



Branntekniske utfordringer knyttet til utviklingen av mer miljøvennlige og energieffektive boliger

Bacheloroppgave utført ved Høgskolen Stord/Haugesund
– Studie for ingeniørfag, Sikkerhet, Brannteknikk

Forfattere:

Stefan Skorild

Kjersti Hopsdal Mæland

Kandidatnr:

21

14

Bacheloroppgave

Studentenes navn: Kjersti H. Mæland og Stefan Skorild

Linje & studieretning: Brann, sikkerhetsingeniør

Oppgavens tittel: *Branntekniske utfordringer knyttet til utviklingen av mer miljøvennlige og energieffektive boliger.*

Oppgavetekst:

På grunnlag av mer ambisiøse klimatiltak både internasjonalt og nasjonalt, settes det stadig strengere krav til energitiltak i boliger. Det bygges i dag tettere og mer isolerte boliger, og utviklingen går mot at boligene skal bli mer miljøvennlige og bærekraftige. Dette fører til bruk av nye løsninger som ikke har så lang tradisjon.

Oppgaven skal kartlegge mulige branntekniske utfordringer knyttet til denne utviklingen, samt betydningen dette har i forhold til brannforløpet i boliger.

Oppgaven løses ved å identifisere og utlede potensielle problemområder. I tillegg vil det gjennomføres litteraturstudium av tilgjengelig forskning og utførte forsøk på området.

Endelig oppgave gitt: Fredag 6.mars 2015

Innleveringsfrist: Fredag 8.mai 2015 kl. 12.00

Intern veileder Kristian Grimstvedt

Ekstern veileder Stefan Andersson, Norconsult AS

**Godkjent av
studieansvarlig:
Dato:**

Brit Fulle
23/4 - 15



Oppgavens tittel: Branntekniske utfordringer knyttet til utviklingen av mer miljøvennlige og energieffektive boliger.		Innlevert dato: 8.5.2015	
		Antall sider: 85	
		Bacheloroppgave	X
Navn: Stefan Skorild og Kjersti H. Mæland			
Linje: Sikkerhet, Brannteknikk			
Studieretning: Studie for ingeniørfag			
Gradering: Åpen	Intern veileder: Kristian Grimstvedt, HSH	Ekstern veileder: Stefan Owe Andersson, Norconsult AS	

Ekstrakt

I dag bygges mer energieffektive, miljøvennlige og bærekraftige boliger enn tidligere, og ambisjonen er at det i fremtiden skal bygges enda mer energieffektive bygg og boliger.

Som et resultat av skjerpede krav innføres energiltak som for eksempel økt isolasjonstykkel, mer effektiv isolasjon, tettere hus, strengere krav til oppvarmingskilder og gjenvinning av varme. I forbindelse med energiltakene og kunnskap om hvilken rolle de spiller i brann, er det rettet bekymringer til dagens kompetansenivå i Norge.

Rapporten inneholder analyser av ulike energiltak, og det er sett på innvirkningen de har på et brannforløp. Det er også identifisert ulike energiltak som kan representere en brannteknisk utfordring i utviklingen og byggingen av energieffektive bygg.

Resultatene viser at energiltakene må vurderes i sammenheng med hverandre for å kunne danne et helhetlig bilde på hvilken innvirkning de har på et brannforløp. Det er en tydelig mangel på forskning relatert til disse områdene, og det er i fremtiden viktig å innhente informasjon og kunnskap som kan gjøres tilgjengelig for alle aktører som er involvert i byggeprosessen.

Stikkord:

1. Lavenergihus
2. Passivhus
3. Energiltak
4. Grønne hus
5. Brann



Stefan Skorild



Kjersti Hopsdal Mæland

Forord

Denne bacheloroppgaven markerer avslutningen på en treårig branningeniørstudie ved Høgskolen Stord/Haugesund. Oppgaven er obligatorisk for alle som fullfører en bachelorgrad, og gir 20 studiepoeng. Samarbeidspartner og problemstilling for oppgaven er valgt på eget initiativ.

Formålet med oppgaven har vært å kartlegge og belyse potensielle branntekniske problemstillinger knyttet til utviklingen av mer energieffektive og miljøvennlige boliger. Det har vært et spennende felt å fordype oss i, da temaet ikke er omtalt i vårt pensum og fordi det finnes lite norsk forskning på området.

Vi vil gjerne rette en stor takk til ekstern veileder Stefan Owe Andersson og Norconsult AS for gode råd, faglig veiledning og oppmuntring underveis. Takk til intern veileder Kristian Grimstvedt for faglig veiledning og gode råd. Vi vil også rette en takk Arjen Kraaijeveld for gode innspill.

Forsidebildet er hentet fra www.ecologikol.com.

Stefan Skorild og Kjersti Hopsdal Mæland

Haugesund, 8. mai 2015

Sammendrag

Internasjonale og nasjonale mål om å redusere mengden klimautslipp har ført til at Norge har satt ambisiøse mål for utviklingen av energieffektive bygg og boliger. Innføringen av Byggeteknisk forskrift (TEK 10) brakte med seg en rekke endringer knyttet til energieffektivitet i bygg, som fører til endringer i måten vi bygger på. Ambisjonene er at forskriftene skal skjerpes til passivhusnivå i 2017 og nesten nullenerginivå i 2020.

De kommende kravene resulterer i økt isolasjonstykkelse, mer effektiv isolasjon, tettere hus, strengere krav til oppvarmingskilder og gjenvinning av varme. I forbindelse med energiltakene og kunnskap om hvilken rolle de spiller i brann, er det rettet bekymringer til dagens kompetansenivå i Norge. Spørsmål som dukker opp er blant annet om energiltakene bidrar til et annerledes brannforløp, dårlige brannsikkerhet og en økt risiko for brann- og redningsmannskap.

Rapporten inneholder en analyse av potensielle branntekniske utfordringer de ulike energiltakene kan føre med seg. Analysen baserer seg på kjent brannteknisk kunnskap og er underbygget av utførte forskningsprosjekt og forsøk som omhandler de ulike områdene, samt informasjon og erfaringer fra tidligere registrerte branner.

Resultatene viser at flere av energiltakene kan representere uønskede branntekniske utfordringer. Tettere hus antas å føre til flere ventilasjonskontrollerte branner som kan skape utfordringer for sikkerheten til både personer og brann- og redningsmannskap. Energivinduer som har flere lag glass kan skape problemer i forbindelse med rømning og redning. Vinduene kan være svært solide og vanskelige å knuse og hindre redning av personer eller forhindre forsøk på ventilering av brannen. Solcelleanlegg er også identifisert som en potensiell kilde til uønskede situasjoner i forbindelse med slokking.

En sentral observasjon er at det foreligger lite norsk forskning på området. USA og Tyskland er foregangsland innen energieffektive bygg, og har mye erfaring og kompetanse som norske fagpersonell kan innhente og benytte seg av. Rapporten viser viktigheten av å kunne ikke bare vurdere påvirkningen av hvert enkelt energiltak på brannforløpet, men også hvordan disse fungerer i samspill og hvilke prosesser som er dominerende. Det er viktig at brannsikkerheten i energieffektive hus adresseres ikke bare gjennom mer forskning, men at alle aktører i byggeprosessen er bevisste på sitt eget bidrag til den totale brannsikkerheten.

Innhold

1	Innledning	1
1.1	Tema	1
1.2	Problemstilling	2
1.3	Formål.....	2
1.4	Avgrensninger	3
2	Metode.....	3
3	Brann som samfunnsproblem	4
3.1	Brannstatistikk	4
3.1.1	Antall boligbranner	5
3.1.2	Brannårsak	5
3.1.3	Antall omkomne i brann	6
3.1.4	Høyrisikogrupper	6
4	Rombrann.....	7
4.1	Antennelse	8
4.2	Vekstfase.....	8
4.3	Overtenning.....	8
4.4	Fullt utviklet brann	8
4.5	Utbrenningsfase.....	9
4.6	Ulmebrann	9
4.7	Backdraft.....	9
5	Klimapolitikk og innføring av energiltak	10
5.1	Energi og bygg	10
5.2	Lavenergi- og passivhus	11
5.3	Miljøsertifiseringer av bygg.....	13
5.3.1	Svanemerking av bolig	13
5.3.2	BREEAM.....	14
5.3.3	LEED	14

6	Energiltak for boliger og utvikling av krav	15
6.1	Tettere hus.....	15
6.2	Vinduer	17
6.2.1	Sikkerhetsglass.....	18
6.3	Mer isolasjon.....	18
6.4	Plastisolasjon.....	20
6.4.1	Polyuretann.....	20
6.4.2	Polyisocyanurat.....	21
6.5	Økt bruk av tre	21
6.5.1	Byggevareforordningen.....	21
6.5.2	Fellessatsing TRE.....	22
6.5.3	I-bjelker	22
6.6	Design og arealutforming	23
6.7	Grønne tak.....	24
6.8	Ventilasjon	24
6.9	Oppvarming og fornybar energi.....	26
6.9.1	Solceller	26
6.9.2	Solfangere	27
6.9.3	Vindkraft.....	28
6.9.4	Vedovn, pelletsamin og pelletskjel	28
6.9.5	Fjernvarme	28
6.9.6	Varmepumper	29
6.10	Fremtidens byggematerialer og løsninger	29
7	Branntekniske problemstillinger	30
7.1	Tettere hus.....	30
7.2	Vinduer	36
7.3	Mer isolasjon.....	37
7.4	Plastisolasjonsmaterialer.....	41

7.4.1	PUR og PIR	41
7.5	Tre	43
7.5.1	I-bjelker	44
7.6	Design og arealutforming	45
7.7	Grønne tak.....	46
7.8	Ventilasjon	47
7.9	Oppvarming og fornybar energi.....	51
7.9.1	Solceller	51
7.9.2	Solfangere	52
7.9.3	Vindkraft.....	52
7.9.4	Vedovn, pelletskamin og pelletskjel	53
7.9.5	Fjernvarme	54
7.9.6	Varmepumper	54
7.10	Fremtidens byggematerialer.....	54
8	Diskusjon av energiltakenes påvirkning på brannforløpet og brannsikkerheten	55
8.1	Forslag til tiltak og videre arbeid	60
9	Konklusjon.....	62

Figurer

Figur 1: Typisk brannforløp.....	7
Figur 2: Viktige forhold ved et passivhus.....	13
Figur 3: Illustrasjon fra Isola.....	15
Figur 4: Snitt av en vegg med 40 cm isolasjon.	19
Figur 5: Mineralull, Glava.	20
Figur 6: Sandwichelement med PUR eller PIR som isolasjonskjerne.	21
Figur 7: I-bjelke i tre.....	22
Figur 8: Åpne arealer Høgskolen Stord /Haugesund.....	23
Figur 9: Sedumstak.....	24
Figur 10: Balansert ventilasjon.	26
Figur 11: Oppsett av et solcelleanlegg.	27
Figur 12: Brannforløp med og uten tilgang på oksygen.	30
Figur 13: Geometrien i objektet.	31
Figur 14: Eksperimentelt oppsett fra FOAs fullskalaforsøk.	32
Figur 15: Varmeavgivelsesraten fra modelleringene.	32
Figur 16: Temperaturer i det øvre røyklaget i brannrommet.	33
Figur 17: CO-konsentrasjon i øvre røyklag i brannrommet.	33
Figur 18: HCN-konsentrasjon i øvre røyklag i brannrommet.....	34
Figur 19: Trykk i brannrommet.....	35
Figur 20: Trykk i brannrommet fra FOAs fullskalaforsøk.	35
Figur 21: Heptankar. Figur 22: Trekrybbe.	40
Figur 23 Konteineren kledd i isolasjon.....	40
Figur 24: Oppsett av ventilasjon i test 2.	48
Figur 25: Oppsett av ventilasjon i test 3.	48
Figur 26: Gasshastighet ved utløp sylinder i test 1.1.	49
Figur 27: Gasshastighet ved utløp sylinder i test 1.2.	49
Figur 28: Trykkforskjell i test 1.1.	50
Figur 29: Trykkforskjell i test 1.2.	50

Tabeller

Tabell 1: Antall boligbranner i hele landet, etter år.....	5
Tabell 2: Antall boligbranner i hele landet, etter brannårsak.....	5
Tabell 3: Antall omkomne i brann, etter brannsted og år.....	6
Tabell 4: Minstekravene iht. NS 3700 (bolighus).....	12
Tabell 5 Mulige måter å oppfylle passivhuskravene i en enebolig.....	12
Tabell 6: Utvikling i krav om lufttetthet i bolighus.....	16
Tabell 7: Observerte verdier for lekkasjetall i småhus i Norge.....	16
Tabell 8: Ulike vindustyper.....	17
Tabell 9: Utvikling i krav til U-verdi for vinduer i bolighus.....	17
Tabell 10: Utvikling i krav U-verdi i bolighus.....	18
Tabell 11: Typiske isolasjonstykkelser for vegg i eneboliger.....	19
Tabell 12: Komponenter i et solcelleanlegg.....	27

Terminologi

CFAST: Simuleringsprogram som baserer seg på to-sone modellering.

Fire Dynamics Simulator (FDS): En Computational Fluid Dynamics (CFD) modell for brannrevet fluidstrømning. Dataprogrammet leser inndataparametere fra en tekstfil og løser ligninger som beskriver utvikling av en gitt brann og skriver deretter brukerspesifiserte utdata som filer.

Halon: Sterkt brannhemmende og lite giftig gass som tidligere ble brukt i brannslukningsanlegg. På grunn av at gassen virker nedbrytende på ozonlaget, er alle halonanlegg i Norge erstattet med andre slukningssystemer.

Hydrofluorkarbon (HFK): Kraftige klimagasser av hydrogen, karbon og fluor som benyttes som kjølemedium. I Kyoto-protokollen fra 1997 er HFK listet opp blant de drivhusgassene som skal fases ut innen 2012.

Klimaforliket: Betegnelse på et politisk kompromiss om Norges miljø- og klimapolitikk.

Kuldebro: Felt i konstruksjonen hvor isolasjonsevnen er dårligere enn ellers.

Lekkasjetall: Antall luftskifter per time med en trykkforskjell på 50 Pa over klimaskjermen.

Pilotantennelse: Antennelse pga. gnist, lighterflamme, andre flammer.

SINTEF NBL: SINTEF Norges branntekniske laboratorium.

SSB: Statistisk sentralbyrå.

Spontanantennelse: Antennelse pga. akkumulering av varme i brenselet.

U-verdi: Varmegjennomgangskoeffisient. Angir hvor mye varme per tidsenhet som passerer en kvadratmeter av konstruksjonen ved en temperaturforskjell på 1 kelvin mellom konstruksjonens to sider. Verdiene oppgis i $W/(m^2K)$.

Varmeavgivelsesrate: "Heat release rate" (HRR) er varmemengde som frigis fra et brennende materiale per tidsenhet.

Leserveiledning

Kapittel 1: Kapitlet omhandler oppgavens tema, problemstillinger, formål og avgrensninger.

Kapittel 2: Kapitlet omhandler hvilken metode som er benyttet i oppgaven samt en vurdering av litteraturstudie med kildevurderinger.

Kapittel 3: Dette kapitlet gir en generell betraktning på brann som samfunnsproblem, og noe statistikk på brann i boliger.

Kapittel 4: I dette kapitlet forklares rombrann som fenomen, brannutviklingen og de ulike fasene i en rombrann.

Kapittel 5: Kapitlet tar for seg klimapolitiske intensjoner, energimål, energiltak og miljøsertifiseringsordninger som gjør at boliger bygges på en annen måte enn tidligere. Nye byggestandarder blir forklart, og det gis en kort oppsummering av utviklingen av krav for boliger.

Kapittel 6: I dette kapitlet identifiseres ulike energiltak.

Kapittel 7: I dette kapitlet identifiseres branntekniske problemstillinger knyttet til de ulike energiltakene og deres påvirkning på brannforløpet. Vurderingene forsøkes underbygget med tidligere utført forskning og tidligere branner.

Kapittel 8: I dette kapitlet diskuteres de ulike problemstillingene fra kapittel 7. Problemstillingene ses i sammenheng med hverandre og i hvilken grad de er sannsynlige. Det presenteres forslag til mulige tiltak og endringer som kan bedre brannsikkerheten i energieffektive bygg.

Kapittel 9: I dette kapitlet gjøres det en konklusjon for å svare på problemstillingene i oppgaven.

1 Innledning

1.1 Tema

Økt fokus på miljø og energieffektivisering presser stadig frem nye krav relatert til bygg. I forbindelse med energieffektive bygg og fokus på miljøvennlighet og bærekraftighet, snakkes det i dag gjerne om grønne bygg.

I store deler av Europa er det allerede vedtatt forslag om innføring av strengere krav til energieffektivisering av bygg i fremtiden. Norge har i denne sammenheng, gjennom St.mld. 21 (Klima- og miljødepartementet, 2012), satt ambisiøse mål for utviklingen av energieffektive bygg og boliger.

I følge klimameldingen vil neste utgave av Byggteknisk Forskrift stille strengere krav til energieffektivitet i bygg, enn de eksisterende kravene i Byggteknisk Forskrift fra 2010 (TEK10). Direktoratet for Byggkvalitet planlegger at den nye forskriften, TEK17, trer i kraft i 2017 (DiBK, 2015).

Ved innføring av ny forskrift vil hus bygget som passivhus være minstenivået for å tilfredsstillere kravene. Videre opplyser klimameldingen også ambisjonene Norge har i forhold til denne utviklingen. Det planlegges at ny forskrift i 2020, skal stille krav til at hus skal bygges som såkalte plusshus (Klima- og miljødepartementet, 2012 s. 15).

De kommende kravene i TEK17 resulterer i økt isolasjonstykkelse, mer effektiv isolasjon, tettere hus, strengere krav til oppvarmingskilder og gjenvinning av varme. Sammen med de stadig strengere kravene til bygg, følger utfordringen med å bygge tilfredsstillende. I denne sammenheng er det stadig behov for ny teknologi og utvikling av nye byggematerialer.

Evaluering av Boliger med Lavt Energibehov (EBLE) er et pågående forskningsprosjekt som skal evaluere boliger på passivhus- og nesten nullenerginivå. Prosjektet er et samarbeid mellom boligprodusenter, entreprenører, utbyggere og byggherrer og SINTEF Byggforsk. Prosjekteier og ansvarlig for formidling av resultater og nyheter er Lavenergiprogrammet (Lavenergiprogrammet, 2015). Forskningsprosjektet skal undersøke reelt energiforbruk, innemiljø, fukt, byggeprosess, byggeteknikk og økonomi.

Når det gjelder forskningsprosjekt relatert spesifikt til energiltak og brann, er det ikke registrert særlig forskning i Norge. Derimot er det gjort noe forskning i blant annet USA, Tyskland og Belgia.

Paul Halle Zahl Pedersen leder den norske delen av norsk-svenske SP Fire Research, Europas største fagmiljø innenfor brannteknisk forskning. Pedersen har i nyere tid ytret sin bekymring i forhold til kompetansenivået i Norge når det gjelder energiltak, og hvordan de påvirker et brannforløp. Pedersen appellerer til myndighetene at de må stå i spissen for innhenting av informasjon om dette temaet (Byggfakta, 2014).

Grønne bygg er også ett av fire hovedtema for brannvernkonferansen som holdes 27.-28. april 2015. Konferansen stiller spørsmålet «Grønt eller rødt lys for «grønne» bygg?» og tar opp emner som plastisolasjon, sandwichelementer, utfordringer med solcellepaneler, brannvesenets rolle m.m (Norsk brannvernforening, 2015).

1.2 Problemstilling

Innføring av energiltak, utvikling av ny teknologi, bruk av ny og utradisjonell design og nye byggematerialer fører til at dagens bygg er veldig forskjellig fra de som ble bygget få år siden. Endringen fører med seg en del ubesvarte spørsmål og potensielle branntekniske problemstillinger.

Oppgaven skal kartlegge mulige branntekniske utfordringer som følger med en økt mengde energiltak i eneboliger, og vurdere betydningen disse utfordringene kan ha i forhold til brannforløpet samt påvirkningen tiltakene kan ha på sikkerheten for personer, materiell og brann- og redningsmannskap.

Oppgaven ser også på utførte forsøk og tidligere branner relatert til temaet. I tillegg presenteres forslag til tiltak for å bedre brannsikkerheten i grønne eneboliger.

1.3 Formål

Oppgavens formål er å belyse påvirkningen ulike energiltak har på brannforløp, for å vurdere brannsikkerheten i grønne eneboliger.

1.4 Avgrensninger

I forbindelse med beskrivelse av energiltak er det hovedsakelig omtalt tiltak som er relevante for problemstillingen. Oppgaven omtaler tidvis bygg generelt, men fokuserer hovedsakelig på småhus av typen eneboliger.

2 Metode

Denne studien har dreiet seg om utviklingsforløp og endringsprosesser over lengre tidsperioder, hvor arbeidet er utført gjennom en kvalitativ metode for å belyse og utforske problemstillingene.

