



# Høgskulen på Vestlandet

## Bacheloroppgave

## Brannteknikk

ING3037

### Predefinert informasjon

<b>Startdato:</b>	31-03-2020 09:00	<b>Termin:</b>	2020 VÅR
<b>Sluttdato:</b>	07-05-2020 14:00	<b>Vurderingsform:</b>	Norsk 6-trinns skala (A-F)
<b>Eksamensform:</b>	Bacheloroppgave med muntlig presentasjon/eksaminasjon		
<b>SIS-kode:</b>	203 ING3037 1 PRO-1 2020 VÅR HAUGESUND		
<b>Intern sensor:</b>	Stefan Owe Andersson		

### Deltaker

**Kandidatnr.:** 322

### Informasjon fra deltaker

**Tittel \*:** Brannsikkerhet i underjordiske parkeringshus

**Engelsk tittel \*:** Fire safety in underground car parks

**Navn på veileder \*:** Stefan Owe Andersson

**Sett hake dersom ja**  
**besvarelsen kan brukes**  
**som eksempel i**  
**undervisning?:**

**Egenerklæring \*:** Ja  
**Inneholder besvarelsen** Nei  
**konfedensielt**  
**materiale?:**

**Jeg bekrefter at jeg har ja**  
**registrert**  
**oppgavetittelen på**  
**norsk og engelsk i**  
**StudentWeb og vet at**  
**denne vil stå på**  
**vitnemålet mitt \*:**

### Gruppe

**Gruppenavn:** (Anonymisert)

**Gruppenummer:** 2

**Andre medlemmer i**  
**gruppen:** 308, 321

Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min \*

Ja

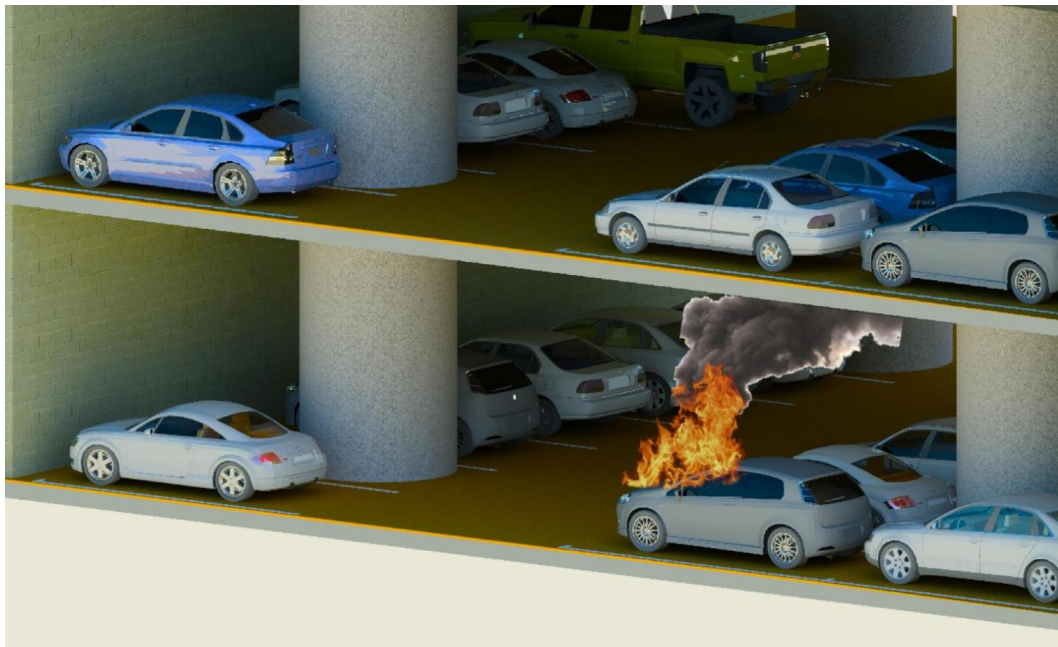
Er bacheloroppgaven skrevet som del av et større forskningsprosjekt ved HVL? \*

Nei

Er bacheloroppgaven skrevet ved bedrift/virksomhet i næringsliv eller offentlig sektor? \*

Nei

## Brannsikkerhet i underjordiske parkeringshus



Bachelorprosjekt utført ved

Høgskulen på Vestlandet – Institutt for sikkerhet, kjemi- og bioingeniørfag

---

Vetle Wæringsaasen

Kandidat nr. 308

Torstein Fredriksen

Kandidat nr. 321

Jonas Selbo

Kandidat nr. 332

---

Haugesund våren 2020

# BACHELORPROSJEKT

**Studenten(e)s navn:** Jonas Selbo  
Torstein Fredriksen  
Vetle Wæringsaasen

---

**Linje & studieretning** Bachelor i ingeniørfag, brannsikkerhet

**Oppgavens tittel:** *Brannsikkerhet i underjordiske parkeringshus.*

## Oppgavetekst:

I denne oppgaven skal det utføres en litteraturstudie på brannsikkerheten i underjordiske parkeringshus. Det som skal undersøkes er faktorer som påvirker brannforløp, brannspredning, slokking, og innsats ved underjordiske parkeringshus. Det skal også ses på regelverk for nybygg, med fokus på underjordiske parkeringsanlegg, og sammenligne norske og utenlandske regelverk. Til slutt skal det sees på hva som skal kunne gjøres for å forbedre brannsikkerheten i nye underjordiske parkeringshus.

**Endelig oppgave gitt:** 28.02.2020

**Innleveringsfrist:** Torsdag 7.mai 2020 kl. 12.00

**Intern veileder:** Stefan Andersson

**Ekstern veileder:** Joachim Folkesson  
**Emailadresse ekstern veileder:** jofn@cowi.com

**Godkjent av studieansvarlig:**



**Dato:** 16.04.2020

<i>Oppgavens tittel</i> Brannsikkerhet i underjordiske parkeringshus.		<i>Rapportnummer</i>
<i>Utført av</i> Jonas Selbo Torstein Fredriksen Vetle Wæringsaasen		
<i>Linje</i> Sikkerhet, Brannteknikk		<i>Studieretning</i> Ingeniør
<i>Gradering</i> Åpen	<i>Innlevert dato:</i> 07.05.2020	<i>Veiledere:</i> <i>Intern:</i> Stefan Andersson <i>Ekstern:</i> Joachim Folkesson

**Ekstrakt**

Branner i underjordiske parkeringshus har vist seg å være utfordrende for brannvesenet å håndtere. I den forbindelse er det gjort en litteraturstudie for å undersøke brannsikkerheten i underjordiske parkeringshus.

Det er sett på branntekniske problemstillinger, brannforløp og brannspredningsmekanismer i forbindelse med studiet. De norske preaksepterte ytelsene i VTEK 17 sammenlignes med utenlandske regelverk for å avdekke hva som gjøres i andre land.

Et tiltak som ikke er nevnt som preakseptert ytelse i VTEK 17 gjelder avstanden mellom bilene parkerte biler. På grunn av stråling er dette et viktig tiltak som kan øke tiden før brannspredning oppstår. Dette tiltaket sammen med å stille krav til brannalarmanlegg for alle underjordiske parkeringshus kan gjøre det mye enklere for brannvesenet å håndtere brannen før situasjonen kommer ut av kontroll.

## Forord

Den avsluttende delen av treårig ingeniørutdanning innenfor brannsikkerhet ved Høgskulen på Vestlandet avsluttes med en bacheloroppgave, som består av en rapport, et produkt og en muntlig fremføring. Under arbeidet med bacheloroppgaven har vi vært på studiebesøk hos brannvesenet i Haugesund den 24 januar 2020, som også inviterte oss til et foredrag om brannen i Sola parkeringshus i regi av Rogaland brann og redning interkommunale selskap.

En stor takk rettes til følgende for hjelp til informasjonsinnsamling, oppfølging og støtte i arbeidet vårt:

Ekstern veileder: Joachim Folkesson – COWI – for et stort engasjement og gode innspill i oppstartsfasen og veiledning underveis.

Intern veileder: Stefan Andersson – Høgskolen på Vestlandet – for kontinuerlig gode tilbakemeldinger, oppfølginger og veiledninger.

Haugesund brannvesen: Takk for at dere tok dere tid til å ha et intervju med oss og inviterte oss til Stavanger for å være med på foredrag om brannen på Sola parkeringsanlegg.

Rogaland brann og redning IKS: Takk for at vi fikk være med på foredraget dere holdt om brannen på Sola parkeringsanlegg og at dere tok dere tid til intervju med oss.

Vi vil også takke våre venner og familie for å ha gitt oss støtte og inspirasjon gjennom studiet.

## Sammendrag

Denne oppgaven har som hensikt å gjennomføre en litteraturstudie innenfor brannsikkerheten i underjordiske parkeringshus. Brann i underjordiske parkeringshus har vist seg å være svært vanskelig å håndtere for brannvesenet. Disse brannene har også muligheten til å føre til skade og tap av menneskeliv, samt store økonomiske konsekvenser for samfunnet.

Problemet med disse brannene er røykproduksjon fra bilene, fare for hurtig brannspredning mellom bilene og mye brannenergi. For å håndtere disse problemstillingene er de preaksepterte løsningene i det norske regelverket, VTEK 17, undersøkt og sammenlignet det opp mot utenlandske regelverk. Det er også gjort undersøkelser fra virkelige hendelser og forsøk for å undersøke hva som påvirker utfallet av hendelsen.

I hendelser hvor det har gått bra ser man at aktive tiltak som: 1) Brannalarmanlegg er bra for tidlig varsling; 2) sprinkleranlegg fungerer for å hindre brannspredning mellom bilene; og 3) røykventilasjon fungerer mot røykproduksjonen fra bilene. VTEK 17 stiller ikke alltid krav til disse aktive tiltakene og det er derfor gjort undersøkelse på en alternativ løsning. Det er da undersøkt hvor stor betydning plassering av bilene har å si for brannspredningen.

Resultatet fra dette er at hvor tett bilene står har en stor betydning for strålingsintensiteten, og ved å benytte dette kan man øke tiden før brannspredning oppstår. Et ekstra tiltak som også bør gjøres er å stille krav til brannalarmanlegg for å sikre tidlig varsling til brannvesenet, slik at de kan håndtere brannen før den kommer ut av kontroll.

## Summary

The purpose of this assignment is to conduct a literature study within fire safety in underground car parks. Fires in car parks have proven to be difficult to handle for firefighters and have the possibility to lead to injuries and loss of life, in addition to large financial consequences.

The problem of these types of fires is the smoke production, possibility of rapid fire spread and large production of heat energy. To handle these issues, it is conducted a study of the Norwegian regulations and the pre-accepted rules within “VTEK 17”, compared to foreign regulations. It is also conducted studies of real incidents and experiments to understand the impact of the incidents.

In incidents with a positive outcome, active measures like 1) fire alarm system works well for notifying the fire department early; 2) sprinklers for preventing fire; and 3) smoke ventilation systems against the smoke production. The regulation “VTEK17” does not always demand the use of these measures and therefore it is examined alternative solutions. It has then been investigated how important the location and proximity of the cars are for the spread of fire.

The result of the investigation is that the distance between cars is of great importance for the radiation intensity, by utilizing these findings, it is possible to increase the time before the spread of occurs. As an additional measure is to demand the use of fire alarm system to ensure early notification to the fire department. With that measure, they can handle the situation before it escalates out of control.



## Ordforklaringer

Parkeringshus/garasje/anlegg	Større bygg tilrettelagt for parkering av flere kjøretøy
Nominelt beløp	Pris inkludert inflasjon
Rombrann	Brann i et rom
Spontanantennelse	Gjenstand som blir tilført varme og deretter antenner
Selvantennelse	Gjenstand som produserer egen varme ved kjemiske eller fysiske reaksjoner og deretter antenner
Røykskille	Et skille mellom røyk og fri sikt
Overtenning	Fasen i en brann der alle brennbare materialer står i brann
Elektromagnetisk stråling	Energi som blir ført over ved hjelp av elektromagnetiske bølger, eksempler på dette er synlig lys, radiobølger og røntgen stråler.
Det absolutte nullpunkt	Den laveste temperatur som er mulig i fysikken, og den er på $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , eller $0\text{ K}$ .
Overføringshastighet	Hastigheten en stråling bruker fra et objekt over til et annet objekt.
Strålingsfluks	Utstrålingstetthet ( $\text{kW}/\text{m}^2$ )
Synsfaktor	En del av varmestrålingen som forlater ett objekt A og treffer et objekt B
Varmefluks	Også kaldt for termisk fluks, er mengden varmeenergi overført gjennom en gitt overflate.
Proporsjonalitetskonstant	Tallet som sier noe mellom forholdet mellom to størrelser
Brannenergi	Energi produsert av en brann.
Designbrann	En standardbrann som fremstiller det generelle brannforløpet
Svart legeme	Et teoretisk legeme som absorberer alt lys og varmestråling.
Thermal Runaway	En prosess som skjer når litiumion batteriet når en viss temperatur ( $80^{\circ}\text{C}$ ). Temperaturen i battericellen vil fortsette å stige samtidig som at oksygen blir produsert og det oppstår en brann som er vanskelig å slukke som følge av oksygenproduksjonen.

Fluktvei	En sikker vei som kan brukes for å komme fra ett sted til et annet sikkert oppholdssted.
Branncelle	Rom hvor brannspredning begrenses.
Brannseksjon	Større del av byggverk hvor brannspredning blir begrenset.
Spontanantenner	Antennelse uten ekstern tennkilde.
Trekk ut	Trekke ut røyken fra en branncelle via ventilasjonskanaler.
Layout	Utformingen av bygget.
Steng inne	Stenge røyken inne i branncellen for å hindre røykspredning.
Sprinklerampulle	Tettingen i sprinkelhodet. Bli klassifisert i forskjellige farger som indikerer hvor varmt det den tåler før den sprekker.
Preakseptert ytelse	Minimumskravet for å oppfylle forskriften gitt av myndighetene.
Panikkbelysning	Lyser opp et område hvor flere mennesker befinner seg, men er ikke en del av den primære rømningsveien
Fluktveibelysning	Lyssystem som lyser opp veien til sikkert sted
Strobelamper	Roterende eller blinkende lys som viser brannvesenet nærmeste angrepsvei

## Innholdsfortegnelse

Forord.....	iv
Sammendrag .....	v
Summary.....	vi
Ordforklaringer .....	vii
Figurliste, tabeller & bilder .....	xi
1. Innledning.....	1
1.1. Bakgrunn og formål .....	1
1.2. Begrensinger.....	1
2. Samfunnskonsekvenser av brann.....	2
2.1. Antall hendelser i Norge .....	2
2.2. Omkomne .....	3
2.3. Økonomiske tap .....	3
2.4. Brann i parkeringshus .....	4
3. Brannteori.....	5
3.1. Brannforløp.....	5
3.1.1. Antennelsesfasen .....	5
3.1.2. Vekstfasen .....	6
3.1.3. Fullt utviklet brann.....	7
3.1.4. Utbrenningsfasen .....	8
3.2. Varmetransport .....	8
3.2.1. Konduksjon (varmeledning).....	8
3.2.2. Konveksjon (varmestrømning).....	9
3.2.3. Varmestråling .....	9
3.2.3.1. Geometrisk synsfaktor .....	11
3.2.4. Varmetransport ved garasjebranner .....	12
3.3. Effektutvikling .....	13
3.3.1. Eksempler på effektutvikling .....	14
3.3.2. Biler.....	14
4. Slukking .....	16
4.1. Sprinkler .....	16
4.2. Brannvesenets metoder .....	17
4.2.1. Brannslanger .....	17
4.2.2. Brannslukningsapparat .....	18
4.2.3. Branntepper .....	19
4.2.4. Slepning.....	20
4.2.5. Slukkerobot.....	20
4.2.6. Oppsummering .....	21
5. Brannvesenets beredskap .....	22
5.1. Beredskap og innsats.....	22
5.2. Antall personell.....	23

5.3.	Utstyr ved garasjebranner.....	23
5.3.1.	Varmesøkende kamera.....	23
5.3.2.	Vifter.....	24
6.	Eksempler på branner i parkeringsanlegg.....	26
6.1.	Karmsund brygge – 2009.....	26
6.2.	Nederland & Luxemburg – 2014.....	27
6.3.	Trondheim – 2014.....	28
6.4.	Kings Dock i Liverpool – 2017.....	29
6.5.	Sola – 2020.....	30
7.	Regler for brannsikring av garasjer.....	32
7.1.	Brannsikkerhetsstrategi.....	32
7.1.1.	Personsikkerhet.....	32
7.1.2.	Verdisikkerhet.....	33
7.1.3.	Tilrettelegging for brannvesenets innsats.....	34
7.2.	Preaksepterte løsninger for garasjer.....	34
7.3.	Brannsikring av garasjer i utlandet.....	36
7.3.1.	Belgia.....	36
7.3.2.	Danmark.....	37
7.3.3.	Nederland.....	38
7.3.4.	Tyskland.....	39
7.3.5.	USA.....	40
7.3.6.	The International Building Code (IBC).....	40
7.4.	Oppsummering.....	41
8.	Branntekniske problemstillinger.....	43
8.1.	Brannspredning.....	43
8.2.	Størrelsen på parkeringsplassene.....	45
8.3.	Takhøyde.....	48
8.4.	Stor røykproduksjon.....	48
8.5.	Menneskelig atferd.....	49
9.	Løsninger på branntekniske problemstillinger.....	50
9.1.	Arkitektonisk utforming.....	50
9.1.1.	Bredden mellom bilene.....	50
9.1.2.	Fri høyde mellom taket på bilen og parkeringsgarasjen.....	52
9.1.3.	Oppsummering av arkitektonisk utforming.....	54
9.2.	Røykventilasjon.....	55
9.3.	Krav til automatisk varsling med direkte kobling til alarmsentral.....	56
9.4.	Sprinkler.....	57
9.5.	Økonomiske kostnader.....	58
9.6.	Hva bør gjøres for å forbedre brannsikkerheten i nye parkeringsanlegg?.....	60
10.	Konklusjon.....	61
11.	Videre arbeid.....	63
12.	Referanser.....	64
13.	Vedlegg.....	68

13.1.	Beregning av synsfaktor parallelle plater .....	68
13.2.	Beregning av synsfaktor punkt til plate.....	69
13.3.	Beregning av økonomisk risiko parkeringsanlegg .....	70

## Figurliste, tabeller & bilder

Figur 1.	Omkomne i brann 1979-2019 [1] [2].....	3
Figur 2.	Erstatningsbeløp (1000 kr) - nominelt beløp [4] .....	4
Figur 3	Brannutviklingens faser [7].....	5
Figur 4.	To like rektangler parallelt på hverandre [11] .....	11
Figur 5.	Synsfaktor for rektangel parallelt med et lite element. ....	12
Figur 6.	HRR: «free burn test» trepaller på 1,2m · 1,2m stablet i forskjellige høyder brent [8] ...	13
Figur 7.	Personbiler i Norge [14].....	15
Figur 8.	HRR verdier for en bilbrann [17] .....	15
Figur 9.	Brannfirkant	
Figur 10.	Branntrekant .....	16
Figur 11.	Tilgjengelig- og nødvendig rømningstid [1] .....	32
Figur 12.	Hvordan den mest vanlige norm for parkering av biler er .....	46
Figur 13.	Illustrasjon av hvordan tesla modell x ville sett ut ved den nedre normen for bredde på parkeringsplasser.....	47
Figur 14.	Synsfaktor mellom 2 biler, gitt at bilene antas å være like store rektangler på 4,8 x 1,8 meter.....	50
Figur 15.	Stråling mellom 2 parallelle rektangler på 4,8 x 1,8 meter og temperatur på 800 grader .....	51
Figur 16.	Synsfaktoren vertikal avstand mellom røyk og bil .....	52
Figur 17.	Stråling fra rektangel til punkt. En antagelse med en temperatur på 350 grader.....	53
Figur 18.	Eksempel på løsning for hvordan nye moderne biler kan parkeres .....	54
Figur 19.	Prinsippskisse med impulsviser [45].....	56
Figur 20.	Verdi av kjøretøy og pris for aktivt tiltak.....	59
Tabell 1.	Brann- og redningsvesenet rykket ut til 16 060 branner i 2018 [2] .....	2
Tabell 2.	Virking av varmestråling [9].....	10
Tabell 3.	Grovt estimat av HRR fra varierende kilder [8].....	14
Tabell 4.	Slukkemidler og bruksområde [20] .....	19
Tabell 5.	Slukking oppsummering .....	21
Tabell 6.	Dimensjonering av beredskap .....	23
Tabell 7.	Seksjoneringskrav og aktive tiltak middels brannenergi .....	33
Tabell 8.	Særskilte preaksepterte løsninger for underjordisk parkeringsgarasjer VTEK 17 [1] ...	35
Tabell 9.	Klassifisering av bruksområde, brann- og risikoklasse .....	37
Tabell 10.	Krav til sprinkler .....	38
Tabell 11.	Oppsummering av tiltak for ulike land.....	41
Tabell 12.	Noen eksempler på tid til brannspredning .....	44
Tabell 13.	Liste over de 10 mest populære bilene i 2018 med tilsvarende bredder .....	46

Tabell 14. Oppsummering av hvordan bredden mellom bilene påvirker strålingen; 2 parallelle rektangler på 4,8 x 1,8 meter og temperatur på 800 grader.....	51
Tabell 15. Oppsummering av hvordan høydeforskjellen påvirker strålingen på bilen.....	54
Tabell 16. Økonomisk konsekvens av redusering i antall parkeringsplasser.....	55
Bilde 1. De ulike varmeoverføringsmekanismene [11] .....	8
Bilde 2. Sprinklerhode [18]    Bilde 3. Sprinklerampuller varmegradene de sprekker på [18] ...	17
Bilde 4. Brannteppe inne i brannbilen Foto: privat.....	19
Bilde 5 Brannrobot LUF 60 [23] .....	20
Bilde 6. Brannvesenets IR kamera av merket Dräger Foto: privat.....	24
Bilde 7. Eksempel på vifte som blir brukt av brannvesen. Foto: privat.....	25
Bilde 8. Karmsund brygge Foto: Haugesund Avis .....	26
Bilde 9. Bilde av bilen etter brannvesen har gjennomført slukking i Luxemburg .....	28
Bilde 10. Brannskadet bil som blir slepet ut Foto: Joakim Slettebakk Wangen .....	29
Bilde 11. King's Dock, Liverpool parkeringsanlegg Foto: Fire and risk management [35] .....	29
Bilde 12. Sola parkeringsanlegg Foto: Carina Johansen [38] .....	31
Bilde 13. BRE test (store biler) brannspredning [13] .....	45
Bilde 14. Bilde tatt fra tilfeldig parkeringshus Foto: privat .....	47
Bilde 15. Viser potensiell røykproduksjon fra en bilbrann Foto: privat .....	48
Bilde 16. Brann hvor sprinkel ble aktivert [52].....	58

# 1. Innledning

## 1.1. Bakgrunn og formål

I dagens samfunn er brannsikkerhet et viktig tema. Brann kan føre til store materielle og økonomiske tap for samfunnet. Parkeringsanlegg er eksempel på hvor brann kan oppstå og hvor det kan medføre store økonomiske konsekvenser.

Det er vanskelig for brannvesenet å håndtere en brann som oppstår i parkeringsanlegg. Grunnen til dette er at det i slike tilfeller ofte er et kjøretøy som brenner. Bilbranner kan være svært intense og ha en høy røykproduksjon og er en potensiell fare for liv og helse. Det vil også være høye temperaturer og fare for brannspredning, noe som gjør de vanskelig å håndtere.

Det er med bakgrunn i dette at COWI ønsker å undersøke brannsikkerheten i underjordiske parkeringsanlegg. Det skal da undersøkes om det norske regelverk er tilstrekkelig for brannsikkerheten, eller om det er noen mangler eller noe som må gjøres annerledes.

For å gi svar på dette vil det gjøres en litteraturstudie hvor det norske regelverket sammenlignes med noen utenlandske regelverk. Det vil også gjøres en litteraturstudie på virkelige hendelser og forsøk på bilbranner i parkeringsanlegg for å undersøke hva som påvirker brannforløpet og eventuelt hvilke tiltak som kan tilfredsstillende brannsikkerheten i underjordiske parkeringsanlegg.

## 1.2. Begrensinger

Oppgaven begrenses til å ikke vurdere brannsikkerheten i parkeringshus som klassifiseres som åpne parkeringshus. Det er parkeringshus hvor minst  $\frac{1}{3}$  av overflaten er åpen til det fri i henhold til VTEK 17 [1]. Her vil det være forskjeller i regelverket som innebærer hvilke branntekniske tiltak som benyttes. Det vil allikevel bli benyttet eksempler fra branner i åpne parkeringshus siden brannforløpet i en tidlig fase vil være likt.

Beregningene som er utført i denne oppgaven er basert på tidligere forsøk og virkelige hendelser om branner i parkeringsanlegg. Siden en brann varierer i temperatur og energiproduksjon i brannforløpet, er det dermed gjort grove estimater i beregningene.

## 2. SamfunnskONSEKVENSER AV BRANN

Brann i parkeringshus, er en utfordring for samfunnet og har potensiale å være til fare for liv og helse, samt store økonomiske konsekvenser. For å se dette i en sammenheng vil det i dette kapitlet bli presentert samfunnskONSEKVENSER AV EN BRANN.

### 2.1. Antall hendelser i Norge

I 2018 utførte brann- og redningstjenesten i Norge 96 980 oppdrag [2]. Dette var en økning på 12 % i antall oppdrag som ble utført fra 2017, hvorav oppdrag på grunn av brann hadde økt med 24 % (skogbranner og branner i gress og kratt hadde en økning på omtrent 1000 flere tilfeller), brannforebyggende tiltak hadde økt med 26 % og ulykker med 11 %.

Av de 96 980 oppdragene var 54 % unødvendige eller falske alarmer. Flesteparten av disse var forårsaket av feil bruk av utstyr, teknisk feil på anlegg og/eller feilaktig informasjon.

Tilsammen utførte brann- og redningsvesenet 44 610, reelle oppdrag i 2018. Oppdragene kan hovedsakelig bli delt inn i tre grupper; brann, ulykker og andre oppdrag. Ut ifra de reelle oppdragene brann- og redningsvesenet gjorde var bare 36 % brannhendelser [2]. Dette vil si at brann- og redningsvesenet rykket ut til 16 060 branner i 2018.

