

BRANDTÅLIG VATTEN- OCH FROSTSÄKRING FÖR TUNNLAR

Etapp 1: Inledande test av sprutad EPSCement

Arbetsrapport

Thomas Dalmalm

Lars Boström

**Brandtålig vatten- och frostsäkring
för tunnlar**
Etapp 1: Inledande test av sprutad EPSCement
Arbetsrapport

Thomas Dalmalm, SveBeFo
Lars Boström, SP

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Systemidé	2
1.3	Mål och syfte	3
1.4	Etappindelning av projektet.....	3
1.5	Metodik och genomförande.....	4
1.6	Gällande krav för vatten- och frostisolering och erforderligt brandskydd ...	5
2	Brandprovning av EPSCement.....	7
2.1	Provkroppar och provuppställning	7
2.2	Mätningar på provföremålet	11
2.3	Observationer	12
2.4	Mätresultat	24
2.5	Sammanfattning och diskussion om brandtesterna	30
3	Mekaniska egenskaper hos EPSCement	31
3.1	Tryckhållfasthet	32
3.2	Frostresistens	32
3.3	Böjdragprovning.....	32
3.4	E-modul	35
4	TERMISKA EGENSKAPER.....	37
4.1	Resultat	37
4.2	Sammanfattning termiska tester	37
5	Diskussion.....	38
6	Rekommendation för vidare arbete	39

SveBeFo har till uppgift att främja och bedriva forskning och utveckling inom området bergteknik med tillämpning på bergarbeten ovan och under mark. Denna inledande test inom projektet ”Brandtålig Vatten- och Frostsäkring för Tunnlrar” har genomförts i SveBeFos regi med finansiellt stöd av Vägverket. En projektgrupp och en referensgrupp har genom sina kunskaper och erfarenheter möjliggjort projektet.

Projektgruppen:

Thomas Dalmalm, (Projektledare) SveBeFo
 Tommy Ellison, AB BESAB
 Lars Boström, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut

Referensgruppen:

Kjell Windelhed, Vägverket
 Tomas Franzén, SveBeFo
 Anders Fredriksson, Golder Associates AB
 Hans Alstermo, EPSCemenet AB
 Svein Jonsson, Skum Tech AS

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

När bergtunnlar och bergrum byggs är tätning mot inläckande grundvatten en central fråga. I första hand är det angeläget för miljön att inte rubba grundvattenbalansen. Primär tätning av undermarksanläggningar utförs vanligtvis genom förinjektering, och vid behov kan tätningen efter utsprängning kompletteras genom efterinjektering. Trots att metodiken för tätning har blivit avsevärt mer effektiv under de senaste decennierna så blir resultatet ändå inte en absolut tät berganläggning. I tunnlar för väg- och järnvägstrafik måste av komfort-, säkerhets- och beständighetskäl i princip allt dropp elimineras. Vattendropp påverkar användare och installationer. Vid kall väderlek kan fritt vattendropp leda till istappar och svallis som medför risk för olycksfall samt ökade drift- och underhållskostnader.



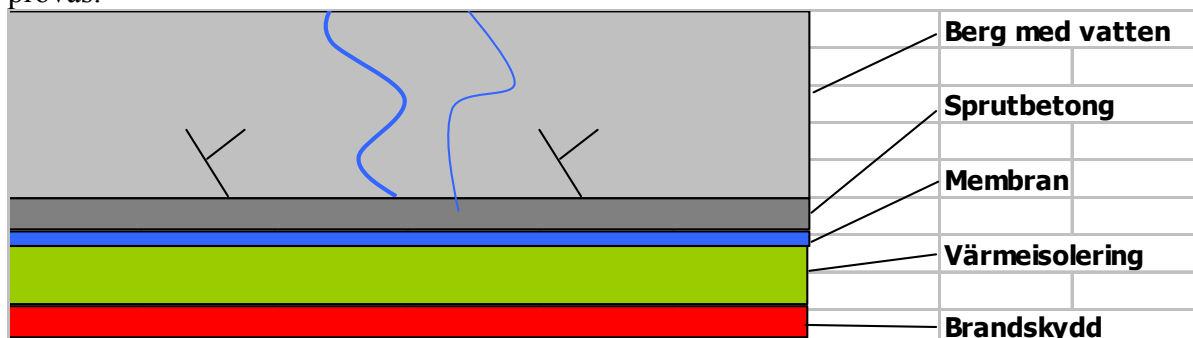
Figur 1-1 Isbildning vid sidan om PE-skum-matta i en järnvägstunnel.

Vatten- och frostsäkring av väggar och tak i tunnlar är därför nödvändigt i vårt klimat. I de nordiska länderna är inklädnad med extruderad polyeten även kallat PE-skum en vanlig metod. PE-skum är ett mycket effektivt och lätt isoleringsmaterial, men det har olägenheten att vara brännbart.

En brand i en tunnel kan bli mycket intensiv och det är viktigt att kunna evakuera trafikanterna snabbt. Brännbara material kan vid en brand utveckla giftiga och siktöversämrande gaser som kan försvåra utrymningen. Ansvariga myndigheter har därför satt fokus på tunnelsäkerhet. Nya normer i Norge och inom EU ställer betydligt större krav på brandsäkerhet än tidigare, och dessa kommer att ligga till grund för nya riktlinjer i ett flertal länder.

1.2 Systemidé

För att utveckla nya lösningar som på ett kostnadseffektivt sätt kan uppfylla krav på tätande och isolerande förmåga samtidigt som det är motståndskraftigt mot brand och tillräckligt starkt och beständigt kan okonventionella material och metoder behöva prövas.



Figur 1-2 Principskiss för en brandtålig vatten- och frostisolering.

De brandskyddande och värmeisolerande egenskaperna har traditionellt åstadkommit av två olika material, men beroende av materialegenskaper kan det vara ett och samma material som både brandskyddar och värmeisolerar.

EPSCement är en fabriksstillverkad torrblandning av EPS-kulor och byggcement, som blandas med vatten till en lättbetongmassa för gjutning och uppfyllnad till stora tjocklekar. EPS är liktydigt med expanderad polystyren, samma råvara som används i cellplastisolering av typen Frigolit. EPSCement har en relativt låg värmekonduktivitet ($\lambda \sim 0,08$ W/mK), såväl som goda ljudreducerande egenskaper. De brandtekniska egenskaperna motsvarar Euroklass A2. EPSCementen har en relativt låg E-modulen kring 1 GPa. Produkten kan pumpas och sprutas med traditionell utrustning. EPSCement har dessutom extremt låg vikt (~ 350 kg/m³) och den blandas i dagens applikationer med en låg halt vatten (vct=0,4), vilket medför att produkten har självuttorkande egenskaper.

Den isolerande förmågan för sprutad EPSCement är ungefär hälften av den isolerande förmågan hos en polyeten drän ($\lambda \sim 0,042$ W/mK). I en tunnel är det vanligt att använda dräner med en tjocklek om ca 50 mm. Om denna ersätts med en 25 mm tjock drän i kombination med ett 50 mm tjockt lager av EPSCement så har mängden brännbart material halverats med bibehållen isoleringsförmåga.

Ett system skulle då med EPSCement som en komponent kunna byggas upp enligt nedanstående:

1. Ett membran som står för vattentätning placeras närmast berget.
2. Ett värmeisolerande skikt som består av EPSCement eller en kombination av PE-skum och EPSCement (beroende av värmeisolerings- och brandskyddskraven).

3. Ett brandtåligt skikt som består av EPSCement (kan kombineras med det värmeisolerande skiktet).
4. Ett bärande skikt som kan överföra lasterna till bultar som är förankrade i berget. Detta skikt kan i vissa fall bestå av EPSCement som har låg hållfasthet men stor seghet. Om lasterna är stora kan konstruktionen behöva kompletteras med konventionell sprutbetong. Den senare kan behöva innehålla polypropylenfiber för att inte spjälka vid en brandsituation.

I ett optimalt fall skulle alltså t ex EPSCement kunna stå för såväl värmeisolering, brandskydd samt den bärande funktionen, vilket kan bidra till lägre förstärknings- och inklädnadskostnader. De ingående komponenterna kan kombineras efter behov av värmeisolering, bärförmåga och andra egenskaper. Hur en slutlig lösning skall se ut i olika kravsituationer behöver utredas vidare.

1.3 Mål och syfte

Syftet med projektet är att undersöka hur nya material kan användas för att uppfylla kraven på brandsäkerhet i tunnlar. Specifikt syftar detta projekt till att klarlägga värme- och brandisoleringssegenskaper hos EPSCement som komponent i ett system för brandtålig vatten- och frostsäkring för tunnlar i berg.

Mål Etapp 1: Att undersöka om sprutad EPSCement är ett lämpligt material som brandskydd. Särskilt kommer materialets förmåga att motstå explosiv spjälkning och isolationsförmåga att studeras.

Mål Etapp 2: Att undersöka hur sprutbetong med EPSCement kan användas som en komponent i ett system för dränering och frostisolering av tunnlar i berg.

1.4 Etappindelning av projektet

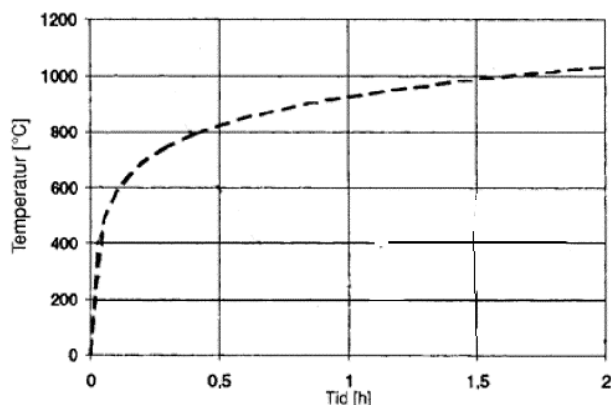
Projektet innefattar en beskrivning av gällande krav för vatten- och frostisolering och erforderligt brandskydd samt förslag till principlösningar med användning av EPSCement. Brandtesterna utförs i två etapper:

- Etapp 1. Prototyptest, där de grundläggande egenskaperna (brandmotstånd, tryckhållfasthet, böjdragegenskaper, värmeledningsförmåga och frostbeständighet) hos sprutad EPSCement provas. Avseende brandmotstånd omfattar prototyptesten två olika tjocklekar av EPSCement som vardera provas 2 gånger. Resultat från etapp 1 används sedan som underlag för etapp 2.
- Etapp 2. Brandtest av provkroppar tillverkade av sprutad EPSCement i kombination med ett eller flera tätande material (dräner, membran etc.). Baserat på erfarenheter från Etapp 1 specificeras en fullskalig test av en vatten- och frostisolerande konstruktion

Denna rapport omfattar endast Etapp 1.

1.5 Metodik och genomförande

En serie provkroppar har tillverkas med den teknik som är tänkt att användas vid fullskalig produktion, dvs. konventionell betongsprutning. Provkropparna har sedan testats för såväl mekaniska- som brandegenskaper hos SP Sveriges provnings- och forskningsinstitut i Borås. Brandtesterna har genomförts i liten skala enligt provningsmetoden SP Brand 119, utgåva 3, daterad 2002-01-24 och med brandgastemperatur enligt standardbrandkurvan ISO 834:1975. Kurvan är framtagen för att simulera en brand i ett rum.



Figur 1-3 Gastemperatur vid brand enligt standardbrandkurvan ISO 834:1975.

Fyra trälådor med innerdimensionen B=600 mm, L=500 mm, H= 100mm tillverkades. I lådan placeras termoelement för att mäta temperaturen på olika nivå i materialet. Lådorna fylldes därefter med olika material som skulle provas (se vidare kapitel 3), samt sprutades med EPSCement. Efter härdning sågades provplattorna för att passa till provning enligt Tabell 1-1 nedan.

