



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

*Et casestudie av brannvegger i Leca og Betong med henholdsvis
PUR og EPS som isolasjon.*

FORFATTERE:

OLE EIKESET
GØRAN SÆTHER
LASSE BJERKE

Dato: 23. mai 2012



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

Sammendrag

Tittel:	Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger	Dato: 23.05.12
	- Et casestudie av brannvegger i Leca og Betong med henholdsvis PUR og EPS som isolasjon.	
Deltakere:	Ole Eikeset Gøran Sæther Lasse Bjerke	
Veileder:	Fred Johansen	
Oppdragsgiver:	Bjørn Vik	
Nøkkelord:	Brannvegger, brennbar isolasjon, TEK 10, EPS, PUR, betong, Leca, ISO 834,	
Antall ord:	Antall vedlegg:	Publiseringsavtale inngått:
11 731	7	ja



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

Sammendrag:

Da TEK 10 tredde i kraft 01.07.2010 ble det en bevisstgjøring om at brennbar isolasjon kan nyttes i en brannvegg dersom det blir dokumentert med prøving at isolasjonen ikke bidrar til brannen.

På denne bakgrunnen kom Bjørn Vik fra BMB (Brannvernsamarbeidet Mur og Betong) til Høgskolen i Gjøvik november 2011. Vik opplyste om endringen i VTEK 10 og ønsket at vi lagde en oppgave innenfor dette temaet.

Vi syntes dette hørtes meget interessant ut og valgte å ta for oss dette i Bacheloroppgaven vår. Brannforsøkene skulle skje på brannlaboratoriet hos Weber Leca Lillestrøm. Ovnene som ble brukt hadde en eksponeringsflate på 1x1m. Det ble bestemt at vi skulle gjennomføre uautoriserte småskala forsøk, som eventuelt kan føre til autoriserte tester.

For å undersøke om brennbar isolasjon kan nyttes i brannvegger, gikk vi inn i et casestudie for å svare på problemstillingen vår. Vi valgte i samarbeid med Bjørn Vik å teste vegger av Leca Isoblokk 35 (med tilhørende produkter produsert av Weber Leca), samt sandwichvegger i betong. Begge disse produktene med brennbar isolasjon, henholdsvis PUR og EPS.

Etter å ha gjennomført branntestene kunne vi konkludere med at veggen bygd opp av Leca Isoblokk 35 med puss på begge sider holdt kravene for en EI 120 brannvegg.

I testene av sandwichelementene fikk vi alarmerende resultater. Vi testet to vegger som hadde herdet i 17 og 18 dager samt en vegg som hadde herdet 8 måneder. Tidlig i forsøkene begynte samtlige vegger å avskalle eksplosivt. Dette førte til at vi avslutningsvis stiller spørsmålstegn om hvor lang herdetid som trengs før betongvegger er brannsikre.



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

Abstract

Title:	Combustible insulation in fire Walls	Date: 23.05.12
	- A case studie of fire walls in Leca and concrete with PUR and EPS insulation	
Participants:	Ole Eikeset	
	Gøran Sæther	
	Lasse Bjerke	
Supervisor:	Fred Johansen	
Employer:	Bjørn Vik	
Keywords:	Combustible insulation, TEK 10, fire, EPS, PUR	
	Number of appendix:	Availability:
	7	Open



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

Short description of the bachelor thesis:

When the new update to TEK in Norway was applied 01.07.2010, the regulations opened for a possibility to use flammable insulation in a firewall, thru approved experiments which documents that the insulation will not contribute to the fire.

On this basis Bjørn Vik from BMB arrived (the Norwegian fire protection cooperation within brick and concrete) to Gjøvik University Collage in November 2011. Vik told us about the changes in VTEK 10.

We found this interesting and based our bachelor thesis on this. The fire tests took place at Weber Leca`s fire laboratory in Lillestrøm. The fire oven we used had an exposure area of 1 m x 1 m. The test we did qualifies for unauthorized small scale experiments, hopefully this will lead to further experiments and authorized tests.

To investigate if flammable insulation can be used in fire walls, we did a case study to answer our questions. We selected in collaboration with Vik to test Leca Isoblokk 35 manufactured by Weber Leca. And concrete sandwich walls. Both of these products with flammable insulation.

After conducting the fire tests, we concluded that Leca Isoblokk 35 with plaster on both sides met the requirements for a EI 120 firewall.

The concrete tests, gave us alarming results. The concrete walls (17 and 18 days old and one 8 months old wall) did all early in the tests spall explosive. This led us to questioning how long curing time is necessary before a concrete wall is fire resistant.



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

Forord

Som avsluttende arbeid i ingeniørutdanningen ved Høgskolen i Gjøvik, avdeling for teknologi, økonomi og ledelse (TØL) skal det skrives en bacheloroppgave. Denne oppgaven gir 20 studiepoeng og skal bestå av en skriftelig rapport, en muntlig fremføring og en nettside (<http://hovedprosjekter.hig.no/v2012/tol/bygg/brann/Publikasjon3.htm>). Alle gruppens deltagere gikk i samme klasse – Bachelor i ingeniørfag – Bygg, konstruksjon.

Vi er veldig fornøyd med tema til oppgaven, vi ønsket å gjennomføre en vitenskapelig rapport med fysiske forsøk. Betong er noe vi alle har hatt interesse for gjennom dimensjoneringsfagene på skolen og brann er noe vi syntes er spennende og ønsket å lære mer om. Da Bjørn Vik møtte opp på skolen og presenterte en mulig problemstilling rundt brennbar isolasjon i brannvegger med småskålatester hos Weber Leca i Lillestrøm var valget enkelt.

Det har vært mange involverte i denne oppgaven og det er mange vi ønsker å takke. Først på listen må det stå Bjørn Vik som hjalp oss å komme i kontakt med de fleste som har bidratt og gitt oss ideen til hele oppgaven.

En stor takk sendes også til Weber Leca som har gitt oss tilgang på teknisk utstyr, eksperter, materialer og svært god lunsj mens vi var der. Vi vil takke Svein Morken, Oddbjørn Nylenden og Trygve Berger som var med under forsøkene og har svart ivrig på spørsmål i ettertid. Vi vil takke for samarbeidet med murer og student Thomas Johnsen ved HiAls. Han var med på Leca-forsøkene og stod ansvarlig for byggingen av Leca-veggene. Videre vil vi takke Oppland betongindustri som bygde betongveggene og transporterte de til Lillestrøm. Vi vil også takke Veilederen vår Fred Johansen som har holdt oss på jorda og styrt oss mot resultatet vårt. Til slutt vil vi også takke John Erik Reiersen, Lars Ola Rishaug, Arjen Kraaijeveld og Leidulv Vinje for bidraget og gode svar på alle gode og dårlige spørsmål fra oss.

Ole Eikeset

Gøran Sæther

Lasse Bjerke



Innhold

Definisjoner og ordforklaringer	12
1 Innledning	14
1.1 Bakgrunn	14
1.2 Mål og problemstilling	16
1.3 Begrensninger.....	17
2 Teori	18
2.1 Brannforløp	18
2.2 Brannteknisk prøving	19
2.3 TEK 10 om brannvegger	20
2.3.1 Generelt om brannvegger	21
2.3.1.2 krav til brannvegger.....	22
2.4 Teori om isolasjonsmaterialer. Typer og egenskaper.....	24
2.4.1 Branntekniske egenskaper:	24
2.4.2 Plastisolasjon	25
2.5 Weber Leca produkter	26
2.5.1 Leca Isoblokk 35cm	27
2.6 Betong	28
2.6.1 Betongens termiske egenskaper	28
2.6.2 Betongens mekaniske egenskaper ved brannpåkjenninger	29
2.6.2.1 Armeringens mekaniske egenskaper ved brannpåkjenninger	31
2.7 Sandwichvegger	32
2.7.1 Generelt om sandwichvegger	32
2.7.2 Armering i sandwichvegger	32



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

3 Metode	35
3.1 Produktvalg	35
3.2 Testutstyr	37
3.2.1 Ovn	37
3.3 Registrering og logging under forsøk	38
3.4 Konstruering av vegger	40
3.4.1 Leca veggene	40
3.4.2 Sandwichveggene	41
4 Gjennomføring av brannforsøk	42
4.1 Leca Testvegg	43
4.2 Leca iso 35 blokk uten puss (Leca u/puss)	44
4.2.1 Målinger og observasjoner	45
4.3 Leca Iso 35 blokk med puss (leca m/puss)	48
4.3.1 Målinger og observasjoner	49
4.4 Sandwichelement 380mm (Betong 380)	54
4.4.1 Målinger og observasjoner	55
4.5 Sandwich 430 vegg (Betong 430)	56
4.5.1 Målinger og observasjoner	57
4.6 Sandwich 430mm gammel (Betong G430)	61
4.6.1 Målinger og observasjoner	62
4.7 Sammenlikning	64
5 Diskusjon og konklusjon	65
5.1 Svakheter i forsøket	65
5.2 Diskusjon	66
5.2.1 Lecaforsøkene	66
5.2.2 Betongforsøkene	68



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

5.3 Konklusjon	70
5.4 Forslag til videre arbeid.....	72
6 Kildekritikk.....	73
7 Litteraturliste.....	75
8 Vedleggsliste.....	77



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

Figurliste

Figur 1 De ulike fasene i en brann og overtenning (Sintef-Byggforsk 2012)	18
Figur 2 ISO-834 kurven, illustrasjon Eikeset	20
Figur 3 Leca Iso 35 (Weber-Leca 2011, s. 6).....	27
Figur 4 Betongens relative fasthet (Betongelementforeningen 2007, bind D, s. 19)	29
Figur 5 Armeringens relative fasthet (Betongelementforeningen 2007, Bind D, s. 18).....	31
Figur 6 Oppbygging av sandwichelement (Betongelementforeningen 2006, Bind C, s. 67)	32
Figur 7 PDM-diagonalstige (Peikko 2011, s. 3).....	34
Figur 8 PDM- Diagonalstige (Peikko 2011, s. 4).....	34
Figur 9 Brannovn, illustrasjon Eikeset	37
Figur 10 Fullstendig brannforløp av en liten prøve med EPS og PUR, illustrasjon Bjerke	42
Figur 11 Graf Testforsøk, Illustrasjon Eikeset	43
Figur 12 Testvegg etter forsøk, Illustrasjon Eikeset.....	43
Figur 13 Plassering av sensor, Illustrasjon Eikeset	44
Figur 14 Graf Leca u/puss, Illustrasjon Eikeset	45
Figur 15 Graf Leca u/puss, Illustrasjon Eikeset	46
Figur 16 Logg etter endt forsøk Leca u/puss, Illustrasjon Eikeset	46
Figur 17 Plassering av sensor, Illustrasjon Eikeset	48
Figur 18 Graf Leca m/puss, Illustrasjon Eikeset	49
Figur 19 Graf Leca m/puss, Illustrasjon Eikeset	50
Figur 20 Logging etter endt forsøk Leca m/puss, illustrasjon Eikeset	51
Figur 21 Lecaforsøkene, Illustrasjon Eikeset	53
Figur 22 Plassering av sensor, Illustrasjon Eikeset	54
Figur 23 Graf, Betong 380, Illustrasjon Eikeset.....	55
Figur 24 Plassering av sensor, Illustrasjon Eikeset	56
Figur 25 Graf Betong 430, Illustrasjon Eikeset.....	57
Figur 26 Brannforsøk med Betong 380, 430, Illustrasjon Eikeset	60
Figur 27 Plassering av sensor, illustrasjon Eikeset	61
Figur 28 Graf, Betong G430, Illustrasjon Eikeset.....	62
Figur 29 Avskalling Betong G430, Illustrasjon Eikeset.....	63
Figur 30 Sammenlikning av forsøk, Illustrasjon Eikeset	64



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

Tabelliste

Tabell 1 Oversikt over brannbegrensende vegger, Illustrasjon Sæther	20
Tabell 2 § 11-6 brannveggens brannmotstand avhenging av spesifikk brannenergi (DiBK, § 11-6) .	22
Tabell 3 Branntekniske egenskaper, (Sintef-Byggforsk 2004, 573.344)	24
Tabell 4 Tykkelse på ikkebærende vegger, (Betongelementforeningen 2007, Bind D, s. 33)	30
Tabell 5 Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer (Sintef-Byggforsk 2003c, 471.010, tabell 21).....	36
Tabell 6 Observasjon forsøk, Illustrasjon Eikeset	45
Tabell 7 Observasjon forsøk, Illustrasjon Eikeset	49
Tabell 8 Observasjoner forsøk, Illustrasjon Eikeset.....	55
Tabell 9 Observasjoner forsøk, Illustrasjon Eikeset.....	57
Tabell 10 Observasjoner forsøk, Illustrasjon Eikeset.....	62
Tabell 11 Observasjoner samlet, Illustrasjon Eikeset.....	64
Tabell 12 Svar på innledning, illustrasjon Bjerke	70



Definisjoner og ordforklaringer

A2-S1-D0: Brannklasse for ubrennbart/ begrenset brennbart materialet.

Antennesevne: Mål på hvor lett et prøvelegeme kan antenne av en ekstern varmekilde under angitte prøvebetingelser.

Antennestemperatur: Lavest temperatur der et materiale antennes og oppnår vedvarende forbrenning under angitte prøvebetingelser.

Avskalling: Når biter/ flak skaler av et element.

Betong 380: Forkortning på beskrivelse av sandwich element prøvestykke på 380 mm (100 mm betong – 200 mm EPS – 80 mm betong).

Betong 430: Forkortning på beskrivelse av sandwich element prøvestykke på 430 mm (150 mm betong – 200 mm EPS – 80 mm betong)

Betong G430: Forkortelse på beskrivelse av ”gammel” (8 måneder) sandwich element prøvestykke på 430 mm (150 mm betong – 200 mm EPS – 80 mm betong).

BMB: Brannvernsamarbeidet mur og betong.

Branneksonert side: Den siden av vegg det blir påført varme.

Brannklassifisering: Angivelse av branntekniske egenskaper basert på standardiserte prøvemethoder og tilhørende klassifiseringskriterier.

Brannvegg: Vegg som erstatter avstand mellom høye bygg med tilstrekkelig brannmotstand og utført i materialer som hindrer ekstern antennelse, slik at en brann ikke kan spre seg den ene eller andre veien mellom bygningene.

Brennbarhet: Evnen et materiale eller produkt har til å brenne ved spesifisert betingelser.

Byggforsk: Del av Sintef som fokuserer på teknisk og samfunnsfaglig forskning, utredning, rådgiving og produkt dokumentasjon.

CO: Kjemisk formel for karbonmonoksid, ofte kalt kullos.

CO₂: Kjemisk formel for karbondioksid.

DiBK: Direktoratet for byggkvalitet.

Ekstern varmekilde: En utenforstående varmekilde.

Endoterm reaksjon: En reaksjon som absorberer energi fra omgivelsene.

EPS: Forkortning for ekspandert polystyren.



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

Euroklasse: Klassifiseringsbetegnelse for produkters egenskaper ved brannpåvirkning i det harmoniserte systemet under EUs byggevaredirektiv

Forbrenning: Eksoterm reaksjon mellom brennbart stoff og en oksidant, vanligvis ledsaget av flammer, gløding eller røykutvikling.

Forskrift: Vedtak som gjelder rettigheter eller plikter til et ubestemt antall eller en ubestemt krets av personer.

HCN: Kjemisk formel for Blåsyre, som er svært helseskadelig.

Kald side: Andre siden av brann eksponert side av veggen.

Nettbøyle: Et K131 armeringsnett formet som en u og lagt i topp og bunn for å styrke element.

PBL: Forkortelse for plan og bygningsloven.

PUR: Forkortelse for isolasjonstypen Polyuretanskum.

Ulmebrann: Forbrenning i materialet som skjer uten flammer.

U-verdi: Er et mål som brukes for å angi varmegjennomgang, og har benevnningen. $W/(m^2K)$

REI 120-M:

R = Bærende funksjon

E = Integritet, flamme og røykskillende funksjon

I = Isolerende funksjon

120 = Antall minutter brannbelastning

M = Mekanisk motstandsevne

Relativ fuktighet: Forholdet mellom vannmengden i luft og den maksimale vannmengden som luften kan inneholde om luften var mettet.

TEK 10: Forskrift om tekniske krav til byggverk.

Varmebru: Oppfører seg likt som en "kuldebru" det er svake områder/punkter i veggen hvor temperatur raskt trenger igjennom.

Termisk konduktivitet: Mål for homogent stoffs evne til å lede varme.

VTEK: Veiledning til Forskrift om tekniske krav til byggverk.

Kilde: Kollegiet for brannfaglig terminologi (<http://www.kbt.no/faguttrykk.asp?uttrykk>)



1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Plan og bygningsloven har som formål å fremme bærekraftig utvikling og stiller følgende tekniske krav til byggverk:

”Ethvert tiltak skal prosjekteres og utføres slik at det ferdige tiltaket oppfyller krav til sikkerhet, helse, miljø og energi, og slik at vern av liv og materielle verdier ivaretas.”

(DiBK 2011, §29-5 Tekniske krav)

Byggteknisk forskrift (forkortet kalt TEK 10) er en forskrift dannet med hjemmel i plan og bygningsloven. Formålet med forskriften er å utdype bestemmelsene gitt i plan- og bygningsloven og sette mer spesifikke krav.

TEK10, Kapittel 2 setter krav til dokumentasjon av ytelser og produkter. Eksempelvis ved brannteknisk prosjektering vil det si at prosjekterende skal utarbeide verifikasjon av funksjonskrav, ytelser og løsninger for å bevise at forskriften blir ivaretatt (DiBK 2012b, kap 11, innledning).

For å bevare forskriftenes funksjonskrav kan dette dokumenteres:

1. Ved å prosjektere konstruksjonen basert på preaksepterte ytelser.
2. Ved analyser som beviser at kravene i forskriften er ivaretatt.

(DiBK 2012b, kap 11, innledning)

Ved prosjektering basert på preaksepterte ytelser skal en følge veiledninger som VTEK 10 eller Byggforskserien utarbeidet av SINTEF Byggforsk. For at preaksepterte ytelser skal bli godkjent må det bli utført en analytisk dimensjonering. Baserer prosjekterende seg på preaksepterte ytelser forenkler man prosessen og man slipper å utføre analytisk prosjektering. Dersom prosjekterende går utenom de preaksepterte løsningene må kravene gitt i TEK 10 dokumenteres ved analyser (DiBK 2012b, kap 11, innledning).



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

Inntil TEK 10 tredde i kraft (01.07.2010) var det kategorisk ”forbudt” i veiledningen å bruke brennbart materiale i en brannvegg i følge VTEK 07 (DiBK, §7-24, s.45). Endringer i VTEK 10 har åpnet for en mulighet å nytte brennbar isolasjon i brannvegger, dersom det blir dokumentert at materialet ikke blir involvert i brannen:

”Brannvegg må i sin helhet bestå av materialer som tilfredsstillter klasse A2-s1,d0 [ubrennbare] og må kunne motstå mekanisk påkjenning. Isolasjonsmateriale som ikke tilfredsstillter klasse A2-s1,d0 kan likevel benyttes når det er dokumentert ved prøvning at materialet ikke blir involvert i brannen i den forutsatte brannmotstandstiden.”

(DiBK, §11-6, veiledning til første ledd)

Oppsummert kan man benytte brennbar isolasjon i brannvegger dersom det blir bevist at brannveggen tilfredsstillter TEK 10. For å dokumentere dette skal vi se på valg av materialer og produkters egenskaper ved brann, hva som skal til for at brannveggene skal være godkjent etter TEK 10.

”(1) Byggverk skal prosjekteres og utføres slik at sannsynligheten for at brann skal oppstå, utvikle og spre seg er liten. Det skal tas hensyn til byggverkets bruk og nødvendig tid for rømning og redning.

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

(DiBK 2012a , §11-9 Materialer og produkters egenskaper ved brann)

TEK 10 sier at så lenge materialer og produkter ikke gir et uakseptabelt bidrag til brannspredning kan brennbar isolasjon nyttes, dersom dette blir dokumentert.



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

1.2 Mål og problemstilling

Målet med prosjektet er å undersøke om brannvegger med brennbar isolasjon kan tilfredsstille kravene gitt i TEK 10 § 11-9. Det vi ønsker å finne ut er:

- Antennelighet i isolasjonen PUR og EPS
- Røykdannelser
- Varmegjennomgang i forskjellige sjikt
- Effekten av brannpåkjenning på veggene

Vi vil gå inn i en casestudie, og gjøre fem uautoriserte småskalaforsøk med bestemte produkter for å se nærmere på dette. I samarbeid med daglig leder Bjørn Vik fra BMB valgte vi å teste vegger av produktet Leca Isoblokk 35 med 150 mm PUR som isolasjon, samt sandwichvegger i betong med 200 mm EPS som isolasjon. Begge disse isolasjonsmaterialene er plastbasert og brennbare.

Problemstilling

Formålet med denne rapporten er å undersøke følgende spørsmål:

Kan en brannvegg med brennbar isolasjon tilfredsstille funksjonskravene gitt i TEK 10 § 11-9?

Andre aktuelle spørsmål:

- Hvilken temperatur blir isolasjonen utsatt for?
- Hvordan oppfører EPS seg sammenlignet med PUR ved brannpåkjenning?
- Hva blir temperaturen på kald side av veggen?
- Hvordan er tilstanden til vegg etter endt forsøk?
- Hvilke av veggene egner seg best?



1.3 Begrensninger

I denne rapporten tar vi for oss bare EPS og PUR isolasjon.

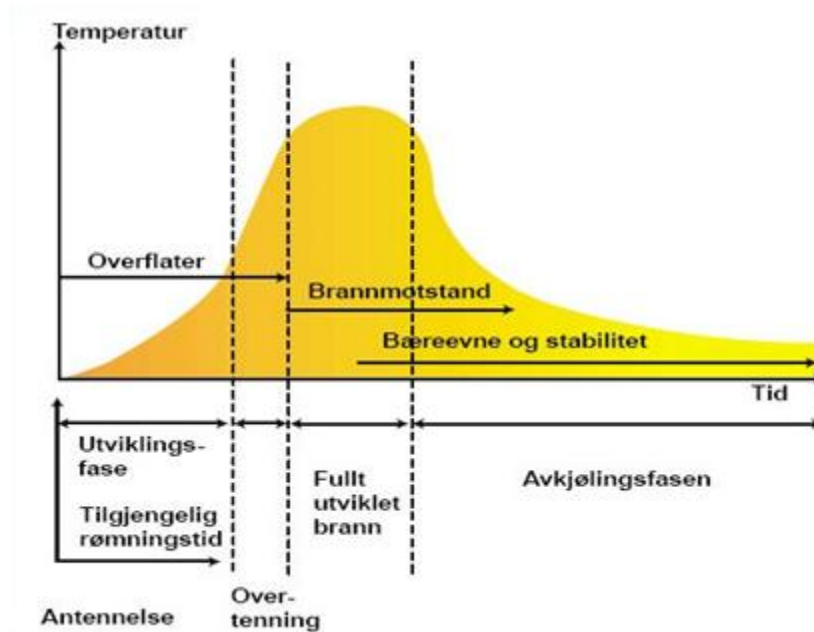
En brannvegg skal ha en minimum brannmotstand på REI 120 – M. Vi har ikke mulighet å teste R og M kravet for brannvegger. Vi skal altså se på om veggene kan godkjennes som en EI 120.

Forsøkene våre følger ingen standardisert prøvemethode. Standardene NS-EN 1364-1:1999 (prøving av brannmotstanden til ikke-bærende vegger) og NS-EN 1363-1 – (prøving av brannmotstand Del 1: generelle krav) er aktuelle for oss å nytte men stiller for spesifikke krav, til at vi med våre rammer i oppgaven og tilgang på teknisk utstyr, klarer å følge disse.

2 Teori

2.1 Brannforløp

Et brannforløp kan deles inn i fire faser, antennelsesfasen, vekstfasen, fullt utviklet brann og utbrenningsfasen (også kalt avkjølingsfasen). Dette illustrert i figur 1. Den viser også betydningen av bygningsmessige ytelser i forhold til brannutvikling. Temperatur og brannutvikling varierer fra brann til brann (Hagen 2004).



Figur 1 De ulike fasene i en brann og overtenning (Sintef-Byggforsk 2012)

Branner starter ved at et fast stoff, gass eller væske blir antent. Etter antennelse kan brannen utvikle seg og bli større. Størrelsen på brannen avhenger av flere faktorer, der de viktigste er tilgangen på brennbar materiale, oksygen og varme. Når brannen har nådd fasen som en fullt utviklet brann, har den vokst seg så stor at alt av brennbar materialet i rommet er involvert. Da kan den ikke vokse mer uten å spre seg til andre rom. For videre utvikling er den nå avhengig av luft. I dette stadiet går brannen fra å være brenselskontrollert til ventilasjonskontrollert. En fullt utviklet brann har et stort forbruk av brennbar materiale. Forbruket vil til slutt medføre at nesten all materiale blir brent opp. Brannen vil da minske i omfang og gå over til utbrenningsfasen (Hagen 2004).

Overttenning forklarer overgangen mellom vekstfasen til fullt utviklet brann. Denne overgangen kan oppstå uten at det skjer overtenning. Dermed blir ikke overtenning regnet



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

som en fase i brannforløpet. Kjennetegn på overtenning er et meget hurtig brannforløp der alle brennbare flater, samt røyklaget under taket blir antent samtidig. Har brannforløpet en sen utvikling vil overtenning inntreffe. Allikevel kan brannen utvikle seg fra vekstfasen til en fullt utviklet brann (Hagen 2004).

2.2 Brannteknisk prøving

Brannforsøk skal utføres etter standardiserte metoder for å dokumentere branntekniske egenskaper til et produkt. Brannteknisk prøving for brennbare produkter kan utføres på to måter; ved avgjørelser av materialets bidrag og fastsetting av brannmotstanden. Altså brennbarheten til materialet og hvordan konstruksjoner responderer på brannbelastninger (Sintef-Byggforsk 2000). Brannmotstanden av et produkt tar for seg produktets stabilitet, integritet og isolasjonsevne. Evnen til å hindre spredning av en brann for og videre unngå antennelse av annet brennbart materiale er spesielt viktig (Sintef-Byggforsk 2000).

ISO 834 definerer en standard temperatur-tidskurve som brannteknisk prøving av konstruksjoner skal følge. Denne kurven representerer eksponeringen som forekommer i et rom ved en fullt utviklet brann.