Oppgaven er løst på følgende måte:

- Innledende betraktning på brann som samfunnsproblem, brannstatistikk og forklaring av rombrann.
- Presentasjon av klimamål, begrunnelse for innføring av energiltak.
- Oversikt over miljøsertifiseringer for bygg.
- Forklaring av energiltak og utviklingen av krav for bygg.
- Identifisering av potensielle problemstillinger med energiltak i forhold til brann.
- Litteraturstudie av utførte forsøk og forskning knyttet til problemstillingene, samt eksempler på tidligere relevante branner.
- Diskusjon av problemstillingene og deres rolle samt anbefalinger til mulige tiltak og endringer i tilnærmingen til brannsikkerhet i «grønne» bygg.
- Konklusjon.

Underlag for litteraturstudium ble utført ved søking i litteraturl databaser, tidsskrifter, artikler og bøker. I litteraturl databaser som Bibsys, Googlescholar og Google, har søkeord blant annet vært:

- Passivhus (Passive house / passiv haus)
- Grønne bygg (Green buildings)
- Lavenergihus (Low energy houses)
- Brann (Fire)

En sentral bok gjennom litteraturstudiet har vært:

- «Enclosure fire Dynamics» av Björn Karlsson og James G.

Sentrale forskningsrapporter / avhandlinger:

- «Comparison of Fire Hazards in Passive and Conventional Houses» av Charles Fourneau, Nathaël Cornila, Christian Delvosallea, Hervé Breuletb, Stéphane Desmet og Sylvain Brohez. Rapporten er utgitt av Associazione Italiana Di Ingegneria Chimica (AIDIC), og er en engelsk rapport som oppsummerer den franske rapporten «PHI? - Passive House and fire = Inferno?»
- «Bridging the Gap – Fire Safety and Green Buildings» (A Fire and Building Safety Guide to Green Construction) av Jim Tidwell og Jack J. Murphy, MA. Rapporten er utgitt av National Association of State Fire Marshals (NASFM).

Det er hovedsakelig søkt etter primærkilder. Sekundære kilder er benyttet når de ble vurdert som relevante, og der språket var fremmed og/eller primærkilden var utilgjengelig. For å vurdere om kildene var troverdige og kunne brukes på en forsvarlig måte i studien, måtte de sees i sammenheng med andre kilder, annen foreliggende kunnskap og ut ifra hvem som har publisert kilden.

3 Brann som samfunnsproblem

Hvert år omkommer mellom 50 og 70 mennesker i brann i Norge, og de materielle tapene beløper seg til mellom 4-5 milliarder kroner. Brannvesenet har rundt 3000 utrykninger årlig som gjelder bygningsbranner. Av disse bygningsbrannene skjer gjennomsnittlig 55-60 prosent av dem i boliger, hvor eneboliger er noe overrepresentert. Hele åtte av ti som dør som følge av brann, dør i boligbrann (DSB, 2013).

3.1 Brannstatistikk

Den nasjonale brannstatistikken føres av Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB), og baserer seg på innrapportering av utrykninger fra brannvesenet samt rapporter om brannårsaker fra politiet. Brannstatistikken slik den er idag fremstår likevel som noe

mangelfull, da kun de umiddelbare og utløsende årsakene til brannen fremkommer (DSB, 2013), og kun gir opplysninger om alder og kjønn (NOU, 2012 s. 39).

3.1.1 Antall boligbranner

Statistikk fra de siste årene har vist en nedgang i antall boligbranner. Mellom 2009 og 2010 kan det se ut som en stor oppgang i antall boligbranner, men dette kommer av at pipebrannene ble i 2010 inkludert i statistikken over bygningsbranner (DSB, 2013). Tabellen under viser antall boligbranner i Norge fra 2009 til 2013.

Tabell 1: Antall boligbranner i hele landet, etter år.

År	2009	2010	2011	2012	2013
Antall boligbranner i hele landet	1384	3837	3320	2833	2877

3.1.2 Brannårsak

Brannstatistikken viser kun de umiddelbare og utløsende årsakene til brann, og årsakene deles inn i ulike kategorier. Hovedkategoriene er påsatt brann, bar ild, elektrisk årsak og feilbruk av elektrisk utstyr. Bar ild utgjør størsteparten av brannårsakene, hvor brann forårsaket av røyking utgjør en stor andel (NOU, 2012 s. 35). Tabellen under viser antall boligbranner i Norge, etter brannårsak (DSB, 2013).

Tabell 2: Antall boligbranner i hele landet, etter brannårsak.

Brannårsak	2009	2010	2011	2012	2013
Påsatte branner	57	58	42	45	66
Åpen ild - Røyking	36	35	34	26	24
Annet åpen ild	195	203	155	136	129
Elektrisk årsak	196	206	177	148	145
Feil bruk (Tørkekoking/overoppheting, tildekking, stråling, feilmontering, manglende vedlikehold osv)	157	188	235	200	202
Selvtenning	25	31	14	14	18
Sjeldne årsaker (Lynnedslag, eksplosjon)	17	7	10	8	10
Friksjon, stråling og ledning, utstyr for flytende/ gassformig brensel og annen årsak	18	62	39	31	31
Ukjent	150	184	153	144	179
Ikke rapportert	533	2863	2461	2089	2073

3.1.3 Antall omkomne i brann

DSB registrerer kun personer hvor dødsårsaken er som følge av kullosforgiftning eller brannskader, innen tre måneder etter branndato. Personer som omkommer av slag, støt, fallende objekt, brudd og lignende er ekskludert i statistikken da dette ikke er en direkte følge av brannen. I 1/4 av alle dødsbranner er brannårsaken ukjent (DSB, 2013).

Antall omkomne i brann har vært relativt stabilt fra år til år, med en nedgang i 2011 og 2012. Flest dødsbranner inntreffer i årets kalde måneder hvor helgene er mest risikable (DSB, 2010 s. 5). Tabellen under viser antall omkomne i brann i eneboliger, rekkehus, leilighet / blokk i Norge (DSB, 2013).

Tabell 3: Antall omkomne i brann, etter brannsted og år.

Type hus	2009	2010	2011	2012	2013
Enebolig, rekkehus, leilighet/ blokk	49	49	30	33	53

3.1.4 Høyrisikogrupper

Norsk brannstatistikk gir kun opplysninger om alder og kjønn, og gir derfor få muligheter til å identifisere kjennetegn ved utsatte risikogrupper. Kunnskap om disse utsatte gruppene fremskaffes idag gjennom særskilte granskninger, politirapporter eller gjennom studier.

SINTEF har tidligere gått gjennom politirapporter etter dødsbranner fra perioden 1978-1992, og avdekket kritiske personkjennetegn ut over alder og kjønn. Disse var personer med nedsatt fysisk- og psykisk funksjonsevne, berusede eller personer med rusmiddelproblem og personer i psykisk ubalanse.

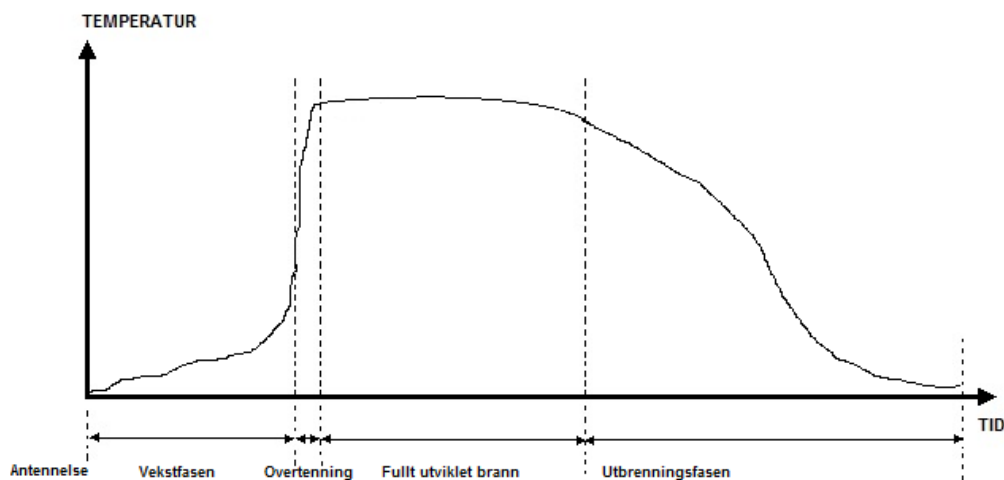
Kunnskapen om risikofaktorer knyttet til personkjennetegn er begrenset dersom det kun sees på norske data og studier. Den 19. desember ble det oppnevnt et utvalg som skal gjennomgå brannsikkerheten for særskilte risikogrupper. Utvalget bestilte en gjennomgang og oppsummering av kunnskapsstatus fra SINTEF NBL som også tar for seg publiserte internasjonale studier (NOU, 2012 ss. 39,40). Med bakgrunn i disse særskilte studiene og statistikken fra andre land, ble det konkludert med at følgende personrelaterte faktorer forekommer hyppigere enn normalt ved dødsbranner: bruk av alkohol og rusmidler, mentale og fysiske funksjonsnedsettelse blant annet som følge av aldring, psykisk sykdom og medikamentbruk, samt

sosial posisjon (enslige og lav inntekt/utdanning). I tillegg kan etnisk bakgrunn også være en risikofaktor (NOU, 2012 s. 57).

4 Rombrann

Brann er definert i Norsk Standard som en «ukontrollert forbrenningsprosess som kjennetegnes av varmeavgivelse, ledsaget av røyk, flamme eller gløding». For å starte en brann må tre betingelser være tilstede samtidig. Brennbart materiale, tilstrekkelig høy temperatur og oksygen (NDLA). Menneskers handlingsmønster kan også bidra til raskere brannutvikling og brannspredning gjennom uaktsomme handlinger både før og under brannen (NOU, 2012 s. 42). For å kunne beskrive brann i et bolighus trekkes parallellen mot forståelsen av en brann i et rom og hvordan denne brannen utvikler seg.

En rombrann kan deles inn i ulike faser. Brannen vil ikke nødvendigvis gå gjennom alle disse fasene. Fasene er antennelse, vekstfase, fullt utviklet brann og avkjøling. Fenomen som overtenning og backdraft kan oppstå i disse fasene. Figuren nedenfor viser fasene i et typisk brannforløp (Karlsson, et al., 2000).



Figur 1: Typisk brannforløp.

4.1 Antennelse

En antennelse kjennetegnes ved at det oppstår en temperaturøkning som er relativt høyere enn omgivelsestemperaturen. Antennelsen kan oppstå ved pilotantennelser og spontanantennelser (Karlsson, et al., 2000 s. 29). De vanligste årsakene til brann i boliger i Norge er feilbruk av elektrisk utstyr, komfyrbranner eller andre årsaker som er knyttet til oppvarmingskilder og belysning hvor brann kan oppstå som følge av blant annet tildekking (NOU, 2012 s. 50).

4.2 Vekstfase

Etter antennelsen kan brannen enten slukke, brenne stabilt eller vokse. Veksthastigheten er avhengig av hvilken type forbrenning, type og mengde brensel, interaksjon med omgivelser og tilgang til oksygen. Dersom tilstrekkelig oksygen er tilgjengelig, kan brannen kalles brenselstyrt (Karlsson, et al., 2000 s. 30). Dersom en brann oppstår i en sofa eller madrass i en bolig, vil denne typen møbler alene kunne gi overtenning. Risikoen for videre spredning av vil være forholdsvis stor, særlig for risikoutsatte grupper (NOU, 2012 s. 50).

4.3 Overtenning

En rask og plutselig overgang fra en voksende brann til en fullt utviklet brann, kalles overtenning. Det som kjennetegner overtenning er at alle brennbare flater, samt røyklaget under taket, antenner samtidig. Det blir en kraftig økning av varmeproduksjon. Noe som indikerer at en overtenning vil skje er når temperaturen i røyklaget overstiger 500-60 °C, og har en varme-stråling på 20 kW/m². Dette er viktig å ha kjennskap til for å sikre sikkerheten til brann- og redningsmannskap og lignende. Overtenning er ikke definert som en fase, men er et fenomen som oppstår i mange tilfeller hvor det er tilstrekkelig tilgang på oksygen (Karlsson, et al., 2000 s. 30).

4.4 Fullt utviklet brann

I en fullt utviklet brann har brannen vokst seg så stor at alt brennbart materiale er involvert i brannrommet, flammer strekker seg ut gjennom åpninger, og den kan ikke bli større uten at den sprer seg til et annet rom. I denne fasen vil brannen være ventilasjonskontrollert, og kan ikke opprettholdes uten at det tilføres tilstrekkelig oksygen. Dersom et vindu er åpent, vil røyken som kommer ut antennes på grunn av en stor mengde uforbrente gasser som tar fyr med en gang oksygen blir tilgjengelig. I denne fasen er det stort forbruk av brennbart

materiale, og de gjennomsnittlige gasstemperaturene er ofte meget høye, i størrelsesorden på 700 til 1200 °C (Karlsson, et al., 2000 s. 30).

4.5 Utbrenningsfase

Når mengden av brennbar gass reduseres og brannens omfang ikke lenger kan opprettholdes, er brannen i utbrenningsfasen. På grunn av en mindre energiproduksjon vil brannrommet bli kjøligere. Fasen kan ofte være lang, fordi brannen går over til en ulmebrann (Karlsson, et al., 2000 s. 30).

4.6 Ulmebrann

Ulmebrann er en langsom forbrenning uten flamme. Etter antenning øker temperaturen raskt. Den kjennetegnes ved at forbrenningen skjer ved lave temperaturer og den vedvares av varmen produsert ved at oksygen direkte reagerer med det kondenserte brenselet. Denne typen brann er spesielt farlig da den typisk avgir mer giftige stoffer enn vanlig forbrenning, og kan føre til flammebrann ved lavere temperaturer enn det som vanligvis kreves for antenning (Ohlemiller, 2002). En typisk boligbrann kan starte med en ulmebrann som kan ulme i flere timer før den blusser opp (Paroc Group, 2015). Ulmebranner oppstår ofte i sengetøy, strømkabler, produkter av PVC og på steder med mye olje og fett blandet med støv (Norsk Brannvern).

4.7 Backdraft

I mange tilfeller kan en åpning innføres, ved at et vindu knuses eller en dør åpnes, og frisk luft vil strømme inn og blande seg med de uforbrente gassene. En eventuell tennkilde kan da antenne den brannfarlige blandingen, og føre til en eksplosjonsartet eller meget rask forbrenning av gassene. Varmen fra forbrenningen vil presse ut brennende gasser gjennom åpninger og forårsake en slags ildkule. Dette fenomenet, backdraft, kan være svært farlig og mange brannmenn har mistet livet i brann hvor backdraft har oppstått. Backdraft varer som regel bare et par sekunder, men vil vanligvis bli etterfulgt av overtenning som igjen leder tilbake til en fullt utviklet brann (Karlsson, et al., 2000 s. 30).

5 Klimapolitikk og innføring av energiltak

Regjeringen vil foreslå at Norge innen 2030 kutter klimagassutslippene med minst 40 prosent sammenlignet med 1990. EU leder an i arbeidet mot menneskeskapte klimaendringer. Regjeringen tar sikte på at Norge skal slutte seg til EUs klimarammeverk slik at det blir en felles oppfyllelse av klimamålene i Norge og EU (Regjeringen.no, 2015).

I april 2012 la den daværende regjeringen fram St.mld. 21, populært kalt klimameldingen. Klimameldingen legger føringer for norske regjeringens klimatiltak i dette århundre for å tilfredsstille Kyoto-avtalen og redusere utslippet av CO₂ og andre klimagasser (Klima- og miljødepartementet, 2012)

5.1 Energi og bygg

I 2009 var den samlede energibruken i Fastlands-Norge på 207 TWh. Energiforbruket i bygg utgjorde 37 % av det totale landbaserte energiforbruket. Boliger og fritidsboliger hadde i 2009 et energiforbruk på 46 TWh (H. Magnussen, et al., 2011). Ambisjonen om å redusere energiforbruket i boliger vesentlig, fører til at det settes inn ulike energibesparende tiltak.

Enovas rapport fra 2012, «Energieffektivisering av bygg. Potensial- og barrierestudie», peker på at det reelle potensialet for redusert energibruk i boliger og yrkesbygg fram til 2020 er på rundt 7,5 TWh (Enova, 2012).

Utslipp fra bygg er redusert med ca. 30 % siden 1990. Dette er som følge av utfasing av fossilt brennstoff til oppvarming. Derimot har utslipp fra fjernvarme økt. Regjeringen fortsetter arbeidet med omlegging av energiforbruk og økt energieffektivisering i bygg. Samtidig økes Enovas arbeid med å fase ut oljefyring. Energieffektivisering og utfasing av fossile brensler er områder det skal satses spesielt på. (Stortinget.no, 2012)

Regjeringen har et mål om å redusere samlet energibruk i byggesektoren innen 2020, og handlingsplanen for energieffektivisering kan grovt oppsummeres i følgende punkter:

- Energikravene i Byggteknisk forskrift skal skjerpes til passivhusnivå i 2015 (forventet 2017) og nesten nullenerginivå i 2020.

- Det skal innføre komponentkrav for eksisterende bygg og klargjøre for hvilke byggearbeider og komponenter disse kravene skal gjelde.
- Oljekjeler i husholdninger og til grunnlast fases ut fram mot 2020.
- Forbudet mot å installere kjel for fossilt brensel til grunnlast utvides slik at det omfatter alle eksisterende bygg.
- Sørge for at staten som byggherre og eiendomsbesitter er pådriver i arbeidet med energiomlegging og utfasing av fossile brenslere i bygningsmassen (Stortinget.no, 2012).

5.2 Lavenergi- og passivhus

Som tidligere nevnt vil energikravene i Byggeteknisk forskrift skjerpes til passivhusnivå i 2017. Lavenergihus og passivhus er bygg med lavt energibehov i forhold til tradisjonelle hus. Navnet passivhus kommer fra at det tas i bruk en mengde passive tiltak for å redusere energibehovet. Lavenergihus og passivhus reguleres av standarden NS 3700 (Norsk Standard, 2013). Standarden legges til grunn for å bygge hus som godkjente lavenergi- og passivhus.

Tiltak som brukes for å redusere energibehovet i et slikt bygg er økt isolasjonsmengde, kraftig reduserte luftlekkasjer, meget godt isolerte vinduer, reduksjon av kuldebroer og gjenvinning av ventilasjonsvarme. I tillegg settes det krav til bruk av fornybare energikilder i forhold til fossilt brensel og direktevirkende elektrisitet. Passivhus-konseptet kommer opprinnelig fra Tyskland og det første passivhuset ble bygget i 1990.

Hovedsakelig er det fire punkter et passivhus må tilfredsstille:

- Krav til varmetapstall
- Krav til oppvarmingsbehov
- Krav til energiforsyning
- Krav til bygningsdeler og komponenter

Kravet til varmetapstall angir hvor stort varmetap bygget kan ha gjennom vegger, tak, golv, vinduer og dører, og varmetap på grunn av luftlekkasjer og ventilasjon. U-verdien er et uttrykk for varmeledningsevnen, og en lav U-verdi gir god varmeisolasjon (Enova).

Tabell 4 viser dagens minstekrav til diverse energitiltak. Verdiene er oppgitt i W/m²K.

Tabell 4: Minstekravene iht. NS 3700 (bolighus).

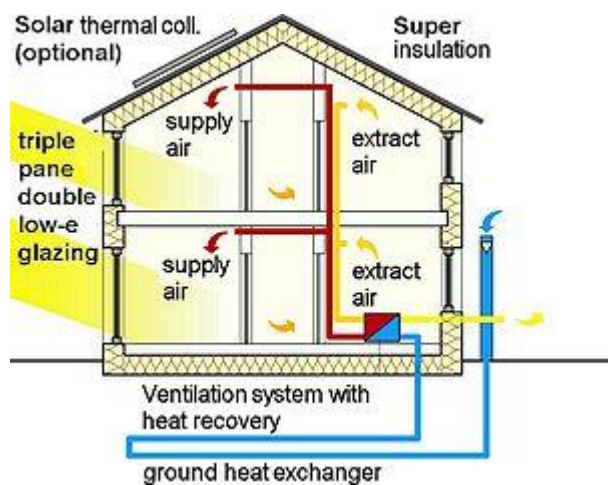
Energiltak	Minstekrav
U-verdi vinduer og dører	0,80 W/m ² K
Kuldebroverdi	0,03 W/m ² K
Varmegjenvinning	80 %
SFP-faktor ventilasjonsanlegget	1,5 kW(m ³ /S)
Lekkasjetallet ved 50 Pa	0,6

Det er ikke nok å oppfylle minstekravene for å oppfylle standarden. I passivhusprosjekter må man gjøre beregninger for hvert prosjekt, fordi bygningsutforming og regionalt klima påvirker hvordan kravene oppfylles. Tabellen under viser en mulig måte å oppfylle passivhuskravene i en enebolig (Lavenergiprogrammet).

Tabell 5 Mulige måter å oppfylle passivhuskravene i en enebolig.

Energiltak	Kravs nivå	Kommentar
Golv på grunn	0,11 W/m ² K	35 cm EPS
Yttervegg	0,11 W/m ² K	40 cm standard isolasjon
Tak	0,09 W/m ² K	45 cm standard isolasjon
Vinduer og dører	0,75 W/m ² K	3-lags glass, isolert karm
Lekkasjetall	0,6 luftutveksling pr time	Meget tett bygningskropp
Varmegjenvinning	82 %	God roterende varmegjenvinner

Figuren under viser typiske forhold knyttet til passivhus, som for eksempel isolasjon, ventilasjon, solenergi m.m (Wikipedia, 2015).



