

Kristine Woldseth Thorstensen

Brannsikkerhet i barneskoler - rømningsanalyser

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Anne Elise Steen-Hansen

Juni 2020

Kristine Woldseth Thorstensen

Brannsikkerhet i barneskoler - rømningsanalyser

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Anne Elise Steen-Hansen
Juni 2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Forord

Denne masteroppgaven utgjør det avsluttende arbeidet i det femårige sivilingeniørprogrammet Bygg- og miljøteknikk på NTNU. Oppgaven er skrevet ved Institutt for bygg- og miljøteknikk, og fordypet seg i brannsikkerhet. Masteroppgaven omhandler brannsikkerhet i barneskoler og rømmingssimuleringer av barn. Den er skrevet i samarbeid med Multiconsult og er utført i forbindelse med Fire Research and Innovation Centre (www.fric.no), som er finansiert av Norges forskningsråd og partnere i FRIC.

Oppgaven ble utformet i samarbeid med Vegard Ervik Olsen fra Multiconsult Norge AS og Anne Elise Steen-Hansen, professor ved NTNU. Oppgaven er valgt på bakgrunn av manglende kunnskap om hvordan barn skal representeres i rømningsanalyser, økt ønske om bruk av treverk i skolebygg, og en antagelse om at mindre usikkerhet i rømningsanalyser kan bidra til å dokumentere sikkerhet selv ved økt bruk av tre.

Jeg vil takke veiledere, Vegard Ervik Olsen og Anne Elise Steen-Hansen, for å være til hjelp når jeg har trengt det, og bidratt slik at jeg har kommet i kontakt med relevante personer. Opprinnelig skulle det utføres fysiske rømningsøvelser i oppgaven, men grunnet stengte skoler som følge av Covid-19 pandemien, ble det ikke mulig å gjennomføre arbeidet. Jeg vil likevel rette takk til Tommy Byenstuen og Terje Schei fra Undervisningsbygg Oslo KF som ga meg to analysebyggverk, og var behjelpelige med å påpeke utfordringer knyttet til øvelsene, spesielt med tanke på personvern. Jeg vil også takke Arnt Kolstad fra Trondheim brann- og redningstjeneste for svar på spørsmål, og for å ta meg med på befarung.

Trondheim, 11.06.2020



Kristine Woldseth Thorstensen

Sammendrag

Endring i skolens undervisningsopplegg og arbeidsformer, har ført til nye løsninger for fysisk utforming av dagens skolebygg. Trender tyder på mer åpenhet, flere transparente vegger og mer fleksible bygg, som kan brukes til flere formål. Flere skolebygg har de siste årene blitt utført som trekonstruksjoner, og utviklingen tyder på økt bruk av trekonstruksjoner både i bærekonstruksjon og som overflatemateriale. Eksponert treverk innendørs bidrar til en raskere brannutvikling i tidlig fase, og påvirker dermed den tilgjengelige rømningstiden.

Rømningssimuleringer kan brukes som et hjelpemiddel for å dokumentere at sikkerhetsnivået for personer er på et tilfredsstillende nivå. Rømningssimuleringer brukes som et verktøy for å beregne nødvendig rømningstid. Teorier og data som beskriver menneskelig adferd er i hovedsak basert på friske voksne mennesker, men det er klare forskjeller mellom barn og voksnes adferd. I denne rapporten har det blitt utført en analyse, for å vurdere rømningstid i skolebygg, og hvordan de karakteristiske forskjellene mellom barn og voksne påvirker forflytningstiden. Videre var målet å vurdere om sikkerheten er på et slik nivå at det vil være mulig å inkludere mer treverk i skolebygg, og identifisere hvordan usikkerhet i rømningsanalyser kan reduseres. Følgelig vil beslutningsgrunnlaget som brukes til å verifisere at personsikkerheten er på et tilfredsstillende nivå, bedres.

Rømningssimuleringsprogrammet Pathfinder, har blitt brukt for å analysere hvordan forflytningstiden blir påvirket av endringer i inputverdier som er tilpasset barns oppførsel. Tidligere studier har vist at ganghastigheten til barn er lavere enn for voksne, det fører til en økt forflytningstid. På en annen side kan barn oppnå høyere flyt gjennom dører, noe som bidrar til å redusere forflytningstiden igjen. I Pathfinder er det lettere å tilpasse oppførselen ved bruk av Steering-modus, fremfor SFPE-modus. I Steering-modus kan skulderbredde reduseres og forhold mellom hastighet og densitet endres fritt. Dette er viktige faktorer for at bevegelsen skal representere barn.

Den kvalitative analysen viste at det er flere faktorer ved utformingen av skolebygg som bidrar til å holde varslings- og reaksjonstiden kort. Åpenhet, mer bruk av transparens, anbefaling om toveis talevarsling, opplæring av ansatte, klar rollefordeling, jevnlig øvelser og detektorsystem tilpasset identifiserte farer. Disse faktorene, sammen med aktive tiltak som heldekkende sprinkleranlegg, reduserer risiko knyttet til rømningssikkerheten. Dette fører til at sikkerhetsmarginen mellom nødvendig og tilgjengelig rømningstid i mange tilfeller er så høy, at det bør være mulig å tillate en økt bruk av treverk i skolebygninger.

Rømningsanalyser brukes som beslutningsgrunnlag ved prosjektering. Rapporten har vist at det er klare forskjeller mellom voksne og barns oppførsel under evakuering. På grunn av noe manglende kunnskap om barns adferd, konkluderes det med at dette er noe som bør forskes videre på. Det

anbefales at det utføres feltmålinger i norske skolebygg for å inkludere realistiske forhold. Faktorer som bør vurderes nærmere er maksimal ganghastighet, forhold mellom hastighet og densitet, reaksjonstid og hvordan det organiseres i grupper.

Summary

Change in the teaching program and working methods at schools, have resulted in new solutions for the physical design of today's school buildings. Trends indicate more openness, more transparent walls and more flexible buildings, which can be used for several purposes. In the past few years, several school buildings have been built as timber constructions, and the development indicates an increased use of timber, both in support structure and as surface materials. Exposed wood on internal surfaces contributes to an elevated fire growth rate in the early stage of the development, and therefore affecting the available safe egress time.

Evacuation simulations can be used as a tool to document that the security level for people, are at a satisfactory level. Evacuation simulations are used as a tool to calculate required safe egress time. Theories and data describing human behaviour, are based mainly on healthy adult, but there are differences between the behaviour of children and adults. In this report an analysis has been performed to evaluate the egress time in school buildings, and how the characteristic differences between children and adults affect the egress time. Furthermore, the aim was to assess whether the safety is at such a level that it will be possible to include more wood in school buildings and identify how uncertainty in evacuation analysis can be reduced. Then the basis of decisions to verify if the safety for people are at a satisfactory level, will be better

The evacuation simulation program Pathfinder has been used to analyse how the travel time is affected by changes in input values that are adapted to children's behaviour. Previous studies have shown that the walking speed of children are slower than for adults, which results in an increased travel time. On the other hand, children can obtain a specific flow through doors, which help reduce the travel time again. In Pathfinder, it is easiest to customize the behaviour using Steering mode rather than SFPE mode. In Steering mode, shoulder width can be reduced and speed to density ratio freely changed. These are important factors for the movement to represent children.

The qualitative analysis showed that there are several factors in the design of school buildings that help keep the warning and pre-evacuation time short. Openness, more use of transparencies, recommendation for two-way voice notification, staff training, clear roles, regular exercises and detector system adapted to identified hazards. These factors, together with active measures as sprinkler systems, reduce the risk associated with the egress time. This leads to a high safety margin between the available and required safe egress time in many cases. Therefore, it should be possible to accept an increased use of timber in school buildings.

Escape analysis are used as a basis for decision-making during design. The report has shown that there are clear differences between adults and children's behaviour during evacuation. Due

to some lack of knowledge about human behaviour of children, a need for further research is identified. This is recommended done by performing measurements in Norwegian school buildings during evacuation exercises, to include realistic conditions. Factors that should be considered are maximum walking speed, speed-density ratio, reaction time and how they are organized in groups.

Innhold

1	Introduksjon	1
1.1	Bakgrunn	1
1.2	Problembeskrivelse	1
1.3	Målsetning	2
1.3.1	Resultatmål	2
1.3.2	Effekt mål	2
1.3.3	Suksesskriterier	2
1.4	Opprinnelig plan for oppgaven	2
1.5	Oppbygging	3
2	Metode	5
2.1	Litteraturstudium	5
2.2	Intervjuer og møter	5
2.3	Analyse	6
3	Teori	7
3.1	Brannstatistikk	7
3.2	Fysisk utforming av skolebygg	10
3.3	Materialbruk	11
3.4	Regelverk	12
3.4.1	Byggteknisk forskrift	13
3.4.2	Forskrift om brannforebygging	13
3.4.3	Dokumentasjon av oppfylt krav	13
3.4.4	Klassifisering av byggematerialer	14
3.4.5	Aktuelle krav i TEK17 for skolebygg	16
3.5	Treverk	19
3.5.1	Egenskaper ved brann	19
3.5.2	Påvirkning på brannutvikling	21
3.6	Rømning	22
3.6.1	Karakteristikk ved bevegelse som påvirker rømningstid	24
3.6.2	Forhold ved skoler som påvirker rømningstiden	29
3.7	Rømningssimulering i Pathfinder	33
3.7.1	Modell av en bygning	34
3.7.2	Personers egenskaper	34

3.7.3	Personers oppførsel	36
3.7.4	Steeringmodus	37
3.7.5	SFPE-modus	39
3.7.6	Bevegelsesgrupper	40
4	Kvalitativ analyse	41
4.1	Beskrivelse av skolebygg	41
4.1.1	Identifisering av mulige fravik	41
4.1.2	Beskrivelse av fravik	44
4.1.3	Metode for dokumentasjon av fravik	44
4.2	Fareidentifikasjon	45
4.3	Analyse av årsaker og sannsynlighet	46
4.4	Usikkerheter knyttet til barneskoler i rømningssimuleringer	47
4.4.1	Varslingstid	47
4.4.2	Reaksjonstid	47
4.4.3	Forflytningstid	48
5	Kvantitativ analyse	51
5.1	Analysebyggverkene	51
5.1.1	Løren skole	51
5.1.2	Hasle skole	52
5.2	Modellen	53
5.3	Steering-modus	54
5.3.1	Standardverdier	54
5.3.2	Ganghastighet	56
5.3.3	Forhold mellom hastighet og densitet	59
5.3.4	Skulderbredde	61
5.3.5	Komfortavstand	65
5.3.6	Grenselag mot vegg	66
5.3.7	Gruppebevegelse	67
5.4	SFPE-modus	69
5.4.1	Standardverdier	69
5.4.2	Ganghastighet	71
5.4.3	Maksimal romdensitet	73
5.4.4	Grenselag	74
5.4.5	Gruppebevegelse	75
6	Diskusjon	77
6.1	Resultatene fra simuleringene	77
6.1.1	Påvirkning på forflytningstid	77
6.1.2	Påvirkning på spesifikk flyt	78
6.1.3	Ulike simuleringsmoduser	79
6.1.4	Gruppebevegelse	79
6.2	Skolenes utforming	80

6.3	Vurdering av sikkerhet	80
7	Konklusjon	83
8	Videre arbeid	85

Figurer

3.1	Bygningsbranner i Norge fordelt på næring. Hentet fra [1]	7
3.2	Branner i skolebygninger, (a) totalt antall brannhendelser, (b) viser hendelser i skoletid (08.00-16.00) og (c) viser prosentandel av branner som skjedde i skoletid (08.00-16.00). Gjengitt med data fra brannstatistikk.no [1]	8
3.3	Branner i skolebygg meldt inn til skadeforsikring fra 1985-2019. Gjengitt med data fra [2]	9
3.4	Personskader	9
3.5	Aktivt reddet av brannvesen	9
3.6	Brannspredning	10
3.7	Røykspredning	10
3.8	Oversikt over lovsystemet, gjengitt fra [3]	12
3.9	Materialegenskapene relativ styrke parallelt med fibre (a), relativ elastisitetsmodul parallelt med fibre (b), termisk konduktivitet (c) og spesifikk varmekapasitet (d) varier med temperatur. Hentet fra [4]	20
3.10	Sammenhengen mellom tilgjengelig rømningstid, nødvendig rømningstid og sikkerhetsmargin, gjengitt fra TEK17 [5]	22
3.11	Sammenheng mellom ulike begreper tilknyttet tidsforløp, gjengitt fra [6]	23
3.12	Ganghastigheter i forhold til densiteter, fordelt på ulike aldersgrupper. Hentet fra [7]	27
3.13	Flyt gjennom dører målt for to ulike aldersgrupper i evakueringsforsøk. Målingene er sammenlignet med Nelson og Mowrer sin flytkurve for voksne [8]	29
3.14	Illustrasjon av hvordan de to simuleringsmodusene håndterer bevegelse gjennom en dør	33
4.1	Risikomatrise	44
4.2	Registrert arnested av Politi. Hentet fra [1]	46
4.3	Hvor brannen startet, registrert av politi. Hentet fra [1]	47
5.1	Modeller bygget opp i Pathfinder (a) Løren skole plan 1, (b) Hasle skole bygg 04 plan 1, (c) Hasle skole bygg 05 plan 1 og (d) Hasle skole bygg 05	54
5.2	Gjenværende personer i bygget over tid etter simuleringsstart for standardverdier i Steering-modus. (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05.	55
5.3	Spesifikk flyt gjennom dører over tid for (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05	56

5.4	Total evakueringstid påvirkes av ganghastighet i Steering modus	57
5.5	Gjenværende personer i bygget over tid i Steering-modus for (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05.	57
5.5	Gjenværende personer i bygget over tid i Steering-modus for (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05.	58
5.6	Spesifikk flyt gjennom dører over tid for simulering med ganghastighet maksimalt 0,57 m/s (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05	58
5.7	Forhold mellom hastighet og densitet	59
5.8	Total evakueringstid for varierende hastighet for to ulike forhold mellom hastighet og densitet for (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05	60
5.9	Spesifikk flyt gjennom dører over tid ved ganghastighet på 0,57 m/s, og nytt forhold mellom hastighet og densitet for (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05	61
5.10	Total evakueringstid påvirkes av skulderbredde i Steering modus	62
5.11	Spesifikk flyt gjennom dører over tid, ved skulderbredde på 19,54 cm. (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05	63
5.12	Total evakueringstid ved varierende skulderbredde for to ulike forhold mellom hastighet og densitet. (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 4 og (c) Hasle skole bygg 5	64
5.13	Spesifikk flyt gjennom dører over tid, ved ved skulderbredde 19,54 cm og nytt forhold mellom hastighet og densitet. (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05	65
5.14	Variasjon av total evakueringstid med varierende komfortavstand for ulike skulderbredder for (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 4 og (c) Hasle skole bygg 5	66
5.15	Evakueringstid med og uten grenselag mot vegg som ikke utnyttes i Steering modus	67
5.16	Illustrasjon av rømning med organisering i grupper for Løren skole bygg D.	67
5.17	Illustrasjon av rømning med organisering i grupper for Hasle skole bygg 04.	68
5.18	Illustrasjon av rømning med organisering i grupper for Hasle skole bygg 05.	68
5.19	Total evakueringstid med og uten organisering i bevegelsesgrupper. Steering modus	69
5.20	Gjenværende personer i bygget over tid i Steering-modus og SFPE modus for (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05.	70
5.21	70
5.21	Spesifikk flyt gjennom dører over tid med standardverdier i SFPE-modus for (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05	71
5.22	Total evakueringstid påvirkes av ganghastighet i SFPE modus	71
5.23	Gjenværende personer i bygget over tid i SFPE-modus ved ulike hastigheter for (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 4 og (c) Hasle skole bygg 5.	72
5.24	Spesifikk flyt gjennom dører over tid, ved den laveste hastigheten (0,57 m/s) i SFPE-modus for (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05	73
5.25	Total evakueringstid ved varierende maksimale romdensitet. SFPE-modus.	74

5.26	Total evakueringstid med og uten grenselag mot vegg i SFPE-modus.	74
5.27	Illustrasjon av rømning med organisering i grupper for Hasle skole bygg 04 i SFPE-modus	75
5.28	Illustrasjon av rømning med organisering i grupper for Hasle skole bygg 05 i SFPE-modus. (a) og (b) viser to ulike ender av bygningen.	75
5.29	Total evakueringstid med og uten organisering i bevegelsesgrupper. SFPE-modus .	76

Tabeller

3.1	Risikoklasser, gjengitt fra TEK17 [5]	17
3.2	Branklasse for skolebygg	17
3.3	Krav til bæreevne og stabilitet, gjengitt fra TEK17 § 11-4 Tabell 1 [5]	17
3.4	Krav til overflater og kledninger. § 11-9 Tabell 1A [5]	18
3.5	Krav i TEK17 og veiledning til forskriften.	19
3.6	Data fra tidligere studier - horisontal bevegelseshastighet	25
3.7	Data fra tidligere studier - bevegelseshastighet i trapp	26
3.8	Data fra tidligere studier - Størrelsesdata for kropper brukt i densitetsberegninger.	28
3.9	Standardverdier for profiler	35
4.1	§ 11-4 Bæreevne og stabilitet	42
4.2	§ 11-9 Materialer og overflater	43
5.1	Personbelastning Løren skole, bygg D	52
5.2	Personbelastning Hasle skole, bygg 4	53
5.3	Personbelastning Hasle skole, bygg 5	53
5.4	Total evakueringstid i Steering-modus med standardverdier som input	55
5.5	Skulderbredde for analyse i Pathfinder	62
5.6	Total evakueringstid i SFPE-modus med standardverdier som input	69

Kapittel 1

Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Barn er en sårbar gruppe i samfunnet som oppfører seg annerledes enn voksne mennesker, og dette kan påvirke design av bygninger der det er samlet mange barn. I tidligere studier har det blitt påvist en klar forskjell mellom barn og voksnes reaksjon ved brann. Studier viser blant annet at barn går saktere, og tempo øker med alder [9]. Som en følge av dette kreves det andre verdier som inndata i rømningsanalyser som utføres for bygninger der det oppholder seg en stor andel barn. Det er er mindre kunnskap om barns adferd, og dette kan føre til usikkerhet knyttet til analyser av rømning i disse bygningene.

Trender i utforming av skolebygg kan føre til store brannceller og ønske om bruk av treverk både i bærekonstruksjon og på overflater. Om sikkerhetsmarginen mellom tilgjengelig rømningstid og nødvendig rømningstid er stor nok, kan vurderes hjelp fra resultater fra rømningsanalyser. Ved prosjektering etter funksjonsbaserte forskrifter er det viktig å ha god kunnskap om evakueringsdynamikken og ha modeller som representerer personene i bygningen på en riktig måte. Dette er avgjørende for å ikke utsette noen personer for fare eller kritiske forhold ved brann. I skolebygninger er det mange unge barn samlet på et sted, så skolebyggene må prosjekteres med nødvendig sikkerhet for brann. Det er viktig å minimere usikkerheten knyttet til analyser for å sikre trygg design, men også å hindre unødvendig konservative løsninger som hindrer optimale valg av materialer og fysisk utforming for skoledriften.

1.2 Problembeskrivelse

Rapporten skal vurdere rømningssikkerhet i barneskoler og hvordan barn sin oppførsel kan håndteres i rømningssimuleringer. I den forbindelse må følgende spørsmål besvares:

- Hvordan oppfører personer seg i rømningssituasjoner, og hvordan skiller barns oppførsel seg fra voksne?
- Hvordan påvirker organisering på skoler rømningstiden?
- Hvilke krav stilles til skolebygninger?

- Hvordan kan oppførselen til barn og organisering av rømning på skoler simuleres på en god måte?

1.3 Målsetning

1.3.1 Resultatmål

Resultatmålet for rapporten er å utrede hvordan simuleringsverktøy som brukes for å estimere nødvendig rømningstid blir påvirket av variasjon i inputverdiene til personene i bygningen. Finne usikkerheter knyttet til rømningssimuleringer av barneskoler, og vurdere hvordan usikkerheten kan reduseres.

1.3.2 Effektmål

Effektmål er at usikkerheten i rømningssimuleringer skal reduseres slik at de kan brukes til å prosjektere skolebygg med optimale utforminger og mulighet for mer bruk av treverk.

1.3.3 Suksesskriterier

- Et litteraturstudie skal gi detaljert innblikk i hvilke faktorer som påvirker den nødvendige rømningstiden.
- Utfordringer knyttet til design av nye skolebygg skal identifiseres.
- Rømningssimuleringer skal gjennomføres for tre analysebyggverk der ulike faktorerers påvirkning på rømningstiden skal vurderes.

1.4 Opprinnelig plan for oppgaven

Oppgaven skulle opprinnelig basere seg på fysiske rømningsovelser der det skulle gjøres målinger og observasjoner over rømning fra barneskoler. Videre skulle data og resultater fra øvelsen brukes for å sammenligne med resultater av rømningssimuleringer. Dette for å sammenligne resultatene fra simuleringer som brukes i prosjektering med virkelige resultater, vurdere hvor godt de stemte overens og hvilke verdier i simuleringsprogrammet som førte til den mest realistiske fremstillingen av rømning fra en barneskole.

Gjennom kommunikasjon med Undervisningsbygg Oslo KF hadde kontakt med to skoler blitt opprettet, og rømningsovelser ved skolene skulle bli utført i mars. Plan for øvelser, oppsett av målinger og uthenting av data var planlagt og er vist i vedlegg 4.

Skolene stengte dessverre rett før møte med skoleledelsen skulle gjennomføres pga. Corona-smitte i Norge, og derfor ble det ikke mulig å gjennomføre øvelsene. Dette gjorde at oppgaven måtte begrenses til å vurdere hvordan den nødvendige rømningstid blir beregnet for barn ved å sammenligne med generell teori.

1.5 Oppbygging

Rapporten er bygget opp med tre hoveddeler, en teoridel med funn fra litteraturstudiet, analyse med resultater og diskusjon. Til slutt er det en konklusjon og anvisning for videre arbeid.

Litteraturstudiet har vært delt opp i flere deler. Den første delen av teorien handler om regelverket i Norge, og hvilke krav som gjelder for skolebygg. Neste del handler om treverk, og det tredje temaet omhandler rømning og hvilke faktorer som påvirker den nødvendige rømningstiden. Den siste delen tar for seg teorien som ligger bak rømningssimuleringsprogrammet Pathfinder.

Analysen er delt opp i en kvalitativ og en kvantitativ del. Den kvalitative analysen tar for seg beskrivelse av skolebygg generelt, hvilke farer som kan oppstå i nye skolebygninger og hvilke konsekvenser dette har. Videre følger en beskrivelse av analysebyggverkene og til slutt en vurdering av hvilke parametre i Pathfinder som kan endres for å representere barn, og hvilken påvirkning dette kan ha på resultatet.

Den kvantitative analysen inneholder resultater fra rømningssimuleringer i analysebyggverkene der korrelasjonen mellom forflytningstid og variablene identifisert i den kvalitative analysen er undersøkt.

Rapporten avsluttes med en diskusjon av hvordan de ulike parameterene påvirket forflytningstiden, hvilke endringer som gjorde at simuleringen passet for barn som beveget seg og hvilke parametre som hadde størst innvirkning. Videre diskuteres det hvordan rømningssikkerheten i skoler er, på bakgrunn av resultatene fra analysene og om det er mulig å tillate mer bruk av treverk i skolebygg. Til slutt konkluderes det med hva arbeidet har ført til, og videre nødvendig arbeid for å øke kunnskapsnivået om temaet.

Kapittel 2

Metode

I dette kapitlet skal metodene som har blitt brukt i arbeidet med rapporten redgjøres for. Metoder som har blitt brukt er litteraturstudium, intervjuer, kvalitativ analyse og kvantitativ analyse med rømningssimuleringer.

2.1 Litteraturstudium

Litteraturstudiet ble utført for å få en oversikt over faktorer som påvirker nødvendig rømningstid og eksisterende kunnskap om barns oppførsel i evakueringsituasjoner. I tillegg er litteratur om hvordan eksponert treverk påvirker den tidlige brannutviklingen blitt studert. Brukermanual og teknisk beskrivelse av rømningssimuleringsprogrammet Pathfinder har også blitt gjennomgått, for å få en bred kunnskap om hvordan programmet fungerer og beregningene som ligger bak simuleringene.

I hovedsak er litteraturen samlet inn ved søk i databasen til NTNUs bibliotek, Oria. I tillegg er det blitt utført søk i databaser som Scopus og ScienceDirect, anvisninger fra Sintef Byggforsk, standarder fra Norsk Standard og vanlige søk i Google.

Det har blitt lagt vekt på at litteraturen skulle være troverdig og relevant i dag ved å bruke artikler og rapporter fra anerkjente forfattere, universiteter eller utgivere.

2.2 Intervjuer og møter

Møter og intervjuer har blitt gjennomført for å supplere på informasjonen funnet i litteraturstudiet, og for å få mer innsikt over hvordan forholdene er i Norge.

Det ble avholdt et intervju med to personer fra forebyggende avdeling i Trondheim brann- og redningsetat i tillegg til deltakelse på befaring av en barneskole i Trøndelag. Samtale med brannvesenet var nyttig for å få innsikt i utfordringer knyttet til brannsikkerheten i skoler og hva som er viktige faktorer i arbeidet med brannvern i barneskoler.

Intervju eller samtale med rektor og skoleledelse på en barneskole ble holdt for å få informasjon om hvordan brannvernarbeidet og forholdene er i den norske barneskolen.

Samtale med prosjekterende ingeniør har blitt gjennomført for å identifisere utfordringer knyttet til prosjektering av nye skolebygg, bruk av rømningssimuleringer og metoder for dokumentasjon av sikkerhet.

Det har også været avholdt møter med Undervisningsbygg Oslo KF. Dette ble gjort for å avtale feltnålinger og rømningsøvelser med skoler, men stengte skoler på grunn av Corona-pandemien førte til at øvelsene ikke kunne gjennomføres.

2.3 Analyse

Det har blitt utført en kvalitativ analyse som tar utgangspunkt i informasjon presentert i litteraturstudiet. Det er vurdert hvilke utfordringer som kan være knyttet til nye skolebygg, hvilke konsekvenser mulige fravik fra preaksepterte løsninger har, hvordan faktorer ved barns adferd bli brukt i rømningssimuleringer og hvilke inputverdier som kan påvirke evakueringstiden for å representere barn. Videre er disse vurderingene brukt for å legge grunnlag for hva som skal analyseres i den kvantitative analysen.

Den kvantitative analysen har blitt utført ved å bruke rømningssimuleringsprogrammet Pathfinder. Den kvalitative analysen endte med ulike parametre i Pathfinder som kunne endres, for å tilpasse bevegelsen til å ligne en gruppe barn som beveger seg. Korrelasjonen mellom ulike variable ble analysert ved bruk av regresjonsanalyse. Alle verdier utenom en har blitt holdt konstant, og det har blitt undersøkt hvordan forflytningstiden avhenger av ulike variabler. Simuleringene ble utført for tre eksempelskolebygg.

Simuleringsprogrammet Pathfinder ble valgt fordi det er mye brukt av Multiconsult, som det er samarbeidet med i denne oppgaven, og programmet er lett tilgjengelig fordi det er mulig å få en gratis studentlisens.

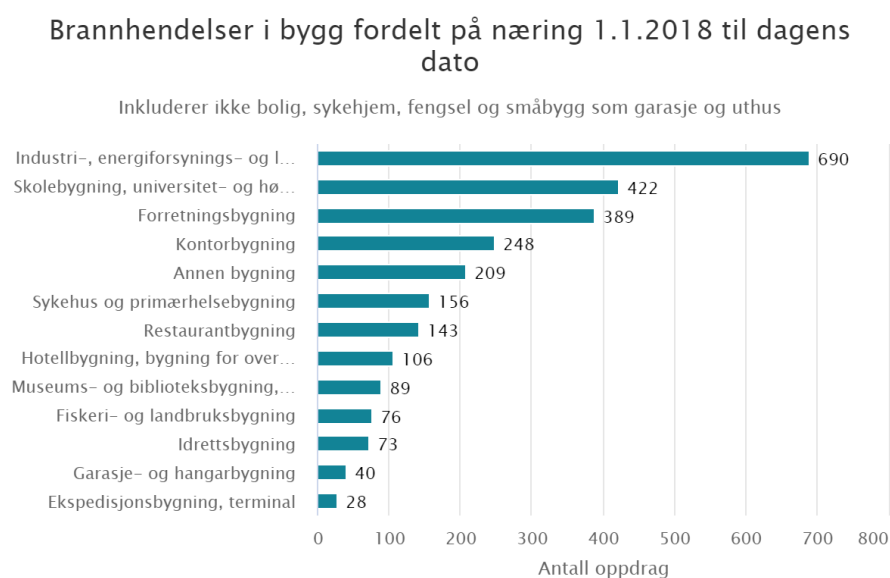
Målet med analysen var å kunne vurdere hvordan parametre ved oppførselen til barn som skiller seg fra voksne påvirker forflytningstiden, og hvordan det totalt påvirker evakueringen. Mer kunnskap om dette temaet kan bidra til å minimere risiko i rømningssimuleringer og muliggjøre dokumentasjon av sikkerhet.

Kapittel 3

Teori

3.1 Brannstatistikk

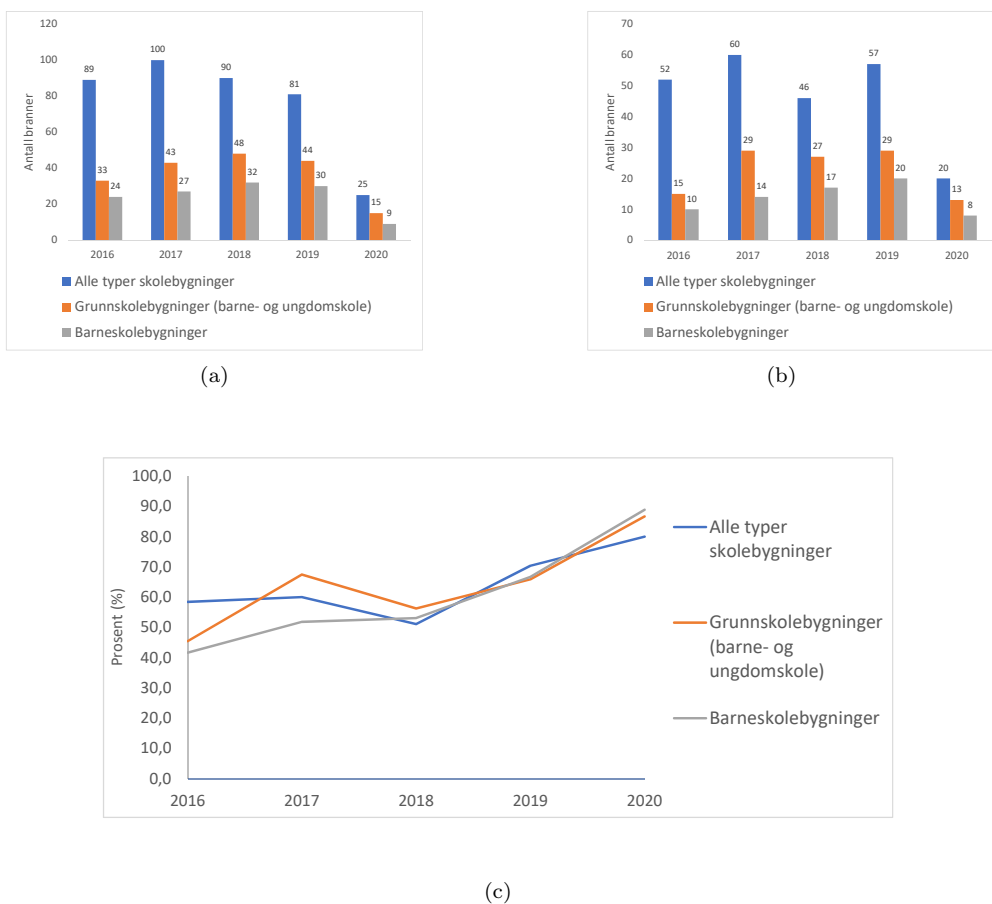
Statistikk over brannhendelser viser at brann i skoler ikke er veldig sjeldent. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap har samlet nasjonal oversikt over brannvesenets utrykninger fra og med 2018 på nettsiden brannstatistikk.no. Oversikt over alle brannhendelser som brann- og redningsvesenet har rykket ut til fordelt på næringer, viser at skolebygninger og universitets- og høyskolebygninger har nest flest hendelser, som vist i figur 3.1. Det har vært 422 hendelser på ca. to og et halvt år.



Figur 3.1: Bygningsbranner i Norge fordelt på næring. Hentet fra [1]

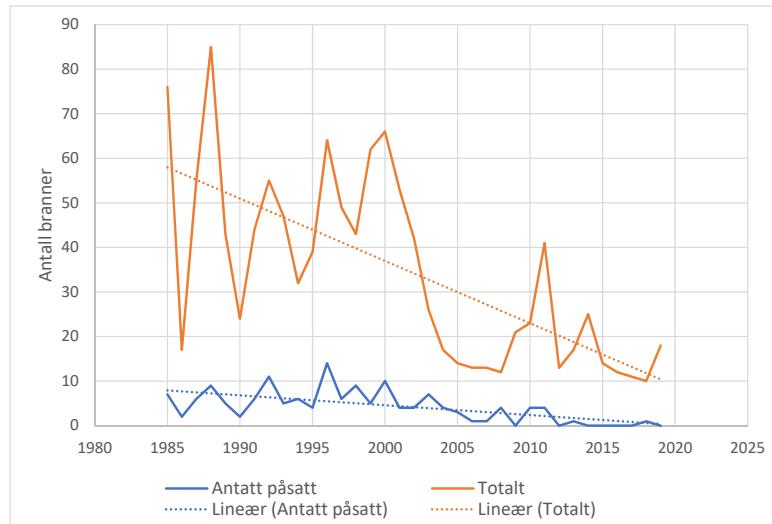
Mer detaljert brannstatistikk for skoler fra 2017 til i dag er vist i figur 3.2. Det finnes ulike typer skolebygg, og figuren viser alle typer skolebygg, grunnskolebygninger og rene barneskolebygninger. Totalt kan det se ut som om antall brannhendelser i skolebygninger ikke har endret seg veldig mye,

men det har vært en økning av hendelser i barneskolebygninger. Det har også vært en økning av prosentandel av hendelsene som har skjedd på dagtid mellom 08.00 og 16.00. Dette er tidspunkt hvor det befinner seg personer i bygningene, og flere hendelser i åpningstiden medfører en økt fare for personsikkerheten. Lignende observasjoner har blitt gjort i Sverige, der det har pågått et forskningsprosjekt om brann i skoler og førskoler. Det har blitt færre utendørs branner utenfor skoletid og en økning av antall påsatte branner innendørs i skoletid [10]. Det kan tenkes at forholdene i Sverige og Norge er relativt like.



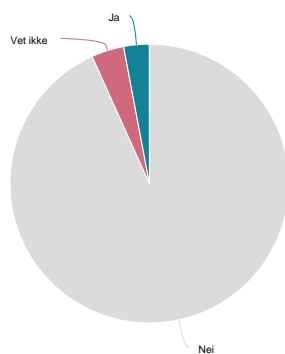
Figur 3.2: Branner i skolebygninger, (a) totalt antall brannhendelser, (b) viser hendelser i skoletid (08.00-16.00) og (c) viser prosentandel av branner som skjedde i skoletid (08.00-16.00). Gjengitt med data fra brannstatistikk.no [1]

Basert på den korte tiden fra 2017 til i dag, er det vanskelig å si noe sikkert om utviklingen av brannhendelser over tid. Finans Norge fører statistikk om branner på skoler helt fra 1985 til i dag, men kun for de hendelsene som er meldt inn til skadeforsikringen [2]. Figur 3.3 viser at det har vært en nedgang i brannhendelser. Små brannhendelser som ikke medfører skade er det ikke sikkert blir meldt inn til forsikringen, så statistikken kan tyde på nedgang i antall omfattende brannhendelser. McNamee og Johansson [10] observerte i Sverige en nedgang i omfattende hendelser, men der viste det seg som nevnt at antall påsatte branner innendørs hadde økt. Arnestedsrommet for de påsatte brannene var i de fleste tilfeller toaletter. Fra figur 3.3, som også viser antall antatt påsatte branner, kan det se ut som antall påsatte branner på skoler i Norge har sunket noe.

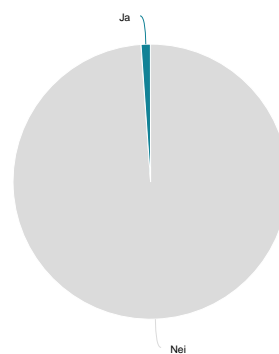


Figur 3.3: Branner i skolebygg meldt inn til skadeforsikring fra 1985-2019. Gjengitt med data fra [2]

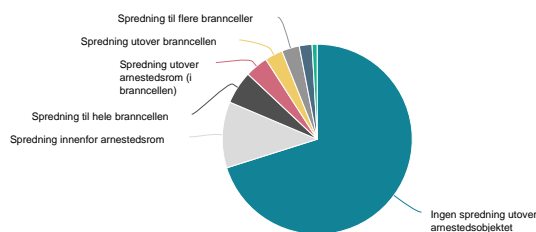
Detaljert statistikk fra Bran- og redningsvesenet [1] beskriver forhold rundt ulykkene de har rykket ut til. Statistikken som er vist i figur 3.4 - 3.7 tyder på at de aller fleste brannene i skolebygninger er lite omfattende. Figur 3.4 viser omfanget av personskader i hendelsen, i 14 av 475 hendelser var svaret ja. Figur 3.5 viser om brann- og redningsvesenet aktivt måtte redde personer ved utrykningen og det var kun i 3 av 343 oppdrag at det var nødvendig. Dette tyder på at i de aller fleste tilfeller klarer alle å evakuere bygningen ved brannhendelser. Figur 3.6 viser spredning av brann. I 71 % av tilfellene var det ingen spredning utover arnestedsobjektet. I ytterligere 10 % var det ingen spredning utover arnestedsrommet. Røykspredningen er vist i figur 3.7. Det er naturlig nok noe mer spredning av røyk enn brann, men i 57 % av tilfellene var det ingen spredning utover branncellen der brannen startet. Generelt er det ikke noe som viser at personrisikoen i skoler er stor i dag.



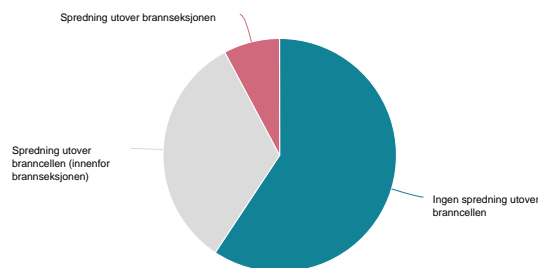
Figur 3.4: Personskader



Figur 3.5: Aktivt reddet av brannvesen



Figur 3.6: Brannspredning



Figur 3.7: Røykspredning

Brannene i skoler har blitt mindre omfattende, men det kan synes å være en økning av hendelser mens det er personer til stede. Dette kan skyldes at brannene er påsatt, og et vanlig arnested er våtrom som toalett og bad. Den svenske studien tydet på at det var viktig med tidlig oppdagelse og å begrense mengden med brennbart materiale tilgjengelig [10].

3.2 Fysisk utforming av skolebygg

Utforming av skoler blir påvirket av behovet som settes av læringsformer. Tidligere har det vært et relativt stabilt syn på læring og utforming av skolebygg. Skolene var bygget som tradisjonelle klasseromsskoler som kan defineres som skoler der elever har tilhold i ett bestemt rom [11]. Frem til slutten av 1900-tallet var tradisjonelle skolebygg det mest utbredte, men på 1970-tallet var det en endring i skole- og utdanningsreformer, og en idé om at åpent landskap kunne gi rom for varierte pedagogiske former og økt elevaktivitet [12]. Med kunnskapsløftet som ble innført i august 2006, ble det fokus på fleksible læringsformer og vektlegging av tilpasset opplæring, elevaktivitet og elevinvolvering.