Eksponeringskurven gitt i ISO 834 er basert på likningen gitt i EN 1363-1:1999 *Prøving av brannmotstand Del 1: Generelle krav*.

$$T = T_0 + 345 \log_{10} (8t + 1)$$

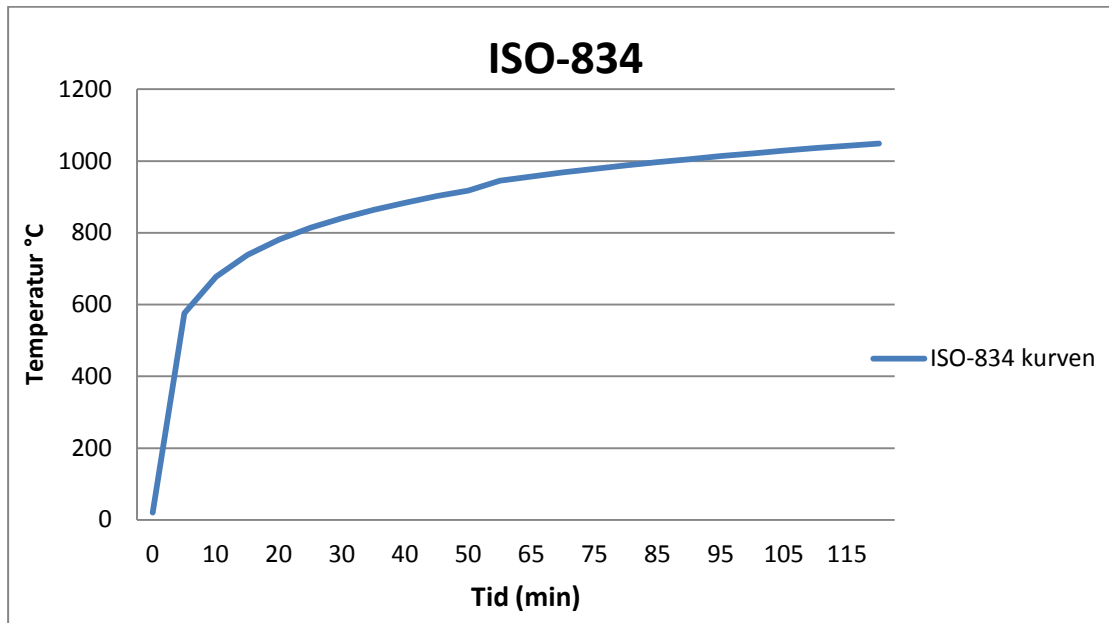
T = Temperatur ved tiden t (°C)

t = tid i minutt

T₀ = start temperatur ved tiden lik null (°C)

(Standard-Norge 1999, s. 12)

I en 120 minutters brann skal da temperaturen i ovnen følge temperaturen illustrert i figur 2.



Figur 2 ISO-834kurven, illustrasjon Eikeset

2.3 TEK 10 om brannvegger

Innen brannbegrensende vegger skiller en mellom brann-, seksjonerings- og branncellebegrensende vegg. Forskjellen på disse er illustrert i tabell 1, forutsatt en spesifikk brannenergi på 400 MJ/m²:

Tabell 1 Oversikt over brannbegrensende vegger, Illustrasjon Sæther

Type vegg	Minste brannmotstand	Hentet fra
Brannvegg	REI 120-M A2-s1,d0	§ 11-6 Tabell 1: Brannveggens brannmotstand avhengig av spesifikk brannenergi.
Seksjoneringsvegg	REI 90-M A2-s1,d0	§ 11-7 Tabell 2: Brannmotstand for seksjoneringsvegg.
Branncellebegrensende vegg	EI 30/EI 60	11-8 Tabell 1: Brannmotstand til branncellebegrensende bygningsdeler



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

2.3.1 Generelt om brannvegger

TEK 10 har satt følgende krav mot brannspredning mellom byggverk:

”(1) Brannspredning mellom byggverk skal forebygges slik at sikkerheten for personer og husdyr ivaretas, og slik at brann ikke kan føre til urimelig store økonomiske tap eller samfunnsmessige konsekvenser”

(DiBK, §11-6, ledd 1)

Avstanden mellom byggverk er avgjørende for hvilke grad nabobyggverket vil være truet av en eventuell brann. Dersom avstanden mellom byggverka er mindre enn 8,0 m er faren for brannspredning til stede (DiBK § 11-6, del 4). Brannspredning innbyrdes byggverk er også aktuelt å forebygge. Det er da mulig å benytte en brannvegg med tilstrekkelig brannmotstand, bæreevne og stabilitet for å motvirke brannspredning.

En brannvegg skal hindre at brann sprer seg fra ett byggverk til et annet, uten at det blir gjort slukningsarbeid for å hindre dette (DiBK 2012b).



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

2.3.1.2 krav til brannvegger

Det blir gitt følgende minimums krav til ytelse av en brannvegg

1. "Brannvegg må ha brannmotstand minst som angitt i tabell 1 (brannveggs brannmotstand avhengig av spesifikk brannenergi)
2. Brannvegg må i sin helhet bestå av materialer som tilfredsstillende klasse A2-s1,d0 (ubrennbar) og må kunne motstå mekanisk påkjenning. Isolasjonsmaterialet som ikke tilfredsstillende klasse A2-s1,d0 kan likevel benyttes når det er dokumentert ved prøving at materialet ikke blir involvert i brannen i den forutsatte brannmotstandstiden." (DiBK, §11-6, Tiltak till brannspredning mellom byggverk)

Tabell 2 § 11-6 brannveggs brannmotstand avhengig av spesifikk brannenergi (DiBK, § 11-6).

Spesifikk brannenergi MJ/m ²	Brannveggs nødvendige brannmotstand
Inntil 400	REI 120-M A2-s1,d0 [A 120]
400-600	REI 180-M A2-s1,d0 [A 180]
600-800	REI 240-M A2-s1,d0 [A 240]

Tabell 2 gir en oversikt over hvilken brannmotstand, angitt i spesifikk brannenergi, brannveggen må ha. Spesifikk brannenergi, q_k er definert som:

$$q_k = \frac{Q_{fi,k}}{A} [MJ/m^2]$$

(Sintef-Byggforsk 2009a, 520.333, kap 3)

hvor $Q_{fi,k}$ er brannenergien angitt i MJ dannet av forbrenning. I vårt tilfelle energien som blir skapt av forbrenning av propan. A er overflatearealet varmemengden virker på.



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

REI 120-M

REI 120 – M er en betegnelse som beskriver et elements minste motstandsevne ved en brann, altså hvilke ytelseskriterier elementet har. 120 er antall minutter veggen skal ha motstandsevne.

R – bærende kapasitet. Elementet bærer en last under hele brannen uten tap av sin strukturelle stabilitet (Standard-Norge 1999).

E – integritet. Elementet har en skillende funksjon. Motstå en brannbelastning på en side uten at brannen blir overført til ueksponert side (kald side) via flammer eller varme gasser (Standard-Norge 1999).

I – isolasjonsevne. Motstå en brannbelastning på en side, uten at varmegjennomgangen i elementet blir så stor at det er fare for antennelse på ueksponert side. Maks temperaturer på ueksponert side er:

”a) øker middeltemperaturen over den opprinnelige middeltemperaturen med mer enn 140 °C; eller

b) øker temperaturen i et hvilket som helst punkt (inklusive det bevelige termoelementet) over den opprinnelige middeltemperaturen med mer enn 180 °C”

(Standard-Norge 1999, s. 24)

M – mekanisk motstandsevne. Evnen til å motstå en mekanisk belastning. Kravet om mekanisk motstandsevne (M) blir ifølge VTEK10 § 11-6 ivaretatt dersom brannveggen blir utført med tunge materialer som betong eller mur (Betongelementforeningen 2007, Bind D, s. 11).

Vi avgrensner rapporten ved og kun se på EI-kravene for veggene.



2.4 Teori om isolasjonsmaterialer. Typer og egenskaper

2.4.1 Branntekniske egenskaper:

I SINTEF sitt byggforsk blad nr. 573.344 Del 7 står følgende om prøving og klassifisering av isolasjon:

”Varmeisolasjonsmaterialers egenskaper ved brannpåvirkning skal klassifiseres i Euroklasser i samsvar med NS-EN 1350-1. Materialene klassifiseres etter hvordan de oppfører seg ved brann.”

(Sintef-Byggforsk 2004, blad 573.344 del 7, Branntekniske egenskaper)

Tabell 3 Branntekniske egenskaper, (Sintef-Byggforsk 2004, 573.344)

Euroklasse	Egenskaper
A1	Ingen overtenning Ingen bidrag til brann
A2	Ingen overtenning Svært begrenset bidrag til brann
B	Ingen overtenning minimum bidrag til brann
C	Overtenning etter 10 minutter Noe bidrag til brann
D	Overtenning mellom 2 og 10 minutter middels bidrag til brann
E	Overtenning før 2 minutter
F	Egenskaper ikke bestemt



2.4.2 Plastisolasjon

Ekspandert polystyren (EPS)

Etter tidligere forsøk gjennomført av Sintef har denne type isolasjon blitt plassert i ”Euroklasse E”. Med en antenneskilde til stede vil EPS begynne å brenne ved temperaturer rundt 230-260 °C. Temperaturen må ellers opp i ca 450-500 °C før EPS vil selvantenne. Materialet vil begynne å mykne ved ca 80 °C, og smelter ved litt over 100 °C. Det at EPS smelter kan gjøre at brannen vil spre seg lettere ved hjelp av brennende dråper. Brann i EPS forløper hurtig med stor røykutvikling. Det er mulig å tilsette brannhemmende middel som vil gjøre det sterkere mot antenning (Sintef-Byggforsk 2004 blad, 573.344).

Røykdannelser

Røykdannelsen som oppstår under brann av EPS består av vanndamp, sot og karbondioksid (CO₂). Ved fullstendig forbrenning frigis stoffet karbonmonoksid (CO) (Jackon-Isolasjon 2012).

Polyuretanskum (PUR)

PUR blir som EPS plassert etter prøving i ”Euroklasse E” av Sintef. Materialet vil begynne å mykne ved temperatur på ca 140 °C. Under forbrenning vil PUR forkulle og virke som et isolerende lag som beskytter underliggende materiale mot varmeeeksponering fra en brann. I et slikt forkullingslag kan det bli utviklet en ulmebrann (Sintef-Byggforsk 2003a).

PUR kan tilsettes brannhemmende middel som gjør det selvslukkende og tungt antennelig (Sintef-Byggforsk 2004, blad 573.344).

Røykdannelser

Skummet brukt i disse veggene brenner med stor røykutvikling. Ved forbrenning frigis det helseskadelige stoffet blåsyre (HCN) (Sintef-Byggforsk 2003b, 573.107).



2.5 Weber Leca produkter

Alle Weber Leca produkter er bygd opp med Leca Lettklinker (løs Leca). Dette er et rent naturprodukt produsert av ekspandert leire. Det er et tilnærmet kuleformet granulat med et tett keramisk skall omkring en porøs kjerne. Den porøse kjernen består av 70-75 % luft. (Mursenteret 2001, s. 4). Produktets egenskaper gjør det anvendelig til varmeisolasjon, drenering og lett fyllmasse (Weber-Leca 2011).

Løse Leca-kuler blir blandet med sement, sand, silica og vann deretter støpt i former for å danne Leca-blokker. Konsekvent holder produsenten andelen sand i blandingen så lav som mulig slik at sanden ikke fyller hulrommene mellom Lecakulene. Sementen og silica har som funksjon å binde sammen kulene i kontaktoverflatene. I en støpt Leca-blokk utgjør poresystemet mellom kulene 15-40 % av det totale volumet, samtidig som den porøse kjernen består av 70-75 % luft (Mursenteret 2001, s. 10).

For å gi en vegg av Leca-blokker bedre isolasjon – og brannmotstandsevne kan veggen påføres et lag murpuss for å gi veggen en tettende funksjon.

Brannmotstand

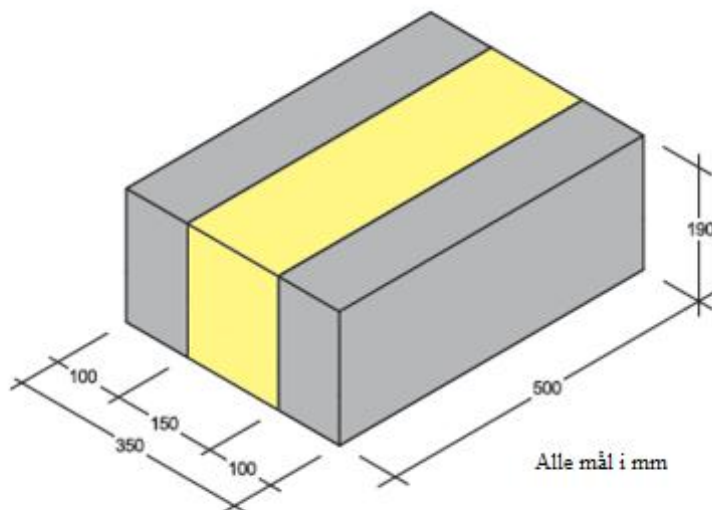
Leca er ubrennbar og avgir ingen helseskadelige gasser ved forbrenning (Denoël 2007, s. 7). Trykkfastheten til lettklinkerbetong avtar med økende temperaturer. Sementlimet i blokkene avtar rettlinjert fra full trykkfasthet ved 300 °C til ingen fasthet ved 800 °C. Leca-kulene blir produsert ved ca 1100 °C (Mursenteret 2001, s. 20) og vil ikke forandre egenskaper før temperaturen når 1200 °C (BMB 2005, s. 18).

Bindemiddelet i murpuss vil miste store deler av sin fasthet ved 550-600 °C. Murpuss vil miste sin fasthet etter 25-30 minutter ut i en eventuell brann. Selv om pussen har mistet sin fasthet viser forsøk at pussen ikke faller av veggen og ivaretar sin tettende funksjon under resten av brannforløpet (BMB 2005, s. 18).

2.5.1 Leca Isoblokk 35cm

Leca isoblokk er et veggssystem satt sammen av ”byggeklosser”. For å binde alle blokkene sammen ved muring blir det kombinert mørtel og armeringsjern i horisontalfugene. I ett og samme produkt får en bæring og varmeisolasjon (Weber-Leca 2011).

Sideveggene i Leca Isoblokk, også kalt ”vangene” består av Leca. Som bindemiddel mellom vangene blir det brukt stivt polyuretanskum (PUR) med en tykkelse 150 mm. Skummet har mekaniske egenskaper som gir varig vedheft og er sammenbindingen til Leca vangene samtidig som PUR-en fungerer som varmeisolasjon (Weber-Leca 2011).



Leca Isoblokk 35 cm Standardblokk

Figur 3 Leca Iso 35 (Weber-Leca 2011, s. 6)



2.6 Betong

Betong er et av de viktigste og mest brukte bygningsmaterialene vi har. Årsaken er at råmaterialene til betong kan hentes fra stort sett hele verden og materialet har stor tilpassningsmulighet. Avhengig miljøbelastningene kan egenskapene til betongen dimensjoneres etter ønsket funksjon. Bruksegenskapene til betong er at den har stor motstandsstyrke, den er ubrennbar, stor bestandighet og lang levetid.

Bruksområdene til betong varierer i alt fra komplekse konstruksjoner som broer, sokkelen til oljeplattformer og tunneller til mindre komplekse bygg.

Betong består av sand, grus, stein, sement, vann og diverse tilsetningsstoffer. Sement er bindemiddelet i betongen hvor 90-95 % av sementen består av de fire mineralene kalsium, silisium, aluminium og jern. Tilsetningsstoffene har ulike funksjoner som for eksempel akselerering av herdingen eller stoffer for å gjøre betongblandingen mer plastisk (Neville og Brooks 1987).

2.6.1 Betongens termiske egenskaper

Betong er ubrennbart og avgir ingen helseskadelige gasser ved forbrenning (Denoël 2007, s. 7). Under brannpåkjenning går sementen i betong igjennom en endoterm reaksjon. Ved slike påkjenninger vil fuktinnholdet i betongen fordampe, og gi en forsinket varmegjennomgang i sjiktet. Disse to fenomenene er med på å dempe varmeinntregningen i betongkonstruksjonen.

Ved beregninger av temperaturutviklingen i vegg definerer *Structural design for fire safety* følgende formler:

$$T_w = \eta_w T_f \quad (9.1)$$

$$\eta_w = 1 - 0,0616 t_h^{-0,88} \quad (9.2)$$

$$\eta_x = 0,18 \ln \frac{t_h}{x^2} - 0,81 \quad (9.3)$$

$$T_c = \eta_x \eta_w T_f \quad (9.4)$$

(Buchanan 2001 , s 234)

T_w - temperaturen på den branneksponte overflaten

T_f - temperaturen på brannen (temperaturen i ovnen)

T_c - temperaturen i betong

η_w – reduksjonsfaktor som tar hensyn til at temperaturen i den eksponerte overflaten ikke er identisk med temperaturen i ovnen

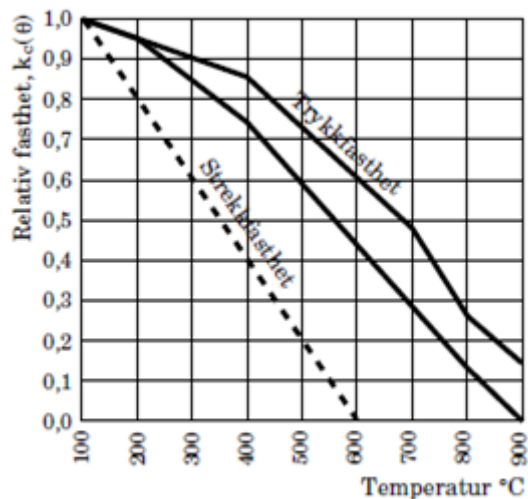
η_x – faktor som angir forholdet i prosent hvor mye av

x - antall meter inn i sjiktet en vil beregne temperaturen

t_h - tiden angitt i timer

2.6.2 Betongens mekaniske egenskaper ved brannpåkjenninger

Betongens karakteristiske fasthet ved brannbelastninger er illustreres i figur 4.



Figur 4 Betongens relative fasthet (Betongelementforeningen 2007, bind D, s. 19)

Figur 4 viser at den relative fastheten til betong blir redusert ved høye temperaturer.



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

Normalt ivaretas dette hensynet til betongens mekaniske egenskaper ved hjelp av kravene til minste tverrsnittsdimensjoner angitt i tabell 4

Tabell 4 Tykkelse på ikkebærende vegger, (Betongelementforeningen 2007, Bind D, s. 33)

Standard Brannmotstand	Minste vegg tykkelse (mm)
EI 30	60
EI 60	80
EI 90	100
EI 120	120
EI 180	150
EI 240	175

Avskalling

”Ved hurtig oppvarming, høye betongtrykkspenninger og små tverrsnittsdimensjoner kan det oppstå en risiko for eksplosiv avskalling i en tidlig brannfase. Spesielt kan dette være kritisk i fersk betong (mindre enn ett år gammel) ved relativ høy fuktighet.”

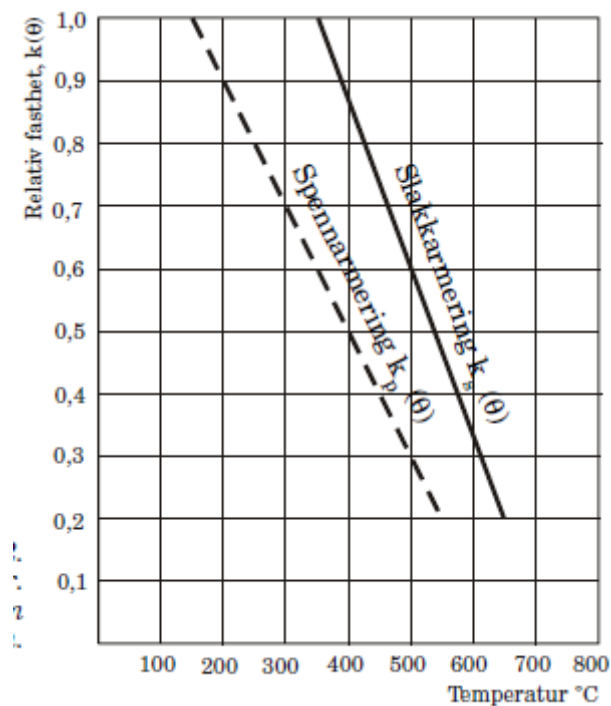
(Betongelementforeningen 2007 Bind D, s, 19)

Avskalling av betong er når biter/flak skaler av elementet. Avskalling er avhengig av mange faktorer og er vanskelig og forutse. I visse tilfeller kan grunner til avskalling være alt fra belastningen av elementet, brannintensiteten, fuktinnholdet i elementet, sementen eller en kombinasjon av disse. Det er generell enighet at fenomenet ofte er knyttet til trykket inne i betongen grunnet vanndamp (Buchanan 2001). Under en brann fordamper vannet fra sementlimet og skaper et poretrykk inne i betongelementet. Da vanntrykket i betongen blir stort nok sprenges betongen av i biter/ flak. Resultatet i rapporten *Concrete Spalling Review* viser at avskalling oppstår ved samme temperaturer uavhengig av temperaturøkningshastigheten. I samme rapport står det at tilsetning av polypropylenfiber i sementblandingen kan forhindre avskallinger under brannpåkjenning. Under en brann vil disse fibrene smelte og skape et hulrom som vanndampen kan slippe igjennom (Khoury og Anderberg 2000).

2.6.2.1 Armeringens mekaniske egenskaper ved brannpåkjenninger

Ved brannbelastet betong er det viktig å se på effekten av brannen på armeringen. Under høye temperaturer vil stålet få en lavere karakteristisk fasthet. Det er derfor viktig å være sikker på at ikke armeringsstålet blir så svekket at betongkonstruksjonen kollapser. Spesielt aktuelt er dette ved belastede elementer. Av figur 5 ser man hvordan den relative fastheten minker ved økende temperaturer.

Stål har en stor varmeledningsevne, men dens betydning for varmeinntregningen i betongsjiktet kan neglisjeres (Betongelementforeningen, s. 18).



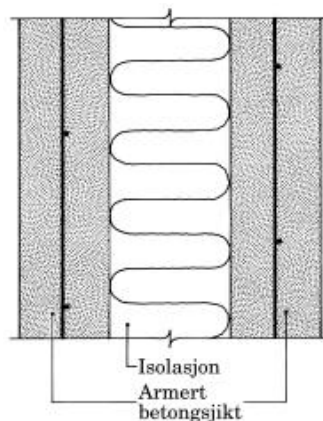
Figur 5 Armeringens relative fasthet (Betongelementforeningen 2007, Bind D, s. 18)

2.7 Sandwichvegger

2.7.1 Generelt om sandwichvegger

Et sandwichelement består av to yttersjikt med et isolasjons sjikt imellom. Slike elementer benyttes hovedsakelig stående i vegger og fasader og som liggende enveisplater.

En sandwichvegg kan generelt tilfredsstillere en rekke byggt tekniske krav som tilstrekkelig bæreevne, lydisolering, brannmotstand og varmeisolering.



Figur 6 Oppbygging av sandwichelement
(Betongelementforeningen 2006, Bind C, s. 67)

2.7.2 Armering i sandwichvegger

Prosjektering av armering i betongskivene utarbeides etter I NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008 – Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner:

”NA.9.6.2 Vertikal armering

NA.9.6.(1) Minste armeringsareal $A_{s,vmin}$ settes lik $0,002 A_c$. Der det legges særlig stor vekt på tetthet bør armeringen være minst dobbelt så stor.

NA.9.6.3 Horisontal armering

NA.9.6.3(1) minste armeringsareal på hver side i dobbeltarmerte vegger, $A_{s,hmin}$, settes lik den største av 25 % av vertikal armeringen på samme side eller for yttervegger $0,3A_c f_{ctm}/f_{yk}$ og for innervegger $0,15A_c f_{ctm}/f_{yk}$. Enkeltarmerte vegger skal ha et tilsvarende armeringsareal”

(Standard-Norge 2008, s. 16)



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

Ved armering av betongsjiktene benyttes ofte standardiserte armeringsnett, kalt K-nett (Betongelementforeningen 2006). I tillegg legger ofte produsenter randarmering, nettbøyler, og løftebøyler for å forsterke elementet ved kantene, slik at det ikke blir ødelagt under håndtering og transport (Se vedlegg E).

En brannseksjoneringsvegg skal i tillegg til å motstå sin egenlast også kunne motstå laster som oppstår ved branner. Laster som dette er beskrevet i NS 3491-2, prosjektering av konstruksjoner. Dimensjonerende laster. Del 2: Påvirkninger ved brann. Den minste verdien som kan settes på denne brannrelaterte lasten er på $0,5 \text{ kN/m}^2$ (Betongelementforeningen 2007, Bind D, s. 33). Denne lasten tar for seg et eventuelt vanntrykk fra en brannslange, vindlast eller konstruksjonsdeler som har rast ned.

Sjiktforbindere

Sjiktforbindere har som funksjon å binde sammen yttersjiktene i en sandwichvegg. Stående sandwichelementer kan bære laster fra takkonstruksjoner eller dekker, og derfor dimensjoneres ofte en av betongskivene som bærende. Den andre betongskiven vil da henge på innerskiven og fungere som beskyttelse for isolasjonen. Sandwichelementet kan også dimensjoneres som ett enkelt element, med samvirke mellom betongsjiktene. Det er da viktig at det legges korrekt mengde sjiktforbindere slik at skjæroverføring mellom sjiktene blir tilfredsstillende. Valget av hvilke sjiktforbindere avhenger av hvordan sandwichelementet er prosjektert samt hva som gir minst komplikasjoner ved utførelsen (Betongelementforeningen 2006).

Betongelementboken Bind C skiller mellom to hovedtyper av sjiktforbindelser i sandwichelementer:

- Diagonalstiger, som overfører vertikale laster (skjærkrefter) og horisontale laster (strek og trykk) mellom sjiktene.
- Ankere som overfører vertikale laster og bøyler som overfører horisontale laster mellom sjiktene.