Figur 2: Viktige forhold ved et passivhus

Plusshus er det nivået myndighetene sikter mot til 2020. Et plusshus vil i sin levetid skape mer energi enn det blir forbrukt til produksjon av byggevarer, oppføring drift og vedlikehold. Et plusshus vil produsere energi fra solfangere, varmepumper, vindmøller og solcellepanel (Enova).

5.3 Miljøsertifiseringer av bygg

I de senere år er miljømerking av bygg kommet på banen. Motivasjon for miljøsertifisering av bygg omhandler blant annet økt fokus på miljø, langsiktige kostnadsbeparelser og verdiøkning. I Norge er det Svanemerking som er vanlig for boliger. Både nasjonalt og internasjonalt finnes det et miljøklassifiseringssystem kalt Building Research Establishment Environmental Assessment (BREEAM). Dette systemet er også allerede godt etablert i Norge og er vanlig for næringsbygg og kan tilpasses større boligprosjekter. I USA er Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) mest utbredt.

5.3.1 Svanemerking av bolig

Et svanemerket hus tar hensyn til miljøet gjennom hele byggeprosessen. Huset er bygget med materialer som inneholder så lite miljø- og helseskader som mulig. Bygget skal være energieffektivt og ha lav klimapåvirkning. Bygget skal ha høy kvalitet og godt inn klima.

Når det gjelder motivasjonen for å bygge Svanemerkede boliger kan det omhandle blant annet finansiering, energi og helse (Stiftelsen Miljømerking i Norge). Husbanken gir i 2014 Svanemerkede boliger status som forbilder Disse forbildene prioriteres i tildelingen av finansiering i forhold til ordinære boliger. I følge Svanemerket vil boligene gi gevinst både i forhold til energi, i form av vannsparing og energieffektivitet, og helse i forhold til god ventilasjon og sunn byggkonstruksjon (Miljømerking, 2014).

5.3.2 BREEAM

BREEAM ble utviklet i Storbritannia av Building Research Establishment (BRE) i 1988 og lansert første gang i 1990. Det er verdens eldste og Europas ledende miljøklassifiseringsverktøy. BREEAM har utviklet ulike evalueringsverktøy og manualer for ulike typer bygg. Disse kan benyttes for både eksisterende bygg og nybygg. Bygget blir vurdert på forhold innenfor blant annet prosjektledelse, bygningens energibruk, inneklima, beliggenhet i forhold til offentlig kommunikasjon, valg av materialer og avfallshåndtering. På grunnlag av disse vurderingene kan bygget oppnå ulike klassifiseringsnivåer. De ulike klassifiseringsnivåene er: pass, good, very good, excellent og outstanding (Breeam NOR).

Bygg som tilfredsstillende de ulike nivåene i BREEAM kan gi ulike fordeler i forhold til ordinære bygg. Noen av disse fordelene kan være kostnadsreduksjon både under bygging og ved drift, økt verdi, bedre forhold med tanke på helse og velvære (ECOVERITAS). BREEAM er tilpasset norsk standard av Norwegian Green Building Council (NGBC) og BREEAM-NOR ble lansert i 2011 (Norwegian Green Building Council, 2014). I følge Multiconsult er halvparten av alle nybygg i Oslo BREEAM-sertifiserte (Multiconsult).

5.3.3 LEED

I USA er det mest utbredte sertifiseringssystemet for «grønne» bygg, Leadership in Energy and Environmental Design (LEED). Systemet er utviklet av US Green Building Council. LEED er et poengbasert system der bygninger får poeng basert på om de tilfredsstillende ulike «grønne» byggekriterier. Antall poeng bestemmer graden av LEED-sertifisering for bygget. Sertifiseringsprosessen kan være svært kostbar og lang, så derfor er mange bygg ikke sertifisert «grønne» selv om de holder de samme standardene (Shafer, 2014).

6 Energiltak for boliger og utvikling av krav

Endringer i krav til boligens energieffektivitet, har ført til innføring av en rekke ulike energiltak. Energiltakene kan gjennomføres som endringer i eksisterende bygningsdeler, som for eksempel økt isolasjonstykkel eller tettere konstruksjon. Andre tiltak kan være innføring av nye bygningsmaterialer med mer energisparende egenskaper, samt tekniske installasjoner som sparer eller produserer energi.

6.1 Tettere hus

Som en del av prosessen med å gjøre hus mer energieffektive settes det stadig strengere krav til lufttetthet i konstruksjonen. Lufttettheten beskriver hvor stor luftgjennomstrømning det er i konstruksjonen og målsettes ved antall luftutskiftninger i konstruksjonen per time ved en trykkforskjell på inne og ute på 50 Pascal (Pa) (SINTEF Byggforsk, 2014).



Figur 3: Illustrasjon fra Isola.

God lufttetthet gir et stort bidrag til den totale energieffektiviteten i boligen da mindre trekk kommer inn i isolasjonen og den beholder sine isolerende egenskaper. I tillegg vil god lufttetthet forhindre problemer knyttet fukt i konstruksjonen (SINTEF Byggforsk, 2013). For å oppnå nødvendig tetthet, settes det høye krav til utførelse under bygging for å unngå gliper og utettheter i konstruksjonen. Krav til lufttetthet reguleres av den til enhver tid gjeldende Byggteknisk forskrift.

Tabellen under viser utviklingen i krav som har vært de siste 55 årene, samt fremtidige forventede krav (DSB).

Tabell 6: Utvikling i krav om lufttetthet i bolighus.

Forskrift:	Innført:	Antall luftutskiftninger per time:
Byggeforskrift 1949	15.12.1949	Ingen krav
Byggeforskrift 1969	1.4.1969	< 4
Byggeforskrift 1987	27.5.1987	< 4
TEK 97	1.7.1997	< 4
TEK 07	1.7.2007	< 2,5
TEK 10	1.7.2010	< 2,5
NS 3700 Passivhus	1.5.2013	< 0,6

«NS 3700 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger – Boligbygninger» ble innført i 2013, men kravene som gis i standarden vil ikke gjelde før TEK17 innføres i 2017.

Tabellen under viser lekkasjetall basert på observasjoner utført i faktiske hus. Den inneholder data fra tabell B3 i «NS 3031 Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data» (Norsk Standard, 2014), observasjoner gjort av Multiconsult, samt forventede fremtidige verdier (Multiconsult, 2009). Verdier oppgis i antall luftutskiftninger per time.

Tabell 7: Observerte verdier for lekkasjetall i småhus i Norge.

Fra byggeår:	Lekkasjetall:
1920	15,00
1940	12,00
1969	9,00
1987	7,00
1997	4,00
2010	2,50
2017	0,60

6.2 Vinduer

Kravene til U-verdi for vinduer har utviklet seg kraftig de siste årene og er et av de viktigste aspektene for å oppnå lavt energitap og god energieffektivitet i boliger (Enova). I denne utviklingen har man gått fra å bruke enkeltglass, til å bruke 2-lags og 3-lags glass i vinduer.

Tabellen under er hentet fra Enova sine nettsider, og viser U-verdi for ulike vindustyper (Enova). Verdiene oppgis i W/m²K.

Tabell 8: Ulike vindustyper.

Vindustype	U-verdi
Enkelt glass i ramme	5,0
To glass i koblet vindu	2,4
2-lags isolerrute	2,4
3-lags isolerrute med ett belagt glass og luft	1,6
3-lags isolerrute med ett belagt glass og argongass	1,4
3-lags isolerrute med belagt glass, argongass, varmkant, ny ramme og karm	1,2 - 1,1
3-lags isolerrute med to belagte glass, argongass, varmkant, ny ramme og karm	1,1 - 0,9
3-lags isolerrute med to belagte glass, argongass, varmkant, isolert ramme og karm	0,9 - 0,7

Tabellen under viser utviklingen i krav til U-verdi i bolighus (Wikipedia, 2015). Verdiene er oppgitt i W/m²K.

Tabell 9: Utvikling i krav til U-verdi for vinduer i bolighus.

Forskrift	Innført	Vinduer
Byggeforskrift 1949	15.12.1949	2,91–3,48 (8,14 dersom vindusflater er mindre enn $\frac{1}{8}$ av gulvflaten)
Byggeforskrift 1969	1.4.1970	2,6
Byggeforskrift 1987	27.5.1987	2,4
TEK 97	1.7.1997	1,6
TEK 07 og TEK10	1.7.2007	1,2
NS 3700 Passiv- og lavenergihus	1.7.2010	0,8

6.2.1 Sikkerhetsglass

Sikkerhetsglass blir mer og mer brukt i boliger. Denne typen glass har en stor mekanisk styrke, og er designet for å ikke danne store splinter ved knusing og brann. Under produksjon varmes sikkerhetsglasset opp og kjøles deretter raskt ned, noe som gjør glasset herdes og blir opp til ti ganger sterkere enn vanlig glass. Sikkerhetsglass brukes blant annet i terrasse- og balkongdører og i inngangsparti (Gjesdal Blikk AS).

Mellom 2010 og 2013 ble det stilt krav til sikkerhetsglass i alle vinduer og dører med underkant lavere enn 0,8 m. Etter 2013 ble kravene endret, og frem til 1. januar 2015 eksisterte det ikke krav til sikkerhetsglass i de samme tilfellene for 1. og 2. etasje i boliger (Norsk Trevare, 2013). 1. januar 2015 ble det igjen innført krav til sikring av terrasse- og balkongdører o.l. uansett etasje. Dette er beskrevet i VTEK10 § 12-20, til første ledd, bokstav a. (DiBK, 2010)

6.3 Mer isolasjon

Krav til mindre varmetap i konstruksjonene, altså en lavere U-verdi, kan føre til stor økning i isolasjonstykkelse. Tabellen under viser utviklingen i krav til U-verdi for vegger, gulv og tak i bolighus (Wikipedia, 2015). Verdiene oppgis i W/m^2K .

Tabell 10: Utvikling i krav U-verdi i bolighus.

Forskrift	Innført	Tak	Gulv	Yttervegger
Byggeforskrift 1949	15.12.1949	0,6–1,0	0,8	0,6–1,1
Byggeforskrift 1969	01.04.1970	0,41 - 0,58	0,41 - 0,70	0,46 - 1,28*
Byggeforskrift 1987	27.05.1987	0,20	0,30	0,30
TEK 97	01.07.1997	0,15	0,15	0,22
TEK 07 og TEK10	01.07.2007	0,13	0,15	0,18
NS 3700 Passiv- og lavenergihus	01.07.2010	0,13	0,15	0,15

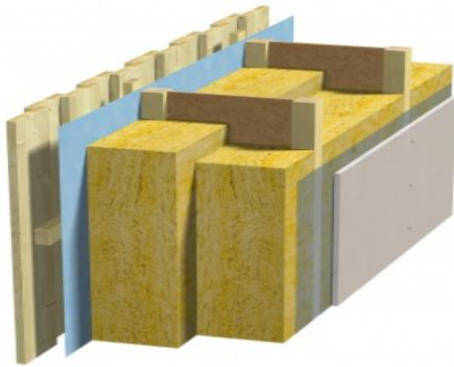
*Inkludert i ytterveggberegningen.

Hus som ble bygget før år 1949 hadde lite eller ingen isolasjon (AllConcept, 2008), og det var ingen krav til varmetap for konstruksjonen. Det har vært en betydelig økning i isolasjonsmengde i vegger, og det benyttes typisk isolasjonstykkelser på 20-25 cm for å tilfredsstille dagens krav. Tabell 11 viser typiske isolasjonstykkelser for de ulike tidsperiodene (Isola AS).

Tabell 11: Typiske isolasjonstykkelser for vegg i eneboliger.

Periode	Typisk isolasjonstykkelse vegg i cm
Før 1949	0
1949-1969	0-10 (matter og/eller mineralull)
1969-1987	10-15
1987-1997	15
1997-2010	15-20
2010-2017	20-25
2017-	40-45

Ved innføring av TEK17 og passivhusstandarden, vil de nye kravene til varmetap kunne føre til at vegger bygges med isolasjonstykkelse på 40-45 cm. Dette er illustrert i figur 4.



Figur 4: Snitt av en vegg med 40 cm isolasjon.

Det vil da stilles store krav til konstruksjonen blant annet i forhold til fukttransport. De store isolasjonsmengdene fører også til at mindre varme transporteres gjennom konstruksjonen og ut til det fri.

6.4 Plastisolasjon

I dagens boliger benyttes det stort sett tradisjonelle isolasjonstyper som mineralull og i enkelte tilfeller ulike typer plastisolasjon (Tekna, 2010). Figuren under viser en isolasjonstype som typisk benyttes i boliger i dag.



Figur 5: Mineralull, Glava.

Strengere isolasjonskrav betyr ikke nødvendigvis tykkere isolasjon. For å kompensere for økt tykkelse ser byggeindustrien mot alternativ til de tradisjonelle mineralulltypene, som for eksempel steinull og glassull (Larsen, 2013).

Brennbar plast benyttes i golvbelegg, ventilasjonssystem, elektriske komponenter og avløpsrør. I tillegg benyttes plast for sine varmeisolerende egenskaper. Plastmaterialene som benyttes for sine varmeisolerende egenskaper brukes blant annet i grunnmur, kjellergulv, isolasjon rundt rør og kanaler, fugetetting rundt vinduer og dører, etasjeskillere og i vegger som er bygget opp av sandwichelementer.

Et sandwichelement består av en isolasjonskjerne dekket med en type plater på sidene, og benyttes hovedsakelig i yttervegger og fasader, tak, innendørs vegger og skillevegger. Noen av de mest brukte plasttypene innen varmeisolasjon i boliger er Polyuretetan (PUR) og Polyisocyanurat (PIR), og da som isolasjonskjerne i sandwichelementer (Andersson, et al., 2013).

6.4.1 Polyuretetan

PUR har generelt en god motstand mot antenning av glødende tennekilder, men er lett antennelig av liten flamme, gir sterk lukt, brenner med en klar gul flamme, kan avgi brennende dråper og forkuller i brann. Under forbrenning av PUR, utvikles blant annet blåsyregass og NO_x (Andersson, et al., 2013).

6.4.2 Polyisocyanurat

PIR er kraftig modifisert PUR. De brannrelaterte egenskapene er derfor lignende, men PIR har en bedre isolasjonsevne og lavere røykproduksjon (Andersson, et al., 2013). Figuren under er hentet fra Poliuretano S.A. sine nettsider, og viser et sandwichelement med en isolasjonskjerne av stivt PUR eller PIR skum. Kjernen er dekket med galvanisert stålplater på begge sider.



Figur 6: Sandwichelement med PUR eller PIR som isolasjonskjerne.

6.5 Økt bruk av tre

Innføring av funksjonsbaserte krav i Byggteknisk forskrift av 1997 (TEK97), åpnet for økt bruk av tre i bygg. Det var da ikke lenger satt direkte tekniske krav til for eksempel bygningsdeler og konstruksjoner i forskriftene (Glasø, et al., 2012). Tre er et material som har et lite energiforbruk i produksjonsprosessen og bidrar til redusert klimautslipp, også i avfallsfasen (Riksantikvaren).

6.5.1 Byggevareforordningen

1. juli 2013 trådte Byggevareforordningen i kraft, i Europa. Når denne ordningen er innlemmet i EØS-avtalen, innføres en norsk forskrift som implementerer Byggevareforordningen. Forordningen omhandler dokumentasjon og merking av byggematerialer (DiBK, 2013).

I følge Direktoratet for byggekvalitet (DIBK) vil byggevareforordningen bli implementert i Byggteknisk forskrift og blant annet stille krav til bærekraftighet. Det vil si at byggematerialer skal være miljøvennlige (DiBK, 2013). I lys av dette er det naturlig å forvente økt bruk av tre og trebaserte byggematerialer. Dette er poengtert av den regjeringsoppnevnte arbeidsgruppen Skog 22 (Aga, 2014).

6.5.2 Fellessatsing TRE

I 2006 ble det i Norge lansert et nytt innovasjonsprogram kalt Fellessatsning TRE, med mål om å øke bruken av trevirke i byggenæringen. De største fordelene ved å bygge i tre er forkortelsen det gir i byggetiden, lettheten i forhold til betong og stål, gode isolasjonsegenskaper og det estetiske ytre (Hegrenæs, 2009).

Funksjonsbaserte forskrifter, Byggevareforordningen, miljøsertifiseringer og folks generelle miljøbevissthet setter stadig høyere forventninger til at byggematerialer skal være miljøvennlige og bærekraftige. Sammen med press fra interesseorganisasjoner vil man kunne fremover kunne forvente mer tre i bygninger og i norske hjem.

6.5.3 I-bjelker

I de senere år har bruk av I-bjelker blitt vanlig i bygg. I-bjelker er konstruert med to flenser og et steg. Flensene er av tre og steget er laget av en trebasert konstruksjonsplate. I en tid hvor kostnadsnivået i forbindelse med husbygging steg, var i-bjelkens utforming gunstig i forhold til at den krevde mindre råstoff enn tradisjonelle trebjelker (Trefokus og Treteknisk, 2011). Bjelkene er lette og kan brukes over store spenn. Figuren under er hentet fra Hunton sine nettsider, og viser en I-bjelke.



Figur 7: I-bjelke i tre.

I dag brukes I-bjelken ofte også på grunn av et lavt innhold av biomasse som gjør den gunstig å bruke ved konstruksjon av tykke vegger hvor byggfukt kan være et problem. I-bjelken kan brukes både som bjelkelag, veggstendere og taksperrer.

6.6 Design og arealutforming

Utforming av bygningskroppen, utbredelse av vindusflater og oppdeling av arealer er alle faktorer som påvirker energieffektiviteten i et bygg. Hus som er bygget som passivhus bør ha en kompakt og enkel bygningsform, hvor rom skal samles i samme bygningskropp da kompliserte former gjør det vanskelig å oppnå god tetthet. Blandingen av ulike materialer gir ofte overganger med kuldebroer. Kompakte bygg har en mindre overflate i forhold til volum, som fører til mindre varmetap, færre kuldebroer og risiko for luftlekkasjer reduseres.

Brukerne skal utnytte dagslyset, og det må derfor være en mengde vinduer. Dør- og vindusandelen er problematisk da de slipper ut mer varme per kvadratmeter enn noen annen bygningsdel. Det er derfor hensiktsmessig å bygge med større vindusflater enn flere små. Et større antall små vinduer vil ha flere løpemeter omkrets rundt vinduet, og dermed mer kuldebroer og større risiko for luftlekkasjer (SINTEF Byggforsk, 2013).

I de senere år har det blitt mer og mer vanlig å bygge store åpne arealer og atrium i bygg. Som en del designprosessen for å skape moderne «grønne» bygg utformes disse åpne arealene av flere grunner. Åpne arealer gir lettere tilgang på dagslys og et mer uavbrutt volum i forhold til luftstrømninger som kan være effektivt i forhold til innvendig oppvarming og avkjøling. For mennesker gir disse arealene med høyt under taket, en følelse av åpenhet (Murphy, et al., 2010). Illustrasjonen under er hentet fra Høgskolen Stord/Haugesund sine nettsider, og viser skolens åpne areal.



Figur 8: Åpne arealer Høgskolen Stord /Haugesund.

6.7 Grønne tak

I følge Byggforskblad om sedumtak (SINTEF Byggforsk, 2013), kan grønne tak deles opp i ekstensive, semi-intensive og intensive tak. Betegnelsen beskriver hovedsakelig hvilke planter og vekster som er på taket. Illustrasjonen under er hentet fra Ekologiskabyggvaruhuset sine nettsider, og viser sedumtak på en rekke boliger.



Figur 9: Sedumtak.

Tidligere ble grønne tak benyttet på estetiske grunnlag og for muligheten for et rekreasjonsareal. Senere har grønne tak fått et oppsving, og i dag ses disse takene på som grønne lunger i byer. Med et klima i endring med større fare for oversvømmelser og flom, er det vurdert til at grønne tak kan bidra til overvannshåndtering i urbane strøk. Samtidig har taket andre positive effekter, som for eksempel at de binder til seg støv og CO₂. Grønne tak bidrar til det biologiske mangfoldet og kan bidra til redusert energiforbruk (SINTEF Byggforsk, 2013).

6.8 Ventilasjon

For boliger har det alltid vært krav om at luften i oppholdsrom skal skiftes ut og være av en bra kvalitet for de som oppholder seg der. I eldre hus har dette sjeldent vært et problem da husene ofte er meget utette og sørger for bra inneluft. Etter hvert som boliger bygges tettere blir det vanskeligere å sørge for utskiftning av inneluften. I følge TEK 10 § 13-2 første ledd, er myndighetskravet at boenhet skal ha ventilasjon som sikrer en frisklufttilførsel på minimum 1,2 m³ per time per m² (Lovdata, 2010).

Ventilasjon i boliger utføres på tre ulike måter:

- Naturlig ventilasjon; ventilasjonsåpninger i ulike rom og utettheter i konstruksjonen sørger for utskifting av inneluften. Dette er helt styrt av naturkrefter som påvirker utskiftningen på grunn av trykkforskjeller.
- Mekanisk ventilasjon; fungerer mye på samme måte som naturlig ventilasjon, men her styres luftmengdene av en mekanisk vifte.
- Balansert ventilasjon; styrer tilgangen på luft inn i bygget og luft som blir trukket ut av bygget. Her blir varmen fra den brukte inneluften benyttet til å varme opp den nye luften på vei inn i bygget. Dette er energisparende og 60 – 90 % av varmen i uttrekksluften kan tas vare på og en slipper mye forvarming av luften på vei inn (Enova).