Endringer i skolens undervisningsopplegg og arbeidsformer, førte til behov for nye løsninger for fysisk utforming av skoleanlegg. I følge en rapport skrevet av Buvik i 2005 [13] er mer fokus på prosjektarbeid, individuelt tilpasset opplæring og undervisning i aldersblandede grupper. Buvik trekker frem trender innenfor fysisk utforming av skolebygg den gangen. Mange skoler gikk vekk fra den tradisjonelle klasseromsoppbygningen, det var en oppfatning om at baseskoler var fremtiden. I steden for klasserom kunne skoler ha store hjemmebaser der flere klasser delte areal. Det ble lagt vekt på at det skulle være plass for sosiale møtesteder. Buvik trakk også frem økt bruk av transparente vegger av glass der aktiviteten ikke ble plaget av det. Som følge av disse faktorene ble skolene mer åpne enn de tradisjonelle skolebyggene.

I tillegg skulle skolebyggene være mer fleksible, for byggene skulle kunne brukes til flere formål. Skolebyggene skulle fungere som en møteplass for lokalsamfunnet med flere muligheter for bruk, for eksempel kurs, konferanser, konserter eller forestillinger [13]. Dette førte til at rommene skulle kunne ha varierende bruk etter behov.

Skolen og undervisningsformer er hele tiden i utvikling, og derfor endrer også behovene for det fysiske læringsmiljøet seg. I 2014 publiserte Storstrand [12] en artikkel som fokuserte på oppdaterte

nye trender i utformingen av skolebygninger. Det er stor variasjon i skolebygg, men det er noen klare trender som kjennetegner fremtidsrettede skoleanlegg. De tradisjonelle klasserommene er fortsatt utfordret, fordi det er behov for økt mangfold i læringsmiljøer og pedagogisk funksjonalitet. Likevel er ikke lenger baseskolen sett på som fremtiden, for det er en oppfatning av at klasserom er et viktig utgangspunkt for tilhørighet og organisering i skolehverdagen. Den nye trenden er nå at flere klasserom kan være tilknyttet et hjemmeområde der flere fellesfunksjoner er samlet. Likevel er mange av faktorene fra baseskoler fortsatt sett på som viktige. I følge Storstrand [12] er det høyt fokus på åpenhet, fleksibilitet og sambruk. Åpne skoler kjennetegnes med transparens, glassvegger og åpne løsninger. Det ønskes ambruk mellom elever, lærere og klasserom der fellesfunksjoner etableres i hjemmeområdene.

Utdanningsdirektoratet gir retningslinjer for fysisk læringsmiljø i skoler og barnehager. Det fysiske læringsmiljøet består av mange forskjellige faktorer; inneklima og innemiljø, universell utforming, arealer for SFO, barnehage og skolestruktur, planlegging av byggeprosjekter og utforming [14]. Ved planlegging av byggeprosjekter er det tre tiltak som anbefales av sentrale myndigheter for nye skoler [15]. De skal ha toveis talevarslingsanlegg, det anbefales utstrakt bruk av glassfelt i innvendige vegger og det skal alltid være to rømningsveier fra klasserom. Vindu kan være rømningsvei. For utformingen av skoleanlegg legges det vekt på at den skal ha gode tiltak mot mobbing, og tre hovedpunkter trekkes frem for å få til dette [16]:

- Unngå etablering av ”mobbesoner”
- Legg til rette for åpenhet, oversikt og tilstedeværelse. Transparens kan bidra til at uønsket adferd lettere oppdages.
- Fysisk miljø som fremmer trivsel og aktivitet

Det er stor variasjon i utformingen av dagens skolebygg, noe som fører til at utformingen ikke alltid vil passe inn i det som er preaksepterte løsninger. Det betyr at byggene må analyseres for å sikre at de oppfyller nødvendig sikkerhet. Trendene i utforming av skolebygg tyder på at byggene kan bli mer åpne, noe som kan medføre store brannceller og lange rømningsveier.

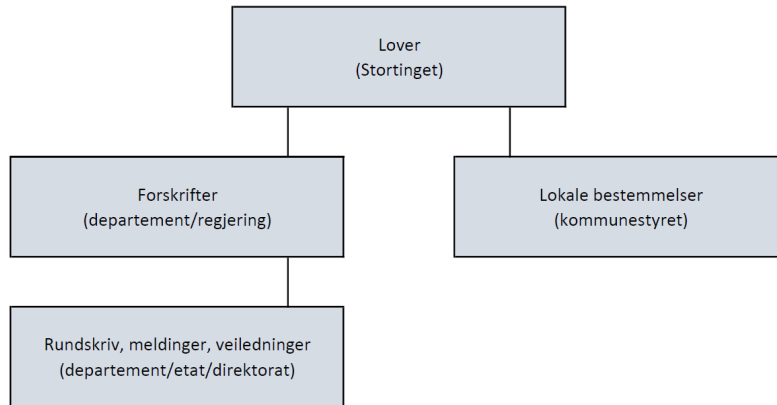
3.3 Materialbruk

I de siste årene har det vært økt fokus på global oppvarming og klimautfordringer. I følge en rapport om bygg- og anleggsbransjens klimagassutslipp utarbeidet av Asplan Viak på oppdrag for Byggenæringens Landsforening, utgjorde klimagassutslipp som kan knyttes til denne næringen 15,3 % av det totale norske klimagassutslippet [17]. En stor andel er knyttet til produksjon av byggevarer, hele 24 % av de norske utslippene knyttet til bygg- og anlegg. Byggsektoren står for innkjøp av 40 % av materialressursene [18]. Denne sektoren kan utgjøre en viktig forskjell i det grønne skiftet, og har stor betydning for om Norges klimamål skal kunne nås. For å minke utslipp av klimagasser er det derfor relevant å vurdere utslipp knyttet til ulike materialer. Context AS og Grønn Byggallianse har utviklet en grønn materialguide [19], som sammenligner klimagassutslipp, ressursgrunnlag, avhendig, kjemikalieinnhold og inneklima til ulike typer byggeprodukter. Resultatene indikerer at det er knyttet mindre klimagassutslipp til produkter av tre, enn for stål og betong. Det er flere andre artikler som konkluderer med at bruk av trematerialer generelt gir en

lavere klimapåvirkning når det sammenlignes med andre byggematerialer [20, 21, 22, 23].

Tidligere har tre kun blitt brukt i mindre konstruksjoner, men det har de senere årene blitt mer vanlig å bruke tre i større og tyngre konstruksjoner. Også flere skoleanlegg i Norge har blitt bygget i trevirke. Noen eksempler er Nardo skole og barnehage i Trondheim som er bygget i limtre og massivtre [24], Nydalen videregående skole i Oslo som er bygget med limtre [25] og Ulsmåg barneskole i Bergen som er bygget i massivtre. På et seminar om skolebygg i tre i forbindelse med Kursdagene i Trondheim arrangert av Tekna sa kursleder Thomas Orskhaug ”Vi mener at å bruke tre som byggemateriale er spesielt godt egnet i skolebygg, både i bærekonstruksjoner og i fasader både inne og ute” [26]. At større bygg blir oppført i massivtre og limtre i fremtiden er det ingen tvil om, også når det gjelder skolebygg.

3.4 Regelverk



Figur 3.8: Oversikt over lovsystemet, gjengitt fra [3]

Regelverket i Norge består av et hierarki med lover, forskrifter og standarder som illustrert i figur 3.8 [3]. Øverst i hierarkiet er lover, den mest sentrale loven for byggenæringen er Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven). Loven er gyldig for hele landet. Under loven er det laget mer detaljerte regler iform av en forskrift. Byggteknisk forskrift (TEK17) inneholder detaljerte regler og retningslinjer til hvordan nye byggverk skal utføres. Forskriften gir funksjonsbaserte krav. Veiledning til teknisk forskrift angir ytelsesnivåer og preaksepterte ytelser som tilfredsstillere kravene i byggteknisk forskrift.

I tillegg til dette lovsystemet er det standarder som byggteknisk forskrift og veileder har en rekke henvisninger til. Det kan kreves at metoder, utførelse og materialer følger Norsk Standard. I byggteknisk forskrift henvises det også til anvisninger i Byggforskserien. Der gis en rekke råd og anbefalinger til tekniske løsninger, og disse er forhåndsgodkjente og kan brukes som dokumentasjon i byggesaker.

3.4.1 Byggteknisk forskrift

Byggtekniske forskrifter har utviklet seg med ny teknologi som har medført økte muligheter til å kunne oppdage og begrense konsekvenser av brann i byggverk. Kravene til brannsikkerhet har dermed økt [27], og nye forskrifter har stilt stadig strengere krav til brannsikkerhet i byggverk. Fra og med byggeforskriftene som ble utgitt i 1997 har forskriftskravene blitt formulert som funksjonskrav [28].

Forskrift for tekniske krav til byggverk (TEK17) setter funksjonskrav som et hvert byggverk som settes opp i Norge må oppfylle. At det er en funksjonsbasert forskrift, betyr at den setter krav til hvilken funksjon en løsning skal oppfylle, og ikke krav til en spesifisert ytelse som løsningen skal ha. Dokumentasjon av oppfyllelse av funksjonskravene som angir det allmenne minimumskravet til byggverk, kan gjøres enten ved bruk av preaksepterte ytelser eller ved analyse som viser at ytelsene i det spesifikke bygget oppfyller kravene [5].

Veiledning til teknisk forskrift gir en tolkning av funksjonskravene omsatt til praktiske løsninger. Byggteknisk forskrift beskriver krav som må følges, mens ytelser i veiledningen kan følges. Ved forenklet prosjektering følges de preaksepterte ytelsene, og da anses funksjonskravene i forskriften å være tilfredsstilt [29] uten ytterligere dokumentasjon. Ved analytisk prosjektering verifiseres de valgte løsningene gjennom fraviksanalyse som dokumenterer at funksjonskrav er oppfylt. Forenklet prosjektering er enkelt og krever lite forkunnskaper i forhold til analytisk prosjektering, men det fører også til lite fleksibilitet. Preaksepterte ytelser gir ikke alltid de mest optimale løsningene når det gjelder sikkerhet og kostnad. Ofte brukes en blandingsmodell der preaksepterte ytelser i hovedsak følges, men med noen fravik. De aktuelle fravikene dokumenteres ved analyse.

3.4.2 Forskrift om brannforebygging

Forskrift om brannforebygging skal bidra til å redusere sannsynlighet for at brann oppstår og begrense konsekvensene brann kan ha for liv, helse, miljø og materielle verdier [30]. Forskriften setter blant annet krav til hvordan brukere og eiere av byggverk skal forebygge brann.

Brukeren av et byggverk forplikter seg til å iverksette planer og tiltak for å redusere risikoen for brann i byggverket. Dersom det er forhold som endrer risikoen og vesentlig reduserer brannsikkerheten, skal det gjennomføres ekstraordinære tiltak. Ved aktiviteter utover vanlig drift, kan det forekomme hendelser der brannsikkerheten reduseres. Skolebygg brukes i større grad i dag enn tidligere til andre arrangementer, og kan ofte fungere som et samlingspunkt i lokalsamfunnet. Ved større arrangementer kan brannsikkerheten bli påvirket, og sikkerhet for personer endres. I slike tilfeller kan det være behov for å utføre rømningsanalyser for å vurdere den nødvendige rømningstiden.

3.4.3 Dokumentasjon av oppfylt krav

Dersom konseptet har fravik fra det som blir angitt av veiledningen til TEK17, er det nødvendig å gjøre analyser for å dokumentere at funksjonskravene er oppfylt. Det betyr at det må dokumenteres at personsikkerhet, brannvesenets sikkerhet og tilgjengelighet og sikkerhet for materielle verdier er på et tilfredsstillende nivå [31]. Avhengig av størrelse, antall og type fravik kan analysen utføres med ulike metoder.

Ved mindre og enkle fravik kan det utføres en konsekvensanalyse. Fravik kan kompenseres for ved å gjøre tiltak som påvirker sikkerheten i positiv retning. En konsekvensanalyse går ut på å vurdere hvilke konsekvenser fravikene har, og hvilken effekt de kompenserende tiltakene har på sikkerhet for personer, materiell og brannmannskaper, samt brannmannskapets tilgjengelighet for redning og slokking [31]. Dette kan gjøres ved hjelp av kvalitative vurderinger og det er mulig å understøtte dette med beregninger. Målet er å verifisere at de kompenserende tiltakene fører til at bygget har minst like høy sikkerhet som funksjonskravene i TEK17 tilsier. Et fravik alene kan være lite og ikke ha stor betydning for sikkerheten, men ved flere små fravik kan de sammen ha stor påvirkning. Det er derfor viktig at det gjøres en totalvurdering av alle fravik og tiltak.

Kompenserende tiltak kan være både passive og aktive. Aktive tiltak blir aktivert når det oppstår en brann, enten automatisk eller manuelt. Eksempler på aktive tiltak er automatisk brannalarmanlegg og slokkeanlegg, automatisk lukking av dører og manuelle brannmeldere. Passive tiltak er innebygd i bygningskroppen, og det er ikke behov for at de aktiveres. Passive tiltak skal ivareta tilfredsstillende sikkerhet for konstruksjonens bæreevne og stabilitet, antennelse og brannutvikling og spredning av brann mellom byggverk. Eksempler på passive tiltak er brannseksjonering og brannisolering av bygningsdeler. I tillegg er det organisatoriske tiltak som kan påvirke brannsikkerheten. Dette er ikke en del av teknisk forskrift, men gis av Forskrift om brannforebygging [30]. Eksempler på organisatoriske tiltak er brannvernopplæring, brannøvelser og rutiner for tilsyn av installasjoner.

Ved større fravik er det krav til gjennomføring av kvantitativ analyse, enten ved hjelp av risikoanalyse eller komparativ analyse [31]. Risikoanalyse går ut på å identifisere mulige uønskede hendelser og konsekvenser og sannsynlighet knyttet til dem. Risiko skal vurderes mot definerte kriterier eller alternative konsepter. Ved komparativ analyse sammenlignes det aktuelle konseptet med en sammenlignbar referansebygning representerer en referanse for akseptabel risiko. Målet er å vurdere brannsikkerhetsnivået i bygget mot referansebygget, og byggverket som skal bygges må ha tilsvarende sikkerhet eller bedre. Ved komparativ analyse blir ikke risiko vurdert mot angitte risikoakseptkriterier, men risiko i analysebyggverket sammenlignes med risiko i et referansebyggverk for noen ulike brannscenarier [32]. NS 3901 angir flere brannscenarier som må vurderes i analysen. Ulike deterministiske analyseteknikker kan bli brukt ved komparativ metode. Dersom fravik fra preaksepterte ytelse påvirker rømningstiden, er det mulig å bruke rømningsanalyser. Rømningstider for referansebygningen og analysebygningen beregnes og sammenlignes. Den beregnede rømningstiden må være mindre enn absolutte kriterier og mindre enn for referansebygget.

3.4.4 Klassifisering av byggematerialer

Krav som settes til ytelsesnivået til bygningsdeler i byggt teknisk forskrift, er i mange tilfeller formulert som krav til klassifisering. Det skal derfor legges frem hvordan klassifiseringen er bygget opp og hva den betyr. Byggematerialer klassifiseres etter metode gitt i NS-EN 13501-1:2018. Klassifiseringen sier noe om brannmotstand til materialet eller bygningsdelen og materialets egenskaper ved brannpåvirkning.

Brannmotstanden beskriver hvor lenge en bygningsdel kan opprettholde sin funksjon ved brann. Funksjonene det settes ytelseskrav til med forkortelse som brukes i klassifisering er som følger [33]:

- R - Bæreevne

- E - Integritet
- I - Isolasjon
- M - Mekanisk motstand

Bæreevne R er et bygningselements evne til å motstå branneksponeering under spesifiserte mekaniske laster i en spesifisert tid uten at strukturell stabilitet minker [33].

Integritet E er et bygningselement med skillende funksjon sin evne til å motstå branneksponeering på en side, uten at brannen sprer seg til ueksponert side ved at flammer eller varme gasser trenger gjennom bygningselementet [33]. Flamme eller gasser kan føre til antennelse av enten eksponert overflate eller annet materiale i nærheten. Integritet testes ved at det ikke skal være sprekker over gitte dimensjoner, antennelse av bomullspad på ueksponert side og vedvarende flammer på ueksponert side.

Isolasjon I er et bygningselement med skillende funksjon sin evne til å motstå branneksponeering på en side uten at brannen sprer seg til ueksponert side på grunn av temperaturøkning [33]. Varmeledning skal være begrenset slik at verken overflaten eller annet materiale i nærheten på ueksponert side antenner. Isolasjonsevnen til bygningsdelen skal også beskytte personer i nærheten.

Mekanisk motstand M er evnen et bygningselement har til å motstå mekanisk påvirkning dersom en annen komponent kolliderer, og dette resulterer i at ekstra laster påføres bygningselementet [33]. Elementet skal motstå den mekaniske påvirkningen uten at det berører R-, E- og/eller I-ytelsen for å få klassifiseringen supplert med M.

Et krav til brannmotstand blir formulert med bokstaver etterfulgt av et tall. Bokstaven henviser til hvilke funksjoner bygningsdelen skal ivareta, og tallet beskriver tiden disse funksjonene skal ivaretas. For eksempel betyr REI 60 at bygningsdelen skal opprettholde tilfredsstillende bæreevne (R), integritet (E) og isolasjon (I) i 60 minutter standard brannpåkjenning etter ISO 834.

Brannpåvirkning beskriver hvordan bygningsdelen påvirker brannen, i hvilken grad produktet bidrar til brannutviklingen og hvor raskt produktet bidrar til videre brannforløp. Brannpåvirkningen til et materiale er en avgjørende faktor tidlig i brannforløpet, og påvirker muligheten for antenning, hastighet av brannspredning og tid til overtenning. Brannpåvirkningen til et materiale klassifiseres i tre ulike kategorier, påvirkning til utvikling av brannen, røykproduksjon og produksjon av brennende dråper.

Testprosedyren for klassifisering av byggevarers egenskaper ved brannpåvirkning er standardisert, og varmeavgivelsesraten (HRR) plottes mot tid. En indeks kalt FIGRA (Fire Growth Ratio) defineres som gjennomsnittelig stigningstall fra start av brann til maksimal varmeavgivelse er nådd [34]. FIGRA brukes for å klassifisere produkters brannpåvirkningsklasse. Lav FIGRA betyr et lavt stigningstall og treg brannutvikling, noe som indikerer at produktet bidrar lite til brannutviklingen. Høy FIGRA betyr høyt stigningstall og rask brannutvikling, det indikerer at produktet bidrar til rask utvikling av brannen.

Materialer blir delt inn i følgende klasser [35]:

- A1 - Ingen bidrag til brannen

- A2 - Ingen vesentlige bidrag til brannen
- B - Svært begrenset bidrag til brannen. $FIGRA_{0,2MJ} \leq 120 \text{ W/s}$ og $THR_{600s} \leq 7,5 \text{ MJ}$
- C - Begrenset bidrag til brannen. $FIGRA \leq 250 \text{ W/s}$ og $THR_{600s} \leq 15 \text{ MJ}$
- D - Akseptabelt bidrag til brannen. $FIGRA \leq 750 \text{ W/s}$
- E - Akseptabelt bidrag til brannen
- F - Oppfyller ikke klasse E

Det er egne klasser for kledninger, gulvbelegg og takbelegg.

Røykproduksjon handler om mengden røyk som produseres i en brann. Utgangspunktet for klassifiseringen er index som måler røykproduksjon, SMOGRA (Smoke Growth Rate), og total røykproduksjon (TSP). Det er tre ulike klasser, s1, s2 og s3. s1 betyr at materialet gir lite røykproduksjon og krav som må oppfylles er $SMOGRA \leq 30 \text{ m}^2/\text{s}^2$ og $TSP_{600s} \leq 50 \text{ m}^2$. For å bli klassifisert med s2 må produktet oppfylle $SMOGRA \leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ og $TSP_{600s} \leq 200 \text{ m}^2$. s3 betyr ikke testet eller oppfyller ikke kravene for s1 og s2, ingen begrensning i produksjon av røyk [35].

Brennende dråper sier noe om hvor mye produksjon av brennende dråper materialet har ved brannpåvirkning. Brennende dråper er smeltede dråper som kan avgis fra et brennende element, og dråpen fortsetter å brenne på stedet den lander. Produkter klassifiseres ved at det registreres hvor mange brennende dråper som blir avgitt de første 600 sekundene av en SBI-test. SBI står for "Single Burning Item". Det deles inn i klassene d0, d1 og d2, der d0 betyr ingen produksjon av brennende dråper, d1 betyr at det er noe produksjon av brennende dråper, mens d2 betyr at det er ubegrenset produksjon av brennende dråper.

Ubehandlet treverk oppnår vanligvis D-s2,d0, mens brannimpregnert trevirke kan oppfylle opp mot B-s1,d0. Fuktpåvirkning og mekanisk slitasje kan ha kan på brannklassen ved aldring ved å føre til forandringer i brannbeskyttelsen [36].

3.4.5 Aktuelle krav i TEK17 for skolebygg

I denne oppgaven er fokuset rettet mot skolebygninger. Det er dermed nødvendig å gå gjennom byggteknisk forskrift og identifisere krav som gjelder for slike byggverk. Kapittel 11 i forskriften handler om sikkerhet ved brann.

Byggverk plasseres i risikoklasser utfra trusselen en brann kan innebære for skade på liv og helse. Byggverk kan plasseres i 6 ulike risikoklasser på bakgrunn av tabell 3.1 hentet fra § 11-2 i TEK17. Veiledningen gir også eksempler på ulike typer av virksomheter og tilhørende risikoklasse. Skolebygninger er i risikoklasse 3. Det er også vanlig at deler av skolebygg plasseres i risikoklasse 5, for eksempel store forsamlingslokaler, flerbrukshaller eller atrier. Risikoklassen legges til grunn for prosjekteringen og utførelsen, for å sikre rømning og redning ved brann.

Byggverk plasseres i brannklasser ut fra konsekvensen en brann kan ha for skade på liv, helse, samfunnsmessige interesser og miljøet. Det er 4 ulike brannklasser, der brannklasse 1 medfører liten konsekvens av brann og 4 medfører særlig stor konsekvens. Bygg plasseres i brannklasser på bakgrunn av risikoklasse og antall etasjer, og for et skolebygg i risikoklasse 3 vil brannklasse være

Tabell 3.1: Risikoklasser, gjengitt fra TEK17 [5]

Risikoklasse	Byggverk kun beregnet for sporadisk personopphold	Personer i byggverket kjenner rømningsforhold, herunder rømningsveier, og kan bringe seg selv i sikkerhet	Byggverk beregnet for overnatting	Forutsatt bruk av byggverk medfører liten brannfare
1	Ja	Ja	Nei	Ja
2	Ja/Nei	Ja	Nei	Nei
3	Nei	Ja	Nei	Ja
4	Nei	Ja	Ja	Ja
5	Nei	Nei	Nei	Ja
6	Nei	Nei	Ja	Ja

som gitt i tabell 3.2 [5]. Hvilken brannklasse et bygg har, skal legges til grunn for prosjekteringen og utførelsen for å sikre byggverkets bæreevne.

Tabell 3.2: Brannklasse for skolebygg

Etasjer	Brannklasse
1-2	1
3-4	2
5 eller fler	3

Sikkerhet med hensyn til bæreevne og stabilitet for et byggverk skal være tilfredsstillende, slik at bærende konstruksjoner ikke kollapser under en forventet brannpåkjenning. Et bygg skal bevare stabilitet i nødvendig tid for rømning, redning og slokking. For å oppnå dette angir veiledningen brannmotstand for ulike bygningsdeler avhengig av brannklasse, som gjengitt i tabell 3.3 [5].

Tabell 3.3: Krav til bæreevne og stabilitet, gjengitt fra TEK17 § 11-4 Tabell 1 [5]

Bygningsdel	BKL1	BKL2	BKL3
Bærende hovedsystem	R 30	R 60	R 90 A2-s1,d0
Sekundære, bærende bygningsdeler, etasjeskillere og takkonstruksjoner	R 30	R 60	R 60 A2-s1,d0
Trappeløp	-	R 30	R 30 A2-s1,d0
Utvendig trappeløp, beskyttet mot flammepåvirkning og strålingsvarme	-	R30 eller A2-s1,d0	A2-s1,d0

Det settes krav til egenskapene til materialer og produkter for at de ikke skal gi uakseptable bidrag til brannutviklingen, og det skal legges vekt på risikoen for antennelse, hastigheten av varmeavgivelse, røykproduksjon, utvikling av brennende dråper og tid til overtenning [5]. Dette er for å sikre at bygget skal kunne tømmes raskt uten at det er fare for at menneskene som oppholder seg i bygget blir skadet. Produkter og overflater påvirker det tidlige brannforløpet og brann- og røykspredningen

tidlig i et brannforløp, som gjerne er da rømning fra byggverket foregår. Spesielt viktig er det å hindre utvikling av brann og røyk i rømningsveier, for å sørge for sikre rømningsforhold. Veiledningen til byggteknisk forskrift oppgir ytelseskrav for ulike overflater og kledninger avhengig av brannklasse, som gjengitt i tabell 3.4 [5].

Tabell 3.4: Krav til overflater og kledninger. § 11-9 Tabell 1A [5]

Bygningsdel	BKL1	BKL2	BKL3
Overflater i brannceller som ikke er rømningsvei			
Vegger og i himling/tak (<200 m ²)	D-s2,d0	D-s2,d0	D-s2,d0
Vegger og i himling/tak (>200 m ²)	D-s2,d0	B-s1,d0	B-s1,d0
Sjakter og hulrom	B-s1,d0	B-s1,d0	B-s1,d0
Overflater i brannceller som er rømningsvei			
Vegger og i himling/tak	B-s1,d0	B-s1,d0	B-s1,d0
Gulv	D _{fl} -s1	D _{fl} -s1	D _{fl} -s1
Utvendige overflater			
Overflater på ytterkledning	D-s3,d0	B-s3,d0	B-s3,d0
Kledninger (med krav K210)			
Ikke rømningsvei (<200 m ²)	D-s2,d0	D-s2,d0	D-s2,d0
Ikke rømningsvei(>200 m ²)	D-s2,d0	B-s1,d0	B-s1,d0
Rømningsvei	B-s1,d0	A2-s1,d0	A2-s1,d0
Sjakter og hulrom	B-s1,d0	A2-s1,d0	A2-s1,d0

TEK17 setter tekniske krav som et byggverk minimum må tilfredsstillende for å kunne oppføres lovlig i Norge [5]. Første kravet i kapittelet som handler om sikkerhet for brann sier noe om hvordan bygg skal prosjekteres for å sikre nødvendig sikkerhet ved brann:

- (1) 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 (TEK17 § 11-1 (1)) [37].

Det er altså tre viktige punkter med hensyn til beskyttelse ved brann, og et av dem er sikkerhet for personer som oppholder seg i eller på byggverket. Å sørge for sikker evakuering er derfor en viktig del av prosjekteringen av byggverk. Det en rekke krav i forskriften som skal følges for å sikre gode rømningsforhold. § 11-12 Tiltak for å påvirke rømnings og redningstider, § 11-13 Utgang fra branncelle og § 11-14 Rømningsvei er sentrale i utforming av rømningsforhold. Tabell 3.5 er et sammendrag av noen sentrale krav som settes til skolebygg i risikoklasse 3.

Tabell 3.5: Krav i TEK17 og veiledning til forskriften.

Paragraf	Egenskap	Krav/kommentar
§ 11-12	Krav til ledesystem	Ja, dersom store undervisningsbaser. Dersom flukt- og rømningsveier er lange og har retningsendringer eller skal benyttes av mange personer.
§ 11-12	Brannalarmanlegg	Må ha brannalarmanlegg. Brannalarmkategori 1 dersom 1 etasje, ellers brannalarmkategori 2.
§ 11-12	Krav til talevarsling	Nei, men anbefales av utdanningsdirektoratet
§ 11-13	Avstand til utgang fra branncelle	Maksimalt 30 m
§ 11-14	Fri bredde i rømningsvei	Minimum 1,16 m og 1 cm per person
§ 11-14	Lengde i rømningsvei	Maksimalt 30 m Maksimalt 15 m der det er samennfallende rømningsretning
	Krav til sprinkleranlegg	Nei. Med mindre spesifikk brannenergi og areal tilsier det ut fra § 11-7 Tabell 1. Automatisk sprinkleranlegg kan installeres for å velge reduserte preaksepterte ytelser på andre områder der det fremgår i veiledningen.

3.5 Treverk

Tre er per definisjon et brennbart materiale, men oppførselen er forutsigbar og det er godt dokumentert kunnskap om hvordan tre brenner [38]. I dette kapitlet skal egenskapene til tre, hvordan tre brenner og hvordan egenskapene til treverk blir påvirket av økte temperaturer beskrives. Dette er nyttig kunnskap for å forstå hvordan en brann vil utvikle seg ved bruk av treverk i bygninger. Videre nevnes noen funn fra litteraturen om hvordan bruk av tre i bygningsdeler påvirker brannutviklingen.

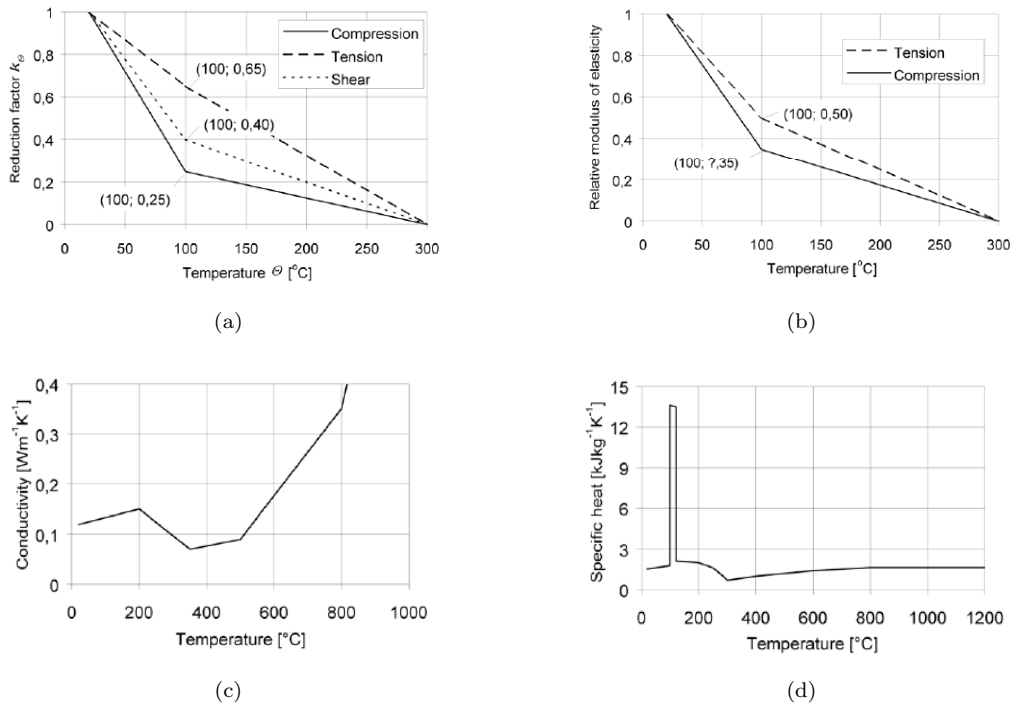
3.5.1 Egenskaper ved brann

Trevirke er et organisk nedbrytbart materiale som består av lignin, cellulose, hemicellulose, og det er bygget opp av hule celler som hovedsakelig er orientert i treets lengderetning [39]. Friquin [40] har gitt en beskrivelse av hvordan forbrenning av tre skjer. Tre brenner ikke direkte, men når det er eksponert for høye varmekupper gjennomgår det pyrolyse. Pyrolyse er en spalting av sammensatte stoffer til nye forbindelser ved bruk av varme og uten tilgang på oksygen. Komponentene i treverket brytes ned til en blanding av flyktige stoffer, tjære og sterkt reaktivt karbonholdig kull. Når temperaturen i treverket stiger over 100°C begynner vannet som er i cellene å fordampe fra overflaten, og ved 160-180°C starter dekomponering av lignin, cellulose og hemicellulose, pyrolyse begynner.

Pyrolyserate øker med temperatur. Når temperaturen stiger til 225-275°C kan gassene som dannes ved pyrolyse antennes av en pilotflamme. Ved 300 °C begynner den fysiske strukturen til trevirket å brytes ned, og kull dannes. Det vil dannes et kullag i ytterkant av materialet. Oksidasjon av de flyktige gassene resulterer i flammende forbrenning, mens oksidasjon av kull resulterer i glødende og ulmende forbrenning.

Laget av kull som dannes på den eksponerte overflaten har en isolerende effekt, og beskytter dermed i noen grad trevirket som ligger bak. Temperaturen i bunnen av kullaget er mellom 280 og 300°C. Hastigheten for dannelse av kull, forkullingsraten, er tilnærmet konstant etter at de første millimeterene med kull har blitt dannet. Forkullingsraten blir påvirket av densitet til treverket. Tykkelse, fuktinnhold i treverket, oksygenkonsentrasjon, termisk påvirkning fra brannen, kjemisk sammensetning av trevirket og geometri kan også ha innflytelse på forkullingsraten. Eurokode 5 gir metode for bestemmelse av forkullingsraten.

Kullaget er porøst og har tilnærmet ingen styrke. Treverket som er beskyttet bak kullaget beholder styrke fordi temperaturen ikke øker like fort der. Men ved temperaturøkning vil materialegenskapene til treverk endres. Styrke, stivhet, spesifikk varmekapasitet og konduktivitet endres ved økende temperatur. *Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering* gir designkurver for bestemmelse av materialegenskapene ved økte temperaturer. Som en ser fra figur 3.9a, 3.9b og 3.9d skjer det en endring ved 100°C. At spesifikk varmekapasitet øker drastisk skyldes at fuktinnholdet i treverket går gjennom en faseendring.



Figur 3.9: Materialelegenskapene relativ styrke parallelt med fibre (a), relativ elastisitetsmodul parallelt med fibre (b), termisk konduktivitet (c) og spesifikk varmekapasitet (d) varier med temperatur. Hentet fra [4]

3.5.2 Påvirkning på brannutvikling

Rapporten fokuserer på rømningssikkerhet, og siden det er den tidlige utviklingen av brannen som har mest å si for personsikkerheten, har det blitt fokusert på hvordan treverket blir påvirket ved brannpåkjenning og hvordan det bidrar til brannutvikling før overtenning. Generelt er personsikkerhet påvirket av brannen før overtenning, mens sikkerhet for materielle verdier blir mer påvirket av brannen etter overtenning [38]. Brann etter overtenning kan være farlig for personer andre steder i bygningen enn der brannen starter eller i andre bygninger, men rømningssikkerheten vil i hovedsak påvirkes av den tidlige utviklingen av brannen. Dersom forholdene har utviklet seg så langt at brannen har nådd overtenning, har kritiske forhold med hensyn til giftige gasser, CO-konsentrasjon og sikt blitt nådd, slik at det ikke lenger regnes som trygt å oppholde seg i bygningen.

Buchanan har i en artikkel oppsummert ytelsen til trekonstruksjoner ved brann [38]. Det legges vekt på at det er et skille mellom før og etter overtenning og mellom lette og tunge trekonstruksjoner. I den tidlige utviklingen av brannen, før overtenning, er det overflater og kledninger som påvirker brannen. De strukturelle, bærende elementene av konstruksjonen har lite å si for utviklingen. Brennbar kledning på vegger og tak kan bidra til rask brannspredning i rommet. Egenskaper av interesse for påvirkning av den tidlige brannutviklingen er antennelighet, varmeavgivelse, flammespredning og mengde røyk som produseres. Generelt er ubehandlet tre bedre enn plast og syntetiske materialer, men mindre sikkert enn materialer som for eksempel gips. I et forsøk gjort i rom med varierende overflatematerialer og med en brenner på 100 kW som så ble økt til 300 kW ble observasjoner av overtenning gjort. Med kryssfinerplater som overflatemateriale skjedde overtenning etter 3-8 minutter, mens brannhemmende polyuretanskum nådde overtenning etter 10 min og etter overtenning skjedde etter 15 min for brannbehandlet kryssfiner. Med gipsplater på overflatene nådde brannen aldri overtenning. Treverkets egenskaper kan forbedres ved bruk av maling, andre belegg eller trykkbehandling. Buchanan konkluderte med at store arealer med overflater av tre kan utgjøre en brannfare, fordi de kan gi bidrag til rask spredning av flammer og brannvekst til overtenning.

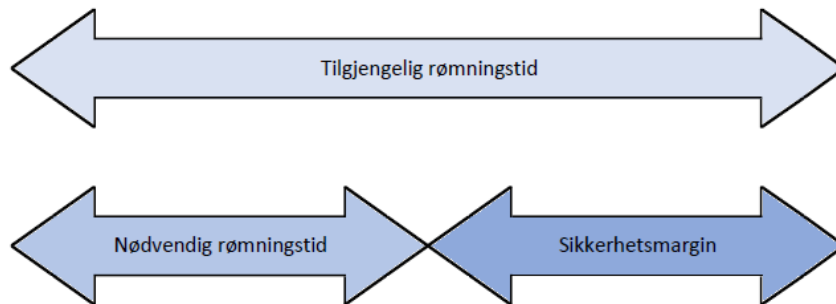
Trekonstruksjoner kan bli designet til å ha gode brannmotstandsegenskaper for å kontrollere brannspredning og motstå strukturell kollaps i fullt utviklede branner. Lette konstruksjoner må dekkes med brannsikre platematerialer. Tunge trekonstruksjoner kan designes slik at de har god brannmotstand på grunn av forutsigbar forkullingsrate og styrke av gjenværende reduserte tverrsnitt [38].

Hadden et al. [41] utførte en rekke eksperimenter for å undersøke innvirkningen brennbare krysslaminerte trekledninger har på brannens utvikling. Det ble målt varmeavgivelsesrater og temperaturer, og de vurderte hva som forårsaket autoslukking. Det ble observert at varmeavgivelsesraten var høyere enn antatt ved bruk av eksisterende metoder for beregning, der brensel er plassert på gulv. Eksponerte treoverflater hadde liten innflytelse på den maksimale romtemperaturen. Autoslukking ble observert i rom som hadde to overflater med eksponert treverk, men ikke i noen av forsøkene med tre overflater av eksponert tre.

Nixhinp og Kagiya [42] har arbeidet med å utvikle en flerlagssonemodell som inkluderer flammespredning over kledninger, for simulasjon av brannutvikling i rom med trekledninger. I eksperimenter er det observert at varmeavgivelsesraten i store celler med trekledninger økte saktere i

forhold til økningen i små celler med trekledning. Varmeavgivelsesraten øker også sakter i celler med treverk på vegger enn i celler der det er trekledning på både vegger og tak.