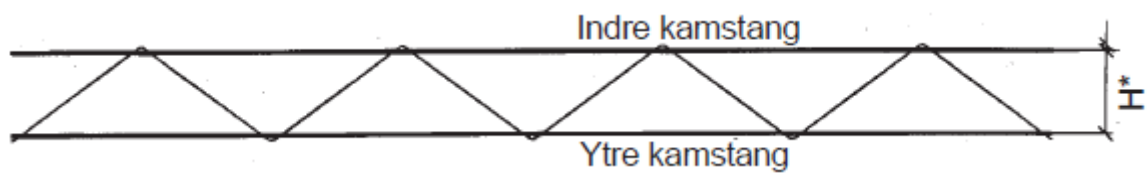
(Betongelementforeningen 2006)

Diagonalstiger

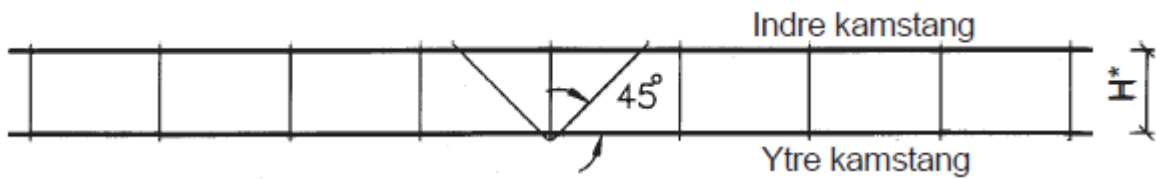
Sjiktforbindelsene kan som nevnt ha to forskjellige funksjonsprinsipp:

1. Sandwichelementet har samvirke mellom inner- og ytterskiven. Dette øker elementets bærekraft. Ved slike tilfeller blir PDM-diagonalstiger benyttet.
2. Innerskiven er konstruert som det bærende elementet, og ytterskiven henger på innerskiven. Ved slike tilfeller blir PTM-diagonalstiger benyttet.

(Peikko 2011)



Figur 7 PDM-diagonalstige (Peikko 2011, s. 3)



Figur 8 PDM- Diagonalstige (Peikko 2011, s. 4)

3 Metode

Rapporten er basert på fem småskalatester gjennomført på brannlaboratoriet til Weber Leca i Lillestrøm. I forsøkene ble de branntekniske egenskapene til betong og Leca undersøkt, hvor bra disse materialene beskyttet isolasjonen. Vi gjorde dette ved å måle temperatur på forskjellige kritiske punkter i veggene fra brannutsatt side til kald side, samt visuelle målinger.

3.1 Produktvalg

Fordelen med vegger i betong og Leca er at materialene er ubrennbare. De vil ikke bidra i brannen. Veggene vil få en varmegjennomgang, og vi kan se hvordan isolasjonen oppfører seg i forhold til dette. Rapporten *Fire safety and concrete structures* utarbeidet av Jean-François Denoël forsterker valg av produkt. Han forteller i sin rapport at bruk av armert betong eller murverk gir konstruksjoner bemerkelsesverdig brannmotstand. Mur og betong avgir ikke røyk eller helseskadelige gasser (Denoël 2007, s. 7).

Betong og Leca vegger er allerede godkjent som en brannskillende vegg (Sintef-Byggforsk 2005). Det å teste sandwichelementer av betong og Leca med isolasjon kan åpne for et produkt som kan motstå brann, har god bæreevne og tilfredsstillende TEK10 sitt isolasjonskrav. Dette produktet kan være interessant å bruke i områder hvor hus står tett og det er krav til brannvegger mot naboer, og i bygg hvor det skal være et brannskille hvor det også er temperaturforskjeller. For eksempel mellom kontor avdeling og et uisolert lager.

Gjennom ekspertintervju med daglig leder av Brannvernssamarbeidet mur og betong (BMB), Bjørn Vik og daglig leder i betongelementforeningen, John-Erik Reiersen kom følgende fordeler med å nytte plastisolasjon kontra mineralull:

- PUR har en bedre isolasjonsevne enn mineralull. Av tabell 1 kan en sammenligne varmekonduktiviteten for diverse isolasjonstyper. Ser en på de laveste verdiene for varmekonduktiviteten har PUR ca 55 % bedre isolasjonsevne enn mineralull ($\frac{0,034}{0,022} \cdot 100 \% = 154,5 \%$). Det fører til at det trengs mer mineralull enn PUR for å få samme U-verdi på veggen. For å tilfredsstillende U-verdi-kravet for vegger kan en dermed nytte 1/3 tynnere sjikt med PUR.



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

EPS og mineralull har tilnærmet identisk varmekonduktivitet, men EPS kan ha andre fordelaktige byggtekniske egenskaper:

- Mineralull holder på fuktighet og kan skape svakheter for isolasjonsevnen og skade materialet rundt. Brennbar isolasjon (EPS eller PUR) tar til seg lite fuktighet (Sintef-Byggforsk 2009b).
- Det er produksjonsteknisk enklere og behandle EPS og PUR kontra mineralull

Tabell 5 Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer (Sintef-Byggforsk 2003c, 471.010, tabell 21)

Materiale	λ [W/mK]
Mineralull	0,034
	0,037
	0,040
EPS	0,035
	0,038
	0,041
PUR	0,022
	0,024
	0,026

3.2 Testutstyr

Under forsøkene ville vi tilstrebe en så nøyaktig 120 min ISO 834-brannkurve som mulig, men ettersom temperaturen på ovnen må styres manuelt kan vi få avvik.

Grunnet fare for helseskadelig gassutvikling ble forsøkene gjennomført utendørs. Veggene ble plassert på en 13mm gips plate for å hindre at veggene er i kontakt med brennbart materiale.

For å bli kjent med ovnen, registreringsutstyr og få et utgangspunkt til hvilke temperaturer vi kunne forvente å oppnå i testene, gjennomførte vi en branntest med en 100 mm tykk vegg av Leca blokker, med fiberarmert puss på begge sider.

3.2.1 Ovn

Brannovnen som blir brukt er produsert i Danmark i 1971 av ingeniør Ove Larsen. Den har et indre brennkammer på ca. 1m x 1m x 1m. Under forsøkene klemmer vi våre testvegger inntil ovnen. Den har to brannfakler som står ovenfor hverandre i de to sideveggene og brenner inn mot sentrum av ovnen. Temperaturen justeres manuelt ved å regulere gass- og lufttrykket inn i ovnen. Temperaturen i ovnen registreres med to følere, en som ligger helt åpent i ovnen og en som er koblet til en metallstav som gjør den litt forsinket.



Figur 9 Brannovn, illustrasjon Eikeset



3.3 Registrering og logging under forsøk

Dokumentasjon

Under testene brukte vi en PLW Recorder (vedlegg C) en 8-kanals logger som registrerte temperatur hvert 5 sekund. I tillegg en 2 kanals manuell logger, som vi registrerte manuelt hvert 5 min.

Følerne vi brukte under testene var termoelementtråd type K24-2-304 (vedlegg C).

Fabrikanten garanterer nøyaktige målinger opp til 540 °C. Weber Leca sitt laboratorium på Lillestrøm har brukt samme type termoelementtråd ved branntesting opp til 1000 °C og har ikke registrert noen problemer med det.

I forkant av forsøkene målte vi relativ luftfuktighet (RF%) i samtlige vegger. For å kunne måle RF% boret vi et hull halvveis inn i det brannekspanerte sjiktet. Deretter plasserte en plasthylse inn i hullet og lot det stå i to dager. Vi hadde ikke tilgang på originale plasthylser men brukte ”pipe coupling 20 mm” (se vedlegg C) som vi tettet på begge sider med ”el-teip” og perforerte med et 3 mm bor så de fikk samme egenskaper som en original plasthylse. Under alle målingene av lufttemperatur, og relativ fuktighet brukte vi en Kimo HD100 (se vedlegg C).

Observasjon

Forsøkene ble filmet med et oversiktskamera. I tillegg ble det brukt et ekstra håndholdt videokamera og fotoapparat. Vi noterte oss tidspunkt og fører følgende visuelle hendelser i tabell;

- avdamping
- avskalling
- synlige sprekker
- slippe vann
- synlig skade på isolasjon
- røykdannelse
- synlig flamme
- avslutning av forsøk



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

De fleste punktene er selvforklarende. Med ”slippe vann” mener når vi når vi ser fuktige felter på veggen, som oftest langs en sprekk på utsiden av ovnen på brannside eller ser vanndråper i underkant. ”Røykdannelse” blir også kun vurdert visuelt, det er vår subjektive mening om når vi tror røyken begynner å bestå av annet enn bare vanndamp.

Vi benyttet også et termografikamera for å avsløre ”varmebruer” i veggen



3.4 Konstruering av vegger

3.4.1 Leca veggene

Leca iso 35 veggene ble bygd opp av Thomas Johnsen som har fagbrev som murer. Veggene ble murt og lagret tørt ved ca 16 °C.

Leca Iso 35 blokk uten fiberpuss. (Leca u/puss)

Denne veggen ble murt opp etter leggeanvisningen til Weber Leca, uten fiberpuss.

Materialene som ble brukt:

- Iso 35 blokk
- Weber mix M5 murmørtel
- Leca laftestrimmel 140 mm
- Leca fugearmering

Se vedlegg F, for detaljerte tegninger av veggen. Den veggen brant vi etter 24 dager herding.

Leca iso 35 blokk med fiberpuss (Leca m/puss)

Denne veggen ble murt opp etter leggeanvisningen til Weber Leca.

Materialene som ble brukt:

- Iso35blokk
- Weber mix M5 murmørtel
- Leca laftestrimmel 140 mm
- Leca fugearmering
- Glassfibernet Weber.therm 397 armeringsnett
- Weber base 621 fiberpuss.

Se vedlegg F for detaljerte tegninger av veggen. Den veggen brant vi etter 23 dager herding.



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

3.4.2 Sandwichveggene

Betongveggene er dimensjonert etter NS-EN 1992-1-1:2004 + NA:2008 (Prosjektering av betongkonstruksjoner). Tabeller vi brukte er hentet ifra Betongelementforening boka bind C og D.

Betongsandwichveggene er bygd opp av Oppland betongindustri etter tegninger fra oss som kan ses i vedlegg E. Vi var til stede for å kontrollere og dokumentere oppbygningen og for å plassere følere (k-tråd) inne i veggene. Veggene ble støpt liggende i en form. Betongen som ble brukt var en B35 med vann/ sement forhold på 0,46 og herdeakselerator SikaAer-S.

Sandwich vegg 380 mm (Betong 380)

Veggen ble støpt etter tegningene i vedlegg E. Veggen består av 100 mm betongsjikt, 200 mm isolasjon (EPS) og et 80 mm tykt yttersjikt av betong. Plassering av sensorer vises i figur 23. Veggene ble støpt og lagret tørt ved ca 16 °C i 17 dager.

Sandwich vegg 430 mm (Betong 430)

Veggen ble støpt etter tegningene i vedlegg E. Veggen består av et 150 mm betongsjikt, 200 mm isolasjon (EPS) og et 80 mm yttersjikt av betong. Plassering av sensorer vises i figur 25. Veggene ble støpt og lagret tørt ved ca 16 °C i 18 dager.

Sandwich vegg 430 mm, 8 måneder gammel (Betong G430)

Grunnet resultatene vi fikk med betongveggene fant Oppland betongindustri en vegg de hadde støpt i juni 2011 med samme dimensjoner og isolasjon som ”vår” 430 mm vegg. Her fikk vi ikke plassert noen følere i betongen, men vi førte 4 følere ned i isolasjonen mellom overgangen isolasjon betong på brannsidene. Vi boret også hull i denne i forkant og satt inn en plasthylse så vi fikk målt RF i veggene før brenning. Veggene ble oppbevart ute hos Oppland Betongindustri og fraktet til Weber Leca 5 dager før brenning, hvor veggene lå tørt og i romtemperatur på 16 °C.

4 Gjennomføring av brannforsøk

Det ble brukt en dag per forsøk for å få samme starttemperatur i ovnen. Det ble gjort observasjoner under og etter brann. Forsøkene ble gjennomført som en EI 120-brann eller så lenge det var forsvarlig.

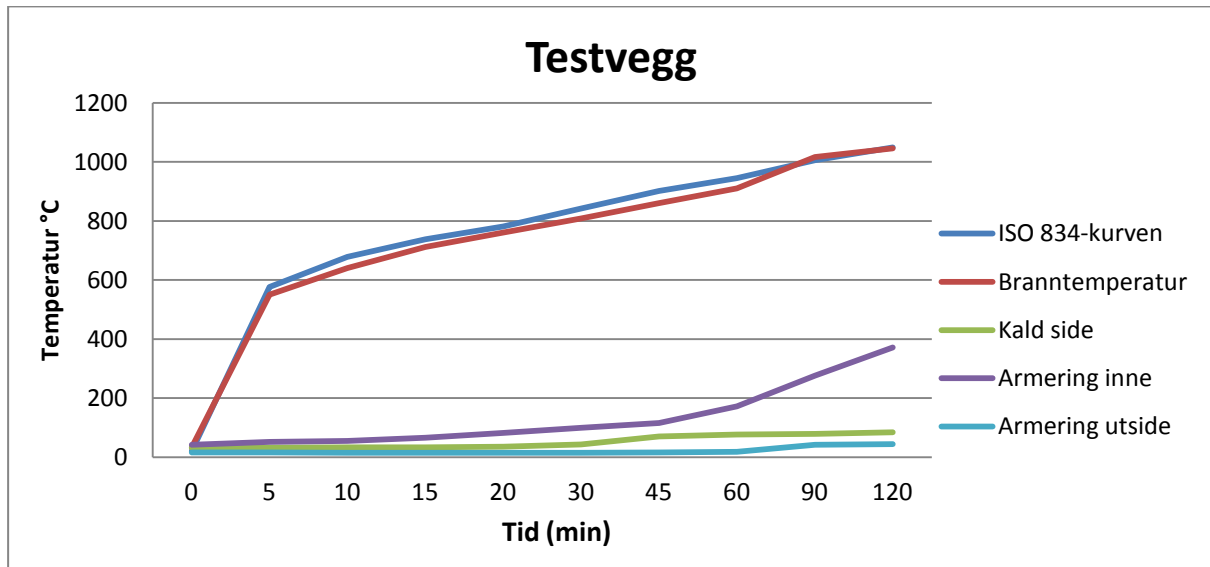
For å se hvordan isolasjonstypene vi nytter reagerer under brann, gjennomførte vi en kort branntest med prøvestykker av PUR og EPS. Vi observerte at flammene spredde seg raskest i PUR, men at det avtok fort grunnet forkulling. EPS isolasjonen smeltet hurtig og brant en stund etter PUR-en hadde selvslukket.



Figur 10 Fullstendig brannforløp av en liten prøve med EPS og PUR, illustrasjon Bjerke

4.1 Leca Testvegg

Målet med denne veggen var å se om vi klarte å følge ISO 834-kurven under forsøket. I tillegg vil temperaturen på kald side gi en indikasjon på hvilke temperaturer isolasjonen vil bli utsatt for i de to andre Leca-forsøkene, ettersom Leca-sjiktene er like tykke. På denne veggen var fugearmeringen synlig på begge sidene, slik at vi under hele forsøket kunne måle temperatur på armeringen midt i veggen og på utsiden som figur 11 viser.



Figur 11 Graf Testforsøk, Illustrasjon Eikeset

Gjennom hele testforsøket holdt vi oss godt innenfor ISO 834-kurven. På kald side ble det registrert en maks temperatur på 97,3 °C. Vi observerte etter endt forsøk at fiberpussen var blitt veldig porøs og hadde ikke lenger noen vedheft til Leca-blokkene.

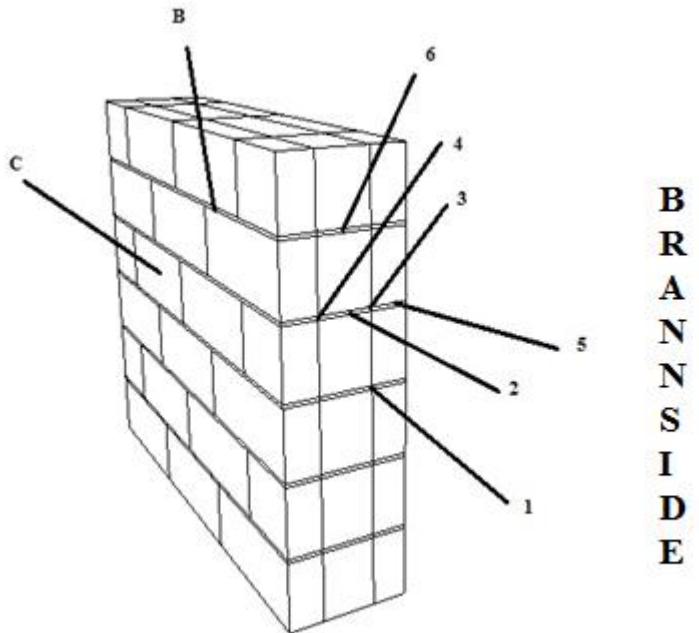


Figur 12 Testvegg etter forsøk, Illustrasjon Eikeset

4.2 Leca iso 35 blokk uten puss (Leca u/puss)

Plassering av sensorer.

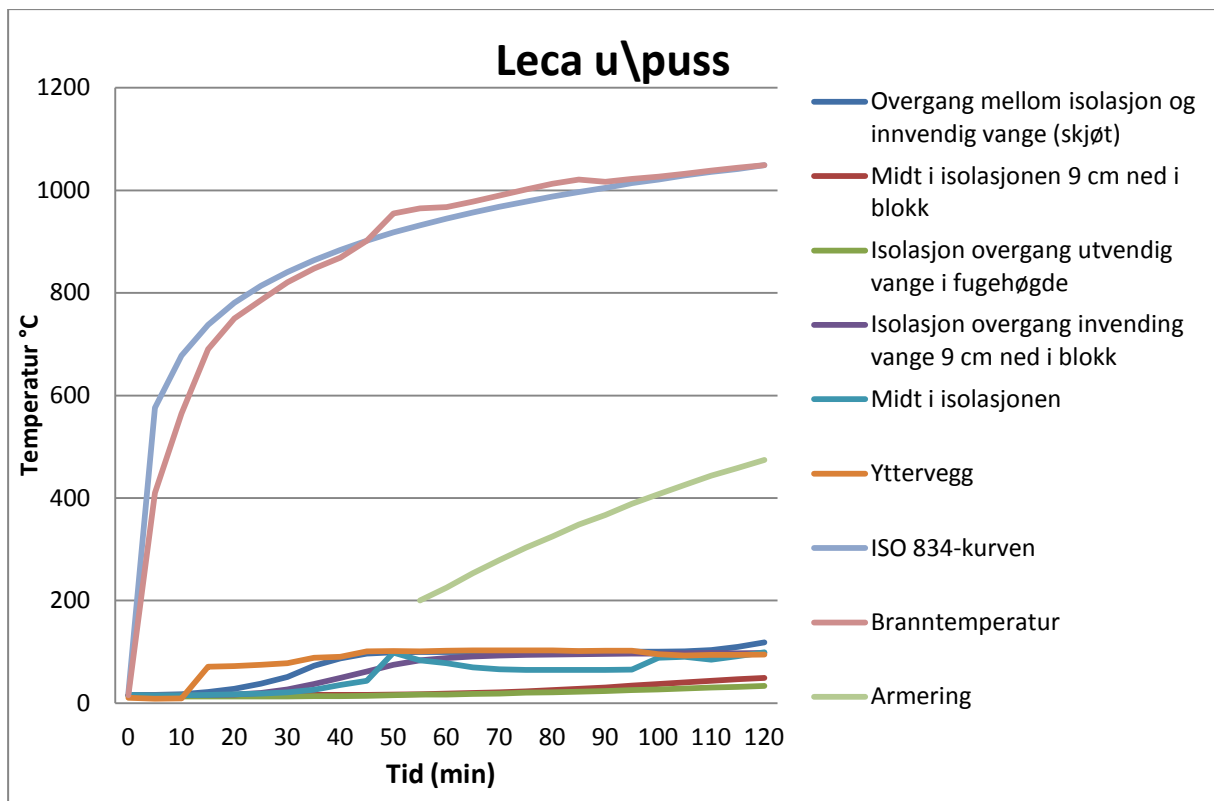
- Sensor 1: Overgang mellom isolasjon og innvendig vange (skjøt)
- Sensor 2: Midten av isolasjonen 9 cm ned i blokk
- Sensor 3: Isolasjonens overgang innvendig vange 9 cm ned i blokk
- Sensor 4: Isolasjonens overgang utvendig vange i fugehøyde
- Sensor 5: Armering inne på varm side
- Sensor 6: Midt i isolasjonen.
- Sensor 7: Inne i ovn
- Sensor B: Yttervegg fuge
- Sensor C: Yttervegg blokk



Figur 13 Plassering av sensor, Illustrasjon Eikeset

I forkant av forsøket ble RF% i veggen målt til 85,1 % ved en temperatur på 16,5 °C.

4.2.1 Målinger og observasjoner



Figur 14 Graf Leca u\puss, Illustrasjon Eikeset

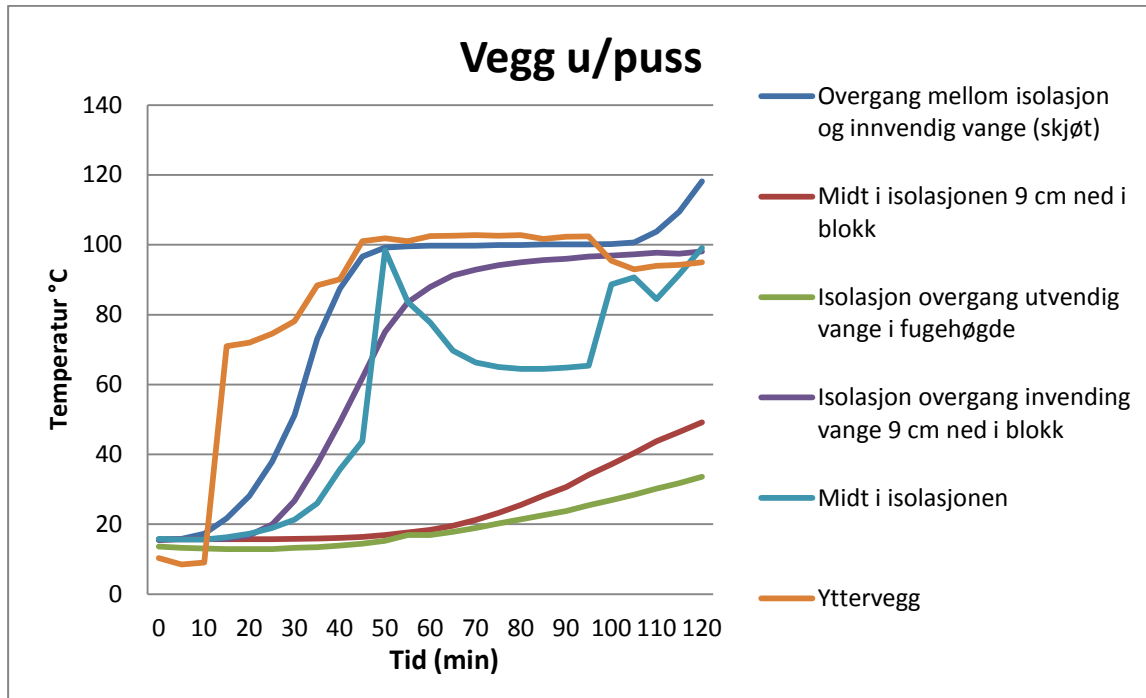
Under forsøket klarte vi å følge ISO 834-kurven på en tilfredsstillende måte.

Temperaturmålingene i armeringen ble ikke registrert før 60 min var passert, grunnet en teknisk feil.

Tabell 6 Observasjon forsøk, Illustrasjon Eikeset

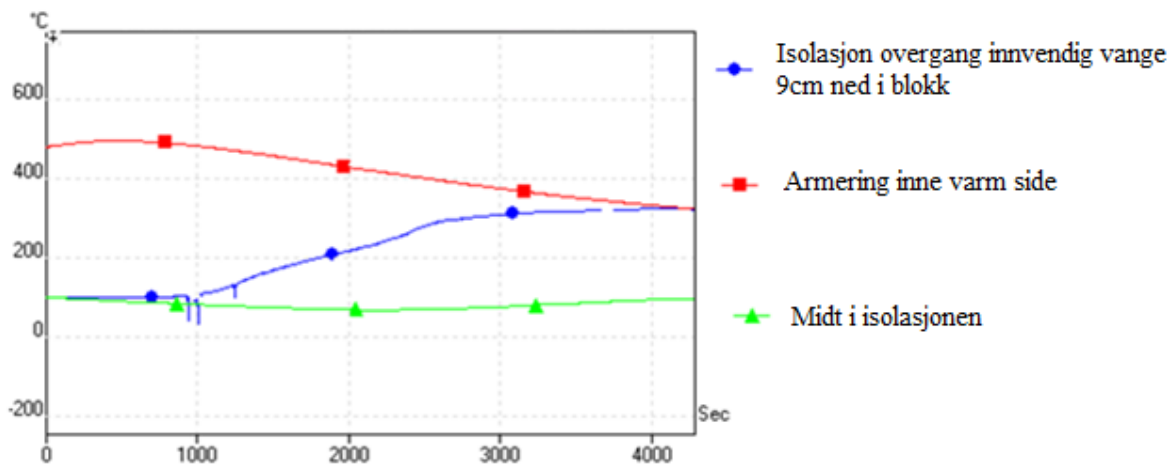
Avdamping	Avskalling	Synlige sprekker	Slippe vann	Synlig skade på isolasjon	Røykdannelse	Synlig flamme	Avsluttet forsøk
6 min	-	79 min	8 min	80 min	98 min	120 min	120 min

Før ti min av forsøket var gått hadde veggen begynt å dampe og slippe vann. 98 min ut i forsøket så vi blå-aktig røyk trengte ut av veggen. Etter 79 min observerte vi sprekke-dannelser i mørtelen (horisontalfugene) på branneksonert side av veggen. På oversiden av veggen så vi tydelig skade på isolasjonen etter 80 min, i denne skaden observerte vi også flammer etter 120 min.



Figur 15 Graf Leca u/puss, Illustrasjon Eikeset

Flere steder i veggen stiger temperaturen raskt. ”overgang mellom isolasjon og innvendig vange” øker til 100 °C og holder den temperaturen fram til 100 min ut i forsøket da den stiger videre. Av figur 15 ser en at følerne som ligger ”skjult” ned i blokkene har en jevn temperaturøkning kontra følerne som ligger i horisontalfugene.



