

Lars Tallerud
Dhanusshanth Tharmarajan
Guttorm Hallum Østigård

Branntekniske utfordringer ved bruksendring av eldre låvebygg

- En studie med fokus på analytisk brannteknisk
prosjektering

Mai 2020

NTNU

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk



Bacheloroppgave

2020



Lars Tallerud
Dhanusshanth Tharmarajan
Guttorm Hallum Østigård

Branntekniske utfordringer ved bruksendring av eldre låvebygg

- En studie med fokus på analytisk brannteknisk
prosjektering

Bacheloroppgave
Mai 2020

NTNU

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Oppgavens tittel: Branntekniske utfordringer ved bruksendring av eldre låvebygg - en studie med fokus på analytisk brannteknisk prosjektering	Dato: 20.05.2020		
	Antall sider: 61		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	x
Navn: Lars Tallerud, Dhanusshanth Tharmarajan, Guttorm Hallum Østigård			
Veileder: Fred Johansen			

Sammendrag

I denne oppgaven ønsker vi å undersøke hvilke utfordringer eldre låvebygg har til bruksendring og eventuelle tiltak for at brannsikkerheten kan opprettholdes. Dette er fordi mange eldre låvebygg står ubrukt rundt omkring i landet, og det er hensiktsmessig om disse får et nytt formål istedenfor å stå ubrukt og forfalle.

Derfor er det undersøkt et eldre låvebygg i Ringsaker som eier ønsker å benytte som et lager. Her er det forsøkt å finne ut hvilke tiltak som må gjennomføres for å oppfylle kravene i forskriften. Dette er gjort ved hjelp av en risikovurdering der det ses på hvilke brannsikringstiltak som kan gjøres. Det er også gjort kvantitative undersøkelser ved utregning av rømningstid. I tillegg er det utformet et flytskjema basert på TEK 17 *Sikkerhet ved brann*, som viser en stegvis fremgangsmåte for å få godkjent kravene i forskriften.

Resultatet viser to mulige løsninger som tilfredsstillers dagens krav for låven vi har undersøkt, en med sprinkleranlegg og en med ytterligere oppdeling av brannceller. Det er også angitt et forslag som ikke tilfredsstillers kravene i TEK 17, men som likevel kan argumenteres for å gi et minimum av sikkerhet.

Det konkluderes med at de største utfordringene er å opprettholde krav til bærende bygningsdelers og branncellers brannmotstand. Det kan dermed være utfordrende å få eldre låvebygg til å tilfredsstillers dagens tekniske krav, innenfor rimelige kostnadsrammer. Det finnes noen tilfeller hvor ikke alle kravene i forskriften må overholdes, men byggene må uansett vise til at de overholder brannsikkerheten.

Stikkord:

Brann
Bruksendring
Eldre bygninger
Risikovurdering

Lars Tallerud

Lars Tallerud

Dhanusshanth Tharmarajan

Dhanusshanth Tharmarajan

Guttorm H. Østigård

Guttorm Hallum Østigård

Abstract

This bachelor's thesis explores the challenges related to fire safety when old barns are repurposed. Across Norway, there are several older barn buildings no longer in use, and it would be appropriate if these are given a new purpose instead of decaying.

We studied an older barn building in Ringsaker which the owner wants to re-use as a storage building. We have attempted to find out which measures must be taken to meet the requirements of the Norwegian regulations. This is done through a risk assessment where we consider different possible fire safety measures. In addition, quantitative studies have been carried out in order to calculate escape time.

The result shows two possible solutions that meet the current requirements for the barn we have examined: One alternative with sprinkler systems, and one with further division of fire cells. We also propose a solution that does not meet the requirements of TEK 17. Nevertheless, it can be argued to ensure a minimum of fire safety.

The main challenges are to maintain requirements for the fire resistance of load-bearing parts and fire cells. It is difficult to modify older barn buildings in order to meet today's technical requirements within reasonable cost limits. In some cases, not every requirement must necessarily be met, but the building still needs to prove a satisfactory level of fire safety.

Forord

Denne Bacheloroppgaven er det avsluttende arbeidet på den 3-årige ingeniørutdanningen Bygg ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet i Gjøvik. Oppgaven er skrevet på vårsemesteret 2020 i emnet BIBYG39 Bacheloroppgave Bygg og utgjør 20 studiepoeng.

Tema for denne oppgaven er brannsikkerhet ved bruksendring i et eldre låvebygg, som er gitt av fagmiljøet ved NTNU Gjøvik.

Vi vil takke vår veileder Fred Johansen, førstelektor ved NTNU Gjøvik for gode råd og veiledning underveis i prosessen. Vi vil også takke Nils Kr. Nordlien for at vi fikk undersøke låven og lån av litteratur.

Innholdsfortegnelse

Abstract	iii
Forord	iv
Innholdsfortegnelse	v
Figurliste.....	viii
Tabelliste	ix
Begrepsforklaringer.....	x
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven	1
1.1.1 Samfunnsperspektiv og FNs bærekraftsmål	1
1.1.2 Etske utfordringer.....	3
1.2 Problemstilling.....	3
1.3 Disposisjon av oppgaven.....	3
1.4 Studiets utgangspunkt.....	4
1.5 Omfang og avgrensninger	5
1.5.1 Antakelser av bygningen.....	5
1.6 Gjeldende rammebetingelser	8
1.6.1 TEK 17.....	8
1.6.2 Byggesaksforskriften.....	14
1.6.3 Interkontrollforskriften.....	15
1.6.4 Plan- og bygningsloven (pbl.)	15
1.6.5 Brann- og eksplosjonsvernlov	15
1.6.6 Forskrift om brannforebygging	15
1.6.7 Dimensjoneringsforskriften (DIM)	16
1.6.8 Sammenhengen mellom byggefasen og bruksfasen.....	16
1.7 Dispensasjon fra forskrift	17
2 Metode.....	18
2.1 Fremgangsmåte kvalitativ og kvantitativ metode.....	18
2.2 Arbeidsprosessen	19
2.2.1 Anskaffelse av relevante kilder gjennom databaser	19
2.2.2 Dokumentasjon av arbeid.....	20

2.2.3	Prosjekteringsgrunnlag – analytisk prosjektering	20
2.2.4	Beregning av rømningstider og konstruksjonens bæreevne.....	20
2.2.5	Risikoevaluering.....	21
2.3	Grunnlag for risikoanalyse	24
2.3.1	Statistikk for branner.....	24
2.3.2	Skadde i brann.....	25
2.3.3	Brannårsak.....	26
3	Teori	27
3.1	Brannteknisk prosjektering.....	27
3.1.1	Forenklet brannteknisk prosjektering.....	27
3.1.2	Analytisk brannteknisk prosjektering.....	28
3.1.3	Brannberegning – konstruksjonens bæreevne og stabilitet	29
3.1.4	Rømning og redning.....	32
3.1.5	Kritiske forhold ved rømning.....	37
3.2	Brannutvikling	39
3.2.1	Røykspredning og røykutvikling.....	39
3.2.2	Varmeutvikling.....	40
3.2.3	Materialegenskaper og brannmotstand.....	40
3.3	Brannsikringstiltak.....	42
3.3.1	Passive brannsikringstiltak.....	42
3.3.2	Aktive brannsikringstiltak	43
4	Resultat.....	45
4.1	Risikoevaluering.....	45
4.2	Branntekniske tiltak.....	46
4.3	Nødvendig og tilgjengelig rømningstid.....	46
5	Diskusjon.....	48
5.1	Metode.....	48
5.2	Risikoevaluering.....	49
5.3	Andre løsninger	50
5.4	Hva har dette å si for andre bygg.....	51
5.5	Feilkilder.....	52
6	Konklusjon	54
6.1	Forslag til videre arbeid.....	55

7	Litteraturliste	56
8	Vedlegg	62
8.1	Beregning av nødvendig rømningstid.....	62
8.2	Beregning av tilgjengelig rømningstid	72
8.3	Røykhøyde beregninger.....	74
8.4	Konstruksjonens bæremotstand.....	76
8.5	Risikoanalyse og komparativ analyse.....	79

Figurliste

Figur 1: Viser plan 1 etter nødvendige endringer	7
Figur 2: Viser plan 2 etter nødvendige endringer	7
Figur 3: Viser plan 3 etter nødvendige endringer	8
Figur 4: Viser plan 4.....	8
Figur 5: Flytskjema del 1	9
Figur 6: Flytskjema del 2	10
Figur 7: Flytskjema del 3	11
Figur 8: Flytskjema del 4	12
Figur 9: Flytskjema del 5	13
Figur 10: Flytskjema del 6	14
Figur 11: Sammenhengen mellom forskrifter/lover ved prosjektering av brann.....	16
Figur 12: Sektordiagram over personskade under brann	25
Figur 13: Stolpediagram over brannårsaker for branner i perioden 2000-2019.....	26
Figur 14: Sammenheng mellom tilgjengelig og nødvendig rømningstid.....	32
Figur 15: Illustrasjon av effektiv bredde for dør	33
Figur 16: Overordnet oversikt over rømningstid.....	34
Figur 17: t^2 - konstant for brann	35
Figur 18: Illustrasjon av de ulike fasene i et typisk brannforløp.....	39

Tabelliste

Tabell 1: Begrepsforklaringer	xi
Tabell 2: Brannårsaker og prosentandeler for de ulike tilfellene.	26
Tabell 3: Brannklasse	28
Tabell 4: Risikoklasse	28
Tabell 5: Anbefalte verdier for lastfaktorer for bygninger.....	30
Tabell 6: Verdier β_0 og β_n	31
Tabell 7: Verdi for α og t_a	36
Tabell 8: Spesifikk varmeverdi H_0 for aktuelle brennbare materialer.	36
Tabell 9: Akseptkriterier for varmestråling, romtemperatur og siktbarhet ved rømning.....	38
Tabell 10: Klassifiseringsklasser for overflater på vegger og himlinger	41
Tabell 11 Brannmotstand ved antall lag gips	46
Tabell 12: Rømningstider, sikkerhetsmargin, røykhøyde og konstruksjonens bæremotstand.	47

Begrepsforklaringer

Analysebygning	Bygget som skal vurderes.
ALARP- prinsippet	As Low As Reasonable Possible. Formålet med ALARP- prinsippet er å redusere risikoen så mye som praktisk mulig.
CFD	Computational Fluid Dynamics, mest avanserte modellene for å analysere brann- og røykspredning.
Enhetsbygning	Gårdsbygg som huser dyr, avling, redskap og gjødsel under samme tak.
Komparativ analyse	En sammenligning av et analysebygg og et referansebygg. Referansebygget oppfyller de preaksepterte løsningene gitt i TEK 17.
Kvalitativ	Uttrykt med ord.
Kvantitativ	Uttrykt med tall.
Klimafotavtrykk	Et mål på total utslipp av klimagasser, måles i kg CO ₂ -ekvivalent pr. år.
Livsløpsanalyser (LCA)	Systematisk analyse som viser bygningens totale klimautslipp, fra fremstilling av materiale til riving og avhending.
Nødvendig rømningstid	Tiden det tar å rømme en bygning.
Referansebygning	Bygg tilsvarende analysebygget, men som tilfredsstiller kravene i TEK 17.
Risikoanalyse	En analyse for å identifisere og vurdere ulike scenarier som kan føre til en risiko.

Risiko	Sannsynlighet multiplisert med konsekvens.
SAK10	Byggesaksforskriften, gjeldende fra 2010.
TEK17	Gjeldende byggetekniske lover fra 2017.
Tilgjengelig rømningstid	Tiden fra brannstart til forholdene blir kritisk for mennesker som oppholder seg i bygningen.
VTEK17	Veiledning til forskrift om tekniske krav til byggverk fra 2017.

Tabell 1: Begrepsforklaringer

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

I Norge står det mange eldre låvebygg som ikke egner seg for dagens gårdsdrift. For en del av disse er driften lagt ned, slik at det ikke er behov for dem i gårdsbruket. Noen av disse byggene ble bygd like før eller etter krigen fram til ut på 1950-tallet. Bygningene kjennetegnes ved at alle funksjoner er samlet under ett tak i såkalte enhetsbygninger, noe som førte til større gårdsbygg. Dessuten er kjørebrua et annet særtrekk på bygningene fra denne tida (Søberg, 1982). I slike tilfeller kan det være et dilemma om det skal rives og bygge nytt, eller gjennomgå en bruksendring og dermed endre byggets funksjon.

I den anledning har vi vært i kontakt med gårdseier Nils Kr. Nordlien, som har et eldre låvebygg på Ringsaker. Dette ønsker han å benytte som lager siden han leier ut jordene og ikke lenger har dyr på gården. Det var arkitekt Lars Flisaker som prosjekterte bygget på slutten av 1940-tallet. I dag står store deler av bygget tomt, men utgjør likevel et viktig element i kulturlandskapet slik som andre eldre landbruksbygninger. Derfor velges det å se på mulighetene for å gjøre en bruksendring slik at byggene kan få en ny funksjon og dermed ikke vil stå og forfalle.

1.1.1 Samfunnsperspektiv og FNs bærekraftsmål

Eldre bygg som ble bygd etter tidligere forskrifter kan ha andre krav til materialer enn det som er kravene i dag. Dette kan medføre at materialer i eldre bygg inneholder stoffer som er helseskadelige og belastende for miljøet. Derfor er det strenge krav for å rive eldre bygg og for behandling og levering av farlig avfall i dag (Direktoratet for byggkvalitet, 2019).

Transport av rivemateriale som tre og betong setter klimafotavtrykk (Bjørheim, 2019). Det kan være både miljøvennlig og økonomisk lønnsomt å gjennomføre en bruksendring som gir bedre klimafotavtrykk fremfor å rive hele bygget.

Ved bruksendring og rehabilitering kan det velges fornybare materialer som er både kortreist og bærekraftige. Bruk av gipsplater som innvendig kledning er miljøvennlig siden det er et naturprodukt og det er ikke tilsatt limstoffer i produksjonen (Norgips, 2020).

FNs bærekraftsmål er verdens felles arbeidsplan for å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringene innen 2030. Målene er kategorisert inn i 17 deler med 169 delmål for alle FNs 193 medlemsland (FN-sambandet, 2020). Bærekraftsmål nr. 9: *Innovasjon og infrastruktur* er et viktig mål, som er relevant å se på i forbindelse med bacheloroppgaven.

Bærekraftsmål nr. 9: *Innovasjon og infrastruktur*, handler om å fremme inkluderende og bærekraftig industrialisering og bidra til innovasjon. Det er aktuelt å se på delmål 9.4 (FN-sambandet, 2020):

Innen 2030 oppgradere infrastruktur og omstille næringslivet til å bli mer bærekraftig, med en mer effektiv bruk av ressurser og større anvendelse av rene og miljøvennlige teknologiformer og industriprosesser, der alle land gjør en innsats etter egen evne og kapasitet.

Å bruke eksisterende bygg til nye formål fremfor å rive eller bygge nytt, er både bærekraftig og effektiv bruk av ressurser.

Klimamålet for 2030 er at klimagasser reduseres med minst 40 % fra referanseåret 1990, ifølge klimaloven (Lovdata, 2017). I en rapport fra FME ZEN (forskningscenteret for nullutslippsområder i smarte byer) (Wiik, 2020) i samarbeid med SINTEF, NTNU, ZEN-Partnerne Civitas, Asplan Viak, Futurebuilt og Skanska, er det gjort studie med livsløpsanalyser (LCA) for over 120 ulike byggeprosjekter. Der beregnes det at klimagassutslippene i bygg- og anleggssektoren må ned med 7,6 prosent hvert år. Rapporten i denne studien beregner klimagassutslipp ved å rehabilitere fremfor å bygge nytt og studien konkluderes med at det er gunstigst for klimaet å rehabilitere. Det er fordi produksjon av nye materialer gir høyere klimagassutslipp enn å gjenbruke tilsvarende materialer.

1.1.2 Etiske utfordringer

Gruppen ser ingen direkte etiske utfordringer med gjennomføringen av oppgaven, men anser gjenbruk av fasader, fundamenter og materialer i eldre bygninger som et miljøvennlig tiltak. Dette er i tråd med regjeringens nye kulturmiljømelding som også ønsker gjenbruk fremfor å rive fordi det gir en langt større miljøgevinst (Henriksen, 2020).

Etiske utfordringer er en del av arbeidshverdagen til byggingeniører og entreprenører, allerede fra planleggingsfasen. Det som bygges er på en eller annen måte belastende for miljøet, enten i form av utslipp fra produksjon av lite miljøvennlige materialer, lange transportveier, eller verktøy og utstyr til bygget. Derfor bør det gjøres en vurdering på hvor grensen ligger for det som er akseptabelt eller ikke akseptabelt å gjennomføre.

FNs 17 bærekraftsmål, nevnt i delkapittelet over, viser at miljøhensyn har stor prioritet i dag. Etter gruppens mening er det etisk riktig å overholde FNs bærekraftsmål etter beste evne. En annen faktor å ta stilling til er bærekraftig økonomi. I denne oppgaven er definisjonen på «uforholdsmessige kostnader» i plan- og bygningsloven (pbl.) etisk viktig å ta stilling til for å gjennomføre bruksendring. Det kan også spørres om det er etisk riktig å ikke gjennomføre nødvendige sikkerhetstiltak fordi det er for store kostnader.

1.2 Problemstilling

Hvilke utfordringer har eldre låvebygg til brannsikkerhet ved bruksendring?

1.3 Disposisjon av oppgaven

NTNU har sine råd og retningslinjer for hvordan en rapport kan bygges opp. En av de retningslinjene er at hovedstrukturen på vitenskapelige rapporter kan struktureres etter IMRaD-modellen, som er vanlig å benytte (NTNU Institutt for bygg, 2013). IMRaD-modellen har ikke et eget teorikapittel integrert. Gruppen ser hensikten med å integrere et eget teorikapittel inn i modellen, siden denne rapporten hovedsakelig er en litteraturstudie der metodekapittelet er bygget på tilgjengelig teori innen temaet. Teorigrunnlaget i rapporten baserer seg da på

metodevalget, som skal oppfylle høy grad av reliabilitet for å oppnå validitet når resultatene presenteres. Kapitlene i rapporten er inndelt i 6 deler som skal belyse problemsstillingen:

Kapittel 1.4 *Studiets utgangspunkt*: Dette delkapittelet beskriver det aktuelle bygget i Ringsaker.

Kapittel 2 *Metode*: Dette kapittelet beskriver fremgangsmåten for å svare på problemsstillingen. Det presenteres søkemetoder på kilder, risikoevaluering og statistikkgrunnlag for tidligere brannhendelser.

Kapittel 3 *Teori*: I dette kapittelet presenteres relevante brannteorier som er grunnlaget for resultatet i problemsstillingen.

Kapittel 4 *Resultat*: I dette kapittelet presenteres resultater fra risikoanalyse, komparativ analyse og beregninger av rømningstider.

Kapittel 5 *Diskusjon*: I dette kapittelet diskuteres både resultatene fra kapittel 4 og metodevalget for å komme fram til resultatet.

Kapittel 6 *Konklusjon*: I dette kapittelet konkluderes problemsstillingen og det gis forslag for videre arbeid med studiet.

1.4 Studiets utgangspunkt

En tidligere driftsbygning som i dag står ubrukt i Ringsaker kommune er studiets utgangspunkt. Eieren ønsker å gjøre bruksendring på store deler av bygget ved å bygge om til minilagre og garasjelagring, så han kan leie det ut til personer som har behov for lagringsplasser. Gruppen fikk tilgang til plantegninger i alle etasjer og informasjon om bygget på befaring i driftsbygningen. 1. etasje og deler av 2. etasje er av betong, resten av bygget er i tre.

Driftsbygningen var en typisk «enhetsbygning» som var vanlig fram til 1950-tallet, som samlet alle gårdens behov under ett tak og hadde mange ulike rom med plass til flere dyreslag (Nordlien, 2018). Bygningen har til sammen 4 etasjer, inkludert kjeller, og har et grunnflateareal på ca. 600 m². Betongdelen består av garasje, minilagre, parkeringskjeller, traktorgarasje og redskapslager. I tredelen er det vognskjul, hele 3. etasje og 4. etasje.

Minilagre, garasje og parkeringskjeller har betongvegger og betongtak, slik at de kan regnes som egne brannceller. De øvrige rommene i betongdelen har tretak. Bygget er klassifisert under brannklasse 2 og risikoklasse 2.

1.5 Omfang og avgrensninger

Oppgaven baserer seg på litteraturstudie sammen med undersøkelser på et eksisterende låvebygg. Temaet for oppgaven er brannsikkerhet. Gjeldende teknisk forskrift og standarder følges for å oppfylle minimumskravene for bruksendring. Det skal utføres en risikoanalyse, komparativ analyse, og analyse av rømning og redningssikkerheten i bygget. Dette er en måte å tilfredsstille kravene i TEK 17 kapittel 11 *Sikkerhet ved brann*.

Det er ikke gjort noen kostnadsberegninger på eventuelle tiltak som må utbedres for å få godkjent bruksendring, men vi har kommentert kostnader der det er relevant. Dette skyldes hva som defineres som uforholdsmessige kostnader i henhold til pbl. § 31-2 (4. ledd).

1.5.1 Antakelser av bygningen

For å tilfredsstille minimum brannsikkerhet i bygningen er det valgt å gjøre følgende endringer før risikoanalysen gjennomføres:

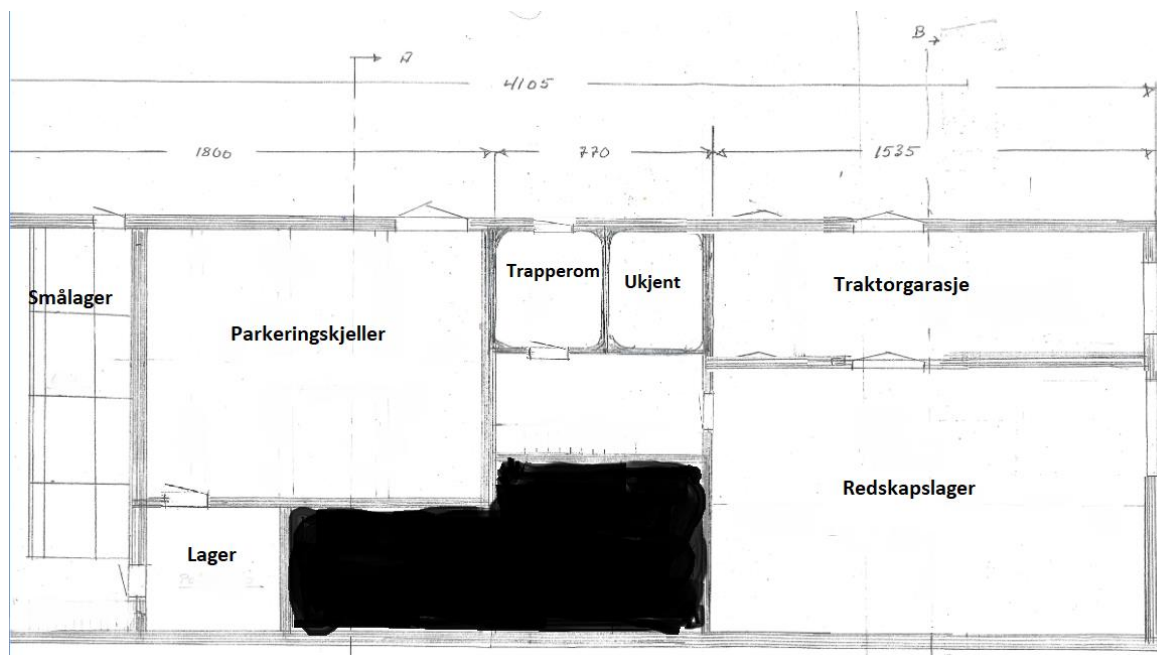
- Rommet som tidligere var en silo, er bygd om til trapperom. Denne går fra 1. til 3. etasje.
- Satt inn en dør mellom parkeringskjeller og lager i 1. etasje.
- Rømnings- og redningsplan er gitt, se vedlegg 8.1.

Det skal gjøres følgende antakelser for beregning av rømningstider, konstruksjonens bæremotstand og stabilitet:

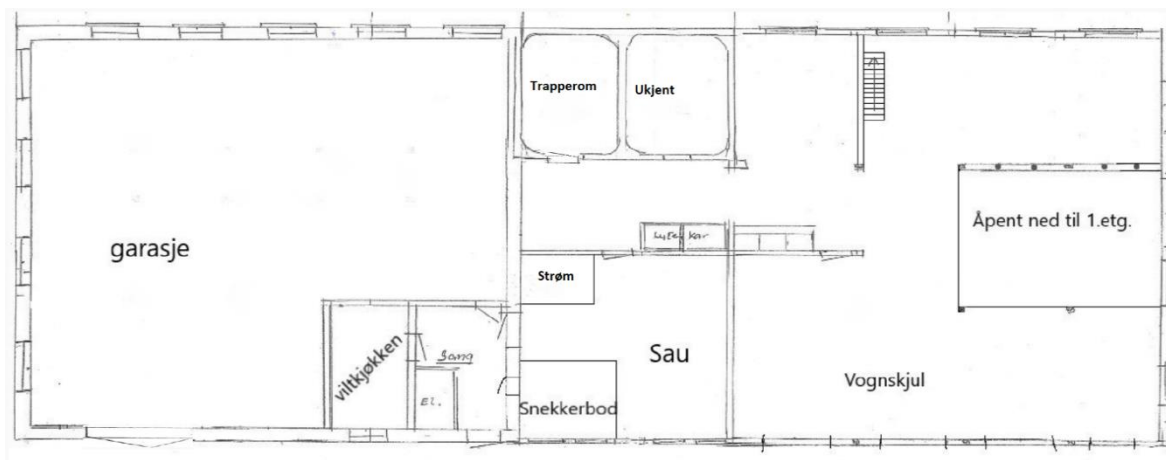
- Det antas at det er montert brannalarmanlegg med automatisk deteksjon i alle rom i bygget.
- Det er satt inn branndører mellom parkeringskjeller og lager i 1. etasje. Det er også branndør mellom garasje og gangen i 2. etasje.
- Det er et trapperom fra 1. etasje til 3. etasje.
- Det tas ikke hensyn til personer med funksjonsnedsettelse siden planløsningen ikke gir rom for det. Det antas også at personer kan gå i normal gangfart.

- Det tas utgangspunkt i at 8 personer oppholder seg i hver etasje ved beregning av rømningstider.
- Det antas at 6 biler står parkert i hver av garasjene i 1 og 2. etasje, og at bensin er brannkilden. I tillegg står en campingvogn i vognskjulet i 2. etasje.
- Bygget har en evakueringsplan.
- Siden materialet inne i bygget har stått tørt i mange år, antas at det ubehandlede trevirket medfører svært rask brannutvikling.
- Det er ikke mulighet for å komme seg fra den ene halvdel av bygget (minilager og parkeringskjeller) til den andre halvdel i 1.etasje. Derfor skal nødvendig rømningstid beregnes i to deler, avhengig av hvor personer oppholder seg til enhver tid i denne etasjen.
- I 1. etasje antas det at tilsammen 5 personer oppholder seg i minilager og parkeringskjeller, mens maks 3 personer oppholder seg i traktor- og redskapsgarasjen. Traktor- og redskapsgarasjen skal ikke leies ut og det er bare eier som har tilgang til rommet, derfor er det usannsynlig med flere enn 3 personer.
- Rømningstid i 2.etasje regnes uten inndelinger siden det er mulig å komme seg fra den ene enden til den andre. Siden det kommer til å være svært lite opphold i 4.etasje i forhold til de resterende etasjene, velges det å slå sammen 3. og 4. etasje ved beregning av rømningstiden.
- Tilgjengelig rømningstid bør være over dobbelt så stor som nødvendig rømningstid, for å kunne tilfredsstille sikkerhetsmarginen.
- Armeringsjernet har 1 cm overdekning i betongdekker og 2 cm i dragere (K.K.Heje, 1949).

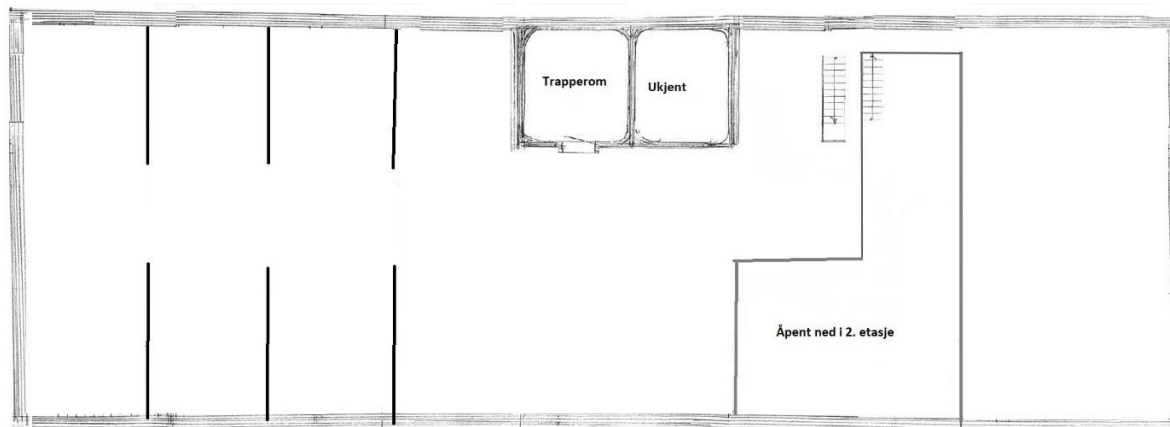
Plantegninger av hver etasje:



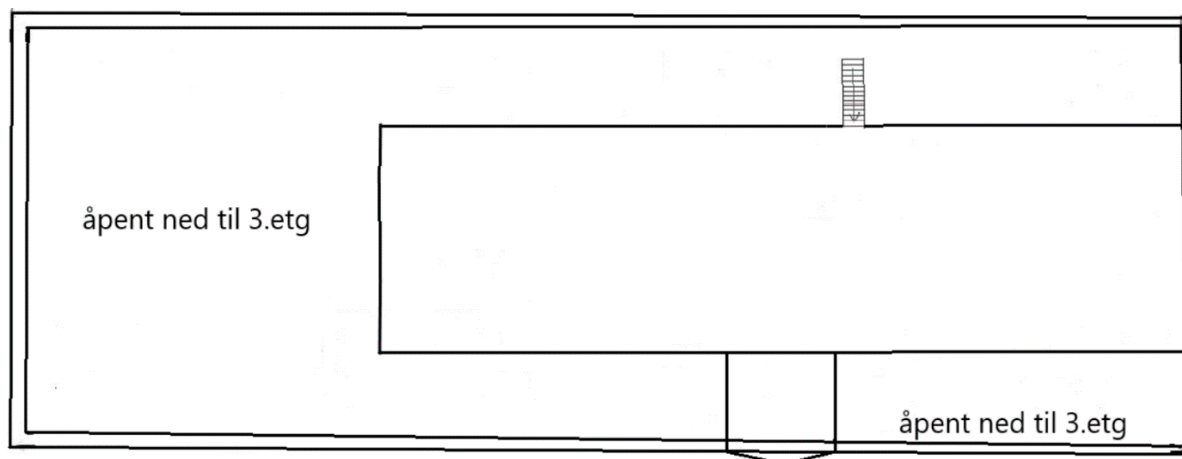
Figur 1: Viser plan 1 etter nødvendige endringer. Området farget med svart er ikke utgravet idag.



