



SINTEF



Rapport

Risiko- og sårbarhetsanalyse Brann i parkeringskjeller ved Otium bo- og velferdssenter

Forfattere:

Anne-Marit Haukø

Rapportnummer:

2023:01292 - Åpen

Oppdragsgiver:

Tromsø kommune

Rapport

Risiko- og sårbarhetsanalyse Brann i parkeringskjeller ved Otium bo- og velferdssenter

EMNEORD

Utredning
Brann
Sikkerhet
Helseinstitusjon

VERSJON

0.1

DATO

2023-12-18

FORFATTERE

Anne-Marit Haukø

OPPDRAGSGIVER

Tromsø kommune

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

Hans Hansen

PROSJEKTNUMMER

102029739-2

ANTALL SIDER

22

SAMMENDRAG

SINTEF er engasjert av Tromsø kommune for å utføre en risiko- og sårbarhetsanalyse av brann i parkeringskjeller med tilstøtende arealer ved Otium bo- og velferdssenter i Tromsø. Formålet med analysen er å vurdere hvorvidt en overgang fra biler med fossilt drivstoff til elektriske biler vil kunne påvirke risikoen for brann i parkeringskjelleren. Analysen er utført etter fremgangsmåten i *NS 3901 Krav til risikovurdering av brann i byggverk* [1]. Valgt analysemetode er risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS-analyse). Befaring på bygget ble gjennomført 24.10.2023.

UTARBEIDET AV

Anne-Marit Haukø

SIGNATUR



KONTROLLERT AV

Brynhild Garberg Olsø

SIGNATUR



GODKJENT AV

Ola Asphaug

SIGNATUR


Ola Asphaug (Det 18. 2023 15:16 GMT+1)

RAPPORT NR.

2023:01292

ISBN

978-82-14-07841-1

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.1	2023-11-15	Utkast
1.0	2023-12-18	Original

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	4
1.1	Bakgrunn	4
1.2	Formål, krav og avgrensning	4
1.3	Underlag.....	5
1.4	Definisjoner	5
2	Eksisterende litteratur og statistikk.....	5
3	Risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS-analyse).....	7
3.1	Beskrivelse av byggverket	7
3.1.1	Otium bo- og velferdssenter.....	7
3.1.2	Materialbruk	8
3.1.3	Tekniske tiltak.....	8
3.1.4	Observasjoner under befaring.....	8
3.2	Valg av analysemetode	11
3.3	Risikoakseptkriterier	11
3.4	Risikoindentifisering, årsak, sannsynlighet og konsekvens.....	12
3.5	Brannscenarioer	19
3.6	Usikkerhetsanalyse	19
3.7	Sensitivitetsanalyse.....	19
3.8	Beskrivelse av risiko	20
4	Risikoevaluering.....	20
5	Konklusjon	21
6	Bibliografi	22

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

SINTEF er engasjert av Tromsø kommune for å utføre en risiko- og sårbarhetsanalyse av brann i parkeringsgarasjen med tilstøtende arealer ved Otium bo- og velferdssenter i Tromsø. Det er lagt spesielt fokus på at en større del av garasjen enn tidligere er tilrettelagt for parkering og lading av elbiler. Analysen er utført etter fremgangsmåten i *NS 3901 Krav til risikovurdering av brann i byggverk* [1]. Valgt analysemetode er risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS-analyse). Befaring på bygget ble gjennomført 24.10.2023. Til stede ved befaring var Anne-Marit Haukø, SINTEF, samt Hans Hansen og Siri Henriksen, Tromsø kommune.

1.2 Formål, krav og avgrensning

Forskrift om brannforebygging med veiledning [2] angir i § 9 følgende om eierens systematiske sikkerhetsarbeid: *"En virksomhet som eier et byggverk skal fastsette mål og iverksette planer og tiltak for å sikre byggverket mot brann. Virksomheten skal iverksette:*

- a) rutiner som sikrer at kravene til brannsikkerhet som gjelder for byggverket blir overholdt*
- b) rutiner for å avdekke, rette opp og forebygge mangler ved bygningsdeler, installasjoner og utstyr som skal oppdage brann eller begrense konsekvensene av brann*
- c) rutiner for å avdekke, rette opp og forebygge mangler ved det systematiske sikkerhetsarbeidet.*

Det systematiske sikkerhetsarbeidet skal være tilpasset byggverkets størrelse, kompleksitet, bruk og risiko."

Denne ROS-analysen er del av Tromsø kommunes systematiske sikkerhetsarbeid for Otium bo- og velferdssenter.

En risikoanalyse går ut på å identifisere mulige uønskede hendelser i analysebyggverket, og årsaker til og konsekvenser av disse hendelsene. Risiko evalueres mot risikoakseptkriterier som er fastsatt på forhånd, det vil si kriterier som legges til grunn for beslutning om hva som er akseptabel risiko. Risikoanalysen må minst være basert på et sett av obligatoriske brannscenarier som beskrevet i NS 3901.

Risikoanalysen må inneholde følgende hovedpunkter:

- Beskrivelser av analysebyggverket med hensyn til størrelse, funksjon, virksomhet mv.
- Valg av analysemetode
- Valg av risikoakseptkriterier basert på mål for analysen. Akseptkriterier og tålegrenser for rømning kan hentes fra SN-INSTA/TS 950 eller andre internasjonalt anerkjente standarder.
- Identifisering av relevante brannfarer i byggverket
- Analyse av mulige årsaker og sannsynlighet for at brann oppstår i byggverket (teknisk, menneskelig eller organisatorisk årsak)
- Identifisering av brannscenarier (som gitt i NS 3901)
- Konsekvensanalyse av de valgte brannscenariene
- Kvalitativ beskrivelse av usikkerhetsanalyse
- Sensitivitetsanalyse av eventuelle beregninger som inngår i analysen
- Beskrivelse av risiko på grunnlag av resultatene fra årsaksanalysen og konsekvensanalysen
- Risikoevaluering som gjøres til slutt ved å sammenlikne identifisert risiko med de på forhånd fastsatte risikoakseptkriteriene

Ved Otium bo- og velferdssenter er formålet med analysen å se på om parkering av el-biler og små elektriske kjøretøy som elsparkesykler og elsykler i garasjen medfører en endring i risiko sammenlignet med om det bare var parkert fossil-biler, slik situasjonen i stor grad var når bygget stod ferdig i 2018. Risiko i forbindelse med tilstøtende arealer til garasjen er også medtatt i analysen.