Tabell 1-1 Egenskaper och provningsmetod.

Provning	Provningsmetod	Antal prov	Provkroppsstorlek l x b x h (mm)
Brandtest	SP Brand 119, utgåva 3, daterad 2002-01-24	2	600x500x XX
Tryckhållfasthet	SS 13 72 20	3	100 x 100 x 100
Böjdragegenskaper	Mod. ASTM C1018	3	550 x 100 x 70
Värmeledningsförmåga och värmekapacitet	TPS (Transient Plane Source)	2	150 x 150 x 125
Frostbeständighet	SS 13 72 44	3	150 x 150 x 50

Resultat av provningarna sammanställdes och utvärderas i relation till de uppställda kraven.

1.6 Gällande krav för vatten- och frostisolering och erforderligt brandskydd

I Vägverkets regler beskrivna i Tunnel 2004, kapitel 4 ställs kravet att material i bärande huvudsystem, inklädnad och installation inte får bidra till brandspridning eller rökspridning.

Oskyddade PE-skum dräner kan bidra till brandspridning och kan därför inte tillåtas i en tunnel.

Enligt Tunnel 2004 bör materialet därtill vara obrännbart om inte materialets bidrag till brandspridning kan anses vara försumbart. Plastmaterial, som ingår i inredning och installation, bör bestå av klorfritt material. Bärande huvudsystem, inredning och installationer nödvändiga för säker utrymning och räddningsinsats skall påvisas kunna motstå brandpåverkan under angiven utrymnings- och angreppstid utan att det uppstår lokala skador, t ex i form av nedfall. Installation skall uppfylla detta krav vid temperatur understigande 250°C.

2 BRANDPROVNING AV EPSCEMENT

I detta kapitel beskrivs brandprovningen (prototyptesten) av EPSCementen som utförts i liten skala enligt provningsmetoden SP Brand 119, utgåva 3, daterad 2002-01-24.

2.1 Provkroppar och provuppställning

De sprutade provkropparna av EPSCement tillverkades hos Besab i Sollentuna den 13 juni 2005 och anlände till SP i Borås den 21 juni 2005.

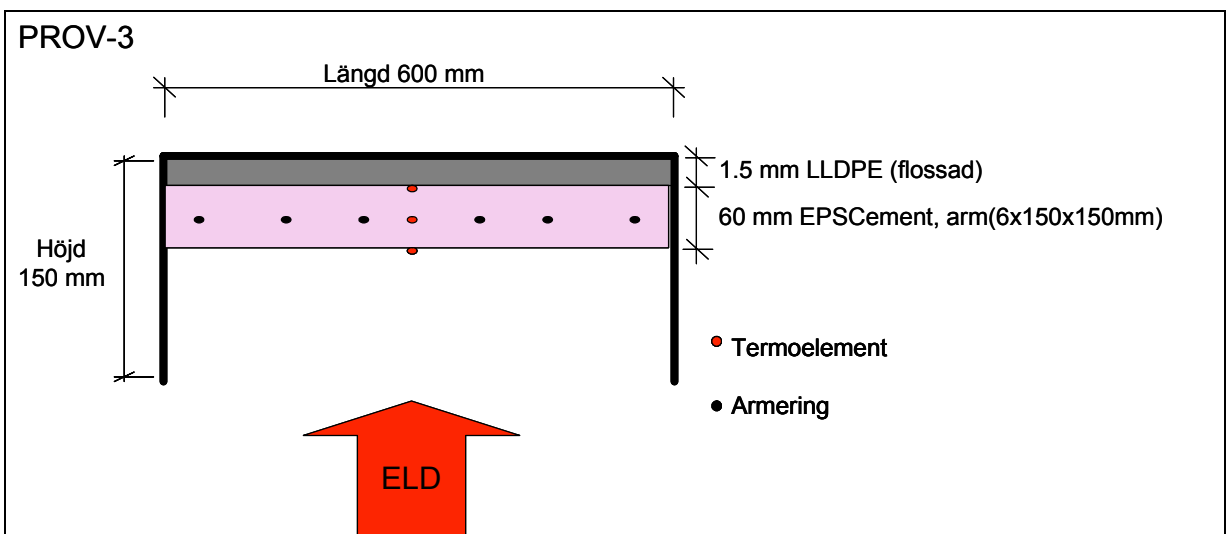
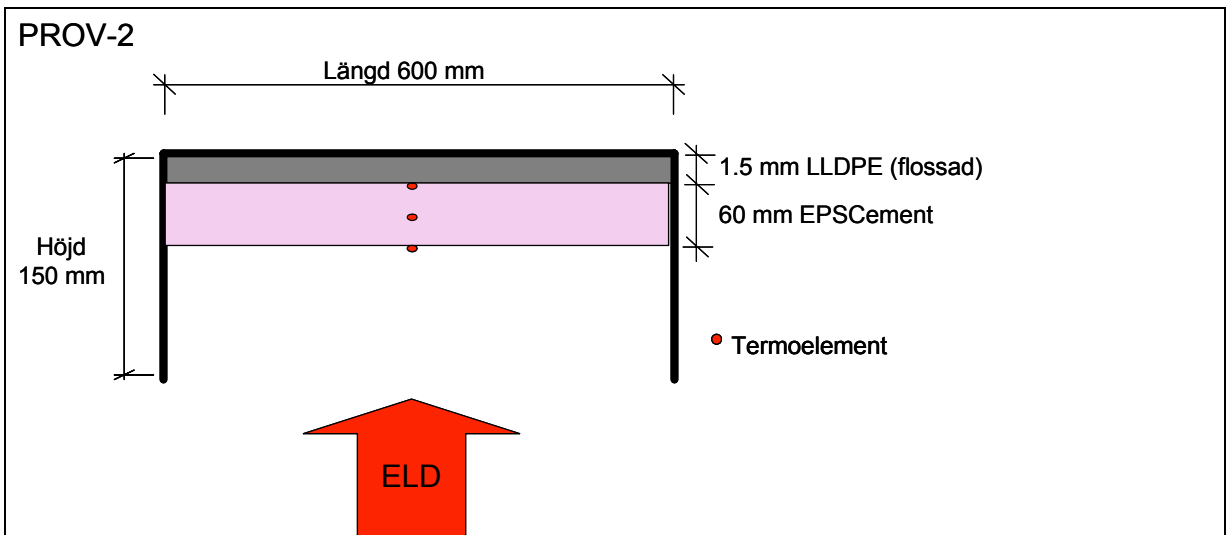
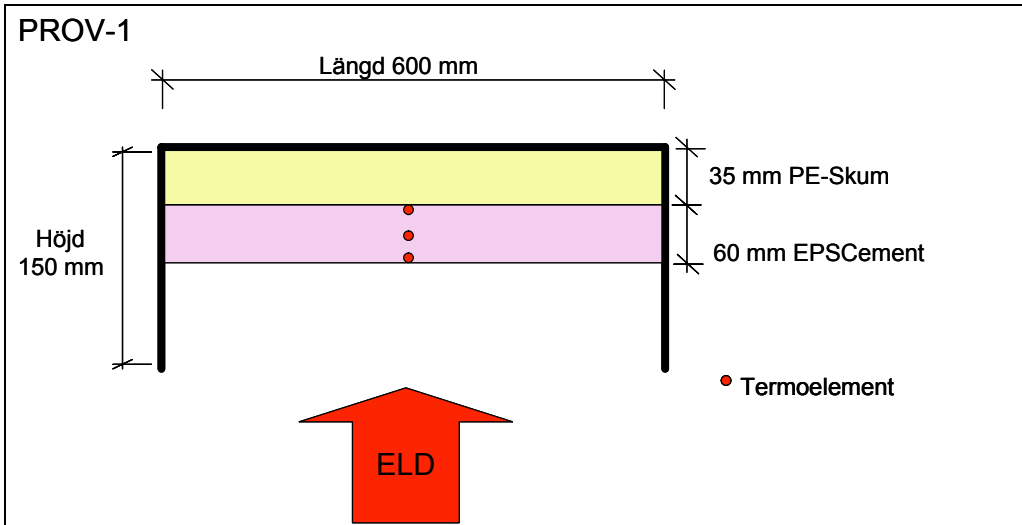
Dimension och material hos de olika skikten framgår av Tabell 2-1.

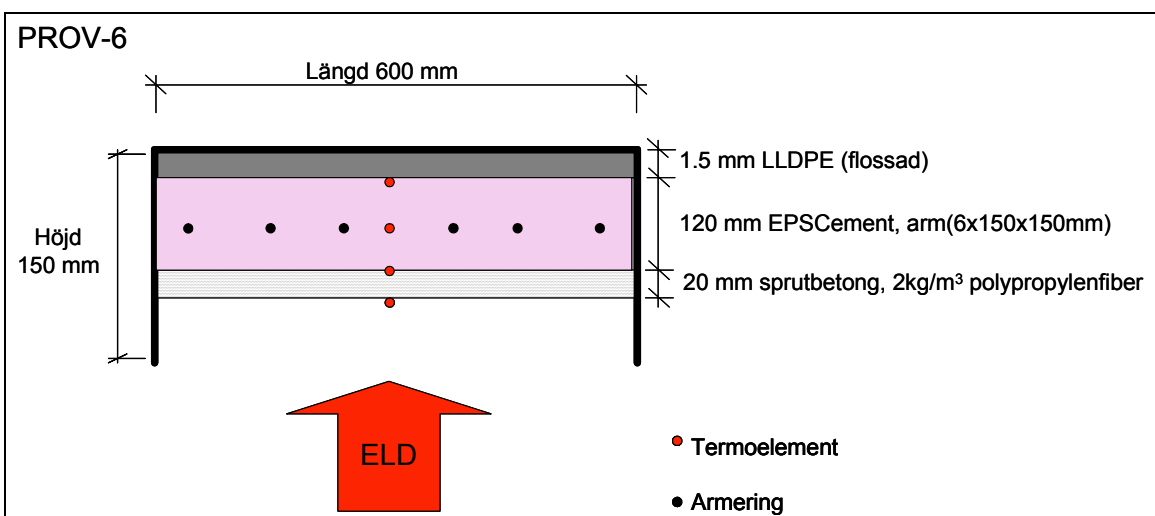
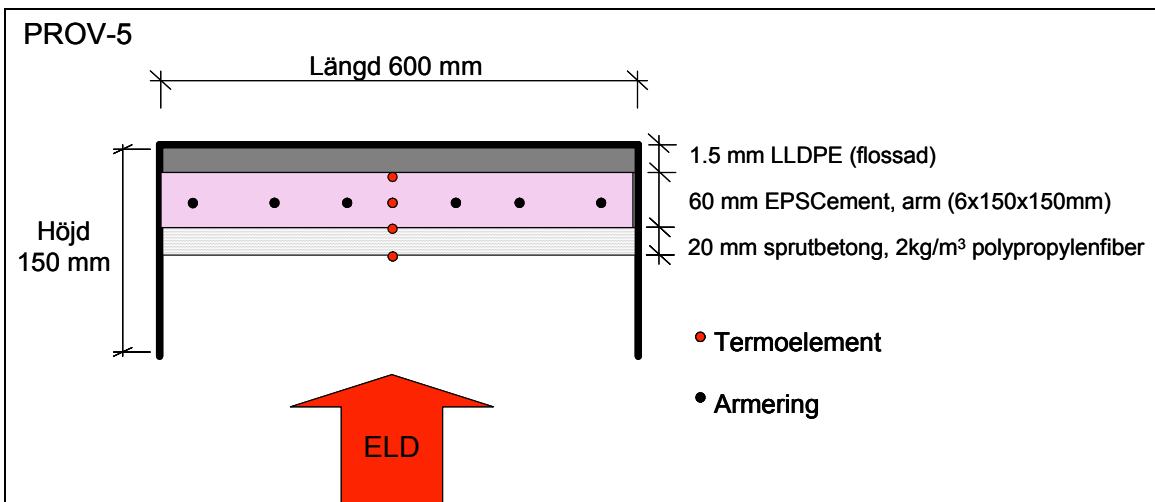
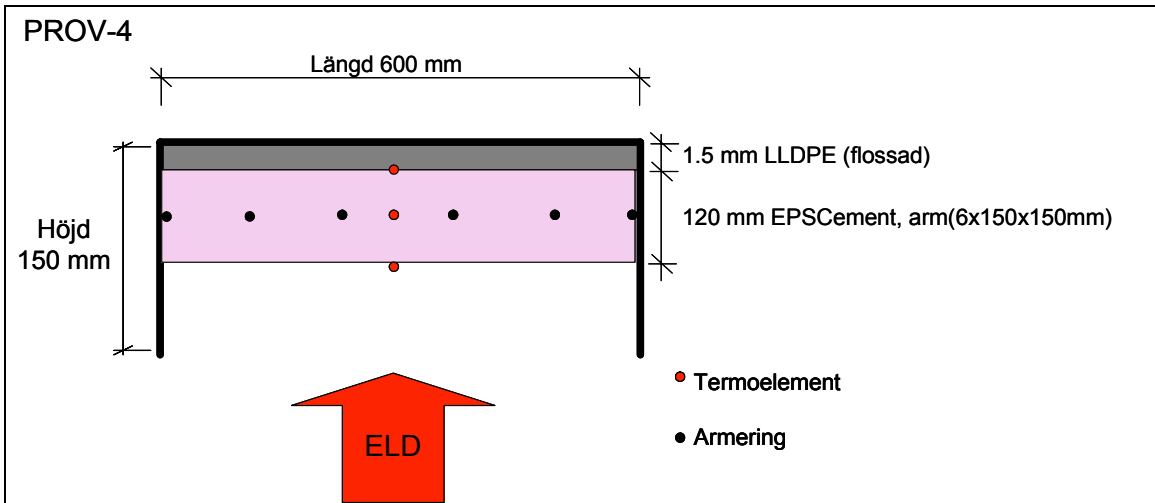
Tabell 2-1 Material och tjocklek hos de ingående skikten för respektive provkropp.