Figur 2: Viser plan 2 etter nødvendige endringer.



Figur 3: Viser plan 3 etter nødvendige endringer. I venstre halvdel er det 6 åpne rom mens deler av etasjen mangler gulv på høyresiden.



Figur 4: Viser plan 4.

1.6 Gjeldende rammebetingelser

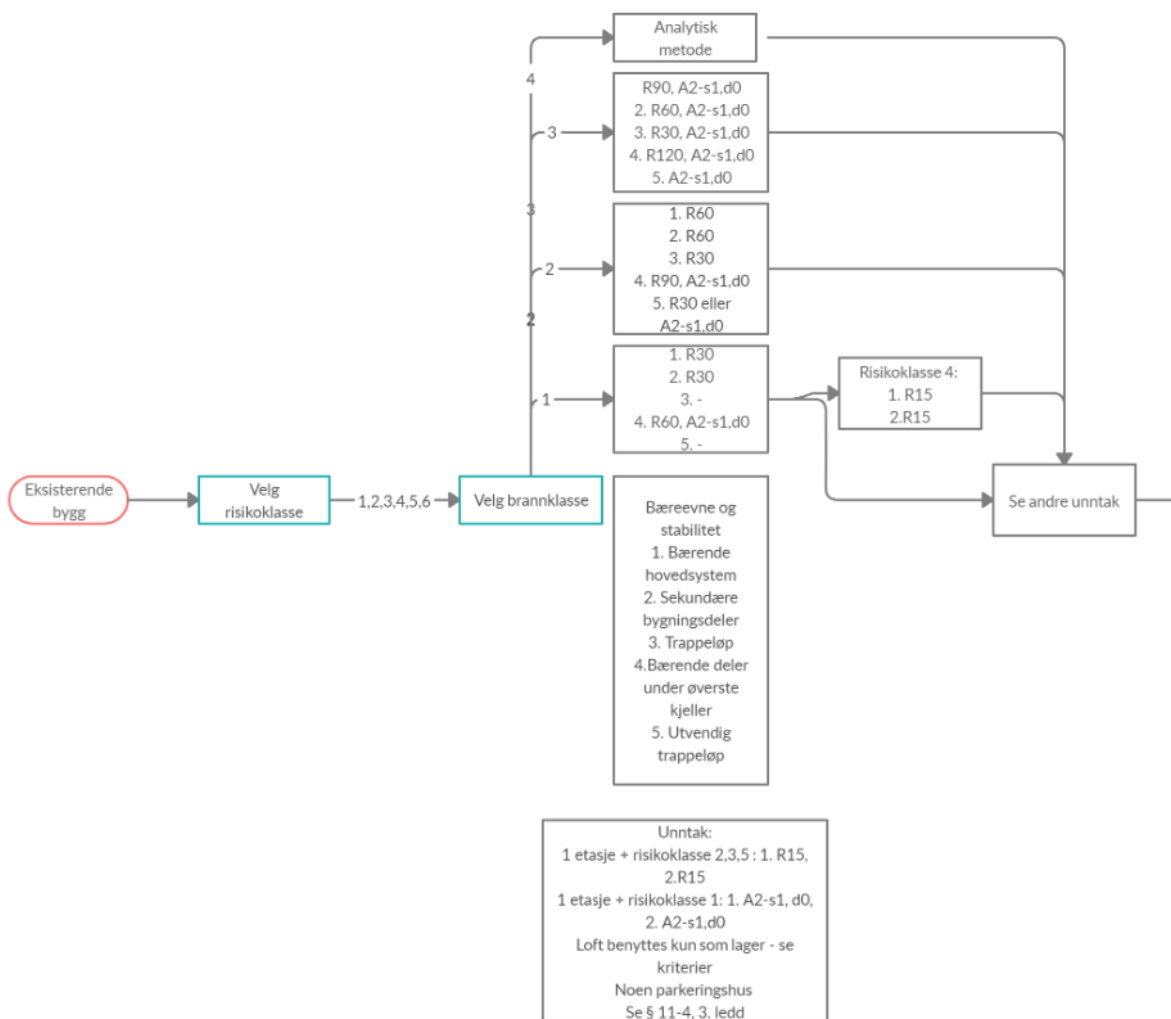
Ved bruksendring skal lover og regler følges. Under kommer de viktigste lovene og hva de omfatter.

1.6.1 TEK 17

TEK 17 er en forskrift som gjelder alle bygg som skal oppføres lovlig i Norge. Dette gjelder nye bygg og bygg som skal gjennomgå en bruksendring. Forskriften er delt inn i 17 kapitler og angir minimumskrav til blant annet energi, klima, konstruksjonssikkerhet og brann sikkerhet. I oppgaven skal det ses nærmere på kapittel 11 *Sikkerhet ved brann*.

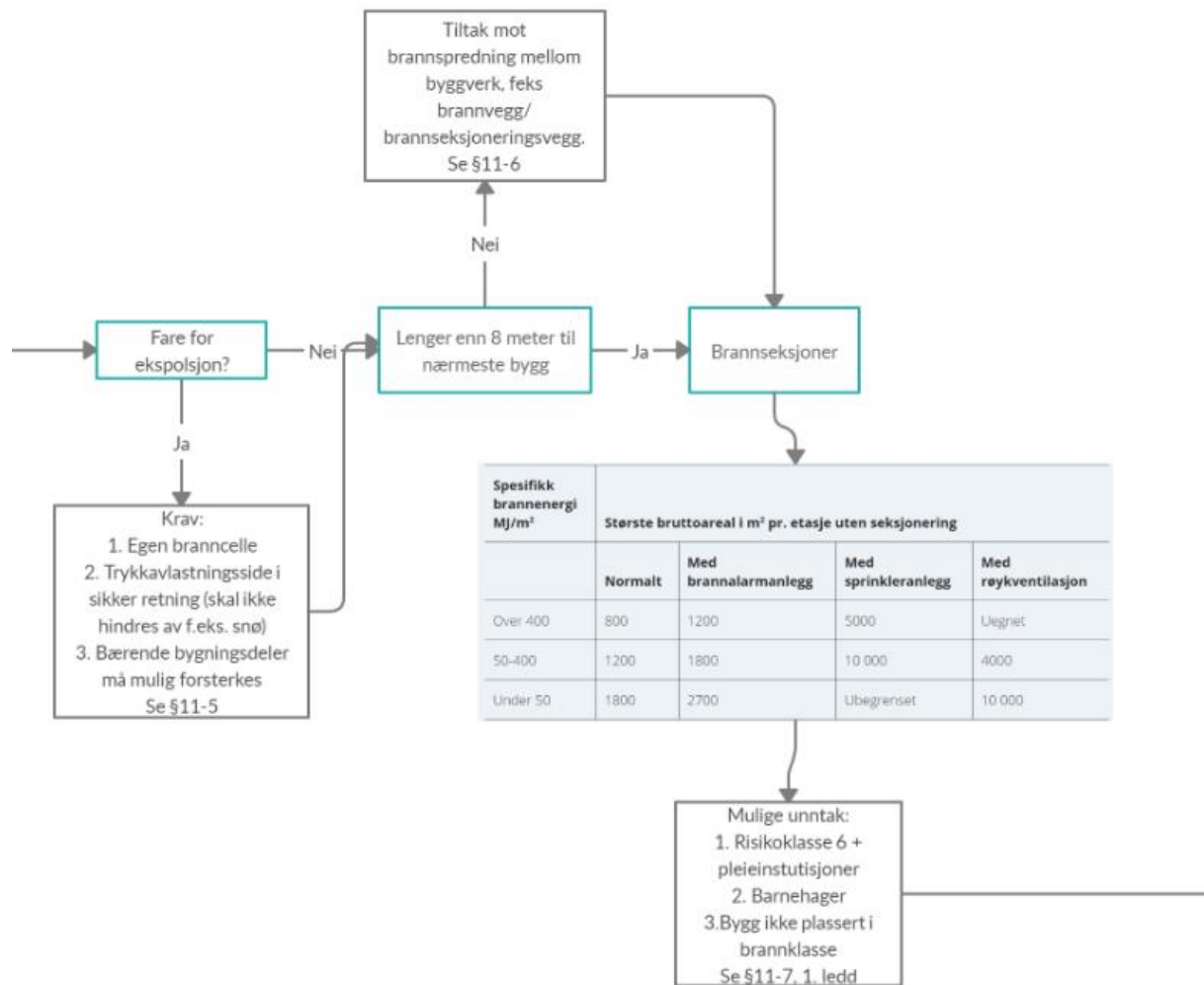
Siden det finnes en rekke krav i TEK 17 kapittel 11 for å gjøre bruksendring, har gruppen utarbeidet et flytskjema som viser en stegvis fremgangsmåte for dokumentasjon av brannsikkerhet. Dette flytskjemaet er overordnet slik det kan være enklere å få oversikt over hva som må bestemmes. Dermed er det mindre sannsynlighet for å glemme noen av kravene i forskriften underveis i prosjekteringen. Flytskjemaet finnes også i vedleggmappen *Vedlegg Bacheloroppgave gr.20*. Flytskjemaet er inndelt i seks deler, vist under:

Flytskjema del 1



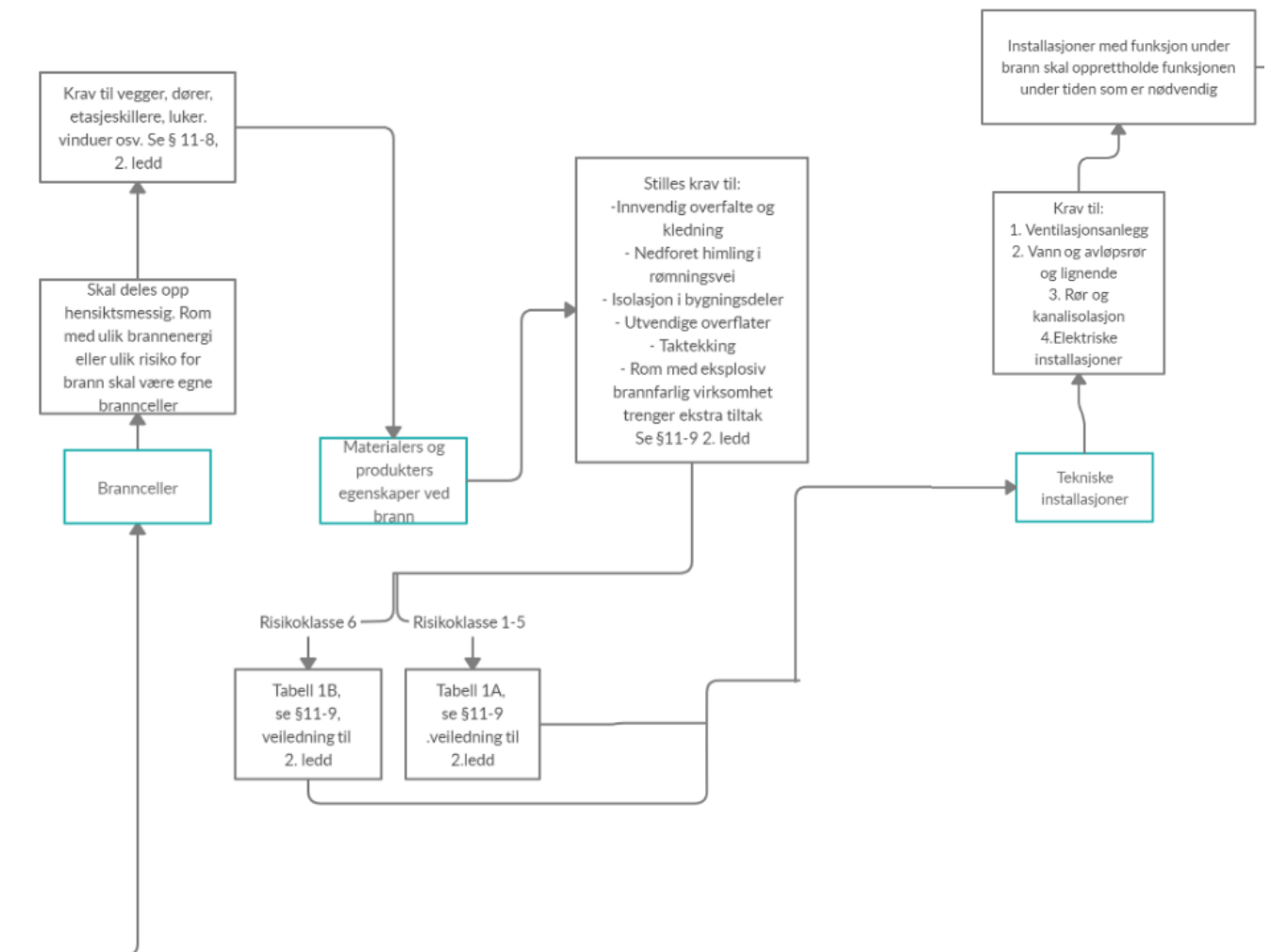
Figur 5: Del 1 viser valg av risikoklasse og brannklasse ved startfasen av flytskjemaet.

Flytskjema del 2



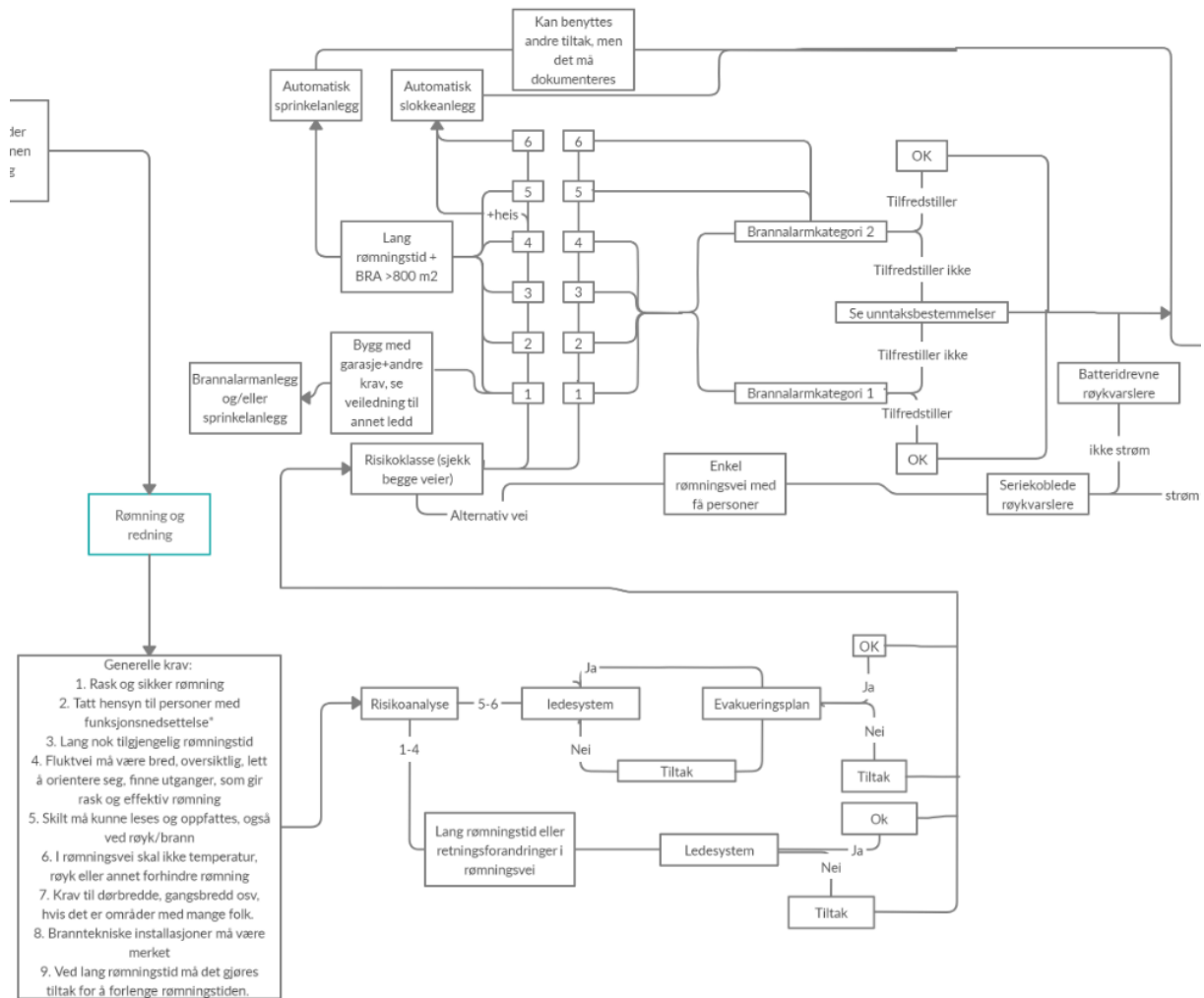
Figur 6: Del 2 fortsetter fra del 1. Hovedpunktene her er fare for eksplosjon, avstand til nærmeste bygg og brannseksjonering.

Flytskjema del 3



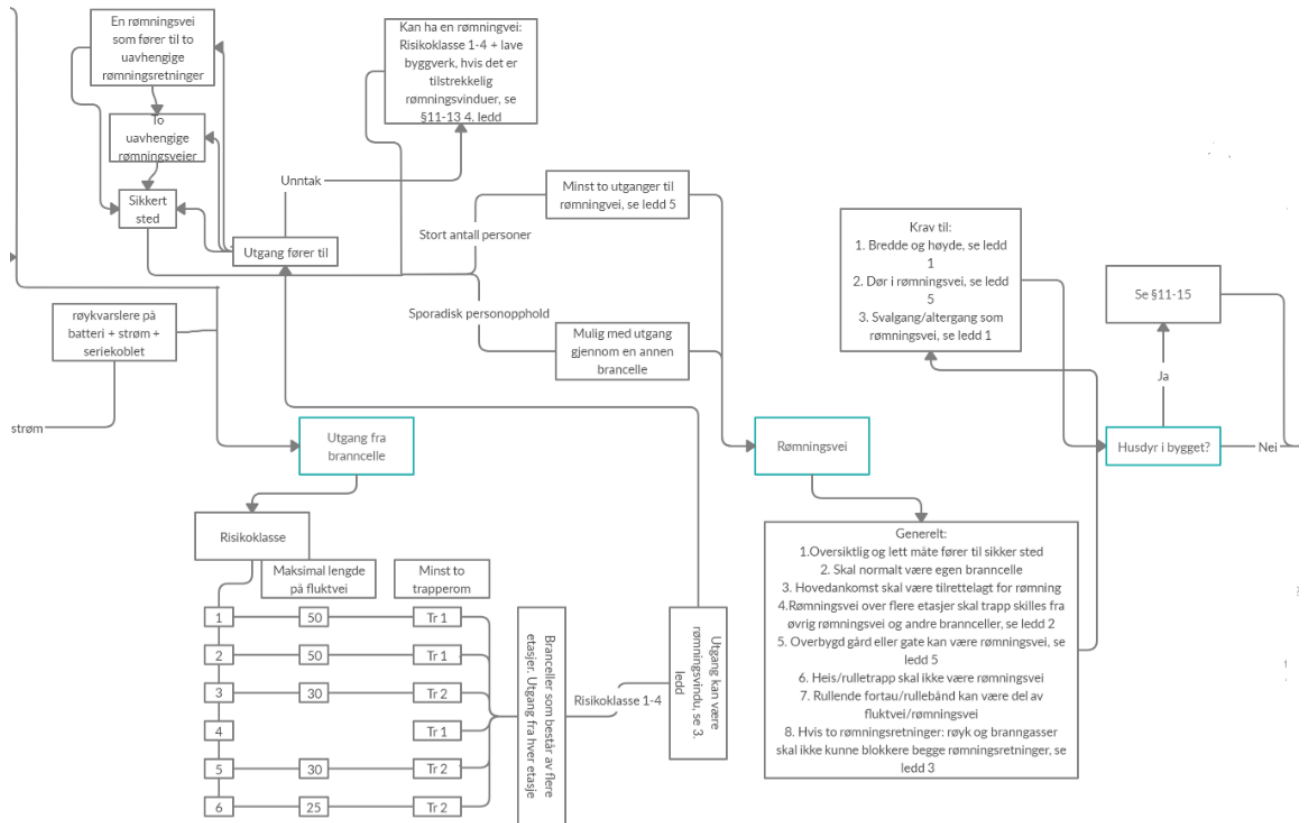
Figur 7: Del 3 fortsetter fra del 2. Hovedpunktene er brannceller, materialers og produkters egenskaper ved brann og tekniske installasjoner.

Flytskjema del 4



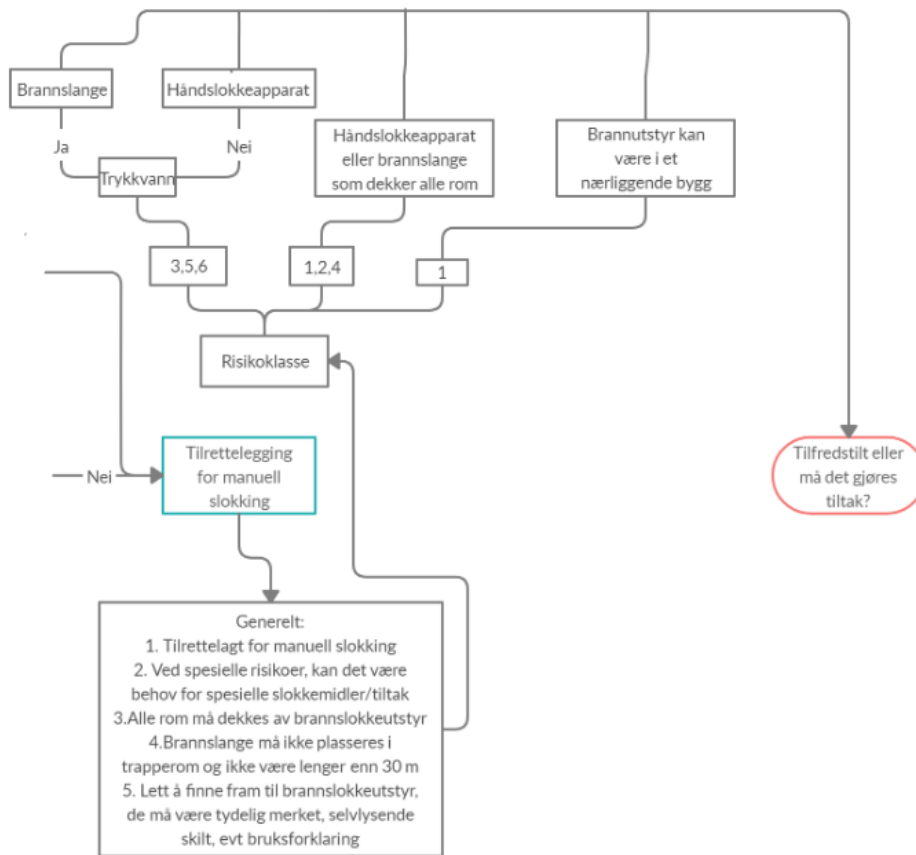
Figur 8: Del 4 tar for seg rømning, redning og tilrettelegging for rednings- og slokkemannskap som er et særdeles viktig punkt med en rekke krav.

Flytskjema del 5



Figur 9: Del 5 følger del 4. Den tar for seg tiltak for å påvirke rømnings tid og redningstider, utgang branncelle, rømningsvei og tilrettelegging for redning av husdyr.

Flytskjema del 6



Figur 10: Del 6 tar for seg tilrettelegging for manuell slokking.

1.6.2 Byggesaksforskriften

Byggesaksforskriften, SAK 10, er delt inn i 20 kapitler, og omhandler lover rundt saksbehandling, dokumentasjon og kvalifikasjon. For å gjøre bruksendring må det søkes om tillatelse til å gjennomføre det.

Under § 2-1 *Varig og tidsbestemt bruksendring* står følgende:

«Varig og tidsbestemt bruksendring er søknadspliktig dersom

a) byggverk eller del av byggverk tas i bruk til eller blir tilrettelagt for annet enn det som følger av tillatelse eller lovlig etablert bruk» (Lovdata, 2013).

1.6.3 Interkontrollforskriften

Internkontrollforskriften har som formål å sikre at arbeid blir utført på en sikker måte og at målene i helse-, miljø- og sikkerhetslovgivningene i virksomheten oppnås.

Enkeltmannsforetak er i utgangspunktet ikke påvirket, men kan komme inn under felles internkontrollsystem ved arbeid sammen med andre virksomheter på arbeidsplassen.

1.6.4 Plan- og bygningsloven (pbl.)

Pbl. er delt inn i seks deler og 35 kapitler, og omhandler areal og byggevirkosomhet.

Kommunene regulerer hva de ulike arealene skal brukes til, og ønsker noen å ha en annen virksomhet enn fastsatt må dette søkes om. Det er begrensning for å kunne sikre industri og landbruk, men det er også for å sikre at veier er tilstrekkelig til biltrafikken. Det kan bli en rask trafikkøkning om landbruksarealer bygges ut til boligområdet eller industri.

For et låvebygg, som representerer en byggetradisjon av stor historisk og kulturell verdi gjelder pbl. § 31-1: *Ivaretagelse av kulturell verdi ved arbeid på eksisterende byggverk* «Ved endring av eksisterende byggverk, oppussing og rehabilitering skal kommunen se til at historisk, arkitektonisk eller annen kulturell verdi som knytter seg til et byggverks ytre, så vidt mulig blir bevart» (Lovdata, 2009a).

1.6.5 Brann- og eksplosjonsvernlov

Brann- og eksplosjonsvernlov (Lovdata, 2019) har som formål å verne liv, miljø og materielle verdier mot brann og eksplosjon. Den skal også verne mot ulykker med farlig stoff, farlig gods og andre akutte ulykker. Loven tar også for seg brannvesenets redningsoppgaver.

1.6.6 Forskrift om brannforebygging

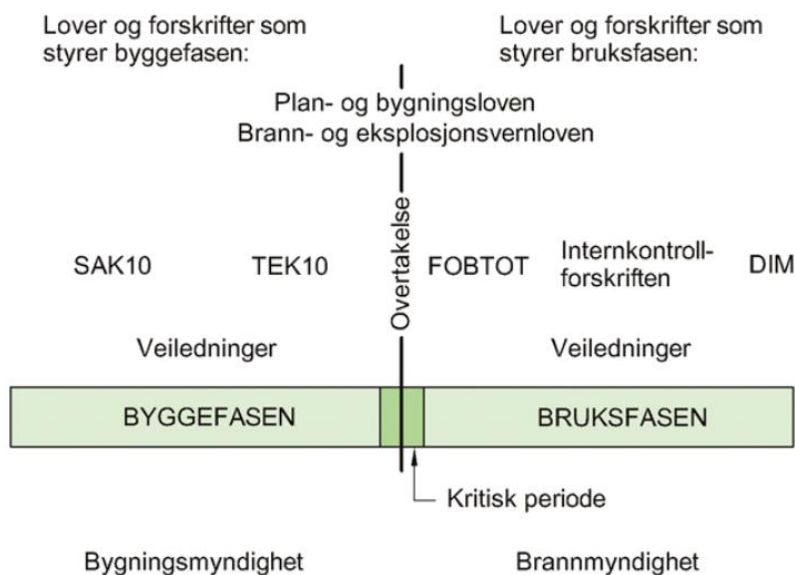
Forskriften om brannforebygging (Lovdata, 2020) er gjeldende fra første bruksdag og skal bidra til å redusere sannsynligheten for brann, og begrense konsekvensene brann kan få for liv, helse, miljø og materielle verdier. For eldre bygninger forventes det at sikkerhetsnivået oppgraderes til tilsvarende som for nyere bygninger, så langt det er praktisk og økonomisk forsvarlig (SINTEF Byggforsk, 2013b). Byggets eier har ansvar for å påse at forskrifter og lover er fulgt mens brukeren skal opprettholde brannsikkerheten.

1.6.7 Dimensjoneringsforskriften (DIM)

Dimensjoneringsforskriften skal sørge for at kommunen har et velfungerende brannvesen som er organisert, utrustet og bemannet til brannoppdrag i den aktuelle kommunen.

1.6.8 Sammenhengen mellom byggefasen og bruksfasen

Figur 11 viser sammenhengen av de nevnte forskrifter/lover som er gjeldende ved projektering av brann. Plan- og bygningsloven, og brann- og eksplosjonsvernloven er det overordnede for de andre forskriftene.



Figur 11: Sammenhengen mellom byggefasen og bruksfasen.

1.7 Dispensasjon fra forskrift

I TEK 17 kapittel 11 stilles det krav til sikkerhet ved brann, § 11-1 står det: «Byggverk skal prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet ved brann for personer som oppholder seg i eller på byggverket, for materielle verdier og for miljø- og samfunnsmessige forhold» (Direktoratet for byggkvalitet, 2017b).

