



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

BACHELOROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering:

Vårsemesteret, 2023

Byggingeniør/ Konstruksjonsmekanikk

Åpen / ~~Konfidensiell~~

Forfatter: Tor Øyvind Hundvik

Fagansvarlig:

Shall Be Samindi

Veileder: Yanyan Sha

Tittel på bacheloroppgaven:

Branntekniske utfordringer ved moderne bygg

Engelsk tittel:

Fire Safety challenges in modern buildings

Studiepoeng: 20

Emneord:

Brann

Brannsikkerhet

Materialer

Bygninger

Sidetall: 75

Stavanger, 15.05.2023

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 1 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

Innholdsfortegnelse

Forkortelser	3
1 Forord.....	4
2 Sammendrag	6
3 Innledning.....	7
4 Strukturering og organisering	10
5 Generell brannteori, klimatiltak, bygningstyper og materialer	11
5.1 Generell brannteori	11
5.2 Bygnings – og boligbranner i Norge	15
5.3 Klimapolitikken i Norge Innvirkning på Byggepraksis, Standarder og Brannsikringstiltak	18
5.4 Bygningsmetoder	20
5.4.1 Passivhus	21
5.4.2 Plusshus	21
5.4.3 Lavenergihus	22
5.4.4 Smarthus	22
5.5 Miljøsertifisering av bygninger	22
5.6 Bygningsmaterialer	23
5.6.1 Betong	23
5.6.2 Stål	24
5.6.3 Tre og trevirke	25
5.6.4 Murstein / Teglstein og betongblokker	25
5.6.5 Gips / Gipsplater	26
5.6.6 Komposittmaterialer	27
5.6.7 Isolasjon	28
5.7 Bygningskomponenter	30
5.7.1 Vinduer	30
5.7.2 Dører	31
5.7.3 Ventilasjon	31
5.7.4 Oppvarming / HVAC	32
5.7.5 Solcellepanel	33

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 2 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

5.8	Brannsikkerhet	33
6	Metode	35
6.1	Innledning	35
6.2	Metode	35
6.2.1	Søkestrategi	35
6.2.2	Søkeord og kombinasjoner	36
6.2.3	Inklusjons – og eksklusjons-kriterier	36
6.2.4	Litteraturvalg og analyse	37
7	Gjennomgang av 5 studier i tilknytning til ivaretagelse av brannsikkerhet i moderne bygg	38
7.1	Innledning	38
7.2	Formål	39
7.3	Studie: Fire safety engineering in timber buildings	39
7.4	Studie: The potential of integrating fire safety in modern building design	40
7.5	Studie: Overpressure induced by fires in airtight buildings	41
7.6	Studie: First developments of a new test to evaluate fire behavior of photovoltaic modules on roofs	42
7.7	Studie: Fire safety for vulnerable groups: The challenges of cross-sector collaboration in Norwegian municipalities	43
7.8	Sammenstilling av artiklenes konklusjoner og anbefalinger	44
7.9	Diskusjon	47
7.9.1	Vurdering	48
7.10	Problemstillinger og områder av betydning for brannsikkerhet som har fått begrenset oppmerksomhet i gjennomgåtte studier	50
7.10.1	Områder med behov for bedre forståelse og kunnskap	51
7.11	Områder med behov for konkrete praktiske løsninger	52
7.11.1	Samspeilet mellom ulike byggematerialer og -metoder	53
7.11.2	Inspeksjon og vedlikehold	56
7.11.3	Kostnader og bærekraft	57
7.11.4	Endringer i klima og miljø	59
7.11.5	Utdanning og opplæring	61
8	Konklusjon	62
8.1	Kommentarer og betraktninger	65
9	Referanseliste.....	68

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 3 av 75
	Brann tekniske utfordringer ved moderne bygg	

Forkortelser

AC	Air Conditioning
AI	Artificial Intelligence
BAT	Best Available Technology
BRE	Building Research Establishment
BREEAM	BRE- Environmental Assessment Methodology
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Polymers
EPS	Ekspandert Polystyren
FSC	Forest Stewardship Council
GFRP	Glass Fiber Reinforced Polymers / Plastic
HVAC	Heating, Ventilation and Air-Conditioning
LCA	Livssyklusanalyse
NS	Norsk Standard
TEK	Byggeteknisk Forskrift
XPS	Ekstrudert Polystyren

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 4 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	



Fig. 1: Illustrasjonen viser et eksempel på moderne arkitektur (Grig.club, n.d.).

1 Forord

Denne Bacheloroppgaven tar for seg temaet brannsikkerhet i moderne bygg, med fokus på nye byggemetoder, materialer og tekniske løsninger som også ivaretar brannsikkerhet på en forsvarlig måte og ellers imøtekommer alle aktuelle forskrifter og retningslinjer for de bygg og konstruksjoner det dreier seg om.

Problemstillingen er formulert i oppgavetittelen: På hvilken måte kan brannsikkerhet ivaretas i bygg utformet ved hjelp av nye byggemetoder og materialer i henhold til gjeldende byggeforskrifter.

Temaet er sentralt i og med at sikringstiltak mot brann, tiltak rettet mot begrenning av branttilløp og tilrettelegging for sikker evakuering av personell må ivaretas på en forsvarlig måte og sånn sett være en integrert del av moderne arkitektur, byggemetoder og materialvalg for å unngå uheldige konsekvenser i forhold til sikring av liv og materielle verdier. Oppgaven er i utgangspunktet en litteraturstudie, noe som på grunn av mengden og omfanget av forskningsrapporter, studier og ulike typer dokumentasjon omkring temaet har

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 5 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

ført til en del utfordringer i forhold til å navigere i tilgjengelige informasjonskilder og identifisere litteratur mest relevant for oppgaven.

For egen del har imidlertid både håndtering av utfordringene som sådan så vel som arbeidet med oppgaven tilført læringsmomenter som har bidratt til faglige vekst gjennom økt innsikt og forståelse av problemstillinger tilknyttet ivaretagelse av brannsikkerhet i moderne arkitektur der design, byggemetoder og materialvalg kan medføre sikkerhetsmessige utfordringer.

Gjennomgang av ulike forskningsrapporter, studier og artikler med tilhørende synspunkter og konklusjoner har vist meg nødvendigheten av å ha en noe kritisk tilnærming og evnen til å identifisere relevant informasjon i aktuell dokumentasjon. Ikke minst er jeg også blitt mer bevisst på viktigheten av tverrfaglig samarbeid gjennom hele utviklingsprosessen for å sikre en helhetlig tilnærming til brannsikkerhet i byggeprosjekter.

Med bakgrunn i både fatale konsekvenser og de enorme materielle verdier som år om annet går tapt, er nødvendigheten av økt oppmerksomhet rundt brannsikkerhet tema som må prioriteres og i den sammenheng kan forhåpentligvis denne studien være et lite bidrag i arbeidet med å skape funksjonelle og sikre bygg.

Jeg vil gjerne få takke min veileder, Yanyan Sha, for veiledning, støtte og oppmuntring gjennom hele prosessen med å utarbeide denne bacheloroppgaven. Videre vil jeg takke mine familiemedlemmer som alltid har støttet og oppmuntret meg i mine akademiske bestrebelser.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 6 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

2 Sammendrag

Bacheloroppgaven undersøker problemstillingen: På hvilken måte kan brannsikkerhet ivaretas i bygg utformet ved hjelp av nye byggemetoder og materialer i henhold til gjeldende byggeforskrifter?

Formålet med studien er å analysere hvordan brannsikkerhet kan integreres i moderne byggprosjekter der både arkitektur, materialvalg og byggemetoder kan utfordre ivaretagelse av sikkerhet i forhold til brann og evakuering.

For å belyse problemstillingen er det foretatt en litteraturstudie som etter hvert konsentrerte seg om fem studier/forskningsartikler som omhandler brannsikkerhet i moderne bygg og videre en systematisk gjennomgang og sammenligning av funn fra disse studiene samt drøfting av relevansen for problemstillingen.

Hovedfunn etter gjennomgang av utvalgte forskningsrapporter viser at tverrfaglig samarbeid og integrering av brannsikkerhet i hele byggeprosessen er helt avgjørende for å oppnå optimale løsninger som ivaretar brannsikkerhet på en forsvarlig måte i tillegg til den mer åpenbare konklusjon at materialvalg og byggemetoder har stor innvirkning på brannsikkerheten i et bygg.

Flere av artiklene peker på utfordringer knyttet til bruk av tre og andre brennbare materialer samt behovet for å vurdere brannsikkerhet i forbindelse med installasjon av solcellepaneler og energieffektive løsninger og ikke minst forhold tilknyttet elektriske anlegg i sin alminnelighet. Diskusjon av funnene belyser deres relevans for problemstillingen og ser på konsekvenser og implikasjoner for byggebransjen.

Studien konkluderer med at brannsikkerhet i moderne bygg kan ivaretas gjennom tverrfaglig samarbeid, integrering av brannsikkerhetstiltak i alle faser av byggeprosessen samt nøye vurdering av materialvalg og byggemetoder. Det er i så måte viktig at brannsikring blir hensyntatt fra tidlig konseptfase gjennom samarbeid med de som har ansvar for arkitektonisk utforming, da det gjerne fører til store kostnader dersom det blir nødvendig med endringer senere i prosessen – noe som i sin tur gjerne fører til mer sub-optimale modifiserte løsninger.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 7 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

Med bakgrunn i at brann i ulike typer bygg år om annet medfører store og til dels uerstattelige tap og konsekvenser, bør videre forskning rettet mot utvikling mer brannsikre materialer, brannsikring i arkitektur og byggemetoder prioriteres i tillegg til styrket samarbeid mellom ulike fagdisipliner i alle faser av et byggeprosjekt.

3 Innledning

Undersøkelser og mer og mindre systematisk forskning tilknyttet utilsiktede branner er på ingen måte av ny dato i og med at man i alle fall de siste par hundre år har vært opptatt av forhold og «mekanismer» tilknyttet antennelse og spredning og ikke minst bekjempelse og generelt sett metoder for å få kontrollere «den røde hane».

I tillegg til kunnskap tilegnet gjennom forskning og undersøkelser, kommer de mer dyrekjøpte erfaringer – som for så vidt også har både initiert og intensivert forskning rettet mot forståelse og forebygging.

Eksempler på kategorier av slike hendelser er:

- Branner i bolig – og bygningsmasser der ikke minst bybranner av omfang som strekker seg fra London (1666) og Chicago (1871) til Ålesund (1904) og Bergen (1916), så vel som branner i høyhus/skyskrapere som i den Kinesiske byen Changsha (2022), Daka, Bangladesh (2022) og Hongkong (2023), som alle har demonstrert hvordan arkitektur, lokalisering, materialer, adkomstbegrensninger, vær og vindforhold, manglende brannsikring, osv., har ført til ødeleggelser av historiske dimensjoner.
- Problemstillinger rundt giftige forbrenningsgasser som for alvor kom på dagsorden etter brannen i bil- og passasjer-fergen MS «Scandinavian Star» i 1990.
- De enorme utfordringer tilknyttet eksplosjonsartede branner i kjemiske anlegg og raffineri (F.eks. ved BP`s raffineri i Texas City, Texas, 2005) og installasjoner til havs for boring, produksjon og prosessering av olje og gass som f.eks. «Piper Alpha» på Piper-feltet i britisk del av Nordsjøen (19) og «Deepwater Horizon» på Macondo – feltet i Mexicogolfen i 2010).

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 8 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

- Fatale konsekvenser grunnet tap av konstruksjonsmessig integritet som følge av at ubeskyttet bærende struktur utsettes for sterk varme. (Tvillingtårnene i WTC, New York 2001). Selv om dette er et ekstremt eksempel, demonstrerer det bl.a. nødvendigheten av passiv brannbeskyttelse av sentrale elementer i bærende struktur dersom disse kan bli eksponert av flammer i et brannscenario.

Kunnskap tilegnet over lang tids forskning så vel som erfaringer fra reelle hendelser tilknyttet ulike branner og brann-scenarier er i så måte både inngående og variert, men det kan synes som om anvendelsen av samme ikke er like gjennomført og at kunnskap tilknyttet brannsikring fra tid til annen må gå på akkord med arkitektoniske og økonomiske hensyn. I tillegg har det i løpet av de siste 20 – 30 år blitt introdusert materialer og byggemetoder som muliggjør en arkitektur som også krever nytenking for å ivareta ønsket sikkerhet mot brann og forbrenningsprodukter – spesielt luftbårne avgasser og partikler.

Temaet for denne bacheloroppgaven er brannsikkerhet i moderne bygg utformet med nye byggemetoder og materialer, innen rammen av de til enhver tid gjeldende byggeforskrifter. Brannsikkerhet - fra kontroll av tennkilder til brannbekjempelse, spredningsbegrensning og evakuering, har selvsagt avgjørende betydning for å beskytte liv, helse og verdier og må i så måte ivaretas på en forsvarlig måte uavhengig av arkitektur og materialvalg. Tiltak for å oppnå nødvendig sikkerhet både kan og vil derfor variere avhengig av de ulike byggenes formål, konstruksjon, materialvalg, klimatiske forhold, osv, og må derfor tilpasses både spesifikke krav tilknyttet byggets funksjon så vel som konstruksjonsmessige forhold, materialvalg, design og energikrav.

Med strengere krav i forhold til arealutnyttelse og «fortetting» i bynære områder, utvikling av nye, rasjonelle byggemetoder og bruk av nye materialer, er det viktig å forstå hvordan brannsikkerhet kan ivaretas selv om rammebetingelser nødvendigvis ikke er til fordel i denne sammenhengen. Eksisterende kunnskap og praksis innen byggebransjen må kontinuerlig oppdateres og forbedres for å møte nye utfordringene som følge av endringer i

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 9 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

rammebetingelser, regelverk og byggetekniske nyvinninger.

Med utgangspunkt i nyere forskning og sammenligning av funn og konklusjoner fra ulike studier og forskningsrapporter, tar denne litteraturstudien sikte på å bidra til å identifisere den pr. dato beste praksis for å ivareta - og helst forbedre - brannsikkerheten i både de mer tradisjonelle / konvensjonelle bygningsprosjekt så vel som mer moderne bygg som benytter seg av innovative byggemetoder og nye materialer.

Formålet med studien er primært å undersøke hvordan brannsikkerheten kan ivaretas i moderne arkitektur med nye byggemetoder og anvendelse nye materialer. For å belyse problemstillingen fokuseres det på følgende tema:

- Hvordan påvirker nye byggemetoder og nye materialer brannsikkerheten i bygninger?
- Vil integrering av brannsikkerhet i hele byggeprosessen bidra til å forbedre brannsikkerheten i moderne bygg?
- Hvilke utfordringer og muligheter finnes innen brannsikkerhet i forbindelse med gjeldende byggeforskrifter?

Studien er avgrenset til å se på byggemetoder og materialer som er relevante for norsk bygningsindustri med særlig vekt på det som har innvirkning på brannsikkerhet og i så måte holde studien relevant for norske forhold. Studien fokuserer på generelle trender og prinsipper som gjelder for brannsikkerhet i moderne bygg og tar sånn sett ikke for seg spesifikke byggeprosjekter. I den hensikt å holde studien relevant i forhold til eksisterende byggeskikk, metoder og materialer er det i hovedsak snakk om gjennomgang av publiserte rapporter fra forskning og utvikling som har funnet sted de siste årene.

I Bacheloroppgaven benyttes et teoretisk rammeverk som kombinerer brannsikkerhetsteori, byggteknikk og materialteknologi for å analysere og forstå hvordan brannsikkerhet kan ivaretas i bygg utformet ved hjelp av nye byggemetoder og materialer. Dette rammeverket vil forhåpentligvis bidra til en helhetlig forståelse av problemstillingen og de ulike faktorene som

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 10 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

påvirker brannsikkerheten i moderne bygg.

Generelt tar studien sikte på å vurdere kvaliteten og relevansen av de utvalgte forskningsartiklene sett i forhold til problemstillingen, samt identifisere hovedtemaer som går igjen i forskningen. Videre er det gjennomført en analyse av de valgte forskningsartiklene, og deretter drøftes funnene fra litteraturstudien. Her sammenlignes funnene og deres relevans for problemstillingen, i tillegg drøftes konsekvenser og praktisk anvendelse av funnene. Videre vil oppgaven vurdere metodene og tilnærmingene som er brukt i de ulike studiene og eventuelt identifisere behov for videre forskning.

4 Strukturering og organisering

Oppgaven er strukturert og organisert på følgende måte:

1. Teoridel:

I teoridelen presenteres de viktigste konsepter og teorier knyttet til brannsikkerhet, byggemetoder og materialer. Dette for å gi grunnlag forståelse og analyse av problemstillingen og funnene fra litteraturstudien.

2. Metode:

I metodekapittelet beskrives og begrunnes valget av metode for oppgaven samt detaljer i forbindelse med prosessen for litteraturstudien, inkludert kriterier for valg av kilder, søkestrategi, og analysemetode.

3. Funn:

I funnkapittelet presenteres de viktigste funnene fra litteraturstudien der disse sammenlignes og kontrasteres for å identifisere hovedtemaer og trender i forskningen. Kapitlet inkluderer også en vurdering av funnenes relevans i.f.t. problemstillingen.

4. Diskusjon:

Diskusjonskapittelet omfatter gjennomgang og vurdering av funnene i lys av teoriene og konseptene som ble presentert i teoridelen. Funnene vurderes i forhold til

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 11 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

innvirkning på praksis, politikk, teori og forskning, samt en vurdering av metoder og tilnærminger som er benyttet i de ulike studiene.

5. Konklusjon:

I konklusjonskapittelet oppsummeres hovedfunnene med tilhørende hovedpunkter fra drøftingen med sikte på å gi en kort og klar konklusjon som svarer på problemstillingen.

Kapitlet inkluderer også en kort beskrivelse av begrensninger i studien samt forslag til temaer og områder som bør bli gjenstand for videre kunnskapsinnhenting og forskning.

5 Generell brannteori, klimatiltak, bygningstyper og materialer

5.1 Generell brannteori

En brann er i utgangspunktet en kjemisk reaksjon som forutsetter samtidig tilstedeværelse av tre elementer; oksygen, temperatur og brennbart materiale – alle tre elementer i tilstrekkelige mengder til å underholde forbrenningsprosessen. Fjernes ett av elementene vil det hindre antennelse eller føre til at et brannforløp dør ut. Det er verdt å merke seg at vann har innvirkning på alle tre sidene i branntrekanten – også «oksygensiden» i og med at vann fortrenger oksygen fra brannstedet. Vann er dermed et velegnet slökkemiddel i de fleste tilfeller der det er snakk om brann i bygninger (Scheviak, 2021).