Beteckning	Tätande skikt	EPS Cement	Ytskikt (brandutsatt yta)
Prov-1	35 mm PE-skum	60 mm	-
Prov-2	1,5 mm LLDPE (flossad)	60 mm	-
Prov-3	1,5 mm LLDPE (flossad)	60 mm, armerad (6x150x150 mm)	-
Prov-4	1,5 mm LLDPE (flossad)	120 mm, armerad (6x150x150 mm)	-
Prov-5	1,5 mm LLDPE (flossad)	60 mm, armerad (6x150x150 mm)	20 mm sprutbetong med inblandning av 2 kg/m ³ polypropylenfibrer
Prov-6	1,5 mm LLDPE (flossad)	120 mm, armerad (6x150x150 mm)	20 mm sprutbetong med inblandning av 2 kg/m ³ polypropylenfibrer

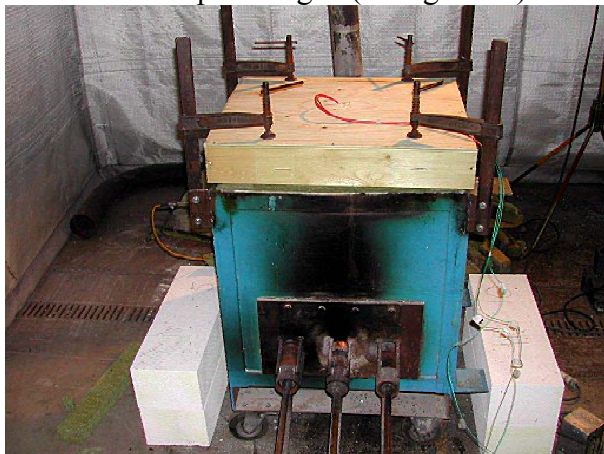
* Membran av LLDPE (linjär lågdensitetspolyeten (Low Density Polyethylene))

Som framgår av tabellen omfattar brandprovningen två olika tjocklekar, 60 respektive 120 mm av EPSCement. I nedanstående 6 figurer redovisas de olika provkropparna för brandtest som vardera tillverkats i 3 omgångar för att testerna skall kunna repeteras:



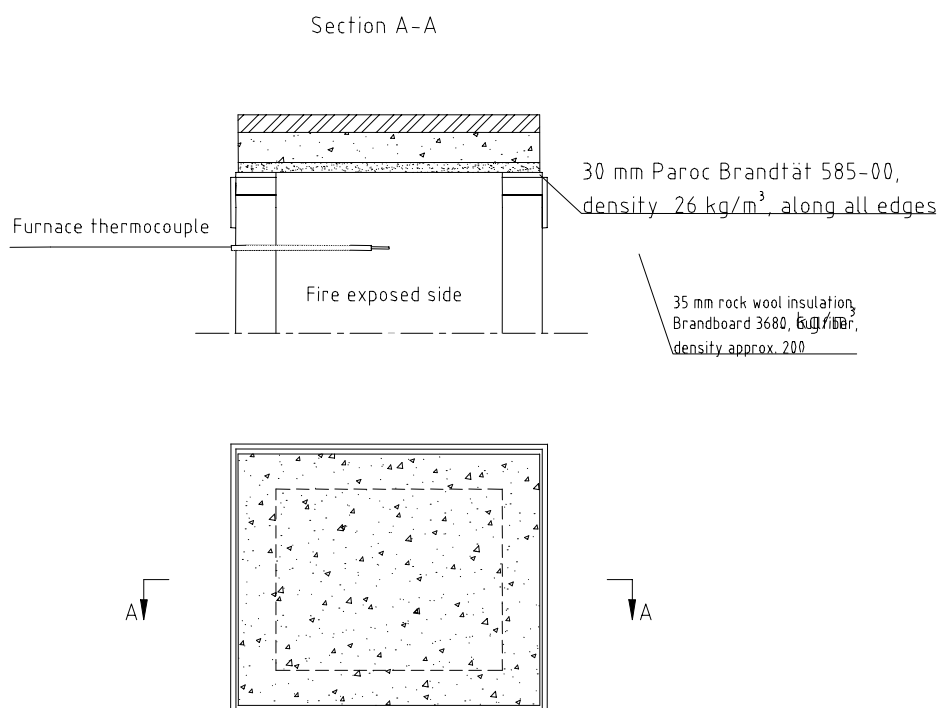


Provkroppen avformades delvis innan montering på ugnen. Endast den nedre delen av formen sidor togs bort vilket innebär att de övre delarna av formen fortfarande fanns kvar vid provningen (se Figur 2-1).



Figur 2-1 Provkroppen ligger på en ugn. Delar av formen finns kvar.

Provkropparna lades horisontellt på en liten ugn med öppningsmått 360 x 450 mm². Mellan ugnskant och provkropp lades en stenullsisolering, se Figur 2-2. Provkroppen spändes lätt fast mot ugnen med fyra tvingar, en vid varje hörn.



Figur 2-2 Provuppställning på liten ugn.

Provföremålet förvarades i SPs ugnshall fram till provningen. Provföremålen var täckta av plast fram till provningen. Temperaturen i ugnshallen var i medeltal 28 °C och den relativa fuktigheten var i medeltal 57 % under denna tid.

Ingen kontroll av egenskaperna hos de provade föremålen genomfördes.

Provningarna utfördes 2003-07-11--13. Proven pågick under minst 60 minuter. Ugnstemperaturen styrdes enligt SIS 02 48 20, utgåva 2, daterad 1977-07-01 (ISO 834-1975). Temperaturen i ugnen mättes med ett termoelement.

2.2 Mätningar på provföremålet

I varje provkropp var termoelement ingjutna på olika djup. De var placerade centriskt mot den brandexponerade ytan. Termoelementens djup från den brandexponerade ytan var som följer:

Prov-1, Prov-2, Prov-3

0 mm (precis under ytan)

30 mm

60 mm (skiktet mellan tätskikt och EPS Cement)

Prov-4

0 mm (precis under ytan)

60 mm

120 mm (skiktet mellan tätskikt och EPS Cement)

Prov-5

0 mm (precis under ytan av sprutbetong)

20 mm (mellan sprutbetong och EPS Cement)

50 mm (30 mm in i EPS Cement)

80 mm (skiktet mellan tätskikt och EPS Cement)

Prov-6

0 mm (precis under ytan av sprutbetong)

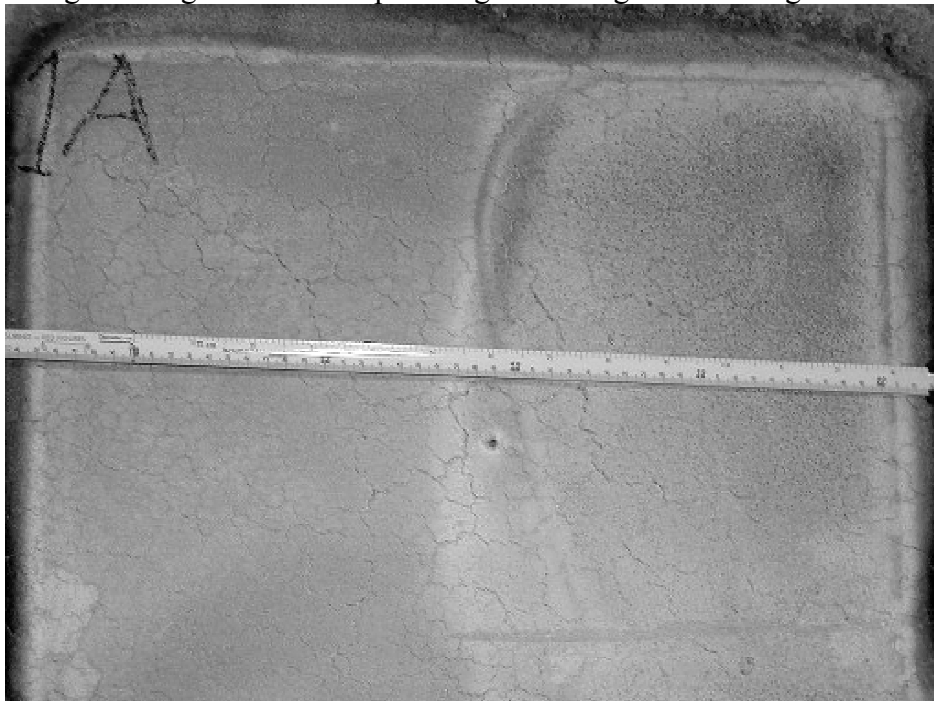
20 mm (mellan sprutbetong och EPS Cement)

80 mm (30 mm in i EPS Cement)