3.6 Rømning



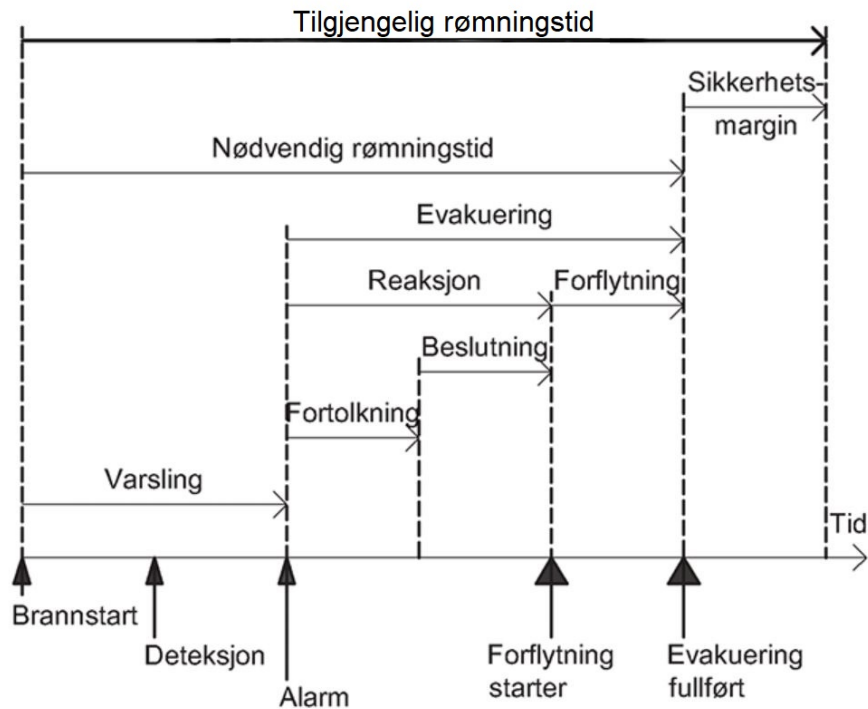
Figur 3.10: Sammenhengen mellom tilgjengelig rømningstid, nødvendig rømningstid og sikkerhetsmargin, gjengitt fra TEK17 [5]

Oppgaven skal vurdere rømningsforhold ved barneskoler, og derfor skal konsept rundt rømning fra byggverk, hvordan tilstrekkelig sikkerhet for personer vurderes og faktorer som påvirker rømning gjennomgås.

Byggteknisk forskrift setter krav til rømningstid. Kravet som settes i byggteknisk forskrift er relatert til tid, men som sett i kapittel 3.4.5 har veiledningen anbefalinger om bredder og lengder i rømningsveier for å sikre gode rømningsforhold. Den tilgjengelige rømningstiden må være større enn den nødvendige rømningstiden, for det må legges til en tilstrekkelig sikkerhetsmargin slik som vist i figur 3.10 [5]. Tilgjengelig rømningstid som forkortets til ASET (Available Safe Egress time), er tiden fra en brann starter til det ikke lenger er ansett som trygt å evakuere bygningen [43]. Nødvendig rømningstid som forkortets til RSET (Required Safe Egress Time), er tiden det tar å evakuere en bygning, altså tiden fra en brann starter til alle personene som befant seg i bygningen har forflyttet seg til et sikkert sted.

Videre kan rømning deles opp i ulike faser, for å beskrive de ulike handlingene som blir utført, og hvordan rømningstiden blir påvirket av ulike faktorer i mer detalj. For å kunne sikre at byggverket har nødvendig sikkerhet, er det nødvendig å vite hvordan disse faktorene har innvirkning på hverandre, på de ulike delene av rømningen og den totale rømningstiden. Figur 3.11 er hentet fra SINTEF Byggforsks byggedetaljer *520.385 Nødvendig rømningstid ved brann* [6] og viser hvordan evakuering kan deles inn i ulike faser.

Den første fasen etter at en brann har startet er varslingsfasen. Den består av både deteksjon og varsling som er henholdsvis tiden fra antennelse til brannen detekteres, og tiden fra deteksjon til okkupantene blir informert om situasjonen, for eksempel ved at en alarm går. Deretter kommer reaksjonsfasen. Da skal folk både tolke situasjonen og ta en beslutning om hvilke handlinger de skal foreta seg. Reaksjonstiden blir definert som tiden det tar fra en alarm går til den første bevegelsen



Figur 3.11: Sammenheng mellom ulike begreper tilknyttet tidsforløp, gjengitt fra [6]

i evakueringen inntreffer. Den siste fasen av evakueringen er forflytningsfasen, og består av at okkupasntene forflytter seg fra der de oppholdt seg til et sikkert sted.

Ofte starter ikke evakueringen med en gang en alarm går. Først er folk nødt til å tolke signalene og informasjonen gitt til dem, og de er nødt til å ta en beslutning om hva man skal gjøre for å komme seg i sikkerhet. Forskere har kommet fram til at typiske handlingsmønstre ved brannalarm kan deles inn i følgende handlinger: Varsle andre, lete etter faren/brannen, prøve å slukke brannen, ringe til brannvesen eller be andre om å ringe, kle på seg, finne familie, samle sammen personlige ting, lukke dør til område som brenner, skru av elektroniske enheter, gjøre ingenting, prøve å evakuere og evakuere [44]. Typisk utfører folk noen forberedende aktiviteter før de tar beslutningen om å starte evakuering. Deretter skal okkupasntene bevege seg fra opprinnelig oppholdssted til et sikkert sted, noe som innebærer å bevege seg både horisontalt og vertikalt i trapper, og ta avgjørelser underveis om hvor den mest hensiktsmessige evakueringsruten er.

For beregning av nødvendig rømningstid vil varslingsstid og reaksjonstid valgt på bakgrunn av vurdering, bruk av referanser eller ved beregning [6]. Forflytningstid kan beregnes med håndberegninger, eller ved bruk av simuleringsverktøy. Varslingsstiden kan variere mye, og påvirkes av blant annet brannforløpet og type deteksjon og dekningsområde til brannalarm. Varslingsstid må vurderes for hvert scenario i en beregning av nødvendig rømningstid. Reaksjonstiden er i stor grad avhengig av personer og situasjon. Byggforsk [6] gir forslag til reaksjonstider for ulike virksomheter, for skoler anbefales en reaksjonstid på 1 minutt dersom personer ser brannen. Men reaksjonstiden er varierende i forhold til hvilke alarmsystem som brukes og andre forhold som presenteres i mer detalj i

kapittel 3.6.1.

Sikkerhetsmarginen er differansen mellom ASET og RSET. Det er usikkerheter knyttet til alle parametre som inngår i beregning av både nødvendig og tilgjengelig rømningstid. Usikkerhetene i beregningene skal legges til grunn ved vurdering av hvilken sikkerhetsmargin som er nødvendig for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet [5]. Det er ingen konkrete minimumskrav til sikkerhetsmarginen, det må vurderes i hvert tilfelle [45]. Sikkerhetsmarginen skal være positiv, også dersom minst ett tiltak eller forutsetning lagt inn i beregning av rømningstider feiler.

I en skolebygning er det flere forhold som kan ha en påvirkning på organiseringen av evakuering. Situasjonen personene befinner seg i kan også ha innvirkning på hvordan de reagerer og oppfører seg i en nødsituasjon. I en barneskole er det i tillegg mange barn samlet på et sted, og barn kan ha en annen oppførsel enn voksne. Det skal derfor videre vurderes hvordan ulike faktorer i en skole kan påvirke den totale rømningstiden. Både forhold ved organiseringen eller miljøet og konsekvens av at det er mange barn samlet på et sted, må vurderes

3.6.1 Karakteristikk ved bevegelse som påvirker rømningstid

Hastighet

Tiden det tar å forflytte seg fra oppholdssted til et sikkert sted bestemmes av ganghastigheten og distansen på rømningsruten. Det er denne tiden som utgjør forflytningsfasen av evakueringen, og ganghastigheten har derfor klar innvirkning på den totale nødvendige rømningstiden. Det har blitt utført flere studier på fotgjengeres bevegelse, men i følge Thompson et al. [7] er designkurver for hastighet som blir brukt i dag, i hovedsak blitt konstruert på bakgrunn av data fra 50-70-tallet. Data fra denne perioden er i hovedsak basert på friske, sunne voksne mennesker. 1,19 m/s har blitt foreslått av Nelson og Mowrer [46] og 1,25 m/s av Proulx [47] for å representere horisontal ganghastighet til voksne mennesker. Forskning viser også at bevegelseshastighet varierer med alder, og derfor vil ikke disse dataene representere befolkningen som helhet. Ifølge Thompson et al. [7] viser ulike rapporter at eldre mennesker (over 65 år) har en ganghastighet 20-25 % lavere enn voksne mellom 18 og 40 år, og at ganghastigheten i trapper kan være så lav som 50 % av hastigheten til friske voksne. Ifølge litteraturen beveger også barn seg saktere enn friske voksne mennesker. En studie på barns bevegelseshastigheter både horisontalt og i trapper i aldersgrupper 0-2 og 3-6 år utført av Larusdottir and Dederichs [48] viste at ganghastigheten øker med alder. Det stemmer med Hamilton et al. [9] sine studier på evakuering av barneskoler i Irland, som konkluderte med at hastigheten var påvirket av alder og økte med alder. Tabell 3.6 oppsummerer funn fra studier på ganghastighet blant barn, og viser tydelig at hastigheten til barn generelt er lavere enn verdiene som er satt for voksne.

Tabell 3.6: Data fra tidligere studier - horisontal bevegelseshastighet

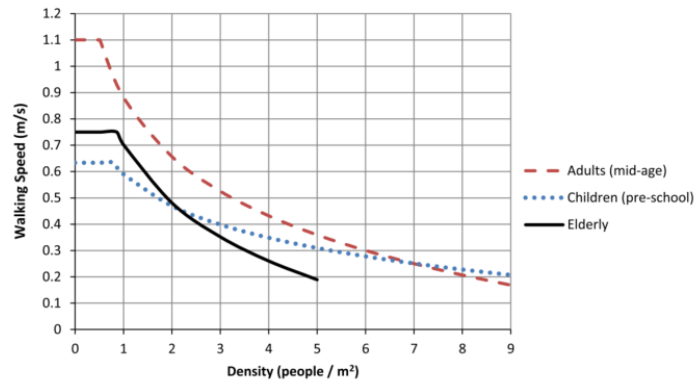
Studie	Alder	Gjennomsnittlig hastighet (m/s)	Kommentar
Ono et al. [49]	6-14	0,20 - 3,75	Hastighet varierte med alder
Kholshchevnikov et al. [50]	5-7	0,83	Densitet: 4-5 personer/m ²
Lárusdóttir og Dederichs [48]	3-6	0,84 ±0,25	
Najmanová [51]	5-6	0,58	Min - max / madian / standartavvik: 0,35 - 1,35 / 0,49 / 0,2
		0,57	Min - max / median / standartavvik: 0,25 - 1,18 / 0,57 / 0,24
Hamilton [52]	4-12	0,99	Min - max / madian / standartavvik: 0,25 - 2,28 / 0,99 / 0,33
Cuesta og Gwynne [53]	6-12	1,3	Fri gange
		1,5	Gå på linje
		1,2	Gå i gruppe

Hastigheten vil ikke være jevn gjennom hele forflytningen, den vil variere gjennom ulike komponenter av rømningsveien. I kapittel 64 av *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* har de håndtert dette ved å presentere data for bevegelseshastigheter i ulike kategorier. Det deles inn i bevegelse horisontalt, i trapper, gjennom utganger, i rulletrapper, på ramper og i situasjoner med røyk [43]. Generelt er hastigheten høyere horisontalt enn i trapper og på ramper. Også for hastighet i trapper viser målinger at barn beveger seg tregere enn voksne, og her kan forskjellen være enda større. Najmanova [51] viser til at det kan være fysiske grunner til at barn beveger seg saktere, det at de er mindre gjør det fysisk vanskeligere å bevege seg i trapper, og mindre barn går oftere slik at begge bena plasseres på hvert trappetrinn. Studier av Lárusdóttir og Dederichs [48] og [51] viste at ganghastigheten var lavere i ukjente trapper enn i trapper barna hadde god kjennskap til. Tabell 3.7 oppsummerer noen funn fra litteraturen om ganghastigheter til barn i bevegelse ned trapper.

Tabell 3.7: Data fra tidligere studier - bevegelseshastighet i trapp

Studie	Alder	Gjennomsnittlig hastighet (m/s)	Kommentar
Ono et al. [49]	6-14	0,99	min - max: 0,11 - 2,07
Kholshchevnikov [50]	5-7	0,68	
Lárusdóttir og Dederichs [54]	9-15	0,69-0,81	Barneskoler
Lárusdóttir og Dederichs [48]	3-6	0,58 ±0,31 0,38 ±0,07 0,13 ±0,06	Barnehager
Capote et al. [55]	8-12	0,87 1,06	min - max / standardavvik: 0,29 - 1,39 / 0,29 min - max / standardavvik: 0,58 - 1,22 / 0,17
Cuesta og Gwynne [53]	6-12	0,94	
Hamilton [9]	4-12	0,94 0,89	Elevledet gange. Min - max / median / standardavvik: 0,19 - 2,03 / 0,93 / 0,23 Lærerledet gange: Min - maks / median / standardavvik: 0,37 - 1,57 / 0,86 / 0,23
Najmanová [51]	5-6	0,53 0,59	Min - maks / standardavvik: 0,40 - 0,71 / 0,09 Min - maks / standardavvik: 0,38 - 0,87 / 0,09

Ved evakuering er det mange personer som skal bevege seg sammen mot samme mål, dette fører til at det ikke er hastighet til en enkelt person som er avgjørende, men hvordan hele gruppen beveger seg samlet. Hastigheten til en gruppe med mennesker avhenger blant annet av densiteten, altså antall personer per kvadratmeter. Ved økt densitet vil ganghastigheten synke. Dersom densiteten er høyere enn 3-4 personer/m² vil det være kontakt mellom personene mens de beveger seg fremover, og det vil ikke være mulig å passere personer som går saktere [7]. Hastigheten til en gruppe blir derfor bestemt av de som går tregest. Det kan bety at selv få personer som beveger seg sakte i forhold til gjennomsnittet kan ha stor innvirkning på hele gruppens ganghastighet. Barn beveger seg tregere enn voksne, men på grunn av mindre størrelse vil ikke densiteten påvirke hastigheten i like stor grad som for voksne, noe en kan se i Figur 3.12 utarbeidet etter data fra Kholshchevnikov [7].



Figur 3.12: Ganghastigheter i forhold til densiteter, fordelt på ulike aldersgrupper. Hentet fra [7]

Data som er innsamlet om ganghastigheter kan være påvirket av ulike metoder for måling. Det kan skilles mellom bevegelseshastighet (movement travel speed) og modellert bevegelseshastighet (modeling travel speed). Bevegelseshastigheten er direkte beregnet med faktisk avstand gått delt på tiden brukt, det tas ikke med stopp underveis. Modellert bevegelseshastighet derimot er den teoretiske rette reiseavstanden dividert med tid, og i tiden inkluderes stopp gjort underveis [51]. Hensikten med å måle modellert bevegelseshastighet er at det er en del rømningssimuleringsprogrammer som beregner bevegelse av personer som en forenklet direkte strøm av mennesker uten stopp.

Flyt og spesifikk flyt

En annen viktig faktor når en vurderer bevegelse av mennesker i forflytningsfasen er strømming eller flyt (flow), som sier noe om hvordan en hel gruppe beveger seg. Flyt er definert som antall personer som passerer et referansepunkt per tidsenhet [43]. I forbindelse med data for menneskelig bevegelse, blir flyt ofte presentert relatert til enhetsbredden, dette kalles spesifikk flyt (specific flow). Spesifikk flyt har enheten personer/enhetsbredde/enhetstid [43], og kan defineres med formel 3.6.1.

$$q = v \cdot d \quad (3.6.1)$$

Der q er spesifikk flyt (personer/m/s), v er hastighet (m/s) og d er densitet (personer/m²) [7]. Strømmingen varierer med hastighet og densitet, og som beskrevet tidligere er også hastigheten avhengig av densiteten. Spesifikk flyt kan presenteres på tvers av en komponent, for eksempel en dør, med bestemt bredde som blir enhetsbredden.

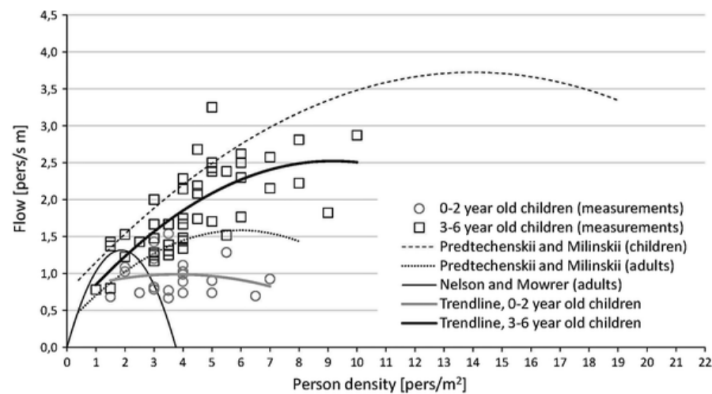
Personers størrelse vil ha innvirkning på flyten, for med større kropp er det fysisk vanskeligere å finne plass til færre personer per enhetsbredde. Arealet en person opptar er relevant for beregning av densitet og flyt. Tabell 3.8 viser størrelsesdata for kropp brukt i densitetsberegninger, og det er tydelig forskjell mellom voksne og barn. Arealet en kropp opptar på bakken blir gjerne representert av en ellipse.

Tabell 3.8: Data fra tidligere studier - Størrelsesdata for kropper brukt i densitetsberegninger.

Studie	Type	Prosjektert areal av kropp (m ² /person)
Kholshchevnikov et al. [50]	Barn	0,03
Nelson og Mowrer [46]	Barn	0,04
	Voknse	0,113
Kholshchevnikov et. al [56]	Voksne, sommerklær	0,1
	Voksne, vinterklær	0,125

Akseptert teori om spesifikk flyt [46] for voksne mennesker i elementer i en rømningsvei definerer et grenselag inntil kanter som skal trekkes fra bredden i utganger. Grenselaget blir ikke tatt med i den frie bredden, fordi det ikke blir utnyttet. Denne teorien har blitt motbevist for unge barn [48]. Lárusdóttir og Dederichs [48] observerte 3-6 år gamle barnehagebarn i evakueringsøvelse, og det viste seg at de gikk to i bredden i utganger med fri bredde på 600 og 700 mm, som voksne vil bevege seg gjennom med en person i bredden. Observasjoner gjort av Capote et al. [55] motsier også grenselagsteorien [52]. Barn brukte kun en del av en dobbeldør med fri bredde på 420 mm uten problem.

Det har vist seg at barn har høyere spesifikk flytrate enn voksne [48]. Nelson og Mowrer sin flytkurve er mye brukt for å beskrive bevegelse for voksne. Den viser at maksimal flyt forekommer ved en densitet på 1,9 personer/m², og det stopper opp ved 3,77 personer/m². Ved densitet høyere enn dette vil altså bevegelsen stoppe opp. Den maksimale spesifikke flyten som oppnås i følge Nelson og Mowrers flytkurve er under 1,5 personer/(s m). I en studie av Kholshchevnikov om barn som evakuerte ble maksimal flyt observert ved en densitet på 10-11 personer/m² [9]. At barn hadde maksimal flyt ved en høyere densitet enn voksne ble også vist i en studie utført av Laursdóttir og Dederichs [48]. Figur 3.13 er hentet fra Laursdóttir og Dederichs artikkel *A Step Towards Including Children's Evacuation Parameters and Behavior in Fire Safe Building Design*. Den viser data og trendlinjer for barn i aldersgruppe 0-2 og 3-6 år fra evakueringsforsøk som de utførte i barnehager. I tillegg er Nelson og Mowrer sin kurve for voksne lagt inn for sammenligning [8]. Trendene viser at en gruppe med barn vil oppnå en maksimal flyt som er høyere enn den flyten en gruppe med voksne personer oppnår. Det er altså flere barn som kan bevege seg forbi et punkt per tidsenhet enn antall voksne, til tross for at barn generelt har en lavere ganghastighet enn voksne. Data for spesifikk flyt som brukes for voksne vil ikke være representativ for barn, siden de er av en fysisk mindre størrelse, de tar opp mindre plass og de oppfører seg anderledes i en evakueringsprosess [52].



Figur 3.13: Flyt gjennom dører målt for to ulike aldersgrupper i evakueringsforsøk. Målingene er sammenlignet med Nelson og Mowrer sin flytkurve for voksne [8]

3.6.2 Forhold ved skoler som påvirker rømningstiden

Alarmsystemer

Ved å bruke teknologibaserte alarmsystemer kan personer som oppholder seg i eller på et byggverk bli informert om at det er en nødsituasjon. Målet med alarmsystemet er å få gitt kritisk informasjon slik at okkupantene reagerer på riktig måte [44]. Informasjonen kan bli gitt på ulike måter, alarmer kan være akustiske, visuelle eller følbare, i tillegg til at advarselen enten kan gi klare beskjeder eller bare være en alarm. Med veldig lite eller ingen informasjon viser det seg at personer ofte ikke vet hva de skal gjøre, og det kan føre til at beslutningstiden forlenges. For at alarmen skal være effektiv er det også viktig at den tidlig får personenes oppmerksomhet. Personer har ofte forpliktet seg til en aktivitet, for eksempel ser på kino, spiser osv.. At de ikke ønsker å gi opp aktiviteten, fører til en forlenget responstid. Miljøet må endres slik at personenes oppmerksomhet endres til noe som ikke har med aktiviteten å gjøre [57].

Ved bruk av akustiske alarmer kan signal enten bli gitt med et ringende signal eller ved taleinstruksjon. Manuell varsling der for eksempel ansatte gir instruksjoner er også mulig. Et forsøk utført av Proulx og Sime på togstasjoner viste at et vanlig alarmsignal ikke fikk evakueringen til å starte, passasjerene fortsatte med aktivitetene de holdt på med før alarmen gikk [58]. Evakueringen startet ikke før ansatte ved togstasjonen ga informasjon om at de måtte ut, da startet bevegelsen seg med en gang. Det viste seg at en varslingsmelding gjennom talekommunikasjonssystemet som ga informasjon om situasjonen og instruksjoner om hva okkupantene skulle gjøre, ga samme resultat som når ansatte ga beskjed. Etter kun 15 sekunder startet bevegelse etter at varslingsmeldingen kom. Litteraturen viser at tiden før evakueringen starter, varierer med ulike typer alarmsignal, og økt informasjon gir mindre tid før bevegelse starter [57]. Et vanlig brannalarmsignal er det som er minst til å stole på. Proulx mener noe av grunnen til dette kan være at mange falske alarmer og tester har redusert troverdigheten til slike alarmer.

Folk søker informasjon der informasjon ikke er tilgjengelig [44]. Det kan føre til at personer selv undersøker situasjonen istedenfor å starte evakueringen. Forskning utført av Mileti og Sorenson

[59] viser at informasjonen som blir gitt til personer i advarsler om at det er en nødsituasjon, bør inneholde fem punkter for at reaksjonen til okkupantene skal kunne være effektiv. Punktene er også beskrevet i *SFPE Guide to Human Behavior in Fire*, og de er som følger [44]:

- Hvem det er som gir
- Informasjon om hva folk skal gjøre
- Når det er forventet at folk skal reagere
- Hvor nødsituasjonen har oppstått
- Hvorfor folk skal reagere, beskrivelse av faren

Rollefordeling

I noen bygg er det en definert rollefordeling før en nødsituasjon inntreffer. I skolebygninger har lærere autoritet over elever. En slik rollefordeling har en tendens til å forbli lik i en nødsituasjon, for rollefordelinger endres ikke plutselig dersom det skulle oppstå en brann [60]. Ifølge Kuligowski kan ofte en enkelt person sin rolle i et ordnet hierarki, påvirke en hel gruppe sine handlinger. I noen situasjoner kan beslutninger bli tatt av en person og resten av gruppen vil følge instruksjoner. Dette kan skyldes at evakuering er en sosial prosess, og folk søker i slike situasjoner etter å danne grupper [44]. Ved å ha kjennskap til rollefordelinger på forhånd, kan dette brukes til å redusere reaksjonstiden, ved å gi god opplæring og innføring i rutiner ved evakuering til lederpersonene. Dette kan følgelig føre til at beslutningsprosessen for andre personer i bygningen reduseres. Autoriteten til informasjonskilden har mye å si for troverdigheten [44]. At personer med typiske lederroller og høy autoritet i normale situasjoner, kommer med informasjon og beslutninger tidlig i nødsituasjoner, kan påvirke beslutningsfasen og dermed reaksjonsfasen til å bli mer effektiv.

Dersom personer med ledende roller ikke brukes til å gi informasjon, viser litteraturen at tiden før forflytning starter forlenges. Spesielt besøkende i offentlige bygg forventer å bli tatt vare på, og føler at deres rolle er å vente på instruksjoner. De venter selv om de har hørt og tolket signalet fra brannalarmen [57]. At god informasjon blir gitt gjennom alarmsystemet, eller gjennom ansatte viser seg igjen å være en viktig faktor for å redusere reaksjonstiden og starte forflytningsfasen av evakueringen så tidlig som mulig.

I skoler er læreren en tydelig leder som elever følger. I følge rektor ved Vikhammer barneskole er brannrutinene noe av den første informasjonen de gir til nyansatte. Allerede før arbeidskontrakt underskrives må brannrutinene underskrives. Det gjøres ROS-analyser, og alle ansatte har vært med på identifisering av utfordringer. Dette tyder på at ansatte er godt klar over sin rolle og rutiner ved brann.

Organisering av rømning i grupper

I barneskoler organiseres rømningen som oftest i grupper ved at klasser går samlet ut. I følge Najmanova [51] er det et økt behov for en organisert evakueringsprosedyre i skoler med små barn, fordi barn har et lavere nivå av uavhengighet og beslutningsevne på grunn av sitt psykologiske utviklingstrinn. At evakueringen organiseres i grupper kan påvirke både reaksjonstiden og bevegestiden. Reaksjonstiden forlenges fordi klassene må samles sammen før forflytningen starter.

Forflytningstiden kan påvirkes fordi ønsket om å holde sammen kan føre til venting i løpet av forflytningen.

Jevnlige øvelser

Jevnlige øvelser kan gi kunnskap om hva som skal gjøres i tilfelle en nødssituasjon. Trening og erfaring med en type situasjon, kan føre til at en lignende nødssituasjon blir oppfattet og tolket til å være en evakueringsituasjon [44]. Dette fører til at reaksjonstiden reduseres ved at både fortolkning- og beslutningsprosessen blir mer effektiv. Øvelser fører til at brukere av byggverk får bedre kjennskap til rutiner og rømningsveier, og det vil påvirke hvilke handlinger som blir utført. Ved at brukerne kjenner til rutine og handlingene som er forventet at de skal utføre, trenger de ikke selv å ta mange vurderinger. Øvelser kan også føre til at personer kjenner til utstyr som brukes i ulike nødssituasjoner og forbedrer deres bruk [44]. Kjennskap til hva som skal gjøres i en evakueringsituasjon økes gjennom rømningsøvelser, og dermed kan rømningsøvelser bidra til å redusere beslutningstiden.

I skoler holdes det jevnlig øvelser, ofte minst en gang i semesteret. I følge rektor ved Vikhammer barneskole holdes det øvelser med ulike scenarier. I tillegg øver barna mye på hvordan de skal gå under en evakuering, for hver gang de skal gå et sted går de i brannrekker. Dette fører til at de er godt kjent med hva de skal gjøre dersom det går en alarm.

På den annen side kan øvelser og falske alarmer føre til at alarmen mister troverdighet. Erfaring viser at falske alarmer og jevnlig øvelser reduserer personers sensitivitet for alarmsignaler, og hemmer reaksjonen for slike signaler [44]. Det har blitt observert at okkupanter benekter eller ignorerer situasjonen i startfasen av en brann, selv om alarm er utløst eller røyk er mulig å lukte [57]. At personer som oppholder seg i bygninger som brenner, ignorerer at det er en nødssituasjon fører til at start av evakuering utsettes og reaksjonstiden blir lengre. I følge Proulx ønsker ikke okkupantene å overreagere på situasjoner som allerede er under kontroll eller falske alarmer, spesielt i offentlige bygninger. Det fører til at situasjonen avvendes til mer informasjon er tilgjengelig, og reaksjonsfasen av evakueringen forlenges. SFPE guide to human behaviour påpeker konsekvensen av «Normalcy bias» og «optimism bias», som betyr henholdsvis at en ikke tror noe alvorlig skjer, og at en tror at ikke noe vondt vil hende en selv. En konsekvens av at dette er vanlig, vil være at reaksjonen ved brannalarmer er tregere, for folk tror ikke at det faktisk er noe alvorlig som hender. Det at mange har opplevd brannalarmer kun som noe ufarlig gjennom øvelser, kan styrke disse fenomenene.

I intervju med Trondheim brann- og redningstjeneste kommer det frem at de har et pågående prosjekt om unødige brannalarmer for å minimere antallet. Det fokuseres på dette fordi de har sett at personer har havnet i livsfarlige situasjoner på grunn av at brannalarmen ikke tas på alvor. Unødvendige alarmer fører til at brukere av bygninger mister respekten for brannalarmer, og evakuerer tregt eller ikke i det hele tatt.

Rutevalg

Rutevalg som blir tatt av personer, har innvirkning på hvor lang forflytningstiden blir under evakuering. Forflytningstiden reduseres hvis personer velger den korteste ruten fra sitt opprinnelige

oppholdssted, men det er også viktig at personer fordeles på ulike evakueringsruter for å sikre mer effektiv evakuering. At alle velger samme utgang, kan forårsake opphopning noen steder og god plass andre steder. I tillegg har tilgjengelighet og informasjon om hvor evakueringsrutene er innvirkning på beslutningstiden for å velge rute. Rutevalget har altså innvirkning på både reaksjonsfasen og forflytningsfasen av en evakuering.

I en bygning er det som oftest flere rømningsveier, og det er ikke alltid slik at den veien som ble brukt for å komme inn, er den som er den mest effektive for å komme ut. I tillegg finnes det rømningsveier, rømningsutganger og rømningsstrapper som ikke blir brukt til vanlig, men kun i nødsituasjoner. Litteratur om menneskelig adferd i nødsituasjoner, viser at det er typisk at personer ofte beveger seg mot det som er kjent for dem, det gjelder både andre mennesker og steder [60]. The Affiliative model som er utviklet av Jonathan D. Sime impliserer at ruter som ikke blir brukt til vanlig, og som derfor ikke er velkjente for brukerne, har mindre sannsynlighet for å bli brukt ved evakuering [61]. Folk foretrekker å bruke utganger og ruter som de kjenner til. Dette kan føre til at beslutningsprosessen blir kortere, men samtidig kan det føre til opphopning av personer som velger den mest brukte vanlige utgangen. I skolebygninger er alle personene kjent med omgivelsene, og gjennom jevnlig øvelser blir elevene også kjent med eventuelle rømningsveier som ikke brukes til vanlig. Med god kjennskap til rømningsrute er det gode muligheter for kort beslutningstid.

Hva andre personer i en bygning gjør kan også påvirke hvordan et individ reagerer i en brannsituasjon og hvilke valg den tar for å komme seg til sikkerhet [44]. Evakuering er som nevnt i kapittel 3.6.2 en sosial prosess, og det kan også være en årsak til at beslutninger for rutevalg til en person avhenger av beslutninger som andre rundt foretar seg. Folk søker etter grupper de kan følge under evakuering. Dette kan føre til at mange velger samme rute, noe som kan resultere i opphopning av personer selv om det er lite trafikk i andre tilgjengelige rømningsruter. I skolebygninger er personene allerede organisert i grupper i form av klasser som vil fungere som en sosial gruppe som holder sammen. Handlingene til hele klassen vil bli påvirket av andre personer i gruppen, for eksempel læreren.

Røyk

På grunn av kunnskap om hvor farlig røyk kan være, noen åndetrekke med røykfull luft kan forårsake bevisstløshet og i verste fall døden, har det vært antatt at personer ikke vil bevege seg gjennom rom med mye røyk [62]. Casestudier har vist at dette ikke stemmer, og mange vil bevege seg gjennom røyk for å komme seg ut og til et sikkert sted. Blant annet har Fahy and Proulx [63] innhentet data fra personer som evakuerte World Trade Center Bombing i 1993. 94% av de som evakuerte fra tårn en og 70% av de som evakuerte fra tårn to, rapporterte å ha beveget seg gjennom røyk. Dette tyder på at mange er villige til å gå gjennom røyk ved evakuering. Årsaker som ble gitt for å ha handlet ved å gå gjennom røyklagte områder, var blant annet å prøve å hjelpe andre, advare andre, prøve å bekjempe brannen eller nysgjerrighet. Det er altså ofte faktorer på sosialt nivå som får personer til å ta irrasjonelle beslutninger som å gå gjennom røyk [62].

Tilstedeværelse av røyk hindrer derfor ikke bruken av rømningsruter i samme grad som tidligere antatt, men det kan påvirke hvordan bevegelsen langs ruten blir [44]. Å bevege seg gjennom røyk fører til nedsatt syn forårsaket av røyken som har lagt seg, og smerter og pustevansker på grunn av irriterende stoffer fra røyken i luftveiene. Giftige gasser i røyken kan føre til forvirring og be-

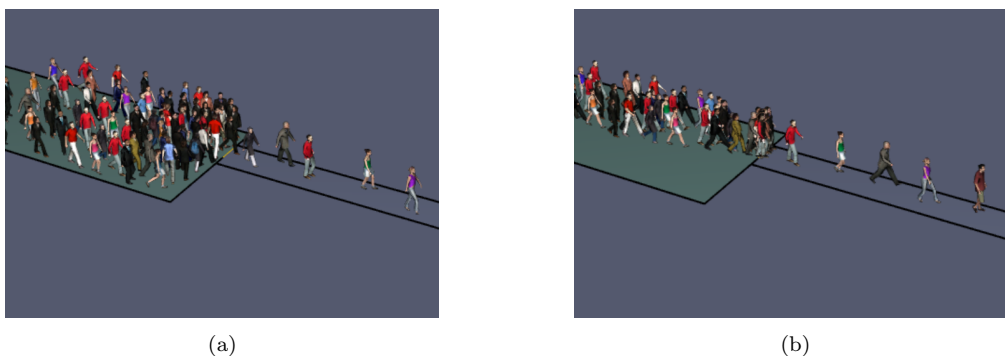
visstløshet, og smerter på grunn av varmen kan føre til kollaps. Det antas at den reduserte sikten som skyldes røyk i rommet vil redusere hastigheten på rømningen, mens giftige gasser og varme kan føre til at evakueringen ikke er mulig å gjennomføre.

3.7 Rømningssimulering i Pathfinder

Pathfinder er et dataprogram for simulering av evakuering fra byggverk. Resultatene kan vises som animasjon i både 2D og 3D, slik at man kan få realistiske grafikker av bevegelsen til personene som kan brukes til å evaluere modellen. Det brukes en tredimensjonal geometrisk modell, og i denne er det et todimensjonalt trekantet nett som kalles et navigasjonsnett”. Personenes bevegelser foregår på dette navigasjonsnettet.

Simuleringsprogrammet Pathfinder støtter to ulike moduser for å representere personers bevegelse i simuleringen, Steeringmodus og SFPE-modus. Ved Steeringmodus oppfører alle seg uavhengig av hverandre mens de beveger seg mot målet sitt, og unngår hverandre og hindringer på veien. Flytrater gjennom dører er ikke spesifisert, men er et resultat av interaksjonen mellom personene og geometrien til modellen. I SFPE-modus derimot kan okkupanter være på samme plass. Adferden til personene i SFPE-modus følger konseptene i *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* [46]. Ganghastighet avhenger av densitet og øvre grense for flytrate gjennom dører [64]. Figur 3.14 (b) viser hvordan personene opptar samme plass foran døren og personer slippes gjennom døren ut fra flytrategrensen som er satt for døren, og derfor slippes personer gjennom med jevnt mellomrom. I Steeringmodus kan ikke personene være på samme plass, så hvordan personene slipper gjennom døren avhenger av interaksjonen med de rundt, og som figur 3.14 (a) viser er avstanden mellom personene gjennom døren noe varierende.

Hver person i simuleringen oppfører seg i henhold til karakteristikkene som er tilegnet den spesifikke personen. Personkarakteristikkene består av en profil og en oppførsel. Basert på karakteristikkene, vil hver enkelt person bruke det lokale miljøet rundt dem for å ta beslutning om rømningsrute. Den fysiske bygningsmodellen, profiler, oppførsler og simuleringsmodusene vil bli beskrevet nærmere i hvert sitt underkapittel.



Figur 3.14: Illustrasjon av hvordan de to simuleringsmodusene håndterer bevegelse gjennom en dør

3.7.1 Modell av en bygning

Bygninger representeres som tredimensjonale modeller i Pathfinder. Hver overflate består av et sammenhengende nett av trekanter i ulike størrelser som definerer geometrien okkupantene kan bevege seg på [65]. Navigasjonsnettene kan enten tegnes manuelt eller genereres automatisk fra importert geometri fra for eksempel CAD- eller Revit-filer. Personene kan kun bevege seg på navigasjonsnettene, hindringer og objekter i et rom representeres av hulrom i nettet. Navigasjonsnettene kategoriseres i fire terrengetyper som påvirker personenes bevegelse og oppførsel på ulike måter. De fire kategoriene er åpent område, dører, trapper og utganger.

Rom i en bygning defineres som åpent område i navigasjonsnettene. Her er det ingen spesielle begrensninger for bevegelsen til personene, uavhengig av om rommet har en helning eller ikke. Ramper defineres derfor også som åpne områder i navigasjonsrommet. Ulike rom i geometrien representeres med grenser i navigasjonsnettene som ikke kan krysses av okkupanter.

Dører kobler sammen to rom, og gjør det mulig å bevege seg mellom de. Dører kan også plasseres på ytterkanten av et rom, og defineres da som en utgang. Måten bevegelsen gjennom dører blir kontrollert på, er ulike ved Steeringmodus og SFPE-modus og beskrives nærmere i hhv. kapittel 3.7.4 og 3.7.5.

Trapper kobler sammen ulike etasjer. Det er en egen hastighetsberegning for områdene i navigasjonsnettene som er definert som trapper. Hastigheten i trapper er redusert i forhold til ganghastighet i vanlige rom, og avhenger av helning. Mellom rom og trapper, både i bunn og topp, dannes det automatisk en dør som fungerer på samme måte som en dør mellom to rom.

3.7.2 Personers egenskaper

Hver person i simuleringen er definert som en stående sylinder som kan bevege seg på navigasjonsnettene. Personer kan også ha en kjøretøyform, for eksempel rullestol eller seng. Egenskapene til hver enkelt person er definert ved at de er tilegnet en «profil», heretter kalt profil. Profilen har definerte parametre som påvirker utseendet og egenskapene til personen. Flere personer kan ha samme profil knyttet til seg.

Følgende parametre spesifiseres av profilen [66]:

- Prioritetsnivå (Priority Level): Høyere verdi betyr høyere prioritet, og personer med lavere prioritet vil flytte seg og slippe forbi personer med høyere prioritet.
- Vedvarende tid (Persist Time): Tid en person vil opprettholde et høyere prioritetsnivå når bevegelseskonflikter prøver å bli løst.
- Hastighet (Speed): Maksimal hastighet en person kan bevege seg i et åpent område.
- Skulderbredde (Shoulder Width). Diameteren på sylindere som representerer en person. Påvirker kollisjon, rutevalg og hvor mange okkupanter som kan plasseres i et rom uten overlapping.
- Høyde (Height): Høyde på sylindere

- Akselerasjonstid (Acceleration Time): Parameter som brukes i Steeringmodus. Tid det tar for personen å oppnå maksimal hastighet fra å stå stille og motsatt.
- Reduksjonsfaktor (Reduction Factor): Parameter som brukes i Steeringmodus. Sier noe om hvordan en person kan presse seg sammen i trange korridorer. Verdi større enn 0 og mindre eller lik 1.
- Komfortavstand (Comfort Distance): Spesifiserer minimum avstand til andre personer som er ønskelig å opprettholde. Kan legges inn som en avstand, et personareal eller en persondensitet.
- Kollisjonsresponstid (Collision Response Time): Parameter som brukes i Steeringmodus. En faktor som kontrollerer når personen begynner å bremse for å unngå kollisjon med andre.
- Saktefaktor (Slow Factor): Spesifiserer når en person blir ansett for å være treg. En treg person vil kunne vurdere å bevege seg bakover for å gi avstand til andre, mens en rask person vil ha en mer fokusert retning på bevegelsen.
- Grenselag mot vegg (Wall Boundary Layer): Spesifiserer distansen personer vil prøve å opprettholde til vegger og andre hindringer.