Scheviak (2021) beskriver kjennetegn ved forbrenningsprosessen og deler den inn i fire faser: antennelse, vekst, modning/ fullt utviklet brann og utbrenningsfasen. Nedenfor beskrives disse fasene nærmere.

Fase I

I den første fasen, antennelse, oppstår brannen når en kilde til varme, for eksempel en gnist, flamme eller varm overflate, møter et brennbart materiale, for eksempel brennbar væske eller

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 12 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

gass, papir eller tre. Antennelse kan også skje når temperaturen øker til det punktet hvor brennbare materialer selvantennes, slik som i tilfelle av fettbrann. Antennelsesfasen er vanligvis kortvarig og omfatter det tidsrommet der slukking/avbrudd av brannforløp vanligvis kan gjøres med enkle midler. F.eks bruk av manuelt slukkeutstyr, vann eller branntepper der vann ikke kan benyttes. Relevante aktive brannsikringstiltak omfatter tidligdeteksjon og varsling – og eventuelt aktivering av lokale slökkemidler som f.eks i elektriske distribusjonstavler i større bygg.

Fase II

I den andre fasen, vekst, begynner brannen å spre seg og brennbare gasser kan frigjøres, som igjen antennes og øker temperaturen ytterligere. Jo mer brennbart materiale som blir involvert i brannen, desto mer energi frigjøres og desto raskere vokser brannen. Vanlige aktive brannsikringstiltak for å begrense utviklingen i denne fasen omfatter aktivering av bl.a. sprinkleranlegg, aktivering av deluge-anlegg, som innebærer samtidig aktivering av spraydyser i aktuelt område, seksjonering gjennom styrt mekanisk ventilasjon og sikring av rømningsveier.

Fase III

I den tredje fasen, modning, når brannen toppen av intensitet og temperaturen er på sitt høyeste. I denne fasen kan det oppstå farlige forhold, for eksempel giftige gasser og røykutvikling, eksplosjoner og kollaps av bygningskonstruksjoner. Spredning oppstår i fase 2 og 3, vanligvis som følge av 3 hovedårsaker:

1) Stråling

Stråling er varmetransport fra varmt til kaldt område gjennom infrarød stråling.

Dersom temperaturen i det opprinnelig kalde området stiger til antennelsestemperaturen for materialer i området oppstår brannspredning. I fase 2 er brannspredning grunnet varmestråling begrenset til nærliggende områder innendørs mens det i fase 3 gjerne dreier seg om spredning til nærliggende bygninger / brennbare strukturer og gjenstander.

Beholdere med brennbare væsker og / eller gasser må i slike tilfeller vies stor

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 13 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

oppmerksomhet da overoppheting kan få katastrofale konsekvenser.

2) **Varmeledning**

Varmeledning kan skje gjennom en konstruksjon eller gjennom direkte kontakt mellom konstruksjonselementer. Varmeledning gjennom tynne stål / betong-vegger kan føre til sekundære branner på ikke-eksponert side og varmeledning gjennom metallbjelker og rør kan forårsake spredning til områder som ikke er i umiddelbar nærhet, men likevel kan bli utsatt for antennelse av brennbart materiale på grunn av varmeledningsevnen til metaller.

3) **Strømning av varme / Konveksjon**

I forbindelse med en brann vil det oppstå store temperaturforskjeller og dermed strømninger av varme forbrenningsgasser bort fra selve brannstedet i og med at varme gasser er lettere en kalde. Dette kan føre til transport av forbrenningsgasser og varmeenergi gjennom ventilasjonskanaler og åpninger i konstruksjonen og forårsake sekundærbranner i andre områder enn opprinnelig antennessted.

Brannsikringstiltak i ventilasjonskanaler og styring av mekanisk ventilasjon vil redusere sannsynligheten for slik spredning samtidig som slik kontroll kan opprettholde frie rømmingsveier ved å hindre inntrengning av helsefarlige forbrenningsgasser og røyk. Aktive brannsikringstiltak i denne fasen omfatter stort sett de samme tiltak som er aktuelle i forbindelse med et branntilløp i vekstfasen (Fase II).

Fase IV

I den fjerde fasen, nedbrenning, begynner brannen å avta i intensitet når brennbare materialer blir forbrukt, og temperaturen synker gradvis. Dette kan skje på to måter: enten fordi brennbart materiale er brukt opp, eller fordi oksygentilførselen til brannen er redusert. Når brannen ikke lenger har nok brennstoff eller oksygen til å opprettholde en forbrenning, vil flammene gradvis dø ut (Scheviak, 2021).

Det er viktig å merke seg at selv om flammene kan være slukket, kan det fortsatt være varmekilder i brannstedet som kan føre til at brannen igjen blusser opp dersom det fremdeles

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 14 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

er tilstrekkelig med brennbare materialer i nærheten av varmekilden. Det er derfor viktig å ha en grundig etterkontroll av brannstedet for å forsikre seg om at brannen virkelig er slukket.

Det er også viktig å være oppmerksom på at skader etter en brann kan ha langvarige effekter selv etter at flammene er slukket. Varmeutviklingen som følge av brannen kan ha svekket bærende strukturer i bygningen og mulig nærvær av helsefarlige forbrenningsgasser kan medføre utrygge og direkte farlige tilstander. Derfor er det viktig å la fagpersonell utføre en grundig sjekk av bygningen etter en brann.

I forbindelse med brannsikringstiltak er det viktig å adressere alle faser og spredningsmekanismer slik at et brannforløp hele tiden vil møte motstand i forhold til et upåvirket og fritt forløp.

Selv om sikringstiltakene ikke skulle være i stand til fullt ut å hindre et brannforløp, vil de uansett forsinke utviklingen og dermed muliggjøre forsvarlig evakuering og mobilisering av eksterne ressurser og i så måte også bidra til begrensnig av materielle tap (Scheviak, 2021).

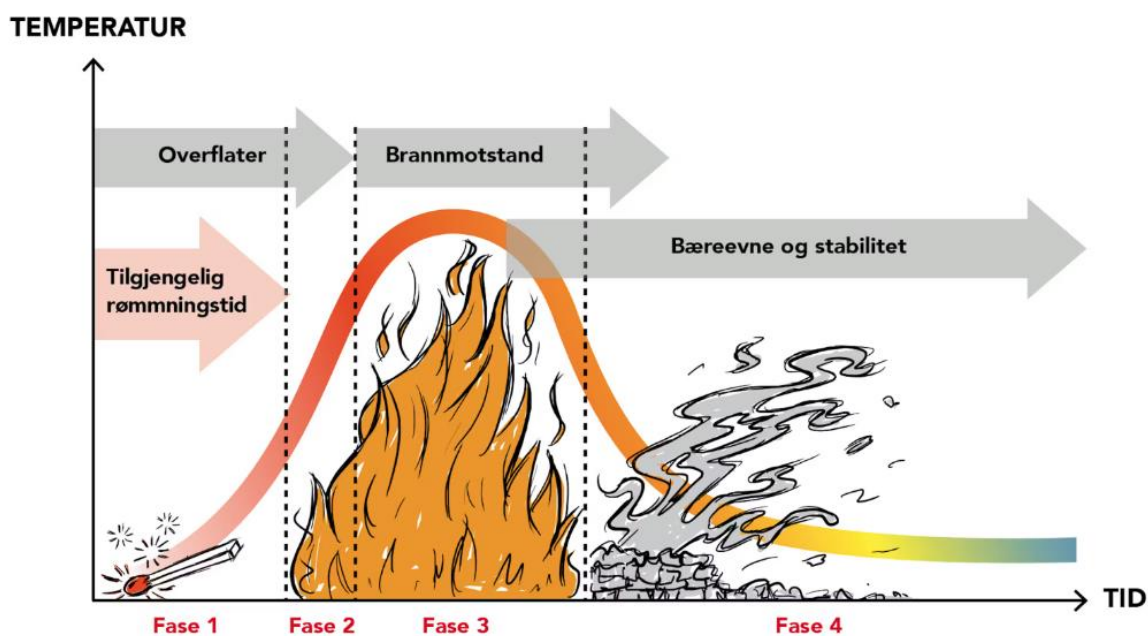


Fig 2. Utvikling av et normalt brannforløp (ROCKWOOL, n.d.).

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 15 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

5.2 Bygnings – og boligbranner i Norge

Faren for en brann er alltid til stede. Den kan oppstå fra et stearinlys som står ved et vindusgardin, en defekt mobil-lader, feil ved det elektriske anlegget eller komfyrbranner, som er blant de hyppigste brannårsaker i bolighus.

Bygningsbranner er i en alvorlig utfordring og kan forårsake betydelig skade på mennesker, miljø og eiendom. Mest alvorlig er de uerstattelige tap i form av liv og helse som følge av brann- og røykskader. Tap av liv i sammenheng med branner i driftsbygninger er også tragedier som kan tilskrives utilstrekkelig brannsikring. I tillegg til de rene verditap som kan erstattes ved gjenoppbygging kommer også tap av verdier i form av gjenstander og bygg som betegnes som kulturminner og som sådanne uerstattelige. I perioden fra 2016 til 2021 har det vært en rekke branner i Norge der det i de fleste tilfellene er snakk om utilstrekkelig brannsikring og behov for assistanse fra Brannvesenet (Brannstatistikk.no, u.å.).

Fig. 3 og 4 er basert på tall fra Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap samt Finans Norge og viser fordeling av branner i ulike bygningstyper, tap av liv og rene verditap i perioden 2016 – 2021.

Tallmaterialet fra DSB bygger på brannvesenets registrerte oppdrag.

År	Boligbranner	Industri og Lagerbygg	Kontor- og Forretningsbygg	Helsebygg	Omkomne	Verditap (Milliarder kr Erstatningsutbetalinger iht Finans Norge*
2016	1 519	334	153	88	41	1,4
2017	1 611	314	154	85	26	1,3
2018	1 766	337	185	95	39	1,1
2019	1 619	308	164	94	41	1,2
2020	1 481	305	130	102	45	1,1
2021	1 339	251	126	61	41	Tall ikke frigitt
2022	1 217	243	125	77	39	Tall ikke frigitt
Totalt	10 552	2 092	1 037	602	272	6,1

Fig 3 Fordeling av bygningsbranner iht byggets type og funksjon (Brannstatistikk.no, u.å.).

(*Gjennomsnittstall fra DSB angir verditap i overkant av 2 Milliarder kroner / år de siste 5 år.

Årsaken til avvik mellom Finans Norge og DSB er ikke kjent.)

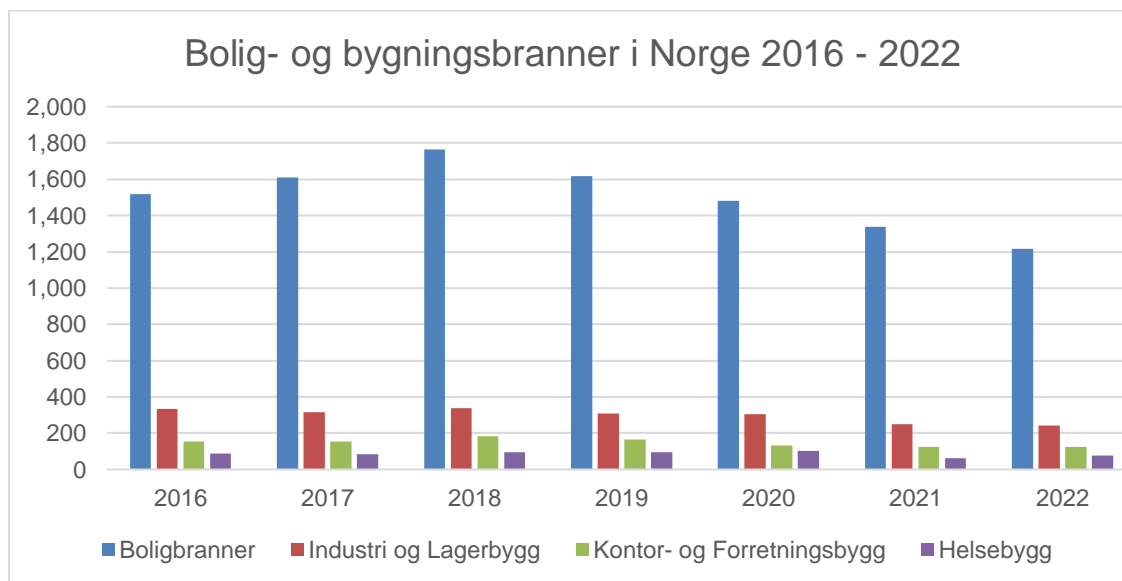


Fig. 4 Bygningsbranner i perioden 2016 – 2022. Data hentet fra Brannstatistikk.no (u.å.).

Selv om tallene varierer fra år til år, viser statistikken at brann i bygninger fortsatt er en alvorlig utfordring i Norge. I og med at antallet boliger er mange ganger større enn andre typer bygninger, vil dette selvsagt også gi seg utslag i hyppigheten av branner samtidig som brannsikringstiltak vanligvis ikke er like omfattende som for større bygg. Begge disse forhold er med på å drive brannhyppigheten i bolighus oppover og det bør i så måte være både en utfordring og motivasjon til å konstruere mer brannsikre boligenheter i framtiden. Her vil det bli snakk om både bruk av nye brann-motstandige materialer, «smarthus» med ny overvåkningsteknologi, arkitektur som fremmer brannsikring – fra tidligdeteksjon og varsling til brannspredningshemmende tiltak og utforminger som fremmer tilgjengelighet av rømningsveier for sikker og effektiv evakuering.

Ifølge DSB har imidlertid moderne arkitektur med bruk av nye byggemetoder og nye materialer med brennbare komponenter, ført til en betydelig reduksjon av tiden det tar fra antennelse til full overtenning (flash-over), og dermed også økt behovet for brannsikringstiltak tilpasset de nye utfordringene.

Når det gjelder hyppighet av antennelsesårsaker peker Komfyrbranner seg ut. Selv om det som oftest er snakk om enkle tiltak for å unngå denne tennkilden er det behov flere sikringstiltak – og bruk av eksisterende brannsikring i form av branntepper, komfyrvakter o.l. Sammen med komfyrbranner, er mange av brannene forårsaket av feil bruk av elektrisk

anlegg og utstyr, som fører til overoppheting av koblingspunkter og ledningsnett, uaktsomhet med åpen ild, manglende vedlikehold av bygninger, i tillegg til årsaker som kan betegnes som uheldige omstendigheter.

Hvor startet brannen	Antall oppdrag
Mat eller gjenstander på/i komfyr	13434
Elektrisk utstyr	8673
Ukjent	6793
Annet startobjekt	3064
Møbler eller tekstiler	2365
Vegg, gulv eller tak	2170
Annet utstyr	1546
Skorstein eller ildsted	1186
Avfallsbeholder, container, resirkuleringsstasjon	1116
Kjøretøy	364
Vegetasjon	200

Fig. 5. Hyppighet av brannårsaker i perioden 2016 – 2023 (Brannstatistikk.no, u.å.).

De fleste bygg er oppført med en eller flere brennbare komponenter og konstruksjoner og/eller inneholder brennbare materialer og vil som sådan ha behov for mer eller mindre individuelt tilpassede sikringstiltak som ideelt sett kan hindre potensielle branner fra å utvikle seg videre fra en tidlig antennessfase (ROCKWOOL, n.d.).

Selv om det kan vises til mange tilfeller der brannsikringstiltak har hindret videre utvikling av branntilløp fra initiell fase, er det et betydelig antall bolig- og bygningsbranner der forløpet ender i utbrenningsfasen.

Med bakgrunn i et totalt brannforløp er det som nevnt uansett viktig å etablere brannsikringstiltak tilpasset forløpets enkelte faser slik at brannforløpet hele tiden møter motstand slik at utviklingen forsinkes til å kunne foreta sikker evakuering og / eller mobilisere eksterne brannbekjempelsesmidler.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 18 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

5.3 Klimapolitikken i Norge

Innvirkning på Byggepraksis, Standarder og Brannsikringstiltak

Klimapolitikken har hatt en stor innvirkning på bygg utviklingen de siste årene. Økende bevissthet om klimaendringene og behovet for å redusere utslippene av klimagasser har ført til økt fokus på bærekraft og energieffektivitet i bygg. Dette har igjen ført til utvikling av nye teknologier og materialer som kan bidra til å redusere energiforbruket i bygg og øke deres bærekraft.

En viktig faktor i dette arbeidet er kravene til energieffektivitet i bygg. I Norge ble det innført krav til energieffektivitet i bygg i 2010. Kravene innebærer blant annet krav til isolasjon, ventilasjon og energibruk, og gjelder både for nybygg og rehabilitering av eksisterende bygg. Disse kravene har ført til at byggene i dag er langt mer energieffektive enn tidligere, og at det er blitt stadig mer vanlig å bygge passivhus og andre energieffektive bygg (regjeringen, 2013).

Økt fokus på fornybar energi har også påvirket bygg utviklingen. Norge har en høy grad av fornybar energi i form av vannkraft, og det har blitt gjort mye for å øke bruken av solenergi, vindkraft og andre former for fornybar energi (Klima- og miljødepartementet, 2017). Dette har ført til at det er blitt utviklet nye teknologier og materialer som kan utnytte fornybar energi på en mer effektiv måte, og at det er blitt stadig mer vanlig å installere solcellepaneler og andre fornybare energikilder i bygg.

I tillegg til kravene til energieffektivitet og økt bruk av fornybar energi, har det også blitt gjort mye for å redusere avfall og materialbruk i bygg. Dette inkluderer blant annet økt fokus på gjenbruk og resirkulering av byggematerialer (regjeringen, 2013).

Klimapolitikken har også ført til økt bevissthet om behovet for å tilpasse byggene til et endret klima. Klimaendringer kan føre til økt nedbør og flom, og byggene må derfor tilpasses for å tåle økt vannmengde (Petkovic, 2022).

