

NBL A12136 - Åpen

# Rapport

## Røykvarslere for bruk i bolig

Kartlegging av forskningsfront

**Forfatter**

Christian Sesseng



SINTEF NBL as

Postadresse:  
Postboks 4767 Sluppen  
7465 TrondheimSentralbord: 73591078  
Telefaks: 73591044nbl@nbl.sintef.no  
www.nbl.sintef.no  
Foretaksregister:  
NO 982 930 057 MVA

# Rapport

## Røykvarslere for bruk i bolig

Kartlegging av forskningsfront

**EMNEORD:**Brann  
Sikkerhet  
Røykvarsler  
Ionisk  
Optisk**VERSJON**

2

**DATO**

2012-12-21

**FORFATTER**

Christian Sesseng

**OPPDRAKSGIVER(E)**Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB)  
Direktoratet for byggkvalitet (DiBK)**OPPDRAKSGIVERS REF.**Kari Jensen  
Vidar Stenstad**PROSJEKTNR**

107563

**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**

23 sider, 0 vedlegg

**SAMMENDRAG****Kartlegging av forskningsfront**

I byggeforskrift av 1985 ble det innført krav til røykvarslere i nye boliger. I *Forskrift om brannforebyggende tiltak og brannsyn* (FOBTOB) av 1990 [1], ble det i tillegg innført krav om røykvarslere i eksisterende boliger.

Et litteraturstudium har blitt gjennomført for å kartlegge teknologistatus for røykvarslere i boliger. Det er lagt vekt på hvilken forskning og utvikling som er gjort med tanke på røykvarslere for boliger siden år 2000. Hvilke deteksjonsprinsipper kan benyttes, og kan ny teknologi gjøre detektorene bedre?

Rapporten oppsummerer litteraturstudiet, innenfor forskjellige fokusområder, og gir i tillegg forslag til videre forskning på temaet.

**UTARBEIDET AV**

Christian Sesseng

**SIGNATUR****KONTROLLERT AV**

Anne Steen-Hansen

**SIGNATUR****GODKJENT AV**

Atle W. Heskestad

**SIGNATUR****RAPPORTNR**

NBL A12136

**ISBN**

978-82-14-00111-2

**GRADERING**

Åpen

**GRADERING DENNE SIDE**

Åpen

# Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1	2012-11-30	Første versjon.

---

2	2012-12-21	Revisjon etter kommentarer fra oppdragsgiver.
---	------------	-----------------------------------------------

# Innholdsfortegnelse

<b>Sammendrag</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>5</b>
1.1 Bakgrunn .....	5
1.2 Målsetting .....	5
1.3 Forskningsmetode.....	5
1.3.1 Litteraturstudium .....	5
1.3.2 Studietur .....	6
1.4 Begrensninger .....	6
1.5 Definisjoner .....	6
<b>2 Litteratur</b> .....	<b>7</b>
2.1 Nøkkelprosjekt .....	7
2.1.1 Home smoke alarm project .....	7
2.1.2 A relative time analysis of the performance of residential smoke detection technologies .....	7
2.1.3 An experimental examination of dead air space for smoke alarms .....	8
2.1.4 Implementing high reliability fire detection in the residential setting.....	9
2.1.5 Experimental Validation of Smoke Detector Spacing Requirements and the Impact of these Requirements on Detector Performance .....	10
2.2 Røykvarslerteknologi .....	12
2.2.1 Gjeldende teknologi .....	12
2.2.1.1 Deteksjonsprinsipper .....	12
2.2.1.2 Funksjonen til dagens røykvarslere .....	14
2.2.2 Fremtidens teknologi.....	15
2.2.2.1 Kombinasjon av forskjellige deteksjonsprinsipp .....	15
2.2.2.2 Algoritme som analyserer målinger .....	16
2.3 Røykvarsleres levetid .....	17
2.4 Røykvarsleres pålitelighet .....	17
2.5 Plassering av røykvarslere.....	19
<b>3 Forslag til videre arbeid</b> .....	<b>20</b>
<b>4 Referanser</b> .....	<b>22</b>

## Sammendrag

Det er blitt gjennomført en litteraturstudie for å kartlegge teknologistatus for røykvarslere i boliger. Det er lagt vekt på hvilken forskning og utvikling som er gjort med tanke på røykvarslere for boliger siden år 2000.

Tema som har vært aktuelle for studien er som følger:

- Funksjon til dagens røykvarslere
- Fremtidens teknologi
  - Kombinasjon av forskjellige deteksjonsprinsipp
  - Algoritme som analyserer målinger
- Røykvarsleres pålitelighet
- Plassering av røykvarslere

Nedenfor følger en oppsummering av hovedfunnene innenfor de forskjellige temaene:

### Funksjon til dagens røykvarslere

Rapporterte artikler bekrefter på lang vei tidligere forskningsresultater om at ioniske detektorer reagerer raskere i flammebrann enn optiske detektorer. Og motsatt; optiske detektorer reagerer raskere enn ioniske detektorer i ulmebranner.

### Kombinasjon av forskjellige deteksjonsprinsipp

Det er eksperimenter med dualdetektorer, som inneholder både ionisk og optisk sensor. Disse detektorene er bedre til å detektere både flamme- og ulmebrann enn enkle ioniske og optiske detektorer ville gjort. Ulempen med disse detektorene, er at man vil få flere unødige alarmer dersom man ikke integrerer logikk som greier å skille unødige alarmer fra reelle alarmer.

Kombinasjoner med andre typer sensorer, som f. eks. CO-sensor og temperatursensor, har gitt lovende resultater med tanke på tidlig deteksjon. Det virker imidlertid som at det er forsket for lite på dette til å kunne trekke noen klare konklusjoner.

### Algoritme som analyserer målinger

Det er gjort studier som har benyttet målinger fra forskjellige sensorer, som ioniske, optiske, CO- og temperatursensorer, som input til algoritmer. Det er vist at algoritmene kan gi tidligere deteksjon samtidig som antall unødige alarmer reduseres.

### Røykvarsleres pålitelighet

I en studie har man analysert amerikansk brannstatistikk, med fokus på røykvarsleres funksjon under brann.

Røykvarslere fungerte i nesten halvparten av alle boligbranner mellom 2003 – 2006. Nesten ¼ av de som omkom i branner, omkom i boliger hvor det var installert røykvarslere, men hvor røykvarsleren ikke virket. Batteridrevne røykvarslere fungerte i 75 % av brannene, i motsetning til strømtilkoblede røykvarslere som fungerte i 91 %. Dødt eller manglende batteri er den vanligste årsaken til at batteridrevne røykvarslere ikke fungerer.

### Plassering av røykvarslere

I en studie fra 2009 sås det tvil om det er hold i anbefalingen om at røykvarslere ikke må monteres for nær overgang mellom vegg og tak. Studien konkluderer med at røykvarslere vil reagere like raskt, uavhengig om de er montert nær en slik overgang eller ei.

## 1 Innledning

### 1.1 Bakgrunn

I byggeforskrift av 1985 [2] ble det innført krav til røykvarslere i nye boliger. I *Forskrift om brannforebyggende tiltak og brannsyn* (FOBTOB) av 1990 [1], ble det i tillegg innført krav om røykvarslere i eksisterende boliger. Ti år etter, i 2000, ble det gjennomført en studie av SINTEF NBL som evaluerte forskjellige tiltak mot brann, og derunder hvilken effekt røykvarslere har hatt på brannsikkerheten i Norge [3]. Studien konkluderte med at røykvarslere er et kostnadseffektivt tiltak som redder ca. 10 liv per år.