Type brann	Antall prosent
Brann i bygning	30 prosent
Andre branner	20 prosent
Skogbranner og branner i gress og kratt	19 prosent
Brann i skorstein	12 prosent
Brann i kjøretøy	11 prosent
Brann i søppelkasse/-container:	7 prosent
Brann i båt/skip	1 prosent

Tabell 1. Brann- og redningsvesenet rykket ut til 16 060 branner i 2018 [2]

Det er i bygninger det som oftest oppstår flest branner se figur 1. 45 % av tilfellene er komfyrbranner, hovedsakelig på grunn av tørrkoking. Dette gjenspeiler seg også i tidsrommet når det oftest oppstår brann; på ettermiddagen når mat lages på platetoppen. Brann i parkeringshus registreres ikke som en egen type brann og vil ifølge denne tabellen havne under brann i bygning. Andelen av brann i bygninger som gjelder parkeringshus antas å være liten.

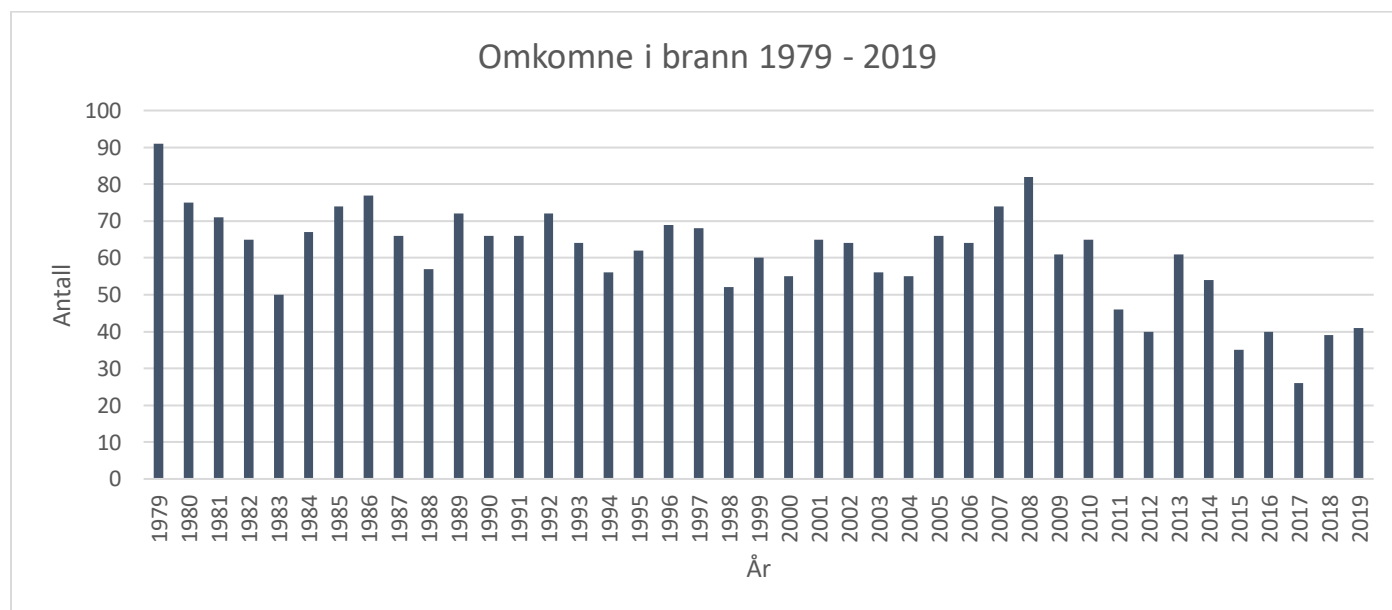


## 2.2. Omkomne

I Norge har Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap [2] registret antall dødsfall i brann siden 1979. Fra 1979 har i snitt 62 personer mistet livet hvert år, se figur 1. Av dette så er 80 % omkommet i boligbrann.

I 2019 omkom det 41 personer i brann, hvorav 29 var menn og 12 var kvinner [3]. Av de 41 personene som omkom, døde 6 personer i desember. En av hovedårsakene til at desember er en utsatt måned, er økt bruk av levende lys. Det året med færrest dødsfall var i 2017 med 26 omkommende og det året med høyest antall dødsfall var i 1979 hvor 91 mistet livet.

Av de som omkommer i brann, er tre fjerdedeler eldre og pleietrengende, rusavhengige eller mennesker med nedsatt funksjonsevne. Sigaretter som brannårsak er den største årsaken at mennesker dør i brann [4]. Det er lite kjent at personer dør i brann som følger av branner i parkeringsanlegg.

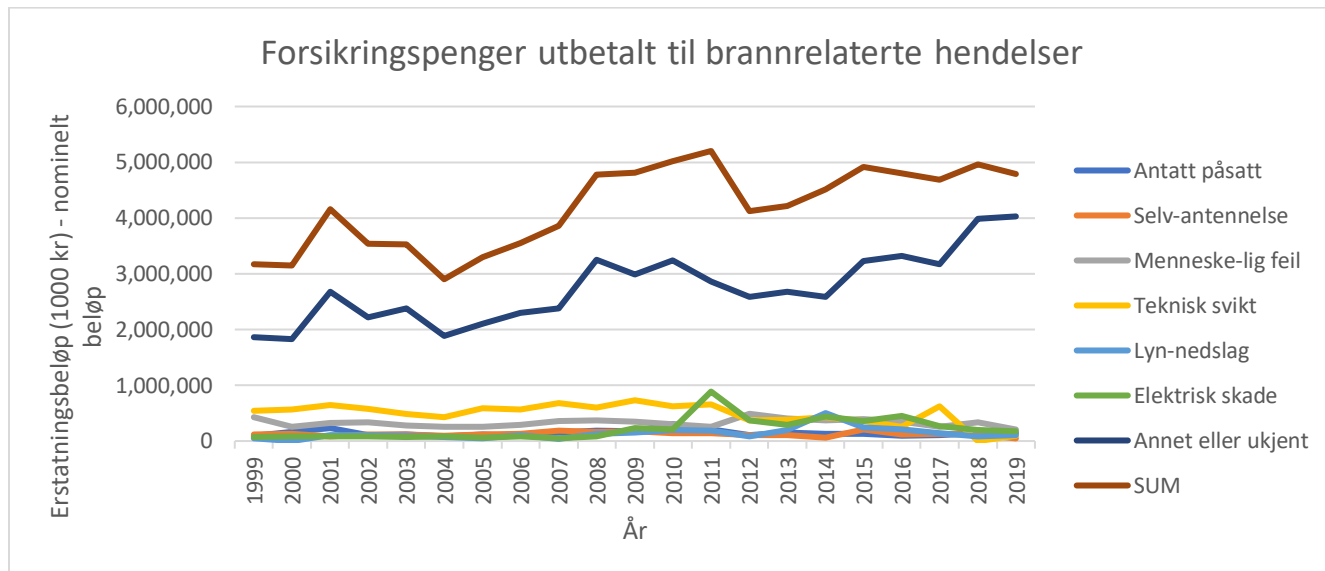


Figur 1. Omkomne i brann 1979-2019 [1] [2]

## 2.3. Økonomiske tap

En brann medfører årlig store økonomiske tap i Norge ved at infrastruktur blir ødelagt. Finans Norge henter inn informasjon fra forsikringsbransjene om hvor mye de betaler i forsikringspenger til brannrelaterte hendelser [5]. I figur 2 ser man at de største tapene kommer

typisk i gruppen «annet eller ukjent» og i «teknisk svikt», selv om teknisk svikt har blitt redusert betraktelig fra 2014 og til 2019 grunnet generelt økt sikkerhet.



Figur 2. Erstatningsbeløp (1000 kr) - nominelt beløp [4]

Samfunnskonsekvenser, som f.eks. at noe uerstattelig har gått tapt i brannen, eller at en brann har forårsaket store samfunnsmessige problemer, slik som brannen i Sola parkeringshus stoppet flytrafikken til Sola flyplass. Dette er ikke noe som blir representert i statistikker. Ved Sola antas brannen å ha ført til skader på flere hundre millioner kroner [6]. En brann kan også ha store konsekvenser på miljøet hvor en stor brann kan true utrydningstruede dyr og helsen til f.eks. mennesker med luftveisproblemer. En brann vil også kreve store mengder ressurser for å bli slukket.

## 2.4. Brann i parkeringshus

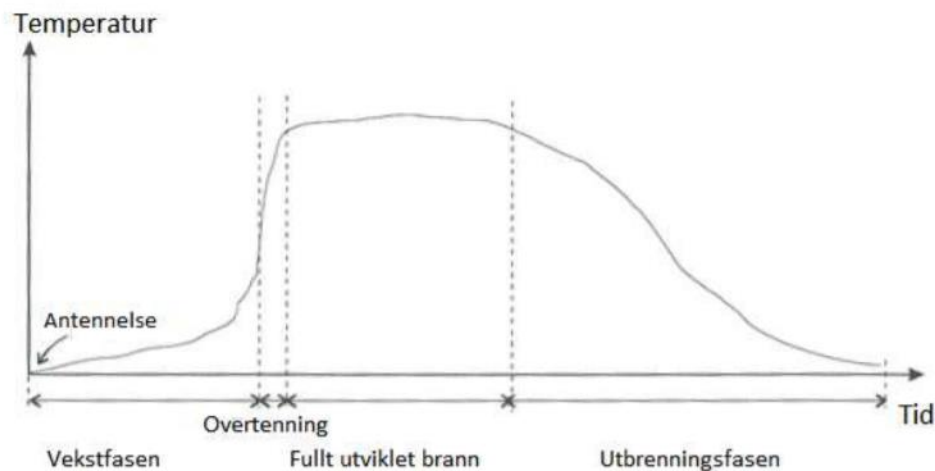
Brann i parkeringshus er ikke spesielt beskrevet i brannstatistikken. En slik brann pleier ikke å medføre tap av liv, men vil føre til store materielle konsekvenser for bygningen. Det kan brenne lenge siden en bil har mye brannenergi. Det er ofte heller ikke like lett å komme til for å få slukket brannen. Derfor får man som regel ikke startet med slukkingen like raskt og effektivt som i andre branner. Hvis det er en elbil som brenner, så vil det være vanskelig å slukke den generelt sett. Det kommer av at en brann i en elbil krever svært mye vann i forhold til en vanlig fossil bil. Dersom batteriet til en elbil skulle ta fyr, vil batteriet produsere eget oksygen og brannen vil som regel re-antenne. Batteriet ligger skjermet til og det er utfordrende å treffe brannen med noe som helst slukkemiddel [7].

### 3. Brannteori

I dette kapitlet presenteres teori som er relevant for oppgaven. Det blir sett på brannforløpets fire faser og om hvordan brannutviklingen kan begrenses og/eller stoppes, i tillegg skal kapitlet handle om energiproduksjon og varmetransport. Dette er relevant for å forstå brannforløpet i et parkeringshus og avdekke utfordringer knyttet til dette.

#### 3.1. Brannforløp

En rombrann kjennetegnes som en brann innendørs i et rom og har et brannforløp som består hovedsakelig av fire faser; antennelsesfasen, vekstfasen (overtenning), fullt utviklet brann og utbrenningsfasen, se *figur 3*. [8] En brann vil som oftest ikke gjennomgå alle de fire fasene grunnet at brannen slukker. Slukkingen av brannen kan gjøres med et automatisk slukkesystem, ved menneskelig inngrep eller av naturlige årsaker der det ikke er tilstrekkelig med brennbart materiale og/eller oksygen. Fasene blir nærmere beskrevet under figuren.



Figur 3 Brannutviklingens faser [7]

##### 3.1.1. Antennelsesfasen

En brann begynner ved at gass, væske eller fast stoff blir varmet opp og utvikler en brennbar gass som blir antent, dette skjer normalt ved hjelp av en tennkilde som glør eller gnister. I de tilfellene hvor brannen ikke har noen tennkilde, kan det være spontan- eller selvantennelse som er årsaken.

Spontanantennelse er når en ytre kilde varmer opp materialet til det når en antennelig temperatur som videre fører til at det begynner å brenne. En slik varmeutvikling kan komme fra en motor, en katalysator eller hard bremsing med en bil. For at det skal komme en antennelse fra

varmeutviklingen må det også være et brennbart materiale i nærheten som blir varmet opp og til slutt spontanantenner. [8]

Selvantennelse er når materialet selv produserer nok energi som følge av fysiske eller kjemiske reaksjoner til at en antennelse kan finne sted. Eksempelvis, prosesser som bakteriell nedbrytning er også energiproduserende og fører til varmeutvikling, og kan finne sted ved fuktig høy og halm. [9] Selvantennelse anses som ikke relevant for en brann i parkeringshus.

I en typisk brann i et parkeringshus, så er det biler som starter å brenne. En bilbrann starter oftest i motorrommet hvor det er høy temperatur og det finnes brennbart materiale som bensin. Bilbranner kan også starte som følge av en kollisjon og/eller teknisk feil på det elektriske anlegget. Andre tilfeller som kan medføre til en brann i et parkeringshus er feilaktig ladning av elbil.

I antennelsesfasen er brannen som regel brenselstørt. [8] Det innebærer at brannen må ha tilgang på nok brennbart materiale for å kunne utvikle seg videre til vekstfasen. Her foregår brannen lokalt og rommet har lite å si for brannutviklingen. En brann i motorrommet har som regel god tilgang på brennbart materialer i form av drivstoff eller nærliggende plastikk. En brann i antennelsesfasen er lett å slukke med et håndholdt brannslukningsapparat eller ved å legge noe over for å kvele brannen som et brannteppe.

### 3.1.2. Vekstfasen

I vekstfasen vokser brannen seg større med tilgang på brensel og oksygen. Etter hvert vil røyken fra brannen lage et varmt røyksgille i det øvre del av rommet. Røyksgillen vil avgi stråling som vil varme opp andre overflater i rommet og hjelpe brannen i å spre seg til disse overflatene. Hvis brannen har lite tilgang på brensel vil brannen ha et langsommere brannforløp. [9]

Hastigheten av vekstfasen vil være avhengige av brenselets egenskaper. Det vil ta lengre tid for en brann i en stor vedkubbe å spre seg sammenlignet med et tynt avisblad. Her er brannen også lokalt begrenset og er lite påvirket av rommets egenskaper som størrelse og materialer.

Hvis det er nok oksygen til stede, vil brannen også her være brenselstørt. Det vil ta brannen typisk 2 til 10 minutter å gå fra vekstfasen til fullt utviklet brann avhengig av materialet som brenner [8]. Er det mangel på brennbart materiale vil brannen til slutt brenne ut.

En brann tidlig i vekstfasen vil være enkel å slukke med en håndslukker siden temperaturen ikke er altfor høy. Det kan være utfordrende å prøve å slukke en brann sent i vekstfasen og det må eventuelt ekstra ressurser til, som flere brannslanger og/eller brannvesenet.

I en brann som starter i motorrommet på en bil, vil det i begynnelsen komme flammer og tilhørende sort røyk fra brannstedet. Brannen vil deretter spre seg videre i bilen, og vil penetrere taket før bunnen ettersom varmen stiger [10].

Temperaturen inne i bilen kan være opp mot 900 °C, mens temperaturen på røyken som befinner seg på utsiden kan måles til 285 °C [10].

En komplikasjon til disse høye temperaturene er at de fleste nye biler har bensintanker som er laget av plast. Smelteprosessen til plast begynner når temperaturen er mellom 100-300 °C. Dette medfører at bensintanken tidlig begynner å smelte og at drivstoffet, som er i tanken, kan antennes og øke risikoen for brannspredning til andre biler. [10]

### 3.1.3. Fullt utviklet brann

I en fullt utviklet brann har brannen nådd sin maksimale størrelse, og kan derfor ikke bli større med mindre den ikke sprer seg videre eller blir påvirket av andre ytre faktorer som at vegger kolliderer og det blir tilgang på mer brensel.

Karakteristisk for denne fasen i rombrann er at en kan se utvendige flammer som slipper ut gjennom åpninger (for eksempel vinduer, under dører, ventiler). Dette skjer fordi oksygenet i rommet brannen befinner seg i, er oppbrukt. Noe som gjør at de varme gassene ikke blir antent. Disse gassene blir transportert ut gjennom åpningene hvor de kommer i kontakt med oksygen, som fører til at de antennes. I dette stadiet er brannen begrenset av lufttilgangen. Den blir altså ventilasjonskontrollert, noe som innebærer at brannen ikke kan bli større enn det lufttilgangen tillater. [9]

En fullt utviklet brann kan oppstå i en bil med god tilgang på oksygen. Dette skjer når hele bilen har tatt fyr, og brannen blir dermed brenselkontrollert. Den er avhengig av å spre seg fra et objekt til et annet eller til alle deler av bilen har vært involvert i brannen. En fullt utviklet brann vil også være avhengig av karakteristikken av rommet. I et større rom vil temperaturen i rommet stige saktere fordi det har større volum å varme opp. [8] Materialet på rommet vil også si noe om hvor fort temperaturen øker, og om det er brennbart materiale som bidrar i brannen.

I parkeringsgarasjer er oftest konstruksjonene av betongelementer og bestående av store åpne arealer. Dette begrenser mengden brennbart materialet i rommet og brannen er avhengig av spredning mellom bilene.

Ved en fullt utviklet brann i bil er man på et stadium av brannen hvor det er veldig utfordrende å slukke brannen. Det er også stor fare for at brannen sprer seg til andre biler, noe som kan bidra til at garasjebranner varer i flere timer

Grunnet termiske belastningen og faren for liv og helse til røykdykkere, må det gjøres en vurdering for hvor forsvarlig det er å sende inn røykdykkere. Dette er avhengig av muligheten for bygningskollaps, belastningen og faren på innsatspersonellet og hvor lang tid dette eventuelt tar. Alt dette vil ha innvirkning på hvordan brannen kan bli slukket og hvor lang tid dette vil ta.

### 3.1.4. Utbrenningsfasen

Utbrenningsfasen begynner når mengden brennbare gasser reduseres, og brannen ikke har mulighet til å opprettholde eget omfang. Den går som oftest også fra å være ventilasjonsstyrt tilbake til brenselstyrt.

Temperaturen i brannrommet vil også begynne å synke i denne fasen grunnet redusert energiproduksjon. [9]

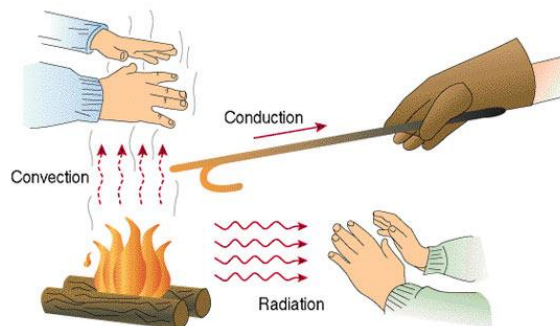
I forbindelse med garasjebranner kan man velge å la brannen få brenne ut av seg selv i stedet for å slukke den ettersom denne typen brann er vanskelig å få kontroll over. Dette kan ta opptil flere timer avhengig av omfanget.

## 3.2. Varmetransport

I dette kapittelet om varmetransport blir det forklart hvordan brannen kan spre seg fra et materiale til et annet.

Varmetransport er energi som transporteres fra varme til kalde område. Energien kan bli transportert på tre måter [11]:

- Konduksjon (varmeledning)
- Konveksjon (varmestrømning)
- Varmestråling.



Bilde 1. De ulike varmeoverføringsmekanismene [11]

### 3.2.1. Konduksjon (varmeledning)

Varmeledning skjer når et rør, metallstav eller armeringsjern leder energi fra et sted med høyere temperatur til et sted med lavere temperatur. Dette vil kunne bidra til brannspredning gjennom vegger eller forvarme materialer internt i en bil. Brannspredning trenger at brennbart materialer er i kontakt med gjenstander eller materialer som er så varme at de spontanantenner [8].

Denne typen varmetransport er ikke særlig relevant for brannspredning mellom biler i garasjebranner. Dette er fordi bilene er parkert med en avstand fra hverandre og det er ingen

fysisk kontakt mellom dem. Derimot kan dette påvirke brannspredningen internt i en bil som brenner. Ved for eksempel en motorbrann kan varmeledning bidra til at resten av bilen varmes opp og dermed gjøre at den antennes lettere eller spontanantenner.

Ved større branner i bygg kan varmeledning være en faktor som bidrar til brannspredning. Da vil varmeledning skje gjennom vegger. Parkeringsgarasjer er som regel oppført i betong. Betong har lav termisk konduktivitet som gjør at det leder varme dårlig. Det vil derfor ta lang tid, opptil flere timer, før temperaturen på den andre siden av veggen blir høy. [12] Dette gjør at det også er lite sannsynlighet for brannspredning til andre biler med varmeledning gjennom etasjeskillere. Varmeledning kan for eksempel skje ved gjennomføringspunkter for kabler og ventilasjonskanaler i etasjeskillere og vegger hvis disse ikke er riktig brannisolert.

### 3.2.2. Konveksjon (varmestømning)

Konveksjon oppstår når en væske eller gass kommer i kontakt med et fast stoff som har ulik temperatur og dermed overfører varme (energi) til stoffet. Røyk er typisk eksempel på konveksjon, hvor røyken blir spredt rundt i rommet ved hjelp av trykkforskjeller og varmer opp materialer som har kontakt med røyklaget [9].

Det er to typer konveksjon; tvungen og naturlig. Tvungen konveksjon oppstår når en væske eller gass blir satt i bevegelse av ytre krefter. Dette kan gjøres med en pumpe eller vifte. Naturlig konveksjon oppstår av temperatur- og tetthetsforskjeller [9].

$$\dot{q}'' = h\Delta T$$

Ovenfor viser varmeoverføring fra konveksjon

- $\dot{q}''$  er varmefluks [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]
- $h$  er konveksjonskoeffisienten [ $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ ], for naturlig konveksjon ligger verdien mellom 5 til 50 og for tvungen mellom 25 til 250. [12]
- $\Delta T$  er temperaturforskjellen mellom det varme og kalde objektet.

Ved garasjebranner oppstår konveksjon som regel fra røyken. Varme gasser vil stige oppover fra brannen opp til taket/etasjeskiller, og deretter spre seg utover rommet og legge seg over andre biler. Dette gjør at andre biler blir forvarmet, noe som gjør det lettere for de å antenne. Den varme røyken er også med på å trigge slukkeanlegget hvor dette er benyttet. Utettheter i vegger og etasjeskiller, som ikke er tilstrekkelig brannsikret, vil kunne tillate varme gasser å slippe igjennom og antenne materialer i nærliggende rom.

### 3.2.3. Varmestråling

Varmestråling er elektromagnetisk stråling som avgis fra objekter som har temperatur over det absolutte nullpunkt ( $-273,15^\circ\text{C}$ ). Alle varme stoffer eller legemer sender ut slik stråling. Graden av utstråling varierer fra stoff til stoff og varierer med temperaturen. Stråling fra flammer

og/eller røyk kan lede til en spontanantennelse som følge av oppvarmingen av brennbart material og ved å varme opp gasser (luft). For å regne ut varmestråling fra et objekt benyttes følgende ligning [12]:

$$\dot{q}'' = \sigma \varepsilon \varphi T^4$$

For å finne varmestrålingen mellom to objekter brukes formelen:

$$\dot{q}'' = \sigma \varepsilon \varphi (T_a^4 - T_b^4)$$

- $\dot{q}''$  er varmestråling [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]
- $\sigma$  er Stefan-Boltzmanns konstant  $5,669 \cdot 10^{-8} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \right]$  er proporsjonalitetskonstanten mellom den totale energien utstrålt per flateenhet av et svart legeme i løpet av en tidsenhet og den termodynamiske temperaturen i fjerde potens.
- $\varepsilon$  er emissivitet [-] og varierer mellom 0 og 1, det avhenger av materialeegenskapene til objektet som avgir stråling. Jo mørkere et material er, desto høyere vil emissiviteten være. Sort vil si verdi 1 i emissivitet. For svart røyk antas emissivitet på 0,92
- $\varphi$  er synsfaktor som varierer mellom 0 og 1. Kun en liten del av varmestrålingen som forlater ett objekt og treffer et annet objekt. Hvor mye av strålingen som treffer blir beskrevet som synsfaktor. Brukes for eksempel ved beregning av strålevarmepåkjening ved brann [8].
- $T$  er temperatur gitt i kelvin. Strålingen som blir avgitt er proporsjonal med den absolutte temperaturen opphøyd i 4

Det som er verdt å merke seg ved stråling er at temperaturen er meget dominerende for hvor sterk strålingen vil være. Ved for eksempel en bilbrann hvor temperaturen kan komme opp i ca. 900 grader (1173 Kelvin) kan strålingen være opptil  $107 \text{ kW}/\text{m}^2$ . For å få et perspektiv av denne verdien er tabell 2 satt opp med ulike varmestrålingsverdier.

Varme fluks ( $\text{kW}/\text{m}^2$ )	Observasjon
0,67	Varmestråling fra solen om sommeren.
1	Maks stråling for varmestråling for mennesker over lang tid.
6,4	Smerter etter 8 sekunder på eksponert hud.
10,4	Smerter etter 3 sekunder på eksponert hud.
12,5	Treverk kan antennes med en tennkilde etter lang tid eksponering fra varmestråling.
16	Blemmer på hud etter 5 sekunder eksponering.
29	Treverk spontanantenner ved lang tids eksponering.
52	Fiberplater antenner etter 5 sekunder eksponering.

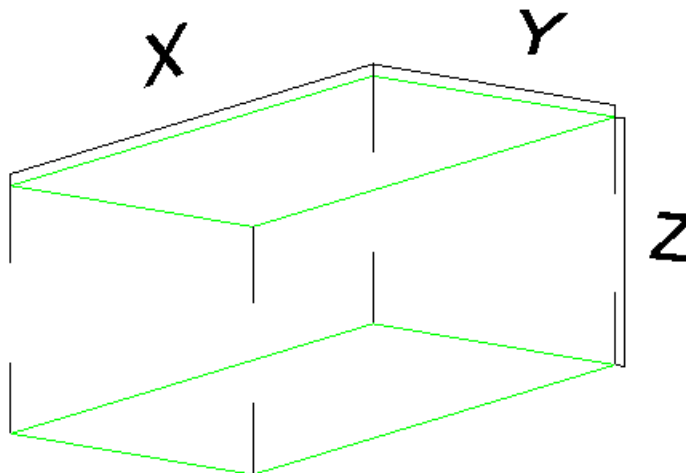
Tabell 2. Virking av varmestråling [9]



### 3.2.3.1. Geometrisk synsfaktor

I garasjebranner er strålingen en viktig faktor. Mengden stråling som blir mottatt fra et objekt vil være avhengig av plasseringen i forhold til objektet. Dette er viktig for å forstå hvordan strålingen fungerer fra røyk til en bil eller mellom 2 biler, og hvordan dette blir påvirket av synsfaktoren.

