisk ventilasjon, som er den mest effektive metoden, regulerer temperaturen ned ved å spre varmen som genereres av de elektriske komponentene, dermed reduseres temperaturen i sikringsskapet. Imidlertid kommer denne tilnærmingen med ulemper, inkludert økt energiforbruk og støy. Disse ulempene kan være betydelige, og derfor kan det være verdt å vurdere naturlig ventilasjon som et alternativ. Selv om naturlig ventilasjon ikke er like effektiv og avhenger av god luftstrøm i rommet, er det en enklere løsning å implementere.

Det er viktig å være oppmerksom på at ventilasjonssystemer krever regelmessig vedlikehold, spesielt når det gjelder mekanisk ventilasjon. Filtere må jevnlig skiftes eller rengjøres

for å holde støv borte og unngå potensiell introduksjon av fuktighet som kan skade de elektriske komponentene.

7.3 Begrensninger i Forskingen

Innsamling av omfattende og pålitelig brannstatistikk samt tilgang til autentiske case-studier viste seg å være en utfordring i denne studien. Denne begrensningen kunne mulig påvirke analysens nøyaktighet og fullstendighet. Mangelen på tilgjengelig data kan ha resultert i en underrepresentasjon av visse brannårsaker eller brannforløp, og dermed påvirket de konklusjonene som ble trukket. For å styrke studiens validitet og pålitelighet, vil fremtidig forskning kunne fokusere på å utvikle mer strukturerte og omfattende data-metoder for å samle inn brannrelaterte informasjon fra pålitelige kilder.

Den mulige løsningen på denne begrensningen ligger i å etablere standardiserte metoder for innsamling og rapportering av brannrelaterte hendelser i elektriske sikringsskap. Dette kan inkludere samarbeid med brannvesenet, elektriske entreprenører og forsikrings-selskaper for å opprette en pålitelig kilde til data. Ved å skape en enhetlig tilnærming til innsamling og rapportering av brannrelaterte hendelser, kan forskere ha mer pålitelige datasett å arbeide med, noe som igjen kan forbedre analysens nøyaktighet og gi et mer realistisk bilde av brannrisikoen i elektriske sikringsskap.

Forskningen fokuserer kun på brannrisiko i elektriske sikringsskap med lavspenningsanlegg, og utelater andre typer anlegg som høyspenningsanlegg. Høyspenningsanlegg har spesifikke egenskaper som krever individuell vurdering når det gjelder brannsikkerhet. Blant annet kan disse systemene ha høyere strømmer og spenninger, som potensielt kan føre til andre former for brannhendelser med ulike risikomønstre sammenlignet med lav-

spenningsanlegg.

Analysedelen av oppgaven fokuserer kun på ett elektrisk utstyr, nemlig en kortslutningsbryterspole. Dette kan begrense nøyaktigheten av analysen, da den ikke tar hensyn til andre elektriske enheter. Videre tar analysen ikke hensyn til reelle situasjoner der det er flere automatsikringer ved siden av hverandre, noe som kan øke temperaturen deres. Imidlertid gir analysen en grunnleggende ide om hvor varm en automatsikring kan bli under forskjellige belastninger. Denne temperaturen kan potensielt være høyere hvis det er tilstøtende kretser med høy belastning.

7.4 Lover og Regler

Kapittel 2.2 gir en oversikt over relevante lover, forskrifter og standarder som regulerer brannsikkerhet i forbindelse med elektriske sikringsskap i Norge. Det refererer til eltilsynsloven, FEL, FEF og FEK som de viktigste lovverkene og forskriftene som stiller krav til planlegging, utførelse, endring og vedlikehold av elektriske anlegg, samt kvalifikasjonskrav for personer som utfører arbeid med elektriske anlegg og utstyr. Et mulig diskusjonsspørsmål er om lovverkene og forskriftene er tilstrekkelige og oppdaterte for å sikre termisk beskyttelse i elektriske sikringsskap, spesielt med tanke på nye teknologier, materialer og utfordringer som kan påvirke brannrisikoen.