1.3 Underlag

SINTEF har mottatt og benyttet følgende underlag fra oppdragsgiver i analysen:

- Brannkonsept Otium bo- og velferdssenter, rev. C 11.05.2018, COWI AS, med tilhørende branntegninger
- Notat fra Tromsø kommune med mulige brannscenarier (udatert på e-post 16.10.2023)
- Samsvarserklæring JM Hansen for montering av ladeanlegg, datert 13.12.2021
- Kursfortegnelse for elbil ladere, JM Hansen AS (udatert)
- Kursfortegnelse for ladestasjon garasje, Bravida AS, datert 13.02.2017
- Tegning nr. 0-00-A-200-V-022 Innkassing ventilasjon kjeller EI60, HRTB AS, datert 19.02.2018
- Tegning nr. 0-00-A-200-H-016 Horisontal infesting ventilasjonsrist, HRTB AS, datert 19.02.2018
- FDV-dokument Teknisk beskrivelse Brannisolasjon, Bravida AS (udatert)
- FDV-dokument Teknisk beskrivelse Røykvifte, Bravida AS (udatert)
- FDV-dokument Ulike brannspjeld uten posisjoner i kanalnett, Bravida AS (udatert)
- FDV-dokument 360.001 Funksjonsbeskrivelse Otium blokk A beboerrom, Bravida AS (udatert)
- FDV-dokument 360.002 Funksjonsbeskrivelse Otium blokk B beboerrom, Bravida AS (udatert)
- FDV-dokument Fire damper type FKA-EU monteringsanvisning, Trox Teknik (udatert)
- Orienteringsplan Plan 0, COWI AS, datert 21.03.2018
- Tilgang til ITBASE (for FDV-dokumentasjon)

1.4 Definisjoner

Viktige definisjoner brukt i denne rapporten er gjengitt i det etterfølgende. Definisjonene er hentet fra NS 3901[1].

- Uønsket hendelse er en hendelse som kan medføre tap av verdier; i dette tilfellet en brann i el-bil som representerer en fare for menneskers liv/helse, miljø og økonomiske verdier.
- Sannsynlighet er et uttrykk for i hvilken grad det er trolig at en hendelse vil kunne inntreffe.
- Konsekvens er et uttrykk for en mulig følge av en uønsket hendelse.
- Risiko er et uttrykk for kombinasjonen av sannsynligheten for og konsekvensen av en uønsket hendelse.
- Risikoakseptkriterium er et kriterium som legges til grunn for beslutning om akseptabel risiko.

2 Eksisterende litteratur og statistikk

Salg og bruk av elbiler i Norge har økt de siste årene. I følge tall fra Statens Vegvesen [3] utgjorde elbiler 24 prosent av samtlige registrerte personbiler i Norge per juni/juli 2023, og på samme tidspunkt var andelen førstegangsregistrerte elektriske personbiler i 2023 på 81,7%.

På nåværende tidspunkt foreligger det usikkerhet om hvorvidt parkering og lading av elbiler i lukkede garasjer utgjør en større brannrisiko eller ikke, sammenlignet med parkering av fossilbiler. I en studie gjort av RISE Research Institutes of Sweden [4] kommer det fram at det er mangelfull statistikk når det kommer til hovedårsaken til bilbranner, men at dataene som ble funnet ikke tydet på at det er større sannsynlighet for at det oppstår brann i elbiler enn i fossilbiler. Branner i elbiler og fossilbiler er sammenlignbare når det kommer til brannens intensitet og maksimal varmeavgivelsesrate, men forskjellen ligger i at en batteribrann er vanskeligere å slokke enn en bensinbrann. På grunn av manglende statistisk grunnlag kunne ikke studien konkludere med hva som vil være de mest effektive risikoreduserende tiltakene på bilnivå. Men på infrastruktur-nivå var de mest effektive risikoreduserende tiltakene bruk av sprinkleranlegg, brannalarmanlegg (tidlig deteksjon) og økt avstand mellom parkerte biler.

I en annen studie gjort av RISE Research Institutes of Sweden [5] ble det undersøkt om lading av elbiler i lukkede garasjer ville resultere i økt sannsynlighet for brann. Studien konkluderte med at det var ikke økt sannsynlighet for brann så lenge ladepunktene var montert iht. regelverket og ladepunktene var iht. bilprodusentens beskrivelser. Det var viktig å unngå bruk av stikkontakter som ikke var ment for lading av elbiler, samt skjøteledninger.

DBI og Teknisk Institut i Danmark har i en rapport [6] sett på om dagens branntekniske krav til parkeringshus (i dansk regelverk) er tilstrekkelige, og om økningen i antall elbiler bidrar til å øke brannfaren. Noen av konklusjonene er at risiko for brann i elbil (også under lading) er lavere enn for fossilbiler bl.a. jfr. ny norsk statistikk, og at fullskala brannforsøk viser at varmeavgivelsen er lik for elbiler og fossilbiler. Videre sier rapporten at nye biler (både el og fossil) har høyere branneffekt enn gamle biler (6-10 MW mot tidligere 5 MW), og at de avgir samme type røykgasser ved brann bortsett fra at elbiler avgir mer HF-gass. Brann i elbil er vanskeligere å slokke på grunn av batterikjemien og at batteripakken ligger godt gjemt. Men varmebidraget kan reduseres vesentlig hvis brannen ikke får tilgang til oksygen, og kjøling med vann kan redusere varmeeffekten fra brannen og forsinke spredningen av brann internt i batteripakken. Brannspredning til annen nærstående batteripakke kan unngås ved kjøling med vann/vanntåke. Rapporten angir at sprinkling er den mest effektive beskyttelsen og bør installeres i parkeringshus over 150 m².

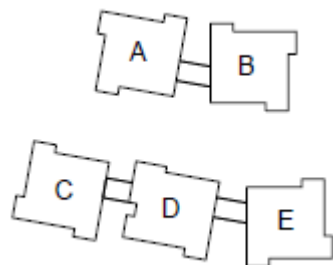
I en bowtie-analyse så McQueen [7] på tiltak for å redusere sannsynlighet og konsekvens ved elbil-branner i lukkede garasjeanlegg. Brann i elbil hvor batteriet er involvert er vanskeligere å slokke enn brann i fossilbil, og her ligger hovedforskjellen når det kommer til risiko. Batteriet ligger ofte lokalisert i bunnen av karosseriet og er vanskelig å komme til for slokking. Sannsynlighetsreducerende tiltak inkluderte installasjon av ladere iht. standarder, funksjonstesting, smarte apper for overvåkning av ladeutstyr og gassdeteksjon for å oppdage batteribrann i tidligfase. Konsekvensreducerende tiltak inkluderte å fjerne tennkilder og brennbart materiale nær ladepunktene, brannmotstand på omgivende betongkonstruksjoner, røykventilasjon, brannneteksjon, slokkeanlegg, samt etablere en innsatsplan i samarbeid med brannvesenet (med beskrivelse av rømning og redning, brannvesenets tilgang, alarm- og slokkeanlegg, branncelleinndeling m.v.).