I figuren 4 illustreres hva synsfaktoren er mellom 2 like parallelle rektangler med størrelse X og Y og med en avstand Z [9]. Dette er en forenkling av synsfaktoren mellom to like parallelle biler:



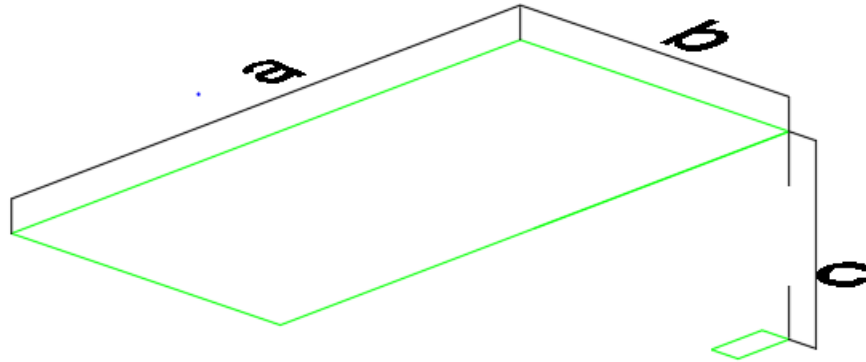
Figur 4. To like rektangler parallelt på hverandre [11]

$$F = \frac{2}{\pi \bar{x} \bar{y}} \left\{ \ln \left[ \frac{(1 + \bar{x}^2)(1 + \bar{y}^2)}{1 + \bar{x}^2 + \bar{y}^2} \right]^{1/2} + \bar{x}(1 + \bar{y}^2)^{1/2} \tan^{-1} \left[ \frac{\bar{x}}{(1 + \bar{y}^2)^{1/2}} \right] + \bar{y}(1 + \bar{x}^2)^{1/2} \tan^{-1} \left[ \frac{\bar{y}}{(1 + \bar{x}^2)^{1/2}} \right] - \bar{x} \tan^{-1} \bar{x} - \bar{y} \tan^{-1} \bar{y} \right\}$$

$$F = \text{synsfaktor}, \quad \bar{x} = \frac{X}{Z}, \quad \bar{y} = \frac{Y}{Z}$$

Synsfaktoren for et rektangel parallelt med et lite element, illustrert ved figur 5. Elementet er plassert ved det ene hjørne av rektanget [9]. Her vil det store rektangelet være røyken, og det lille

rektangelet være bilen. For at bilen skal være i midten multipliseres resultatet fra ligningen under med 4:



Figur 5. Synsfaktor for rektangel parallelt med et lite element.

$$F_{1-2} = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\bar{x}}{\sqrt{1 + \bar{x}^2}} \tan^{-1} \left( \frac{\bar{y}}{\sqrt{1 + \bar{x}^2}} \right) + \frac{\bar{y}}{\sqrt{1 + \bar{y}^2}} \tan^{-1} \left( \frac{\bar{x}}{\sqrt{1 + \bar{y}^2}} \right) \right]$$

$$F = \text{synsfaktor}, \quad \bar{x} = \frac{a}{c} \quad \bar{y} = \frac{b}{c}$$

### 3.2.4. Varmetransport ved garasjebranner

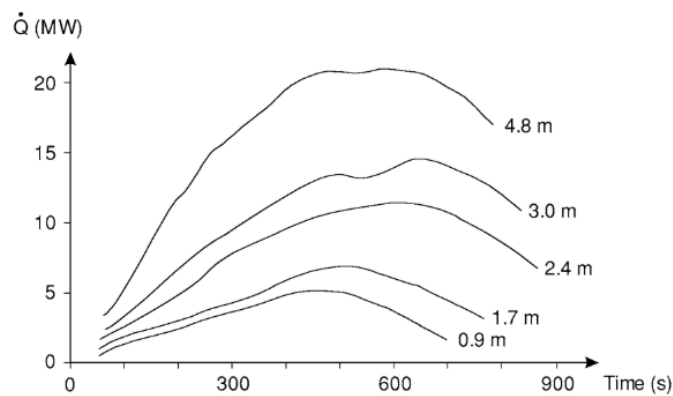
Biler har en stor energiproduksjon, noe som kan medføre at kjøretøy i garasjebranner kan generere temperaturer opptil 1100 °C. [13] [10] Temperaturen blir så høy grunnet de potensielle den mulige effekutviklingen fra en bil. Brannen kommer til å produsere røyk som vil legge seg langs tak og vegger. Den varme røyken vil da stråle ned på bilene, og spre varme via konveksjon på materialet det strømmer over. Dette vil øke temperaturen til nærliggende biler og kan være en avgjørende bidragsfaktor for at brannen spres videre. Varmeledning har mindre å si for spredning mellom bilene, men er viktig for å bidra til spredning lokalt ved å forvarme materiale.

Nye biler i dag avgir mer brannenergi og dette fører til høyere temperaturer og mer stråling som blir avgitt fra en bil. Biler står typisk tettere inntil hverandre i dag, noe som fører til at synsfaktor blir større og som øker faren for brannspredning.

### 3.3. Effektutvikling

Ved en brann blir det frigjort en spesifikk mengde med energi, den varier med type brensel, mengde og hvor brenselet er plassert i rommet. Effektutvikling (energy release rate) blir målt i watt [W] og har symbol  $\dot{Q}$ . For de fleste materialer endres effektutviklingen med tiden og blir også kalt for varmeutvikling (heat release rate (HRR) [8].

Når man finner ut av HRR kan man regne ut hvordan brannen kommer til å utvikle seg med tiden. Denne vil være avhengig av hvilket materiale og størrelsen på materiale som brenner. En høy HRR verdi tilsier at en brann vil brenne mer intens. En intens brann vil forverre en rømnings- og slukningsmuligheter. Dette er fordi mer HRR vil bli konvertert over til varme og temperaturen vil øke hurtigere. HRR er også knyttet til hvor hurtig materialet brenner. [8]



Figur 6. HRR: «free burn test» trepaller på 1,2m · 1,2m stablet i forskjellige høyder brent [8]

Figur 6 viser trepaller på 1,2m · 1,2m som blir stablet i forskjellige høyder og satt fyr på. Testen indikerer at gjenstanden brenner uten påvirkning fra omgivelsene. [8] En observasjon her er at når trepallene blir stablet høyere øker også HRR, og selv om det er mer brennbart materiale, forandrer ikke tiden seg mye før brannen begynner å stagnere. Dette viser at HRR er knyttet til hvor hurtig materialet brenner.

### 3.3.1. Eksempler på effektutvikling

For å få en forståelse av effektutvikling er det nedenfor lagt ved noen kilder og grovt estimat av tilhørende verdier. [8]

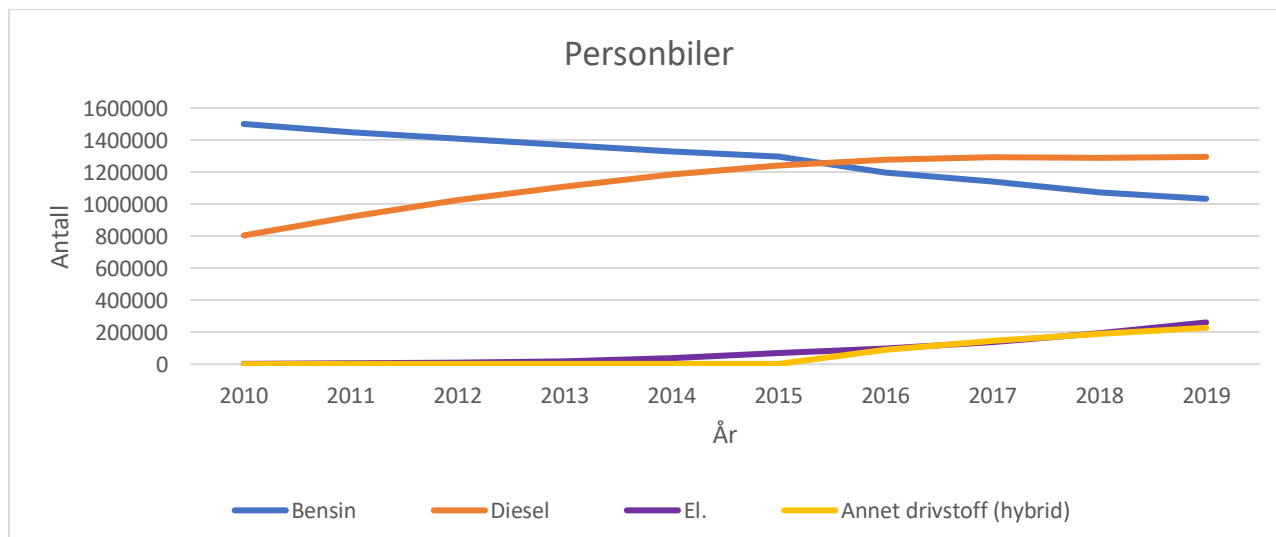
Beskrivelse	Effektutvikling
Brennende sigarett	5 W
Typisk lyspære	60 W
Menneske ved normal anstrengelse	100 W
Brennende papirkurv	100 kW
1 m <sup>2</sup> brennende bensinpøl	2,5 MW
Brennende trepaller 3 m høy	7 MW
Brennende polystyren 2 m <sup>2</sup> 4,9 meter høy	30-40 MW
Typisk output fra atomkraftverk	500-1000 MW

Tabell 3. Grovt estimat av HRR fra varierende kilder [8]

Ut ifra tabell 3 ser man at effektutviklingen er varierende for hva som brenner. En typisk liten brann kan være på rundt 100 kW og opp til over 40 MW avhengig av størrelsen på brannen.

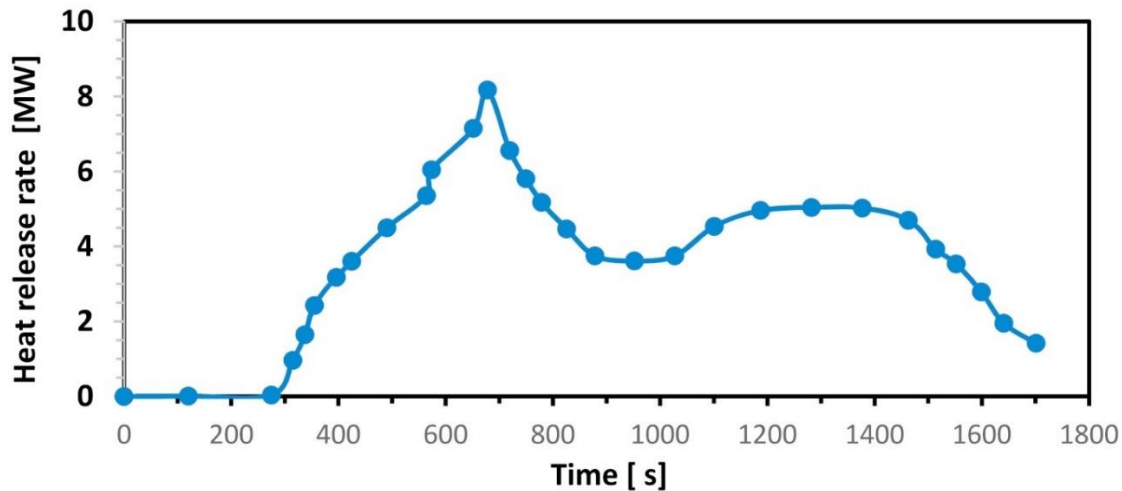
### 3.3.2. Biler

I Norge har det vært rettet søkelys mot å skaffe biler som er mer miljøvennlige, som for eksempel hybrid- og elbiler. Dette har ført til at Norge raskt har blitt en «elbilpark», med 260692 antall registrerte personlige elbiler i 2019. Med dagens bilpolitikk vil dette øke betydelig de neste årene. Figur 7 viser type personbiler som finnes i Norge fra 2010 til 2019.



Figur 7. Personbiler i Norge [14]

HRR verdier varierer fra 1,5 MW til 8 MW for biler, mens mesteparten ligger på rundt 5 MW [15]. I nye biler har det vært en økning i HRR fra 4 MW til 8 MW (store biler), dette kommer på grunn av økning av brennbart materiale, 9 kg til 90 kg (mer plast) [16]. HRR verdiene til elbiler er like store som andre typer fossile biler (bensin og diesel).



Figur 8. HRR verdier for en bilbrann [17]

Grafen i figur 8 viser effektutviklingen til en designbrann for en enkelt bil [17]. Her vil antennelsesfasen og tidlig vekstfase vare i nesten 5 minutter. I denne perioden er det gode muligheter for å slukke brannen enkelt med håndslukker. Effektutviklingen er på denne perioden rundt 100 kW.

Det tar brannen ca. 7 minutter før den når en effektutvikling på 4 MW. I denne perioden begynner brannen å bli vanskelig å håndtere for andre enn brannvesenet. Spredningsfaren i denne perioden er også stor.

Temperaturen begynner å bli høy og dermed øker også strålingen. Hvis brannen sprer seg til flere biler, blir effektutviklingen mye større og det blir enda verre å slukke.

Vekstfasen fortsetter frem til den når en maksverdi på 8 MW etter ca. 11 minutter og vil dermed brenne med en effektutvikling på 5-6 MW i 8 minutter. I denne perioden er det utfordrende å få til slukking og det må brannpersonell til for å kontrollere brannen og hindre spredning.

Etter ca. 19 minutter begynner utbrenningsfasen hvor det igjen begynner å bli enklere å håndtere brannen.

## 4. Slukking

En brann er et fysisk og kjemisk fenomen som oppstår i naturen. Flammen blir kontrollert av brenselet og omgivelsen sin. En brann oppstår når det skjer en kjemisk reaksjon (kjedereaksjon) mellom brensel (brennbart materiale), luft (oksygen) og når det er høy nok temperatur til stede for å danne brennbare gasser fra materialet. Sammen utgjør disse fire elementene brannfirkanten (figur 9). Forutsatt at flere av disse omstendighetene skjer samtidig, desto større og farligere vil omfanget av brannen bli. Brannfirkanten er en utvidelse av branntrekanten (brensel, oksygen, varme).



Figur 9. Brannfirkant



Figur 10. Branntrekant

Ved å fjerne en av komponentene fra branntrekanten (figur10) vil brannen slukke eller aldri bli antent. Ved å fjerne brenselet (brennbare materialet) vil brannen til slutt brenne ut. Brannen kan bli kvelt ved at man fjerner tilførselen av oksygen til brannen. En brann kan slukkes ved å avkjøle brannen noe som gjøres ved å redusere temperaturen.

For å slukke en brann kan man bruke mange forskjellige metoder f.eks. sprinkler, brannslukningsapparat, branntepper og slukkerobot. Egenskapene og hvordan de ulike slukkemethodene fungerer blir gjennomgått i kapitel 4.1 og 4.2.

### 4.1. Sprinkler

Sprinkler består av et varmfølsomt element av enten et smelteledd eller en væskefylt glassbulb. Når elementet blir varmet opp av en brann vil smelteleddet eller glassbulben sprekke grunnet væsken inni ekspander ved varme. Tetningen som da holder vannet tilbake, vil forsvinne.

Avhengig av type sprinklerampuller kan sprinkelhode utløses fra 57 til 182 grader celsius (bilde 3). Vannet som kommer ut av sprinkleren treffe en spredeplate som fordeler vannet jevnt utover sprinklerens dekningsareal (bilde 2). Vannet vil fjerne energi fra brannen ved at den fordamper. Fordampingen vil bidra til å kjøle ned brannen og sakte kvele den. Kriteriene for branntrekanten vil da ikke lenger være tilstede og brannen vil gradvis minske i størrelse og eventuelt slukke.



Bilde 2. Sprinklerhode [18]

Bilde 3. Sprinklerampuller varmegradene de sprekker på [18]

## 4.2. Brannvesenets metoder

Slukningsredskapene brannvesenet bruker for å slukke en brann varierer i forhold til hvilken brannsituasjon en møter. Dette gjør at det er viktig å ha forskjellige redskaper for å slukke en brann. Brannbilene er derfor pakket med forskjellige utstyr som kan håndtere forskjellige branner som kan oppstå. Utstyret brannvesenet bruker har som oppgave å kvele, avkjøle og fjerne brennbare materialer (branntrekanten). Brannvesenet er utrustet med branntrekk, brannteppe, skum, vifter, slepetau og i sjeldne tilfeller slukkerobot. Mye av branntrekk utstyret brannvesenet bruker blir også brukt av sivile.

### 4.2.1. Branntrekk

Branntrekk har en avkjølende eller kvelende effekt på flammene, de kan være fylt med vann (avkjølende) eller med skum (kvelende). Vann er godt egnet til å slukke branner som er i tre, papir og tekstiler. Fordeler med bruk av vann er at vann har en fordampningsvarme på  $C_f = 2259$  kJ/kg (for hvert kilo vann som fordamper, tas det 2259 kJ energi fra brannen) som gjør at det er effektivt å bruke vann mot branner. Vann er også billig å bruke og det er lett tilgjengelig. Ulemper med vann er at det har begrensning i slukking av fett, væskebranner og elektriske installasjoner. Slukking med vann kan også føre til vannskader.

Skum blir brukt for å slukke brennbare væsker og til en viss grad brann i treverk. Fordeler med skum er hurtig branntrekk, hindrer re-antennelse, sperrer for væsker som fordamper, holder seg på plass etter at brannen er slukket, lite vann og enkel opprydding. Ulemper med skum er at det kan ha skadevirkning på åndedrettet og kan føre til vannskader.

Brannslanger er å finne i bygninger som for eksempel hotell, lager, skoler og kontor samt i offentlige lokaler, garasjer og industrien. Brannslangene i bygninger er fylt med vann og har dører som kan åpnes 180 grader, slik at slangen ikke blir blokkert av døren. Brannslanger i bygninger skal ikke være lengere enn 30 meter ved fullt uttrekk. [19]

Det finnes også husbrannslanger (vann) som er å finne i boliger. Husbrannslangene er koblet til uttak i vaskerom eller under kjøkkenbenk og har innvendig diameter på minimum 10 mm.

Brannbilene til brannvesenet er ofte utstyrt med brannslanger som kan bruke vann (avkjølende) eller skum (kvelende) fra egne tanker. Brannslangene bruker imidlertid mye væske og det trengs derfor ofte en ekstern vannkilde for å dekke brannbilens behov.

Brannslanger er en effektiv måte å slukke forskjellige type brann, og blir brukt ved antennelsesfasen eller vekstfasen samt ved etterslukking. Ved tilfelle hvor brannen har kommet til fullt utviklet brann så vil brannslanger ikke ha så stor påvirkning på brannen.

#### **4.2.2. Brannslukningsapparat**

Brannslukningsapparater er et av de ulike redskapene som brukes ved slukking av brann. Det er flere varianter av brannslukningsapparater f.eks. pulverapparat, skumapparat og karbondioksidapparat (CO<sub>2</sub>). Brannslukningsapparater blir brukt av både sivile og av brannkonstabler.

Pulverapparat er et brannslukningsapparat som er veldig vanlig å finne i norske hjem. De mest brukte pulverapparatene (ABC, se tabell 4) består av en beholder med pulverkorn. Pulverapparatet binder opp varmeenergien fra brannen noe som gjør at brannen avkjøles og slukkes. Et 6 kg pulverapparat går tom på 10-20 sekunder og det trenges omfattende rengjøring etter bruk. Den største ulempen med pulverapparat er at det er ødeleggende for elektriske apparater og det er behov for stor rengjøring etter bruk siden pulveret sprer seg i hele rommet. Dette kan føre til at det er dyrere å rengjøre enn hva brannskaden påførte.

Skumapparat er mest effektivt mot slukking av væskebrann, dette er på grunn av at skumapparatet har en kvelende og kjølede effekt på branner. Skummet vil legge seg som en hinne over den brennbare væsken og stopper brannen fra å ta opp mer oksygen (kveler).

Karbondioksidapparat (CO<sub>2</sub>) er godt egnet til å slukke elektriske anlegg og datautstyr. CO<sub>2</sub> er 1,52 ganger tyngre enn luft og fortrenger dermed oksygen, noe som fører til at forbrenningsprosessen kveles. CO<sub>2</sub> griser ikke til omgivelsene, men har liten kjølede effekt [20].



Egnet mot	Pulver- apparat	Karbondioksid -apparat (CO <sub>2</sub> )	Skuma -pparat	Husbrannslang e
A: Brann i fibermaterialer som tre, papir og tekstiler.	Ja	Nei	Ja	Ja
B: Brann i væsker som diesel, olje og parafin.	Ja	Ja	Ja	Nei
C: Branner i gasser samt i elektriske anlegg inntil 1000 Volt.	Ja	Ja	Nei	Nei
F: Branner i matolje.	Nei	Nei	Nei	Nei

Tabell 4. Slukkemidler og bruksområde [20]

### 4.2.3. Branntepper

Et nyttig utstyr for å håndtere blant annet tørr-kok og bilbrann, er brannteppe (bilde 4) som er utviklet for denne typen branner. Branntepper er enkelt å bruke for to personer og er effektiv til å slukke en bilbrann i tidlig fase. Brannvesenet har som oftest branntepper på brannbilen de kan benytte ved behov. Fordelen som branntepper har i motsetning til å bruke vann eller skum er at produksjon av giftig gass og røyk reduseres og isoleres i istedenfor å bli dratt med ned i grunnen.



Bilde 4. Branntepper inne i brannbilen

Foto: privat

Det brannteppet gjør er å kvele brannen [21]. Det er viktig å påpeke at branntepper ikke slukker branner i elbil batteri hvis det har tatt fyr, men er med på å kontrollere brannen og hindre at andre deler av bilen kan ta fyr. Batteriet slukker ikke fordi når litiumion blir varmt vil det starte å produsere oksygen som følge av «Thermal Runaway» [22]. For andre biler, for eksempel dieselbiler vil branntepper klare å slukke brannen. Et greit tiltak kan være å installere brannduker

tilgjengelig i parkeringsanlegg, slik at personer som oppdager brann kan begrense brannen frem til brannvesenet kommer.

#### 4.2.4. Slepning

Ved å slepe bort nabobilen til en brennende bil vil en redusere muligheten for nytt brensel til brannen. Dette vil redusere faren for at brannen sprer seg og lette slukningsarbeidet. I parkeringshus kan imidlertid bortslepning av biler være en utfordring på grunn av begrenset tilgjengelighet.

#### 4.2.5. Slukkerobot

Slukkeroboter brukes for å hjelpe brannmenn til å slukke eller kontrollere en brann. Det finnes flere varianter av slukkeroboter, hvorav noen er små og kan bare gjøre spesifikke oppgaver (Red Rhino Robot), mens andre er store og kan gjøre flere oppgaver (LUF 60) [23]. I Norge finnes det to LUF 60 roboter (bilde 5) som brukes av brannvesenet, det er ikke registret andre type slukkeroboter i Norge. Dette er grunnet at det er dyrt å kjøpe inn, pluss at det er ganske nytt å bruke roboter til å slukke brann. Siden det er et fåtall av slukkeroboter i Norge, er det mulig at disse må transporteres over store avstander for å bli tatt i bruk.



Bilde 5 Brannrobot LUF 60 [23]

Red Rhino Robot (3R) har sensorer som kan detektere varme og bevege seg autonomt mot varmekilden. Autonom bevegelse innebærer at det ikke er behov for å styre roboten med noen fjernkontroll eller lignende. 3R er utstyrt med en kraftig dyse som spruter vann og trykkluftskum.

Pumper Firefighting Machine (PFM) tåler temperaturer opp mot 250°C i 10 minutter. PFM har en vannpumpe på 30 liter vann i minuttet og er utstyrt med 360 vanntåkedysere som gir vanntilførsel til luftstrøm. PFM kan også sørge for ventilasjon som renser røyken for brannmennene. [24]

LUF 60 har flere bruksområder til å assistere eller slukke en brann. Den er utstyrt med en vannpumpe på 2 400 liter vann i minuttet og 360 vanntåkedyser som gir vanntilførsel (400 l/min) til luftstrøm. Det kan kobles på mellom- eller tungskumrør. Kastelengde med mellomskumrør er 35 meter og med tungskumrør er det ca. 70 meter. Kastelengde med vann er på 80 meter med en vannføring på ca. 3.000 liter per minutt.

LUF 60 har også en hydraulisk 3-punktfeste foran, tilhengerfeste og slepefeste bak. Dette gjør at den kan slepe/flytte på biler som brenner [25]. Siden LUF 60 har så mye utstyr installert vil dette påvirke tyngden på roboten som gjør den tung (2 200 kg) og treg med en hastighet på 4,5 km/t [23]. LUF 60 har også en hydraulisk 3-punktfeste foran, tilhengerfeste og slepefeste bak. Dette gjør at den kan slepe/flytte på biler som brenner [25]. Siden LUF 60 har så mye utstyr installert vil dette påvirke tyngden på roboten som gjør den tung (2 200 kg) og treg med en hastighet på 4,5 km/t [23].

#### 4.2.6. Oppsummering

Metode	Type	Positivt	Negativt
Sprinkler	Avkjølende og kvelende	Kontroller brannen, automatisk, pålitelig	Dyrt, mye vedlikehold, er ikke sikkert det slukker
Brannslanger	Avkjølende eller kvelende	Brukervennlig, effektiv slukking, vann er lett tilgjengelig	Trenger mye vann, begrenset rekkevidde
Brannsluknings-apparater	Avkjølende eller kvelende	Flere varianter, Stor og rask slukkeeffekt	Rengjøring etter bruk, begrenset mengde, Kan ødelegge elektriske apparater, tungt å bære
Brannteppe	Kvelende	Miljøvennlig, effektivt	Får ikke slukket batterier, ved store branner kan det være problematisk å komme til brannen.
Sleping	Brensel	Forhindre spredning	Vanskelig å komme til.
Slukkerobot	Avkjølende, kvelende og brensel	Kan brukes på mange områder, kan sendes inn på farlige steder	Dyrt, kan være tungvint å frakte (LUF 60), noen kan være tunge og treige.

Tabell 5. Slukking oppsummering

Brannslukningsutstyr som blir brukt for å slukke en brann har mange fordeler og ulemper. Dette gjør at det er viktig å ha kunnskap om utstyret for å kunne slukke brann effektivt og kontrollert. Det gjør det viktig å ha ulike brannslukningsutstyr som kan slukke varierende typer brann hendelser. Disse blir oppsummert i tabell 5.

## 5. Brannvesenets beredskap

Det forrige kapittelet handlet om hvordan slukke en brann basert på branntrekanten og ulikt utstyr som kan bli brukt til å slukke. I dette kapittelet vil det handle om beredskap, hvor stor beredskapen må være, og om utstyr som er nyttige verktøy ved brann i parkeringshus.

Hvis en brann skulle oppstå, er det viktig å kunne håndtere denne. Det er kommunen som er ansvarlig for drift og etablering av et brannvesen som har i oppgave å håndtere og være innsatsstyrke ved branner i henhold til brann og eksplosjonsvernloven [26].

