



Statens vegvesen

Brannprøving av sprøytebetong

med ulike doseringer monofilament polypropylenfiber

Statens vegvesens rapporter

Nr. 139

Vegdirektoratet
Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen
Tunnel og betong
August 2012

Tittel

Brannprøving av sprøytebetong

Undertittel

med ulike doseringer monofilament polypropylenfiber

Forfatter

Reidar Kompen, Eva Andersson (SINTEF NBL)

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer**Rapportnummer**

Nr. 139

Prosjektleder**Godkjent av**

Claus K. Larsen

Emneord

Brannvern, vegtunnel, fiber, sprøytebetong

Sammendrag

Denne rapporten beskriver produksjonen av ni testelementer og brannprøving av disse etter ISO 834 med standard tid-temperaturkurve (ISO) eller hydrokarbonbranneksponering (HC-kurve). Brannforsøkene ble utført i 2003 ved SINTEF Norges brann tekniske laboratorium (NBL) i Trondheim.

Hensikten med brannprøvingen var å dokumentere virkningen av ulike doseringer monofilament polypropylenfiber i sprøytebetong ved brannbelastning etter ulike eksponeringskurver. Prøvningsresultatene fra denne serien brannforsøk danner grunnlaget for dagens spesifisering av monofilament polypropylenfiber til bruk i sprøytebetong til brannsikring i norske vegtunneler.

Title

Fire testing of sprayed concrete

Subtitle

with different dosages of monofilament polypropylene fibre

Author

Reidar Kompen, Eva Andersson (SINTEF NBL)

Department

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Section

Tunnel and concrete

Project number**Report number**

No. 139

Project manager**Approved by**

Claus K. Larsen

Key words

Fire protection, road tunnel, fibre, sprayed concrete

Summary

This report describes the production of nine test elements and fire testing of these after ISO 834 with standard time-temperature curve (ISO) or hydrocarbon fire exposure (HC-curve). The fire tests were conducted in 2003 by SINTEF Norwegian Fire Research Laboratory (NBL) in Trondheim.

The purpose of the fire test was to document the effect of different dosages of monofilament polypropylene fibre in sprayed concrete exposed to different fire curves. Test results from this test series form the basis for the current specification of monofilament polypropylene fibre used in sprayed concrete for fire protection in Norwegian road tunnels.

Innhold

1	INNLEDNING	1
2	TESTELEMENTER	1
3	BRANNPRØVING	1
VEDLEGG I	FELTFORSØK SPRØYTEBETONG MED POLYPROPYLENFIBER BRANNMOTSAND ..	2
VEDLEGG II	NI SMÅSKALA BRANNTESTER AV BETONGSKILLER, BASERT PÅ ISO 834:1975. 7 TESTER MED STANDARD TID/TEMPERATUR KURVE OG 2 TESTER MED HYDROKARBON BRANNKURVE.....	13

1 Innledning

Statens vegvesen har i samarbeid med SINTEF Norges branntekniske laboratorium (NBL) gjennomført en rekke utredninger og praktiske forsøk for å finne akseptable løsninger for brannsikring av ubeskyttet PE-skum i vegtunneler. Som en del av dette arbeidet ble det i 2003 utført brannprøving av testelementer av sprøytebetong med ulik dosering monofilament polypropylenfiber ved SINTEF NBL i Trondheim.

Denne rapporten er todelt. Første del beskriver produksjonen av testelementene (VEDLEGG I) og andre del består av prøvingsrapporten fra brannforsøkene (VEDLEGG II). Begge disse rapportene ble utarbeidet i 2003.

2 Testelementer

Det ble i alt produsert ni testelementer av sprøytebetong med ulik dosering monofilament polypropylenfiber, av type Duomix M6-16. Doseringene var 0, 1, 2 og 3 kg fiber per m³ betong. Testelementene ble produsert av Midt-Norsk Betongsprøyting A/S i juli 2003, med sprøytebetong levert av NorBetong A/S i Orkanger.

Produksjonen av testelementene er beskrevet i rapporten *FELTFORSØK Sprøytebetong med polypropylenfiber Brannmotstand*, utarbeidet av Reidar Kompen. Se VEDLEGG I på side 2.

3 Brannprøving

Brannprøvingen ble utført i tre omganger ved SINTEF NBL i Trondheim, i løpet av høsten 2003. Det ble til sammen gjennomført ni branner med standard tid-temperaturkurve (ISO 834) eller hydrokarbonkurve, beskrevet i ISO 834-3. Testelementer med alle fire fiberdoseringer ble brannekspionert med standard tid-temperaturkurve, mens testelementer med fiberdoseringene 1 og 2 kg fiber per m³ betong ble utsatt for en hydrokarbonbrannekspionering. Brannforsøkene ble gjennomført vertikalt i laboratoriets småskalaovn. Under brannforsøkene ble det registrert avvik på både trykk og temperatur i prøveovnen i forhold til toleransegrenser gitt i de respektive prøvingsstandardene.

Begge testelementene uten fiber fikk kraftig avskalling som resultat av brannekspioneringen, mens ingen av testelementene med fiber fikk avskalling eller nedfall av betongflak.

Prøvingsrapporten for brannforsøkene, utarbeidet av Eva Andersson (SINTEF NBL), finnes i VEDLEGG II på side 13.

FELTFORSØK
Sprøytebetong med polypropylenfiber
Brannmotstand

Innhold

INNLEDNING	1
PLAN FOR PRØVEELEMENT PRODUKSJON	1
BETONGRESEPT	2
FIBER	2
UTFØRELSE AV PRØVEPRODUKSJONEN	3
RESULTATER AV BETONGPRØVING	5
KONKLUSJONER	6

Innledning

Tradisjonelt har betong vært ansett å ha gode egenskaper med hensyn til brannmotstand, i det materialet i seg selv er ubrennbar, det avgir ingen giftige gasser under brannpåvirkning og det beholder tilfredsstillende mekaniske egenskaper relativt lenge. En betongkonstruksjon regnes som en god brannspærre.

Likevel er det slik at betongens egenskaper forringes ved høye temperaturer, og ved rask oppvarming får betongen en eksplosiv avskalling. Allerede fra 1980-tallet har det vært kjent at finfordelte polypropylenfibere i betongen kan redusere eller eventuelt forhindre denne avskallingen. På bakgrunn av de tunnelbrannene som oppsto i Europa på 1990-tallet og de skjerpede regler for brannsikring som forventes av dette, har polypropylenfiberbetong tiltrukket seg større interesse.

I norske tunneler benyttes i stor grad sprøytebetong, - også til brannsikring. Det er derfor av stor interesse å få svar på følgende spørsmål:

1. Oppnås det tilstrekkelig reduksjon av eksplosiv avskalling av sprøytebetong med polypropylenfiber?
2. Kan en ved våtsprøyte-metoden benytte så høye fiberdoseringer at avskalling hindres? Det vil si; lar selve produksjonsprosessen seg gjennomføre på fornuftig vis, og vil produktet (herdnet sprøytebetong) inneholde tilstrekkelig mengde fiber?

For å få svar på disse spørsmålene ble det den 15. juli 2003 produsert prøveelementer av sprøytebetong med polypropylenfiber. Elementene skal seinere brannprøves ved SINTEF – Norges Brann tekniske Laboratorium. Prøveelementene ble utført av Midt-Norsk Betongsprøyting A/S med sprøytebetong levert av NorBetong A/S i Orkanger.

Plan for prøveelement produksjon

Det avtales å utføre prøveelement produksjonen hos/nær ved betongblanderiet. Det benyttes 1,0 m³ blandinger, en blanding pr. lass.

Det sprøytes mot stående forskalinger bygget opp med hel plate i bunnen og 1,3 x 1,3 m ramme av 60 mm dype lekter/bord, 2 stk. forskalinger pr. fiberdosering.

Etter sprøyting skrapes overflaten av etter lektene, til 60 mm elementtykkelse. Deretter sprøytes et tynt lag over overflaten, og elementet kles umiddelbart inn med plastfolie, så tett det lar seg gjøre. Etter avforskaling ved 2 – 3 døgn's alder kles elementene inn i plastfolie igjen, og leveres Brannlaboratoriet, SINTEF i Trondheim innkledd i plastfolie i uke 34.

Hvert element merkes med fiberdosering, dvs. 0, 1, 2 eller 3.

Det startes med fiberdosering 0 kg/m³. Deretter fortsettes med fiberdosering hhv. 1 kg/m³, 2 kg/m³ og 3 kg/m³. (Fiberdoseringene er knyttet til den fibertypen som er valgt.)

For hver blanding/fiberdosering observeres:

- eventuelle problemer med innblanding av fiber
- eventuell fiberballing
- problemer med konsistens, å få sprøytebetongen gjennom rista i pumpe
- tyngre/vanskeligere å pumpe
- endring i sprøytbarhet, akseleratorbehov
- fibertap ved sprøyting

Av hver blanding/fiberdosering støpes 3 stk. 10 x 10 x 10 cm terninger som skal veies og trykkprøves, 1 stk. ved 7 døgn og 2 stk. ved 28 døgns alder. (Utføres av blanderiet.)

Av blandingen med fiberdosering 3 kg/m³ STØPES liggende ett element 1,3 x 1,3 m i 6 cm tykkelse for ev. å undersøke forskjellen mellom støpt og sprøytet betong. Også dette elementet dekkes til/kles inn med plastfolie.

Betongresept

Prøveelementproduksjonen ble utført ved NorBetong A/S sitt blanderi på Orkanger, og utgangsresepten for sprøytebetong var den samme som blanderiet benytter ved ordinære leveranser. Kvalitet C45 MA. Blanderiet hadde de siste 2 ukene hatt en del leveranser av sprøytebetong, og dermed erfaring for at resepten fungerte godt.

Resepten var:

Norcem Standard FA sement	451,7 kg
Microsilika	39,3 kg
Sand 0 – 8 mm Ramlo	1556,5 kg
Vann	223,8 kg
Scanflux AD-18 (18 % tørrstoff)	5,15 kg

Resepten er lagt opp med et masseforhold $m = v/(c + 2 \cdot s) = 0,43$, 2,6 % luft og synkmål 20 cm. Silikadoseringen er 8,7 % av sementvekt.

I resepten er det ikke lagt inn margin for polypropylenfibernes vannbehov.

Blanderiet har en 3 m³ Skako tvangsblender hvor det benyttes maks 2,35 m³ satser. Det ble benyttet 1,0 m³ satser ved prøveproduksjonen.

Fiber

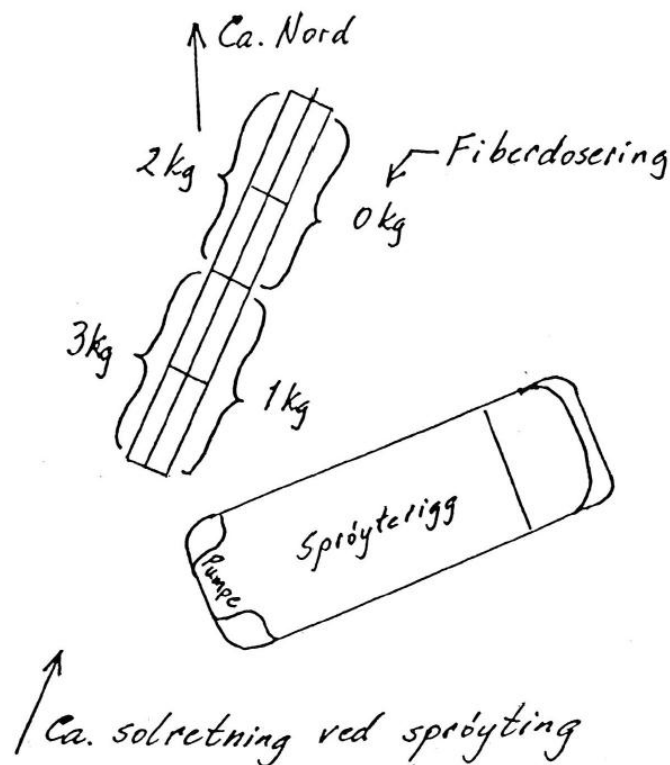
Det var valgt å benytte DUOMIX M6-16 polypropylenfiber levert av Bekaert Norge A/S v/Nils Leirud. Fiberlengden er 6 mm, tykkelsen 16 micron. Fiberne er coatet for dispergering/reduisert vannbehov. Fiber ble veid opp i poser før blanding startet.

Utførelse av prøveproduksjonen

Den dagen prøveproduksjonen ble utført, 15. juli 2003, var det ekstremt sommervær med lufttemperatur over 30 °C, nærmest vindstille og klar sol/skyfri himmel.

Elementforskalingene var produsert som to lemmes av trefiberplater med 4 stk. elementrammer på hver. De to lemmene ble stilt svakt skrått mot hverandre og avstivet. Oppstilling i forhold til himmelretningene omtrent som vist på figur 1, slik at solen sto omtrent i lemmenes lengderetning da sprøytingen pågikk.

Forskalingen der det ikke ble sprøytet ble dekket med plastfolie. Umiddelbart etter ferdig utførte elementer ble plastfolien lagt over og stiftet fast.



Figur 1 Oppstilling for sprøyting av prøveelementer

Sprøyting ble utført med Midt-Norsk Betongsprøyting A/S sin egenbygde rigg (på lastebil), som har en Meyco stempelpumpe, 2" slange og håndholdt sprøytemunnstykke. Akselerator var vannglassbasert.

Før blanding av sprøytebetong var blandemaskinen vasket (for å unngå stein som kunne gi propp). Etter vaskingen lå det igjen noe vann i blanderen, og det ble derfor holdt igjen noe vann ved den første blandingen og spedd til "normal" konsistens. Strengt tatt er derfor vanninnholdet "ukjent" i første blanding, men det må være noe i nærheten av det forutsatte. Vanninnholdet i sanden var målt til 4,3 % i stekepanne før blanding startet. Første blanding startet kl 1350. Blandingen var uten fiber, og konsistensen ble spedd til et wattmeterutslag på 28.