Statens Vegvesen [8] oppgir at feil på utstyr ved lading av elbil kan føre til varmgang og brann. Det er derfor svært viktig å bruke original ladekabel eller en kabel med tilsvarende egenskaper, og å unngå bruk av skjøteledninger – ladekabel skal plugges direkte mellom bil og kontakt. Elektriske kontakter og plugger må beskyttes mot vann, snø og saltsprut for å unngå korrosjon og dårlig kontakt. Ladekabel, plugger og kontakter må sjekkes jevnlig for synlige skader, sprekker og tegn til varmgang (sot og brune merker på plasten). Utstyr med skader må ikke benyttes.

Oppsummert finnes det ikke dokumentasjon på at risikoen for brann i elbil er større enn i fossile biler, men konsekvensen kan være større ved at brann i elbil er vanskeligere å slokke. Brannalarmanlegg, sprinkleranlegg og avstand mellom biler er gode risikoreducerende tiltak. Det er viktig med jevnlig kontroll av ladekabel, plugger og kontakter.

3.1 Beskrivelse av byggverket

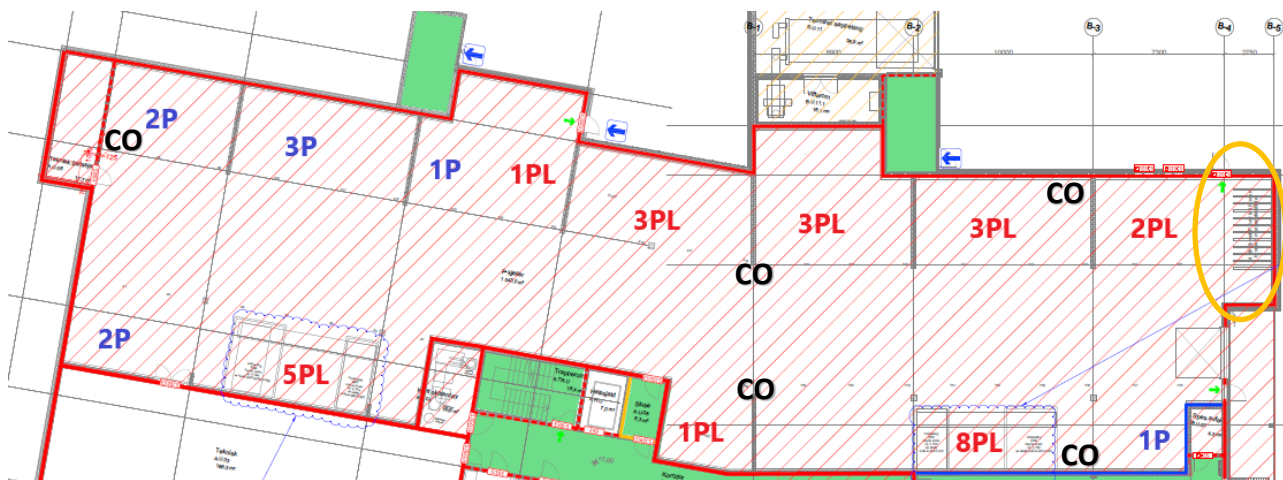
Otium bo- og velferdssenter består av 5 bygninger (Bygg A-B og bygg C-D-E) som er forbundet via en kulvert, se Figur 1 (hentet fra branntegning plan kjeller, COWI AS). Garasjen ligger i kjelleretasjen under bygg A-B, se branntegning Figur 2 (hentet fra branntegning plan kjeller, COWI AS).

[illegible]

Garasje er hovedsakelig skilt fra resten av bygget med seksjoneringsskille REI 120-M A2-s1,d0 i yttervegger og etasjeskiller, med unntak av branncelleskille EI 90 A2-s1,d0 i vegg mot Varemottak B.U.02 og Spesialavfall B.U.01, se område med blå heltrukket linje i Figur 2. Garasjeport med tilliggende dør, samt dør til Varemottak B.U.02 og vindu til Vaskeri tørkerom B.U.04 er uklassifiserte, og det er derfor etablert en 2,8 m bred flammeskjerm med brannmotstand REI 120-M A2-s1,d0 over.

7 av 22

felter på 1-3 biler med god avstand og skillevegg i betong mellom. Mot sør står bilene tettere, i felter på opptil 8 biler samlet. Sykkelparkering er lokalisert i akse B-5. Se Figur 3.



Figur 3 Parkeringsplasser. P angir p-plass uten lademulighet, PL angir p-plass med lademulighet. Sykkelparkering er angitt med oransje ring. CO angir plassering av CO-måler.

3.1.2 Materialbruk

Garasje har ubrennbare vegger og etasjeskiller av betong (brannteknisk klasse A1), og dekke belagt med asfalt (ukjent brannteknisk klasse). Bæresystemet er av betong, og en isolert hattebjelke i stål. Himling er kledd med steinullsplater, men det er ikke funnet FDV-dokumentasjon på hvilket produkt som er brukt. Enkelte rørføringer (MA-rør) ser ut til å være isolert med cellegummi, men det er ikke fremlagt FDV-dokumentasjon på hvilket produkt som er brukt.

3.1.3 Tekniske tiltak

Bygget har heldekkende sprinkleranlegg iht. NS 12845, med unntak av beboerrom og tilhørende rømningsveier som er sprinklet iht. NS-INSTA 900 type 3 med hurtigutløsende sprinklere. Videre har bygget heldekkende brannalarmanlegg kategori 2 iht. NS 3960 med direktevarsling til brannvesenet/110-sentral, samt ledesystem iht. NS 3926-1 (uten lavtsittende ledelinjer). Garasjen er dekket av 5 stk. CO-målere i høyde ca. 1,5 m over gulv, se plassering i Figur 3.

Garasjen har eget ventilasjonsanlegg. Luft trekkes inn via ventilasjonsrister ved sykkelparkeringen, trekkes innover via fire jetvifter, og trekkes ut i bakkant av garasjen via uklassifisert avtrekksvifte til rom A.U.05 Teknisk garasje og videre ut til det fri. Avtrekksviften har en kapasitet på 6240 m³/h. Garasjen er oppvarmet vha. 7 varmluftsvifter.