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) og Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) ønsker nå å studere røykvarslerens pålitelighet og levetid. Ett fokus innenfor dette vil være på røykvarslere som ble installert for flere år siden, og om disse fremdeles fungerer som de skal.

### 1.2 Målsetting

Forprosjektets overordnede mål er å kartlegge teknologistatus for røykvarslere i boliger. Med teknologistatus mener vi hvilke typer (deteksjons- og varslingsprinsipp) røykvarslere for boliger som finnes på markedet i dag, i hvor stor grad de ulike typene er installert i boliger, og pålitelighet og levetid for disse røykvarslerne.

Forprosjektet skal kartlegge hva som er gjort av nasjonal og internasjonal forskning på dette området tidligere, og gi innspill til hva som bør studeres nærmere i en videreføring av prosjektet.

### 1.3 Forskningsmetode

#### 1.3.1 Litteraturstudium

Et litteraturstudium kan gi oversikt over forskning som er gjort på deteksjons- og varslingsprinsipp. Det er spesielt lagt vekt på status med hensyn til utvikling av nye prinsipper.

Det er søkt etter publikasjoner i aktuelle litteraturlag som er tilgjengelig via Universitetsbiblioteket i Trondheim. I tillegg er det søkt etter publikasjoner fra aktuelle utenlandske forskningsmiljøer.

Aktuelle søkeord har blant annet vært (også i kombinasjon):

- røykvarsler / *smoke alarm*
- røykdetektor / *smoke detector*
- brannvarsler / *fire alarm*
- branndetektor / *fire detector*
- levetid / *lifespan*
- deteksjonsprinsipper / *detection principles*
- pålitelighet / *reliability*

Spørsmål vi søkte å finne svar på:

- Hvilken forskning og utvikling er gjort med tanke på røykvarslere for boliger tidligere (avgrenses til de siste 10 år)?
- Hvilke ulike deteksjonsprinsipper kan anvendes, og hvilke fordeler og ulemper har de?
- Kan ny teknologi gjøre detektorene bedre?
- Hva er fremtidens deteksjonsprinsipper?

- Hva er levetiden til en røykvarsler?
- Hvor pålitelige er røykvarslere?
  - Er det gitt at de fungerer i en brann?
  - Hva kan påvirke røykvarslerens funksjon?
- Hva er optimal plassering av en røykvarsler?
- Hvor mange røykvarslere er nødvendig i boliger (avhengig av boligens planløsning, størrelse)?

### 1.3.2 Studietur

National Institute of Standards and Technology (NIST) i Gaithersburg, Maryland, USA, har gjort en rekke studier på deteksjon og varsling av brann. I løpet av de siste årene har de publisert artikler som bl. a. omhandler eldre røykvarsleres funksjon, og fullskala forsøk av røykvarslere i boliger. I september 2012 ble det derfor gjennomført en studietur til NIST, hvor vi fikk en god innføring i det arbeidet de hadde gjort, hvordan de hadde gjennomført forsøk, og hvilke problemstillinger de anser som viktige fremover. Det ble også knyttet kontakter med tanke på fremtidig forskningssamarbeid.

### 1.4 Begrensninger

Prosjektet har fokusert på røykvarslere for boliger. Det vil si at varslings- og deteksjonsprinsipp som kun brukes i industrien eller andre områder er blitt utelatt.

Litteraturstudiet er begrenset til å omhandle forskning fra år 2000 og senere.

### 1.5 Definisjoner

**Tabell 1-1 Definisjoner av ord, forkortelser og faguttrykk brukt i denne rapporten.**

Ord	Definisjon
CFD	Computational Fluid Dynamics
Dead air space	Område i nærheten av overgang mellom vegg og tak hvor luften er stillestående. Norsk: dødrom.
Detektor	Enhet som på forutbestemt måte automatisk påvirkes av hendelser eller tilstandsendringer (akustiske, elektriske, kjemiske, mekaniske, optiske, termiske osv.) [4].
Full neural network, FNN	En type nevralt nettverk. Les mer i kapittel 2.1.4.
Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR	Metode som kan brukes til å bestemme hvilke gassammensetninger det er i en gassblanding.
Nevralt nettverk	Algoritme som endrer handlingsmønster basert på tidligere hendelser.
NIST	National Institute of Standards and Technology. Amerikansk, offentlig forskningsinstitutt.
Nuisance alarm	At røykvarsleren går i alarm pga. matlaging, vandndamp el. l., som er til irritasjon for brukeren. Norsk: forstyrrelse (unødig alarm).
Principal component analysis (PCA)	Matematisk metode for å avdekke sammenhenger mellom variabler.
Propabilistic neural network, PNN	En type nevralt nettverk. Les mer i kapittel 2.1.4.

## 2 Litteratur

I dette kapitlet presenterer vi først enkelte nøkkelprosjekter. Dette er til dels omfattende prosjekter, som har resultater innenfor forskjellige temaer. Temaene kan f. eks. være funksjonen til nåværende teknologi, kombinasjon av deteksjonsprinsipper og algoritmeutvikling. Det er hensiktsmessig å gi en presentasjon av disse prosjektene på forhånd, for så å referere til dem under de respektive underkapitlene.

### 2.1 Nøkkelprosjekt

#### 2.1.1 Home smoke alarm project

I oktober 2000 tok NIST initiativ til prosjektet "*Performance of Home Smoke Alarms – Analysis of the Response of Several Available Technologies in Residential Fire Settings*" (kort tittel: "Home Smoke Alarm Project"). Prosjektet er rapportert i [5], samt i en del artikler som tar for seg underresultat [6-14]. Prosjektet er for øvrig referert i mange artikler innenfor temaet. Prosjektet gikk over 24 måneder, og hadde flere målsettinger, hvorav noen er gjengitt nedenfor:

1. Evaluér funksjonen til nåværende røykdeteksjonsteknologi (optiske og ioniske røykvarslere).
2. Evaluér hvor formålstjenlig dagens regelverk er med tanke på krav til antall og plassering av røykvarslere.
3. Utvikle standardkilder til unødige alarmer, som kan brukes i testprogrammet.
4. Undersøk andre branndeteksjonsteknologier som kan brukes i kombinasjon med røykvarsler (boligsprinkler, CO-detektorer og varmedetektorer).
5. Undersøk potensialet til forbedringer som ny teknologi gir.
6. Karaktiser røykvarsleres ytelse på en konsistent måte, slik at man kan gjøre sammenligninger mellom forskjellige røykvarslere.

I prosjektet ble det gjennomført 36 fullskalaforsøk, hvorav 27 av forsøkene ble gjennomført i et prefabrikkert hus (*manufactured house*), og 9 av forsøkene ble gjennomført i et toetasjes hus.

For å kunne overvåke forholdene i forsøkshusene, ble det foretatt en rekke målinger av forskjellige fysiske størrelser: temperatur, røyktetthet, FTIR<sup>1</sup> analyse av gassmålinger, hastighetsmåling av luft (røyk). I tillegg var det plassert klynger av ulike røykvarslere på forskjellige steder.

De fleste røykvarslerne på markedet gir kun et av- eller på-signal, avhengig av røykkonsentrasjonen i rommet. En del røykvarslere ble imidlertid bygget om, slik at man kunne logge et kontinuerlig spenningssignal som et mål på røyktettheten. Motivasjonen for dette var å kunne følge med på brannutviklingen, og sammenligne hvor følsomme de forskjellige typer detektorer var under ulike forhold. I tillegg kunne slike målinger brukes i arbeidet med å utvikle en algoritme for å analysere målinger fra forskjellige detektorer. Mer om dette i kapittel 2.2.2.2.