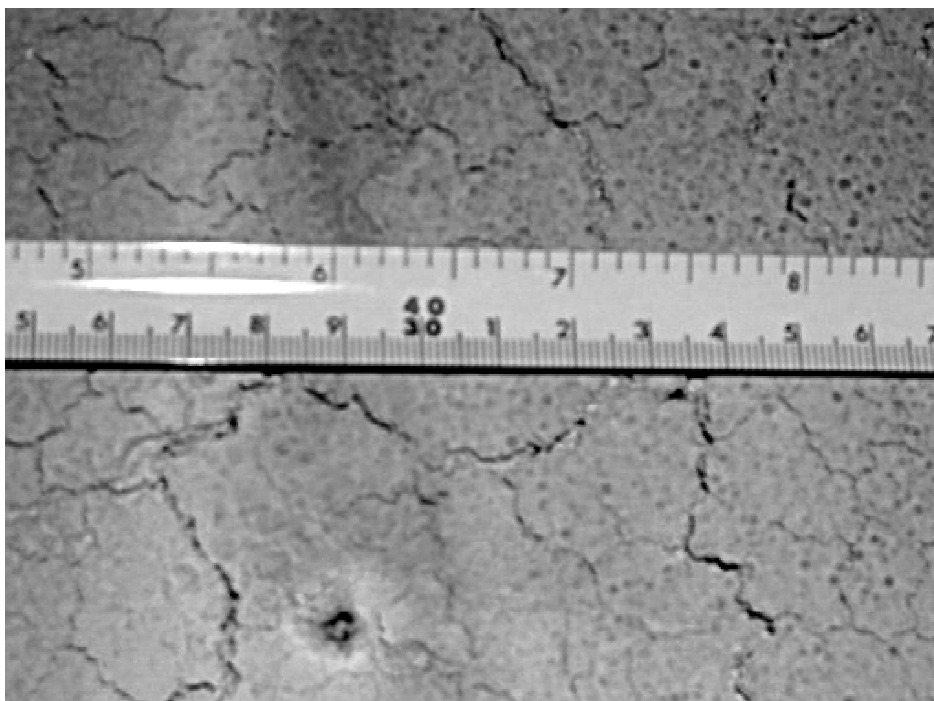
140 mm (skiktet mellan tätskikt och EPS Cement)

2.3 Observationer

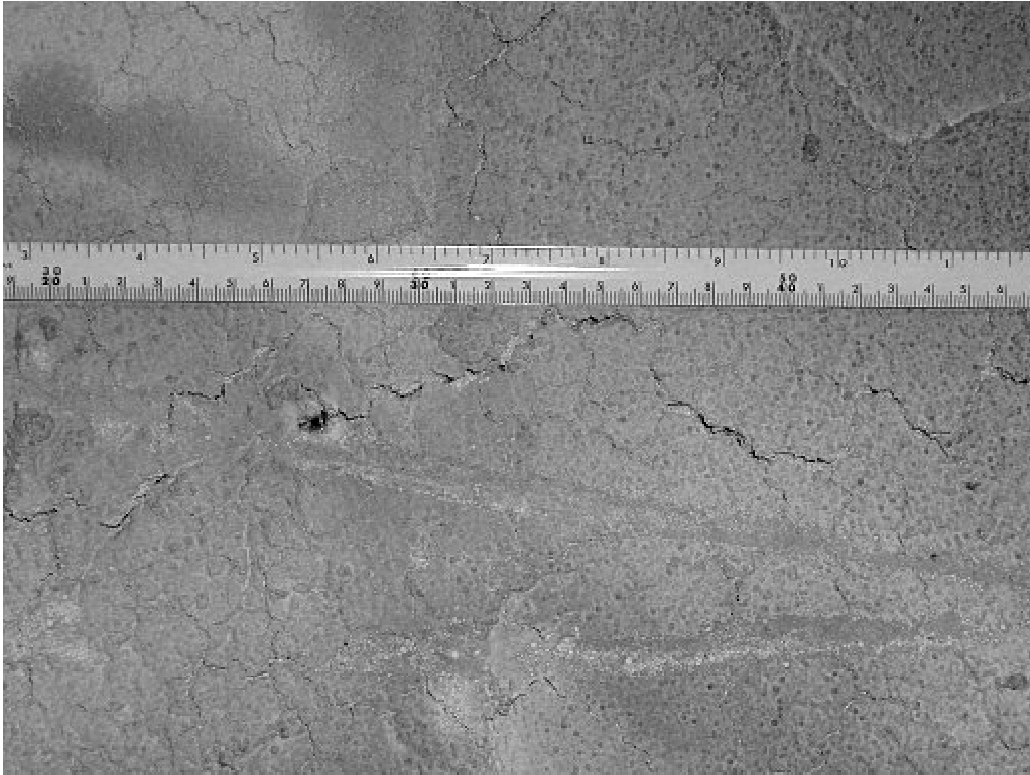
Inget av de provade föremålen spjälkade vid brandprovningen.
Fotografier tagna efter brandprovning visas i Figur 2-3 till Figur 2-25.



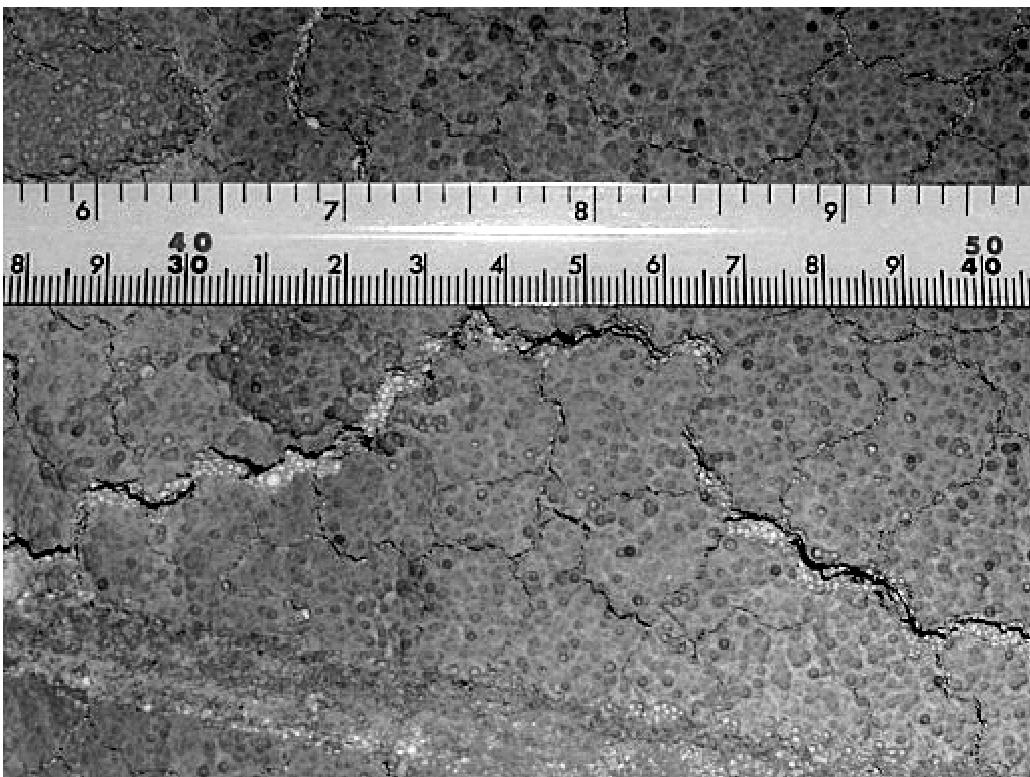
Figur 2-3 Provkropp Prov-1:1.



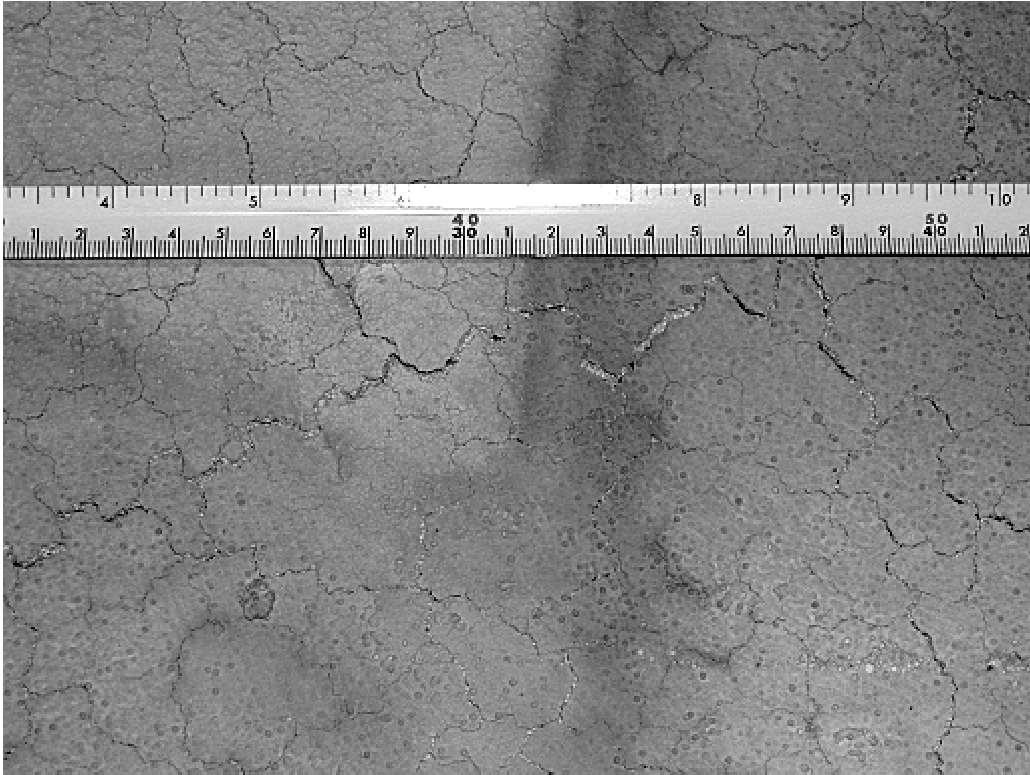
Figur 2-4 Närbild av provkropp Prov-1:1.