Parametrene som defineres av profilen kan være satt som en konstant verdi, altså vil alle personer tilegnet denne profilen ha de samme verdiene. Verdiene kan også være noe varierende, enten jevn fordeling mellom to gitte verdier eller en normal eller log-normal fordeling med et gitt minimum og maksimum, standardavvik og forventningsverdi. Hver person har en unik id (seed) som bestemmer de spesifikke verdiene fra profilen som skal tilegnes personen. De spesifikke verdiene for hver person vil ikke endres med mindre fordelingen endres i profilen, eller en ny id genereres manuelt for personen.

Dersom profilene ikke aktivt endres av brukeren, blir alle personer tilegnet en standardprofil. Standardverdiene som ligger inne i simuleringsprogrammet er gitt i tabell 3.9. Standardverdiene er konstante.

Parameter	Verdi
Prioritetsnivå	0
Vedvarende tid	1,0 s
Hastighet	1,19 m/s
Skulderbredde	45,58 cm
Høyde	1,8288 m
Akselerasjonstid	1,1 s
Reduksjonsfaktor	0,7
Komfortavstand	0,08 m
Kollisjonsresponstid	1,5 s
Saktefaktor	0,1
Grenselag mot vegg	0,5 m

Tabell 3.9: Standardverdier for profiler

I tillegg til at hastigheten i en profil kan være fordelt etter nevnte fordelinger, kan en profil kon-

figureres til å modellere en hvilken som helst hastighet-densitetkurve. Det er mulig å tilpasse hastigheten på de ulike terrengetypene, flatt, rampe og trapp. Enten kan det fundamentale diagrammet for forholdet mellom hastighet og densitet spesifisert i *SFPE Engineering Guide: Human Behaviour in Fire* [67], konstante faktorer eller egendefinert forhold mellom hastighet og densitet, brukes. Ved å sette opp en tabell med forhold mellom ganghastighet og densitet interpoleres det mellom punktene for å lage en kurve for forhold mellom hastighet og densitet. Standardprofil følger SFPE kurven.

3.7.3 Personers oppførsel

Oppførselen til en person definerer en rekke med mål som okkupanten må oppnå i løpet av simuleringen [65]. Når et mål er nådd går personen videre for å oppnå neste mål. Et mål kan enten være av typen inaktivt (idle goal), der personen må vente på en lokasjon til en spesifisert hendelse skjer, eller målet kan være søkende (seek goal), der okkupanten beveger seg mot en destinasjon. Alle personer vil til slutt ha som mål å gå til en utgang, men det er mulig å legge inn handlinger som skal utføres først. Standard oppførsel er å gå til hvilken som helst utgang (Goto Any Exit), og får personen til å bevege seg fra opprinnelig posisjon til en utgang ved bruk av raskeste rute. Som for profiler kan mange personer tildeles samme oppførsel [66].

De ulike typer handlinger som kan legges inn i en persons oppførsel er som følger [66]:

- Innledende forsinkelse (initial delay): Definerer hvor lenge personen venter i startposisjon før neste handling begynner.
- Utganger (Exits): Spesifiserer hvilke utgangsdører en okkupant kan bruke
- Gå til et bestemt punkt (Goto Waypoint action): Definerer et punkt på navigasjonsnettlet som personen skal bevege seg til. Når personen ankommer en satt radius rundt punktet er, målet oppnådd.
- Gå til rom (Goto Rooms action): Definerer et rom eller flere som personen skal gå til. Dersom flere rom er valgt i en handling, går personen til det rommet han raskest kan nå. Med en gang personen er inne i rommet, anses målet som oppnådd.
- Gå til heis (Goto Elevator action): Personen vil gå til en heis og bruke den.
- Vente (Wait action): Får personen til å vente i posisjonen han er i, i en gitt tid.

Målene som er satt, påvirker ruten personen vil ta før han når en utgang. Får å nå destinasjonene som er satt, brukes ruteplanlegging (path planning), rutegenerering (path generation) og rutefølgelse (path following) [65].

Ruteplanlegging er en prosess som legger en plan for bevegelsen til et mål. Det kan være flere muligheter for å nå målet, og den korteste ruten er ikke nødvendigvis den raskeste. I Pathfinder brukes prinsipp om «lokalt raskest» (locally quickest) i ruteplanleggingen [65]. Det antas at alle personene kjenner til alle dører ut av rommet de oppholder seg i, kører ved dører og distanse fra dører til målet. Denne informasjonen om rommet og bygningen brukes for å planlegge ruten hierarkisk. Ved valg av dør kalkuleres en kostnad av hvert mulige valg. Kostnaden baserer seg på reisetid i nåværende rom (t_{it}), ventetid i kø i nåværende rom (t_q), global reisetid (t_{gt}) og distanse

reist i nåværende rom (d_t) og regnes ut som vist i formel 3.7.1 til 3.7.5 [65]. Vekting av de ulike parameterene som inngår i beregningen av kostnad kan endres i personprofilen.

$$C_{target} = C_l + C_g \quad (3.7.1)$$

$$C_g = p_d k_{gt} t_{gt} \quad (3.7.2)$$

$$C_l = \max(p_d k_{lt} t_{lt} | k_{qh} k_g t_q) \quad (3.7.3)$$

$$p_d = e^{k_d d_t} \quad (3.7.4)$$

$$k_d = \frac{\log 2}{k_{dd}} \quad (3.7.5)$$

Lokalt raskest velger ut døren i det nåværende rommet med lavest kostnad, og deretter genereres en rute til døren.

Etter at lokalt mål, som for eksempel en dør, har blitt valgt, skal ruten frem til målet genereres. Pathfinder bruker det trekantede navigasjonsnett og en algoritme, kalt "A search algorithm", til å generere en rute som består av en serie med punkter på kantene av trekantene i nettet [65]. Dette resulterer i en hakkete rute til målet. Så jevnes banen ut ved å flytte punktene mot målet, slik at den kun endrer retning ved hjørner til eventuelle hindringer. Punktene for retningsendring kalles «waypoint», og denne teknikken som Pathfinder bruker er en variant av «string pulling». Ruten personen skal følge for å nå neste mål består av en serie med waypoints og mellom disse punktene er det en rett vei. Waypoints som ligger på den rette linjen mellom to andre waypoints vil fjernes.

Okkupantene følger så serien med "waypoint" ved å bruke følgende fremgangsmåte [65]:

1. To waypoints velges. (1) waypoint som initielt er lengst unna målet og (2) det neste waypoint sett fra (1).
2. Personen prøver å gjøre (2) til sitt nåværende waypoint. Dette kan gjøres dersom det er mulig å gå på en rett linje mellom punktene uten å treffe hindringer og komme innenfor en viss avstand til (2).
3. Det kontrolleres om en ny rute må lages. Personen må finne en ny rute hvis det ikke er en rett fri linje til neste waypoint.
4. En seekkurve blir så generert mellom de to punktene som definerer ønsket bevegelse. I SFPE-modus er kurven en rett linje mens steeringmodus bruker en kvadratisk-kurve
5. Personen prøver å bevege seg langs seekkurven, bevegelsen påvirkes av bevegelsesmodus.

3.7.4 Steeringmodus

I Steering-modus følger personen seek-kurven mot målet, og det brukes en kombinasjon av styringsmekanismer og kollisjonsunngåelse for å følge seek-kurven. Personen reagerer på endret miljø underveis, det er mulig for personen å avvike noe fra banen mens han fortsatt beveger seg i riktig retning mot målet. Styringssystemet som brukes i Pathfinder kalles invers styring (inverse steering), og det går ut på å evaluere ulike adskilte mulige bevegelsesretninger og kostnader knyttet til de ulike mulighetene. Kostnader er hvor stor ulempe alternativet innebærer. Den bevegelsesretningen som har lavest kostnad blir utført.

Bevegelsesmulighetene og kostnadene blir definert ut fra ni ulike styringsoppførsler: søk (seek), tomgang separere (idle separate), søk separere (seek separate), søk vegg separere (seek wall separate), unngå vegger (avoid walls), unngå personer (avoid occupants), passer (pass), baner (lanes) og hjørnearbeid (cornering). Hver retning blir tildelt en kostnad mellom 0 og 1 fra oppførslene. Uttrykk for utregning av kostnad for de ulike oppførslene er gitt i *Technical Reference - Pathfinder 2019* [65] Nettokostnaden er gitt ved vektet sum av alle verdiene. Når retningen med lavest kostnad er funnet, vil hastighet og akselerasjon bli beregnet og personen vil bevege seg i styringsretningen.

Mens en person beveger seg, regnes det ut en modifisert hastighet, \hat{v}_{max} som avhenger av terrenget, spesifisert maksimal hastighet og avstand til andre personer. Avstand til andre brukes for å beregne densitet. Når den modifiserte maksimale hastigheten er beregnet, brukes den til å beregne ønsket hastighetsvektor for personen. I Pathfinder brukes avstanden til de nærmeste personene og det gjennomsnittlige langsgående og laterale avstandstetthetsforholdet som ble introdusert av Furin i 1987, til å estimere densiteten.

Akselerasjonen til en person deles inn i flere komponenter avhengig av den ønskede hastighetsvektoren. En tangentiell fremoverrettet komponent som gitt av formel 3.7.6, en tangentiell bakoverrettet komponent som er gitt av formel 3.7.7 og en radial komponent som er gitt av formel 3.7.8. Kombinerer disse den endelige akselerasjonsvektoren. v_{max} er maksimal ganghastighet og t_{accel} er akselerasjonstid. Begge verdiene blir bestemt av profilen til personen.

$$a_{fmax} = \frac{v_{max}}{t_{accel}} \quad (3.7.6)$$

$$a_{bmax} = 2 * a_{fmax} \quad (3.7.7)$$

$$a_{rmax} = 1,5 * a_{fmax} \quad (3.7.8)$$

Basert på oppførselen gitt fra det nåværende målet en person vil oppnå, vil han være i en av to mulige tilstander. Enten er han søkende og prøver å følge en rute til et mål, eller så er han i tomgang der han venter i en spesifisert tid. Tilstanden har direkte effekt på oppførselen ved at forskjellige styringsoppførsler blir kombinert og vektet for å bestemme kostnad. Når en person er i tomgang kombineres tomgang separere, unngå personer og unngå vegger. Når han er søkende kombineres søk, unngå personer, unngå vegger, søk separere, søk vegg separere, baner og hjørnearbeid. Tilstanden påvirker også hvor mange mulige retninger som vurderes i kostnadsberegningen. På tomgang testes 8 ulike retninger med 45° mellom hver. Ved søkende oppførsel tester personen ulikt antall retninger avhengig av hastighet.

Dersom det er tildelt ulik prioritet til ulike personer i simuleringen, kan dette påvirke bevegelsene til en person i steering-modus. Dersom personen møter noen med lavere prioritet, vil separasjon bli sett bort fra og komfortavstand blir lik null. Hvis en person med høyere prioritet er nærmere personen enn komfortavstanden vil søkeoppførselen bli ignorert, og personen vil separere i steden.

I utgangspunktet settes det ikke noen ekstra begrensinger for bevegelse gjennom dører i steering-modus, men det kan bli flytgrense for dørene. Denne grensen kan kun være en fast valgt verdi, den kan ikke varieres basert på romdensiteter. Faktisk flyt vil ofte være mindre enn spesifisert, grunnet akselerasjonen en person er nødt til å gjøre etter å ha blitt stoppet ved en dør. Når en person først kommer seg til en utgangsdør vil han bli borte fra simuleringen med en gang.

3.7.5 SFPE-modus

Beregning av bevegelsen følger teknikker presentert i *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* [46] og *SFPE Engineering Guide: Human Behaviour in Fire* [67], og baserer seg på en flytmodell der ganghastighet og flyt gjennom dører og korridorer er gitt [65]. Modellen i Pathfinder deles i tre deler, rom, dører og trapper. I åpne rom er ganghastigheten en funksjon av persondensiteten i rommet. I trapper reduseres ganghastigheten. Dørene kontrollerer flyten inn i rom og trapper. Ved utgangsdører venter okkupasntene i kø ved døren og blir borte”i henhold til flytraten som er definert.

Ved SFPE-modus må en maksimal romdensitet defineres. Denne parameteren kontrollerer hvor mange personer som kan være i et rom, og brukes til å bestemme hastighet og flyt gjennom dører. Personer vil ikke kunne gå gjennom døren fra en kø før densiteten i det neste rommet vil forbli under den gitte maksimalverdien dersom også personen går inn i rommet. Standardverdi i Pathfinder er 3,55 personer/m². Hele bredden av døren blir ofte ikke utnyttet når personer beveger seg gjennom. Ved densitetsberegninger og når raten okkupasnter kan passere en dør med bestemmes, tas det hensyn til dette grenselaget inntil kanten som ikke vil bli utnyttet. Den frie bredden av døren beregnes som dørens bredde minus et grenselag på hver side. Flytrater gjennom dører kan beregnes ved å alltid bruke maksimal spesifikk flyt. Maksimal spesifikk flyt er satt til 1,88 personer/m². Det er også mulig å velge at det skal brukes en spesifikk flyt som beregnes basert på densiteten i de tilstøtende rommene. Spesifikk flyt, F_s gjennom en dør er gitt ved formel 3.7.9 [65].

$$F_s = (1 - 0,266 * D) * k * D \quad (3.7.9)$$

Konstanten k varierer med terrenntype. Densiteten D er den maksimale densiteten til rommene som er koblet til døren. I Pathfinder er densiteten anbefalt å ikke være mindre enn 1,9 personer/m² eller større enn 3,0 personer/m².

Hastighet varierer med maksimal hastighet definert av profilen, type terreng og persondensiteten i rommet. Hastigheten v_b gitt ved formel 3.7.10 [65].

$$v_b = v_{max} * v_f(D) * v_{ft} \quad (3.7.10)$$

v_{max} bestemmes av profilen som er tildelt okkupasnten. $v_f(D)$ settes lik 1 dersom densiteten i rommet er mindre enn 0,55 personer/m². Dersom densiteten i rommet er større eller lik 0,55 personer/m² er hastigheten $v_f(D)$ gitt ved formel 3.7.11 [65]

$$v_f(D) = \max[v_{fmin}, \frac{1}{0,85}(1 - 0,266D)] \quad (3.7.11)$$

v_{fmin} er minimum hastighetsfraksjon som defineres i profilen, standardverdien er satt til 0,15. D er densiteten i rommet okkupasnten befinner seg i. v_{ft} er en faktoren som tar hensyn til terrenntypen. For åpne områder, rom, er v_{ft} lik 1, mens i trapper er den mindre enn 1, og faktoren varierer med helningen til trappen. Større helning gir lavere v_{ft} , altså synker ganghastigheten med økende helning på trapp.

3.7.6 Bevegelsesgrupper

Okkupanter kan kobles sammen i grupper, som gjør at de holder sammen i løpet av simuleringen. Personer som er del av en gruppe forblir i gruppen gjennom hele simuleringen, og alle personer i samme gruppe må ha samme oppførsel. Det er to konsepter som styrer den grupperte bevegelsen, tilkoblet tilstand og gruppeleder. Hvis okkupanter i en gruppe er i frakoblet tilstand vil personene gå mot lederen, og hvis en gruppe er i tilkoblet tilstand går de mot målet, for eksempel en utgang. Oppførselen kontrolleres av følgende parametre [66]:

- Følg leder (Follow Leader): Spesifiserer en gruppeleder blant personene i gruppen som forblir leder gjennom hele simuleringen. Dersom ikke satt på, velges det automatisk en leder, og lederen kan endres over tid. Lederen nærmest målet vil bli leder.
- Maksimal avstand (Maximum Distance): Brukes for å bestemme om en gruppe er tilkoblet eller frakoblet. Hvis noen i gruppen er lenger unna enn den maksimale avstanden, defineres gruppen som frakoblet.
- Nedsakkingstid (Slowdown Time): Parameter bruk av gruppeleder dersom gruppen blir frakoblet. Lederen vil redusere hastighet gradvis før den stopper. Tiden bestemmer hvor lang tid lederen skal bruke på å stoppe.

Lave verdier for maksimal avstand og nedsakkingstid vil gi grupper som henger mer sammen enn ved større verdier. Dersom et medlem av gruppen kommer for langt unna, kan de bli frakoblet gruppen. Gruppen vil da sakne farten så det frakoblede medlemmet kan ta dem igjen. I miljøer der det er veldig mange folk vil denne effekten være mindre, fordi okkupantene prioriterer at de må holde trafikken gående [64].

Kapittel 4

Kvalitativ analyse

Kvalitativ analyse har blitt utført for å avdekke risiko i skoler, og hvilke forhold som må undersøkes nærmere for å kunne begrense usikkerheten i rømningssimuleringer. Noen av stegene for risikoanalyse gitt i NS 3901:2012 er fulgt i den grad det var mulig på et generelt nivå. Deretter er det vurdert hvilke inputparametre til rømningssimuleringer i Pathfinder, som brukes i analyser, som kan endres for å tilpasse beregningen til barn.

4.1 Beskrivelse av skolebygg

4.1.1 Identifisering av mulige fravik

Ut fra trender i utformingen av skolebygg, og forutsetning om at det skal bygges skoler med mer bruk treverk, er det i dette kapitlet gjennomført en vurdering av aktuelle fravik som kan oppstå ved prosjektering av nye skoleanlegg. De følgende tabellene er splittet opp etter kapitlene i byggt teknisk forskrift med veiledning. Analysen er gjort på bakgrunn av fravik som typisk vil forekomme ved prosjektering av en skole som følger trendene som er identifisert. Dette inkluderer mer åpenhet, som kan føre til flere store brannceller og brannceller som er åpne over flere plan, og bruk av ubehandlet treverk både i bæresystem og på overflater. Tabell 4.1 og 4.2 viser krav og beskrivelse av mulig fravik for hhv. bæreevne og stabilitet og materialer og overflater.

Tabell 4.1: § 11-4 Bæreevne og stabilitet

Kravspesifikasjon	BK1	BK2	BK3	Kommentar
Brannmotstand bærende hovedsystem	R 30 [B 30]	R 60 [B 60]	R 90 A2-s1,d0 [A 90]	Massivtre og limtre oppfyller D-s2,d0. Kravet oppfylles ikke i brannklasse 3, for da er det krav til ubrennbart materiale.
Brannmotstand sekundært bæresystem, etasjeskiller og tak	R 30 [B 30]	R 60 [B 60]	R 60 A2-s1,d0 [A 60]	Massivtre og limtre oppfyller D-s2,d0. Kravet oppfylles ikke i brannklasse 3, for da er det krav til ubrennbart materiale.
Trappeløp	-	R 30 [B 30]	R 30 A2-s1,d0 [A 30]	Massivtre og limtre oppfyller D-s2,d0. Kravet oppfylles ikke i brannklasse 3, for da er det krav til ubrennbart materiale.

Tabell 4.2: § 11-9 Materialer og overflater

Kravspesifikasjon	BK1	BK2	BK3	Kommentar
Overflater på vegger og i himling/tak i brannceller over 200 m ²	D-s2,d0 [In 2]	B-s1,d0 [In 1]	B-s1,d0 [In 1]	Ubehandlet treverk oppfyller D-s2,d0 [In 2]. Kravet oppfylles ikke i brannklasse 2 eller 3. Mer åpenhet i utformingen kan føre til brannceller over 200 m ² .
Overflater på vegger og i himling/tak i branncelle som er rømningsvei	B-s1,d0 [In 1]	B-s1,d0 [In 1]	B-s1,d0 [In 1]	Ubehandlet treverk oppfyller D-s2,d0 [In 2]. Uavhengig av brannklasse oppfylles ikke kravet dersom det er ønskelig å bruke ubehandlet treverk.
Overflate på ytterkledning	D-s3,d0 [Ut 2]	B-s3,d0 [Ut 1]	B-s3,d0 [Ut 1]	Ubehandlet treverk oppfyller D-s3,d0 [Ut 2]. Kravet oppfylles ikke i brannklasse 2 eller 3
Kledning i branncelle over 200 m ²	K ₂ 10 D-s2,d0 [K2]	K ₂ 10 B-s1,d0 [K1]	K ₂ 10 B-s1,d0 [K1]	Ubehandlet tre og trebaserte plater oppfyller K ₂ 10
Kledning i branncelle som er rømningsvei	K ₂ 10 B-s1,d0 [K1]	K ₂ 10 A2-s1,d0 [K1-A]	K ₂ 10 A2-s1,d0 [K1-A]	Ubehandlet tre og trebaserte plater oppfyller K ₂ 10 D2-s3,d0 [K2].

For bygg i brannklasse 3, altså skolebygg med 5 eller flere etasjer er bruk av treverk i bærekonstruksjonen et fravik fra preaksepterte ytelser. Konstruksjonene skal opprettholde sin bæreevne og stabilitet i nødvendig tid for rømning, redning og slokking, og egenskapene kan påvirke den tilgjengelige rømningstiden. Opprettholdelse av nødvendig bæreevne og stabilitet er mulig å beregne på grunn av de kjente egenskapene til tre i brann, og den forutsigbare forkullingsraten. Som Buchanan [38] konkluderte med, kan tunge bærekonstruksjoner designes slik at de har en god brannmotstand. Dette fraviket skal derfor ikke vurderes noe nærmere.

Etter preaksepterte løsninger er det ikke akseptabelt med ubehandlet treverk på overflater i rømningsveier, i brannceller over 200 m² i brannklasse 2 og 3 eller på ytterkledning i brannklasse 2 og 3. Mer åpenhet i skoler og flere klasser som skal være koblet til samme område, kan føre til store brannceller.

4.1.2 Beskrivelse av fravik

Byggteknisk forskrift § 11-9 (2) setter krav til materialer og produkters egenskaper ved brann, og lyder som følger:

Materialer og produkter skal ha egenskaper som ikke gir uakseptable bidrag til brannutviklingen. Det skal legges vekt på muligheten for antennelse, hastigheten av varmeavgivelse, røykproduksjon, utvikling av brennende dråper og tid til overtenning.

Hva uakseptable bidrag til brannutviklingen betyr, er det åpnet for tolkning rundt. Det kan være vanskelig å vurdere i hvilken grad bruk av brennbare overflater vil være akseptabelt. Veiledningen til teknisk forskrift beskriver nærmere hva som legges i kravet, og om innvendige overflater står det:

De branntekniske egenskapene til innvendige overflater (himling, vegger og gulv) har betydning for brannforløpet inntil det blir full overtenning. Valg av produkter vil derfor ha betydning for hvor raskt det antennes, og for varmeavgivelsen og røykutviklingen under brann.

I tillegg til de preaksepterte ytelsene spesifiserer veiledningen at dersom sikkerheten ved brann dokumenteres ved analyse, må likevel innvendige overflater på vegger og i himling minst ha klasse D-s2,d0.

Bruk av ubehandlet treverk med brannpåvirkningsklasse D-s2,d0 på overflater vil gi fravik fra preaksepterte ytelser i veiledningen, og krever analyse og dokumentasjon for å kunne brukes.

4.1.3 Metode for dokumentasjon av fravik

Først må konsekvens av fraviket identifiseres. Bruk av brennbare materialer på overflater kan påvirke tid til overtenning, og føre til at den blir kortere.

Materialene på overflaten av vegger og tak kan gi et bidrag til den tidlige utviklingen av brannen. Sammenlignet med et rom med ubrennbare materialer, vil det være raskere brannutvikling, og mer flamme- og røykspredning, i et tilsvarende rom med brennbare materialer på overflater. Rask brannutvikling medfører at tilgjengelig rømmings- og redningstid minker, noe som påvirker personsikkerheten.

En risikomatrix kan utarbeides for å vurdere risikoen knyttet til fraviket. Ved hendelse av brann i et rom med eksponert ubehandlet treverk på overflater, er det svært høy sannsynlighet for at det blir en raskere utvikling av brann i tidlig fase, i forhold til ved bruk av materialer med brannpåvirkningsklasse som gitt i veiledningen. Konsekvensen av tidligere overtenning er viktig for sikkerheten ved rømning og personsikkerheten. Konsekvensen ansees som høy. Som vist i figur 4.1 er fraviket kategorisert med høy risiko, i rødt område.

		Konsekvens				
		Svært lav	Lav	Medium	Høy	Svært høy
Sannsynlighet	Svært høy				X	
	Høy					
	Medium					
	Lav					
	Svært lav					

Figur 4.1: Risikomatrixe

Det kan settes inn tiltak i bygget som kan redusere konsekvensen eller sannsynligheten av hendelsen, slik at de kan muliggjøre bruken av eksponert treverk på overflater og kledninger. Kompenserende tiltak er tiltak som motvirker de negative konsekvensene av fraviket. Installasjon av heldekkende automatisk slokkeanlegg er et aktivt tiltak som kan redusere brannutviklingen, og hindre overtenning. Sprinkleranlegget vil øke rømnings- og redningstid gjennom å kontrollere eller slokke brannen i det tidlige brannforløpet, og dermed hindre overtenning. Det er et tiltak som både reduserer konsekvensen og sannsynligheten til risiko for fraviket om å bruke overflater med høyere brannpåvirkningsklasse enn preakseptert i veiledningen.

Hvordan tilgjengelig rømningstid, med de farene fraviket medfører sammen med påvirkningen av de kompenserende tiltakene, er i forhold til den nødvendige rømningstiden må vurderes videre. Nødvendig rømningstid er påvirket av forholdene i bygningen, og av personene som oppholder seg der. I skoler er det en stor andel barn. Som sett i teorien skiller barn seg fra voksne på mange måter i oppførselen, og derfor er det viktig at de blir representert på riktig måte i beregninger av nødvendig rømningstid.

4.2 Fareidentifikasjon

I dette delkapittelet skal aktuelle farer, som enten kan øke sannsynligheten for brann eller øke konsekvensen av en brannhendelse i et skolebygg, identifiseres. Relevante brannfarer er:

- Løst brennbart materiale
- Brennbare overflater
- Røyk
- Blokkering av rømningsveier
- Svikt i tekniske installasjoner.

Tilstedeværelse av brennbart materiale vil være en fare for antennelse og utvikling av brann i tidlig fase. Dersom det befinner seg løst, lett antennelig brennbart materiale i bygningen, vil det kunne bidra til en økt risiko for påsatt brann. Mengde med brennbart materiale tilstede i rom, både løst og på overflater, vil også påvirke brannutviklingen og føre til en rask vekst som kan være en fare for rømningsforholdene.

Dersom det kommer røyk til rømningsveiene er det en stor fare for rømningsforholdene. Dersom det er store brannceller kan røyk lettere spre seg utover et stort område.

Dersom en brann oppstår slik at den blokkerer en utgang, vil det føre til økt fare for rømningen. Da må alternative rømningsveier benyttes, det kan bli større pågang i de andre utgangene og det kan skape mer usikkerhet i rutevalget. Dersom det er dårlig oppfølging av brannvernregler kan det hende lærere og øvrig personale har lite kunnskap, noe som kan føre til at ting plasseres i rømningsveier. Dermed blir det mindre fri bredde i utganger, og det bidrar til økt mengde brennbart materiale i rømningsveier. Selv ved god oppfølging av brannvern er det alltid en fare for menneskelige feil som kan medføre en økt fare for rømningsforholdene.

Tekniske installasjoner som alarmanlegg og sprinkleranlegg er sentrale for rømningssikkerheten.

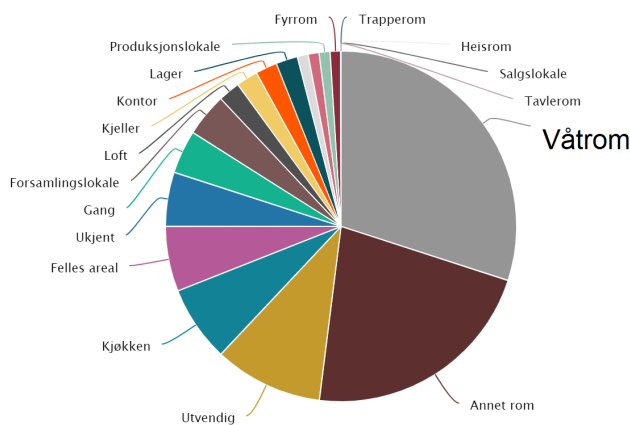
Dersom installasjonene ikke fungerer som de skal, vil det være en økt fare for personsikkerheten. Et eksempel kan være at automatisk alarmanlegg er ute av drift, og personer må varsles manuelt. Det medfører en forlenget varslingstid.

Det er i tillegg mange andre farekilder som må tas hensyn i en risikovurdering, men her er det kun nevnt noen som er relevante for problemstilling som omhandles i denne rapporten.

4.3 Analyse av årsaker og sannsynlighet

Det er flere årsaker som kan ligge til grunn for brann i en skole. Ulike årsaker kan medføre ulike konsekvenser og brannforløp. Det skal derfor identifiseres hva som er de mest sannsynlige årsakene som kan forårsake brann på en skole.

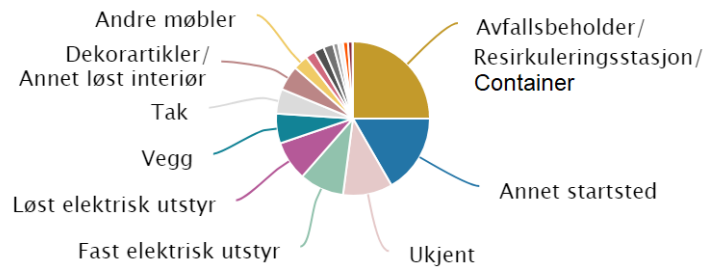
DSB fører brannstatistikk på brannstatistikk.no [1], der finnes det statistikk over politiårsaker registrert for branner. Politiets registrering av arnested for branner i Skolebygg er vist i figur 4.2, statistikken er basert på 100 oppdrag. Figur 4.3 viser hvor politiet har registrert at branner i skolebygg startet [1], og 96 oppdrag inngår i figuren. 30 % av brannene hadde arnested på våtrom og 10 % av skolebrannene hadde et utvendig arnested. Avfallsbeholdere, resirkuleringsstasjoner eller containere er det stedet der flest branner startet, 25 % av de registrerte brannene startet der. Et annet rom der mange branner startet, er kjøkken. 7 av de 100 registrerte brannene hadde arnested på kjøkken. Elektrisk artikkel, som for eksempel en komfyr, er også et relativt vanlig sted for start av brann. Løst elektrisk utstyr var startsted for 8,33 % av brannene og fast elektrisk utstyr var startsted for 9,38 %.



Figur 4.2: Registrert arnested av Politi. Hentet fra [1]

For branner på skoler ser man at våtrom er et vanlig startsted, og avfallsbeholdere er gjerne der det er samlet brennbart materiale på våtrom. Brann i avfallsbeholder på våtrom er en årsak for brann med høy sannsynlighet. McNamee og Johansson [10] observerte i Sverige at den årsaken til brann som har hatt størst vekst, er påtente branner på toaletter og bad som skjer i skoletid. Våtrom som toaletter og bad, er rom der personer kan være skjult, noe som kan føre til at det er større fare for at hververk utføres i disse rommene.

Utendørs brann som starter i søppelkasser har tidligere vært en vanlig årsak, og en utfordring



h

Figur 4.3: Hvor brannen startet, registrert av politi. Hentet fra [1]

for brannsikkerheten på skoler. Siden det de senere årene har blitt færre utendørs branner, er det mindre sannsynlighet for at brann starter utendørs i container eller andre avfallsbeholder i fremtiden. Nedgangen kan skyldes effektive tiltak, som for eksempel ikke plassere avfallsbeholdere inntil vegger og bruk av låsbare beholdere. De fleste hendelser av branner som starter utendørs, er utenfor skoletid. Dersom en brann starter når det ikke befinner seg folk i bygningen, kan det bli alvorlige materielle skader, men det er liten risiko for personsikkerheten.

McNamee og Johansson [10] observerte i Sverige at påsatt brann var det som forekom oftest. I figur 3.3 kan det se ut som antall påsatte branner har sunket noe, men det antas at en sannsynlig årsak for brann på skole er påtent brann på innvendige toaletter.

4.4 Usikkerheter knyttet til barneskoler i rømmingssimuleringer

4.4.1 Varslingstid

Fastsetting av varslingstiden avhenger av alarmtype, karakteristikene til brannen og sted for brannstart.

For å bidra til at varslingstiden holdes så lav som mulig kan deteksjonssystemet designes ut fra farene som er satt. Det er identifisert at sannsynlig startsted for en brann er på toaletter. Ved å ha detektor på toaletter vil man kunne sikre tidlig oppdagelse av slike branner, og dermed bidra til at varslingstiden minker. I Oslo kommune er det satt krav til deteksjon på toaletter i skolebygg, men det er ikke krav om det i teknisk forskrift.

4.4.2 Reaksjonstid

Brannalarmanlegg har påvirkning på reaksjonstiden, og mer tilgjengelig informasjon vil bidra til å forkorte reaksjonstiden. Alarmtypen som i følge litteraturen gir kortest reaksjonstid, fordi mest pålitelig informasjon blir kommunisert, er talevarsling. Det er ikke krav til at det må være talevarsling i skoler, men det anbefales at det brukes. Dersom det installeres talevarsling, kan det være et tiltak som bidrar til å redusere reaksjonstiden og dermed også den nødvendige rømmingstiden.

I tillegg er forhold ved skoler som nøye opplæring av ansatte som har en lederrolle, stort fokus på

brannvernrutiner og jevnlige øvelser, faktorer som bidrar til at reaksjonstiden i skoler har mulighet til å være relativt kort.

4.4.3 Forflytningstid

Forflytningstiden beregnes ved hjelp av rømningssimuleringer. Det er flere faktorer ved oppførselen og bevegelsesmønsteret til mennesker som legges inn som variabler i Pathfinder. Disse vil påvirke den totale evakueringstiden. Evakueringstiden er en avhengig variabel som varierer med flere uavhengige variabler. Hvordan evakueringstiden korrelerer med variasjon i variabler kan undersøkes ved å holde alle variabler utenom den som skal vurderes konstant. Deretter kan det vurderes hvordan og i hvor stor grad evakueringstiden blir påvirket.

I dette kapittelet gjøres det en vurdering av hvilke parametre i simuleringsprogrammet Pathfinder, som vil være annerledes for barn i forhold til voksne. Videre vurderes det hvordan disse kan endres, for å representere barn på en god måte. De to ulike modusene som kan brukes i Pathfinder har ulike variabler som påvirker forflytningen, så disse vil vurderes hver for seg. Denne analysen legges til grunn for den kvantitative analysen.

Steering-modus

Den første klare forskjellen mellom barn og voksne er at barn beveger seg saktere enn voksne. Forflytningstiden påvirkes direkte av hvor fort personene i bygget beveger seg, så det forventes at lavere hastighet vil gi lengre forflytningstid. Et bygg med stor andel barn vil derfor på grunn av ganghastigheten ha en lenger nødvendig rømningstid sammenlignet med et tilsvarende bygg med voksne brukere. I Pathfinder legger man inn en maksimal bevegelseshastighet. Dette er ganghastighet i terrenntypen åpent rom. Hastighet i trapp vil justeres i forhold til denne maksimale hastigheten. Ganghastigheter målt for horisontal gange i ulike studier gitt i tabell 3.6 kan brukes som ulike scenarier for å undersøke hvordan ganghastigheten påvirker forflytningstiden.

Ganghastighetens påvirkning av tetthet, påvirker også forflytningstiden. Teorien viser at ganghastigheten til barn i mindre grad blir redusert på grunn av økt densitet av mennesker, sammenlignet med voksenes ganghastighet. Følgelig vil nok ikke forflytningstiden bli påvirket i like negativ grad som den reduserte maksimalhastigheten tilsier. Som standard er forholdet mellom densitet og hastighet gitt av SFPE-sammenhengen. Dette forholdet stemmer ikke helt med hvordan litteraturen representerer barns bevegelse. Dersom det kan opprettholdes høyere hastighet ved høyere densiteter slik som vist i figur 3.12, forventes det at total evakueringstid minker.

Den fysiske størrelsen til barn er mindre enn voksne. I tabell 3.8 vises projektert areal av kropper brukt i densitetsberegninger i tidligere studier. I virkeligheten vil den smale skulderbredden gjøre at det komfortabelt er plass til flere personer per enhetsareal. Redusert skulderbredde kan derfor bidra til kortere rømningstider.

I rømningssimuleringsprogrammet Pathfinder beregnes hele tiden hastigheten på bakgrunn av densiteten i enheten personer/m². Ved å kun endre skulderbredden vil tettheten øke, og følgelig vil hastigheten minke. Hastigheten avhenger av antall personer per arealenhet og ikke hvor mye areal personene opptar. Dermed kan det være at korrelasjonen mellom skulderbredde og evakueringstid i simuleringen ikke stemmer helt med virkeligheten.

Elever som går i samme klasse kjenner hverandre godt. Siden personene i nærheten kjenner hverandre, kan de komfortabelt gå tettere sammen. Dette vises ved at barn kan opprettholde hastigheten ved høyere densitet, og det kan tenkes at dette ikke bare skyldes at de er mindre i størrelse. Ved å redusere komfortavstanden kan en tenkes at forflytningstiden vil reduseres. Mindre komfortavstand vil kunne føre til økt flyt og dermed mindre forflytningstid.

Som nevnt i kapittel 3.6.1 kan barn utnytte hele bredden av en dør mens det som standard blir antatt at det er et grenselag inntil dørkarm og vegg som ikke vil utnyttes. Ved å ta vekk grenselaget i simuleringen vil bredden som utnyttes i dører blir større, og dermed vil flyten gjennom dørene være høyere. Det antas derfor at fjerning av grenselaget vil føre til at forflytningstiden blir kortere.

På skoler er personene som oppholder seg i bygningen organisert i klasser som vil forflytte seg som en samlet gruppe i en evakueringssituasjon. I Pathfinder kan man lage bevegelsesgrupper som prøver å holde sammen under evakueringen. Personene som oppholder seg i samme klasserom kan plasseres i en bevegelsesgruppe som skal følge en leder. Denne lederen vil være læreren som klassen følger etter. Om gruppebevegelse i Pathfinder representerer en klasse som beveger seg sammen er usikkert, fordi personer kan bli koblet av gruppen om de havner for langt unna. Det forventes at med definerte bevegelsesgrupper vil forflytningstiden forlenges noe på grunn av venting som kan føre til mer kødannelse, og fordi den enkelte personen stopper opp der han til vanlig kunne ha vært i bevegelse.

SFPE-moddus

Flere av de samme variablene som i Steering-modus, brukes også i SFPE-modus. Maksimal ganghastighet defineres i SFPE-modus, og de samme scenarier med horisontale ganghastigheter gitt i tabell 3.6 kan vurderes i SFPE-modus også. Grenselag mot vegg har innvirkning på utregning av flytrater i dører, og vil derfor påvirke forflytningstiden i SFPE-modus også. Det samme gjelder bevegelsesgrupper.

Forskningen som er fremvist i kapittel 3.6.1 viser at barn komfortabelt kan ha høyere densitet enn voksne mennesker, hastigheten påvirkes i mindre grad av økt densitet og maksimal spesifikk flyt oppnås ved en høyere densitet for barn enn for voksne. Maksimal romdensitet kan derfor økes ved rømmingssimulering av barn. Maksimal romdensitet bestemmer spesifikk flyt gjennom dører. Det er anbefalt at densitet ikke overstiger $3,0$ personer/ m^2 i Pathfinder. Dette stemmer bra med teorien for sammenheng mellom densitet og flyt for voksne, men for barn er maksimal spesifikk flyt observert ved høyere densiteter. Det er interessant å se hva som skjer med forflytningstiden dersom maksimal romdensitet øker. Man skulle tro at forflytningen skulle bli lavere ved høyere densitet fordi flyten gjennom dører blir høyere.

På en annen side vil hastigheten reduseres når maksimal romdensitet økes, fordi ganghastigheten er avhengig av densiteten i SFPE-modus. Derfor kan økt maksimal romdensitet føre til forlenget forflytningstid. I SFPE-modus følges SFPEs forhold mellom hastighet og densitet for å beregne hastigheten, og det er ikke mulig å endre denne sammenhengen.