I sum har klimapolitikken hatt en betydelig påvirkning på byggepraksis, standarder og utviklingen av nye materialer og byggemetoder. Ikke minst er mye gjort for å redusere energiforbruket og dermed øke den miljømessige bærekraften til bygg gjennom energieffektive løsninger.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 19 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

TEK17, eller Byggteknisk forskrift 2017, er den nyeste byggtekniske forskriften i Norge og erstatter TEK10 som var den tidligere forskriften. Direktoratet for byggkvalitet (2017) beskriver TEK17 som krav og grenser for det minimum av egenskaper et byggverk må ha for å kunne oppføres lovlig. Formålet med TEK17 er å ivareta hensynet til sikkerhet, helse, miljø, og energibruk, samt å sikre bærekraftig utvikling og bidra til at byggverk er tilfredsstillende med hensyn til funksjonalitet og utforming.

TEK17 omfatter tekniske krav til byggverk med hensyn til konstruksjon, materialbruk, isolasjon, ventilasjon, lys, akustikk, og energibruk. Forskriften stiller også krav til utforming og tilrettelegging for personer med nedsatt funksjonsevne. Forskriften stiller krav til dokumentasjon og kvalitetssikring i byggeprosjekter. Kravene er etablert for å sikre at bygg i Norge er energieffektive, trygge, funksjonelle for alle samt at de gjennom materialvalg og resirkulering bidrar til en bærekraftig utvikling. Formålet med å oppdatere og revidere byggtekniske forskrifter som TEK, er å sikre at de er i samsvar med nasjonale og internasjonale standarder og beste praksis samt å sørge for at de gjenspeiler de nyeste teknologiene og løsningene innen byggsektoren. I tillegg er målet å bidra til en bærekraftig utvikling samt bidra til å oppnå nasjonale og internasjonale klimamål.

TEK17 stiller også krav til brannsikkerhet i byggverk og har som mål å sikre at bygg ivaretar personsikkerhet i et branntilfelle. Forskriften stiller krav til brannmotstand og brannegenskaper til materialer og komponenter og inkluderer krav til bæreevne, stabilitet, tiltak mot brann – og røyk- spredning og tilgjengelighet av rømningsveier for sikker og effektiv evakuering.

Kravene om brannsikkerhet i TEK17 er basert på risikovurderinger og er sånn sett tilpasset de ulike byggenes bruk og størrelse og dermed også ulike krav til brannsikring og krav til rømningsveier og evakueringsmuligheter. Bygg skal ha tilstrekkelige og effektive rømningsveier og disse skal være godt synlige og lett tilgjengelige. I og med at brannforløp ofte fører til bortfall av byggets normale kraftforsyning stiller forskriften også krav til nødlys og nødstrøms-anlegg for å sikre at rømningsveiene har tilstrekkelig belysning og i tilfelle mekanisk ventilasjon også sikrer drift som hindrer inntrengning av røyk og forbrenningsgasser. TEK17 stiller også krav til dokumentasjon av brannsikringstiltak som blant annet inkluderer brannsikkerhetsrapporter og brannteknisk dokumentasjon.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 20 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

TEK17 har også fokus på brannsikkerhet i forhold til energieffektiviseringstiltak, som for eksempel isolering av byggverk og ventilasjonskontroll. Forskriften stiller krav til brannsikkerhet ved bruk av isolasjonsmaterialer og krever at byggverkets brannmotstand og branntekniske egenskaper ikke svekkes som følge av materialvalg. Dette kan i noen tilfeller føre til behov for kompensierende tiltak for å komme ned på et akseptabelt risikonivå (Direktoratet for byggkvalitet, 2017).

Klimapolitikken har ført til at Byggebransjen har økt fokus på å redusere avfallsmengdene og øke gjenvinningen av materialer på byggeplasser. Dette inkluderer blant annet kildesortering av avfall, gjenbruk av materialer og resirkulering av betong og asfalt (Grønn byggeallianse og Norsk eiendom, 2016). Videre er det tatt i bruk tiltak for å redusere klimagassutslippene fra transport til og fra byggeplasser. Dette inkluderer bruk av elektriske eller hybridkjøretøy, redusert kjøring og samkjøring av ansatte og materialer (Statens vegvesen, 2018).

5.4 Bygningsmetoder

Klimapolitikken og økt fokus på energieffektivitet har ført til en utvikling av nye byggemetoder og teknologier som kan bidra til å redusere energiforbruket og klimagassutslippene i forbindelse med oppføring og bruk av bygninger. Bærekraftige byggemetoder er viktig for å nå klimamålene og det er derfor stadig økende interesse for slike løsninger i byggebransjen.

En rapport fra Grønn Byggeallianse viser at det er mulig å redusere klimagassutslippene fra bygninger med opptil 50 prosent ved å bruke bærekraftige løsninger og byggemetoder. (Grønn Byggeallianse og Norsk eiendom, 2016).

Ifølge Direktoratet for byggkvalitet (2021), står byggsektoren for rundt 40 prosent av det totale energiforbruket og CO₂-utslippene i Europa. Zero Emission Resource Organisation (ZERO, 2022) påpeker at det er nødvendig å endre måten vi bygger og drifter bygninger på for å redusere klimagassutslippene og nå klimamålene. Nye byggemetoder og teknologier utvikles stadig for å oppnå dette og det er stadig økende interesse for å bygge energieffektive og miljømessig bærekraftige bygninger.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 21 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

5.4.1 Passivhus

Passivhus er en byggemetode som har blitt stadig mer populær i Norge og mange andre land som en måte å redusere energiforbruket og klimagassutslippene i bygninger (Mosland, 2013).

Passivhus er bygninger som er utformet for å være så energieffektive at de ikke trenger et konvensjonelt varme- og kjølesystem. Dette oppnås ved å optimalisere bygningskroppen og bruk av avansert teknologi. Passivhus skiller seg fra konvensjonelle bygg ved bl.a. å ha en ekstremt god isolasjon og tetthet samt bruk av aktiv varmegjenvinning i ventilasjonssystemet. Byggematerialene og -komponentene velges for å minimere varmetap. Vinduer og dører er konstruert for å ha en minimal varmeledningsevne og slippe inn så mye naturlig lys som mulig. Slike bygg utformes slik at de har minimal luftlekkasje og maksimal solinnstråling (Mauritz-Hansen, 2014).

Passivhus har et ventilasjonssystem med høyeffektiv varmegjenvinning som gir frisk luft og bidrar til å opprettholde et godt inn klima. Lufta som kommer inn i huset blir forvarmet av den varme lufta som går ut. Denne formen for varmeveksling fungerer også motsatt – dvs varm uteluft kjøles med utgående luftstrøm når utetemperaturen er høyere enn ønsket innetemperatur. Dette gjør at passivhus kan ha en jevn temperatur og høy luftkvalitet uten et konvensjonelt varme- og kjølesystem (Lavenergiprogrammet, 2018).

Som det eneste landet i Europa har Norge egen standard for passivhus (Lavenergiprogrammet, 2018).

5.4.2 Plusshus

Plusshus er en byggemetode som tar sikte på å produsere mer energi enn hva som kreves for å drifte bygningen. Dette oppnås ved å bruke fornybare energikilder og energieffektive løsninger med ulike teknologier som f.eks. solcellepaneler, vindturbiner og varmepumper (Energiverket, 2019).

For å oppnå plusshusstandard må bygningen ha en tett og godt isolert konstruksjon for å unngå varmetap. Dette kan gjøres gjennom bruk av høyeffektive vinduer, dører og isolasjonsmaterialer (Valmot, 2014).

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 22 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

I likhet med Passivhus, utnytter også Plusshus solenergi og varme fra omgivelsene til oppvarming og kjøling av bygningen. Dette oppnås gjennom god orientering, bruk av vinduer og dører med lavt energitap, solfangere samt bruk av varmepumper som henter energi fra omgivelsene og overfører den til bygningen (Energiverket, 2019).

5.4.3 Lavenergihus

Lavenergihus er bygninger som bruker mindre energi til oppvarming og kjøling enn konvensjonelle bygninger. Dette kan oppnås ved hjelp av ulike energieffektive tiltak og teknologier som f.eks. bedre isolasjon, ventilasjon, varmegjenvinning, solfangere, solcellepaneler og varmepumper. NS3700 (Norsk Standard, 2013), setter krav i tilknytning til lavenergihus, men disse kravene er ikke like strenge som til passivhus. Lemping av disse kravene gjør det mulig å komme innenfor kriteriene om bruk av energieffektive tiltak i forbindelse med modernisering og rehabilitering av eldre hus.

5.4.4 Smarthus

Smarthus er boliger som bruker teknologi for å automatisere og integrere ulike systemer og funksjoner for å forbedre beboernes komfort samtidig som krav til energieffektivitet og brannsikkerhet ivaretas (Berg Insight, 2019). Et smarthus kan inneholde en rekke funksjoner som ved hjelp av integrerte kommunikasjonssystemer muliggjør automatiserte lys- og varmesystemer, sikkerhetssystemer, fjernstyring av elektriske apparater og utstyr, osv. (Mortensen Vik, 2020). Ett av hovedmålene med smarthus er å redusere energiforbruket og dermed spare både penger og miljø. Ved å automatisere og optimalisere systemer som lys, varme og elektriske apparater og utstyr, kan smarthus bidra til å redusere energiforbruket uten at det går på bekostning av komforten (Mortensen Vik, 2020).

5.5 Miljøsertifisering av bygninger

For å tilkjenne at miljøhensyn er ivaretatt gjennom hele byggeprosessen og at det er benyttet materialer som minimerer miljø- og helsepåvirkning, er det innført Svanemerking.

Slike bygninger er energieffektive, har lav klimapåvirkning og har god kvalitet på inn klima.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 23 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

Motivasjonen for å bygge slike boliger inkluderer finansieringsbistand, god energieffektivitet og et helsemessig bedre inneklima (Svanemerket, 2021).

BREEAM, utviklet av Building Research Establishment (BRE) i 1988, er verdens eldste og Europas ledende miljøklassifiseringssystem for bygg. Bygninger vurderes på ulike områder, inkludert prosjektledelse, energibruk, inneklima, beliggenhet, materialvalg og avfallshåndtering. Fordeler med BREEAM-sertifiserte bygg inkluderer kostnadsreduksjon, økt verdi og bedre helseforhold (ECOVERITAS). BREEAM er tilpasset norsk standard av Norwegian Green Building Council (NGBC). BREEAM-NOR ble lansert i 2011 og er Norges eneste metode for sertifisering av bærekraftige bygg (BREEAM, 2020).

I USA er Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) det mest utbredte sertifiseringssystemet for "grønne" bygg. Systemet, utviklet av US Green Building Council, er poengbasert og bygninger får poeng basert på ulike "grønne" byggekriterier. Antall poeng bestemmer graden av LEED-sertifisering for bygget. Sertifiseringsprosessen kan imidlertid være både kostbar og lang slik at mange bygg ikke blir sertifisert "grønne" selv om de oppfyller nødvendige krav og standarder (U.S. Green Building Council, 2021).

5.6 Bygningsmaterialer

5.6.1 *Betong*

Betong er et av de mest brukte byggematerialene i verden og spiller en sentral rolle i moderne bygningskonstruksjon (Scrivener et al., 2018). Betong er en blanding av sement, vann, sand og evt andre fyllmaterialer som pukk og danner et sterkt og holdbart materiale med høy kompresjonsstyrke. Betong og betong-lignende materialer er blitt brukt i bygningskonstruksjon i flere tusen år og er fortsatt et populært valg på grunn av pris, styrke, holdbarhet og motstand mot brann (Mehta & Monteiro, 2014).

De siste årene har det vært en økende bevissthet om betongens miljøpåvirkning, spesielt med hensyn til CO₂-utslipp fra sementproduksjon (Scrivener et al., 2018). For å redusere betongens karbonavtrykk, har forskere og produsenter utviklet mer miljøvennlige betongblandinger som inkluderer resirkulerte materialer og alternative sementtyper. For

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 24 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

eksempel kan flygeaske, slagg og silikastøv brukes som erstatning for deler av sementen, noe som reduserer CO₂-utslippet betydelig (Flower & Sanjayan, 2007).

I tillegg til alternative sementer, har det også vært en økning i bruken av betong med lavt karbonavtrykk, også kjent som grønn betong. Denne typen betong er designet for å minimere miljøpåvirkningen ved å redusere energiforbruket og CO₂-utslippene under produksjon og bruk. (Gartner, 2004).

Når det gjelder brannsikkerhet, har betong mange fordeler. Det er et naturlig brannmotstandsdyktig materiale og beskytter stålarmaturer mot høye temperaturer, noe som forbedrer den generelle brannsikkerheten i en bygning (Mehta & Monteiro, 2014). Imidlertid kan betongen sprekke eller eksplodere ved høye temperaturer dersom det ikke er tatt hensyn til termisk ekspansjon og fuktighetsbevegelse under konstruksjonen (Khoury, 2000).

5.6.2 Stål

Stål er et svært populært byggemateriale som brukes i en rekke bygningskonstruksjoner på grunn av dets styrke, holdbarhet og fleksibilitet. Det har blitt mye brukt i brobygging, skyskrapere, boligblokker og kommersielle bygninger. Stålrammer gir en rekke fordeler, som kortere byggetid, redusert materialsløsning og økt designfrihet (Lawson & Trebilcock, 2004).

Miljøpolitikken og økt bevissthet om bærekraft har ført til endringer i bruken av stål i byggebransjen. Stålproduksjon er energikrevende og resulterer i betydelige CO₂-utslipp (Worrell et al., 2007). Som et resultat har det vært en økning i bruken av resirkulert stål og utvikling av mer energieffektive produksjonsmetoder for å redusere miljøpåvirkningen (Worrell et al., 2007; Pauliuk et al., 2013).

De siste årene har det også vært forskning og utvikling av avanserte stålkaliteter med høy styrke og lavere vekt. Disse stålkalitetene krever mindre materiale for å oppnå samme egenskaper som tidligere stålkaliteter, noe som reduserer både vekten og miljøpåvirkningen av stålkonstruksjoner (Bjorhovde, 2004).

Selv om stål generelt anses som et brannsikkert materiale, er det noen branntekniske utfordringer knyttet til bruken av stål i bygningskonstruksjoner. Blant de mest alvorlige bekymringer er stålets reduserte bæreevne og stabilitet ved høye temperaturer (> 5-600°C) (Kodur & Dwaikat & Fike, 2010). Når stål eksponeres for temperaturer over 550°C, fører

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 25 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

dette til en betydelig reduksjon av bæreevne og stivhet, noe som kan føre til kollaps av bygningsstrukturen (Kodur et al., 2010; Usmani et al., 2003).

Andre brannsikringsmessige utfordringer knyttet til stålkonstruksjoner er varmeledning som kan forårsake spredning av en brann til nærliggende områder og problemstillinger i sammenheng med potensialet for termisk ekspansjon som kan føre til deformasjon og skade på konstruksjonen (Usmani et al., 2003).

5.6.3 Tre og trevirke

Tre har fått økt oppmerksomhet som byggemateriale i moderne byggeprosjekter, spesielt på grunn av miljøvennlige egenskaper og fornybarhet (Gustavsson & Sathre, 2006).

Klimapolitikk og bærekraftsmål har oppmuntret til økt bruk av tre i byggebransjen for å redusere karbonavtrykket og utnytte dets karbonlagringspotensial (Oliver et al., 2014).

En av fordelene med tre er dets lavere vekt sammenlignet med tradisjonelle materialer som stål og betong, noe som kan redusere belastningen på fundamenter og gjøre transport og montering enklere. Tre er også et fornybart og biologisk nedbrytbart materiale, noe som bidrar til miljømessige bærekraftige byggeløsninger (Gustavsson & Sathre, 2006).

En av ulempene og brannsikringsmessige utfordring med trekonstruksjoner er brennbarhet. I motsetning til stål og betong, kan tre lettere antennes og bidra til brannspredning. For å håndtere disse utfordringene, er det nødvendig med brannbeskyttelsestiltak i form av både passiv brannbeskyttelse og aktive tiltak som sprinkleranlegg (Buchanan & Abu, 2001). I tillegg kan brannhemmende behandlinger og impregnering brukes for å forbedre treets brannmotstand (White & Dietsberger, 2001).

5.6.4 Murstein / Teglstein og betongblokker

Murstein og blokker er vanlige byggematerialer som har forskjellige egenskaper og bruksområder i byggebransjen. Murstein er laget av leire eller leirbaserte materialer som er formet og brent ved høye temperaturer for å oppnå styrke og holdbarhet. Blokker, derimot, er

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 26 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

vanligvis laget av betong, lettbetong (autoklavert luftbetong, AAC) eller sementbaserte materialer (Kosmatka et al., 2011).

I dagens byggebransje brukes både murstein og blokker i stor grad selv om bruken kan variere avhengig av region og tradisjonelle byggeskikker. I noen land, som Storbritannia og Nederland, er murstein fortsatt et dominerende byggemateriale, mens i andre regioner, som Skandinavia og Nord-Amerika, er betongblokker mer utbredt (European Committee for Standardization, 2005).

Fordeler med murstein inkluderer deres estetiske appell, lang levetid og høy trykkstyrke (Kosmatka et al., 2011). Fordelene med betongblokker inkluderer størrelse og dermed raskere installasjon sammenlignet med teglstein - noe som i sin tur reduserer byggetiden og dermed arbeidskostnadene (Kosmatka et al., 2011).

Når det gjelder branntekniske utfordringer, er både murstein og betongblokker generelt betraktet som brannsikre materialer som også tilbyr god brannmotstand (Buchanan & Abu, 2016).

Murstein har en utmerket brannmotstand på grunn av sin ikke-brennbare natur og høy temperaturbestandighet. Betongblokker, spesielt massive blokker, har også gode brannmotstandsegenskaper selv om lettbetongblokker gjerne kan ha litt lavere brannmotstand sammenlignet med massive betongblokker på grunn av deres lavere tetthet og luftlommer (European Committee for Standardization, 2005).

5.6.5 Gips / Gipsplater

Gipsplater, også kjent som gipsvegg eller tørrvegg, er et populært byggemateriale som brukes til innvendige vegger og tak i bygninger. Gipsplater er laget av gips, et mineral bestående hovedsakelig av kalsiumsulfat og vann som er presset mellom to lag papir (Elkink, 2017).

Gipsplater har blitt et populært alternativ til tradisjonelle byggemetoder som murverk og trepaneler på grunn av lav vekt, rask installasjon og kostnadseffektivitet. I dagens byggebransje er gipsplater mye brukt over hele verden, inkludert i Norge.