Brannkravene gjelder for alle nye og eksisterende bygninger, men det er ikke alltid at kravene kan tilpasses på en fornuftig måte. Dette gjelder spesielt eldre bygg som hadde helt annerledes byggemåte og tekniske krav. Teknisk forskrift har endret seg betydelig over tid og for et bygg fra 1950, er det en stor forskjell mellom opprinnelige krav og dagens krav.

Kommunen kan gi dispensasjon fra TEK 17 dersom det ikke er mulig å tilpasse forskriftens krav. Dette gjøres for at eldre bygg fortsatt kan brukes hensiktsmessig fremfor å stå ubrukt (Lovdata, 2009b).

Det finnes 3 unntaksbestemmelser etter pbl. § 31-2 (4. ledd) (Lovdata, 2009b). Hvis disse bestemmelsene gjelder i et tilfelle, kan det gis dispensasjon:

1. Uforholdsmessige kostnader
2. Forsvarlighet med tanke på helse, brann og byggeteknisk
3. Nødvendighet med tanke på hensiktsmessig bruk

2 Metode

I dette kapitlet presenteres metoden gruppen har tatt i bruk for å gjennomføre oppgaven.

2.1 Fremgangsmåte kvalitativ og kvantitativ metode

Rapporten baserer seg på både kvalitativ og kvantitativ metode for risiko og komparativ analyse.

Kvalitativ analyse er en del av bevisføring for at et bygg skal tilfredsstillte TEK17 og kan inngå i beslutningsgrunnlaget (Jensen, 2009). Ved risikoanalyse må en kvalitativ analyse alltid gjennomføres (SINTEF Byggforsk, 2013a). Grovanalyse er en kvalitativ metode for å kartlegge og identifisere uønskede hendelser i et system (Kalsnes, Eidsvig og Zhongqiang, 2015). Den kvalitative analysen i oppgaven baserer seg på brannstatistikk, tidligere litteratur og rapporter. Sannsynlighet og konsekvens av de identifiserte uønskede hendelsene rangeres kvantitativt, og oppsummeres i en risikomatrise.

I henhold til NS 3901 (Standard Norge, 2012) skal det gjøres en kvantitativ risikoanalyse, siden bygget som skal analyseres er omfattende med forskjellige rominndelinger.

Underliggende teknikker som ofte brukes er brann- og røykspredning, og rømning. I oppgaven skal det beregnes rømningstider, konstruksjonens bæremotstand og røyk i rommet på kritisk nivå. Kvantitativ og kvalitativ analyse kombineres siden kvantitativ analyse aldri står alene om en komplett analyse (Jensen, 2009).

Ved å understøtte rapporten med kvantitativ analyse kan risikoen for at konklusjonen baserer seg på subjektiv synsing bli minimert. Det å kombinere kvalitativ med kvantitativ analyse gir en god kunnskapsforståelse og sikrer høy grad av reliabilitet i oppgaven.

2.2 Arbeidsprosessen

I dette kapittelet presenteres gruppens fremgangsmåte for å svare på problemsstillingen.

2.2.1 Anskaffelse av relevante kilder gjennom databaser

Relevante kilder ble anskaffet gjennom forskjellige databaser på nett:

- Google Scholar
- Oria: Universitetsbibliotek og Norsk fagbibliotek
- Compendex: Ingeniørbibliografisk database
- Google.no (Finne brannstatistikk, tilgang på forskrifter/lover, relevante nyhetsartikler)
- NTNU Open: Åpent Vitenarkiv

Søkeord som ble mest brukt er:

- Brann i låvebygg/drifftsbygning/trehus
- Brannsikkerhet i trehus/låvebygg
- Bruksendring i driftsbygning
- Risikoanalyse brann i byggverk
- Risk analysis in building fire
- Fire safety in old buildings
- Fire dynamics

Søkeordene ble kombinert med boolske operatører for å avgrense søketreffet og finne de mest relevante kildene. I tilfeller der kilder befant seg i form av bøker, ble disse bestilt til utlån i biblioteket ved NTNU i Gjøvik. Det ble også gjort et forsøk på å finne tidligere bachelor- og masteroppgaver om temaet risikoanalyse og brann. Disse ble studert for å orientere seg på eksisterende studier om temaet.

2.2.2 Dokumentasjon av arbeid

Arbeidsprosessen for gjennomføring av bacheloroppgaven er dokumentert underveis i form av statusrapporter, møtereferater med innkallingsdatoer, timelister og innlevert rapport innen fristen den 20.05.2020. Risiko og komparativ analyse for bygget er vedlagt i vedlegg 8.5. Alle beregninger ligger i vedlegg 8.1- 8.4 og utskrift fra Focus Konstruksjon ligger i vedleggmappe *Vedlegg Bacheloroppgave gr.20*.

2.2.3 Prosjekteringsgrunnlag – analytisk prosjektering

Det skal utføres analytisk prosjektering i form av risikoanalyse sammen med komparativ analyse, for å tilfredsstille kravene i TEK 17. Oppgaven baserer seg på retningslinjer og krav i henhold til følgende standarder:

- NS 3901 *Krav til risikovurdering av brann i byggverk*
- SN-INSTA/TS 950:2014 *Komparativ metode for verifikasjon av brannsikkerhet i byggverk*
- NS-EN 1991-1-2:2002+NA:2008 *Laster på konstruksjoner- Del 1-2: Allmenne laster- Laster på konstruksjoner ved brann*
- NS-EN 1995-1-2:2004+NA:2010 *Prosjektering av trekonstruksjoner - Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering*
- NS-EN 1992-1-2:2004+NA:2010 *Prosjektering av betongkonstruksjoner - Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering*

2.2.4 Beregning av rømningstider og konstruksjonens bæreevne

Grunnlag for beregning av rømningstider gjøres etter standard SN-INSTA/TS 950:2014 *Komparativ metode for verifikasjon av brannsikkerhet i byggverk*. Kreftene i bygget regnes ved hjelp av Focus Konstruksjon som brukes videre til å beregne branntiden for konstruksjonenes bæreevne. For ordens skyld utføres beregningene i Excel. For å finne branntiden i hele 1. etasje og garasjen i 2. etasje, brukes SINTEF byggforskblad 520.323 tabell 221 for betongsøyler og 520.321 tabell 41 for betongdekker.

2.2.5 Risikoevaluering

I dette kapittelet presenteres analysemodellene til NS 3901 *Krav til risikovurdering av brann i byggverk*. Det skal utføres en risikoevaluering som baserer seg på to deler, risikoanalyse og komparativ analyse. Selve utføringen av analysemodellene er vedlagt i vedlegg 8.5.

Risikoanalyse utføres ved å kartlegge uønskede hendelser samt sannsynlighet, årsak og konsekvenser av disse. I en komparativ analyse sammenlignes et analysebygg og et referansebygg, der referansebygget oppfyller de preaksepterte løsningene i TEK 17. Her skal analysebygget ha minst tilsvarende sikkerhetsnivå som referansebygget, og dette må dokumenteres. Ved risikoevaluering skal risikoen evalueres opp mot de gitte risikoakseptkriterier. Det skal konkluderes med om det tilfredsstilles, eller trengs å gjøre ytterligere risikoreduserende tiltak, og i så fall hvilke tiltak.

For risikoanalyse og komparativ analyse skal følgende punkter fastsettes, hentet fra NS 3901 (Standard Norge, 2012)

Risikoanalyse

- Beskrivelse av analysebyggverket
 - Beskrivelsen av analysebyggverket er beskrevet i kapittel 1.4 *Studiets utgangspunkt*
- Valg av analysemetoder
 - Analysemetoder som er brukt er grovanalyse og målet er å identifisere flest mulig uønskede hendelser og fastsette risikoen for disse hendelsene.
- Fastsetting av risikoakseptkriterier
 - Det skal fastsettes risikoakseptkriterier basert på statistikkgrunnlaget og settes opp i en tabell. Deretter skal det gis vurdering ut fra sannsynlighet og konsekvens, som gir en samlet risiko. Dette skal så angis i en risikomatrise, der det skal vurderes fra akseptabel risiko til ikke akseptabel risiko, og i hvilke tilfeller det må gjøres tiltak. Dette kalles for ALARP- prinsippet (As low as reasonably practicable).
- Fareidentifikasjon, analyse av årsaker, sannsynlighet og konsekvens
 - Farekilder, trusler og relevante uønskede hendelser skal identifiseres. Deretter skal årsakene identifiseres, og frekvenser for hver uønsket hendelse skal anslås. Så skal sannsynlighetsintervallet beregnes og ut ifra sannsynlighetsintervallet skal frekvensen bestemmes. Konsekvensen for de uønskede hendelsene skal også bestemmes basert på erfaringsdata og fenomenkunnskap.

- Formel for sannsynligheten for vårt tilfelle er følgende:
- $Sannsynlighet\ for\ brannårsak = \frac{antall\ branner}{antall\ bygg} \cdot prosentfordeling$, formelen er forklart nærmere i vedlegg 8.5 kapittel 3.4 *Fareidentifikasjon, analyse av årsaker, sannsynlighet og konsekvens*
- $Sannsynlighet\ for\ bilbrann = \frac{antall\ bilbranner\ i\ Norge}{antall\ biler\ i\ Norge} \cdot antall\ biler\ i\ bygget$
- Brannscenarier
 - Det er fire ulike brannscenarier som skal vurderes, angitt NS 3901 kapittel 6.7 *Brannscenarier* (Standard Norge, 2012):
 - «1. Et alvorlig brannscenario med rask utvikling og høy branneffekt som representerer det verst troverdige i byggverket.
 2. Brann som oppstår i et rom som normalt er uten personer, og som kan true et større antall personer i andre deler av byggverket.
 3. Brann som utvikler seg langsomt og som ikke vil utløse automatiske slokkeanlegg.
 4. Representative brannscenarier for det aktuelle byggverket som skal analysere for å avdekke robusthet i den branntekniske utformingen.»
- Usikkerhetsanalyse
 - Det skal vurderes hvilke usikkerheter som gjelder for analysen. Det skal vurderes kvalitativt.
- Sensitivitetsanalyse
 - Analysen baserer seg på erfaringer og tidligere brannstatistikk. Det er derfor ikke behov for sensitivitetsanalyse siden det ikke utføres beregninger med ulike verdier av stokastiske variabler.
- Beskrivelse av risiko
 - Risikoen skal bestemmes ut ifra sannsynlighet og konsekvens. Denne settes inn i ALARP- tabellen, inndelt i akseptabelt og ikke akseptabelt område. Deretter skal det oppsummeres og beskrive risiko i en risikomatrise. Til slutt skal risikoreducerende tiltak for hendelser bestemmes.

Komparativ analyse:

- Beskrivelse av analysebyggverket
 - Beskrivelsen av analysebyggverket er beskrevet i kapittel 1.4 *Studiets utgangspunkt*
- Beskrivelse av referansebygget
 - Referansebygget tilsvarer analysebygget, men skal tilfredsstillende de preaksepterte ytelsene i TEK 17.
- Valg av analysemetoder
 - Det skal benyttes NS 3901 kapittel 7 *komparativ analyse* som analysemetode.

- Fastsetting av risikoakseptkriterier

Når det skal fastsettes risikoakseptkriterier, skal analysebygget ikke ha lavere sikkerhetsnivå enn referansebygget med tanke på risiko. Med dette gjelder

- Ikke høyere rømningstid
 - Ikke forverre slokkearbeid eller brannmannskapets arbeidsforhold
 - Ikke øke faren for brann eller store materielle skader
 - Ikke forverre brannmotstand og brann skal ikke spres raskere i bygget.
- Fareidentifikasjon
 - Farekilder, trusler og relevante uønskede hendelser skal identifiseres og sammenlignes for analysebygget og referansebygget.
 - Analyse av årsaker og sannsynlighet
 - Årsaker og sannsynlighet skal identifiseres og sammenlignes for analysebygget og referansebygget.
 - Brannscenarier
 - De samme brannscenariene som i risikoanalysen skal vurderes.
 - Analyse av konsekvenser
 - Konsekvensene ved analysebygget og referansebygget skal sammenlignes for å finne ut om sikkerhetsnivået er tilsvarende.
 - Usikkerhetsanalyse
 - Det skal vurderes hvilke usikkerheter som gjelder for analysen. Det skal vurderes kvalitativt.
 - Sensitivitetsanalyse

- Det er ikke behov for sensitivitetsanalyse siden det ikke utføres beregninger med ulike verdier av stokastiske variabler.
- Beskrivelse av risiko
 - Det skal vurderes om analysebygget er tilfredsstillende eller om det må gjøres ytterligere tiltak.

Risikoevaluering

- Sammenligning av risiko og risikoakseptkriterier
 - Det skal vurderes om risikoen går under de fastsatte risikoakseptkriteriene.
- Identifisering av eventuelle ytterligere tiltak og deres risikoreducerende effekt
 - Hvis risikoevalueringen sier at det trengs ytterligere tiltak, skal disse tiltakene beskrives i dette punktet.
- Identifisering av mulige tiltak
 - Andre mulige tiltak skal vurderes.
- Vurdering av effekten av tiltak
 - Effekten av de tiltak som er identifisert skal vurderes kvantitativt.
- Konklusjon og dokumentasjon
 - Ut ifra funnene skal de viktigste resultatene konkluderes og dokumenteres.

2.3 Grunnlag for risikoanalyse

Ved gjennomføring av risikoanalyse er det nødvendig å hente inn relevant statistikk fra branner, slik at sannsynlighetsintervallet for ulike brannårsaker kan bestemmes.

2.3.1 Statistikk for branner

Brannstatistikk i denne oppgaven er hentet fra brannstatistikk.no, som er direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) sine nettsider (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2020b). De har oversikt over alle utrykninger fra 2016 til brann- og redningsmannskapet i Norge. Det er også innhentet data fra BRASK – brannskadestatistikk (BRASK, 2020). BRASK har data på grunnlag av brannskader meldt inn til forsikringsselskapet i perioden 1985 til 2019.

Hensikten med å hente denne statistikken er å kartlegge årsaken til brann, antall skadde og antall omkomne. Dette kan brukes til å finne kjennetegn for brann i de bygninger som er relevante. I tillegg kan statistikken brukes i risikoanalysen for å kartlegge brann sannsynligheten til de ulike årsakene.

2.3.2 Skadde i brann

Ved søk i Brannskadestatistikk.no (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2020c) velges kategorien «lager og annen landbruksbygning». Siden det ses på låver, som ikke brukes til gårdsdrift, men heller lager og lignende, er dette den nærmeste kategorien. Her er det registrert 355 branner av denne typen fra 2016 til og med 2019. Av disse oppstod det i 26 tilfeller personskaade, som tilsvarer 7,3 %. I 320 tilfeller oppstod det ikke personskaade, som tilsvarer 90,1 %. Resterende 9 tilfeller er ukjente. Personskaade defineres som:

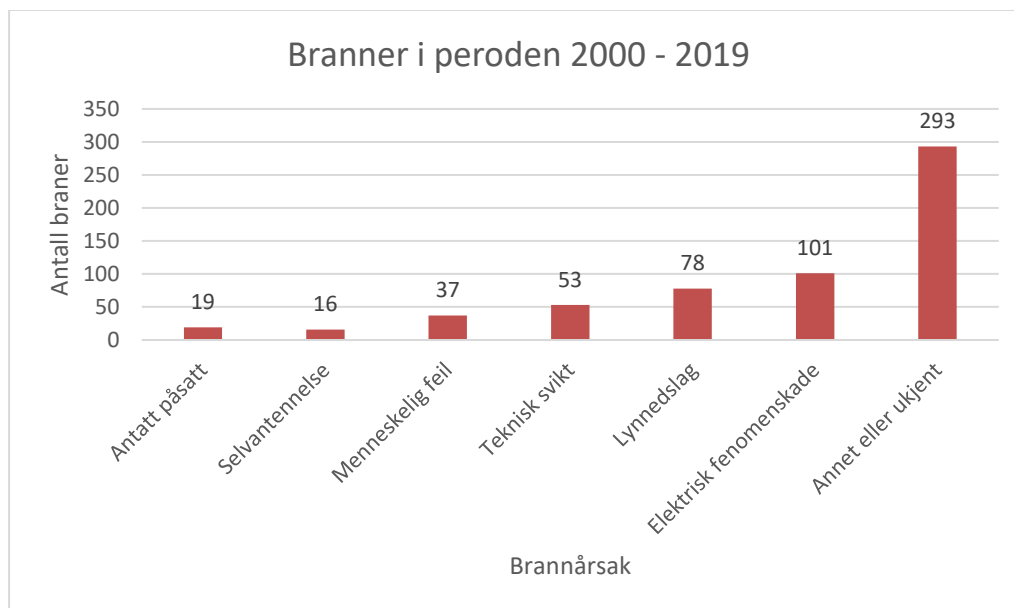
Her tar man med personer som får fysisk skade av brannen. Både skader som er en direkte og indirekte følge av brannen regnes med her. Skader som er en direkte følge av brann og røykskader. Skader som er en indirekte følge av brann kan eksempelvis være skader som oppstod for å redde seg fra brannen (vrikket fot, ribbeinsbrudd etc.). Psykiske skal ikke medregnes her, fordi det ofte vil være vanskelig å vurdere for brann- og redningsvesenet (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2020c).



Figur 12: Sektordiagram over personskaade under brann.

2.3.3 Brannårsak

Ved søk i BRASK – Brannskadestatistikk (BRASK, 2019) velges kategorien «transport og lagring», fordi bygget vi ser på i oppgaven brukes til lagring. I perioden 2000 til 2019 er det registrert 597 branner. Den vanligste årsaken er «annet eller ukjent». Nest vanligste er «elektrisk fenomenskade» som omfatter kortslutning, gnist, lysbue, og følgeskade av overspenning. Deretter kommer «lynnedslag» og «teknisk svikt».



Figur 13: Stolpediagram over brannårsaker for branner i perioden 2000-2019.

Årsak	Antall	Prosent
Antatt påsatt	19	3,2
Selvantennelse	16	2,7
Menneskelig feil	37	6,2
Teknisk svikt	53	8,9
Lynnedslag	78	13,1
Elektrisk fenomenskade	101	16,9
Annet eller ukjent	293	49,1
Antall branner	597	100

Tabell 2: Brannårsaker og prosentandeler for de ulike tilfellene.

I tillegg var 859 bilbranner i 2018 (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2020c). Dette legges til grunn for beregning av brann sannsynlighet for biler i risikoanalysen.

3 Teori

I dette kapitlet presenteres relevant teori for å svare på problemsstillingen i kapittel 1.2 *Problemsstilling*.

3.1 Brannteknisk prosjektering

Forenklet og analytisk brannteknisk prosjektering er to ulike måter for å tilfredsstillere kravene i TEK 17 kapittel 11 *Sikkerhet ved brann*.

3.1.1 Forenklet brannteknisk prosjektering

Ved bruk av forenklet brannteknisk prosjektering skal de preaksepterte ytelsene for brannsikkerheten i VTEK følges, uten avvik. Enkelte steder i VTEK gis det flere valgmuligheter for de preaksepterte ytelsene og her kan ytelsen som passer best for prosjektet velges. Byggverk eller ulike bruksområder i et byggverk skal plasseres i risikoklasser etter skader brann kan medføre for liv og helse. Risikoklasser har som hensikt å sikre prosjektering og personsikkerhet for rømning og redning ved brann. Brannklasse er avhengig av valgt risikoklasse, stiller krav til bygget og sier hvilke konsekvenser brannen kan ha for skade på liv, helse, samfunnsmessige interesser og miljø. Sammenhengen mellom risikoklasse og brannklasse er vist i tabellen under:

Brannklasse	Konsekvens
1	Liten
2	Middels
3	Stor
4	Særlig stor

Tabell 3: Brannklasse (Direktoratet for byggkvalitet, 2017e)

Risikoklasse	Antall etasjer			
	1	2	3 og 4	5 eller flere
1	-	BKL 1	BKL 2	BKL 2
2	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
3	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
4	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
5	BKL 1	BKL 2	BKL 3	BKL 3
6	BKL 1	BKL 2	BKL 2	BKL 3

Tabell 4: Risikoklasse (Direktoratet for byggkvalitet, 2017e)

Preaksepterte ytelser er gitt av Direktoratet for byggkvalitet og gjelder for byggverk i brannklasse 1, 2 og 3, og inntil 16 etasjer (Direktoratet for byggkvalitet, 2017c). For brannklasse 4 finnes det ingen preaksepterte løsninger og analytisk prosjektering må da velges.

3.1.2 Analytisk brannteknisk prosjektering

Analytisk brannteknisk prosjektering skal brukes dersom det gjøres fravik fra de preaksepterte løsningene og brannsikkerheten må da dokumenteres ved en analyse. Dokumentasjonen skal komme frem til at de alternative ytelsene som er valgt, gir samlet sett samme kvalitet og sikkerhet som om de preaksepterte ytelsene ble fulgt. For å tilfredsstille forskriftens krav om analyse av sikkerhet ved brann, kan det gjøres en risikoanalyse og komparativ analyse i samsvar med NS 3901:2012 og SN-INSTA/TS 950:2014 (Direktoratet for byggkvalitet, 2017c).

3.1.3 Brannberegning – konstruksjonens bæreevne og stabilitet

Ved full overtenningsfase er konstruksjonens bæreevne og stabilitet kritiske forhold som må tas hensyn til. Disse kritiske forholdene skal også bestemmes for å forhindre brannspredning til nabobygninger og sikkerheten for brannvesenet.

Hvor lenge bygget vil stå ved brann avhenger av hvor stor belastning som kommer på de ulike bygningsdelene. Hvilken metode som brukes for finne branntiden, vil avhenge av hvilke hjelpemidler som er tilgjengelig. Ikke alle beregningsprogram kan regne ut branntiden, da må noe regnes ut ved siden av. Er det kun brukt en søyle- og bjelkedimensjon er denne jobben enklere, da holder det å bare se på hardest belastet bjelke og søyle. Skulle det derimot være ulike dimensjoner rundt om i bygget, må det ses på hardest belastet bjelke/søyle innen de ulike tverrsnittene. Å finne hardest belastet søyle i enkle konstruksjoner kan gjøres ved håndberegninger, men for et større eller mer komplisert bygg kan beregningsprogrammer som Focus konstruksjon være til stor hjelp.

For tre må det ses på de hardest belastede bygningsdelene og forkullingsdybden disse tåler. Ut ifra forkullingsdybden kan branntiden finnes. Tverrsnittet vil reduseres likt fra de eksponerte sidene.

Branntid for betong avhenger i stor grad av armeringsoverdekning, men også tykkelsen på betongen. Det finnes tabeller for dette, eksempelvis SINTEF byggforskblad 520.323 tabell 211 og 221.

For å regne ut last ved ulykkessituasjon brukes formel 3.1 som vist under. Denne gir en lavere last enn ved eksempelvis bruks- og bruddlast.

$$E_d = \sum G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ eller } \psi_{2,1})Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i}Q_{k,i} \quad (3.1)$$

(Standard Norge, 2002)

Der

- A_d er effekten av termisk påvirkning ved brann
- E_d er dimensjonerende last
- $G_{k,j}$ er karakteristisk verdi for permanent påvirkning
- P er relevant representativ verdi for en forspenningslast

- $Q_{k,1}$ karakteristisk verdi for den dominerende variable lasten
- $Q_{k,i}$ er karakteristisk verdi for øvrige variable laster,
- ψ er lastfaktorer som hentes fra tabell 4, under.

Tabell A1.1 – Anbefalte verdier for ψ -faktorer for bygninger

Last	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Kategorier for nyttelaster i bygninger (se NS-EN 1991-1-1)			
Kategori A: innendørs bostedsarealer	0,7	0,5	0,3
Kategori B: kontorarealer	0,7	0,5	0,3
Kategori C: arealer hvor personer kan samles	0,7	0,7	0,6
Kategori D: forretningsarealer	0,7	0,7	0,6
Kategori E: lagerarealer	1,0	0,9	0,8
Kategori F: trafikkarealer, kjøretøyvekt ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Kategori G: trafikkarealer, 30 kN $<$ kjøretøyvekt ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Kategori H: tak	0	0	0
Snølaster på bygninger (se NS-EN 1991-1-3)*			
Finland, Island, Norge, Sverige	0,70	0,50	0,20
Øvrige CEN-medlemsland, for steder med beliggenhet $H > 1000$ m o.h.	0,70	0,50	0,20
Øvrige CEN-medlemsland, for steder med beliggenhet $H \leq 1000$ m o.h.	0,50	0,20	0
Vindlaster på bygninger (se NS-EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperatur (ikke brann) i bygninger (se NS-EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
MERKNAD ψ -verdiene kan fastsettes i det nasjonale tillegget.			
* For land som ikke er nevnt nedenfor, se relevante lokale vilkår.			

Tabell 5: Anbefalte verdier for lastfaktorer for bygninger (Standard Norge, 2002)

Tverrsnittreduksjon og materialfaktorer for tre regnes i henhold til *Prosjektering av trekonstruksjoner, Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering* (Standard Norge, 2004) som vist i formel 3.2.

Table 3.1 – Design charring rates β_0 and β_n of timber, LVL, wood panelling and wood-based panels

	β_0 mm/min	β_n mm/min
a) Softwood and beech		
Glued laminated timber with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Solid timber with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
b) Hardwood		
Solid or glued laminated hardwood with a characteristic density of 290 kg/m^3	0,65	0,7
Solid or glued laminated hardwood with a characteristic density of $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
c) LVL		
with a characteristic density of $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
d) Panels		
Wood panelling	0,9 ^a	–
Plywood	1,0 ^a	–
Wood-based panels other than plywood	0,9 ^a	–
^a The values apply to a characteristic density of 450 kg/m^3 and a panel thickness of 20 mm; see 3.4.2(9) for other thicknesses and densities.		

Tabell 6: Verdier β_0 og β_n (Standard Norge, 2004).

$$d_{char,n} = \beta_n * t + d_0 * k_0 \quad (3.2)$$

Hvor:

- $d_0 = 7 \text{ mm}$.
- $t = \text{tid}$.
- k_0 er minste verdien av $t/20$ og $1,0$.
- β_n tas ut av tabell 5, over.
- $d_{char,n}$ er antall mm som blir forkullet.
- d_{ef} er effektivt tverrsnittsmål etter brann.

Tverrsnittmålene blir, for bredden $B_{\text{før,brann}} - d_{ef} * s$ og høyden $H_{\text{før,brann}} - d_{ef} * s$. s er 1 eller 2 avhengig av hvor mange sider som er utsatt for brann.

Ved ulykke kan det antas at trevirket tåler mer enn ved brukslast. Da settes materialfaktor for tre, γ_m lik $1,0$ ved brann. $K_{mod,fi}$ regnes derimot ut i hvert enkelt tilfelle ut ifra hvordan lasten påvirker bjelken/søylen.

Bøyespennning:
$$K_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{200} \frac{p}{A_r} (\text{m}^{-1}) \quad (3.3)$$

Trykkspennning:
$$K_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{125} \frac{p}{A_r} (\text{m}^{-1}) \quad (3.4)$$

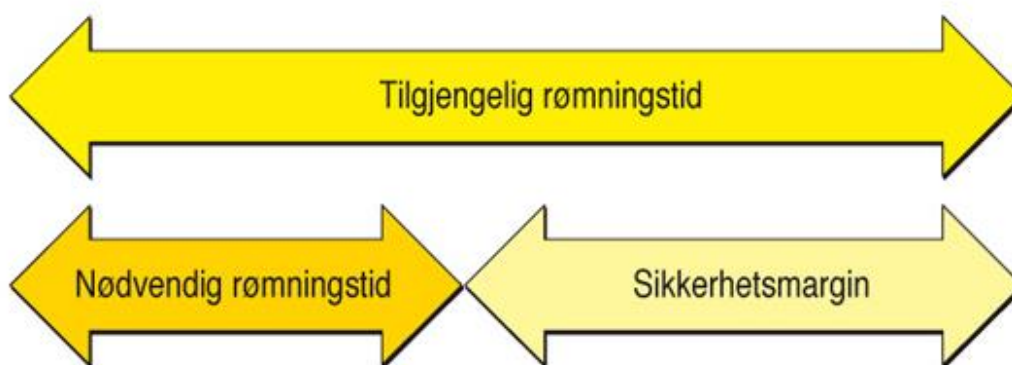
Strekkspenning:
$$K_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{330} \frac{p}{A_r} (\text{m}^{-1}) \quad (3.5)$$

Hvor:

- p = Omkretsen av gjenværende tverrsnitt
- A_r = Arealet av gjenværende tverrsnitt

3.1.4 Rømning og redning

TEK 17 § 11-11 *Generelle krav om rømning og redning* sier at byggverket skal prosjekteres og utføres for rask og sikker rømning og redning. Tilgjengelig tid for rømning skal være større enn den tiden som er nødvendig for rømning fra byggverket. Det skal legges inn en tilfredsstillende sikkerhetsmargin, illustrert under:



Figur 14: Sammenheng mellom tilgjengelig og nødvendig rømningstid (Direktoratet for byggkvalitet, 2017d).

Det skal dokumenteres for at personsikkerheten er tilfredsstillende ved rømning, og da er det viktig å se på brannutviklingens tidlige fase (1), illustrert i figur 18. Det skal regnes både tilgjengelige og nødvendige rømningstider, kritisk røyk i rommet og sikkerhetsmarginen mellom tilgjengelig og nødvendig rømningstid.