Figur 16 Logg etter endt forsøk Leca u/puss, Illustrasjon Eikeset



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

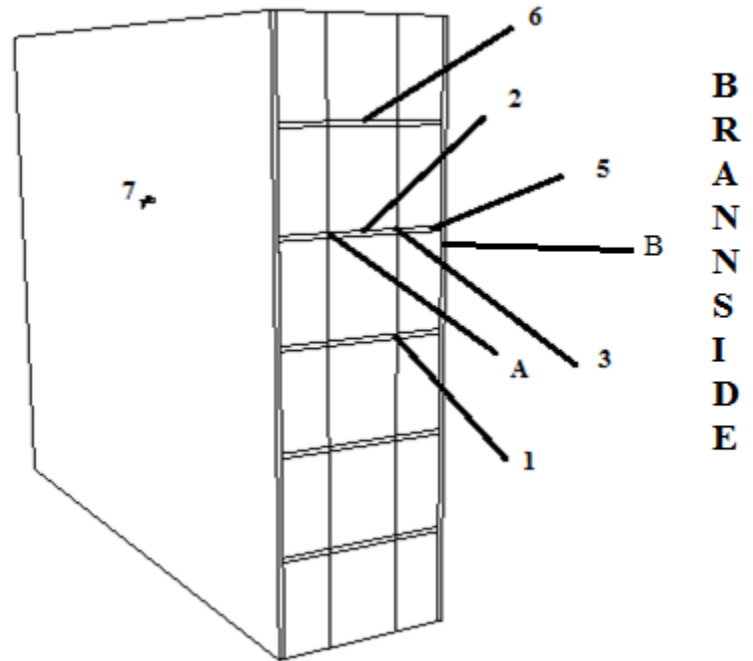
Ved endt forsøk lot vi loggeren fortsette for å se det fullstendige brannforløp i veggen.

Temperaturen i ”isolasjonens overgang innvendig vange 9 cm ned” steg til ca 300 °C, før den begynte å synke. Ved demontering av vegg, observerte at det hadde oppstått forkullingskade i isolasjonen på branneksonert side.

4.3 Leca Iso 35 blokk med puss (Leca m/puss)

Plassering av sensor:

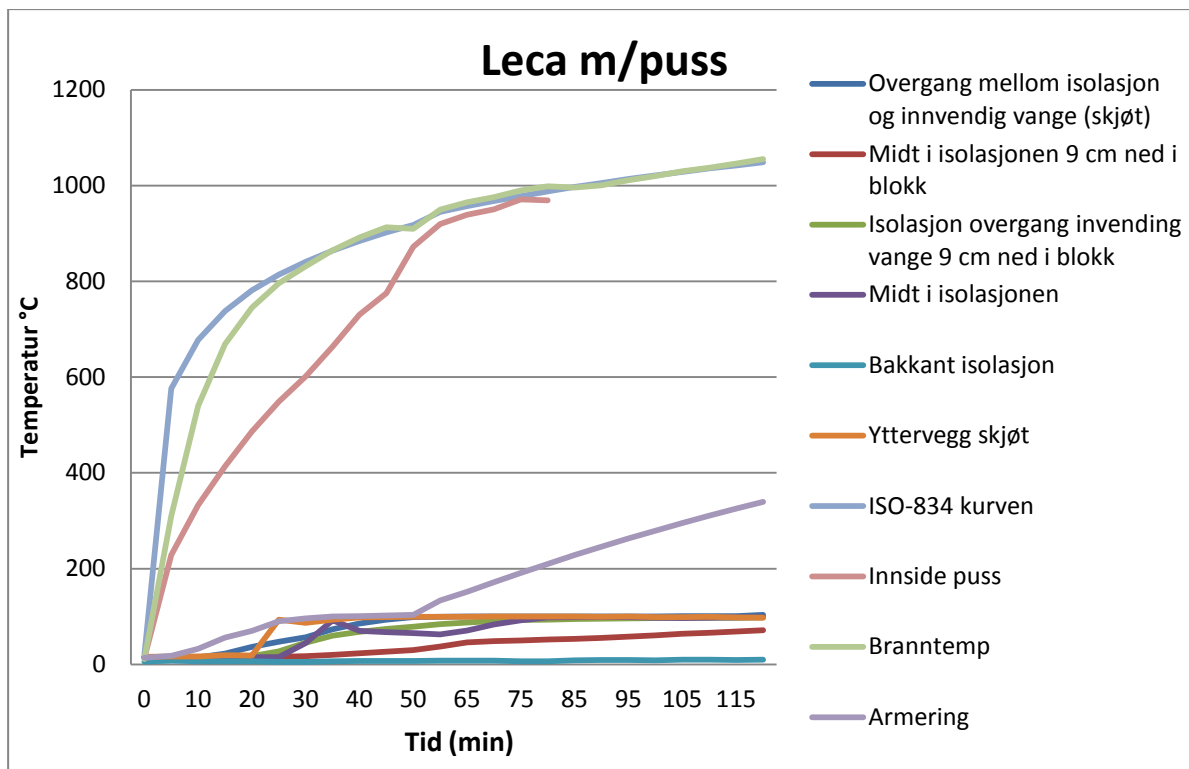
- Sensor 1: Overgang mellom isolasjon og innveding vange (skjøt)
- Sensor 2: Midt i isolasjonen 9 cm ned i blokk
- Sensor 3: Overgang mellom innvendig vange 9 cm i blokk
- Sensor 4: Branntemperatur
- Sensor 5: Armering inne varm side
- Sensor 6: Midt i isolasjon
- Sensor 7: Yttervegg skjøt
- Sensor A: Bakkant isolasjon
- Sensor B: Innside puss brannside



Figur 17 Plassering av sensor, Illustrasjon Eikeset

I forkant av forsøket ble RF% i veggen målt til 81,2 % ved en temperatur på 16,7 °C.

4.3.1 Målinger og observasjoner



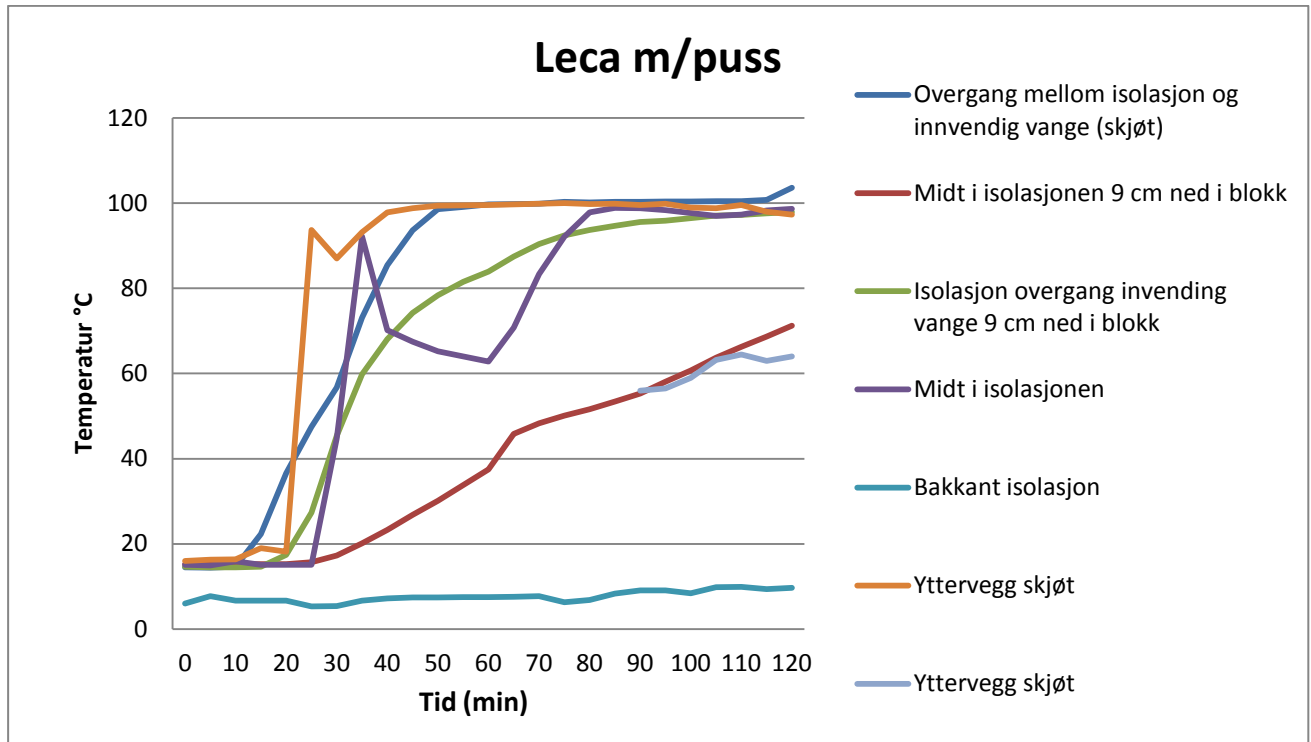
Figur 18 Graf Leca m/puss, Illustrasjon Eikeset

I starten av forsøket lå vi etter angitt i ISO 834-kurven, avviket stabiliserte seg utover i forsøket.

Tabell 7 Observasjon forsøk, Illustrasjon Eikeset

Avdamping	Avskalling	Synlige sprekker	Slippe vann	Synlig skade på isolasjon	Røykdannelse	Synlig flamme	Avsluttet forsøk
4 min	-	89 min	7 min	84 min	-	-	120 min

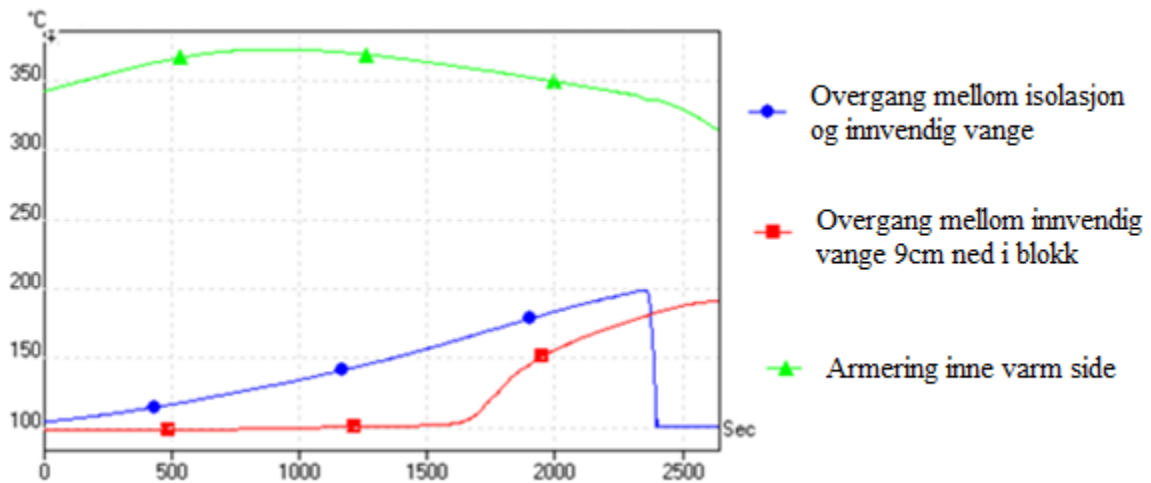
Før ti min av forsøket var gått hadde veggen begynt å slippe vann og avdampe. Under forsøket klarte vi ikke å oppfatte noe annet enn vanndamp i røyken. På toppen av isolasjonen observerte vi en synlig skade etter 84 min.



Figur 19 Graf Leca m/puss, Illustrasjon Eikeset

For å finne ut om det ville være fare videre brannspredning på kaldt side. Monterte vi en ny sensor når det var passert 90 min. Det vart målt temperaturer opp til 64 °C i fugen (se figur 19). Av figur 19 ser en at følerne som ligger ”skjult” ned i blokkene har en jevn temperaturøkning kontra følerne som ligger i horisontalfugene.



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger



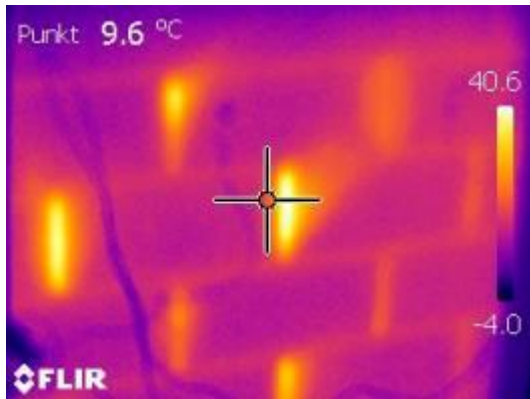
Figur 20 Logging etter endt forsøk Leca m/puss, illustrasjon Eikeset

Da vi var ferdig med branntesten løsnet vi vegg fra ovnen og lot den kjøle seg ned. Vi fortsatte å registrere temperaturen for å se på brannforløpet til vegg. Temperaturen i vegg steg til ca 200 °C før vi avsluttet testen og helte vann på vegg (Se figur 20). Da vi demonterte vegg merket vi at flere av Leca-blokkene hadde mistet sin vedheft til PUR-isolasjonen og kunne enkelt plukke ned Leca-blokkene. Det hadde også oppstått forkulling på 1-2 cm i isolasjonen på branneksonert side.

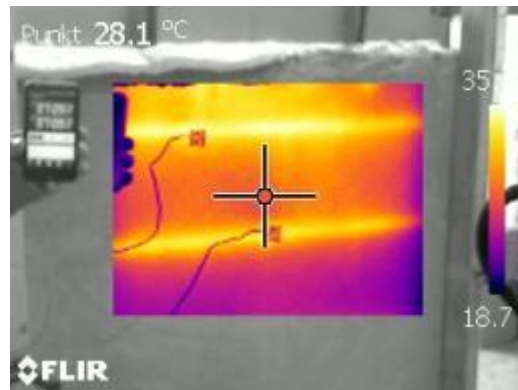
I figur 21 ser du Leca-veggene før, under og etter forsøkene.

Leca u/puss	Leca m/puss
<p data-bbox="416 1487 539 1518">Før brann</p> 	<p data-bbox="1038 1487 1161 1518">Før brann</p> 

Varme gjennomstrømming



Varme gjennomstrømming



Røyk ut av profil (97 min)



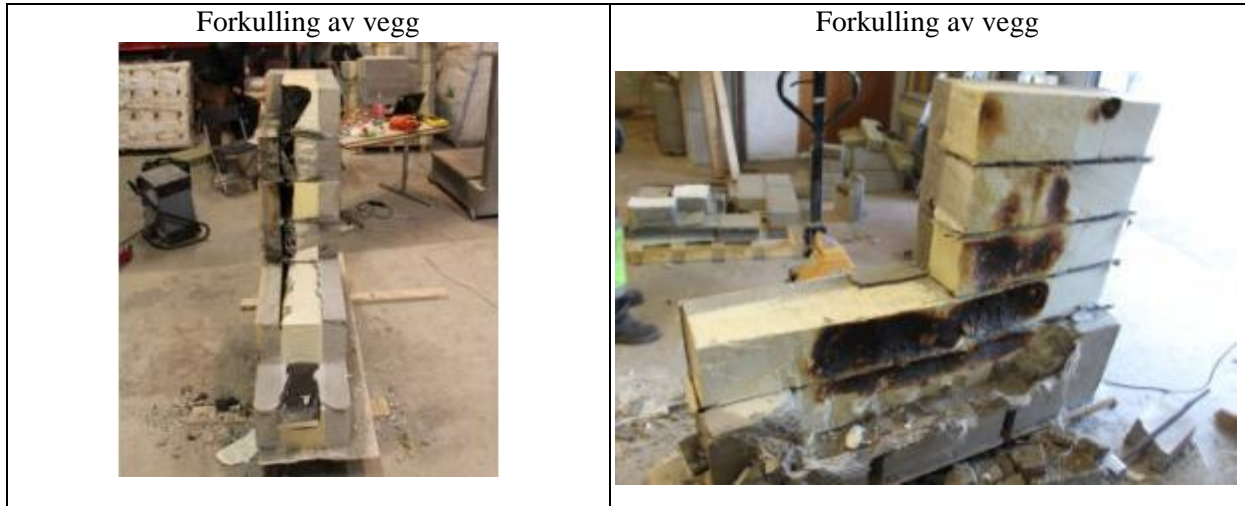
Ingen røykdannelser annet enn vandamp

Sprekk i isolasjon (100 min)



Sprekk i isolasjon (119 min)



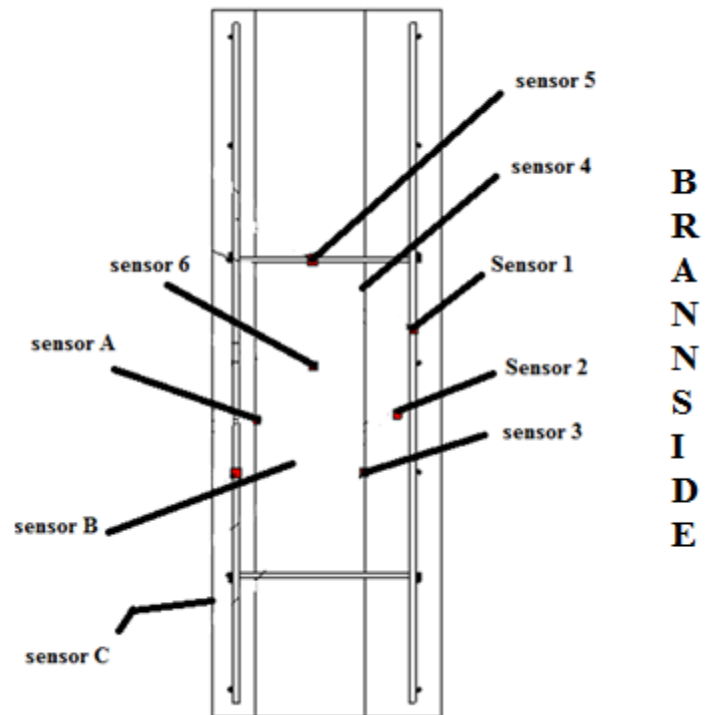


Figur 21 Lecaforsøkene, Illustrasjon Eikeset

4.4 Sandwichelement 380 mm (Betong 380)

Plassering av sensorer:

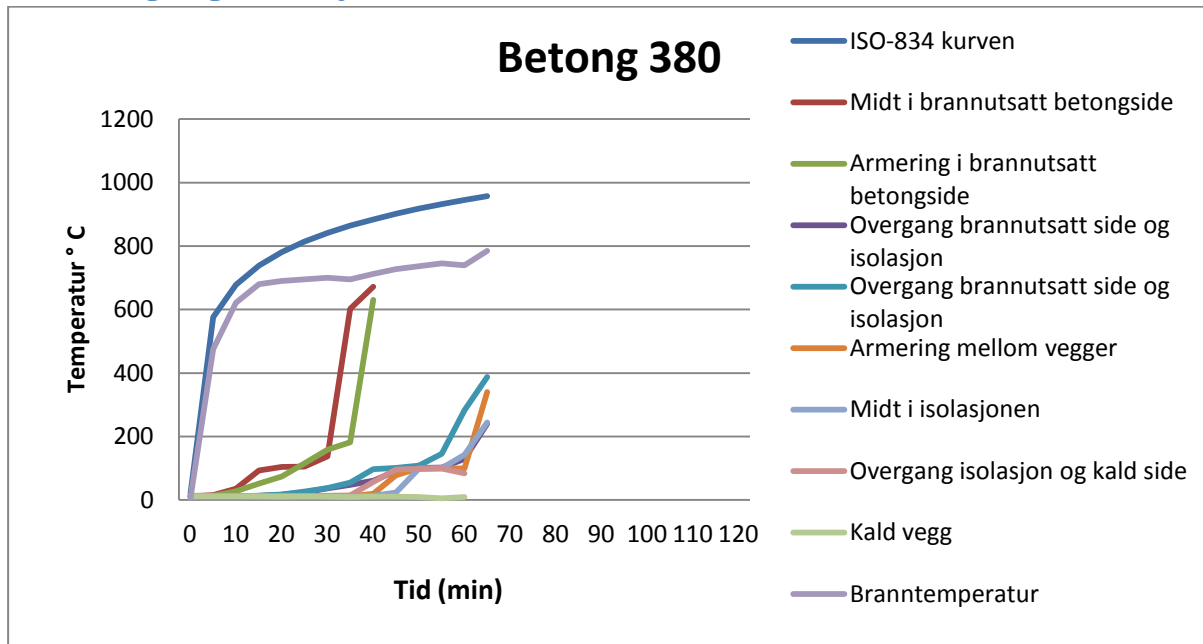
- Sensor 1: Armering i brannutsatt betongside
- Sensor 2: Midt i brannutsett betongside
- Sensor 3: Overgang brannutsatt side og isolasjon
- Sensor 4: Overgang brannutsatt side og isolasjon
- Sensor 5: Armering mellom vegger
- Sensor 6: Midt i isolasjonen
- Sensor 7: Inne i ovn (treg)
- Sensor 8: Inne i ovn (rask)
- Sensor A: Overgang isolasjon kald side
- Sensor B: Midt i isolasjonen
- Sensor C: Kald side



Figur 22 Plassering av sensor, Illustrasjon Eikeset

I forkant av forsøket ble RF% i veggen målt til 86,6 % ved en temperatur på 11,6 °C.

4.4.1 Målinger og observasjoner



Figur 23 Graf, Betong 380, Illustrasjon Eikeset

Allerede 12 min ut i forsøket hørte vi at betongen som var eksponert inne i ovnen begynte å skalle av. Hver gang ovnen nådde en temperatur på ca 640 °C fikk vi eksplosiv avskalling. Som grafen viser hadde vi problemer med å følge ISO-834 kurven.

Tabell 8 Observasjoner forsøk, Illustrasjon Eikeset

Avdampning	Avskalling	Synlige sprekker	Slippe vann	Synlig skade på isolasjon	Røykdannelse	Synlig flamme	Avsluttet forsøk
22 min	12 min	12 min	17 min	44 min	46 min	-	65 min

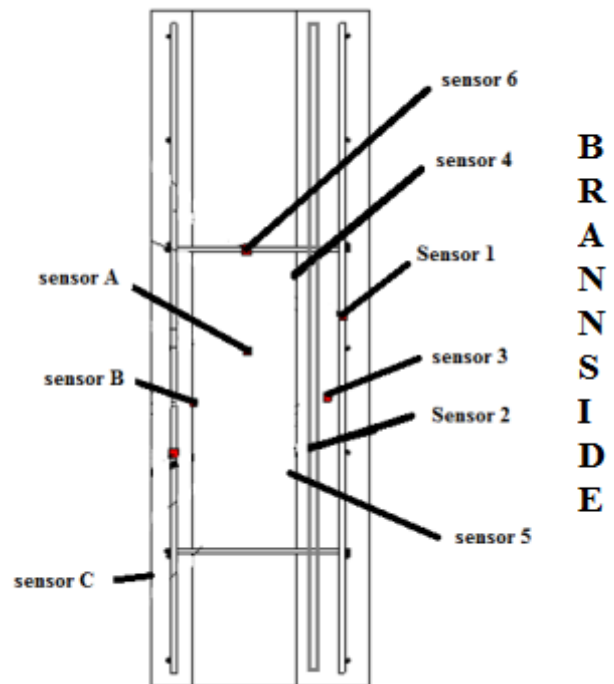
Samtidig med avskallingen oppstod det sprekker på det eksponerte betongsjiktet. Det begynte å renne vann fra veggen etter 17 min og avdampe etter 22 min. Avskallingen førte at flere sensorer ble eksponert direkte i ovnen, og vi mistet kontakten med dem kort tid etter.

44 min ut i branntesten begynte isolasjonen i toppen av sandwichveggen å bule og vi kunne tydelig se at isolasjonen var påvirket av varmeutviklingen i veggen. Etter 46 min utviklet veggen svart røyk. Etter ca en time hadde isolasjonen i overkant smeltet bort og vi valgte da å avslutte forsøket. Etter å ha skilt vegg fra ovn observerte vi at avskallingen hadde sprengt et åpent hull inn til isolasjonen (figur 27).

4.5 Sandwich 430 mm vegg (Betong 430)

Plassering av sensorer:

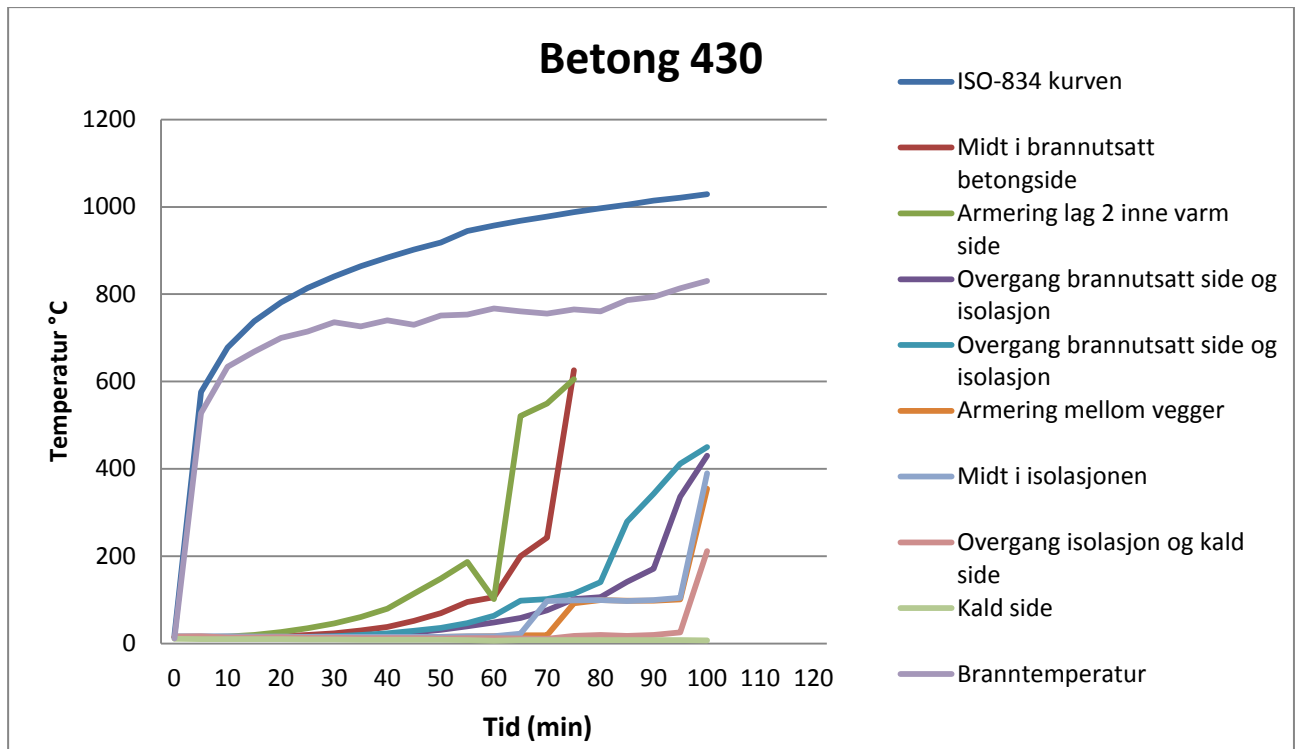
- Sensor 1: Armering første lag varm side
- Sensor 2: Armering andre lag varm side
- Sensor 3: Midt i brannutsatt betongside
- Sensor 4: Overgang brannutsatt side og isolasjon
- Sensor 5: Overgang brannutsatt side og isolasjon
- Sensor 6: Armering mellom vegger
- Sensor 7: Inne i ovn (rask)
- Sensor 8: Inne i ovn (treg)
- Sensor A: Midt i isolasjonen
- Sensor B: Overgang isolasjon og kald side
- Sensor C: Kald side



Figur 24 Plassering av sensor, Illustrasjon Eikeset

I forkant av forsøket ble RF% i veggen målt til 81,2 % ved en temperatur på 15,6 °C.