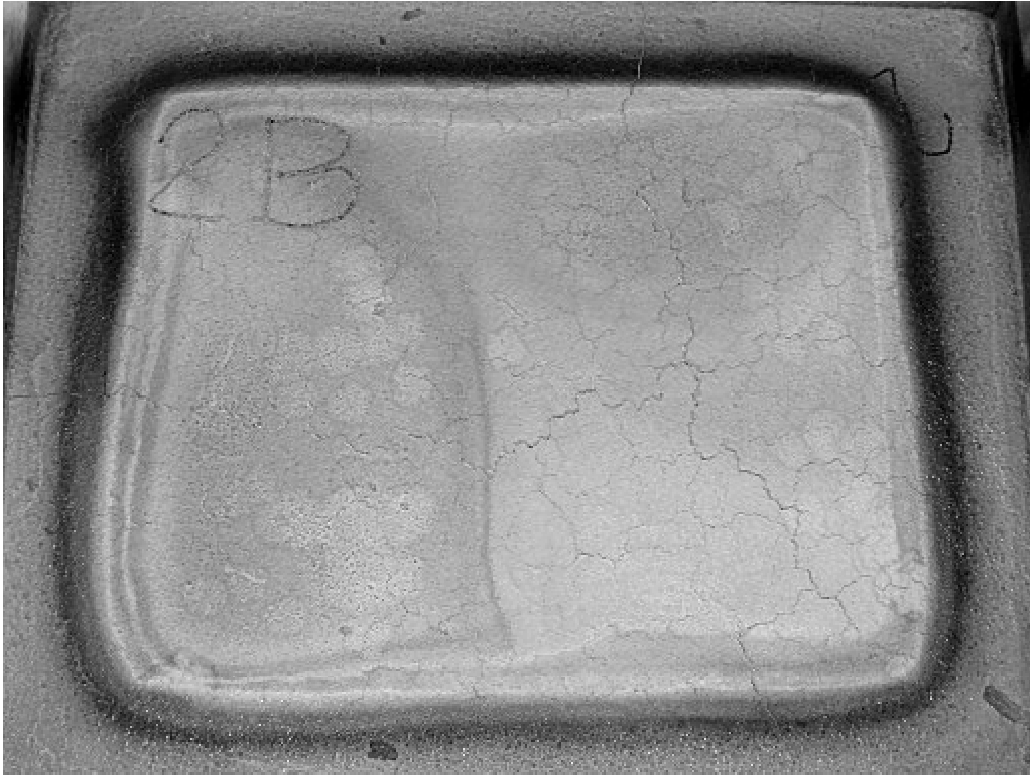
Figur 2-5 **Provkropp Prov-1:2.**



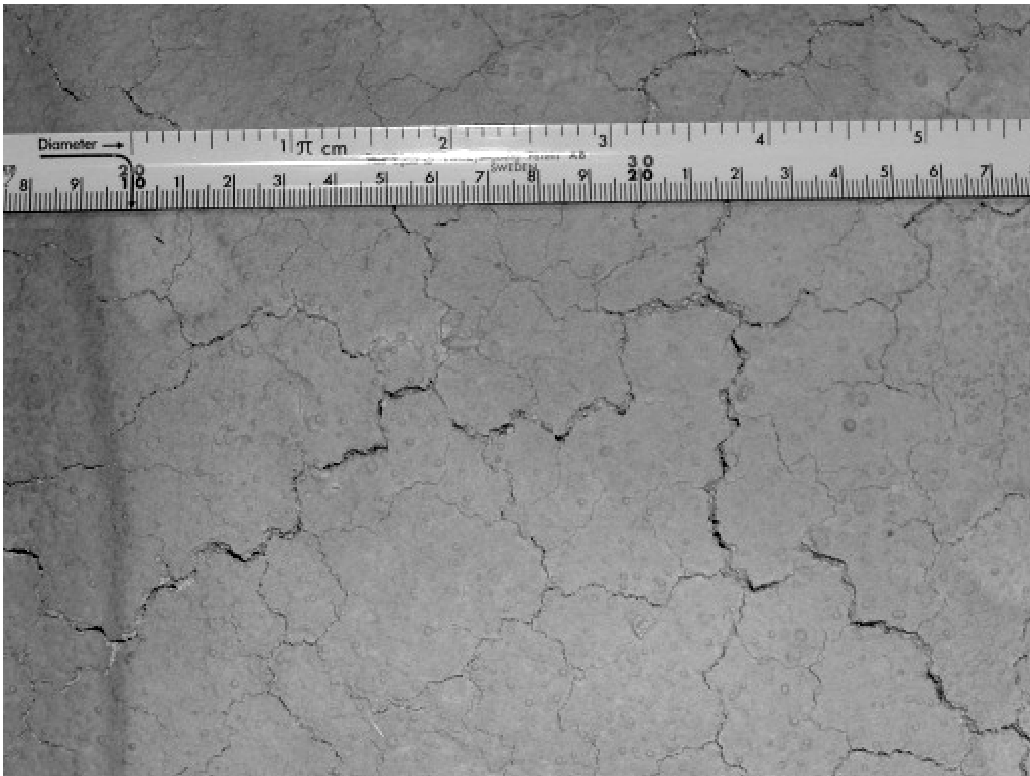
Figur 2-6 **Närbild av provkropp Prov-1:2.**



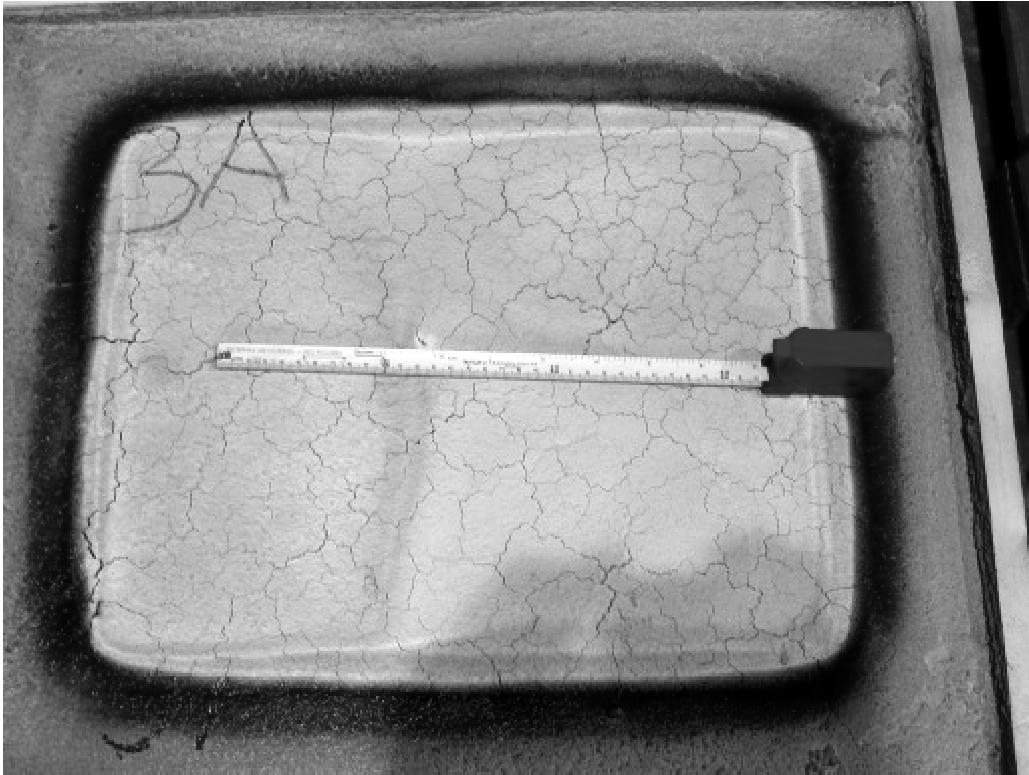
Figur 2-7 **Provkropp Prov-2:1.**



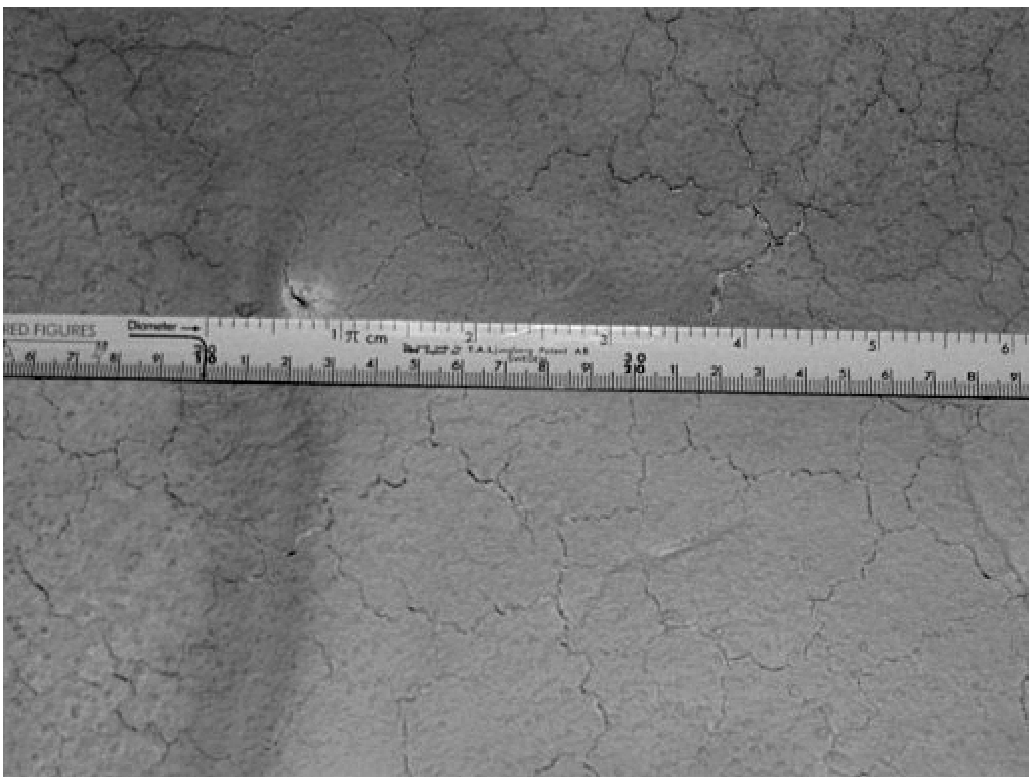
Figur 2-8 **Provkropp Prov-2:2.**



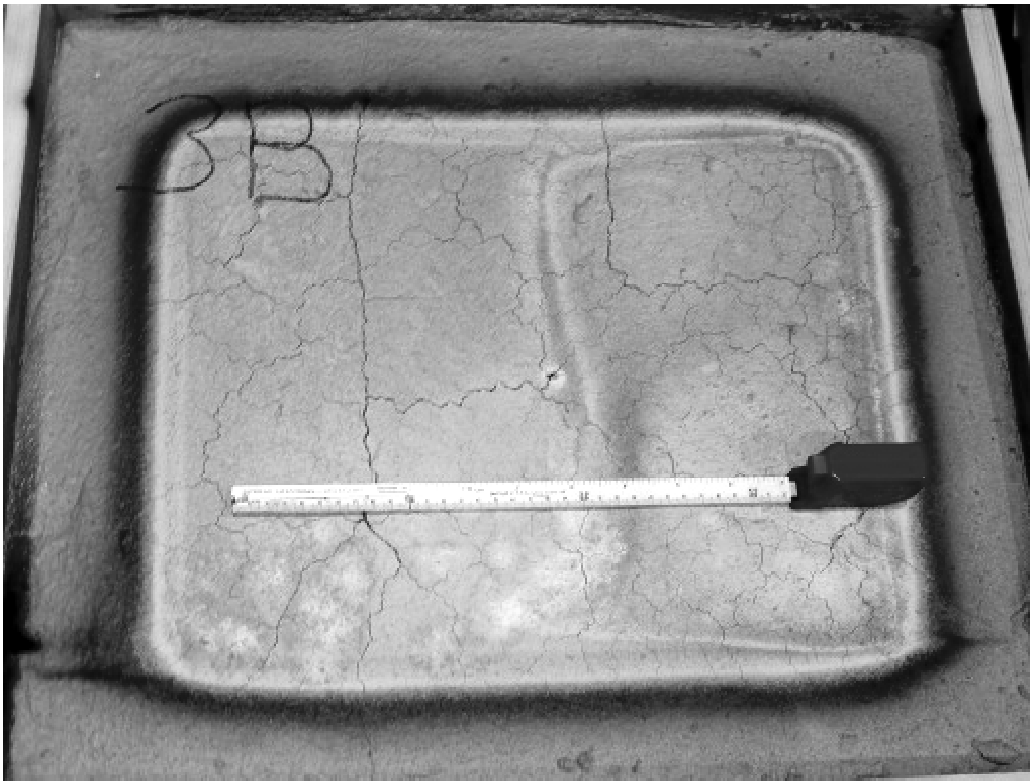
Figur 2-9 **Närbild av provkropp Prov-2:2.**



Figur 2-10 Provkropp Prov-3:1.