Nødvendig rømningstid $t_{nødvendig}$ beregnes etter standard SN-INSTA/ TS 950:2004 og SINTEF byggforskblad 520.385.

$$t_{nødvendig} = t_{varsling} + t_{reaksjon} + t_{forflytning} \text{ (s)} \quad (3.6)$$

Hvor

- $t_{varsling}$ bestemmes fra empiriske verdier.
- $t_{reaksjon}$ bestemmes ut ifra tabell 61 SINTEF byggforskblad 520.385.
- $t_{forflytning} = t_{gang} + t_{dør} = \frac{L}{v} + \frac{N}{F_c} \text{ (s)}$ (3.6.1)

der

- L er maksimal lengde på forflytnings- eller rømningsvei (m)
- v er ganghastighet (m/s)
- N er antall personer som skal passere en dør eller åpning
- F_c er beregnet strømningsrate gjennom døra eller åpningen (pers./s)

Dersom $t_{gang} > t_{dør}$ kan $t_{forflytning}$ regnes ut fra først ledd i formelen 3.6.1

$$t_{forflytning} = t_{gang} = \frac{L}{v} \text{ (s)}$$

Dersom $t_{dør} > t_{gang}$ kan $t_{forflytning}$ regnes ut fra andre ledd i formelen 3.6.1:

$$t_{forflytning} = t_{dør} = \frac{N}{F_c} \text{ (s)}$$

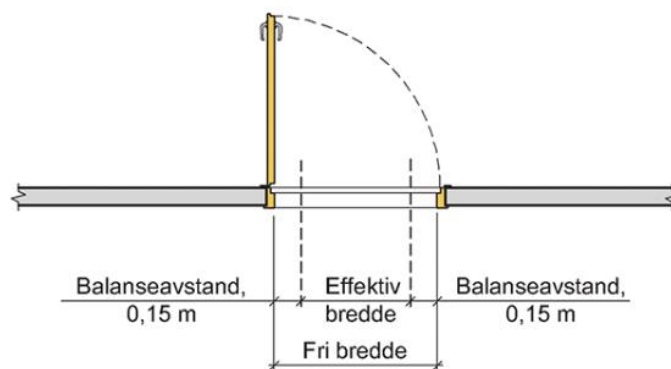
Formel for beregning av kapasiteten pers./s (strømningsrate):

$$F_c = (1 - a * 1,9) * k * 1,9 * W_e \text{ (pers./s)} \quad (3.7)$$

Hvor a og k er konstanter hentet fra SN-INSTA/ TS 950:2004:

- $a = 0,266 \text{ (m}^2\text{/person)}$.
- $k = 1,40$ (horisontal gang) eller $1,08$ (trapp)
- W_e = effektiv bredde

Fri bredde er bredde på hele døråpningen, mens effektiv bredde (W_e) er fri bredde subtrahert med $2 * \text{balanseavstand}$, illustrert i figur 15. Dette gjøres for å korrigere passasjebredden siden personer ikke kan gå helt inntil veggen.



Figur 15: Illustrasjon av effektiv bredde for dør (SINTEF Byggforsk, 2006).

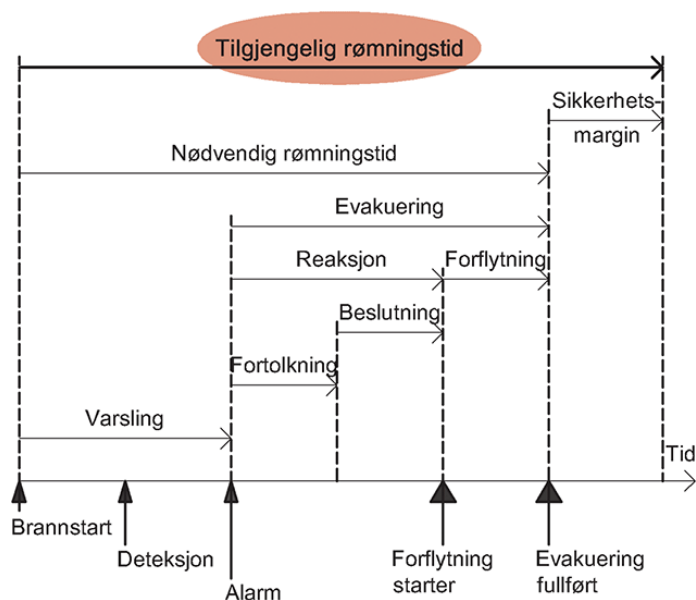
Formel for beregning av ganghastighet:

$$v = (1 - a * D) * k \text{ (m/s)} \quad (3.8)$$

Hvor a og k er konstanter mens D er persontettheten

- $a = 0,266 \text{ (m}^2\text{/person)}$
- $k = 1,40 \text{ (horisontal gang)}$ eller $1,08 \text{ (trapp)}$
- D er persontettheten pers. /m² og bestemmes ut ifra tabell 64 SINTEF byggforskblad 520.385.

Tilgjengelig rømningstid beregnes etter standard SN-INSTA/ TS 950:2004 og SINTEF byggforskblad 520.387.



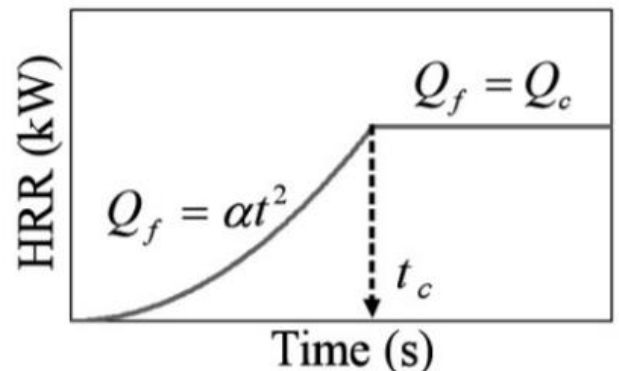
Figur 16: Overordnet oversikt over rømningstid (SINTEF Byggforsk, 2016)

Det finnes ikke noen bestemte matematiske formler for å beregne tilgjengelig rømningstid, slik som for nødvendig rømningstid. Derfor må det vurderes å bruke håndberegningsmodeller, tosonemodeller eller CFD-modeller. Ifølge SINTEF (SINTEF Byggforsk, 2016) kan resultatet i tosonemodellen bli for konservativt siden det ikke blir noe skille mellom varm og kald sone, hvis brannrommet er stort med liten brann. Modellen forutsetter at røyken sprer seg momentant langs himlingsflaten. Mens CFD-modellen kan være krevende å bruke siden det er behov for særskilt opplæring og erfaring for korrekt bruk.

Målet er å regne rømningstidene så konservativt som mulig slik at den nødvendige rømningstiden blir lengst mulig og den tilgjengelige rømningstiden blir kortest mulig, men fortsatt innenfor realistiske rammer (Hansen og Stensaas, 2009). Derfor kan det velges å gjøre en grovberegning av tiden det tar å oppnå maksimal varmeproduksjon i brenselet på brannrommet og røyklagshøyde ved det tidspunktet, som gir et konservativt anslag over dimensjonerende tilgjengelig rømningstid (SINTEF Byggforsk, 2016). En tommelfingerregel for tilgjengelig rømningstid uten særskilte brannsikringstiltak er 3-5 minutter ved rask brannutvikling (Hansen og Stensaas, 2009).

For å regne tilgjengelig rømningstid er det tatt utgangspunkt i å finne tiden t_c når maksimal varmestråling i brenselet inntreffer. Det antas at brannen utvikler seg som en funksjon av t^2 til brannen har nådd overtenning (Hoelsbrekken, 1997c).

Figur 17 viser brenselets varmeproduksjon som er en funksjon av t^2 . Ved tiden t_c har maksimal varmeproduksjon inntruffet.



Figur 17: t^2 -konstant for brann (Yamaguchi og Tanaka, 2005).

Tilgjengelig rømningstid blir regnet ved å finne tiden t_c ved overtenning, og deretter finne røykhøyden i rommet på det tidspunktet.

Varmeproduksjonen kan uttrykkes med følgende formel fra Norsk standard *Laster på konstruksjoner ved brann* (Standard Norge, 2002):

$$Q' = \left(\frac{t_c}{t_\alpha}\right)^2 \quad (3.9)$$

Hvor

- Q' er varmeproduksjon i MW
- t_c er tiden i sekunder frem til overtenningsfasen oppstår
- t_α er en konstant som er avhengig av brannutviklingshastighet, tabell 6

Brannutviklingshastighet	Verdi for $\alpha \left(\frac{kW}{s^2}\right)$	Verdi for $t_\alpha (s)$
Langsom	0,003	600
Middels	0,012	300
Hurtig	0,047	150
Svært Hurtig	0,19	75

Tabell 7: Verdi for α og t_α . (Standard Norge, 2014).

Formel 3.10-3.11 er hentet fra *Brannsikkerhet: prosjektering og dokumentasjon* (Hoelsbrekken, 1997b).

Tiden frem til brannen avgir maksimal varmeproduksjon kan beregnes ved å løse likning 3.9 med hensyn på t_c

$$t_c = t_\alpha * \sqrt{Q'_{maks}} \quad (3.10)$$

Den totale energien i brenselet kan beregnes følgende

$$Q = m * H_0 \quad (3.11)$$

Hvor

- m = Brenslets masse i kg.
- H_0 = Spesifikk varmeverdi som hentes fra tabell 7.

Bensin	43-44 MJ/kg
Tre	17-20 MJ/kg

Tabell 8: Spesifikk varmeverdi H_0 for aktuelle brennbare materialer (Thomas, 1986).

For å beregne røykhøyden ved overtenningsfasen, t_c brukes det håndberegningemetode etter formler utviklet av internasjonale forskere innen brannsikkerhet og teknologi. Disse formler er utgitt i boka *Fire Science and Technology Vol. 24 No.4* (Yamaguchi og Tanaka, 2005).

I brannrom med lik takhøyde, kan nedre røyksjikhøyde H_c i utviklingsfase, $0 < t < t_c$ beregnes ved følgende formel:

$$H_c = \left(\frac{2}{5} * \frac{1}{A_r} * \frac{C_m * \alpha^{1/3}}{\rho} * t_c^{5/3} + \frac{1}{H_r^{2/3}} \right)^{-3/2} \quad (3.12)$$

Hvor

- A_r = gulvareal (m^2)
- C_m = plume coefficient. Her brukes verdien Zukoski har foreslått, 0,076 (Yamaguchi og Tanaka, 2005)
- α = brannutviklingskoeffisient fra tabell 6
- ρ = tetthet røyklaget (kg/m^3)
- t_c = regnes ut fra formel 3.10 (s)
- H_r = takhøyden i brannrommet (m)

Det finnes ikke noen fast verdi for hvor stor sikkerhetsfaktoren skal være i TEK 17 eller VTEK 17. Den skal vurderes i hvert enkelt tilfelle. Sikkerhetsfaktoren kan regnes ut på følgende måte:

$$Sikkerhetsfaktor = \frac{Tilgjengelig rømningstid}{Nødvendig rømningstid} \quad (3.13)$$

3.1.5 Kritiske forhold ved rømning

Forhold som kan ha innvirkning på rømningstiden er når personer som oppholder seg i bygget får i seg skadelige konsentrasjoner av gasser under rømning (Hoelsbrekken, 2004b). Dette gjelder gasser som karbonoksid (CO), karbondioksid (CO₂) i tillegg til redusert tilgang på oksygen (O₂). Derfor er det gitt grenseverdier for disse gassene, i henhold til SN-INSTA/TS 950:2014 (Standard Norge, 2014):

- CO < 2000 ppm.
- CO₂ < 5%
- O₂ > 15%

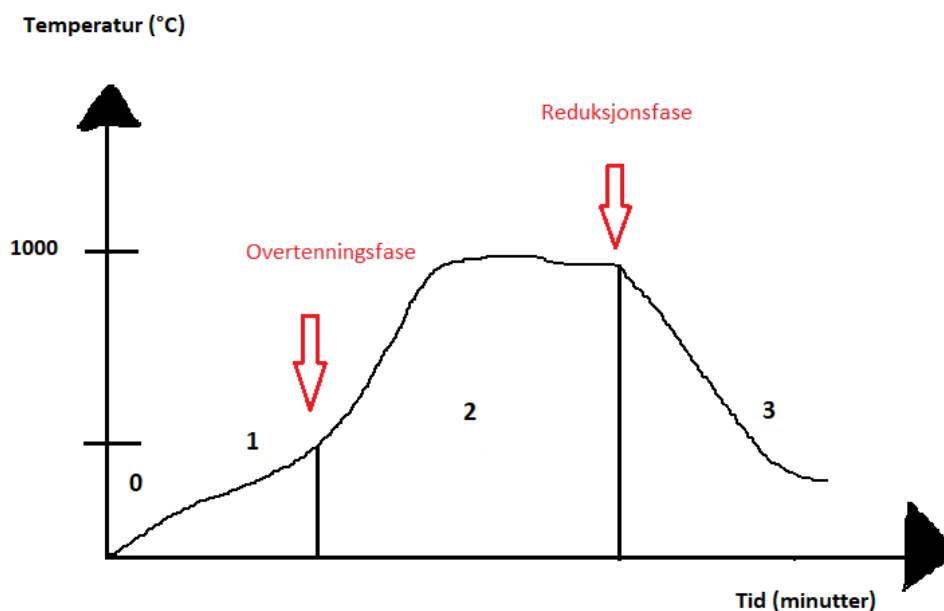
Andre forhold som kan ha betydning er varmestråling, romtemperatur og siktbarhet. Akseptkriterier for disse forholdene er oppsummert i tabell 8, hentet fra SN-INSTA/TS 950:2014 (Standard Norge, 2014)

Forhold	Akseptkriterier
Varmestråling	Kontinuerlig: maks 2,5 kW/m ² Kortvarig; maks 10 kW/m ²
Romtemperatur	Gasstemperatur: maks 80 °C
Siktbarhet	Ikke mindre enn 3 m i rom mindre eller lik 100m ² Ikke mindre enn 10 m i en gulvhøyde på 2 m, i rom større enn 100m ²

Tabell 9: Akseptkriterier for varmestråling, romtemperatur og siktbarhet ved rømning (Standard Norge, 2014).

Regelverket angir ikke metode for å dokumentere for akseptkriterier nevnt i tabellen over, men det blir heller referert mellom ulike standarder, forskrifter, annen litteratur og rapporter. I boka *Fire Science and Technology Vol. 24 No.4* (Yamaguchi og Tanaka, 2005) er det angitt forutsetninger for å beregne røykutviklingen i brannrommet. Tilgjengelig rømningstid til sikkert sted er ofte basert på røykfyllingstiden til kritisk romhøyde. Dersom alle som oppholder seg i brannrommet har rømt innen røyksjiktet har nådd kritisk høyde, blir de ikke utsatt for røyken. Det er da ikke nødvendig å ta stilling til akseptkriterier for forholdene i tabell 8 over. Dette er konservativt, men et veldig praktisk sikkerhetskriterium å bruke ved brannsikkerhet i bygg. Røykfyllingstiden blir påvirket av rommets geometri og brannutviklingshastigheten α . Gjennom eksperimentelle forsøk og målinger er det funnet varmeutviklingshastigheten i utviklingsfasen empirisk tilnærmet til $Q = \alpha * t^2$. Disse verdiene er representert i tabell 6 og t_α er definert som tiden det tar å nå en varmeutviklingshastighet på 1 MW.

3.2 Brannutvikling



Figur 18: Illustrasjon av de ulike fasene i et typisk brannforløp (Hoelsbrekken, 1997c).

Generelt kan brannutvikling deles inn i fire faser som er illustrert i figur 18:

- Tennfasen (0)
- Tidlig utviklingsfase (1)
- Overtenningsfasen (fullt utviklet brann) (2)
- Reduksjonsfasen (3)

For at en brann skal starte trengs det brennstoff, oksygen og varme. *Dokumentasjon av brannsikkerhet* (Hoelsbrekken, 2004a) beskriver brannutviklingen, der tennfasen er tiden fram til brannen fortsetter uten medvirkning av en ytre varmekilde. Etter tennfasen vil brannen utvikle seg i brenselet med liten eller ingen innvirkning fra brannrommet. Med tilstrekkelig oksygen og brensel, vil brannen utvikle seg til fasader av bygget og temperaturen vil stige. For dokumentasjon av personsikkerhet ved rømning er brannens tidlige utviklingsfase (1) viktigst, siden det er i denne fasen røykgasser og varme produseres.

3.2.1 Røykspredning og røykutvikling

Ifølge *Brannsikkerhet: prosjektering og dokumentasjon* (Hoelsbrekken, 1997c) viser erfaring fra branner at ca. 80% omkommer på grunn av inhalering av giftige gasser, varme gasser eller oksygenfattig luft. For at sikkerhet under rømning skal være god nok, må det forhindres at

røyken sprer seg til rømningsveiene i bygget. Brannbelastning og materialegenskaper er to faktorer som påvirker røykutviklingen og røykspredningen ved brann. Det bør derfor velges materialer med lav brennbarhet og lav røykutvikling slik at den totale brannbelastningen reduseres.

3.2.2 Varmeutvikling

Varmeutviklingshastigheten vil variere i hvert brannscenario, da brannegenskapene til ulike materialer er forskjellige. Det er normalt inventar som bidrar til stor og rask varmeutvikling, da det ofte er tekstiler og plastprodukter (Rockfon, U.år). Furu har en brennverdi på ca. 20MJ/Kg (Trevirkets brennverdi, 2017). Bomull har brennverdi på 19MJ/Kg og polypropylen på 44MJ/Kg (Anne Steen Hansen, 2007). Selv om furu og bomull har omtrent lik brennverdi, brenner bomull vesentlig fortere og avgir energien over kortere tid.

3.2.3 Materialegenskaper og brannmotstand

Det stilles krav til branntekniske ytelser for at bygget skal tilfredsstillere brannsikkerheten etter TEK 17. Et av punktene handler om materialers egenskaper og stiller krav til:

- Brennbarhet/overflater
- Røykproduksjon
- Dråpesmitte/fallende partikler

Et annet punkt handler om bygningsdelers brannmotstand og stiller krav til:

- Integritet og isolasjon
- Bæreevne og stabilitet

Materialer og overflater blir klassifisert etter:

- NS-EN 13501-1 *Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler - Del 1: Klassifisering ved bruk av resultater fra prøving av materialers egenskaper ved brannpåvirkning*
- NS-EN 13501-2 *Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler - Del 2: Klassifisering ved bruk av resultater fra brannmotstandsprøving, unntatt ventilasjonssystemer*

For å angi ytelser til overflater på vegger og himlinger, klassifiseres disse etter følgende, fra SINTEF byggforskblad 520.320 nr. 42 systematisert i tabellform:

Klassifiseringsklasse	Forklaring	Eksempel
A1	Ubrennbart materiale. Høyeste kravsnivå. Kan ikke kombineres med tilleggsklasser.	Betong, steinull og glassull
A2, B, C, D	Ulike grader av brennbarhet. A2 er begrenset brennbart og den strengeste klassen. Disse klassene kombineres alltid med tilleggsklasser for røykproduksjon, s, og brennende dråper, d.	A2: gipsplater B: brannhemmet sponplate C: brannimpregnert trevirke D: Ubehandlet trevirke
E	Laveste kravsnivå for brennbarhet. Denne klassen kan enten være uten tilleggsklasse eller kombineres med d2.	Porøse trefiberplater
F	Tilfredsstiller ikke kriteriene til klasse E ved prøving. Denne klassen kan ikke kombineres med tilleggsklasser for røykutvikling og brennende dråper.	
s1, s2, s3	Tilleggsklasser for røykutvikling s1: meget begrenset røykutvikling s2: begrenset røykutvikling s3: Ingen begrensning i røykutvikling	
d0, d1 og d2	Tilleggsklasser for brennende dråper d0: ingen brennende dråper d1: begrenset mengde brennende dråper d2: ingen begrensning i mengden brennende dråper.	

Tabell 10: Klassifiseringsklasser for overflater på vegger og himlinger (SINTEF Byggforsk, 2017).

Bygningsdelers brannmotstand klassifiseres etter NS-EN 13501-2 (Standard Norge, 2016) etter følgende bokstaver:

R: angir om konstruksjonen er bærende

E: integritet/tetthet - motstå branneksplosjon på flere sider

I: isolasjonsevne - evnen til å motstå brannpåkjenning

M: Evne til å motstå en gitt mekanisk påkjenning

For disse bokstavene etterfølges det angitt tid: 15, 30, 60, 90, 120, 180 eller 240 minutter.

Tiden angir et minimum for brannmotstanden for bygningsdeler.

3.3 Brannsikringstiltak

Firesafe, en totalleverandør for brannsikring definerer brannsikring slik:

Brannsikring kjennetegner alt det man gjør for å sikre personer og bygninger mot brann og omfatter alt fra åpne rømningsveier og adgang for brannmannskap til varsling av beboerne i boligen, slukking av eventuelle branntilløp samt installasjon og vedlikehold av røykvarslere, brannalarmanlegg og slukningsutstyr i boligen.

Brannsikring inkluderer også forebygging og hindring av antennelse (Firesafe, 2020).

Brannsikring kan deles i 2 typer: Passiv og aktiv brannsikring. Disse er beskrevet i delkapittel

3.3.1 *Passive brannsikringstiltak* og 3.3.2 *Aktive brannsikringstiltak*.

3.3.1 Passive brannsikringstiltak

Passive brannsikringstiltak krever ikke aktivering i branntilfeller siden de er «innebygd» i konstruksjonen. Eksempler på det kan være å dele opp bygget inn i brannceller, brannseksjoner og velge materialer med gode branntekniske egenskaper innen brennbarhet, røykproduksjon og varmeutvikling. Passive brannsikringstiltak skal ta hensyn til konstruksjonenes bæreevne og stabilitet, antennelse, brannutvikling, spredning av brann og røyk og brannspredning mellom bygninger (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2020a).

For å finne ut om det er nødvendig med brannseksjonering må det ses på arealet per etasje og brannenergien. Det strengeste kravet for brannseksjonering er om det blir over 400MJ/m² uten brannalarmanlegg eller sprinkleranlegg, da kan det være maks 800m²/etasje uten brannseksjonering. For barnehage er det satt et maksimum på 600m²/etasje. Bygg under 800m²/etasje trenger ikke seksjoneringsvegg med mindre det er en barnehage.

Gips er et passivt brannsikringstiltak som kan brukes til å gjøre et rom om til en branncelle. I følge Norsk Standard *Prosjektering av trekonstruksjoner Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering* (Standard Norge, 2004) kan gips brukes som et beskyttende lag for å hindre rask brannspredning, der fylte fuger gir bedre brannbeskyttelse enn andre typer sammenføyninger. Brannmotstandstiden for gipsklasse A, F og H, som er aktuelle for passive brannsikringstiltak, kan beregnes etter følgende formel:

$$t_{ch} = 2,8h_p - 14 \quad (3.14)$$

Hvor

- t_{ch} er tid før forkullingen begynner
- h_p er total tykkelse på gips.

3.3.2 Aktive brannsikringstiltak

Med aktive brannsikringstiltak menes det tiltak som utløses når brannen oppstår. Eksempler på aktive brannsikringstiltak er detektorer som utløser brannalarm, sløkkanlegg og manuelle håndslukningsapparater. TEK 17 §11-12 *Tiltak for å påvirke rømnings- og redningstider* (Direktoratet for byggkvalitet, 2017a) sier følgende om aktive brannsikringstiltak: «I byggverk som er beregnet for virksomhet hvor rømning og redning kan ta lang tid, skal det brukes aktive tiltak som øker den tilgjengelige rømningstiden»

Herunder er minstekravene satt ut ifra bygningens areal og risikoklasse. Et av minstekravene er at bygget som er i risikoklasse 2 til 6 skal ha brannalarmanlegg.

Målet med aktive brannsikringstiltak er basert på fire hovedprinsipper etter *Brannsikkerhet: Prosjektering og dokumentasjon* (Hoelsbrekken, 1997a):

- å redusere tilgangen på brensel
- å redusere tilgangen på oksygen
- å redusere varmetilførselen til forbrenningsprosessen
- å bryte kjedereaksjonen

Med inndeling av brannceller eller brannseksjoner og ved bruk av sprinkler eller slökkemidler kan tilgangen på brensel reduseres, siden brenset krever mer energi for å opprettholde brannen. Ved å bruke CO₂ som slökkemiddel kan tilgangen på oksygen reduseres, under forutsetning om at vegger, tak og gulv er tilstrekkelig tette. Røykventilasjon reduserer varmetilførselen og bidrar til at brannutviklingen forsinkes. For å bryte kjedereaksjonen kreves det kjemiske stoffer som stopper forbrenningsprosessen. Disse kjemiske stoffene kalles for antikatalytiske stoffer som er uegnede som slökkemidler siden de ikke er miljøvennlige.

Sprinkleranlegg er et aktivt brannsikringstiltak. Sprinkleranlegg kan deles inn i to hovedkategorier, våtanlegg og sprinkelanlegg. Hovedforskjellen er at våtanlegg står under konstant vanntrykk, mens et tørranlegg fylles med vann først når brannalarmen går (SINTEF Byggforsk, 2009a). Tørranlegg har derfor noe lengre responstid, men bør benyttes der det er frostfare for at vannet ikke skal fryse (Rør-Varme AS, U. år).

4 Resultat

4.1 Risikoevaluering

Risikoevalueringen er gjort etter NS 3901 og den er gjennomført i to deler i henhold til standarden, risikoanalyse og komparativ analyse, se vedlegg 8.5. Resultatet av risikoevalueringen viser at bygget ikke tilfredsstillende de branntekniske kravene som er angitt i TEK 17. Det er presentert to mulige alternativer til hvordan forskriften kan overholdes:

Alternativ 1

Det første alternativet innebærer å montere sprinkleranlegg i bygget. Dette medfører at det ikke er behov for ytterligere oppdeling av brannceller, siden sprinkleranlegg vil ha større brannhemmende effekt enn oppdeling av brannceller, som vist i risikoanalysen kapittel 5.4 *Vurdering av effekt av tiltak* i vedlegg 8.5.

Alternativ 2

Det andre alternativet medfører ytterligere oppdeling av brannceller. Her følges de preaksepterte løsninger i VTEK 17. Dermed må følgende rom gjøres om til egne brannceller:

- Traktorgarasjen i 1. etasje
- Redskapslageret i 1. etasje
- Minilager i 1. etasje
- Sauefjøs og snekkerbod i 2. etasje
- Gang i 2. etasje

Dermed må også åpningen mellom 1. og 2. etasje tettes.

4.2 Branntekniske tiltak

For at et rom skal bli en branncelle, kan det kles inn med gips. Branngips fra norgips har normalt en tykkelse på 15mm (Norgips, 2017). Med formel 3.14, i kapittel 3.3.1 *Passive brannsikkerhetstiltak*, kan brannmotstandstiden beregnes. Ut ifra tabellen under kan det ses hvor mange lag med gips som trengs.

1 lag	28min
2 lag	70min
3 lag	112min

Tabell 11 Brannmotstand ved antall lag gips.

Dermed er det behov for 2 lag med gips for å gjøre et rom om til en branncelle i brannklasse 2.

4.3 Nødvendig og tilgjengelig rømningstid

Både nødvendig og tilgjengelig rømningstid er beregnet etter delkapittel 3.1.4 *Rømning og redning*, som er vedlagt i vedlegg 8.1 og 8.2. Resultatet er oppsummert i tabellen under. Det er antatt at 6 biler står parkert i hver av garasjene i 1. og 2. etasje og at bensin er brannkilden. I 3. og 4. etasje er brannkilden tekstiler og møbler. Konstruksjonens bæremotstand er beregnet etter delkapittel 3.1.3 *Brannberegning*. For betong i 1.etasje er bæremotstanden antatt etter SINTEF byggforskblad 520.323.

	1.etasje	2.etasje	3. etasje	4.etasje
Brannkilder	Bensin i garasje (g ₁) og i traktorrom (t) Brann i tekstiler/møbler i minilager	Bensin i garasje (g ₂) og gassbeholder i campingvogn (c)	Brann i tekstiler/møbler	Brann i tekstiler/møbler
Nødvendig rømningstid (min:sek)	2:11 (g ₁ og minilager) 2:15 (t)	2:13 (g ₂ og c)	2:30	2:30
Tilgjengelig rømningstid (min:sek)	6:51 (g ₁) 5:00 (minilager) 4:50 (t)	6:51 (g ₂) 4:00 (c)	7:30	7:30
Sikkerhetsmargin	3:24 (g ₁) 2:35 (t)	3:22 (g ₂) 1:47 (c)	5:00	5:00
Røykhøyde ved nødvendig rømningstid	1,1 m (g ₁) 0,75 m (minilager) 2,2 m (t)	3,7 m	2,7 m	2,1 m
Konstruksjonens bæremotstand	R60 (SINTEF Byggforsk, 2009b)	R16	R16	R16

Tabell 12: Resultater for rømningstider, sikkerhetsmargin, røykhøyde og konstruksjonens bæremotstand.

5 Diskusjon

5.1 Metode

Metodene vi har brukt for å finne svar på problemsstillingen er risikoanalyse, komparativ analyse og beregning av rømningstider for så å verifisere personsikkerheten. Det kan stilles spørsmål om hvor pålitelig innsamling av data og brannstatistikk på nett er. Metodevalget sikrer både høy validitet og reliabilitet gjennom å undersøke relevante data som baserer seg på troverdige kilder. Dette er verifisert data som er objektivt formidlet i form av vitenskapelige artikler og statistikkdatabaser. Ved å basere seg på brannstatistikk, styrker det validiteten i risikoanalysen. For beregninger av rømningstider brukes det matematiske formler som baserer seg på standarder og forskningsrapporter, som gir kvantitative utgangsverdier. Ved å kontrollberegne verdiene for så å bekrefte at de inputene er riktig, styrker reliabiliteten.

NS 3901 kan oppleves som noe tung og vanskelig å bruke siden det må fastsettes akseptkriterier. Det kan derfor være en fordel å ha erfaring fra området for å gjennomføre disse analysene på en god måte. For å være på den sikre siden har vi tatt utgangspunkt i verst tenkelig scenario i forhold til hvor brannen starter, ved beregning av rømningstider og røykhøyde.

For å tilfredsstill minimum brannsikkerhet i bygningen, ble det gjort en rekke tiltak før det ble utført risiko og komparativ analyse. Disse tiltakene er absolutte krav til brannsikkerheten som ikke kan unngås. Her kunne det vært mulig å gjøre andre endringer eller flere endringer, men det var disse endringene, nærmere beskrevet i delkapittel 1.5.1 *Antagelser av bygningen*, som vi vurderte som de viktigste.