Den utbredte bruken kan tilskrives gipsplatens mange fordeler som inkluderer enkel og rask installasjon, lav vekt, kostnadseffektivitet og mulighet for enkel endring eller reparasjon av

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 27 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

rom. Gipsplater gir også god lydisolasjon og kan bidra til bedre termisk ytelse når de kombineres med riktig isolasjon (Elkink, 2017).

Når det gjelder miljøpolitikk, har gipsplater både positive og negative sider. På den positive siden er gips et naturlig og rikelig materiale, og produksjonen av gipsplater har et relativt lavt energiforbruk sammenlignet med andre byggematerialer som betong og murstein (WBCSD, 2009).

Fordeler med gipsplater inkluderer deres lette vekt, raske installasjon, kostnadseffektivitet og allsidighet (Elkink, 2017). Gipsplater har imidlertid noen ulemper som lav bruddstyrke og dermed begrenset bæreevne, sårbarhet for fuktighet og vannskader som i sin tur kan føre til muggvekst og svekkelse av platenes struktur. Gipsplater er også utsatt for slag-skader og hull sammenlignet med mer robuste materialer som murstein eller betong. Når det gjelder branntekniske utfordringer, har gipsplater en viss brannmotstand på grunn av vanninnholdet i gipsen, som frigjøres som damp når det varmes opp og dermed reduserer spredningen av brann (Gypsum Association, 2018).

5.6.6 Komposittmaterialer

Komposittmaterialer er materialer som består av to eller flere forskjellige komponenter, vanligvis en forsterkning og en matrise, som kombineres for å skape et produkt med forbedrede egenskaper sammenlignet med de enkelte komponentene alene (Hull & Clyne, 1996).

I byggebransjen har komposittmaterialer blitt stadig mer populære de siste tiårene på grunn av deres unike egenskaper som høy styrke, lav vekt og motstand mot korrosjon. En av grunnene til den økende bruken av komposittmaterialer i byggebransjen er klimapolitikken og søken etter mer miljøvennlige materialer og byggemetoder (Karana et al., 2013).

Noen vanlige komposittmaterialer som brukes i byggebransjen inkluderer glassfiberforsterket plast (GFRP / GRP), karbonfiberforsterket plast (CFRP) og naturlige fiberkompositter (NFC), som bruker forsterkninger som hamp, sisal eller lin (Faruk et al., 2012).

Komposittmaterialer tilbyr en rekke fordeler, som høy styrke-til-vekt-forhold, god holdbarhet og muligheten for å tilpasse materialets egenskaper ved å endre komponentene eller deres proporsjoner (Hull & Clyne, 1996). Imidlertid har komposittmaterialer også noen ulemper,

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 28 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

som høyere kostnader sammenlignet med tradisjonelle materialer som tre, stål og betong, og potensielle utfordringer med gjenvinning og avfallshåndtering (Faruk et al., 2012).

Når det gjelder branntekniske utfordringer, kan komposittmaterialer ha varierende grad av brannmotstand avhengig av materialene og komponentene som brukes. For eksempel har GFRP og CFRP generelt lavere brannmotstand enn materialer som betong og stål, mens noen naturlige fiberkompositter kan ha bedre brannmotstand på grunn av deres naturlige egenskaper (Faruk et al., 2012).

5.6.7 Isolasjon

Isolasjon spiller en kritisk rolle i moderne byggebransje, da det bidrar til energieffektivitet, komfort og bærekraft. Det finnes flere typer isolasjonsmaterialer som brukes i dagens nybygg, hver med sine egne fordeler, ulemper og miljømessige påvirkninger (Asdrubali et al., 2015).

Mineralull er en av de mest brukte isolasjonsmaterialene og inkluderer glassull og ulike typer mineral – og steinull. Disse materialene er laget av smeltede mineraler som deretter spinnes til tynne fibre. Mineralull har gode termiske og akustiske egenskaper og er også motstandsdyktig mot brann, noe som gjør det til et populært valg for mange byggeprosjekter. (Asdrubali et al., 2015).

Ekspandert polystyren (EPS) og ekstrudert polystyren (XPS) er syntetiske isolasjonsmaterialer laget av polymerer. Disse materialene har svært lav vekt, er fuktbestandige og har gode termiske egenskaper, men er på langt nær like brannsikre som mineralull. (Asdrubali et al., 2015).

Produksjonen av EPS og XPS kan innebære bruk av skadelige kjemikalier og bidra til avfallsproblemer, men det finnes også miljøvennlige alternativer som bruker resirkulert materiale og mer bærekraftige produksjonsmetoder (Zach et al., 2012).

Naturlige isolasjonsmaterialer, som cellulose, hamp, saueull og kork, blir stadig mer populære på grunn av deres fornybare og bærekraftige egenskaper (Asdrubali et al., 2015). Disse materialene har generelt lavere miljøpåvirkning enn syntetiske isolasjonsmaterialer, men kan ha lavere termisk ytelse og være mer utsatt for fukt og danne habitat for insekter.

Når det gjelder branntekniske utfordringer er det stor variasjon i isolasjonsmaterialenes brannmotstand. Mineralull er generelt brannsikkert, mens syntetiske og naturlige

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 29 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

isolasjonsmaterialer kan være mer brennbare og kreve tilsetning av flammehemmende midler for å oppfylle brannforskrifter (Zach et al., 2012).

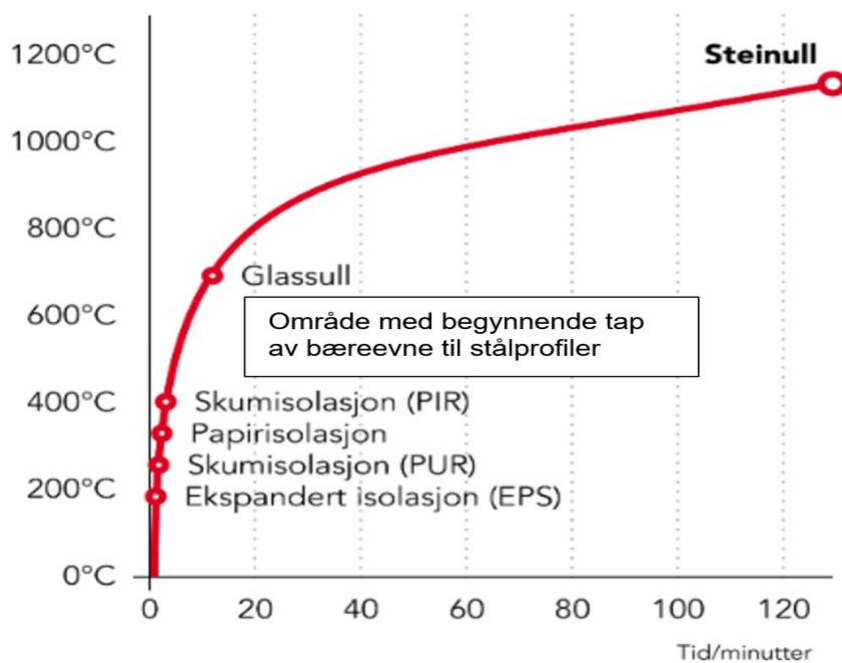


Fig. 6 Brannmotstand til ulike isolasjonsmaterialer i forhold til tid og temperatur (ROCKWOOL, n.d.).

Brannklassifisering – Egenskaper ved brannpåvirkning – Eksempler på isolasjon

EU-klasse	Egenskaper	Materialeksempel
A1	Ikke brennbar Bidrar ikke til brann.	Mineralull (F.eks. FLEXI A-plate)
A2	Ikke brennbar Begrenset bidrag til brann. Ingen overtenning.	Mineralull (F.eks. ROCKWOOL takprodukter.
C	Akseptabelt bidrag til brann. Overtening etter 10 min.	Phenolskum
D	Akseptabelt bidrag til brann. Overtening mellom 2 og 10 min.	Visse PIR produkter.
E	Relativt stort bidrag til en brann. Overtening innenfor 2 min.	Visse PIR og PUR produkter, Brannhemmet skumplast (XPS). Papirisolering i klasse E. Trefiberisolasjon og Papirisolasjon i klasse E.
F	Egenskaper ikke bestemt.	Skumplast (EPS).

Fig. 7. Brannklassifisering av ulike isolasjonsmaterialer (ROCKWOOL, n.d.).

5.7 Bygningskomponenter

5.7.1 Vinduer

Vinduer har gjennomgått betydelige endringer og forbedringer de siste årene og har blitt en viktig komponent i moderne byggebransje (Poirazis, 2004). Utviklingen av vindusteknologi har ført til flere fordeler som f.eks. økt energieffektivitet, bedre lydisolasjon og økt brannsikkerhet samtidig som det gir nye muligheter i bygningsdesign. Vinduer med høy ytelse gir også bedre lydisolasjon, noe som er spesielt viktig i urbane områder med høyt støynivå. Videre har det vært en økende interesse for bruk av store vindusflater og glassfasader i

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 31 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

moderne bygningsdesign, noe som gir arkitekter og designere muligheten til å skape åpne og lyse rom bidrar til en følelse av en tettere forbindelse til utemiljøet (Poirazis, 2004).

Selv om moderne vinduer tilbyr mange fordeler, er det også noen ulemper og utfordringer. For eksempel kan store vindusflater og glassfasader øke risikoen for overoppheting og redusere personvernet (Poirazis, 2004).

5.7.2 Dører

Dører spiller en viktig rolle i byggebransjen, ikke bare som en funksjonell bygningskomponent, men også som en estetisk og miljømessig viktig del av bygningens design. Utviklingen av dørteknologi har skjedd på flere områder, inkludert materialer, design og ytelse. En viktig utvikling er bruken av mer energieffektive materialer og konstruksjonsmetoder for å redusere varmetap og dermed forbedre bygningens energiytelse. Dette inkluderer bruk av isolerte dører med høy ytelse, som kan redusere energiforbruket for oppvarming og kjøling. I tillegg har miljøvennlige materialer som FSC-sertifisert tre og resirkulert stål blitt stadig mer populære i dørproduksjon, noe som bidrar til en mer bærekraftig byggeindustri. (Gharehbaghi & Georgy, 2019).

Designet av dører har også utviklet seg for å imøtekomme estetiske og funksjonelle krav. Dette inkluderer et bredere utvalg av stiler, farger og overflater, samt tilpasning av dører for å imøtekomme spesielle bruksområder og krav, som for eksempel tilgjengelighet for bevegelseshemmede og lydisolasjon (Ching, 2014). Når det gjelder styrke og sikkerhet har det vært en økende interesse for bruk av forsterkede dører og låsesystemer for å forbedre bygningens sikkerhet og beskyttelse mot innbrudd (Ching, 2014).

5.7.3 Ventilasjon

Ventilasjon er en viktig del av moderne bygninger og utviklingen de siste årene har fokusert på energieffektivitet, innendørs luftkvalitet og komfort for bygningens brukere.

Ventilasjonssystemer bidrar til å kontrollere luftfuktighet, temperatur og fordeling av frisk luft, noe som er avgjørende for et sunt innemiljø (Awbi, 2003).

De senere årene har det vært en økning i bruken av energieffektive ventilasjonssystemer som balansert ventilasjon med varmegjenvinning. Disse systemene utnytter varmeenergi fra luften

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 32 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

for å forvarme den kalde tilførselsluften, noe som reduserer energibehovet for oppvarming. Samme funksjon benyttes for å kjøle ned inntaksluften dersom uteluften er varmere enn ønsket innetemperatur. Varmeveksling mellom inn- og ut-luft resulterer i betydelige energibesparelser og reduserte CO₂-utslipp der el.-forsyningen kommer fra varmekraftverk (Awbi, 2003).

I nye bolighus kan det benyttes ulike ventilasjonssystemer avhengig av bygningens funksjon, utforming og energikrav. Naturlig ventilasjon, mekanisk ventilasjon og hybridventilasjon er alle vanlige valg. Naturlig ventilasjon benytter lufttrykk og termiske krefter for å ventilere bygningen mens mekanisk ventilasjon benytter elektrisk drevne vifter til forsyning og avtrekk gjennom kanalsystem til de ulike rom og områder iht behov (Awbi, 2003).

Fordelene med moderne ventilasjonssystemer inkluderer bedre innendørs luftkvalitet, bedre energieffektivitet og økt komfort. Ulempene er høyere installasjons- og vedlikeholdskostnader samt potensielle støyproblemer fra mekaniske systemer. Når det gjelder branntekniske utfordringer, kan ventilasjonssystemer potensielt bidra til spredning av røyk og brann mellom rom og etasjer i en bygning. For å minimere denne risikoen, må ventilasjonssystemer utformes og installeres i henhold til gjeldende byggeforskrifter og brannsikringskrav. Dette kan inkludere installasjon av røykspjeld, brannklassifiserte kanaler og riktig plassering av ventilasjonsåpninger (Awbi, 2003).

5.7.4 Oppvarming / HVAC

Oppvarming er en vesentlig del av moderne bolighus, spesielt i Norge, hvor kalde vintre krever effektiv og pålitelig oppvarming. I de siste årene har fokus vært på å øke energieffektiviteten og redusere CO₂-utslippene, som er i tråd med klimapolitikken og ønsket om å spare energiforbruket (Boyle, 2012).

I nye bolighus er det flere vanlige typer oppvarmingssystemer beskrevet av Boyle (2012):

Direkte elektrisk oppvarming:

Elektrisk oppvarming er fortsatt populært på grunn av tilgangen på rimelig, ren og fornybar vannkraft. Elektriske panelovner, gulvvarme og varmemåte er vanlige løsninger.

Varmepumper:

Varmepumper har blitt stadig mer populære, ettersom de gir høy energieffektivitet og kan

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 33 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

redusere energikostnadene. Luft-til-luft varmepumper og luft-til-vann varmepumper er vanlige typer som benyttes i bolighus.

Bioenergi:

Vedfyring og pellets fyring er to eksempler på bioenergi som brukes til oppvarming av bolighus i Norge. Disse systemene benytter fornybare energikilder og kan bidra til å redusere CO2-utslippene.

Fjernvarme:

Fjernvarme er et system hvor varme produseres sentralt og distribueres til bolighus og andre bygninger gjennom et nettverk av rør. Fjernvarme kan utnytte forskjellige energikilder, som for eksempel avfallsforbrenning, bioenergi og industriell spillvarme.

Utviklingen av oppvarmingssystemer er i stor grad påvirket av klimapolitikken og ønsket om å redusere energiforbruket. Dette har ført til økt fokus på energieffektivitet og bruk av fornybare energikilder. Når det gjelder branntekniske utfordringer, kan noen oppvarmingssystemer innebære en viss risiko. For eksempel kan vedfyring og pellets fyring føre til brannfare hvis de ikke installeres og vedlikeholdes på riktig måte. Elektriske oppvarmingssystemer kan også forårsake brann hvis de er defekte eller overbelastede.

5.7.5 Solcellepanel

Solcellepaneler er en form for fornybar energi som har blitt mer populær i Norge de siste årene. Solcellepaneler omdanner sollys til elektrisk energi ved hjelp av solcellepaneler som er laget av silisium. Utviklingen av solcellepaneler har ført til stadig mer effektive enheter som uten bevegelige deler omdanner solenergi til elektrisk energi og i så måte en enkel fornybar energikilde / energiomformer som blir stadig mer benyttet i områder med egnede klimaforhold. Solcellepaneler bidrar til å redusere energikostnadene, øke energitilgjengelighet og redusere CO2-utslippene (Kalogirou, 2013).

5.8 Brannsikkerhet

Brannsikkerhet er et viktig tema i Norge, og det er gjort betydelige fremskritt i løpet av de siste årene for å redusere antall branner og relaterte skader og dødsfall. Brannsikkerheten i

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 34 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

norske boliger har blitt forbedret gjennom strengere byggeforskrifter, bedre teknologi og økt bevissthet rundt brannforebygging.

Røykvarslere er påkrevd i alle boliger i Norge, og de er en viktig del av brannsikkerheten. De siste årene har det også kommet mer avanserte røykvarslere på markedet, som for eksempel trådløse røykvarslere som kan kommunisere med hverandre og varsle i hele boligen hvis én av dem detekterer røyk (Norsk brannvernforening, n.d.).

Brannslukningsapparater er også viktige for brannsikkerheten i norske boliger.

Pulverapparater er vanlige i private husholdninger, da de kan brukes på mange forskjellige typer branner. Brannvesenet anbefaler at alle boliger har minst ett brannslukningsapparat lett tilgjengelig (Norsk brannvernforening, n.d.).

Brannvesenet i Norge har gjennomgått en betydelig utvikling de siste årene, både når det gjelder teknologi, opplæring og samarbeid med andre nødetater. De er opptatt av å holde tritt med utviklingen av nye boliger og byggeteknikker og jobber kontinuerlig med å forbedre sin evne til å håndtere branner og redde liv. Det er likevel noen problemstillinger som bekymrer. Én bekymring er at nye boliger ofte bygges tettere sammen, noe som kan øke risikoen for brannspredning mellom bygninger. I tillegg kan komplekse byggeformer og byggematerialer som trekonstruksjoner og komposittmaterialer, gi utfordringer for brannvesenet når det gjelder brannbekjempelse og redningsarbeid. For å håndtere disse utfordringene jobber brannvesenet tett med byggebransjen, myndigheter og forskningsinstitusjoner for å utvikle nye metoder, teknologier og forskrifter som bidrar til å opprettholde et høyt nivå av brannsikkerhet i norske boliger. Dette inkluderer å utvikle nye byggeforskrifter som tar hensyn til de spesifikke risikoene knyttet til moderne byggematerialer og byggeformer, kunnskap om giftighet av forbrenningsavgasser samt å forbedre opplæringen av brannpersonell for å håndtere disse utfordringene (Norges offentlige utredninger, 2012).

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 35 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

6 Metode

6.1 Innledning

I denne bacheloroppgaven undersøkes det hvordan brannsikkerhet kan ivaretas i bygg utformet ved hjelp av nye byggemetoder og materialer i henhold til gjeldende byggeforskrifter.

Oppgaven innebærer gjennomgang av relevante forskningsrapporter og artikler og er i så måte en litteraturstudie med formål å identifisere fellestrekk i funn og konklusjoner så vel som ulike tilnærminger og eventuelt områder der det synes å være behov for ytterligere – og mer detaljert kunnskap. Dette kapitlet beskriver metoden som er benyttet for å gjennomføre studiet og inkluderer søkestrategi, databaser benyttet ifm søk, søkeord samt inklusjons- og eksklusjonskriterier.