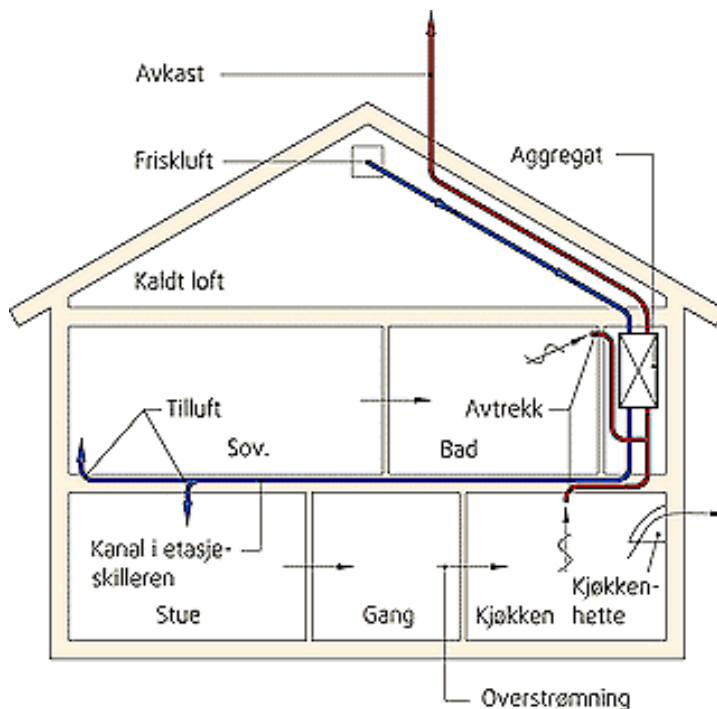
Energikrav gitt i TEK10, de kommende energikravene samt krav til innemiljø fører til at det installeres mekanisk avtrekk eller balansert ventilasjon i nye boliger.

For å tilfredsstille de nye energikravene må balansert ventilasjon alltid kombineres med varmegjenvinning. Med balansert ventilasjon menes det at samme mengde frisk luft som forvarmes og tilføres boligen, trekkes også ut. Denne kontinuerlige luftutskiftningen styrer ved hjelp av elektriske vifter, og tilført luftmengde kan tilpasses behovet (SINTEF Byggforsk, 2006).

Hovedkomponentene i balansert ventilasjon er:

- Et ventilasjonsaggregat med tilluftsvifte, avtrekksvifte, varmegjenvinner, filtre (eventuelt varmebatteri og kondensavløp)
- Kanalsystem for tilluft og avtrekk, inntak for frisk luft, avkast og lyddempere
- Ventiler (eventuelt reguleringsspjeld)

Figuren under viser en typisk oppbygning av balansert ventilasjon i boliger (SINTEF Byggforsk, 2006).



Figur 10: Balansert ventilasjon.

6.9 Oppvarming og fornybar energi

For bygg under 500 m² gir TEK10 § 14-7 krav om at 40 % av oppvarmingsbehovet skal dekkes med annen energiforsyning enn direktevirkende elektrisitet eller fossilt brensel (Lovdata, 2010). VTEK10 oppgir at typiske løsninger for å tilfredsstille kravet om energieffektivitet er solfangere, fjernvarme, varmepumper, pelletskaminer, vedovner, biokjeler, biogass, bioolje osv (DiBK, 2010).

Målet for bygg er at de i 2020 skal være på nesten nullnivå. I utviklingen videre er det naturlig å nærme seg det som betegnes som pluss hus. Behovet for å produsere energi vil være et sentralt tema, og vindkraft, solvarme og solenergi vil da være naturlige energikilder.

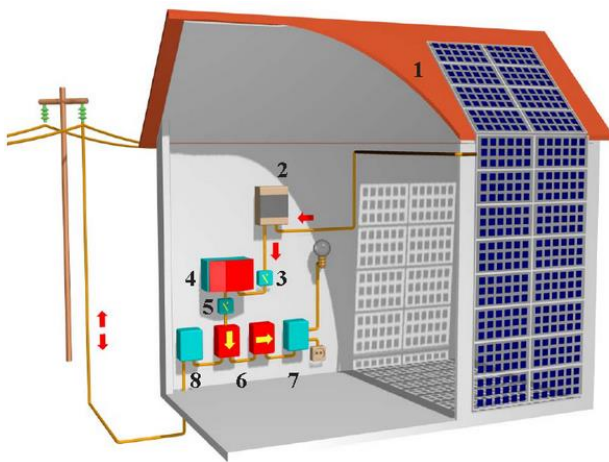
6.9.1 Solceller

Solceller utnytter solens energi for å produsere elektrisitet. Dette gjøres ved den fotovoltaiske effekten og solceller omtales ofte som PV, etter det engelske ordet PhotoVoltaics. Solceller er

relativt enkle å installere, og kan integreres i bygningsmaterialer som fasadeplater og taktekkning (Enova). Illustrasjonen og tabellen under viser et prinsipielt oppsett av et solcelleanlegg.

Tabell 12: Komponenter i et solcelleanlegg.

1	Solcellemoduler	5	AC-bryter
2	Kolblingsboks	6	Energimålere
3	DC-bryter	7	Fordelingskap
4	Veksel	8	Tilkoblingspunkt el-nett



Figur 11: Oppsett av et solcelleanlegg.

Installering av solceller i bolighus vil føre til lavere energikostnader samt gi beboere mulighet til å være plusskunde i periodene hvor det produseres mer energi enn behovet. Overskuddet av strøm kan selges tilbake til det lokale nettselskapet (Fornybar.no).

6.9.2 Solfangere

Solfangere unytter solens stråler, på samme måte som solceller. Solceller produserer elektrisitet, mens solfangere benytter solens energi til å varme opp vann. På denne måten vil det være mindre behov for annen type energi til oppvarming av vann. Denne oppvarmingen kan både gjøres på tappevann og på vann til boligoppvarming. Solfangere utnytter en gratis og fornybar energikilde, og vil gi utgiftsbesparelser for beboere (Enova).

6.9.3 Vindkraft

Private vindturbiner er foreløpig lite utbredt i Norge. Danmark har i de siste årene registrert en kraftig økning i interesse for såkalte husstandsvindmøller, og det forventes at bygges mange vindturbiner av denne typen i årene som kommer. Vindturbiner kan, på samme måte som solceller, gi et overskudd av strøm som kan selges til det lokale kraftselskapet (Rørslett, et al., 2012).

6.9.4 Vedovn, pelletskamin og pelletskjel

I tråd med kravet om delvis forsyning av fornybar energi har den tradisjonelle vedovnen fortsatt en naturlig plass i boliger. I dag er vedovnene mer rentbrennende og har langt større energiutnyttelse enn eldre ovner. Ovnene har derfor en høyere andel av fullstendig forbrenning (Enova).

Pellets-kamin er en ovn som også benytter seg av fornybart brensel og bruker pipen for ventilering av røyk. Pellets-kaminen etterfylles daglig med trepellets og er ut over dette, helautomatisk (Enova).

Pellets-kjelen er et sentralt fyringssystem som varmer opp vann som sendes rundt i boligen. Kjelen står i et fyringsrom og etterfylles med trepellets (Enova). I forskriftene reguleres pellets-kjeler på samme måte som vedovner. Pellets-kjelene er avhengig av å stå i eget rom og har egne reguleringer som setter krav til rommet de er plassert i (DiBK, 2003).

6.9.5 Fjernvarme

I utgangspunktet baserer ikke fjernvarme seg på en fornybar energikilde, men er miljøvennlig i den forstand at den benytter seg av energi som ellers ville gått til spille. Fjernvarme fungerer ved at vann varmes opp ved hjelp av spillvarme fra ulike deler av samfunnet som for eksempel industri, avfallsforbrenning o.l., og videre distribueres til kunder som er tilkoblet nettverket. Kunden kan benytte seg av energien fra fjernvarme gjennom oppvarmingssystem med radiatorer, gulvvarme eller ventilasjonsanlegg med vannbasert varmebatteri.

6.9.6 Varmepumper

Varmepumper har i løpet av de siste 15 årene blitt en vanlig oppvarmingskilde i norske hjem. Luftvarmepumper er mest vanlig ved innstallering i eksisterende bygg, mens i nybygg er vannvarmepumper også vanlig. Varmepumpene benytter seg av varmen i jord, luft, sjø og temperaturforskjellene mellom inne- og uteluft (General, 2015). I begge tilfeller brukes hydrofluorkarboner (HFK) som kjølemedium. Disse stoffene har mindre innvirkning på miljøet enn stoffene som tidligere ble brukt. Det er forventet at disse stoffene fases ut fremover på samme måte som Halon, som tidligere ble brukt i brannsløkningsutstyr.

6.10 Fremtidens byggematerialer og løsninger

Det utvikles nye byggematerialer som er bærekraftige og energieffektive, og i et nyetablert samarbeid mellom flere institutt ved SINTEF og NTNU forskes det på fremtidens byggematerialer og løsninger (SINTEF, 2015).

Zero Emission Buildings (ZEB) er et norsk forskningssenter som arbeider med visjonen om å eliminere utslipp av drivhusgasser fra bygninger, og utvikler og forsker på materialer og løsninger som skal gjøre dette mulig i fremtiden (ZEB, 2015).

Utvikling og forskning utføres i dag på blant annet materialer som:

- Faseendringsmaterialer
- Vakuumisolasjon
- Aerogel
- Nanoisolasjon
- Bygningsintegrerte solceller
- Elektrokrome vinduer
- Vakuumbinduer

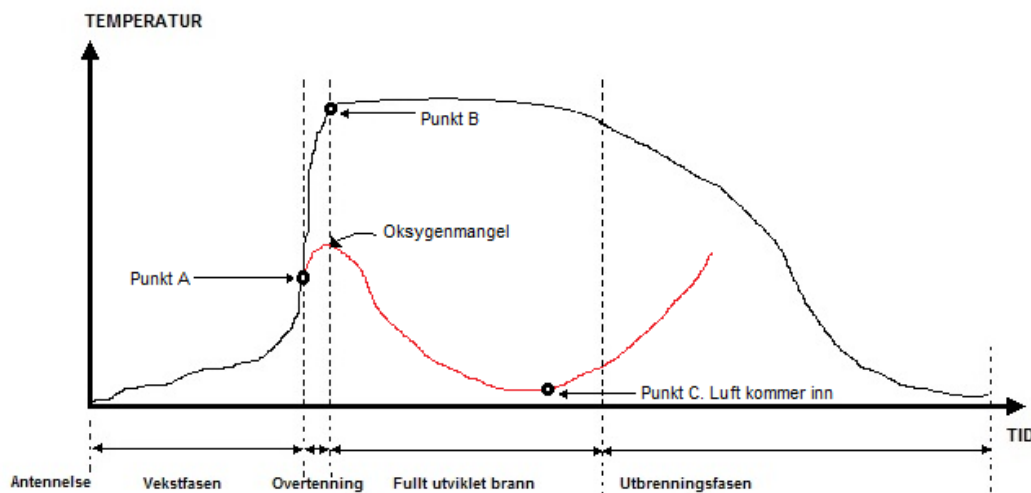
7 Branntekniske problemstillinger

Energiltak som tykkere isolasjon, tettere hus, nye løsninger og økt bruk av miljøvennlige og bærekraftige materialer endrer sammensetningen i et bygg. Med disse endringene vil premisene for brann endres. I forbindelse med denne utviklingen er det gjort en vurdering av påvirkningen ulike energiltak har på en eventuell brann, og om det kan forventes et annerledes brannforløp.

7.1 Tettere hus

Tettere hus er et naturlig resultat som følge av et ønske om færre luftlekkasjer i en konstruksjon. Ved en brann vil tilgang på brensel i første omgang være den styrende faktoren for videreutvikling av brannen. Etter en viss tid forbrukes oksygenet i rommet, og dersom forholdene ikke tillater tilgang på ytterligere oksygen vil brannen dø ut eller utvikle seg til en ulmebrann (Karlsson, et al., 2000 s. 30).

Figuren under viser en temperatur–tid fremstilling av et vanlig brannforløp i et rom, hvor tilgangen på oksygen er illustrert.



Figur 12: Brannforløp med og uten tilgang på oksygen.

Hus som er bygget etter krav som tilfredsstiller kravene for passivhus skal ha en tetthet på maksimalt 0,6 luftvekslinger per time (Norsk Standard, 2013). Tettheten i konstruksjonen er med på å begrense tilgang på oksygen og kan bidra til at brannen aldri utvikler seg.

Simuleringer utført ved Université de Mons (UMONS) i Belgia, viser at brannforløp i tettere hus ikke har en særlig utvikling og avtar raskere enn i tradisjonelle hus (Fourneau, et al., 2012). Forsøkene var en del av studiet «PHI? - Passive House and fire = Inferno?» (Brohez, et al., 2009-2010).

Hensikten med studien var å undersøke i hvilken grad et passivhus karakteristikk påvirker brannspredning og røykfylling, i forhold til et tradisjonelt hus. Ulike modelleringer ble utført med to-zone modellen CFAST for å undersøke teorien.

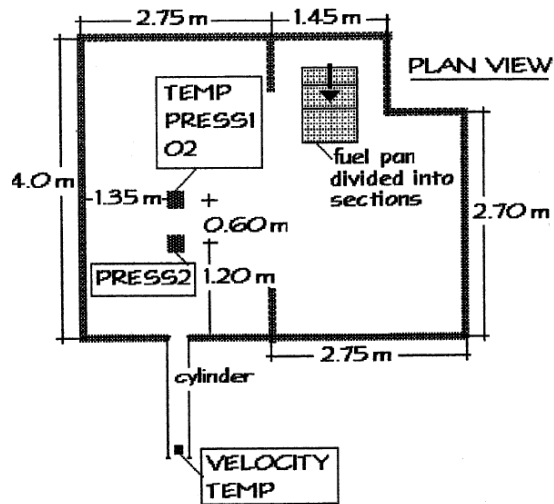
Figuren under viser geometrien i objektet som ble brukt i modelleringen, og for sammenligningen hadde det ene objektet karakteristikk som et tradisjonelt hus og det andre som et passivhus.



Figur 13: Geometrien i objektet.

I modelleringene ble det tatt målinger av energiproduksjon, temperatur, trykk, konsentrasjon av karbonmonoksid (CO) og hydrogencyanid/blåsyre (HCN) for å kunne danne seg et bilde av brannforløpet.

Swedish Defense Research Establishment (FOA) utførte i 1996 en rekke fullskalaforsøk for å undersøke brannforløp i rom som kun hadde små åpninger til det fri. Åpningene skulle representere sprekker rundt dører og vinduer (Hägglund, et al., 1996). Figur 14 viser oppsettet av rommet.

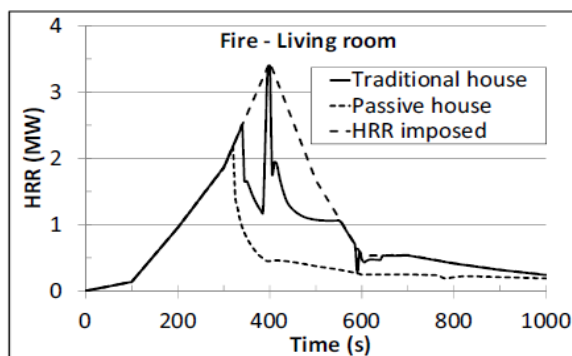


Figur 14: Eksperimentelt oppsett fra FOAs fullskalaforsøk.

Relevante målinger under forsøket var måling av gasstemperaturer og trykk. Resultatene fra modelleringene utført ved UMONS og FOAs fullskalaforsøk er ikke direkte sammenlignbare da det benyttes noe ulike metoder for brannutvikling. Det vil likevel være mulig å se de samme tendensene.

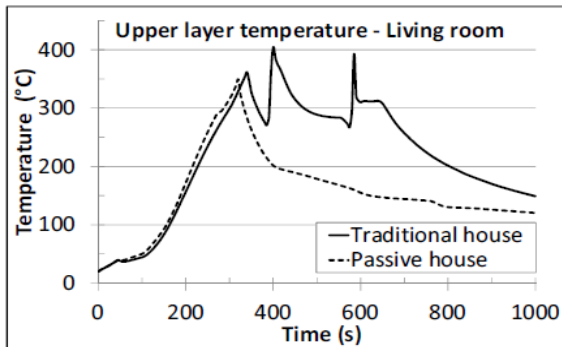
I fullskalaforsøkene ble brannveksten styrt og heptan benyttet som brensel, og i modelleringene ble det brukt en standard sofabrann som inndata for varmeavgivelsesrate.

Figur 15 viser resultatene fra registreringer av varmeavgivelsesraten i modelleringene utført ved UMONS, og viser at det oppnås en lavere maksimal frigjøring av energi i passivhuset. Brannen avtar på et tidligere tidspunkt enn i det tradisjonelle huset. Grafen viser at brannen blir ventilasjonskontrollert på et tidligere tidspunkt på grunn av mangelen på oksygen.



Figur 15: Varmeavgivelsesraten fra modelleringene.

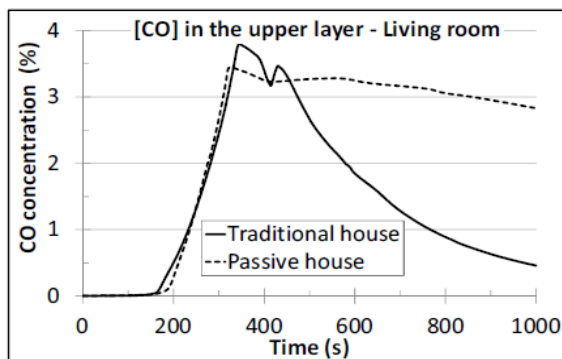
Figur 16 viser temperaturregistreringer fra modelleringene. Temperaturene følger brannutviklingen, figur 15, og det oppnås høyere temperaturer over tid i det tradisjonelle huset.



Figur 16: Temperaturer i det øvre røyklaget i brannrommet.

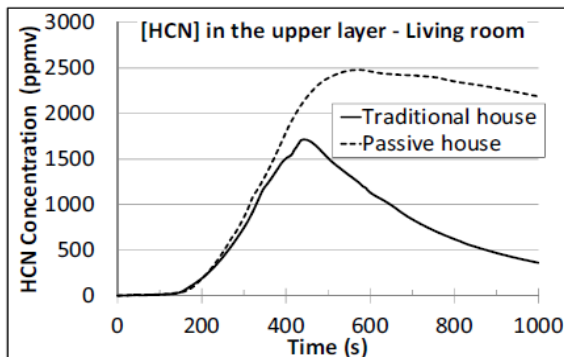
Dersom brannen er utdøende eller har utviklet seg til en ulmebrann, vil det produseres en mengde produkter som følge av ufullstendig forbrenning (Karlsson, et al., 2000 s. 29).

Figur 17 viser at konsentrasjonen av CO er ulik for det tradisjonelle huset og passivhuset. Konsentrasjonen i det tradisjonelle huset oppnår noe høyere maksverdier, mens i passivhuset vedvarer høye verdier utover i brannforløpet. CO-konsentrasjonen i det tradisjonelle huset synker betraktelig i forhold til hva den gjør i passivhuset.



Figur 17: CO-konsentrasjon i øvre røyklag i brannrommet.

Figur 18 viser at HCN-konsentrasjonen er betraktelig høyere i passivhuset enn i det tradisjonelle huset. Konsentrasjonen av HCN vedvarer mye lenger i passivhuset, og synker jevnt i det tradisjonelle huset.

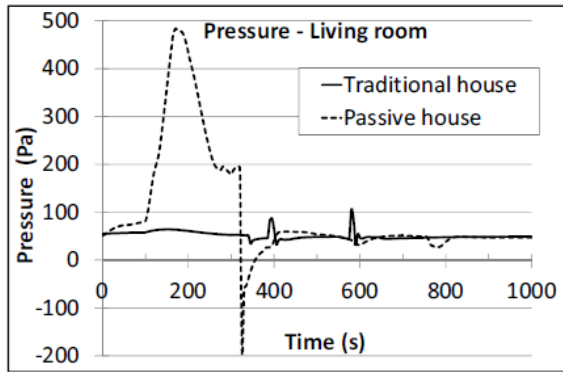


Figur 18: HCN-konsentrasjon i øvre røyklag i brannrommet.

Generelt vil en utdøende brann eller en ulmebrann, gjennom videre dekomponering, kunne produsere brennbare gasser som ved tilgang på oksygen kan antenne og medføre at brannen blusser opp eller fører til backdraft (Karlsson, et al., 2000 s. 30). Dette kan ha en stor påvirkning på materielle verdier og den strukturelle integriteten i bygget, og dermed påvirke sikkerheten til brann- og redningsmannskap.