### 5.1. Beredskap og innsats

Brannvesenet er i beredskap for å håndtere uønskede hendelser. For å klare å håndtere uønskede hendelser er brannvesenet pliktet til å få opplæring og utstyr. Det er kommunen som er ansvarlig for å gjennomføre en risiko- og sårbarhetsanalyse slik at brannvesenet er tilpasset til å håndtere mulige uønskede hendelser i henhold til brann- og eksplosjonsvernloven Kapittel 3 §9. [26]. For at dette skal være mulig å gjennomføre må det etter forskrift om dimensjonering av brannvesen [27] gjennomføres «praktiske og teoretiske øvelser med slik hyppighet, omfang og innhold at personellens kompetanse blir vedlikeholdt og utviklet slik at den er tilstrekkelig til at brannvesenet kan løse de oppgaver det kan forventes å bli stilt overfor». I forbindelse med garasjebranner er det derfor viktig at brannvesenet har trening og opplæring på slike hendelser.

Den beste sjansen til å bekjempe en brann er så tidlig slukking som overhodet mulig. Av den grunn er det satt krav til hvor lang innsatstiden skal være fra brannstasjonen og til ulykkesstedet. I veiledning til forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen §4-8 er innsatstiden delt inn i tre kategorier. Den første er i tettbebygde strøk hvor det er fare for hurtig og stor spredning, for eksempel sykehus eller sykehjem. Innsatstiden er da satt til å være inntil 10 minutter. I visse tilfeller kan tiden forlenges om bygningen har utført tiltak som tar høyde for den økte risikoen.

For den andre kategorien innebærer dette de resterende bygningene i tettbebygd strøk som ikke er preget av fare for rask og omfattende brannspredning. Innsatstiden skal da ikke gå over 20 minutter. Til slutt er det innsatstiden til utenfor tettbebygde strøk. Disse stedene blir fordelt mellom seg innad i regionen slik at det er nærmeste beredskap som rykker ut, disse er ikke nødvendigvis fra samme kommune. Tiden bør ikke overstige 30 minutter, men noen steder i Norge lar det seg ikke gjøre grunnet store avstander [28].

En brann vokser radig og kan bli svært stor i løpet av 10-20 minutter. Dersom brannvesenet har lang vei før de er ankommet brannen, kan det allerede være for sent og det vil ikke lenger være mulighet til å slukke brannen, men heller å hindre brannen i å spre seg ytterligere. Det er ikke forsvarlig at brannvesenet må kjøre fortere enn det de allerede gjør, da er det bedre å benytte sannsynlighetsreducerende tiltak så brannvesenet slipper å rykke ut i utgangspunktet. Ved å

utføre tilsyn regelmessig, er det mulig å identifisere og eliminere sjansen for brannen i det hele tatt å oppstå.

## 5.2. Antall personell

Når det kommer til beredskapen skal innsatsstyrken være på minst 16 personer, hvorav fire er kvalifiserte utrykningsledere. Et vaktlag består da av én utrykningsleder og tre brannkonstabler/røykdykkere, og med eventuell støttestyrke som består av én fører for tankbil og stigebil/snorkel. Hvordan vaktberedskapen skal dimensjoneres avhenger av antall innbyggere i tettsteder, se tabell 6 [27].

Innbyggere [personer]	Vaktberedskap
Inntil 3 000	Deltidsordning uten fast vaktordning. Kan til tider opprettes lag med dreierende vakt når oppmøte ved alarmering ikke er tilstrekkelig.
3 000 – 8 000	Deltidspersonell med dreierende vakt.
8 000 – 20 000	Heltidspersonell med kasernert vakt ved normal arbeidstid. Utenfor normal arbeidstid kan det benyttes deltidspersonell med dreierende vakt.
Mer enn 20 000	Heltidspersonell med kasernert vakt. Støttestyrke kan være deltidspersonell med dreierende vakt.

Tabell 6. Dimensjonering av beredskap

Antall vaktlag er også avhengig av innbyggere. Det skal være minst ett vaktlag og nødvendig støttestyrke når det er mellom 3000 og 50 000 innbyggere. Fra 50 000 til 100 000 skal det være minimum to vaktlag og nødvendig støttestyrke. Fra 100 000 og oppover skal det være minst tre vaktlag og nødvendig støttestyrke, og deretter et ekstra vaktlag og støttestyrke for hver 70 000 innbygger.

## 5.3. Utstyr ved garasjebranner

Her vil noen av utstyret til brannvesenet som er nyttige verktøy ved spesielt garasjebranner bli presentert.

### 5.3.1. Varmesøkende kamera

Hovedproblemet for brannvesenet når det kommer til garasjebranner er den store røykproduksjonen som gjør det vanskelig å se og orientere seg i rommet og lokalisere brannen. Et verktøy for å hjelpe mot dette, er å benytte seg av infrarødt kamera (IR kamera) også kalt for varmesøkende kamera som blir vist ved bilde 6.



Bilde 6. Brannvesenets IR kamera av merket Dräger

Foto: privat

Fordelen med kamera er at varme branngasser blir oppdaget gjennom røyken og kan derfor hjelpe med å lokalisere brannen raskt, samtidig gjør kameraene innsatsen mer effektiv og mindre belastende for røykdykkerne. Det finnes likevel noen ulemper med IR-kameraene, blant annet at det fungerer dårlig på glass, noe som resulterer i at en ser sin egen refleksjon. Andre ulemper fremkommer når det er meget tett og kraftig røyk, som for eksempel ved garasjebranner. De infrarøde strålene fra brannen går dårligere gjennom røyken, samtidig som skjermen blir vanskeligere å se og tyde. [29]

### 5.3.2. Vifter

En måte for brannvesenet å håndtere røykgassen er å bruke mekaniske vifter (bilde 7) for å ventilere ut brannen. Dette gjøres ved å bruke mekaniske vifter utenfor en åpning av et bygg. Når en setter på en vifte og sender inn frisk luft inn i rommet skaper en overtrykk og røyken vil bli ventiler ut i en utluftsåpning på grunn av trykkforskjeller [30].



*Bilde 7. Eksempel på vifte som blir brukt av brannvesen.*

*Foto: privat*

Teknikken har fått navnet overtrykksventilering. Overtrykksventilering har en del fordeler og begrensninger. Fordelen er at man kan lufte røyk, noe som gjør det lettere å lokalisere brannen. Ulempen er at man må ha god kjennskap til brannsituasjonen og bygget. Hvis brannen er ventilasjonsstyrt og det er mangel på oksygen vil tilførsel av luft føre til at brannen øker i intensitet [31]. Det er da bedre å benytte overtrykksventilering når brannen er brenselstyrt, da er det muligheter til å ventilere ut branngassene før de får antenne. Åpningen av utluftingen er også viktig. Det er mest optimalt at brannen er nær en åpning, og sørge for at det er en åpning det er mulig å lufte ut, slik at røykgassene ikke kommer i retur.

For parkeringsgarasjer er denne metoden noe mer variert eller begrenset. Det er ikke gunstig å bruke dette i garasjer hvor det er kun en åpning som fungerer som innkjøring og utkjøringsrampe for biler. Dersom trapperom er tilgjengelig, og en velger å benytte seg av dette som innsatsvei, kan det være nyttig å bruke en vifte inn i trapperommet for å skape et overtrykk og hindre røykstrømning der inne.

## 6. Eksempler på branner i parkeringsanlegg

I dette kapitlet kommer det frem tidligere hendelser som har oppstått i Norge og i andre land. Det kommer frem hva som var bra og hva som kunne ha blitt gjort bedre eller på en annen måte. Gjennom historien har det vært flere branner i parkeringsanlegg, både åpne og lukkede. I denne oppgaven er det kun tatt med seks eksempler. De forskjellige hendelsene er: Karmsund brygge (2009), to relativt like branner i Nederland og Luxemburg (2014), Trondheim (2014), King's Dock i Liverpool (2017) og dagsaktuelle Sola brannen i Stavanger (2020). Hensikten med kapitlet er å ta lærdom av tidligere feil og fremheve tiltak som har vist seg å være effektiv i bekjempelsen av en brann.

### 6.1. Karmsund brygge – 2009

Natt til søndag 10 mai 2009, ble det meldt inn til 110-sentralen i Haugesund om brann og sterk røykutvikling fra et garasjeanlegg på Karmsund brygge. Karmsund brygge var den gang et nytt boligkompleks bestående av fem blokker hvor alle har tilgang til et felles parkeringsanlegg under bakkenivå.

Brannen, som startet i parkeringsanlegget ble registrert av en detektor klokka 03:17 ifølge brannsentralen. Brannalarmsentralen hadde på dette tidspunktet ingen direkteoverføring til brannvesenet og kunne dermed ikke vite om noen brann før noen meldte dette inn til 110-sentralen. Helt tilfeldig, skulle en av beboerne opp for å amme en baby, da merket vedkommende røyklukt og hørte alarmen som kom fra parkeringskjelleren. De gikk ut for å undersøke og så at det kom røyk fra kjelleren. Klokka 04:13, ble det varslet inn til 110-sentralen. Røyken spredte seg til alle trapperommene i de fem blokkene og alle beboere ble evakuert. Bygget var prosjektert slik at trapperommene var de eneste mulige rømningsveiene.



*Bilde 8. Karmsund brygge  
Foto: Haugesund Avis*



Da brannvesenet ankom stedet, stod det tjukk sort røyk (se bilde 8) ut av parkeringsanlegget. Det ble derfor vanskelig for brannvesenet å lokalisere brannen. Måten de lokaliserte den på var ved å lytte til betongen som ga fra seg lyd da betongen sprakk, grunnet den høye temperaturen. Etter at brannen omsider ble funnet fikk de kontroll og meldte den som slukket klokka 05:58. Brannen bestod av tre biler, en motorsykkel og flere boder. I tillegg gjorde brannen en del skader i garasjen, spesielt taket over brannen. Etter at brannen ble meldt slukket ble det iverksatt ventilering for å fjerne røyk og andre giftige gasser. Omkring 07:30 kunne beboerne returnere tilbake til leilighetene sine.

Det ble meldt ifra om at det kom røyk i alle trapperom til boligkomplekset, noe som strider mot den branntekniske prosjekteringen som tilsier at trapperom skal være et sikkert sted å gå igjennom uten å bli påvirket av brannen for å sikre evakuering og innsatspersonell (TEK 17 §11-11 første ledd). Bygget ble prosjektert slik at det kun var ett trapperom per oppgang.

I løpet av den tiden brannen startet og frem til brannvesenet ankom stedet, hadde brannen fått utviklet seg fritt i ca. 1 time og 15 min. På denne tiden hadde spredningen av brannen blitt relativt liten, men røykproduksjonen var høy. Røyken gjorde det som nevnt tidligere problematisk å finne ut hvor brannen var. Den massive røyken i kombinasjon med et underjordisk parkeringsanlegg vil medføre at det vil være lite oksygen igjen der brannen startet, og kan forklare hvorfor det ikke var noe større spredning. Røyken som spredte seg til trapperommene kunne ha ført til fatale konsekvenser, men tilfeldigheter gjorde at brannvesenet ble kontaktet i tide.

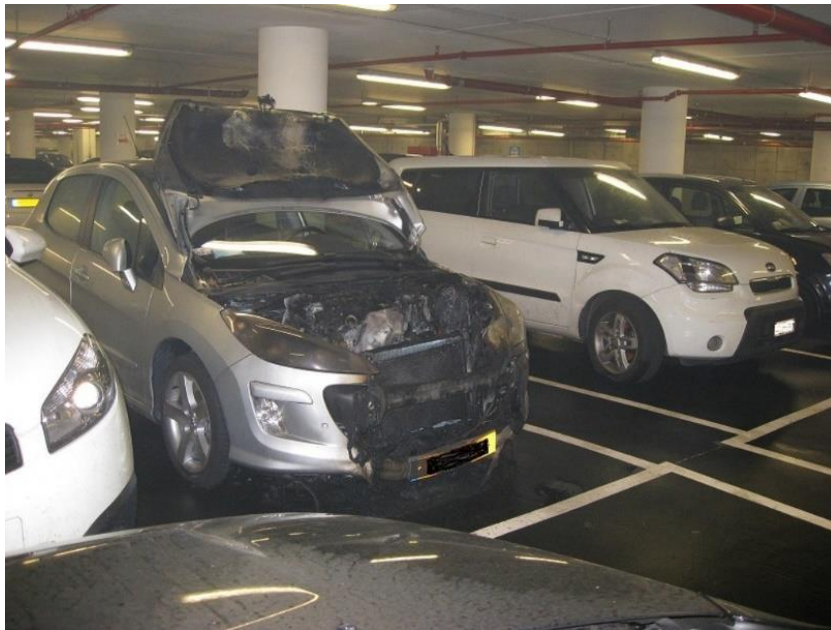
Natten brannen oppstod var det registrert 129 beboere i komplekset, men det var kun 85 personer som var hjemme under hendelsen. En hendelse som kunne gått mye verre enn det den gjorde. Alle menneskene kom seg ut i sikkerhet, to personer måtte til sykehuset med lettere røykskader [32].

## 6.2. Nederland & Luxemburg – 2014

Lørdag 16 august 2014 oppstod det en brann i en underjordisk parkeringsgarasje i den Nederlandske byen Harderwijk. Det ble ingen spredning av brannen da parkeringsanlegget var utstyrt med et sprinkleranlegg, hvor to av sprinklerhodene ble utløst og klarte å kontrollere brannen, videre gjorde ventilasjonssystemet at brannvesenet hadde god nok sikt til å fullføre slukningen.

Det var ikke noe krav til å utstyre garasjen med sprinkler, men eierne av bygget så en økonomisk fordel grunnet et potensielt tap av inntekt ved større skader på bygningen. Parkeringskjelleren bestod av 6 etasjer under bakkenivå med et samlet areal på 12 000 m<sup>2</sup> og plass til 450 kjøretøy.

Samme år var det et likt brannscenario i et garasjeanlegg i Luxemburg. Her ble også brannen kontrollert av et sprinkleranlegg og brannvesenet ankom for å fullføre slukningen [33].



Bilde 9. Bilde av bilen etter brannvesen har gjennomført slukking i Luxemburg

Bilde 9 er hentet fra en Luxemburgsk nettavis (Luxemburg Times). Her er det tydelig at det har vært en høy temperatur i motorrommet, men det har allikevel ikke spredd seg til noen av bilene ved siden av. Sprinkleranlegget har dermed gjort en god jobb med å kontrollere brannen som oppstod, og i tillegg forhindre brannen i å spre seg ytterligere. Man ser også at sprinkleranlegget har klart å begrense brannen til motorrommet.

### 6.3. Trondheim – 2014

I februar 2014 sto nødetatene i Trondheim ovenfor to biler som brant i en parkeringskjeller. Brannen holdt seg sentrert til disse to bilene takket være sprinkleranlegget. Det var en fare for større spredning siden det var mange biler i garasjen, men brannvesenet slukket brannen før det ble til en realitet. Garasjen lå under to boligblokker hvor det lå rundt 100 personer og sov da brannen oppstod på nattetid. Politi og brannvesen mistenkte at røyk kunne komme seg inn i ventilasjonsanlegget og vurderte å evakuere alle beboerne.

Det endte ikke med noen evakuering, beboerne ble derimot vekket og varslet om brannen som befant seg under dem. To bergingsbiler ble bestilt for å slepe ut bilene (bilde 10) som hadde brent. Opptil flere av bilene i garasjen ble skadet som følge av røyk og bruk av pulver som slukkemiddel. Konsekvensene av denne uønskede hendelsen kunne vært betydelig større i form av liv som kunne gått tapt, og økt skade på materiell og miljø som følge av en større brann [34].



*Bilde 10. Brannskadet bil som blir slepet ut  
Foto: Joakim Slettebakk Wangen*

#### **6.4. Kings Dock i Liverpool – 2017**

I den engelske storbyen Liverpool, oppstod det en brann i «Kings Dock Car Park». Et åpent parkeringsanlegg hvor en bil antente på dagen den 31 desember 2017. Bygningen bestod av 8 etasjer og brannen startet i 3. etasje. Grunnet et arrangement var det hester i 1. etasje. Hester er store dyr som kan være utfordrende å få kontroll på hvis de blir redde. Ingen hester ble skadet under brannen. Parkeringsanlegget var ikke sprinklet og detektorer var plassert feil fysisk i forhold til brannalarmsentralen. Dette medfører at innsatsstyrker får feilaktig informasjon om hvor brannen er lokalisert.



*Bilde 11. King's Dock, Liverpool parkeringsanlegg  
Foto: Fire and risk management [35]*

Etterforskning har i senere tid funnet frem til at avløpssystemet var en medvirkende faktor til at brannen spredte seg så hurtig som den gjorde. Avløpssystemet, som har i hovedoppgave å føre vekk overflødig vann fra de ulike etasjene. Systemet var laget av aluminium og albuerør av plast, ved høye nok temperaturer vil begge disse materialene smelte og varme gasser kan spre seg enkelt mellom etasjene. Senere i brannforløpet viste det seg at geometri og bilrampens design kombinert med rennende brennbare væsker var medvirkende årsaker til brannspredningen.

Fra overvåkningsbildene kan en se at flere personer er vitne til brannen uten å handle. Det går lang tid før det blir varslet til nødetater. Ved et tilfelle var det en person som parkerte ved brannen, vedkommende slo av bilen i ca. 30 sekunder, for så å innse hva som skjer og dermed bestemte seg for å parkere en etasje over. Personen valgte heller ikke å varsle andre om brannen. Det var to sykepleierstudenter som ringte inn først. Da de oppdaget brannen varslet de nødetater, kjørte ut av bygningen og deretter varslet parkeringsvaktene.

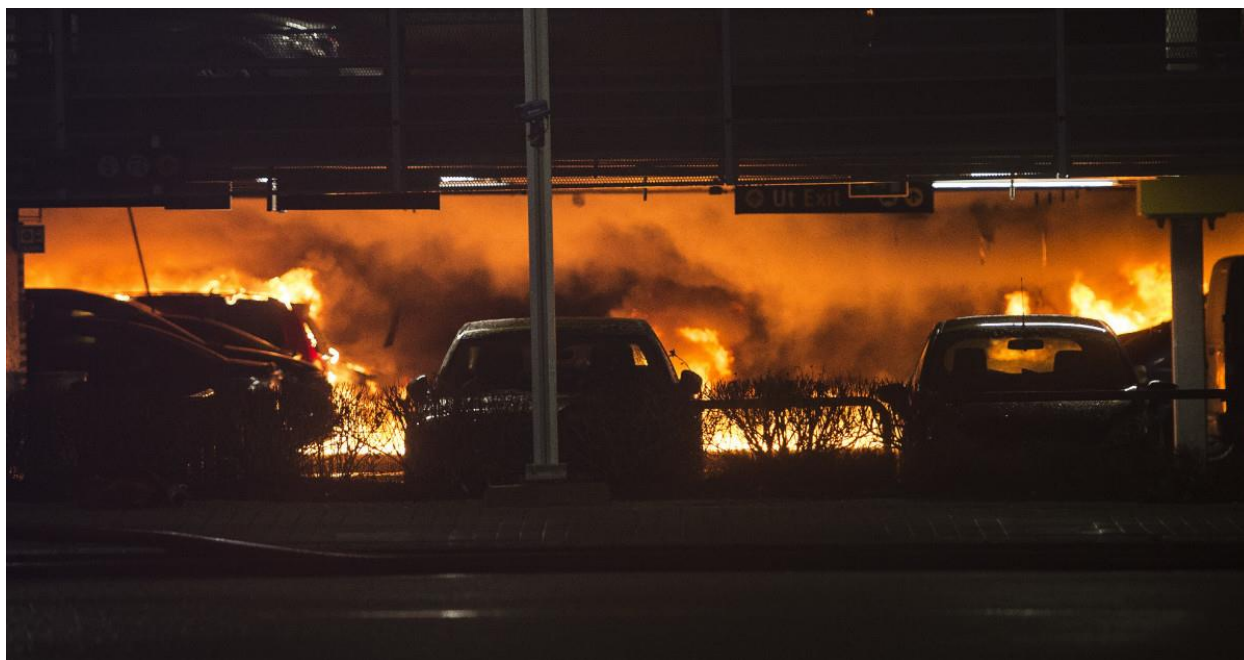
Garasjen hadde eget personale. Disse bidro til sikker evakuering av sivile og hadde et eget vaktlag som bistod med sitt eget utstyr og biler. Dette lignet veldig mye på det vanlige brannvesenet sitt. Av den grunn trodde sivile at nødetater allerede var på plass, og det ble dermed færre folk som ringte inn [36]. Ved at det var relativt få innringere, kan det ha blitt antatt at det ikke var behov for noen forsterkninger før det var for sent, og ikke lenger mulig å få kontroll på brannen, gjenspeilet i bilde 11.

Sommeren 2018 ble det planlagt å bygge et nytt anlegg for å erstatte det gamle som brant. Det nye skal ha flere parkeringsplasser, fra 1400 til 1650, fordelt på 9 etasjer. Den nye parkeringsgarasjen skal utstyres med overvåkningskamera, ladestasjoner for elbiler og sprinklersystem [37]. Dersom en lignende uønsket hendelse skulle oppstå i det nye anlegget, vil sprinkleranlegget begrense brannen og skadeomfanget høyst sannsynlig bli kraftig redusert i forhold til den opprinnelige brannen.

## 6.5. Sola – 2020

Den 7 januar 2020, kom det frem at det kan oppstå større brannrelaterte ulykker i Norge også. Parkeringsanlegget ved Stavanger lufthavn Sola viser til dette (se bilde 12). Selve anlegget bestod av tre deler som ble bygget i tre ulike byggetrinn. Brannen starte i den midterste delen og kunne spre seg fritt ettersom at det ikke var montert sprinkleranlegg og heller ikke noe brannalarm med direkteoverføring til brannvesenet. Sivile mennesker som ikke varsler og

mangelfull direkteoverføring gjorde at det tok relativt lang tid før brannvesenet ble varslet om brannen i parkeringshuset (8 minutter).



*Bilde 12. Sola parkeringsanlegg  
Foto: Carina Johansen [38]*

Innen brannvesenet ankom stedet hadde brannen allerede vart i rundt 20 minutter og rukket å spre seg til flere biler. Brannvesenet fikk god assistanse fra Avinor som hadde egne brannbiler «panther fire truck» som viste seg å være meget effektive mot brannen. Det er svært sannsynlig at skadeomfanget hadde blitt redusert om ikke mennesker hadde handlet etter «skal bare» prinsippet. Det var flere som gikk inn i parkeringshuset for å hente ting ut av bilene sine, noe som medførte at Avinor ikke kunne bruke sine biler på full styrke ettersom at det hadde gjort skade på personer. Brannen kunne dermed utvikle seg mer eller mindre uhindret. Fremdeles er det ikke sikkert at Avinor hadde vært i stand til å slukke brannen uavhengig om mennesker gikk i veien eller ikke.

## 7. Regler for brannsikring av garasjer

Det norske regelverket for brannsikkerhet når det kommer til oppføring av bygg, er *Teknisk forskrift 17 (TEK17)* [19] med veiledningen *Veiledning til Teknisk forskrift 17 (VTEK 17)* [1]. Regelverket er funksjonsbasert, som betyr at det beskriver målet som skal oppnås, men ikke detaljert hvordan [39]. I VTEK 17 angis preaksepterte ytelser på hvordan funksjonskravene kan oppnås.

### 7.1. Brannsikkerhetsstrategi

Generelt skal brannsikring av bygg, i henhold til TEK 17 gjøres med hensyn på personsikring, verdisikring og tilrettelegging for brannvesenets innsats [19].

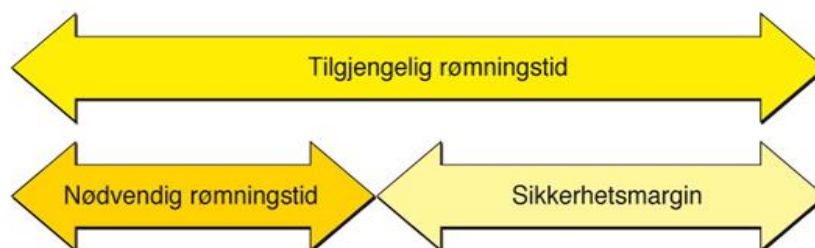
I henhold til VTEK17 kan dette gjøres ved følgende: [1]

- Det benyttes materialer og produkter som ikke gir uakseptable bidrag til utvikling av brann,
- byggverket, bygnings- og installasjonsdelene utformes slik at brannspredningen begrenses,
- byggverket utformes med sikte på rask og sikker rømning ved brann, og
- byggverket tilrettelegges for rask og effektiv rednings- og slukkeinnsats.

Krav som gjelder personsikkerhet vil imøtekommes ved bruk av passive og aktive tiltak som reduserer nødvendig rømningstid og øke tilgjengelig rømningstid. Slike tiltak vil vanligvis også øke verdisikringer for bygninger. Kravene for personsikkerheten gjelder også sikkerheten til slukke- og redningsmannskaper.

#### 7.1.1. Personsikkerhet

Personsikkerhet i bygninger er viktig med hensyn til å få personer til sikkerhet. I Norge prosjekteres det med at den tilgjengelige rømningstiden skal være lengre enn den nødvendige rømningstiden, med en tilfredsstillende sikkerhetsmargin (figur 12) [1]. Den tilgjengelige rømningstiden kan økes med for eksempel sprinkleranlegg [40] og nødvendig rømningstid kan reduseres ved hjelp av for eksempel talevarslingsanlegg [41].



Figur 11. Tilgjengelig- og nødvendig rømningstid [1]

Personersikkerheten i underjordiske garasjer i Norge ivaretas med strategiske plasserte utganger og et tilstrekkelig antall utganger. Minstekravet er 2 trapperom (tr2), med mindre utgang fra hver etasje som leder til sikkert sted er tilgjengelig.

Det er krav om brannalarmanlegg når bruttoareal er større enn 1200 m<sup>2</sup>. Varslingsanlegget vil hjelpe til å redusere nødvendig rømmingstid.

Likevel må fluktveien ikke overstige 50 meter til nærmeste utgang. Det betyr i praksis at store åpne parkeringsareal må ha flere utganger (trapperom) hvis fluktveien overstiger 50 meter iht. VTEK §11-13 (1). Sammen med dette kravet, stilles det også krav til ledesystem i bygninger for publikum [1]. Ledesystemet vil hjelpe personer å vise veien til utgangene. I en parkeringskjeller er det oftest åpent areal, så det skal være enkelt å orientere seg til et utgangsskilt.

I parkeringsgarasjer forventes det sporadiske personopphold. Personer parkerer bilen, og deretter forlater parkeringsareal. I den forstand vil det aldri være mange personer som oppholder seg i parkeringshuset på samme tid. Unntak vil være når store arrangementer (konserter, festivaler o.l.) er over og når en stor personstrøm skal hjem samtidig. Dette bør vurderes av arrangement ansvarlig, og ikke inngå for dimensjonering av persontallet i en parkeringskjeller.