6.2 Metode

I og med at mer og mindre skalerte forsøk og direkte undersøkelser og forskning på ulike brannscenarier er krevende å gjennomføre rent praktisk, er litteraturstudie valgt som metode for å samle inn og analysere informasjon relevant for oppgaven.

Om enn noe avgrenset av praktiske og tidsmessig årsaker, har det gjennomførte litteraturstudiet gitt en oversikt over det som ansees å være representativt for tilgjengelig relevant kunnskap om emnet og bør i så måte gi tilstrekkelig grunnlag for å identifisere eventuelle områder der det synes å være behov for ytterligere – og/eller mer detaljert kunnskap og dermed også grunnlag for ytterligere undersøkelser og forskning.

6.2.1 Søkestrategi

For å finne relevant litteratur fra forskning ble det søkt i databaser som er kjent for å inneholde artikler og rapporter om brannsikkerhet og byggeteknikk. For denne rapportens formål ble databasen «*Oria*» funnet å være mest relevant.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 36 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

6.2.2 Søkeord og kombinasjoner

For å identifisere relevante studier, ble det brukt en kombinasjon av søkeord relatert til problemstillingen. Søkeordene inkluderte «brann», «brannsikkerhet», «byggemetoder», «materialer», «passivhus», «tre» og relaterte termer. Søkekombinasjoner ble utformet for å fange opp studier som omhandler både brannsikkerhet, nye byggemetoder og materialer.

Eksempler på søkekombinasjoner er:

- “Fire safety” AND “passive house”
- “Fire hazard” AND “Timber”
- “Fire safety” AND “photovoltaic modules”
- “Fire safety” AND “Modern” AND “building”
- “Fire safety” AND “Norway”

6.2.3 Inklusjons – og eksklusjons-kriterier

For å sikre at litteraturstudiet inkluderte forskning som var relevant for problemstillingen, ble det satt opp følgende inklusjons- og eksklusjonskriterier:

Inklusjonskriterier:

- Forskningsartikler som omhandler brannsikkerhet i sammenheng med nye byggemetoder og materialer.
- Forskningsartikler som diskuterer relevante byggeforskrifter og standarder
- Forskningsartikler som er publisert på engelsk eller skandinaviske språk
- Forskningsartikler som er fagfellevurdert

Eksklusjonskriterier:

- Forskningsartikler med begrenset relevans grunnet tema og byggtekniske løsninger
- Forskningsartikler eldre enn 10 år
- Forskningsartikler som ikke er tilgjengelige i fulltekst
- Forskningsartikler som ikke er fagfellevurdert.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 37 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

6.2.4 Litteraturvalg og analyse

Etter å ha gjennomført søkene i henhold til nevnte begrensninger og prinsipper, ble et utvalg av studier samlet for nærmere analyse. Disse studiene ble deretter kategorisert etter tema, for eksempel materialer, byggemetoder og brannslukkingsteknikker. Dette ga en oversikt over forskningslandskapet og hjalp til med å identifisere hovedtrekk i funn og konklusjoner så vel som områder der det tilsynelatende er behov for ytterligere kunnskap.

Videre ble de utvalgte studier gjennomgått i detalj, for å identifisere informasjon relevant for ivaretagelse av brannsikkerhet i moderne bygg for. Inklusjonskriterier inkluderte informasjon om byggeforskrifter, brannsikkerhetsstrategier og teknologier som kan bidra til å redusere brannrisikoen. Informasjonen ble deretter sammenfattet og diskutert i forhold til problemstillingen.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 38 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

7 Gjennomgang av 5 studier i tilknytning til ivaretagelse av brannsikkerhet i moderne bygg

Følgende tabell viser de 5 studiene som er anvendt i analysen.

Studie	Ansvarlig / Rapport utferdiget av
Fire safety engineering in timber buildings	Östman, Brandon og Frantzich (2017).
The potential of integrating fire safety in modern building design	Maluk, Woodrow og Torero (2017)
Overpressure induced by fires in airtight buildings	Brohez og Caravita (2018)
First developments of a new test to evaluate the fire behavior of photovoltaic modules on roofs	Despinasse og Krueger (2015)
Fire safety for vulnerable groups: The challenges of cross-sector collaboration in Norwegian municipalities	Halvorsen, Almklov og Gjørund (2017)

Fig. 8. Oversikt over studier som er vurdert.

7.1 Innledning

Med utgangspunkt i oppgavens ordlyd ble det gjennomført en litteraturstudie avgrenset til å omfatte forskningsstudier utført i siste ti-år. Søkemetodikk og inklusjonskriterier ble definert ut ifra en målsetting om å identifisere de mest relevante artikler for å få et representativt utvalg og godt grunnlag for videre analyse og drøfting av oppgavens problemstilling.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 39 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

7.2 Formål

Formålet med dette kapittelet er å presentere og analysere de viktigste funnene fra fem av studiene som ble funnet å være mest relevante for problemstillinger tilknyttet ivaretagelse av brannsikring i bygg utformet ved hjelp av nye materialer og byggemetoder med minimumskrav om samsvar med de til enhver tid gjeldende byggeforskrifter.

For å belyse problemstillingen og få en bedre forståelse av utfordringer i tilknytning til ivaretagelse av brannsikkerhet i moderne bygg, er kapittelet organisert som følger:

- En kort gjennomgang av de fem forskningsrapportene med fokus på hovedfunn som er relevante for problemstillingen.
- Sammenligning og diskusjon omkring funn fra de ulike rapportene.
- Oppsummering av hovedfunn i forhold til oppgavens problemstillinger.

7.3 Studie: Fire safety engineering in timber buildings

Problemstillingen behandles i en forskningsartikkel av Östman, Brandon og Frantzich (2017). Artikkelen fokuserer på brannsikkerhet i trebygninger og tar for seg utfordringer og muligheter som adresseres gjennom Fire Safety Engineering (FSE) og prestasjonsbasert design.

Funn:

Funnene viser hvordan brannsikkerhet kan ivaretas i bygg utformet ved hjelp av nye byggemetoder og materialer i henhold til gjeldende byggeforskrifter.

- Prestasjonsbasert design gir mulighet for innovasjon og fleksibilitet i materialvalg og byggemetoder uten å gå på akkord med forsvarlig brannsikkerhet. Generelt ivaretar gjeldende forskrifter prinsipper og metoder for å redusere risikoen for alvorlige branner i høye trebygninger. Praktiske løsninger for å imøtekomme forskrifter og krav må imidlertid utformes for de enkelte bygg og vil være avhengig av beliggenhet, byggets primærfunksjon, arkitektur, materialvalg, bruk av passiv brannbeskyttelse og eventuelle ekstraordinære risikoreducerende tiltak for å ivareta forsvarlig brannsikkerhet selv om byggematerialene som sådanne er brennbare og har relativt lav brannmotstand.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 40 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

- Kapsling av trestrukturen, (dekking med beskyttende materiale), forhindrer at treverket bidrar til brannbelastningen og sikrer at brannen ikke fortsetter etter at øvrig brennbart innhold er borte.

Selv om forskning på brannytelse for trekonstruksjonselementer har økt de siste tiårene, er det fortsatt behov for enklere designmodeller og mer kunnskap om brannytelse under ikke-standard temperaturforhold for å oppfylle byggeforskrifter.

- For å overholde byggeforskrifter er det viktig å redusere mulighetene for intern brannspredning gjennom detaljer som brannstopp, forsegling av åpninger, kontroll og styring av ventilasjon i forhold til spredningsbegrensning og sikring av evakueringsruter samt generell kvalitetskontroll av byggearbeidet. Kvalitetssikring på ulike nivåer er avgjørende for å sikre at forskningsresultater hensyntas og realiseres for i sin tur å føre til tryggere bygninger i tråd med gjeldende byggeforskrifter (Östman et al., 2017).
- Uvisst av hvilken grunn er ikke brannsikringstiltak som f.eks. tidligdeteksjon og automatisk aktivering av varslingsystemer, god tilrettelegging av utstyr for manuell brannbekjempelse og varmeaktiverte sprinkleranlegg beskrevet i denne rapporten.

7.4 Studie: The potential of integrating fire safety in modern building design

I forskningsartikkelen «The potential of integrating fire safety in modern building design» av Maluk, Woodrow og Torero (2017) diskuteres potensialet for å integrere brannsikkerhet i moderne bygningsdesign og hvordan dette kan ivareta brannsikkerhet i bygg utformet ved hjelp av nye byggemetoder og materialer i henhold til gjeldende byggeforskrifter.

Funn:

- Forfatterne påpeker at brannsikkerhet ofte behandles som et tillegg til bygningsdesign, noe som fører til suboptimal integrering av brannsikkerhetstiltak. De foreslår at en mer aktiv integrering av brannsikkerhetsdesign i den overordnede designprosessen kan gi betydelige gevinster. En integrert tilnærming til brannsikkerhet innebærer tett samarbeid mellom brannsikkerhetsdesignere og andre designfagfolk, som

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 41 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

strukturingeniører og arkitekter. Dette samarbeidet kan resultere i bedre og mer effektive bygninger som ivaretar brannsikkerheten i tråd med byggeforskriftene.

- Årsaker til mangler i tilknytning til realisering av integrert brannsikkerhet inkluderer eksisterende forskrifter, mangel på egnet og nødvendig kompetanse og som ikke er møtt med tilpassede utdanningsprogrammer og ikke minst begrenset forskningskapasitet.

Dette er barrierer som må overvinnes for fullt ut å realisere potensialet som ligger i integrert brannsikkerhet. For å fremme en integrert tilnærming til brannsikkerhet, foreslår forfatterne å styrke forholdet mellom brannsikkerhetsutøvere og ledere i andre sektorer av byggebransjen. Dette vil bidra til å tydeliggjøre fordelene ved en integrert tilnærming og fremme samarbeid mellom ulike fagdisipliner (Maluk et al., 2017).

7.5 Studie: Overpressure induced by fires in airtight buildings

Studien tar for seg brannsikkerhetsmessige utfordringer i tette bygninger, konsekvenser og tiltak.

I Forskningsartikkelen «Overpressure induced by fires in airtight buildings» av Brohez og Caravita (2018), presenteres funnene fra fullskala eksperimenter som undersøker overtrykket som oppstår ved branner i svært tette bygninger. Funnene er relevante for problemstillinger omkring brannsikkerhet i moderne bygg der løsninger rettet mot energieffektivitet kan medføre utilsiktede konsekvenser i et brannscenario.

Funn:

- Forskerne målte overtrykkstopper fra 850 til 2035 Pa i eksperimenter uten mekanisk ventilasjon (lukkede kanaler). Når mekanisk ventilasjon var aktivert, ble det observert verdier fra 420 til 750 Pa.
- Verken reverseringen av viften som leverer frisk luft eller den økte strømningshastigheten av røyk i ekstraksjonskanalen på grunn av overtrykket inne i leiligheten var tilstrekkelig for å forhindre overtrykk i rommene.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 42 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

- Overtrykk i svært tette bygninger kan skape problemer for evakuering under brann, da rømningsveier kan bli midlertidig blokkert av dører som vanskelig lar seg åpne grunnet differensialtrykk skapt av temperaturforskjeller og/eller uheldig design av ventilasjonssystemet. Forsøk viste vanskeligheter med å åpne dører med åpningsretning innover mot varm side for perioder opp mot 3 min. Eksperimentene ble også brukt for å validere sone-modellen CFASTs prediktive evne (Brohez & Caravita, 2018).
- Artikkelen fremhever utfordringene knyttet til utilsiktede overtrykk som kan oppstå i forbindelse med brann i svært tette bygninger med tilhørende konsekvenser under en eventuell evakuering.
Dette er viktig å være klar over og hensynta ved utforming av nye energieffektive bygg der økt forståelse av overtrykksproblematikken kan bidra til å finne løsninger som sikrer bedre brannsikkerhet og evakueringsmuligheter.

7.6 Studie: First developments of a new test to evaluate fire behavior of photovoltaic modules on roofs

I Forskningsartikkelen «First developments of a new test to evaluate the fire behavior of photovoltaic modules on roofs» av Despinasse og Krueger (2015), presenteres en ny test for å evaluere oppførsel av brann i tilknytning til solcellepaneler på tak. Problemstillingen har økende relevans i takt med den økende bruk av solcellepaneler som nå finner sted også i Norge.

Funn:

- Forskerne foreslår en allsidig og enkel test som bruker en propanbrenner i stedet for brennende materialer, med justerbar brennerkapasitet for å simulere ulike brannscenarier.
- Tre kommersielle typer solcellepaneler ble testet og sammenlignet:
 - monokrystallinske tykkfilms paneler

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 43 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

- polykrystallinske tykkfilms paneler
- amorfe silisium-tynnfilm paneler

Resultatene fra studien viste at panelstrukturen spiller en viktig rolle i forhold til utvikling og oppførsel av brann i testmodulen. Glass/plast-strukturer forårsaket mer intens varmeutvikling enn glass / glass - strukturer på grunn av intens varmeutvikling på den plastbelagte baksiden og nedfall av brennende dråper og brennende avfall. Dette har selvsagt avgjørende betydning ved valg av paneler i forhold til brennbarhet av underliggende / bakenforliggende materiale.

- Testen ble også utvidet for å simulere en brann som starter på taket under modulen. Forskerne fant at ved en intensitet tilsvarende 30 kW oppstod det mer alvorlige skader sammenlignet med tilsvarende eksponering fra utsiden (Despinasse & Krueger, 2015). Forskerne konkluderte med at de innledende testene viser lovende resultater for å beskrive oppførselen til branner i tilknytning til solcellepaneler. Videre forskning er nødvendig for å evaluere et bredere utvalg av materialer og undersøke faktorer som bl.a. brennerkapasitet, vindforhold og avstand mellom brenner og modul. Slike studier vil bidra til bedre forståelse av brannsikkerhet i bygninger med solcellepaneler og i så måte bidra til å utvikle sikkerhetstiltak som også kan ha innvirkning på brannsikkerhetsstrategier, byggeforskrifter og standarder.

7.7 Studie: Fire safety for vulnerable groups: The challenges of cross-sector collaboration in Norwegian municipalities

I Forskningsartikkelen «Fire safety for vulnerable groups: The challenges of cross-sector collaboration in Norwegian municipalities» av Halvorsen, Almklov og Gjørund (2017), fokuseres det på brannsikkerhet for sårbare grupper og viktigheten av tverrsektorielt samarbeid i norske kommuner for å sikre at ulike forhold og behov blir ivaretatt gjennom hele byggeprosessen. Selv om studien primært fokuserer på sårbare grupper, er funnene også relevante for mer generelle problemstillinger i tilknytning til brannsikkerhet i moderne bygg der nye byggemetoder og nye materialer introduserer nye utfordringer som må håndteres uavhengig av beboernes omsorgsbehov.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 44 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

Funn:

- Studien viser at effektiv brannforebygging for sårbare grupper krever samarbeid på tvers av organisatoriske og sektorielle grenser (Halvorsen et al., 2017). Dette er selvsagt også relevant for å bedre brannsikkerheten i bygg med nye byggemetoder og materialer, da dette også krever koordinering og samarbeid mellom ulike aktører som arkitekter, ingeniører og brannsikkerhetsekspert.
- Forskerne identifiserte nøkkelutfordringer på tre forskjellige nivåer:
 - Nasjonalt gjennom utforming av generelle forskrifter og standarder
 - Kommunalt gjennom tilpasninger til lokale forhold
 - Profesjonelt gjennom koordinering av tverrfaglig samarbeid fra konseptfase til ferdigstilling
- For å oppnå effektivt tverrsektorielt samarbeid på lokalt nivå, er det også behov for tverrsektorielle politiske tiltak på nasjonalt nivå (Halvorsen et al., 2017).

Artikkelen belyser viktigheten av samarbeid og koordinering av ressurser på tvers av fagdisipliner og etablering av et godt tverrsektorielt samarbeid så tidlig som mulig i prosessen. Involvering av de ulike aktører på et tidlig stadium legger grunnlag for en helhetlig tilnærming til løsninger som ivaretar både funksjonelle og sikkerhetsmessige krav og behov så vel som å bidra til rasjonelle kunnskapsbaserte beslutningsprosesser som adresserer både generelle og spesifikke utfordringer i byggeprosessen.

7.8 Sammenstilling av artiklenes konklusjoner og anbefalinger

- «Fire Safety Engineering in Timber Buildings» (Östman, Brandon & Frantzich, 2017) fokuserer på brannsikkerhet i trebygninger og viktigheten av tverrfaglig samarbeid i byggeprosessen. Artikkelen understreker behovet for å integrere brannsikkerhet i design- og konstruksjonsfasen og viktigheten av riktig materialbruk for å håndtere branntekniske utfordringer.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 45 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

- «The potential of integrating fire safety in modern building design» (Maluk, Woodrow, & Torero, 2017) fremhever også viktigheten av å integrere brannsikkerhet i moderne byggeprosesser på et tidlig stadium og anbefaler tverrfaglig samarbeid mellom arkitekter, ingeniører og brannsikkerhetsekspertene for å oppnå bedre brannsikkerhet.
- «Overpressure induced by fires in airtight buildings» (Brohez & Caravita, 2018) fokuserer på overtrykk ved branner i tette bygninger og påpeker at dette kan skape problemer for evakuering. Studien fokuserer mer på de tekniske utfordringene enn tverrfaglig samarbeid, men i og med at formålet ved studien var å belyse ventilasjonstekniske utfordringer i forhold til brannsikkerhet, er den et verdifullt bidrag som adresserer sentrale tema med hensyn til sikring av personell og materiell i et brannscenario.
- «First developments of a new test to evaluate the fire behavior of photovoltaic modules on roofs» (Despinasse & Krueger, 2015) fokuserer på oppførsel og konsekvenser i forbindelse med brann i tilknytning til solcellepaneler av ulik konstruksjon og materialsammensetning.

Denne studien peker indirekte på viktigheten av tverrfaglig samarbeid også i forbindelse med utvikling av representative og standardiserte testmetoder som involverer ulike fagdisipliner for å vurdere brannsikkerheten i bygg der bruk av nye materialer og moderne energiløsninger også skaper nye utfordringer for å ivareta forsvarlig brannsikkerhet.

- «Fire safety for vulnerable groups: The challenges of cross-sector collaboration in Norwegian municipalities» (Halvorsen, Almklov, & Gjørund, 2017). Studien understreker viktigheten av tverrsektorielt samarbeid for å ivareta sikkerhet ved brann i bygninger tilpasset sårbare grupper – spesielt i kommunal sammenheng. Selv om studien primært fokuserer på sårbare grupper, er funnene relevante for generelle problemstillingen i tilknytning til brannsikkerhet i bygg utformet med nye

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 46 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

byggemetoder og materialer i og med at nødvendigheten av koordinering og samarbeid mellom ulike aktører er uavhengig av et byggs arkitektur og funksjon.