4.5.1 Målinger og observasjoner



Figur 25 Graf Betong 430, Illustrasjon Eikeset

På samme måte som betong 380 veggen fikk vi eksplosiv avskalling etter 12 min. Like etter avskallingen begynte observerte vi sprekker i det eksponerte betongsjiktet. Som grafen illustrerer hadde vi problemer med å følge ISO-834 kurven.

Tabell 9 Observasjoner forsøk, Illustrasjon Eikeset

Avdamping	Avskalling	Synlige sprekker	Slippe vann	Synlig skade på isolasjon	Røykdannelse	Synlig flamme	Avsluttet forsøk
30 min	12 min	14 min	19 min	68 min	89 min	102 min	102 min

Det begynte å renne vann av veggen etter 19 min og dampe etter 30 min. 68 min ut i forsøket begynte isolasjonen og bule i toppen av elementet. Etter 89 min utviklet veggen svart røyk og ved 100 min var røykdannelsen blitt så stor at vi valgte å stoppe forsøket. Idet vi stoppet ovnen, ble isolasjonen antent.

I figur 26 ser du sandwichveggene før, under og etter forsøkene.

Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

Betong 380	Betong 430
<p data-bbox="400 360 560 394">Før brenning</p> 	<p data-bbox="1023 333 1182 367">Før brenning</p> 
<p data-bbox="339 927 620 960">Vann lekkasje (17 min)</p> 	<p data-bbox="962 927 1243 960">Vann lekkasje (19 min)</p> 

Røyk ut av profil (52 min)



Røyk ut av profil (89 min)






Isolasjonen har smeltet bort (65 min) forsøket ble avsluttet like etterpå



Isolasjonen har smeltet bort (100 min)



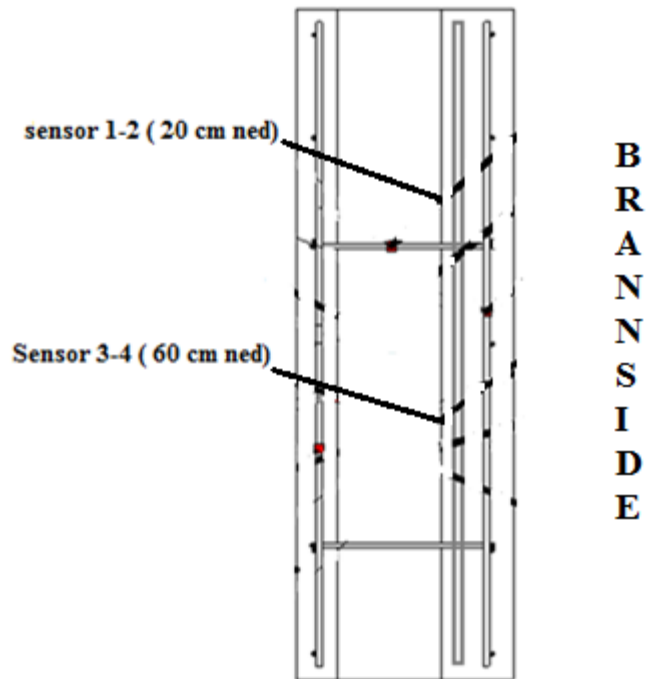
<p>Isolasjonen antente ikke</p>	<p>Isolasjon tar fyr (102 min)</p> 
<p>Avskallinger</p> 	<p>Avskallinger</p> 

Figur 26 Brannforsøk med Betong 380, 430, Illustrasjon Eikeset

4.6 Sandwich 430mm gammel (Betong G430)

Plasseringen av sensorer.

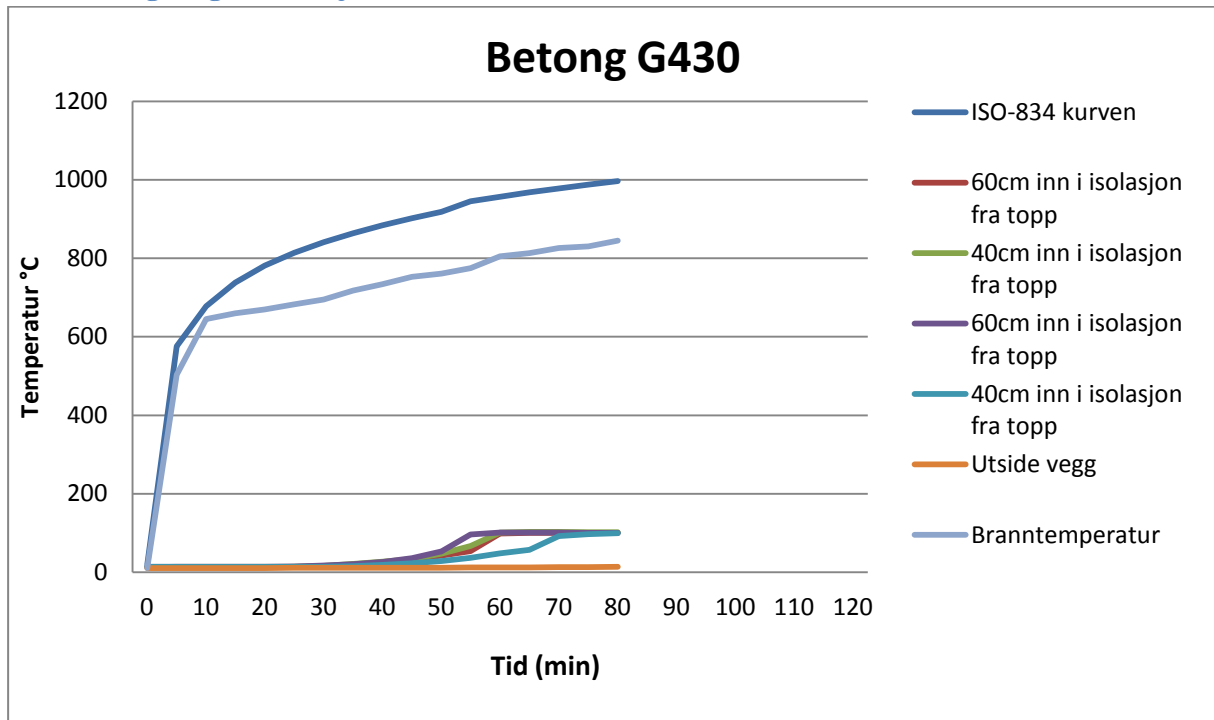
- Sensor 1: (20 cm ned på vegg, venstre side)
- Sensor 2: (20 cm ned på vegg, høyre side)
- Sensor 3: (60 cm ned på vegg, venstre side)
- Sensor 4: (60 cm ned på vegg, høyre side)



Figur 27 Plassering av sensor, illustrasjon Eikeset

I forkant av forsøket ble RF% i veggen målt til 92,3 % ved en temperatur på 13 °C.

4.6.1 Målinger og observasjoner



Figur 28 Graf, Betong G430, Illustrasjon Eikeset

Veggen begynte som de andre betongveggene å skalle av 12 min ut i forsøket. Vi observerte at avskallingene begynte ved ca 640 °C branntemperatur i ovnen.

Tabell 10 Observasjoner forsøk, Illustrasjon Eikeset

Avdamping	Avskalling	synlige sprekker	slippe vann	Synlig skade på isolasjon	røykdannelse	Synlig flamme	Avsluttet forsøk
49 min	12 min	15 min	36 min	64 min	-	-	79 min

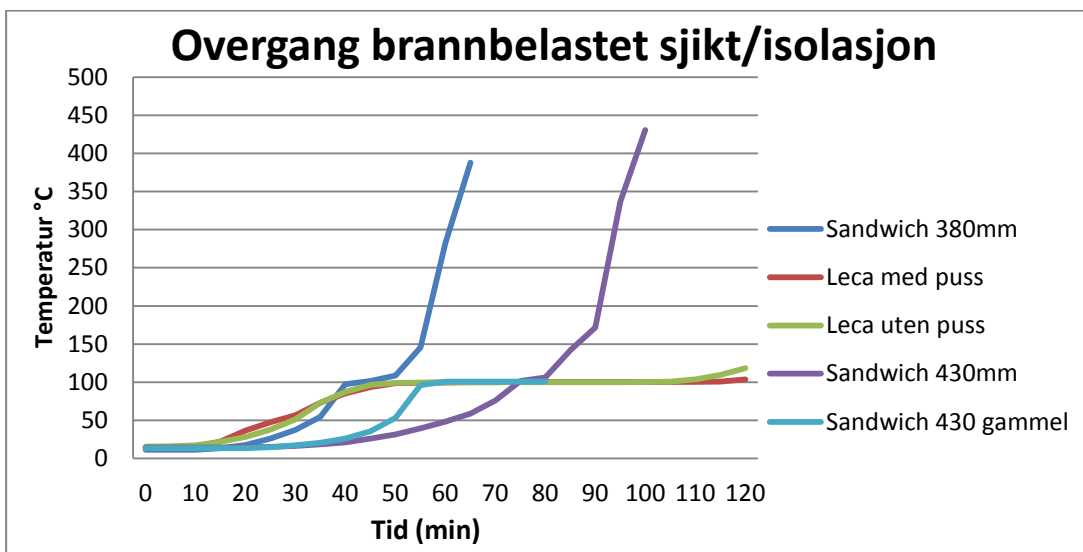
Etter 15 min kunne vi se sprekkdannelser i betongen. Etter 36 min begynte vi å se vann dryppe ut av betongen. Lengre ut i forsøket begynte avskallingen å avta, samtidig som temperaturen stabiliserte seg og var på vei opp igjen. Etter 79 min oppstod det mekaniske problemer med ovnen som gjorde at vi måtte avslutte forsøket, ved dette tidspunktet hadde isolasjonen begynt å bule i toppen. Vi skilte veggen fra ovnen og så at det var bare 4,5 cm igjen av betong før det hadde blitt direkte hull inn til isolasjonen.



Figur 29 Avskalling Betong G430, Illustrasjon Eikeset

4.7 Sammenlikning

For å samle alle forsøkene og se på det som er essensielt med forsøket er (figur 30) middeltemperaturen i overgangen Leca/ betong og isolasjon på brannside. Da ser vi at temperaturen i Leca-veggene, steg fort opp til 100 °C og stabiliserte seg. I betongveggene kommer det veldig tydelig frem når avskallingen har gått helt inn til isolasjonen og den blir eksponert for varme. Avskallingen på betongveggene oppstod ved nesten identisk temperatur på betongveggene.



Figur 30 Sammenlikning av forsøk, Illustrasjon Eikeset

Tabell 11 Observasjoner samlet, Illustrasjon Eikeset

	Avdamping [min]	Avskalling [min]	Synlige sprekker [min]	Slippe vann [min]	Synelig skade på isolasjon [min]	Røykdannelse [min]	Synelig flamme [min]	Avslutning forsøk [min]
Leca u/puss	6	-	79	8	80	98	120	120
Leca m/puss	4	-	89	7	84	-	-	120
Betong 380	22	12	12	17	44	46	-	65
Betong 430	30	12	14	19	68	91	102	102
Betong G430	49	12	15	36	64	-	-	79

5 Diskusjon og konklusjon

5.1 Svakheter i forsøket

Forsøket ble ikke utført etter standardisert testmetode. Dermed knyttes det usikkerhet i sammenligningsgrunnlag fra våre forsøk med tidligere forsøk.

Vi hadde ikke mulighet til å måle den spesifikke brannenergien ovenn hadde under forsøkene. Vi kan ha hatt høyere brannintensitet enn hva kravet tilsier (Se tabell 2). Resultatene våre kan da være noe dårligere enn hva en ovn med korrekt brannintensitet ville ha gitt.

K-trådene registrerer temperaturen ytterst på tråden. Temperaturene i veggene kan variere fra forskjellige steder i samme sjikt dvs. at f eks. isolasjonen kan ha blitt utsatt for høyere temperaturer enn vi har registrert. Dette kommer godt fram i resultatet av Betong G430 (figur 28). Der vi har to sensorer 40 cm ned i overgang isolasjon betong på brannutsatt side. Etter 60 min er det over 50 °C forskjell på disse to punktene. Leverandøren av K-trådene garanterer ikke nøyaktig verdier over 540 °C. Brannlaboratoriet ved Weber Leca har gode erfaringer ved bruk av disse K-trådene i temperaturer opp mot 1000 °C. Resultatet kan likevel ha fått innvirkning på dette og ved de høyeste temperaturene kan det være avvik.

I temperaturmålingene er det vanskelig å si konkret hva som foresaker temperaturen. Det kan være vanndamp, varmegjennomgang, ulmebrann eller en kombinasjon av disse. Vi ser i resultatene (figur 15 og 18) at temperaturene som ligger ”skjult” har en jevn temperaturkurve kontra de som ligger midt i skjøt. Dette er damp som trenger igjennom fugene. Dette kommer tydeligst fram i forsøkene med Leca som har god evne å slippe fukt grunnet luftporene.



5.2 Diskusjon

Målet med prosjektet var å undersøke om brannvegger med brennbar isolasjon kan tilfredsstillende kravene gitt i TEK 10 § 11-9. Etter gjennomføring av forsøkene er det kommet frem flere klare resultater knyttet til kravene som skulle undersøkes og dokumenteres. Likevel vil flere av resultatene kreve videre testing innen det kan trekkes endelige konklusjoner.

5.2.1 Lecaforsøkene

Generelt

Forsøkene våre og gjennomføringen av branntest med prøvestykker av PUR og EPS slo fast at PUR forkullet og EPS smeltet og brant opp. Konsekvensen av dette er at EPS er et mer uheldig produkt å nytte pga dens raske spredning og brennende dråper. Ved våre PUR-forsøk så vi at den selvslukket og utviklet minimalt med røyk.

Etter endt forsøk observerte vi en rask temperaturøkning (illustrert i figur 16 og 20) i overgangen Leca/ PUR. Vi tror at det da oppstod ulmebrann i isolasjonen rundt disse følerne, og at dette hadde selvslukket grunnet forkullingen. Hvor mye av forkullingen som skjedde under og etter forsøket er vanskelig å slå fast.

Vedheften mellom PUR og Leca ble redusert under og etter forsøkene. Vedheften varierte fra ikke eksisterende til moderat. Etter diskusjon med branntekniker på Weber Leca, kom vi fram til at dette kom av vanndamp, som løsnet opp bindingen mellom Leca-blokkene og PUR-isolasjonen. I områdene hvor det oppstod forkulling var vedheften ikke eksisterende. Denne rapporten har ikke tatt hensyn til elementenes svekkede bæreevne ved høye temperaturer. Det er derfor aktuelt å kjøre en fullskalatest for å finne ut i hvor stor grad veggen mister bæreevnen sin etter en brannbelastning.

I begge veggene kunne vi klart se på termograferingskameraet at det oppsto varmebroer i horisontalfugene og i vertikalskjøtene. Største temperatur målt på kald side over fugene var 102,8 °C på veggen uten puss og 100 °C på veggen med puss. Dette viser at fugene mellom blokkene er en svakhet hvor mye varme kan trenge igjennom veggen. Spesielt de vertikale kjøtene, hvor det er åpent mellom blokkene. Kravet om maks temperatur på ueksponert side er godkjent. Gjennomsnittstemperaturen er under 140 °C og høyeste punkttemperatur er ikke over 180 °C.



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

Leca u/puss

Vi ønsket å se på brannmotstanden til Leca u/puss for å kartlegge de branntekniske egenskapene til veggen. Det og ikke bruke puss på veggen skaper et ”worst case scenario” og det var interessant og se hvor vanskelig PUR tar fyr og hvor essensielt fiberpussjiktetene er.

Da veggen begynte å avdampe så vi at dampen også trakk ut gjennom skjøtene på kald side. Vi anser derfor E-kravet for brannvegger som brutt. Også 98 min ut i forsøket var røykdannelsen blitt så stor at vi anser kriteriet i TEK 10 § 11-9 pkt. 2 om røykutvikling som brutt.

Temperaturmålingene etter endt forsøk viser at temperaturen fortsatte og stige i ca en time. ”isolasjonens overgang innvendig vange 9 cm ned i blokk” steg til ca 360 °C. Her er det klart at vi har en ulmebrann i isolasjonen. Det er fordi dette er den høyeste temperaturen vi registrerte i isolasjonen og det kom en større røykutvikling. Dette har liten betydning ettersom vi allerede hadde forkastet veggen da ulmebrannen oppstod.

Leca m/puss

Innen 50 min er temperaturen i ”overgang mellom isolasjon og innvendig vange (skjøt)” steget til 100 °C og holder seg stabil under resten av branntesten. Vi antar at denne raske økningen i temperaturen kom av vanndamp.

Lagene m/puss fører til at veggen holder bedre på fukt og varme, ettersom pussene er tett. Det kan være grunnen til noen høyere verdier på målinger inne i sjiktet. ”temperaturen midt i isolasjonen” ble 40 °C høyere Leca m/puss kontra Leca u/puss. Konsekvensen av dette ”tettende” laget er at varme, damp eller røyk ikke slipper like lett ut gjennom veggen på kald side. Samtidig som varmen i ovnen ikke slipper like lett inn i veggen.

Under forsøket måler vi temperaturer som er innenfor kritiske verdier både på isolasjon og på kald side. Men når vi demonterte veggen så vi at det hadde oppstått ulmebrann. Dette kan ha skjedd under forsøket eller etterpå da temperaturen steg.

Vi synes det er irrelevant om denne ulmebrannen skjedde under testen eller i ettertid fordi røykutviklingen som skjedde var liten og vi mener at dette ikke bidrar til brannspredning eller uakseptabel røykutvikling.



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

Under demontering så vi at pussen på brannekspontert side hadde mistet mye av sin fasthet og var porøs. Pussen hadde ikke falt av og ivaretok sin tettende funksjon. Dette stemmer bra med det BMB beskriver om brannegenskapene til murpuss (BMB 2005, s. 18).

Bindingen mellom Leca blokk og PUR-isolasjonen var sterkt redusert. Det er derfor aktuelt og kjøre en fullskalatest for å finne ut i hvor stor grad veggen mister bæreevnen sin etter en brannbelastning.

5.2.2 Betongforsøkene

Grunnet avskalling under samtlige betongforsøk klarte vi ikke følge ISO 834-kurven. Hver gang vi fikk eksplosiv avskalling ble varme skubbet ut av ovnen, og temperaturen i ovnen ble redusert. Det førte til at vi ble liggende for langt bak ISO 834-kurven til at resultatet kan sammenlignes med andre tester.

Vi mistet kontakt med enkelte sensorer underveis i forsøket grunnet avskalling.

Veggene som ble brukt var ferske og hadde høy fuktighet som kommer frem ved målingene av RF%. Vi mener at høy fuktighet i veggene er hovedårsaken til avskallingen, dette stemmer bra med begrunnelsene som står i *Structural design for fire safety* (Buchanan 2001, s. 228). Vi tok ikke hensyn til dette ved prosjektering av veggene. Sandwichveggene hadde tørket og herdet under gode forhold, men herdetiden var alt for kort. Dette bekrefter det som står i Betongelementboken bind D s. 19 om avskalling, at veggene var så ferske at avskalling kunne oppstå.

I samtlige av våre betongforsøk begynte avskallingen ved ca 600 °C. Dette stemmer bra med rapporten *Concrete spalling review* (Khoury og Anderberg 2000) som konkluderte med at avskalling oppstod ved like temperaturer uavhengig av oppvarmingshastighet.

Målingen av RF% på Betong G430 er usikker, ettersom denne veggen hadde herdet i ca 8 måneder. Under transport og oppbevaring av veggen kan vann ha kommet ned i plasthylsen. Under brannforsøket observerte vi at det trengte vesentlig mindre vann ut av veggen, sammenlignet med de andre betongveggene. Konsekvensen er at målingen kan være ukorrekt.

Under testen med betong 380 veggen måtte vi avslutte forsøket etter 65 min grunnet at EPS-isolasjonen var direkte eksponert og smeltet. Av figur 23 ser man at allerede etter 30 min hadde veggen avskallet slik at følerne var direkte utsatt for varmet og ble ødelagt etter kort



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

tid. Etter 60 min stiger også temperaturen betraktelig i overgang brannutsatt side og isolasjon, som tyder på at isolasjonen er direkte eksponert. Etter 60 min hadde store deler av isolasjonen smeltet og røykutviklingen var nå så stor at kravene i TEK 10 § 11-9 var brutt.

På samme måte som betong 380, ble avskallingen så stor at isolasjonen i betong 430 ble direkte eksponert. Det ble en så stor røykutvikling etter 100 min at kriteriet i TEK 10 § 11-9 som gjorde at vi valgte å stoppe forsøket.

Identisk med alle betongveggene fikk vi avskalling etter 12 min også på G430 veggen. Forskjellen med denne veggen er at avskallingen avtok og stabiliserte seg. Samtidig som temperaturen steg. Men vi måtte avslutte forsøket etter 79 min, grunnet tekniske problemer med ovnen.

5.3 Konklusjon

Tabell 12 Svar på innledning, illustrasjon Bjerke

Vegg	Maks temperatur i isolasjon	Maks temperatur kald side	Tilstand etter endt forsøk
Leca u/puss	118,2 °C	102,8 °C	Mye forkullet isolasjon, dårlig vedheft mellom Leca/ PUR.
Leca m/puss	103,6 °C	100,0 °C	Moderat forkulling isolasjon, sprekk i puss og dårlig vedheft mellom puss/ Leca og Leca/ PUR.
Betong 380mm	387,0 °C	11,4 °C	Stor avskalling, Åpent inn til EPS og mesteparten av isolasjonen smeltet.
Betong 430mm	390,0 °C	10,8 °C	Stor avskalling, åpent inn til EPS, isolasjonen brant opp.
Betong G430mm	102,7 °C	14,3 °C	Stor avskalling. Isolasjonen begynte å bule i toppen.



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

Forsøkene våre viser at EPS smelter og brenner opp, mens PUR får et forkullingssjikt og selvslukker.

Som resultatet viser, tilfredsstillers ikke "Leca u/puss" kravene gitt i TEK 10. Denne veggen vil ikke være aktuelt til bruk som brannvegg. Sannsynligheten for at isolasjonen antennes er for stor, og den ga i vårt tilfelle et uakseptabelt bidrag til brannutviklingen med tanke på antennelse og røykproduksjon. Veggen har ikke en skillende funksjon og vi anser da E-kravet som brutt.

Leca m/puss ble vår beste vegg, og vil ut i fra våre resultater klare kravene gitt i TEK 10. Den brennbare isolasjonen bidro ikke til videre brannspredning, det hadde oppstått en liten ulmebrann nederst på veggen. Om ulmebrannen oppstod under branntesten eller i avkjølingsfasen er vanskelig å slå fast. Under hele forsøket observerte vi det vi mener var damp, ikke helseskadelig røyk. Veggen opprettholdt sin skillende og isolerende funksjon vi anser kravene E og I som godkjent.

Årsaken til at avskallingene oppstod under betongforsøkene kom av høyt vanninnhold i veggene. Avskallingene ble så store at vi måtte avbryte forsøkene, da isolasjonen ble direkte eksponert. Vi kan dermed ikke konkludere med at sandwichelementer av betong er uegnet som brannskillevegg, men kan konkludere med at det må gjøres grundigere tester hvor det er tatt forbehold om avskalling.

Resultatene i casestudiet vårt viser at det kan være mulig å nytte brennbar isolasjon i brannvegger. Hvis nok forbehold tas, kan brannvegger med brennbar isolasjon oppføre seg på samme måte som en brannvegg med ubrennbar isolasjon, med tanke på kravene i TEK 10 § 11-9.



5.4 Forslag til videre arbeid

Våre resultater på ”Leca m/puss” er lovende, og vi anbefaler Weber Leca å kjøre en verifisert test av deres Iso-blokk med tilhørende produkter for å prøve å oppnå en nasjonal godkjenning for brannvegg med brennbar isolasjon. Det er da aktuelt å se på vedheften mellom Leca-vangene og isolasjonen etter endt forsøk for å kartlegge bæreevnen til veggen.

Resultatene våre av betongveggene er alarmerende og burde ses nærmere på. Hvor lang tid tar det før en brannvegg i betong er operativ? Hvor lang tid tar det for en betongvegg og tørke såpass at avskalling ikke inntreffer? Dette burde det ses nærmere på ved å kjøre verifiserte tester av betong vegger med forskjellig alder, fuktinnhold, tilsetningsstoffer og kvalitet.

Deretter kan det være aktuelt å prøve å kjøre tester av sandwichelementer med brennbar isolasjon og se om de kan godkjennes for brannvegger.



6 Kildekritikk

Det er henvist til mange kilder i rapporten vår som vi har brukt i varierende grad. Vi ønsker å trekke frem fem forskjellige kilder som vi har benyttet i teksten for å vise litt om hvilke kriterier vi har satt ved valg av forskjellige kilder. Vi har valgt å se nærmere på; byggteknisk forskrift, en fagbok, et produktblad, en vitenskapelig rapport og et ekspertintervju.

DiBK. (2012) Forskrift om tekniske krav til byggverk (byggteknisk forskrift - TEK 10)

Hele oppgaven vår og problemstillingen er bygd opp på TEK 10, den er skrevet av DiBK i samarbeid med KRD (Kommunal- og regionaldepartementet). TEK 10 ble først publisert 09.04.2010. siste revidering skjedde 01.04.2012 og dette er en del av Norsk lov.

Betongelementforeningen (2007) Betongelementboken Bind D. Bind D.

I denne boken har vi hentet tabeller og teori. Bind D er utarbeidet av dr.ing. Nils E. Forsén og ble først utgitt i 1997, boken som selges i dag ble revidert i 2007. Boken er nå til revidering og skal bli publisert i september 2012. Da skal den være oppdatert etter eurokode 2. Noen av verdiene vi har hentet ut kan ha noe avvik fra eurokode 2. Avviket vil ikke eller i svært liten grad påvirke resultatene i rapporten vår. Betongelementbøkene blir brukt av flere høgskoler i landet og er bøkene bransjen bruker som oppslagsverk om betong.