### 7.1.2. Verdisikkerhet

Hensikten er å begrense de økonomiske tapene som kan oppstå ved en eventuell brann. Nøkkelord for dette er å begrense brann- og røykspredning i bygget. Dette kan blant annet gjøres ved å dele et bygg inn i brannseksjoner, som igjen deles inn i flere brannceller, og ved å benytte seg av aktive brannsikringstiltak.

Ettersom at det norske regelverket er mer funksjonsbasert [39] gjør dette at nesten alle parkeringsgarasjer bygges forskjellig både planmessig og arkitektonisk. Normalt består en parkeringsgarasje av en branncelle hvor alle bilene er oppbevart. Eventuelt hvor det er flere virksomheter i bygget, er parkeringsarealet skilt ved benyttelse av brannseksjoner.

Maksimal størrelse per etasje før det må installeres seksjoneringsvegg er også avhengig av hvilke aktive brannsikringstiltak som er brukt og brannenergi i seksjonen. For parkeringsgarasjer er det stor variasjon i hvor mye brannenergi som er lagret avhengig av antall biler, men kan antas å ligge innenfor middels brannenergi (50-400 MJ/m<sup>2</sup>). Da kan størrelsen på brannseksjonen være inntil følgende m<sup>2</sup> per etasje:

Tiltak	Ingen tiltak	Brannalarmanlegg	Røykventilasjon	Sprinkleranlegg
Tillat størrelse på seksjon per etasje [m <sup>2</sup> ]	1200	1800	4000	10000

Tabell 7. Seksjoneringskrav og aktive tiltak middels brannenergi

### 7.1.3. Tilrettelegging for brannvesenets innsats

En viktig del av bygnings-sikkerheten ved brann er å ivareta brannvesenets sikkerhet ved innsats. Selv om alle personer i bygget er ute og i sikkerhet, skal brannvesenet inn å gjøre en innsats for å begrense skadene. I det norske regelverket *Teknisk forskrift* er det et eget kapittel som går på tilrettelegging for brannvesenets innsats [19].

Under veiledningen til dette kapitlet er det et spesielt avsnitt under funksjonskravet «Byggverk skal tilrettelegges slik at en brann lett kan lokaliseres og bekjempes.» [1]. Her er det et eget avsnitt som går nøyaktig inn på krav som må stilles for parkeringskjellere. Årsaken til dette er fordi en brann i en parkeringskjeller er vanskelig å bekjempe eller håndtere. Det produseres masse røyk fra for eksempel biler som brenner, og det er begrenset med utluftningsmuligheter for denne røyken.

For å håndtere røyken settes det noen krav til røykventilasjon i parkeringskjellere. Det som avgjør hvilket tiltak som skal iverksettes for å håndtere røyken handler om størrelsen på parkeringsgarasjen og hvorvidt det er installert sprinkleranlegg. Hvis parkeringskjelleren har sprinkleranlegg er det nok med kun naturlig ventilasjon, det samme gjelder hvis bruttoarealet er mindre enn 400 m<sup>2</sup>. Hvis ikke et av disse er oppfylt må det være mekanisk ventilasjon.

I sammenheng med ventilasjon stilles det også noen krav til angrepsveien til brannvesenet. Det er viktig at det må minst være en angrepsvei hvor man kan nå alle deler av bygget med 50 meter slangeutlegg. Problemet med dette kravet er at i mindre parkeringsgarasjer er det tilstrekkelig med en angrepsvei, og det er ved denne åpningen røyken også kommer ut, noe som gjør at ved en tidlig innsats blir det uoversiktlig for brannvesenet.

For at brannvesenet skal klare å kommunisere i en eventuell parkeringskjeller som går flere planer under bakken må det tilrettelegges for at radiodekningen er tilfredsstillende. Det er ofte store betongelementer i slike bygg som blokkerer signaler. Dersom det blir problemer med sambandet må det tilrettelegges med tekniske installasjoner slik at det er mulig.

## 7.2. Preaksepterte løsninger for garasjer

De preaksepterte løsningene beskriver normalt samme løsningene for alle bygg avhengig av risikoklasse og brannklasse, men med noen særskilte unntak for bygg i en spesiell brukertype. Parkeringskjeller er en slik særskilt brukertype og har følgende preaksepterte løsninger fremstilt på neste side:



§11-2	Parkeringskjeller risikoklasse 2
§11-12	For parkeringshus, garasje og parkeringskjeller gjelder kravet om brannalarmanlegg når samlet bruttoareal er større enn 1 200 m <sup>2</sup> (RKL1)
§11-13	Parkeringshus og garasje i risikoklasse 2 med inntil 8 etasjer, som må ha minst to trapperom Tr 2 dersom det ikke er utgang fra hver etasje til sikkert sted.
§11-17	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. I parkeringskjellere som har bruttoareal mindre enn 400 m<sup>2</sup> eller har et automatisk sprinkleranlegg, er det tilstrekkelig med normal ventilasjon (klima- og eksosventilasjon).</li> <li>2. parkeringskjellere uten automatisk sprinkleranlegg og med bruttoareal større enn 400 m<sup>2</sup> må ha røykventilasjon. Dette kan være termisk røykventilasjon, eller mekanisk røykventilasjon basert på lateralt eller langsgående ventilasjonsprinsipp.</li> <li>3. Mekanisk røykventilasjon må ha ventilasjonsretning vekk fra inn- og utkjøringsrampe til parkeringskjelleren og til røykutkast i motsatt ende av rommet. Røykutkast må plasseres slik at røykspredning til overliggende byggverk unngås i størst mulig grad.</li> <li>4. Røykventilasjonen må dimensjoneres slik at det oppnås en lufthastighet i alle deler av rommet som hindrer tilbakestrømming av brannrøyk, normalt minst 1,0 meter per sekund.</li> <li>5. Antall og plassering av brannvesenets angrepsveier til parkeringskjellere må være slik at alle deler av parkeringskjellere kan nås med maksimalt 50 meter slangeutlegg fra angrepsvei. Dersom en kjeller inneholder to eller flere brannseksjoner, må det være minst én angrepsvei til hver brannseksjon.</li> <li>6. Angrepsvei må være uavhengig av rømningsveier. Unntak gjelder rømningsveier som bare betjener parkeringskjellere dersom parkeringskjellere har automatisk sprinkleranlegg.</li> <li>7. Det må være en egen branncelle mellom heissjakt og parkeringskjellere. Denne branncellen kan ikke være en del av brannvesenets angrepsvei. For parkeringskjellere over 400 m<sup>2</sup> må branncellen utføres som brannsluse.</li> <li>8. Angrepsveier (trapperom) til parkeringskjellere med plan under øverste kjellergulv må ha brannsluse med tørropplegg for slokkevann på hvert plan.</li> <li>9. Angrepsvei må være skilt fra resten av byggverket med murte eller støpte bygningsdeler med brannmotstand minst EI 60 A2-s1,d0 [A 60].</li> <li>10. På vegg ved inn- og utkjøringsrampe og i alle angrepsveier må det må være en lett synlig orienteringsplan for parkeringskjellere. Planen må inneholde nødvendig informasjon om brannskillende bygningsdeler, rømnings- og angrepsveier, slokkeutstyr og branntekniske installasjoner (alarm- og slokkeanlegg).</li> </ol>

Tabell 8. Særskilte preaksepterte løsninger for underjordisk parkeringsgarasjer VTEK 17 [1]

De særskilte preaksepterte løsningene er utarbeidet etter problemstillinger som oppstår ved branner i parkeringskjellere. For eksempel i §11-17 er det krav om røykventilasjon når bruttoareal er over 400 m<sup>2</sup>. Kravet kommer av at det er stor røykproduksjon fra en bilbrann. Mye

røyk i store rom kan gjøre det komplisert for brannvesenet å lokalisere og bekjempe brannen. Røykventilasjon er da et tiltak som tilrettelegger for brannvesenets innsats.

### 7.3. Brannsikring av garasjer i utlandet

Dette kapittelet kommer til å omhandle regelverk om parkeringsgarasjer i ulike land i verden. Det er viktig å ha faste regelverk når det blir satt opp nye bygninger som er så store at det er plass til over tusen biler. Hadde det ikke vært oppført noen regler rundt dette ville den potensielle faren for brann og bygningskollaps økt. De ulike regelverkene som er blitt undersøkt, er Belgias, Danmarks, Nederlands, Tyskland og USAs, samt et internasjonalt regelverk som heter International Building Code (IBC).

Ulike land, har ulike regelverk. Det er flere av de samme tiltakene som går igjen. Dette er fordi de aktuelle tiltakene har vist og ha størst effekt når det kommer til brannsikkerhet. Disse tiltakene omfatter: brannalarmanlegg, bæresystem, deteksjon, sprinkler og ventilasjonssystem. I nyere tid har teknologien utviklet seg slik at det har blitt mer og mer vanlig med bruk av alternativt drivstoff i kjøretøy, eksempler på dette er elektrisitet og gass. Dette medfører andre farer slik som vanskeligheter med å slukke og eksplosjoner av større skala.

Største forskjellen mellom utenlandske regelverk og norske, er at de utenlandske tar for seg brannsikkerhet i hver enkelt type bygg, eksempler garasjer, skoler og forsamlingslokaler. I Norge er det et regelverk som gjelder generelt for alle typer bygg, men med noen spesifikke punkter for noen typer bygg. Generelt sett er det altså like regler der brann og risikoklasse er like for Norge. I flere europeiske land er det ikke tillatt å parkere LPG-biler (gassdrevne biler) i parkeringsbygg. Tall fra SSB sier at det var oppført 233 gassdrevne biler i Norge per 2019 [14], dette er relativt få opp imot biler med andre drivstofftyper som ble illustrert i figur 7, personbiler i Norge. Siden det er så få gassdrevne biler i Norge er det ikke oppført noe om disse i det norske regelverket, i motsetning til andre europeiske land hvor det er betydelig flere gassdrevne biler [42].

#### 7.3.1. Belgia

Kravene som er satt angående lukkede parkeringskjellere i Belgia er veldig konsise og det er i liten grad frie tøyler til å benytte andre branntekniske løsninger enn de som er oppgitt i forskriftene. Disse må eventuelt tillattes og godkjennes av brannvesenet eller myndigheter.

På lik linje med flere land benytter de i Belgia brannalarmanlegg, røykventilasjon, tørt sprinkleranlegg og sprinkleranlegg. Akkurat når de ulike tiltakene trer i kraft avhenger av arealet per seksjon til parkeringsgarasjen. Hvis arealet går over 1500 m<sup>2</sup> vil det bli krav om brannalarmanlegg, og øker det til over 2500 m<sup>2</sup> kommer kravet om røykventilasjon. Ventilasjonsanlegget skal for parkeringsgarasjer som er større enn 1000 m<sup>2</sup> ha en kapasitet på minst 120 000 m<sup>3</sup>/time.

Om arealet går over 3500 m<sup>2</sup> blir det krav om tørt sprinkleranlegg. Et tørt anlegg vil si at det ikke er vann i rørene grunnet fare for frost, et tørt anlegg vil ha en redusert responstid i forhold til vått

sprinkleranlegg. Det kommer av at det er brannvesenet som utløser tørt anlegg manuelt. Det er først krav om vanlig sprinkleranlegg (våtanlegg) når arealet per seksjon overstiger 9260 m<sup>2</sup> eller om nederste plan er lenger enn 15,24 meter under bakkeplan.

I Belgia var det tidligere forbudt med å parkere en gassdrevet bil i et parkeringshus. Her har regelverket endret seg, det er opp til eieren av bygget å avgjøre om det skal være tillatt å parkere en gassdrevet bil i sitt parkeringsanlegg eller ikke. Ved å tillatte dette vil risikoen øke, i tillegg vil forsikringspremien også øke, altså dyrere forsikring per år [43].

### 7.3.2. Danmark

I Danmark benyttes det et regelverk som minner litt om den norske TEK 17 i oppsett, hvor det er delt inn i flere deler med ulike temaer ved konstruksjon av nye bygninger. I motsetning til TEK 17 så blir Danmarks bygningsreglement delt inn i ulike bygg for seg selv i en egen veiledning. Parkeringshus blir delt inn i Bruksområde 1 og 3, samt risikoklasse 1 til 3 og brannklasse 1 og 2. Dette blir illustrert i tabellen nedenfor.

	Brannklasse 1	Brannklasse 2		
	Risikoklasse 1	Risikoklasse 1	Risikoklasse 2	Risikoklasse 3
<b>BO 1</b>	Bygninger med høyst 1 etasje over og under terreng og Bygningen samlede etasjeareal er maksimalt 600m <sup>2</sup>	Bygninger med høyst 1 etasje over og under terreng og Bygningen samlede etasjeareal er større enn 600m <sup>2</sup>	Bygninger med gulv i øverste etasje høyst 9,6 meter over terreng og 1 etasje under terreng	Bygninger med gulv i øverste etasje mellom 9,6 og 45 meter over terreng og høyst 1 etasje under terreng
<b>BO 3</b>	Ikke mulig	Ikke mulig	Bygninger med høyst 1 etasje over og under terreng og antall av personer i bygningsavsnitt med felles fluktvei må være høyst 1000 personer	Bygninger med gulv i øverste etasje høyst 22 meter over terreng og høyst 1 etasje under terreng, og høyst 150 personer i bygningsavsnittet eller bygninger med høyst 2 etasjer over terreng og høyst 1 etasje under terreng, og høyst 1000 personer i bygningsavsnittet

Tabell 9. Klassifisering av bruksområde, brann- og risikoklasse

Avhengig av hvilken klasse bygge tilhører bestemmer hva slags tiltak som skal iverksettes for å sikre menneskelige verdier. For bruksområde 3 (BO 3) og risikoklasse 2 og 3 skal det utstyres varslingsanlegg. I tillegg, med mindre alle oppholdsrom går ut til det fri, skal det være talevarsling om bygget er beregnet for over 150 personer. Det er mulighet for å bygge flere

etasjer under terreng, men dette vil ikke være en preakseptert løsning og fraviksløsningen må godkjennes av en brannrådgiver. Selve bygget vil da gå inn under brannklasse 3 eller 4.

For bruksområde 1 og risikoklasse 3, gulv i øverste etasje mer enn 22 meter over bakkeplan, skal rømningstrapper utstyres med panikkbelysning. Bruksområde 3 og risikoklasse 2-3, gjelder for oppholdsrom til mer enn 150 pers og omfatter fluktveisbelysning av utganger og panikkbelysning av gangareal som fører til utgang.

Til nå er det nevnt noen tiltak som blir brukt for å sikre menneskelige verdier, og nå vil det komme noen for å begrense brann og røykspredning. Håndslukkeutstyr skal være tydelig markert. Hvis et varslingssystem er installert i bygningen og et automatisk brannalarmanlegg eller sprinkleranlegg er installert, må advarselssystemet være aktivert. I rom større enn 1000 kvadratmeter må automatisk brannventilasjon eller automatiske sprinkleranlegg installeres for å redusere risikoen for brannspredning

Automatisk sprinkleranlegg må installeres i bygninger for å forhindre brannspredning. I tabellen nedenfor er det en oversikt når det er krav til sprinkler, tabell 10 går ut fra antall etasjer, bruksområde, areal og brannenergi. Går arealet eller brannenergien over den oppgitte verdien må det installeres sprinkleranlegg. Automatisk brannalarmanlegg og automatisk sprinkleranlegg skal installeres med automatisk alarmoverføring til nødetatene [44].

Etasjer	AK 1	AK 3
1	5000 m <sup>2</sup>	
1	2000 m <sup>2</sup> og 800 MJ/m <sup>2</sup>	2000 m <sup>2</sup>
2 eller flere		1000 m <sup>2</sup>

Tabell 10. Krav til sprinkler

### 7.3.3. Nederland

I Nederland benyttes en egen standard for parkeringskjellere som er over 1000 m<sup>2</sup>, denne heter NEN 6098. Parkeringskjellerne blir delt inn i åpne, lukkede og automatiske anlegg. Det blir dermed ikke stilt noen spesifikke krav for lukkede parkeringsgarasjer som er under 1000 m<sup>2</sup>.

Kravene for anlegget krever at det skal installeres sprinkleranlegg med normalventilasjon, eller kun mekanisk ventilasjon som skal ha en lufthastighet på minimum 1,5 m/s. Om arealene går over 5000 m<sup>2</sup> og det er ikke montert noe sprinkleranlegg, skal det gjennomføres CFD-analyse (Computational Fluid Dynamics) for å se til at ventilasjonssystemet fungerer slikt det er ment til å gjøre.

Hvert enkelt trapperom i Nederland har et skap ved utgangen som er låst, og i dette skapet er det mulighet for å koble til slanger som går videre til tørropplegg for trapperommet. Det er i tillegg plassert uttak for slukkevann i trapperom inn til parkeringsarealet. I alle trapperom, er det plassert vifter for trykksetting dersom en brann skulle oppstå. Hvert trapperom er også utstyrt

med strobelamper som er synlig fra bakkenivå. Strobelampene er koblet opp imot brannalarmanlegget og viser brannvesenet nærmeste angrepsvei.

Hver etasje i parkeringskjellerne har gassdetektorer ved ventilasjonssystemets avtrekkspunkt. Detektorene skal detektere både CO og LPG/propan. Dersom det blir registrert noen kritisk mengde av noen form for gass vil ventilasjonssystemet automatisk bli aktivert. Strobelamper og lysskilt som sier at bilen skal slås av og at alle skal evakuere parkeringskjelleren vil også bli aktivert av deteksjonssystemet [43].

### 7.3.4. Tyskland

I det tyske regelverket blir garasjer skilt imellom størrelse og om anlegget er åpent eller lukket. De ulike størrelsene blir kategorisert som små, middels og store garasjer, hvor opptil 100 m<sup>2</sup> er små garasjer, 100m<sup>2</sup> til 1000 m<sup>2</sup> er middels store garasjer. Til slutt er det alt over 1000 m<sup>2</sup> som blir regnet som store garasjer.

Store parkeringskjellere skal ha enten termisk (naturlig) eller mekanisk røykventilasjon. Det er ulike muligheter i forhold til om det er termisk, mekanisk og om det er sprinklet eller ikke. Det største tillatte arealet per seksjon med og uten sprinkler er henholdsvis 5000 m<sup>2</sup> og 2500 m<sup>2</sup>. Dersom gulvet er lenger enn 4 meter under bakken eller det er en annen form for bruk over parkeringsanlegget, blir det også krav om sprinkler. Alle nye store parkeringskjellere må utføre en røyk-test i full skala for å se at ventilasjonsanlegget er riktig dimensjonert. Dette gjøres ved å benytte en stor røykmaskin som skal produsere tilsvarende mengde med røyk som ved en ekte brann.

Dersom det er termisk ventilasjon er det krav om at hver parkeringsplass skal være tilknyttet et utluftningsareal på minst 0,1 m<sup>2</sup>. Den største avstanden som er tillatt fra en parkering og til nærmeste utluftningsåpning er 20 meter. Om en parkeringskjeller er utstyrt med mekanisk røykventilasjon uten sprinkler kan arealet per seksjon bli opptil 2500 m<sup>2</sup>, hvor ventilasjonen har kapasitet til å skifte ut luften ti ganger i løpet av en time. I tillegg skal ventilasjonssystemet sikres slik at det kan bli utsatt for en brann i 30 minutter uten at systemet blir påvirket i noen stor grad. En parkeringskjeller som er utstyrt med sprinkler og mekanisk ventilasjon kan maksimalt være 5000 m<sup>2</sup> per seksjon. Her skal ventilasjonssystemet ha en kapasitet på 16 m<sup>3</sup>/time per areal.

Lukkede store garasjer med lav til moderat trafikk må ha CO-systemer som brukes til måling og advarsel. Høyttalere og blinkende signaler for omgående å forlate garasjen eller for å stoppe motoren i starten. I denne perioden må garasjeutgangene kontinuerlig holdes åpne. Mekaniske ventilasjonssystemer og CO-varselssystemer må vedlikeholdes slik at de konstant er klar til bruk. [45]

I lukkede middels og store garasjer, må det være brannalarmanlegg når de befinner seg under en annen virksomhet eller tekniske rom som krever brannalarmanlegg. Det er opp til hver enkelt eier å bestemme om det er tillatt å parkere en gassdrevet bil nede i en parkeringskjeller, om det

bestemmes at det ikke er tillatt blir dette skiltes for utenfor inngangen. I nyere parkeringskjellere er det installert antenner for å sikre dekning for brannvesenets radiosamband i anlegget.

### 7.3.5. USA

USA har en standard for parkeringshus som heter NFPA 88A, hvor er det oppgitt flere tiltak for å øke brannsikkerheten. Amerikanerne har veldig mange ulike standarder basert på hva det er snakk om. I hver standard refererer de til hverandre da det blir brukt samme type tiltak for flere bygg. For eksempel handler NFPA 13 om sprinkler, og NFPA 72 om deteksjon og alarmsystem.

I NFPA 88A står det i forhold til ventilasjon at det ikke er noe krav om mekanisk ventilasjon for åpne anlegg, men alle lukkede parkeringsgarasjer skal være ventilert med et mekanisk ventilasjonsanlegg som er i stand til å tilføre minst  $18 \text{ m}^3/\text{time}$  per areal ved normal drift. Mekanisk ventilasjon skal installeres etter en egen standard og materialene skal være ikke-brennbare. [46]

Som nevnt tidligere så skal sprinkler oppføres etter en egen standard. For parkeringsgarasjer som er lukket er det krav om sprinkleranlegg i garasjer som er plassert på eller over bakkeplan. Det er i tillegg et krav til sprinklersystem dersom det er en bygning over som blir benyttet til andre formål. Det skal utføres en regelmessig kontroll, og denne skal gjøres etter en egen standard.

Det er totalt fem typer, type 3 og 4 går begge på ikke-brennbare eller begrenset brennbare materialer. [47] I tillegg gjelder krav om sprinkler i lukkede parkeringsanlegg type 3 eller 4 som har en høyde over 15 meter. Typene deles inn i hva slags materiale bygget er bygget opp av.

Det skal installeres et godkjent, overvåket og automatisk brann deteksjon og alarm system i lukkede parkeringshus som har mekanisk ventilasjon som er lokalisert på eller over bakkenivå, eller hvor det er en bygning som benyttes til andre formål. På en annen side, så faller dette kravet bort om parkeringshuset er utstyrt med sprinkleranlegg. Det er viktig at det blir utført vedlikeholdsarbeid av deteksjonssystemet, her er det også en egen standard som skal følges for å forsikre seg om at alt fungerer som det skal.

I NFPA 88A er det et eget kapittel om spesielle farer, de går for det meste på lagring og bruk av ulike drivstoff, som brennbar væske, flytende petroleum og hydrogen. I tillegg er det trukket frem installasjon av ladning av elektriske kjøretøy. Alle de spesielle farene som er nevnt har sin egen standard. [46]

### 7.3.6. The International Building Code (IBC)

The International Building Code (IBC), er et regelverk som brukes av land i Sentral- og Sør-Amerika og Midtøsten, samtidig som det brukes av USA. Standarden ble etablert for å beskytte offentlig helse, sikkerhet og velferd uten å betraktelig øke bygningskostandene. Bruk av denne standarden skal heller ikke begrense nye materialer, produkter eller metoder ved bygging. I tillegg blir ingen materialer, produkter eller metoder vektlagt over noen andre. [48]

Kapittel 9 i IBC omhandler minimumskrav for aktive systemer som skal redusere konsekvensene av en brann. Dette blir gjort ved å detektere, varsle, kontrollere røyk og/eller slukke brann. Generelt blir kravene satt etter bruk, høyde og areal av bygningen. Dette blir gjort fordi det er disse faktorene som påvirker innsatsstyrken mest ved valg av angrepsplan. For at en kan forsikre seg om at alle systemer fungerer slik de skal, er det krav om å utføre en test av systemet. Det er ikke tillatt å overta bygget dersom det ikke er gjennomført noen test for å forsikre seg om at systemet fungerer optimalt.

I regelverket IBC er det slik at i alle lukkede parkeringsanlegg er det krav om å bruke sprinkleranlegg og ventilasjon, og når et parkeringsanlegg er utstyrt med sprinkler så er det ikke behov for ytterligere tiltak [49].

## 7.4. Oppsummering

I tabellen nedenfor er det oppgitt hvilke tiltak som er benyttet av de ulike landene og når de blir tatt i bruk. Tiltakene som er ført inn i tabellen er de tiltakene som er felles for de fleste landene, og er kun en oppsummering av det som er beskrevet tidligere. Tallverdiene er alle oppgitt i areal [m<sup>2</sup>], dersom arealet går over det som er oppgitt, vil tiltaket i kolonnen tre i kraft.

Land	Brannalarmanlegg [m <sup>2</sup> ]	Røykventilasjon [m <sup>2</sup> ]	Sprinkler [m <sup>2</sup> ]	Særegne løsninger
Belgia	1500	2500	3500/9260	- Forsikring
Danmark	1000	1000	1000	-Maks 1 plan under bakken
Nederland	<b>Ikke funnet</b>	1000	1000	-CFD-analyse
Norge	1200	400	4000	
Tyskland	100	1000	2500	-Nødsamband -Fullskala test
USA	Ikke krav	Alle	Alle	-Identifisering av farer
Internasjonalt	Ikke krav	Alle	Alle	-Test av systemer

Tabell 11. Oppsummering av tiltak for ulike land

I tabellen ovenfor er det som nevnt tidligere de tiltakene som er felles for de landene som er undersøkt. Det er også disse tiltakene som har størst effekt mot en brann eller for evakuering. Som nevnt tidligere i *kapittel 7.3.1* opererer Belgia med både tørr- og våtanlegg, hvor typen anlegg som blir brukt avhenger av arealet.

I Belgia er det benyttet de største arealene per tiltak sammenlignet med de andre landene. Ved å bruke så store areal kan dette gi konsekvenser for de mindre parkeringsanleggene dersom en brann skulle oppstå. Ved at forsikringspremien blir påvirket av å nekte tilgang til gassdrevne biler kan en del byggeiere være glad for. Risikoen reduseres samtidig som at de tjener økonomisk.

I Danmark er regelverket oppført slik at ved over 1000 m<sup>2</sup> skal parkeringsanlegget enten utstyres med brannalarmanlegg, røykventilasjon eller sprinkler. Ved å ha slike valgmuligheter blir fristelsen for de fleste mennesker stor for å velge det billigste tiltaket. Heldigvis er det satt egne restriksjoner som gir tilleggskrav til når det skal monteres sprinkleranlegg. Disse er oppgitt i tabellen ovenfor «krav til sprinkler» i kapittel 7.3.2 *Danmark*. Danskene har også en regel om at parkeringsgarasjer kun skal være maksimalt 1 plan under bakkenivå som en preakseptert løsning, alt over dette skal kontrolleres av en brannteknisk rådgiver ved hjelp av en brannteknisk analyse.