Etter smøring av slange med sementvelling startet pumping kl 1400. Mørtelkonsistensen var noe stivere/seigere enn strengt tatt ønsket. Mørtelen la seg på rista til pumpa, og måtte hjelpes gjennom med krafse. Pumping og sprøyting gikk svært greit. Mørtelen var kohesiv og stabil, uten noen separasjonstendens. Pumpekapasiteten var noe i overkant for sprøyting av så små elementer. Akselerator dosering anslått til ca. 10 liter pr. m³. Ingen tendenser til sig i ferdig sprøytet betong. Overflata var relativt hard å skjære av med rettholdt til jevn overflate.

Sprøytebetong med polypropylenfiber ble produsert ved at det først ble blandet 1 m³ uten fiber, deretter ble fiberen tilsatt i blandemaskinen og konsistensen eventuelt spedd med en mindre vanntilsetning. Fiberen ble drysset gradvis i blanderen, men ikke på noen ”ekstremt forsiktig” måte.

Andre blanding, med 1 kg fiber pr. m³ startet ca. kl. 1425. Etter avlest wattmeterutslag 29 ble det spedd med 1 liter vann til wattmeterutslag 28. Temperatur i blanderen ble målt til 23 °C, temperaturen i ferdigblandet mørtel til 22,5 – 23,0 °C. En kunne ikke visuelt se at det fantes fiber i mørtelen. Pumping og sprøyting gikk greit som før, men massen var enda litt vanskeligere å få gjennom rista på pumpa. Akselerator doseringen var litt høyere enn ved første blanding.

Pumpe og slange ble ikke reingjort mellom lassene med forskjellig fiberdosering. Det samme gjaldt blandemaskinen. Mørtel som en ikke hadde bruk for ble dumpet.

Tredje lass, med 2 kg fiber pr. m³, ble blandet kl. 1455. Blandingen ble spedd til et wattmeterutslag på 27 – 28. Mørtelen så rimelig bløt og smidig ut, likevel fant mannskapet det nødvendig å ta bort rista på pumpa. Mørtelen sto som en relativt høy kjegle når den falt ned i pumpa. På lyden fra pumpa hørtes det ut til at pumpa gikk svært mye tyngre, problemer med pumping og sprøyting var det likevel ikke. Olje-manometeret på pumpa ble avlest til 110 – 120 Bar, men en har ikke avlesninger for betong uten fiber å sammenligne med. Trolig er hydraulikktrykket for betong uten fiber 70 – 80 Bar (gjetning). Heller ikke ved denne fiberdoseringen var det lett å se fiberne i massen, når en virkelig lette for å finne fiber var det likevel enkelt å se.

Fjerde og siste blanding, med 3 kg fiber pr. m³, ble blandet kl. 1515. Konsistensen ble spedd, først med 4 liter vann, deretter med 2 liter til, uten at det så ut til å gi noe utslag på wattmeteravlesningen som var 30 – 31. Fiberne ga trolig så mye økning av seigheten i massen at en måtte ha spedd til separasjon av massen for å få utslag på wattmeteret. I den ferdige massen kunne en nå tydelig se fiber uten å lete. Om man ikke visste at det var fiber i massen ville en likevel ikke ha lagt merke til noe spesielt.

Ved tømning i pumpekaret sto mørtelen i enda høyere og brattere kjegle. (Sto som hestemøkk er anleggsuttrykket). Lyden fra pumpa indikerte at det gikk omtrent like tungt som foregående blanding. Sprøyting gikk uproblematisk, men en fikk en kraftig ”støving” som sannsynligvis var fiber som fløy i luften og ikke ble en del av panelet. Slik ”støving” var ikke observert ved lavere fiberdoseringer.

Ved alle fiberdoseringene var det en del prell av de groveste tilslagspartiklene, ellers ikke noe spesielt å bemerke. Sig i sprøytebetongen ble aldri observert, heller ikke antydning til fiberballer. Stempelpumpa gir tydelig pulsering av betongstrømmen, mens akseleratoren mates med jevn strøm.

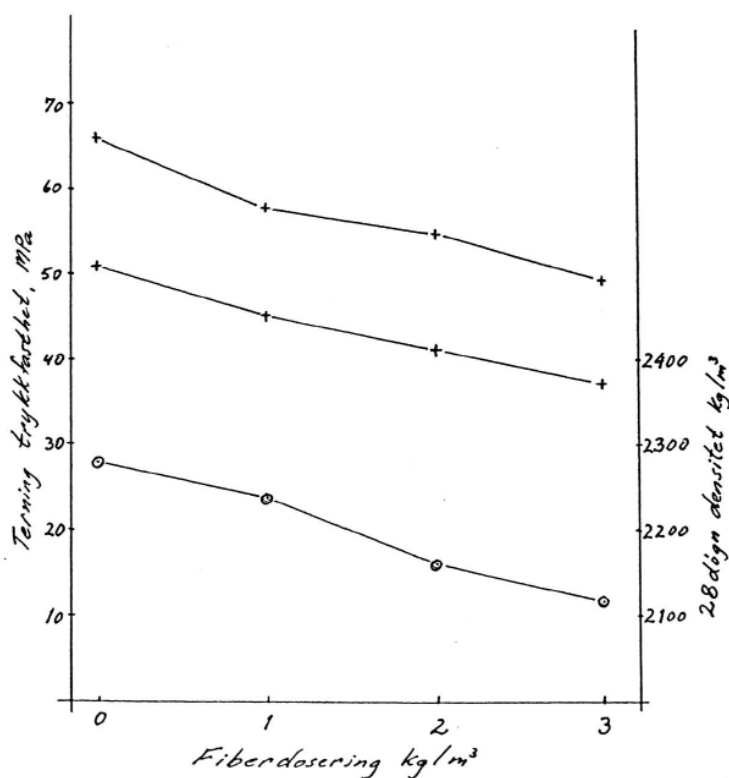
Det støpte, liggende elementet ble utført ved at betong ble pumpet fram gjennom slangen til sprøyteutstyret. Overflaten ble trukket av med rettholdt og glattet jevn med stålbrett.

Resultater av betongprøving

Av hver blanding ble det tatt ut en prøve og utstøpt 3 stk. 10 x 10 x 10 cm terninger, hvorav 1 stk. ble testet ved 7 døgn og 2 stk. ved 28 døgnns alder.

Hovedresultatene er gitt i tabellen under og i figur 2.

Egenskaper	Fiberdosering, kg/m ³			
	0	1	2	3
7 dg trykkfasthet, MPa	51,0	45,4	41,3	37,2
28 dg trykkfasthet, MPa	66,0	58,1	55,1	49,4
28 dg. trykkfasthet, % av 0 kg fiber	100 %	88 %	83,5 %	75 %
7 dg densitet, kg/m ³	2278	2234	2167	2116
28 dg densitet, kg/m ³	2281	2239	2162	2119
Registrert vanninnhold, kg	224,5	231,5	240,0	234,0
Registrert v/c-forhold	0,419	0,433	0,452	0,444



Figur 2 Trykkfasthet og densitet for utstøpte terninger

Prøvingen viser klart reduksjon i trykkfasthet med økende fiberdosering for utstøpte terninger. Forklaringen på fasthetsreduksjonen er primært densitetsreduksjonen ved økende fiberdosering, sekundært økning av v/c-forholdet på grunn av fibernes vannbehov. Densitetsreduksjonen kan skyldes at fiberne trekker med seg luftporer i blandingen, men mer sannsynlig en effekt av vanskeligere kompaktering.

Utsprøytet betong trenger ikke vise tilsvarende stor densitets- og fasthetsreduksjon med økende fiberdosering, fordi kompakteringsprosessen er annerledes enn ved utstøping.

Konklusjoner

1. Å blande sprøytemørtel med fiberdosering opp til 3 kg pr. m³ av den anvendte fiberen synes å være ganske uproblematisk. Trolig kan en blande betong med høyere fiberdosering. Det var ingen antydninger til fiberballing ved noen av de utførte blandingene.
2. Fiberen har sitt eget vannbehov, men dette er langt lavere enn fryktet. Vannbehovet må ses i sammenheng med praktisk ønsket konsistens for massen. Fiberne har stor innflytelse på kohesiviteten/seigheten av massen, og vanninnholdet må tilpasses slik at produksjonsprosessen går greit. Et problem i denne forbindelsen er at vanninnholdet knapt gir noe utslag på konsistensmålinger og wattmeter, i alle fall ikke for den høyeste fiberdoseringen.
3. Fibernes innvirkning på sprøytemørtelens kohesivitet og kompakterbarhet medfører betydelig reduksjon av mørtel-densitet og dermed trykkfasthet for utstøpte prøvestykker. Fasthetsreduksjonen ved fiberdosering 3 kg/m³ var 25 %. Hvorvidt tilsvarende fasthetsreduksjon opptrer for sprøytet mørtel, hvor kompakteringsprosessen er annerledes, er ikke testet.
4. Det eneste problemet som viste seg ved forsøket var å få sprøytemørtelen gjennom rista på pumpa. Dette problemet løses sannsynlig ved å montere en vibrator på rista. (Slik vibrator er vanlig på tunnel-sprøyterigger.)
5. Pumping gikk tyngre ved de høyeste fiberdoseringene, men ikke slik at det var vanskelig eller at kapasiteten ble merkbart redusert (2" slanger i 10 m lengde). Med hensyn til pumpemotstand har ikke bare betong konsistens men også slangelengde og -diameter betydning. Også med hensyn til pumping og sprøyting ville utstyret trolig tolerert høyere fiberdosering.
6. Ved den høyeste fiberdoseringen, 3 kg pr. m³, fikk en tydelig noe fibertap ved sprøytingen. Hvor stort tapet var er det umulig å ha noen formening om. Fibertapet kan indikere at en er noe i nærheten av et "metningspunkt" med hensyn til hva en kan få til i ferdig sprøytebetong, når en har 3 kg fiber i utgangsmassen. "Fiberstøvet" var ubehagelig, og ved ev. seinere bruk bør mannskapet (minst) ha vernebriller.



Foto 1 Oppstilling av forskaling



Foto 2 Paneler med 0 kg/m^3 fiber tildekket med plast, paneler med 1 kg/m^3 fiber ferdig sprøytet



Foto 3 Paneler med 3 kg/m³ fiber sprøytes, paneler med 2 kg/m³ fiber tildekket med plast.



Foto 4 Sprøyting av overflate på paneler med 3 kg/m³ fiber, etter avtrekking til jevn tykkelse.

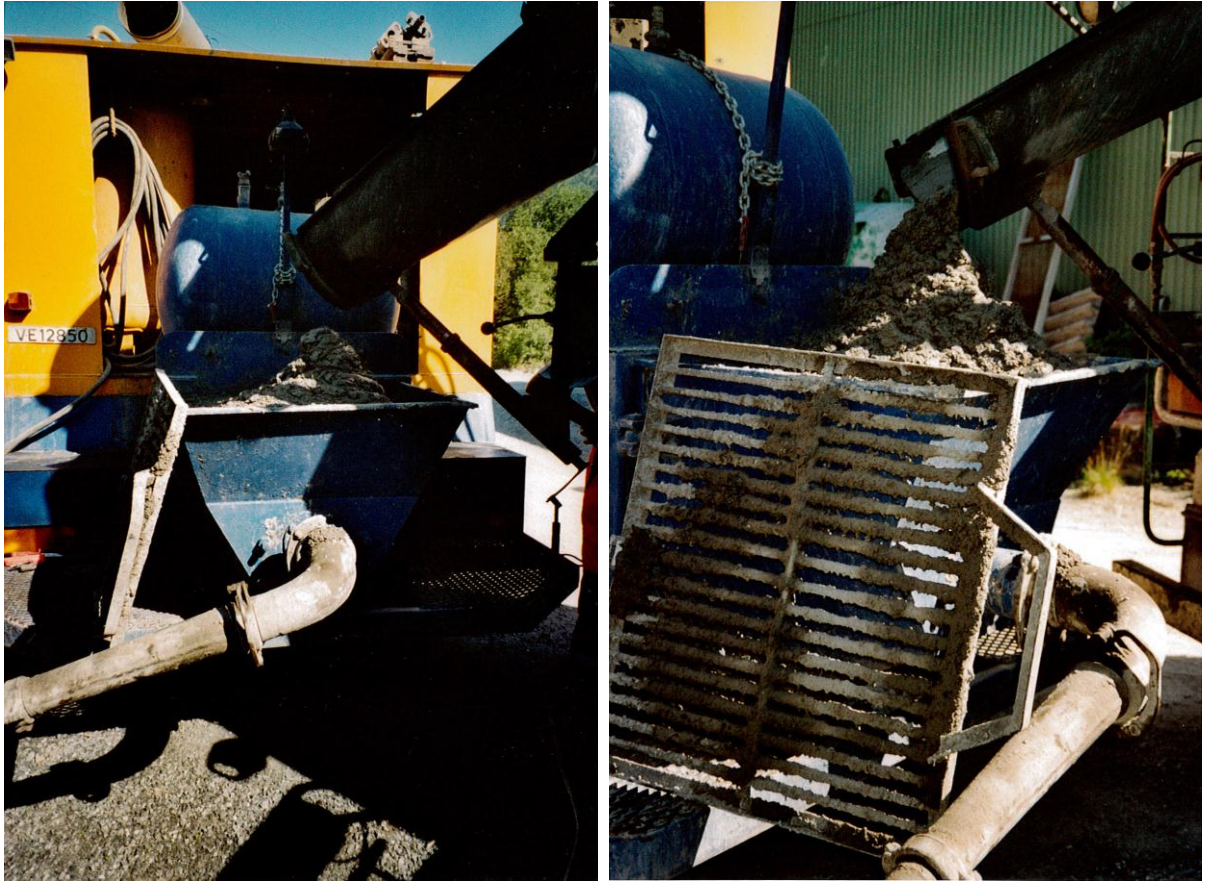


Foto 5 Mørtelkonsistensen før sprøyting domineres av pp-fiberne.

TITTEL / PRØVNINGSMETODE

Ni småskala brann tester av betongskiller, basert på ISO 834:1975. 7 tester med Standard tid/temperatur kurve og 2 tester med Hydrokarbon brannkurve.

PRODUKTNAVN

Sprøytebetong med Duomix polypropylen fiber.

OPPDRAGSGIVER(E)

Statens Vegvesen Vegdirektoratet
 Postboks 8142 Dep.
 0033 Oslo

OPPDRAGSGIVERS REF.

Harald Buvik

PROSJEKT NR.

103010.37 A-I oversatt

PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.)

Eva Andersson

GODKJENT AV (NAVN, STILLING SIGN.)