Weber-Leca (2011) Leca Isoblok 35 cm: Saint-Gobain. 28 s.

Når vi har trengt ulik produktinformasjon på Leca Isoblokk 35 cm eller tilhørende produkter har vi brukt produktbladet. Det er Weber Leca som har utgitt dette bladet og det er oppgitt uten dato men inneholder oppdatert informasjon om produktet og fremgangsmåte. Vi anser informasjonen vi finner som korrekt.



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

Khoury, G. A. og Y. Anderberg (2000) CONCRETE SPALLING REVIEW. Swedish National Road Administration.

Dette er en rapport vi har brukt for å bygge oppunder teori og forklare resultater i rapporten. Det er Fire safety design (FSD) som står bak Rapporten. Den er skrevet av Professor Gabriel Alexander Khoury og Dr. Yngve Anderberg. Rapporten har blitt skrevet på bestilling av Swedish National Road Administration som tilsvarende Statens vegvesen i Norge. FSD er et svensk firma som jobber med brannprosjektering i tillegg jobber de med forskning og utvikling. Dette er et stort svensk registrert firma med internasjonal anerkjennelse som har brukt to godt kvalifiserte forskere til å skrive rapporten.

Jackon-Isolasjon (2012) Jackon isolasjon. [online]. URL: www.jackon.no.

Vi brukte Jackon (som er en leverandør av bla. EPS isolasjon) sin nettside som kilde da vi skriver hvilke avgasser ESP avgir etter antennelse. Nettsider er en usikker kilde fordi vi har ingen kontroll over om den informasjon vi tok ut blir liggende der eller endret i fremtiden.

Bjørn Vik og John Erik Reiersen

Vi siterer Vik (daglig leder av brannvernsamarbeidet mur og betong (BMB)) og Reiersen (daglig leder i betongelementforeningen) etter et intervju pr mail. Vi valgte å foreta dette intervjuet for å få en bekreftelse av eksperter på at våre teorier var korrekt. Ingen av meningene er kontroversielle og er velkjente i bransjen. Dette er kjente og anerkjente personer innenfor sitt fagfelt i Norge.



7 Litteraturliste

Betongelementforeningen (2006) *Betongelementboken Bind C*. Bind C, b. 296.

Betongelementforeningen (2007) *Betongelementboken Bind D*. Bind D.

BMB. (2005) Mur og betong i bygningsmessig brannvern. I: *Prosjekteringsanvisning 2005* [online], 54.

Buchanan, A. H. (2001) *Structural design for fire safety*. Chichester: Wiley.

Denoël, J. F. (2007) **Fire safety and concrete structures**

DiBK. (2007) *Veiledning til teknisk forskrift 07*, b. 140.

'<http://byggeregler.dibk.no/cms/content/uploads/TekVeil07.pdf>;

<http://byggeregler.dibk.no/cms/content/uploads/TekVeil07.pdf>.

DiBK (2011) *plan og bygningsloven*. [online]. URL: <http://www.lovdatab.no/all/tl-20080627-071-038.html#29-4>.

DiBK (2012a) *Forskrift om tekniske krav til byggverk (byggteknisk forskrift)*. [online]. URL: <http://www.lovdatab.no/for/sf/kr/xr-20100326-0489.html>.

DiBK (2012b) *Veiledning om tekniske krav til byggverk*. Kapittel 11. sikkerhet ved brann.

Hagen, B. C. (2004) *Grunnleggende brannteknikk*. [Haugesund]: Bjarne Christian Hagen.

Jackon-Isolasjon (2012) *Jackon isolasjon*. [online]. URL: www.jackon.no.

Khoury, G. A. og Y. Anderberg (2000) **CONCRETE SPALLING REVIEW**: Swedish National Road Administration.

Mur-senteret (2001) *Murkatalogen* Lettklinkerbetong, blokk og blokkmurverk. Oslo: Mur senteret. 24 s.

Neville, A. M. og J. J. Brooks (1987) *Concrete technology*. Harlow: Longman Scientific & Technical.

Peikko (2011) *Forbindelsstiger for sandwich-elementer 7s*.



Bruk av brennbar isolasjon i brannvegger

Sintef-Byggforsk (2000) **Brannteknisk prøving og dokumentasjon av brennbare materialer til bruk i vegtunneller.**

Sintef-Byggforsk (2003a) **Bruk av brennbar isolasjon - akseptable løsninger og anvendelsesområdet** Norges branntekniske laboratorium AS.

Sintef-Byggforsk (2003b) *Fugeskum av enkomponent polyuretan. Egenskaper og bruk.* [online]. 573.107.

Sintef-Byggforsk (2003c) *Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer.* [online]. 471.010. URL: <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=209#i13>.

Sintef-Byggforsk (2004) *Varmeisolasjonsmaterialer. Typer og egenskaper.* [online]. 573.344. URL: <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=604>.

Sintef-Byggforsk (2005) *Brannvegger i trehusbebyggelse.* [online]. 520.305. URL: <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=312#i33>.

Sintef-Byggforsk (2009a) *Brannenergi i bygninger. Beregning og statiske verdier I: 520.333.*

Sintef-Byggforsk (2009b) *Plastmaterialer i bygg. Typer og egenskaper.* [online]. 571.803. URL: <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&docNumber=571803#i33>.

Sintef-Byggforsk (2012) *Brannforløpet:* Sintef.

Standard-Norge (1999) *Prøving av brannmotstand Del 1: Generelle krav:* Standard Norge.

Standard-Norge (2008) *Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner. Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger:* Standard Norge.

Weber-Leca (2011) *Leca Isoblok 35 cm:* Saint-Gobain. 28 s.

8 Vedleggsliste

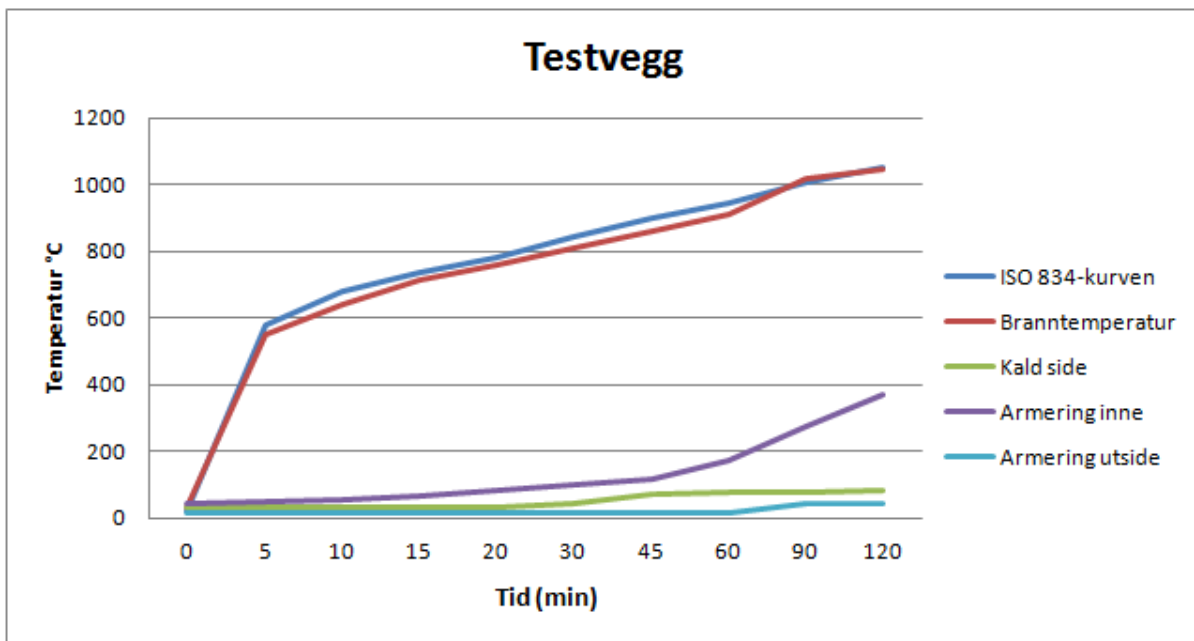
Vedlegg A. Branntester	II
Vedlegg B. Blanderesept Betong vegger.....	VIII
Vedlegg C. Utstyrliste:	IX
Vedlegg D. Dimensjonering	X
Vedlegg E. Armeringstegninger	XVII
Vedlegg F. Tegninger Leca-vegger	XXIII
Vedlegg G. Tabeller og figurer	XXVII

Vedlegg A. Branntester

Testvegg

tid	ISO 834-kurven	Branntemperatur	Kald side	Armering inne	Armering utside
0	20	33,62	32	41,8	15,6
5	576	550	32,5	51,6	15,5
10	678	640	33,2	55,3	15,1
15	738	712	33,6	65,2	15
20	781	761	34,8	81,6	15
30	842	808	42,9	99,1	15
45	902	861	70	115,7	16
60	945	910	76,5	171,9	17,8
90	1006	1017	78,2	276,5	42
120	1049	1046	84,3	371,3	44

Temperaturer i og på Leca testvegg

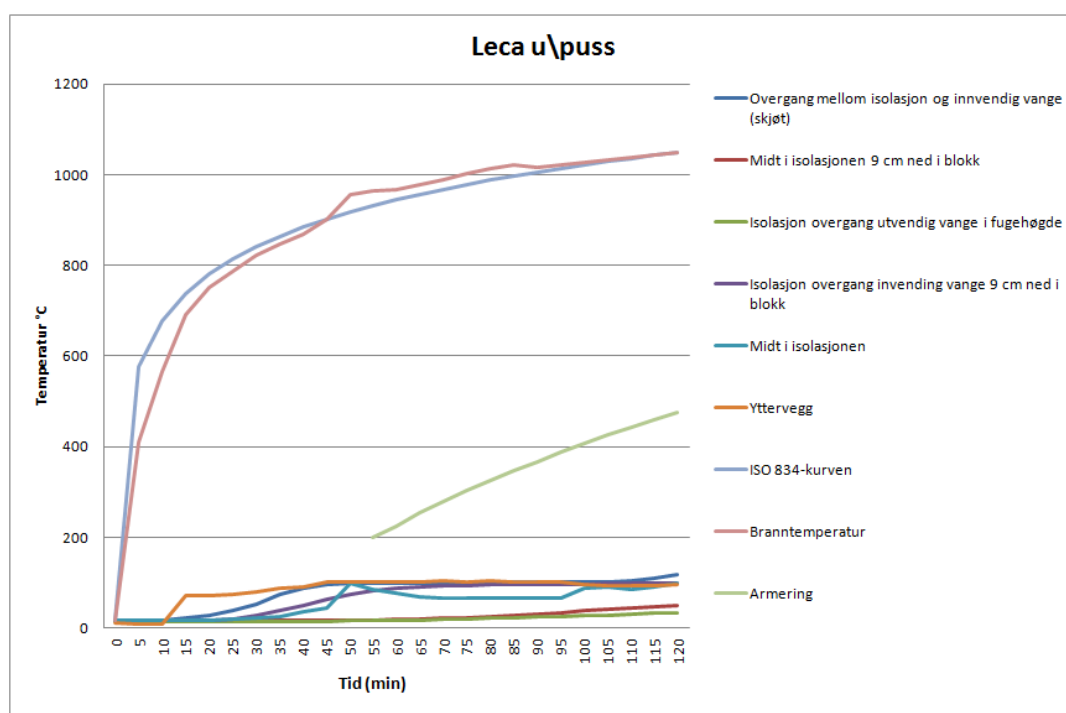


Temperaturer i og på Leca testvegg

Test av Leca-vegg u/puss

Tid\ min	Overgang mellom isolasjon og innvendig vange (skjøt)	Midt i isolasjonen 9 cm ned i blokk	Isolasjon overgang utvendig vange i fugehøgde	Isolasjon overgang invending vange 9 cm ned i blokk	Midt i isolasjonen	Yttervegg	ISO 834-kurven	Branntemperatur	Armering
0	15,4	15,6	13,6	15,6	15,8	10,3	20	15,5	
5	15,8	15,7	13,2	15,7	15,6	8,5	576	410	
10	17,3	15,7	13,1	15,7	15,6	9	678	565	
15	21,7	15,7	12,9	15,8	16,3	71	738	690	
20	28,1	15,7	12,9	16,8	17,3	72	781	750	
25	37,9	15,7	12,9	19,9	18,9	74,6	814	785,6	
30	51,2	15,8	13,2	26,7	21,3	78,1	841	821	
35	73,1	15,9	13,4	37,3	26	88,4	864	847,7	
40	87,5	16,1	13,9	49,3	35,7	90,1	884	869	
45	96,6	16,4	14,4	61,9	43,8	101	902	902	
50	99,2	16,9	15,3	75,1	49,5	101,9	918	955	
55	99,6	17,6	16,9	83,5	53,6	101	932	965,1	200,1
60	99,8	18,4	16,9	87,9	57,8	102,5	945	967,5	225,3
65	99,8	19,6	17,82	91,2	61,7	102,6	957	977,8	253,4
70	99,8	21,2	18,9	92,9	66,3	102,8	968	989,7	278,9
75	99,9	23,2	20,2	94,2	71	102,6	978	1002	303,5
80	99,9	25,5	21,4	95	75,5	102,8	988	1012,7	325,2
85	100,1	28,2	22,6	95,6	80,1	101,7	997	1021,3	348,2
90	100,1	30,7	23,8	96	84,8	102,3	1005	1016,7	367,1
95	100,1	34,1	25,4	96,6	89,4	102,4	1014	1022,4	388,7
100	100,2	37,2	26,9	96,9	94,1	95,5	1021	1026,8	407,2
105	100,7	40,4	28,5	97,3	98,7	93	1029	1032,2	425,3
110	103,8	43,8	30,2	97,7	103,3	94	1036	1038,3	443,7
115	109,5	46,4	31,8	97,5	108,1	94,3	1042	1044,2	458,5
120	118,2	49,2	33,6	98,1	112,9	95	1049	1049,5	474,1

Temperatur i og på Leca u/puss

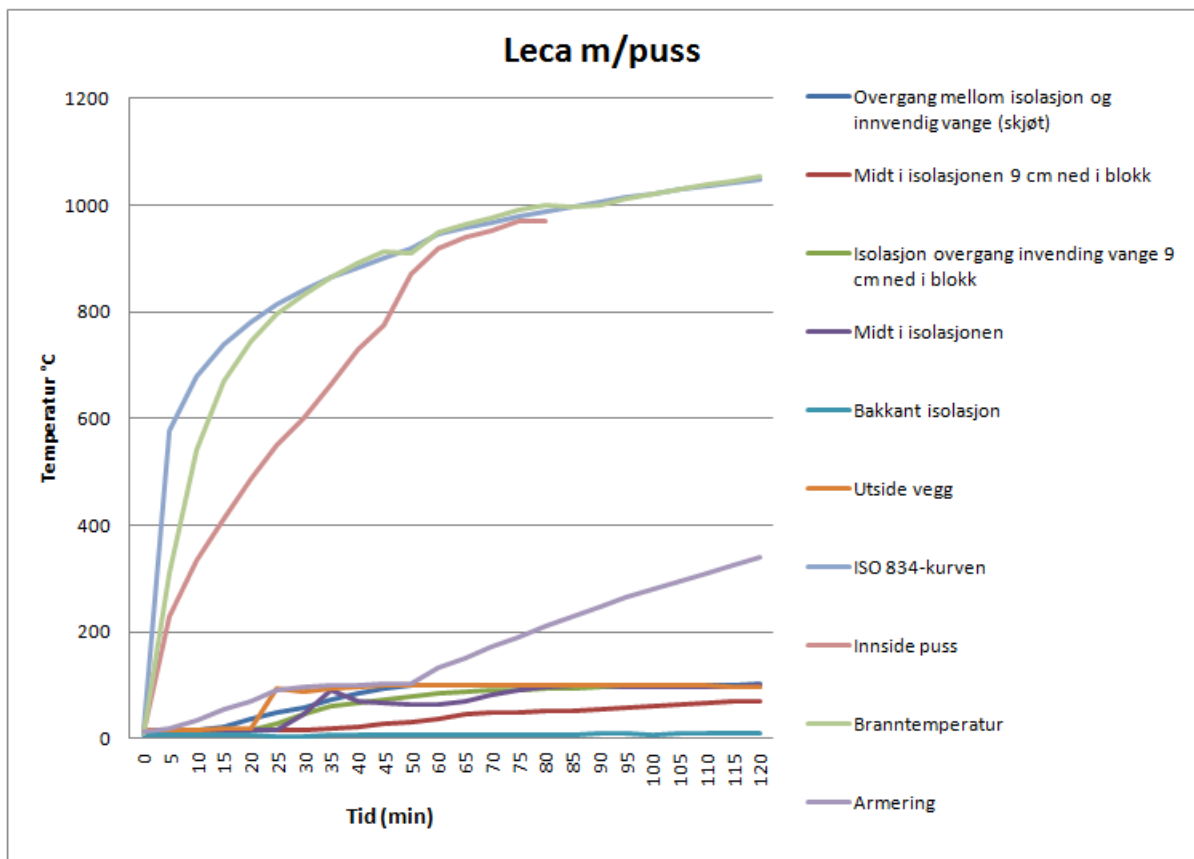


Temperatur i og på Leca u/puss

Test av Leca-vegg m/puss

tid	Overgang mellom isolasjon og innvendig vange (skjøt)	Midt i isolasjonen 9 cm ned i blokk	Isolasjon overgang invending vange 9 cm ned i blokk	Midt i isolasjonen	Bakkant isolasjon	Utside vegg	ISO 834-kurven	Innside puss	Branntemperatur	Armering
0	14,5	15,2	14,6	15,1	6	16	20	13,4	11,4	14,1
5	14,4	15,3	14,5	14,9	7,7	16,3	576	228,6	310	17,6
10	14,6	15,2	14,5	15,9	6,7	16,4	678	332,9	539,9	32,7
15	22,3	15,2	14,6	15,1	6,7	19	738	413,4	669	56,2
20	36,6	15,2	17,4	15,1	6,7	18,2	781	486,4	745,3	70,1
25	47,5	15,7	27,3	15,1	5,3	93,7	814	548,5	795,8	89,8
30	56,7	17,3	45,4	44,8	5,4	87	841	601,6	831,7	95,8
35	73,1	20,1	59,8	92,2	6,7	93,2	864	663,5	865	100,3
40	85,4	23,3	68,1	70,2	7,2	97,8	884	730,4	891,8	100,8
45	93,6	26,8	74,2	67,5	7,4	98,8	902	775,6	912,8	101,83
50	98,6	30,1	78,4	65,2	7,4	99,4	918	872,2	910	103,5
60	99,7	37,5	83,9	62,8	7,5	99,6	945	919,4	949,6	133,4
65	99,8	45,8	87,5	70,8	7,6	99,7	957	939,1	965,3	151,8
70	99,9	48,3	90,4	83,3	7,7	99,9	968	950,5	976,1	171,8
75	100,3	50,1	92,4	92,1	6,3	100	978	971,2	989,9	191,3
80	100,2	51,6	93,7	97,8	6,8	99,8	988	969,2	988,6	209,5
85	100,3	53,4	94,7	98,9	8,3	99,9	997		996,2	228,4
90	100,3	55,3	95,6	98,8	9,1	99,6	1005		1000,7	245,8
95	100,4	58,1	95,9	98,4	9,1	99,9	1014		1011,2	263,5
100	100,4	60,7	96,5	97,7	8,4	99	1021		1020,3	279,2
105	100,5	63,7	97,1	97	9,8	98,8	1029		1030	295,5
110	100,5	66,3	97,2	97,3	9,9	99,6	1036		1037,6	310,8
115	100,8	68,7	97,6	98,3	9,4	98	1042		1046	325,4
120	103,6	71,2	97,9	98,65	9,7	97,3	1049		1055,4	339,4

Temperaturer i og på Leca m/puss

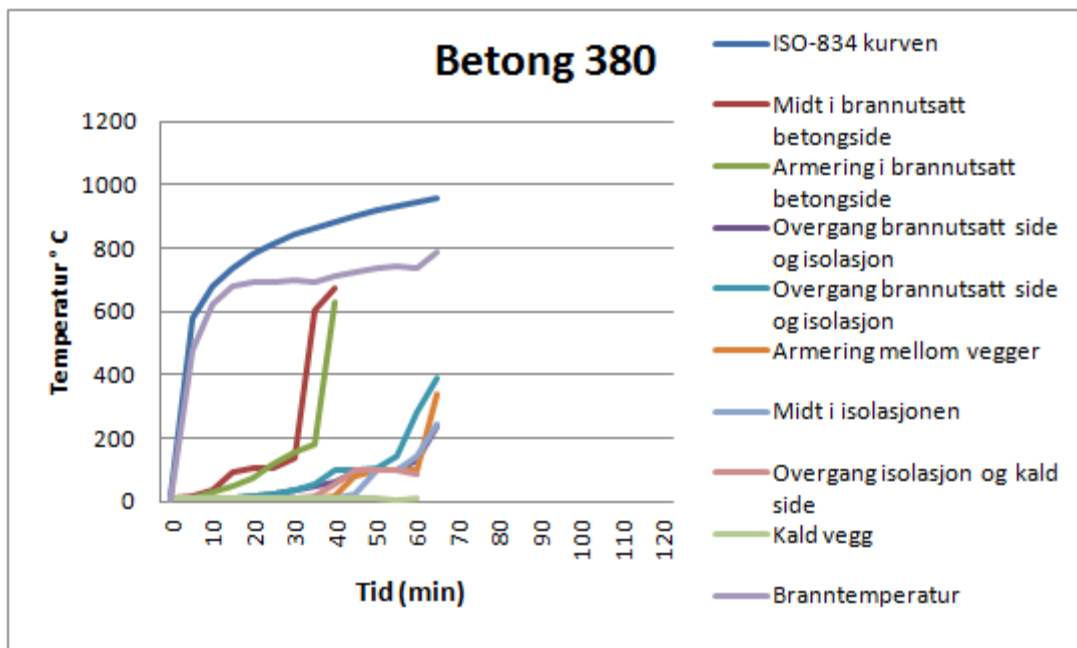


Temperaturer i og på Leca m/puss

Test av sandwichvegg Betong 380 mm

tid	ISO-834 kurven	Midt i brannutsatt betongside	Armering i brannutsatt betongside	Overgang brannutsatt side og isolasjon	Overgang brannutsatt side og isolasjon	Armering mellom vegger	Midt i isolasjonen	Overgang isolasjon og kald side	Kald vegg	Branntemperatur
0	20	11,5	11,6	11,4	11,2	10,7	11,9	13,4	11,4	6,8
5	576	15,9	13,8	11,4	11,2	10,6	11,9	13,4	11,3	475
10	678	35,9	27,3	11,5	11,3	10,4	11,7	13,6	11,2	621,6
15	738	93,6	51,7	13,2	13,3	10,4	11,7	12,9	11,2	680
20	781	103,8	74,5	16,8	17,7	10,5	11,6	13,2	10,7	690
25	814	105,2	115,7	24,8	26,2	10,7	11,9	12,9	11,4	695
30	841	137,9	158,9	36,7	37,3	11	12,1	14	10,5	700
35	864	602,1	181,9	47,8	54,6	11,8	12,8	14,3	10	695
40	884	672	631	61,4	97,4	19,2	14	57	10,4	712
45	902			90,8	101,7	78,1	23,8	96,6	10,6	727
50	918			101,7	108,8	100,5	98,5	98,3	9,4	736
55	932			102,3	145,5	100,4	99,9	99,7	5,4	746
60	945			129,1	282,8	98,9	143,1	84	9,8	739
65	957			240,4	387,9	340	244,5			785
70										
75										
80										
85										
90										
95										
100										
105										
110										
115										
120										

Temperaturer i og på Betong 380

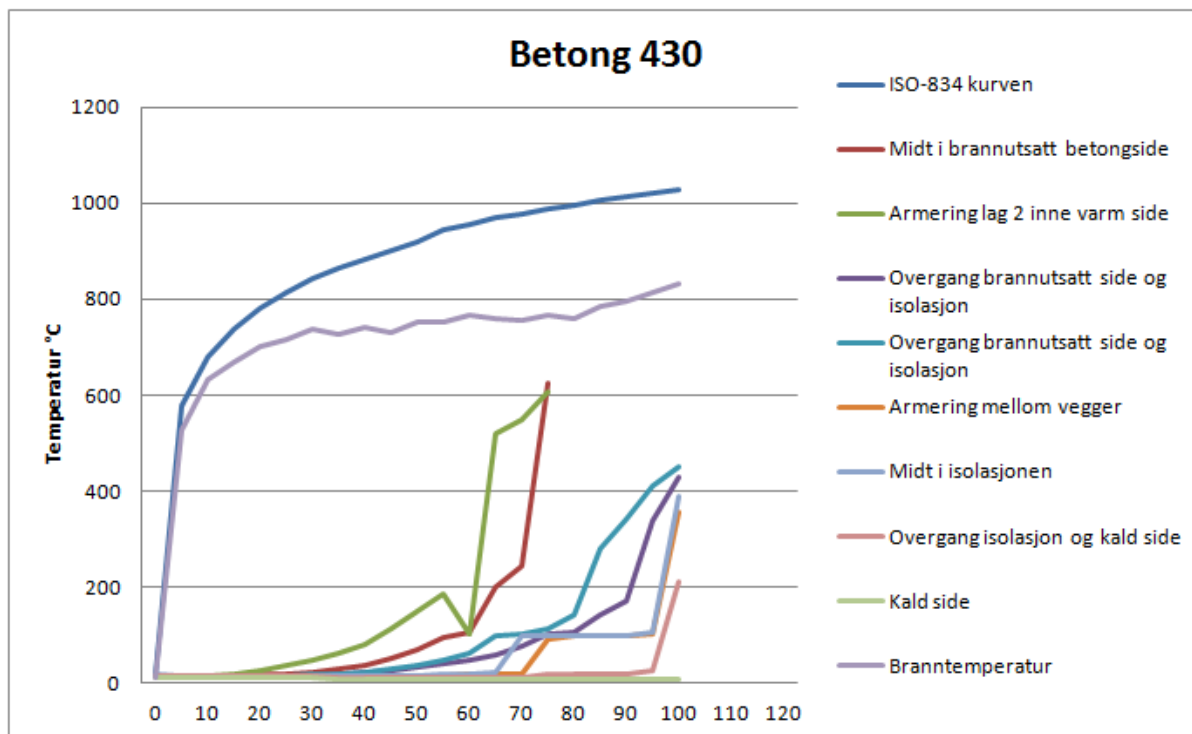


Temperaturer i og på Betong 380

Test av sandwichvegg Betong 430 mm

tid	ISO-834 kurv	Midt i brannutsatt betongside	Armering lag 2 inne varm side	Overgang brannutsatt side og isolasjon	Overgang brannutsatt side og isolasjon	Armering mellom vegger	Midt i isolasjonen	Overgang isolasjon og kald side	Kald side	Branntemperatur
0	20	15,3	14,7	14,3	14,7	15,4	16,8	16,5	10,8	11,5
5	576	15,3	14,7	14,3	14,8	15,3	16,6	16,6	10,1	527,9
10	678	15,3	16,2	14,3	14,8	15,3	16,6	14,2	10	633,8
15	738	15,7	20,2	14,4	14,9	15,1	16,5	14,2	10,3	668,2
20	781	17,2	26,8	14,6	15,1	15,1	16,3	14,5	10,2	700
25	814	19,8	35,3	15,2	15,8	15	15,7	13,1	9,8	714,5
30	841	23,9	46,1	16,3	17,3	14,9	15,5	13,5	9,7	736,1
35	864	29,8	60,6	18,4	19,8	14,8	15,3	12,9	9	726,6
40	884	38,1	80,2	21,2	23,3	14,8	15,2	12,6	8,9	740
45	902	52,3	114,1	26,1	29,1	15,1	15,4	12,3	8,7	730
50	918	69,7	148,9	31,5	36,3	15,4	15,8	11,9	8,6	751,3
55	945	95,5	186,9	39,5	47,2	16,2	16,8	12,2	8,5	753,2
60	957	106,4	101,8	48,4	63,7	17,3	16,9	12,3	6,5	767,1
65	968	200,5	520,9	58,6	98,4	18,9	22,5	11,8	8,3	760,9
70	978	242,7	549,5	76,1	102,2	19,3	97,4	11,3	8,4	755,8
75	988	625,7	605,4	101,7	114,4	92,7	98,7	18	8,3	764,9
80	997			106,4	140,7	99,6	99,7	20	8,5	760,9
85	1005			141,8	279,3	98,1	97,7	17,4	8	786,1
90	1014			171,6	343,4	98,4	100	20,1	7,9	794
95	1021			336,7	412,3	101,2	105	26	7,8	813,7
100	1029			430,4	450,3	354,9	390	212	7,3	830,1
105										
110										
115										
120										