Noen argumenter som kan støtte at lovene er tilstrekkelige, er at de gir et omfattende og detaljert rammeverk for elektrisk sikkerhet som dekker alle aspekter av elektriske anlegg og utstyr, inkludert sikringsskap. Men de kan være for generelle eller vage i noen tilfeller, og dermed gi rom for tolkning eller misforståelser som kan kompromittere brannsikkerheten i sikringsskap. For eksempel i FEL § 22, som beskriver beskyttelse mot skadelige termiske virkninger, gir rom for individuell vurdering. Imidlertid krever FEK at dette dokumenteres og utføres av kvalifiserte fagfolk eller installatører.

Et annen eksempel er når en elektriker ved et uhell klipper noen av kordellene i en ledning og dermed reduseres tverrsnittet, noe som kan føre til underdimensjonering. Dette øker risikoen for overoppheting og potensielle elektriske feil, som igjen kan føre til brannfare. Det er derfor viktig at elektrikere er forsiktige og bruker riktig verktøy for å unngå skade på kordellene under installasjon.

Det finnes også standarder og retningslinjer for lavspenningsfordelingsanlegg, som NEK 439, i henhold til IEC 61439, som erstatter IEC 60439. NEK 439 inkluderer i punkt 8.7 spesifikasjoner for kjøling av tavler. Standarden angir at tavler kan være utstyrt med både naturlig og/eller aktiv kjøling. Dette innebærer at ansvaret for å oppfylle disse kravene deles mellom tavlefabrikanten og installasjonsstedet. Det kan imidlertid oppstå utfordringer hvis enten tavlefabrikanten ikke gir tilstrekkelig informasjon om kjølebehov, eller hvis tavlen blir overbelastet slik at den ikke får den nødvendige kjølingen.

Diskusjonen om revisjon av NEK 439 er vanlig. Noen mener den bør oppdateres med tanke på teknologiske fremskritt og endringer i praksis siden 2013, for eksempel nye materialer eller sikkerhetsstandarder. Andre argumenterer for at NEK 439 fortsatt er relevant og pålitelig, og at prinsippene og retningslinjene ikke nødvendigvis trenger endringer.

Noen vil også mene lover og forskrifter kan være for strenge eller restriktive i noen tilfeller, og dermed hindre innovasjon eller tilpasning av nye teknologier, materialer eller løsninger som kan forbedre brannsikkerheten i sikringsskap. I tillegg kan de være forsinket eller utdaterte i forhold til raske endringer og utvikling innen elektroteknikk og brannsikkerhet, og dermed ikke ta hensyn til nye risikofaktorer eller utfordringer som kan påvirke brannsikkerheten i sikringsskap.

7.5 Utdanning og Bevissthet

I elektroingeniørutdanningen har termiske studier, som omhandler varmeoverføring og termodynamikk, blitt påpekt som et undervurdert område. Dette reiser spørsmålet om hvorfor det er så begrenset fokus på dette feltet. En potensiell årsak kan være den utilstrekkelige utviklingen innen termiske studier, noe som gjør det utfordrende å integrere dette fullt ut i utdanningsprogrammene.

Det er en diskusjon om behovet for ytterligere forskning innen termiske studier i elektroingeniørutdanningen. Enkelte argumenterer for at dersom det faktisk er mangler i tilgjengelig kunnskap på dette området, bør dette være en oppfordring til å investere mer ressurser i forskning. Økt forskning kan resultere i en dypere forståelse og danne grunnlaget for en bedre integrasjon av termiske studier i utdanningen.

På den andre siden stilles spørsmålet om det faktisk eksisterer et reelt behov for termisk kunnskap innen elektroingeniørfaget. Den lave vekten på termiske studier i utdanningen kan reflektere arbeidsmarkedets etterspørsel. Dersom termisk kunnskap ikke anses som avgjørende for en elektroingeniør, kan dette være grunnen til den manglende prioriteringen i utdanningen.

En viktig aspekt er bevisstheten om brannrisiko i sikringsskap i elektroingeniørutdanningen. Økt kunnskap og bevissthet blant elektroingeniører om brannrisiko i elektriske sikringsskap, kan redusere denne risikoen. For elektroingeniører er det derfor en viktig balanse mellom termiske studier, som kan ha betydning for systemstabilitet og materialers effektivitet, og bevissthet om brannrisiko i sikringsskap, som har direkte innvirkning på sikkerheten til elektriske anlegg.