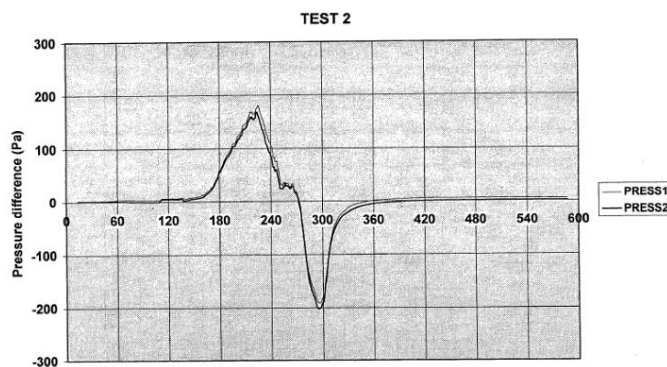
Varmeavgivelsesratene og temperaturene, vist i figur 15 og 16, viser tydelig at brannen i passivhuset avtar på et tidligere tidspunkt enn i det tradisjonelle huset, og gir en lengre periode med utdøende brann. Dersom en brann oppstår og gir røykproduksjon, vil temperaturøkningen føre til at luften i rommet ekspanderer. Ved kun små åpninger til det fri, som følge av utettheter i konstruksjonen, vil denne ekspansjonen føre til en trykkoppbygning i rommet (Karlsson, et al., 2000 s. 202).

Figur 19 viser trykkoppbygningen fra modelleringene. Tidlig i brannforløpet oppstår en kraftig økning i trykk, og i det brannen avtar oppstår et trykkfall med et påfølgende undertrykk. FOAs fullskalaforsøk bekrefter denne observasjonen.



Figur 19: Trykk i brannrommet.

Figur 20 viser at i fullskalaforsøkene er det en tilsvarende variasjon i trykk. Ulikhetene i trykkverdier er som følge av bruk av ulike inndata i de to forsøkene. Trykkprofilene er likevel tydelig like i begge tilfeller.



Figur 20: Trykk i brannrommet fra FOAs fullskalaforsøk.

Avhengig av rommets utforming, vinduer og ventilasjon vil trykkøkningen kunne utarte seg på ulike måter. Vinduer kan sprekke under en brann, og da ofte i sammenheng med påvirkningen fra høye temperaturer. Samtidig viser trykkmålingene i både modelleringene utført ved UMONS og FOAs fullskalaforsøk, figur 19 og 20, at det oppstår forholdsvis høyt trykk i brannrommet. Trykket i seg selv, er i utgangspunktet ikke stort nok til å forårsake at vinduene sprekker. Likevel kan økt trykk, sammen med høye temperaturer i rommet, bidra til økt stress mot vindusflaten slik at de sprekker tidligere. Dersom temperatur og trykkoppbygningen fører til at vinduer knuser eller at brannen får tilgang på oksygen på andre måter, kan dette føre til backdraft.

I tilfeller hvor kollaps av vinduer ikke forekommer og brannen ikke får tilført ytterlig oksygen, vil brannen kunne dø ut. Trykkøkningen som kan oppstå i vekstfasen vil derfor istedet kunne endres til et trykkfall når brannen avtar og temperaturen synker.

Forskningsprosjektet «PHI? - Passive House and fire = Inferno?» (Brohez, et al., 2009-2010), består hovedsakelig av datamodelleringer i CFAST og FDS. Modelleringene utført i FDS var kun tilgjengelig på fransk, og er derfor ikke vurdert i denne sammenheng. Forskningen omhandler ingen utførte praktiske forsøk og det ville derfor vært interessant å videreført forsøket med fullskalaforsøk.

7.2 Vinduer

Vinduer og glassfasader er ofte sterkt knyttet til utviklingen av en brann i et bygg.

- Kollaps av vinduer kan føre til at brannen raskt får tilført store mengder oksygen.
- Brannspredning i fasade gjennom vindusåpning eller stråling gjennom vindusflaten.
- Brannspredning til nærliggende konstruksjoner på grunn av varmestråling gjennom vindusflaten.

Som presentert i kapittel 6.2, er det i dag en økende bruk av sikkerhetsglass og 3-lags energivinduer. Dette åpner for nye typer utfordringer under en eventuell brann. Vinduene vil være mer motstandsdyktige mot varme, samt vil kunne beholde strukturell integritet lenger enn konvensjonelle vinduer. Dette kan føre til en rekke uheldige situasjoner.

Dersom vinduene ikke knuses kan brannen utvikle seg innvendig i bygget, uten klare tegn til brann utenfra. Ved at vinduene hindrer oksygentilgangen samt bidrar til en ventilasjonskontrollert brann, vil det kunne representere en risiko for brann- og redningsmannskap. I situasjoner hvor dører eller vinduer da plutselig åpnes, kan tilfeller av backdraft oppstå (Shafer, 2014).

«Glass breakage in fires» er et forskningsprosjekt utført av Dr. Vytenis Babrauskas i Fire Science and Technology (Babrauskas), og tar for seg ulike rapporter og studier som har sett på hvordan ulike glass og vinduer oppfører seg under brann. Flere av studiene er utført for å kunne forutse kollaps av vinduer ved en eventuell brann.

For å forstå hvordan vinduer oppfører seg under brann er det flere faktorer som spiller inn. Størrelsen og utformingen av vinduene, type vindu, innhold av gasser og andre kjemiske elementer, defekter, temperaturer og trykkforskjeller påvirker hvilket utfall man kan få.

Dr. Babrauskas viser til at vinduer som består av flere lag med glass har en høyere motstandsdyktighet mot temperaturpåvirkninger.

Ulike forsøk viser at vinduer med enkle glass kan forventes å kollapse ved en gasstemperatur på rundt 300 °C til 450 °C, avhengig av tykkelsen på glasset. Forsøk med to- og trelags vinduer viser at vinduene kan tåle temperaturer opp mot 600-700 °C, som er temperaturene hvor ofte overtenning i et rom oppstår. Sikkerhetsglass kan på grunnlag av forsøk forventes å være intakt frem til en eventuell overtenning. Påvirkning fra trykkoppbygning ble ikke tatt med i betraktning under samtlige forsøk (Babrauskas).

Styrken og de egenskapene sikkerhetsglass og energieffektive vinduer har, kan samtidig representere andre risikoaspekt. Vinduene kan være vanskelige å knuse, og i noen tilfeller umulig å knuse med konvensjonelle verktøy. Brannvesenet vil da kunne få en utfordring i forhold til ventilerings av branner, samt problematikk under rømning- og redningsarbeid (Murphy, et al., 2011).

7.3 Mer isolasjon

Ved brann i et godt isolert hus, kan det stilles spørsmål til isolasjonseffektens innvirkning på brannen. Vil mer isolasjon og da den økte isolasjonseffekten påvirke brannforløpet, gi høyere temperaturer og gi kortere tid til overtenning?

Rent teoretisk kan den ekstra isolerende effekten føre til at varmen fra flamme og røyk ikke trenger gjennom konstruksjonen i like stor grad som i et mindre isolert hus. Ved at mer varme fra brannen forblir i brannrommet, kan brannen vokse raskere og gi høyere temperaturer ved fullt utviklet brann.

Dette kan belyses med en enkel varmebalanse. En varmebalanse kan bestå av mange ulike deler, men i denne sammenheng er kun de mest dominante prosessene tas med.

$$\left[\begin{array}{c} \text{Energifrigjøringsrate} \\ i \\ \text{rommet} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Energitapsrate} \\ \text{på grunn av røykstrøm} \\ \text{ut av åpninger} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Varmetapsrate} \\ \text{fra varme gasser} \\ \text{til vegger og tak} \end{array} \right]$$

Varmebalansen kan skrives som følgende:

$$\dot{Q} = \dot{m}_g c_p (T_g - T_a) + \dot{q}_{loss}$$

Der

\dot{Q} = energitapsrate [kW]

\dot{m}_g = massetapsrate ut av åpninger [kg/s]

c_p = spesifikk varemtepskoeffisient til gassene [kJ/kgK]

T_g = gasstemperatur i øvre lag [°C or K]

T_a = omgivelsestemperatur [°C or K]

\dot{q}_{loss} = varmetap til vegger og tak [kW]

Varmetap til overflater i et rom består av flere prosesser. For eksempel stråling og konveksjon til overflater eller varmeledning videre inn i konstruksjonen. Varmetap ved stråling foregår også gjennom åpninger. Den dominerende faktoren er varmeledning gjennom veggene.

Varmetapet til veggene i rommet kan da defineres ved:

$$\dot{q}_{loss} = h_k A_T (T_g - T_a)$$

Der

h_k er effektiv varmeledningsevne for veggene

A_T er totalt overflateareal i rommet

(Karlsson, et al., 2000 s. 30)

Varmebalansen og de andre faktorene viser at energiavgivelsesraten samt temperaturen i rommet, påvirkes av den varmemengden som trenger ut gjennom veggene.

Effekten isolasjonsmengden har på en brann, er et lite utforsket område. Det finnes minimalt med forskning med fullskalaforsøk som omhandler mengde isolasjon og brann. De eksisterende studiene har hovedsakelig bestått av teoretiske utledninger og modelleringer i ulike typer datamodeller.

Allerede i 1981 publiserte The National Research Council Canada en studie som tar for seg hvilken effekt økt mengde isolasjon, har på brannutviklingen. Studien konkluderer med at det er sannsynlig at en brann vil bli påvirket av isolasjonen (Choi, 1987).

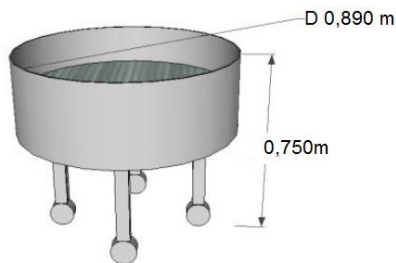
I 2010 ble en ny teoretisk studie av samme fenomen utført ved Purdue University. Også denne studien konkluderte med at økt isolasjonseffekt i vegger fører til at mer varme forblir i rommet og at det kan forventes kortere tid til overtenning (Chow, et al., 2010).

Dersom isolasjonsmengde påvirker brannutviklingen ved en eventuell brann, vil det være vanskelig å observere dette ved å studere tidligere branner. Brannvesenet i Tyskland har tidligere uttalt seg om hvordan brann i passivhus oppleves. Fra uttalelsene kommer det frem at ved brann i passivhus oppleves brannens temperatur som høyere, enn i tradisjonelle hus. Disse uttalelsene baserer seg kun på ren visuell observasjon, og er ikke basert på målinger. Brannvesenet ytret også sin bekymring i forhold til disse høye temperaturene, og om de i fremtiden kan forvente andre typer branner i energieffektive hus. Blant annet rettes bekymringen mot brannvesenets beskyttelsesdrakt og dens varmemotstand. Det påpekes samtidig at brannvesenet opplever sløkkearbeidet som mer komplisert i et passivhus, på grunn av tykkere vegger (Röderer, 2011).

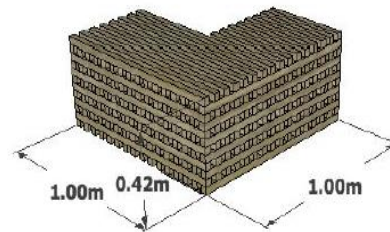
I tillegg til en kortere tid til overtenning som kan utgjøre en fare for personsikkerheten, vil de høye temperaturene kunne skape utfordringer i forhold til materiell sikkerhet og bevaring av byggets strukturelle integritet.

I 2012 utførte Anna Back ved Lund Universitet i Sverige, eksperimentelle forsøk knyttet til hvilken effekt isolasjon har på et brannforløp (Back, 2012). Hensikten med forsøkene var å finne ut om økt isolasjon bidro til høyere gasstemperaturer og en vesentlig høyere energifrigjøringsrate, samt om isolasjonens effekt førte til en raskere overtenning.

Forsøkene ble utført i en stålkonteiner med et areal på 33,3 m², med en åpning på 1,0 m × 2,0 m. Heptan og en trekrybbe ble benyttet som brannkilde, og isolasjonen var av typen Rockwool. Figur 21 og 22 viser henholdsvis heptankaret som ble benyttet som i forsøk 1 og 2, og trekrybben som ble benyttet i forsøk 3 og 4.



Figur 21: Heptankar.



Figur 22: Trekrybbe.

Figur 23 viser konteineren, utvendig kledd i isolasjon.



Figur 23 Konteineren kledd i isolasjon.

Forsøkene viste at både energifrigjøringsraten og gasstemperaturene i forsøkene med isolasjon var forskjellige fra forsøkene uten isolasjon. I forsøkene med isolasjon var energifrigjøringsraten og gasstemperaturene høyere, både i heptanbrannen og krybbebrannen. Resultatene viste at for heptanbrannen var det en større forskjell mellom det isolerte og uisolerte forsøket, enn for krybbebrannen. Overtening oppstod kun i forsøkene hvor konteineren var isolert.

Resultatene er ikke uventet da det diskuteres ulikheter mellom en naken stålkonteiner og en konteiner kledd i isolasjon. Det er ikke funnet forsøk som spesifikt tar for seg ulikhetene dersom isolasjonstykkelsen økes ytterlig.

7.4 Plastisolasjonsmaterialer

Ved å bruke plastisolasjon som et alternativ til den tykke tradisjonelle isolasjonen, ligger utfordringen i at enkelte materialer er brennbare, lett antenkelige, gir en større mengde røykproduksjon, smelter, drypper og kan dermed bidra til brannspredning. (Andersson, et al., 2013).

Det spekuleres også i om man får varmere branner ved bruk av plastisolasjon, og at i en virkelig brann vil skum som er antent kunne fortsette å brenne, og gi en raskere brannutvikling enn i «vanlige» branner (Andersson, et al., 2013).

Ved brann i bygg som bruker brennbar isolasjon og spesielt der isolasjonen ligger i konstruksjon som har innvirkning på byggets bæreevne, for eksempel i et sandwichelement, vil det største farepotensialet være for brann- og redningsmannskapet. Mannskapet kan eksponeres for giftig gass, høye temperaturer, og det kan være dårlig sikt. Samtidig vil det være en fare for eksplosjon ved tenning av uforbrente branngasser. Det er relevant å stille seg spørsmål om hvordan en brann vil utvikle seg i et hus av sandwichpaneler med plastisolasjon (Andersson, et al., 2013). Spesielt i sammenheng med økt bruk av tre i byggebransjen.

I følge SINTEF vil sandwichelement med brennbar kjerne kunne være problematisk i brann under visse forhold. Det pekes da hovedsakelig på feilinnstallering og feilbruk. Utette gjennomføringer, mekaniske skader som følge av uhell, endring og fjerning av kledning på paneler som følge av rehabilitering, feil bruk i forhold til testede og dokumenterte egenskaper og antenelse ved varme arbeider pekes på som aktuelle forhold. Videre påpekes det at erfaringsmessig kan brann i sandwichelement være vanskelig å håndtere. Brannen kan spre seg flere retninger og forårsake brannspredning mellom brannceller. Resultatet kan være kraftige brannforløp og et økt behov for tidlig evakuering (Andersson, et al., 2014).

7.4.1 PUR og PIR

SINTEF utarbeidet nylig en rapport som skulle danne grunnlaget for at byggevarer i plast skulle kunne benyttes på en brannsikker måte (Andersson, et al., 2013). Rapporten tar hovedsakelig for seg produkter som har blitt møtt med skepsis og negativ omtale i forhold til branntekniske egenskaper.

Som grunnlag for rapporten ble det utført to ulike forsøk. Det første forsøket var et mellomskalaforsøk som benyttet seg av en såkalt «Single Burning Item» metode (SBI), hvor effekten av utettheter i kledningen til et sandwichelement ble analysert i forhold til brannsikkerheten.

Det andre forsøket var et fullskalaforsøk hvor et bolighus ble gjenstand for nedbrenning. I forsøket ble ulike sandwichelement testet i brann. Sandwichelementenes kjerne bestod blant annet av PUR- og PIR-holdige materialer, transparente plastplater av PMMA, PC, og PVC og plastvinduer. Forsøket undersøkte hovedsakelig hvor mye dårligere brannklassifisering et skadet produkt har i forhold til et uskadet produkt. Dette for å kunne vurdere om produktet i seg selv utgjorde en brannrisiko, eller om feilbruk og feilmontering var det største problemet.

I det første forsøket fant SINTEF at skadene på materialene samt utette gjennomføringer, gav ulik grad av varmetvikling, røykproduksjon og varmeoverføring i kjernematerialet. Det ble konkludert med at skader og lignende kan ha en effekt på de branntekniske egenskapene produktet har, men ikke nødvendigvis så mye at det endrer brannklassifiseringen. Derimot ble det indikert at måten produktet monteres kan ha effekt på brannklassifiseringen.

Det andre forsøket var mer sammensatt, og det ble undersøkt flere ulike elementer samtidig. Det ble forsøkt å sammenligne rom kledd i plast, med rom kledd i tre. Et av de mest oppsiktsvekkende funnene var at plastvinduene hverken brant eller deltok i brannen, men gjennomgikk en deformering slik at brannvesenet ikke var i stand til å ventilere brannen. Av de plastproduktene som var montert i huset, var det kun plasthimling og overflatelaminatet i sandwichelementene som ikke hadde metallkledning som bidro til brannutviklingen. Det ble spekulert i om årsaken til dette var mangel på oksygen som følge av små ventilasjonsåpninger.

I delen av forsøket som foregikk ute ble det registrert at hvor sandwichelement var montert, tok det fyr i baksiden av elementet med overflatelaminat. Forsøket viser at da sandwich-elementene hadde brannbeskyttende kledning på begge sider, tok ingen av elementene lettere fyr en den uisolerte trykkledningen.

I løpet av den kontrollerte nedbrenningen av bolighuset, var sandwichelementet som var kledd i metall, som klarte seg best gjennom hele brannforløpet. Rapporten konkluderte med at sandwichelement har gode branntekniske egenskaper, men understreker viktigheten av at de er beskyttet med metallkledning (Andersson, et al., 2013).

7.5 Tre

I dag foreligger det god kunnskap på hvordan tre oppfører seg i brann. Tre brenner forutsigbart og med tilnærmet konstant hastighet. De branntekniske egenskapene innvendige overflater har, vil ha stor betydning for hvordan en brann utvikler seg. Som TEK10 § 11-9 sier, har overflatens egenskaper betydning for antennelse, brannvekst, varmeavgivelse og røykproduksjon (Lovdata, 2010).

Tre og trebaserte byggematerialer i denne sammenheng vil ha stor innvirkning på vekstfasen i et brannforløp, og derfor kunne påvirke den tilgjengelige rømmingstiden.

Bruk av tre i bærekonstruksjoner kan i mange tilfeller virke positivt fra et brannteknisk ståsted. Når tre brenner, dannes et forkullende lag som isolerer og beskytter det bakenforliggende friske treverket. Det friske treverket vil da kunne beholde sine styrke- og stivhetsegenskaper.

Som beskrevet i kapittel 6.5, gir ikke de funksjonsbaserte forskriftene tekniske krav til materialer og åpner dermed for økt bruk av tre i boliger.

De tekniske spesifikasjonene finnes i VTEK10, og kan benyttes i tilfeller hvor brannsikkerheten tilfredsstilles ved bruk av preaksepterte løsninger. For eneboliger, vanligvis i risikoklasse 4 og brannklasse 1, er det preaksepterte ytelsesnivået som gjelder for overflater i brannceller, D-s2,d0 [In 2]. Ved bruk av tre, limtre og trebaserte plater tilfredsstilles som oftest dette ytelsesnivået ved å følge VTEK10. I tilfeller hvor de preaksepterte løsningene ikke kan benyttes, skal brannsikkerheten dokumenteres ved hjelp av beregninger eller analyse for å vise at brannsikkerheten er tilfredsstillende.

Ofte kombineres de preaksepterte ytelsesnivåene med en funksjonsbasert analyse. Der en valgt løsning har et dårligere ytelsesnivå enn den preaksepterte løsningen, må kompensere

aktive eller passive tiltak settes inn for å sikre at den totale brannsikkerheten minst er like god som den preaksepterte (Glasø, et al., 2012).

7.5.1 I-bjelker

Det har i senere tid blitt mer vanlig å benytte I-bjelker i konstruksjoner, og det er da naturlig å vurdere robusheten i bjelkene ved brann. Bekymringer i forbindelse med bjelkenes brannmotstand er rettet mot at bjelkene er tynne og besitter derfor ikke forkullings-egenskapene en tradisjonell bjelke har. Samtidig består de generelt av mindre masse, og raskere kan miste sin integritet ved brann.

Brannmotstanden i primær- og sekundærbæresystem i eneboliger (risikoklasse 4 og brannklasse 1) er regulert av § 11-4, i TEK10. Disse bæresystemene vil i prinsippet kunne utføres med korrekt brannmotstand, uavhengig om det er valgt tradisjonelle trebjelker eller I-bjelker. Forskriften angir et minimumskrav, og bjelkelag kledd i plater og isolasjon vil som oftest være bedre enn minimumskravet.