3.1.4 Observasjoner under befarig

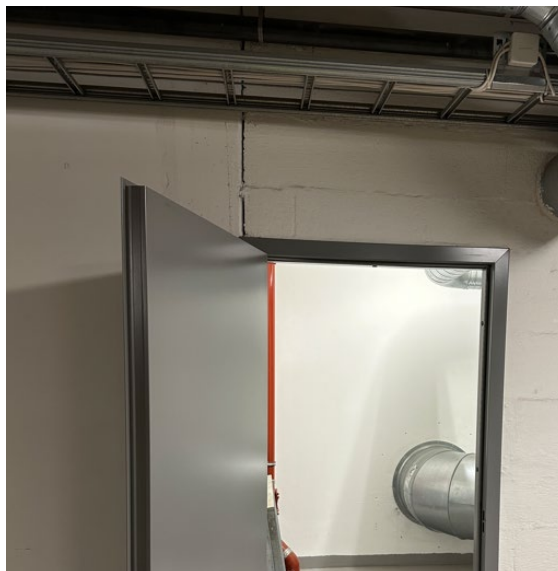
Under befarig 24.10.2023 ble det gjort ulike observasjoner som er av betydning for analysen. Disse er vist i Figur 4 til Figur 9.



Figur 4 Uklassifiserte ventilasjonsrister for luftinntak ved sykkelparkering akse B-F



Figur 5 Åpne kabelgjennomføringer til rom Vifterom B.U.11.1



Figur 6 Uklassifisert avtrekksvifte og åpen glippe over dør til rom Teknisk garasje A.U.05



Figur 7 Glippe i gips og manglende isolasjon i innkassing for ventilasjonskanaler



Figur 8 Synlig treverk ved hattebjelke av stål



Figur 9 Skap merket brennbar gass plassert nær uklassifisert garasjeport og -dør

3.2 Valg av analysemetode

Valgt analysemodell for oppdraget er risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS-analyse) iht. *NS 3901 Krav til risikovurdering av brann i byggverk* [1]. Årsaken til dette er behovet for å avdekke mulige risikoer/hendelser i forbindelse med brann i el-bil i parkeringskjeller på Otium bo- og velferdssenter, vurdere hvilke konsekvenser disse hendelsene kan ha, og vurdere risikoreduserende tiltak som kan få ned aktuelle risikoer til et akseptabelt nivå.

3.3 Risikoakseptkriterier

Risiko er gitt ved å besvare følgende spørsmål:

- Hva kan gå galt? (hendelse)
- Hva er sannsynligheten for hendelsen? (frekvens)
- Hvis hendelsen inntreffer, hva er konsekvensen?

For å kartlegge risikoen benyttes en risikomatrise for å kategorisere hendelsene.. Matrisen er inndelt etter konsekvensen ved at en hendelse inntreffer, samt frekvensen/sannsynligheten for at hendelsen skal inntreffe. Basert på en evaluering av sannsynlighet og konsekvens, kan de ulike hendelsene plasseres i en matrise som vist i Tabell 1. Hendelsene kan så kategoriseres etter farge (grønn-gul-rød) og nummereres etter risikokategori (R1-R9).

Tabell 1 Risikokategori (R1-R9) presentert i en risikomatrise

Sannsynlighet	Konsekvens				
	1 Ubetydelig	2 Mindre alvorlig	3 Betydelig	4 Alvorlig	5 Svært alvorlig
	5 Svært høy	R5	R6	R7	R8
	4 Høy	R4	R5	R6	R7
	3 Middels	R3	R4	R5	R6
	2 Lav	R2	R3	R4	R5
	1 Svært lav	R1	R2	R3	R4

Behovet for å innføre risikoreduserende tiltak avhenger av hvilket fargefelt risikoen er plassert i, se Tabell 2. Man skal alltid søke tiltak som reduserer sannsynligheten for en hendelse først, og så redusere konsekvensen.

Tabell 2 Risikokategori (fargekoder)

Kritikalitet	Kommentar
	I prinsippet akseptabelt, men nødvendige tiltak kan vurderes for å redusere risikoen ytterligere.
	Det må gjøres en kritisk evaluering av om tiltak må iverksettes, eller om en mer detaljert analyse bør gjennomføres. Evalueringen bør dokumenteres skriftlig.
	Tiltak må iverksettes og dokumenteres skriftlig.

Nivå for sannsynlighet og konsekvens for personsikkerhet er vist i Tabell 3 og Tabell 4.

Tabell 3 Nivå for sannsynlighet (NS)

Nivå	Beskrivelse	Frekvens
1	Svært lav	Mindre enn én gang per 25. år
2	Lav	Mer enn én gang hvert 10. år
3	Middels	Mer enn én gang hvert 5. år
4	Høy	Én gang per år
5	Svært høy	Mer enn én gang per år

Tabell 4 Nivå for konsekvens (NK)

Nivå	Beskrivelse	Personsikkerhet
1	Ubetydelig	Ingen personskade
2	Mindre alvorlig	Få og små personskader
3	Betydelig	Få, men alvorlige personskader
4	Alvorlig	Flere alvorlige personskader, varig skade
5	Svært alvorlig	Alvorlige skader/død for en eller flere personer

3.4 Risikoindentifisering, årsak, sannsynlighet og konsekvens

De ulike hendelsene, fulgt av årsak, nivå for sannsynlighet, konsekvens, nivå for konsekvens, risikonivå og risikoreduserende tiltak er vist i Tabell 5. Tabellen viser også nytt risikonivå etter at risikoreduserende tiltak er gjennomført. De ulike verdiene for sannsynlighet og konsekvens er blitt diskutert og satt i prosjektgruppa, bestående av Anne-Marit Haukø og Brynhild Garberg Olsø, SINTEF, samt Hans Hansen og Siri Henriksen, Tromsø kommune. Analyseresultatene er subjektive vurderinger basert på deltakernes erfaring, litteratur, statistikk og fagkunnskap. Ved tvil mellom to nivå er den mest konservative verdien brukt.