7.6 Selvkritikk

Selvkritikk er en viktig del av enhver forskningsprosess. Det gir en muligheten til å reflektere over arbeid, identifisere styrker og svakheter, og foreslå forbedringer for fremtidig forskning. Selv om de anvendte metodene ble valgt for å oppnå en grundig forståelse av branner i elektriske sikringsskap, er det viktig å anerkjenne visse begrensninger og reflektere over potensielle utfordringer som kan ha påvirket datainnsamlingen og analysene.

Begrensninger i tilgjengelig informasjon:

1. **Datasamling fra private kilder:** Etter å ha vært i kontakt med Norges Brannvernforbund, brannvesenet og forsikringsselskaper, fikk oppgaven verdifulle innsikter. Likevel var det begrensninger knyttet til tilgangen til privat informasjon, som begrenset tilgangen til et komplett datasett. Dette kan ha påvirket dybden og omfanget av analysene.
2. **Avhengighet av tilgjengelig litteratur og offentlige rapporter:** Fokus på tilgjengelige brannrapporter og aviser for å trekke konklusjoner om branner i sikringsskap kan ha begrenset dybden i analysene, da ikke all relevant informasjon er offentlig tilgjengelig.

Utfordringer med modellering:

1. **Forenklet modellering i COMSOL Multiphysics:** Bruken av en forenklet 3D-modell for automatsikring kan potensielt ha begrenset nøyaktigheten i simuleringene. En slik forenkling kan ha oversett visse detaljer som er relevante for brannårsaker og konsekvenser.
2. **Valg av parametere og materialer:** Antagelser om parametere som konvektiv varmeoverføringskoeffisient og materialeegenskaper kan ha påvirket simuleringenes realisme og nøyaktighet.

Mulige forbedringsområder:

1. **Økt tilgang til privat informasjon:** Utforske metoder eller samarbeid som muliggjør mer omfattende tilgang til data uten å krenke personvern, for å styrke forskningens omfang og nøyaktighet.
2. **Dybde i modellering:** Vurdering av mer komplekse modeller som tar hensyn til flere variabler og detaljer i automatsikringer, samt inkludering av sikringskap med flere automatsikringer. kan bidra til å forbedre nøyaktigheten i simuleringene

8 Konklusjon

Brann i elektriske sikringskap kan skyldes flere faktorer, som overbelastning, kortslutning, feilinstallasjon, dårlig kontakt, dårlig vedlikehold og utilstrekkelig ventilasjon.

Varme reduserer levetiden til elektrisk utstyr og øker brannfaren. Denne studien utforsker årsakene og faktorene som påvirker brannrisikoen. En forenklet 3D-modell av en automatsikring ble utviklet for å undersøke temperaturen ved ulike belastningsnivåer. Resultatene viser at høyere belastning fører til høyere temperaturer, noe som kan øke brannrisikoen hvis sikringen ikke kobler ut ved strømmer over den nominelle verdien. Studien viser også at tiltak som termisk overvåkning, riktig dimensjonering av elektriske anlegg og bedre ventilasjon, kan redusere temperaturen og dermed redusere brannrisikoen.

Ventilasjonsanlegg viste seg å oppnå de beste resultatene når det gjelder temperaturreduksjon. Men kostnaden og vedlikeholdet av ventilasjonsanlegg er høy, og det passer derfor ikke for alle, samtidig som det tar mye plass i sikringsskapet.

En annen tilnærming er å overdimensjonere automatsikringer eller fordele lasten på flere, noe som viser seg å være økonomisk fornuftig på lang sikt, til tross for en høyere initial kostnad. Å unngå å bruke automatsikringene ved full kapasitet reduserer risikoen for overoppheting og kan forlenge levetiden deres. I tillegg, å ha mer avstand mellom sikringene kan bidra til å redusere varmeoverføringen og dermed minske potensiell risiko for overoppheting.

El-watch sin sensor kan være en effektiv og enkel måte å sikre mot brann eller overoppheting. Men forskningen på dette området er ennå ikke fullstendig utviklet. Denne løsningen er et skritt i riktig retning, men det er behov for videre forbedringer og grundigere testing før den kan betraktes som fullstendig pålitelig.