Temperaturer i og på Betong 430

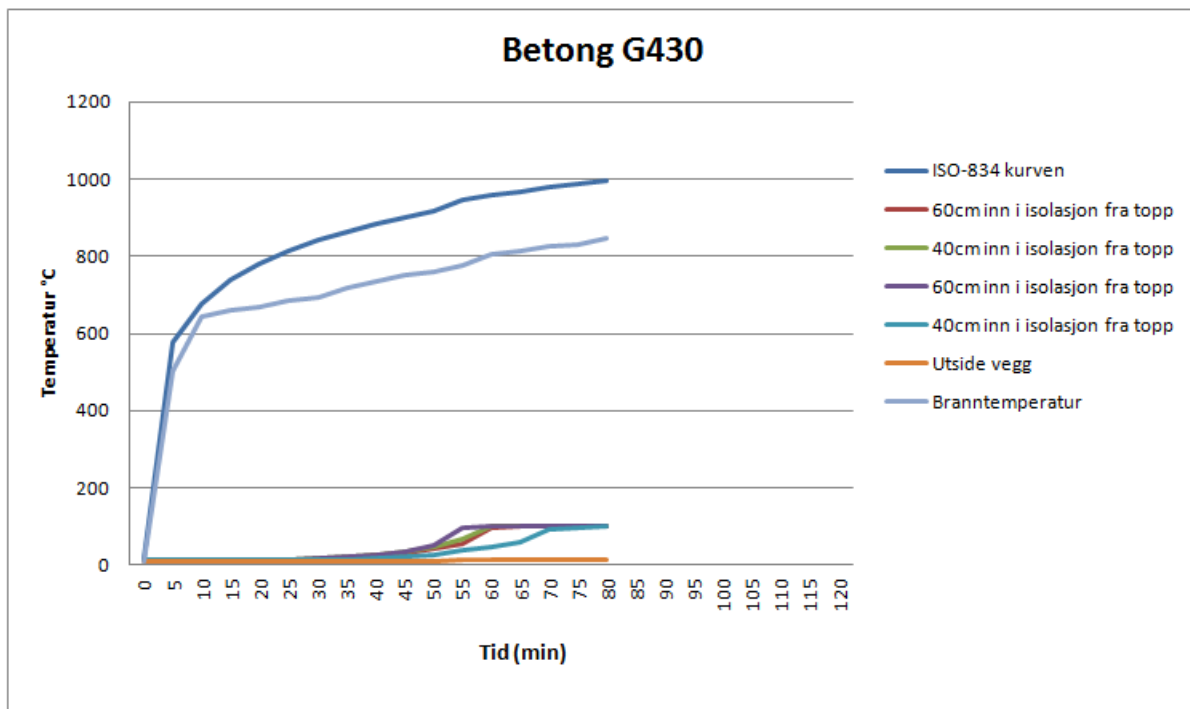


Temperaturer i og på Betong 430

Test av sandwichvegg Betong G 430 mm

tid	ISO-834 kurven	60cm inn i isolasjon fra topp	40cm inn i isolasjon fra topp	60cm inn i isolasjon fra topp	40cm inn i isolasjon fra topp	Utside vegg	Branntemperatur
0	20	13,5	13,5	13,6	13,6	11,1	10,8
5	576	13,6	13,5	13,6	13,6	11,1	503
10	678	13,6	13,5	13,6	13,6	11,1	645,6
15	738	13,6	13,5	13,6	13,6	11,1	660
20	781	13,6	13,5	13,6	13,6	11,1	670
25	814	14,1	14,3	14,6	13,6	11,3	683
30	841	15,1	16,1	17,2	14,3	11,4	695
35	864	19,3	21,3	20,7	15,9	11,4	718
40	884	24,6	26,7	26,2	18,6	11,6	734
45	902	31,5	33,8	35,6	22,7	11,6	753
50	918	42,9	47,1	53,2	28,3	11,6	761
55	945	53,8	66,7	96,2	36,9	12,3	775
60	957	98,8	101,2	100,9	48,4	12,5	805
65	968	100,1	102,7	100,9	57,4	12,7	813,6
70	978	100,2	102,5	100,9	92,5	12,9	826,3
75	988	100,3	101,9	100,6	97,4	12,9	830,2
80	997	100,5	101,8	100,6	99,8	14,3	845
85							
90							
95							
100							
105							
110							
115							
120							

Temperaturer i og på Betong G 430



Temperaturer i og på Betong G 430

Vedlegg B. Blanderesept Betong vegger

Dato	16.mar									
Resept	35-45-16									
Mengde	1.00 m3	V/C	0.46							
B1	s8-16	S-0-8.			PC-35	FA-CEM	INDCEM	Filler	Vann	V/C
R	585	1182	0	0	4,81	0	185	37	119	0,46

Blandeforhold brukt i sandwichvegger

Vedlegg C. Utstyrliste:

Fuktmåling:



Pipe coupling 20 mm,
Illustrasjon Bjerke

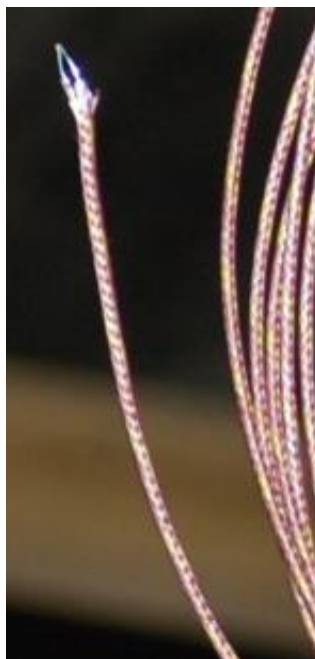


Kimo HD 100, Illustrasjon Bjerke

Temperatur målinger:



Pico Technology USB TC-08,
Illustrasjon Eikeset



Termoelementtråd Type
k24-2-304, Illustrasjon
Eikeset



Testo 992, Illustrasjon, Eikeset

Vedlegg D. Dimensjonering

Kommentar til valg av tykkelse på sjiktene

Vi ville teste to realistiske vegger, og ønsket å se hvordan forskjellig tykkelse på sjiktene påvirket resultatene våre.

Følger man den standardiserte kurven etter ISO 834 vil vi etter 120 minutter nå en temperatur på:

$$T = T_o + 345 \log_{10}(8 \cdot t + 1)$$

$$T = 20 + 345 \log_{10}(8 \cdot 120 + 1) \approx 1049 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ved å nytte formlene i *Structural design for fire safety* vil temperaturen på andre siden av et 100mm sjikt være:

$$T_c = \eta_x \eta_w T_f \quad (9.4)$$

$$\eta_x = 0,18 \ln \frac{t_h}{x^2} - 0,81 \quad (9.3)$$

$$\eta_w = 1 - 0,0616 t_h^{-0,88} \quad (9.2)$$

(Buchanan, 2001, s 234)

$$\eta_x = 0,18 \ln \frac{2}{0,1^2} - 0,81 = 0,1437$$

$$\eta_w = 1 - 0,0616 * 2^{-0,88} = 0,9665$$

$$T_c = 1049^\circ\text{C} * 0,1437 * 0,9665 = 145,69^\circ\text{C}$$

150mm sjiktet:

$$\eta_x = 0,18 \ln \frac{2}{0,15^2} - 0,81 = -0,0027$$

$$\eta_w = 1 - 0,0616 * 2^{-0,88} = 0,9665$$

$$T_c = 1049^\circ\text{C} * -0,0027 * 0,9665 = -2,74^\circ\text{C}$$

Teoretisk får vi en ca 145 °C på andre siden av det 100 mm betongsjiktet. Beregninger av temperaturen på andre siden av det 150mm betongsjiktet viser at temperaturen blir uforandret.

Professor Leidulv Vinje ved NTNU sa at de fleste typer innersjikt varierer fra 80 mm + kantribber, til 150 mm jevnt tykt innersjikt. Ved å teste 100 mm og 150 mm dekker vi dermed alle vanlige tykkelser ved interpolasjon.

Tykkelsen av isolasjonssjiktet legget vi til 200 mm ettersom vi da får en u-verdi på:

BETONG 430

	$R = \frac{d}{\lambda}$	Varmemotstand
Innvendig overgangsmotstand		0,13
Betong	0,15/1,7	0,0882
EPS isolasjon	0,20/0,035	5,7143
Betong	0,08/1,7	0,0471
Utvendig overgangsmotstand		0,04
Sum varmemotstand		$R_{tot} = 6,0196$

$$U = \frac{1}{R_{tot}} + U_a$$

$$U = \frac{1}{R_{tot}} + 0,015$$

$$U = \frac{1}{6,0196} + 0,015 = 0,1811 \text{ W/m}^2\text{K}$$

BETONG 380

	$R = \frac{d}{\lambda}$	Varmemotstand
Innvendig overgangsmotstand		0,13
Betong	0,10/1,7	0,0588
EPS isolasjon	0,20/0,035	5,7143
Betong	0,08/1,7	0,0471
Utvendig overgangsmotstand		0,04
Sum varmemotstand		$R_{tot} = 5,9902$

$$U = \frac{1}{R_{tot}} + U_a$$

$$U = \frac{1}{R_{tot}} + 0,015$$

$$U = \frac{1}{5,9902} + 0,015 = 0,1819 \text{ W/m}^2\text{K}$$

U-verdi for Leca Isoblokk 35 kan hentes fra produktbladet deres og er beregnet til $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Weber-Leca 2011)

Kravet for U-verdi på vegger er 0,18. Så vi ser på alle disse veggene som godkjent.

Armeringsstålet

$$T_c = (1 - 0,0616 t_h^{-0,88}) \cdot \left(0,18 \ln \frac{t_h}{x^2} - 0,81\right) * T_f$$

(Buchanan 2001, s. 234)

$$T_c = (1 - 0,0616 2^{-0,88}) \cdot \left(0,18 \ln \frac{2}{0,035^2} - 0,81\right) * 1049^\circ\text{C}$$

$$T_c = 527^\circ\text{C}$$

Teoretisk vil temperaturen på armeringen vil i forsøket vårt bli 527°C , som av tabellen gir en reduksjonsfaktor på grovt sett 0,6 for slakkarmering. Flytespenningen for armeringsstålet ved en 120 min brann blir $d_{f,yk} = 500 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,6 = 300 \text{ N/mm}^2$. Vi har ingen aksiallast på våre vegger, og tar derfor ingen hensyn til armeringsstålets reduserte kapasitet.

Dimensjoneringsprinsipp

Velger å dimensjonere de brannekspanerte sjiktene (100 mm og 150 mm) som bærende, og at yttersjiktet på 80 mm henger på det bærende innersjiktet.

Ettersom formlene vi benytter er dimensjonering etter minimumsarmering, velger vi å dimensjonere alle sjiktene som skal brannekspaneres som om de var yttervegger. (Tabell C4.1 Betongelementforeningen 2006, Bind C, s. 76). Konsekvensen av det er at vi da får tilfeller for vi må ha to armeringsnett i de brannekspanerte sjiktene. Dette fører igjen til at vi får mer armering i sjiktene enn det vi trenger. Dette er gunstig ettersom vi er interessert i å benytte

mer armering enn minimumskravet for og åpne for løsninger/tester hvor brannseksjoneringsveggene er bærende

80 mm sjiktet blir ikke brannekspontert og dimensjonerer denne så liten som mulig. Av tabell C4.1 (Betongelementforeningen 2006, Bind C, s. 76) ser vi på betongskiven som yttervegg og den trenger kun ett lag med armering.

Dimensjonering av nettarmering

Ved dimensjoneringen av sjiktene i sandwichelementene benytter vi formlene gitt i NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008, pkt. NA.9.6.2 *Vertikalarmering* og NA.9.6.3 *Horisontalarmering*.

Det mest vanlige er å konstruere et sandwichelement med ett yttersjikt som henger på et bærende innersjikt (Betongelementforeningen 2006, Bind C).

Middelverdien for betongens aksialtrekkfasthet, $f_{ctm} = 3,2 \text{ N/mm}^2$ hentes fra tabell 3.1 – Fasthet og deformasjonsegenskaper for betong.

Armeringens karakteristiske flytegrense f_{yk} hentes fra tabell C.1 – Armeringsegenskaper som forteller at f_{yk} skal ligge mellom 400 og 600 N/mm^2 . Finnes på side 203 i NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008.

150 mm sjiktet

Vertikalarmering:

$$A_{s,vmin} = 0,002 * b * h$$

$$A_{s,vmin} = 0,002 * 1000\text{mm} * 150\text{mm} = 300\text{mm}^2/\text{m}$$

Horisontalarmering:

$$A_{s,hmin} = \text{Største verdi av} \begin{cases} 0,15 * A_{s,vmin} = 0,15 * 300 = 45 \text{ mm}^2/\text{m} \\ \frac{0,3A_c f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,3 * 1000 * 150 * \frac{3,2}{500} = 288 \text{ mm}^2/\text{m} \end{cases}$$

$$A_{s,hmin} = 288 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Vertikalarmeringen krever $300 \text{ mm}^2/\text{m}$ og den horisontale armeringen krever $288 \text{ mm}^2/\text{m}$ i hvert armeringslag. Av tabell C 4.1 (Betongelementforeningen, Bind C s 76) ser man at en trenger to lag med armering i sjiktet. Til sammen trenger vi da $600 \text{ mm}^2/\text{m}$ vertikalt og $576 \text{ mm}^2/\text{m}$ horisontalt i sjiktet.

Velger å benytte to K257 nett i veggen, altså $514 \text{ mm}^2/\text{m}$ horisontalt og vertikalt i betongsjiktet. Dette er under det armeringsbehovet som trengs, men dette tar vi igjen med randarmering, nettbøy, sjiktforbindere og løftebøyler.

100 mm sjiktet

Vertikalarmering:

$$A_{s,vmin} = 0,002 * b * h$$

$$A_{s,vmin} = 0,002 * 1000\text{mm} * 100\text{mm} = 200\text{mm}^2/\text{m}$$

Horisontalarmering:

$$A_{s,hmin} = \text{Største verdi av} \begin{cases} 0,15 * A_{s,vmin} = 0,15 * 200 = 30 \text{ mm}^2/\text{m} \\ \frac{0,3A_c f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,3 * 1000 * 100 * \frac{3,2}{500} = 192 \text{ mm}^2/\text{m} \end{cases}$$

$$A_{s,hmin} = 192 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Vertikalarmeringen krever $200 \text{ mm}^2/\text{m}$ og den horisontale armeringen krever $192 \text{ mm}^2/\text{m}$ i hvert armeringslag.

Av tabell C 4.1 (Betongelementforeningen, Bind C s 76) ser man at en trenger to lag med armering i sjiktet. Det vil si at vi trenger til sammen $400 \text{ mm}^2/\text{m}$ vertikalt og $384 \text{ mm}^2/\text{m}$ horisontalt. Etter konsultasjon med konstruktør Lars Ola Rishaug hos Opplandske Betongindustri AS velger vi å benytte kun ett armeringsnett ettersom det vil føre til et mellomrom mellom nettene på kun $100 - 35 \cdot 2 = 30\text{mm}$.

Benytter derfor ett K407 nett.

80 mm sjiktet

Vertikalarmering:

$$A_{s,vmin} = 0,002 * b * h$$

$$A_{s,vmin} = 0,002 * 1000mm * 80mm = 160mm^2/m$$

Horisontalarmering:

$$A_{s,hmin} = \text{Største verdi av} \begin{cases} 0,15 * A_{s,vmin} = 0,15 * 160 = 24 \text{ mm}^2/m \\ \frac{0,3A_c f_{ctm}}{f_{yk}} = 0,3 * 1000 * 80 * \frac{3,2}{500} = 153,6 \text{ mm}^2/m \end{cases}$$

$$A_{s,hmin} = 153,6 \text{ mm}^2/m$$

80mm-sjiktet skal ikke bli brannekspontert og sjiktet trengs derfor ikke å bli dimensjonert som ett yttersjikt etter tabell 4 C.1. Ser da at man trenger kun ett lag med armeringsnett.

Vertikalarmeringen krever $160 \text{ mm}^2/m$ og den horisontale armeringen krever $153,6 \text{ mm}^2/m$ i hvert armeringslag.

Bruker ett K 257 nett.

En brannseksjonering vegg skal i motstå en horisontal last på $0,5 \text{ kN/m}^2$

(Betongelementforeningen, Bind D, s. 33). Velger å se bort fra dette eventuelle brannbidraget når vi dimensjonerer elementene.

Dimensjonering av diagonalarmering

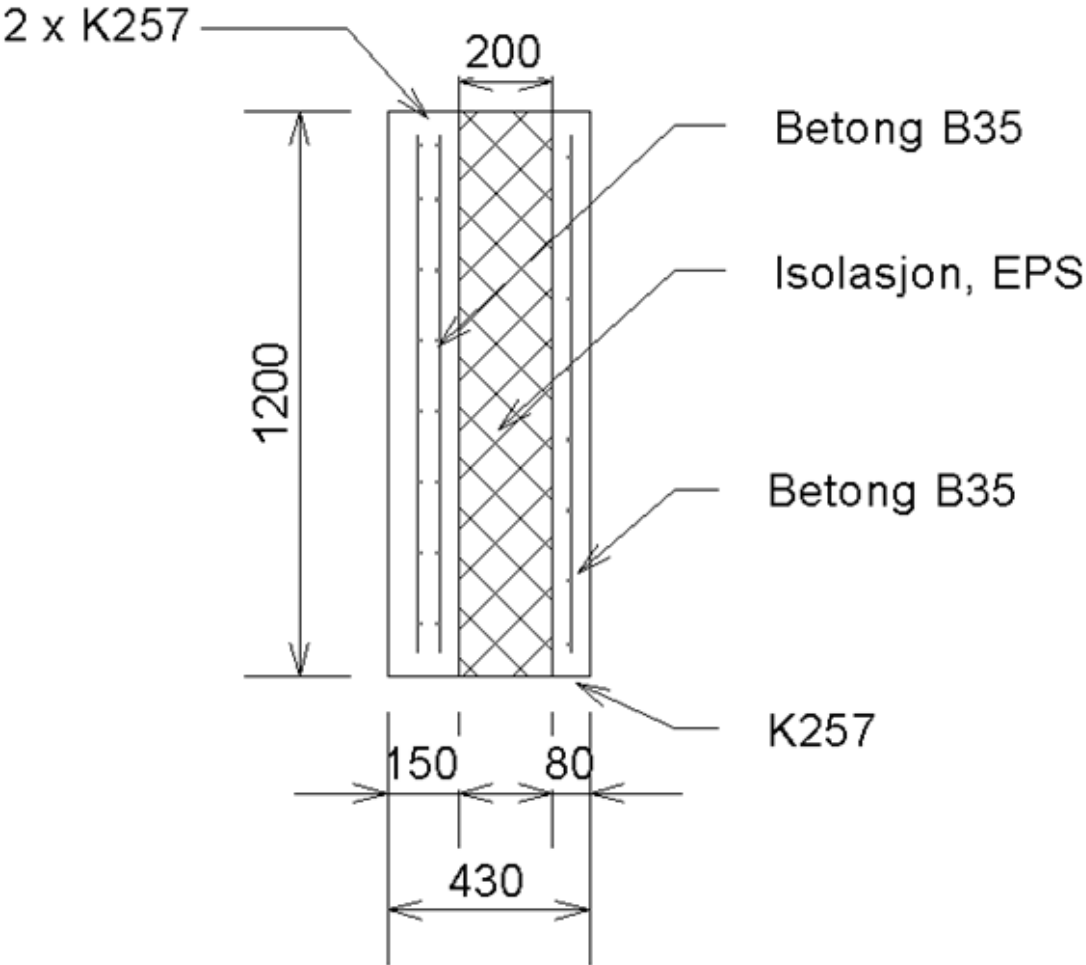
I vårt tilfelle er det mest effektivt å bruke diagonalstiger mellom betongsjiktene. Ettersom ankere og bøyer vil komplisere prosessen ved å legge isolasjonen, siden man må lage utsparinger i isolasjonen for disse. Etter valg av dimensjoneringsprinsippet trenger vi å bruke PTM-diagonalstiger, men av tabellen/brosjyren til peikko har de ikke brede nok stiger, og vi må benytte en PDM 260 for å få plass til isolasjonen og tilstrekkelig overdekkning.

Etter anbefalinger av brosjyren til peikko. Velger vi c/c 600mm. Isolasjonstykkelsen fører til at vi må benytte en PDM 260