I Tyskland er det satt relativt strenge krav sammenlignet med det andre europeiske landene i forhold til de tre mest brukte tiltakene. Her tillater tyskerne svært lave areal før det må iverksettes tiltak. I tillegg er de frempå ved å ta i bruk antenner som gjør at brannvesenet har sambandsdekning rundt i hele anlegget der de tidligere ikke hadde mulighet til å kommunisere med hverandre. I Tyskland gjennomfører de også en fullskala test for å forsikre seg om at systemene fungerer slik de skal.

Det amerikanske og internasjonale regelverket er veldig like, mye av den grunnen kommer av at det internasjonale er basert på det amerikanske. I disse regelverkene er det innført krav om at ventilasjon og sprinkler skal installeres i alle underjordiske parkeringsanlegg. Å stille krav til brannalarmanlegg har falt bort til fordel for sprinkler, noe som er å ha høye forventninger til en innretning som er ment for å kontrollere og ikke slukke branner som eventuelt oppstår. Det koster å investere i og iverksette slike krav, men på en annen side, så kan det bli en økonomisk fordel. Dersom bygningen brenner opp, så vil det koste å rive ned bygningen, dekke tapet av kjøretøy på innsiden, bygge opp et nytt bygg, og den mulige inntekten parkeringsgarasjen kunne hatt.



## 8. Branntekniske problemstillinger

I forbindelse med brannteknisk prosjektering er det viktig å ta hensyn til de faktiske hendelsene som kan oppstå. Det er da viktig å analysere det helhetlige bilde av bygningen og de branntekniske problemstillingene bygget kan medføre. Når det gjelder underjordiske parkeringshus er det som regel utfordringene med bilbrann, og hva som skjer hvis en bil begynner å brenne.

### 8.1. Brannspredning

En av største utfordringene med en garasjebrann er brannspredning mellom bilene. Det er flere faktorer som virker inn på brannspredningen. Det kan da være hvor tett bilene står, takhøyde, energiproduksjon av en brann og hvilke aktive tiltak som er benyttet i bygningen.

Grunnen til at det er viktig å begrense brannspredning fra bil til bil er på grunn av at brannenergien øker kraftig når flere biler brenner, og dermed øker hastigheten for brannspredning til andre biler, og gjør det vanskelig for brannvesenet å håndtere. Fra brannen på Kings Dock Car Park i Liverpool ble det observert at etter flere biler begynte å brenne spredte brannen seg til en ny bil hver 30 sekund [36].

Et fenomen som er spesielt for bilbranner i parkeringsanlegg er hvordan en brann kan hoppe over rekker med biler som ikke brenner og over til en annen rekke. Det som skjer er at tankene som lagrer drivstoffet smelter, og væsken legger seg langs gulvet og renner vekk i store avstander. Når denne væsken da antennes kan brannen spre seg til biler lengre borte enn de som står nærmere brannen. Dette ble observert ved både Sola og Kings Dock Car Park [50] [36] og er eksempler på hvor vanskelig det kan være å forutsi hvor brannen kommer til å spre seg.

Det som er helt sikkert er at det ikke er lett å hente ut noen konkret tid man kan forvente at en brann sprer seg i fra bil til bil. I tabellen nedenfor er det hentet ut noen info fra forsøk og hendelser.

Sted/hendelse	Takhøyde [m]	Bilplassering mellom hverandre[m]	Tid til spredning [min]	Annen info
<b>Forsøk fra Kinas universitet [10]</b>	8,5	0,8	Ca. 20	Varmestråling 2,5 kW/m <sup>2</sup> , målt 5 meter vekk fra bilen.
<b>BRE-Group [13] (store biler)</b>	2,4	Ca. 0,3	Ca. 5	6 MW etter 4 minutter.
<b>BRE-Group (Med sprinkler)</b>	2,4	Ca. 0,3	Ingen spredning	BS-EN 12845-sprinkler.
<b>BRE-Group (små biler)</b>	2,4	Ca. 0,3	Ca. 20	2 MW brann fram til 20 minutter.
<b>BRE-Group (motor brann)</b>	3	0,5	Ca. 5	Plassert motor mot motor.
<b>Sola lufthavn [51]</b>	Ca. 2.3	0,5	Før 18	Etter 18 minutter varselet om «Brenner i ca. 10 biler». Antas at spredning startet før tid. [51]
<b>Arnhem Parkeringsbrann [52]</b>	Ca. 3	Ca. 1	Ingen spredning	Sprinklet parkeringsgarasje.

Tabell 12. Noen eksempler på tid til brannspredning

Her kan man se at brannspredning varierer fra mellom 5 til 20 minutter. I de hendelsene hvor parkeringsanlegget er sprinklet begrenses brannen kun til bilen den startet i. Noen av disse faktorene vil bli undersøkt videre for å se hvordan de påvirker brannspredningen. Hovedsakelig er det høye temperaturer i bilbranner, og siden stråling er avhengig av høye temperaturer, vil det bli fokusert på spesielt denne problemstillingen.



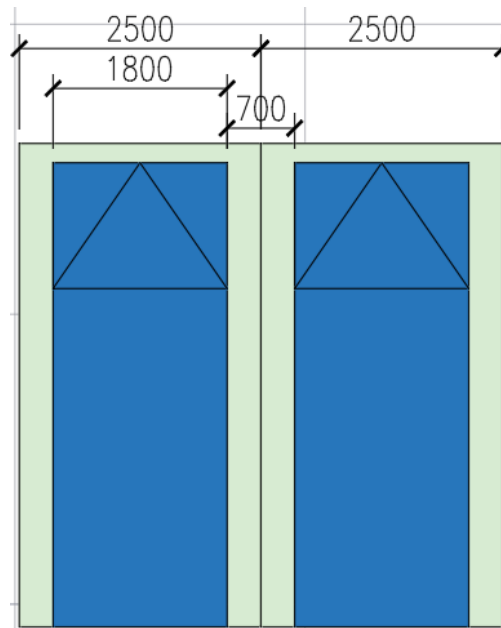
Bilde 13. BRE test (store biler) brannspredning [13]

Fra testen til BRE er det gjort opptak [53] hvor man ser at brannen fra bilen i venstre sprer seg til i bilen til høyre (bilde 13). Etter ca. 5 minutter antenner taket på bilen til høyre.

## 8.2. Størrelsen på parkeringsplassene

Brannspredning er en viktig faktor når det kommer til branner i bygg. I en parkeringsgarasje hvor en bil brenner vil den i en tidlig fase være brenselskontrollert til den bilen brannen startet i, og det er da kritisk for brannen å spre seg videre for å fortsette forbrenningen [8]. Det vanligste spredningsmønsteret i en parkeringsgarasje er da fra bil til bil, og her vil da stråling være en dominerende faktor grunnet høye temperaturer. For å redusere strålingen kan man se på synsfaktoren, som er avhengig av avstanden mellom bilene. [8]

Det er ingen krav om preaksepterte løsninger for størrelsen på parkeringsplasser. Ifølge dagens norm for hvordan parkeringsplasser bygges i henhold til Byggforsk [54], bør bredden være 2,5 meter og lengden være 5 meter (figur 14). Med vegg på ene siden bør bredden være 2,8 meter og vegg på begge siden bør bredden være 3 meter. Kravet om bredden på parkeringsplassene i Byggforsk er basert på åpningsbredden av en bildør og ikke med tanke på brannsikkerhet. Videre er dimensjonerende størrelser på biler 1,8 x 4,8 meter ifølge Statens Vegvesen [55].



Figur 12. Hvordan den mest vanlige norm for parkering av biler er

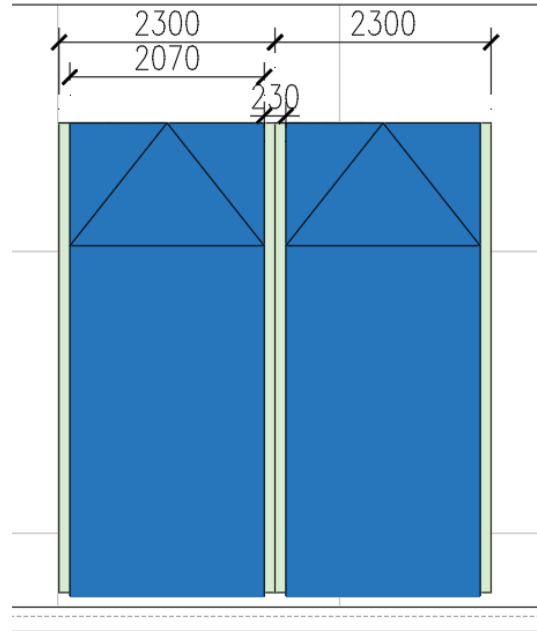
Det er i hovedsak to problemer med dagens norm når det gjelder parkeringsplasser. Det første problemet er at breddeavstanden mellom bilene ikke er et krav, men en anbefaling. Det kommer fram i Byggforsk sin side at bredden bør være 2,5 meter og ned til 2,3 meter, men dette er ikke noe krav. Det bruker som regel ikke å være parkeringsplasser som går under denne grensen. De gangene det har skjedd har det vært rettsaker i medhold i anbefalingen som står i Byggforsk, eller det inngås forlik [56].

Det andre problemet er at ikke alle dagens biler lengre har en brede på 1,8 meter. Topp 10 av Norges mest solgte personbiler fra 2018 har følgende bredder (uten speil) [57]:

Biltype	Tesla modell x	Nissan Leaf	VW e-golf	BMW i3	Mitsubishi Outlander	Toyota Yaris	Tesla Modells	Volvo XC60	Toyota Rav4	Renault Zoe
Bredde [m]	2,07	1,79	1,80	1,79	1,8	1,70	1,96	1,9	1,85	1,73
Lengde [m]	5,04	4,5	4,27	4,0	4,7	4,43	4,98	4,69	4,59	4,08

Tabell 13. Liste over de 10 mest populære bilene i 2018 med tilsvarende bredder

Her ser man at en god del personbiler er over dimensjonerende størrelser fra Statens vegvesen. Hvis for eksempel 2 biler fra tesla modell x skulle stått ved siden av hverandre i en parkeringsgarasje ved nedre grense vil det se ut som på neste figur:



Figur 13. Illustrasjon av hvordan tesla modell x ville sett ut ved den nedre normen for bredde på parkeringsplasser

Merk her at forrige figur er plasseringen imellom de to bilene veldig tett, og at bilene er for lange for dagens føringer om parkeringsplasser.



Bilde 14. Bilde tatt fra tilfeldig parkeringshus  
Foto: privat

Bildet ovenfor er tatt fra en tilfeldig parkeringsplass i Haugesund for å demonstrere hvor tett det kan bli mellom bilene. Her er avstanden i rundt 30 cm. Merk her er at det er 2 personbiler som står side om side og det fortsatt er trangt.

### 8.3. Takhøyde

Hvis det begynner å brenne i en bil, og det blir stor røykproduksjon, så kan det bli ganske kraftig varmestråling fra røyken. Denne strålingen er avhengig av synsfaktoren mellom røyken og bilen, også temperaturen til røyken. Synsfaktoren er igjen avhengig av avstanden mellom bilen og røyken. I dagens parkeringsgarasjer er det ikke noe krav til høyden i parkeringsgarasjer, men anbefalinger fra Byggforsk sier at høyden bør ikke være mindre enn 2,3 meter, og at høydene på bilene kan være 1.85-1.95 meter [54].

Akseptkriteriet for tilgjengelige rømningstider er angitt i Byggforsk å være sikt som bestemmes av røykfri høyde på  $1,6\text{ m} + (0,1\text{ m multiplisert med høyden})$ . Med minstehøyden på 2,3 meter vil kritisk rømningssituasjon når røykfri høyde er på 1,83 m. [40] Det vil si at røyklaget er 47 cm fra taket, noe som kan skje raskt avhengig av romstørrelsen.

Synsfaktoren øker jo nærmere en bil røyken kommer, og ved kontakt vil røyken også overføre varme i form av konveksjon. Når takhøyden er lav vil avstanden mellom røyken og bilen også være mindre, som fører til større synsfaktor og kortere tid før varmeoverføring ved konveksjon finner sted.

### 8.4. Stor røykproduksjon

I en garasjebrann er det som regel biler som brenner og en bil har tendens til å produsere mye svart røyk [58]. I en fullskala test utført av School of Safety Engineering i Kina ble røykproduksjonen fra en bilbrann målt til å ha en røykproduksjon på  $1,76\text{ m}^3/\text{s}$ , på det høyeste ut fra indirekte kalkulasjoner. Noe som tilsvarer  $6\,336\text{ m}^3/\text{t}$ . Dette var mellom tidspunktet 11min til 15min 50s etter antennelse. Bilde 15 viser røykproduksjonen fra en enkelt bil.



*Bilde 15. Viser potensiell røykproduksjon fra en bilbrann*

*Foto: privat*

I underjordiske parkeringsanlegg er taket som regel ikke høyt med minstekrav på 2,3 meter [54]. Dette vil igjen føre til at rommet raskt vil fylles med røyk. Ved minstekravet før det er krav om røykventilering på 400 m<sup>2</sup> og kravet på minste høyde på 2,3 meter vil romvolumet bli på 920m<sup>3</sup>. Hvis røykproduksjonen holdes konstant på 1,76 m<sup>3</sup>/s vil rommet bli fylt med røyk etter ca. 8,5 minutter fra kun en bil.

Dette betyr at før brannvesenet ankommer stedet er det mulig at parkeringsanlegget allerede er fullt med røyk med mindre tiltak som røykventilasjon er benyttet. Det er da stor sannsynlighet at det er store røykskader på andre biler.

Temperaturen i røyken har også potensialet til å bli veldig varmt. Testene til BRE lå temperaturen i det øverste røyksjiktet på 500 grader 4,7 meter og 400 grader 7,4 meter vekk fra brannen [13]. Arealet var på 72 m<sup>2</sup> som egentlig er et lite rom som gjør at temperaturen i røyken øker raskere. Ved slike høye temperaturer vil konveksjon ha en stor påvirkning på varmeoverføring ved å forvarme nærliggende biler, som gjør det enklere for brannspredning.

## 8.5. Menneskelig atferd

Dagens regelverk har lagt til rette for at personer skal kunne hjelpe til med å bekjempe en brann i en tidlig fase ved bruk av slukkeutstyr [1]. Det samme gjelder også for varsling av brann til nødetatene. Dette er veldig viktig for å hindre at en brann utvikler seg til å bli en storbrann. Selv om det er lagt godt til rette for slukking er det ikke alltid at tilskuere velger å prøve å slukke brannen i et tidlig brannforløp. Det er gjort observasjoner hvor tilskuere tar opp mobiltelefonen og filme [36] [50].

På brannen i Kings Dock Car Park ble det observert ved bruk av overvåkningskamera at flere personer så brannen, men bestemte seg for å ikke ringe til nødetatene. Det ble observert at noen kjørte ned til nederste etasje og varslet om det til ansatte, mens flere gjorde det ikke. Et individ valgte å stoppe ved bilen som brant i 30 sekunder, før han kjørte opp rampen til etasjen over, og parkerte der isteden. Til slutt tok det 13 minutter før det ble varslet til nødetatene av en innringer. [36]

Ved brannen på parkeringshuset i Sola var det eier av bilen som det begynte å brenne i den første til å oppdage brannen og personen håndterte det ved å evakuere familien sin ut av parkeringshuset. Senere ble brannen filmet istedenfor å varsle til nødetatene eller prøve å slukke brannen, og dermed tok det 8 minutter før nødetatene ble varslet.

Dette vil igjen stille spørsmål til hvor mye man skal legge vekt på i prosjekteringen på at menneskene skal bidra til å varsle eller bekjempe brannen. Dette med at folk begynner å filme er en negativ trend som kan føre til store tap av økonomiske verdier.

## 9. Løsninger på branntekniske problemstillinger

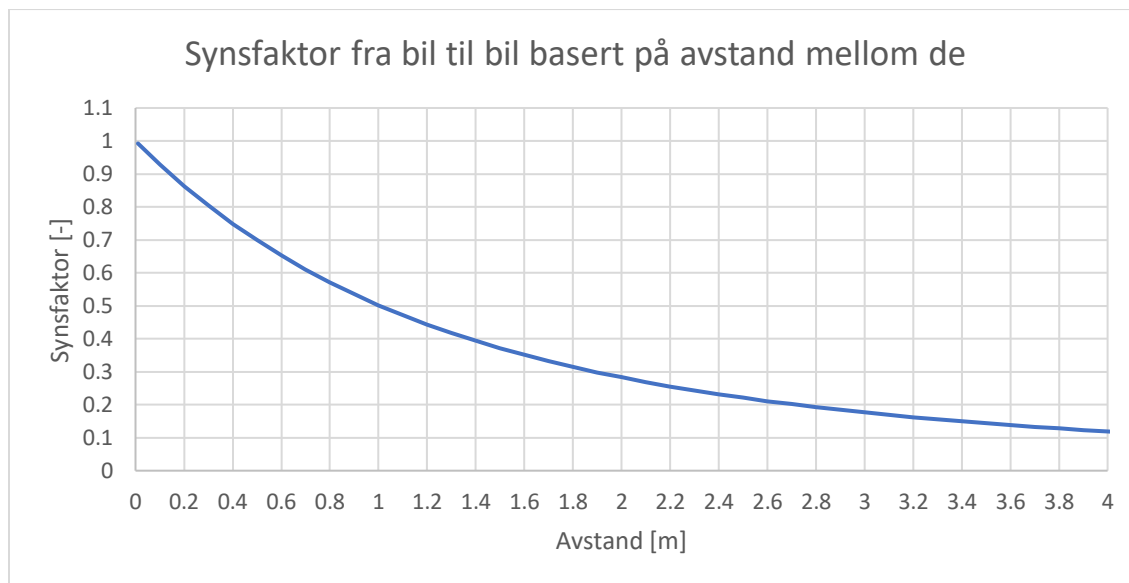
I dette kapittelet vil det gis forslag til løsninger på de branntekniske problemstillingene som er angitt i de tidligere i oppgaven. Det vil på slutten av dette kapittelet være en oppsummering over hvilke tiltak som anbefales for å forbedre brannsikkerheten i underjordiske parkeringshus.

### 9.1. Arkitektonisk utforming

Ved arkitektonisk utforming menes hvordan layoutene på parkeringsgarasjen er. Da er fokuset på hvordan bilen er plassert i henhold til hverandre og forskjellen på høyden mellom taket på bilene og etasjeskilleren. Hensikten med denne løsningen er å se hva det har å si for synsfaktoren og strålingsintensitet fra en brann eller røyklaget.

#### 9.1.1. Bredden mellom bilene

Dagens veiledning fra Byggforsk legger opp til at bilene har en avstand mellom seg på 0,7 meter og bilene er 4,8 meter lange og 1,8 meter høy [54]. En kan anta at to biler er som identiske rektangulære figurer mellom seg. I den forbindelse vil synsfaktoren mellom bilene som faktor av bredden mellom dem være illustrert med figuren under.



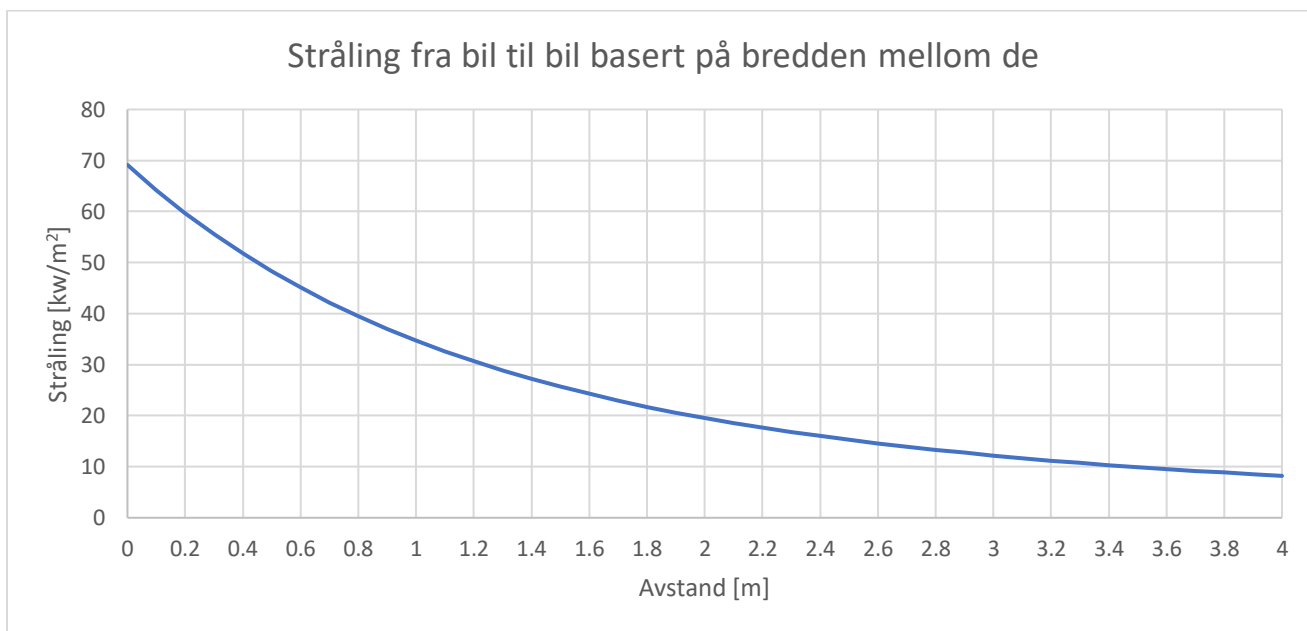
Figur 14. Synsfaktor mellom 2 biler, gitt at bilene antas å være like store rektangler på 4,8 x 1,8 meter

Beregningsmetodene er beskrevet under kapittel 3.2.3.1 om geometrisk synsfaktor. Ut fra figuren kan en se at synsfaktoren i den ideelle tilstanden beskrevet av Byggforsk [54] vil ha en synsfaktor på ca. 0,61. Når en videre undersøker hvordan det vil være i dagens tilstand med to



Tesla Model X, hvor en kun undersøker bredden, som er på 0,23 meter vil synsfaktoren være ca. 0,82.

Videre for å se hvor stor påvirkning synsfaktoren har på strålingen må man også se på temperaturen i bilen. I forsøket til BRE lå temperaturen i startbilen etter 2 minutter mellom 700 og 900 grader [13], og fra forsøket i Universitet i Kina lå temperaturen mellom 500 og 1100 grader [10]. Derfor velges det å anta en gjennomsnittstemperatur på 800 grader. Strålingsgrafene mellom bilene blir da:



Figur 15. Stråling mellom 2 parallelle rektangler på 4,8 x 1,8 meter og temperatur på 800 grader

Grunnet svært høye temperaturer i bilbrann vil også strålingen bli svært høy, slik det er illustrert på grafen over. Strålingsintensiteten faller også ganske raskt når avstanden øker. Dette viser viktigheten at man legger opp til litt større avstander mellom bilene når en parkerer. Nedenfor er noen verdier hentet ut for å vise viktigheten med tanke på reduksjon av stråling.

Avstand [m]	Stråling [kW/m <sup>2</sup> ]	Synsfaktor [-]	Reduksjon [%]
0	68,6	1	0
0,23	58,4	0,84	14,9
0,7	42,2	0,61	38,5
1,0	34,7	0,50	49,4
1,3	28,9	0,42	57,9

Tabell 14. Oppsummering av hvordan bredden mellom bilene påvirker strålingen; 2 parallelle rektangler på 4,8 x 1,8 meter og temperatur på 800 grader

Hvis man tar utgangspunkt i strålingsintensiteten fra beregningene gjort i forrige tabell når avstanden er 0,3 meter mellom hver bil, og man antar bilen antenner etter 5 minutter slik det er gjort på forsøkte fra BRE group [13]. Etter 5 minutter vil da strålingsbelastningen være:

$$55,54 \frac{kW}{m^2} \cdot 300s = 16662 \frac{kJ}{m^2}$$

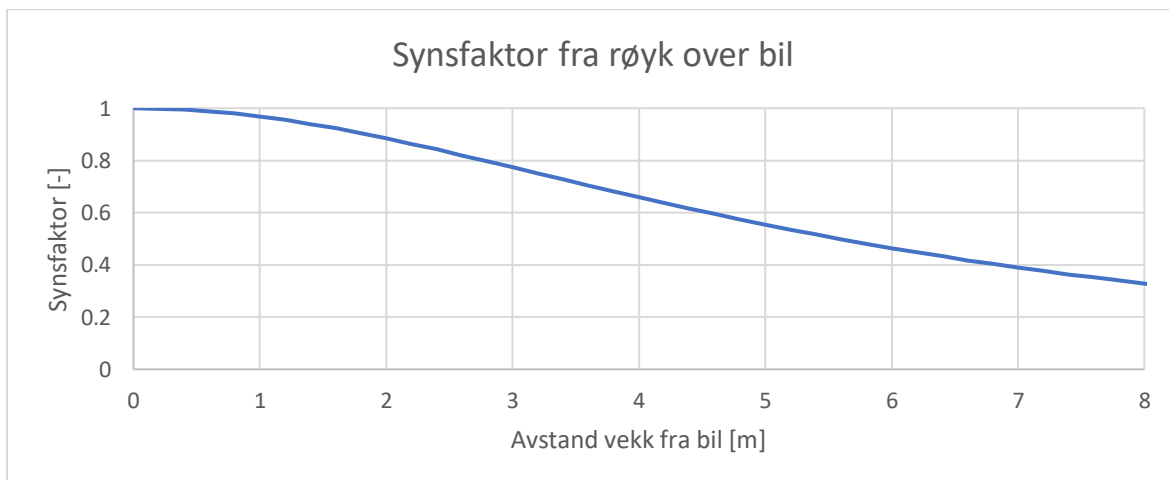
Dette er da et grovt estimat på hvor mye strålingsbelastning en bil 0,3 meter vekk fra en brann trenger før spredning oppstår. Hvis avstanden mellom bilene var 1 meter og samme strålingsintensitet var nødvendig for brannspredning ville tiden til brannspredning da vært:

$$\frac{16662 \frac{kJ}{m^2}}{34,7 \frac{kW}{m^2}} = 480s$$

Det ville da ha tatt ca. 8 minutter, ca. 3 minutter lengre før brannen hadde spredd seg til neste bil. Dette er bare en grov estimering ettersom strålingsberegningen er mer komplekst med mange variabler som varierer med tiden.