5.2 Risikoevaluering

Resultatet viser at tilgjengelig rømningstid i de fleste rom er over det dobbelte av nødvendig rømningstid. Det mest kritiske punktet er vognskjulet i 2. etasje. Der er sikkerhetsmarginen litt mindre enn nødvendig rømningstid. I alle andre rom er sikkerhetsmarginen større enn rømningstiden. Det er ingen fast verdi på hvor stor sikkerhetsmarginen skal være, dette må avgjøres i hvert enkelt tilfelle. Vi har valgt at sikkerhetsmarginen bør være større enn nødvendig rømningstid. Det er fordi personene oppholder seg midlertidig i bygget og med få folk i bygget vil det ikke oppstå kø ved evakueringssituasjon. Rømning bør dermed gå raskt fra det tidspunktet brannen blir oppdaget. Det kan derfor argumenteres for at vi opprettholder et minimum av sikkerhet i bygget med tanke på rømningstid. Dette kan også begrunnes ved at trapperommet gir nok utgangsmuligheter og brannalarmanlegg sikrer tidlig varsling. Rømningsplanen, i vedlegg 8.1, gir også god oversikt over rømningsveier. Røykhøyden for nødvendig rømningstid viser at det er mulig å komme seg ut av bygget før rommet blir overfylt av røyk. Den kritiske delen av bygget med tanke på røyk blir minilager, som har røykfri høyde 0,75 m over bakken ved nødvendig rømningstid.

For å tilfredsstille alle kravene i forskriften må det gjøres tiltak som nevnt under kapittel 4.1 *Risikoevaluering*. Disse tiltakene kan muligens gå under beskrivelsen «uforholdsmessig kostnader» pkt. 31-2 (4. ledd) i pbl. Det er vanskelig for oss å si akkurat hvor grensen for uforholdsmessige kostnader ligger, særlig da det ikke er et fasitsvar på dette.

Risikoevalueringen ble utført på grunnlag av to hovedpunkter, risiko og komparativ analyse. Det kan spørres om hvilken av de to analysedelene som er best egnet for å finne akseptabel risiko. Risikoanalysen baserer seg på sannsynlighet i hvert enkelt tilfelle, og her vurderes risikoen forskjellig for de ulike tilfellene. Dette avhenger av omgivelsene og hvilke farer som er mest sannsynlig.

Komparativ analyse kan i noen tilfeller oppleves som enklere enn risikoanalysen. I komparativ analyse skal det sammenlignes to bygg der sannsynligheten for forskjellige scenarioer skal beregnes. Ved komparativ analyse kan det, i noen tilfeller, følge nesten alle preaksepterte løsninger, noe som er enklere enn analytisk prosjektering. I tilfeller med eldre bygg, som i denne oppgaven, kan det være svært mange avvik fra de preaksepterte løsningene. Derfor kan det være vanskelig å finne en tilfredsstillende løsning ved komparativ

analyse, uten at endringene og tiltakene blir for omfattende og utenfor en realistisk kostnadsramme. Vi har under kapittel 4.1 *Risikoevaluering* kommet frem til to løsninger for å tilfredsstillere TEK 17.

Ved bruk av løsning med sprinkelanlegg må sprinkelanlegg dimensjoneres. Det må muligens legges til rette for mer vanntilførsel til bygget. Dette kan medføre store kostnader og det må innhentes eksterne ressurser. Ved den andre løsningen må det lages flere brannceller.

Brannceller kan lages med gips der mengden er vist, i tabell 10, kapittel 4.2 *Branntekniske tiltak*.

For å dele opp bygget i brannceller kan det benyttes branngips. Da må alle overflater dekkes og alle skjøter tettes, slik at det utgjør et skille til neste branncelle. I vårt tilfelle er det gjennomgående bjelker og søyler inne i branncellene, slik at treverket må bli kledd inn så brannen ikke sprer seg mellom branncellene.

5.3 Andre løsninger

Det kunne også vært mulig å se på andre løsninger, som vi har valgt å ikke gå nærmere inn på i denne oppgaven. Brannisolerende maling kunne vært et alternativ, men kan være vanskelig i et eldre trebygg. Det er fordi brannmaling stiller store krav til utførelse, og er ikke utførelsen god nok vil effekten av brannmalingen bli adskillig mindre. Bygget vi har sett på er et eldre bygg og materialene er svært gamle da de delvis er fra en enda eldre låve. Det er også til dels brukt rundstokker med barkrester, med små hakk i treverket og flater som er vanskelig å komme til. Ved bruk av dette alternativet må absolutt alle overflater dekkes, noe som er vanskelig i vårt tilfelle. Dette alternativet kan være aktuelt i tilfeller der treverket har jevne overflater, da overflatene kan sprøytemales. Et annet alternativ kunne vært å bruke CO₂ som et aktivt brannsikkerhetstiltak. Men ifølge Opplysningskontoret for automatiske sløkkeanlegg (Opplysningskontoret for automatiske sløkkeanlegg, U.år) kreves det så høye CO₂ verdier for å få tilstrekkelig sløkkeeffekt at det innebærer livsfare. Derfor kan CO₂ som sløkkemiddel kun brukes i ubemannede lokaler og det krever særskilte sikkerhetstiltak.

For beregning av rømningstid kunne det også blitt brukt dataprogram, siden dette kunne vært ønskelig for å verifisere beregningene. Dette kunne ført frem til mer nøyaktige rømningstider.

Slike program hadde vi ikke tilgang til, dessuten var det få personer i bygget og rømningsveiene enkle. I større bygg med flere folk vil dette være mer aktuelt.

Et annet alternativ på låven i Ringsaker kunne vært å fjerne nyttelasten fra den øverste etasjen. Dette ville, ifølge våre beregninger, økt brannmotstand i 2. og 3. etasje til R20, se vedlegg 8.4. Brannvesenet vil dermed ha mulighet til å komme seg til bygget før det begynner å kollapse. Tilgjengelig rømningstid vil ikke endres da varmestråling var en avgjørende faktor, men røyken vil ikke påvirke sikten like mye i tredelen da det ikke befinner seg noen i 4. etasje.

Det kan være mulig å sette inn en brannseksjoneringsvegg i bygget. Om andre krav i forskriften da kan senkes, må det gjennomføres en ny risikoevaluering for å vurdere, der komparativ analyse ville vært mest aktuelt. Dette kunne for eksempel vært en betongvegg som gikk gjennom bygget og delte det i to. Dette vil riktignok medføre en kostnad siden seksjoneringsveggen skal tåle at en side kollapser uten at den andre siden tar skade av det. Dessuten ønskes det å bevare fasaden, og da passer ikke en seksjoneringsvegg som stikker ut ifra vegger og tak.

5.4 Hva har dette å si for andre bygg

For å vite hvilke tiltak som skal gjøres i andre tilfeller, må TEK 17 legges til grunn. Derfor har vi laget et flytskjema for å gjøre det enklere å vurdere hvilke krav som ikke tilfredsstilles og hvilke tiltak som må gjøres. Punktene i forskriften må leses for å finne ut eksakt hvilke tiltak som må gjøres.

Ved mindre bygg med færre etasjer stilles det mindre strenge krav og det er lettere å følge de preaksepterte løsningene. Som vist i kapittel 3.1.1 *Forenklet brannteknisk prosjektering*, vil låvebygg med 1 eller 2 etasjer være i brannklasse 1. Dermed vil kravene til brannmotstand til de ulike bygningsdelene og branncellene bli enklere å overholde.

Under kapittel 1.5.1 *Antagelser av bygningen* er det skrevet at det ikke tas hensyn til personer med funksjonsnedsettelse, og det kan stilles spørsmål om dette er akseptabelt med tanke på regelverket. I TEK 17 står det under § 11-11 *Generelle krav om rømning og redning* 1. ledd at «det skal tas hensyn til personer med funksjonsnedsettelse» (Direktoratet for byggkvalitet,

2017d). Det er i utgangspunktet ingen unntak for denne regelen. Allikevel kan det i noen tilfeller være hensiktsmessig å ikke ta hensyn til dette.

I TEK 17 §12-1 *Krav til planløsning og universell utforming av byggverk* må ikke bygget ha planløsninger som er tilpasset personer med funksjonsnedsettelse hvis dette ikke er en del av byggets funksjon (Direktoratet for byggkvalitet, 2017f). Siden låven er gammel og skal endres til et lager, er ikke bygget utformet for å tilpasses disse personene. Dermed velger vi å se bort ifra kravet om å ta hensyn til funksjonsnedsatte personer ved utforming av rømningsveier. I bygget er dørstokkene høye og trappene bratte. Det bør likevel tas de hensyn som er mulig innenfor fornuftige og realistiske rammer.

Hvilke hensyn som tas og hvilke tiltak som kan gjøres må avgjøres i hvert enkelt tilfelle. I låven i Ringsaker skal det for eksempel merkes tydelig med rømningsveier, og eventuelle brannalarmknapper skal ikke være for høyt på veggen av hensyn til personer med funksjonsnedsettelse. Bygget vil uansett opprettholde sin funksjon og er ikke bygget for personoppholdet. Ved ombygging til andre virksomheter, der det er beregnet for varig personopphold vil det være nødvendig å ta større hensyn til personer med funksjonsnedsettelse.

5.5 Feilkilder

Det er knyttet en viss usikkerhet til risikoanalysen i oppgaven. Denne er normalt vesentlig for å vise at brannsikkerheten er tilfredsstillende. Det kan være vanskelig å finne ut riktig sannsynlighet for de ulike brannscenarioene, noe som må gjøres i risikoanalysen. Her har vi basert oss på statistikk for branner som er fra kategoriene transport og lagring, og landbruksbygninger. Dette omfatter langt mer enn en eldre landbruksbygning som skal brukes som et lager. Dermed vil det skape stor usikkerhet knyttet til forholdet mellom den faktiske og beregnede sannsynlighet for brann. Dessuten er bare skader som har resultert i erstatning med i statistikken, derfor kan tallet være noe lavere enn realiteten (BRASK, 2020).

Det er også knyttet usikkerhet til andre utregninger i oppgaven. Det er fordi det er usikkerhet knyttet til den beregnede og faktiske verdien. For eksempel kan det være forskjell på røykutvikling i beregning og hvordan den faktisk vil opptre. Denne opptrer forskjellig ettersom hvilken type brann det er, i tillegg til at et gammelt bygg kan ha sprekker og

lignende der røyken kan sige gjennom, noe som ikke er tatt hensyn til i særlig grad i beregningene.

Ved beregning av rømningstider er det knyttet en viss usikkerhet til mengde brensel i brannkilden, røykfordelingen og forflytningstiden til personene som til enhver tid oppholder seg i bygget. Beregningene er basert på verst tenkelige scenarioer som kan gi et konservativt, men praktisk sikkerhetskriterium innen brannsikkerhet i byggverk (Yamaguchi og Tanaka, 2005). I henhold til rømning og redning er det også avgjørende at det ikke er store hindringer som kan skape utfordringer for rømmende fra bygget eller brannvesenet.

6 Konklusjon

Hvilke utfordringer har eldre låvebygg til brannsikkerhet ved bruksendring?

For å svare på problemsstillingen er det tatt utgangspunkt i et låvebygg fra 1950, der deler av bygget skal gjøres om til bilgarasje og minilagre. Dette er en enhetsbygning med over 1200m² på 4 etasjer. Bygget er ikke tilstrekkelig delt opp i brannceller og har heller ikke sprinkleranlegg. Dette vil medføre større ombygging eller at en monterer sprinkleranlegg, dersom det ikke kan dokumenteres at det er forsvarlig å fravike de preaksepterte ytelsene. For hver etasje kommer det flere utfordringer, så et bygg med 1-3 etasjer må ikke nødvendigvis deles opp i brannceller.

Det er avdekket utfordringer ved gjennomføring av komparativ analyse i eldre låvebygninger, siden det er mange avvik fra preaksepterte løsninger. Det kan derfor bli utfordrende å finne tilfredsstillende løsninger som ikke fører til en urealistisk kostnadsramme. Men det er allikevel muligheter til å finne løsninger som kan være kostnadseffektive og miljøvennlige. Disse må vurderes i hvert tilfelle.

Det viser seg at sikkerhetsmarginen for de fleste rommene i låvebygningen vi har sett på er over det dobbelte av nødvendig rømningstid, som opprettholder et minimum for rømningssikkerheten i bygget. Det er imidlertid stor variasjon på låver både i størrelse og i utforming rundt om i landet, noe som fører til forskjeller i utregning av rømningstid.

Erfaringene fra studiet vårt viser at de bærende bygningsdelers brannmotstand er svært utfordrende å opprettholde ved å se på de preaksepterte løsningene. Dermed kan det ofte være bedre å finne tilgjengelig rømningstid og sikre at brannmotstanden er tilfredsstillende, slik at personsikkerheten ved opphold i bygget blir ivaretatt.

En annen utfordring vi har erfart med eldre låvebygg er oppdeling av brannceller. Ved store låvebygg må det som regel deles opp med flere brannceller eller sprinkleranlegg, noe som kan være kostbart og utfordrende. Her kan muligens § 31-2 (4. ledd) i pbl. benyttes, der det tillates avvik fra forskriften. Ved mindre bygg kan det bli enklere å opprettholde brannsikkerhetskravene, fordi det kan kreves mindre oppdeling av brannceller. Da kan det for

eksempel brukes gips som brannsikrende tiltak. Det krever at det finnes en rømningsplan og slökkemidler tilgjengelig i bygget for brannslukning.

Funnene i studiet viser at de største utfordringene er bærende bygningsdelers og branncellers brannmotstand. Det kan være enklere for bygg med færre enn 3 etasjer, men hvis det er flere etasjer på flere hundre kvadratmeter, kan det være vanskelig å havne innenfor rimelige kostnadsrammer. Å rive bygget for så å bygge nytt, fremfor å gjennomføre bruksendring, vil normalt være lite bærekraftig og dårlig utnyttelse av ressurser. Selv om det finnes en rekke utfordringer ved bruksendring for eldre låvebygg, er det mulig for de fleste å tilfredsstillе brannsikkerhetskravene. Om nødvendige tiltak kommer innenfor uforholdsmessige kostnader er opp til kommunen å avgjøre.

6.1 Forslag til videre arbeid

Til videre arbeid om temaet kan det ses på andre løsninger enn vi har sett på i denne oppgaven, eller se nærmere på ulike typer bruksendringer. For eksempel kan det ses på hvordan eldre låvebygg kan benyttes som forskjellige forsamlingslokaler, da rømningstid og gode rømningsveier vil ha enda større betydning. Det kan også være mulig å gå videre inn på hvordan risikoanalyse egner seg som metode i disse tilfellene, eller om det er andre måter å løse dette på.

7 Litteraturliste

1. Anne Steen Hansen, J. P. S. (2007) Brennbare tekstiler i innredning på offshoreinstallasjoner, s. 9. Tilgjengelig fra: <https://risefr.com/media/publikasjoner/upload/nbl-a07134.pdf> (Hentet: 04.03.2020).
2. Bjørheim, K. (2019) *CO2-utslipp fra offentlige anskaffelser på stedet hvil*. Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/co2-utslipp-fra-offentlige-anskaffelser-pa-stedet-hvil/462707> (Hentet: 23.04 2020).
3. BRASK (2019) *Brannskadestatistikk (BRASK)*. Tilgjengelig fra: <https://www.finansnorge.no/statistikk/skadeforsikring/brannstatistikk/> (Hentet: 27.02 2020).
4. BRASK (2020) *Om BRASK*. Tilgjengelig fra: <https://brask.finansnorge.no/OmBrask.aspx> (Hentet: 25.02 2020).
5. Bukowski, R. W., Budnick, E. og Schemel, C. (1999) Estimates of the operational reliability of fire protection systems, i *Proceedings of the 3rd international conference on fire research and engineering*. Society of Fire Protection Engineering, MA. s. 87-98.
6. Direktoratet for byggkvalitet (2017a) § 11-12 «Tiltak for å påvirke rømnings- og redningstider» Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/11/iv/11-12/> (Hentet: 04.02 2020).
7. Direktoratet for byggkvalitet (2017b) § 11-1. *Sikkerhet ved brann*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/11-1/> (Hentet: 30.03 2020).
8. Direktoratet for byggkvalitet (2017c) *Innledning til kapittel 11 Sikkerhet ved brann*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/11/> (Hentet: 30.03 2020).
9. Direktoratet for byggkvalitet (2017d) § 11-11 «Generelle krav om rømning og redning» Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/11/iv/11-11/> (Hentet: 30.03 2020).
10. Direktoratet for byggkvalitet (2017e) § 11-3. *Brannklasser*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/11-3/> (Hentet: 30.03 2020).

11. Direktoratet for byggkvalitet (2017f) § 12-1. "Krav til planløsning og universell utforming av byggverk". Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/12/i/12-1/> (Hentet: 04.04 2020).
12. Direktoratet for byggkvalitet (2019) *Avfall- og miljøsanering*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/verktoy-og-veivisere/andre-fagomrader/avfall--og-miljosanering/> (Hentet: 23.04 2020).
13. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (2020a) *Kapittel 6.2 passive brannsikringstiltak* Tilgjengelig fra: <https://www.dsb.no/lover/brannvern-brannvesen-nodnett/veiledning-til-forskrift/brannsikring-av-kirkebygg--en-temaveiledning-for-kirkebyggforvaltninger/#tekniske-krav> (Hentet: 29.02 2020).
14. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (2020b) *Om brannstatistikk.no*. Tilgjengelig fra: <https://www.brannstatistikk.no/brus-ui/about> (Hentet: 27.02 2020).
15. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (2020c) *Søk i statistikk*. Tilgjengelig fra: <https://www.brannstatistikk.no/brus-ui/search> (Hentet: 27.02 2020).
16. Firesafe (2020) *Hva er brannsikring?* Tilgjengelig fra: <https://www.firesafe.no/service/brannsikring-stavanger?language=nb> (Hentet: 23.03 2020).
17. FN-sambandet (2020) *FN-sambandet*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/Tema/Fattigdom/Baerekraftig-utvikling> (Hentet: 28.02 2020).
18. Hansen, A. S. og Stensaas, J. P. (2009) *Analyse av rømning fra kirkegalleri*. Trondheim: SINTEF NBL as, s. 3.
19. Henriksen, A. (2020) *Regjeringen vil ha gjenbruk fremfor å rive gamle bygg*, *Aftenposten*, 17.04.2020. Tilgjengelig fra: <https://www.aftenposten.no/kultur/i/g7nQAA/regjeringen-vil-ha-gjenbruk-fremfor-aa-ribe-gamle-bygg?> (Hentet: 23.04.2020).
20. Hoelsbrekken, S. (1997a) *Brannsikkerhet, Prosjektering og dokumentasjon* Oslo: Universitetsforlaget, s. 32.
21. Hoelsbrekken, S. (1997b) *Brannsikkerhet, Prosjektering og dokumentasjon* Oslo: Universitetsforlaget, s. 31.
22. Hoelsbrekken, S. (1997c) *Brannsikkerhet, Prosjektering og dokumentasjon* Oslo: Universitetsforlaget, s. 34-35.
23. Hoelsbrekken, S. (2004a) *Dokumentasjon av brannsikkerhet*. Oslo: Norsk Byggtjenestes Forlag, s. 121-122.

24. Hoelsbrekken, S. (2004b) Dokumentasjon av brannsikkerhet. Oslo: Norsk Byggjenestest Forlag, s. 130-131.
25. Jensen, G. (2009) Kvalitativ analyse brannsikkerhet. Tilgjengelig fra: <https://docplayer.me/19823797-Kvalitativ-analyse-brannsikkerhet.html> (Hentet: 21.04.2020).
26. K.K.Heje (1949) Lomme- Almanakk for jordbrukere skogbrukere meierister og hagebrukere. (Hentet: 04.05.2020).
27. Kalsnes, B., Eidsvig, U. og Zhongqiang, L. (2015) *DP5 Verktøy for risikovurdering*. (Hentet: 22.04.2020).
28. Lovdata (2009a) *Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven)*. Tilgjengelig fra: https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71/KAPITTEL_4-12#%C2%A731-1 (Hentet: 03.03 2020).
29. Lovdata (2009b) *Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven)*. Tilgjengelig fra: https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71/KAPITTEL_4-12#%C2%A731-2 (Hentet: 03.03 2020).
30. Lovdata (2013) *Kapittel 2. Tiltak som krever søknad og tillatelse*. Tilgjengelig fra: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2010-03-26-488/KAPITTEL_2-2#%C2%A72-1 (Hentet: 30.03 2020).
31. Lovdata (2017) *Lov om klimamål (klimaloven)*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/lov/2017-06-16-60/§3> (Hentet: 30.03 2020).
32. Lovdata (2019) *Kapittel 1. Innledende bestemmelser*. Tilgjengelig fra: https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2002-06-14-20/KAPITTEL_2#%C2%A71 (Hentet: 30.04 2020).
33. Lovdata (2020) *Forskrift om brannforebygging*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-12-17-1710> (Hentet: 30.03 2020).
34. Nordlien, N. K. (2018) Ringsaker, Veldre og Brøttum historielag. Hamar Media AS, avd. Lillehammer: Ringsaker historielag, s. 159-161.
35. Norgips (2017) produktdatablad brann 15mm. Tilgjengelig fra: <http://media.byggjeneste.no/media/dokument/508730> (Hentet: 06.05.2020).
36. Norgips (2020) *Norgips- bærekraft*. Tilgjengelig fra: <https://norgips.no/prosjektering/dokumentasjon-og-godkjenninger/epd-milj%C3%B8deklarasjon> (Hentet: 28.02 2020).

37. NTNU Institutt for bygg, a. o. t. (2013) Råd og retningslinjer for rapportskrivning ved prosjekt- og masteroppgaver NTNU. Tilgjengelig fra:
https://www.ntnu.no/documents/1272524419/1273312006/R%C3%A5d_Og_Retningslinjer_For_Rapportskrivning_BAT.pdf/760496d8-2d08-4b99-9c33-8ff1e6ef7b9c
(Hentet: 02.05.2020).
38. Opplysningskontoret for automatiske slokkeanlegg (U.år) *Generelt om gass*. Tilgjengelig fra: <https://brannvernforeningen.no/slokkeanlegg/ulike-slokkeanlegg/gass/generelt-om-gass/> (Hentet: 12.05 2020).
39. Rausand, M. og Utne, I. B. (2014) Risikoanalyse - teorier og metoder. Bergen: Fagbokforlaget, s. 22.
40. Rockfon (U.år) Hva skjer i en brann. Tilgjengelig fra: <https://www.rockfon.no/om-oss/var-tankegang/helse-sikkerhet-og-trivsel-innendørs/hva-skjer-i-en-brann/> (Hentet: 08.05.2020).
41. Rør-Varme AS (U. år) *Sprinkler*. Tilgjengelig fra: <https://www.ror-varme.no/sprinkler> (Hentet: 08.05 2020).
42. SINTEF Byggforsk (2006) 520.385, *Nødvendig rømningstid ved brann*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/322/noedvendig_roemmingstid_ved_brann (Hentet: 21.02 2020).
43. SINTEF Byggforsk (2009a) 550.361 *Sprinkleranlegg*. Tilgjengelig fra: <https://www.byggforsk.no/dokument/510/sprinkleranlegg> (Hentet: 01.04 2020).
44. SINTEF Byggforsk (2009b) 520.323 *Brannmotstand for bjelker og søyler av betong, mur og tre*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/1540/brannmotstand_for_bjelker_og_soeyler_av_betong_mur_og_tre (Hentet: 28.03 2020).
45. SINTEF Byggforsk (2013a) 321.026 *Brannsikkerhet*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/3114/brannsikkerhet_dokumentasjon_av_brannsikkerhetsstrategi (Hentet: 22.04 2020).
46. SINTEF Byggforsk (2013b) 626.102 *Dokumentasjon av brannsikkerhet for bygninger i bruk*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/624/dokumentasjon_av_brannsikkerhet_for_bygninger_i_bruk#i16 (Hentet: 02.05 2020).

47. SINTEF Byggforsk (2016) 520.387 *Tilgjengelig rømningstid ved brann*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/2955/tilgjengelig_roemningstid_ved_brann (Hentet: 01.04 2020).
48. SINTEF Byggforsk (2017) 520.320 *Brannteknisk klassifisering og dokumentasjon av bygningsdeler og byggeprodukter*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/315/brannteknisk_klassifisering_og_dokumentasjon_av_bygningsdeler_og_byggeprodukter (Hentet: 03.03 2020).
49. Standard Norge (2002) *NS-EN 1991-1-2: 2002+ NA: 2008, Eurocode 1: Laster på konstruksjoner, Del 1-2: Allmenne laster, Laster på konstruksjoner ved brann*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=324904> (Hentet: 25.02 2020).
50. Standard Norge (2004) *Prosjektering av trekonstruksjoner, Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=324904> (Hentet: 01.04 2020).
51. Standard Norge (2012) *NS 3901: Krav til risikovurdering av brann i byggverk,*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=532801> (Hentet: 15.02 2020).
52. Standard Norge (2014) *SN-INSTA/TS 950: 2014 Analytisk brannteknisk prosjektering. Komparativ metode for verifikasjon av brannsikkerhet i byggverk,*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=692000> (Hentet: 15.02 2020).
53. Standard Norge (2016) *NS-EN 13501-2:2016: Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler - Del 2: Klassifisering ved bruk av resultater fra brannmotstandsprøving, unntatt ventilasjonssystemer*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=832925> (Hentet: 19.05 2020).
54. Sjøberg, E. (1982) Hedmark Landbruksselskap gjennom 150 år. Elverum: Elverum Trykk A/S, s. 53-61.
55. Thomas, P. H. (1986) Design guide: Structure fire safety CIB W14 Workshop report, *Fire Safety Journal*, 10(2), s. 103.

56. Trevirkets brennverdi (2017). Tilgjengelig fra: <https://nibio.no/tema/skog/bruk-av-tre/bioenergi/trevirkets-brennverdi> (Hentet: 04.03.2020).
57. Vig, J. (2015) *ALARP- prinsippet*. Tilgjengelig fra: <https://risikoledelse.com/erm-prosess/evaluering/> (Hentet: 03.04.2020).
58. Wiik, M. R. K. (2020) *Norge bør satse på rehabilitering framfor nybygg*. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/siste-nytt/norge-bor-satse-pa-rehabilitering-framfor-nybygg/> (Hentet: 30.03 2020).
59. Yamaguchi, J.-i. og Tanaka, T. (2005) Simple equations for predicting smoke filling time in fire rooms with irregular ceilings, *Fire Science and Technology*, 24(4), s. 165-177.

8 Vedlegg

8.1 Beregning av nødvendig rømningstid

Formlene som brukes her i utregninger baserer seg på delkapittel 3.1.4 *Rømning og redning*.

Nødvendig rømningstider

For 1.etasje regnes nødvendig rømningstid ved opphold i garasje/minilager og traktorrommet.

Nødvendig rømningstid minilager og garasje i 1.etasje:

Beregning av kapasitet pers/ s (strømningsrate) etter formel 3.7

$$F_{c\text{ FOR }D1} = (1 - 0,266 * 1,9) * 1,40 * 1,9 * 0,85 = 1,12.$$

$$F_{c\text{ FOR }D2} = (1 - 0,266 * 1,9) * 1,40 * 1,9 * 2,7 = 3,55.$$

Dører	Fri bredde m	Effektiv bredde (W_e) m	Kapasitet pers./s
D1 (dør inn til minilager)	1,15	0,85	1,12
D2 (garasjeport)	3	2,7	3,55
Sum:	4,15	3,55	4,67

Tabell 13 Oppsummering av alle verdier for dørbredde og dørkapasitet i minilager og garasje i 1. etasje.

Beregning av ganghastighet etter formel 3.8

$$v = (1 - 0,266 * 1,0) * 1,40 \approx 1,03 \text{ m/s}$$

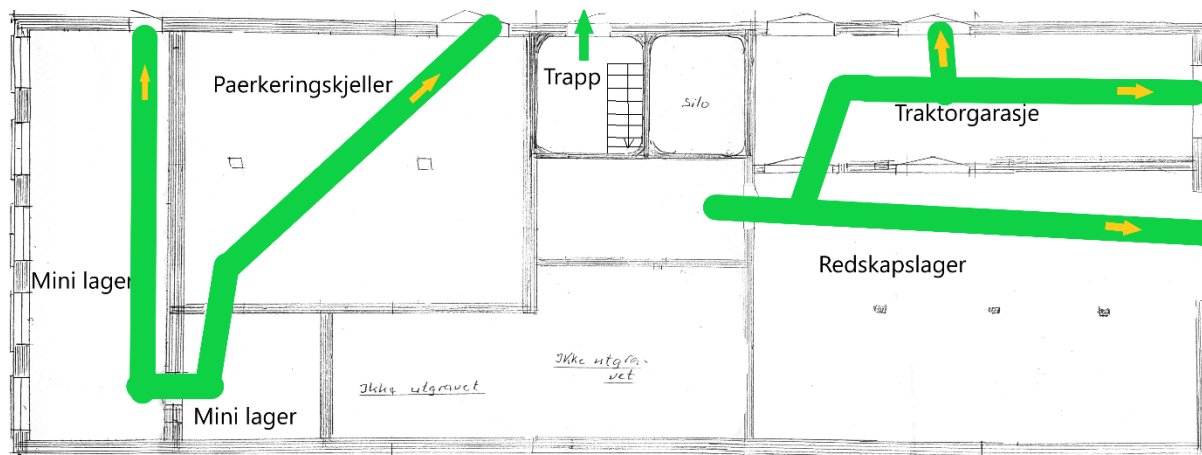
Beregning nødvendig rømningstid for minilager og garasje i 1. etasje: Ganghastighet er beregnet med persontetthet lik 1,0 pers/ m² etter **formel 3.8**.

Faktor	Inngangsdata
<i>Bygningsmessige forhold</i>	
Planløsning	Vist i figur 19
Antall rømningsveier	2
Maks avstand til rømningsdør	11 m
Total fri dørbredde	4,15 m fri bredde (se tabell 12)
Dørkapasitet	4,67 pers./s (se tabell 12)
<i>Personer</i>	
Antall	5 personer
Persontetthet	1,0 pers./m ²

Tabell 14 Grunnlag for beregning av nødvendig rømningstid minilager i 1. etasje

Hendelse		Tid (min:sek)
Varslingstid	t _{varsling}	1:00
Reaksjonstid	t _{reaksjon}	1:00
Forflytningstid	t _{forf}	
t_{gang} = lengde/ganghastighet (første ledd i formel 3.6.1)		
= 11 m / 1,03 m/s ≈ 11,0 s		
t_{dør} = Antall personer / sum dørkapasitet (andre ledd i formel 3.6.1)		
= 5 personer / 4,67 pers/s ≈ 1,07 s		
t_{forf} = maks (t_{gang}, t_{dør})		0:11
Nødvendig rømningstid (t_{varsling} + t_{reaksjon}+t_{forf})	t _{nødv}	<u>2:11</u>

Tabell 15 Beregning av nødvendig rømningstid for minilager



Figur 19: Rømningstegninger av plan 1 etter innførte tiltak

Nødvendig rømningstid Traktor/ redskapslager i 1.etasje:

For traktor og redskapslager regnes nødvendig rømningstid på samme måte som minilager og bilgarasje. Her ligger det mye redskaper og materialer som også legges til grunn ved beregning.