#### 2.1.2 A relative time analysis of the performance of residential smoke detection technologies

I [15] har man utført statistiske analyser på datamateriale fra 4 prosjekter [5, 16-18], for å sammenligne prestasjonen til forskjellige typer røykvarslere når de blir utsatt for forskjellige typer branner.

---

<sup>1</sup> Fourier Transform Infrared Spectroscopy



Optiske og ioniske røykvarslere ble eksponert for røyk fra flammebranner, ulmebranner og komfyrbranner (brann i matolje).

Denne artikkelen ser også på problematikken ved å sammenligne resultater fra forskjellige forsøk og forsøksserier. Problemet er at to forsøk gir to forskjellige brannforløp, til tross for at alle parametere er tilsynelatende identiske.

Dette problemet løser man ved å innføre relativ tid, i stedet for absolutt tid til hver røykvarsler går i alarm. I alle prosjektene var forskjellige typer røykvarslere plassert i klynger, noe som vil si at forholdene i omgivelsene til alle røykvarslerne innenfor en klynge til enhver tid er noenlunde like. Man tar tiden til første røykvarsler i hvert forsøk går i alarm, og sammenligner aktiveringstiden for de øvrige røykvarslerne i samme forsøk med den første. Matematisk kan det fremstilles som i ligning ( 1 ).

$$t_{akt,rel} = \frac{t_{akt,abs}}{t_{akt,abs,første}} \quad ( 1 )$$

hvor *akt* = aktivering, *rel* = relativ, *abs* = absolutt.

For å undersøke hvordan de forskjellige teknologiene responderte, benyttet man en metode som kalles *Common Language Effect Size*, som gir et mål på sannsynligheten for at en gitt teknologi vil være den første til å detektere en brann av en gitt type (for eksempel flammebrann).

### 2.1.3 An experimental examination of dead air space for smoke alarms

Det er advart mot å plassere røykvarslere nær hjørner eller overgang mellom vegg og tak, fordi luften antas stillestående i slike soner, slik at røyken bruker tid på å spre seg. Dermed vil man få forsinket deteksjon og varsling av en brann. Norsk brannvernforening anbefaler å ha en avstand på minst 50 cm mellom røykvarsler og vegg [19] (tilsvarende krav i Nord-Amerika er minst 10 cm mellom røykvarsler montert i tak og tilstøtende vegg, og maks 30 cm mellom røykvarsler og tak dersom den er montert på veggen [20]). Området mellom veggen og regelverkets minstekrav kalles "*dead air space*".

I referanse [20] påpekes det at det er lite vitenskapelig og eksperimentelt grunnlag for denne regelen. For å undersøke denne påstanden, ble det gjennomført 33 forsøk, både i et hus og i laboratorium. I forsøkene ble det brukt optiske- og ioniske detektorer, i tillegg til kombinasjonsdetektorer som har både optisk og ionisk sensor. Se Figur 2-1.



**Figur 2-1** Fra et av forsøksoppsettene ved undersøkelser av effekten av "dead air space". Det ble montert røykvarslere av forskjellige typer på forskjellige steder, både innenfor og utenfor den sonen som er påkrevet i Nord-Amerika. Foto: [20].

Målinger som ble gjennomført var tid til utløsning, optisk røyktetthet på 12 forskjellige punkter og temperaturer på 12 forskjellige punkter.

Røykvarslerne i forsøkene ble eksponert for små branner med langsom utvikling (ulmebranner), som etterhvert utviklet seg til flammebranner i forsøkene. Dette ble ansett som *worst case scenario*. Starttemperaturen i rommene varierte mellom forsøkene i huset (ca. 10-14 °C) og i laboratoriet (ca. 20 °C). Ventilasjonsanlegg var avslått under forsøkene.

### 2.1.4 Implementing high reliability fire detection in the residential setting

I artikkel [8], tar NIST for seg bruk av tradisjonelle detektorer som responderer på røyk, varme, gasser og elektromagnetisk stråling, og implementerer algoritmer som kan gi tidligere varsling, og færre feilalarmer.

Det er 3 prinsipper for å behandle detektormålingene:

1. Man kan se på settpunkt (alarmgrense) og/eller målingenes stigningsrate. Settpunkt benyttes i tradisjonelle røykvarslere: de gir alarm når røyknivået overstiger en gitt grense.
2. Prinsippal komponentanalyse (*principal component analysis (PCA)*), som er en matematisk metode for å avdekke sammenhenger mellom variabler.
3. Nevrale nettverk.

I denne studien ble det lagt vekt på nevrale nettverk. Nevrale nettverk er betegnelsen på algoritmer som "lærer" av informasjonen den mates med. I tilfellet røykvarslere, kan et slikt nettverk lære hvilke situasjoner som utgjør en fare, og hvilke som ikke gjør det, og reagere deretter.

Artikkelen sier at man bør forsøke å skille situasjoner ut i fra sannsynligheten for brann i nær framtid. Man har delt inn i 3 kategorier:

1. **Forstyrrelse.** Lav sannsynlighet for brann. Detektoren reagerer f. eks. på vanddamp eller kontrollert forbrenning (som stearinlys) som ikke utgjør noen fare for helse og sikkerhet.
2. **Utviklende situasjon.** Middels sannsynlighet for brann. Slike situasjoner *kan* føre til brann eller andre alvorlige situasjoner i løpet av noen minutter eller timer.
3. **Brann.** Høy sannsynlighet for brann. Slike situasjoner vil føre til brann i løpet av noen sekunder til minutter.

Boligbranner har karakteristiske forløp for varmeavgivelse, og man kan benytte nevrale nettverk til å "sammenligne" og kjenne igjen karakteristikkene for en reell brann. Som allerede nevnt må nevrale nettverk læres opp, noe som krever at det foreligger såkalte treningsdata. Man kan benytte forskjellige typer nevrale nettverk ut i fra hvor mye treningsdata som eksisterer. Hvis det foreligger lite treningsdata, er *Probabilistic neural network* (PNN) best. Dette systemet lærer raskt, men krever en del prosessorkapasitet. Det kan imidlertid løses med raskere prosessorer. I denne artikkelen benyttet man et fullt nevralt nettverk (FNN). Dette krever store treningssett, men artikkelen påpeker imidlertid at de kan genereres med datasimulering. Fordelen med et FNN er at det vil avvise flere tilfeller som ikke utgjør noen fare, men samtidig reagere på alle hendelser som utgjør fare.

Fordelen med PNN fremfor FNN, er at man kan estimere sannsynligheten for alarm, mens man for FNN må gjøre en større analyse. I studien har man sett nærmere på FNN.

Artikkelen presiserer at teknologien må være billig og lite strømkrevende, slik at man kan implementere algoritmen i mange systemer (også batteridrevne).

### 2.1.5 Experimental Validation of Smoke Detector Spacing Requirements and the Impact of these Requirements on Detector Performance

I 2006 ble det gjennomført CFD-simuleringer for å stadfeste hvilken effekt takbjelker har på responstiden til røykvarslere i korridorer. Disse simuleringene ble brukt som grunnlag da det amerikanske regelverket for brannvarsling skulle revideres (NFPA 72 – National Fire Alarm Code).

NFPA 72-utgaven fra 2002 krevde at man måtte ha en røykvarsler i hvert volum (lomme) som blir dannet mellom korridorens vegger og to tverrgående bjelker. I revisjonen fra 2007 har man lempet på dette kravet, slik at man ikke trenger flere røykvarslere i korridorer med bjelker enn det man behøver i korridorer med flatt tak (en røykvarsler hver 14. m).