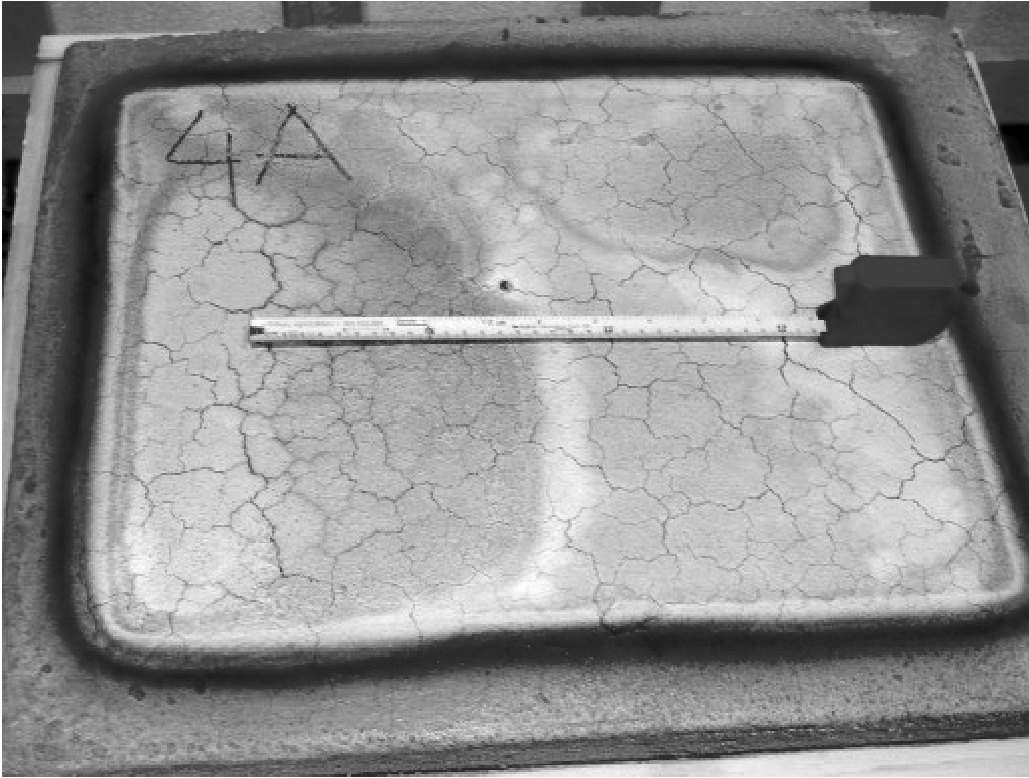
Figur 2-11 Närbild av provkropp Prov-3:1.



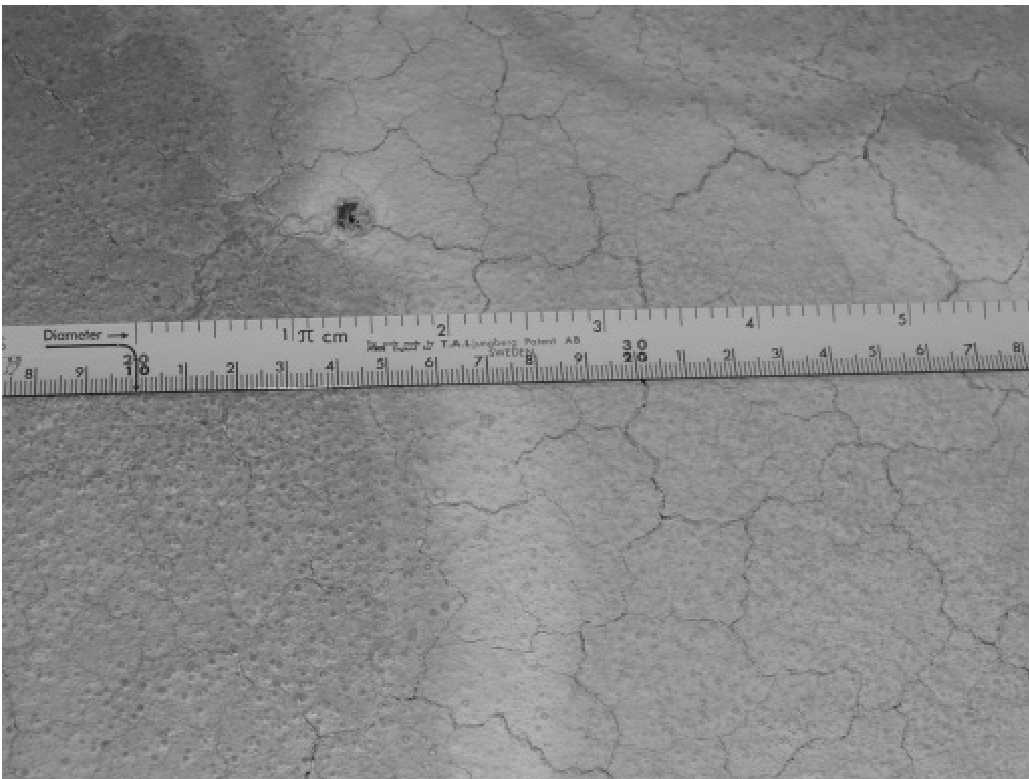
Figur 2-12 Provkropp Prov-3:2.



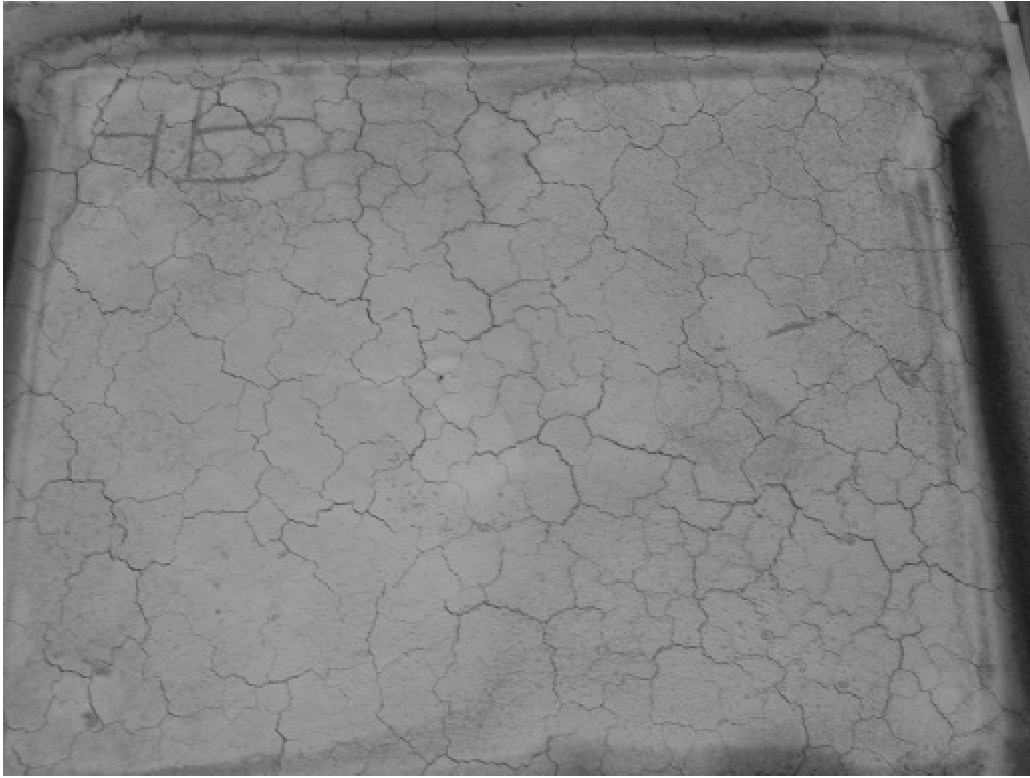
Figur 2-13 Närbild av provkropp Prov-3:2.



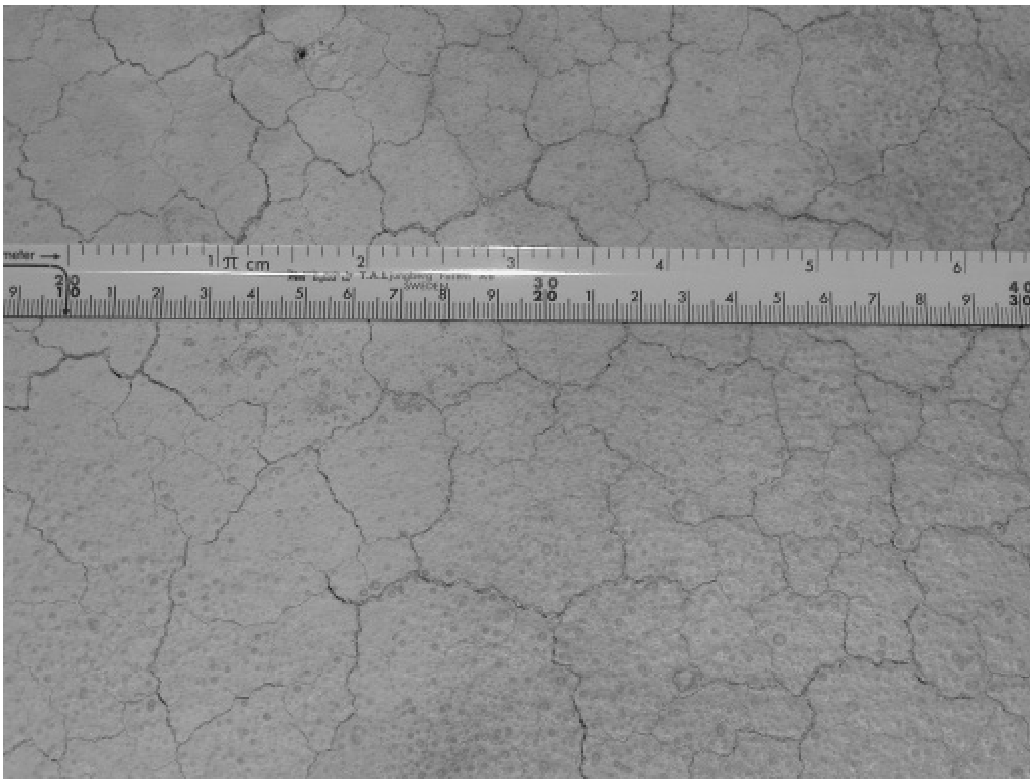
Figur 2-14 Prov-kropp Prov-4:1.



Figur 2-15 Närbild av provkropp Prov-4:1.



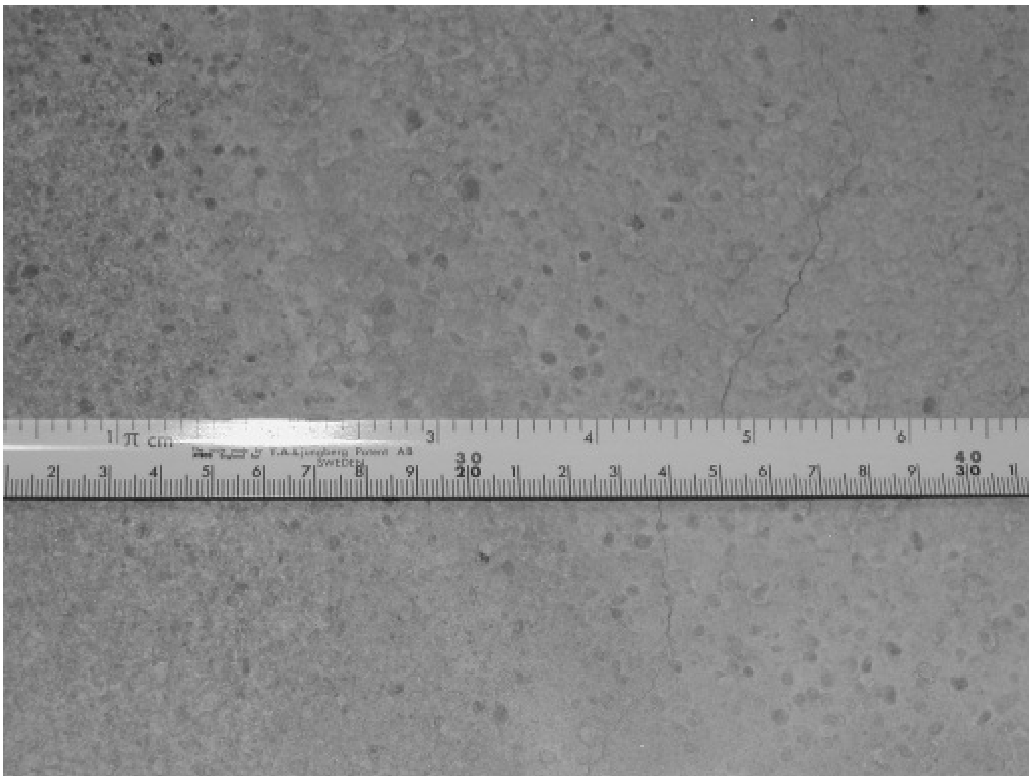
Figur 2-16 Provkropp Prov-4:2.