Ulf Danielsen, Fagansvarlig

ELEKTRONISK FARKIVKODE

I:\PRO\103010\37\Rapport Vegvesen pilot oversatt.doc

RAPPORT DATO

2003-11-27

PRØVINGSDATOER

2003-08-28/29, 2003-09-12/16/19 og 2003-11-10

ANTALL SIDER (INKL. VEDLEGG)

26

SAMMENDRAG

De ni testene ble utført vertikalt i NBL's pilotovn, med et eksponert areal på 1000 x 1000 mm. Intensjonen var å dokumentere ytelse og isolasjonsevnen for betongelementer med ulike eksponerings kurver. To av prøvestykkene var testet etter at de hadde vært nedsenket i et vannbad i fem dager. To av prøvestykkene var eksponert med Hydrokarbon brannkurve. Skillene var produsert med ulike mender av Duomix M6-16 polypropylen fiber (kg/m³ betong).

Testene var basert på ISO 834 med enten Standard time/temperatur kurve (ISO) eller time/temperatur kurven karakteristisk for en Hydrokarbon brann (HC) beskrevet i ISO 834-3 (*EN 1363-2 Fire Resistance Tests*).

TESTRESULTATER

Test	Eksponerings kurve	PP fiber (kg/m ³)	Våt	Varighet av test (min)	Midlere temp (°C) på ueksponert side		Betong
					45 min	testslutt	
A	ISO	3	Nei	60	93	125	Sprøytet
B	ISO	0	Nei	18 – knust	-	44	Sprøytet
C	ISO	3	Nei	46	144	146	Støpt
D	ISO	1	Nei	45	94	96	Sprøytet
E	ISO	2	Nei	46	108	108	Sprøytet
F	HC	1	Nei	60	122	144	Sprøytet
G	ISO	3	Ja	46	82	85	Sprøytet
H	ISO	0	Ja	36 – knust	-	88	Sprøytet
I	HC	2	Nei	60	136	165	Sprøytet

The results presented in this test report may only be quoted in full.

Excerpts may be quoted only with the written permission of Norges brann tekniske laboratorium as (Norwegian Fire Research Laboratory).

The test results referred to in this report relate only to the items tested.

Test reports from Norges brann tekniske laboratorium as (Norwegian Fire Research Laboratory) form the basis of fire technical classifications, certifications and approvals.

KLASSIFISERING

Ikke relevant.

BEMERKNINGER / AVVIK:

Dette er en oversatt versjonen av originalrapporten på Engelsk. Ved en eventuell diskusjon vedrørende tolkning av disse to rapportene så er det originalrapporten som er gjeldende.

En småskala test er ikke i henhold til de miniumskravene for dimensjoner beskrevet i ISO 834. De ytre dimensjonene på prøvestykket var 1300x1300mm.

Prøvestykket kom prefabrikkert og delvis kondisjonert til testlaboratoriet. Material og kondisjoneringen er beskrevet på side 20.

Trykket inne i ovnen overskred avviksgrensene beskrevet i ISO 834 i løpet av testene.

Midlere temperatur i ovnen overskred avviksgrensene beskrevet i ISO 834 i løpet av testene.

Grunnet uforutsette komplikasjoner med ovnen ble testene F og I forlenget til 60 minutters testtid og test E ble startet opp tre ganger.

NBL er av den meningen at ingen av de ovenfor stående avvik hadde noen innvirkning på testresultatenes gyldighet, som var å evaluere motstanden for betongavskalling ved brann mot betongelementene.

Brannbelastningen var i henhold til Standard tid/temperatur kurve (ISO) eller tid/temperatur kurven for Hydrokarbon brann (HC). Hydrokarbon kurven er beskrevet i ISO 834-3 og i *EN 1363-2 Fire Resistance Tests*.

INDEX

PRØVINGSRESULTATER	4
VISUELLE OBSERVASJONER UNDER OG ETTER PRØVING:.....	4
INSTRUMENTERING AV PRØVESTYKKET	7
PRESENTASJON AV TESTRESULTER:	8
FOTO:	15
OPPBYGGING AV PRØVESTYKKET	20
OPPBYGGING.....	20
KONDISJONERING FØR TEST:.....	21
APPENDIKS I	1
PRØVINGENS UTFØRELSE.....	1
TESTSTANDARD	1
PRØVINGSOVN	1
PRESENTASJON AV TRYKK OG TEMPERATUR INNE I OVNEN:	3

PRØVINGSRESULTATER

Prøvningsresultatene er dokumentert i form av:

- ✓ visuelle observasjoner under og etter testen,
- ✓ temperaturmålinger utført på prøvestykket,
- ✓ fotografier tatt før, under og etter testen.
- ✓ trykk og temperatur inne i ovnen (Vedlegg I)

Visuelle observasjoner under og etter prøving:

Følgende observasjoner av prøvestykkene ble gjort under prøving. Etter avsluttet test ble prøvestykkene tatt bort fra ovnen for avkjøling og inspeksjon.

TEST A:

TID Min:sek	OBSERVASJONER UNDER TEST A
00:00	Start.
26:00	Noe vann kommer ut på uekspontert side av prøvestykket.
59:00	Det er ikke noen visuelle endringer på uekspontert side.
60:00	Stopp.
OBSERVASJONER ETTER TEST A	
Uekspontert side:	Det er ikke noen visuelle endringer på uekspontert side.
Ekspontert side:	Overflaten er hard og uten noen visuell avskalling. Betongen har endret farge til svakt rosa.

TEST B:

TID Min:sek	OBSERVASJONER UNDER TEST B
00:00	Start.
17:35	Ett svakt "popp" høres.
18:00	Prøvestykket knuses i flere store biter.
18:05	Stopp.
OBSERVASJONER ETTER TEST B	
Uekspontert side:	Det er ikke noen visuelle endringer på uekspontert side av betongbitene.
Ekspontert side:	Prøvestykket har hatt en del avskalling før testen ble avsluttet.

TEST C:

TID Min:sek	OBSERVASJONER UNDER TEST C
00:00	Start.
20:00	Noe vann kommer ut på uekspontert side av prøvestykket.
30:00	Det er noen små sprekker på kanten av prøvestykket.
46:00	Stopp.

OBSERVASJONER ETTER TEST C	
Ueksponert side:	Det er ikke noen visuelle endringer på ueksponert side.
Eksponert side:	Overflaten er hard og uten noen visuell avskalling. Betongen har endret farge til svakt rosa.

TEST D:

TID Min:sek	OBSERVASJONER UNDER TEST D
00:00	Start.
30:00	Noe vann kommer ut på ueksponert side av prøvestykket. Det er noen små sprekker på kanten av prøvestykket.
46:00	Stopp.
OBSERVASJONER ETTER TEST D	
Ueksponert side:	Det er ikke noen visuelle endringer på ueksponert side.
Eksponert side:	Overflaten er hard og uten noen visuell avskalling. Betongen har endret farge til svakt rosa.

TEST E:

TID Min:sek	OBSERVASJONER UNDER TEST E
00:00	Start.
04:00	Stopp, grunnet funksjonssvikt av to brennere i prøvningsovn.
00:00	Start.
03:00	Stopp, grunnet funksjonssvikt av to brennere i prøvningsovn.
00:00	Start.
23:00	Noe vann kommer ut på ueksponert side av prøvestykket.
28:00	Det er noen små sprekker på kanten av prøvestykket.
45:00	Stopp.
OBSERVASJONER ETTER TEST E	
Ueksponert side:	Det er ikke noen visuelle endringer på ueksponert side.
Eksponert side:	Overflaten er hard og uten noen visuell avskalling. Betongen har endret farge til svakt rosa.

TEST F:

TID Min:sek	OBSERVASJONER UNDER TEST F
00:00	Start.
25:00	Noe vann kommer ut på ueksponert side av prøvestykket.
27:50	Ett svakt "popp" høres.
59:00	Det er ikke noen visuelle endringer på ueksponert side.
60:00	Stopp.

OBSERVASJONER ETTER TEST F	
Ueksponert side:	Det er ikke noen visuelle endringer på ueksponert side.
Eksponert side:	Overflaten er hard og uten noen visuell avskalling. Betongen har endret farge til svakt rosa.

TEST G:

TID Min:sek	OBSERVASJONER UNDER TEST G
00:00	Start.
18:00	Ueksponert side begynner til å tørke opp.
33:00	Store deler av ueksponert side er tørr.
45:00	Noe vann kommer ut på ueksponert side av prøvestykket.
46:00	Stopp.
OBSERVASJONER ETTER TEST G	
Ueksponert side:	Det er ikke noen visuelle endringer på ueksponert side.
Eksponert side:	Overflaten er hard og uten noen visuell avskalling. Betongen har endret farge til svakt rosa.

TEST H:

TID Min:sek	OBSERVASJONER UNDER TEST H
00:00	Start.
07:00	Avskalling har begynt på eksponert side.
10:00	Kraftig avskalling høres fra eksponert side.
19:00	Ueksponert side begynner til å tørke opp.
34:00	Noe vann kommer ut på ueksponert side av prøvestykket.
36:30	Et hull sprekker opp gjennom prøvestykket.
36:40	Stopp.
OBSERVASJONER ETTER TEST H	
Ueksponert side:	Det er ikke noen visuelle endringer på ueksponert side av betong bitene. Det er et gjennomgående hull i prøvestykket.
Eksponert side:	Det har vart mye avskalling fra prøvestykket før testen ble avsluttet. Det er dype hull på eksponert side av prøvestykket. Avskallingen er konsentrert til to områder. Det er også store områder uten noen avskalling.

TEST I:

TID Min:sek	OBSERVASJONER UNDER TEST I
00:00	Start.
35:00	Noe vann kommer ut på ueksponert side av prøvestykket.
40:00	Det er noen små sprekker på kanten av prøvestykket.
60:00	Stopp.

OBSERVASJONER ETTER TEST I	
Ueksponert side:	Det er ikke noen visuelle endringer på ueksponert side.
Eksponert side:	Overflaten er hard og uten noen visuell avskalling. Betongen har endret farge til svakt rosa.

Temperatur i testhallen:

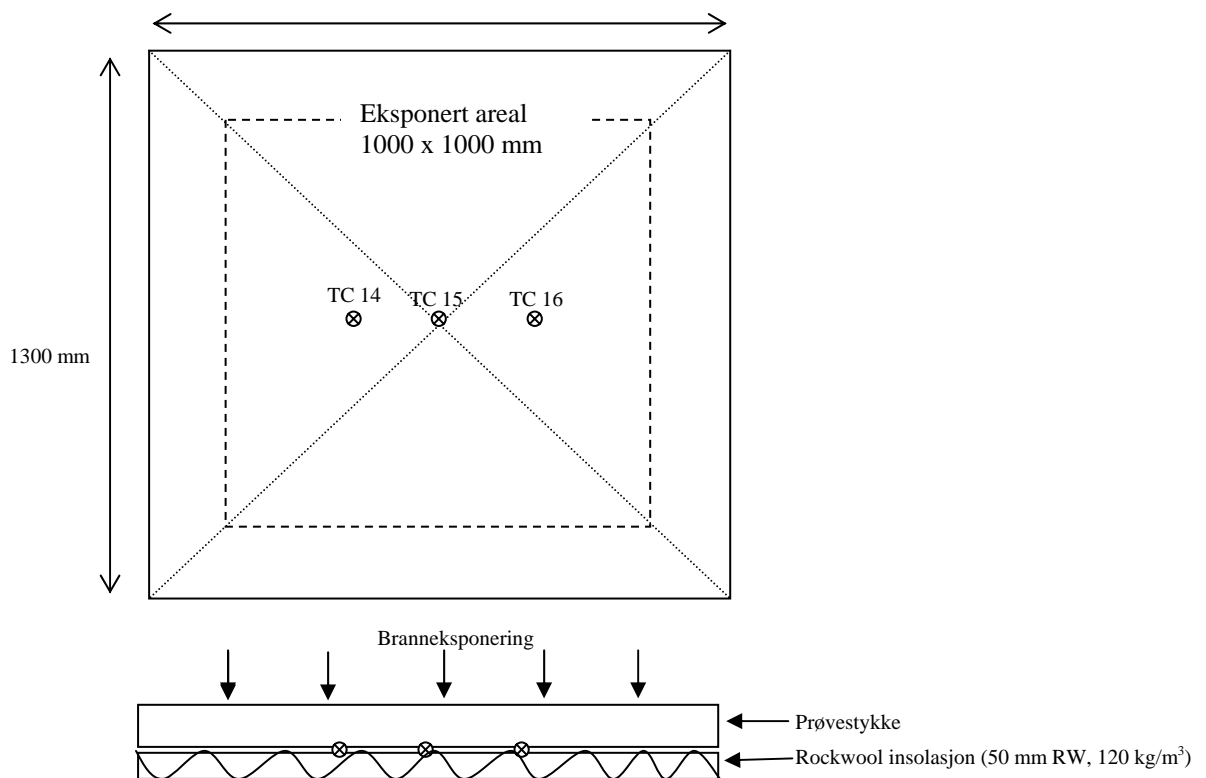
	Teststart	Stopp	Gjennomsnitt
TEST A	19 °C	22 °C	22 °C
TEST B	20 °C	22 °C	22 °C
TEST C	19 °C	21 °C	21 °C
TEST D	19 °C	21 °C	21 °C
TEST E	23 °C	23 °C	23 °C
TEST F	21 °C	22 °C	22 °C
TEST G	20 °C	22 °C	21 °C
TEST H	18 °C	21 °C	21 °C
TEST I	15 °C	17 °C	17 °C

Instrumentering av prøvestykket

Prøvestykket ble instrumentert i henhold til figur 1.