Tabell 5 Risiko- og sårbarhetsanalyse

#	Hendelse	Årsak	NS	Konsekvens	NK	Risiko-nivå	Tiltak	NS	NK	Risiko-nivå
1.1	Brann i elbil generelt, forårsaket av batteriet	Skade på batteri med påfølgende brann forårsaket av thermal runaway i batteriet	2	Røykgasser utvikles hurtig og spres via utettheter i kanaler/bygningsdeler opp til pasientrom i etasjene over. Brannen vil være vanskelig å slokke siden den involverer batteriet.	5	R6	Garasjen har flere svakheter i brann- og seksjoneringskillene. Følgende punkter må utbedres. Listen er ikke uttømmende, og det kan være flere svakheter som ikke ble oppdaget under befarig, f.eks over himling. - 2 stk ventilasjonsrister for luftinntak i akse B-F ved sykkelparkering mangler merking og informasjon om klassifisering. Brannspjeldene er prosjektert med brannmotstand EI 120 C. - Det er åpne kabelgjennomføringer til rom Vifterom B.U.11.1, disse må brannnettes til prosjektert brannmotstand EI 120. - Avtrekksvifte til rom Teknisk garasje A.U.05 mangler merking og informasjon om klassifisering. Viften er plassert i branncellebegrensende konstruksjon EI 60 og skal derfor være utført med brannspjeld med brannmotstand EI 60 C. - Åpen glippe over dør til rom Teknisk garasje A.U.05, denne må brannnettes til brannmotstand EI 60. - Det er en åpning i gipsen på innkassing ventilasjon akse A-4/A-D, denne må brannnettes til brannmotstand EI 60. Innkassingene ble innsisert utvendig og delvis innvendig med kamera. De er bygd opp av to lag branngips som skal gi brannmotstand EI 60, og selve kanalene inni innkassing skal være brannisolert til brannmotstand EI 60, som til sammen gir EI 120. Det mangler imidlertid 450 mm isolasjon iht. tegning 0-00-A-200-V-022. Tykkelse på brannisolasjon på kanaler ble målt til 50 mm. Iht. FDV-dokument er minimum tykkelse for å oppnå EI 60 80 mm på avtrekkskanal og 60 mm på tilluftskanal. For øvrig oppgir brannkonseptet at	2	3	R4



#	Hendelse	Årsak	NS	Konsekvens	NK	Risiko-nivå	Tiltak	NS	NK	Risiko-nivå
							innkassingene skal ha brannmotstand REI 120 A2-s1,d0, men de er bygd opp som en EI 60 + EI 60 konstruksjon. Brannisolasjon rundt kanaler vil få en større varmepåkjenning når gipsplatene faller ned etter ca. 60 minutter, sammenlignet med varmepåkjenning fra en startbrann. Forholdet må dokumenteres av ansvarlig prosjekterende for brann sikkerhet. En brann i elbil som involverer thermal runaway i batteriet kan ha en varighet på over 120 minutter og samtidig være vanskeligere å slokke enn en fossilbil. Løsningen med innkassing av ventilasjonskanalene er en mer sårbar løsning enn et kontinuerlig betongdekke ettersom det er flere faktorer som er avgjørende for opprettholdelse av brannmotstand, blant annet innfesting av plater, tette overganger mellom kasse/dekke og ventilasjonskanalenes utførelse. Et mulig tiltak for å holde risikonivået så lavt som praktisk mulig kan være å unngå parkering og lading av elbiler på de to plassene direkte under innkassingene. - Det er synlig treverk ved brannisolert hattebjelke i stål akse A-5. Treverk må fjernes og hattebjelken må brannisoleres på alle sider. I tidlig fase av brann i elbil kan man dekke over bilen med et brannteppe for bil, for å hindre at brannen spres videre til andre biler i nærheten. Brannteppe anbefales montert ved utkjøringsporten. Tromsø brann og redning har tilsvarende teppe i sine biler. Etter utbedring av brannskillene og montering av brannteppe vil risikonivået reduseres til akseptabelt nivå. Bygget har installert heldekkende brannalarmanlegg og sprinkleranlegg, som er effektive konsekvensreducerende tiltak ved at det gis tidlig			



#	Hendelse	Årsak	NS	Konsekvens	NK	Risiko-nivå	Tiltak	NS	NK	Risiko-nivå
							varsling og nedkjøling av brannen. Sprinkler dekker også parkeringsarealet under innkassingene. Sprinkler avkjøler bilens overflate og omkringliggende vegger og tak, og kan hindre videre brannspredning til andre biler. Men selve batteripakken blir ikke avkjølt. Avstand til andre biler kan være avgjørende for om brannen spres videre. I garasjen er det også montert 5 stk CO-målere som kan detektere gasser fra batteribrann. Asfaltdekket er uklassifisert, men VTEK angir ingen preaksepterte ytelser her. Asfalt under brennende bil kan smelte og bidra med røyk og brannenergi. Alle kommunens elbiler har serviceavtaler som følges.			
1.2	Brann i elbil generelt, ikke forårsaket av batteriet	Brann i andre elektriske komponenter	2	Røykgasser utvikles hurtig og spres via utettheter i kanaler/bygningsdeler opp til pasientrom i etasjene over. Brannen vil være enklere å slokke når den ikke involverer batteriet.	4	R5	Tiltak som beskrevet i #1.1 gjelder også her.	2	2	R3
2.1	Brann i elbil under lading	Elektrisk feil på lader, gammel lader, manglende service på ladere	2	Brann i ladepunkt med påfølgende brannspredning. Ladepunkter er imidlertid montert på ubrennbar betongvegg, og himling over er ubrennbar.	3	R4	Otium har allerede fast avtale om årlig periodisk vedlikehold av ladeanlegg for elbil, hvor en fast sjekkliste gjennomgås. Kontrollen utføres av JM Hansen AS. Siste kontroll i 26.05.2023 viste ingen avvik, men hadde følgende anmerkning: " <i>Det anbefales at det monteres oversp. vern i UF 433.002 i garasje pga lang distanse til Hovedfordeling</i> ". Anmerkningen må utbedres. Avtale om årlig periodisk vedlikehold må videreføres.	2	3	R4
2.2	Brann i elbil under lading	Kapasiteten til el-nettet er underdimensjonert	2	Ladeanlegget er montert av JM Hansen, som har signert erklæring om samsvar på at anlegget er utført iht. NEK 400, og det må kunne forutsettes at anlegget er riktig dimensjonert. Elbilladere har 63A sikring. I følge fagansvarlig for elektro i Tromsø kommune slår overspenningsvern ut når det er feil i forbindelse med	2	R3	Ingen tiltak nødvendig utover utbedring av anmerkning beskrevet i # 2.1.	2	2	R3