### 9.1.2. Fri høyde mellom taket på bilen og parkeringsgarasjen

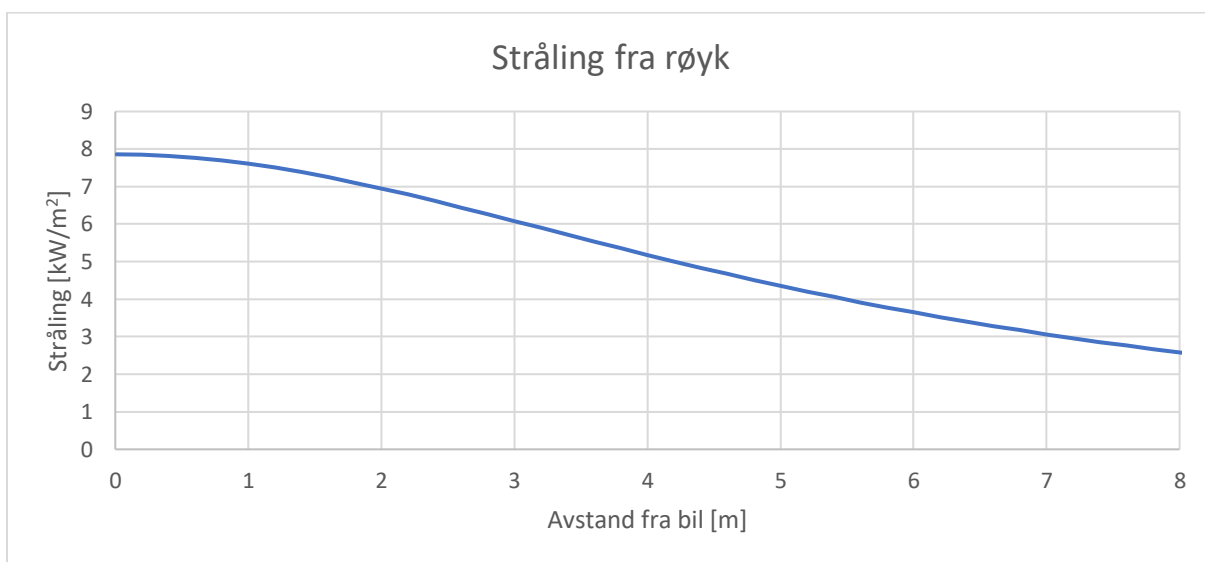
Årsaken til at takhøyden vurderes er på grunn av stråling som kommer fra røyken. Det er slik at når røyken sprer seg utover taket og legger seg nærme bilen vil strålingsintensiteten øke. Her vil synsfaktoren spille en rolle. Det kan antas at strålingen fra røyken er som en rektangulær plate, og bilen er som et punkt. Størrelsen på den rektangulære platen eller røyken er noe vanskelig å avgrense siden røyken vil fylle hele rommet. Det gjøres derfor en antagelse på et røykareal på 100 m<sup>2</sup> vil bidra til stråling over bilen.



Figur 16. Synsfaktoren vertikal avstand mellom røyk og bil

En ser her i figur 16 at synsfaktoren fra røyken krever ganske store høyder før synsfaktoren reduseres i noen grad. Byggforsk anbefaler en takhøyde på 2,3 meter, der en antar at bilene har en høyde på 1,8 meter [54]. Dette gir da en høydeforskjell på 0,5 meter, noe som viser en synsfaktor tilnærmet 1. Grunnen til at synsfaktoren reduseres så lite er på grunna av at røyken har et så stort areal over bilen.

Når det skal sees på strålingen fra røyken, er det også en utfordring siden temperaturen ikke er lik i hele røyklaget. Det blir kaldere jo lengre ned i røyklaget en kommer, og det bli kaldere jo lengre vekk fra brannen. Fra testene til BRE lå temperaturen i røyken 7,4 meter vekk fra bilen på rundt 400 grader og 4,7 meter vekk fra bilen på rundt 500 grader etter 5 minutter. Det vil likevel antas at en temperatur på røyken i gjennomsnitt vil ligge rundt 350 grader. Dette begrunnes med arealet i testlabben som ble benyttet var på 72 m<sup>2</sup>, noe som gjør at røyken vil varmes opp mye hurtigere.



Figur 17. Stråling fra rektangel til punkt. En antagelse med en temperatur på 350 grader.

Det som observeres her er at det må store avstander til før strålingen reduseres. Strålingen er ikke så veldig intens sammenlignet med strålingen fra bilen. Det har sammenheng mellom at temperaturen i røyken ikke blir så veldig høy sammenlignet med stråling fra flammene. Tabellen under viser utvalgte verdier som viser hvordan strålingen påvirkes av ulike avstander.

Avstand [m]	Stråling [kW/m <sup>2</sup> ]	Synsfaktor [-]	Reduksjon [%]
0	7,9	1	0
0,4	7,8	0,994	0,52
1,0	7,6	0,968	3,16
2,0	7,0	0,884	11,53
3,0	6,0	0,774	22,61
5,6	3,9	0,498	50,18

Tabell 15. Oppsummering av hvordan høydeforskjellen påvirker strålingen på bilen

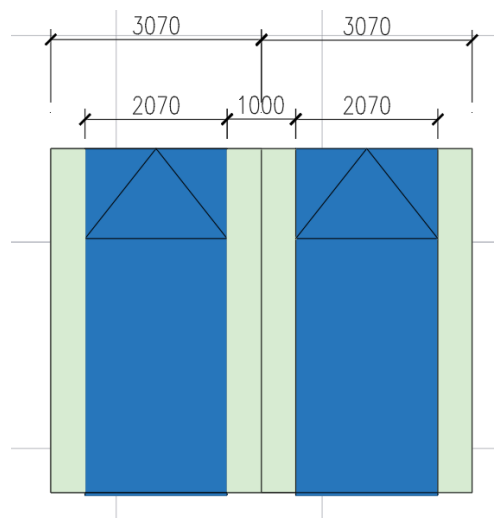
Selv om røyken ikke avgir mye stråling, er det fortsatt potensialet for varmeoverføring fra konveksjon. Hvis røyken legger seg over bilene med en temperatur på 350 grader og man antar en naturlig varmestrømningskoeffisient som ligger mellom 5 og 50 W/m<sup>2</sup> vil potensiell varmeoverføring fra konveksjon ligge mellom 3,1 til 31,2 kW/m<sup>2</sup>·K. Dette viser hvor viktig det også er å få ventilert ut røyken for å hindre forvarming av nærliggende biler.

### 9.1.3. Oppsummering av arkitektonisk utforming

Etter undersøkelse på hva den arkitektoniske utformingen har å si for den branntekniske problemstillingen, er det gjort flere funn som bør tas med til etterretning. Ved forenklet stråling- og synsfaktorberegning er det tydelig at avstanden mellom bilene har veldig mye å si for strålingsintensiteten. Med en avstand på 1,0 meter mellom bilene kan man redusere potensiell stråling med ca. 50%, og i motsetning til takhøyden hvor taket må være 5,6 meter høyere enn bilen for å nå 50% reduksjon i stråling. Det er også da muligheten til å øke tid til brannspredning med ca. 3 minutter.

Når en ser videre på strålingsintensiteten på nærliggende bil vil også brannen fra bilen dominere over røyken. Grunnen til dette er de høye temperaturene som oppstår i bilbrannen, stråling er avhengig av en absolutt temperatur opphøyd i fjerde [12]. Ved strålingsberegning hvor en antar at bilbrannen har en gjennomsnittstemperatur på 800 grader er potensiell stråling fra denne 68,6 kW/m<sup>2</sup> og fra røyken med en gjennomsnittstemperatur på 350 grader er stråling 7,9 kW/m<sup>2</sup>.

Videre tiltak for å forbedre brannsikkerheten i parkeringsanlegg med tanke på arkitektoniske forhold vil være å øke avstanden mellom bilene som er parkert, gjenspeilet i figur 18. Ved å ta hensyn til de nyeste bilene som har bredde opptil minst 2,07 meter (Tesla Model X) [57].



Figur 18. Eksempel på løsning for hvordan nye moderne biler kan parkeres

Motivasjonen for denne løsningen er for å gi personer bedre tid til å evakuere og gi brannvesenet bedre tid til å håndtere hendelsen. Det er først etter at andre bil tar fyr at brannutvikling og spredning øker kraftig. Ulempen vil derimot være færre parkeringsplasser. Det kan grovt anslås at for hver 10 meter parkeringsbredde reduseres antall biler fra fire til tre. Det å miste 1 bil per 10. meter vil gi økonomiske konsekvenser.

Under er det et regneeksempel hvor verdiene fra Sola parkeringsanlegg er blitt benyttet. Det er verdier fra det nyeste anlegget som består av 1100 parkeringsplasser fordelt på 5 etasjer, som blir 220 parkeringsplasser per etasje. Bredden i dette anlegget er 2,5 meter, noe som vil si at 550 meter er den totale bredden som kan bli brukt til parkering per etasje. Det er antatt at kun 60 % av anlegget blir brukt til døgnparkering og prisen for døgnparkering er oppgitt til å være 330 kroner for et døgn. Det blir ikke tatt høyde for annet en parkering i et døgn, times parkering og parkering over flere døgn vil ha andre priser. Det kan også være andre faktorer som vil ha påvirkning på inntekten, slik som ulykker, vedlikehold eller arrangement hvor deler av anlegget blir holdt av.

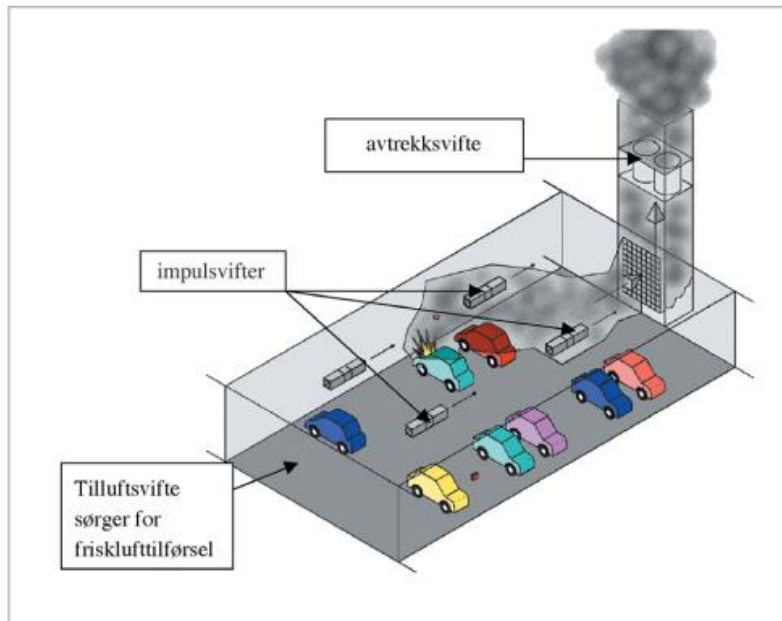
Bredde	2,5 meter	3,07 meter	
550 meter	220	179	Biler per etasje
5 etasjer	1100	895	Biler per anlegg
Antar 60 % fullt	660	537	Biler per anlegg
330 kroner per døgn	217 800	177 210	Kroner per dag
Tap per døgn		40 590	Tapsdifferanse per dag
Tap per år		14 815 350	Tapsdifferanse per år

Tabell 16. Økonomisk konsekvens av redusering i antall parkeringsplasser

## 9.2. Røykventilasjon

I det norske regelverket er det allerede krav til røykventilasjon i underjordiske parkeringsgarasjer når arealet går over 400 m<sup>2</sup>, med mindre det er installert sprinkleranlegg [1]. Hensikten med denne preaksepterte ytelsen er å sikre sikkerheten til redningsmannskaper ved innsats grunnet store mengder røykproduksjon.

Grunnet sikkerhet for både sivile og redningspersonell vil det anbefales at det kun brukes ventilasjonsanlegg med «trekk ut» strategi hvor røyken trekkes ut gjennom ventilasjonskanalene via avtrekksvifte. Dette er fordi «steng inne» strategi, stenger røyken inne i branncellen, som øker faren for redningsmannskaper, brannspredning og bæresystemet i bygget. Ved trekk ut strategi i garasjer bør avtrekksvifta være uavhengig fra resten av ventilasjonssystemet i bygget, illustrert i figur 19. Dette er for å hindre eventuell røykspredning i bygg med annen virksomhet.



Figur 19. Prinsippkisse med impulsvifter [45]

For at tiltaket med røykventilasjon skal være tilfredsstillende, bør det også være installert brannalarmanlegg slik at det blir varslet tidlig. Tidlig varsling er viktig selv med røykventilasjon fordi faren for brannspredning mellom bilene fortsatt er der, og derfor er det viktig at brannvesenet får startet med innsats i et tidlig brannforløp.

### 9.3. Krav til automatisk varsling med direkte kobling til alarmsentral

I dagens regelverk sier kravet til brannalarmanlegg for parkeringsgarasje at gjelder når samlet bruttoareal er større enn 1200 m<sup>2</sup> [1]. Dette er et veldig mildt krav sammenlignet med hva som gjøres andre steder i Europa, hvor det blant annet stilles krav til brannalarmanlegg for over 100m<sup>2</sup> i Tyskland. [46] [48]

Årsaken til det norske kravet kommer med hensyn til at brannalarmanlegget skal varsle folk for å begynne en tidlig evakuering. Når parkeringsgarasjene begynner å bli større er det vanskeligere å få oversikt over omgivelsene, eventuelt kan parkeringsgarasjene gå over flere plan. Det som også ble observert var den menneskelige atferden, hvor det for eksempel tar lang tid før det blir varslet. Det tok 8 minutter ved Sola brannen, 13 minutter ved Merseyside brannen og 56 minutter ved garasjebrannen ved Karmsund brygge.

Brannvesenet skal bruke inntil 10 minutter på utrykning [27] og med de hendelsene hvor det har tatt ca. 8 minutter før det blir gjort varsling, vil det etter 8 + 10 minutter være mest sannsynlig at

flere biler brenner, og dermed vanskelig å håndtere for brannvesenet. Med den bakgrunnen vil det anbefales at brannalarmanlegg skal gjelde for alle parkeringsgarasjer med hensyn til brannvesenets innsats og mulighet til å begrense økonomiske tapet. For at dette tiltaket skal fungere bør det gjøres sammen med tiltaket om breddene mellom bilene. På den måten, vil tiden til brannvesenet blir varslet redusert, og tiden brannen bruker på å spre seg til en ny bil økes. Ved å også benytte røykventilasjon blir det enklere for brannvesenet å lokalisere brannen.

Deteksjonstiden på et brannalarmanlegg vil varierer avhengig av type detektor og følsomhet [41], men kan antas å være innenfor 1-2 minutter. Brannvesenet skal være på stedet innen 10 minutter på steder med fare for rask og omfattende brannspredning [27]. Parkeringsgarasjer ligger som oftest i sentrum og i nærheten av brannstasjonen. Da kan man anta at de vil være på stedet innen 4 til 10 minutter, avhengig av avstand, trafikk og tid på døgnet. Etter forsinkelsen fra deteksjon og varsling vil brannvesenet være fremme og klar til å bekjempe brannen etter 5-12 minutter etter brannstart. Det betyr at med bare brannalarmanlegg trenger man ekstra tiltak for å øke sannsynligheten for å hindre at situasjonen kommer ute av kontroll.

## 9.4. Sprinkler

Ut fra de hendelsene som er observert ved garasjebranner er det observert store forskjeller på hvorvidt de benytter seg av sprinkler eller ikke. I dagens situasjon er motivasjonen for å benytte sprinkleranlegg i underjordiske parkeringsgarasjer for å unngå røykventilasjon ved arealer større enn 400 m<sup>2</sup> eller unngå seksjonering for arealer over 1800 m<sup>2</sup> med brannalarmanlegg eller 4000 m<sup>2</sup> ved røykventilasjon og inntil 10000 m<sup>2</sup> [1]. Prisen på sprinkleranlegg er rundt 350 til 400 kr/m<sup>2</sup> og prisen for sprinklersentral antas å være 35 000 kr [59].

Sprinkleranlegg klarer ikke alltid å slukke en bilbrann. Det er utfordrende når brannen er for eksempel under panseret eller under taket på bilen, hvor vannet ikke kommer direkte til. Det den derimot er gjør veldig bra er å hindre spredning videre til neste bil. Der er det gjort flere observasjoner fra tidligere hendelser og forsøk som viser at sprinkler hindrer spredning.



*Bilde 16. Brann hvor sprinkler ble aktivert [52]*

Brann ved underjordisk parkeringsanlegget i Arnheim i Nederland. Her ser man at det har vært brann i motorrommet. Brannvesenet kom til stedet og fikk kontroll over brannen grunnet sprinkleren begrenset brannspredningen til å bare være i motorrommet. Hvor sprinkleren ble utløst og brannen ble begrenset til bilen den startet i, se bilde 16 [52].

Sprinkler er veldig effektiv for å kontrollere brannen, muligens det viktigste eneste tiltaket mot å begrense en brann. I sprinkleranlegg er det allerede alarm som varsler brannvesen som sikrer tidlig varsling. Dette skjer etter sprinklerbulben har sprukket. Ved å benytte sprinkler trenger ikke tiltaket med bredere parkeringsplasser å benyttes siden faren for spredning allerede er håndtert. Røykventilasjon bør allikevel benyttes for å transportere ut røyken, som gjør det enklere for brannvesenet å lokalisere brannen og hindre røykskader på andre kjøretøy.

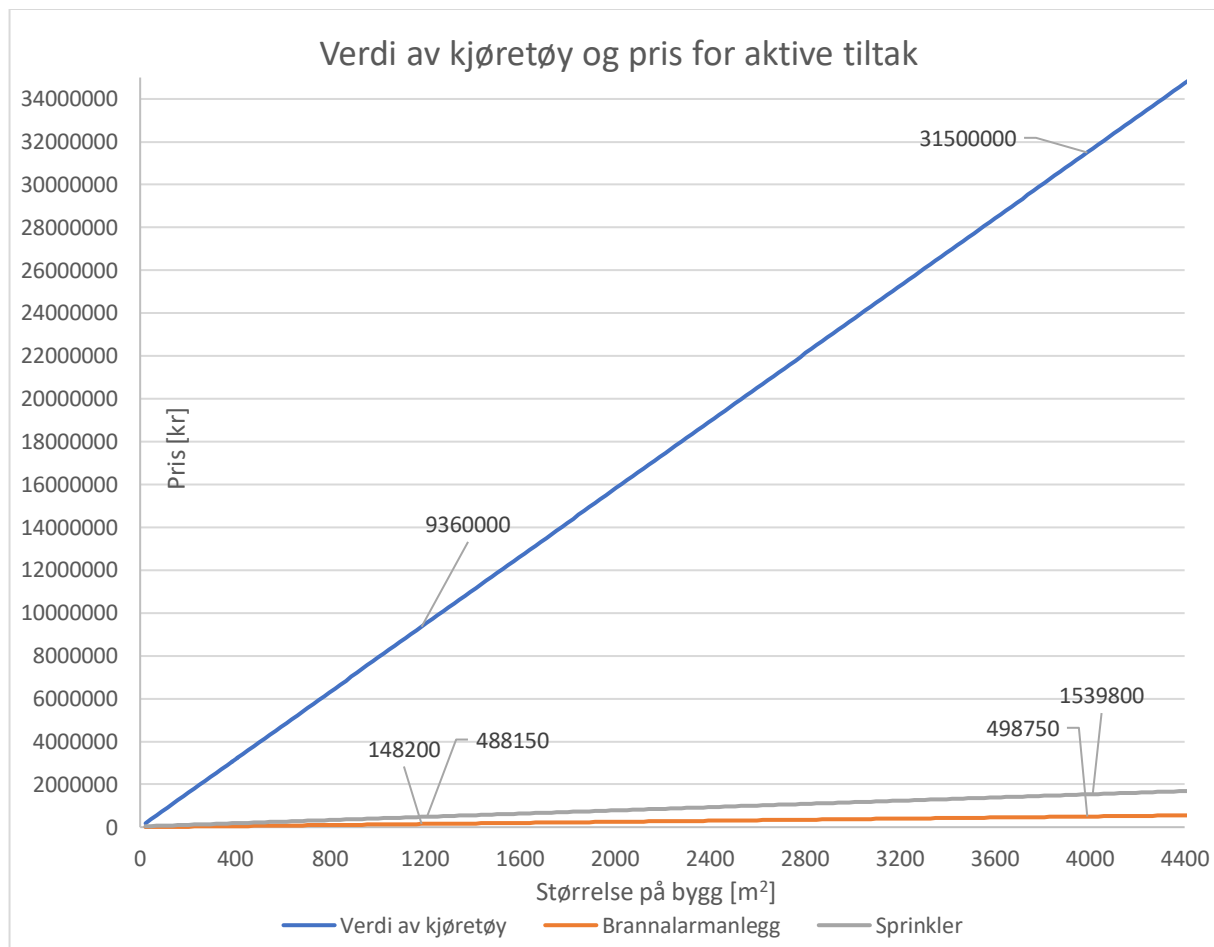
## 9.5. Økonomiske kostnader

I dette kapitlet skal den økonomiske konsekvensen og prisen på aktive tiltak vurderes. Det vil da se på hvor store verdier det er inne i parkeringsanlegget og se på når det må benyttes aktive tiltak, og kostnaden av disse.

Ved å se på dagens situasjon for parkeringsgarasjer er det mulig å plassere parkeringsplasser per 2,5 x 4,8 meter eller per 12,5 m<sup>2</sup>, kjørebredde er på 2,6 meter for enveis kjørebane i henhold til Byggforsk [54]. Det vil antas at en billig bruktbil koster rundt 20 000 kroner og en ny dyr bil koster rundt 800 000 kroner. Det vil da antas at gjennomsnittsprisen på en bil er 150 000 kr.

Videre er prisen for brannalarmanlegg anslått til å være 100-150 kr/m<sup>2</sup>. Sprinkleranlegg har en antatt pris på 350-400 kr/m<sup>2</sup> + sprinklersentral for ca. 35 000 kr. [59]. Det er vanskelig å anslå prisen for røykventilasjon siden kapasiteten er avhengig av størrelsen på bygget. Tiltaket med røykventilasjon er i hovedsak for å sikre brannvesenets sikkerhet [1].





Figur 20. Verdi av kjøretøy og pris for aktivt tiltak

Det som observeres her er at når verdien av kjøretøy er på ca. 9,4 millioner kroner, vil det være krav med brannalarmanlegg og 31,5 millioner kroner for krav om sprinkler. I praksis betyr det at det godtas et tap på ca. 9,4 millioner kroner i skade på kjøretøy før brannalarmanlegg benyttes og da inntil 31,5 millioner. Det bør da vurderes om en slik risiko er akseptabelt for samfunnet. Sprinklerkravet settes etter størrelsen per etasje, som betyr at man kan ha grunnflate på 4000 m<sup>2</sup> og flere etasjer og unngå kravet for sprinkleranlegg. [1] Dermed vil verdien av kjøretøy multipliseres med antall etasjer. Skader på bygg og samfunnsmessige konsekvenser er ikke tatt med i beregningene.

Det er litt oppsiktsvekkende at Norge aksepterer en slik økonomiske risiko sammenlignet med andre land, hvor aktive tiltak benyttes ved mindre arealer.

## 9.6. Hva bør gjøres for å forbedre brannsikkerheten i nye parkeringsanlegg?

Ved å se på de branntekniske problemstillingene som oppstår ved en garasjebrann er det noen tiltak kan og bør gjøres for å forbedre situasjonen. Den største utfordringen er å hindre brannspredningen til nærliggende bil slik at det ikke oppstår en situasjon hvor brannspredningen øker eksponentielt.

Den beste løsningen for fremtidige parkeringsanlegg hadde vært å benytte sprinkleranlegg, for å hindre brannspredningen mellom bilene, og røykventilasjon som forenkler brannvesenets innsats med tanke på sikt og sikkerhet. Hvis man benytter dette alternativet er det veldig lite sannsynlig at situasjonen kommer ute av kontroll, og det vil få en mindre økonomiske konsekvenser ved en uønsket hendelse. Dette er fordi det er lite sannsynlig at brannen sprer seg, og røykventilasjon vil transportere ut røyken, hindre røykskader på andre kjøretøy. I tillegg gjøre det lettere for brannvesenet å lokalisere brannen. I dagens regelverk benyttes denne løsningen når arealet per etasje overstiger 4000 m<sup>2</sup>, hvor samlet verdi fra bilene er på ca. 31,5 millioner. Dette er litt oppsiktsvekkende at en slik økonomisk risiko godtas i Norge, når i utenlandske regelverk benytter man sprinkler tidligere, og man kan unngå sprinklerkravet ved å bygge flere etasjer oppover. Det er da mindre sannsynlig at situasjonen kommer ute av kontroll, og man hindrer mulige store økonomiske tap.

En annen løsning er å stille krav til brannalarmanlegg i alle underjordiske parkeringsanlegg, og øke avstanden mellom bilene. Bakgrunnen for denne løsningen er basert på hendelser som har kommet ut av kontroll, og hvor det har tatt alt for lang tid før brannvesenet ble varslet om hendelsen. Dette førte til brannspredningen til flere biler før brannvesenet var på stedet og hendelsene var allerede ute av kontroll. Ved å øke avstanden mellom bilene kan man redusere strålingen mellom bilene, og dermed øke tiden før brannen spres videre.

Det som da bør gjøres er å fjerne den preaksepterte løsningen, hvor brannalarmanlegg ikke trenger å benyttes før størrelsen overstiger 1200 m<sup>2</sup>. Det bør heller være krav om at alle underjordiske parkeringsanlegg skal ha brannalarmanlegg på grunn av hvor kritisk det er å være tidlig ute ved en slik brann. Det bør også nevnes noe om avstanden mellom bilene i parkeringsanlegg med tanke på brannsikkerhet, da enten i TEK 17 eller i Byggforsk 312.130 [54] som tar for seg parkeringsanlegg og nevne konkret noe om brannsikkerhet.

## 10. Konklusjon

Det ble utført en litteraturstudie om brannsikkerheten i underjordiske parkeringsanlegg i Norge. For å vurdere brannsikkerheten har brannforløpet, brannspredning, slukking og innsats blitt vurdert i et helhetlig bilde sammen med det dagens regelverk for å vurdere om det er tilfredsstillende.

I underjordiske parkeringsanlegg er det som oftest biler som brenner. Temperaturen på en bil som har brent en periode vil variere fra 500 til 1100 °C. Ved så høye temperaturer vil strålingen fra brannen bli veldig høy. Ved å estimere en gjennomsnittstemperatur på 800 °C fra brannen vil strålingen være ca. 68,6 kW/m<sup>2</sup>. Ved en bilbrann vil det også være stor røykproduksjon, og temperaturen i røyken vil også bidra til stråling. Temperaturen i røyken vil variere ut ifra avstanden fra bilen, som igjen vil variere med størrelsen på rommet. Det er da gjort en grov estimering på 350 °C i røyken, noe som tilsvarer en stråling på 7,9 kW/m<sup>2</sup>. Røyken har også potensialet til å spre varme med konveksjon mellom ca. 3,1 til 31,2 kW/m<sup>2</sup>·K hvis røyken blir lav nok til å legge seg over bilene.