Felles for studiene som hver for seg belyser forskjellige aspekt ved brannsikkerhet, er det generelle behovet for tverrfaglig samarbeid og integrering av brannsikkerhet gjennom hele byggeprosessen – fra konsept til ferdigstillelse.

Spesielt to av studiene (1. «Fire Safety Engineering in Timber Buildings» og 2. «The potential of integrating fire safety in modern building design»), fremhever eksplisitt viktigheten av tverrfaglig samarbeid og integrering av brannsikkerhet i hele byggeprosessen.

Studie 3. “Overpressure induced by fires in airtight buildings” og 4. «First developments of a new test to evaluate the fire behavior of photovoltaic modules on roofs», fokuserer mer på de tekniske utfordringene og spesifikke aspekter ved brannsikkerhet, men deres funn kan også ses i sammenheng med behovet for tverrfaglig samarbeid for å håndtere disse utfordringene. Felles for alle fem studiene er likheter i funn og konklusjoner som gjelder viktigheten av tverrfaglig samarbeid og integrering av brannsikkerhet i hele byggeprosessen. Studien peker også på viktigheten av materialvalg og nødvendigheten av å vurdere materialer opp mot branntekniske utfordringer.

Generelt understreker disse studiene behovet for å utvikle bedre brannsikkerhetsstrategier og samarbeid mellom ulike fagdisipliner for å håndtere utfordringene som oppstår i bygg utformet med nye byggemetoder og materialer.

Sammenstillingen av studiene viser at det er en rekke faktorer å ta hensyn til når man drøfter brannsikkerhet i bygninger utformet med nye byggemetoder og nye materialer. Det er i så måte viktig å vurdere både de spesifikke branntekniske utfordringene knyttet til ulike materialer og konstruksjoner så vel som betydningen av tverrfaglig samarbeid for å sikre forsvarlig integrering av brannsikkerhetstiltak i byggeprosessen.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 47 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

7.9 Diskusjon

Konklusjoner og funn i de ulike studiene kan, i den grad de tas hensyn til, være med på å bidra til å forbedre brannsikkerheten i moderne bygg. Disse omfatter blant annet:

1. Økt fokus på materialvalg og konstruksjonsteknikker:

Östman et al. (2017) og Despinasse og Krueger (2015) fremhever viktigheten av å velge egnede materialer og konstruksjoner for å minimere brannrisikoen.

Byggebransjen må være oppmerksom på de ulike brannrisikoene er knyttet til de ulike materialer og konstruksjoner og velge løsninger som bidrar til bedre brannsikkerhet selv om dette også kan ha konsekvenser for økonomi og arkitektur. Ivaretagelse av sikkerhet for personell og materielle verdier må alltid prioriteres.

2. Integrering av brannsikkerhet i bygningsdesign:

Maluk et al. (2017) påpeker viktigheten av å integrere brannsikkerhetstiltak i alle faser av byggeprosessen, fra konsept – og design-fase til ferdigstillelse. Dette innebærer et tett samarbeid mellom arkitekter, ingeniører og ekspertise innen brannsikring for å tilrettelegge for kunnskapsbaserte vurderinger og ivaretagelse av brannsikkerhetsmessige krav og retningslinjer gjennom hele byggeprosessen.

3. Tverrfaglig samarbeid og koordinering:

Flere av studiene, inkludert Halvorsen et al. (2017), understreker viktigheten av tverrfaglig samarbeid og koordinering for å sikre en effektiv integrering av brannsikkerhet i bygg. Dette innebærer å bygge broer mellom ulike fagområder og organisasjoner for å sikre en helhetlig tilnærming til brannsikkerhet og hindre den ellers forekommende «silotenking» som gjerne fører til optimale løsninger innen hvert fagområde på bekostning av gjennomtenkte helhetlige løsninger.

4. Tilpasning av byggeforskrifter:

Funn og konklusjoner fra de ulike studiene viser også nødvendigheten av oppdatering og tilpasninger av byggeforskriftene. Dette kan innebære oppdatering av forskrifter og standarder for å inkludere problemstillinger og konsekvenser tilknyttet bruk av nye

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 48 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

materialer og byggemetoder samt vektlegging av tverrfaglig samarbeid for å ivareta integrering av brannsikkerhet i hele byggeprosessen.

5. Håndtering av overtrykk i lufttette bygninger:

Brohez og Caravita (2018) tar for seg problemstillinger i tilknytning til overtrykk i lufttette bygninger og hvordan dette kan påvirke brannsikkerheten. Kunnskap om dette er blant de nyere utfordringer bransjen må være klar over – så vel som anbefalte løsninger for å omgå dette problemet som stort sett er relevant i moderne bygg.

Sammen gir forskningsartiklene med tilhørende konklusjoner en helhetlig forståelse og innsikt i hvordan brannsikkerhet kan ivaretas i bygg utformet ved hjelp av nye byggemetoder og materialer, med vekt på både spesifikke materialer og konstruksjoner, samt nødvendigheten av tverrfaglig samarbeid og integrering av brannsikkerhetstiltak i byggeprosessen.

Samlet sett impliserer funnene fra disse studiene at byggebransjen må være oppmerksom på de ulike aspektene ved brannsikkerhet og jobbe tett sammen tverrfaglig for å sikre at brannsikkerhetstiltakene ivaretas på en effektiv og hensiktsmessig måte. Dette vil i sin tur bidra til å redusere risikoen for branner og forbedre sikkerheten for bygningenes brukere.

7.9.1 Vurdering

I og med at det er mange faktorer som kan være helt avgjørende for forløpet av en bygningsbrann, vil det nødvendigvis være begrensninger i generalitet, bruk og gyldighet av funn i de ulike studiene som tar for seg brannsikring og tiltak for å redusere sannsynlighet og konsekvenser i et branntilfelle.

Som følge av bygningsbranners individualitet tar da heller ikke majoriteten av forskningsrapporter mål av seg til å dekke alle eventualiteter, men tar i stedet sikte på å se på en del fellestrekk og mer generelle utfordringer tilknyttet ventilasjon, materialbruk og arkitektur, som kan ha avgjørende betydning for et brannforløp og dermed også avgjørende for valg av brannsikkerhetsmessige løsninger.

Av faktorer som bidrar til individualisering av brannforløp i de inkluderte studiene kan være ukontrollerbare vind og værforhold, tap av strømforsyning til ventilasjonsviftemotorer og

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 49 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

vannforsyningspumper, skader/manglende funksjon av slukkemidler. Slike eksterne faktorer er ikke tema i de inkluderte studiene, men er noe jeg vurderer som aktuelle faktorer, som også bør være en del av de forhold som vurderes i tilknytning til brannsikkerhet i nye og moderne bygg. Vurderingene av de ulike artiklene er foretatt på forskernes egne premisser i forhold til omfang og detaljering.

Östman et al. (2017):

Studien fokuserer på brannsikkerhet i trebygninger og vil derfor av åpenbare årsaker ha begrenset relevans for bygg med andre materialer og konstruksjoner. Forskningsartikkelen bygger på en rekke forsøk og dekker i så måte de hyppigst forekommende brannscenarier i trebygninger. Faktorer som kan føre til andre forløp er imidlertid i liten grad diskutert og burde kan hende vært gjenstand for noe større oppmerksomhet for på den måten å dekke et bredere spekter av slike scenarier. Artikkelen tar i liten grad for seg brannsikringstiltak som f.eks. tidligdeteksjon og automatisk aktivering av varslingsystemer, varmeaktiverte sprinkleranlegg, god tilrettelegging av utstyr for manuell brannbekjempelse og metoder for sikring av rømningsveier.

Maluk et al. (2017):

Selv om studien ser på mulighetene for å integrere brannsikkerhet i moderne bygningsdesign, gir den ikke en detaljert beskrivelse av hvordan dette kan oppnås i praksis. Det er også begrenset informasjon om hvordan forskerne har vurdert effektiviteten av ulike brannsikkerhetstiltak.

Brohez og Caravita (2018):

Studien er basert på en numerisk modell og laboratorieforsøk og kan ha begrenset relevans for virkelige brannscenarier i lufttette bygninger – ikke minst på grunn av at oppskalering medfører andre volum og luftstrømninger som vanskelig kan simuleres i modellforsøk. I sin alminnelighet medfører simuleringer og laboratorieforsøk vanskeligheter med riktig skalering av alle faktorer som kan påvirke forholdet som undersøkes og er generelt best egnet til å påvise et forholds eksistens mer enn kvantifisering av størrelser tilknyttet forholdet. Studiens verdi ligger i så måte i demonstrasjon av at overtrykk som kan oppstå i brannscenario som

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 50 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

involverer rom uten egnet ventilasjon og dermed skape problemer med tilgang til rømningsveier og dermed effektiv evakuering ved uheldig utforming av dører.

Despinasse og Krueger (2015):

Forskningen ser på brannforløp i tilknytning til solcellepaneler på tak og omfatter dermed ikke brannsikkerhet i bygninger generelt. Selv om studien tar for seg noen problemstillinger og faktorer tilknyttet brannforløp i slike paneler, er den begrenset til en enkelt testmetode som dermed vanskeliggjør generalisering.

På linje med overtrykksforsøkene demonstreres imidlertid eksistensen av ulike problemstillinger og nødvendigheten av å ta hensyn til påviste konsekvenser i tilknytning til brannforløp i forbindelse med solcellepaneler.

Halvorsen et al. (2017):

Studien er basert på kvalitative intervjuer med offentlige tjenesteytere i norske kommuner og kan derfor ha begrensninger i forhold til generalisering på landsbasis. I denne typen undersøkelser er det gjerne intervjuobjektens personlige erfaringer og meninger som kommer til uttrykk slik at både funn og gyldighet vil være avhengig av intervjuobjektens antall og variasjon. Til tross for potensielle svakheter og begrensninger som ligger i en slik intervjubasert informasjons – og data-innhenting, gir studiene verdifull innsikt i ulike aspekter ved brannsikkerhet i bygninger tilrettelagt for omsorgstrengende beboere / sårbare grupper – både i form av institusjoner så vel som i form av enkle boenheter tilrettelagt for beboere med behov for tilsyn og pleie/omsorg. Det er selvsagt viktig å være klar over disse begrensningene når man drøfter og anvender funnene i andre relevante sammenhenger.

7.10 Problemstillinger og områder av betydning for brannsikkerhet som har fått begrenset oppmerksomhet i gjennomgåtte studier

Følgende kapittel tar for seg en del områder og problemstillinger av betydning for ivaretagelse av sikringstiltak mot brann der det tilsynelatende er behov for mer kunnskap og informasjon da de både hver for seg og sammen har konsekvenser på for brannsikkerheten i eksisterende

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 51 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

og ikke minst nye bygg – uansett kategori.

7.10.1 Områder med behov for bedre forståelse og kunnskap

Når det gjelder brannsikkerhet i moderne bygg, er det en del områder der det tilsynelatende er behov for mer – eventuelt mer detaljert - kunnskap som adresserer problemstillinger av betydning for brannsikkerhet og ivaretagelse av relaterte faktorer introdusert med nye materialer og byggemetoder. Blant områder og problemstillinger der det synes å være behov for ytterligere kunnskap og i så måte være kandidater til videre undersøkelser og forskningsprosjekter er:

Utviklingen av nye byggemetoder og materialer:

Med fremveksten av innovative byggemetoder og bruk av nye materialer, kan det være utfordringer knyttet til deres brannsikkerhetsegenskaper og hvordan disse forholder seg til gjeldende byggeforskrifter med tanke på behov for eventuelle oppdateringer.

Med bakgrunn i at skade- og døds-årsaker tilknyttet bolig – og bygningsbranner i mange tilfeller tilskrives giftigheten av de ulike materialenes forbrenningsgasser, er dette tema som bør bli gjenstand for større oppmerksomhet og forskning for å unngå utstrakt bruk av slike materialer selv om de ellers kan ha mange fordeler både økonomisk, teknisk og i konstruksjonsmessig sammenheng.

Integrering av brannsikkerhet i bygningsdesign:

Selv om Maluk et al. (2017) diskuterer potensialet for å integrere brannsikkerhet i moderne bygningsdesign, er det fortsatt behov for mer forskning på praktiske løsninger og utarbeidelse av beste praksis for å implementere dette i norsk byggebransje så vel som relevante forskrifter.

Evaluerings av effektiviteten av brannsikkerhetstiltak:

Som følge av teknologisk utvikling og nye byggemetoder vil det alltid være behov for mer forskning på effektiviteten av ulike brannsikkerhetstiltak i moderne bygg og hvordan de

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 52 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

forholder seg til både generelle og spesifikke krav i byggeforskriftene. Dette kan inkludere studier som vurderer effektiviteten av passive og aktive brannsikkerhetssystemer, samt brannsikkerhets-opplæring og beredskapsplaner.

Tverrfaglig samarbeid og koordinering:

Halvorsen et al. (2017) påpeker utfordringene knyttet til tverrsektorielt samarbeid i norske kommuner når det gjelder brannsikkerhet for sårbare grupper i både private og kommunale bygg. Det kan være behov for videre forskning på hvordan tverrfaglig samarbeid kan forbedres og hvordan byggeforskriftene kan legge til rette for et mer samordnet arbeid for å ivareta brannsikkerheten i bygg der sårbare grupper medfører ekstraordinære behov og ordninger for å holde et forsvarlig sikkerhetsmessig nivå.

Klimaendringer og brannsikkerhet:

Med økende bekymring for klimaendringenes innvirkning på bygg og infrastruktur, kan det være behov for forskning på hvordan byggeforskrifter kan tilpasses for å ivareta brannsikkerhet i lys av endrede klimaforhold. Behov for ytterligere kunnskap i tilknytning til slike problemstillingene nødvendiggjør videre forskning og vurderinger omkring brannsikkerhet i moderne bygg så vel som rutiner tilknyttet oppdatering av relevante byggeforskrifter. Identifisering og adressering av områder og problemstillinger med behov for ytterligere kunnskap vil bidra til å styrke brannsikkerheten i bygg og sikre at byggeforskriftene er tilpasset de nyeste teknologiske utviklingene og utfordringene i byggebransjen. Videre forskning på disse områdene vil også hjelpe beslutningstakere og byggeindustrien med å utvikle mer effektive brannsikkerhetsstrategier og tilpasninger i byggeforskriftene for å bedre beskytte liv og eiendom mot brann.

7.11 Områder med behov for konkrete praktiske løsninger

Brannsikkerhet og byggeforskrifter har et nærmest kontinuerlig behov for mer forskning og oppdatering for å holde tritt med utviklingen i byggeindustrien og endringer i miljøkrav. Det er også behov for å se på andre og nye mulig løsninger som kan komme til hjelp for å øke sikkerheten:

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 53 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

1. Samspillet mellom anvendelsen av ulike byggematerialer og -metoder:
Hvordan kan kombinasjonen av ulike byggematerialer og -metoder i et enkelt bygg påvirke brannsikkerheten og hva bør tas i betraktning for å redusere tilhørende risikoen? (Dvs de tilhørende sannsynligheter og konsekvenser)

2. Inspeksjon og vedlikehold:
Hvilken rolle spiller regelmessig inspeksjon og vedlikehold av bygninger for å opprettholde brannsikkerheten over tid, spesielt med hensyn til de nye byggematerialene og -metodene?
Hvordan kan myndighetene og byggebransjen samarbeide for å sikre at moderne bygg forblir brannsikre gjennom hele sin levetid?

3. Kostnader og bærekraft:
Hvordan balanserer man hensynet til økonomi og bærekraft med brannsikkerheten? Hvordan kan man utvikle kostnadseffektive og miljøvennlige løsninger for brannsikkerhet i moderne bygg?

4. Endringer i klima og miljø:
5. Hvordan kan endringer i klima og miljø påvirke brannsikkerheten i moderne bygg og hvordan bør byggeforskriftene og bransjen tilpasse seg disse endringene for å ivareta fortsatt god brannsikkerhet?

6. Utdanning og opplæring:
Hvordan kan økt kunnskap og opplæring av arkitekter, ingeniører, byggherrer og brannvesen bidra til bedre brannsikkerhet i moderne bygg?
Hvordan kan samarbeid og kommunikasjon mellom disse aktørene forbedres for å sikre en helhetlig tilnærming til brannsikkerhet?

7.11.1 Samspillet mellom ulike byggematerialer og -metoder

Samspillet mellom ulike byggematerialer og -metoder i et enkelt bygg kan ha en betydelig innvirkning på brannsikkerheten. Noen materialer og metoder kan komplementere hverandre

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 54 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

og forbedre brannsikkerheten, mens andre kan føre til økt risiko for brannspredning og/eller redusert brannmotstand. Det er viktig å vurdere samspillet mellom disse faktorene for å sikre god brannsikkerhet. Følgende faktorer er sentrale i tilknytning til brannsikkerhetsmessige vurderinger av samspillet mellom ulike byggematerialer og -metoder:

- Brannmotstand:

Kombinasjonen av materialer med ulik brannmotstand kan føre til en svekkelse av den totale brannmotstanden i bygget. For eksempel kan en kombinasjon av trekonstruksjoner og stål i et bygg føre til en redusert brannmotstand, da stål mister sin bæreevne ved høye temperaturer.

Det er derfor viktig å velge materialer og metoder som er komplementære i forhold til den totale brannmotstand og i så måte samhandler og endog gir økt brannmotstand sammen enn hver for seg.

- Brannspredning:

Enkelte byggematerialer kan øke risikoen for brannspredning, spesielt når de kombineres med andre brannfremmende materialer. For eksempel kan en kombinasjon av isolasjonsmaterialer og brennbare fasadematerialer, som komposittpaneler, øke risikoen for rask brannspredning. Det er derfor viktig å vurdere brannspredningsegenskapene til de ulike materialene og velge kombinasjoner som reduserer denne risikoen.

- Kompartmentering:

God kompartmentering er viktig for å hindre brann- og røykspredning mellom ulike deler av bygningen. Kombinasjonen av ulike byggemetoder og -materialer kan påvirke bygningens evne til å opprettholde kompartmentering under en brann og det er derfor viktig å sikre at de valgte materialene og metodene ikke svekker kompartmenteringen, men heller bidrar i forbedrende retning.