#	Hendelse	Årsak	NS	Konsekvens	NK	Risiko-nivå	Tiltak	NS	NK	Risiko-nivå
				selve el-anlegget, f.eks. ved for høy ladespenning.						
2.3	Brann i elbil under lading	Ladekabel er skadet/kjørt over med piggdekk eller annen mekanisk skade	3	Defekt ladekabel, synlig misfarging på kabel som følge av varmgang, brann i ladekabel.	2	R3	Under befarig var samtlige ladekabler kveilet sammen og hengt opp på veggen. I etterkant av årlig vernerunde gis det informasjon til ansatte via e-post om at rutinen er å henge opp ladekabel på veggen. SINTEF anbefaler å henge opp skilt på veggen ved hvert ladepunkt om at ladekabel skal henges opp etter bruk.	3	2	R3
3	Brann i rom A.U.05 Teknisk garasje, som sprer seg til garasje	Brann i lysarmatur	2	Liten, lokal brann. Rommet inneholder ingen brennbare komponenter, kun ventilasjonskanaler. Det er ingen p-plasser for elbil i nærheten av rommet.	1	R2	Ingen tiltak nødvendig utover utbedring av branncelleskille, se pkt. #1.	2	1	R2
4	Brann i rom A.U.03 Teknisk, som sprer seg til garasje	Brann i teknisk og elektrisk utstyr, for eksempel ventilasjonsaggregat eller lysarmatur.	3	Det er seksjoneringsvegg REI 120-M A2-s1,d0 med selvluukkende dør mot garasje. Døren har adgangskontroll og er låst. Sannsynligheten for brannspredning er liten.	1	R3	Ingen tiltak nødvendig.	3	1	R3
5	Brann i rom A.U.04 Kjølt skittentøy, som sprer seg til garasje	Brann i lysarmatur som spres til skittentøy.	2	Det er seksjoneringsvegg REI 120-M A2-s1,d0 mot garasje. Sannsynligheten for brannspredning er liten.	1	R2	Ingen tiltak nødvendig. Brannspjeld skal være merket med klasse REI 120 S og være del av FDV-dokumentasjonen.	2	1	R2
6	Brann i rom A.U.06 Sluse, som sprer seg til garasje	Brann i lysarmatur	2	Liten, lokal brann. Rommet inneholder ingen brennbare komponenter. Det er seksjoneringsvegg REI 120-M A2-s1,d0 med selvluukkende dør mot garasje.	1	R2	Ingen tiltak nødvendig.	2	1	R2
7	Brann i elsparkesykkel, elsykkel eller andre små elektriske kjøretøy i sykkelparkering akse B-5	Skadet batteri begynner å brenne, enten ved lading eller uten lading.	4	Brann spres til elbil i tiliggende p-plass.	5	R8	Informasjon til de ansatte om at lading av elsparkesykler og elsykler skal skje i området for sykkelparkering i garasjen, og at batterier ikke skal tas med opp på avdelingene. Røykdetektor er montert like ved sykkelparkeringen, denne vil gi tidlig varsling. I tillegg må det monteres kameraovervåkning av sykkelparkering, slik at ansatte har mulighet for å gå inn i datasystemet og se om det er brann dersom brannalarmen går.	2	2	R3



#	Hendelse	Årsak	NS	Konsekvens	NK	Risiko-nivå	Tiltak	NS	NK	Risiko-nivå
							Brannteppe for bil (se tiltak # 1.1) vil også kunne brukes til å dekke over små elektriske kjøretøy. Brannvesenet vil kunne frakte med seg småelektriske kjøretøy ut av garasjen.			
8	Eksplasjon i utendørs lagerskap merket brennbar gass	Brann spres fra garasje via uklassifisert dør/port til utendørs lagerskap	1	Skapet inneholder O ₂ og er feilmerket. Oksygen er oksiderende og kan forsterke en brann. Oksygen under trykk kan eksplodere ved oppvarming og gi personskade for personer som rømmer ut nærliggende dør eller personer som passerer på gata utenfor.	3	R3	Skapet må merkes riktig. Tromsø brann og redning opplyser at gassen ikke er brennbar og at det er ok at den står plassert der den gjør. Utendørs lagring er bedre enn innendørs. De vil flytte bort gassen ved behov.	1	3	R3
9	Brannalarm utløses i garasje og personalet vet ikke hva de skal gjøre	Dårlig opplæring, mangel på brannøvelser	2	Forsinket start på evakuering, evakuering tar lang tid.	4	R5	Nyansatte får opplæring i hva de skal gjøre dersom brannalarmen går. Seksjonsleder har bestemt at ingen ansatte skal gå ned i garasjen ved brannalarm i garasjen, dette overlates til brannvesenet. Det gjennomføres evakueringsøvelser, men ikke med faste intervall, og de blir noen ganger utsatt. Tromsø brann og redning opplyser i e-post 21.11.2023 at innsats i garasje vil være svært situasjonsavhengig og vanskelig å svare konkret på. Kommer de tidlig nok har de brannteppe til bil, eller så dras bilen ut hvis mulig. Det iverksettes imidlertid ikke innsats dersom det er åpenbar fare for innsattpersonell. Det må settes opp en fast plan for gjennomføring av brann- og evakueringsøvelser ved Otium.	2	2	R3
10	Garasje brukes til lagring av inventar, bildekk m.v, som bidrar til økt brannenergi.	Manglende rutiner, for lite lagerareal	4	Økt brannenergi i garasjen. Konsekvensen anses ikke som stor da det er liten sannsynlighet for at bilbrann oppstår samtidig som det forekommer lagring. Lagring i seg selv medfører ikke brann.	2	R5	Bildekk lagres eksternt. I etterkant av vernerunder gis det informasjon til de ansatte om at garasje ikke skal brukes til lagring. Under befaring ble det ikke observert lagring i garasjen, men det har forekommet tidligere. Fokus på at garasje ikke skal brukes til lagring ifm. vernerunder må opprettholdes.	3	2	R4
11	Bortfall av vann til sprinklersentralen	Bortfall av vann på det kommunale	1	Sprinklersentralen gir ikke varslings om bortfall av vann	5	R5	Det må installeres alarm på sprinklersentralen dersom den blir stående uten vanntilførsel, slik	1	3	R3



#	Hendelse	Årsak	NS	Konsekvens	NK	Risiko-nivå	Tiltak	NS	NK	Risiko-nivå
	uten varsling, samtidig som det oppstår brann i elbil	vannettet. Servicetekniker slår av vannet og glemmer å slå det på igjen.					at feilen kan rettes raskt. Ved bortfall av kommunalt vann må det settes inn midlertidig brannvakt inntil vannet er kommet tilbake. Det må suppleres med en ekstra håndslukker ved utkjøringsporten/sykkelparkeringen, i tillegg til de to som er vist på orienteringsplan Plan 0.			