I USA er det tidligere utført forsøk i forbindelse med disse bjelkene for å kunne dokumentere deres egenskaper i brann. Underwriters Laboratories Inc. utførte i 2008 en rekke forsøk hvor det ble sett på I-bjelker i ulik utforming og med ulik sammensetning (Underwriters Laboratories Inc., 2008). I tillegg ble det testet en heltrebjelke som ble benyttet som referanse for de andre forsøkene. Bjelkene ble testet uten kledning, og med et lag gipsplater. Resultatene fra de første forsøkene hvor bjelkene var uten kledning viste at det var en betydelig forskjell mellom tradisjonelle bjelker og I-bjelker. De tradisjonelle bjelkene holdt sine egenskaper tre ganger så lenge som I-bjelken, før de kollapset. Da bjelkelagene var kledd i et lag med gips var det en betraktelig økning i tiden til kollaps, for begge bjelketypene. I-bjelken kledd i gips holdt over fire ganger så lenge som I-bjelken uten gips. Tiden til kollaps økte også for den tradisjonelle bjelken, men bare i overkant av dobbelt så lenge.

Forsøkene ved Underwriters Laboratories Inc. viser viktigheten av at I-bjelker bør kles inn, for å oppnå tilstrekkelig brannmotstand. Motstanden kan også oppnås ved bruk av isolasjon og andre typer kledning, men vil avhenge av hvilken brannklassifisering bygningsdelen har.

Når det gjelder den totale tiden en I-bjelke holder sine egenskaper under en brann, vil tiden som tidligere nevnt endres etter brannklassifisering og oppbygning. Likevel vil I-bjelker ha en lavere brannmotstand enn tradisjonelle bjelker, uavhengig av om de begge tilfredsstiller minimumskravene i forskriftene.

I følge TEK10 § 11-4, skal bæresystem i eneboliger dimensjoneres for å kunne opprettholde tilfredsstillende bæreevne og stabilitet i minimum den tid som er nødvendig for å rømme og redde personer og husdyr i og på byggverket. I tiden etter rømning og redning kan det fortsatt være ønskelig å utføre innsats på bygget. I denne perioden vil bygg med I-bjelker være mer utsatt for strukturell kollaps, samt kunne representere en fare for personene som utfører innsats på bygget.

7.6 Design og arealutforming

En utbredelse av store, åpne arealer og atrium i offentlige bygg og næringsbygg, kan føre med seg enkelte branntekniske utfordringer. Utførelsen og utformingen av slike arealer vil komme under strenge krav fra gjeldende forskrifter, og byggene utformes ofte med en funksjonsbasert tilnærming. Ofte løses de branntekniske utfordringene med aktive brannsikringstiltak, som for eksempel sprinkleranlegg.

Etterhvert som mennesker ønsker seg de samme designmulighetene i sine egne hjem, kan problemer i forhold til brannsikkerheten oppstå. Forskriftene som legger føringer for slike designløsninger i større bygg, men vil ikke være gjeldende på samme måte i eneboliger. Samtidig vil den branntekniske kompetansen som trengs for å vurdere brannsikkerheten i forhold til funksjonskravene, vanligvis ikke bli benyttet i utformningen av eneboliger. I et slikt prosjekt vil det normalt ikke benyttes en brannteknisk rådgiver, da det vil utgjøre en stor kostnad. De åpne arealene vil da kunne utformes uten vurderinger av det branntekniske aspektet, og vil kunne skape uheldige forhold.

Bruk av større og mer åpne areal kan føre til en raskere brannvekst som følge av en større tilgang på oksygen enn i mindre, oppdelte rom. Et stort areal vil også kunne ha ulike funksjoner, og dermed ha installasjoner samt møblering knyttet til de ulike funksjonene. Dette kan gi økt mengde brannenergi.

Ved brann i bygg hvor rommene er oppdelt i mindre rom, kan brannen i noen tilfeller bli avgrenset uten en rask brannspredning til resten av bygget. Ved store, åpne arealer kan brannen lettere spre seg og røyken fra brannen kan lettere spre seg til et større område. I boliger hvor bruk av atrium og åpne arealer er utbredt, vil bærekonstruksjonen utformes annerledes. Det vil være større spenn på taksperrer og bærebjelker, som vil være mer utsatt for kollaps ved en eventuell brann. Bærende bygningsdeler er brannteknisk klassifiserte og skal holde sine egenskaper i en bestemt tid under en brann, i henhold til TEK10 § 11-4. Likevel kan bjelker og dragere med lange spenn, være mer utsatt for kollaps dersom utsatt for brann over et lengre tidsrom. Dette kan skape uheldige omstendigheter for brann- og redningsmannskap som er involvert i innsats som strekker seg utover rømning og redning.

7.7 Grønne tak

Brannsikkerheten i forbindelse med grønne tak reguleres i TEK10. Det foreligger en rekke detaljerte krav som skal regulere brannsikkerheten i forhold til både brannmotstand til bygningsdelene samt brannspredning til nærliggende konstruksjoner og bygg. Kravene dekker også vedlikehold, som er viktig for at taket skal opprettholde sine branntekniske egenskaper (SINTEF Byggforsk, 2013).

I en rapport laget for Worcester Polytechnic Institute (Meacham, et al., 2012), presenteres et problemområde i forbindelse med grønne tak. Brannvesenet i Washington D.C. og California har uttalt at det kan være problematisk å ventilere brannen gjennom taket, da grønne tak normalt er tykkere enn tradisjonelle tak.

Vedlikehold viktig for å opprettholde brannsikkerheten i bygg med grønne tak. Døde og visne planter kan representere en fare i forbindelse med brannspredning, og spesielt i kombinasjon med vind. I mange tilfeller brukes såkalte sedumsplanter som har god motstand mot antennelse og brannspredning, men disse krever også korrekt utførelse og vedlikehold for å beholde sine egenskaper.

Branntester og undersøkelser er utført for å få en oversikt over hvilken grad brann i forbindelse med grønne tak er et problem. Allerede i 1988 ble det utført en rekke beregninger, laborietester og fullskalaforsøk på grønne tak ved Research and Material testing laboratory of Baden-Württemberg, i Tyskland (Breuning, 2008). Laborietestene

sammenlignet energiproduksjonen i tak med asfaltbasert dekke med et tak dekket i tørre planter. Resultatene viste at taket med asfaltbasert dekke hadde en energiproduksjon på 50 kW/m² og det grønne taket med planter hadde en energiproduksjon på 3 kW/m². I de påfølgende fullskalaforsøkene ble en rekke grønne tak forsøkt antent, med et spesifisert oppsett. Resultatet viste at det var tilnærmet umulig å lage en brann som spredte seg utover på de grønne takene.

Det er ikke funnet særlig eksempler på brann forbundet med grønne tak. I Tyskland er det kun registrert én brann, hvor brannen oppstod etter en lang periode med tørke og taket var dårlig vedlikeholdt med en mengde døde, visne planter (Hutchins).

7.8 Ventilasjon

Brann i og i forbindelse med ventilasjonsanlegg, er et omfattende område som i senere tid har blitt forsket mye på. Utforming og installasjon av ventilasjonsanlegg er regulert i forskrifter, og brann er da et sentralt tema. utfordringer med brann i ventilasjonsanlegg er ofte knyttet til brann i selve aggregatet eller røykspredning gjennom kanalnettet.

Ettersom utviklingen går mot at det installeres flere balanserte ventilasjonsanlegg og anleggene settes inn i hus som er forholdsvis tette, er det viktig å forstå hvordan disse elementene påvirker hverandre samt hvordan ventilasjonsanlegget vil oppføre seg i en brann.

Transport av røyk gjennom kanalnettet er regulert i forskriftene og det finnes ulike løsninger for å bøte på dette. Dette er spesielt viktig mellom boenheter og gjennom brannskiller, men dersom røyk gis mulighet til å spre seg, også innenfor en branncelle, kan det samtidig være problematisk. Det er viktig å være klar over denne kombinasjonen mellom tett konstruksjon, mekanisk ventilasjon og trykkforandringer for å kunne forutse eventuelle problemer.

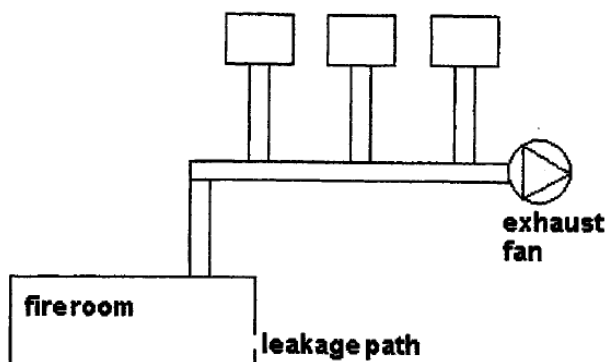
I sammenheng med forsøkene som så på effekten av tett konstruksjon på brannforløpet i kapittel 7.1 (Hägglund, et al., 1996), utførte FOA forsøk som skulle se på røykspredning gjennom et ventilasjonsnett. Forsøkene ble utført i det samme testrommet som i det forrige forsøket, med de samme parameterne (se figur 14).

Forsøkene ble utført for tre forskjellige oppsett:

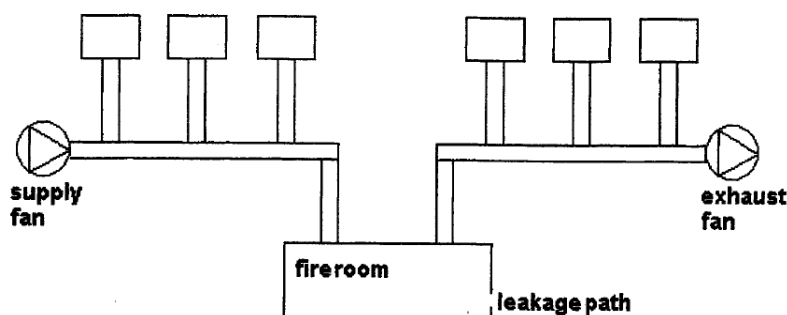
- Oppsett 1: Test uten mekanisk ventilasjon. Forsøket er kommentert i rapporten, men ikke presentert.
- Oppsett 2: Test med avtrekk fra brannrom via en hovedventilasjonskanal med avgreninger til tre andre rom.
- Oppsett 3: Test med både avtrekk og tilluft, via to separate hovedventilasjonskanaler med avgreninger til tre andre rom.

Hovedpoenget med forsøkene var å se i hvilken grad trykkøkning som følge av brann i et forholdsvis tett rom, påvirket transporten av røyk gjennom ventilasjonsanlegget til nærliggende rom.

Figur 24 og 25 viser oppsettet av test 2 og 3, hvor den mekaniske ventilasjonen var aktivert.



Figur 24: Oppsett av ventilasjon i test 2.



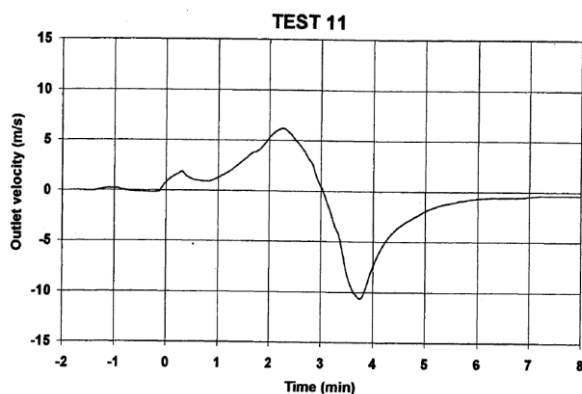
Figur 25: Oppsett av ventilasjon i test 3.

Oppsett 1 representerer et hus uten ventilasjonsanlegget igangsatt, mens oppsett 3 representerer et hus med mekanisk ventilasjonsanlegg i drift. Oppsett 2 representerer ikke en reell ventilasjonsløsning, men undersøker påvirkningen fra avtrekksviften.

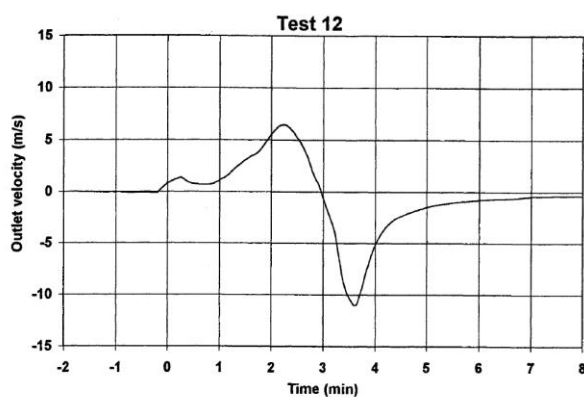
Det ble utført tester med de ulike oppsettene, med ulik størrelse på lekkasjeåpninger til det fri og ulik type brannvekst. Lekkasjeåpningene var representert med en metallsylinder gjennom konstruksjonen. I testene ble det blant annet tatt målinger av trykkforskjell mellom brannrom og utsiden, gassstemperatur i brannrom, gasshastighet ved utløp av sylinder samt konsentrasjoner av oksygen og CO i brannrommet.

Forsøkene produserte en mengde resultater, og de som fremstår som mest interessante er forskjellen i spredning av røyk og påvirkningen av lekkasjeåpningene.

I test 1.1 og 1.2, er lekkasjeåpningene til utsiden ulike. Figur 26 og 27 viser at, på tross av ulik lekkasjeåpning til utsiden, er gasshastigheten ved åpningen på sylinderen 6 m/s og tilnærmet lik for begge testene.

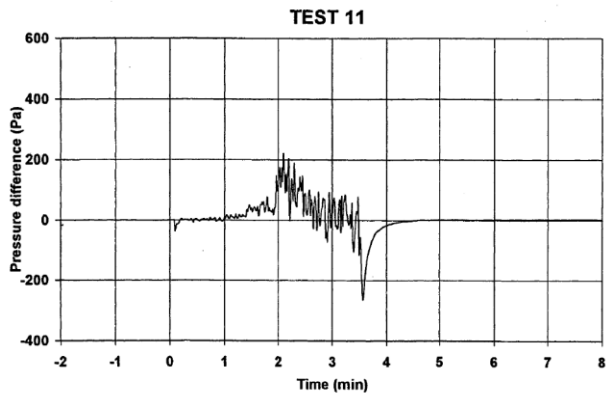


Figur 26: Gasshastighet ved utløp sylinder i test 1.1.

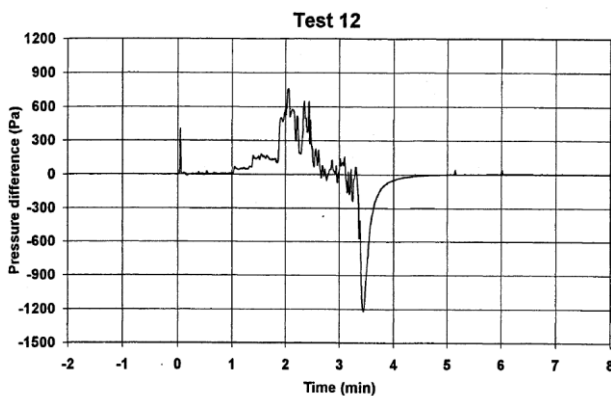


Figur 27: Gasshastighet ved utløp sylinder i test 1.2.

Som vist i figur 28 og 29, er derimot maksimal trykkøkning ulik for de to testene. Dette viser at lekkasjeåpningene ikke påvirker røykstrømmen i rommet, men påvirker trykkoppbygningen.



Figur 28: Trykkforskjell i test 1.1.



Figur 29: Trykkforskjell i test 1.2.

I praksis betyr dette at lekkasjeåpningene i et hus ikke påvirker røykstrømningen, men påvirker trykkoppbygningen som kan ha andre effekter under en brann.

Ved å se på transport av røyk gjennom kanalene og til de nærliggende rommene, viser testen ulike resultater. I oppsett 1, hvor det mekaniske ventilasjonsanlegget ikke var i drift, ble det observert at en mengde røyk ble transportert til de andre rommene. I oppsett 2 derimot, da bare avtrekket var aktivert, ble det ikke observert transport av røyk til de andre rommene. Oppsett 3, som representerer en operativt ventilasjonsanlegg i et hus, viste at røyken ble transportert inn de andre rommene på samme måte som i oppsett 1.

Sammenlignet med et hus, vil et operativt ventilasjonsanlegg transportere røyk rundt til nærliggende rom under en brann. Testene viser også at denne effekten kan forhindres ved stans av tilstrømmingen av luft og kun operere avtrekket.

7.9 Oppvarming og fornybar energi

Introduisering av nye energikilder og andre måter å varme opp boligen på kan føre med seg problemstillinger som tidligere ikke har vært vanlige i eneboliger.

7.9.1 Solceller

Et solcelleanlegg produserer kraft så lenge det er utsatt for sollys, og kan dermed introdusere ukjente farer som krever nye prosedyrer og brannslukningsstrategier ved brann i et bygg. Registrerte branner har ofte vært knyttet omformerer i anlegget. Feilplassering av omformerer på brennbart materiale, feilmonteringer og feilbruk av sikkerhetsbrytere har vært vanlige årsaker til brann i bygg med solceller (Sologvind.no).

Brannmannskap står ovenfor en reell sikkerhetsrisiko ved slokking av brann som har oppstått i et bygg som bruker solenergisystem. Slokkingen kan være problematisk med tanke på fare for elektrisk støt dersom man for eksempel sprøyter sløkkevann på solcellemodulene, eller sager hull i taket og tilfeldigvis kommer borti en kabel.

System for å bedre sikkerheten til brann- og redningsmannskapene finnes, men de er ikke særlig utbredt. I de beste systemene kobles modulene fra hverandre slik at maksimalspenningen kun tilsvarer tomgangsspenningen som er vesentlig lavere enn den høyest mulig nominelle spenningen på 1000 Volt (Thorud, et al., 2012). Den manglende muligheten for å «skru av» systemet gir en åpenbar fare på dagtid da en viss mengde strøm fremdeles vil genereres, men det vil også gi en potensiell fare om natten for system som er utstyrt med batterilagring.

Det er ikke funnet noen registreringer i Norge på brann eller problematikk knyttet til slokking i bygg med solenergianlegg. I både USA og Europa er det derimot mange registrerte tilfeller av brann og eksempler på uheldige situasjoner under slukking i bygg med solcelleanlegg.

I Norge er aktuelle myndigheter og brannvesenet klar over problemstillingen, men foreløpig er det ikke kommet på plass noen retningslinjer i forbindelse med slokking eller installasjon av sikkerhetstiltak (Nilsen, 2015). Uten klare retningslinjer for hvordan installasjon av solenergianlegg skal gjøres, for å sikre at slokking skjer på en forsvarlig måte, vil anleggene representere en reell fare for brannvesenet. Brannmannskap og annet innsatspersonell må alltid vurdere solenergianlegg og alle deres komponenter som elektrisk energi. Med det menes det at komponentene alltid er varme. Det anbefales at normale taktikker og strategier følges når et solenergisystem er involvert i brann, men at man må gjøre dette med forståelse for farer relatert til elektrisiteten (Grant, P.E., Oktober 2013).

7.9.2 Solfangere

Som forklart i kapittel 6.9.2, benytter solfangere seg av solens energi for å varme vann. Da solfangeren ikke produserer elektrisitet vil mange av de farene som er identifisert for solceller ikke gjelde for solfangere. Rapporten laget av The Fire Protection Research Foundation i USA (Grant, P.E., Oktober 2013), konkluderer med at solfangere ikke representerer den samme risikoen for brannmannskap som solceller. Det påpekes at det ikke er fare for elektrisk støt, men at giftige avgasser som et resultat av panelene som blir utsatt for brann er tilstede, og muligheten for å bli brent av varmt vann fra solfangeranlegget. I likhet med solcellepaneler vil solfangere også kunne representere en hindring for brannvesenet nå det oppstår et behov for ventilering av brannen og taket er dekket med paneler.

Det eneste funnet av registrerte branner i solfangeranlegg, var i et nytt uinnflyttet bolighus i Colorado, USA. Brannen oppstod i en del av solfangerpanelet som følge av dårlig isolasjonsmateriale. Brannen var liten og førte ikke til store skader. Dette skjedde riktig nok i 1980 og i tiden etter det er utviklingen kommet langt i forhold til komponenter og materialer (Grant, P.E., Oktober 2013).

7.9.3 Vindkraft

Der er ikke funnet noe registrert data eller rapporter på brann i private vindturbiner. Private vindturbiner vil i utgangspunktet representere samme brannfare som en annen elektrisk installasjon. Vindturbinen er avhengig av korrekt installasjon for å fungere på en sikker måte. Undersøkelser er gjort for å kartlegge årsak og utbredelse av brann i vindturbiner.

Undersøkelsen utført av forskere University of Edinburgh, SP Technical Research Institute of Sweden og Imperial College London (Uadiale, et al.), ser hovedsakelig på kommersielle vindturbiner. Rapporten konkluderer med at det er lite vitenskapelig data tilgjengelig på området og at mye av rapporteringen har vært gjort gjennom media og har fokusert mye på økonomiske konsekvenser. Forskerne poengterer riktig nok at slukking av brann i vindturbiner representerer en utfordring for brannvesenet og at sammensetningen og materialene i en turbin potensielt kan skape et brannfarlig miljø (Uadiale, et al.).

Selv om noen elementer kan være like er ikke disse undersøkelsene og antagelsene direkte overførbare til private vindturbiner. Forståelsen av brann i kommersielle vindturbiner kan allikevel være et godt grunnlag for å forstå eventuelle utfordringer med private vindturbiner og for i fremtiden kunne utvikle krav som sørger for sikre installasjoner for beboere og brannvesen.