Referanser

- [1] “Construction parts of mv switchgear,” https://www.researchgate.net/figure/Construction-parts-of-MV-switchgear_fig1_324786315.
- [2] K. Michał Szulborski, Sebastian Łapczyński and D. Zalewski, “Transient thermal analysis of the circuit breaker current path with the use of fea simulation,” *Energies*, vol. 14, no. 9. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/9/2359>
- [3] Cable Organizer, “Understanding thermal management in electrical systems,” <https://www.cableorganizer.com/learning-center/articles/thermal-management.php>.
- [4] Sikringsskap tok fyr – familie rømte ut i 22 minusgrader. Online. [Online]. Available: <https://www.tb.no/nyheter/brann/re/sikringsskap-tok-fyr-familie-romte-ut-i-22-minusgrader/s/5-76-243413>
- [5] Det sa pang i sikringsskapet. Online. [Online]. Available: <https://www.tb.no/brann/tjome/vestfold-interkommunale-brannvesen/det-sa-pang-i-sikringsskapet/s/5-76-423547>
- [6] Lyn tente sikringsskapet. Online. [Online]. Available: <https://www.aftenbladet.no/lokalt/i/A058x/lyn-tente-sikringsskapet>
- [7] A. Elektrikern Kjell Sæterøy, “SKREKKABINETT,” <https://elks.no/skrekkabinett/>, 2023.
- [8] Byggebolig. Trekke fra bryter til stikkontakt. [Online]. Available: <https://byggebolig.no/el-installasjon-teknisk-installasjon/trekke-fra-bryter-til-stikkontakt>
- [9] —. PN-ledninger som svetter. [Online]. Available: <https://byggebolig.no/elektro-belysning/pn-ledninger-som-svetter?all=all>
- [10] —. Samme farge på ledninger til taklampe. [Online]. Available: <https://byggebolig.no/belysning/samme-farge-pa-ledninger-til-taklampe>
- [11] Jan P.Stenesaas, “Branner på grunn av elektrisk installasjonsmateriell,” <https://risefr.no/media/publikasjoner/upload/nbl-a06121-branner-pa-grunn-av-elektrisk-installasjonsmateriell.pdf>, Februar 2007.
- [12] “El-watch - overvåking av elektriske anlegg og sikringsskap,” <https://el-watch.no/bruksomrader/overvaking-elektriske-anlegg-og-sikringsskap/>.
- [13] Statistisk Sentralbyrå, “Rekordhøyt strømforbruk i fjor,” <https://www.ssb.no/energi-og-industri/energi/statistikk/elektrisitet/artikler/rekordhoyt-stromforbruk-i-fjor>, Årstall.
- [14] Arbeidstilsynet, “Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg,” <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1998-11-06-1060>, 1998.

- [15] Norsk Elektroteknisk Komite (NEK), “Nek 400: Elektriske installasjoner i bygninger,” <https://www.nek.no/produkter/nek-400/>.
- [16] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB), “Lov om elektriske anlegg og elektrisk utstyr,” <https://www.dsb.no/lover/elektriske-anlegg-og-elektrisk-utstyr/>, 2023.
- [17] Norges Høyesterett, “Lov om lovdomstoler (domstolloven),” 1929. [Online]. Available: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1929-05-24-4>
- [18] Arbeidstilsynet, “Forskrift om elektriske forsyningsanlegg.” <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2005-12-20-1626>, 2005.
- [19] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, “Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg,” <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2013-06-19-739>, 2013.
- [20] —, “Forskrift om elektroforetak og kvalifikasjonskrav for arbeid knyttet til elektriske anlegg og elektrisk utstyr,” <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2013-06-19-739>, 2013.
- [21] Norsk Elektroteknisk Komite (NEK), “Nek 439: Elektriske anlegg om bord i fritidsfartøy,” https://www.nek.no/wp-content/uploads/2016/11/NEK-439-A2013_web-forh.pdf, 2013.
- [22] Arbeidstilsynet, “Forskrift om systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid i virksomheter (internkontrollforskriften),” <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1998-11-06-1060>, 1998.
- [23] E. P. Systems. (2023) Function of switchgear in power systems. [Online]. Available: <https://www.ecpowersystems.com/resources/electrical-power-systems/function-of-switchgear-power-systems/>
- [24] ASCO Power Technologies. (2023) What is switchgear? [Online]. Available: <https://www.ascopower.com/us/en/resources/articles/what-is-switchgear.jsp>
- [25] Wikipedia. (2023) Switchgear. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Switchgear>
- [26] Eaton. (2023) Fundamentals of medium voltage switchgear. [Online]. Available: <https://www.eaton.com/us/en-us/products/medium-voltage-power-distribution-control-systems/switchgear/fundamentals-of-medium-voltage-switchgear.html>
- [27] Schneider Electric. (2023) What is switchgear? [Online]. Available: <https://www.se.com/us/en/work/featured-articles/what-is-switchgear/>
- [28] BYJU’S. (2023) Miniature circuit breaker. [Online]. Available: <https://byjus.com/physics/miniature-circuit-breaker/>