Figur 2-17 Närbild av provkropp Prov-4:2.



Figur 2-18 Provkropp Prov-5:1.



Figur 2-19 Närbild av provkropp Prov-5:1.



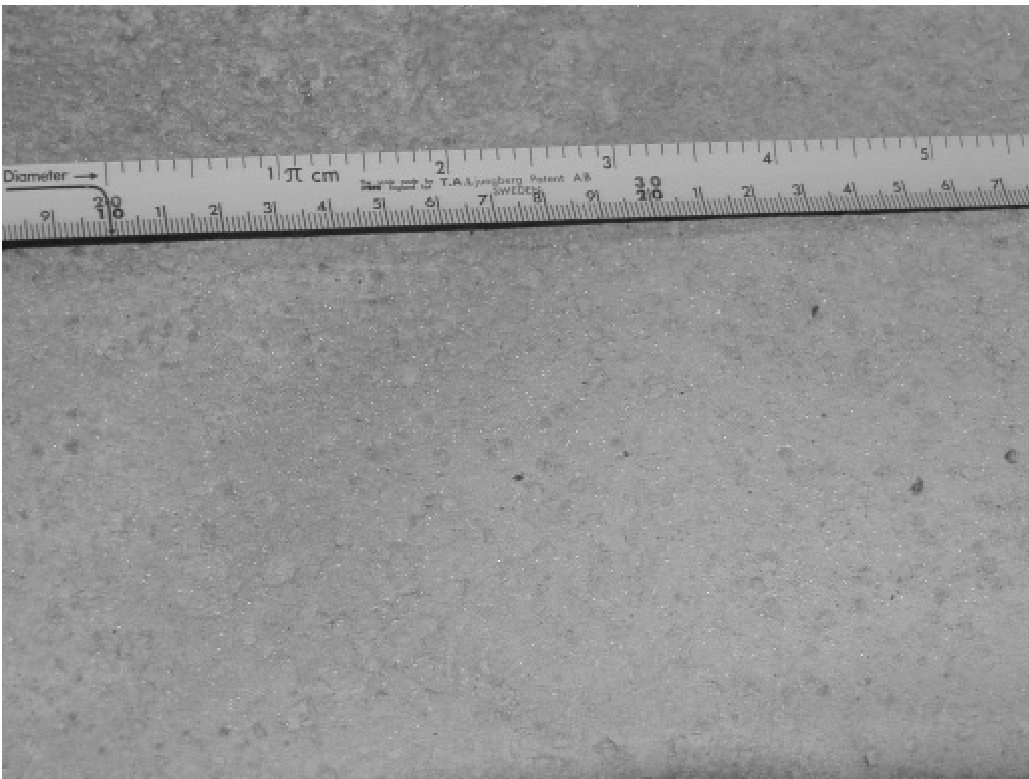
Figur 2-20 Provkropp Prov-5:2.



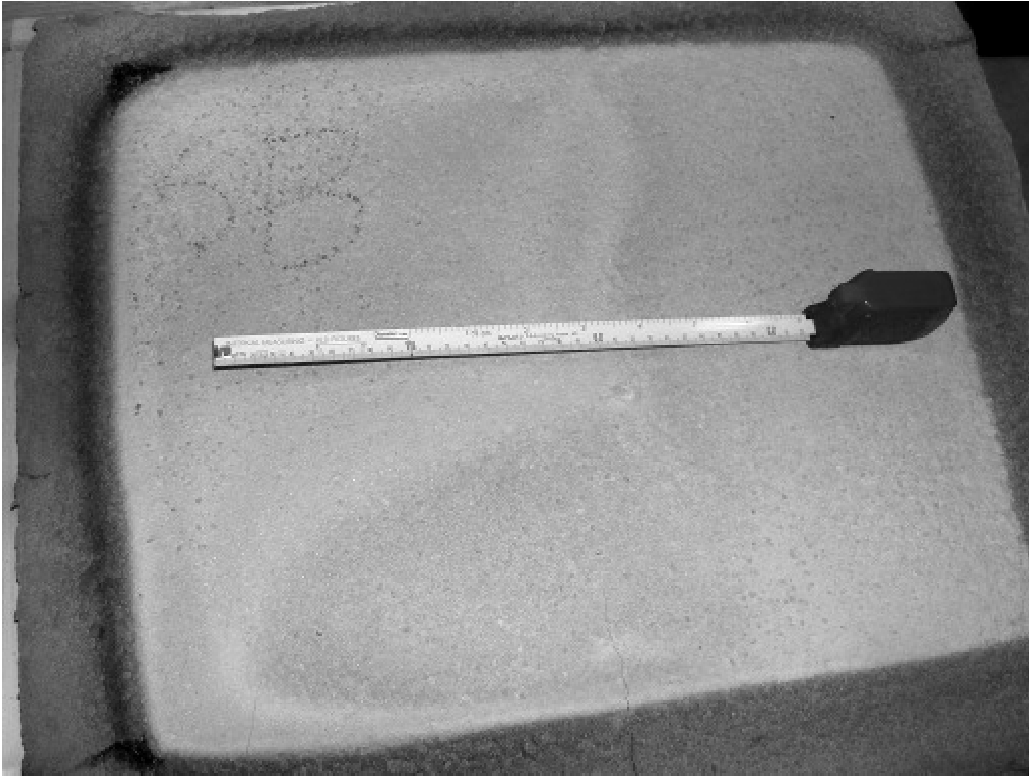
Figur 2-21 Närbild av provkropp Prov-5:2.



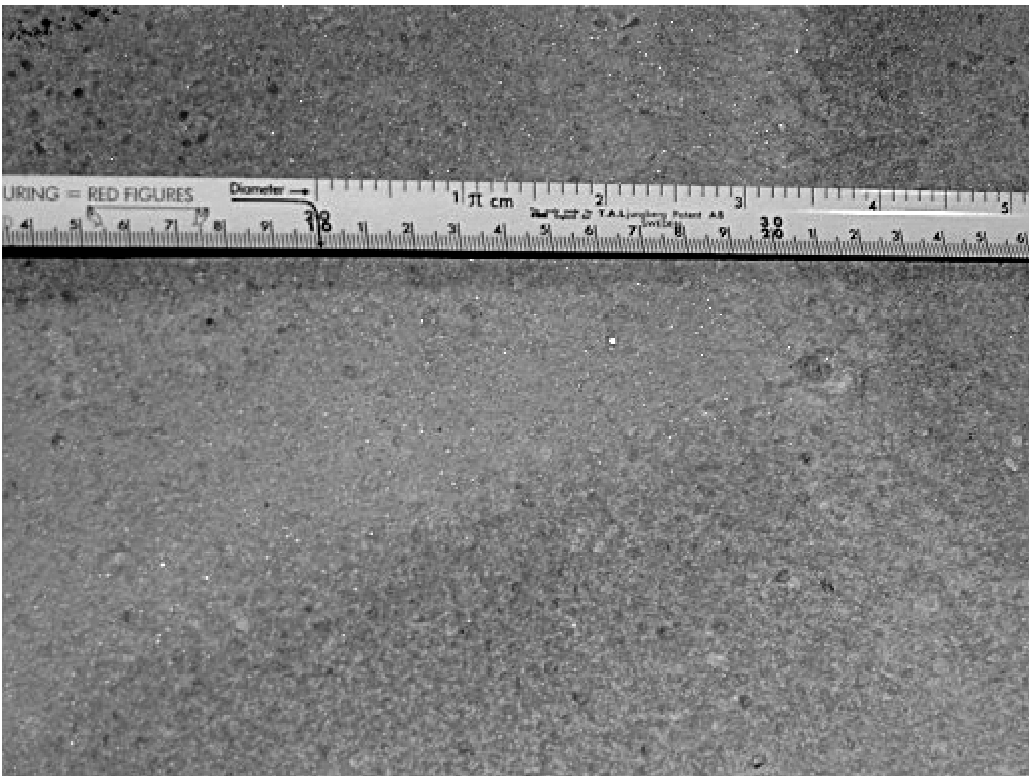
Figur 2-22 Provkropp Prov-6:1.



Figur 2-23 Närbild av provkropp Prov-6:1.



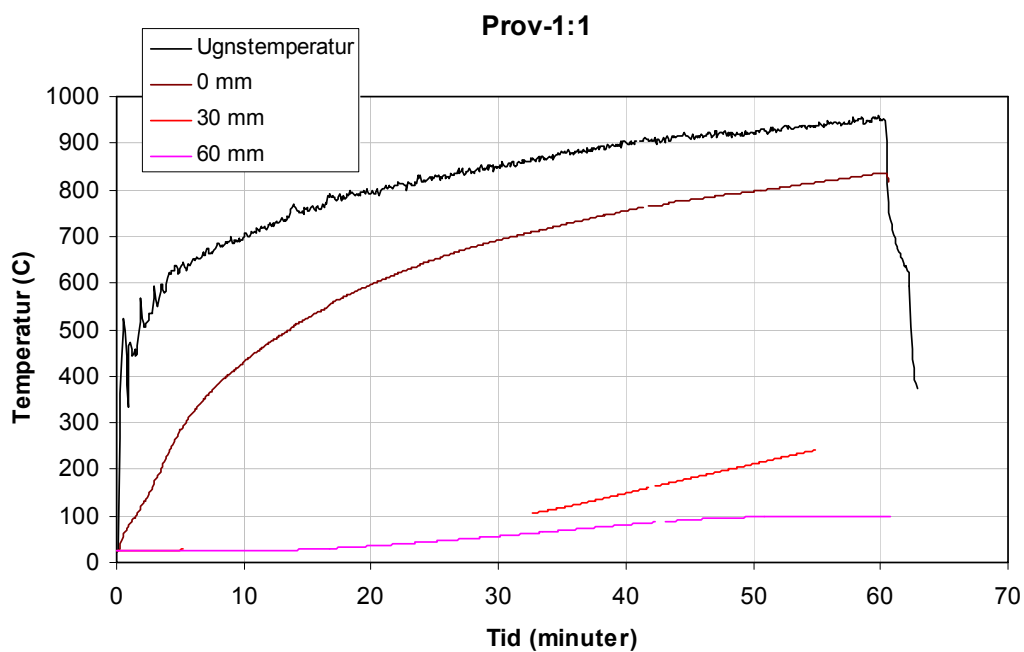
Figur 2-24 Provkropp Prov-6:2.