- Brannsikkerhetsinstallasjoner:

Kombinasjonen av ulike materialer og metoder kan påvirke effektiviteten av

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 55 av 75
	Brann tekniske utfordringer ved moderne bygg	

brannsikkerhetsinstallasjoner som sprinkleranlegg og røykventilasjonssystemer.

For eksempel kan et bygg med store åpne atrier kreve spesielle røykventilasjonssystemer for å sikre effektiv røykkontroll og beskytte personell i en eventuell evakueringssituasjon.

Uansett arkitektur og utforming er det viktig å vurdere hvordan ulike materialer og konstruksjoner påvirker hverandre så vel som de etablerte brannsikringstiltak og eventuelt foreta endringer som fremmer installasjonenes ytelse.

For å ivareta god brannsikkerhet i bygg med ulike byggematerialer og -metoder, er det viktig å nøye vurdere samspillet mellom de nevnte faktorene og deres innvirkning på brannsikkerheten. Dette innebærer brann tekniske analyser og simuleringer samt å konsultere eksperter innen brannsikkerhet og byggingsteknikk for å få en forståelse av hvordan ulike materialer og metoder kan påvirke brannsikkerheten i det spesifikke prosjektet.

Videre er det viktig å sørge for at brannsikkerhetsstrategien for et bygg tar hensyn til egenskapene til de ulike materialer og aktuelle byggemetoder.

Dette kan føre til implementering av ytterligere brannsikkerhetstiltak som for eksempel forsterket kompartmentering, økt brannmotstand for kritiske konstruksjonselementer, spesialdesignede brannsikkerhetssystemer, tiltak rettet mot evakuering og sikring av rømningsveier og eventuelt ekstraordinære tiltak for å ivareta lokale forhold som kan påvirke brannsikkerheten i negativ retning og dermed behov for mer spesielt tilpassede risikoreducerende tiltak.

Det bør også vurderes å utarbeide retningslinjer og beste praksis for kombinasjonen av ulike byggematerialer og -metoder for å sikre at brannsikkerheten ivaretas på en konsistent og effektiv måte i alle byggeprosjekter. Dette inkluderer også oppdatering av byggeforskrifter for å adressere utfordringene som oppstår når ulike materialer og metoder kombineres i moderne bygg.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 56 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

7.11.2 Inspeksjon og vedlikehold

Regelmessig inspeksjon og vedlikehold av bygninger spiller selvsagt en avgjørende rolle med hensyn til opprettholdelse av brannsikkerheten over tid. Når bygninger eldes er det også snakk om slitasje og forringelse, noe som også vil ha betydning for bygningens brannsikkerhet. Inspeksjon og vedlikehold bidrar til å identifisere og rette opp eventuelle problemer før de utgjør en alvorlig trussel. For å sikre at moderne bygg forblir brannsikre gjennom hele sin levetid, er det viktig med et samarbeid mellom ansvarshavende for bygg og aktører innen byggebransjen. Eksempler på dette er:

- Utvikling og implementering av inspeksjons- og vedlikeholdsprogrammer:
Myndighetene kan utarbeide generelle retningslinjer og krav for regelmessig inspeksjon og vedlikehold av bygninger. Imidlertid bør byggebransjen - som i utgangspunktet har mest kunnskap og best kjennskap til de ulike problemstillinger, - selv utarbeide retningslinjer og anbefalinger som ivaretar opprettholdelse av nødvendig brannsikkerhetsstandard.
- Opplæring og sertifisering av inspektører og vedlikeholdspersonell:
Myndighetene og bransjeorganisasjoner bør samarbeide for å utvikle opplæringsprogrammer og sertifiseringssystemer for inspektører og vedlikeholdspersonell for å sikre at de har nødvendig kompetanse for å vurdere og opprettholde brannsikkerheten.
- Informasjonsdeling og erfaringsutveksling:
Myndighetene og byggebransjen bør samarbeide om å dele informasjon og erfaringer om beste praksis for inspeksjon og vedlikehold av moderne bygg.
Dette kan bidra til kontinuerlig forbedring av brannsikkerhetsstandarder og praksis.
- Oppdatering av byggeforskrifter og retningslinjer:
Det er viktig at byggebransjen i samarbeid med myndighetene sørger for å vurdere og oppdatere byggeforskrifter og retningslinjer for å sikre at de reflekterer ny kunnskap og erfaring innen brannsikkerhet, og at de adresserer spesifikke utfordringer knyttet til nye byggematerialer og -metoder.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 57 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

Ved å samarbeide på disse områdene kan myndighetene og byggebransjen bidra til å sikre at moderne bygg forblir brannsikre gjennom hele sin levetid og beskytter liv og eiendom på en forutsigbar og forsvarlig måte.

7.11.3 Kostnader og bærekraft

Balanseringen av økonomi, bærekraft og brannsikkerhet i moderne bygg er en kompleks utfordring som krever nøye planlegging og samarbeid mellom forskjellige fagdisipliner og interessenter.

Målet er å utvikle løsninger som er både kostnadseffektive, miljøvennlige og brannsikre. Strategier som kan bidra til dette å oppnå denne balansen:

- Integrert designprosess:
For å sikre en optimal balanse mellom økonomi, bærekraft og brannsikkerhet, bør arkitekter, ingeniører, brannsikkerhetsekspertene og andre relevante parter samarbeide tett gjennom hele design- og byggeprosessen. Dette gjør det mulig å identifisere ulike hensyn og avveininger som må tas i forhold til de enkelte mål og dermed bidra til utvikling av løsninger som ivaretar alle hensyn.
- Innovasjon og forskning:
Utvikling av nye byggematerialer, -teknologier og -metoder som kombinerer bærekraft og brannsikkerhet kan bidra til å redusere kostnadene og miljøpåvirkningen. Investering i forskning og innovasjon er derfor viktig for å utvikle løsninger som er optimale i forhold til de gitte rammebetingelser.
- Gjenbruk og resirkulering av materialer:
Bruk av resirkulerte produkter og gjenbruk av byggematerialer vil bidra til å redusere både kostnader og miljøpåvirkning. Det er imidlertid viktig å vurdere materialenes brannsikkerhetsegenskaper og sørge for at de tilfredsstillende gjeldende standarder og forskrifter.
- Energieffektivitet og passiv brannsikkerhet / bruk av passiv brannbeskyttelse:
Utvikling av energieffektive bygg med passiv brannsikkerhet (for eksempel

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 58 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

brannmotstandige materialer, kompartmentering og røykventilasjon) kan bidra til å redusere både driftskostnader og miljøpåvirkning uten å gå på akkord med krav om et høyt brannsikkerhetsnivå.

- Livssyklusanalyse og kostnadsanalyse:
Ved å utføre en livssyklusanalyse (LCA) og en kostnadsanalyse for ulike brannsikkerhetsløsninger, kan man identifisere de mest kostnadseffektive og miljøvennlige alternativene. Dette kan bidra til å informere beslutningstaking og prioritering av tiltak.
- Regulering og insentiver:
Myndighetene kan spille en viktig rolle i å fremme balansen mellom økonomi, bærekraft og brannsikkerhet. Ved å utvikle og håndheve krav nedfelt i byggeforskrifter og retningslinjer som stiller krav til både miljøytelse og brannsikkerhet. insentiver, som skattefordeler eller tilskudd, kan også oppmuntre til adopsjon av kostnadseffektive og miljøvennlige brannsikkerhetstiltak. Dette vil bidra til å fremme innovasjon og adopsjon av beste praksis i bransjen.
- Opplæring og bevisstgjøring:
For å sikre effektiv integrasjon av bærekraft og brannsikkerhet i moderne bygg, er det viktig å skape bevissthet blant arkitekter, ingeniører, entreprenører og andre involverte parter om de ulike aspektene ved dette samspillet. Dette kan inkludere opplæring i ny teknologi, metoder og forskrifter, samt deling av beste praksis og suksesshistorier.

Ved å ta hensyn til disse strategiene og fremme samarbeid og innovasjon på tvers av bransjen, er det mulig å finne en balanse mellom økonomi, bærekraft og brannsikkerhet i moderne bygg. Det er imidlertid viktig å være oppmerksom på at dette er en kontinuerlig prosess som krever regelmessig evaluering og justering av praksis og forskrifter for å sikre at brannsikkerheten ivaretas i takt med utviklingen innen byggemetoder og materialer.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 59 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

7.11.4 Endringer i klima og miljø

Endringer i klima og miljø kan ha betydelige konsekvenser for brannsikkerheten i moderne bygg. Økende temperaturer, hyppigere ekstremværhendelser og endrede nedbørsmønstre kan påvirke bygningenes ytelse og brannsikkerhet på flere måter:

- Materialer og konstruksjon:
Klimaendringer kan påvirke levetiden og ytelsen til byggematerialer. For eksempel kan både økt fuktighet så vel som tørre og varmere klimatiske forhold forårsake svekkelser og endringer av materialeegenskaper som i sin tur kan bidra til reduksjon av brannmotstand. Både byggeforskrifter så vel som byggebransjen må ta hensyn til muligheten for slike endringene og velge materialer og konstruksjonsteknikker som i større grad tar høyde for slike endringer og i den utstrekning det er mulig opprettholder god brannsikkerhet uavhengig av klimatiske forhold.
- Brannrisiko:
Klimaendringer kan øke risikoen for branner, spesielt i områder utsatt for tørke og skogbranner. Bygg i slike områder må utformes og konstrueres med hensyn til denne økte risikoen, inkludert tilstrekkelig brannmotstand, riktig landskapsplanlegging og tilgang for nødetaer.
- Vannforsyning og brannslukking:
Klimaendringer kan påvirke vannforsyningen og tilgjengeligheten av vann til brannslukking. Byggeforskriftene og bransjen må vurdere alternative brannslukningsmetoder og utstyr som er mindre avhengig av vann, samt se på muligheter for å utvikle mer effektive brannslukkingssystemer.
- Ventilasjon og termisk komfort:
Endrede klimaforhold kan kreve endringer i ventilasjon og kjøling av bygninger for å opprettholde termisk komfort. Dette kan ha konsekvenser for brannsikkerheten, da ventilasjonssystemer også kan bidra til spredning av røyk, forbrenningsgasser og varme i et brannscenario. Byggeforskriftene med de mer generelle krav og retningslinjer så vel som byggebransjen med sine spesialkunnskaper må bidra til å

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 60 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

sikre at ventilasjonssystemer både opprettholder termisk komfort og fungerer effektivt i forhold til spredningsbegrensning, utlufting og kontroll av røyk- og varme i et branntilfelle.

For å tilpasse seg klimatiske endringer og sikre fortsatt god brannsikkerhet, bør myndigheter gjennom byggeforskrifter og standarder så vel som byggebransjen selv følge utviklingen og sikre at endringer blir ivaretatt ved å:

- Oppdatere byggeforskrifter og retningslinjer for å ta hensyn til endrede klima- og miljøforhold, inkludert valg av materialer, konstruksjonsmetoder og brannsikkerhetstiltak som er robuste og bestandige mot ulike forhold.
- Fremme forskning og innovasjon i brannsikkerhetsteknologi og -design som kan håndtere klimaendringer og miljøpåvirkning, inkludert alternative brannslukkingssystemer, intelligente alarmer og røykdeteksjon, og energieffektive brannsikkerhetsløsninger.
- Øke samarbeidet mellom myndigheter, byggebransjen, forskere og andre interessenter for å utvikle og implementere beste praksis og innovative løsninger for å tilpasse seg klima- og miljøendringer.
- Investere i opplæring og utdanning av arkitekter, ingeniører, entreprenører og andre involverte parter for å øke bevisstheten om klimaendringenes innvirkning på brannsikkerhet og for å utvikle nødvendige ferdigheter for å tilpasse seg disse utfordringene.
- Integrere klima- og miljørisiko i planlegging og utforming av nye bygg og områder, samt vurdere oppgradering av eksisterende bygninger for å møte endrede krav til brannsikkerhet.

Ved å ta hensyn til endringer i klima og miljø, samt tilpasse byggeforskriftene og bransjen til disse endringene, kan man fortsatt ivareta god brannsikkerhet i både eksisterende og moderne bygg og bidra til å beskytte mennesker, eiendom og miljø.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 61 av 75
	Brann tekniske utfordringer ved moderne bygg	

7.11.5 Utdanning og opplæring

Økt kunnskap og opplæring av arkitekter, ingeniører, byggherrer og brannvesen kan bidra til å bedre brannsikkerhet i moderne bygg på flere måter:

- Forståelse av materialer og metoder:
Utdanning og opplæring kan hjelpe alle involverte parter til å få en dypere forståelse av de brann tekniske egenskapene og utfordringene knyttet til nye byggematerialer og -metoder. Dette vil bidra til kunnskapsbaserte beslutninger og utforming av bygninger som er både innovative og sikre.
- Utvikling av ferdigheter:
Gjennom opplæring og utdanning kan arkitekter, ingeniører, byggherrer og brannvesen utvikle spesifikke ferdigheter som er nødvendige for å håndtere brann-sikkerhetsutfordringer i moderne bygg. Dette kan omfatte ferdigheter innen brann-modellering, risikovurdering, brannsikkerhetstesting og inspeksjon.
- Deling av kunnskap og erfaring:
Økt samarbeid og kommunikasjon mellom ulike aktører vil fremme deling av kunnskap og erfaringer. Dette vil i sin tur føre til at beste praksis blir implementert i flere prosjekter og bidra til en helhetlig tilnærming til brannsikkerhet.
- Tverrfaglig samarbeid: Når arkitekter, ingeniører, byggherrer og brannvesen arbeider tettere sammen, kan de utvikle en mer helhetlig forståelse av hvordan ulike aspekter ved byggeprosjektet påvirker brannsikkerheten. Dette vil hjelpe dem med å ta hensyn til brannsikkerhet i alle faser av prosjektet, fra planlegging og utforming til bygging og drift.
- Oppdatering av forskrifter og retningslinjer: Med økt kunnskap og opplæring kan aktørene bidra til å utvikle og oppdatere byggeforskrifter og retningslinjer for å sikre at de reflekterer den nyeste kunnskap og forskningen innen brannsikkerhet.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 62 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

For bedre samarbeid og kommunikasjon mellom disse aktørene, kan ulike tiltak iverksettes.

Aktuelle tiltak kan være:

- Arrangering av workshops, seminarer og konferanser der aktørene kan møtes, dele erfaringer og diskutere brannsikkerhet i moderne bygg.
- Etablere faglige nettverk og samarbeidsgrupper for å fremme dialog og samarbeid mellom ulike fagdisipliner og sektorer.
- Utvikling av felles retningslinjer, veiledninger og opplæringsmateriell som kan brukes av alle aktører for å sikre en konsistent tilnærming til brannsikkerhet.

Ved å øke kunnskapen og opplæringen av arkitekter, ingeniører, byggherrer og brannvesen, samt forbedre samarbeid og kommunikasjon mellom disse aktørene, kan man bidra til bedre brannsikkerhet i moderne bygg. En helhetlig tilnærming til brannsikkerhet vil sikre at alle involverte parter arbeider sammen for å utforme, bygge og vedlikeholde bygninger som er både innovative og trygge. Dette vil også bidra til å holde tritt med utviklingen av nye byggematerialer og -metoder og tilpasse seg endringer i klima og miljø, samtidig som man balanserer hensynene til økonomi, bærekraft og brannsikkerhet.

8 Konklusjon

Hovedtemaet som er undersøkt er: På hvilken måte kan brannsikkerhet ivaretas i bygg utformet ved hjelp av nye byggemetoder og materialer i henhold til gjeldene byggeforskrifter.

Formålet med studien har dermed vært å undersøke og analysere forskjellige aspekter av brannsikkerhet i moderne bygg og vurdere hvordan samarbeid, integrasjon av brannsikkerhetstiltak og valg av materialer kan bidra til å forbedre brannsikkerheten i slike bygg.

Følgende hovedfunn er identifisert og drøftet:

- Tverrfaglig samarbeid og integrering av brannsikkerhet i hele byggeprosessen fra konsept til ferdigstilling er avgjørende for å ivareta brannsikkerheten i bygg utformet ved hjelp av nye byggemetoder og bruk av nye materialer.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 63 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

- Valg av materialer og byggemetoder har en betydelig innvirkning på brannsikkerheten i moderne bygg. Det er viktig å vurdere både strukturelle og arkitektoniske aspekter, samt egenskapene til materialene som brukes for derigjennom å redusere brannrisiko.
- Gjeldende byggeforskrifter og retningslinjer spiller en viktig rolle i å sikre brannsikkerheten i moderne bygg. Det er imidlertid viktig å være oppmerksom på områder der det er behov for ytterligere kunnskap og behov for videre forskning og i så måte ikke fullt ut ivaretatt i gjeldende regelverk.
- Tilsiktede og utilsiktede trykkforskjeller i forbindelse med branntilløp og ventilasjon er viktige faktorer som kan påvirke brannsikkerheten i moderne bygg, spesielt i tette og energieffektive bygninger.
- Økt fokus på brannsikkerhet for sårbare grupper er nødvendig i både kommunale og private bygg og tverrsektorielt samarbeid er avgjørende for å forbedre brannsikkerheten ikke minst i forhold til evakuering der både tid og rømningsveiers tilgjengelighet er sentrale faktorer som må ivaretas på forsvarlig vis.

Basert på funn og drøftinger i denne oppgaven, kan det konkluderes med at brannsikkerhet kan ivaretas i bygg utformet ved hjelp av nye byggemetoder og nye materialer ved å:

- Implementere tverrfaglig samarbeid og integrere brannsikkerhet i hele byggeprosessen, fra planlegging og design til konstruksjon og drift.
- Velge materialer og byggemetoder som tar hensyn til brannsikkerhet, vurderer både strukturelle og arkitektoniske aspekter, samt egenskapene til materialene som brukes.
- Følge gjeldende byggeforskrifter og være oppmerksom på mulige mangler og behov for videre forskning for å sikre brannsikkerheten i moderne bygg.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 64 av 75
	Brann tekniske utfordringer ved moderne bygg	

- Ta hensyn til at utilsiktede overtrykk som følge av lokalt oppvarmet luft i et brannscenario må håndteres med styring av ventilasjon i spesielt tette og energieffektive bygg for å hindre brannspredning, sikre frie rømningsveier og generelt minimere konsekvensene av et eventuelt brannforløp.
- Nødvendigheten av å fokusere på brannsikkerhet til sårbare grupper og fremme tverrsektorielt samarbeid for å forbedre sikkerheten i alle faser av et eventuelt brannforløp.