3.5 Brannscenarioer

Iht. NS 3901 er følgende brannscenarioer vurdert ifm. ROS-analysen:

- Scenario 1: Det mest alvorlige brannscenarioet vil være brann forårsaket av thermal runaway i batteriet til en elbil slik at brannen vil være vanskelig å slokke. Røykgasser utvikles hurtig og spres via utettheter i kanaler/bygningsdeler opp til pasientrom i etasjene over. Scenarioet er brukt i Tabell 5 #1.1.
- Scenario 2: Brann som oppstår i rom som normalt er uten personer kan utelates ettersom bygget har både heldekkende brannalarmanlegg og automatisk slokkeanlegg.
- Scenario 3: Brann som utvikler seg langsomt og som ikke vil utløse automatisk slokkeanlegg kan være brann i elsparkesykkel som typisk avgir mye røyk og jetflammer i løpet av en kort periode på 3-7 minutter, men som ikke har nok brannenergi til å gi en temperaturstigning i rommet som vil utløse sprinkler [9]. Scenarioet er brukt i Tabell 5 #7.
- Scenario 4: Øvrige representative brannscenarioer for bygget/garasjen er gitt av Tabell 5 #1.2-6 og #8-11.

3.6 Usikkerhetsanalyse

Følgende usikkerheter gjelder for denne ROS-analysen:

- Sannsynligheten for svikt i sprinkleranlegg kan settes til 10% [10]. Dette vil være svært uheldig da en eventuell brann ikke vil bli nedkjølt. Men gitt at brannskillene blir oppgradert som beskrevet i Tabell 5 #1 vil det fortsatt være 90/120 minutters brannmotstand på omkringliggende konstruksjoner. Det må kunne forventes at evakuering av bygg A-B er utført innen den tid.
- Sannsynligheten for svikt i brannalarmanlegget kan settes til 10% [10]. Dette vil være svært uheldig. Det vil likevel gå alarm når sprinkleranlegget løser ut på 68 °C (normalt), men evakuering fra bygget vil bli forsinket. Sannsynligheten for samtidig svikt i både brannalarm og sprinkleranlegg anses som liten.
- Byggets beboere er både eldre, sengeliggende og demente, som har behov for assistert rømning. Rømning fra bygg A-B vil kunne ta lang tid. Spesielt om natten er det få ansatte på jobb.
- Store deler av analysen hviler på spørsmålet "hva er sannsynligheten for brann i elbil?". Nivået for sannsynlighet for brann i elbil generelt i Tabell 5 er satt til 2 (lav sannsynlighet, mer enn én gang hvert 10. år). Tallet er satt basert på hva som finnes av statistikk og kunnskap om branner i elbiler i dag. Statistikk på branner i elbiler er imidlertid svært begrenset, siden de fleste elbiler er relativt nye. Det kan også diskuteres om sannsynligheten burde vært satt til nivå 1 eller 3. Nivå 2 synes å være mest sannsynlig og realistisk.
- Det kan være avgjørende for brannforløpet om elbil som begynner å brenne står alene mellom skillevegger i betong eller om den står på rekken med 8 biler tett i tett og at brannen sprer seg til andre biler.

3.7 Sensitivitetsanalyse

Analysen inneholder ingen beregninger. Det er derfor ikke behov for å gjennomføre en sensitivitetsanalyse.

3.8 Beskrivelse av risiko

Tabell 5 viser at risikonivået for de ulike hendelsene (før tiltak) varierer fra nivå R2-R4 (grønt), til nivå R5 (gult) og til nivå R6 (rødt). Grønt nivå er i prinsippet akseptabelt, men nødvendige tiltak kan vurderes for å redusere risikoen ytterligere. På gult nivå må det gjøres en kritisk evaluering av om tiltak må iverksettes, eller om en mer detaljert analyse bør gjennomføres, og på rødt nivå må det iverksettes tiltak. Etter at tiltak er iverksatt viser tabellen at risikonivået er redusert til nivå R2-R4 (akseptabelt nivå), samtlige på grønnt nivå.

4 Risikoevaluering

ROS-analysen i kapittel 3 viser at etter at tiltak er iverksatt er risikonivået redusert til nivå R2-R4, samtlige på grønnt nivå. Nødvendige risikoreducerende tiltak er oppsummert under:

- Hendelse #1.1: Garasjen har flere svakheter i brann- og seksjoneringsskillene, og samtlige punkter i Tabell 5 må utbedres slik at brannmotstand EI 60/EI 90 A2-s1,d0/REI 120 A2-s1,d0 blir opprettholdt. Listen er ikke uttømmende, og det kan være flere svakheter som ikke ble oppdaget under befaring, f.eks over himling eller andre skjulte områder som er utilgjengelig for befaring. I tidlig fase av brann i elbil kan man dekke over bilen med et brannteppe for bil. Brannteppe anbefales montert ved utkjøringsporten, som et konsekvensreducerende tiltak. Tromsø brann og redning har tilsvarende teppe i sine biler. Tiltaket anses som nyttig og har en forholdsvis lav kostnad (god kost/nytte effekt). Etter utbedring av brannskillene og montering av brannteppe vil risikonivået reduseres til akseptabelt nivå. Bygget har allerede installert heldekkende brannalarmanlegg og sprinkleranlegg, som er effektive konsekvensreducerende tiltak ved at det gis tidlig varsling og nedkjøling av brannen. Sprinkler dekker også arealet under innkassingene. Sprinkler avkjøler bilens overflate og omkringliggende vegger og tak, og kan hindre videre brannspredning til andre biler. Men selve batteripakken blir ikke avkjølt. Avstand til andre biler kan være avgjørende for om brannen spres videre. I garasjen er det også montert 5 stk CO-målere som kan detektere gasser fra batteribrann. Alle kommunens elbiler har serviceavtaler som følges. Løsningen med innkassing av ventilasjonskanalene er en mer sårbar løsning enn et kontinuerlig betongdekke ettersom det er flere faktorer som er avgjørende for opprettholdelse av brannmotstand, blant annet innfesting av plater, tette overganger mellom kasse/dekke og ventilasjonskanalenes utførelse. Et mulig tiltak for å holde risikonivået så lavt som praktisk mulig kan være å unngå parkering og lading av elbiler på de to plassene direkte under innkassingene.
- Hendelse #1.2: Samme tiltak som #1.1. Forskjellen i risiko ligger i at når elbil-batteri ikke er involvert i brann er brannen enklere for brannvesenet å slokke.
- Hendelse #2.1: Med fast avtale om årlig service på ladere anses risikoen for brann i elbil pga. elektrisk feil på lader, gammel lader eller manglende service på ladere som tilstrekkelig redusert. Årlig service utføres av JM Hansen AS. Kontroll i 2023 viste ingen avvik.
- Hendelse #2.2, 3, 4, 5 og 6: Ingen tiltak anses som nødvendig.
- Hendelse #2.3: Det er en viss sannsynlighet for at ladekabel kjøres over av bil med piggdekk eller blir påført annen mekanisk skade. I etterkant av årlig vernerunde gis det informasjon til ansatte via e-post om at rutinen er å henge opp ladekabel på veggen. SINTEF anbefaler å henge opp skilt på veggen ved hvert ladepunkt om at ladekabel skal henges opp etter bruk.
- Hendelse #7: Små elektriske kjøretøy med li-ionbatterier, som f.eks. elsykler og elsparkesykler, er en potensiell kilde til brannstart i garasjen. Det må gis informasjon til de ansatte om at elsparkesykler og elsykler skal lades på henvist plass i garasjen, og at batteriet ikke skal tas med videre inn i bygget for lading andre steder. Det er positivt at sykkelparkering er like ved garasjeporten, da er det enkelt for brannvesenet å fjerne eventuelt brennende objekt.