Kapittel 5

Kvantitativ analyse

I dette kapitlet skal variablene som i den kvalitative undersøkelsen ble vurdert til å kunne påvirke resultatet i en rømningssimulering, analyseres kvantitativt. Det skal gjøres simuleringer på tre analysebyggene. En og en variabel skal variere mens resten holdes konstant, for å se hvordan den totale forflytningstiden avhenger av denne variabelen.

5.1 Analysebyggverkene

Videre i analysen skal det brukes tre konkrete byggverk til å vurdere innvirkningen av variasjonen i parametre. To barneskoler i Oslo skal brukes som eksempelbyggverk, for analyse av hvordan barn representeres i rømningssimuleringer. Den første skolen er Løren skole, og mer spesifikt skal bygg D brukes. Den andre skolen er Hasle skole, og her skal bygg 04 og 05 brukes som eksempler. Rømning i mer enn ett bygg skal analyseres for å undersøke forflytningen ved ulike fysiske forhold, for å kunne få en bedre forståelse av hvordan evakueringstiden blir påvirket.

Informasjon om byggverkene er hentet fra brannteknisk brannkonsept og underlag tilsendt fra Undervisningsbygg Oslo KF.

5.1.1 Løren skole

Løren skole består av gammel bygningsmasse oppført i flere trinn mellom 1890 og 1932, men ble totalrenovert i 2016. Det er fem delvis sammenføyde bygg og ett frittstående. Byggene er oppført i betong og tegl. Bygg D har en grunnflate på 540 m² og det er fire tellende etasjer, tre etasjer og kjeller. Bygget er i risikoklasse 3 og brannklasse 2. Rømning skjer via to trapperom og egen utgang til det fri fra 1. etasje. Branntegninger som viser plantegning og rømningskonsept er lagt ved i vedlegg 1.

Bygget følger hovedsakelig føringer gitt av VTEK, med enkelte fravik. Total rømningsbredde er 420 cm. Minimumskravet til fri bredde på 1,2 meter i rømningsvei er ikke oppfylt, men det er opprettholdt minimum 1 cm per person. I rømningsveier er det også plassert ulåsbare skap i tre/laminat. Trapperommene tilfredsstillende ikke fullverdig Tr2-løsning, og personalgarderober i kjeller har alternativ rømningsrute via annen branncelle.

Bygget er fullsprinkler, det er fulldekkende brannalarmanlegg kategori 2 og ledesystem iht. NS 3926.

COWI AS ble engasjert av Undervisningsbygg Oslo KF til å gjennomføre en vurdering av total personbelastning på skolen i 2015. Maksimalt persontall er basert på tilgjengelig rømningsbredde. Den maksimale personbelastningen fordelt på hver etasje i bygget er gitt i tabell 5.1. Totalt kan det være 843 personer i bygget. Med et totalt areal på omtrent 1900 m² blir gjennomsnittlig densitet av personer 0,44 personer/m².

Tabell 5.1: Personbelastning Løren skole, bygg D

Etasje	Persontall	Totalt
U. etasje	179	
1. etasje	404	843
2. etasje	145	
3. etasje	115	

5.1.2 Hasle skole

Hasle skole skal totalrenoveres og bygges ut. Bygg 04 og 05 er to nye skolebygg. Byggene har flere klasserom som hører til en undervisningsbase, og innad i undervisningsbasene er klasserommene utført med utstrakt bruk av glassfelt mot korridor.

Byggene utføres med noen fravik fra føringer gitt av VTEK. Flere undervisningsrom plasseres i samme branncelle, enkelte trapperom utføres som Tr1, Vegg-, dør- og glassfelt utføres med brannmotstand E 30, enkelte brannceller over 200 m² utføres med brennbar kledning, ventilasjonskanal utføres i brennbare materialer, vinylbelegg på toaletter som er i samme branncelle som rømningsvei har overflate B-s2,d0 og ledesystem består av høytsittende komponenter.

Hasle skole er utført med flere aktive brannsikringstiltak. Det er heldekkende automatisk slokkeanlegg, heldekkende brannvarslingsanlegg med direktevarsling til 110-sentral, ledesystem, talevarsling og trykksatte trapperom.

Bygg 04 har to tellende etasjer og en underetasje med teknisk rom. De tellende etasjene, plan 1 og 2, har areal (BTA) på 750 m², totalt 1500 m² for de tellende etasjene. Rømning skjer via to trapperom med utgang til det fri. Branntegninger som viser rømningsveier og plantegninger er lagt ved i vedlegg 2.

Personbelastningen i bygget som er lagt til grunn for brannprosjekteringen er basert på oppgitt persontall fra tiltakshaver og vurdert med hensyn til antall cm fri bredde i rømningsvei og utganger fra rømningsveier i hvert plan. Den maksimale personbelastningen fordelt på hver etasje i bygget er gitt i tabell 5.2. Totalt kan det være 286 personer i bygget. Gjennomsnittlig densitet av personer blir dermed 0,19 personer/m².

Tabell 5.2: Personbelastning Hasle skole, bygg 4

Etasje	Persontall	Totalt
U. etasje	Sporadisk personopphold	
1. etasje	143	286
2. etasje	143	

Bygg 5 har 4 tellende etasjer, en underetasje med auditorium og tre plan med skolevirksomhet. Plan U er på 490 m², plan 1 og 2 er på 1420 m² og plan 3 er på 975 m², totalt areal (BTA) er dermed 4305 m². Det er tre trapperom i bygningen. Branntegninger som viser plantegning og rømningskonseptet er lagt ved i vedlegg 3.

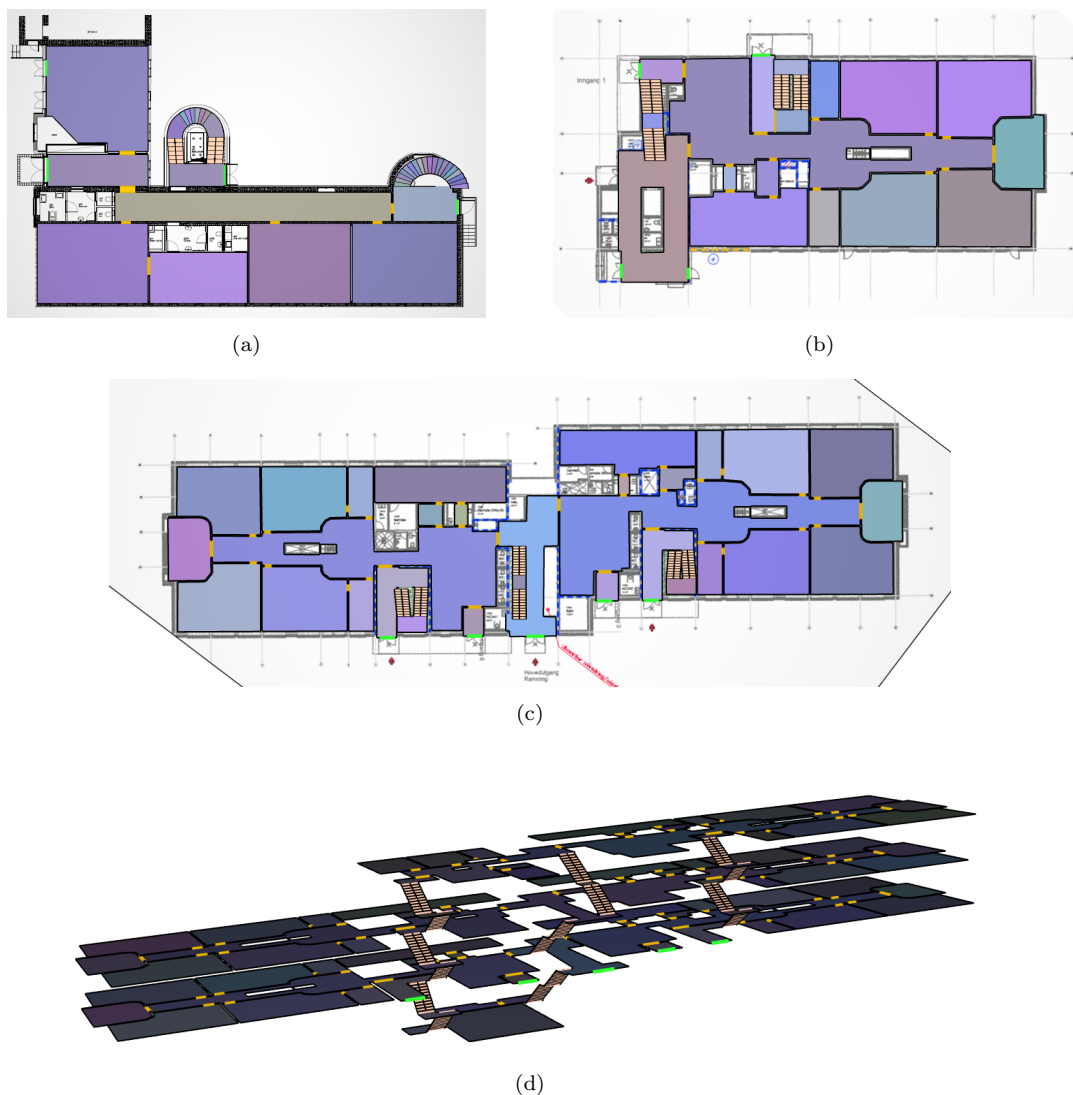
Personbelastningen i bygget som er lagt til grunn for brannprosjekteringen er basert på oppgitt persontall fra tiltakshaver og vurdert med hensyn til antall cm fri bredde i rømningsvei og utganger fra rømningsveier i hvert plan. Den maksimale personbelastningen fordelt på hver etasje i bygget er gitt i tabell 5.3. Totalt kan det være 762 personer i bygget. Gjennomsnittlig densitet av personer blir dermed 0,18 personer/m².

Tabell 5.3: Personbelastning Hasle skole, bygg 5

Etasje	Persontall	Totalt
U. etasje	80	
1. etasje	256	762
2. etasje	266	
3. etasje	160	

5.2 Modellen

Modell av byggene ble laget i Pathfinder på bakgrunn av plantegninger tilsendt i pdf-format fra Undervisningsbygg. Figur 5.1 viser modellene av analysebyggverkene, 5.1a, 5.1b og 5.1c viser oversik over hvordan et plan ser ut i 2d mens 5.1d viser hvordan flere plan er koblet sammen med trapper. Rom blir vist med forskjellige farger som skiller dem fra hverandre, dører mellom rom representeres av gule streker og grønne streker er utgangsdører.



Figur 5.1: Modeller bygget opp i Pathfinder (a) Løren skole plan 1, (b) Hasle skole bygg 04 plan 1, (c) Hasle skole bygg 05 plan 1 og (d) Hasle skole bygg 05

Personer ble plassert i byggverkene etter maks personbelastnings som beskrevet i brannkonseptene. Modell, personantall og fordeling av personer ble beholdt likt i alle simuleringene, mens andre parametre ble endret. I simuleringene er det det ikke lagt inn noe deteksjonstid eller reaksjonstid, forflytningen starter med en gang simuleringen starter. Den totale evakueringstiden det refereres til i dette kapittelet er derfor kun forflytningstiden.

5.3 Steering-modus

5.3.1 Standardverdier

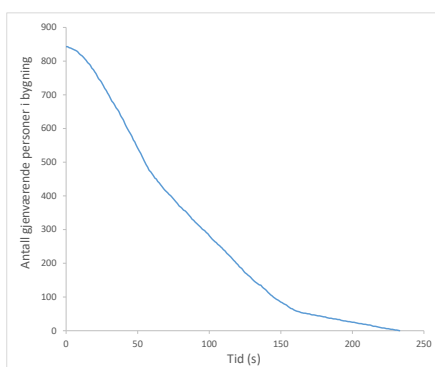
Det første scenariet som ble simulert var med standardverdiene som automatisk er lagt inn i Pathfinder, dette resultatet kan brukes som en referanse når verdier endres. Tabell 5.4 oppsummerer total evakueringstid. Bygningen med flest personer (Løren bygg D) har den lengste evakueringsti-

den, og den med færrest personer (Hasle bygg 04) har kortest evakueringstid.

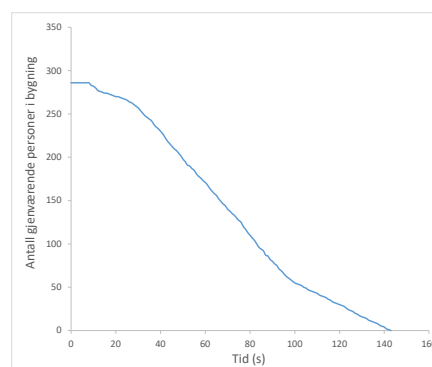
Tabell 5.4: Total evakueringstid i Steering-modus med standardverdier som input

Bygning	Antall personer	Total evakueringstid (s)	Total evakueringstid (min:s)
Løren bygg D	843	232	3:52
Hasle bygg 4	286	143	2:23
Hasle bygg 5	762	219	3:39

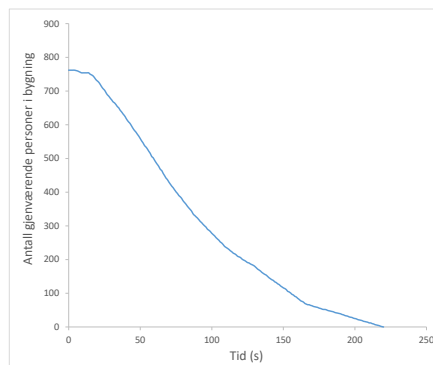
Figur 5.2 viser antall personer i bygningen til enhver tid etter simuleringstart, grafen synker når en person når en utgang.



(a)



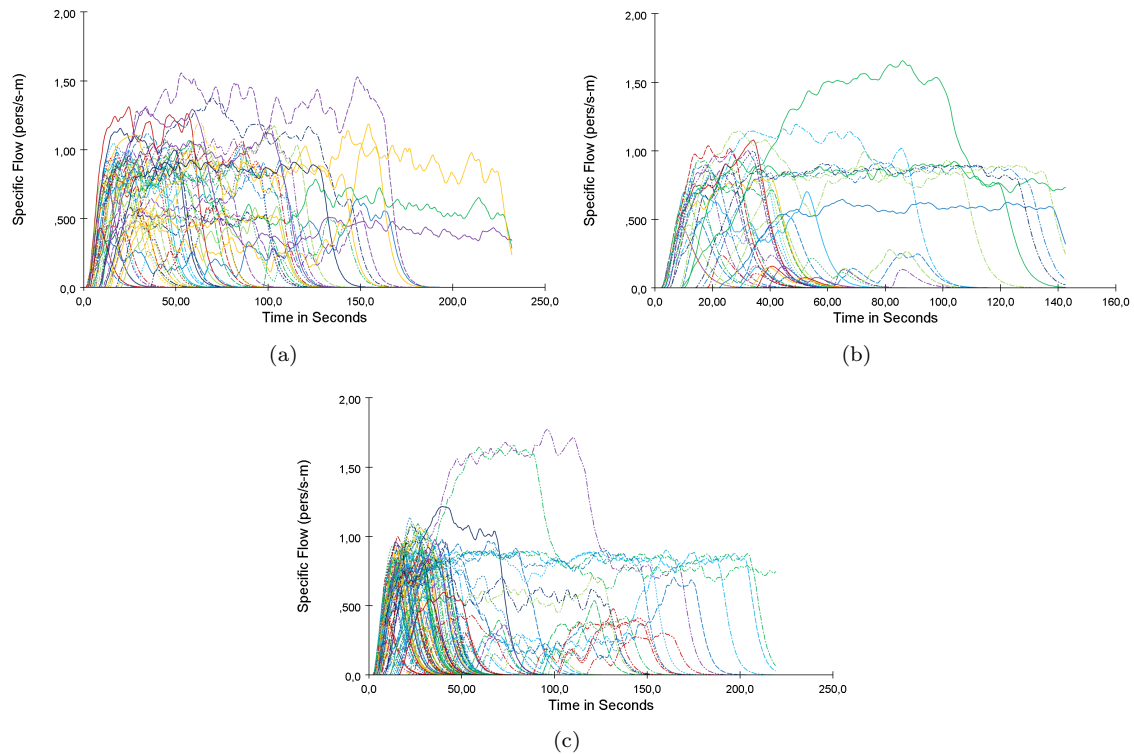
(b)



(c)

Figur 5.2: Gjenværende personer i bygget over tid etter simuleringstart for standardverdier i Steering-modus. (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05.

Figur 5.3 viser spesifikk flyt gjennom dører over tid. Hver strek er data for en dør. Utgangsdører, interne dører og trapper er med. Grunnen til at flyt gjennom så mange dører er vist i samme graf, er for å se på hvilket nivå de fleste dørene ligger. I tillegg unngås da at ikke et utvalg som ikke er representativt for alle dørene blir vurdert, siden det er enkelte dører der flyten skiller seg ut.

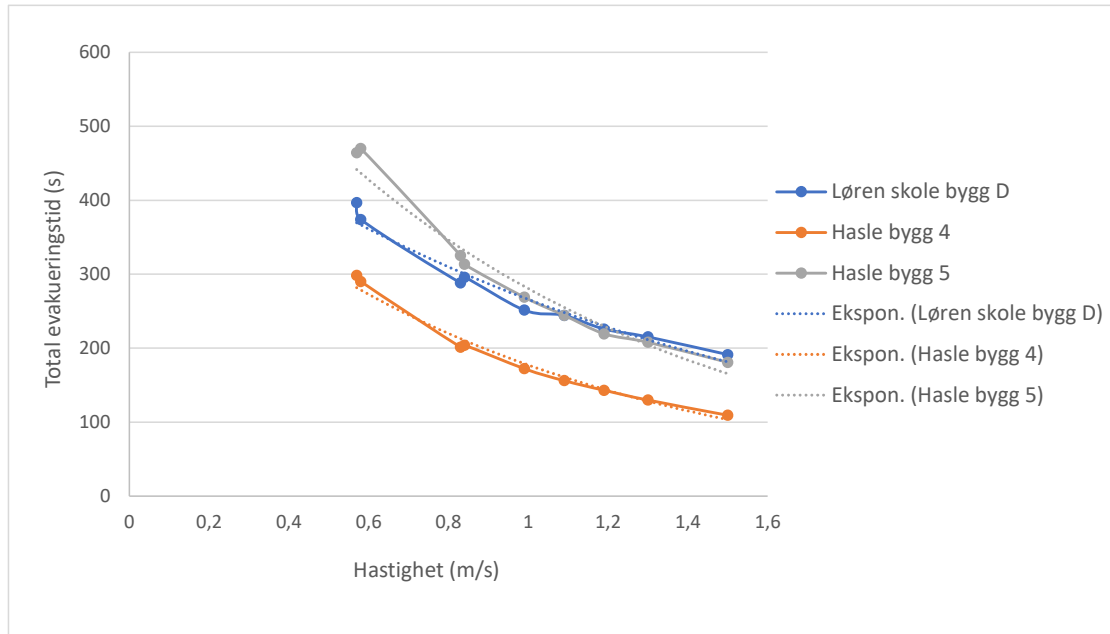


Figur 5.3: Spesifikk flyt gjennom dører over tid for (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05

Gjennom de fleste dørene i alle byggene ligger den spesifikke flyten maksimalt rundt 1 person/(s m), men gjennom noen dører oppnås verdier litt over 1,5 personer/(s m).

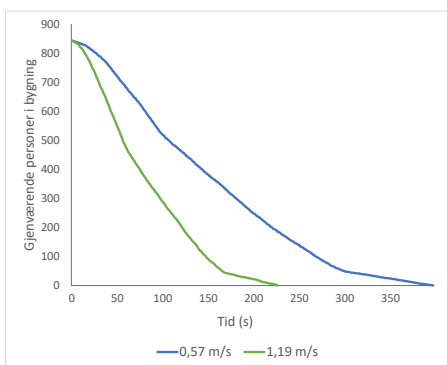
5.3.2 Ganghastighet

Ganghastighet satt som uavhengig variabel mens alle andre inputverdier er holdt konstant lik standardverdier. Alle personer har samme profil, og hastighetsfordelingen ble satt til konstant i alle tilfeller. Resultatene for total evakueringstid er plottet i figur 5.4, og viser at den totale evakueringstiden i stor grad avhenger av ganghastighet. Lavere hastighet gir lengre evakueringstid. Korrelasjonen mellom evakueringstiden, er ikke lineær, den er mer påvirket av hastigheten. Plottet i figur 5.4 viser også eksponentielle trendlinjer til de tre kurvene. Disse trendlinjene samsvarer relativt godt med resultatet fra simuleringene.

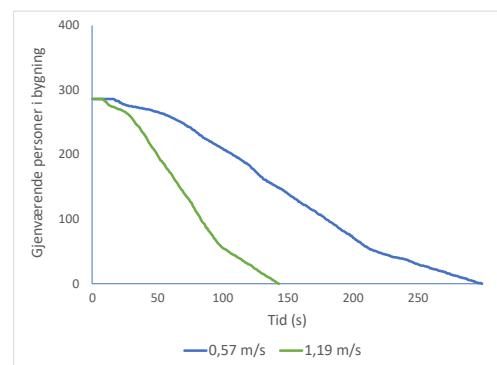


Figur 5.4: Total evakueringstid påvirkes av ganghastighet i Steering modus

Den laveste ganghastigheten som er brukt i simuleringen, 0,57 m/s, er kun 47,9 % av standard-ganghastigheten i Pathfinder, 1,19 m/s. Med en reduksjon av ganghastighet på 52,1 % økte forflytningstiden med 175,73 % for Løren skole bygg D, 208,60% for Hasle skole bygg 4 og 211,53 % for Hasle skole bygg 5. Figur 5.5 viser personer i bygningen over tid for både ganghastighet på 0,57 m/s og 1,19 m/s i de tre bygningene. Evakueringstiden for byggene på Hasle skole endrer seg mer med minkende hastighet enn det evakueringstiden for Løren skole gjør.

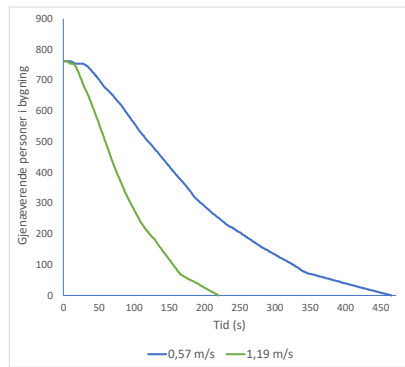


(a)



(b)

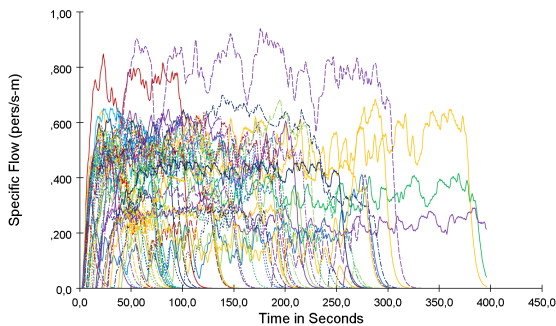
Figur 5.5: Gjenværende personer i bygget over tid i Steering-modus for (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05.



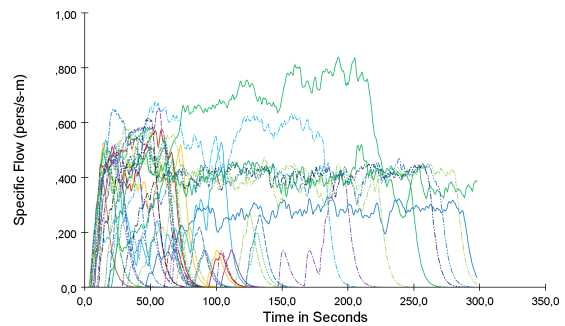
(c)

Figur 5.5: Gjenstående personer i bygget over tid i Steering-modus for (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05.

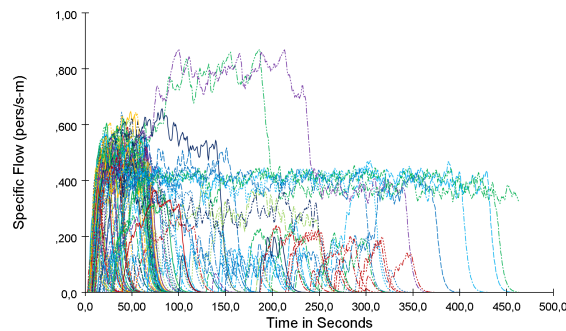
Figur 5.6 viser spesifikk flyt gjennom dører over tid ved den laveste ganghastigheten, 0,57 m/s. For Løren skole var den maksimale spesifikke flyten i de fleste dørene 0,6 personer/(s m) eller mindre. Gjennom to dører var det en maksimal spesifikk flyt opp mot 0,9 personer/(s m). For byggene på Hasle skole hadde de fleste dørene en maksimal spesifikk flyt på enten 0,4 personer/(s m) eller 0,6 personer/(s m).



(d)



(e)



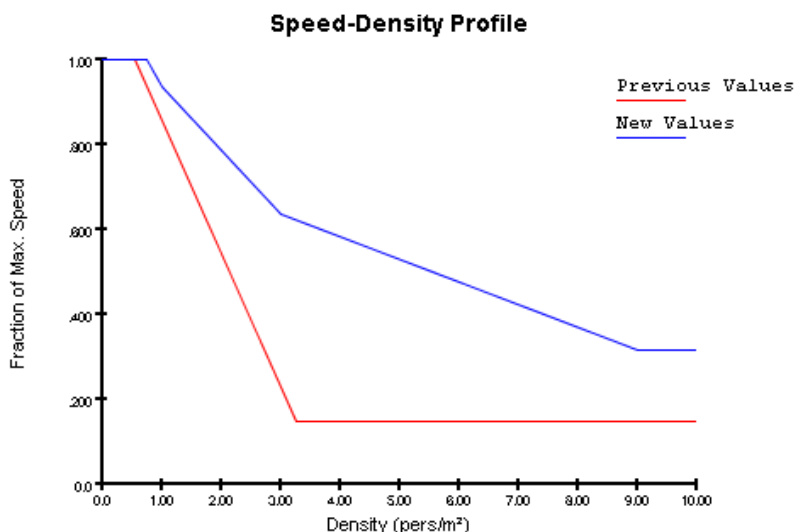
(f)

Figur 5.6: Spesifikk flyt gjennom dører over tid for simulering med ganghastighet maksimalt 0,57 m/s (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05

5.3.3 Forhold mellom hastighet og densitet

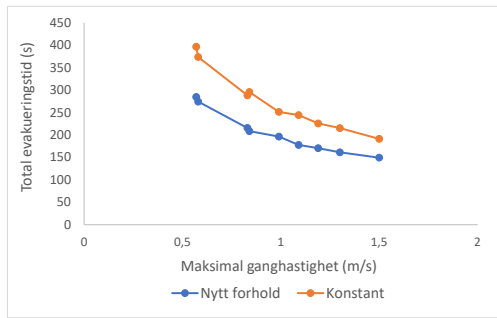
Figur 3.12 gir et forhold mellom densitet (personer/m²) og hastigheter for barn. Ved å ta ut noen punkter fra kurven, kan et nytt forhold for beregning av hastighet på bakgrunn av densitet legges inn i Pathfinder. Forholdet defineres som prosent av maksimal ganghastighet. Figur 5.7 viser den tidligere, standard sammenhengen (rød strek) og den nye sammenhengen (blå strek) mellom hastighet og densitet. Det er tydelig at hastigheten blir opprettholdt i større grad ved økt densitet. Følgende punkter ble lagt inn for å lage en kurve som kunne representere hvordan barns hastighet blir påvirket av densitet:

- 0,75 personer/m²: 0,63 m/s - 100% av maksimal ganghastighet
- 1 person/m²: 0,59 m/s - 93,6% av maksimal ganghastighet
- 3 personer/m²: 0,40 m/s - 63,5 % av maksimal ganghastighet
- 9 personer/m²: 0,20 m/s - 31,8 % av maksimal ganghastighet.

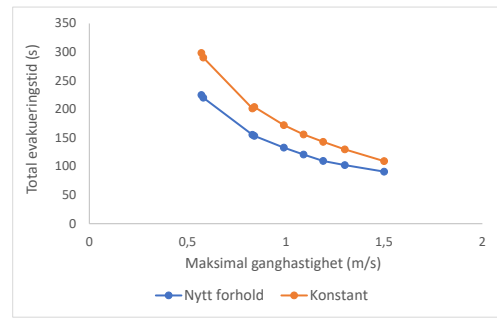


Figur 5.7: Forhold mellom hastighet og densitet

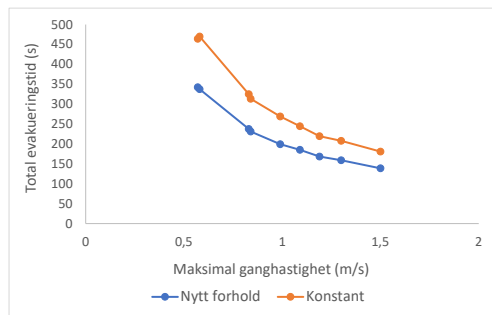
Som forventet ble den totale evakueringstiden redusert ved bruk av det nye forholdet. Figur 5.8 viser resultatet fra simulering av forflytningstid med varierende maksimal ganghastighet. Resultatene fra bruk av ny sammenheng mellom hastighet og densitet er plottet sammen med resultatene ved bruk av standard forhold. Korrelasjonen mellom maksimal ganghastighet og total forflytningstid ser ut til å være relativt lik, men med den nye sammenhengen mellom hastighet og densitet, blir forflytningstiden økt med en noe mindre faktor ved redusert hastighet. For Løren skole bygg D er evakueringstiden redusert med 112s eller 28,2 % ved en hastighet på 0,57 m/s og 41,8s, 21,9 %, ved en hastighet på 1,5 m/s. For Hasle skole bygg 04 har evakueringstiden sunket med 73,3 s, 24,5 %, ved en hastighet på 0,57 m/s og 18,3 s, 16,7 %, ved en hastighet på 1,5 m/s. For Hasle bygg 05 ble tiden redusert med 122 s, 26,3 %, ved hastighet 0,57 m/s og 42 s, 23,2 %, ved hastighet 1,5 m/s.



(a)



(b)



(c)

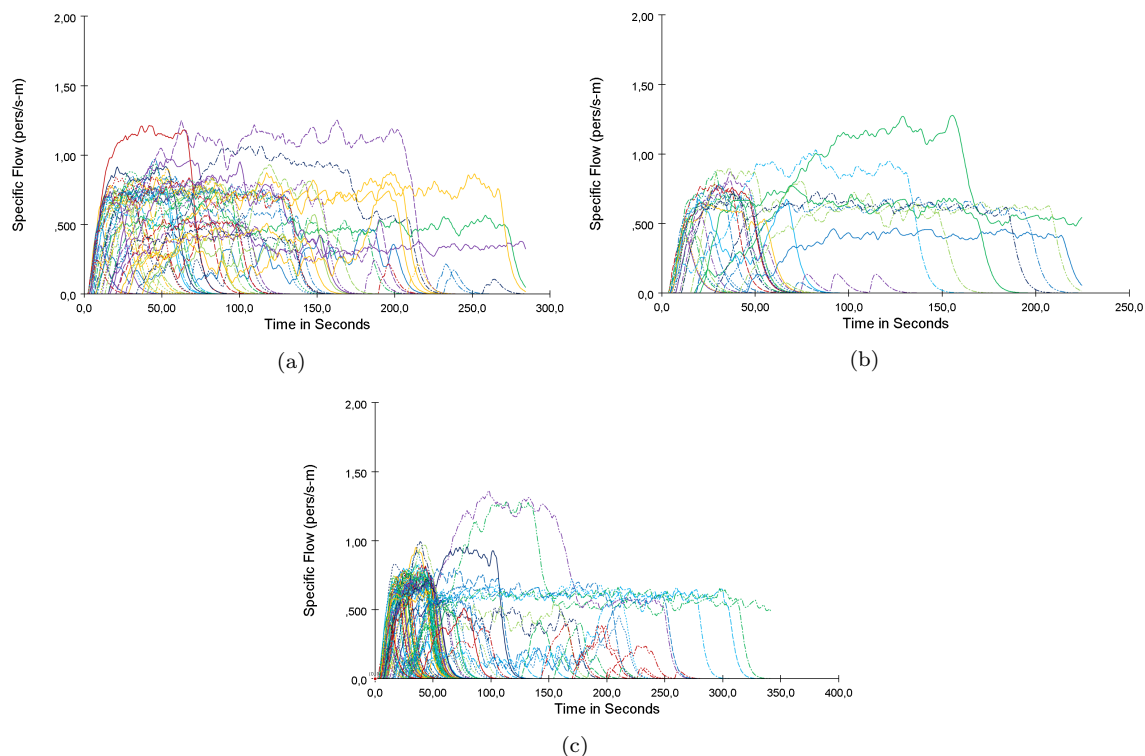
Figur 5.8: Total evakueringstid for varierende hastighet for to ulike forhold mellom hastighet og densitet for (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05

Standardverdi for maksimal ganghastighet er 1,19 m/s, og med denne hastigheten for Løren skole bygg D var den totale evakueringstiden 225,8 s. Ved å bruke et hastighet-densitet-forhold mer tilnærmet slike det er for en gruppe barn som beveger seg, kan den samme evakueringstiden oppnås med en hastighet mellom 0,58 m/s og 0,83 m/s. Med maksimal ganghastighet på 0,83 m/s, og nytt forhold, er evakueringstiden 215,8 s på Løren skole bygg D.

For byggene på Hasle skole kan også hastigheten være lavere med den nye sammenhengen mellom hastighet og densitet, for å oppnå samme evakueringstid som for standardverdier, men ikke like lavt som for bygg D på Løren skole. I bygg 04 på Hasle skole blir samme evakueringstid som standardverdier gir, oppnådd ved en hastighet mellom 0,84 m/s og 0,99 m/s. Med maksimal ganghastighet på 0,99 m/s og nytt forhold mellom hastighet og densitet er evakueringstiden 133 s, og standardverdier gir 143 s.

I bygg 05 på Hasle skole blir samme evakueringstid som standardverdier gir også oppnådd ved en hastighet mellom 0,84 m/s og 0,99 m/s. Med maksimal ganghastighet på 0,99 m/s og nytt forhold mellom hastighet og densitet er evakueringstiden 199,3 s og standardverdier gir 219,5 s.

Figur 5.9 viser spesifikk flyt gjennom dører over tid for simulering av rømning der maksimal ganghastighet er satt til 0,57 m/s, og nytt forhold mellom hastighet og densitet er brukt. Maksimal spesifikk flyt gjennom de aller fleste dørene er under 1 person/(s m), men det er noen dører der det oppstår spesifikk flyt litt under 1,5 personer/(s m).



Figur 5.9: Spesifikk flyt gjennom dører over tid ved ganghastighet på 0,57 m/s, og nytt forhold mellom hastighet og densitet for (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05

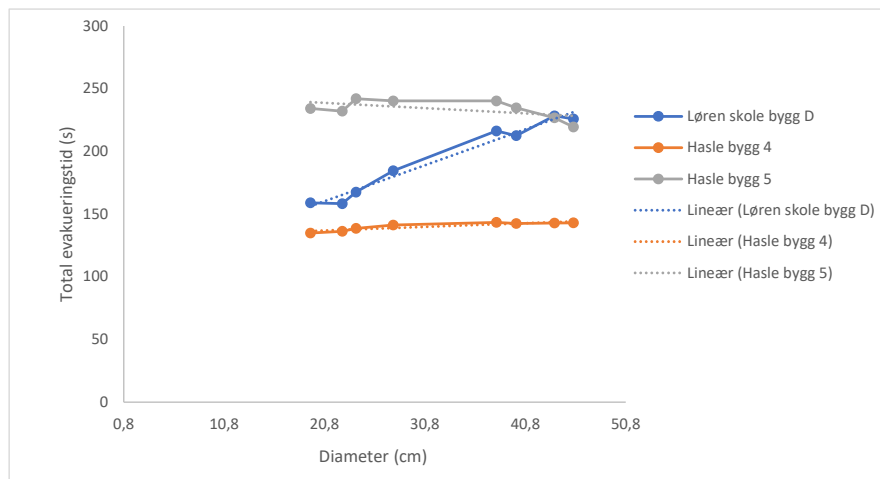
5.3.4 Skulderbredde

Det skal undersøkes hvordan skulderbredden til personene i en rømningssimulering påvirker den totale forflytningstiden. I Pathfinder representeres en person av en sylinder der skulderbredden er diameteren på sylinderen. I densitetsberegninger i studier blir ikke kropper representert som sirkler som i Pathfinder, men som ellipser. Skulderbredder, beregnet ut fra projektert areal av kropper gitt i tabell 3.8, som ble brukt som input til rømningssimulering i Pathfinder er gitt i tabell 5.5. Scenarier med verdiene for skulderbredde til både voksne og barn skal simuleres slik at flere variasjoner i inputverdien kan analyseres, og forskjellen som er mellom voksne og barn kommer frem.

Tabell 5.5: Skulderbredde for analyse i Pathfinder

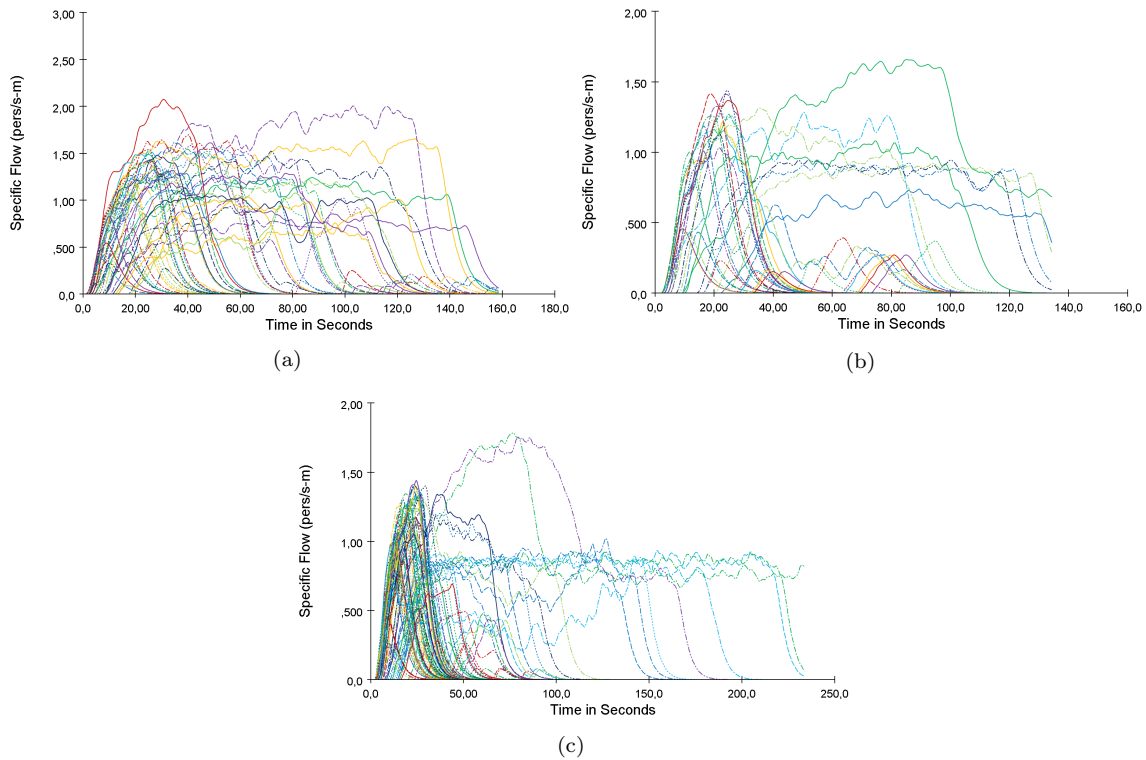
Prosjektert areal av kropp (m ² /person)	Diameter (cm)	
	Sirkel	Ellipse
0,03	19,54	23,94
0,04	22,57	27,64
0,1	35,68	43,70
0,125	39,89	48,86

I figur 5.10 er resultatene fra rømningsmodelleringene plottet sammen med lineær trendlinje for hvordan evakueringstiden varierer med skulderbredde. For bygg D på Løren skole ble den totale tiden redusert ved redusert skulderbredde, og reduksjonen var relativt jevn. Evakueringstiden med den minste skulderbredden, 19,54 cm, var 66,8 s tregere enn ved standardverdien 45,58 cm. Det var altså en reduksjon på 29,6 %. For de to byggene på Hasle skole derimot, ble ikke evakueringstiden i særlig grad påvirket av skulderbredden til personen. Simulering for Hasle skole bygg 05 med skulderbredde på 19,54 cm resulterte i en tid som var høyere enn resultatet fra simulering med skulderbredde 45,58 cm.