Dørkapasitet regnes etter formel 3.7

$$F_c = (1 - 0,266 * 1,9) * 1,40 * 1,9 * 2,7 = 3,55 \text{ for D1.}$$

$$F_c = (1 - 0,266 * 1,9) * 1,40 * 1,9 * 0,7 = 0,92 \text{ for D2.}$$

$$F_c = (1 - 0,266 * 1,9) * 1,40 * 1,9 * 2,7 = 3,55 \text{ for D3.}$$

Dør	Fri bredde m	Effektiv bredde m	Kapasitet pers. /s
D1 (port)	3	2,7	3,55
D2 (dør innerst)	1,0	0,7	0,92
D3 (port)	3	2,7	3,55
Sum:	7	6,1	8,02

Tabell 16: Oppsummering av alle verdier for dørbredde og dørkapasitet i traktor og redskapslager

Faktor	Inngangsdata
<i>Bygningsmessige forhold</i>	
Planløsning	Vist i figur 19
Antall rømningsveier	2, vist i figur 19
Maks avstand til rømningsdør	15 m
Total fri dørbredde	7 m fri bredde (se tabell 15)
Dørkapasitet	8,02 pers./s (se tabell 15)
<i>Personer</i>	
Antall	3 personer
Persontetthet	1,0 pers./m ² (konservativt)

Tabell 17: Grunnlag for beregning av nødvendig rømningstid for traktor og redskapslager i 1. etasje

Beregning nødvendig rømningstid for traktor og redskapslager: Ganghastighet er beregnet med persontetthet lik 1,0 pers/ m² etter formel 3.8

Hendelse		Tid (min:sek)
Varslingstid	t _{varsling}	1:00
Reaksjonstid	t _{reaksjon}	1:00
Forflytningstid	t _{forf}	
t _{gang} = lengde/ganghastighet		
= 15 m / 1,03 m/s ≈ 15 s		
t _{dør} = Antall personer / sum dørkapasitet		
= 3 person / 8,02 pers/s = 0,37 s		
t _{forf} = maks (t _{gang} , t _{dør})		0:15
Nødvendig rømningstid (t_{varsling} + t_{reaksjon}+t_{forf})	t _{nødv}	<u>2:15</u>

Tabell 17 Beregning av nødvendig rømningstid for traktor og redskapslager.

Nødvendig rømningstid i 2.etasje:

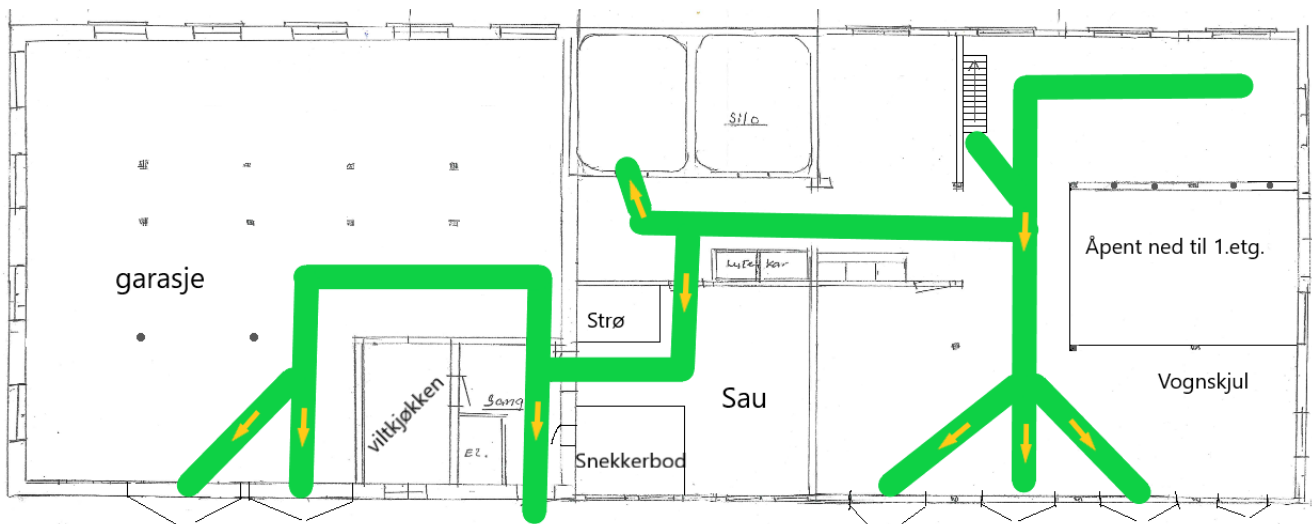
Nødvendig rømningstid i 2.etasje regnes uten inndelinger, siden det er mulig å komme seg fra den ene enden til den andre. Det ses på rømning i en etasje og i trapperom.

Dørbredde og dørkapasitet i 2. etasje med seks mulige rømningsruter i etasjen:

Dør	Fri bredde m	Effektiv bredde m	Kapasitet pers./s
D1 (Garasjeport)	3	2,7	3,55
D2 (Garasjeport)	3	2,7	3,55
D3 (ved el-tavle)	1,0	0,7	0,92
D4 (port)	3	2,7	3,55
D5 (port)	3	2,7	3,55
D6 (port)	3	2,7	3,55
D7 Utgang dør til trapperom	2	1,7	1,73
Sum:	18,0	15,9	19,48

Tabell 18 Oppsummering av alle verdier for dørbredde og dørkapasitet i 2. etasje

$$F_c = (1 - 0,266 * 1,9) * 1,08 * 1,9 * 1,7 = 1,73 \text{ for D7.}$$



Figur 20: Rømningsstegning av plan 2 etter innførte tiltak.

Faktor	Inngangsdata
<i>Bygningsmessige forhold</i>	
Planløsning	Vist i figur 20
Antall rømningsveier	6
Maks avstand til rømningsdør	13 m
Total fri dørbredde	18 m fri bredde (se tabell 18)
Dørkapasitet	19,48 pers./s (se tabell 18)
<i>Personer</i>	
Antall	6 personer
Persontetthet	1,0 pers./m ²

Tabell 19 Grunnlag for beregning av nødvendig rømningstid for 2.etasje.

Beregning nødvendig rømningstid i 2. etasje: Ganghastighet er beregnet med persontetthet lik 1,0 pers/ m² etter formel 3.8.

Hendelse		Tid (min:sek)
Varslingstid	t_{varsling}	1:00
Reaksjonstid	t_{reaksjon}	1:00
Forflytningstid	t_{forf}	
$t_{\text{gang}} = \text{lengde} / \text{ganghastighet}$		
= 13 m / 1,03 m/s \approx 13 s		
$t_{\text{dør}} = \text{Antall personer} / \text{dørkapasitet}$		
= 6 personer / 19,48 pers/s = 0,34 s		
$t_{\text{forf}} = \text{maks} (t_{\text{gang}}, t_{\text{dør}})$		0:13
Nødvendig rømningstid ($t_{\text{varsling}} + t_{\text{reaksjon}} + t_{\text{forf}}$)	$t_{\text{nødv}}$	<u>2:13</u>

Tabell 20 Beregning av nødvendig rømningstid i 2.etasje

Nødvendig rømningstid for 3. og 4. etasje:

Siden det kommer til å være svært lite opphold i 4.etasje i forhold til de resterende etasjene, velges det å slå sammen 3 og 4 etasje ved beregning av nødvendig rømningstid.

Dørkapasitet regnes etter formel 3.7

$$F_c = (1 - 0,266 * 1,9) * 1,4 * 1,9 * 0,8 = 1,0 \text{ for luke.}$$

$$F_c = (1 - 0,266 * 1,9) * 1,08 * 1,9 * 1,7 = 1,73 \text{ for trapp.}$$

$$F_c = (1 - 0,266 * 1,9) * 1,4 * 1,9 * 4,7 = 6,18 \text{ for låvebrudør.}$$

Dør	Fri bredde m	Effektiv bredde m	Kapasitet pers./s
Utgang (luke ut til bakken i 3. etasje)	1,1	0,8	1,0
Trapperom fra 3.etasje og ned.	2,0	1,7	1,73
Utgang låvebrudør i 4.etasje	5,0	4,7	6,18
Trapp fra 4.etasje til 3.etasje	0,6	0,42	0,43
Sum:	8,7	7,62	9,34

Tabell 21 Oppsummering av alle verdier for dørbredde og dørkapasitet i 3. og 4. etasje

Beregning av ganghastighet for trapp etter formel 3.8:

$$v = (1 - a * D) * k \text{ (m/s).}$$

Hvor

- $a = 0,266 \text{ (m}^2\text{/person)}$
- $k = 1,08 \text{ (nedover trapp)}$

$$v = (1 - 0,266 * 1,0) * 1,08 = 0,88 \text{ m/s}$$

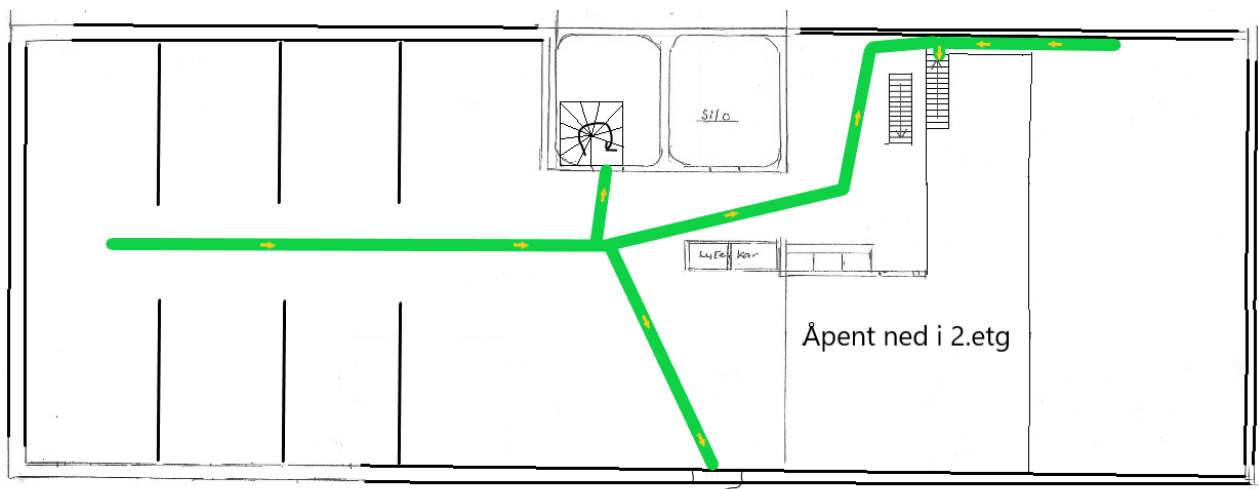
- Ganghastighet for horisontal gang er fortsatt 1,03 m/s.
- Velger ganghastighet for trapp siden det gir størst forflytningstid t_{gang} .

Faktor	Inngangsdata
<i>Bygningsmessige forhold</i>	
Planløsning	Vist i figur 21 og 22
Antall rømningsveier	4
Maks avstand til rømningsdør	20 m
Total fri dørbredde	8,7 m fri bredde (se tabell 21)
Dørkapasitet	9,34 pers./s (se tabell 21)
<i>Personer</i>	
Antall	6 personer
Persontetthet	1,0 pers./m ²

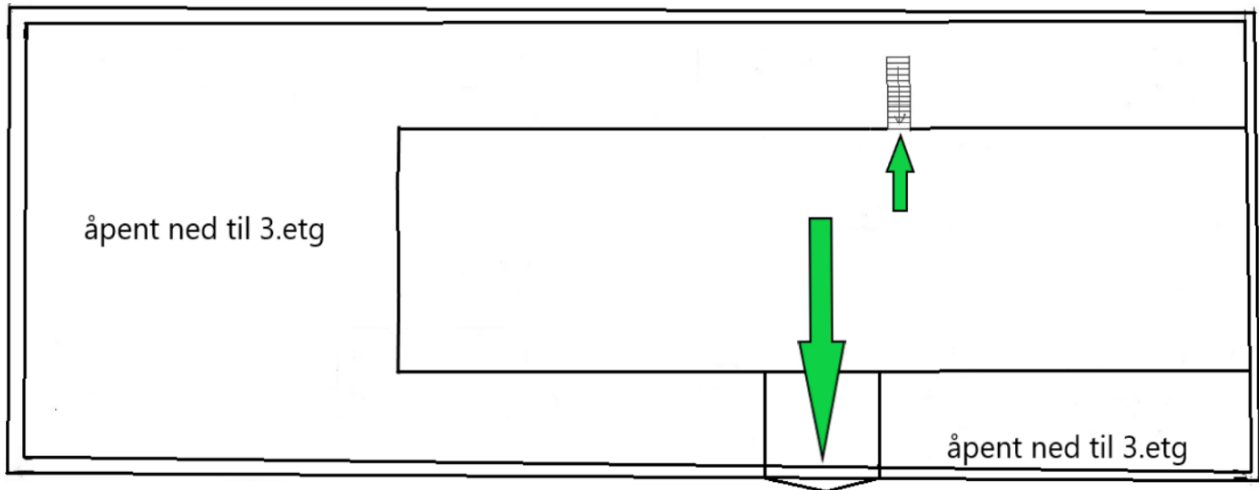
Tabell 22 Grunnlag for beregning av nødvendig rømningstid for 3. og 4. etasje

Hendelse		Tid (min:sek)
Varslingstid	t_{varsling}	1:00
Reaksjonstid	t_{reaksjon}	1:00
Forflytningstid	t_{forf}	
$t_{\text{gang}} = \text{lengde} / \text{ganghastighet (trapp)}$		
$= 20 \text{ m} / 0,88 \text{ m/s} = 23 \text{ s}$		
$t_{\text{dør}} = \text{Antall personer} / \text{dørkapasitet}$		
$= 12 \text{ personer} / 9,34 \text{ pers/s} = 1,29 \text{ s}$		
$t_{\text{forf}} = \text{maks} (t_{\text{gang}}, t_{\text{dør}})$		0:23
Nødvendig rømningstid ($t_{\text{varsling}} + t_{\text{reaksjon}} + t_{\text{forf}}$)	$t_{\text{nødv}}$	2:23 \approx 2:30

Tabell 23 Beregning av nødvendig rømningstid i 3. og 4. etasje



Figur 21: Rømningstegning av plan 3 etter innførte tiltak.



Figur 22 Rømningstegning av plan 4 etter innførte tiltak

8.2 Beregning av tilgjengelig rømningstid

Tilgjengelig rømningstid: tid fram til overtenningsfasen t_c

Brannutvikling i garasje i 1.etasje og 2.etasje:		
Brensel masse (bensin) 50 liter x 6 biler:	198	kg
Spesifikk varmeverdi H_0 bensin:	44	MJ/kg
Total energi i brenselet Q:	8712	MJ
Maksimal varmeproduksjon 5MW pr bil:	30	MW
t_a svært hurtig:	75	(tabell 5)
Tiden frem til maks varmeproduksjon t_c (formel 3.10):	411	sek
	6,85	min

Brannutvikling minilager i 1.etasje:		
Antar brannutviklingen skjer i møbler/tekstiler lagret i et rom:		
Maksimal varmeproduksjon 2MW per m^2 * Areal rommet:	16,0428	MW
Areal rommet:	8,0214	m^2
t_a svært hurtig:	75	(tabell 5)
Tiden frem til maks varmeproduksjon t_c : (formel 3.10)	300	sek
	5,0	min

Brannutvikling i traktor/ redskaplager:		
Brensel masse (bensin) 90 liter:	59,4	kg
Spesifikk varmeverdi H_0 bensin:	44	MJ/kg
Total energi i brenselet Q (formel 3.11):	2613,6	MJ
Maksimal varmeproduksjon 15 MW traktor:	15	MW
t_a svært hurtig:	75	(tabell 5)
Tiden frem til maks varmeproduksjon t_c (formel 3.10):	290	sek
	4,8	min

Brannutvikling i 2.etasje

Garasje antas som i 1. etasje.

Brannutvikling i campingvogn i 2.etasje (propan gass)		
Brensel masse propangass 11 kg:	11	kg
Spesifikk varmeverdi H_0 propangass:	45,8	MJ/kg
Total energi i brenselet Q (formel 3.6):	503,8	MJ
Maksimal varmeproduksjon 10 MW campingvogn:	10	MW
t_a svært hurtig:	75	(tabell 5)
Tiden frem til maks varmeproduksjon t_c (formel 3.10):	237	sek
	3,95	min

Brannutvikling 3.etasje		
Antar brannutviklingen skjer i møbler/tekstiler lagret i minilager:		
Areal brannutviklingsrommet:	18	m ²
t_a svært hurtig (s):	75	(tabell 5)
Maksimal varmeproduksjon antas 2MW per m ² *Areal rommet:	36	MW
Tiden frem til maks varmeproduksjon t_c (formel 3.10):	450	sek
	7,50	min

Brannutvikling 4.etasje: tilsvarende utforming som i 3.etasje		
Antar brannutviklingen skjer i møbler/tekstiler lagret i minilager:		
Areal brannutviklingsrommet:	18	m ²
t_a svært hurtig (s):	75	(tabell 5)
Maksimal varmeproduksjon antas 2MW per m ² * Areal rommet:	36	MW
Tiden frem til maks varmeproduksjon t_c (formel 3.10):	450	sek
	7,50	min

8.3 Røykhøyde beregninger

Røykhøyde ved t_c for nødvendig rømningstid

Garasje 1.etasje med t_c for nødvendig tid		
Ar = gulvareal brannrommet m^2	109	
Cm = plume coefficient	0,076	
Brannutviklingskoeffisient svært hurtig kw/s^2	0,19	
Røyklagetthet kg/m^3 antar	1,2	
t_c = for nødvendig rømningstid (s)	131	
Hr = høyde gulv til tak	3,06	
Hc= røyk høyde fra bakken ved t_c (formel 3.12)	1,12	meter

Minilager 1.etasje med t_c for nødvendig tid		
Ar = gulvareal brannrommet m^2	83,4906	
Cm = plume coefficient	0,076	
Brannutviklingskoeffisient svært hurtig kw/s^2	0,19	
Røyklagetthet kg/m^3 antar	1,2	
t_c = tiden når maksimal varmestråling inntreffer (s)	131	
Hr = høyde gulv til tak	2,06	
Hc= røyk høyde fra bakken ved t_c (formel 3.12)	0,75	meter

Traktorgarasje: 1 etasje t_c for nødvendig tid		
Ar = gulvareal brannrommet m^2	206	
Cm = plume coefficient	0,076	
Brannutviklingskoeffisient svært hurtig kw/s^2	0,19	
Røyklagetthet kg/m^3 antar	1,2	
t_c = for nødvendig rømningstid (s)	135	
Hr = høyde gulv til tak	5	
Hc= røyk høyde fra bakken ved t_c (formel 3.12)	2,2	meter

2. etasje hele med nødvendig tid		
Ar = gulvareal brannrommet m ²	486,416	
Cm = plume coefficient	0,076	
Brannutviklingskoeffisient svært hurtig kw/s ²	0,19	
Røyklagetthet kg/m ³ antar	1,2	
tc = t1 tiden når maksimal varmestråling inntreffer (s)	162	
Hr = høyde gulv til tak	7,06	
Hc= røyk høyde fra bakken ved tc (formel 3.12)	3,7	m

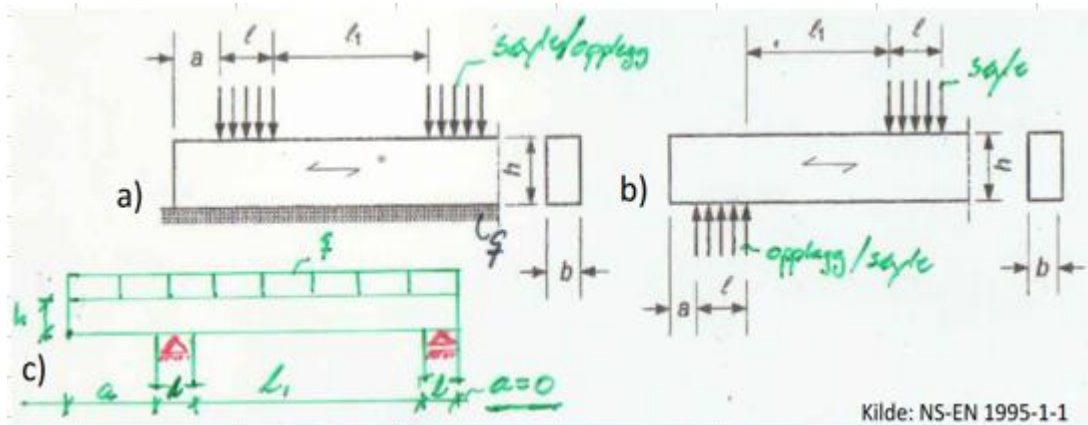
2 etasje campingvogn		
Ar = gulvareal brannrommet m ²	141,984	
Cm = plume coefficient	0,076	
Brannutviklingskoeffisient svært hurtig kw/s ²	0,19	
Røyklagetthet kg/m ³ antar	1,2	
tc = tiden når maksimal varmestråling inntreffer (s)	237	
Hr = høyde gulv til tak	3,06	
Hc= røyk høyde fra bakken ved tc (formel 3.12)	0,6	m

3. etasje minilager med nødvendig tid		
Ar = gulvareal brannrommet m ²	486,416	
Cm = plume coefficient	0,076	
Brannutviklingskoeffisient svært hurtig kw/s ²	0,19	
Røyklagetthet kg/m ³ antar	1,2	
tc = tiden når maksimal varmestråling inntreffer (s)	150	
Hr = høyde gulv til tak	4,06	
Hc= røyk høyde fra bakken ved tc (formel 3.12)	2,7	m

4. etasje med nødvendig tid		
Ar = gulvareal brannrommet m ²	486,416	
Cm = plume coefficient	0,076	
Brannutviklingskoeffisient svært hurtig kw/s ²	0,19	
Røyklagetthet kg/m ³ antar	1,2	
tc = tiden når maksimal varmestråling inntreffer (s)	150	
Hr = høyde gulv til tak	3,06	
Hc= røyk høyde fra bakken ved tc (formel 3.12)	2,1	m

8.4 Konstruksjonens bæremotstand

Dimensjoner:						
Bredde	150	mm				
Høyde	150	mm				
Lengde	2300	mm				
eff tversnitt areal	15075	mm ²				
I _y	28265625,0	mm ⁴				
I _z	28265625,0	mm ⁴				
W _y	376875,0	mm ³				
W _z	376875,0	mm ³				
Styrke/stivhet	C18					
Bøye stivhet	18	N/mm ²				
Trykk =	18	N/mm ²				
Trykk ⊥	2,2	N/mm ²				
Skjær	3,4	N/mm ²				
E _{0,05}	6					
Maks moment	4341,6	KNm				
Maks skjær	14579,2	KN				
Maks aksial last	275,7420489	KN				
Maks σ _{c,90,d}	2,112	N/mm ²				
			Materiale	Standard	Klimaklasse	
					1	2
					3	
			Konstruksjonstre	NS-EN 14081-1	0,60	0,80
			Limtre	NS-EN 14080	0,60	0,80
					2,00	
f _{md}	11,52	N/mm ²	K _{mod}	0,8		
F _{c,0,d}	11,52	N/mm ²	γ _m	1,25		
f _{c,90,d}	1,408	N/mm ²	β-verdi	1		
f _{vd}	2,176	N/mm ²	β _c	0,2	β _c =0,2 konstruksjonstre 0,1 limtre	
K _{cr}	0,67	0,67 konstruksjonstre 0,8 limtre				
Min I	28265625,0	mm ⁴				
λ _i	8,13709E-05					
λ _{rel,i}	4,48621E-05					
K _i	0,470004487					
K _{c,i}	1,063819633					
K _{c90}	1,5	tilfelle a=> 1,25 konstre, 1,5limtre. B=>1,5 konstre, 1,75 limtre. L1≥2h. Andre tilfeller => K _{c90} =1				



maksimal belastning		3etg	2etg				
My	68,7	KNm					
N	-55,1	KN					
N		110 KN		297 KN			
aksial belastning 2.etg uten nyttelast i 4.etg				262 KN			
Brann							
	Dimensjoner etter brannetid:	20 min	ubeskyttede sider		Last		
bredde	108 mm		2	lager	Qk	7 KN	
Høyde	108 mm		2		qk	7.5 KN/m ²	
Lengde	2300 mm			garasje	qk	2.5 KN/m ²	
effektiv tversnitt	11664 mm ²		Kmod		Qk	20 KN	
Iy	11337408.0 mm ⁴		γf		nyttelast	qk	KN/m ²
Iz	11337408.0 mm ⁴		γm		egenlast		
Wy	209952.0 mm ³		Kfi	1,25			
Wz	209952.0 mm ³		fmd,fi	22.5 N/mm ²			
			fvd,fi	4.25 N/mm ²			
Maks moment	4723.92 KNm		Ed,fi	7.5			
Maks skjær	22032 KN						
Maks aksial last	262.44 KN		Kcr	0.67			
			Min I	11337408.0			
			λi	0.000202868			
			λrel,i	0.000111847			
			Ki	0.470011191			
			Kc,i	1.063804473			
				1			

Tabell 2.1 – Verdier for k_{fi}

Konstruksjonsdeler	k _{fi}
Heltre	1,25
Limtre	1,15

$$- 6.11b: \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + (\psi_{1,1} \text{ eller } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

NS-EN 1990: Tabell NA.A1.1 – Verdier for ψ-faktorer for bygninger

Last	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂
Nyttelastkategorier i bygninger (se NS-EN 1991-1-1)			
Kategori A: boliger	0,7	0,5	0,3
Kategori B: kontorer	0,7	0,5	0,3
Kategori C: forsamlingslokaler, møterom	0,7	0,7	0,6
Kategori D: butikker	0,7	0,7	0,6
Kategori E: lager	1,0	0,9	0,8
Kategori F: trafikk- og parkeringsarealer for små kjøretøyer (kjøretøyvekt ≤ 30kN og høyst 8 seter utenom fører sete)	0,7	0,7	0,6
Kategori G: trafikk- og parkeringsarealer for mellomstore kjøretøyer, 30kN < kjøretøyvekt ≤ 160kN på to akslinger	0,7	0,5	0,3
Kategori H: tak	0	0	0
Snølaster (se NS-EN 1991-1-3)	0,7 ¹⁾	0,5 ¹⁾	0,2 ¹⁾
Vindlaster (se NS-EN 1991-1-4)	0,6 ¹⁾	0,2 ¹⁾	0 ¹⁾
Temperatur (ikke brann) i bygninger (se NS-EN 1991-1-5)	0,6 ¹⁾	0,5 ¹⁾	0 ¹⁾

¹⁾ Eventuell modifisering for ulike geografiske områder kan kreves av lokale myndigheter

8.5 Risikoanalyse og komparativ analyse

Innhold

1	Planlegging	3
1.1	Mandat	3
1.2	Organisering	3
1.3	Problem- og målutforming	4
1.4	Valg av analysemodell og metode	4
1.5	Forenklinger	5
1.6	Datagrunnlag	5
2	Rammebetingelser	6
2.1	Eksterne rammebetingelser	6
2.2	Interne rammebetingelser	6
3	Risikoanalyse	7
3.1	Beskrivelse av analysebyggverket	7
3.2	Valg av analysemetoder	9
3.3	Fastsetting av risikoakseptkriterier	9
3.4	Fareidentifikasjon, analyse av årsaker, sannsynlighet og konsekvens	10
3.5	Brannscenarier	14
3.6	Usikkerhetsanalyse	14
3.7	Sensitivitetsanalyse	15
3.8	Beskrivelse av risiko	15
4	Komparativ analyse	19
4.1	Beskrivelse av analysebyggverket	19
4.2	Beskrivelse av referansebyggverket	21
4.3	Valg av analysemetoder	23
4.4	Fastsetting av beslutningskriterier	24
4.5	Fareidentifikasjon	24
4.6	Analyse av årsaker og sannsynlighet	24
4.7	Brannscenarioer	24
4.8	Analyse av konsekvenser	24
4.9	Usikkerhetsanalyse	25
4.10	Sensitivitetsanalyse	25

4.11	Beskrivelse av risiko	26
5	Risikoevaluering.....	27
5.1	Sammensetning av risiko og risikoakseptkriterier.....	27
5.2	Identifisering av eventuelle ytterligere tiltak og deres risikoreduserende effekt.....	27
5.3	Identifisering av mulige tiltak.....	28
5.4	Vurdering av effekten av tiltak.....	28
5.5	Konklusjon og dokumentasjon	29

1 Planlegging

1.1 Mandat

Risikovurderingen gjøres i forbindelse med bacheloroppgaven om temaet brannsikkerhet i eldre driftsbygning. Grunnlaget for risikovurderingen er å definere og avdekke uønskede hendelser, for så å dokumentere tilfredsstillende sikkerhetskrav i henhold til TEK 17.

Det skal gjøres en bruksendring på et eldre driftsbygning slik at bygget blir brukt til et hensiktsmessig formål fremfor å stå ubrukt. Derfor vil eieren bruke bygget som lager for utleie. Driftsbygningen har et bruttoareal på ca. 2000 m² fordelt på 2 fulle etasjer pluss kjøring i 4 etasje, og store deler av kjelleren. Det antas at det vil være maksimalt 15 personer som oppholder seg i bygget samtidig. Det skal gjøres om til flere minilagre i deler av 1.etasje og 3.etasje, samt garasje i 1.etasje og 2.etasje for vinterlagring av biler. Bygget er ikke tilrettelagt for rullestolbrukere siden det er høye dørstokker og bratte trapper i bygget. Alle plan utenom 3.etasje har direkte utgang til bakkeplan. 3.etasje har en luke i veggen som kan være aktuell for å komme seg ut av bygget. Bygget har i dag utgangsveier kun på den ene siden av bygget. Derfor er det tenkt å etablere et indre trapperom som går fra 1 til 3. etasje i den gamle siloen i driftsbygningen. Det er åpent mellom hver etasje og det er gulv som er blitt fjernet i noen etasjer.