Røykdetektor er montert like ved sykkelparkeringen, denne vil gi tidlig varsling. I tillegg anbefales det å montere kameraovervåkning av sykkelparkering, slik at ansatte har mulighet for å gå inn i datasystemet og se om det er brann dersom brannalarmen går. Brannteppe for bil (se tiltak # 1.1) vil også kunne brukes til å dekke over små elektriske kjøretøy.

- Hendelse #8: Utendørs lagringsskap merket brennbar gass er plassert ved uklassifisert garasjeport og -dør. Skapet inneholder O₂ og er feilmerket. Oksygen er oksiderende og kan forsterke en brann. Oksygen under trykk kan eksplodere ved oppvarming og gi personskade for personer som rømmer ut nærliggende dør eller personer som passerer på gata utenfor. Skapet må merkes riktig. Tromsø brann og redning opplyser at gassen ikke er brennbar og at det er ok at den står plassert der den gjør. Utendørs lagring er bedre enn innendørs. De vil flytte bort gassen ved behov.
- Hendelse #9: Ved brann i garasjen er det viktig at de ansatte vet hva de skal gjøre slik at evakuering kan starte raskt. Nyansatte får opplæring i hva de skal gjøre dersom brannalarmen går. Seksjonsleder har bestemt at ingen ansatte skal gå ned i garasjen ved brannalarm i garasjen, dette overlates til brannvesenet. Det gjennomføres evakueringsøvelser, men ikke med faste intervall, og de blir noen ganger utsatt. Tromsø brann og redning opplyser i e-post 21.11.2023 at innsats i garasje vil være svært situasjonsavhengig og vanskelig å svare konkret på. Kommer de tidlig nok har de brannteppe til bil, eller så dras bilen ut hvis mulig. Det iverksettes imidlertid ikke innsats dersom det er åpenbar fare for innsatspersonell. Det må settes opp en fast plan for gjennomføring av brann- og evakueringsøvelser ved Otium.
- Hendelse #10: Selv om det ikke ble observert under befarings, er garasje et areal som ofte brukes til lagring av inventar, bildekk mv. Dette gir økt brannenergi. Det må gis informasjon til de ansatte om at garasje ikke skal brukes til lagring, dette gjøres i etterkant av vernerunder.
- Hendelse #11: Tromsø kommune har oppdaget at man ikke får varsling dersom sprinkleranlegget blir stående uten vanntilførsel. Det må installeres alarm på sprinklersentralen dersom den blir stående uten vanntilførsel, slik at feilen kan rettes raskt. Dersom dette skjer bør det settes inn midlertidig brannvakt. Det må suppleres med en ekstra håndsløkker ved utkjøringsporten, i tillegg til de to som er vist på orienteringsplan Plan 0.

5 Konklusjon

Det er gjennomført en ROS-analyse av brann i parkeringskjeller ved Otium bo- og velferdssenter i Tromsø. Analysen viser at den største risikoen ligger i utette brann- og seksjoneringskiller, og en brann kan føre til at røykgasser utvikles hurtig og spres via utettheter i kanaler/bygningsdeler opp til pasientrom i etasjene over. Risiko for brann i elsykler og elsparkesykler utgjør også et uakseptabelt høyt risikonivå (rødt nivå). På gult nivå finner vi mangler ved organisatoriske rutiner ved brann, bruk av garasje som lagerplass og bortfall av vann til sprinklersentralen. Etter at risikoreduserende tiltak som beskrevet i Tabell 5 og kapittel 4 er gjennomført, er alle punkter med nivå for risiko kategorisert som akseptable (grønt nivå). Det ligger en usikkerhet i hvorvidt en brann involverer elbilbatteri eller ikke ettersom konsekvensen er større i form av lenger varighet av brann dersom det oppstår thermal runaway i batteriet. De viktigste risikoreduserende tiltakene er tidlig varsling via brannalarm, samt unngå brannspredning og involvering av andre biler.

6 Bibliografi

- [1] Standard Norge, 'NS 3901:2012 Krav til risikovurdering av brann i byggverk'. Jun. 2012.
- [2] dsb, 'Veiledning til forskrift om brannforebygging', Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. Accessed: Dec. 13, 2023. [Online]. Available: <https://www.dsb.no/lover/brannvern-brannvesen-nodnett/veiledning-til-forskrift/veiledning-til-forskrift-om-brannforebygging/>
- [3] 'Snart 24 prosent elbilandel i bilparken', Statens vegvesen. Accessed: Nov. 09, 2023. [Online]. Available: <https://www.vegvesen.no/om-oss/presse/aktuelt/2023/07/nar-24-prosent-elbilandel/>
- [4] J. Hynynen, M. Quant, R. Pramanik, Y. Z. Li, and M. Arvidson, 'Electric Vehicle Fire Safety in Enclosed Spaces', RISE Research Institutes of Sweden, 2023:42, 2023.
- [5] A. W. Brandt and K. Glansberg, 'Charging of electric cars in parking garages', RISE Research Institutes of Sweden, 2020.
- [6] K. Nørregaard, L. V. Roed, and S. M. Skov, 'Brandsikkerhed i garageanlæg, oplag af litium-ion batterier og batterier til solcelleanlæg i bygninger', DBI (Dansk Brand- og sikringsteknisk Institut) og TI (Teknologisk Institut), Jan. 2022.
- [7] J. McQueen, 'Risk management of electric vehicle charging on fuel forecourts and enclosed car parks', *PCIC Europe*, 2022.
- [8] 'Sikkerhet når du lader elbilen', Statens vegvesen. Accessed: Nov. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.vegvesen.no/kjoretoy/eie-og-vedlikeholde/elbil/lade/>
- [9] J. S. Fjærestad, C. Meraner, and R. F. Mikalsen, 'Rømning ved brann i litium-ion batteri i elsparkesykkel', RISE Fire Research, 2023.
- [10] Standard Norge, 'SN-INSTA/TR 951:2019 Fire Safety Engineering - Guide for Probabilistic Analysis for Verifying Fire Safety Design in Buildings'. 2019.