Figur 5.10: Total evakueringstid påvirkes av skulderbredde i Steering modus

Det oppnås høyere spesifikk gjennom dørene når skulderbredden settes ned. Figur 5.11 viser spesifikk flyt gjennom dører ved skulderbredde på 19,54 cm. Gjennom mange dører ligger maksimal spesifikk flyt på 1,5 personer/(s m)



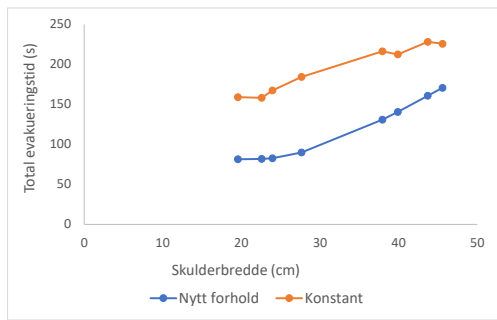
Figur 5.11: Spesifikk flyt gjennom dører over tid, ved skulderbredde på 19,54 cm. (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05

For å undersøke om skulderbredden har mer å si dersom hastigheten opprettholdes i større grad ved høyere densiteter, enn det den gjør etter det skandard forholdet mellom hastighet og densitet som brukes i Pathfinder, er det også blitt utført simuleringer for varierende skulderbredde med det nye hastighet-densitet forholdet som er vist i figur 5.7. Resultatene fra disse simuleringene er plottet i figur 5.12 sammen med resultatene for simuleringen utført for standard konstant forhold. I begge tilfellene er maksimal ganghastighet beholdt konstant lik 1,19 m/s. Det nye forholdet mellom hastighet og densitet resulter i at den totale evakueringstiden blir redusert ved reduksjon i skulderbredde for alle byggene. Som forventet ligger evakueringstiden generelt på et lavere nivå ved det nye forholdet, slik som det også gjorde da maksimal ganghastighet var variabelen.

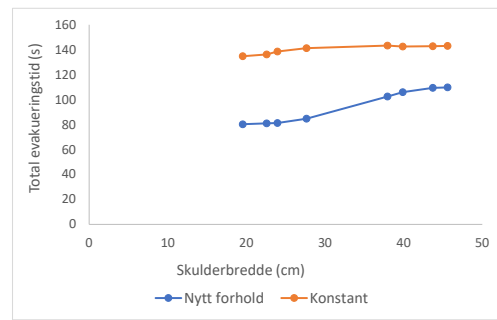
For Løren skole bygg D synker evakueringstiden på relativt lik måte ved begge forholdene.

For Hasle skole bygg 04 var det liten reduksjon i evakueringstid med synkende skulderbredde for standard forhold. Simuleringen med skulderbredde på 19,54 cm, ga en evakueringstid på 134,8 s. Det er 8,2 sekunder mindre enn evakueringstiden som simuleringen med skulderbredde 45,58 cm resulterte i. Det nye forholdet mellom hastighet og densitet førte til en mer betydelig forskjell mellom skulderbreddene. Simuleringen med personer med skulderbredde på 19,54 cm ga en evakueringstid på 80,3 s, og det er 29,5 sekunder mindre enn resultatet for simuleringen med skulderbredde på 45,58 cm og nytt forhold mellom hastighet og densitet.

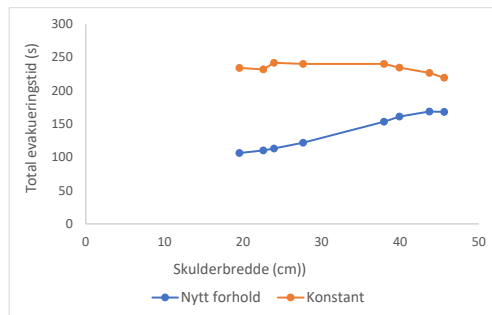
For bygg 05 endret evakueringstiden fra å øke noe med redusert skulderbredde, til å synke jevnt med minkende skulderbredde. Mellom resultatet for simuleringen med skulderbredde på 45,58 cm og 19,54 cm skiller det 61,8 s, det er en reduksjon i forflytningstid på 36,7 %.



(a)



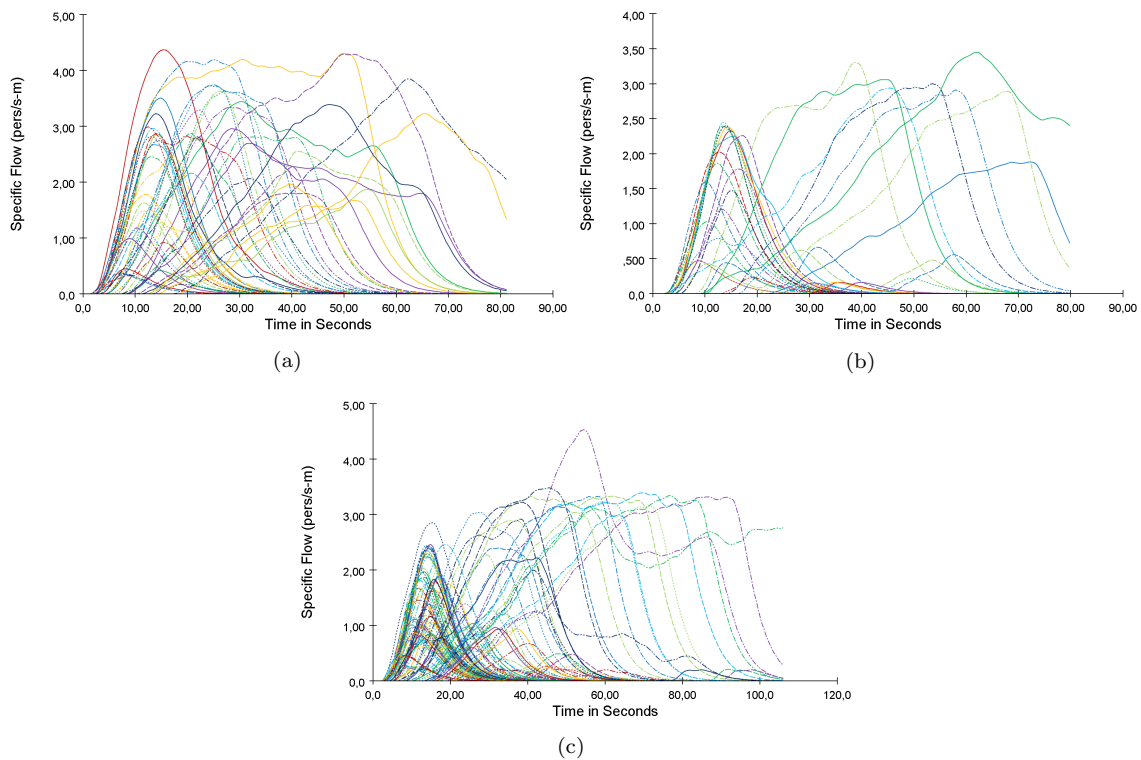
(b)



(c)

Figur 5.12: Total evakueringstid ved varierende skulderbredde for to ulike forhold mellom hastighet og densitet. (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 4 og (c) Hasle skole bygg 5

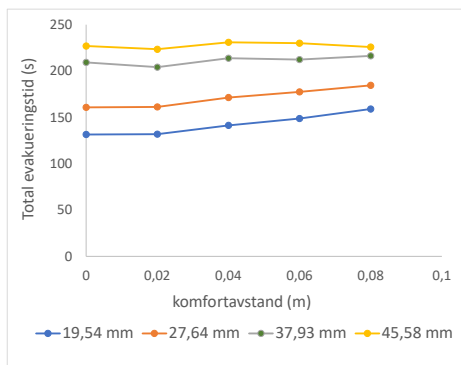
Ved å endre forholdet mellom hastighet og densitet endret spesifikk flyt seg drastisk. På Løren skole bygg D hadde mange dører en maksimal flyt på 3 personer/(s m), og for noen dører var den maksimale spesifikke flyten over 4 personer/(s m), slik som vist i figur 5.13a. I begge byggene på Hasle skole var den spesifikke flyten mellom 2 og 3 personer/(s m), slik som vist i figur 5.13b og 5.13c



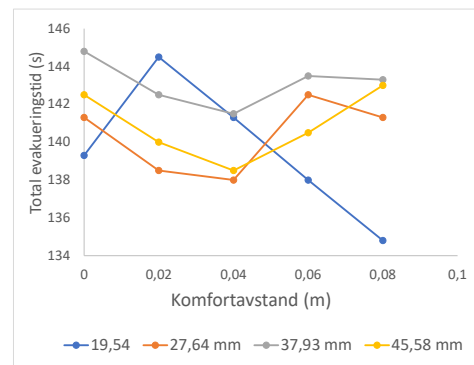
Figur 5.13: Spesifikk flyt gjennom dører over tid, ved ved skulderbredde 19,54 cm og nytt forhold mellom hastighet og densitet. (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05

5.3.5 Komfortavstand

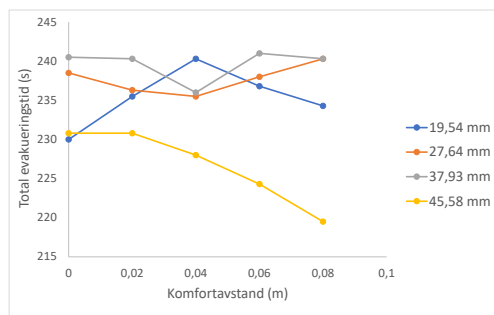
Komfortavstanden varierte mens resterende parametre ble holdt konstant. Standardverdi er 0,08 m, og siden det antas at barns komfortavstand er mindre enn voksne ble det utført simuleringer med komfortavstander som er mindre enn standardverdi. Dersom skulderbredden holdes som gitt av standardverdi, som er større enn skulderbredde for barn, vil nok ikke forflytningstiden i stor grad påvirkes av mindre komfortavstand fordi det fysisk ikke er plass til flere personer per kvadratmeter. Det er derfor interessant å se hvordan varierende komfortavstand påvirker forflytningstiden når skulderbredden satt til en lavere verdi enn standard. Derfor er simuleringer med endret komfortavstander ved ulike verdier for skulderbredde. Resultatene er plottet i figur 5.14.



(a)



(b)



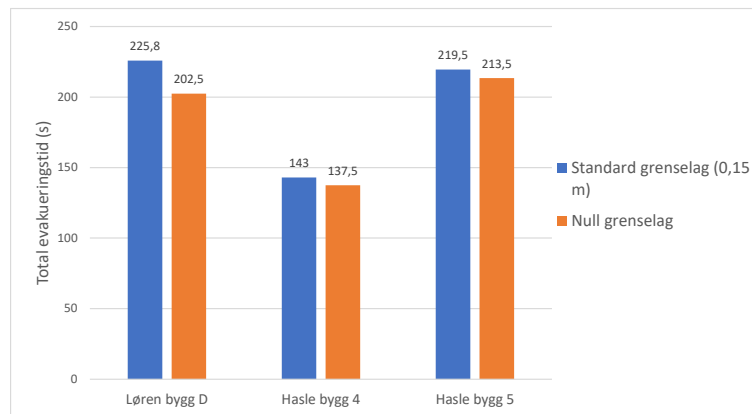
(c)

Figur 5.14: Variasjon av total evakueringstid med varierende komfortavstand for ulike skulderbredder for (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 4 og (c) Hasle skole bygg 5

Plottene viser at evakueringstiden synker noe ved at komfortavstanden reduseres for de to laveste skulderbreddene på Løren Skole, men reduksjonen er ikke stor. For de to bredeste skulderbreddene, holder evakueringstiden seg ganske lik selv om komfortavstanden reduseres. For byggene på Hasle skole ser det ikke ut til å være et jevnt system i hvordan evakueringstiden avhenger av komfortavstanden. Evakueringstiden varierer ulikt med komfortavstanden for ulike skulderbredder.

5.3.6 Grenselag mot vegg

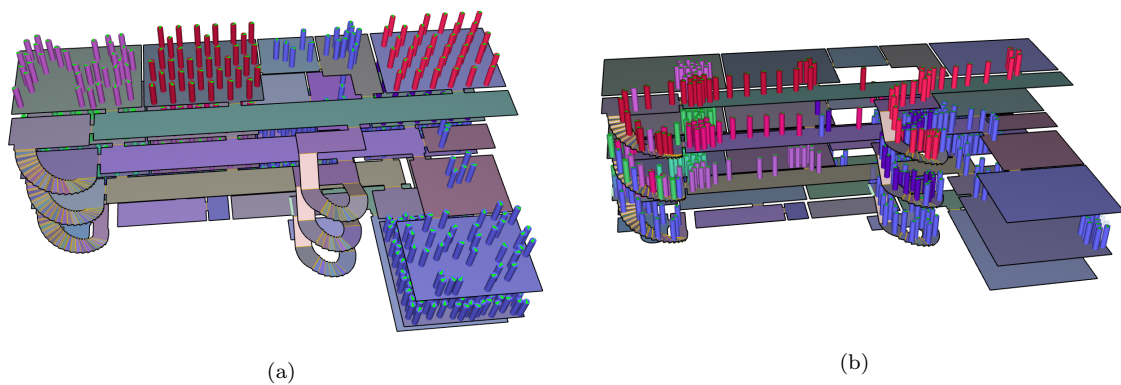
Det er gjort simuleringer der grenselaget mot vegg er satt til 0,0 m, slik at personene utnytter hele bredden av ganger, dører og trapper. Resterende parametere er beholdt som standardverdier. I figur 5.15 er resultatene vist sammen med resultatene ved et grenselag satt til 0,15 m, slik som i standardverdier. Som forventet synker evakueringstiden noe, men det er ikke en stor forskjell.



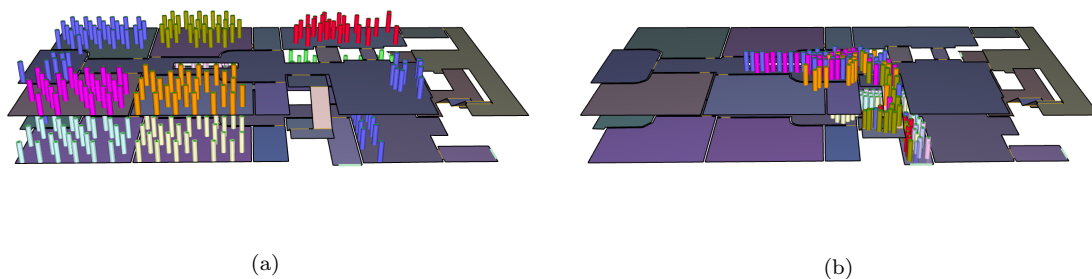
Figur 5.15: Evakueringstid med og uten grenselag mot vegg som ikke utnyttes i Steering modus

5.3.7 Gruppebevegelse

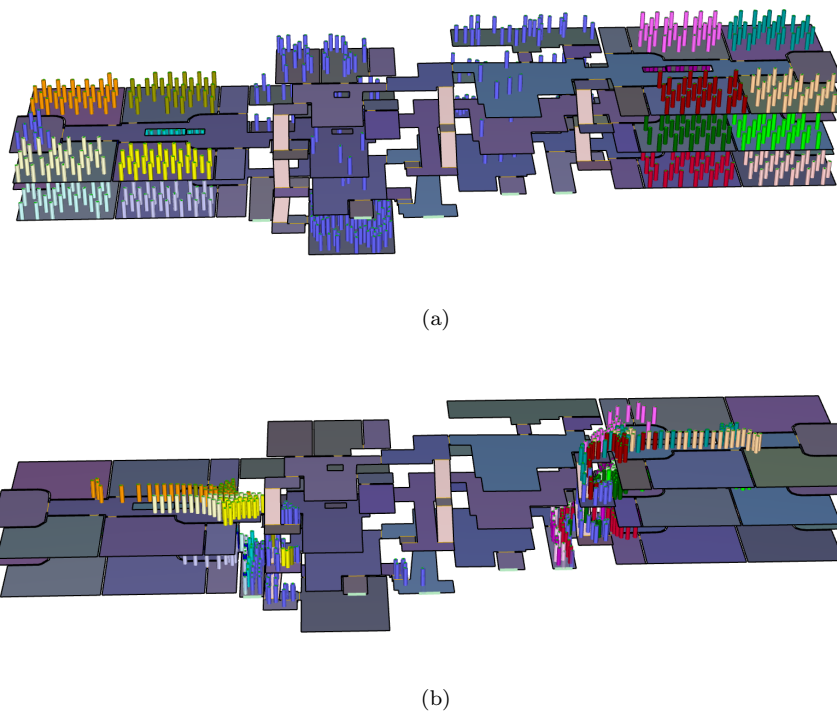
Personer som befinner seg i samme klasserom ved start av simulering organiseres som en bevegelsesgruppe, og en av personene i hver gruppe definerer som leder. Personer som ikke oppholder seg i et klasserom ved start er ikke knyttet til noen av bevegelsesgruppene. Parameterene i profilen til alle personene er som standardverdier. Figur 5.16, 5.17 og 5.18 viser (a) starten av simuleringene og (b) et stykke inn i simuleringen. Hver bevegelsesgruppe har en egen farge, for å kunne skille gruppene fra hverandre. Det er da tydelig at gruppene blandes underveis i evakueringen i alle byggene. Gruppene holder relativt godt sammen frem til de når trappen. Der er det tettere, og flere grupper skal gå samme sted.



Figur 5.16: Illustrasjon av rømming med organisering i grupper for Løren skole bygg D.

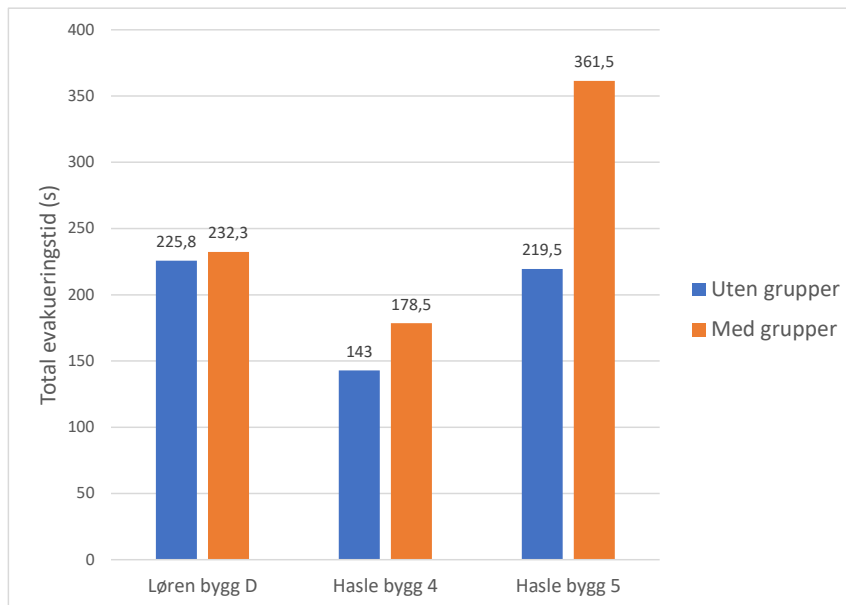


Figur 5.17: Illustrasjon av rømning med organisering i grupper for Hasle skole bygg 04.



Figur 5.18: Illustrasjon av rømning med organisering i grupper for Hasle skole bygg 05.

Resultatet fra simuleringen med organisering i bevegelsesgrupper er vist i figur 5.19 sammen med resultatene fra simulering uten grupper, begge med standardverdier i profil. For alle byggene blir evakueringstiden lengre ved bruk av bevegelsesgrupper, men hvor stor effekt det har er varierende. På Løren skole er det veldig mange personer plassert i kantine i 1. etasje, og disse er ikke organisert i en bevegelsesgruppe. Det er altså en mindre andel personer som er i en bevegelsesgruppe sammenlignet med de to andre byggene, noe som kan være årsaken til liten effekt. For Hasle skole bygg 04 økte evakueringstiden med 35,5 sekunder, noe som er en økning på 124,8 %. For Hasle skole bygg 05 økte evakueringstiden med 142 s, noe som er en økning på 164,7 %.



Figur 5.19: Total evakueringstid med og uten organisering i bevegelsesgrupper. Steering modus

5.4 SFPE-modus

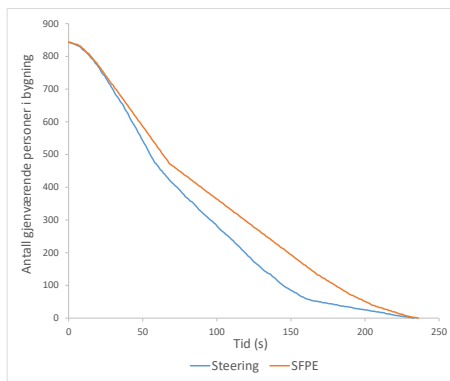
5.4.1 Standardverdier

Simulering er kjørt med standardverdier som ligger inne i Pathfinder for SFPE-modus. Tabell 5.6 oppsummerer total evakueringstid for de tre byggene. På samme måte som for Steering-modus har bygget med flest personer (Løren bygg D) den lengste evakueringstiden, og det med færrest personer (Hasle bygg 4) har kortest evakueringstid.

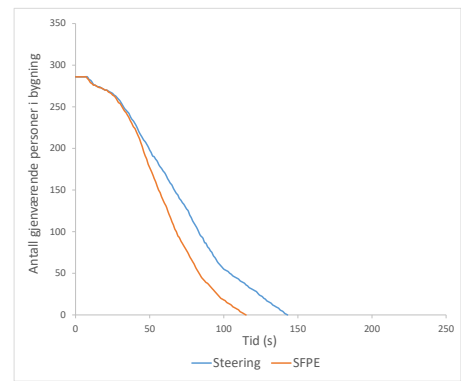
Tabell 5.6: Total evakueringstid i SFPE-modus med standardverdier som input

Bygning	Antall personer	Total evakueringstid (s)	Total evakueringstid (min:s)
Løren bygg D	843	235	3:55
Hasle bygg 4	286	114	1:54
Hasle bygg 5	762	208	3:28

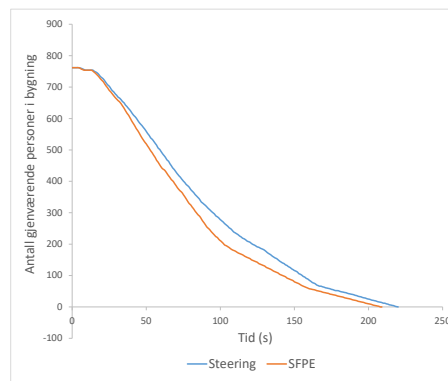
Figur 5.20 viser gjenværende personer over tid, ved simulering med standardverdier i Steering- og SFPE-modus. For Løren skole er evakueringstiden nesten lik ved bruk av de to modusene. Steering-modus gir en evakueringstid på 232 s mens SFPE-modus gir en evakueringstid på 235 s, det er kun 3 s som skiller de. For Hasle skole bygg 04 er det derimot betydelig mer forskjell. Steering-modus resulterte i en tid på 143 s og SFPE-modus endte på 114,5 s. SFPE-modus ga en evakueringstid som var 28,5 s tregere enn det Steering-modus ga. I motsetning til dette var evakueringstiden i Steering-modus mer konservativ enn i SFPE-modus for bygg 05 på Hasle skole, men det skilte kun 11,5 s.



(a)



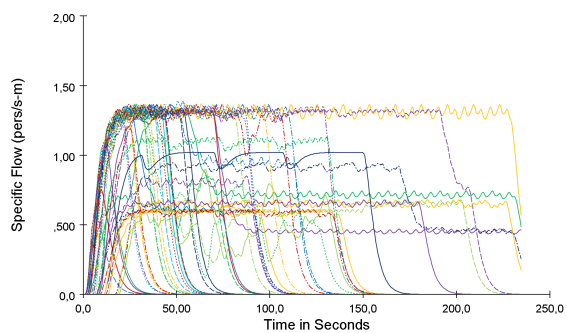
(b)



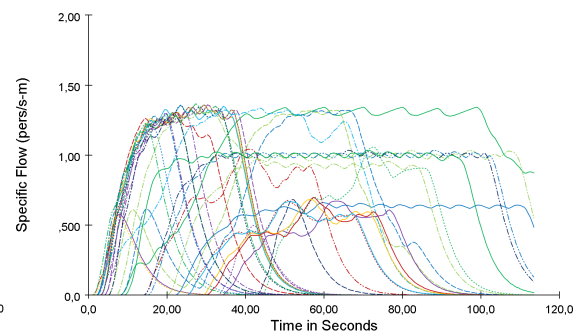
(c)

Figur 5.20: Gjenværende personer i bygget over tid i Steering-modus og SFPE modus for (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05.

Den spesifikke flyten som oppnås gjennom en dør er mer jevn i SFPE-modus, sammenlignet med Steering-modus. Ved bruk av standardverdier var den spesifikke flyten for mange dører mellom 1,0 og 1,5 personer/(s m), slik som figur 5.21 viser.

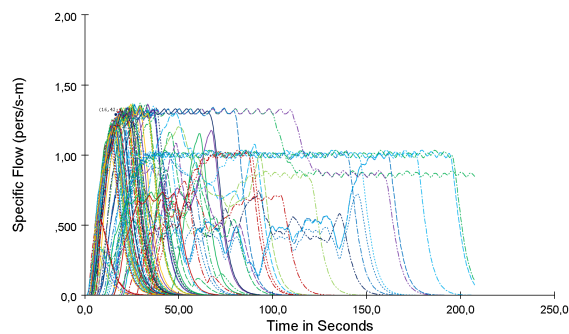


(a)



(b)

Figur 5.21

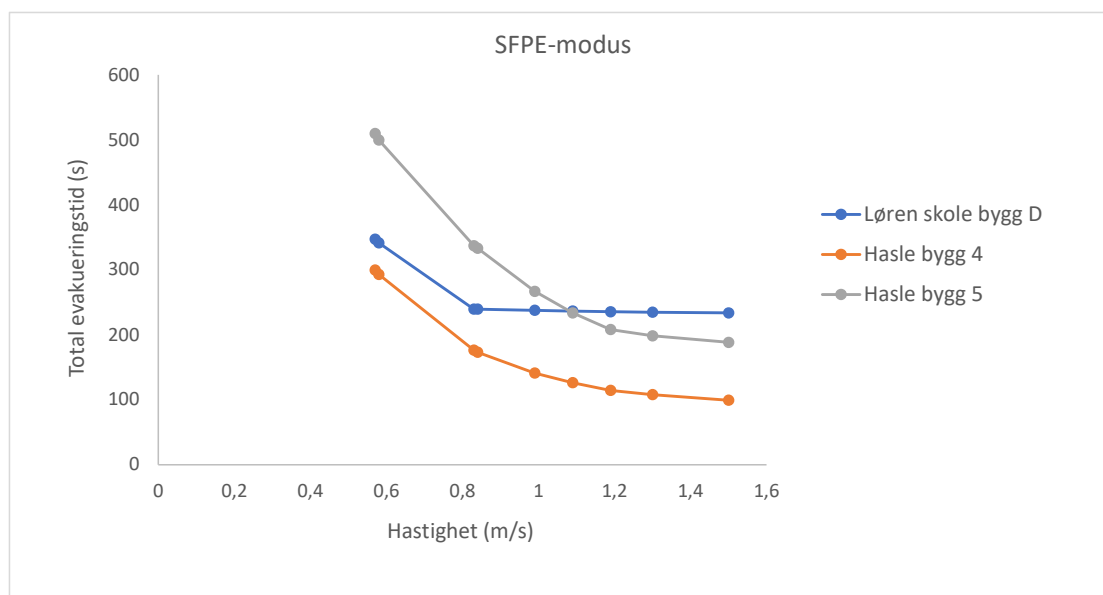


(c)

Figur 5.21: Spesifikk flyt gjennom dører over tid med standardverdier i SFPE-modus for (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05

5.4.2 Ganghastighet

Maksimal ganghastighet ble variert på samme måte som det ble gjort i Steering-modus. Resultatene er plottet i figur 5.22. For Løren skole bygg D holder evakueringstiden seg omtrent lik uavhengig av ganghastighet, helt til det plutselig skjer en stor forandring mellom 0,83 m/s og 0,58 m/s. For de to andre byggene økte forflytningstiden for hvert steg der hastigheten ble satt ned. Det er ikke en lineær sammenheng mellom hastighet og forflytningstid. Ved mindre hastigheter er forflytningstiden mer sensitiv for variasjon enn ved høyere hastigheter.

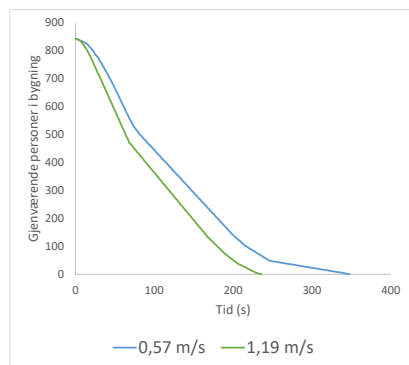


Figur 5.22: Total evakueringstid påvirkes av ganghastighet i SFPE modus

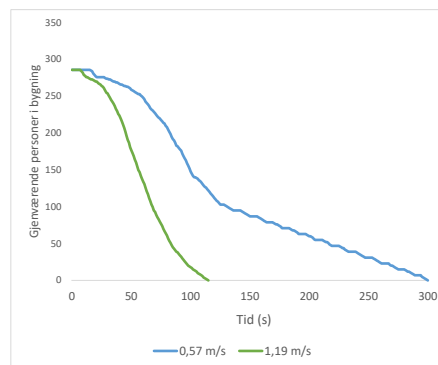
Dersom resultatene for den laveste hastigheten sammenlignes med Steering-modus, på samme måte som de ble sammenlignet med standardverdier, ser en at differansen mellom verdiene i de to modusene ikke har forblitt likt. For bygg D på Løren ga simulering med Steering-modus det tregeste resultatet, og det skilte 49,5 s. For bygg 04 på Hasle skole, som hadde den største forskjellen mellom

de to modusene ved standardverdier, var resultatet i Steering-modus og SFPE-modus nesten helt lik. SFPE-modus ga 1,2 s lenger evakueringstid enn Steering-modus. Resultatet på Hasle skole bygg 05 endret seg fra at Steering-modus ga den lengste evakueringstiden ved standardverdier, til at SFPE-modus ga en lenger evakueringstid. Da hastigheten var satt til 0,57 m/s var evakueringstiden 464,3 s ved Steering-modus, mens SFPE-modus ga en tid på 509,8 s. Det er en differanse på 45,5 s mellom de to modusene.

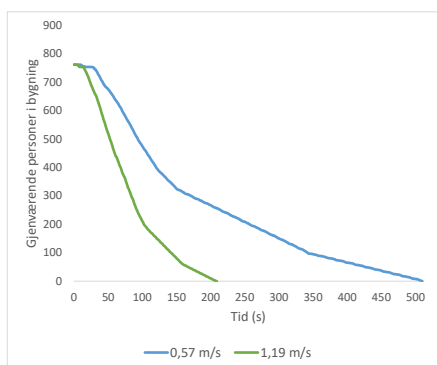
I figur 5.23 er gjenværende personer over tid plottet for simulering med den laveste ganghastigheten, 0,57 m/s, og hastigheten som er angitt som standard, 1,19 m/s. Denne reduksjonen av hastighet ga en økning i forflytningstiden på 147,5 % på Løren skole bygg D, 261,6 % for bygg 04 på Hasle skole og 245,1 %. Det var altså mer enn fordobling i forflytningstid for byggene på Hasle skole. Likt som for simulering i Steering-modus førte reduksjonen i ganghastighet til større økning i byggene på Hasle skole enn bygget på Løren skole.



(a)



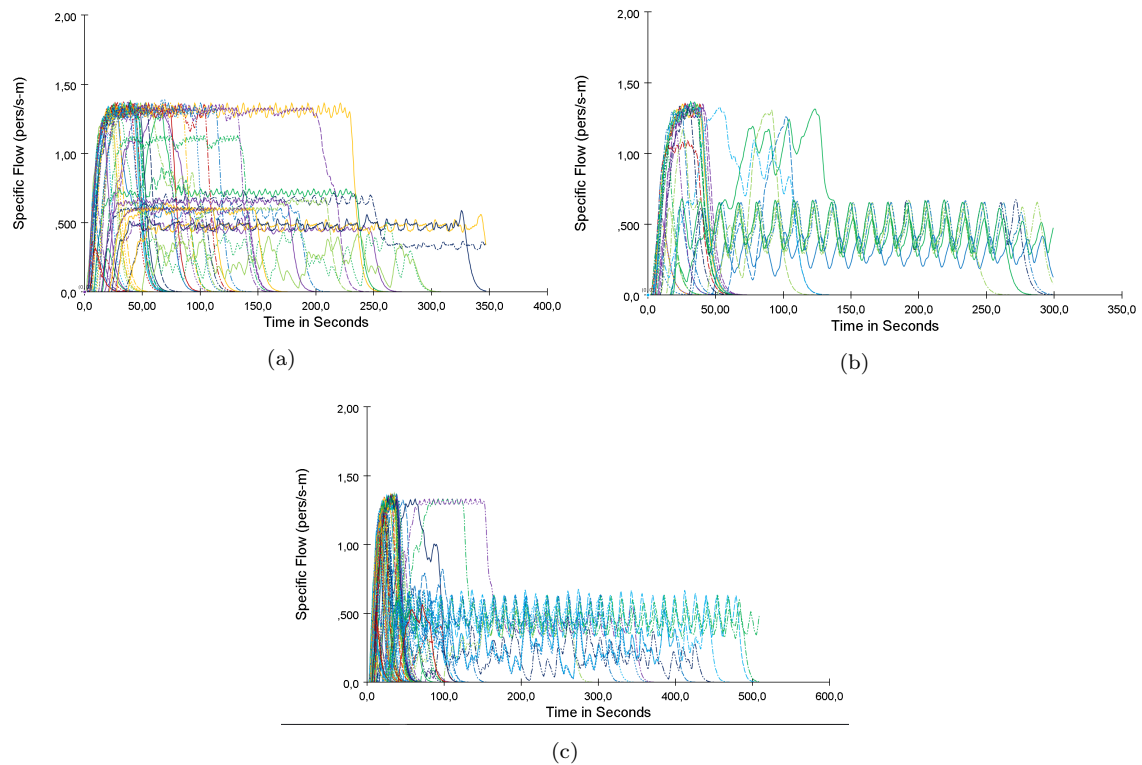
(b)



(c)

Figur 5.23: Gjenværende personer i bygget over tid i SFPE-modus ved ulike hastigheter for (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 4 og (c) Hasle skole bygg 5.

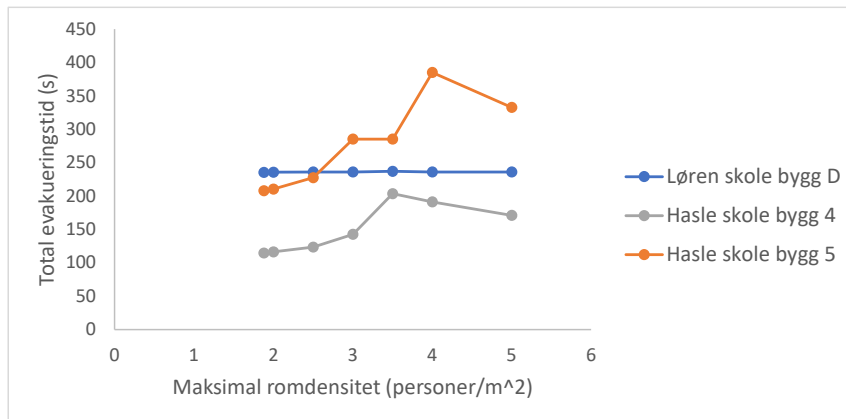
Endret hastighet påvirker ikke den spesifikke flyten i stor grad. Spesifikk flyt ligger mellom 1,0 og 1,5 personer/(s m) gjennom mange dører, når den maksimale ganghastigheten er 0,57 m/s slik som figur 5.24



Figur 5.24: Spesifikk flyt gjennom dører over tid, ved den laveste hastigheten (0,57 m/s) i SFPE-modus for (a) Løren skole bygg D, (b) Hasle skole bygg 04 og (c) Hasle skole bygg 05

5.4.3 Maksimal romdensitet

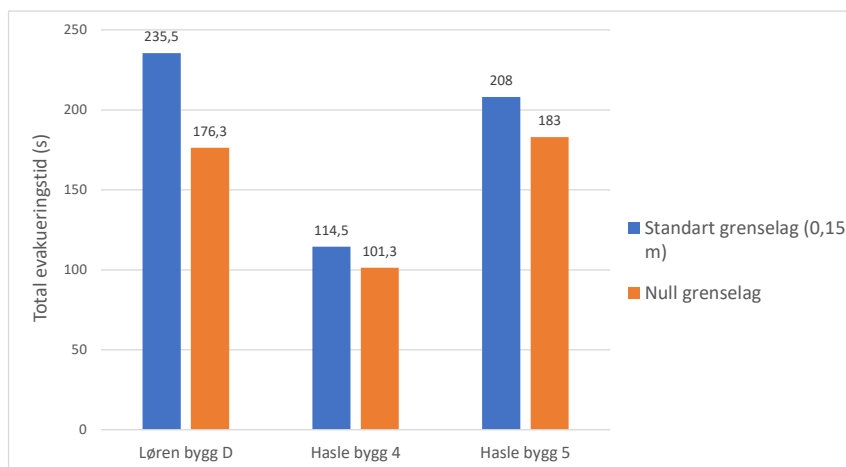
Barn kan ha høyere densitet enn voksne mennesker, men ved å sette høy maksimal romdensitet i Pathfinder kan det føre til økt rømningstid fordi hastigheten er avhengig av densiteten. Høy densitet betyr lav hastighet. I figur 5.25 er resultatet fra simuleringer med ulike maksimale romdensiteter plottet. For Løren skole holder evakueringstiden seg stabil ved endret maksimal romdensitet, men for byggene på Hasle skole fører generelt en økt maksimal romdensitet til lengre evakueringstid.



Figur 5.25: Total evakueringstid ved varierende maksimale romdensitet. SFPE-modus.

5.4.4 Grenselag

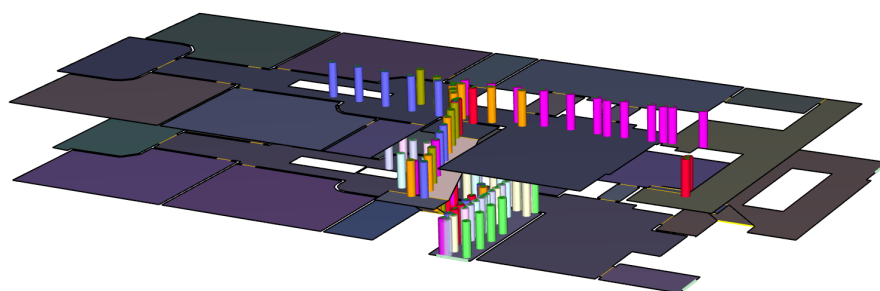
Raten personer slipper gjennom dører på, regnes med den frie bredden i døren som parameter. Ved å sette grenselaget mot vegg til 0,0 m, slik at hele bredden i dører kan utnyttes, vil den frie bredden som inngår i beregninger for flytraten gjennom dører øke. Grenselaget ble satt lik 0,0 m, resterende verdier som standardverdier, og resultatet er vist i figur 5.26 sammen med resultatet fra simulering med standardverdier. Som forventet synker evakueringstiden dersom grenselaget mot vegg reduseres. Effekten av å la personene utnytte hele bredden er større i SFPE-modus enn i Steering-modus. For Løren skole bygg D synker hastigheten med 59,2 s når grenselaget fjernes, det er en reduksjon på 25,1 %. For Hasle skole bygg 04 synker evakueringstiden med 13,2 s, en reduksjon på 11,5 %. For Hasle skole bygg 05 er differansen i tid 25 s, som er en reduksjon på 12 %.