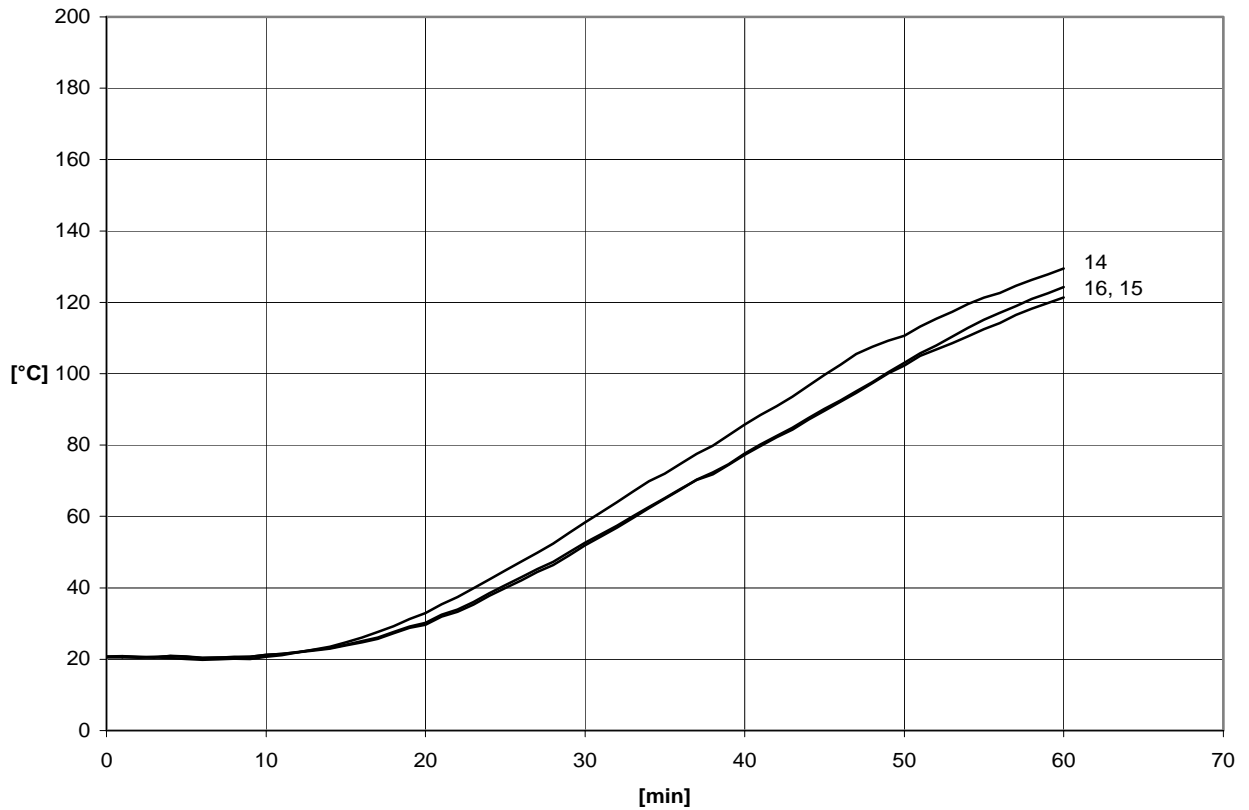
Plassering av målepunkt

Skissen i figur 1 viser målepunktene på ueksponert side av prøvestykket.

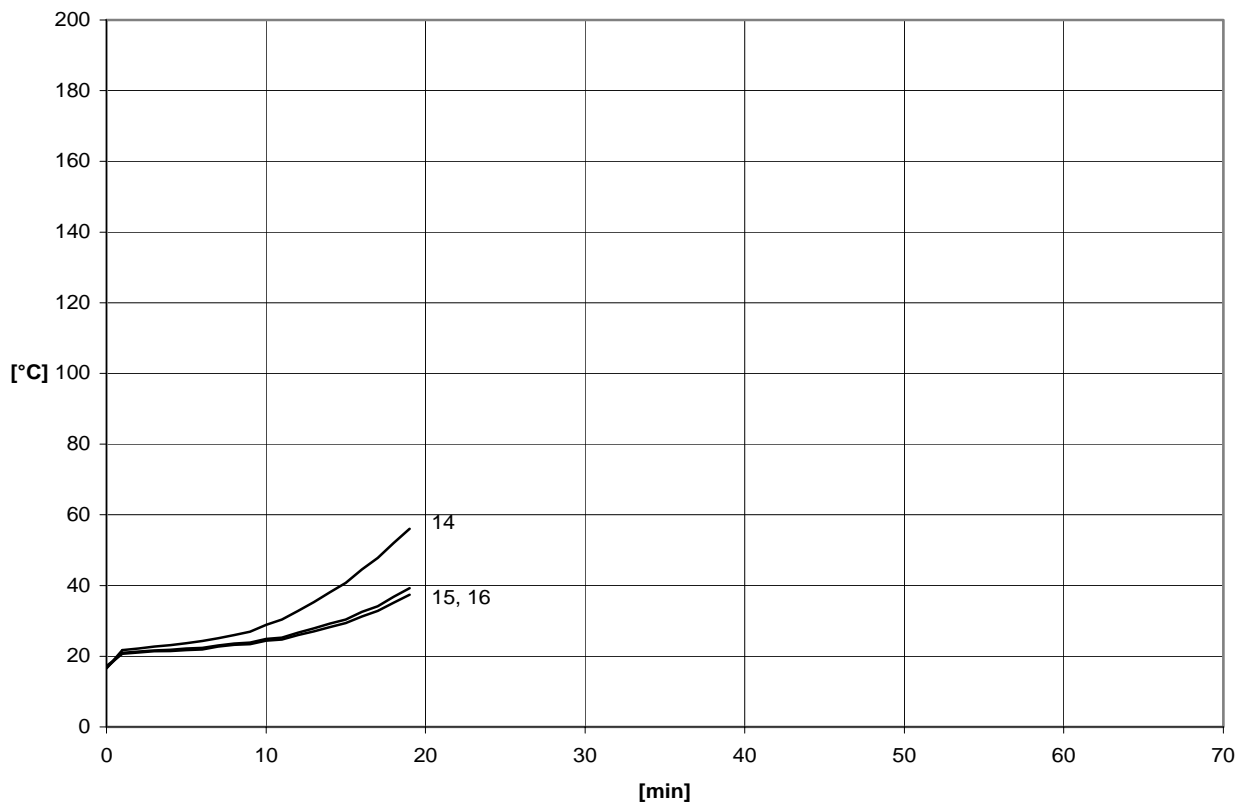


Figur 1 Skisse av prøvestykket (ikke i skala).

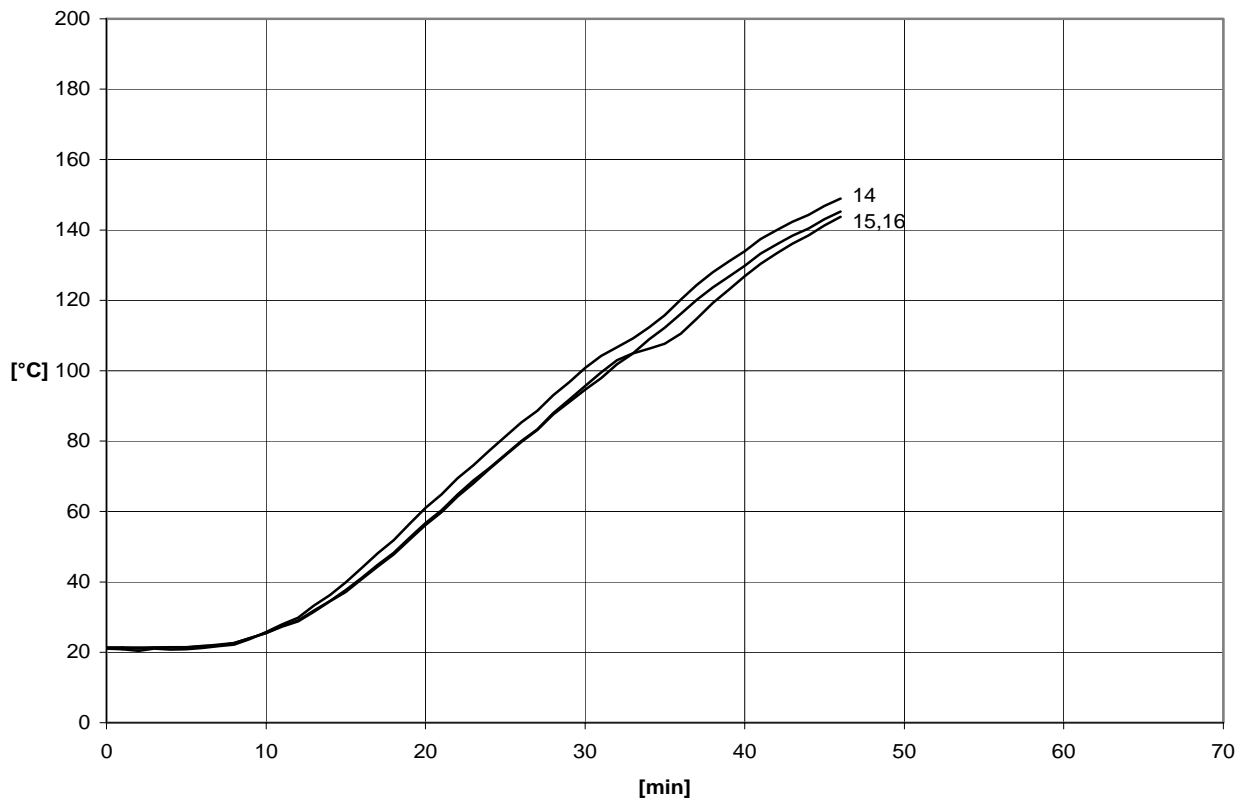
PRESENTASJON AV TESTRESULTER:



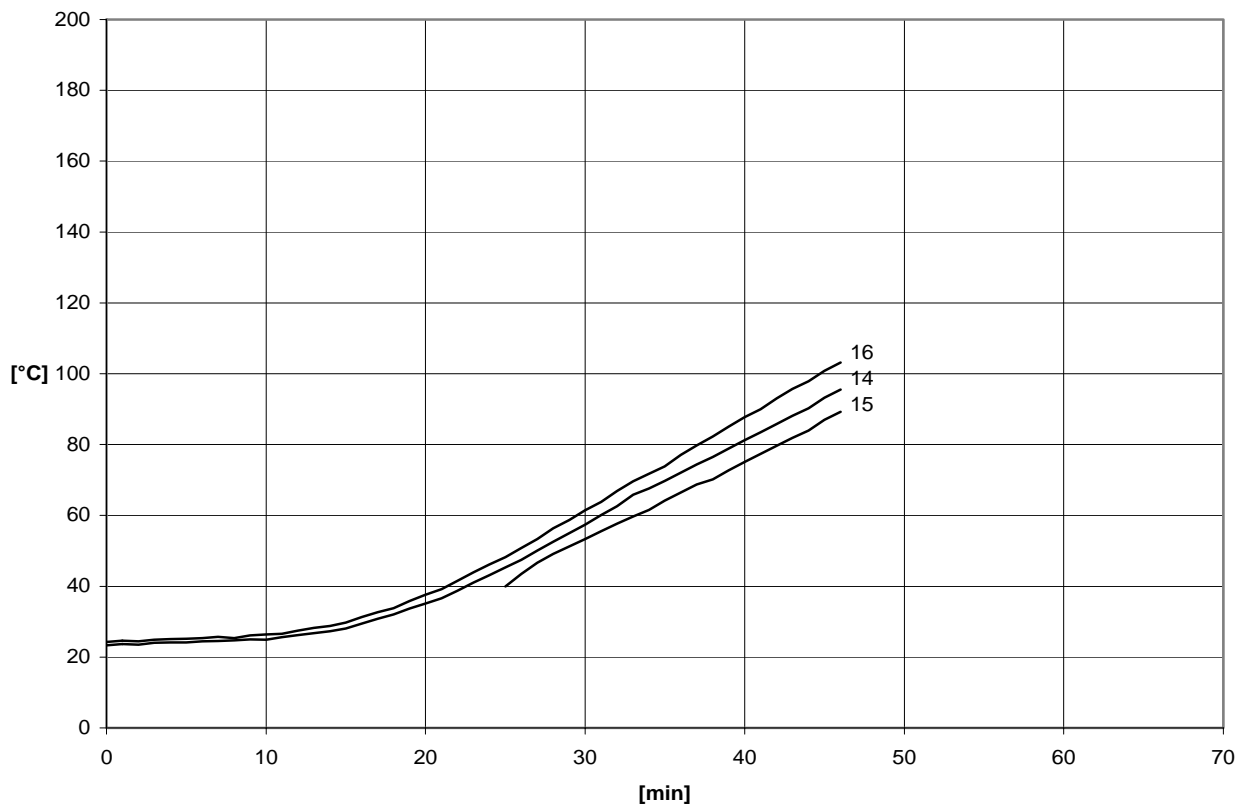
Figur 2 Test A: Temperaturmålinger på ueksponert side av prøvestykket.



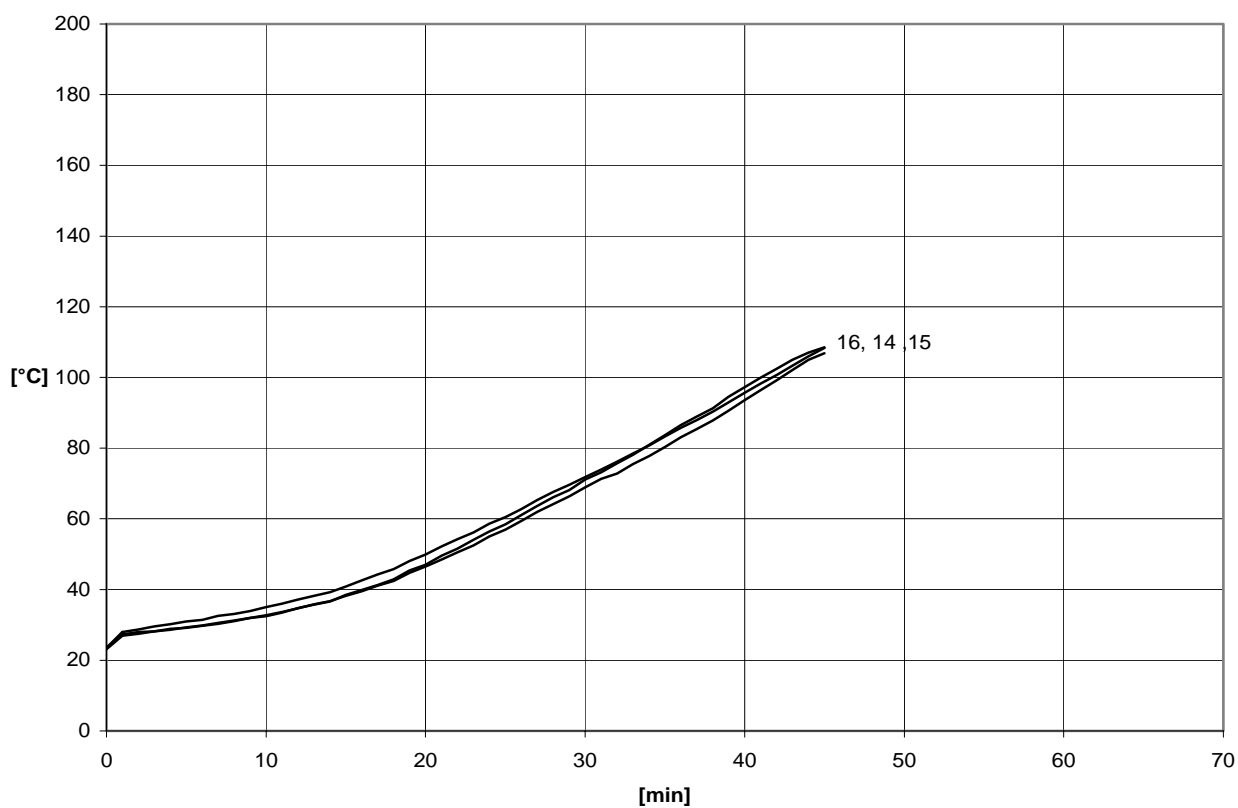
Figur 3 Test B: Temperaturmålinger på ueksponert side av prøvestykket.