I ettertid ble det gjennomført 49 fullskala forsøk, for å validere simuleringene fra 2006 [21]. Hovedmålet var å dokumentere responstiden til røykvarslere plassert i korridorer med takbjelker, og sammenligne disse med røykvarslere plassert i korridorer med flatt tak. Samtidig sammenlignet man målte fysiske størrelser som temperaturer, røykmengde og røykhastighet. Det ble bygd en 14,6 m lang, 3,7 m bred og 5,5 m høy korridor. Man hadde mulighet for å gjøre korridoren både smalere og lavere, slik at man fikk gjort forsøk under forskjellige forhold. Det ble testet med takbjelker som bygget enten 0,3 m eller 0,6 m ned fra taknivå, og med avstand mellom bjelkene på 0,9 m og 2,7 m. Det ble også utført tester med flatt tak uten bjelker.

Testene ble utført med en flammebrann på 100 kW. Siden man i dette tilfellet hadde gjennomført simuleringene før forsøkene, hadde man problemer med å gjenskape alle parametere som var brukt i simuleringene. Den største utfordringen var å finne et brensel som produserte korrekt mengde sot. Det var også utfordringer knyttet til sotavsetning over tennkilden, noe simuleringene ikke hadde tatt hensyn til. Dette

gjorde at man fikk lavere sotkonsentrasjoner nedstrøms i korridoren. For å ta hensyn til dette, måtte man endre brensel til et som produserte dobbelt så mye sot som i simuleringene.

Resultatene fra denne studien gjelder varm røyk, og det er uvisst om konklusjonene også gjelder for ulmebranner og for avkjølt røyk et stykke fra der det brenner.

## 2.2 Røykvarslerteknologi

### 2.2.1 Gjeldende teknologi

#### 2.2.1.1 Deteksjonsprinsipper

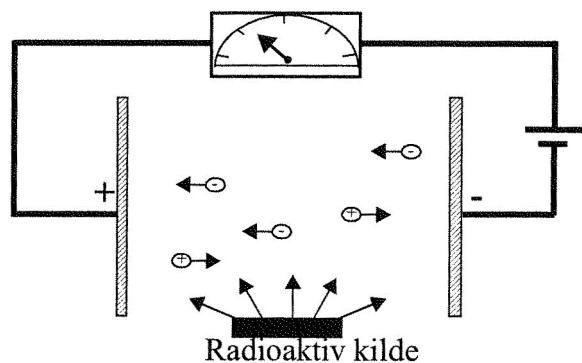
For deteksjon av røyk i boliger, er det i hovedsak to forskjellige deteksjonsprinsipper som brukes i dag: ioniske røykvarslere, og optiske røykvarslere [5]. Dette er teknologi som ble kommersielt tilgjengelig på 1960-tallet, og som har endret seg lite siden da.

##### Ioniske røykvarslere

Ioniske røykvarslere har en radioaktiv kilde (americium 241), som sender ut  $\alpha$ -partikler (heliumkjerner) eller  $\beta$ -partikler (elektroner) [22]. Disse partiklene reagerer med nøytrale gassatomer, slik at man får både positivt og negativt ladede ioner. På grunn av en spenning som er satt opp over røykkammeret, vil ionene tiltrekkes de motsatt ladede elektrodene, og generere en svak strøm (i størrelsesorden  $10^{-11}$  A). Se Figur 2-2.

Hvis røykpartikler trenger inn i røykkammeret, vil en del av røykpartiklene bli ioniserte. I og med at røykpartikler har større masse enn gassatomene i "vanlig" luft, vil røykpartiklene kolliderer og bli nøytrale igjen. Dette fører til at strømmen reduseres, noe som gir et mål på røykmengden i kammeret. Når strømmen går under en forhåndsdefinert grense, vil røykvarsleren gå i alarm.

Detektoren kan påvirkes av omgivelsesforhold som trykk, fuktighet, lufthastighet og forurensning. Ved mye fukt, og/eller forurensning i kammeret, vil noe av strålingen kunne absorberes, slik at detektoren gir alarm. Trykk og lufthastigheten gjennom kammeret vil påvirke mengden røykpartikler i røykkammeret, slik at det f. eks. detekteres for lite røyk i forhold til det som er i omgivelsene.

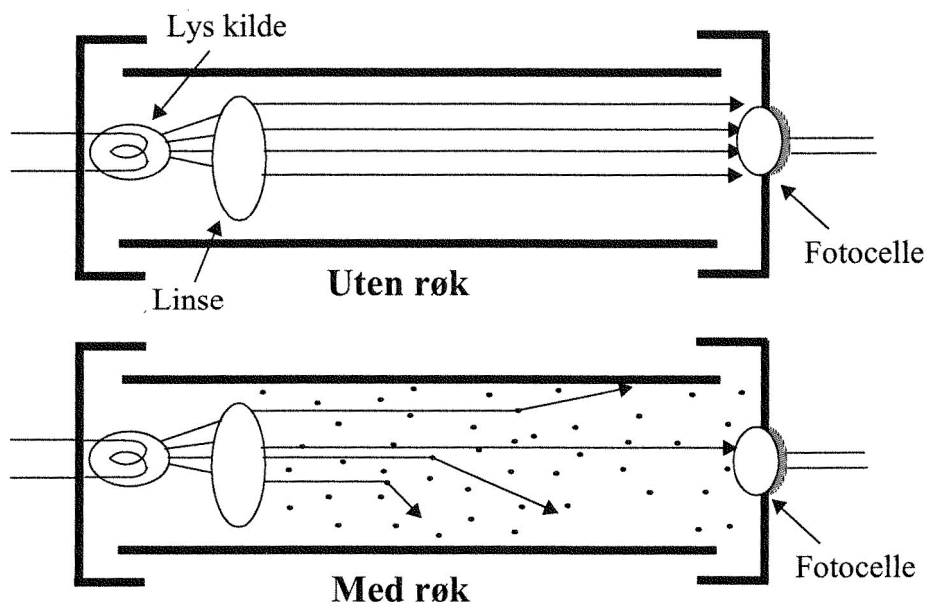


**Figur 2-2** Prinsippet bak ioniske røykvarslere. Det er satt opp spenning over to elektroder. En radioaktiv kilde ioniserer gassatomer mellom elektrodene og skaper en strøm. Røykpartikler vil redusere denne strømmen, og gi et mål på mengde røyk i røykkammeret. Figuren er hentet fra [22].

##### Optiske røykvarslere

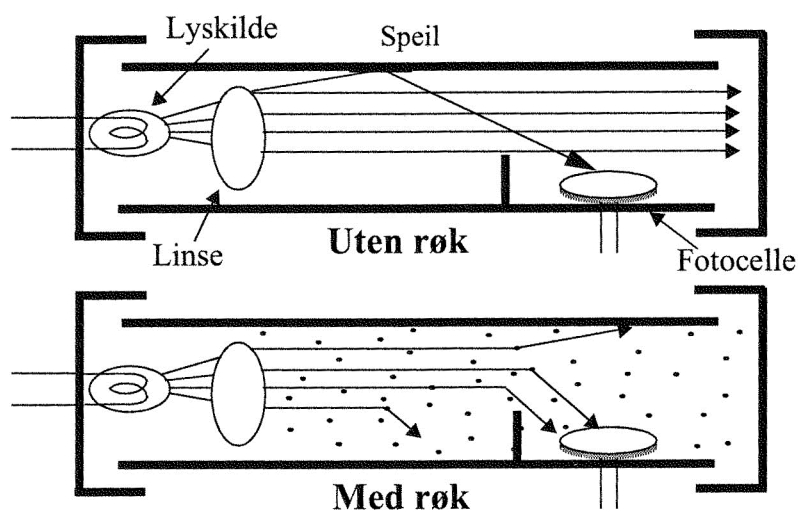
Optiske røykvarslere kan deles inn i to grupper, eller prinsipper: spredning av lys, eller demping av lys [22]. I begge tilfellene består røykkammeret av en infrarød diode og en fotocelle. Dioden lyser med en gitt styrke. Hvor mye av dette lyset fotocellen ser, er et mål på mengde røyk i røykkammeret.