- [29] Tameson. (2023) Miniature circuit breaker. [Online]. Available: <https://tameson.com/pages/miniature-circuit-breaker/>
- [30] Electronics For You. (2023) Miniature circuit breaker (mcb). [Online]. Available: <https://www.electronicsforu.com/technology-trends/learn-electronics/miniature-circuit-board-mcb>
- [31] ABB. (2023) Miniature circuit breakers. [Online]. Available: <https://new.abb.com/low-voltage/products/system-pro-m/miniature-circuit-breakers>
- [32] Schneider Electric. (2023) Mcb (miniature circuit breakers) guide: Types, sizes, and uses. [Online]. Available: <https://eshop.se.com/in/blog/post/mcb-miniature-circuit-breakers-guide-types-sizes-and-uses.html>
- [33] M. Kriegel *et al.*, “Application and benchmark of multiphysics simulation tools for temperature rise calculations,” in *Cigre For Power System Expertise*, Paris, 2021.
- [34] T. W. Fowler and K. K. Miles, *Electrical Safety: Safety and Health for Electrical Trades. Student Manual*, 2002.
- [35] N. Thomson, *Fire Hazards in Industry*. Elsevier, 2001.
- [36] Svanemerket, “Hva er pvc?” <https://svanemerket.no/miljo/kjemikalier-og-miljogifter/hva-er-pvc/>.
- [37] Middle Atlantic Products. (2020) Controlling the temperature inside equipment racks. [Online]. Available: <https://avispl.com/wp-content/uploads/2020/11/MAP-WhitePaper-ThermalManagement.pdf>
- [38] Schneider Electric. (2017) Climasys thermal management system catalogue. [Online]. Available: <https://www.attero-tim.hr/wp-content/uploads/2019/12/ClimaSys-catalog-2017.pdf>
- [39] “The basics of electrical overheating,” *ECMweb*. [Online]. Available: <https://www.ecmweb.com/maintenance-repair-operations/article/20890352/the-basics-of-electrical-overheating>
- [40] Trainor. (2009) Brann fra jordfeil. [Online]. Available: <https://www.trainor.no/forum/forskrifter-og-normer-dsb/brann-fra-jordfeil/>
- [41] Elvia. Dette bør du vite om jordfeil. [Online]. Available: <https://www.elvia.no/elsikkerhet/elsikkerhet-i-hjemmet/dette-bor-du-vite-om-jordfeil/>
- [42] ——. Slik kan du redusere faren for brann ved lynnedslag. [Online]. Available: <https://www.elvia.no/elsikkerhet/gjor-hjemmet-trygt-i-tordenvaer/slik-kan-du-redusere-faren-for-brann-ved-lynnedslag/>
- [43] “Optris - termisk kamera 320 x 240,” <https://ptnordic.com/products/optris-termisk-kamera-320-x-240>.

- [44] “Agder kamera service,” <https://www.agderkamaservice.no/>.
- [45] “Thermal monitoring for electrical equipment and critical infrastructure,” <https://blog.exertherm.com/thermal-monitoring-for-electrical-equipment-and-critical-infrastructure>.
- [46] “Siemens - sem3t thermal monitoring,” <https://www.siemens.com/us/en/products/energy/low-voltage/digital-power-monitoring/sem3t-thermal-monitoring.html>.
- [47] Forbrukerguiden, “Normalt strømforbruk: Hva er vanlig strømforbruk i norge?” <https://forbrukerguiden.no/normalt-stromforbruk/>, 2015.