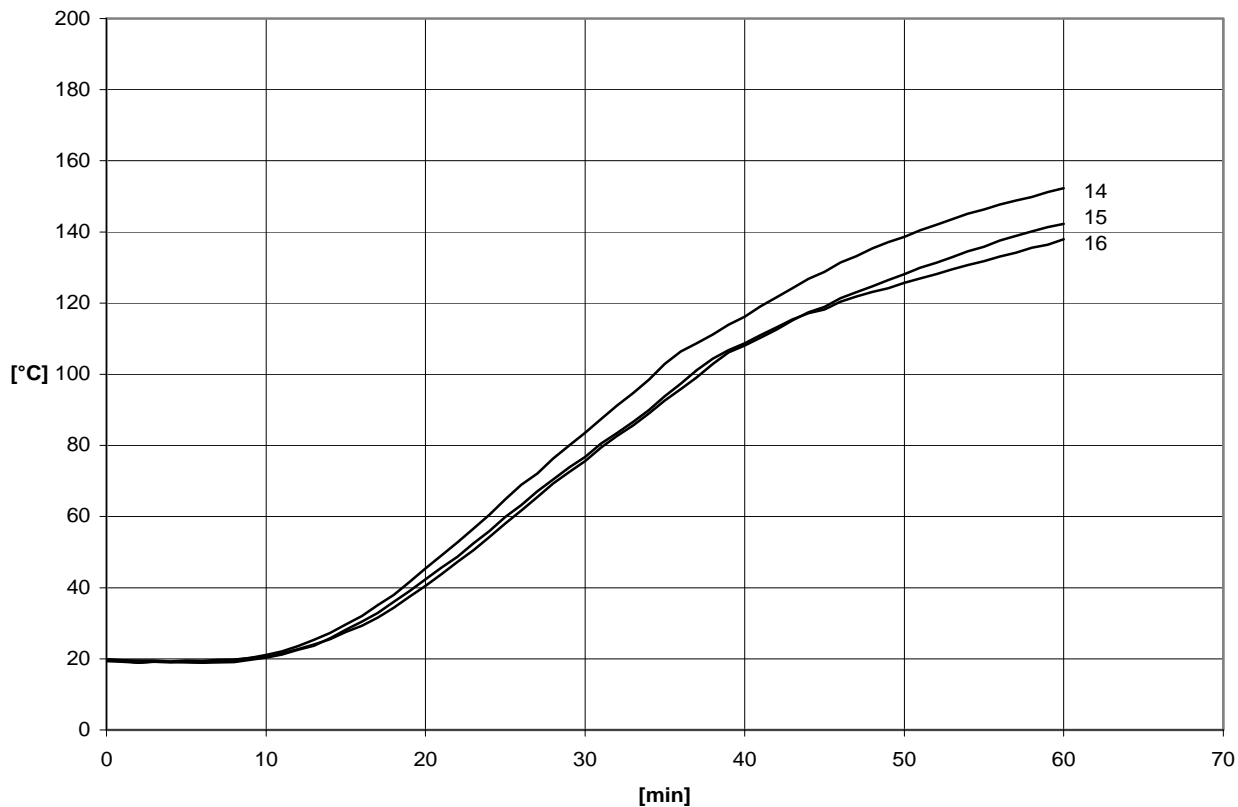
Figur 4 Test C: Temperaturmålinger på ueksponert side av prøvestykket.



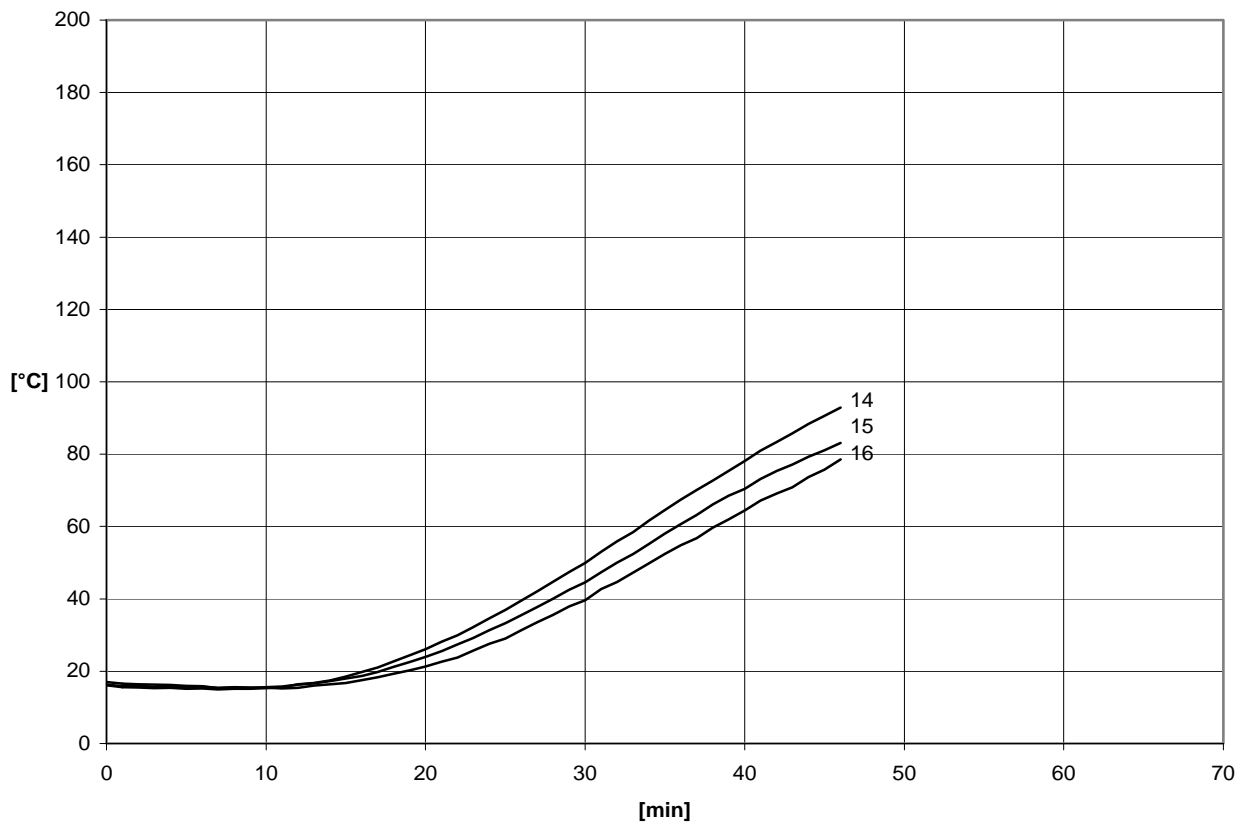
Figur 5 Test D: Temperaturmålinger på ueksponert side av prøvestykket.
Grunnet feilregistrering av TC 15 ble denne byttet etter 25 minutter.



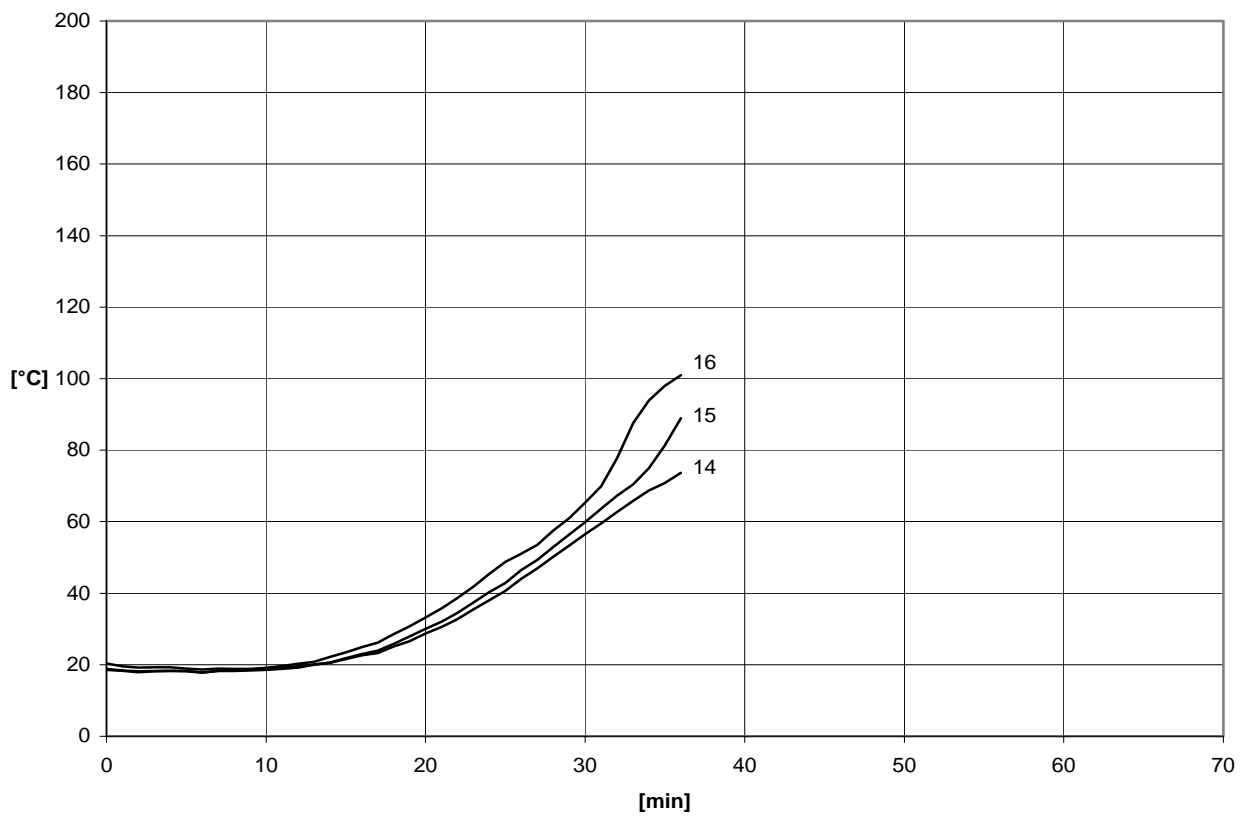
Figur 6 Test E: Temperaturmålinger på ueksponert side av prøvestykket.



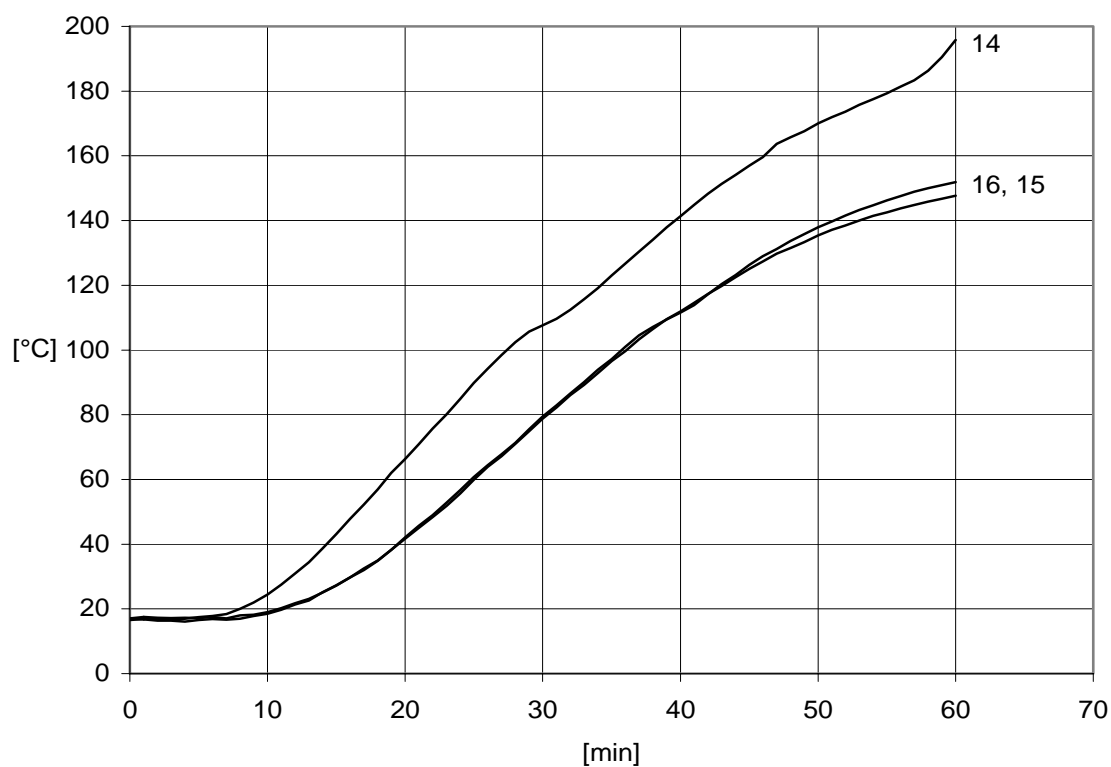
Figur 7 Test F: Temperaturmålinger på ueksponert side av prøvestykket.