7.9.4 Vedovn, pelletsamin og pelletsjøl

Vedovnen har lange tradisjoner i Norge og problematikk knyttet til brann er godt kjent. Brann i forbindelse med vedovner er ofte knyttet til feil i installasjon av ovnen eller tilkobling og kvalitet på skorstein. Fyring med vått trevirke er også en vanlig brannårsak som kan føre til pipebrann. Dagens moderne vedovner er mer rentbrennende og sørger for renere røyk, men er fortsatt avhengig av at det fyres med ved med korrekt fuktinnhold (Nedre Romerike brann- og redningsvesen IKS, 2015).

Pelletsaminene vil i prinsippet ikke representere noe større fare enn en vedovn. Kaminen benytter skorsteinen i huset på samme måte som vedovnen.

I følge forskriftene kreves eget fyrrom ved installasjon av pelletsjøl. Fyrrommet skal være egen branncelle og utføres i henhold til brannklasse for bygget (DBE og BE). Pelletsjøl er som pelletsaminet et komplett forbrenningsanlegg, men pelletsjøl er et sentral forbrenningsanlegg som har større omfang og mer forbrenning av brennbart materiale. Brannsikkerheten både for vedovner, pelletsaminer og pelletsjøl forutsetter korrekt bruk og installasjon i henhold til gjeldende forskrifter og leverandørbeskrivelser.

Lagring av pellets kan i utgangspunktet representere en viss fare i forhold til brann. Større mengder med pellets vil representere en økning av brannenergien i det området det lagres.

Lagring av pellets er regulert i forskrifter for å forhindre at dette skal representere en fare ved brann (DBE og BE)

7.9.5 Fjernvarme

Som beskrevet i kapittel 6.9.5, fungerer fjernvarme ved at oppvarmet vann distribueres til kunder og benyttes til ulike formål i boligen. I prinsippet vil dette ikke medføre noe brannfare da det dreier seg om temperaturer som er lave i forhold til antennelsestemperaturer til ulike aktuelle materialer. Utviklingen går også mot at temperaturen i vannet fra fjernvarmeanlegg senkes (Norsk Fjernvarme, 2015).

7.9.6 Varmepumper

Som erstatning for HFK-baserte kjølemedier er noen hydrokarboner vært vurdert. Her er det hovedsakelig propan og isobutan som innehar de egenskapene som er for kjølemedier. Fra et brannteknisk ståsted er det åpenbare utfordringer nyttet til brennbarheten det for disse gassene. Foreløpig er bruken av brennbare kjølemedium forbudt, men utviklingen bør følges nøye slik at de det brannsikkerhetsmessige aspektet er dekket.

7.10 Fremtidens byggematerialer

Utviklingen av nye byggematerialer foregår i dag på mange arenaer og fokus på brannegenskapene til materialene er en naturlig del av denne utviklingen. Det er ønskelig at de materialene som utvikles ikke representerer en økt risiko for brann og kan integreres i konstruksjonen på en sikker måte både for miljøet og for mennesker. Det finnes og utvikles materialer som er utfordrende i forbindelse med brann, både i forhold til brannenergi og produksjon av giftige gasser. Eksempler på slike materialer er noen typer faseendringsmaterialer. Disse materialene er lite utbredt i Norge og det er viktig at valg av materialer vurderes nøye opp mot brann- og byggeforskrifter. Andre materialer som vakuumisolasjon, nanoisolasjonsmaterialer, aerogel m.m. vil alle ha unike egenskaper som må forstås før de kan implementeres som en sikker del av konstruksjonen i fremtiden.

8 Diskusjon av energiltakenes påvirkning på brannforløpet og brannsikkerheten

Små lekkasjeåpninger til det fri, som for eksempel utettheter rundt dører og vinduer, er et naturlig resultat av at det bygges tettere hus. Forsøk fra FOA og modelleringer fra UMONS viser at små lekkasjeåpninger til det fri fører til et mindre utviklet brannforløp. Det vil si at brannen ikke oppnår like høy maksimal effekt, og at den avtar ved et tidligere tidspunkt. Temperaturøkning på grunn av brann, fører til at luften i brannrommet ekspanderer. Ved små lekkasjeåpninger til det fri vil denne ekspansjonen føre til en kraftig trykkoppbygning. Små lekkasjeåpninger og høyt trykk fører til at oksygen ikke slippes inn gjennom konstruksjonen, og brannen vil derfor avta. Når brannen avtar og temperaturen synker vil dette føre til et trykkfall som gir et undertrykk. Oksygen gis derfor muligheten til å igjen trenge inn i konstruksjonen og til en viss grad gi brannen næring. For et tradisjonelt hus med større lekkasjeåpninger vil trykket i brannrommet være mer stabilt.

Brannen i tettere hus vil derfor bli ventilasjonskontrollert på et tidligere tidspunkt enn i et tradisjonelt hus, som kan føre til at brannen dør ut eller fortsetter med lav effekt. På dette tidspunktet vil brannen produsere en mengde produkter av ufullstendig forbrenning. Modelleringene og forsøkene viser at det oppnås det høyere konsentrasjon av CO og HCN i passivhuset og at disse konsentrasjonene avtar mindre utover i brannforløpet. Disse produktene er svært giftige for mennesker, og er i mange tilfeller årsaken til at mennesker dør i brann. I disse tilfellene er det svært viktig at det eksisterer et tilstrekkelig dimensjonert og fungerende brannvarslingssystem som kan varsle mennesker, og dermed gi dem muligheten til å evakuere bygget. På en annen side viser modelleringene at brannforløpet, i både tradisjonelle hus og passivhus, er tilnærmet likt i store deler av vekstfasen. Forskjellene oppstår mot slutten av vekstfasen. Rømning foregår tidlig i vekstfasen, og disse ulikhetene vil derfor ikke ha betydelig innvirkning på personsikkerheten. Med bakgrunn i at det antas at det er mindre sjans for overtenning i tette hus, vil dette kunne ha en positiv effekt på materiell sikkerhet. Brannen vil ikke utvikle seg særlig og enklere kunne kontrolleres og slukkes.

Da det i tette hus kan antas at det oppstår en ventilasjonskontrollert brann vil det fortsatt foregå produksjon av brennbare gasser. Modelleringene og forsøkene har ikke gjort målinger spesifikt av dette, men det er rimelig å anta at dette er sannsynlig. Som for konsentrasjonene

av CO og HCN, er det også rimelig å anta at de brennbare gassene forblir i rommet. Dersom oksygen blir introdusert til brannrommet, gjennom åpning av en dør eller et vindu, vil dette kunne føre til at de brennbare gassene antennes og leder til backdraft. Hvorvidt backdraft oppstår eller om brannen slukker er avhengig av flere faktorer, og vil være en reell risiko for brann- og redningsmannskap ved innsats.

I hvilken grad vinduer kolliderer under brann er avhengig av temperaturpåvirkning. Vinduer med to og tre lag glass og sikkerhetsglass er, på grunnlag av tester, forventet å tåle temperaturer opp mot 600-700 °C. Som resultat av en forventning om at brann i et tett hus ikke går til overtenning, er det naturlig å anta at vinduene ikke blir tilstrekkelig påvirket av brannen til at de knuser. Det er derimot ikke funnet forskning som tar hensyn til trykkoppbygning i brannrommet i forbindelse med vinduer under brann. I hvor stor grad trykket vil påvirke vinduene og eventuelt føre til at de knuser på et tidligere tidspunkt, er kunnskap som kunne vært nyttig for å forstå hvordan vinduene vil oppføre seg under brann i et tett hus.

Overgang til flerlags vinduer og økt bruk av sikkerhetsglass i bygg, kan representere en ny utfordring ved redning og rømning. Flerlags vinduer og sikkerhetsglass kan være svært vanskelige å knuse med tradisjonelt verktøy. I tilfeller hvor man raskt må kunne knuse vinduer for å ventilere brannen eller drive redningsarbeid, kan dette være problematisk.

Ved økning i isolasjonstykkelse, spekuleres det i om dette vil ha en påvirkning på brannforløpet. Rent teoretisk tilsier en varmebalanse at på grunn av den isolerende effekten blir mindre varme transportert ut i konstruksjonen og bidrar til økt temperatur inne i brannrommet. Dette vil kunne føre til at brannen utvikler seg raskere, og utviklingen vil være avhengig av tilgang på oksygen. Som tidligere vist vil brannen sannsynligvis ikke utvikle seg, og tilgangen på oksygen vil være den styrende faktoren. Dersom tilgangen på oksygen endres, kan økt isolasjonstykkelse ha en innvirkning på forløpet.

Det er ikke funnet forskning som gir et klart bilde på den effekten økt mengde isolasjon har på brannforløpet, i sammenheng med tett konstruksjon. Det ville derfor vært veldig interessant å studere hvilken effekt isolasjonstykkelsen har når tettheten i konstruksjonen er tatt med i betraktning. I den grad isolasjonen vil føre til et raskere og mer kraftig brannforløp vil kunne påvirke vekstfasen i brannen og sikkerheten for personer som befinner seg i bygget som har behov for å rømme.

En fare med brennbar isolasjon er at dersom den gis mulighet kan den gi et betydelig bidrag til brannen. Bidraget kan blant annet føre til et mye raskere brannforløp, produksjon av giftige gasser og kan representere en stor fare for mennesker som oppholder seg i bygget. Forsøkene utført av SINTEF viser at så lenge den brennbare isolasjonen er brannbeskyttet slik forskriftene krever, vil den ikke gi et uakseptabelt bidrag til brannen. Bruk av brennbar isolasjon er strengt regulert av myndighetene, men det settes samtidig store krav til utførelse slik at isolasjonen installeres korrekt og ikke vil kunne bidra til brannen. Ved økende bruk av brennbar isolasjon og sandwichpaneler vil det derfor sannsynligvis forekomme tilfeller hvor utførelsen ikke er tilfredsstillende. I bygg der det ikke er krav til uavhengig kontroll er det fare for at eventuelle problemer ikke blir avdekket, og kan potensielt utgjøre en reell fare dersom det skulle oppstå brann. Kunnskap om byggkonstruksjonen er avgjørende for hvordan brannvesenet planlegger sin innsats på bygget. Dersom det er benyttet sandwichpaneler i et bygg kan det i en slokkesituasjon være vanskelig for brannvesenet å identifisere hvilke materialtyper de står ovenfor og hvilke egenskaper disse materialene har.

Økt bruk av tre og trebaserte produkter kan ha en negativ effekt på brannforløpet. Tre har branntekniske egenskaper som er godt kjente og tre kan i de fleste tilfeller tilpasses slik at det tilfredsstillende eventuelle branntekniske krav, som for eksempel i rømningsveier. I mange andre tilfeller er bruk av tre akseptabelt på overflater, men da vil disse overflatene være brennbare. Dette kan for eksempel være tilfelle i et bolighus. I kapittel 7.5 påpekes det at overflater av tre kan bidra til blant annet et raskere brannforløp, økt temperatur og økt røykavgivelse. Disse elementene vil ha stor innvirkning på vekstfasen i et brannforløp, og vil derfor påvirke den tilgjengelige rømningstiden til personer som oppholder seg i bygget.

I-bjelker som en del av konstruksjonen i bygg kan ha enkelte problemstillinger knyttet opp mot brann. Lettvektselementer som I-bjelker er testet i forsøk, og har i seg selv en betraktelig mindre brannmotstand i forhold til tradisjonelle bjelker. Bærende elementer i en konstruksjon vil ha en brannteknisk klassifisering slik at elementene vil beholde sine egenskaper en bestemt tid i brann. I noen tilfeller vil det være ønskelig å gjøre innsats i bygget etter denne tiden. Lettvektselementene vil over tid være mer utsatt for kollaps og representere en risiko for de som gjør innsats i bygget.

Atrium og åpne arealer kan føre til flere branntekniske problemstillinger som kan påvirke mennesker i en tidlig fase av en brann. Ved store åpne volum vil mer oksygen være tilgjengelig. Man kan da forvente et mer fullstendig brannforløp hvor brannen utvikler seg raskere og sikker rømning kan bli problematisk. Samtidig vil åpne arealer kunne bidra til en raskere røykspredning, sammenlignet med et bygg som er oppdelt i flere rom. Undersøkelser viser at denne oppdelingen har en positiv effekt på røykspredningen i et bygg (Debrouwere, 2012).

Brannfare i forbindelse med grønne tak er forbundet med antennelse av tørt materiale og brannspredning til nærliggende konstruksjoner. Brannsikkerhet i forbindelse med grønne tak er regulert i forskrifter og dekker vedlikehold som skal forhindre antennelse av dødt materiale og barrierer som skal hindre spredning. Det er som tidligere vist ikke registrert særlig branner i forbindelse med grønne tak og tester utført i Tyskland viser at problemet med brannspredning sannsynligvis ikke er så stort som først antatt.

Mekanisk ventilasjon vil ha en viktig rolle et brannforløp både i forbindelse med utviklingen av brannen og for transport av røykgasser. I rapporten er det ikke spesifikt gjort en analyse av hvordan ventilasjonen påvirker brannforløpet, men den har sett på hvordan røyktransporten påvirkes mellom brannrommet og nærliggende rom. Forsøk utført av FOA viser at når et ventilasjonsanlegg er i drift med både avtrekk og tilluft, vil anlegget føre til transport av røykgasser til nærliggende rom. Forsøkene viser også at denne transporten kan styres ved at bare avtrekket er i funksjon.

Solceller har vært identifisert som en potesiell farekilde under en brann. Fareaspektet er hovedsakelig knyttet til slukkeinnsatsen på bygget. På grunn av et regelverk som ikke standardiserer installasjonen av sikkerhetsinnretninger og det ikke foreligger en standard prosedyre for innsats knyttet til bygg med solcelleanlegg, kan dette representere en fare for brann- og redningsmannskap. Eksempler på branner fra USA og ellers i Europa understreker viktigheten av å adressere denne problemstillingen. I tillegg til fare for elektrisk støt, vil solcelleanlegg også representere en fare ved avgivelse av giftige gasser når panelene brenner. Dette kan være uheldig for brann- og redningsmannskap samt mennesker som oppholder seg i nærheten. Produksjon av giftige gasser er også gjeldende for solfangeranlegg, men her benyttes solenergien til oppvarming av vann slik at problematikken med elektrisk støt er ikke tilstede.

Private vindturbiner er som nevnt lite utbredt i Norge. I land hvor dette er mer vanlig er det ikke registrert branner i slike anlegg. Branner i kommersielle vindturbinanlegg er mer utbredt, men en skal være forsiktig å dra parallellen mot slike anlegg å sammenligne brannfaren. På samme måte som andre installasjoner i boliger, bør det vurderes utvikling av regelverk som sørger for korrekt installasjon samt tar høyde for eventuell økt brannfare og sikkerhet for brann- og redningsmannskap.

Når det gjelder bruk av vedovner, pelletskamin og pelletskjel er disse elementene vurdert til å ikke representere en spesiell økt fare i forbindelse med energieffektive bygg. Branntekniske forhold forbundet med vedovner er godt kjente, og som alt annet som omhandler bruk av ild, kreves det korrekt bruk og installasjon for å ikke representere en brannfare. Dette vil i utgangspunktet også gjelde for fyring med pellets, og det er ikke gjort noe funn som indikerer at dette skal representere en økt brannfare.

Fjernvarme representerer i utgangspunktet ikke noe brannfare. Systemet baserer seg på varmt vann og temperaturer som ligger godt under det som er nødvendig for antennelse av aktuelle materialer.

Varmepumper har ikke vært registrert som en særlig stor kilde til brann. Utviklingen av varmpumper er derimot viktig å følge slik at hensynet til brannsikkerheten ikke endres. Dette gjelder spesielt i forhold innføring av andre typer kjølemedier.

Alle elektriske installasjoner i et hus representerer på en eller annen måte en viss fare for brann. Varmebatterier i ventilasjonsanlegg, varmpumper, solceller m.m. vil alle kunne kortslutte og være en kilde til brann. Elektriske installasjoner er regulert i forskrifter, og korrekt installasjon og bruk sørger for at disse installasjonene kan fungere sikkert samt ikke representerer åpenbare brannfeller. Der er viktig at det branntekniske hensynet tas på alvor, slik at økende graden av tekniske installasjoner i hus ikke representerer en uakseptabel brannrisiko.

8.1 Forslag til tiltak og videre arbeid

For å skape forståelse for kompleksiteten rundt brann i boliger og energiltak, kreves det kunnskap. Kunnskapen er gjerne basert på erfaringer fra tidligere branner, men i Norge er det foreløpig få hus som er bygget med egenskapene som gjør dem «grønne». Det finnes derfor lite erfaringer knyttet til brann i boliger og bygg som er bygget etter nyere prinsipper. Denne erfaringen kan derfor hentes fra andre land som for eksempel Tyskland, Belgia og USA. I tillegg vil mer forskning være avgjørende for hvordan byggebransjen og brannvesenet skal kunne takle utfordringer og være i stand til å velge gunstige løsninger som fremmer brannsikkerheten.

Myndighetskravene som regulerer brannsikkerheten i bygg i Norge stilles blant annet gjennom Plan og bygningsloven, TEK10 med veiledning og Forebyggendeforskriften med veiledning. I dag bygges det mer komplekse og utradisjonelle bygg enn tidligere, og er derfor vanligere med en funksjonsbasert tilnærming ved utformingen av nye bygg. De preaksepterte løsningene som er tilgjengelige i veiledningen holder ikke tritt med den teknologiske og designmessige utviklingen. En funksjonsbasert tilnærming har vist seg å være hensiktsmessig, men krever kompetanse og er økonomisk belastende. Det er derfor viktig at myndighetene utvikler de preaksepterte ytelseskravene i VTEK i en retning hvor brannsikkerheten i boliger og andre bygg bedre følger utviklingen av ny teknologi.

Det føres ikke statistikk over hendelser knyttet til energieffektive og miljøvennlige bygg/boliger. Den statistikken som allerede føres er ganske detaljert, men kan videreutvikles slik at elementer som er knyttet til bygningskonstruksjonen er mer vektlagt og om brannårsak/omfang kan knyttes til nye bygningsmessige detaljer.

En slik statistikk vil kunne være med på å avdekke hyppighet, årsak og lignende i nye energieffektive bygg. Både prosjekterende, arkitekter, myndigheter og brannvesen kan da benytte seg av denne statistikken for å planlegge brannsikkerhet, design og innsats.

Enova er et statlig eid selskap som fronter miljøvennlig omlegging av energibruk og energiproduksjon. Selskapet bidrar også til utviklingen av energi- og klimateknologi, og er en viktig aktør innen utviklingen av mer energieffektive boliger hovedsakelig gjennom rådgivning og økonomisk støtte (Enova). Dette gir dem en god mulighet til å påvirke holdninger og prioriteringer i bygge- og rehabiliteringsprosessen, samt øke bevisstheten rundt

brann og påvirkningene de ulike elementene har på et brannforløp. Enova kan derfor være en viktig bidragsyter i prosessen med å øke bevisstheten rundt brannsikkerhet spesielt knyttet opp mot energieffektivisering i boliger.

Miljømerkeordningen som for eksempel Svanemerket, BREEAM-NOR og LEED er sentrale pådrivere for mer miljøvennlig og bærekraftig utvikling. Foreløpig er det ingen av ordningene som har implementert brannsikkerhet som et eget område. I følge FM Global sin rapport fra 2009, «The influence of risk factors on sustainable development», vil energieffektivisering kun ved hjelp av energiltak, uten å ta brannsikkerheten særlig i betraktning, kunne øke risikoen for utslipp av drivhusgasser betydelig (Gritzo, et al., 2009). Ved å anerkjenne brann som et miljøproblem og implementere brannsikkerhet som en del av ordningen, vil det kunne oppnås en høyere brannsikkerhet og sørge for at brannsikkerheten følger utviklingen på en bedre måte.

Det er i kapittel 7 og 8 identifisert problemstillinger som kan skape utfordringer for brannvesenet under innsats i bygg med energiltak. Brannvesenet fra blant annet Tyskland og USA har uttalt at de står ovenfor reelle utfordringer knyttet til innsats i slike bygg, og at det er et behov for å endre fremgangsmåte når de står ovenfor denne type objekter. Det er lite sannsynlig at brannvesenet kan bruke sine tradisjonelle metoder, uten at metodene tilpasses denne nye typen bygg. Brannvesenet trenger kunnskap om hvordan energieffektive bygg og boliger bygges, og om hvordan de ulike materialene oppfører seg under brann. Samtidig trenger de å vite om spesifikke risikoområder og karakteristika som kan påvirke brannen. Det vil kunne gi brannvesenet grunnlag for analyse og planlegging av hvordan innsats skal utføres for å sikre mennesker, verdier og sin egen sikkerhet. I utviklingen av nye byggemåter og byggemetoder, er det viktig at brannvesenet spiller en rolle når det gjelder utforming av bygg. Brannvesenet må få muligheten til å påvirke og påse at deres rolle er ivaretatt, når utradisjonelle løsninger og innovativ design tas i bruk.