Røykvarslere som baserer seg på prinsippet for lysdemping, tolker minkende mengde lys som fotocellen detekterer som økende mengde røyk i røykkammeret, se Figur 2-3.



**Figur 2-3** Skisse av prinsippet for lysdemping. Ved røyk i røykkammeret vil mengden lys fotocellen detekterer avta. Figuren er hentet fra [22].

For røykvarslere som baserer seg på lysspredning, vil fotocellen i en normaltilstand kun se en liten del av lyset. Dette lyset brukes som en kontroll på om systemet er i orden. Ved økende røykmengde vil lyset i økende grad reflekteres mot fotocellen, se Figur 2-4.



**Figur 2-4** Skisse av prinsippet for lysspredning. Ved røyk i røykkammeret vil mengden lys fotocelle ser øke. Figuren er hentet fra [22].

### 2.2.1.2 Funksjonen til dagens røykvarslere

Som beskrevet i kapittel 2.2.1.1, er det i hovedsak to deteksjonsprinsipper som benyttes i dag: optiske- og ioniske røykvarslere. Tradisjonelt har det vært, og er fremdeles i dag, store diskusjoner om hvilken av de to teknologiene som er best egnet til å detektere brann i boliger. Hvilken teknologi skal anbefales?

Tidligere studier, som f. eks. forsøkene i Vesterskaun skole i 1989 [23], har vist at optiske røykvarslere er bedre egnet til å detektere ulmebranner, i den forstand at de reagerer raskere enn ioniske røykvarslere. Ioniske røykvarslere er derimot bedre egnet til å detektere flammebranner.

Nyere studier som har undersøkt dette er referert i artiklene *Results from a Full-Scale Smoke Alarm Sensitivity Study* [10], *Advanced fire detection algorithms using data from the home smoke detector project* [13] og *A Relative Time Analysis of the Performance of Residential Smoke Detection Technologies* [15]. Alle disse studiene har brukt datamateriale fra *Home Smoke Alarm Project* [5]. [15] har også brukt data fra ytterligere 3 studier. Til tross for at man har brukt samme datamateriale, er det presentert forskjellige funn i artiklene. De to sistnevnte artiklene bekrefter tidligere funn som sier at optiske røykvarslere er best egnet i ulmebranner, og ioniske røykvarslere er best i flammebranner.

I [15] gjennomførte man også statistiske analyser av datamaterialet, og konkluderer med at begge teknologiene gir statistisk like tidlig varsling for forskjellige branntyper for en fremtidig brann. Man har heller ikke observert noen forskjell mellom de 4 datasettene som ble benyttet. Studiene ble gjennomført med 35 år mellom det første og det siste, noe som betyr at man ikke har observert noen forbedring i den ene teknologien i forhold til den andre i løpet av denne perioden.

I [5] ble det gjennomført totalt 24 fullskalaforsøk. Dette var 8 forskjellige scenarioer som ble repetert 3 ganger hver. Snittet av reaksjonstiden fra de tre repetisjonene til henholdsvis to par, samlokaliserte ioniske og optiske detektorer viser følgende [10]:

- Flammebrann: ionisk detektor reagerer raskere enn optisk detektor i alle 4 scenarioer (henholdsvis 35, 51, 52 og 302 sekunder før den optiske).
- Ulmebrann: optisk detektor reagerer raskere enn ionisk detektor i 2 av 4 scenarioer. I de to tilfellene hvor den ioniske detektoren reagerte før den optiske, gikk den i alarm 21 og 54 sekunder før den optiske. I det motsatte tilfellet reagerte den optiske detektoren henholdsvis 22 og 38 minutter før den ioniske. Begge teknologier har stor spredning i reaksjonstid for disse testene.

Det er uvisst om dette også gjelder andre detektorpar enn de som ble presentert i artikkelen.



## 2.2.2 Fremtidens teknologi

Av litteraturen kommer det frem at det forskes på to hovedområder når det gjelder å forbedre deteksjonstiden til røykvarslere i boliger. Det ene er å benytte kombinasjoner av forskjellige deteksjonsprinsipper, og det andre er å benytte algoritmer for å analysere signalene fra detektoren(e). Det er også gjort funn der algoritmer, kombinert med kombinasjoner av flere ulike detektorer, er brukt.

### 2.2.2.1 Kombinasjon av forskjellige deteksjonsprinsipper

#### Dualdetektorer

Etter over 30 års forskning på røykvarslere, har man observert at ioniske og optiske røykvarslere detekterer henholdsvis flamme- og ulmebranner best [9]. Derfor kan det se ut som en kombinasjon av disse to prinsippene er en løsning for å få tidlig deteksjon av begge typer branner.

I *Performance of Dual Photoelectric/Ionization Smoke Alarms in Full-Scale Fire Tests* [9], som tar utgangspunkt i data fra *Home Smoke Alarm Project* [5] og *Kemano Fire Studies* [18], har man sammenlignet dualdetektorer med ioniske og optiske detektorer plassert på samme sted. En dualdetektor er en enhet som har to typer sensorer innebygd, for eksempel både ionisk og optisk sensor. I forsøkene benyttet man forskjellige innstillinger av sensitiviteten for dualdetektorens sensorer.

Noen konklusjoner fra denne studien er (*SINTEFs kommentarer i kursiv*):

1. Dualdetektorer, med lik eller høyere sensitivitet enn konvensjonelle detektorer, fungerte bedre enn individuelle ioniske og optiske detektorer i en rekke ulme- og flammebranner.
  - a. *Med høyere sensitivitet på sensorene får man gjerne raskere deteksjon, men man får også gjerne flere unødige alarmer (nuisance alarms). I denne studien har man ikke vurdert unødige alarmer.*
2. I forsøkene der en ionisk detektor reagerte først, reagerte dualdetektoren 47-89 sekunder raskere enn den optiske.
  - a. *Dette er forventet i og med at dualdetektoren har en ionisk sensor.*
3. I forsøkene der en optisk detektor reagerte først, reagerte dualdetektoren 518-535 sekunder raskere enn den ioniske.
  - a. *Dette er forventet i og med at dualdetektoren har en optisk sensor.*
4. Det var lite å hente på å bruke dualdetektor i ulmebranner i forhold til optiske detektorer.
  - a. *Dette er forventet i og med at dualdetektoren har en optisk sensor.*
5. I forhold til optiske detektorer reduserte dualdetektoren deteksjonstiden for flammebranner.
  - a. *Her får man utnyttet den ioniske sensorens fordel, og reduserer deteksjonstiden i flammebranner.*
6. For branner som startet i et annet rom enn der hvor detektorene var installert, greide dualdetektoren å redusere deteksjonstiden med 94-103 sekunder i forhold til den optiske detektoren.
7. For komfyrbranner (brann i matolje) var reduksjonen i deteksjonstid svært avhengig av sensitiviteten til en ioniske sensoren.

Som nevnt, tok ikke denne studien hensyn til feilalarmer. Derfor kan det være at sensitivitetsinnstillingene som ga best resultat med tanke på deteksjonstid, vil gi mange unødige alarmer.

En ulempe med dualdetektorene som ble benyttet i disse forsøkene, er at de er utstyrt med OR-logikk. Dette betyr at detektoren gir alarm dersom målinger fra enten den ioniske sensoren eller den optiske sensoren overstiger visse grenseverdier. Dette betyr at man får med seg begge teknologienes svakheter med tanke på unødige alarmer. En måte å unngå dette på, er å benytte en mer kompleks logikk.