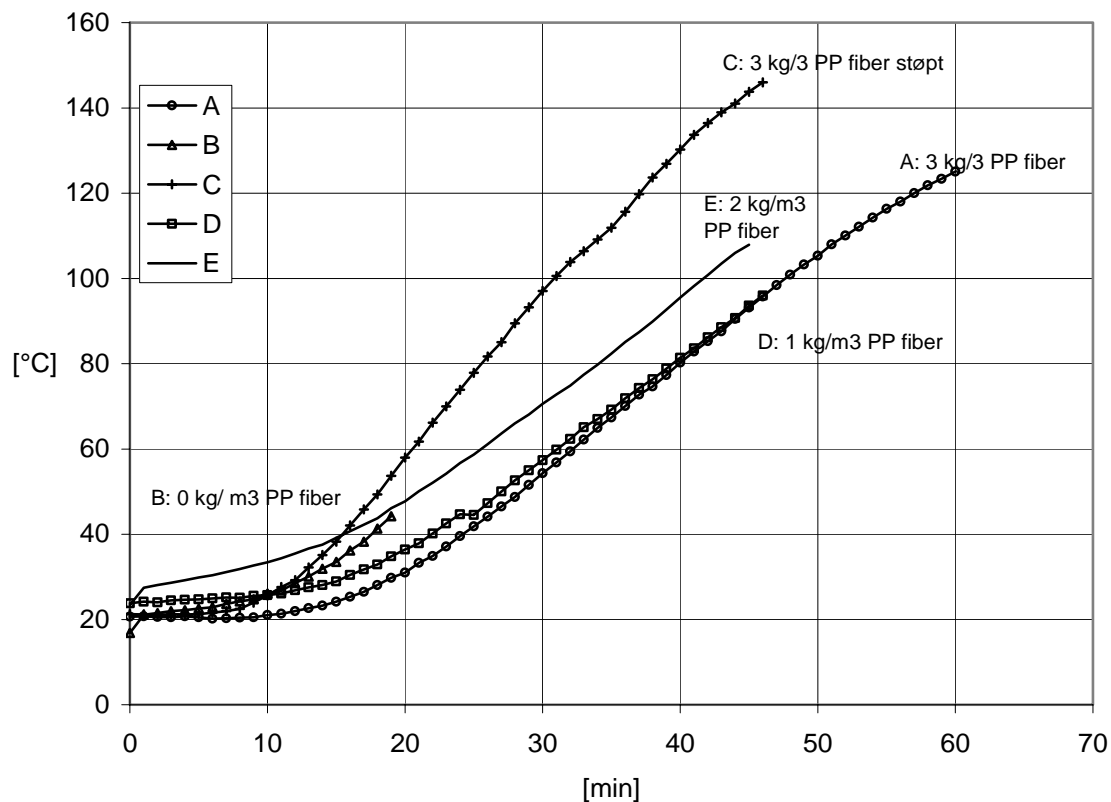
Figur 8 Test G: Temperaturmålinger på ueksponert side av prøvestykket.



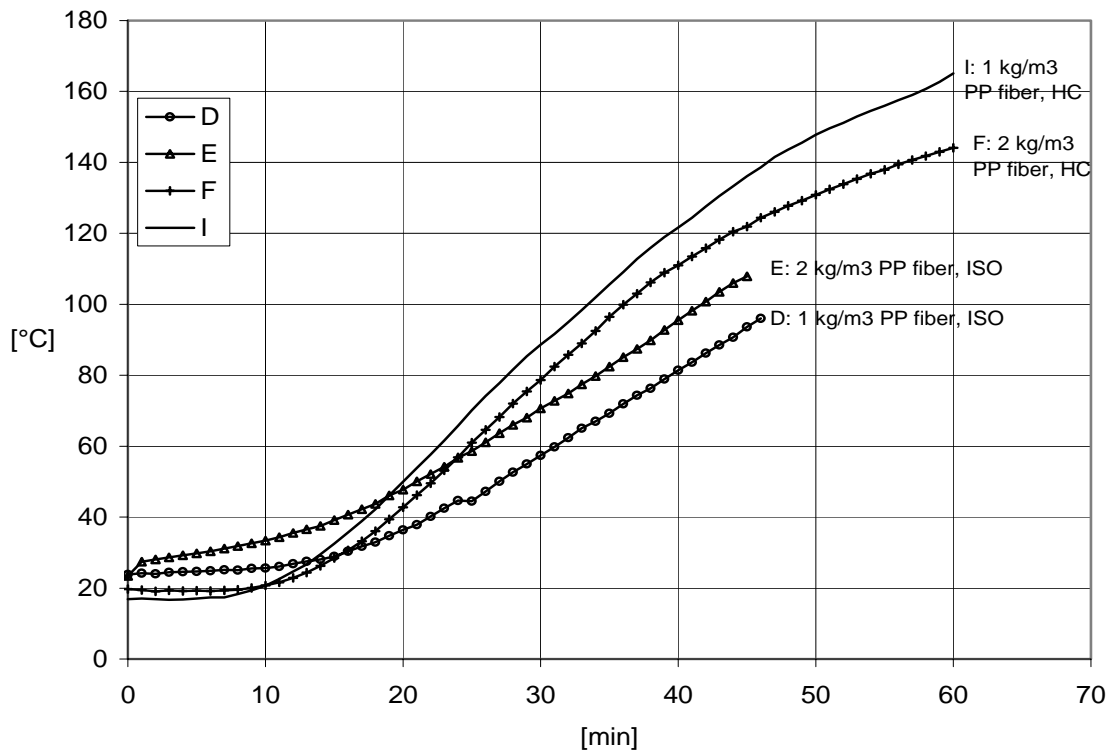
Figur 9 Test H: Temperaturmålinger på ueksponert side av prøvestykket.



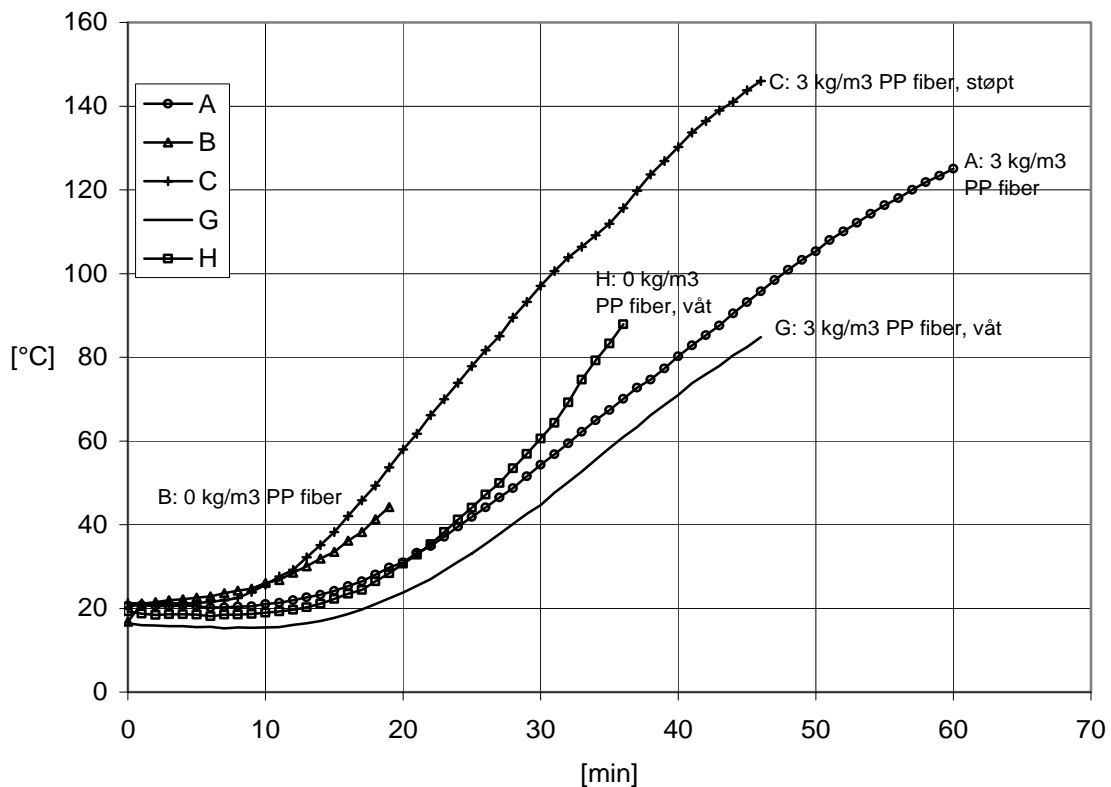
Figur 10 Test I: Temperaturmålinger på ueksponert side av prøvestykket.



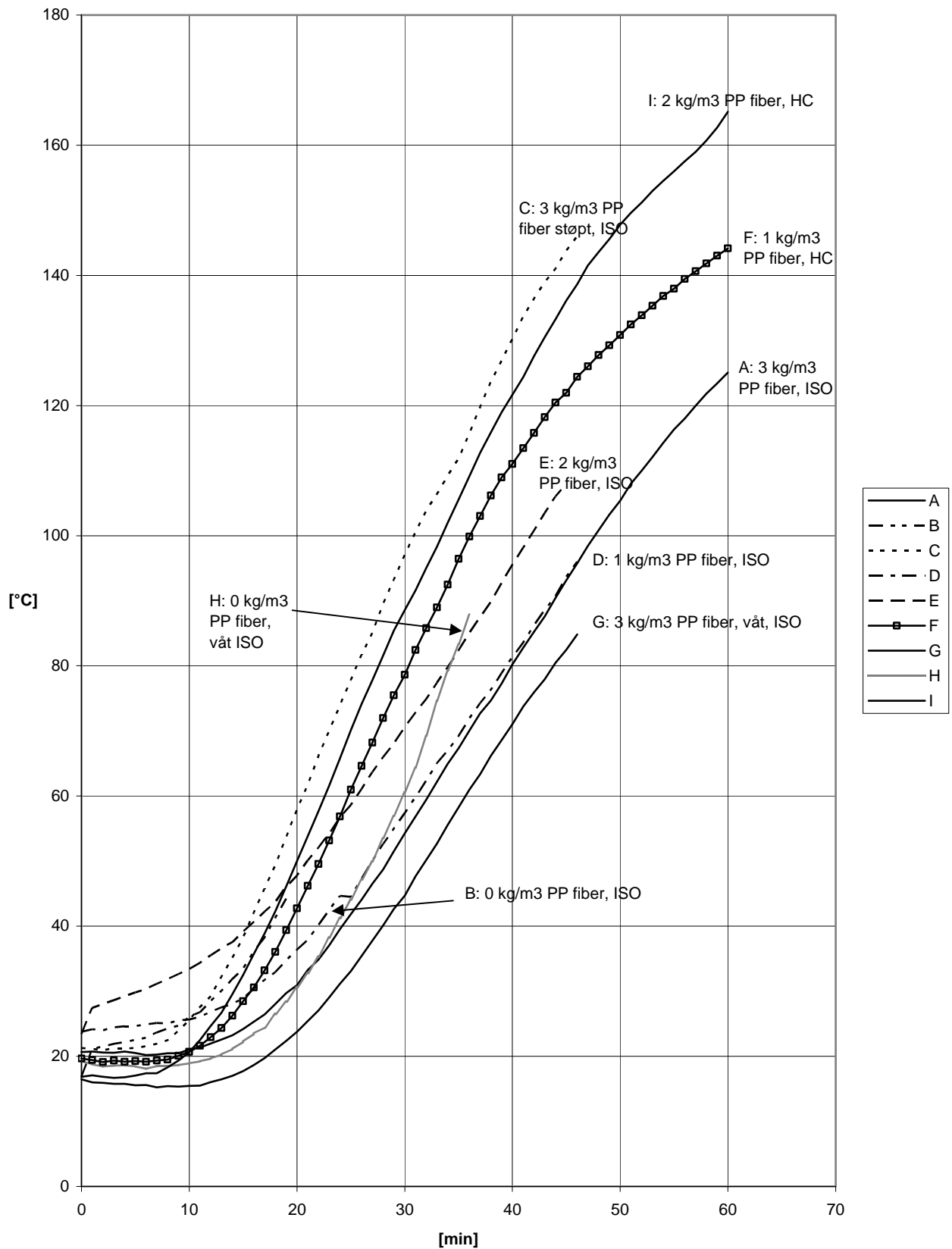
Figur 11 Midlere temperatur på ueksponert side av prøvestykkene med 0 – 3 kg/m³ PP-fiber, testet iht. Standard/ tid/temperatur kurve.



Figur 12 Midlere temperatur på ueksponert side av prøvestykkene med 1 og 2 kg/m³ PP-fiber, teste iht. Standard/ tid/temperatur (ISO) og hydrokarbon brannkurve (HC).



Figur 13 Midlere temperatur på ueksponert side prøvestykkene med 0 and 3 kg/m³ PP-fiber, tørr og våt betong testet iht. Standard/ tid/temperatur.



Figur 14 Midlere temperatur på ueksponert side av alle prøvestykker.

FOTO:



Foto 1: Eksponert side av prøvestykke A etter branntesten. Ingen avskalling.



Foto 2: Ueksponert side av prøvestykke B etter branntesten. Kraftig avskalling, total kollaps av prøvestykket.



Foto 3: Eksponert side av prøvestykke C etter brann testen. Ingen avskalling.