9 Konklusjon

Klimapolitikk og økt fokus på miljø fører til innføring av en rekke energiltak i bygg og boliger i dag. Mer lufttett konstruksjon, mer og bedre isolasjon, bedre vinduer, fornybar oppvarming, varmegjenvinning og en stadig utvikling av nye byggematerialer og produkter er eksempler på energiltak som er hverdagen i byggebransjen i dag. Det utføres lite norsk forskning relatert til effekten energiltak har på et brannforløp. Med dette som bakteppe ble det indentifisert en rekke mulige branntekniske utfordringer som kan forventes som et resultat av de ulike energiltakene.

Økt tetthet i konstruksjonen kan føre til at brannen i flere tilfeller vil bli ventilasjonskontrollert. Et resultat av dette er økt produksjon av giftige gasser som CO og HCN og økt produksjon av uforbrente brennbare gasser som igjen kan forårsake backdraft i forbindelse med innsats. Tettere konstruksjon vil samtidig kunne skape grunnlag for en høyere trykkoppbygning ved brann enn i tradisjonelle utette bygg. Dette kan skape utfordringer med påkjenning på vinduer samt problemer med åpning av dører.

Ulike utførte forskningsprosjekt antyder at økning i isolasjonsmengde vil føre til at mer varme blir værende i brannrommet, og bidrar til at brannen får høyere temperaturer, vokser raskere og får en kortere tid til overtenning. Dette forutsetter at brannen ikke forblir ventilasjonskontrollert slik det tidligere er forventet i tette hus.

Økt bruk av plastisolasjon er et område som kan skape utfordringer. Plastisolasjon har gode branntekniske egenskaper, men er avhengig av å være uskadet og korrekt installert for bevaring av disse egenskapene.

Økt bruk av tre i bygningskonstruksjoner, spesielt innvendige overflater, kan representere en utfordring da tre er brennbart og kan bidra til et brannforløp.

Økt bruk av flerlagsvinduer og sikkerhetsglass er indentifisert som et potensielt problemområde. Robustheten til disse vinduene kan skape vanskeligheter for brann- og redningsmannskap som skal ventilere en brann eller redde ut personer gjennom vinduene.

Solcelleanlegg har ikke et godt nok regelverk som setter krav til sikkerhetsinstallasjoner som kan forhindre skade på brann- og redningsmannskap som skal gjøre innsats på et bygg.

Mekanisk ventilasjon vil spille en viss rolle ved brann i en bolig, da transport av røyk til ulike rom kan forekomme.

Atrium og åpne flerbruksarealer i boliger hvor det ikke settes krav til automatiske sløkkeanlegg, kan representere en økt risiko for brann- og røykspredning.

De elementer som er avhengig av nøyaktig og korrekt installasjon er sårbare for feil som kan påvirke deres branntekniske egenskaper. Dette vil spesielt gjøre seg gjeldende i bygg der det ikke er krav om uavhengig kontroll av utførelse til disse elementene.

Det er vanskelig å entydig definere hvilket utfall energiltakene vil ha i forhold til brann, da det avhenger av mange motstridende faktorer. Enkelte energiltak tilsier at brannen vil vokse, mens andre tiltak tilsier at utviklingen av brannen avtar.

Det er viktig å forstå hvordan disse elementene fungerer i samspill med hverandre og hvilke faktorer som vil være dominerende i en brann, for å kunne designe brannsikre bygg samt for å kunne planlegge hensiktsmessig og sikker innsats ved brann. Det er også viktig at alle aktører i en byggeprosess, myndigheter, utbygger, byggherre, arkitekter, miljøsertifiseringsordninger m.m. har et overordnet bilde på brannsikkerheten og identifiserer at energiltakene må ses i sammenheng med hverandre. Det vil være viktig at hver enkelt aktør ser hva sitt bidrag tilfører den totale brannsikkerheten.

Det er tydelig at det foreligger et behov for innhenting av erfaringer og kunnskap. Land som USA og Tyskland som har lang erfaring med utvikling av energieffektive hus og branner i denne typen hus. Denne kunnskapen må formidles til de involverte i byggeprosessen. Brannvesenet er også avhengig av å få den rette informasjonen om utfordringer og potensielle problemstillinger som kan dukke opp i denne typen hus, slik at de kan planlegge og gjennomføre sin innsats på en mest mulig sikker og hensiktsmessig måte.

Økt fokus på brannsikkerhet i energieffektive bygg vil være en naturlig utvikling i Norge, sammen med mer forskning på temaet under norske forhold.

Referanser

Aga Frode - For snevert å gå løs på snusirkler, vi må tenke større = Artikkel. - [s.l.] :
Byggeindustrien Bygg.no, 8 September 2014.

AllConsept Isolering i gamle trehus. - Hamar : [s.n.], 14 Februar 2008.

Andersson Eva, Reitan Nina K. og Fjellgaard Mikalsen Ragni Plast i byggevarer og
brannsikkerhet [Rapport]. - [s.l.] : SINTEF NBL as, 2014. -
<http://www.spfr.no/media/publikasjoner/upload/nbl-a13134.pdf>. - NBL A13134 - Åpen.

Andersson Eva, Steen-Hansen Anne og K. Reitan Nina Plast i byggevarer og
brannsikkerhet [Internett]. - 2013. - 4. Februar 2013. -
<http://en.spfr.no/media/publikasjoner/upload/nbl-a12138.pdf>.

Babrauskas Dr. Vytenis Glass breakage in fires [Rapport]. - [s.l.] : Fire Science and
Technology Inc. - <http://www.doctorfire.com/GlassBreak.pdf>.

Back Anna Fire developments in insulated compartments: Effects from improved thermal
insulation [Rapport] : Report 5387 / Department of Fire Safety Engineering and systems
Safety. - Lund, Sweden : Lund University, 2012. - s. 133.

Breeam NOR www.breeam-nor.no [Internett]. - 2015. - <http://www.breeam-nor.no/>.

Breuning Jörg Fire & Wind On Extensive Green Roofs [Rapport]. - [s.l.] : Green Roof
Service LLC - Green Roof Technology, 2008. -
http://www.greenrooftechnology.com/_literature_53264/Fire_and_Wind_on_Extensive_Green_Roofs.

Brohez S. [et al.] PHI? - Passive House and fire = Inferno ? - et le PHI du PassivHaus
[Internett]. - 2009-2010. - April 2015. -
<https://www.besafe.be/sites/besafe.localhost/files/kcp/projecten/Janec/Rapport%20final%20Incendie%20-%20Maison%20Passive%20fe%CC%81vri%202011-klein.pdf>.

Byggfakta Vil vite om tettere hus er mer brannfarlige. - 12 September 2014.

Choi K. K. Effects of Insulation on Postflashover Room Fire [Rapport] = Fire Technology,
Vol 23. - [s.l.] : National Research Council of Canada, 1987. - No. 1.

Chow C. L. og Chow W. K. Fire Safety Concern on Well-Sealed Green Buildings with Low OTTVs [Rapport]. - [s.l.] : International High Performance Buildings Conference, 2010. - <http://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1000&context=ihpbc>.

DBE og BE Veiledning om montering og drift av fyringsanlegg for brensel av trepellets [Rapport]. - Direktoratet for brann- og elsikkerhet (DBE) i samarbeid med Statens bygningstekniske etat (BE)..

Debrouwere Brecht A study on initial fire behavior in low-energy houses [Rapport]. - Ghent : Ghent University, 2012.

DiBK Byggeteknisk forskrift med veiledning (TEK10) [Internett]. - 2010. - 5 Mai 2015. - <http://dibk.no/no/BYGGEREGLER/Gjeldende-byggeregler/Veiledning-om-tekniske-krav-til-byggverk/>.

DiBK Hva er nytt om markedsføring og omsetning av byggevarer [Rapport]. - 2013.

DiBK Melding HO-2/2003 - Fyringsanlegg Temaveiledning [Internett]. - Direktoratet for byggkvalitet, Mai 2003. - http://www.dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/eldre_temaveiledere_og_run_dskriv/2003ho-2-fyring.pdf.

DiBK Spørsmål og svar om byggevareforordningen. - 20 mai 2013.

DiBK TEK10 skal bli TEK17 i samarbeid med byggsektoren [Internett]. - 17 Mars 2015. - 5 Mai 2015. - http://www.dibk.no/no/Om_oss/Arkiv/Nyhetsarkiv/tek10-skal-bli-tek17-i-samarbeid-med-byggsektoren/.

DSB Kjennetegn og utviklingstrekk ved dødsbranner og omkomne i brann [Rapport]. - [s.l.] : Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2010. - En gjennomgang av DSBs statistikk over omkomne i brann 1986-2009.

DSB oppslagsverket.dsb.no/ [Internett] // Plan/Bygg. - 2015. - <http://oppslagsverket.dsb.no/content/arkiv/plan-bygg>.

DSB Statistikk. - 1 februar 2013.

ECOVERITAS ECOVERITAS [Internett] // <http://www.ecoveritas.gr/>. - 2015. - http://www.ecoveritas.gr/_breeam/newpage.html.

Enova Bytt til 3-lags lavenergivindu.

Enova <http://www.enova.no/om-enova/36/0/> [Internett]. - 2015. -
<http://www.enova.no/radgivning/privat/>.

Enova Hva er U-verdi? [Internett] // Enova.no. - 17 April 2015. -
<http://www.enova.no/radgivning/privat/enovas-merkeordning/tips-og-rad/isolasjon-og-tetting/hva-er-u-verdi/hva-er-u-verdi/354/576/>.

Enova Pelletskamin [Internett]. - 4 Mai 2015. - <http://www.enova.no/radgivning/privat/rad-om-produkter-og-losninger/oppvarmingsalternativ/pelletskamin/114/0/>.

Enova Pelletskjel [Internett]. - 4 Mai 2015. - <http://www.enova.no/radgivning/privat/rad-om-produkter-og-losninger/oppvarmingsalternativ/pelletskjel-/115/0/>.

Enova Potensial- og barrierestudie. Energieffektivisering i norske bygg. [Rapport] = Enova rapport 2012:01. - 2012. - Enova rapport 2012:01.

Enova Solceller.

Enova Solfanger [Internett]. - April 2015. - <http://www.enova.no/radgivning/privat/rad-om-produkter-og-losninger/oppvarmingsalternativ/solfanger/116/0/>.

Enova Vedovn [Internett]. - 4 Mai 2015. - <http://www.enova.no/radgivning/privat/rad-om-produkter-og-losninger/oppvarmingsalternativ/vedovn/118/0/>.

Fornybar.no 2.1 Elektrisk energi fra solen [Internett]. - 2015. -
<http://www.fornybar.no/solenergi/teknologi>.

Fourneaua Charles [et al.] Comparison of Fire Hazards in Passive and Conventional Houses [Rapport]. - [s.l.] : AIDIC, Associazione Italiana Di Ingegneria Chimica, 2012. - Chemical Engineering Transactions.

General Om Varmepumpe | Hva er og hva gjør en varmpumpe? [Internett]. - 2015. -
<http://www.general.no/om-varmpumpe>.

Gjesdal Blikk AS Energieffektive vinduer [Internett]. - 5 Mai 2015. -
http://gjesdalblikk.no/content/documents/Brosjyre_D%C3%B8rer__Vinduer.pdf.

Glasø Geir og Landrø Harald Fokus på tre Nr. 37 - Tre og brann [Rapport]. - [s.l.] : Trefokus AS og Tretknisk, 2012. -
<http://www.tretknisk.no/fullstory.aspx?m=1174&amid=15454>.

Grant, P.E. Casey C Fire Fighter Safety and Emergency Response for Solar Power System [Rapport]. - Quincy, MA, USA : The Fire Protection Research Foundation, Oktober 2013.

Gritzou Lous A. [et al.] The Influence of Risk Factors on Sustainable Development [Rapport]. - [s.l.] : FM Global Research Division, 2009.

H. Magnussen Ingrid, Spilde Dag og Killingland Magnus Energibruk i Fastlands-Norge [Rapport] / Norges vassdrags- og energidirektorat. - [s.l.] : NVEs hustrykkeri, 2011.

Hegrenæs Ingvild Bruk av CFD-modeller i brannteknisk prosjektering av bygninger [Rapport]. - [s.l.] : NTNU, 2009.

Hutchins Amy Climate Change and Green Roofs – The example of three cities [Internett] // Biotope City Journal. - April 2015. - <http://www.biotope-city.net/article/climate-change-and-green-roofs-example-three-cities>.

Hägglund Bengt, Nireus Kjell og Werling Per Pressure rise due to fire growth in a closed room. Description of three full-scale tests. [Rapport] / Swedish Rescue Service Agency. - [s.l.] : Defence Research Establishment, Weapons and Protection Division, 1996. - Dokument ref. No: Foa-R-96-00347-2.4--SE.

Isola AS Krav til tetthet, isolasjon og vinduer i boliger. - [s.l.] : isola.no.

Karlsson Björn og G. Quintiere James Enclosure to Fire Dynamics [Bok]. - Boca Raton. London. New York. Washington, D.C. : CRC Press, 2000.

Klima- og miljødepartementet St. Meld. 21 (2011–2012) Norsk klimapolitikk. - [s.l.] : Regjeringen, 25 april 2012. - <https://www.regjeringen.no/contentassets/aa70cfe177d2433192570893d72b117a/no/pdfs/stm201120120021000dddpdfs.pdf>.

Larsen Roy Brennbar isolasjon Del 2. - [s.l.] : Brannmannen.no, 30 April 2013.

Lavenergiprogrammet Forskning på passivhus i Norge. - 2015.

Lavenergiprogrammet Hva er et passivhus? [Internett]. - April 2015. - <http://www.lavenergiprogrammet.no/dette-er-passivhus/category123.html>.

Lovdata Forskrift om tekniske krav til byggverk [Internett] = Byggteknisk forskrift (TEK10). - 2010. - 5 Mai 2015. - <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2010-03-26-489>.

Meacham Brian [et al.] Fire Safety Challenges of Green Buildings [Rapport] / Worcester Polytechnic Institute. - Quincy, MA, USA : The Fire Protection Research Foundation, 2012. - <http://www.nfpa.org/research/fire-protection-research-foundation/reports-and-proceedings/building-and-life-safety/general-life-safety-issues/fire-safety-challenges-of-green-buildings>.

Miljømerking www.svanemerket.no [Internett] // Svanemerkede boliger er forbilder. - 28 Mai 2014. - 2015. - <http://www.svanemerket.no/aktuelt/nyheter/svanemerkede-boliger-er-forbilder/>.

Multiconsult Biblioteker for energimerkeordningen [Rapport]. - 2009. - http://www.energimerking.no/Global/energimerking/Dokumenter/Biblioteker_EMS_Dokumentasjon15102010.pdf.

Multiconsult Halvparten av nybygg i Oslo BREEAM-registrert [Internett] // Multiconsult. - Mai 2015. - <http://www.multiconsult.no/halvparten-av-nybygg-oslo-breeam-sertifisert/>.

Murphy Jack J. og Tidwell Jim Bridging the gap: Fire safety and Green Buildings [Rapport]. - [s.l.] : National Association of State Fire Marshals, 2010. - A Fire and Building Safety Guide to Green Construction.

Murphy Jack J. og Tidwell Jim Green Building Challenges for the Fire Service [Internett]. - 1 Januar 2011. - Mars 2015. - <http://www.fireengineering.com/articles/2011/01/green-building-challenges-for-the-fire-service.html>.

NDLA Branntrekanten [Internett]. - Mai 2015. - <http://ndla.no/nb/node/90846>. - Nettstedet er utarbeidet av NDLA som åpen kildekode, basert på Drupal.

Nedre Romerike brann- og redningsvesen IKS Fyr riktig - unngå brann. - Nordbyhagen : [s.n.], 2015.

Nilsen Jannicke SOLCELLER – Solcellepanel kan gi livsfarlige støt og hindre redningsarbeid [Tidsskrift] // Teknisk Ukeblad. - [s.l.] : Tu.no, 19 Januar 2015 .

Norsk Brannvern norskbrannvern.no = Røykvarslere.

Norsk brannvernforening Brannvernskonferansen. - 9 April 2015.

Norsk Fjernvarme 4. GENERASJONS FJERNVARME [Internett]. - 2015. - Mai 2015. - <http://fjernvarme.no/index.php?pageID=102&openLevel=36>.

Norsk Standard NS 3031:2014 Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data [Internett] = NS 3031:2014. - 2014. - 5 Mai 2015. -

<http://www.standard.no/en/PDF/FileDownload/?redir=true&filetype=Pdf&preview=true&item=702386&category=5>.

Norsk Standard NS 3700:2013 - Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Boligbygninger [Rapport]. - 2013.

Norsk Trevare Slik er de nye reglene for sikkerhetsglass [Internett] // www.trevare.no. - 18 Januar 2013. - <http://www.trevare.no/regelverk/slik-er-de-nye-reglene-for-sikkerhetsglass-article151-220.html>.

Norwegian Green Building Council ngbc.no [Internett] // Om BREEAM. - 19 November 2014. - <http://ngbc.no/om-breem>.

NOU Norges offentlige utredninger Trygg hjemme. Brannsikkerhet for utsatte grupper. [Rapport]. - [s.l.] : Justis- og beredskapsdepartementet, 2012.

Ohlemiller T.J. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering [Bok]. - Massachusetts : National Fire Protection Association, 2002. - Third edition.

Paroc Group Generell informasjon om brann [Internett]. - 2015. - Mai 2015. - <http://www.paroc.no/knowhow/brann/generell-informasjon-om-brann>.

Regjeringen.no Ny og mer ambisiøs klimapolitikk. - 4 Februar 2015. - Pressemelding.

Riksantikvaren Miljøvennlige materialer [Internett]. - Mars 2015. - <http://www.riksantikvaren.no/Tema/Klimaendringene-og-kulturminner/Hvordan-reducere-klimabelastningene/Miljoevennlige-materialer>.

Röderer Joachim Passivhäuser stellen die Feuerwehr vor neue Herausforderungen [Artikkel] // Badische Zeitung. - 13 Juli 2011. - <http://www.badische-zeitung.de/freiburg/passivhaeuser-stellen-die-feuerwehr-vor-neue-herausforderungen--47386245.html&prev=search>.

Rørslett Dag og Haugstad Tormod Strømsparing med minivindmøller får strømmåleren til å gå baklengs [Internett] // Teknisk Ukeblad (TU). - 30 Mai 2012 . - Mai 2015. - <http://www.tu.no/kraft/2012/02/29/far-strommaleren-til-a-ga-baklengs>.

Shafer John Green Buildings: Design Features and Hazards for Firefighters [Internett] // FirefighterNation.com. - 1 April 2014. - <http://www.firefighternation.com/article/firefighting-operations/green-buildings-design-features-and-hazards-firefighters>. - From the April 2014 Issue of FireRescue.

SINTEF Byggforsk 473.010 Generelt om passivhus. Valg og konsekvenser. [Rapport] = 473.010. - 2013.

SINTEF Byggforsk 474.621 Framgangsmåte ved luftlekkasjemåling av bygninger [Rapport]. - 2014.

SINTEF Byggforsk 520.401 Lufttetting av bygninger. Framgangsmåte for å oppnå lavt lekkasjetall [Rapport]. - 2013.

SINTEF Byggforsk 544.823 Sedumtak [Rapport]. - 2013. - 544.823.

SINTEF Byggforsk 552.303 Balansert ventilasjon i småhus [Rapport]. - [s.l.] : SINTEF Byggforsk, 2006.

SINTEF Byggforsk NBI 520.339 Bruk av brennbar isolasjon i bygninger [Rapport]. - [s.l.] : SINTEF Byggforsk, 2009.

SINTEF Slik blir fremtidens byggematerialer. - 29 Januar 2015.

Sologvind.no Brannsikkerhet.

Stiftelsen Miljømerking i Norge Svanemerket bolig [Rapport]. - Oslo : [s.n.]. - <http://www.svanemerket.no/PageFiles/12511/Brosjyre%20om%20svanemerket%20bolig.pdf>.

Stortinget.no Innstilling fra energi- og miljøkomiteen om norsk klimapolitikk. - [s.l.] : Energi- og miljøkomiteen, 8 Juni 2012.

Tekna Nanoteknologi anvendt i bygninger [Internett] // www.kunnskapsdugnad.no. - 2010. - http://www.kunnskapsdugnad.no/portal/page/portal/site/arrangementer/vis_arrangement?p_kp_id=20843.

Thorud Bjørn [et al.] Solstrøm i Norge [Rapport]. - [s.l.] : Enova SF, 2012.

Trefokus og Treteknisk Trebaserte konstruksjonselementer Nr. 27 [Rapport]. - [s.l.] : FOKUS på tre, 2011.

Uadiale Solomon [et al.] Overview of Problems and Solutions in Fire Protection Engineering of Wind Turbines [Internett]. - <http://www.iafss.org/publications/fss/11/200/view>.

Underwriters Laboratories Inc. Structural Stability of Engineered Lumber in Fire Conditions [Internett]. - 30 September 2008. - 2015. - <http://www.ul.com/global/documents/offerings/industries/buildingmaterials/fireservice/NC9140-20090512-Report-Independent.pdf>.

Wikipedia Passive house [Internett]. - 3 April 2015. - http://en.wikipedia.org/wiki/Passive_house.

Wikipedia U-verdi [Internett]. - 13 februar 2015. - <http://no.wikipedia.org/wiki/U-verdi>.

ZEB About the ZEB Centre. - 2015. - The Research Centre on Zero Emission Buildings.