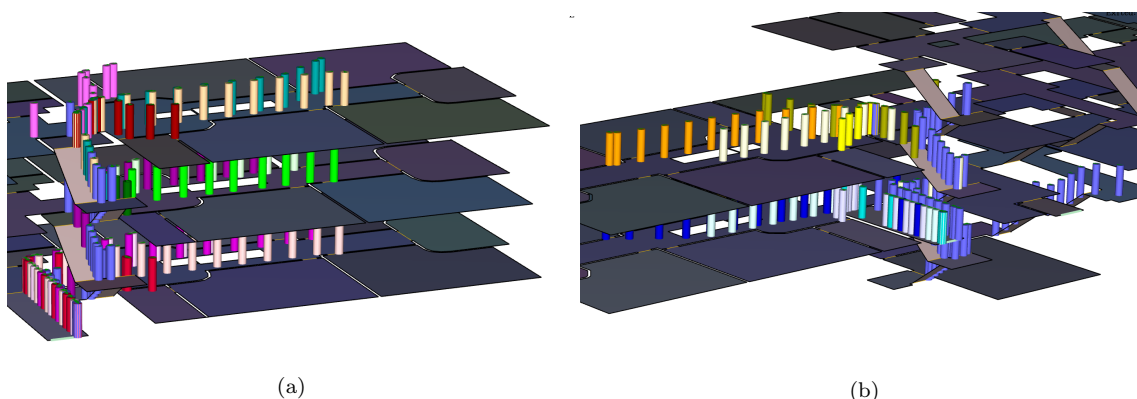
Figur 5.26: Total evakueringstid med og uten grenselag mot vegg i SFPE-modus.

5.4.5 Gruppebevegelse

For de to byggene på Hasle skole ble evakueringstiden simulert ved organisering i bevegelsesgrupper. Gruppedelingen var lik som for Steering-modus. Fordelingen i grupper er lik som det ble gjort for Steering-modus, så figur 5.17a og 5.18a viser hvordan personene er delt opp i ulike grupper i hhv. bygg 04 og bygg 05 ved Hasle skole. Figur 5.27 og 5.28 viser fordelingen av personer et stykke ut i simuleringen. Her er det tydelig at i begge skolene blir de ulike klassene blandet på veien ut. Spesielt ved inngangen til trappene slippes personer fra ulike klasser gjennom døren om hverandre.

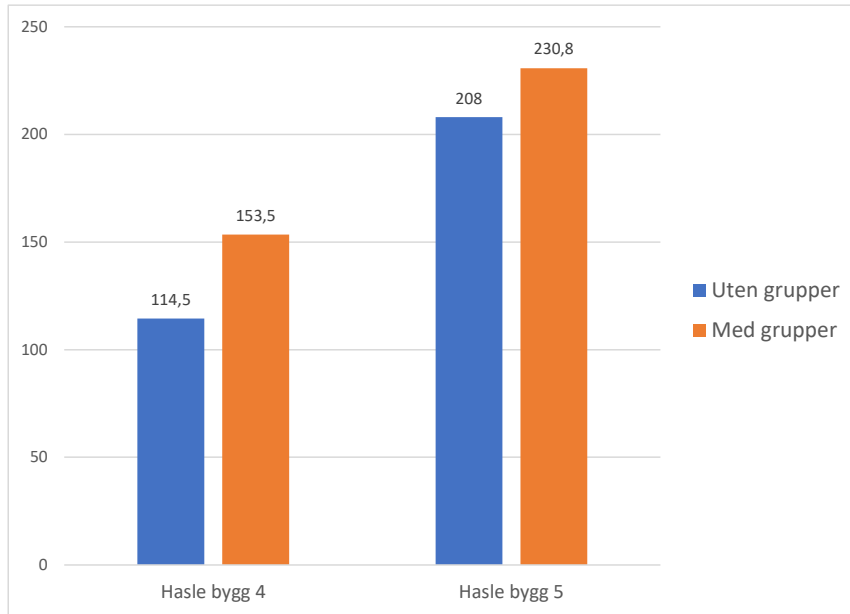


Figur 5.27: Illustrasjon av rømning med organisering i grupper for Hasle skole bygg 04 i SFPE-modus



Figur 5.28: Illustrasjon av rømning med organisering i grupper for Hasle skole bygg 05 i SFPE-modus. (a) og (b) viser to ulike ender av bygningen.

Resultatet fra simuleringene er vist i figur 5.29 sammen med resultat fra simulering uten grupper, begge simuleringene bruker like verdier som input lik standardverdiene og simuleringen er i SFPE-modus. Evakueringstiden var høyere med organisering i bevegelsesgrupper enn uten i begge byggene. For Hasle skole bygg 04 økte evakueringstiden med 39 s, evakueringstiden med grupper var 134 % av tiden uten grupper. For Hasle skole bygg 05 økte evakueringstiden med 22,8 s, evakueringstiden med grupper var 110,1 % av evakueringstiden uten grupper. For bygg 04 er økningen noe større enn den var i Steering-modus, men for bygg 05 forskjellen mellom evakueringstiden med og uten grupper mye mindre ved SFPE-modus enn Steering-modus.



Figur 5.29: Total evakueringstid med og uten organisering i bevegelsesgrupper. SFPE-modus

Kapittel 6

Diskusjon

6.1 Resultatene fra simuleringene

6.1.1 Påvirkning på forflytningstid

Den kvantitative analysen viste at det både var faktorer som førte til en forlenget og redusert evakueringstid da verdiene ble endret til å ligne mer på barn. Faktorer som virket negativt på forflytningstiden var ganghastighet og gruppebevegelse. Skulderbredden, null grenselag mot vegg og forhold mellom hastighet og densitet var faktorer som førte til kortere evakueringstid med verdier tilsvarende barn, sammenlignet med standardverdiene. Parametre som ikke hadde forventet innvirkning på evakueringstiden var komfortavstand i Steering-modus og Maksimal romdensitet i SFPE-modus.

Komfortavstand hadde ikke noe spesiell innvirkning på evakueringstiden, og det kan være fordi verdiene var veldig like hverandre. Komfortavstanden ved standardverdi er kanskje så lav at det ikke har stor påvirkning på bevegelsen å redusere den. Økt maksimal romdensitet førte til en lavere hastighet på grunn av forholdet mellom hastighet og densitet. Målet med å tillate høyere flyt ble dermed ikke oppnådd. Endringen med å øke den maksimale romdensiteten resulterte nok derfor ikke i at simuleringen ble mer tilpasset barn.

Dersom hver skole vurderes hver for seg, og bidraget fra hver parameter blir vurdert, kan den totale påvirkningen av at barn behøver andre inputverdier vurderes. Man kan ikke legge sammen tidene for å vurdere hvordan kombinasjonen av alle verdiene virker sammen, men størrelsen som virker i negativ og positiv retning kan si noe om hvordan den totale tiden blir påvirket av endringene.

På Løren skole økte forflytningstiden i Steering modus med 171 s når ganghastigheten ble senket fra standardverdi på 1,19 m/s til 0,57 m/s, og den økte med 6,5 s med organisering i bevegelsesgrupper. Med nytt forhold mellom hastighet og densitet og minste skulderbredde, var evakueringstiden 144 s lavere enn ved bruk av standardverdier, og ved å ta vekk grenselaget mot vegg ble tiden redusert med 23,3 s. For SFPE modus økte reduksjonen i hastighet forflytningstiden med 111,8 s og effekten av å ta vekk grenselaget mot vegg reduserte den med 59,2 s.

På Hasle skole bygg 04 økte evakueringstiden i Steering-modus med 155,3 s ved reduksjon i hastig-

het, og med 35,5 s ved organisering i grupper. Evakueringstiden ble redusert med 62,7 ved endret skulderbredde og hastighet-densitet-forhold, og ved å ta vekk grenselaget 5,5 s. I SFPE-modus økte evakueringstiden med 185 s ved redusert ganghastighet og 39 s ved bruk av bevegelsesgrupper. Tiden ble redusert med 13,2 s ved å ta vekk grenselaget

Ved simulering av evakueringstid i bygg 05 på Hasle skole ble den i Steering-modus økt med 244 s ved reduksjon av hastighet og 142 ved bruk av grupper. Tiden ble redusert med 113 s ved mindre skulderbredde og nytt forhold mellom densitet og 6 s ved å ta vekk grenselaget. I SFPE-modus økte evakueringstiden med 301,8 s ved redusert ganghastighet og 22,8 s ved bruk av bevegelsesgrupper, og tiden ble redusert med 25 s ved å ta vekk grenselaget.

Det kan se ut som om faktorene som virker i negativ retning har noe større innvirkning på forflytningstiden enn de som virker i positiv retning, spesielt i SFPE-modus. Hastigheten er den faktoren som påvirker tiden i størst grad, men også det at forholdet mellom hastighet og densitet er annerledes for barn enn for voksne, ser ut til å ha stor innvirkning på resultatet. Dette definerte forholdet kan ha stor innvirkning på muligheten til å kunne representere barns bevegelse på en realistisk måte. Det er flere av artiklene nevnt i teorien som hadde observert annet forhold mellom hastighet og densitet, også ved at barn oppnår høyere flyt ved høyere densiteter.

6.1.2 Påvirkning på spesifikk flyt

Figur 3.13 viste at den maksimale flyten for voksne oppnås ved en densitet på 1,9 personer/m² og er mellom 1,0 og 1,5 personer/(s m). Den illustrerte også innsamlet data fra flere studier som viste at barn oppnådde en betraktelig høyere spesifikk flyt enn dette. Siden det er et klart skille mellom spesifikk flyt gjennom en dør når en gruppe barn og en gruppe voksne beveger seg gjennom den, kan den spesifikke flyten som ble oppnådd i simuleringene si noe om bevegelsen hvor godt beskriver barn. Ved bruk av standardverdier i både Steering- og SFPE-modus, blir den maksimale spesifikke flyten i de fleste dørene mellom 1,0 og 1,5 personer/(s m). Det er samme maksimale flyt som i følge Nelson og Mowrer sin flytkurve vil være mulig å oppnå. Det vil ikke være en realistisk fremstilling av bevegelsen til en gruppe barn.

Redusert ganghastighet i Steering-modus fører til at den maksimale spesifikke flyten som oppnås blir lavere. Ved å endre forholdet mellom hastighet og densitet øker den spesifikke flyten noe, men verdien blir ikke over 1,5 personer/(s m). Mye av grunnen til at barn oppnår en høyere spesifikk flyt enn voksne, er at de fysisk er mindre i størrelse. Dermed er det plass til flere personer per arealenheter. Ved å endre skulderbredden økte densiteten noe, det ble observert en spesifikk flytrate på mer enn 1,5 personer/(s m) i flere dører. Spesielt på Løren skole var det mange dører der flytraten var over 1,5 personer/(s m) når skulderbredden var 19,54 cm. Dette tyder på at å redusere skulderbredden er en viktig faktor for å tilpasse simuleringen til å vise rømning av en gruppe barn.

Ved å endre skulderbredden og forholdet mellom hastighet og densitet økte flytraten til verdier som bare oppnås når en gruppe med barn beveger seg. Den spesifikke flyten økte til å ligne på verdier som gitt i figur 3.6.1. Det hjelper ikke å kun endre hastigheten og størrelsen på personene i simuleringen, for at resultatet skal stemme med observasjoner av barns bevegelse i rømningssituasjoner. Det viser seg at forholdet mellom hastighet og densitet er viktig for å beskrive bevegelsen til barn. Resultatet fra simuleringen med endret skulderbredde og endret hastighet-densitet-forhold, var den

eneste som viste flytrater lik det presentert i litteratur om bevegelse av barn i rømmingssituasjoner. Evakueringstiden når den spesifikke flyten var høy, var lavere enn observert ved bruk av standardverdier.

6.1.3 Ulike simuleringsmoduser

Det er stor forskjell på hvilke parametre som påvirker bevegelsen i de to modusene. I Steering-modus er det flere parametre som direkte kan måles, for eksempel skulderbredden og egendefinert forhold mellom hastighet og densitet. I SFPE-modus har ikke skulderbredden noen påvirkning, siden personer kan overlape hverandre, og forholdet mellom hastighet og densitet er gitt ut fra et fast forhold. Som resultat er det lettere å bruke Steering-modus til å endre parameterene slik at de representerer en spesifikk gruppe mennesker. I begge modusene kan maksimal ganghastighet defineres, noe som er en viktig parameter for å beskrive barn. I tidligere studier er det stor enighet om at barn beveger seg med en lavere hastighet enn voksne. Det er kun Steering-modus som kan ta hensyn til at forholdet mellom hastighet og densitet ikke er likt for voksne og barn, men barn kan oppnå høyere flytrate enn voksne. Uten å endre forholdet mellom hastighet og densitet til å ligne mer på barn, der hastigheten kan opprettholdes ved høyere densitet, vil det bli et mer konservativt resultat.

6.1.4 Gruppebevegelse

Å organisere personer i grupper som har et ønske om å holde sammen under evakueringen resulterte i en forlenget evakueringstid, den samme effekten vil nok skje i virkeligheten også. Når en gruppe prøver å holde sammen kan det føre til mer venting. Det ble større samling av personer på samme rømningsvei ved bruk av grupper, og det kan skyldes at alle ønsket å bruke den samme rømningsveien. Uten grupper kostet det mindre å bytte valg av vei. I analysen ble det observert at gruppene ble splittet opp, og flere klasser ble blandet i trappene. På barneskoler øver de på å gå i brannrekker som de skal følge i en rømmingssituasjon, men om rekkene faktisk blir opprettholdt i en rømmingssituasjon er noe som kan undersøkes nærmere i en feltundersøkelse. Om klassene går helt samlet på rekker i løpet av hele rømmingstiden, om de blander seg med andre klasser på samme rømningsvei og om hele klassen benytter samme rømningsrute er observasjoner som kan undersøkes i en feltundersøkelse. Mer kunnskap om temaet kan gi informasjon om hvilke oppførsler som skal tilegnes gruppene, for at oppførselen skal være så lik en virkelig rømning som mulig.

Selv om simuleringene viste at organisering i grupper førte til en noe økt rømmingstid, er nok gruppebevegelsen et viktig tiltak for effektiv rømning. Evakuering er en sosial prosess, og automatisk vil personer holde sammen med andre. Barn er mindre selvstendige til å ta egne valg, og å følge rutiner de har øvd på er nok en viktig faktor for å redusere reaksjonstiden. Valg som må tas underveis i forhold til rutevalget vil også bli enklere siden de kan følge etter en leder. Organiseringen i grupper har mange positive effekter for den totale evakueringstiden, men selve forflytningen vil kunne ta litt mer tid. Det er en faktor som bør tas med i beregninger for å få en så realistisk representasjon av rømning som mulig.

Mer forskning og innhenting av mer data for faktorer som har vist seg å ha viktig innvirkning på simulering av realistisk bevegelse av barn, kan bidra til å redusere usikkerheten i beregninger.

Dette kan igjen gi økt sikkerhet knyttet til resultatene for beregnet av nødvendig rømningstid ved dokumentasjon av fravik.

6.2 Skolenes utforming

Byggene på Hasle skole er veldig like hverandre, bygg 05 er bare større. Byggene er nye og inneholder flere av de fravikene som er identifisert som mulig at forekommer på bakgrunn av trender i utforming og materialbruk. Bygg D på Løren skole er et gammelt bygg som har blitt rehabilitert. Det er trangere og mindre fri bredde per person i rømningsveiene på Løren skole enn på Hasle skole. Det kan se ut som om forflytningstigen forandret seg relativt likt med endrede variabler i begge byggene på Hasle skole, mens forflytningstiden på Løren skole hadde en noe annen korrelasjon ved flere anledninger. Dette kan skyldes påvirkning fra de ulike utformingene, plassering av personer og antall personer i forhold til areal.

Reduksjon i ganghastighet førte til en større prosentvis økning av forflytningstid i byggene på Hasle skole enn på Løren skole, både i Steering- og SFPE-modus. Dette kan skyldes at det er plassert veldig mange personer i 1. etasje på Løren skole, og fra kantinen, der det er mange personer, er det utgang direkte til det fri. Det er altså mange av personene i simuleringen som har en kort rømningsrute som fører til at ganghastigheten har mindre påvirkning.

6.3 Vurdering av sikkerhet

Statistikken over brannhendelser i barneskoler presentert i introduksjonen, viser at det sjeldent er personskader ved brannhendelse, og at brann- og redningsetaten svært sjeldent aktivt må redde barn. Idet Brannvesenet ankommer ulykkesplassen, er som regel alle personer allerede ute av bygget. Dette kan være en indikasjon på at rømningsforholdene i norske barneskoler er gode.

Det har vist seg at det er mange faktorer ved skoler som har en positiv innvirkning på rømningstiden. Nøye opplæring av ansatte og fokus på brannvern allerede før kontrakt underskrives, jevnlig øvelser og klar rollefordeling er alle faktorer som bidrar positivt for å redusere evakueringstiden. Det er godt lagt til rette for at rømningsforhold i skoler skal være svært gode, selv om barn beveger seg på en noe annerledes måte enn voksne. Det er alltid en usikkerhet knyttet til hvor godt rutiner blir fulgt av ulike skoler. Det settes regler sentralt om internkontroll, men menneskelige feil kan bli gjort.

Mange øvelser og andre falske alarmer kan være med å bidra til at påliteligheten til brannalarmen svekkes. Dette er et stort problem, for det kan føre til at personer ikke begynner evakueringen med en gang, men foretar seg andre hendelser først. Det kan vurderes at med høyt fokus på brannvern og rutiner blant ansatte, så øker sannsynligheten for at en alarm blir tatt på alvor. Rømning vil da starte raskt. I en undervisningssituasjon er fokus rettet samme sted for alle som er i samme rom, og det er lite sannsynlig at personene i rommet føler at de er midt i en situasjon de ikke kan forlate. Reaksjonstiden er viktig for den totale evakueringstiden. Hvor lang reaksjonstiden er i norske barneskoler er noe som med fordel kan undersøkes nærmere i en feltundersøkelse, for å minimere usikkerheten knyttet til evakueringstiden.

Utformingen av bygget kan også påvirke reaksjonstiden. Trendene i fysisk utforming av skolebygg tyder på mer bruk av åpenhet og transparens noe som vil gi bedre oversikt. En viktig faktor ved utformingen er også å unngå mobbesoner, altså færre skjulte områder. Bedre oversikt gir bedre mulighet for at brannen oppdages tidlig og gjør det lettere for personer å tilegne seg informasjon om situasjonen. Tilgjengelig informasjon er en viktig faktor for å senke reaksjonstiden.

I tillegg til at det generelt er mange faktorer ved skolebygg og organiseringen som bidrar til å sørge for en lav evakueringstid, kan det å sette inn tiltak som kan bedre forholdene, og minke usikkerheten knyttet til forholdene. Siden det er en del gjentakende brannårsaker og arnesteder vil tiltak som fokuserer på å tidlig oppdagelse av disse brannen hjelpe til med å holde varslingstiden på et lavt nivå. Tidlig varsling øker også sannsynligheten for å slokke brannen raskt. Å sørge for at detektorer er plassert på utsatte steder, selv om dette ikke er et krav, er viktig for å holde varslingstiden så lav som mulig. Bruk av talevarsling kan bidra til at reaksjonstiden forkortes, og er et tiltak som anbefales brukt av Utdanningsdirektoratet.

Det er altså mange faktorer som sammen sørger for gode rømningsforhold. Det er lite som tilsier at det er høy risiko knyttet til personsikkerhet i skoler. Dette peker på at det er gode muligheter til å oppnå sikkerhet for personer selv om ikke alle preaksepterte løsninger av overflatematerialer i store brannceller og rømningsveier følges. Forhold og tiltak som kan sørge for kort nødvendig rømningstid, kan føre til at tilfredsstillende sikkerhetsnivå oppfylles, selv om bruk av brennbare materialer på overflater og kledninger påvirker den tilgjengelige rømningstiden.

Selv om det er gode rømningsforhold, vil bruk av brennbare materialer øke faren ved at de bidrar til en raskere brannutvikling i tidlig fase. Automatisk sprinkleranlegg hindrer utviklingen tidlig i brannforløpet og hindrer overtenning. Dette blir sett på som et viktig tiltak å bruke dersom det skal være brennbare materialer på overflater. Det vurderes at effekten av dette tiltaket, sammen med mange faktorer som sørger for gode rømningsforhold, at det skal være mulig å dokumentere tilfredsstillende sikkerhet i bygg med mer bruk av treverk.

Et brannscenario som ble vurdert i den kvalitative analysen var påtente branner på toaletter. Toaletter er ikke hovedstedet der det er ønskelig å bruke treverk, sannsynligheten for at det finnes mye brennbart materiale på toalettet er derfor liten. Disse brannene er oftest små og lite omfattende, og vil derfor ikke utgjøre en veldig stor risiko.

Når man gjennomfører rømningsanalyser så vet man mer om hva sannsynlig rømningstid enn om man ikke utfører rømningsanalyse. Ved dokumentasjon av fravik om bruk av eksponert treverk, som påvirker den tilgjengelige rømningstiden, bidrar rømningsanalysen til å gi et bedre beslutningsgrunnlag for designet. Mer sikkerhet i rømningsanalysene bidrar til å gi mer sikkerhet til dette beslutningsgrunnlaget.

Høy usikkerhet i beregninger som brukes for å dokumentere fravik krever en stor sikkerhetsmargin for å kunne dokumentere at sikkerhetsnivået er på et tilfredsstillende nivå. Da må mer konservative løsninger velges, og muligheten for at det er mulig å verifiser et fravik med bruk av ubehandlet treverk, minsker. Derfor er det viktig at det finnes god kunnskap om oppførselen til barn på norske barneskoler for å kunne sikre gode beregninger av evakueringstider. Kunnskapsnivået og reliabiliteten til data kan økes ved utførelse av feltundersøkelser ved barneskoler under rømningsøvelser.

Kapittel 7

Konklusjon

Rømningssimuleringene som har blitt utført viste at det er faktorer ved adferden til barn som skiller seg fra voksne mennesker. Endring av noen parametre, for å tilpasse simuleringen til barn, førte til forlenget rømningstid i forhold til resultatet med verdier tilpasset voksne. Andre hadde motsatt effekt, og rømningstiden ble redusert. Den viktigste faktoren ved barns oppførsel som tilsier at rømningstiden forlenges, er at de har en lavere ganghastighet. At barn er av mindre størrelse, og derfor kan oppnå en høyere spesifikk flyt enn voksne, er et viktig prinsipp å inkludere i rømningssimuleringene for å hindre at beregnet rømningstid blir vesentlig høyere enn virkeligheten. Dette kan inkluderes ved å redusere skulderbredden og endre forholdet mellom hastighet og densitet. Dette kan kun gjøres i Steering-modus i Pathfinder, og det vurderes derfor at simuleringsmodusen Steering er mer egnet enn SFPE til å tilpasse oppførselen til en gruppe med barn.

Det har vist seg at det er flere faktorer ved utformingen og organiseringen av skolebygg som har positiv innvirkning på den nødvendige rømningstiden. Åpenhet, mer bruk av transparens, anbefaling om at skolebygg utføres med toveis talevarsling, opplæring av ansatte, klar rollefordeling og jevnlig øvelser er faktorer som bidrar til å holde reaksjonstiden kort. Detektorsystem som er tilpasset de farene som er på skolebygg og bruk av transparente vegger er faktorer som kan bidra til en kort varslingstid.

Økt rømningstid på grunn av redusert ganghastighet veid opp med mange forhold som legger til rette for kort rømningstid i skoler, fører totalt til at det er gode forutsetninger for at rømningstiden ikke er lenger enn for et tilsvarende bygg med voksne mennesker. Rømningsforholdene legger til rette for at det bør være mulig å oppnå tilfredsstillende sikkerhet, selv ved bruk av eksponerte brennbare materialer. Heldekkende automatisk sprinkleranlegg vurderes som et viktig tiltak for å redusere risikoen.

Rømningsanalyser er et godt verktøy for å finne sannsynlig nødvendig rømningstid, noe som kan brukes som et beslutningsgrunnlag ved prosjektering. For å øke sikkerheten til beslutningsgrunnlaget, kan med fordel mer forskning gjøres på barns oppførsel under nødsituasjoner på barneskoler.

Kapittel 8

Videre arbeid

På grunn av manglende mengde i data for å ha en sikker teori rundt barns oppførsel i evakueringssituasjoner, ansees det som viktig med mer forskning og innhenting av data om faktorer som viser seg å ha viktig innvirkning på simulering av realistisk bevegelse av barn. Dette kan bidra til å redusere usikkerheten i beregninger, som igjen kan igjen gi økt sikkerhet knyttet til resultatene for beregnet nødvendig rømningstid ved dokumentasjon av fravik. Siden det ikke har blitt gjort målinger på barneskoler i Norge tidligere, vurderes det relevant å gjennomføre realistiske feltmålinger på skoler, slik at forhold ved organisering og utforming av norske barneskoler, kan bli tatt i betraktning.

Innhenting av relevant feltdata kan gjøres ved målinger av godt planlagte rømningsøvelser. Både kvantitative målinger og kvalitative observasjoner er viktig for å kunne få sikker kunnskap om hvordan rømning fra en barneskole på best mulig måte blir beskrevet. Viktige faktorer å undersøke er reaksjonstid, hastighet, flyt gjennom dører, samt sammenhengen mellom hastighet og densitet, organiseringen i grupper og hvordan en klasse holder sammen i løpet av rømningen.

I tillegg bør resultater fra simuleringer sammenlignes med data og observasjoner fra feltundersøkelser, slik at kunnskapen om hvordan rømning på barneskoler skjer i praksis, på best mulig måte blir representert i simuleringer mht. tid, strømning gjennom dører, fordeling av personer osv.

Plan for utførelse av en feltundersøkelse, for å undersøke disse punktene, er i vedlegg 5. Her blir også aspekter for ivaretagelse av personvern, som det er nødvendig å ta hensyn til, vurdert. Planen ble laget i forkant av øvelser som skulle blitt utført i arbeid med denne masteroppgaven, men på grunn av Covid-19 pandemien og stengte skoler, ble det ikke mulig å utføre øvelsene.

Bibliografi

- [1] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, “Brannstatistikk,” <https://www.brannstatistikk.no/brus-ui/>, 2020, (Accessed on 27.05.2020).
- [2] Finans Norge, “Brannskadestatistikk (brask),” <https://www.finansnorge.no/statistikk/skadeforsikring/brannstatistikk/>, (Hentet 13.05.2020).
- [3] Sintef Byggforsk, “240.005 lover og regler for bygge- og anleggsnæringen,” 2016.
- [4] Standard Norge, “Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner del 1-2: Brannteknisk prosjektering,” 2010, <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=418958>.
- [5] Direktoratet for byggkvalitet, “Byggteknisk forskrift (tek17) med veiledning,” 2017, <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/>.
- [6] Sintef Byggforsk, “520.385 nødvendig rømningstid ved brann,” 2016.
- [7] P. Thompson, D. Nilsson, K. Boyce, and D. McGrath, “Evacuation models are running out of time,” *Fire Safety Journal*, vol. 78, pp. 251–261, 2015.
- [8] A. R. Lárusdóttir and A. S. Dederichs, “A step towards including children’s evacuation parameters and behavior in fire safe building design,” *Fire Safety Science*, vol. 10, pp. 187–195, 2011.
- [9] G. N. Hamilton, P. F. Lennon, and J. O’raw, “Human behaviour during evacuation of primary schools: Investigations on pre-evacuation times, movement on stairways and movement on the horizontal plane,” *Fire Safety Journal*, vol. 91, pp. 937–946, 2017.
- [10] M. M. . N. Johansson, “Brandforsk resultatseminarium: Uppföljning av åtgärder för att begränsa konsekvenserna av anlagda bränder i skolbyggnader,” <https://www.brandforsk.se/seminarier-och-workshops/resultat-webinar-uppfoljning-av-atgarder-for-att-begransa-konsekvenserna-av-anlagda-brander-i-skolbyggnader-12-maj-2020/>, 2020.
- [11] E. Vinje, “Baseskoler. en kritisk diskursanalyse av teksten baser fra rådgivningstjenesten for skoleanlegg,” *FORMakademisk*, vol. 3, no. 2, 2010. [Online]. Available: <https://doaj.org/article/5cb1771221164abe9c30a790ab4f8988>

- [12] E. Storstrand, “Trender i nye grunnskolebygg,” 2014, (Hentet 13.04.2020). [Online]. Available: http://www.skoleanlegg.utdanningsdirektoratet.no/uploads/Artikler_vedlegg/Trender%20i%20nye%20grunnskolebygg.pdf
- [13] K. Buvik, “Trender innenfor fysisk utforming av grunnskoler,” 2005, (Hentet 09.04.2020). [Online]. Available: https://www.sintef.no/globalassets/upload/artikkel.trender-i-skolen_kb.pdf
- [14] Utdanningsdirektoratet, “Fra 2020 omlegger utdanningsdirektoratet sitt arbeid med fysisk læringsmiljø,” <http://www.skoleanlegg.utdanningsdirektoratet.no/artikkel/384/24/Fra-2020-omlegger-Utdanningsdirektoratet-sitt-arbeid-med-fysisk-laringsmiljo>, 12 2019, (Hentet 17.04.2020).
- [15] —, “Sikkerhet og beredskap i skoler,” <http://www.skoleanlegg.utdanningsdirektoratet.no/artikkel/144/Sikkerhet-og-beredskap-i-skoler>, 08 2019, (Hentet 17.04.2020).
- [16] —, “Unngå ”mobbesoner” i skolemiljøet,” <http://www.skoleanlegg.utdanningsdirektoratet.no/artikkel/188/Unnga-mobbesoner-i-skolemiljoet>, 03 2017, (Hentet 17.04.2020).
- [17] H. N. Larsen, “Bygg- og anleggssektorens klimagassutslipp,” Byggenæringens Landsforening, Report, 2019.
- [18] Bygg 21, “Bygg- og eiendomssektorens betydning for klimagassutslipp,” Kommunal- og moderniseringsdepartementet, Report, 2019.
- [19] Katharina Bramslev and Rolf Hagen and Heather Mason Haupt, “Gronn materialeguide,” <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2018/11/Gronn-Materialeguide-V2.pdf>, 2017, (Hentet 11.05.2020).
- [20] A. H. Buchanan and B. G. Honey, “Energy and carbon dioxide implications of building construction,” *Energy & Buildings*, vol. 20, no. 3, pp. 205–217, 1994.
- [21] P. Börjesson and L. Gustavsson, “Greenhouse gas balances in building construction: wood versus concrete from life-cycle and forest land-use perspectives,” *Energy Policy*, vol. 28, no. 9, pp. 575–588, 2000.
- [22] J. Glover, D. White, and T. Langrish, “Wood versus concrete and steel in house construction,” *Journal of Forestry*, vol. 100, no. 8, pp. 34–41, 2002. [Online]. Available: <http://search.proquest.com/docview/220825949/>
- [23] L. Gustavsson, K. Pingoud, and R. Sathre, “Carbon dioxide balance of wood substitution: Comparing concrete- and wood-framed buildings,” *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 11, no. 3, pp. 667–691, 2006.
- [24] O. H. Dale, “Nardo skole og barnehage,” <http://www.bygg.no/article/37274>, 10 2008, (Hentet 11.05.2020).
- [25] T. Joelson, “Nydalen videregående skole,” <http://www.bygg.no/article/69410>, 02 2011, (Hentet 11.05.2020).
- [26] A. Sellæg, “Skolebygg i tre i fokus på kursdagene,” 2017, (Hentet: 13.04.2020). [Online]. Available: <http://www.bygg.no/article/1300060>

- [27] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, “Veiledning til forskrift om brannforebygging,” 2017,
<https://www.dsb.no/lover/brannvern-brannvesen-nodnett/veiledning-til-forskrift/veiledning-til-forskrift-om-brannforebygging/#forebyggende-plikter-for-eieren-av-byggverk>.
- [28] Sintef Byggforsk, “614.016 byggebestemmelser 1924-1996. krav til utførelse,” 2017.
- [29] —, “410.010 funksjonskrav, ytelsesnivåer og tekniske løsninger,” 1997.
- [30] Justis- og beredskapsdepartementet, “Veiledning til forskrift om brannforebygging,” 2016,
<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-12-17-1710>.
- [31] Sintef Byggforsk, “321.026 brannsikkerhet. dokumentasjon av brannsikkerhetsstrategi,” 2013.
- [32] Standard Norge, “Ns 3901 krav til risikovurdering av brann i byggverk,” 2012,
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=532801>.
- [33] —, “Ns-en 13501-2:2016 brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler del 2: Klassifisering ved bruk av resultater fra brannmotstandsprøving, unntatt ventilasjonssystemer,” 2016,
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=832925>.
- [34] —, “Ns-en 13823:2010+a1:2014 prøving av byggevarers egenskaper ved brannpåvirkning. byggeprodukter (untatt gulvbelegg) som utsettes for termisk påkjenning fra en brennende gjenstand,” 2015,
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=732314>.
- [35] —, “Ns-en 13501-1:2018 brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler del 1: Klassifisering ved bruk av resultater fra prøving av materialers egenskaper ved brannpåvirkning,” 2019,
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1026484>.
- [36] K. Storesund, “Brannhemmet tre i fasader - aldring og bestandighet,” RISE Research Institutes of Sweden AB, Report 20453, 2019.
- [37] Direktoratet for byggkvalitet, “Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning,” 2017.
- [38] A. H. Buchanan, “Fire performance of timber construction,” *Progress in Structural Engineering and Materials*, vol. 2, no. 3, pp. 278–289, 2000.
- [39] E. Skaug, “Trevirkets oppbygging og egenskaper,” *Fokus på tre*, no. 3, 2007.
- [40] K. L. Friquin, “Material properties and external factors influencing the charring rate of solid wood and glue-laminated timber,” *Fire and Materials*, vol. 35, no. 5, pp. 303–327, 2011.
- [41] R. Hadden, A. Bartlett, J. Hidalgo, S. Santamaria, F. Wiesner, L. Bisby, S. Deeny, and B. Llane, “Effects of exposed cross laminated timber on compartment fire dynamics,” *Fire Safety Journal*, vol. 91, p. 480, 2017.

- [42] T. Nishino and K. Kagiya, “A multi-layer zone model including flame spread over linings for simulation of room-corner fire behavior in timber-lined rooms,” *Fire Safety Journal*, vol. 110, p. 102906, 2019.
- [43] S. M. V. Gwynne and K. E. Boyce, *Engineering data*. Springer New York, 2016, pp. 2429–2551. [Online]. Available: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-1-4939-2565-0_64.pdf
- [44] Society Of Fire Protection Engineers, *SFPE Guide to Human Behavior in Fire*, 2nd ed. Cham: Cham: Springer International Publishing, 2019.
- [45] Sintef Byggforsk, “520.387 tilgjengelig rømmingstid ved brann,” 2016.
- [46] H. E. Nelson and M. F. W., *Emergency Movement*, 3rd ed. National Fire Protection Association, 2002, pp. 3367–3380.
- [47] C. Proulx, *Movement of people: the evacuation timing*, 3rd ed. National Fire Protection Association, 2002, pp. 3342–3366.
- [48] A. R. Lárusdóttir and A. S. Dederichs, “Evacuation of children: Movement on stairs and on horizontal plane,” *Fire Technology*, vol. 48, no. 1, pp. 43–53, 2012.
- [49] R. Ono, M. Valentin, and V. F., “Walking speed data of fire drills at an elementary school,” in *Proceedings of fifth international symposium human behaviour in fire*. Interscience Communications, 2012, pp. 98–108.
- [50] V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin, A. P. Parfyonenko, and I. P. Belosokhov, “Study of children evacuation from pre-school education institutions,” *Fire and Materials*, vol. 36, pp. 349–366, 2012.
- [51] H. Najmanová and E. Ronchi, “An experimental data-set on pre-school children evacuation,” *Fire Technology*, vol. 53, no. 4, pp. 1509–1533, 2017.
- [52] G. N. Hamilton, P. F. Lennon, and J. O’Raw, “Toward fire safe schools: Analysis of modelling speed and specific flow of children during evacuation drills,” *Fire Technology*, vol. 56, pp. 605–638, 2019.
- [53] A. Cuesta and S. M. V. Gwynne, “The collection and compilation of school evacuation data for model use,” *Safety Science*, vol. 84, pp. 24–36, 2016.
- [54] A. R. Lárusdóttir and A. S. Dederichs, *Behavioural aspects of movement down stairs during elementary school fire drills*. Interscience Communications, 2012, p. 120–127.
- [55] J. Capote, D. Alvear, O. Abreu, A. Cuesta, and J. Hernando, “Children evacuation: empirical data and egress modeling,” in *Proceedings of fifth international symposium human behaviour in fire*. Interscience Communications, 2012, pp. 109–119.
- [56] V. Kholshchevnikov, T. Shields, K. Boyce, and D. Samoshin, “Recent developments in pedestrian flow theory and research in russia,” *Fire Safety Journal*, vol. 43, no. 2, pp. 108–118, 2008.
- [57] G. Proulx, “Occupant behaviour and evacuation,” *9th International Fire Protection Symposium*, pp. 219–232, 2001.

- [58] G. Proulx and J. D. Sime, *To prevent “panic” in an underground emergency: Why not tell people the truth?*, 2006, pp. 843–852.
- [59] D. S. Mileti and J. H. Sorensen, “Communication of emergency public warnings: A social science perspective and state-of-the-art assessment,” *Communication of Emergency Public Warnings: A Social Science Perspective and State-of-the-Art Assessment*, 1990.
- [60] E. D. Kuligowski, *Human Behavior in Fire*. National Fire Protection Association, 2016, book section Chapter 58, pp. 2070–2114.
- [61] J. D. Sime, “Affiliative behaviour during escape to building exits,” *Journal of Environmental Psychology*, vol. 3, no. 1, pp. 21–41, 1983.
- [62] G. Hofinger, R. Zinke, and L. Künzer, “Human factors in evacuation simulation, planning, and guidance,” *Transportation Research Procedia*, vol. 2, no. C, pp. 603–611, 2014.
- [63] R. F. Fahy and G. Proulx, “‘panic’ and human behaviour in fire,” *4th International Symposium on Human Behaviour in Fire.*, vol. Robinson College, Cambridge, 2009.
- [64] Thunderhead Engineering, “Pathfinder features, flexible movement simulation,” <https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/pathfinder-features/>, 2019, (Hentet 05.05.2020).
- [65] —, “Technical reference - pathfinder 2019,” 2019.
- [66] —, “User manual - pathfinder 2018,” 2018.
- [67] Society Of Fire Protection Engineers, *SFPE Engineering Guide: Human Behaviour in Fire*, 2nd ed. Society of Fire Protection Engineers, 2003.
- [68] Datatilsynet, “Om personopplysningsloven med forordning og når den gjelder,” <https://www.datatilsynet.no/regelverk-og-verktoy/lover-og-regler/om-personopplysningsloven-og-nar-den-gjelder/>, 08 2019, (Accessed on 05.03.2020).
- [69] Personopplysningsloven, “Lov om behandling av personopplysninger,” <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2018-06-15-38>.