Ved slike strålingsintensiteter er det gjort observasjoner fra virkelige hendelser og forsøk at en brann i parkeringsanlegg sprer seg i løpet av 5 til 20 minutter. Som en strategi er det valgt å benytte brannspredning til neste bil før situasjonen blir kritisk. Dette fordi når den andre bilen begynner å brenne vil spredningen fortsette betydelig raskere til de neste bilene, og situasjonen kommer fort ute av kontroll.

Fra virkelige hendelser hvor situasjonen kom ut av kontroll, var det en sammenheng ved at bygget ikke var sprinklet, og at bygget var uten brannalarmanlegg. I flere av tilfellene ble brannen oppdaget av tilskuere. Dette førte til at brannvesenet ikke ble varslet før 7-8 minutter, og når brannvesenet er på stedet innen 10 minutter var det allerede flere biler som var i brann.

Det er oppdaget at sprinkleranlegg fungerer utmerket for å hindre spredning til neste bil. Det er ikke alltid at brannen slukker, eksempel hvis det brenner under panseret eller taket på bilen, men sprinkleranlegget klarer som regel å begrense brannen til bilen brannen startet i. Årsaken til at det ikke blir benyttet sprinkleranlegg er enten fordi det er dyrt og man godtar den økonomiske risikoen inntil 31,5 millioner, fordi regelverket ikke krever det før arealet per etasje overstiger 4000 m<sup>2</sup>.

Som alternativ og billigere løsning ble det valgt å undersøke hva bilens plassering og takhøyde har å si for strålingsintensitet for brannen, og om det kan være en løsning for å øke tiden før brannen sprer seg. Grunnet det store arealet røyken opptar ved en brann måtte det en høyde på 5,6 meter over biltaket før strålingen fra røyken ble halvert. For avstanden mellom bilene må det være ca. 1 meter mellom de før strålingen fra brannen blir halvert. I dagens regelverk for parkering av biler en parkeringsplass med bredde 2,5 meter og biler med bredde 1,8 meter, som utgjør en avstand mellom bilene på 0,7 meter. Nye moderne biler derimot har en bredde opptil 2,07 meter, og det er praktisert med bredde på parkeringsplasser ned til 2,3 meter. Dette utgjør en bredde mellom bilene på 0,23 meter.

Det vil da anbefales at i nye bygg må parkeringsplasser dimensjoneres for nye moderne biler, og ha stor nok avstand slik at strålingsintensiteten holdes lav og gir nok tid slik at brannvesenet kan gjøre en effektiv innsats. Denne bredden på parkeringsplassen kan da være 3,1 meter, og bredden mellom bilene vil da minst være ca. 1,0 meter. Det kan grovt anslås at for hver 10 meter parkeringsbredde reduseres antall biler fra fire til tre. For større anlegg gir dette et økonomisk tap på flere millioner årlig, avhengig hvor ofte parkeringsanlegget er full.

For at det allikevel skal være nok tid for brannvesenet å hindre at situasjonen kommer ute av kontroll bør det også kreves brannalarmanlegg for alle underjordiske parkeringsanlegg og ikke etter bruttoareal på 1200 m<sup>2</sup>. Dette er fordi man ser tendenser til at det tar for lang tid før personer varsler brannvesenet.

## 11. Videre arbeid

Beregning av temperatur og stråling ved bilbranner er meget komplekst, grunnet nesten alle biler brenner med forskjellige brannenergi, og størrelsene på bilene er forskjellig. Ved de reelle hendelsene som er utforsket er også mange av tidene et estimat, og observasjoner gitt av publikum som ikke kan dokumenteres som helt nøyaktige. Forsøkene som er undersøkt er også begrenset til hvilken biltype som er benyttet, hvor det ofte er samme biltype som benyttes i forsøkene.

Strålingsberegningene som er benyttet, hvor det har vært fokus på synsfaktoren og hvordan den har minsket etter hvert som avstanden øker har også være en forenklet beregning. Det er da gjort med enkle geometrier og en konstant temperatur.

Løsningen som er beskrevet ved å benytte en bredde på minst 1 meter mellom bilene er et estimat ettersom strålingen halveres ved ca. denne avstanden. Som videre arbeid bør det forskes på om ved denne avstanden kan gi god nok tid for brannvesenet til å gjøre en innsats før situasjonen kommer ute av kontroll. Eventuell en mer effektiv avstand bilene bør ha mellom seg.

Det bør også være en diskusjon om man skal akseptere den økonomiske risikoen før man benytter sprinkleranlegg etter de preaksepterte ytelsene i VTEK 17, eller om man bør kreve dette tidligere.

## 12. Referanser

- [1] Direktoratet For Byggkvalitet, «Veiledning til Teknisk forskrift (VTEK17),» 2017.
- [2] D. f. s. o. beredskap, «Brannstatistikk 2018,» [Internett]. Available: <https://www.dsb.no/reportasjearkiv/brannstatistikk-2018/>.
- [3] D. f. s. o. beredskap, «41 personer omkom i branner i 2019,» [Internett]. Available: [dsb.no/nyhetsarkiv/2019/41-personer-omkom-i-branner-i-2019/](https://www.dsb.no/nyhetsarkiv/2019/41-personer-omkom-i-branner-i-2019/).
- [4] D. f. s. o. beredskap, «39 omkomne i brann i 2018,» dsb, 02 01 2019. [Internett]. Available: <https://www.dsb.no/nyhetsarkiv/2019/39-omkomne-i-brann-i-2018/>. [Funnet 18 02 2020].
- [5] F. Norge, «BRASK - Brannskadestatistikk,» Finans Norge, 2020. [Internett]. Available: <https://www.finansnorge.no/statistikk/skadeforsikring/brannstatistikk/>. [Funnet 2020 03 02].
- [6] Aftenposten, «Storbrannen på Stavanger lufthavn kan komme til å koste en halv milliard kroner,» Aftenposten, 2020.
- [7] M. L. Dahlback, G. Molnes, M. L. Karlsen og S. S. Skiphavn, «Faktisk,» 9 Januar 2020. [Internett]. Available: <https://www.faktisk.no/artikler/RQ6/innsikt-er-elbilen-en-brannbombe>.
- [8] J. G. Q. Björn Karlsson, Enclosure Fire, CRC Press, 1999.
- [9] B. C. Hagen, Grunnleggende brannteknikk, Haugesund, 2018.
- [10] D. Li, G. Zhu, H. Zhu, Z. Yu, Y. Gao og X. Jiang, «Flame spread and smoke temperature of full-scale fire test of car fire,» School of Safety Engineering, China University of Mining and Technology, 2017.
- [11] Science 4 fun, «Science 4 fun,» 2020. [Internett]. Available: <https://science4fun.info/heat-transfer/>.
- [12] D. Drysdale, An introduction to Fire Dynamics - Third Edition, Wiley, 2011.
- [13] BRE, «Fire spread in car parks - BD2552,» Department for Communities and Local Government , December 2010.
- [14] S. Sentralbyrå, «Registrerte kjøretøy, etter drivstofftype, statistikkvariabel og år,» [Internett]. Available: <https://www.ssb.no/statbank/table/11823/tableViewLayout1/>. [Funnet 2020 03 03].
- [15] H. I. a. A. Lönnemark, «RECENT ACHIEVEMENTS REGARDING MEASURING OF TIME-HEAT AND,» SP Swedish National Testing and Research Institute, 2004.
- [16] P. Coller, «Car parks- fires involving modern cars and stacking systems,» BRANZ, 2011.
- [17] M. A. H. M.-B. Y. A. o. M. M. Mohsen M.Barsim, «Performance of impulse ventilation system in an underground car park fire,» Department of Mechanical Power Engineering and Energy, Faculty of Engineering, Minia University, Minia, Egypt, 2019.

- [18] «Sprinkleranlegg,» [Internett]. Available: <https://no.wikipedia.org/wiki/Sprinkleranlegg>. [Funnet 23 04 2020].
- [19] Direktoratet For Byggkvalitet, «Byggteknisk forskrift (TEK17),» 2017.
- [20] E. Haughem, Lærebok for sertifiseringskurs i varme arbeider, EH Produkter AS, 2014.
- [21] Bridgehill, «Bridgehill.com - Bilbrann,» [Internett]. Available: <http://bridgehill.com/bilbrann/>. [Funnet 06 02 2020].
- [22] J. T. Warner, «Thermal Runaway,» [Internett]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/thermal-runaway?fbclid=IwAR1tU8z831fTI1LvOzcS0YGGJ3zqpupXU4DJ0sfRAij78thVMYPONt xVVLGY>. [Funnet 30 04 2020].
- [23] L. fire-fighter, «LUF 60 - The allrounder,» [Internett]. Available: <https://www.luf60.at/en/extinguishing-support/robotic-fire-extinguishing-vehicle-luf-60/>. [Funnet 24 04 2020].
- [24] G. singapore, «7 cool pieces of technology SCDF is using,» 26 06 2018. [Internett]. Available: <https://www.tech.gov.sg/media/technews/7-cool-pieces-of-technology-scdf-is-using>. [Funnet 11 02 2020].
- [25] A. Raaer, «Temaartikkel LUF60,» Brannmannen, 8 01 2020. [Internett]. Available: <http://www.brannmannen.no/fagstoff/temaartikkel-luf60/>. [Funnet 2020 02 18].
- [26] Justis- og beredskapsdepartementet, «Lov om vern mot brann, eksplosjon og ulykker med farlig stoff og om brannvesenets redningsoppgaver (brann- og eksplosjonsvernloven),» 2002.
- [27] Justis- og beredskapsdepartementet, «Forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen,» 2002.
- [28] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, «DSB,» Brann og redning (BRE), Juli 2015. [Internett]. Available: <https://www.dsb.no/lover/brannvern-brannvesen-nodnett/veiledning-til-forskrift/veiledning-til-forskrift-om-organisering-og-dimensjonering-av-brannvesen/#organisering-av-beredskap-og-innsats>.
- [29] Brannmannen, «Brannmannen.no - ir kamera,» 24 Juli 2006. [Internett]. Available: <http://www.brannmannen.no/fagstoff/ir-kamera/>. [Funnet 04 Februar 2020].
- [30] S. Kerber og D. Madrzykowski, «Research for the Fire Service: Positive Pressure Ventilation,» National Institute of Standards and Technology (NIST), 2010.
- [31] Brannmannen, «Brannmannen.no - Overtrykksventilering,» 8 Juli 1998. [Internett]. Available: <http://www.brannmannen.no/fagstoff/overtrykksventilering/>. [Funnet 06 02 2020].
- [32] Brannmannen, «Karmsund brygge,» 18 Mai 2009. [Internett]. Available: <http://www.brannmannen.no/brann/brann-garasjeanlegg-boligkompleks/>. [Funnet 9 Mars 2020].
- [33] Eurosprinkler, «sprinkler control dutch car park fire,» 10 September 2014. [Internett]. Available: <https://www.eurosprinkler.org/sprinklers-control-dutch-car-park-fire/>.

- [34] J. Bjørkli, «Adressavisen,» 11 Februar 2014. [Internett]. Available: [https://www.adressa.no/nyheter/trondheim/article9123413.ece?fbclid=IwAR2N\\_Jjhvv07kZemHPGWS6Q0HUhlOiGMqtAkquI5NaFA7rOxOr8x8OlwFvE](https://www.adressa.no/nyheter/trondheim/article9123413.ece?fbclid=IwAR2N_Jjhvv07kZemHPGWS6Q0HUhlOiGMqtAkquI5NaFA7rOxOr8x8OlwFvE).
- [35] Asian Voice, «Asian Voice,» Asian Business Publications Ltd, 2 Januar 2018. [Internett]. Available: <https://www.asian-voice.com/News/UK/No-major-casualties-from-Liverpool-seven-storey-car-park-blaze>.
- [36] Merseyside Fire & Rescue Service, «Kings Dock Car Park Fire - Protection Report,» April 2018.
- [37] BBC News, «New Liverpool Waterfront car park planned after fire,» 6 Juli 2018. [Internett]. Available: <https://www.bbc.com/news/uk-england-merseyside-44731775>.
- [38] C. Johansen, «Dagbladet,» 7 Januar 2020. [Internett]. Available: <https://www.dagbladet.no/nyheter/frykter-p-hus-med-elbiler/72003245>.
- [39] Direktoratet for Byggkvalitet, «Prosjekteringsprosessen; 3.2.3 Funksjonsbasert regelverk,» 2012.
- [40] SINTEF Byggforsk, «520.387 Tilgjengelig rømningstid ved brann,» 2016.
- [41] SINTEF Byggforsk, «520.385 Nødvendig rømningstid ved brann,» 2016.
- [42] N. K. Reitan, A. G. Bøe og J. P. Stensaas, «Brannsikkerhet og alternative energibærere: El- og gasskjøretøy i innelukkede rom,» SP Fire Research AS, 2016.
- [43] D. Johansen, M. Engmann og J. Dyrød, «Parkeringskjellere i Europa,» Oslo, 2009.
- [44] Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, «Bygningsreglementet.dk,» 2018. [Internett]. Available: <http://byggningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/05/Krav>.
- [45] Bauministerkonferenz, «einer Verordnung über den Bau und Betrieb von Garagen,» 2008. [Internett]. Available: <https://www.bauministerkonferenz.de/verzeichnis.aspx?id=991&o=7>.
- [46] National fire protection association, NFPA 88A parking structures, NFPA, 2019.
- [47] National fire protection association, NFPA 5000 Building Construction and Safety Code, NFPA, 2018.
- [48] Wikipedia, «International Building Code,» 2020. [Internett]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/International\\_Building\\_Code](https://en.wikipedia.org/wiki/International_Building_Code).
- [49] International Code Council, International Building Code, 2017.
- [50] R. Brannbefalslag, Interviewee, *Brannen i parkeringsanlegget på Sola*. [Intervju]. 20 Februar 2020.
- [51] Rogaland Brann og Redning, Evaluering av Brann i Parkeringshus Stavanger Lufthavn Sola, 2020.
- [52] Eurosprinkler, «Eurosprinkler,» 2 Januar 2015. [Internett]. Available: <https://www.eurosprinkler.org/sprinkler-controls-fire-in-dutch-car-park/>. [Funnet 25 Februar 2020].
- [53] BRE, «youtube; Fire spread in Car Parks,» BRE\_group, 02 November 2009. [Internett]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=4bjMLFx4IQg&t>. [Funnet 28 04 2020].



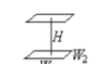
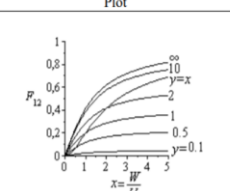
- [54] SINTEF Byggforsk, «312.130 Parkeringsplasser og garasjeanlegg,» 2015.
- [55] Statens vegvesen Vegdirektoratet, «Håndbok N100 Veg- og gateutforming,» 2019.
- [56] TU bygg, «TU.no Krav til parkeringsplasser,» 12 Februar 2019. [Internett]. Available: <https://www.tu.no/artikler/disse-p-plassene-pa-beste-vestkant-er-30-cm-for-smale-domt-til-a-betale-2-1-millioner-i-erstatning/457641>. [Funnet 2020 04 28].
- [57] Ø. Fossum, «dinside.no - Dette var nordmenns favoritt-biler i 2018,» 5 Januar 2019. [Internett]. Available: <https://www.dinside.no/motor/dette-var-nordmenns-favoritt-biler-i-2018/70621289>. [Funnet 17 Februar 2020].
- [58] B. S. Johansen, «Ventøk ventilasjonshåndbok - Ventilasjon av parkeringshus,» Ventøk, 2000.
- [59] COWI, «Pris på brannalarmanlegg og sprinkler - Epost fra Joakim Folkesson».

## 13. Vedlegg

### 13.1. Beregning av synsfaktor parallele plater

Bilde 3																	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
1	W1	W2	H	synsfak	X/Z	Y/Z	1.ledd	2.ledd	3.Ledd	4.ledd	5.ledd	Første fakt	Sum av Ledd	Temper	Stefan	Emiss	Stråling
2			0	1	18000	48000	9.73233886	309977859.1	1047190168	28273.33	75397.22	7.37E-10	1357064367				69.14115047
3	1.8	4.8	0.1	0.928	18	48	2.826151157	309.9834825	1048.366346	27.27536	74.39837	0.000737	1259.50225	800	6E-08	0.92	64.1704526
4			0.2	0.863	9	24	2.137678291	77.50008142	262.9692519	13.14125	36.69969	0.002947	292.76607				59.6646213
5			0.3	0.803	6	16	1.739910694	34.44758975	117.5188216	8.433886	24.13404	0.006631	121.138396				55.54698387
6			0.4	0.749	4.5	12	1.46281558	19.37920594	66.60364786	6.084573	17.85186	0.011789	63.509235				51.77177069
7			0.5	0.699	3.6	9.6											48.30501965
8			0.6	0.653	3	8											45.11873846
9			0.7	0.61	2.571	6.857											42.1885688
10			0.8	0.571	2.25	6											39.49267676
11			0.9	0.535	2	5.333											37.01117916
12			1	0.502	1.8	4.8											34.7258298
13			1.1	0.472	1.636	4.364											32.61983694
14			1.2	0.444	1.5	4											30.67774627
15			1.3	0.418	1.385	3.692											28.88535485
16			1.4	0.394	1.286	3.429											27.22963774
17			1.5	0.372	1.2	3.2											25.69867858
18			1.6	0.351	1.125	3											24.2816003
19			1.7	0.332	1.059	2.824											22.96849486
20			1.8	0.315	1	2.667	0.288443687	0.961699697	4.084927908	0.785398	3.232068	0.238732	1.31760471				21.7503527

**Equal rectangular plates**

Case	View factor	Plot
Between parallel equal rectangular plates of size $W_1 \cdot W_2$ separated a distance $H$ , with $x=W_1/H$ and $y=W_2/H$ . 	$F_{12} = \frac{1}{\pi xy} \left[ \ln \frac{x^2 + y^2}{x^2 + y^2 - 1} + 2x \left( y_1 \arctan \frac{x}{y_1} - \arctan x \right) + 2y \left( x_1 \arctan \frac{y}{x_1} - \arctan y \right) \right]$ with $x_1 = \sqrt{1+x^2}$ and $y_1 = \sqrt{1+y^2}$ (e.g. for $x=y=1$ , $F_{12}=0.1998$ )	

A8								
A	B	C	D	E	F	G	H	
1	W1	W2	H	synsfaktor	X/Z	Y/Z	1.ledd	2.ledd
2			0.0001	=L2*M2	=SA\$3/C2	=SB\$3/C2	=LN(((1+E2^2)*(1+F2^2))/(1+E2^2+F2^2))^0.5	=E2*(1+F2^2)^0.5*ARCTAN(E2/((1+F2^2)^0.5))
3	1.8	4.8	0.1	=L3*M3	=SA\$3/C3	=SB\$3/C3	=LN(((1+E3^2)*(1+F3^2))/(1+E3^2+F3^2))^0.5	=E3*(1+F3^2)^0.5*ARCTAN(E3/((1+F3^2)^0.5))
4			0.2	=L4*M4	=SA\$3/C4	=SB\$3/C4	=LN(((1+E4^2)*(1+F4^2))/(1+E4^2+F4^2))^0.5	=E4*(1+F4^2)^0.5*ARCTAN(E4/((1+F4^2)^0.5))

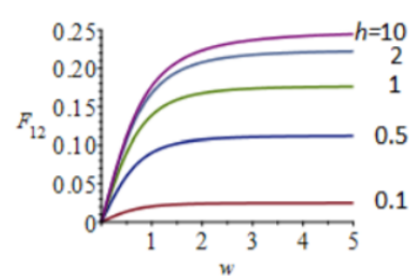
Bilde 3					
I	J	K	L	M	
1	3.Ledd	4.ledd	5.ledd	Første faktor	Sum av Ledd
2	=F2*(1+E2^2)^0.5*ARCTAN(F2/((1+E2^2)^0.5))	=E2*ARCTAN(E2)	=F2*ARCTAN(F2)	=(2/(PI()*E2*F2))	=(G2+H2+I2-J2-K2)
3	=F3*(1+E3^2)^0.5*ARCTAN(F3/((1+E3^2)^0.5))	=E3*ARCTAN(E3)	=F3*ARCTAN(F3)	=(2/(PI()*E3*F3))	=(G3+H3+I3-J3-K3)
4	=F4*(1+E4^2)^0.5*ARCTAN(F4/((1+E4^2)^0.5))	=E4*ARCTAN(E4)	=F4*ARCTAN(F4)	=(2/(PI()*E4*F4))	=(G4+H4+I4-J4-K4)

V6				
N	O	P	Q	
1	Temperatur C	Stefan bolt.	Emissivitet	Stråling
2				=\$((N\$3+273)^4*\$P\$3*\$O\$3*D2)/1000
3	800	=5.67*10^-8	0.92	=\$((N\$3+273)^4*\$P\$3*\$O\$3*D3)/1000
4				=\$((N\$3+273)^4*\$P\$3*\$O\$3*D4)/1000

## 13.2. Beregning av synsfaktor punkt til plate

Bilde 2												
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
1	H	W	L	synsfaktor	mellomr	1. ledd	2. ledd	tempe	stefan	absorbsjon	stråling [kw/m <sup>2</sup> ]	reduksjon
2	5	5	0.01	0.9999967		0.785395593	0.785395593				7.858174187	0
3			0.2	0.9986925	0.1592	0.784371237	0.784371237	350	0	0.92	7.847925129	0.130425
4			0.4	0.9947911		0.781307069	0.781307069				7.817266995	0.520569
5			0.6	0.9883583		0.77625481	0.77625481				7.766717267	1.163844
6			0.8	0.9794957		0.769294141	0.769294141				7.697073197	2.050107
7			1	0.9683396		0.76053211	0.76053211				7.609405819	3.165727
8	<b>Patch to rectangular plate</b>											4.494113
9												6.016315
10												7.711668
11												9.558445
12												11.53447
13												13.6177
14												15.78668
15												18.02094
16												20.30137
17												22.61033
18												24.93189
19												27.25183
20												29.55766
21												31.8386
22												34.08549
23												36.29067

Case	View factor	Plot
From small planar patch pointing to a corner of a rectangular plate of sides $H$ and $W$ at a separation $L$ , with $h=H/L$ and $w=W/L$ .	$F_{12} = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{h}{h'} \arctan \frac{w}{h'} + \frac{w}{w'} \arctan \frac{h}{w'} \right)$ <p>with <math>w' \equiv \sqrt{1+w^2}</math> and <math>h' \equiv \sqrt{1+h^2}</math></p> <p>(e.g. for <math>W=H=L</math>, <math>F_{12}=0.139</math>)</p>	

Bilde 2												
A	B	C	D	E	F	G						
1	H	W	L	synsfaktor	mellomregning	1. ledd	2. ledd					
2	5	5	0.01	=SE\$3*(F2+G2)*4	=1/(2*PI())	=(SAS2/(SAS2^2+C2^2)^0.5)*ARCTAN(SBS2/(SAS2^2+C2^2)^0.5)	=(SBS2/((SBS2^2+C2^2)^0.5))*ARCTAN(SAS2/((SBS2^2+C2^2)^0.5))					
3			0.2	=SE\$3*(F3+G3)*4		=(SAS2/(SAS2^2+C3^2)^0.5)*ARCTAN(SBS2/(SAS2^2+C3^2)^0.5)	=(SBS2/((SBS2^2+C3^2)^0.5))*ARCTAN(SAS2/((SBS2^2+C3^2)^0.5))					
4			0.4	=SE\$3*(F4+G4)*4		=(SAS2/(SAS2^2+C4^2)^0.5)*ARCTAN(SBS2/(SAS2^2+C4^2)^0.5)	=(SBS2/((SBS2^2+C4^2)^0.5))*ARCTAN(SAS2/((SBS2^2+C4^2)^0.5))					

N10											
H	I	J	K			L					
1	temperatur	stefan boltz	absorbsjon	stråling [kw/m <sup>2</sup> ]			reduksjon				
2				=(((\$H\$3+273)^4*\$I\$3*\$J\$3*D2)/1000			=(1-(K2/\$K\$2))*100				
3	350	=5.67*10 <sup>-8</sup>	0.92	=(((\$H\$3+273)^4*\$I\$3*\$J\$3*D3)/1000			=(1-(K3/\$K\$2))*100				
4				=(((\$H\$3+273)^4*\$I\$3*\$J\$3*D4)/1000			=(1-(K4/\$K\$2))*100				

### 13.3. Beregning av økonomisk risiko parkeringsanlegg

A	B	C	D	E	F	G	H
Lengde	Bredde	Kvadratmeter bygget	kvadratmeter til parkering	Antall biler 2,5 meter bredde	sprinkler	Brannalarmanlegg verdi av biler 2,5 meter avstand	
3	7.6	=A4*(B4)	=A4*(B4-2.6)	=D4/12.5	=35000+(375*C4)	=125*C4	=E4*150000
6	7.6	=A5*(B5)	=A5*(B5-2.6)	=D5/12.5	=35000+(375*C5)	=125*C5	=E5*150000
9	7.6	=A6*(B6)	=A6*(B6-2.6)	=D6/12.5	=35000+(375*C6)	=125*C6	=E6*150000
12	7.6	=A7*(B7)	=A7*(B7-2.6)	=D7/12.5	=35000+(375*C7)	=125*C7	=E7*150000
15	7.6	=A8*(B8)	=A8*(B8-2.6)	=D8/12.5	=35000+(375*C8)	=125*C8	=E8*150000
18	7.6	=A9*(B9)	=A9*(B9-2.6)	=D9/12.5	=35000+(375*C9)	=125*C9	=E9*150000
21	7.6	=A10*(B10)	=A10*(B10-2.6)	=D10/12.5	=35000+(375*C10)	=125*C10	=E10*150000
24	7.6	=A11*(B11)	=A11*(B11-2.6)	=D11/12.5	=35000+(375*C11)	=125*C11	=E11*150000

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Lengde	Bredde	Kvadratmeter bygget	kvadratmeter til	Antall biler 2,5 meter bredde	sprinkler	Brannalarmanlegg	verdi av biler 2,5 meter avstand	
3	7.6	22.8	15	1.2	43550	2850	180000	
6	7.6	45.6	30	2.4	52100	5700	360000	
9	7.6	68.4	45	3.6	60650	8550	540000	
12	7.6	91.2	60	4.8	69200	11400	720000	
15	7.6	114	75	6	77750	14250	900000	
18	7.6	136.8	90	7.2	86300	17100	1080000	
21	7.6	159.6	105	8.4	94850	19950	1260000	
24	7.6	182.4	120	9.6	103400	22800	1440000	
27	7.6	205.2	135	10.8	111950	25650	1620000	