Risikoevalueringen gjennomføres sammen med risikoanalyse og komparativ analyse etter standard NS 3901: *Krav til risikovurdering av brann i byggverk* (Standard Norge, 2012).

1.2 Organisering

Analysebyggverket er i brannklasse 2 og risikoklasse 2. Siden vi har en omfattende driftsbygning så er det bestemt 2 ledere som samarbeider om utførelsen av analysen, mens den siste personen er kvalitetssikrer (Standard Norge, 2012).

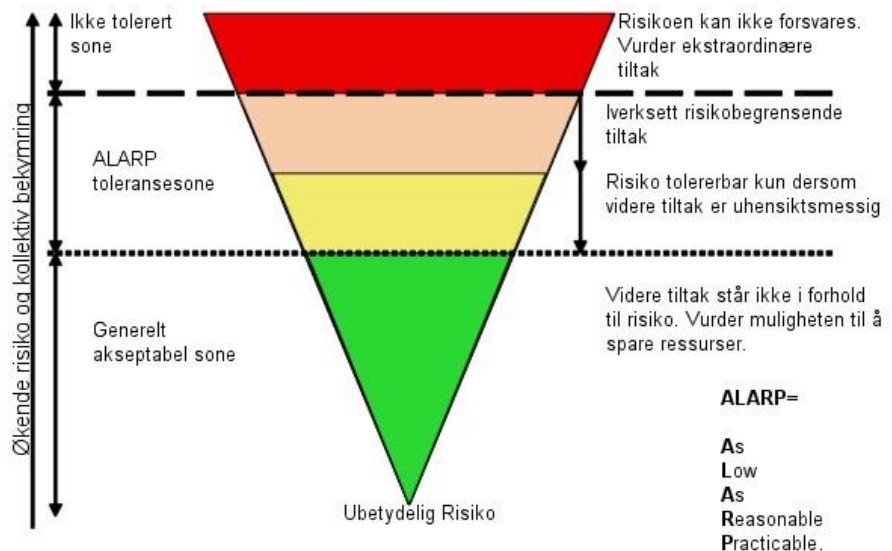
1.3 Problem- og målutforming

Analysebygget har en rekke avvik fra preaksepterte løsninger. Det må derfor gjennomføres en risikoanalyse for å finne ut om bygget tilfredsstillende de krav som stilles i teknisk forskrift. Analysen skal inneholde mulige brannrisikoer, og vurdere konsekvenser og risikoen ved disse.

1.4 Valg av analysemodell og metode

Risikoanalysen blir gjennomført i henhold til kapittel 6 i NS 3901 for brannsikkerhet ved bruksendring av bygget. Det blir brukt grovanalyse for å identifisere farekilder og uønskede hendelser til det nye formålet med byggverket. Dersom området i risikomatriksen er kategorisert under lav og generelt akseptert risiko (grønn), anses byggverket som tilfredsstillende i henhold til risikokriteriene som er gitt. ALARP-prinsippet er etter modell fra risikoanalyse (Rausand og Utne, 2014) forklart under:

- Rød: Ikke-akseptabelt område. Risikoen er for høy og det må gjøres risikoreducerende tiltak.
- Gul: Et midt-område, kalt ALARP-området, der risikoreducerende tiltak kan iverksettes hvis det er hensiktsmessig.
- Grønn: Lavt og generelt akseptert område. Risikoen er så lav at vi ikke trenger å identifisere og analysere risikoreducerende tiltak.



FIGUR 1: ALARP- PRINSIPPET (VIG, 2015)

Her brukes komparativ analyse for å se på fravik mellom analysebygget og referansebygget. Referansebygget er et bygg som tilfredsstillende de preaksepterte løsningene i TEK 17.

Analysebygget må ha like gode eller bedre løsninger som referansebygget, med tanke på brannsikkerhet. Dette kan begrunnes ved kvantitative undersøkelser og hendelsestre.

1.5 Forenklinger

I utgangspunktet skal hele standarden NS 3901 følges, men det antas i henhold til kapittel 5.7 *Forenklinger* i NS 3901 (Standard Norge, 2012):

I de tilfeller problemsstillingen er tilstrekkelig oversiktlig og håndterbar, og tilgjengelig litteratur gir allment aksepterte svar på de spørsmål som skal besvares, er det ikke nødvendig å supplere den kvalitative analysen med beregninger.

Vår analyse er basert på litteratur og statistikk.

1.6 Datagrunnlag

Datagrunnlaget er plantegninger og oppmålinger gjort på stedet. Ellers er det hentet statistikk fra brannstatistikk.no og BRASK (brannskadestatistikk). I tillegg er det i den komparative analysen hentet kvantitativ data fra rapporten *Estimates of the operational reliability of fire protection system* (Bukowski, Budnick og Schemel, 1999).

2 Rammebetingelser

2.1 Eksterne rammebetingelser

Lover forskrifter som er relevante for vurderingen av bygget:

- *Forskrift med tekniske krav til byggverk, med veiledning (TEK17, VTEK17) gyldig fra 01.07.2017*
- *Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven), gyldig fra 01.01.2020*
- *Lov om vern mot brann, eksplosjon og ulykker med farlig stoff og om brannvesenets redningsoppgaver (Brann og eksplosjonsvernloven) gyldig fra 01.02.2002*
- *Forskrift om brannforebyggende tiltak og tilsyn (FOBTOT) gyldig fra 01.07.2002*
- *NS 3901: Krav til risikovurdering av brann i byggverk gyldig fra 01.06.2012*

2.2 Interne rammebetingelser

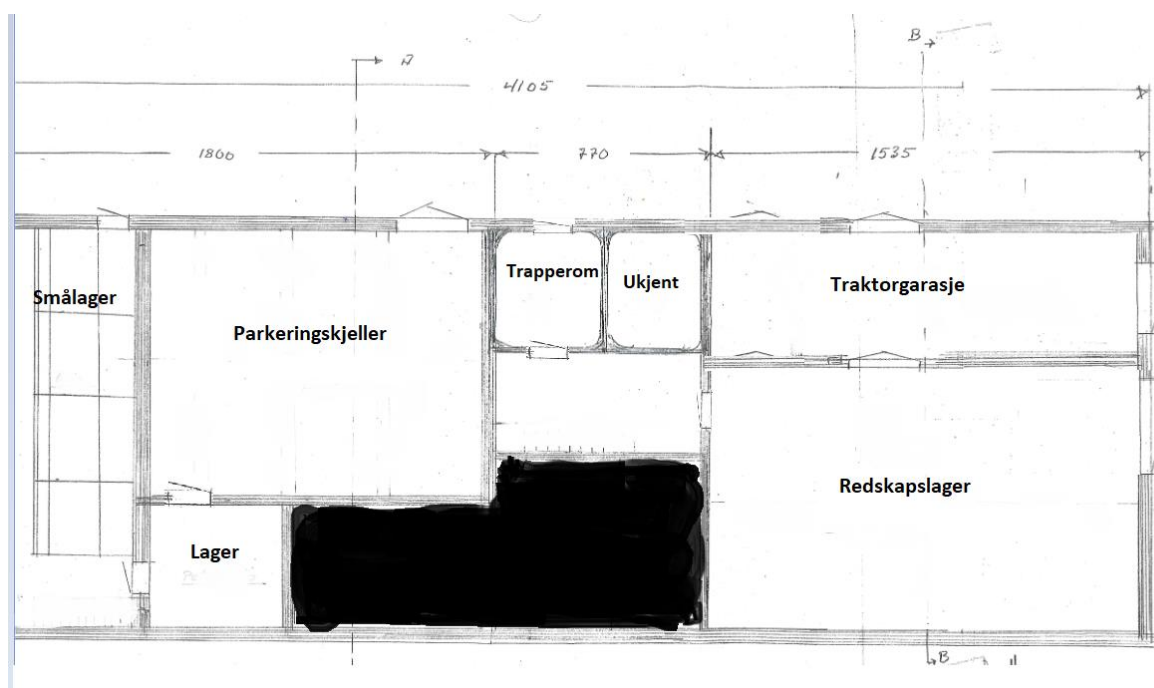
Formålet er å gjennomføre en bruksendring fra en tidligere driftsbygning til et lagerbygg. Man ønsker å avdekke mulige uønskede hendelser og risikoen for disse. Det viktigste sikkerhetshensynet er personsikkerheten, men også materielle verdier skal i størst mulig grad sikres.

3 Risikoanalyse

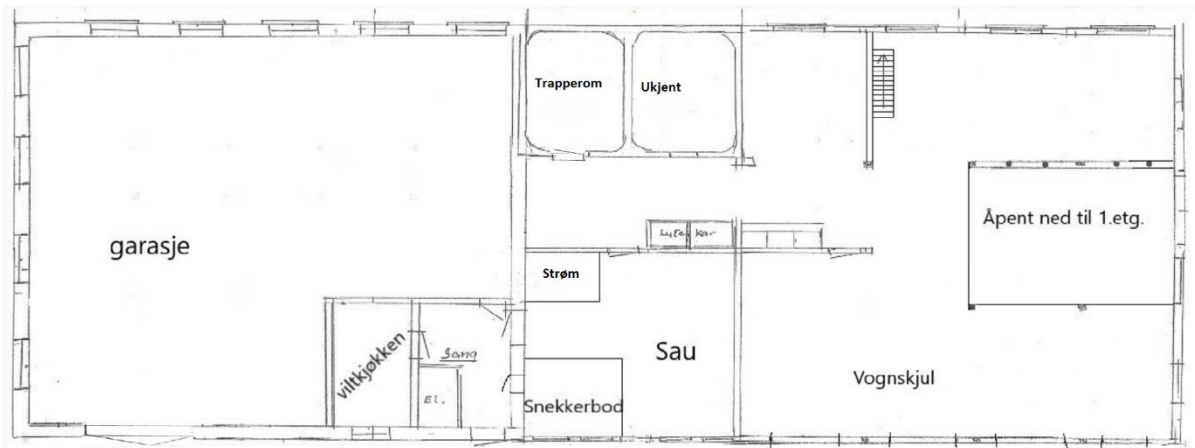
3.1 Beskrivelse av analysebyggverket

Analysebyggverket er en låve på fire etasjer som eier nå ønsker å bruke som et lager. Bygget har en grunnflate på 615,5 m², men alle etasjer har noe redusert areal. Deler av første og andre etasje er betong, men mesteparten er bygd i tre. Bygget er klassifisert under brannklasse 2 og risikoklasse 2. Det er kun beregnet for sporadisk personopphold med få personer.

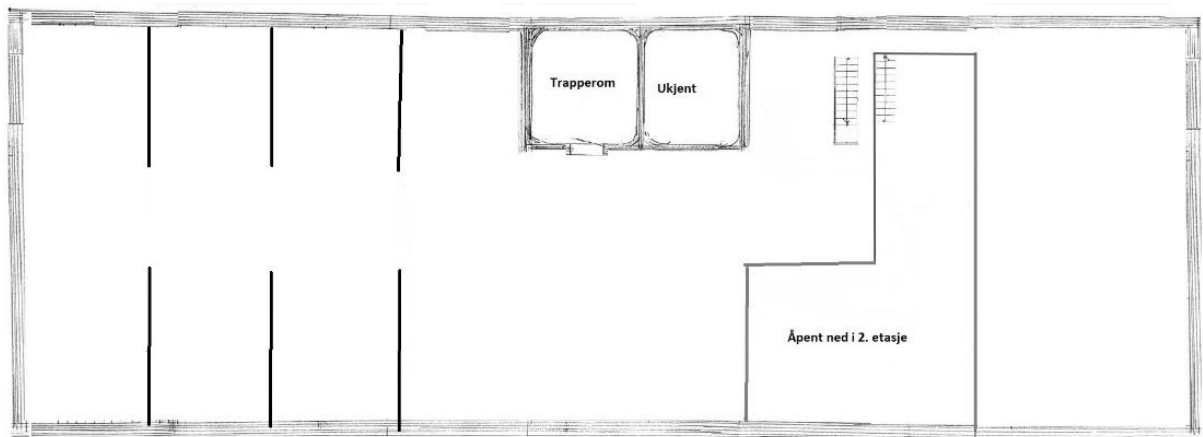
Risikovurdering er gjort etter NS 3901: Krav til risikovurdering av brann i byggverk.



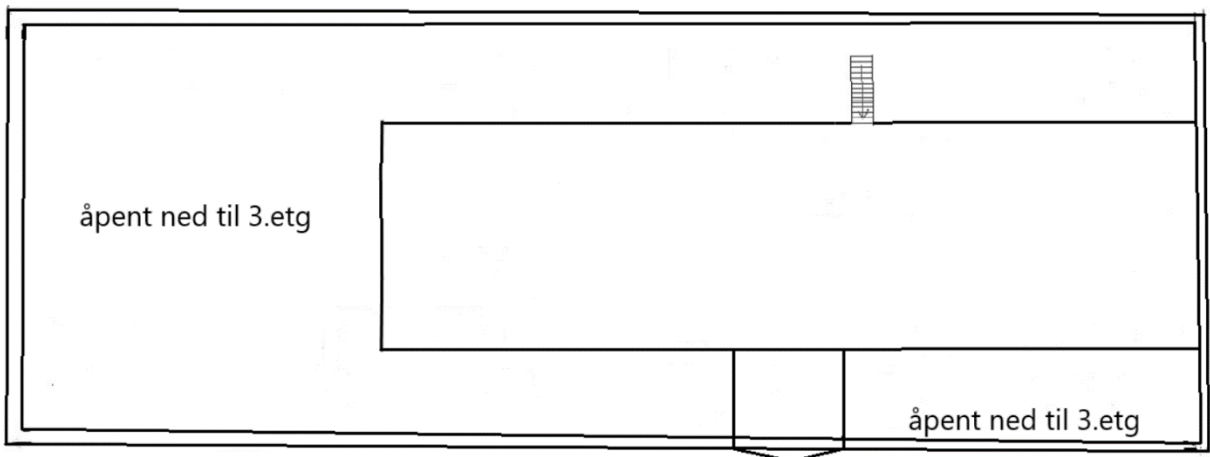
FIGUR 2: PLAN 1. IKKE UTGRAVET OMRÅDET ER MERKET MED SVART FARGE.



FIGUR 3: PLAN 2



FIGUR 4: PLAN 3

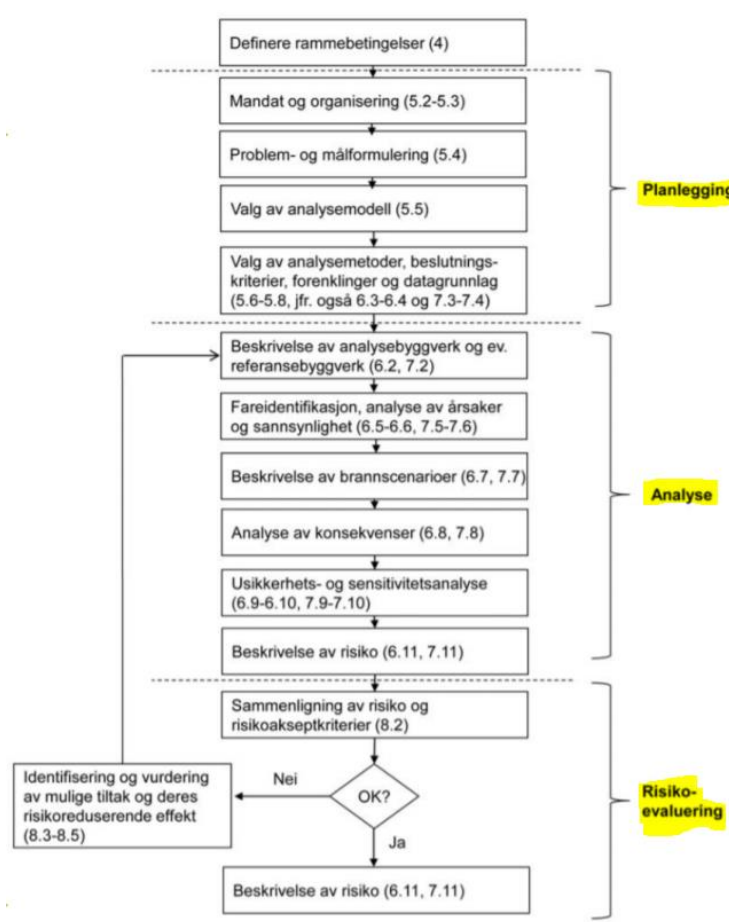


FIGUR 5: PLAN 4

3.2 Valg av analysemetoder

I dette tilfelle skal det gjøres en grovanalyse etter NS3901 – kapittel 6 risikoanalyse.

Flytskjemaet under viser prosessen for risikoanalysen. Alle stegene vil bli fulgt etter kapittel 6 risikoanalyse.



FIGUR 6: OVERORDNET FLYTSKJEMA RISIKOVURDERING ETTER NS 3901: 2012

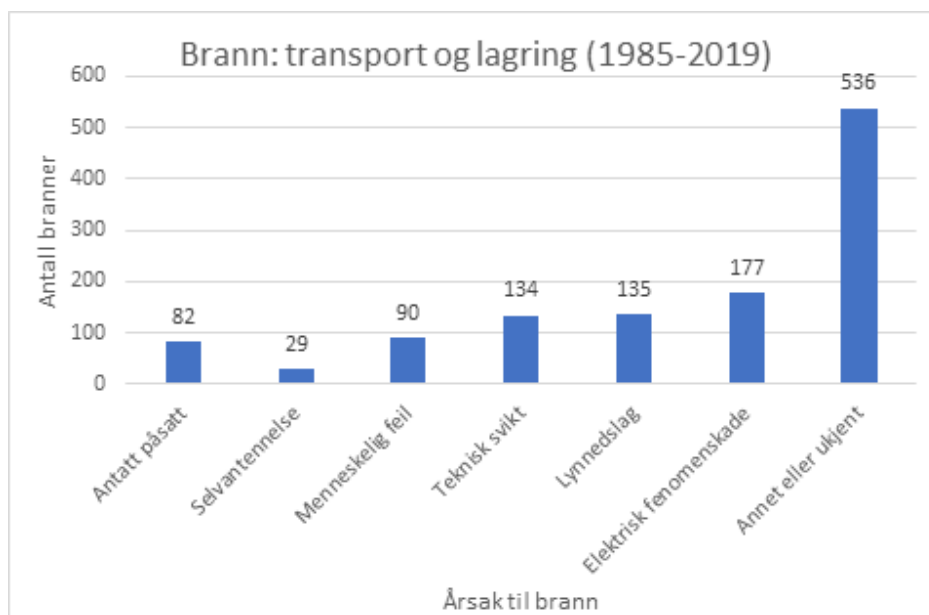
3.3 Fastsetting av risikoakseptkriterier

Analysens mål er å finne ut om bygget tilfredsstillende de nødvendige sikkerhetskrav ved brann. Dermed opprettholdes personsikkerheten og tilstrekkelig rømningstid. Dette gjøres først ved hjelp av risikoakseptkriterier angitt i tabell 5 og 7 etter modell fra grovanalyse. Her gis det vurdering ut fra sannsynlighet og konsekvens, som gir en samlet risiko. Dette er angitt i en risikomatrix, der det vurderes fra akseptabel risiko til ikke akseptabel risiko, og i hvilke

tilfeller det må gjøres tiltak. Dette kalles for ALARP- prinsippet (As low as reasonably practicable).

3.4 Fareidentifikasjon, analyse av årsaker, sannsynlighet og konsekvens

Brannårsaker:



FIGUR 7: STATISTIKK OVER BRANNÅRSAK, HENTET FRA BRASK (BRASK, 2019)

BRASK – Brannskadestatistikk (BRASK, 2019), deler årsaker til brann inn i følgende kategorier: Antatt påsatt, selvantennelse, menneskelig feil, teknisk svikt, lynnedslag, elektrisk fenomenskade og annet eller ukjent.

For å finne sannsynlighetsintervallet har vi valgt å se på hvor ofte hver enkelt årsak fører til brann basert på statistikk. Dermed benyttes formelen

$$\frac{\text{antall branner}}{\text{antall bygg}} \cdot \text{prosentfordeling} = \text{sannsynlighet}$$

Antall branner: Det samlede antall branner i «Industri og lagerbygg» i 2016, som var 348 (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2020).

Antall bygg: Det samlede antall bygg under kategorien «Industri og lagerbygg», som var 107 451 i 2016 i Norge (Statistisk sentralbyrå, 2020).

Prosentfordeling: Her fordeles antall branner ut på brannkategoriene etter hvor stor andel hver kategori forårsaker. Står brannårsaken for mange branner, vil sannsynligheten bli større.

Sannsynlighet: Sannsynligheten for at det skal oppstå en brann av den gitt årsak per år.

Ved å vite sannsynligheten for at en brann skal oppstå per år, kan man finne hvor lang tid det vil gå før det sannsynligvis vil oppstå en brann av den gitte årsak. Etter en viss tid vil sannsynligheten runde 50 % og da vil brannen sannsynligvis oppstå i løpet av den gitte tiden.

Det er også tatt med sannsynligheten for at en brann skal oppstå i en bil, siden biler står parkert i bygget. Antall personbiler i Norge var i 2018 2 768 864 (Statistisk sentralbyrå, 2019), mens antall bilbranner var 859 (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2020). Det betyr at sannsynligheten for at det skal begynne å brenne i en tilfeldig valgt personbil er $\frac{859}{2\,768\,864} = 0,031\%$. I gjeldende bygg skal det være maksimalt 12 biler, noe som betyr $0,031 \cdot 12 = 0,372\%$ sjans for brann pr år.

Frekvensklasser for hendelsene

Brannårsak	Prosentfordeling brann	Sannsynlighet brann pr. år	Sannsynlighetsintervall	Sannsynlighetsvurdering (1-5)
Elektrisk fenomenskade	27,3 %	0,088 %	Lite sannsynlig	2
Lynnedslag	20,9 %	0,068 %	Svært lite sannsynlig	1
Teknisk svikt	20,7 %	0,067 %	Svært lite sannsynlig	1
Menneskelige feil	13,9 %	0,045 %	Svært lite sannsynlig	1
Antatt påsatt	12,7 %	0,041 %	Svært lite sannsynlig	1
Selvantennelse	4,5 %	0,015 %	Svært lite sannsynlig	1
Bilbrann		0,372%	Lite sannsynlig	2

TABELL 1:FREKVENSER FOR ULIKE HENDELSER

Sannsynlighet for at brann inntreffer	5 svært sannsynlig	4 meget sannsynlig	3 middels sannsynlig	2 lite sannsynlig	1 svært lite sannsynlig
Forekomst	1 gang pr. 0-1 år	1 gang pr. 1-10 år	1 gang pr. 10-100 år	1 gang pr. 100-1000 år	Mindre enn 1 gang pr. 1000 år

Konsekvens brann	5 Svært stor	4 meget	3 middels	2 liten	1 svært liten
Menneske	flere døde	1 person død	Livsvarig skade	Mindre/midlertidig skade	Ingen skade
Økonomi/materiell	Nedbrent med alle verdier inni	Store skader i store deler av bygget og inventar	Deler av bygget er skadet og inventar i enkelte rom	Skader på bygg og inventar der brann starter	Mindre skade der brann oppstår

TABELL 2: FORKLARING TIL TABELL OVER OG UNDER.

Vurdering av sannsynlighet og konsekvens (SxK)

Fare	Årsak	Vurdering av sannsynlighet (S)	Vurdering av konsekvens (K) <i>Vurder en konsekvenskategori om gangen. Menneske skal alltid vurderes.</i>		Risikoverdi menneske (S x K)	Risikoverdi Øk/materiell (S x K)	Forslag til forebyggende og/eller korrigerende tiltak <i>Prioriter tiltak som kan forhindre at hendelsen inntreffer (sannsynlighetsreducerende tiltak) foran skjerpet beredskap (konsekvensreducerende tiltak)</i>
		(1-5)	Menneske (1-5)	Øk/materiell (1-5)			
Bilbrann	El-feil. Bensin- eller gasslekkasje	2	2	4	4	8	Koble fra batteri
Teknisk svikt	Varmegang i teknisk utstyr	1	2	4	2	4	Bytt ut gamle utstyr
Antatt påsatt	Uaktsomt eller aktsomt	1	2	5	2	5	Unngå å oppbevare brennbart materiale inntil bygget
Lynnedslag	Elektrisk utladning mellom sky og jord	1	2	4	2	4	Evt. lynavledere
Elektrisk fenomenskade	Feilkobling av batteri, batteri overopphetes eller annen feil bruk	2	2	4	4	8	Sjekk elektriske utstyr jevnlig
Menneskelig feil	Tildekking av varmekilde o.l.	1	2	4	2	4	Ikke bruk noen form for ild innendørs
Selvantennelse	Støv og olje	1	2	4	2	4	Ingen forebyggede tiltak

TABELL 3: VURDERING AV SANNSYNLIGHET OG KONSEKVENNS.

3.5 Brannscenarier

Ifølge NS3901 skal følgende brannscenarier vurderes (Standard Norge, 2012):

1. Et alvorlig brannscenario med rask utvikling og høy branneffekt som representerer det verst troverdige i byggverket
2. Brann som oppstår i et rom som normalt er uten personer, og som kan true et større antall personer i andre deler av byggverket.
3. Brann som utvikler seg langsomt og som ikke vil utløse automatiske slokkeanlegg.
4. Representative brannscenarier for det aktuelle byggverket som skal analysere for å avdekke robusthet i den branntekniske utformingen.

3.6 Usikkerhetsanalyse

Dette er et eksisterende bygg som ble bygget omtrent rundt 1950-tallet. Dette gjør det vanskelig å fastslå betongtype, armering og trevirke for brann. Det gjør det vanskelig å vite hvordan brannen oppstår, hvordan den utvikler seg og hvilke konsekvenser dette kan få.

Sannsynlighet er regnet ut ifra statistikk for transport og lagring da vi ikke fant mer spesifikke data, noe som gir stor usikkerhet da varene som blir lagret eller transportert ikke er spesifisert. Det er også betraktelig forskjell i sannsynlighet for brann ved transport av varer og under lagring. Man kan også tenke seg at det er flere mindre tilfeller som ikke er innrapportert. Av påsatte branner var det overvekt i urbane strøk (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2020), noe som ikke er tilfelle i våres eksempel. Dessuten hadde flesteparten av brannene ukjent årsak, noe som gir stor usikkerhet i forhold til den faktiske statistikken og den innrapporterte statistikken.

For bilbranner brukte vi statistikk for alle typer branner. I mange tilfeller vil bilen begynne å brenne fordi den er i bruk, eller den blir påtønt. Dette vil være mindre sannsynlig i våres tilfelle fordi bilene står parkert og innelåst. Dessuten er det overvekt av påtønte bilbranner i urbane strøk (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2020).

Selve beregningsmetoden for å finne sannsynlighetsintervallet er det også knyttet usikkerhet til. Her har vi lagt til grunn at det er like stor sannsynlighet for at det begynner å brenne i alle bygg. I tillegg til at det er helt tilfeldig hvilke bygg det begynner å brenne i. Dette vil ikke nødvendigvis være tilfelle, da det er store variasjoner i bruk av bygget og brannsikkerheten.

3.7 Sensitivitetsanalyse

Det er ikke behov for sensitivitetsanalyse siden det ikke utføres beregninger med ulike verdier av stokastiske variabler. Analysen baserer seg på erfaringer og tidligere brannstatistikk.

3.8 Beskrivelse av risiko

Bruksfasen

Personsikkerhet:

NR.	HENDELSE	SANNSYNLIGHET	KONSEKVENNS	RISIKO
1	<i>Bilbrann</i>	2	2	4
2	Teknisk svikt	1	2	2
3	Antatt påsatt	1	2	2
4	Lynnedslag	1	2	2
5	Elektrisk fenomenskade	2	2	4
6	Menneskelig feil	1	2	2
7	Selvantennelse	1	2	2

TABELL 4: RISIKOEN FOR PERSONSIKKERHET

Svært alvorlig skade	5	10	15	20	25
Alvorlig skade	4	8	12	16	20
Betydelig skade	3	6	9	12	15
Mindre skade	2	4	6	8	10
Ubetydelig skade	1	2	3	4	5
	Lite sannsynlig	Mindre sannsynlig	Sannsynlig	Meget sannsynlig	Svært sannsynlig

TABELL 5: RISIKOMATRISE.

Risikoen for personsikkerhet er akseptabel siden det i tabellen ikke vises noen uaksepterte hendelser sammenlignet med akseptkriteriene.

I tilfelle nr. 1 og 5 kan det kreves risikoreducerende tiltak, siden dette ligger i gult området som er akseptabelt nivå, men kan kreve ytterligere tiltak i henhold til ALARP-prinsippet.

Hendelsene vi må se på er:

- Bilbrann
- Elektrisk fenomenskade

Økonomi/materiell:

NR.	HENDELSE	SANNSYNLIGHET	KONSEKVENNS	RISIKO
1	<i>Bilbrann</i>	2	4	8
2	Teknisk svikt	1	4	4
3	Antatt påsatt	1	5	5
4	Lynnedslag	1	4	4
5	Elektrisk fenomenskade	2	4	8
6	Menneskelig feil	1	4	4
7	Selvantennelse	1	4	4

TABELL 6: RISIKOEN FOR ØKONOMI/MATERIELL

Svært alvorlig skade	5	10	15	20	25
Alvorlig skade	4	8	12	16	20
Betydelig skade	3	6	9	12	15
Mindre skade	2	4	6	8	10
Ubetydelig skade	1	2	3	4	5
	Lite sannsynlig	Mindre sannsynlig	Sannsynlig	Meget sannsynlig	Svært sannsynlig

TABELL 7: RISIKOMATRISSE

Risikoen anses som tolererbar dersom det innføres risikoreducerende tiltak siden tabellen viser gult (ALARP) sammenlignet med akseptkriteriet. De gule områdene:

- Bilbrann
- Teknisk svikt
- Lynnedslag
- Elektrisk fenomenskade
- Antatt påsatt
- Menneskelig feil
- Selvantennelse

Bilbrann er en hendelse som ganske sjeldent vil skje når kjøretøyet er parkert over lang tid. Dette begrunnes med at bilbrann som regel skjer når motoren er varm, altså under eller like etter en kjøretur. Eventuelt kan den bli tent på, noe som er lite sannsynlig i dette tilfelle siden den står innelåst i et lite befolket området. Tiltak for å forminske sannsynligheten kan være å kjøle ned bilen før den kjøres inn til lagring.