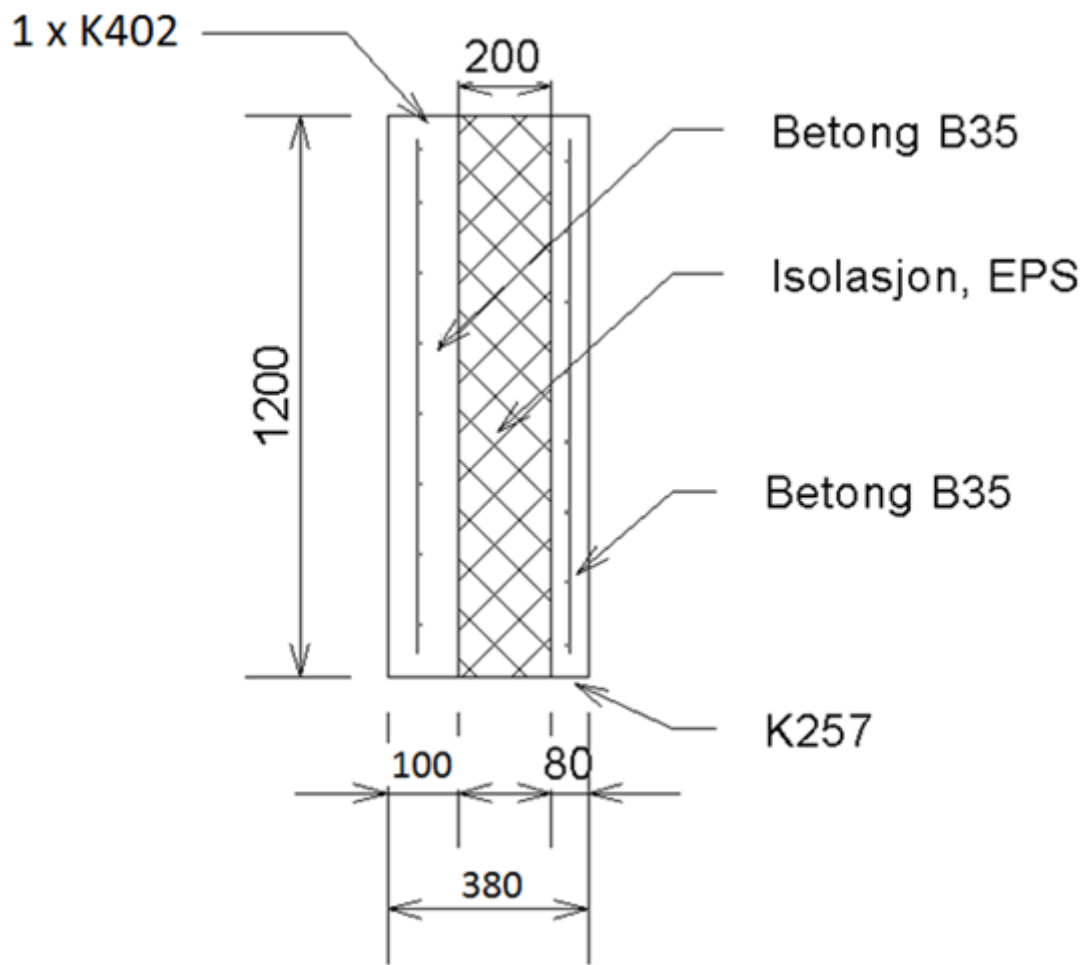


Viser diagonal armering brukt i element, Illustrasjon Bjerke

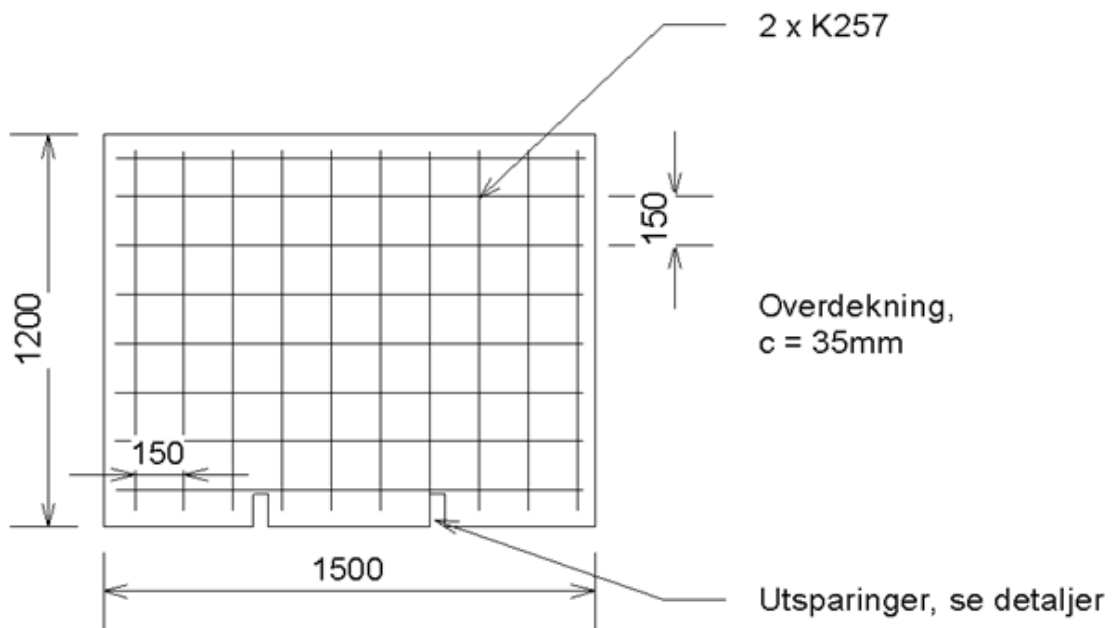
Vedlegg E. Armeringstegninger



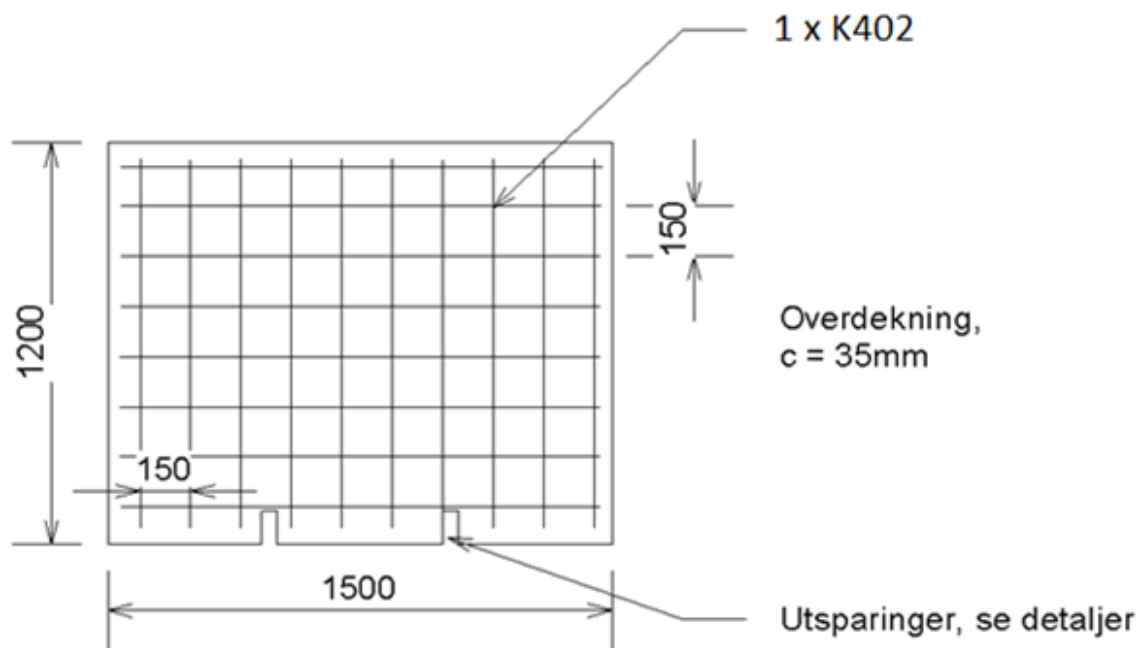
Snitt 430 mm sandwichelement, Illustrasjon Sæther



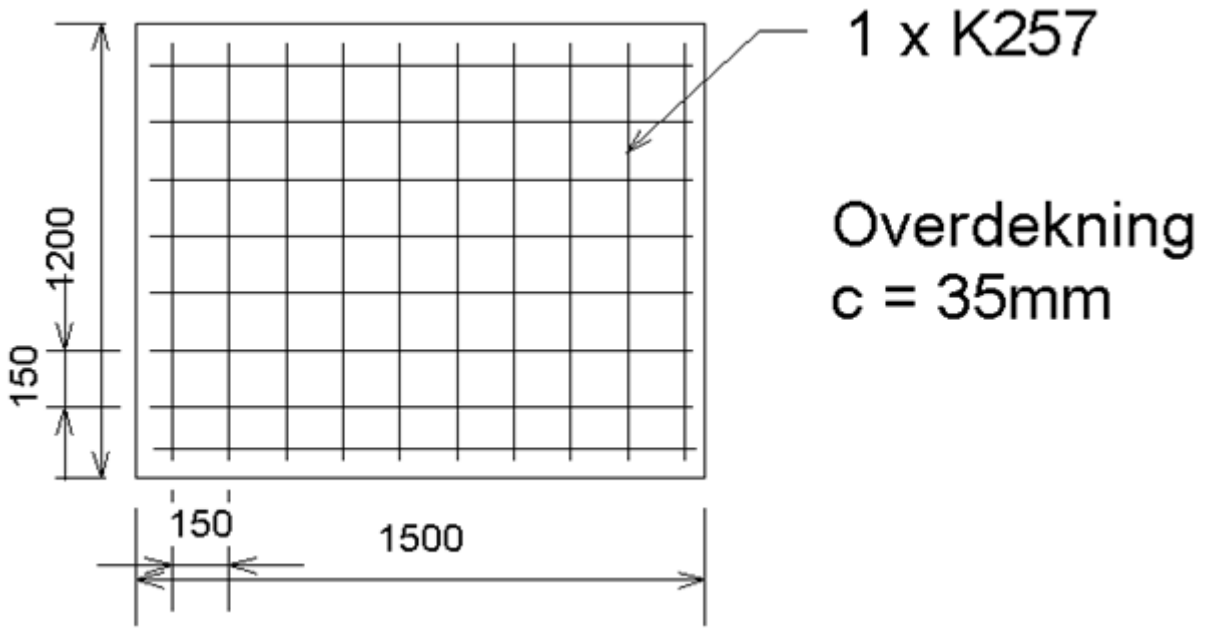
Snitt 380 mm sandwichvegg, Illustrasjon Sæther



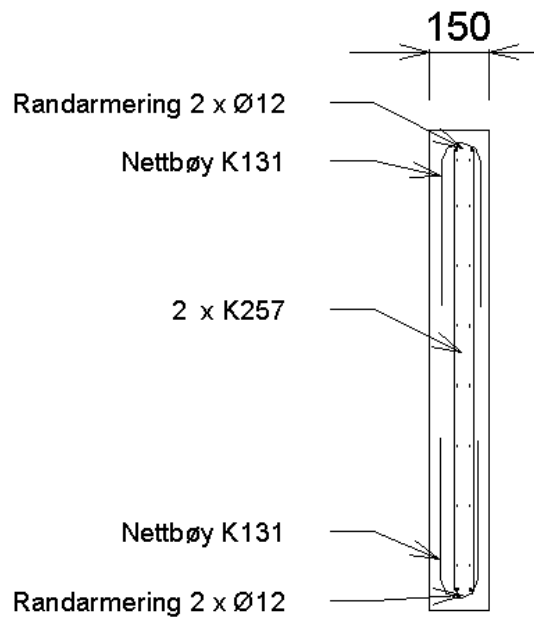
Armering brannekspontert vegg 150 mm, Illustrasjon Sæther



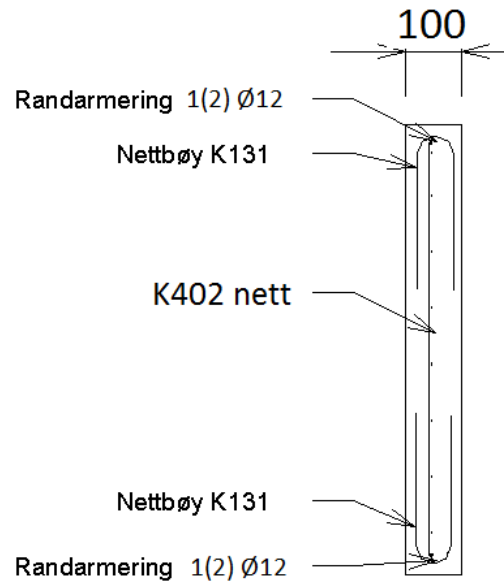
Armeringstegning brannekspontert vegg 100 mm, Illustrasjon Sæther



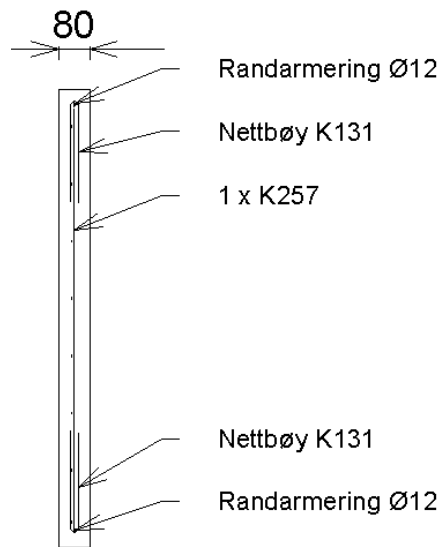
Armering 80 mm sjikt, Illustrasjon Sæther



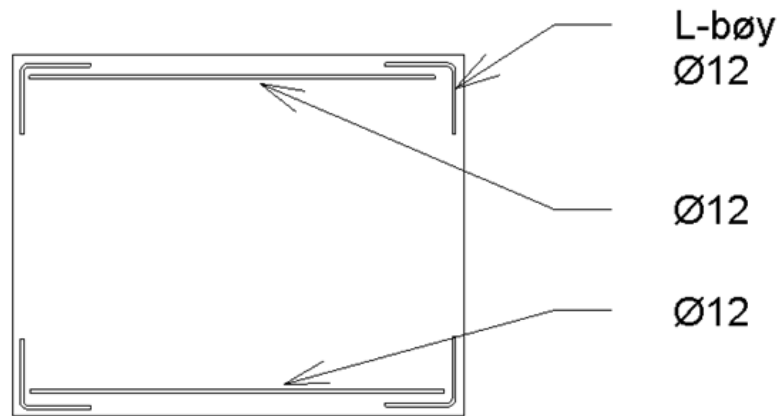
Snitt 150 mm sjiktet, Illustrasjon Sæther



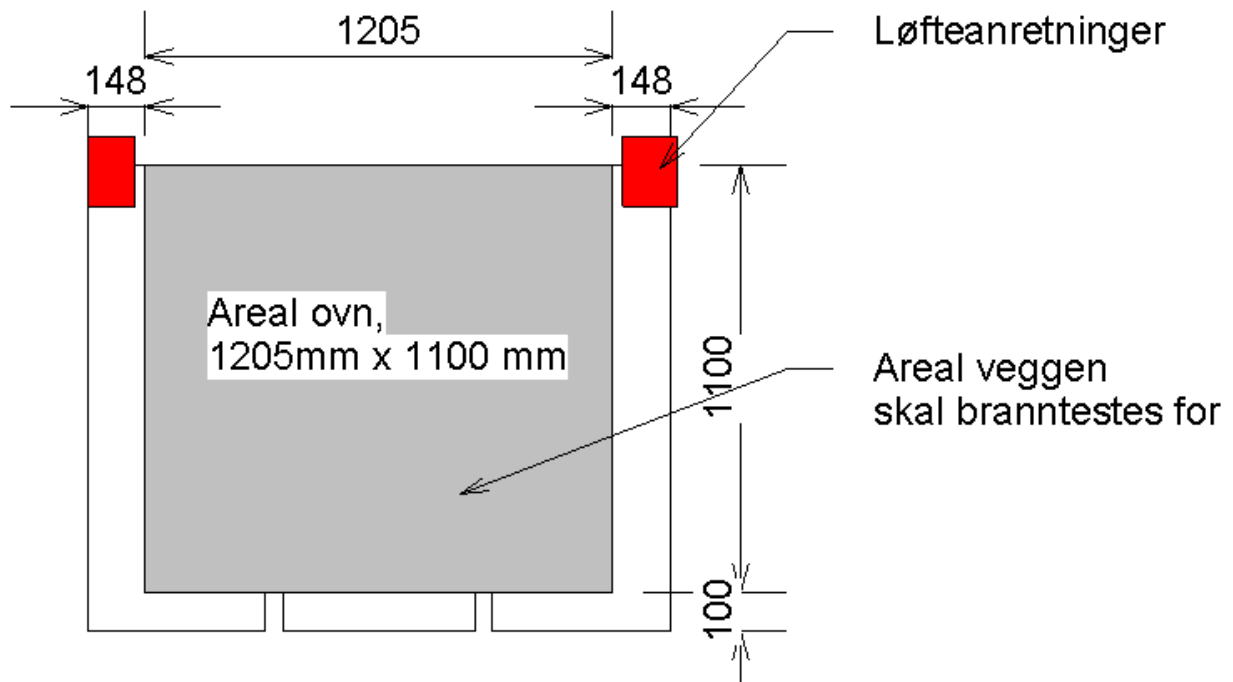
Snitt 100 mm sjiktet, Illustrasjon Sæther



Snitt 80 mm sjiktet, Illustrasjon Sæther



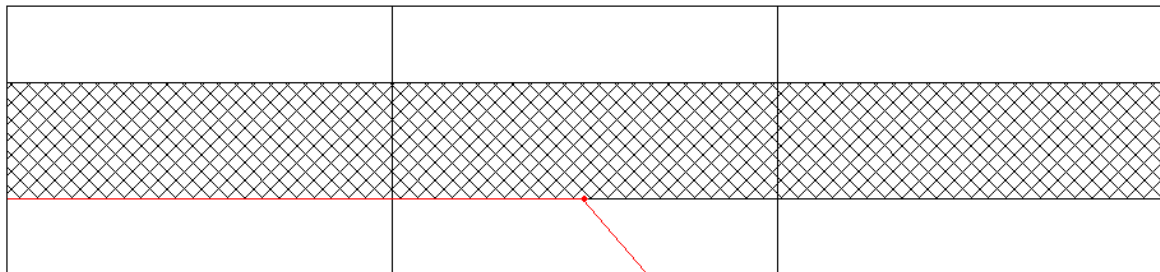
Randarming i alle betongsjiktene, Illustrasjon Sæther



Areal ytterkant ovn, Illustrasjon Sæther

Vedlegg F. Tegninger Leca-vegger

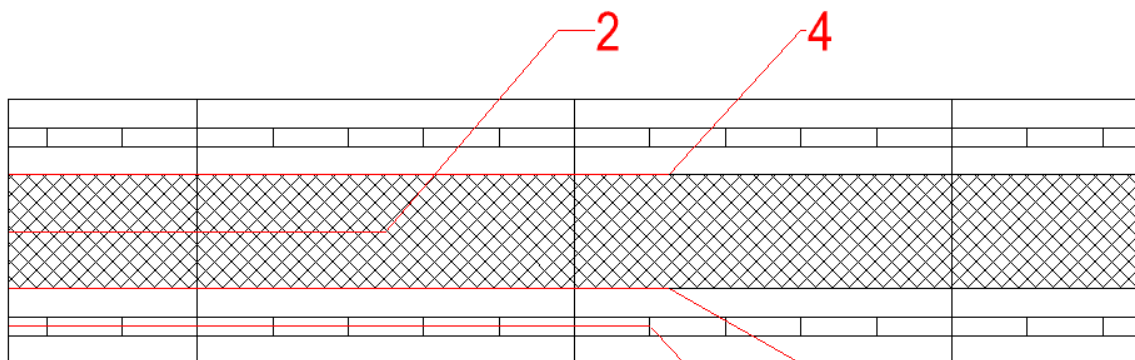
Uten puss



Brann side

1

Lecavegg sjikt 3, Illustrasjon Thomas Johnsen

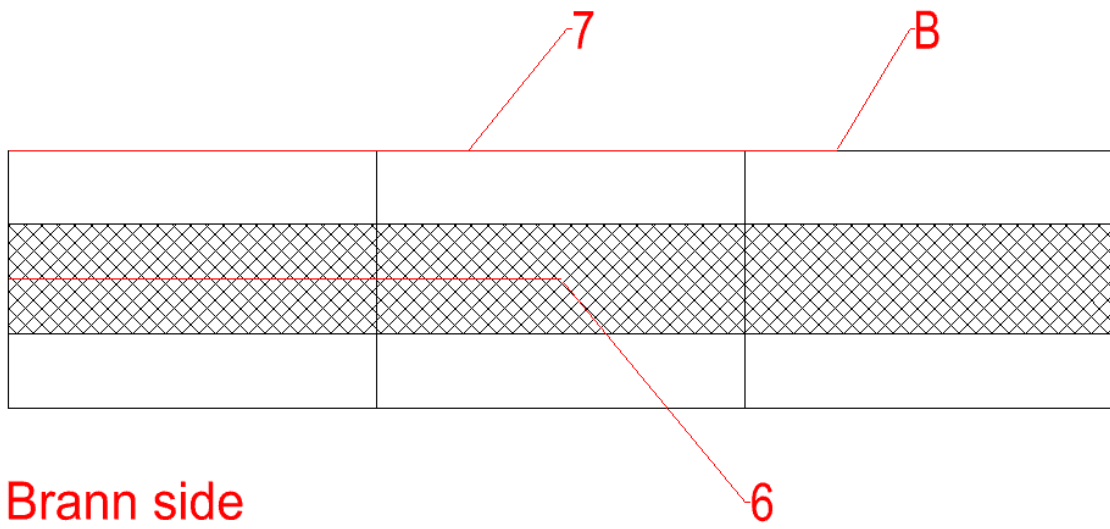


Brann side

5

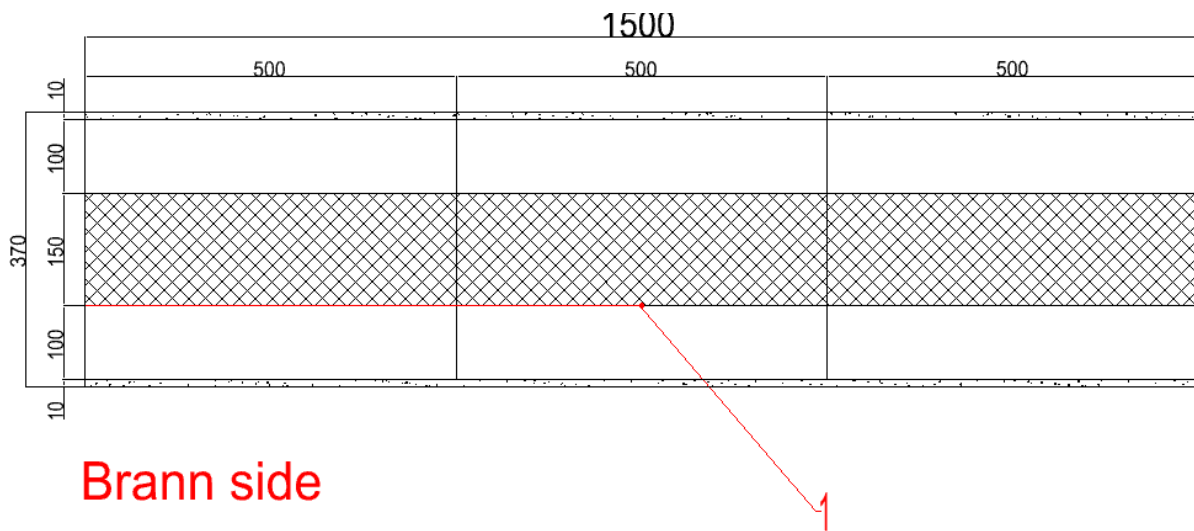
3

Lecavegg sjikt 4, Illustrasjon Thomas Johnsen

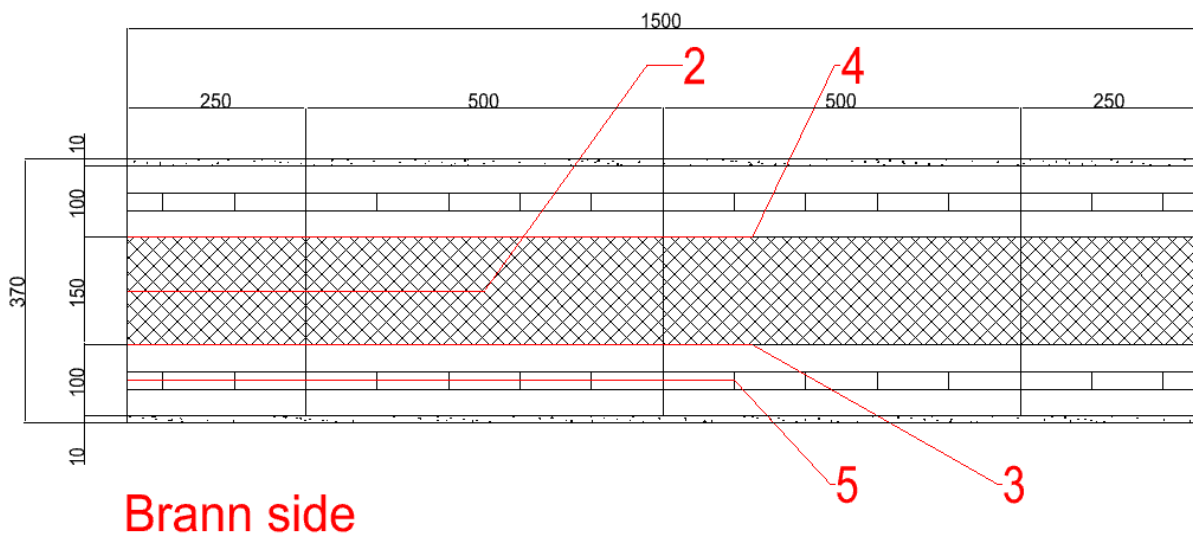


Lecavegg sjikt 5, Illustrasjon Thomas Johnsen

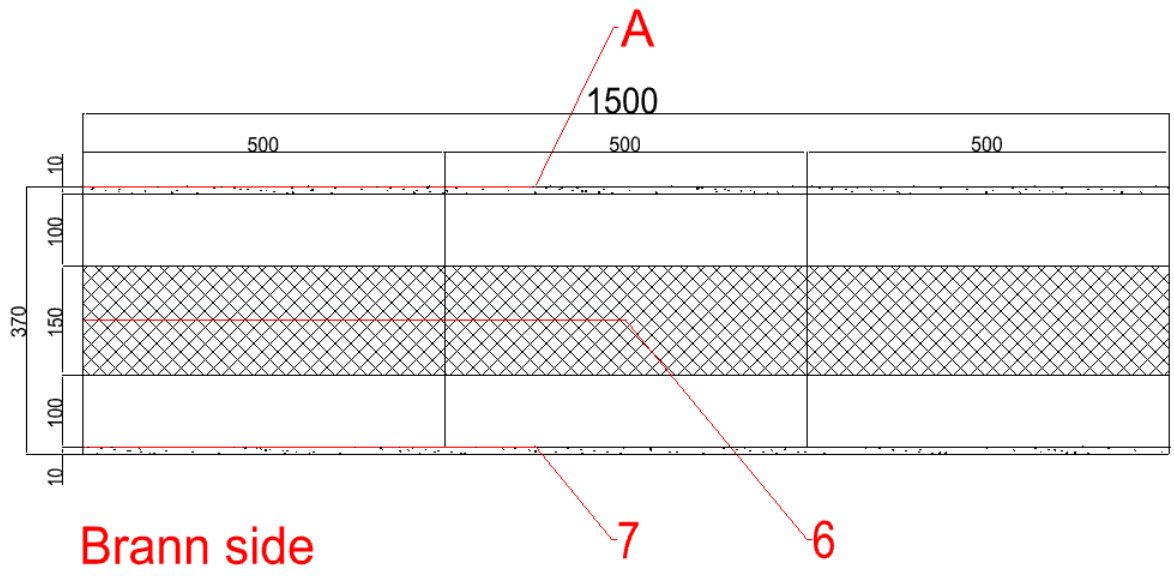
Med puss



Lecavegg sjikt 3, Illustrasjon Thomas Johnsen



Lecavegg sjikt 4, Illustrasjon Thomas Johnsen



Lecavegg sjikt 5, Illustrasjon Thomas Johnsen

Vedlegg G. Tabeller og figurer

Standard brannmotstand	Minste dimensjoner avhengig av utnyttelse (mm) Veggtykkelse t / armeringsdybde a			
	$\mu_{fi} = 0,35$		$\mu_{fi} = 0,7$	
	Eksponert på én side	Eksponert på to sider	Eksponert på én side	Eksponert på to sider
1	2	3	4	5
REI 30	100 / 10*	120 / 10*	120 / 10*	120 / 10*
REI 60	110 / 10*	120 / 10*	130 / 10*	140 / 10*
REI 90	120 / 20*	140 / 10*	140 / 25	170 / 25
REI 120	150 / 25	160 / 25	160 / 35	220 / 35
REI 180	180 / 45	200 / 45	210 / 55	300 / 55
REI 240	230 / 60	250 / 60	270 / 70	360 / 70

* Overstyres av andre krav til overdekning (korrosjon, heft).

Bærende vegger, (Betongelementforeningen 2007, Bind D, s. 34)

Tabell C 4.1. Maksimum sjiktykkelse i mm for å tilfredsstille
NS 3473, punkt 18.5.2.

Armeringsnett	Yttersjikt			Innersjikt		
	B20	B30	B35	B20	B30	B35
K131	52	41	38	103	82	75
K189	75	60	55	150	119	109
K257	102	81	74	204	162	148

Maksimum sjiktykkelse, (Betongelementforeningen, 2006, bind C, s. 76)

Tabell over utvalgte standardnett hentet fra (<http://norge.celsa-steelservice.com/downloads/broschyrer/standardnett.pdf>)

Nett - betegnelse	Avstand mellom		Tråddiameter		Ståltverrsnitt	
	Lengdetråder [mm]	Tverrråder [mm]	Lengdetråder [mm]	Tverrråder [mm]	Lengdetråder [mm ² /m]	Tverrråder [mm ² /m]
K 131	150	150	5	5	131	131
K 189	150	150	6	6	189	189
K 257	150	150	7	7	257	257
K 402	150	150	8	8	402	402