Dualdetektorer med optiske- og ioniske sensorer ble også vurdert i [15], hvor man konkluderte som følger (*SINTEFs kommentarer i kursiv*):

1. Dualdetektorer gir statistisk like tidlig varsling for forskjellige branntyper ved en fremtidig brann, som ioniske og optiske røykvarslere.
  - a. *Dette kan virke å motsi punkt 3, men poenget er at man ikke vet hvilken type brann som vil oppstå neste gang, og at man derfor ikke kan sikre seg tidligere varsling ved å velge en teknologi fremfor andre.*
2. Dualdetektorer var bedre (i snitt) enn optiske røykvarslere i ulmebranner.
3. For alle testene sett under ett, var dualdetektorene overlegen røykvarslerne med bare en type sensor.
  - a. *Dette fordi man utnytter styrkene til begge teknologiene.*

### CO- og temperatursensorer

I tillegg til å kun vurdere bruk av ionisk- eller optisk detektor, har man i [13] også vurdert andre typer sensorer: karbonmonoksid- (CO) og temperatursensorer. Disse målingene ble matet inn i forskjellige algoritmer. Resultatet fra denne studien er omtalt under kapittel 2.2.2.2.

I referanse [13], så man også på temperaturstigningsrate, og konkluderte med at denne parameteren ga minst like tidlig deteksjon av flammebranner som konvensjonelle detektorer, men at den i tillegg ga bedre immunitet mot unødige alarmer.

#### 2.2.2.2 Algoritme som analyserer målinger

Det er funnet to artikler som omhandler algoritmer som analyserer måledata.

Som nevnt i forrige avsnitt, brukte man i artikkelen *Advanced fire detection algorithms using data from the home smoke detector project* fra 2005 [13] målinger fra ioniske-, optiske-, CO- og temperatursensorer som input til en algoritme hvis mål var å redusere antall feilalarmer, samtidig som deteksjonstiden var minst like bra som konvensjonelle ioniske- og optiske detektorer.

Det ble introdusert flere algoritmer, og noen av konklusjonene fra studien er at multisensoralgoritmer kan fjerne en stor del av de unødige alarmene. Samtidig kan slike algoritmer gi tidligere, eller like god, deteksjon som konvensjonelle detektorer. En algoritme som benytter temperaturstigningsrate i kombinasjon med målinger fra CO- og ionisk detektor, var et godt eksempel på en slik algoritme.

Den andre studien, *Implementing High Reliability Fire Detection in the Residential Setting* fra 2012 [8], introduserte nevralt nettverk som en måte å bedre deteksjonstiden og samtidig forhindre unødige alarmer. Studiens hovedkonklusjoner var at man kan benytte nåværende deteksjonsteknologi til å føre et nevralt nettverk med målinger, for å detektere karakteristiske kjennetegn for brannforløp på et tidlig stadium. Nevrale nettverk viste gode resultater med tanke på tidlig deteksjon, og med hensyn til å skille ut unødige alarmer. For ett av treningsregimene (dvs. dataene som algoritmen føres med for å trenes opp til å detektere branner) som ble benyttet, ble samtlige falske alarmer skilt ut, og alle branner bortsett fra 1 ble detektert (N=42). Dette utgjør en feilrate på 2,4 %. Til sammenligning hevder artikkelens forfattere at konvensjonelle systemer overser 3 – 20 % av brannene.

Artikkelen legger vekt på at mer arbeid må gjøres før man kan implementere en slik algoritme i røykvarslere, men at resultatene er lovende.

## 2.3 Røykvarsleres levetid

Vi har kun funnet én artikkel som omhandler røykvarsleres levetid; *Evaluation of Fire-Safety Programs that use 10-Year Smoke Alarms* fra 2010. I 1998 ble programmet *Fire Safety Education* initiert i USA [24]. Programmet gikk ut på å installere gratis røykvarslere i boliger med høy risiko for brann. Røykvarslerne var utstyrt med litiumbatterier som var ment å vare i 10 år.

8-10 år etter installasjonen, ble det gjennomført en studie for å undersøke hvor mange av røykvarslerne som fremdeles eksisterte og fungerte, og for å forstå faktorer som påvirker om røykvarslere er installert og om de fungerer.

I alt ble 384 hjem besøkt og 601 røykvarslere undersøkt, og følgende funn ble gjort:

1. 33 % av røykvarslerne var fremdeles installert og fungerte. 37 % av røykvarslerne var fjernet. 30 % av røykvarslerne var fremdeles montert, men fungerte ikke.
  - a. Av de 180 røykvarslerne som var montert, men ikke virket, hadde
    - 43 % dødt batteri
    - 17 % manglet batteri
    - 13 % virket å være fysisk skadet
    - 27 % virket å være ødelagte pga. manglende deler eller støvansamling
2. Av de 351 røykvarslerne som var montert og hadde batteri installert, hadde kun 21 % litiumbatteri, 48 % hadde andre typer batterier. Batteritype ble ikke registrert for de gjenværende 31 %.
  - a. Av røykvarslerne med litiumbatterier, var det 78 % som fungerte. Av røykvarslerne med andre typer batterier, fungerte 53 %.
  - b. 14 % av litiumbatteriene var utladet. For andre typer batterier var andelen 20 %.
  - c. Grunnen til at kun 21 % av røykvarslerne hadde litiumbatteri, kan komme av at har hørt på kampanjer som oppfordrer til å bytte batteri, for så å sette inn et vanlig batteri.
3. Røykvarslere fungerte oftere i tilfellene hvor de ikke var installert på kjøkkenet.

## 2.4 Røykvarsleres pålitelighet

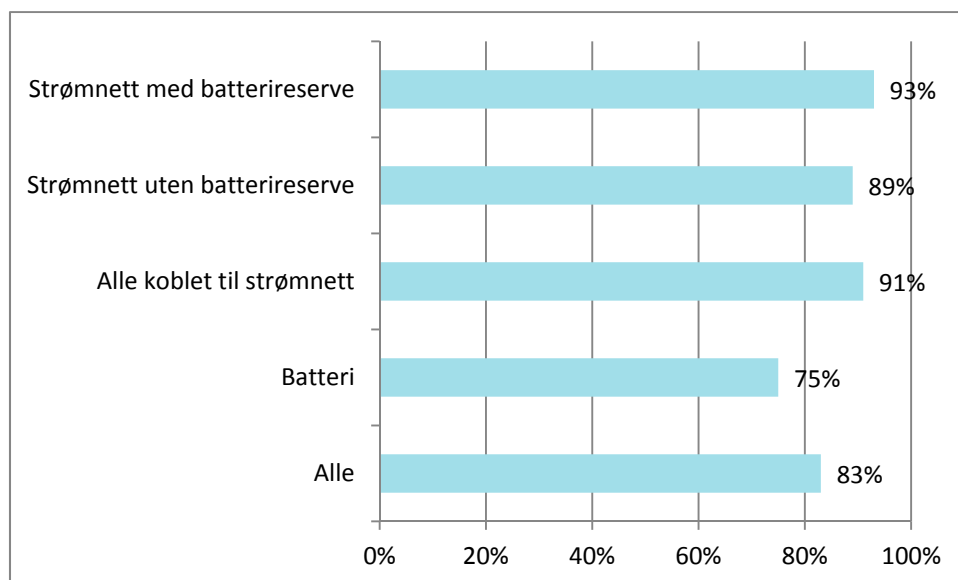
Når det gjelder røykvarsleres pålitelighet, dvs. om de fungerer ved en brann, har vi funnet en artikkel: *Smoke alarm presence and performance in U.S. home fires* [25]. Artikkelen presenterer amerikansk statistikk, som går på utbredelse av røykvarslere, hvilke strømkilder som benyttes, plassering og funksjon ved brann.