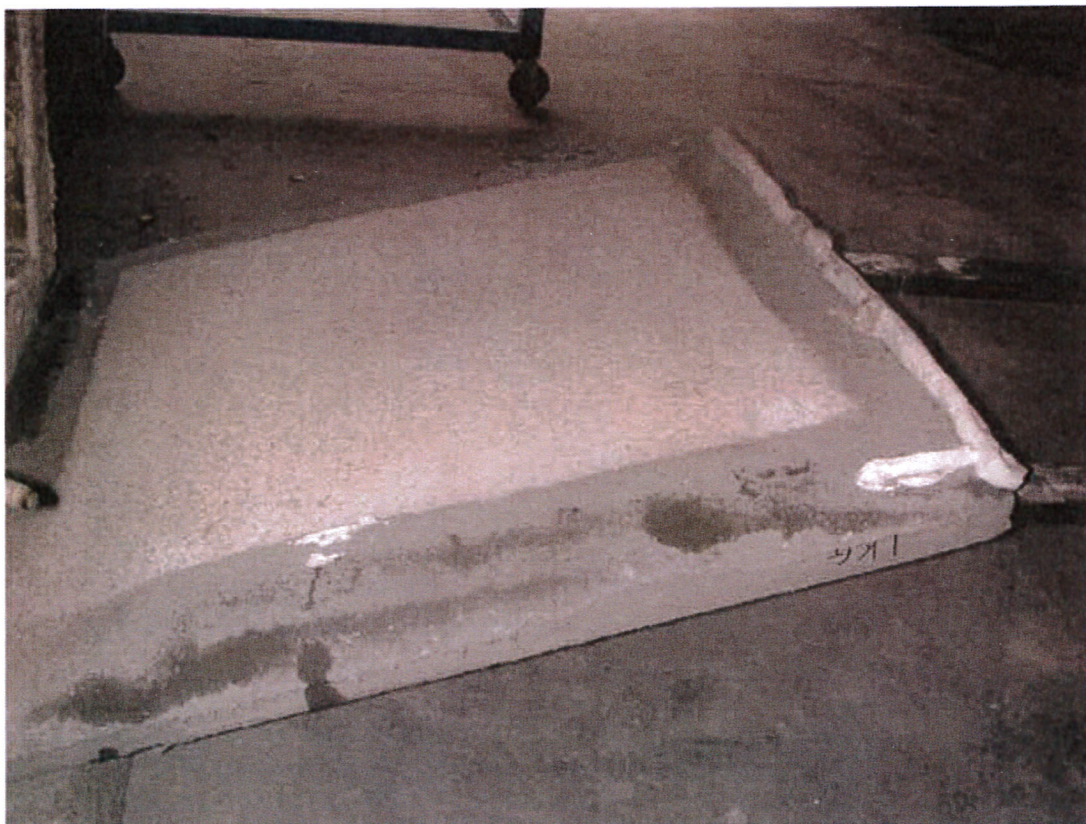


Foto 4: Eksponert side av prøvestykke D etter brann testen. Ingen avskalling.



Foto 5: *Eksponert side av prøvestykke E etter brann testen. Ingen avskalling.*



Foto 6: *Eksponert side av prøvestykke F etter brann testen. Ingen avskalling.*



Foto 7: Eksponert side av prøvestykke G etter brann testen. Ingen avskalling.



Foto 8: Eksponert side av prøvestykke H etter brann testen. Kraftig avskalling.



Foto 9: Eksponert side av prøvestykke I etter branntesten. Ingen avskalling.

OPPBYGGING AV PRØVESTYKKET

Oppbygging

Test A: Prøvestykket hadde 3 kg/m³ (3 kg pr. m³ betong) polypropylen fiber tilsatt. Prøvestykket var eksponert iht. Standard tid/temperatur kurve i 60 minutter. Starttemperaturen i ovnen var 22°C.

Test B: Prøvestykket hadde 0 kg/m³ polypropylen fiber tilsatt. Prøvestykket var eksponert iht. Standard tid/temperatur kurve i 18 minutter. Testen ble stoppet pga at prøvestykket ble knust. Starttemperaturen i ovnen var 59°C.

Test C: Prøvestykket hadde 3 kg/m³ polypropylen fiber tilsatt. Prøvestykket var eksponert iht. Standard tid/temperatur kurve i 46 minutter. Prøvestykket var et støpt betongelement. Starttemperaturen i ovnen var 27°C.

Test D: Prøvestykket hadde 1 kg/m³ polypropylen fiber tilsatt. Prøvestykket var eksponert iht. Standard tid/temperatur kurve i 46 minutter. Starttemperaturen i ovnen var 60°C.

Test E: Prøvestykket hadde 2 kg/m³ polypropylen fiber tilsatt. Prøvestykket var eksponert iht. Standard tid/temperatur kurve i 45 minutter. Starttemperaturen i ovnen var 166°C.

Test F: Prøvestykket hadde 1 kg/m³ polypropylen fiber tilsatt. Prøvestykket var eksponert iht. Hydrokarbon tid/temperatur kurve i 60 minutter. Starttemperaturen i ovnen var 20°C.

Test G: Prøvestykket hadde 3 kg/m³ polypropylen fiber tilsatt. Prøvestykket lå i et vannbad i fem dager før branntesten. Prøvestykket var eksponert iht. Standard tid/temperatur kurve i 46 minutter. Starttemperaturen i ovnen var 18°C.

Test H: Prøvestykket hadde 0 kg/m³ polypropylen fiber tilsatt. Prøvestykket lå i et vannbad i fem dager før branntesten. Prøvestykket var eksponert iht. Standard tid/temperatur kurve i 36 minutter. Testen ble stoppet pga at prøvestykket ble knust. Starttemperaturen i ovnen var 68°C.

Test I: Prøvestykket hadde 2 kg/m³ polypropylen fiber tilsatt. Prøvestykket var eksponert iht. Hydrokarbon tid/temperatur kurve i 60 minutter. Starttemperaturen i ovnen var 16°C.

 YTRE MÅL AV PRØVESTYKKET:

1300 x 1300 x 60 mm (bxhxt).

 ISOLASJON PÅ UEKSPONERT SIDE AV PRØVESTYKKET:

50 mm Rockwool 110, 120 kg/m³

Verifikasjon:

Prøvestykkene kom prefabrikkert og delvis prekondisjonert til brann laboratoriet. De inngående materialer og kondisjoneringen før test er beskrevet på side 20.

Produsent (-er) og produksjonssted	
1. PRØVESTYKKE: Betongelementene	PRODUKSJONSSTED: Midt-Norsk Betongsprøyting A/S, Norge
<hr/>	
2. ENKELTKOMPONENTER/BESLAG: DUOMIX ® M6-16 polypropylen fiber Betong	PRODUSENT OG PRODUKSJONSSTED: Bekaert Norge A/S, Norge NorBetong A/S, Orkanger Norge
Support og fastholdning: Prøvestykkene var festet ved hjelp av stålstaver og skruetvinger til fremsiden av Pilot-ovnen. Platene av 50 mm Rockwool 110 (120 kg/m ³) ble plassert løst mot betongplatenes ueksponerte side og fasthold med stålstaver og skruetvinger.	
Kondisjonering før test: I følge kunden var prøvestykkene produsert 2003-07-15. Prøvestykkene ankom NBL 2003-07-29. Prøvestykkene ble oppbevart i testhallen fra ankomst til testdatoene; Test A og B: 2003-08-28, Test C og D: 2003-08-29, Test E: 2003-09-12, Test F: 2003-09-16, Test G og H: 2003-09-19 og Test I: 2003-11-10. Test G og H var nedsenket i et vannbad fra 2003-09-15 til testdagen.	
Valg av prøvestykke: NBL var ikke involvert i utvelgelsen av materialene til testen.	

Appendiks I

PRØVINGENS UTFØRELSE

Teststandard

Testen ble gjennomført i henhold til ISO 834: 1975. Se avvik på side 2.

Testovnen ble ved 7 av totalt 9 tester oppvarmet i henhold til Standard tid/temperatur kurve. To prøvestykker ble testet med tid/temperatur kurven karakteristisk for Hydrokarbonbrann. Hydrokarbonbrannkurven er beskrevet i ISO 834-3 i tillegg til *EN 1363-2 Fire Resistance Tests*.

Testen var gjennomført i laboratoriets småskala (Pilot) ovn, som beskrevet nedenfor. Prøvestykkene var festet vertikalt til ovnens fremside, som har et åpningsareal på ca 1000 x 1000mm (bxh).

Følgende personer var tilstede ved testene A og B:

Representant:

- Harald Buvik
- Jan Eirik Henning
- Karl Melby

Organisasjon:

- Statens Vegvesen, Vegdirektoratet Seksjon for Geo- og Tunnelteknikk
- Statens Vegvesen, Vegdirektoratet Utbyggingsavdeling
- Statens Vegvesen, Vegdirektoratet Teknologi

PRØVINGSOVN

Trykk og temperatur inne i ovnen ble registrert i løpet av testene og er presentert i dette vedlegg.

Dimensjon

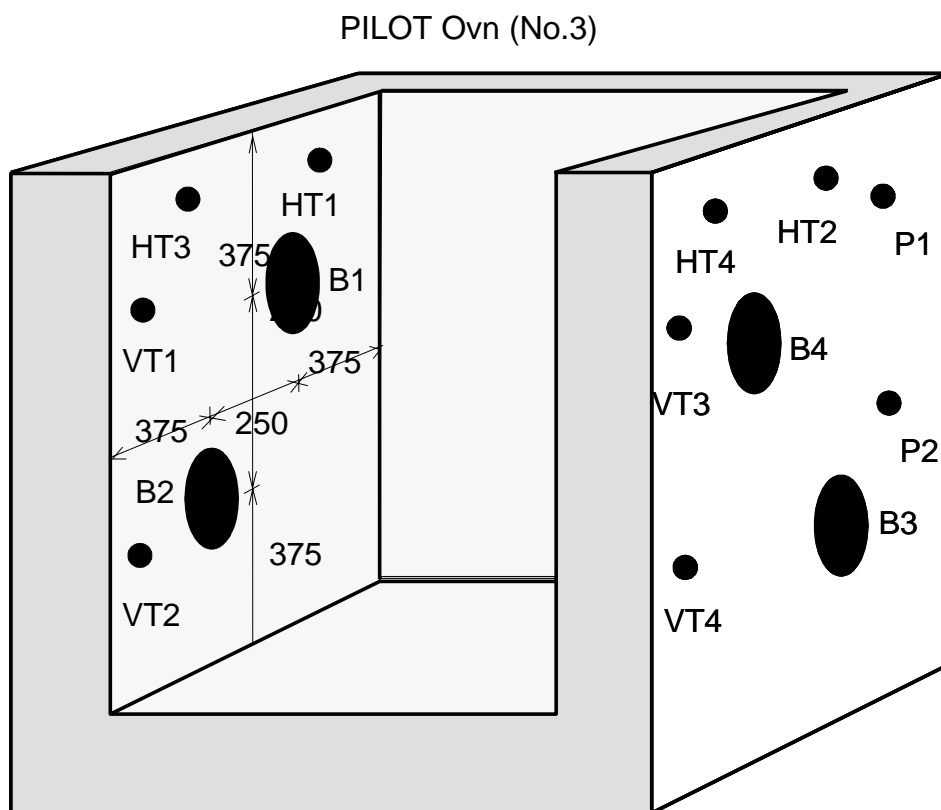
Ovnen har indre dimensjoner av 1000 x 1000 x 1000 mm (bxhxd).

Termoelementer

Ovnstemperaturen er målt med to kapslede (Ø6mm) termoelementer plassert 100 mm fra den eksponerte siden av prøvestykket.

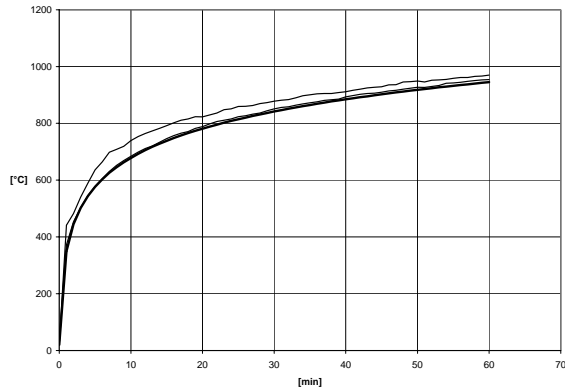
Trykk

Overtrykket mellom ovnen og omgivningen ble målt 100 mm under ovnstaket.

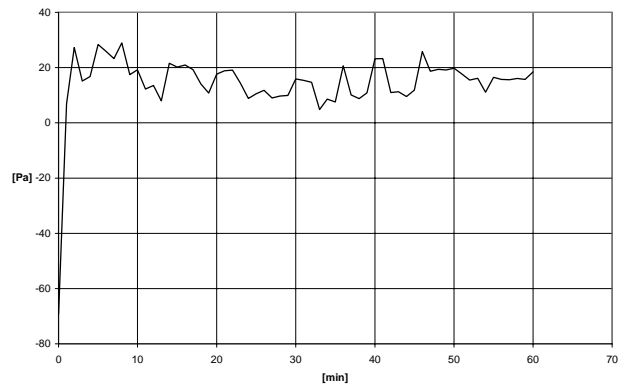


- B** = Brennere
P1 = Trykkmålere, horisontalt skille, 100 mm under prøvestykket
P2 = Trykkmålere, vertikalt skille, 100 mm under prøvestykket
VT = Ovnstermoelementer, vertikalt skille, 100 mm fra prøvestykket
HT = Ovnstermoelementer, horisontalt skille, 100 mm fra prøvestykket

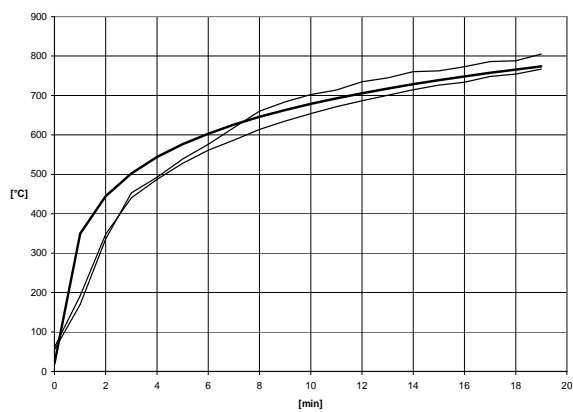
Figur I.1 Plassering av termoelementer og trykksensor inne i pilotovnen. Termoelementplasseringen VT1-VT4 ble benyttet. Målingene fra VT3 og VT4 er vist på de følgende sidene.