Identifiserte funn peker på områder som av ulike årsaker har kontinuerlig behov for oppmerksomhet og må adresseres gjennom byggepraksis, politikk, teori og forskning.

Tverrfaglig samarbeid og byggepraksis:

Funnene understreker viktigheten av tverrfaglig samarbeid og integrering av brannsikkerhet i byggeprosessen. Byggebransjen bør derfor fokusere på å fremme kommunikasjon og samarbeid mellom ulike fagdisipliner, og sørge for at brannsikkerhet vurderes i alle faser av prosjektet. Dette vil bidra til å redusere risikoen for brann og minimere konsekvensene dersom en brann skulle oppstå.

Politikk:

Funnene viser at det er behov for tverrsektorielle politiske tiltak for å styrke brannsikkerheten i moderne bygg. Dette kan innebære at myndighetene må videreutvikle og implementere nasjonale standarder og retningslinjer som fremmer tverrfaglig samarbeid og integrering av brannsikkerhet i byggeprosjekter. Samtidig må det være samsvar mellom kravene på nasjonalt nivå og kommunenes behov for lokal tilpasning og fleksibilitet.

Teori:

Funnene bidrar til å utvide kunnskapen om brannsikkerhet i moderne bygg og hvordan ulike faktorer, som materialvalg, byggemetoder og tverrfaglig samarbeid, påvirker risikoen for brann. Dette kan hjelpe forskere og fagpersoner i bransjen med å utvikle modeller og teorier

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 65 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

som belyser og bedre forklarer hvordan brannsikkerhet kan ivaretas i bygg utformet ved hjelp av nye byggemetoder og nye materialer.

Forskning:

Funnene identifiserer områder med behov for ytterligere kunnskap og derigjennom behov for videre forskning. Som eksempel nevnes potensielle utfordringer og løsninger knyttet til brannsikkerhet i energieffektive og tette bygg som kan være utgangspunkt for fremtidige studier rettet mot ulike aspekter ved brannsikkerhet i moderne bygg og hvordan disse kan løses.

Branners individuelle karakter vil alltid skape utfordringer og det vil alltid være behov for forskning og ny viten for bedre å forstå alle faser i et brannforløp og dermed sette inn stadig bedre tiltak for på et så tidlig stadium som mulig hindre videre utvikling.

Tiltak rettet mot bekjempelse og evakuering er åpenbare prioriteringsområder, men bør ikke gå på bekostning av ressurser og utvikling av metoder og teknologi rettet mot tidligdeteksjon og tidlig bekjempelse av brannforløp. I arbeidet med å definere brannsikringstiltak er det viktig å adressere alle faser og spredningsmekanismer slik at et brannforløp hele tiden vil møte motstand i forhold til et upåvirket og fritt forløp.

Det ultimale mål er selvsagt å konstruere framtidige bygg på en slik måte at sannsynligheten for at et branntilløp får utvikle seg til noe mer enn bare et tilløp er så liten at risikoen for et alvorlig brannscenario er godt innenfor de strengeste akseptkriterier.

8.1 Kommentarer og betraktninger

Studien er basert på en begrenset mengde forskningsartikler og det finnes med stor sannsynlighet ytterligere relevante studier som ikke er inkludert her. Dette kan påvirke representativiteten og generaliseringen av funnene.

Studien er basert på en litteraturgjennomgang for å samle innsamling av data brukt i den videre analyse. Selv om dette er en vanlig tilnærming for å få en oversikt over relevant

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 66 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

forskning og relevante studier og artikler, vil det være begrensninger i forhold til dybden og bredden av analysen. For eksempel kan en litteraturgjennomgang være mer utsatt for forfatterens egne tolkninger og forutinntatte meninger enn en empirisk målrettet studie. Selv om denne studien er en deskriptiv og sammenlignende analyse av funnene fra forskjellige artikler, kan den på lik linje enkelte rapporter også påvirkes av egne preferanser og meninger om temaet. Med tanke på denne studien gir en litteraturstudie i sin alminnelighet ikke rom for å utforske kausale sammenhenger eller teste hypoteser, noe som kan begrense forståelsen av hvordan ulike faktorer påvirker brannsikkerhet i moderne bygg.

Bacheloroppgaven er også begrenset av tidsrammen for studiet, noe som også kan påvirke dybden og kvaliteten på analysen. Med mer tid kunne det vært mulig å inkludere et større antall artikler i gjennomgangen, samt utføre en mer omfattende analyse av hvert enkelt studie – dog uten at det nødvendigvis ville endret på hovedfunn og tilhørende konklusjoner.

Rent faglig har studien ikke overraskende vist at materialvalg og byggemetoder påvirker brannsikkerheten i moderne bygg. I hvilken utstrekning og med hvilke konsekvenser kan fremtidig forskning undersøke og bidra til introduksjon av nye materialer og teknologier som potensielt kan forbedre brannsikkerheten i bygg, samt evaluere deres ytelse under ulike brannscenarier.

Det kan også være interessant å undersøke hvordan ulike nasjonale og internasjonale bygningsforskrifter og standarder harmonerer og ivaretar brannsikkerheten i moderne bygg. Dette kan inkludere en sammenligning av forskjellige regelverk og evaluering av deres effektivitet med tanke på brannsikkerhet. Et gjennomgangens tema i studien er viktigheten av tverrfaglig samarbeid for å ivareta brannsikkerhet i bygg. Videre forskning og studier kan undersøke hvordan ulike fagdisipliner kan samarbeide mer effektivt for å integrere brannsikkerhet i byggeprosessen og identifisere beste praksis for tverrfaglig samarbeid.

Når det gjelder mer spesifikke utfordringer som brannsikkerhet for sårbare grupper som eldre, barn og personer med funksjonshemninger er dette et område som får økende aktualitet – ikke minst i lys av den demografiske utviklingen i Norge der behovet for bygg som ivaretar sikkerhet til eldre og bevegelseshemmede vil øke i årene framover. Dette bør i sin tur gi

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 67 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

grunnlag for intensivert forskning og undersøkelser rettet mot hvordan bygninger kan utformes for å imøtekomme disse gruppenes spesifikke behov og redusere risikoen for brannrelaterte skader og tap av liv.

Framtidig forskning kan også undersøke effektiviteten av ulike brannsikkerhetstiltak som f.eks. sprinklersystemer, røykdetektorer og evakueringsplaner. Dette kan innebære å evaluere deres ytelse under brannscenarier og identifisere eventuelle svakheter og/eller forbedringsområder.

Arbeidet med denne studien har belyst viktigheten av brannsikkerhet i moderne bygg der materialvalg, byggemetoder, tverrfaglig samarbeid og byggeforskrifter spiller en rolle i å ivareta sikkerheten til mennesker, materiell og eiendom. For egen del har denne studien bidratt til en dypere forståelse av brannsikkerhet og ikke minst at det fortsatt er mye å lære og utforske innen dette feltet der det er et kontinuerlig behov for å forbedre praksis og regelverk og dermed sikre at byggene vi skaper er funksjonelle, trygge og ivaretar brannsikkerheten på en forsvarlig måte.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 68 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

9 Referanseliste

- Alide Elkind. (2017). *Good Practice Guide* (2nd ed.). Branz.
- Asdrubali, F., D'Alessandro, F., & Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 4, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2015.05.002>
- Berg Insight. (2019). *mart Homes and Home Automation – 7th Edition* .
- Bjorhovde, R. (2004). Development and use of high performance steel. *Journal of Constructional Steel Research*, 60(3-5), 393–400. [https://doi.org/10.1016/s0143-974x\(03\)00118-4](https://doi.org/10.1016/s0143-974x(03)00118-4)
- Boyle, G. (2012). *Renewable energy : power for a sustainable future*. Oxford University Press ; Milton Keynes.
- Brannstatistikk. (n.d.). Brannstatistikk. Hentet fra <https://www.brannstatistikk.no/brus-ui/search>.
- BREEAM. (2020). *BREEAM In-Use International Teknisk manual: Næringsbygg Versjon 6.0.0*. Byggalliansen.no. <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2020/05/BREEAM-In-Use-Internasjonal-manual-Naeringsbygg-V6.0.0.pdf>
- Brohez, S., & Caravita, I. (2018). Overpressure induced by fires in airtight buildings. *Journal of Physics: Conference Series*, 1107(4), 042031. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1107/4/042031>
- Buchanan, A. H., & Abu, A. K. (2016). *Structural Design for Fire Safety*. Chichester, Uk John Wiley & Sons, Ltd.
- Ching, F. (2014). *Building construction illustrated* (5th ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- D Hull, & Clyne, T. W. (1996). *An Introduction to Composite Materials*. Cambridge University Press.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 69 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

Despinasse, M.-C., & Krueger, S. (2015). First developments of a new test to evaluate the fire behavior of photovoltaic modules on roofs. *Fire Safety Journal*, 71, 49–57.

<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2014.11.011>

Direktoratet for byggkvalitet. (2017, September 15). *Direktoratet for byggkvalitet*. Dibk.no.

<https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17>

Direktoratet for byggkvalitet. (2021, Juni 29). *Bærekraftige byggverk konkurrerer om pris*.

Direktoratet for Byggkvalitet. <https://dibk.no/statens-pris-for-byggkvalitet/nyheter-om-prisen/barekraftige-byggverk-konkurrerer-om-pris>

Energiverket. (2019, Februar 12). *Hva er passivhus, nullhus og plusshus?* Energiverket.

<https://www.energiverket.no/hva-er-passivhus-nullhus-og-plusshus/>

European Committee for Standardization. (2005). *Eurocode 6: Design of masonry structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design(EN 1996-1-2)*.

<https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/02/en.1996.1.2.2005.pdf>

Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H.-P., & Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*, 37(11), 1552–1596.

<https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003>

Flower, D. J. M., & Sanjayan, J. G. (2007). Green house gas emissions due to concrete manufacture. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 12(5), 282–288.

<https://doi.org/10.1065/lca2007.05.327>

Gartner, E. (2004). Industrially interesting approaches to “low-CO₂” cements. *Cement and Concrete Research*, 34(9), 1489–1498.

<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.01.021>

Gharehbaghi, K., & Georgy, M. (2019). Sustainable Construction by Means of Improved Material Selection Process. *The Academic Research Community Publication*, 3(1), 85.

<https://doi.org/10.21625/archive.v3i1.433>

Grig.club. (n.d.). Illustrasjon av moderne arkitektur [Bilde]. Hentet fra <https://grig.club/hva-er-moderne-arkitektur-2/>.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 70 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

- Grønn Byggallianse og Norsk Eiendom. (2016). *VEIKART MOT 2050 Utarbeidet av Grønn Byggallianse og Norsk Eiendom*. <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2018/11/Eiendomssektorens-veikart-mot-2050.pdf>
- Gustavsson, L., & Sathre, R. (2006). Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. *Building and Environment*, 41(7), 940–951. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.04.008>
- Gypsum Association. (2018). *Fire Resistance and Sound Control Design Manual* (22nd ed.). Gypsum Association.
- H.B. Awbi. (2013). *Ventilation of Buildings*. Routledge.
- Halvorsen, K., Almklov, P. G., & Gjørund, G. (2017). Fire safety for vulnerable groups: The challenges of cross-sector collaboration in Norwegian municipalities. *Fire Safety Journal*, 92, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.05.001>
- Justis- og beredskapsdepartementet. (2015, Desember 28). *Forskrift om brannforebygging - Lovdata*. Lovdata.no. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-12-17-1710?q>
- Kalogirou, S. A. (2014). *Solar energy engineering : processes and systems* (2nd ed.). Academic Press.
- Karana, E., Owain Pedgley, & Rognoli, V. (2013). *Materials experience : fundamentals of materials and design*. Butterworth-Heinemann.
- Khoury, G. A. (2000). Effect of fire on concrete and concrete structures. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 2(4), 429–447. <https://doi.org/10.1002/pse.51>
- Kodur, V., Dwaikat, M., & Fike, R. (2010). High-Temperature Properties of Steel for Fire Resistance Modeling of Structures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(5), 423–434. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0000041](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000041)
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., & Panarese, W. C. (2002). *Design and control of concrete mixtures* (14th ed.). Portland Cement Association.

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 71 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

- Lavenergiprogrammet. (2018, Desember 28). *Hva er kravene til passivhus?* Tekna.
<https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/krav-til-passivhus/>
- Maluk, C., Woodrow, M., & Torero, J. L. (2017). The potential of integrating fire safety in modern building design. *Fire Safety Journal*, 88, 104–112.
<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2016.12.006>
- Mauritz-Hansen, V. (2014, September 1). *Hvorfor satse på passivhus når man har plusshus?* Tekna. <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/hvorfor-satse-pa-passivhus-nar-man-har-plusshus/>
- miljødepartementet, K. (2017, Juni 16). *Meld. St. 41 (2016–2017)*. Regjeringen.
<https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-41-20162017/id2557401/?ch=1>
- Mortensen Vik, B. (2020, November 4). *Dette er smarthus*. NdlA. <https://ndla.no/article/26888>
- Mosland, T. B. (2013, November 26). *Hva er et passivhus?* Tekna. <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/hva-er-et-passivhus/>
- Norges offentlige utredninger. (2012). *Ny utdanning for nye utfordringer: Helhetlig utdanningsmodell for fremtidig personell i brannvesenet*. NOU 2012:8.
- Norsk Brannvernforening. (n.d.). *Brannsikker bolig*. Brannvernforeningen. Hentet Mars 10, 2023, fra <https://www.brannvernforeningen.no/brannsikkerhet/i-hjemmet/brannsikker-bolig>
- Norsk Standard. (2013). *NS 3700:2013 - Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Boligbygninger*.
- Oliver, C. D., Nassar, N. T., Lippke, B. R., & McCarter, J. B. (2014). Carbon, Fossil Fuel, and Biodiversity Mitigation With Wood and Forests. *Journal of Sustainable Forestry*, 33(3), 248–275. <https://doi.org/10.1080/10549811.2013.839386>
- Olje- og energidepartementet. (2013, Oktober 31). *Kostnadsoptimalitetsforordningen*. Regjeringen. <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2013/okt/kostnadsoptimalitetsforordningen/id2433314/>

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 72 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

- Östman, B., Brandon, D., & Frantzich, H. (2017). Fire safety engineering in timber buildings. *Fire Safety Journal*, 91, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.05.002>
- P Kumar Mehta, & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete : microstructure, properties, and materials*. McGraw-Hill Education.
- Pauliuk, S., Milford, R. L., Müller, D. B., & Allwood, J. M. (2013). The Steel Scrap Age. *Environmental Science & Technology*, 47(7), 3448–3454. <https://doi.org/10.1021/es303149z>
- Petkovic , G. (2022). *Klimatilpasning i Statens vegvesen*. Vegvesen. <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmllui/bitstream/handle/11250/2993552/815%20Klimatisplasing%20i%20Statens%20vegvesen%20Status%20og%20oppgaver.pdf?sequence=1>
- Poirazis, H. (2004). *Double Skin Façades for Office Buildings*. https://www.ebd.lth.se/fileadmin/energi_byggnadsdesign/images/Publikationer/Bok-EBD-R3-G5_alt_2_Harris.pdf
- ROCKWOOL. (n.d.-a). Brannmotstand til ulike isolasjonsmaterialer i forhold til tid og temperatur. Hentet fra <https://www.rockwool.com/no/radgivning-og-inspirasjon/brannsikkerhet/isolasjonsmaterialer-og-brann/>.
- ROCKWOOL. (n.d.-b). Isolasjonsmaterialer og brann [Bilde]. Hentet fra <https://www.rockwool.com/no/radgivning-og-inspirasjon/brannsikkerhet/isolasjonsmaterialer-og-brann/>.
- ROCKWOOL. (n.d.-c). Utvikling av et normalt brannforløp [Bilde]. Hentet fra <https://www.rockwool.com/no/radgivning-og-inspirasjon/brannsikkerhet/brannteori/>.
- Scheviak, T. (2021, Januar 6). *What are the Different Stages of a Fire?* Firetrace. <https://www.firetrace.com/fire-protection-blog/different-stages-of-a-fire>

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 73 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

- Scrivener, K. L., John, V. M., & Gartner, E. M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*, 114, 2–26. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015>
- Svanemerket. (2023, April 21). *Svanemerkets krav til bygg*. Svanemerket. <https://svanemerket.no/krav/bygg/>
- Trebilcock, P., & Lawson, R. M. (2004). *Architectural design in steel*. Spon Press.
- U.S. Green Building Council (USGBC). (2021). *Mission and vision | U.S. Green Building Council*. <https://www.usgbc.org/about/mission-vision>
- Usmani, A. S., Chung, Y. C., & Torero, J. L. (2003). How did the WTC towers collapse: a new theory. *Fire Safety Journal*, 38(6), 501–533. [https://doi.org/10.1016/s0379-7112\(03\)00069-9](https://doi.org/10.1016/s0379-7112(03)00069-9)
- Valmot, O. R. (2014, Juli 13). *Slik bygges et plusshus*. Tu. <https://www.tu.no/artikler/hvordan-gjore-energisluk-til-plusshus/231179>
- White, R. H., & Dietenberger, M. A. (2001). Wood products : thermal degradation and fire. *Encyclopedia of Materials : Science and Technology. [S.l.] : Elsevier Science Ltd, C2001: Pages 9712-9716*. <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/8742>
- World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). (2009). *Transforming the Market: Energy Efficiency in Buildings*. <http://docs.wbcSD.org/2009/08/EEB-TransformingTheMarket.pdf>
- Worrell, E., Price, L., Neelis, M., Galitsky, C., & Zhou, N. (2007). World Best Practice Energy Intensity Values for Selected Industrial Sectors. *Escholarship.org*. <https://escholarship.org/uc/item/77n9d4sp>
- Zach, J., Korjenic, A., Petránek, V., Hroudová, J., & Bednar, T. (2012). Performance evaluation and research of alternative thermal insulations based on sheep wool. *Energy and Buildings*, 49, 246–253. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.014>

UiS	Bacheloroppgave Bygg & Anlegg Vårsemestret 2023	Side: 74 av 75
	Branntekniske utfordringer ved moderne bygg	

Zero Emission Resource Organisation (ZERO). (2022). *ZERO 2030: Slik når vi klimamålene.*

Zero. https://zero.no/wp-content/uploads/2022/04/Rapport_ZERO2030_3.pdf