I de rapporterte brannene hvor brannvarslingssystem var bekreftet installert (N = 167 099), var røykdetektorer brukt i 92 % av tilfellene, mens i 5 % av tilfellene var det brukt en kombinasjon av røyk- og temperaturdetektorer.

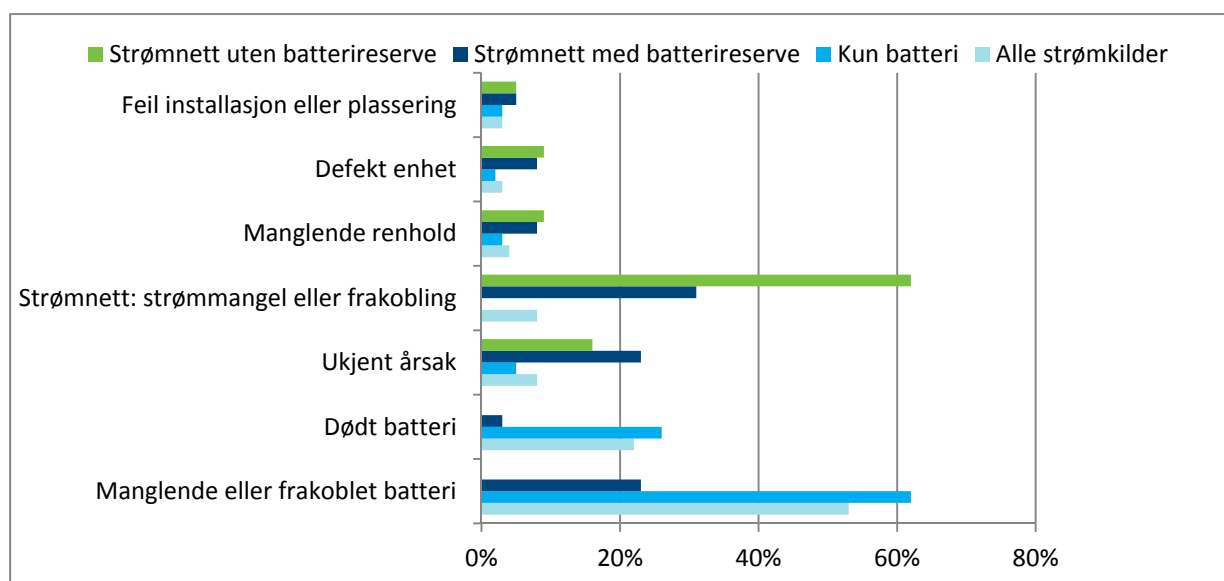
I perioden 2003 – 2006 er det registrert 2850 omkomne i gjennomsnitt per år i branner i USA. 23 % av disse omkom i branner hvor røykvarsler var installert, men ikke virket. 1 % av de omkomne, omkom i branner som var for små til å detekteres av røykvarsleren. For alle boligbranner sett under ett, var røykvarsler installert, og fungerende, i 47 % av brannene.

Om man ser på andelen røykvarslere som fungerte, fordelt på type strømkilde, ser man at røykvarslere som drives av batteri fungerte i 75 % av brannene. Tilsvarende er tallet for røykvarslere koblet til strømmnett 91 % (se Figur 2-5). Om man ser på omkomne i branner hvor røykvarsler var installert, sier studien at 69 %

omkom i branner hvor røykvarsleren hadde batteriforsyning, og 25 % hvor røykvarsleren var koblet til strømmnett.



**Figur 2-5** Andel røykvarslere som fungerte i de rapporterte brannene, fordelt på strømkilde.



**Figur 2-6** Årsak til at røykvarslere ikke fungerte, fordelt på type strømkilde. Hver fargekategori summeres til 100 %.

Figur 2-6 viser årsaken til at røykvarslere ikke fungerer, fordelt på hvilken type strømkilde de har, og man ser at halvparten av alle røykvarslere, uavhengig av type strømkilde, ikke fungerte pga. manglende batteri. Om man legger tilfeller hvor batteriet var dødt, er man oppe i 75 %. Om man ser på strømmangel på strømmnett som årsak, er tilsvarende tall 8 %. I følge en undersøkelse fra 2004/2005, som [25] refererer til, hadde 70 % av alle spurte husholdninger i USA batteridrevet røykvarsler, mens 30 % var koblet til strømmnett.

Oppsummert kan man si at røykvarslere med batteri feiler oftere enn røykvarslere som drives av strøm fra ledningsnettet. Samtidig kan man se hovedårsaken til at røykvarslere feiler er dødt eller manglende batteri.

## 2.5 Plassering av røykvarslere

Det er funnet to publikasjoner som omhandler plassering av røykvarslere: *An experimental examination of dead air space for smoke alarms* [20] og *Experimental Validation of Smoke Detector Spacing Requirements and the Impact of these Requirements on Detector Performance* [21].

I førstnevnte prosjekt ønsket man, som forklart i kapittel 2.1.3, å undersøke om det var hold i påstanden om at takmonterte røykvarslere ikke bør plasseres mindre enn 10 cm fra veggen. Studien konkluderer med at røykvarslere plassert i såkalte dødsoner (*dead-air spaces*) reagerer minst like raskt, og noen ganger raskere enn detektorer plassert utenfor dette området. Røyktetthetsmålinger støtter også denne konklusjonen. Det var minst like mye, eller mer, røyk i dødsonene som utenfor.

Den andre studien ble utført for å verifisere CFD-simuleringer som ble gjennomført for å stadfeste hvilken effekt takbjelker har på røykvarslere og deres responstid i korridorer. Målingene fra eksperimentene viste god overensstemmelse med CFD-simuleringene med hensyn til temperatur, røykhastighet og optisk røykthet.

En av endringene som ble innført i regelverket som konsekvens av disse CFD-simuleringene, var at man lempet på kravet om en røykvarsler i hver lomme mellom to takbjelker, slik at det ble tilstrekkelig å ha samme avstand mellom røykvarslerne som ved et flatt tak. Eksperimentene viste at denne regelendringen innførte en deteksjonsforsinkelse på 8-39 sekunder. Disse resultatene gjelder for situasjoner med varm røyk, og det er uvisst om de gjelder for ulmebranner, eller ved deteksjon av kald røyk.

### 3 Forslag til videre arbeid

#### Kartlegging av røykvarslere i norske hjem

Det er påbudt med røykvarslere i norske boliger. I tillegg er det mange anbefalinger som strekker seg utover minstekravet i regelverket mtp. hvilken type detektor man skal ha, hvor mange røykvarslere man bør installere og hvor de bør plasseres. Men hva er egentlig status i norske hjem? Det finnes ingen oversikt over utbredelsen av optiske, ioniske, eller andre typer detektorer. Det finnes heller ingen oversikt over fordelingen av ulike strømkilder for røykvarslere.

Man kunne gjennomføre et prosjekt, hvor man kartlegger type røykvarsler, strømkilde, antall, plassering, funksjon etc. i boliger. En slik informasjonsinnsamling kan gi oss status i Norge, og danne et sammenligningsgrunnlag for senere undersøkelser som kan si noe om effekten av ulike tiltak. Samtidig vil man kunne si noe om hvor man bør rette innsatsen og fokuset i det forebyggende arbeidet.

Dette er et prosjekt som kan gjennomføres i samarbeid med studenter i forbindelse med bachelor- eller mastergrad.