Teknisk svikt kan forekomme for eksempel på grunn av gammelt teknisk utstyr. Tiltak for å forhindre dette vil være å bytte ut gammelt utstyr som kan være i dårlig stand. Det vil også anbefales å jevnlig sjekke elektriske installasjoner og utstyr for å forsikre seg om at de ikke er skadet, noe som kan øke sannsynligheten for brann. Store ansamlinger av for eksempel skjøteledninger vil heller ikke anbefales, det bør eventuelt ryddes opp i disse og vurderes om det er nødvendig å sette opp flere stikkontakter for å unngå bruk av skjøteledninger over tid.

Lynnedslag er en risiko det er vanskelig å få gjort noe særlig med, siden de vanskelig lar seg påvirket. En mulighet kan være å skaffe seg en lynavleder. Bygget ligger ikke på en høyde, slik at det ikke er spesielt utsatt for lynnedslag.

Elektrisk fenomenskade kan oppstå på det elektriske anlegget som følge av overspenning, kortslutning osv. Her vil det være viktig å unngå gammelt elektrisk utstyr, da det lettere kan oppstå skader. Det er også viktig med jevnlig kontroll av dette, spesielt etter potensielle lynnedslag i området, som kan skade det elektriske anlegget slik at en brann kan oppstå.

Antatt påsatt kan være vanskelig for den enkelte å gjøre noe med. De materielle konsekvensene kan bli store fordi bygget kan raskt bli overtent. Siden bygget ligger et stykke unna tettbygd strøk vil sannsynligheten for påtenning av ukjente være mindre, fordi få folk ferdes i området. Mulige tiltak kan være lys, eventuelt med bevegelsessensor for å redusere sannsynligheten for uvedkomne i området.

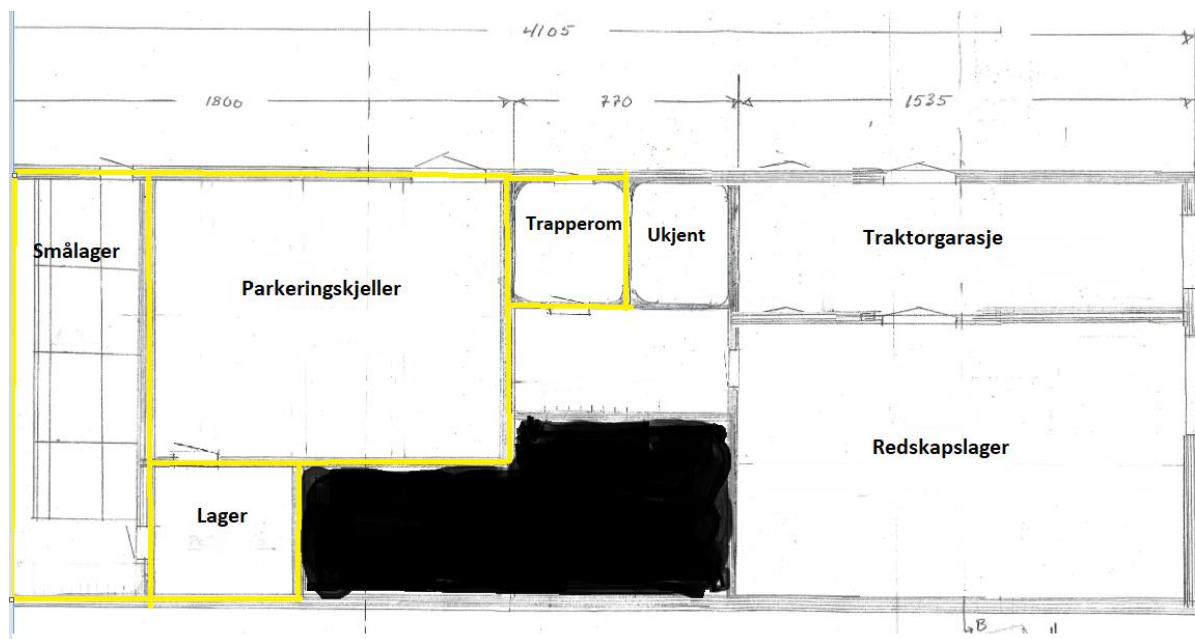
Menneskelige feil og selvantennelse er det vanskelig å gjøre store tiltak for. Siden det er få personer i bygget, og de bare er der midlertidig er sannsynligheten for menneskelig feil mindre enn i et folksomt bygg. Siden det ikke er typiske produkter som selvantenner i bygget, som halm, høy, osv. er også sannsynligheten for selvantennelse mindre.

4 Komparativ analyse

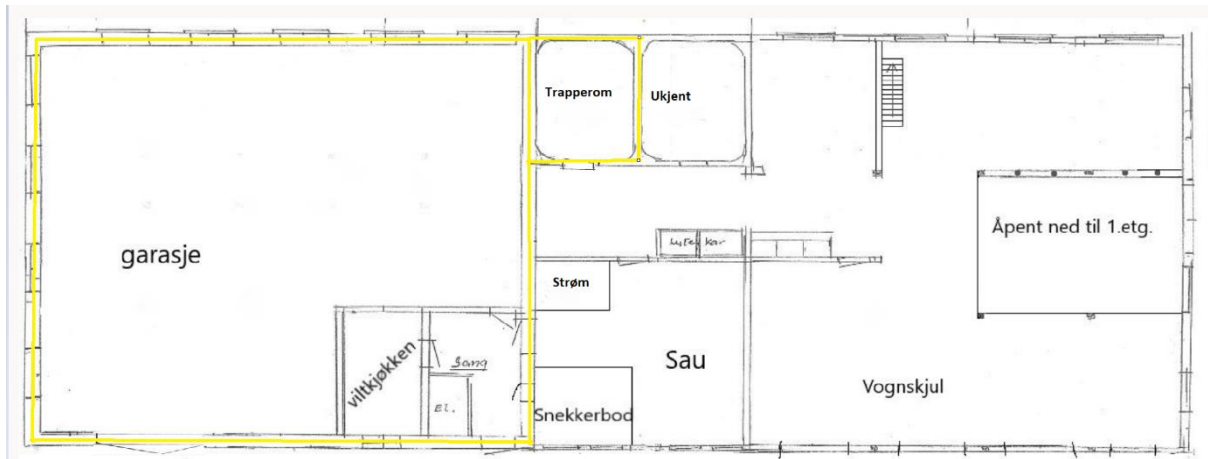
4.1 Beskrivelse av analysebyggverket

Bygget har en grunnflate på 615,5 m², men alle etasjer har noe redusert areal. Deler av første og andre etasje er betong, men mesteparten er bygd i tre. Bygget er klassifisert under brannklasse 2 og risikoklasse 2. Det er kun beregnet for sporadisk personopphold med få personer.

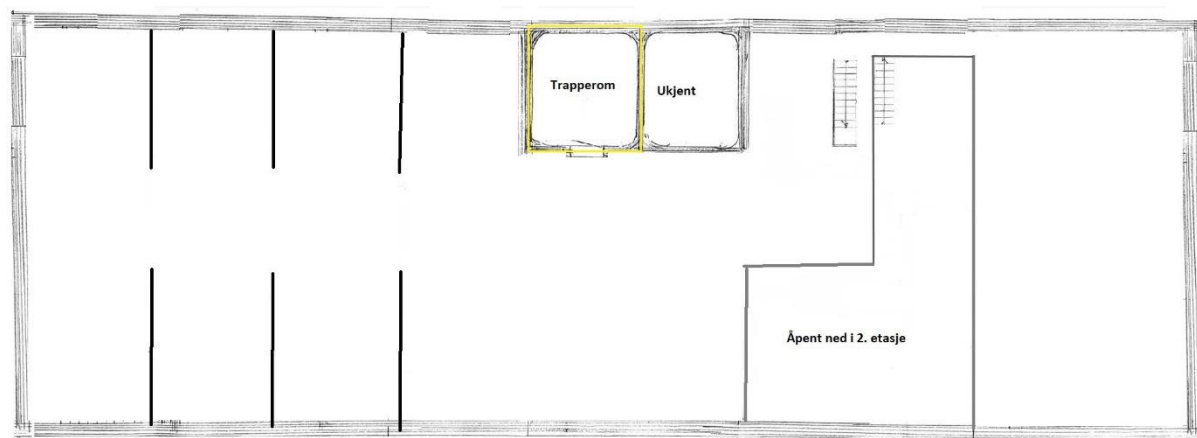
Plantegningene under viser inndeling av brannceller. Branncellene er innrammet med gule streker.



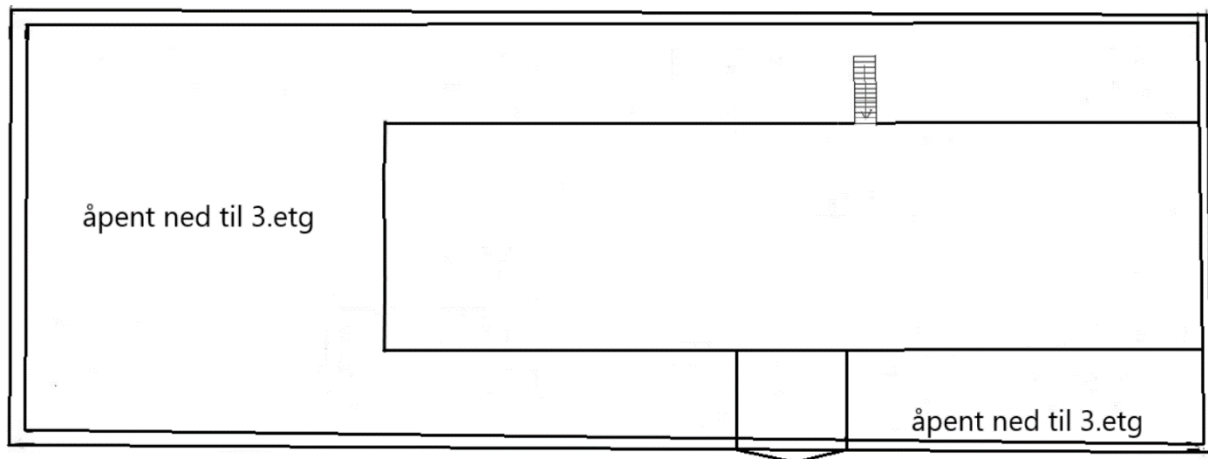
FIGUR 8: PLAN 1 I ANALYSEBYGGET



FIGUR 9: PLAN 2 I ANALYSEBYGGET



FIGUR 10: PLAN 3 I ANALYSEBYGGET



FIGUR 11: PLAN 4 I ANALYSEBYGGET

4.2 Beskrivelse av referansebyggverket

Referansebygget er definert av preaksepterte ytelser gitt i veiledning for TEK 17 (VTEK 17).

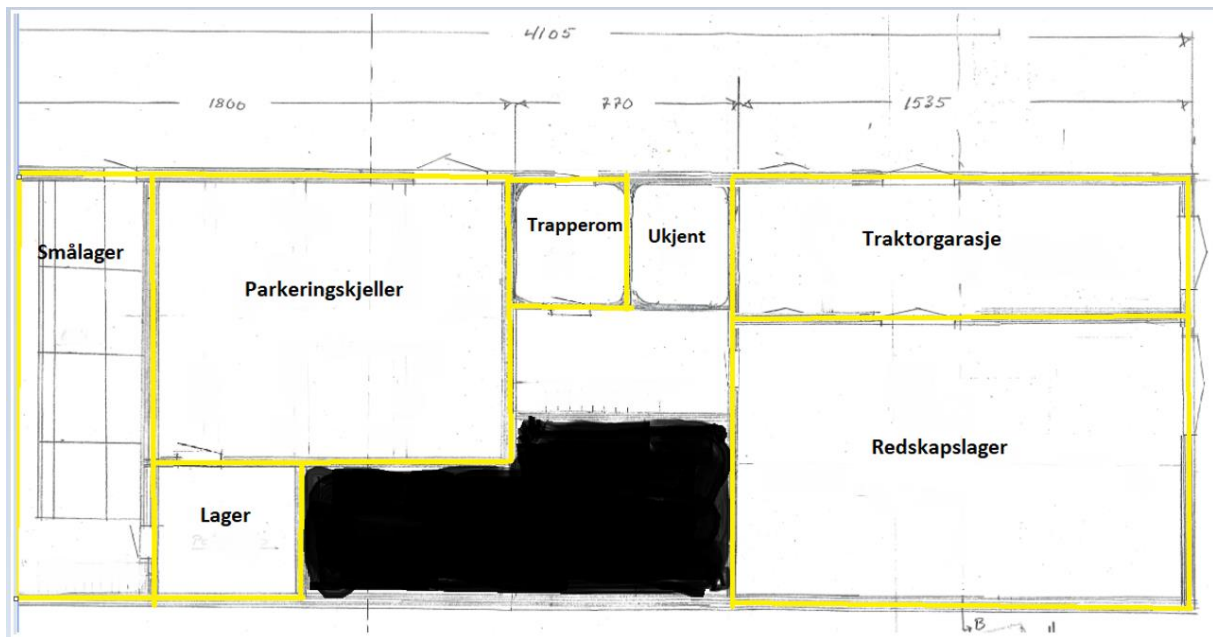
Følgende rom er egne brannceller:

- Traktorgarasjen i 1. etasje
- Redskapslageret i 1. etasje
- Garasje i 1. etasje
- Minilager i 1. etasje
- Tidligere sauefjøs og snekkerbod i 2. etasje
- Garasje i 2. etasje
- Viltkjøkken i 2. etasje
- Gangen i 2. etasje
- Vognskjulet i 2. etasje, pluss 3. etasje (området er under 800 m², så trenger ikke sprinkelanlegg)
- Trapperom fra 1. til 3. etasje

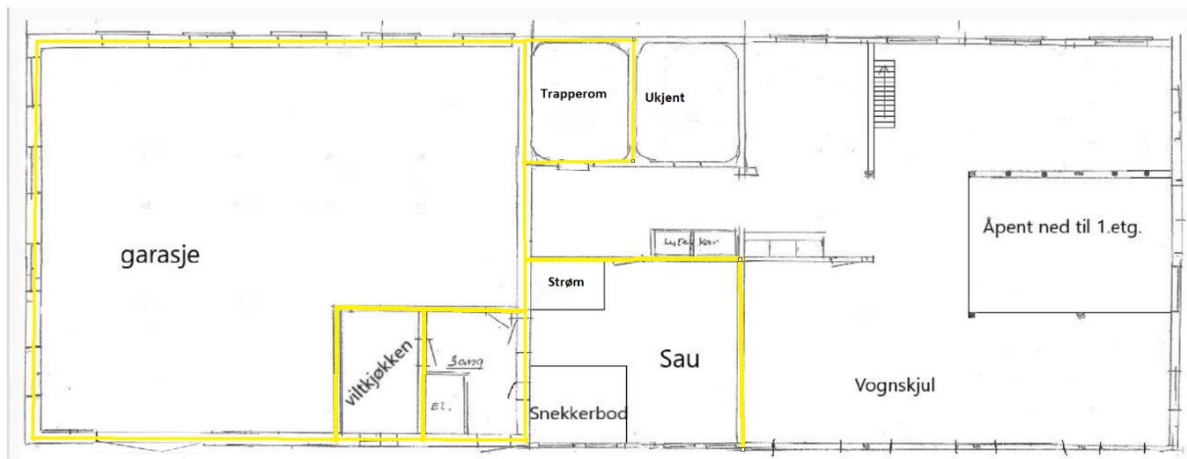
Brannmotstand og brannklasse er:

- I alle brannceller: EI60
- Bærende elementer: R60
- Trappeløp: R30
- Dører mellom brannceller: EI30, unntatt ved garasjene hvor der er EI60.
- Vinduer: EI30.
- Halve 1. etasje er i betong og dermed ubrennbar
- Halve 2 etasje er i betong og dermed ubrennbar.
- Andre halvdel av 2. etasje og hele 3. etasje er i tre-panel utvendig som tilfredsstillers B-s3,d0.
- Innvendig vegger og tak er: Ved brannceller mindre enn 200 m² tilfredsstillers D-S2,d0. Ved brannceller større enn 200 m² tilfredsstillers B-s1,d0 og gulv tilfredsstillers Dfl-s1
- Avstand mellom vinduene er tilfredsstilt.

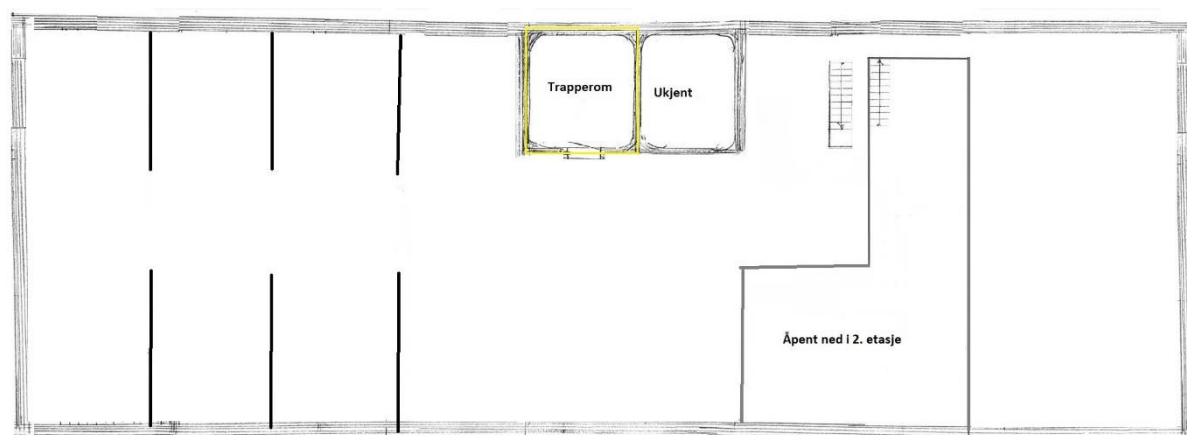
Plantegningene under viser inndeling av brannceller, som er vist med gule streker:



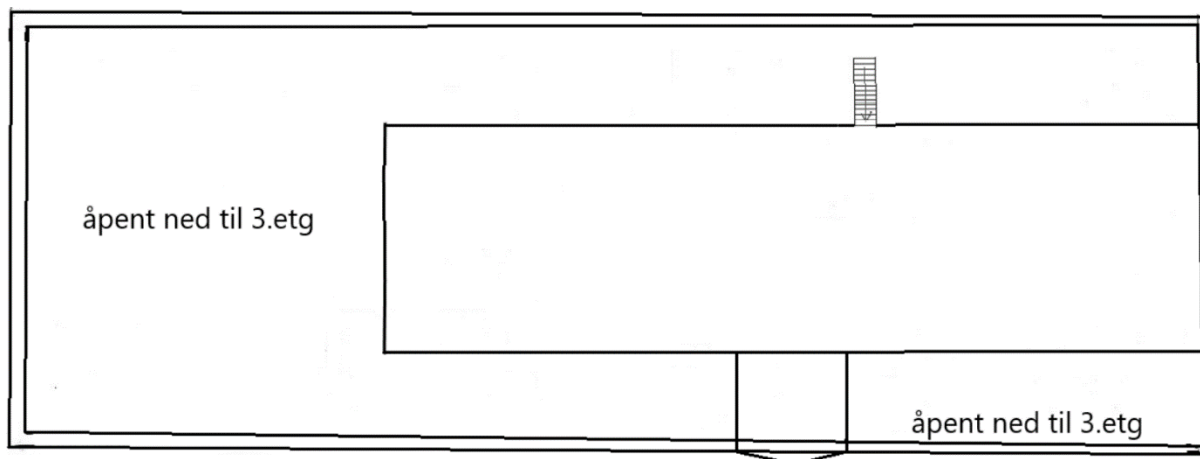
FIGUR 12: PLAN 1 I REFERANSEBYGGET



FIGUR 13: PLAN 2 I REFERANSEBYGGET



FIGUR 14: PLAN 3 I REFERANSEBYGGET



FIGUR 15: PLAN 4 I REFERANSEBYGGET

Spesifisering av forskjell mellom analysebygg og referansebygg

- Traktor-garasjen er egen branncelle
- Redskapslageret er egen branncelle
- På grunn av at redskapslageret er egen branncelle, må åpning mellom 1. og 2. etasje tettes.
- Sauefjøs og snekkerbod er egen branncelle
- Viltkjøkken og gang i 2. etasje er egne brannceller
- I referansebygget har bærende elementer brannmotstand R60, mens i analysebygget R16.

4.3 Valg av analysemetoder

I dette tilfelle skal det gjøres en komparativ analyse etter NS3901 – kapittel 7 *komparativ analyse*.

Byggverket som skal analyseres er et ukomplisert byggverk med en rekke fravik fra de preaksepterte ytelsene. Det skal gjennomføres en kvantitativ risikoanalyse med beregning av brann-/ røykspredning og rømning som analyseteknikk.

4.4 Fastsetting av beslutningskriterier

Akseptkriterier i analysen vil være at analysebygget ikke skal ha lavere sikkerhetsnivå enn referansebygget med tanke på risiko. Med dette gjelder

- Ikke høyere rømningstid
- Ikke forverre slokkearbeid eller brannmannskapets arbeidsforhold
- Ikke øke faren for brann eller store materielle skader
- Ikke forverre brannmotstand og brann skal ikke spres raskere i bygget.

4.5 Fareidentifikasjon

Det er ingen kjente farer i analysebygget som ikke er i referansebygget

4.6 Analyse av årsaker og sannsynlighet

Analyse av brannårsak og sannsynlighet vil være det samme i analysebygget og referansebygget.

4.7 Brannscenarier

Brannscenarier i pkt. 3.7 skal vurderes.

Brannscenarier som gir ulike utfall i referansebygget i forhold til analysebygget, skal analyseres for både referansebygget og analysebygget.

4.8 Analyse av konsekvenser

Her velger vi å se på en brann som oppstår i 1 etasje i redskapslageret eller traktorgarasjen. Dette er fordi brannen da vil oppstå i et kritisk område. Her vil brannen fort kunne spre seg videre til de øvre etasjene. I analysebygget er det en åpning i tak/gulv som gjør at brannen vil kunne spre seg raskt hvis vi har en raskt utviklende brann. I analysebygget vil denne brannen

spre seg tregere fordi redskapslageret er en egen branncelle. Røykspredning vil også skje langt raskere på analysebygget enn referansebygget, på grunn av åpningene mellom etasjene.

Rømningstiden for analysebygget vil ikke være høyere enn for referansebygget. Dette begrunnes med at det er ingen forhold i analysebygget som vil kunne hindre rømning som ikke er i referansebygget. Hvis det er personer i bygget er det mulig man tidligere vil oppdage røyk i analysebygget enn referansebygget på grunn av raskere røykspredning. Dette gjelder spesielt tilfeller med ulmebrann, der brannen bruker lenger tid på å spre seg.

Med tanke på kapittel 4.4 *Fastsetting av beslutningskriterier*, vil analysebygget ikke opprettholde kriterier «ikke forverre brannmotstand og brann skal ikke spres raskere i bygget» i forhold til referansebygget. Dermed må det settes inn ytterligere tiltak for å hindre brannen i å spre seg.

Analysebygget kan om mulig forhindre slokkemannskapets arbeidsforhold fordi brannen spres raskere og vil raskere utvikle seg til overtenning, i forhold til referansebygget.

Det er ingen faktorer i analysebygget som tilsier at det er større sannsynlighet for at en brann skal starte, i forhold til referansebygget. Hurtigere brannspredning vil derimot kunne føre til større materielle skader i analysebygget.

4.9 Usikkerhetsanalyse

Det vil være usikkerhet knyttet til type brann, altså hvor raskt den sprer seg, og størrelse. Derfor har man forsøkt å analysere verst tenkelig brannscenario i forhold til hvor brannen starter, i tillegg til å se på forskjellige typer branner.

4.10 Sensitivitetsanalyse

Det er ikke behov for sensitivitetsanalyse siden det ikke utføres beregninger med ulike verdier av stokastiske variabler.

4.11 Beskrivelse av risiko

Ved bruk av komparativ analyse er det vurdert til at det må gjøres ytterligere tiltak for å tilfredsstille de beslutningskriterier som er angitt i kapittel 4.4 *Fastsetting av beslutningskriterier*. Dette er beskrevet nærmere under kapittel 5 *Risikoevaluering*.

5 Risikoevaluering

5.1 Sammenligning av risiko og risikoakseptkriterier

Risikoakseptkriteriene tilfredsstilles ikke, det må derfor gjøres ytterligere tiltak. Som diskutert under kapittel 4.8 *Analyse av konsekvenser* vil det bli for rask brannutviklingen, og dette må reduseres for å tilfredsstille kriteriene.

5.2 Identifisering av eventuelle ytterligere tiltak og deres risikoreducerende effekt

Her er det utarbeidet to mulige løsninger for å redusere risikoen og tilfredsstille risikoakseptkriteriene.

Alternativ 1: Sprinkleranlegg

Her vil det være flere typer sprinkleranlegg å velge mellom, som omtalt i kapittel 3.3.2 *Aktive brannsikringstiltak* i rapporten ovenfor. Dette vil kunne slukke brannen ved mindre branner, eller begrense brannutviklingen.

Alternativ 2: Ytterligere oppdeling av brannceller

I dette alternativet er det ytterligere oppdeling av brannceller, slik som i referansebygget. Dette vil hindre brannen i å spre seg fritt mellom rom, og dermed tar de lenger tid for overtenning.

Følgende rom må gjøres om til egne brannceller:

- Traktorgarasjen i 1. etasje
- Redskapslageret i 1. etasje
- Sauefjøs og snekkerbod i 2. etasje
- Gang i 2. etasje
- Viltkjøkken i 2. etasje

5.3 Identifisering av mulige tiltak

Andre mulige tiltak som må vurderes er:

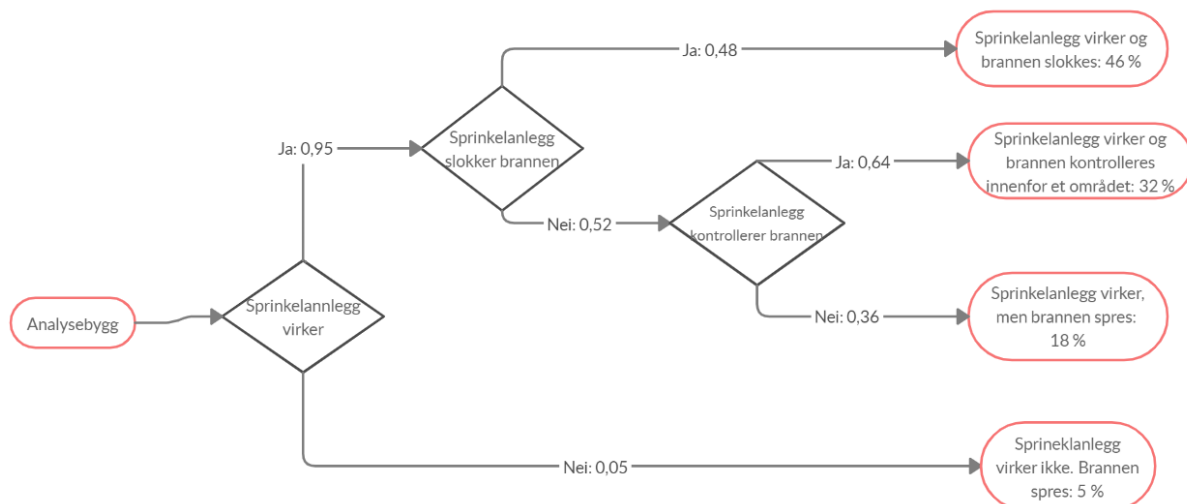
- Røykventilasjon der det er mulig, for eksempel trapperom.
- Ikke tillate bruk av åpne flammer
- Tillate minst mulig varmearbeid inne bygget
- Koble ut elektrisk utstyr som ikke er i bruk.

5.4 Vurdering av effekten av tiltak

Vurdering av alternativ 1:

Vurdering av pålitelighet til sprinkleranlegg og brannceller ifølge rapporten *Estimates of the Operational Reliability of Fire Protection Systems* (Bukowski, Budnick og Schemel, 1999):

- Sprinkler opererer ikke: 5 %
- Sprinkler kontrollerer, men slokker ikke brannen: 32 %
- Sprinkler slokker brannen: 46 %
- Sprinkler virker, men brannen sprer seg: 18 %
- Branncelle av mur virker: 81 %
- Branncelle av gips virker: 69 %
- Åpning i branncelle vil bli holdt åpen: 29 %



FIGUR 16: SANNSYNLIGHET SPRINKLERANLEGG FUNGERER.

Brannen vil dermed slokkes eller kontrolleres i 78 % av branntilfellene med sprinkelanlegg. Dette vil være i flere tilfeller enn om en branncelle i gips fungerer, som vil kontrollere brannen i 69 %. Dermed vil sprinkelanlegg ha større effekt enn branncelleinndeling.

Vurdering av tilfelle 2:

Her følges de preaksepterte løsningene til branncelle og brannseksjon i henhold til TEK 17.

Dermed vil denne løsningen være godkjent.

5.5 Konklusjon og dokumentasjon

Ved hjelp av den komparative analysen er det funnet ut av at bygget ikke tilfredsstillende krav som er gitt i TEK 17. På bakgrunn av dette er det gitt to ulike alternativer som kan tilfredsstillende krav som er aktuelle. Ved å velge en av disse vil risikoen til de utvalgte risikoakseptkriteriene tilfredsstillende.