Vedlegg

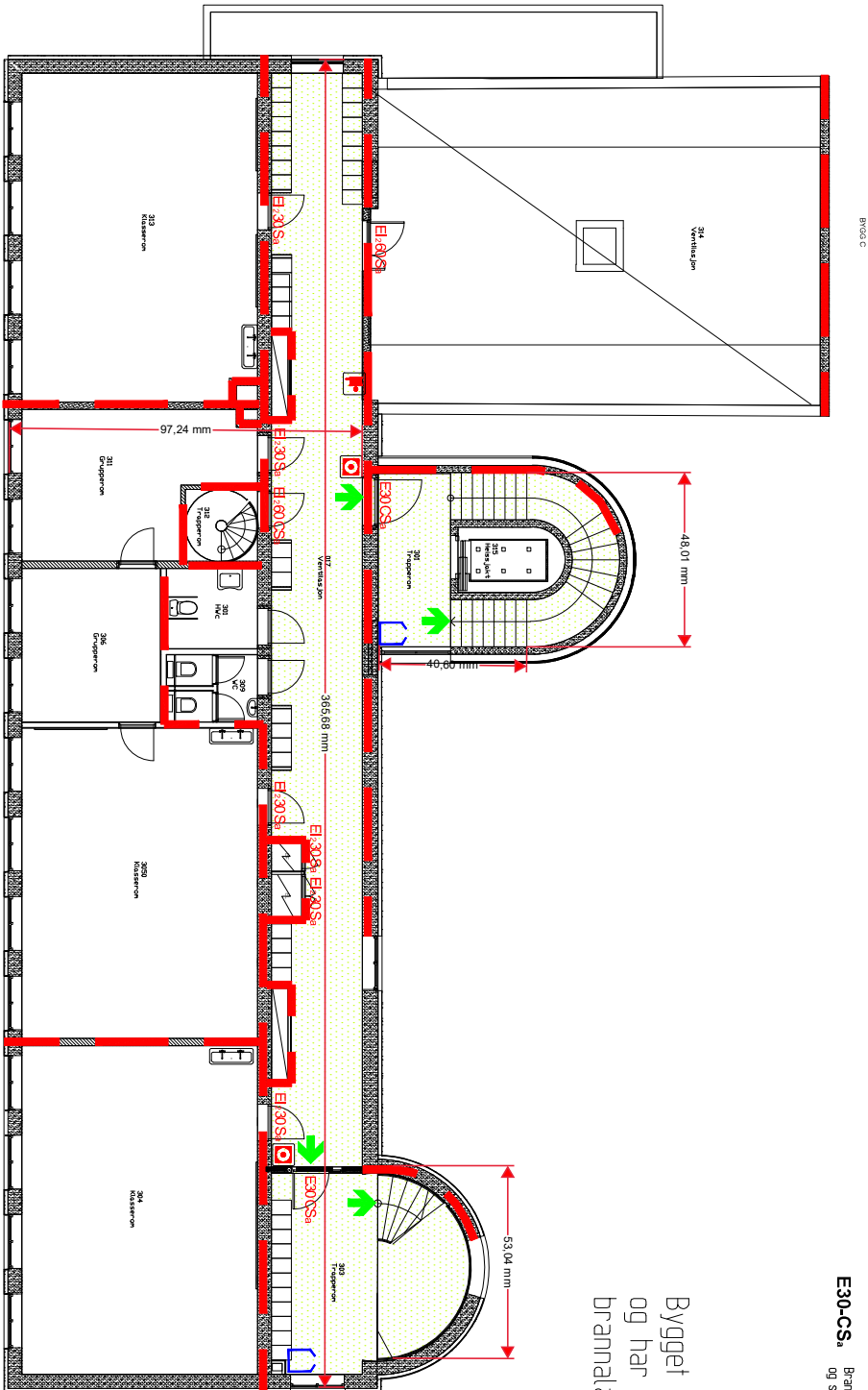
Vedlegg 1: Branntegninger Løren skole bygg D

Vedlegg 2: Branntegninger Hasle skole bygg 04

Vedlegg 3: Branntegninger Hasle skole bygg 05

Vedlegg 4: Resultater fra rømningssimuleringer

Vedlegg 5: Berskrivelse av feltundersøkelse



BYGG C

SYMBOLFORKLARING

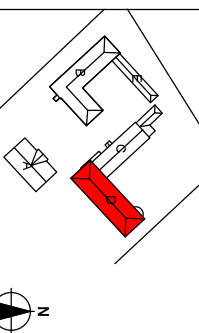
- Brannetlegrensede konstruksjon EI 60 (B60)
- Brannetlegrensede konstruksjon E30
- Rømningsvei
- + Brannslange (forslag til plassering)
- + Manuell melder
- Røykkløse
- EI.30-Sa** Brannklassifisert dør røykkløse
- E30-CSa** Brannklassifisert dør røykkløse og selvlukende

Bygget er helsprinklet og har heldekkende brannalarmanlegg

VEDLEGG

Rev	Dato	Beskrivelse	Sign.	Kont.		
A	15.06.16	Oppdatert utvalget og branntegninger	TOJK	LAPN		
Forvaltn.nr.	Bygghetegn	Fag	Type	Tegning	Utskrift	Rev.
A-200434	04	003	K	P	13	01

ASBUILT



GAMLE LØREN SKOLE
OSLO KOMMUNE

Gnr. 12/Bnr. 124/22

- BH: UNDERVISNINGSSRGG OSLO KF
Pb 64/7 Eriestral, 0605 OSLO
Tlf. 23 06 09 70 Faks: 23 06 09 98
- ARK: MARLOW - RAWFELT
Sardniveien 38, 1363 Høvik
Tlf. 67 59 00 40 Fax: 67 59 10 08
- RIB: Rambøll
Hofsvæien 4
Postboks 427 Skøyen
0213 OSLO
- RIE: Heliønes Consult
Pileveien 1, 0679 OSLO
Tlf. 991 89 290
- RIV: Ingeniør Oslo AS
Skjerveveien 6, 1337 Sandvika
Tlf. 918 08 180
- RIB: COMI AS
Gjenseveien 88, 0663 Oslo
Tlf. 02 694
- PEL: OBAS Øst AS
Kobbarvikveien 61, 3036 Drammen
Tlf. 32 88 22 60
- RIA: Ansluttik Konsult AS
Frammen 7, 3206 Sandefjord
Tlf. 917 03 212
- LARK: -

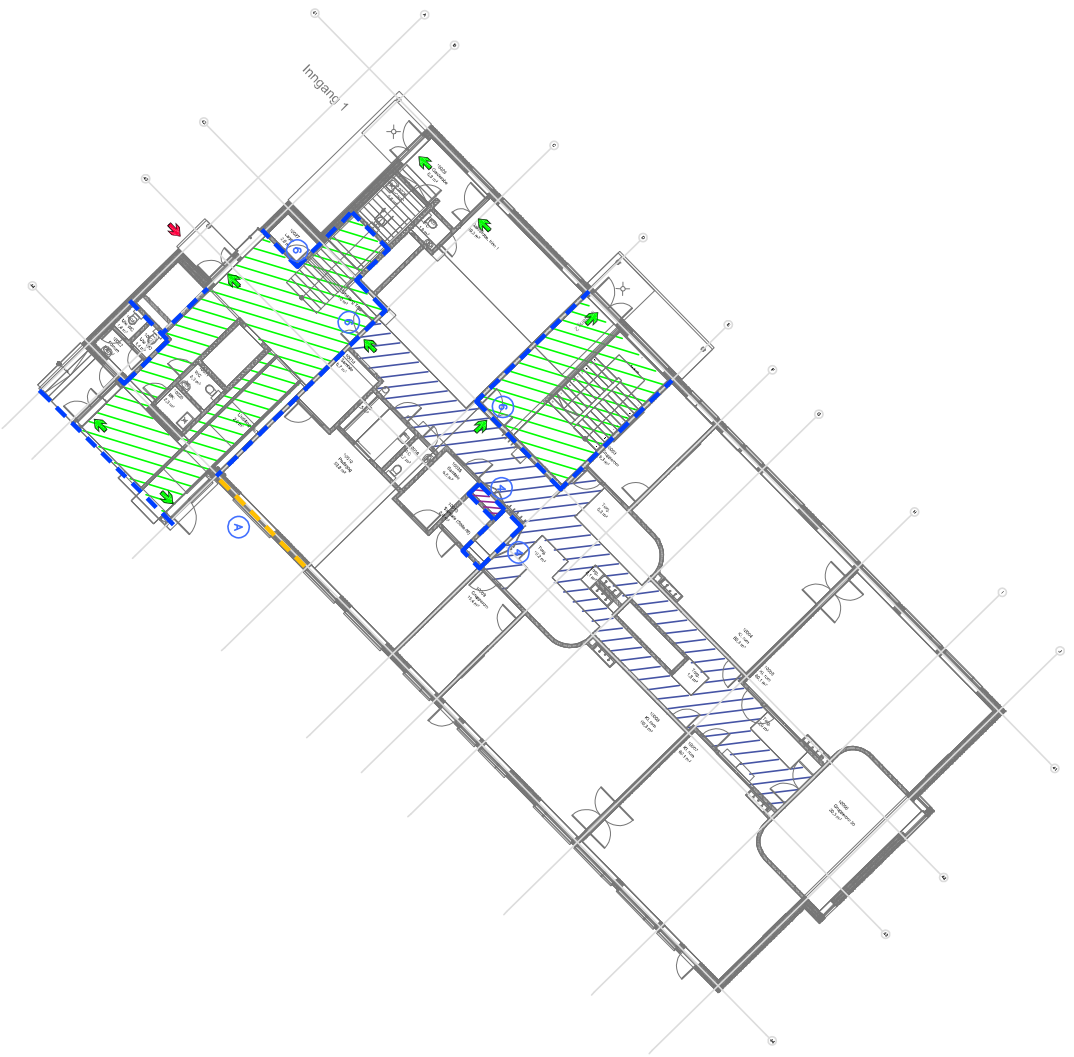


Titel: **Branntegning**
Sign. Kont.
CNON LAPN

Bygg D
Plan 3. etasje
Målestokk 1:100 - A2

Forvaltn.nr.	Bygghetegn	Fag	Type	Tegning	Utskrift	Rev.
A-200434	04	003	K	P	13	01

FLÅDRESS: www.undervisningsbygg.no



- SYMBOLFORKLARING:**
- BRANNCELLEVEGG EI 60 [B60]
 - BRANNCELLEVEGG E 30 [F30]
 - RØNNINGSRETNING
 - RØNNINGSVEI
 - ADKOMST/ANGREPSVEI BRANNVESEN
 - FLUKTVEI / FELLESPRÅLL – UNDERVISNINGSBASERT
 - AEROSOL

DØRSKILTENE:

NR.:	TYPE:
4	EI 60-S [B60]
6	EI 30-CS [B30S]

VINDUSKILTENE:

NR.:	TYPE:
A	E 30 [F30]

NR.	ADJURERT ETTER ENDINGEN	2018-10-19	MAND	ELK	ELK
3	ADJURERT ETTER ENDINGEN	2018-08-07	RUBA	MAND	NRWL
2	ADJURERT ETTER ENDINGEN	2018-03-02	RUBA	MAND	NRWL
1	AEROSOL SLOKKEUTVIDE, INPLERMENT	2017-12-20	RUBA	NRWL	NRWL
0	BRANNTEGNING				

BRANNKONSEPT



Ramboll Norge AS - Region Ost
 Hoffvarden 4 • 0213 Oslo • Tlf 2251 8000 • Fax 2250 0001

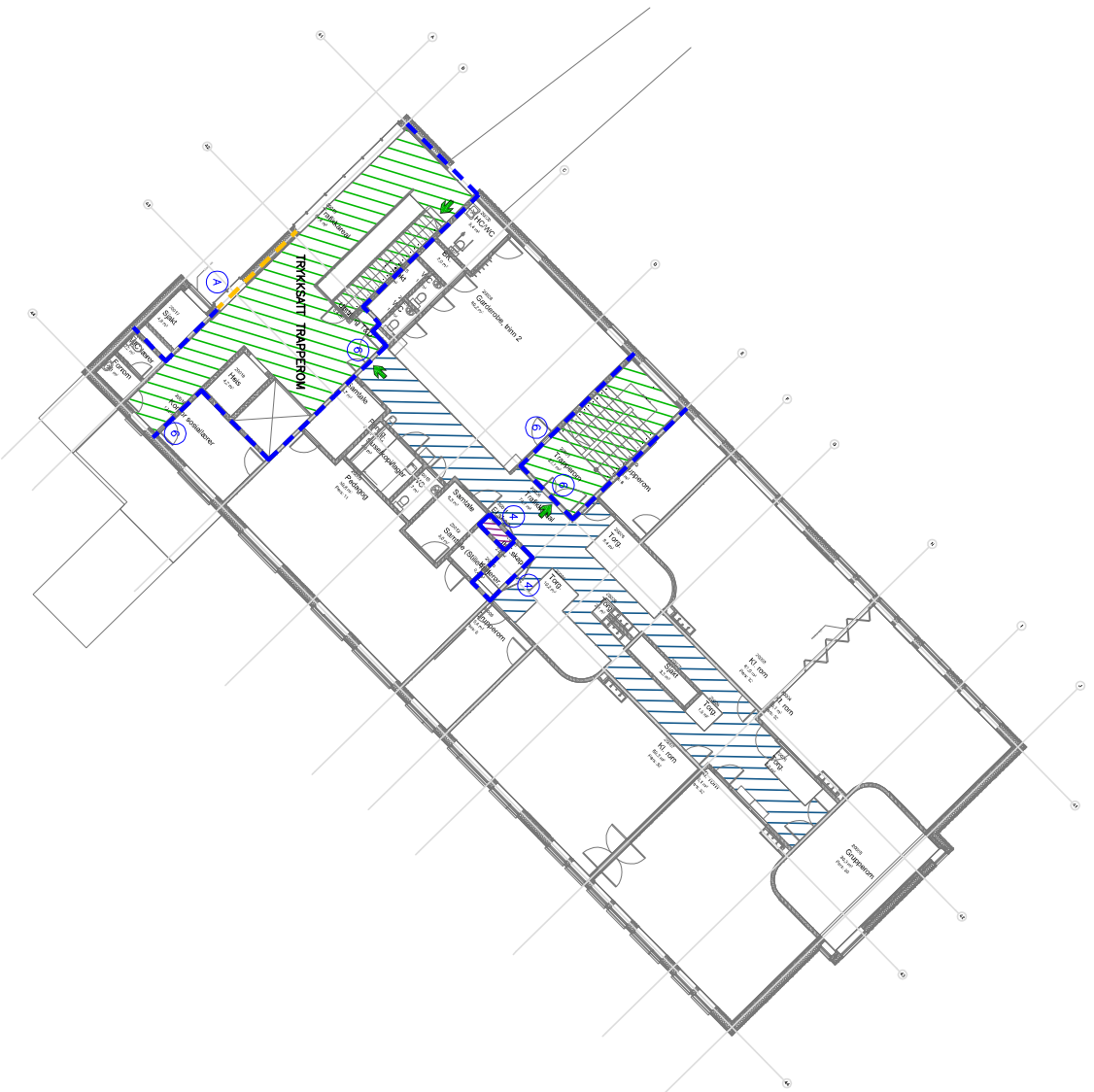
HENT AS
Hasle skole

PLAN 01 - Bygg 04
 BRANNTEKNIKK

Prosjekt	Etapp	For	Status	Type	Utgivelsesdato	Bladnr	Status
04	01	F	20			3	

MERKELSER:
 RISIKOKLASSE: 3
 BRANNKLASSE: 2
 HØVEDBÆRESYSTEM R-60 [B60]
 SEKUNDÆRT BÆRESYSTEM R-60 [B60]
 SE BRANNKONSEPT FOR KRAV TIL OVERFLATER OG KLENNINGER
 SPRINKLER: NS-EN 12845
 BRANNUTRANNING: KATEGORI 2
 LEDESYSTEM ETTER NS-3926
 KFR RE-TIG FOR PÅSSERING AV DETEKTORER, MANUELLE MEDLEDERE, LEDESYSTEM ETC
 KFR RV-TIG FOR PÅSSERING AV MANUELT SLOKKEUTSTYR ETC
 TENNINGENE ER Å NÅSE SOM KONSEPTTEGNINGER, OG SKAL LESSES SAMMEN MED BRANNKONSEPTEI
 TENNINGENE SKAL LESSES I PARER I MINIMUM STØRRELESE AS
 SIKTER BRANNLETETS I DEKKEI, MED TILSVARENDE BRANNKONSTIVAND SOM DEKKEI.

Vedlegg 2



SYMBOLFORKLARING:

- BRANNCELLEVEGG EI 60 [B60]
- BRANNCELLEVEGG EI 30 [F30]
- BRANNCELLEVEGG EI 60 [B60]
- BRANNCELLEVEGG EI 30 [F30]
- RÅNNINGSRETNING
- RÅNNINGSVEI
- FLUKTVEI I FELLESAREAL – UNDERVISNINGSPASER
- AEROSOL

DRØRSKJEMA:

NR.:	TYPE:
4	EI 60-S [B60]
6	EI 30-CS [B30S]

VINDUSKJEMA:

NR.:	TYPE:
A	E 30 [F30]

2	ADJURERT ETTER ENDRINGER	2018-09-07	RUBA	KAND	NRW
1	AEROSOL SLØKKEMIDDEL IMPLEMENTERT	2018-03-02	RUBA	KAND	NRW
0	BRANNTEGNING	2017-12-20	RUBA	MNAV	NRW



MERKADER:
 RISIKOKLASSE: 3
 BRANNKLASSE: 2
 HVEDBÆRESYSTEM R-60 [B60]
 SEKUNDÆRT BÆRESYSTEM R-60 [B60]
 SE BRANNKONSEPT FOR RÅV TIL OVERFLATER OG KLENNINGER
 SPRINKLER: NS-EN 12845
 BRANNUTRÅNNING: KATEGORI 2
 LEDERSTIK: ETTER NS-3926
 KFR RE-TEG FOR PLYSSERING AV DETEKTOER, MANUELLE MELDERE, LEDERSYSTEM ETC
 KFR RV-TEG FOR PLYSSERING AV MANUELT SLØKKEUTYR ETC
 TENNINGER ER Å ANSE SOM KONSEPTTEGNINGER, OG SKAL LESIS SAMMEN MED BRANNKONSEPTET
 TENNINGENE SKAL LESSES I FØRGER I MINIMAL STØRRELESE ÅS
 SAKTER BRANNRETTES I DEKKE, MED TILSVARENDE BRANNMOTSTAND SOM DEKKE.

Ramboll Norge AS - Region Øst
 Hoffveien 4 • 0213 Oslo • T: +47 2231 8000 • F: +47 2289 8001

HENT AS
 Hasle skole

PLAN 02 - Bygning 04
 BRANNTEKNIKK

Formål	Bygning	Formål	System	Formål	System
04	02	F	20		

Oppdragsnummer	Oppdragsnavn	Oppdragsleder	Prosjektleder	Stad
1350023586	RUBA	RUBA	Hasle skole	NRW
			Prosjektleder	
			AS/1290	
				2

Vedlegg 3



SYMBOLFORKLARING:

- BRANNCELLEEGG EI 60 [B60]
- RØNNINGSRETNING
- ↘ RØNNINGSVEI
- ADKRET/ANGREPSVEI BRANNVESEN
- ↘ FLUKTVEI I FELLESAREAL – UNDERVISNINGSSAKER
- ↘ AEROSOL

NR.:	TYPE:
3	E 90 [F90]
4	EI 60-S [B60]
6	EI 30-CS [B30S]

NO	REVISJON	AV	AVT	AVT	AVT	AVT
3	1	ADJUNGERET ETTER ENDINGEN	2018-03-31	MANO	ELG	ELG
2	1	ADJUNGERET ETTER ENDINGEN	2018-03-31	ELG	MANO	MANO
1	1	AEROSOL SLOKKEMIDDEL IMPLEMENTERT	2018-03-02	ELG	MANO	MANO
0	1	BRANNTEGNING	2017-12-20	ELG	MANO	MANO

BRANNKONSEPT



Ramboll Norge AS – Region Øst
 Hoffveien 4 • 0213 Oslo • Tlf 2283 8000 • Fax 2289 8001

HENT AS

Hasle skole

PLAN 01 - Bygg 05
 BRANNTEKNIKK

Formål	Bygg	Formid	Bygg	System	Formid	Bygg	System	Formid	Bygg	System
05	01	F	20							

- MERKNADER:**
- RISIKOKLASSE: 3
 - BRANNKLASSE: 2
 - HØVEDBRANNSYSTEM R-60 [B60]
 - SEKUNDÆRT BRANNSYSTEM R-60 [B60]
 - SE BRANNKONSEPT FOR KRAV TIL OVERFLATER OG KLENNINGER
 - SPRINKLER: NS-EN 12845
 - BRANNALARMANLEGG: KATEGORI 2
 - LEDESYSTEM: ETTER NS-3926
 - KFR RE-TEG FOR PÅSSERING AV DETEKTOER, MANUELLE MELDERE, LEDESYSTEM ETC
 - KFR RV-TEG FOR PÅSSERING AV MANUELLT SLOKKEUTYR ETC
 - TEGNINGENE ER Å ANSE SOM KONSEPTTEGNINGER, OG SKAL LESES SAMMEN MED BRANNKONSEPTET
 - TEGNINGENE SKAL LESSES I FÆRGER I MINIMAL STØRRELESE ÅS
 - SAKTER BRANNVEITETS I DEKKE, MED TILSVARENDE BRANNMOTSTAND SOM DEKKE.

Vedlegg 3



MERKADER:
 RISIKOKLASSE: 3
 BRANNKLASSE: 2
 HØVEDBÆRESTEM R-60 [90]
 SEKUNDÆR BÆRESTEM R-60 [90]
 SE BRANNKONSEPT FOR RÅV TIL OVERFLATER OG KLENNINGER
 SPRINKLER: NS-EN 12845
 BRANNUTRÅKLEGG: KATEGORI 2
 LEDERSTIK: ETTER NS-3926
 KFR RE-TEG FOR PÅSSERING AV DETEKTOER, MANUELLE MELDRE, LEDERSTEM ETC
 KFR RV-TEG FOR PÅSSERING AV MANUELLT SLOKKEUTYR ETC
 TENNINGER ER Å ANSE SOM KONSEPTTEGNINGER, OG SKAL LESSES SAMMEN MED BRANNKONSEPTET
 TENNINGENE SKAL LESSES I FÆRGER I MINIMAL STRØMREISE ÅS
 SIKTER BRANNUTETTES I DEKKE, MED TILSVARENDE BRANNMOTTENOM SOM DEKKE.

SYMBOLFORKLARING:

- BRANNCELLEVEGG EI 60 [90]
- RØNNINGSRETNING
- ▨ RØNNINGSVEI
- ▨ FLUKTVEI | FELLESMÅL - UNDERVISNINGSPASER
- ▨ AEROSOL

DRØRSKJEMÅ:	NR.:	TYPE:
	3	E 90 [F90]
	4	EI 60-S [960]
	6	EI 30-CS [930S]

3	ADJUNGERET ETTER ENDRINGER	2018-08-07	RUBA	MANO	HRWIL
2	OPRINTEDE TEGNSYMBOLER	2018-03-12	RUBA	MANO	HRWIL
1	AEROSOL SLOKKEMODELL IMPLEMENTERT	2018-03-02	RUBA	MANO	HRWIL
0	BRANNTEGNING	2017-12-20	RUBA	MANO	HRWIL

BRANNKONSEPT



Ramboll Norge AS - Region Øst
 Hoffveien 4 • 0213 Oslo • Tlf 223 8000 • Fax 228 8001

HENT AS
 Hasle skole

PLAN 02 - Byg 05
 BRANNTEKNIKK

Rev.	Dato	Forsk.	System	Utskr.	Utskringsdato	Utskringsnr.
05	02	F			20	3

Vedlegg 3



SYMBOLFORKLARING:

- BRANNCELLEVEGG Ei 60 [B60]
- RØNNINGSRETTING
- RØNNINGSVEI
- FLUKTVEI I FELLEAREAL – UNDERVISNINGSGASER
- AEROSOL

DØRSKJEMA:

NR.:	TYPE:
3	E 90 [F90]
4	Ei 60-S [B60]
6	Ei 30-CS [B30S]

NR.	BESKRIVELSE	DATO	AVTALTE	AVTALTE	AVTALTE
3	LAGT UT EFTER ENDRINGER	2018-08-27	RUBA	MANO	IRISWIL
2	OPPRETTET TILSATTINGSPROJEKT	2018-03-27	RUBA	MANO	IRISWIL
1	AEROSOL SLØKKEMODELL IMPLEMENTERT	2018-03-02	RUBA	MANO	IRISWIL
0	BRANNTEGNING	2017-12-20	RUBA	MANO	IRISWIL

BRANNKONSEPT



Ramboll Norge AS - Region Øst
Hoffvolden 4 • 0213 Oslo • Tlf 2281 8000 • Fax 2289 8001

HENT AS

Hasle skole

PLAN 03 - Byg 05
BRANNTEKNIKK

Rev.	Dato	Forkl.	System	Utskr.	Utskr.
05	03	F	20		3

- MERKNADER:**
- RISIKOKLASSE: 3
 - BRANNKLASSE: 2
 - HVEDDEBÆRESYSTEM R-60 [B60]
 - SEKUNDÆRT BÆRESYSTEM R-60 [B60]
 - SE BRANNKONSEPT FOR RÅV/ TL OVERFLATER OG KLENNINGER
 - SPRINKLER: NS-EN 12845
 - BRANNUTRYKKNINGSKATEGORI: KATEGORI 2
 - LEDERSTYRE: ETTER NS-3926
 - KFR RE-TIG FOR PLYSSENING AV DETEKTOREN, MANUELLE MELDRE, LEDERSTYRE ETC
 - KFR RV-TIG FOR PLYSSENING AV MANUELT SLØKKEUTYR ETC
 - TEGNINGENE ER Å ANSE SOM KONSEPTTEGNINGER, OG SKAL LESSES SAMMEN MED BRANNKONSEPTET
 - TEGNINGENE SKAL LESSES I FØRGER I MINIMAL STRØMREISE AS
 - SKALTER BRANNUTRYKKNINGS I DEKKE, MED TILSVARENDE BRANNUTRYKKNINGSOMSTAND SOM DEKKE.

Vedlegg 4 - Resultater fra rømningssimuleringene

Variabel ganghastighet ganghastighet i Steering-modus

Hastighet (m/s)	Total evakueringstid (s)		
	Løren skole bygg D	Hasle bygg 04	Hasle bygg 05
0,57	396,8	298,3	464,3
0,58	374,0	290,3	470,0
0,83	288,3	201,5	325,3
0,84	296,0	204,0	313,5
0,99	251,5	172,3	269,0
1,09	244,3	156,0	244,5
1,19	225,8	143,0	219,5
1,30	215,3	129,8	208,0
1,50	191,3	109,3	180,8

Variabel ganghastighet ved nytt hastighet-densitet-forhold i Steering-modus

Hastighet (m/s)	Total evakueringstid (s)		
	Løren skole bygg D	Hasle skole bygg 04	Hasle skole bygg 05
0,57	284,8	284,8	342,3
0,58	274,3	274,3	337,5
0,83	215,8	215,8	237,5
0,84	208,5	208,5	231,0
0,99	196,5	196,5	199,3
1,09	177,8	177,8	185,3
1,19	170,8	170,8	168,3
1,30	161,3	161,3	159,0
1,50	149,5	149,5	138,8

Variabel skulderbredde i Steering-modus

Diameter (cm)	Total evakueringstid (s)		
	Løren skole bygg D	Hasle bygg 4	Hasle bygg 5
19,54	159,0	134,8	234,3
22,57	158,3	136,3	232,0
23,94	167,5	138,5	242,0
27,64	184,5	141,3	240,3
37,93	216,3	143,3	240,3
39,89	212,5	142,5	234,8
43,70	228,3	142,8	226,8
45,58	225,8	143,0	219,5

Variabel komfortavstand ved ulike skulderbredder i Steering-modus

Løren skole bygg D:

Komfortavstand (m)	Total evakueringstid (s)			
	19,54 mm	27,64 mm	37,93 mm	45,58 mm
0,00	131,5	160,8	209,3	227,0
0,02	131,8	161,3	204,2	223,5
0,04	141,3	171,3	213,8	231,0
0,06	148,8	177,5	212,3	230,0
0,08	159,0	184,5	216,3	225,8

Hasle skole bygg 04:

Komfortavstand (m)	Total evakueringstid (s)			
	19,54 mm	27,64 mm	37,93 mm	45,58 mm
0,00	139,3	141,3	144,8	142,5
0,02	144,5	138,5	142,5	140,0
0,04	141,3	138,0	141,5	138,5
0,06	138,0	142,5	143,5	140,5
0,08	134,8	141,3	143,3	143,0

Hasle skole bygg 05:

Komfortavstand (m)	Total evakueringstid (s)			
	19,54 mm	27,64 mm	37,93 mm	45,58 mm
0,00	230,0	238,5	240,5	230,8
0,02	235,5	236,3	240,3	230,8
0,04	240,3	235,5	236,0	228,0
0,06	236,8	238,0	241,0	224,3
0,08	234,3	240,3	240,3	219,5

Null grenselag mot vegg i Steering-modus

	Total evakueringstid (s)		
	Løren bygg D	Hasle bygg 04	Hasle bygg 05
Null grenselag	202,5	137,5	213,5

Gruppebevegelse i Steering-modus

	Total evakueringstid (s)		
	Løren bygg D	Hasle bygg 04	Hasle bygg 05
Med grupper	232,3	178,5	361,5

Variabel ganghastighet ganghastighet i SFPE-modus

Hastighet (m/s)	Total evakueringstid (s)		
	Løren skole bygg D	Hasle bygg 4	Hasle bygg 5
0,57	347,3	299,5	509,8
0,58	341,3	292,8	499,5
0,83	239,5	176,3	337,0
0,84	239,3	173,0	333,0
0,99	237,5	141,0	266,8
1,09	236,6	126,3	233,5
1,19	235,5	114,5	208,0
1,30	234,8	107,8	198,3
1,50	233,8	99,3	188,3

Variierende maksimal romdensitet i SFPE-modus

Maksimal romdensitet (personer/m ²)	Total evakueringstid (s)		
	Løren bygg D	Hasle bygg 04	Hasle bygg 05
1,88	235,5	114,5	208,0
2,00	235,8	116,3	210,5
2,50	236,0	123,5	227,3
3,00	236,0	142,8	285,3
3,50	237,0	203,5	285,3
4,00	236,0	191,3	385,0
5,00	236,0	171,0	332,8

Null grenselag mot vegg i SFPE-modus

	Total evakueringstid (s)		
	Løren bygg D	Hasle bygg 04	Hasle bygg 05
Null grenselag	235,5	114,5	208,0

Gruppebevegelse i SFPE-modus

	Total evakueringstid (s)	
	Hasle bygg 04	Hasle bygg 05
Med grupper	153,5	230,8

Vedlegg 5 - Plan for utførelse av rømningsøvelser i skoler

I forbindelse med masteroppgaven min som omhandler rømningsikkerhet og rømningsøvelser er ønskelig å kunne gjøre målinger under rømningsøvelser i skoler. Det er vurdert at den mest hensiktsmessige måten å måle hastighet og rømningstid ved en rømningsøvelse er ved bruk av kameraer som filmer bestemte punkter av rømningsveien. Her følger en beskrivelse av forsøket og betraktninger gjort i forhold til ivaretagelse av personvern.

Rapporter der lignende metoder har blitt brukt

Forskning på menneskelig adferd og bevegelsesoppførsel har det blitt undersøkt før. De er noen studier som tidligere har forsket på ganghastighet hos barn, altså har det blitt gjort lignende forsøk før. Ved å se på metoder som har blitt tatt i bruk i disse studiene kan man være sikker på at det er mulig å gjennomføre og det er mulig å hente relevant data fra målingene. I følgende rapporter og artikler har det blitt utført forsøk der de har målt hastigheter til barn som rømmer ved hjelp av kamera og analyse av filmene:

- Hamilton, Lennon og O’Raw. Barneskoler i Irland, utført i 2016. (2019). [52]
- Larusdottir og Dederichs. Barnehager i Danmark, utført i 2009. (2012). [48]
- Kholshchevnikov, Samoshin, Parfyonenko og Belosokhov. Barnehager i Moskva (2012) [50]

Nødvendig utstyr

- Kamera for å filme utvalgte punkter på rømningsvei. Se vedlagt plantegninger med foreliggende forslag til plassering av kameraer. På løren skole er det nødvendig med 7 kameraer og på Hasle er det nødvendig med 10 eller 11 kameraer.
- Utstyr for å henge opp eller feste kameraer på passende steder.
- Noe til å markere punkter og areal for å ha en referanseavstand i filmene. Kan for eksempel være teip på bakken.
- Ekstern lagringsenhet for å lagre filene på etter øvelsene.

Beskrivelse av utførelse

I forkant av rømningsøvelsen må det henges opp kameraer som skal brukes i for å måle hastigheter. Dette kan gjøres samme dag som øvelsen, på morgningen. Jeg kan selv henge opp kameraene, så skolen trenger ikke å gjøre noe i forbindelse med dette. Hastighet skal måles både horisontalt og vertikalt, og derfor settes kameraer opp i både korridor og trapperom. Kameraene bør plasseres høyt slik at perspektivet på filmen blir litt ovenfra. Kameraene skrur på rett før øvelsen settes i gang og skrur av rett etter øvelsen er utført.

Rømningsøvelse blir utført slik som rømningsøvelser til vanlig blir utført på skolen. Det er ønskelig at det ikke skal være annonsert til elever og lærere når øvelsen skal foregå.

Det plasseres observatører ute som noterer ned tid når siste person forlater bygg. Observatør kan også notere ned andre ting de observerer ved adferden til deltakerne under øvelsen, blant annet om hele klasser går samlet ut.

Uthenting av data

I Hamilton, Lennon og O’Raw sine analyser av rømning fra skoler i Irland brukte de et videoredigeringsprogram til å analysere videoer som ble tatt under rømningen [52]. De analyserte videoene ved 20 % hastighet. Dataen ble analysert og regnet ut for hånd før det ble lastet opp i Excel for videre analyse. Horisontal hastighet ble målt mellom to referansepunkter. Referansepunktene var to markerte linjer i korridorene med kjent avstand mellom. For vertikal hastighet ble hastighet målt mellom topp og bunn av trapp, avstand her var kjent. Både horisontal og vertikal hastighet ble regnet ut med formel 8.0.1.

$$v = \frac{d}{(F_{Bi} - F_{Ai}) \times (1/Fr)} \quad (8.0.1)$$

Der v (m/s) er hastigheten, d (m) er distansen mellom referansepunktene, F_{Ai} er bildet der personen passerer første referansepunkt, F_{Bi} er bildet der personen passerer andre referansepunkt og Fr er bildefrekvens per sekund.

Flyt gjennom dører ble funnet ved å måle densitet (m^2/m^2) i døren hvert sekund. Dørmatter ble brukt for å markere et areal i/rundt døren. Her går det også an å teipe opp et referanseareal. Det er mulig å bruke $person/m^2$ som enhet ved utregning av densitet også. Spesifikk flyt i en dør ble så regnet ut med formel 8.0.2. Data fra hvert sekund ble lastet opp i excel for videre analyse. F_s ($persons/s/m$) er spesifikk flyt, F_{ob} ($person/s/m^2$) er observert flyt og Dw (m) er fri bredde i dør.

$$F_s = \frac{F_{ob}}{Dw} \quad (8.0.2)$$

Forhold mellom hastighet og densitet kan undersøkes ved å plote hastigheten og mot densitet for hvert punkt hastigheten måles. Densitet ($person/m^2$) måles ved å telle opp personer innenfor referansearealet.

Ivaretakelse av personvern

I et prosjekt som dette er det viktig å ha et stort fokus på ivaretakelse av personvern, og alle personopplysninger må håndteres forsvarlig. I Norge legger personopplysningsloven regler for behandling av personopplysninger [68]. Denne loven består av EUs personvernforordning (GPRD) som Norge har en plikt om å følge, og i tillegg inneholder personopplysningsloven norske retningslinjer. En av betraktningene som er lagt til grunn for utforming av personlighetsforordningen er som følger:

38) Barns personopplysninger fortjener et særlig vern, ettersom barn kan være mindre bevisste på aktuelle risikoer, konsekvenser og garantier samt på de rettigheter de har når det gjelder behandling av personopplysninger. Et slikt særlig vern bør især få anvendelse på bruk av barns personopplysninger for markedsføringsformål eller for å opprette personlighets- eller brukerprofiler samt på innsamling av personopplysninger om barn når de bruker tjenester som tilbys direkte til barn [69].

Det er altså spesielt viktig å ta hensyn til personvern siden prosjektet baserer seg på at barn bidrar, og barn fortjener særskilt vern.

Ifølge artikkel 6 punkt 1a er behandling kun lovlig dersom det er gitt samtykke til behandling av personopplysninger for et formål, og ifølge artikkel 8 punkt 1a må samtykke eller godkjenning være gitt av den som har foreldreansvar dersom det gjelder et barn under 16 år [69]. Derfor er det nødvendig å få samtykke og godkjenning fra foresatte før øvelsene blir utført. Informasjon om studien og hva den innebærer kan bli sendt ut til alle foresatte. Samtidig må det åpnes en mulighet til å holde barna utenfor studien. Dette kan gjøres ved at de gir skolen beskjed om det. Det meste hensiktsmessige hadde vært her å anta at ingen beskjed er lik godkjenning til å delta, dette må da komme tydelig frem i informasjonen. Videre kan beste gjennomføringsmetode for å få godkjenning fra foresatte bli diskuteres med den enkelte skolen.

Personopplysningene som vil bli registrert i dette forsøket er en film av rømningen. Filene skal håndteres på en slik måte at de ikke vil være tilgjengelige for andre enn masterstudenten som skal analysere filmene. Mobile lagringsenheter, for eksempel minnepinne eller ekstern harddisk, kan krypteres og beskyttes med passord. Ved tilkobling til en enhet må da passord skrives inn for at innholdet kan vises. Ved å legge all filmene direkte inn på en kryptert lagringsenhet etter øvelsene, og slette de fra minnekort i kameraer, vil man hindre at uønskede personer kan se innholdet. Det vil kun være jeg som ser filmene når hastigheten skal måles. I punkt 65 av betraktningene som er lagt til grunn for utforming av personlighetsforordningen står følgende:

En registrert bør særlig ha rett til å få sine personopplysninger slettet og ikke lenger behandlet dersom personopplysningene ikke lenger er nødvendige for de formål de er blitt samlet inn eller behandlet for.[69]

Etter at nødvendig data fra filene er hentet ut og lagt over i excel, vil det ikke lenger være behov for filmene. De skal derfor slettes fra den eksterne lagringsenheten når det ikke lenger er nødvendig å ha de lagret. Dermed vil ikke filmene eksistere noe mer enn nødvendig for å hente ut data som trengs i studien.

I selve oppgaven vil ikke noen personopplysninger bli nevnt. Barna vil ikke bli registrert som enkeltindivider, men som en gruppe. I oppgaven vil det aldri henvises til hvordan enkeltpersoner oppførte seg i øvelsen, men det vil gis en beskrivelse av hvordan gruppen som en helhet beveget seg. Den eneste personopplysningen som kan bli referert til er alder, men alderen for enkeltpersoner vil ikke bli registrert. Det vil kun antas en gjennomsnittsalder i hvert klassetrinn som kan være aktuell å referere til for å dele inn i grupper.

Bidrag fra skolene

I forkant av øvelsen er det ønskelig at skolen bidrar med utsending av informasjon til foresatte, og hjelper til med å skaffe godkjenning for gjennomføring av øvelsen.

Rønningsøvelsen kan foregå som alle vanlige rønningsøvelser utført på skolen gjennomføres, så her er det ønskelig at skolen setter i gang øvelsen på vanlig vis.