#### Plassering av røykvarslere

Det er ikke funnet litteratur som omhandler anbefalt plassering av røykvarslere i boliger. Spørsmålet er hvor mange, og hvor i boligen man bør plassere røykvarslere for å sikre tidlig deteksjon og varsling av beboere? Det foreslås at man gjennomfører en studie som ser på røykvarsleres posisjon med tanke på typiske brannårsaker og arnesteder, røykspredningsmønstre, sove- og oppholdsrom og rømningsveier.

#### Verifikasjon av dødluftsrom

I studien *An experimental examination of dead air space for smoke alarms* [20] undersøkte man om det var hold i påstanden at røykvarslere ikke må plasseres for nær overgang mellom vegg og tak fordi det vil føre til økt deteksjonstid. Konklusjonen var at det ikke var hold i påstanden.

Det er kun gjort én studie på dette. Vi mener det kan være interessant å gjennomføre tilsvarende forsøk, for å se om man klarer å reprodusere resultatene. Hvis resultatene blir stikk i strid med nevnte studie, er det et viktig funn som bør formidles. Dersom resultatene bekrefter nevnte studie, har man større grunnlag for å evt. endre anbefalingene.

#### Røykvarsleres levetid

I artikkelen *Evaluation of Fire-Safety Programs that use 10-Year Smoke Alarms* [24], fant man at 43 % av de defekte røykvarslerne ikke virket pga. dødt batteri, 13 % var fysisk skadet og 27 % pga. manglende deler eller støvansamling. Spørsmålet er om disse resultatene gjelder for norske forhold.

Man kan gjennomføre en undersøkelse, hvor man kartlegger røykvarsleres funksjon. Ved å samtidig kartlegge røykvarslerens alder, kan man se om det er noen korrelasjon mellom alder og funksjon.

Dette er et prosjekt som kan gjennomføres i samarbeid med studenter i forbindelse med bachelor- eller mastergrad.

#### Multideteksjon

Det er gjort enkelte studier hvor man ser på bruk av CO-detektor i kombinasjon med konvensjonelle deteksjonsprinsipp. Slike målinger, i tillegg til en god algoritme, har gitt lovende resultater mtp. tidligere deteksjon. Vi mener imidlertid at det er forsket for lite på dette feltet. Man kan gjennomføre et prosjekt hvor

man gjennom eksperimenter forsøker å kvantifisere hvor mye tidligere alarm en multidetektor, med CO-sensor, kan gi.

### **Kartlegging av giftigheten i rom ved ulmebrann**

Det kan ta forholdsvis lang tid fra en ulmebrann oppstår, til en røykvarsler går i alarm. Spørsmålet er hva konsentrasjonen av giftige gasser i arnestedsrommet er i tiden før alarm. Dette vil påvirke personers mulighet for å rømme. Dette kan f. eks. undersøkes ved å måle sammensetningen og konsentrasjonen av røykgassene. I tillegg kan man måle optisk røyktetthet for å undersøke siktforholdene.

## 4 Referanser

1. *Forskrift om brannforebyggende tiltak og brannsyn*, FOR-1990-07-05 nr 0546.
2. *Byggeforskrift 1985*, FOR 1984-11-15 nr 1892.
3. Mostue, B.A., *Evaluering av tiltak mot brann. Har røykvarslere, håndslukkingsapparater og sprinkleranlegg hatt effekt på brannsikkerheten i Norge?*, ISBN 978-82-14-00049-8, 2000.  
[http://nbl.sintef.no/publication/lists/docs/STF22\\_A00853.pdf](http://nbl.sintef.no/publication/lists/docs/STF22_A00853.pdf).
4. *Kollegiet for brannfaglig terminologi*. [www.kbt.no](http://www.kbt.no).
5. Bukowski, R.W., et al., *Performance of Home Smoke Alarms - Analysis of the Response of Several Available Technologies in Residential Fire Settings*. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA, 2008.  
[http://www.nist.gov/el/fire\\_protection/buildings/upload/NIST\\_TN\\_1455-1\\_Feb2008.pdf](http://www.nist.gov/el/fire_protection/buildings/upload/NIST_TN_1455-1_Feb2008.pdf).
6. Cleary, T., *A Test Methodology for Multiple Sensor - Multiple Criteria Alarms*.
7. Cleary, T. *Residential Nuisance Source Characteristics for Smoke Alarm Testing*.
8. Jones, W., *Implementing High Reliability Fire Detection in the Residential Setting*. Fire Technology, 2012. **48**(2): p. 233-254.
9. Cleary, T., *Performance of Dual Photoelectric/Ionization Smoke Alarms in Full-Scale Fire Tests*. Fire Technology, 2010: p. 1-21.
10. Cleary, T., *Results from a Full-Scale Smoke Alarm Sensitivity Study*. Fire Technology, 2010: p. 1-16.
11. Cleary, T., *Full-Scale Residential Smoke Alarm Performance*. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA.
12. Cleary, T.G. *An analysis of the performance of smoke alarms*. in *10th International Symposium on Fire Safety Science, June 19, 2011 - June 24, 2011*. 2011. College Park, MD, United states: Interscience Communications Ltd.
13. Cestari, L.A., C. Worrell, and J.A. Milke, *Advanced fire detection algorithms using data from the home smoke detector project*. Fire Safety Journal, 2005. **40**(1): p. 1-28.
14. Su, J. and M. Kanabus-Kaminska, *FTIR gas measurement in home smoke alarm tests*, Fire Risk Management Program, Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada.
15. Milarcik, E., S. Olenick, and R. Roby, *A Relative Time Analysis of the Performance of Residential Smoke Detection Technologies*. Fire Technology, 2008. **44**(4): p. 337-349.
16. Bukowski, R.W., T.E. Waterman, and W.J. Christian, *Detector sensitivity and siting requirements for dwellings*, NIST GCR 75-51. National Institute of Standards and Technology, 1975.

17. Harpe, S.W., T.E. Waterman, and W.J. Christian, *Detector sensitivity and siting requirements - phase 2*, NBS GCR 77-82. National Institute of Standards and Technology, 1977.
18. Su, J., et al., *Kemano fire studies - part 1: response of residential smoke alarms*, Research report 108. National Research Council of Canada, 2003.
19. Røykvarsleren., Norsk brannvernforening 2012 [2012-11-07];  
<http://www.brannvernforeningen.no/Brannvern-i-hjem-og-fritid/Redde-varsle-slokke/Roykvarsleren>.
20. Su, J. and G. Crampton, *An Experimental Examination of Dead Air Space for Smoke Alarms*. Fire Technology, 2009. **45**(1): p. 97-115.
21. Mealy, C. and D. Gottuk, *Experimental Validation of Smoke Detector Spacing Requirements and the Impact of these Requirements on Detector Performance*. Fire Technology, 2010. **46**(3): p. 679-696.
22. Onshus, T., *Instrumenteringssystemer*. 4 ed. 2006, Trondheim: Institutt for teknisk kybernetikk, NTNU.
23. Meland, Ø. and L.E. Lønvik, *Deteksjon av røyk. Rapport fra fullskala brannforsøk i Vesterskaun skole januar 1989*, STF25 A89010. SINTEF NBL, Trondheim, 1989.
24. Jackson, M., et al., *Evaluation of Fire-Safety Programs that use 10-Year Smoke Alarms*. Journal of Community Health, 2010. **35**(5): p. 543-548.
25. Ahrens, M., *Smoke Alarm Presence and Performance in U.S. Home Fires*. Fire Technology, 2011. **47**(3): p. 699-720.





Teknologi for et bedre samfunn

[www.sintef.no](http://www.sintef.no)