PRESENTASJON AV TRYKK OG TEMPERATUR INNE I OVNEN:


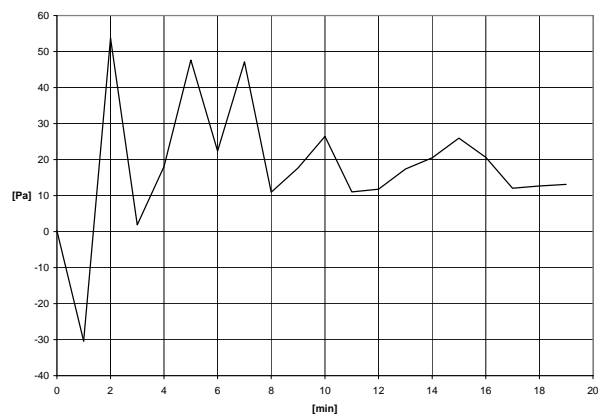
Figur I.2 Test A: Ovns temperatur og standard time-temperatur kurve.



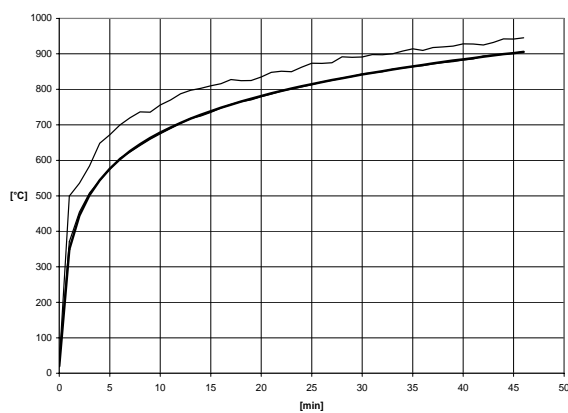
Figur I.3 Test A: Trykk inne i ovnen. Tilsiktet overtrykk: 20 Pa.



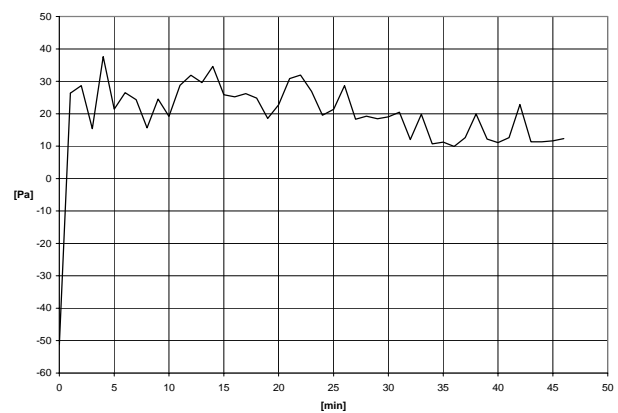
Figur I.4 Test B: Ovns temperatur og standard time-temperatur kurve.



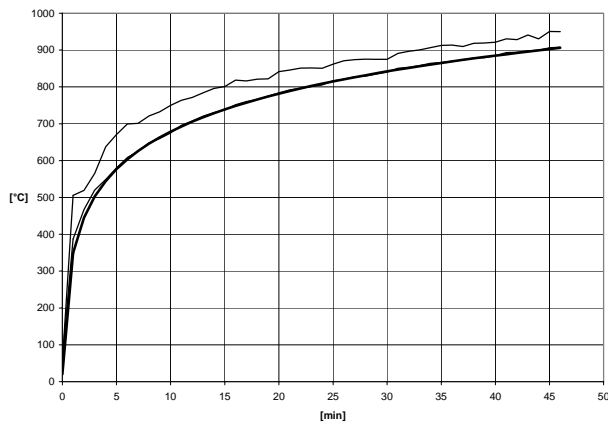
Figur I.5 Test B: Trykk inne i ovnen. Tilsiktet overtrykk: 20 Pa.



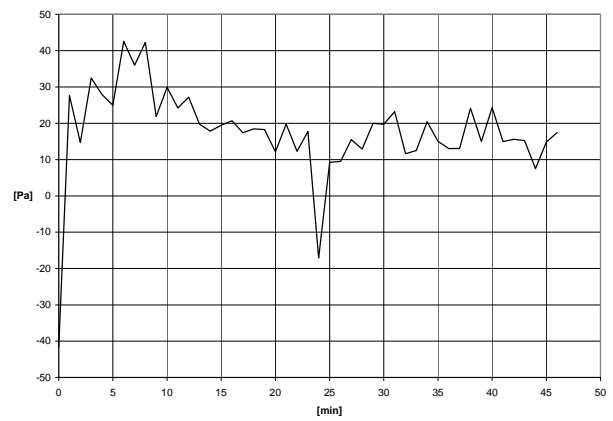
Figur I.6 Test C: Ovns temperatur og standard time-temperatur kurve.



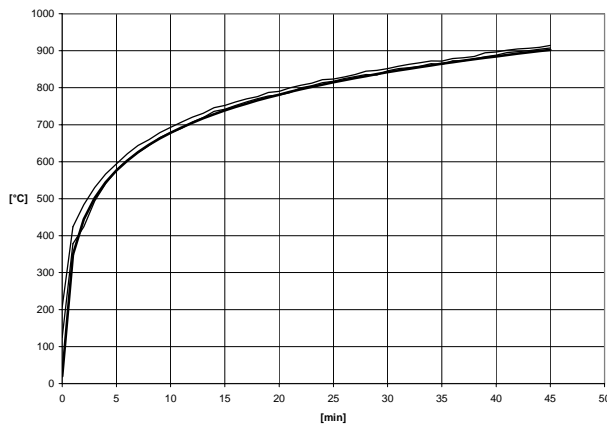
Figur I.7 Test C: Trykk inne i ovnen. Tilsiktet overtrykk: 20 Pa.



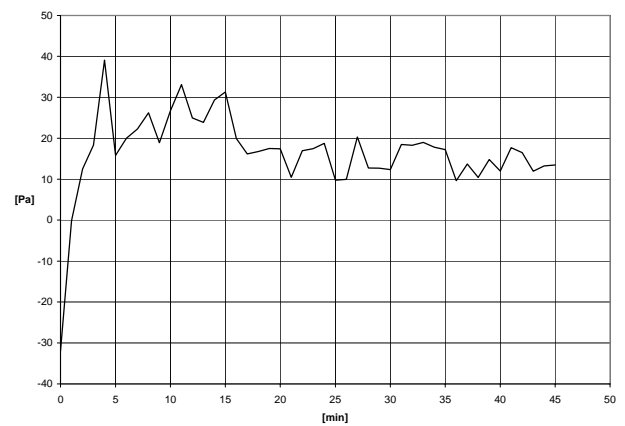
Figur I.8 Test D: Ovnstempertur og standard time-temperatur kurve.



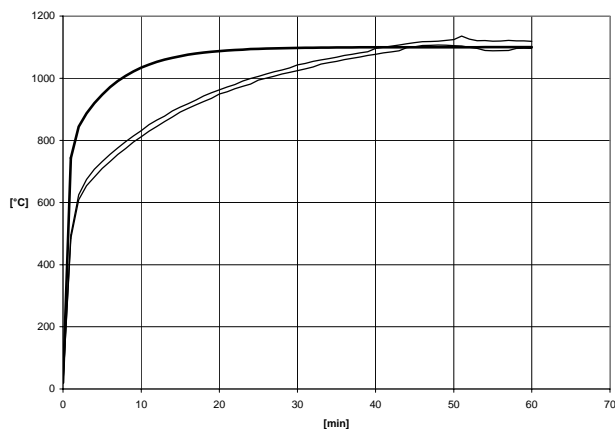
Figur I.9 Test D: Trykk inne i ovnen. Tilsiktet overtrykk: 20 Pa.



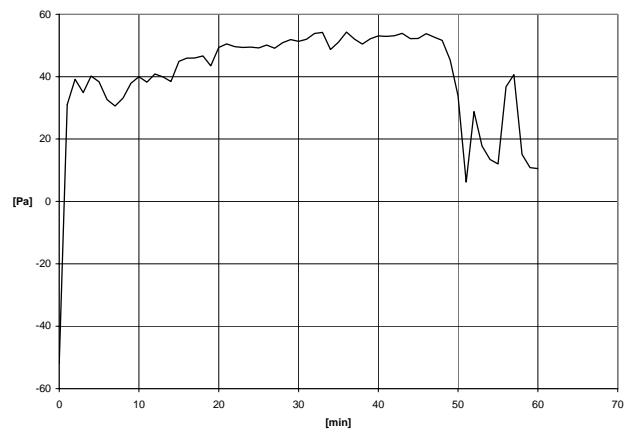
Figur I.10 Test E: Ovnstempertur og standard time-temperatur kurve.



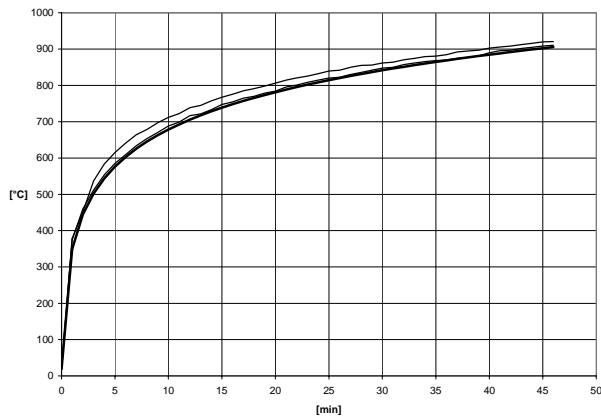
Figur I.11 Test E: Trykk inne i ovnen. Tilsiktet overtrykk: 20 Pa.



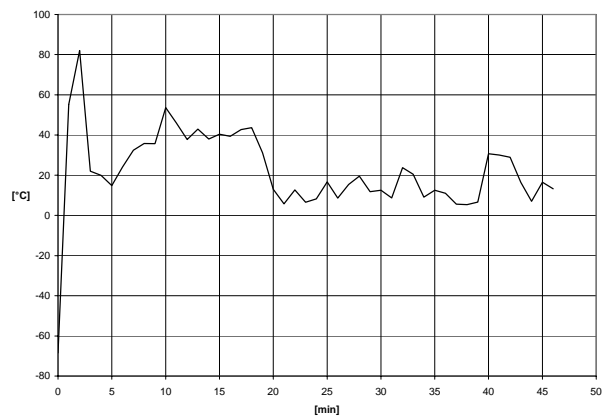
Figur I.12 Test F: Ovnstempertur og hydrokarbon time-temperatur kurve.



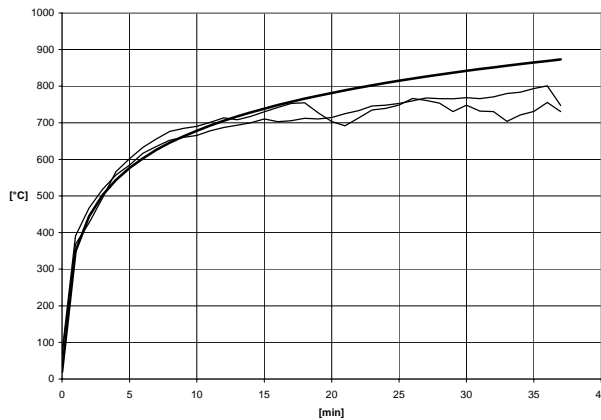
Figur I.13 Test F: Trykk inne i ovnen. Tilsiktet overtrykk: 20 Pa.



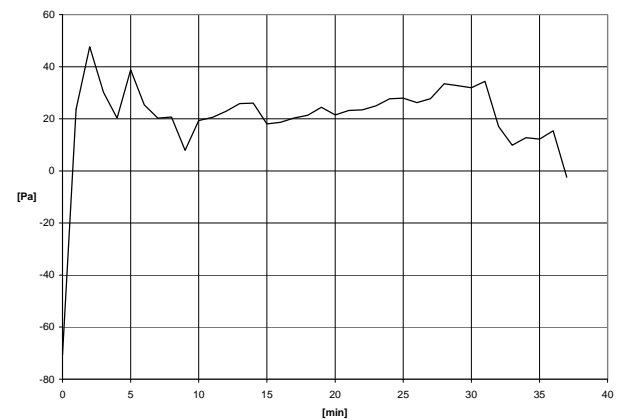
Figur I.14 Test G: Ovnstempertur og standard time-temperatur kurve.



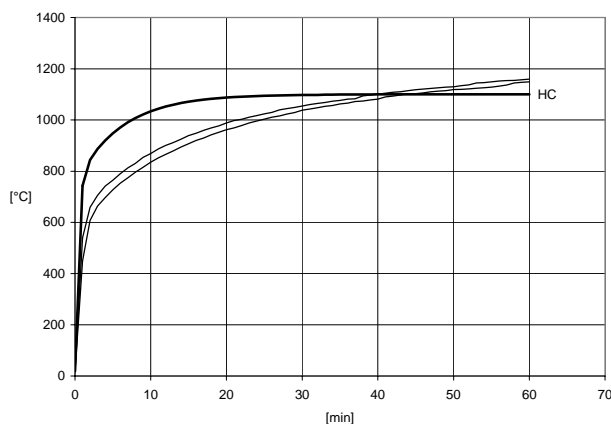
Figur I.15 Test G: Trykk inne i ovnen. Tilsiktet overtrykk: 20 Pa.



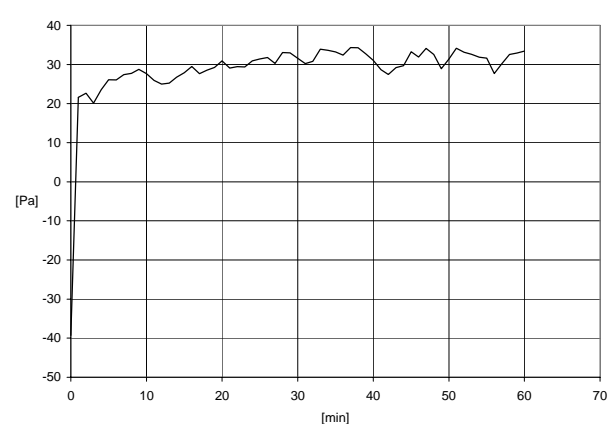
Figur I.16 Test H: Ovnstempertur og standard time-temperatur kurve.



Figur I.17 Test H: Trykk inne i ovnen. Tilsiktet overtrykk: 20 Pa.



Figur I.18 Test I: Ovnstempertur og hydrokarbon time-temperatur kurve.



Figur I.19 Test I: Trykk inne i ovnen. Tilsiktet overtrykk: 20 Pa.



Statens vegvesen

Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep
0033 OSLO
Tlf: (+47 915) 02030
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162