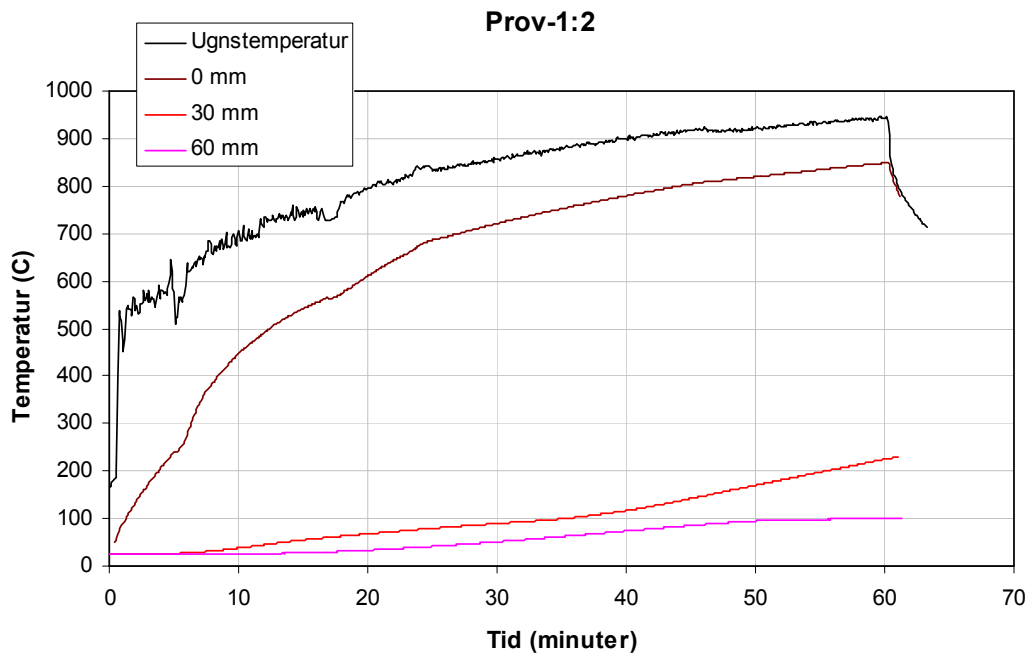
Figur 2-25 Närbild av provkropp Prov-6:2.

2.4 Mätresultat

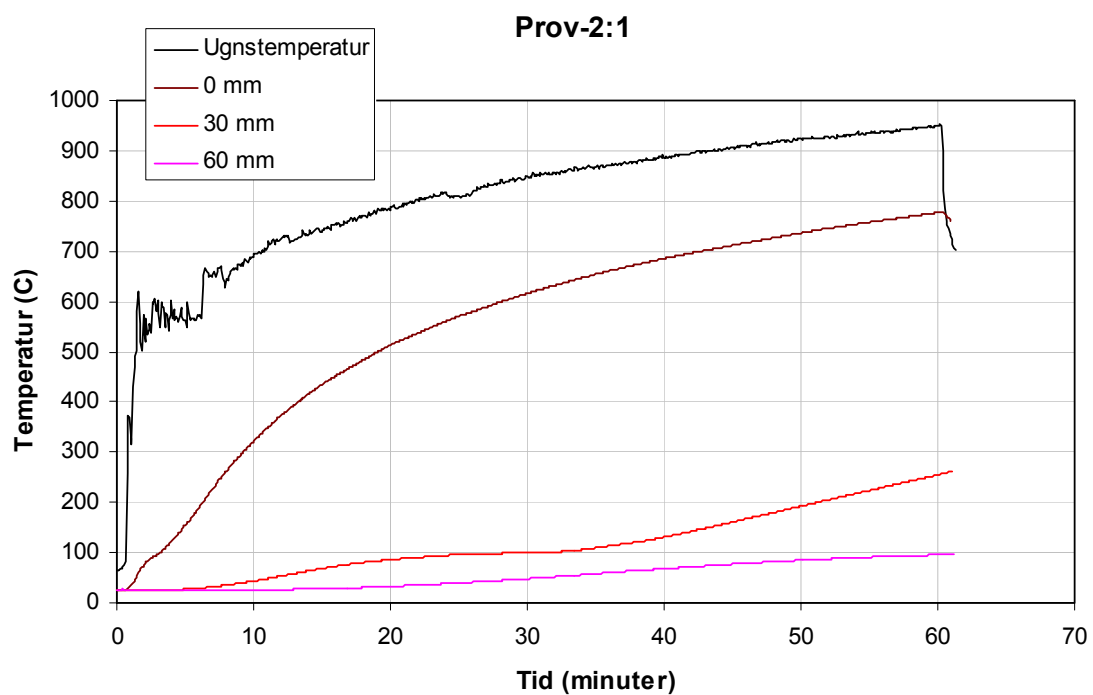
Figur 2-26 till Figur 2-37 visar de uppmätta temperaturerna i ugnen samt i provkropparna.



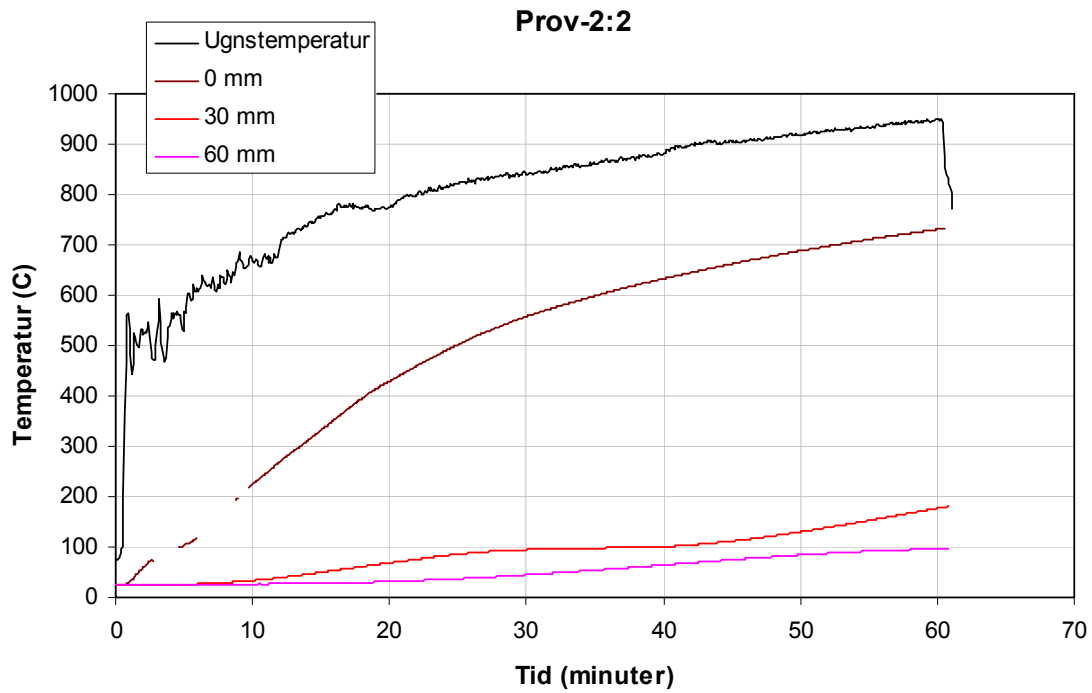
Figur 2-26 Temperaturer vid prov av provkropp Prov-1:1. Termoelementet vid 30 mm djup var ur funktion tidvis.



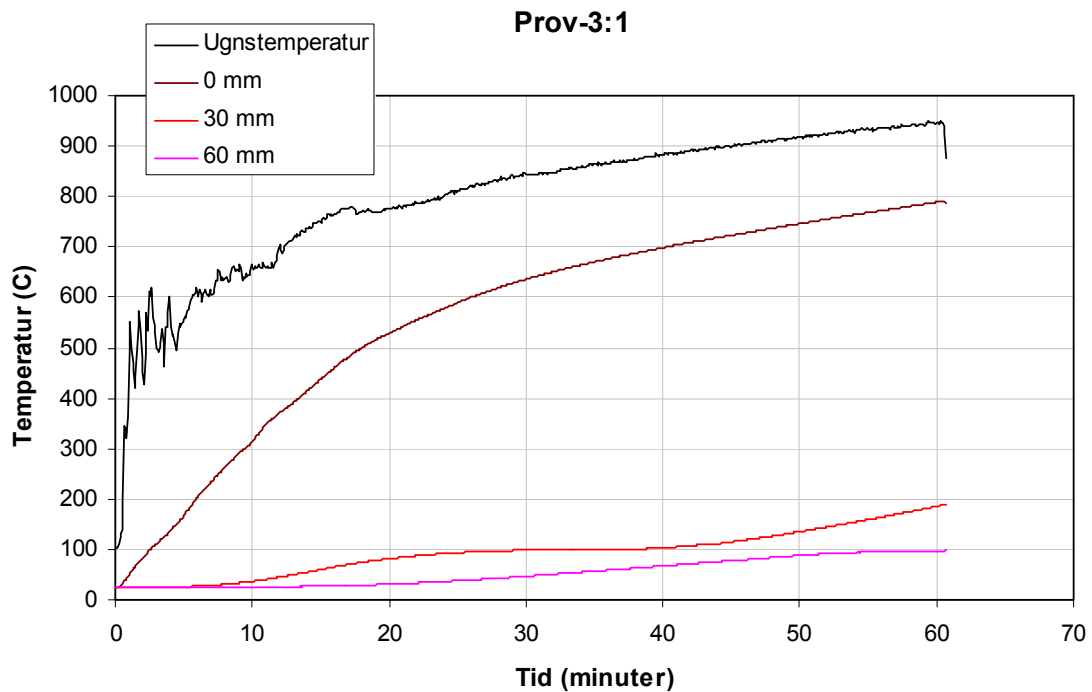
Figur 2-27 Temperaturer vid prov av provkropp Prov-1:2.



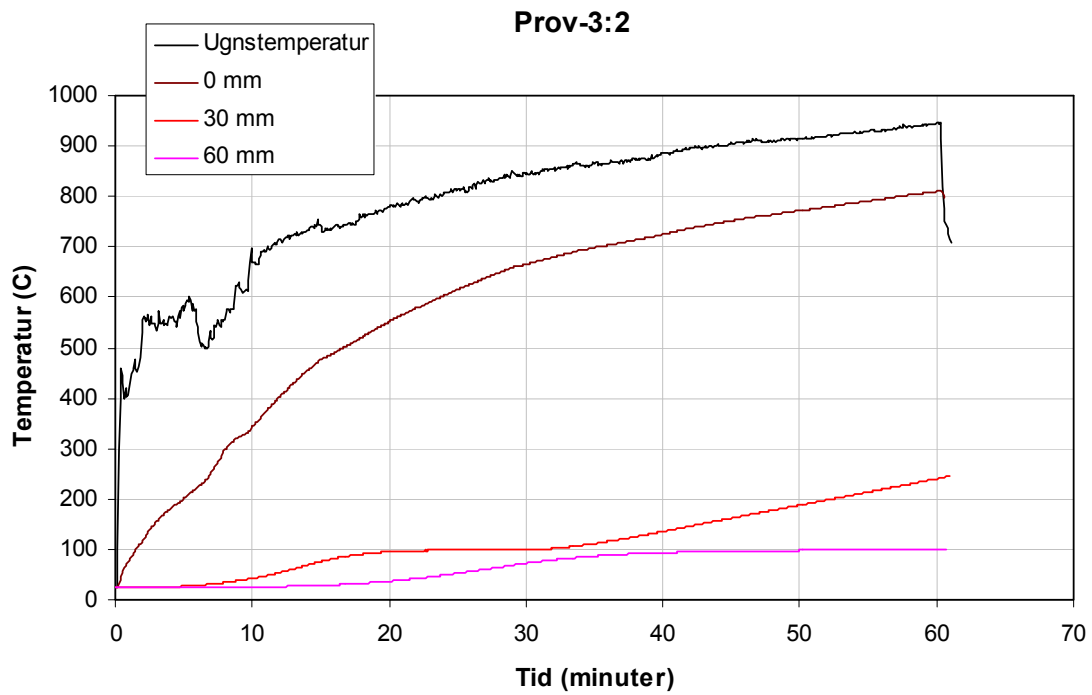
Figur 2-28 Temperaturer vid prov av provkropp Prov-2:1.



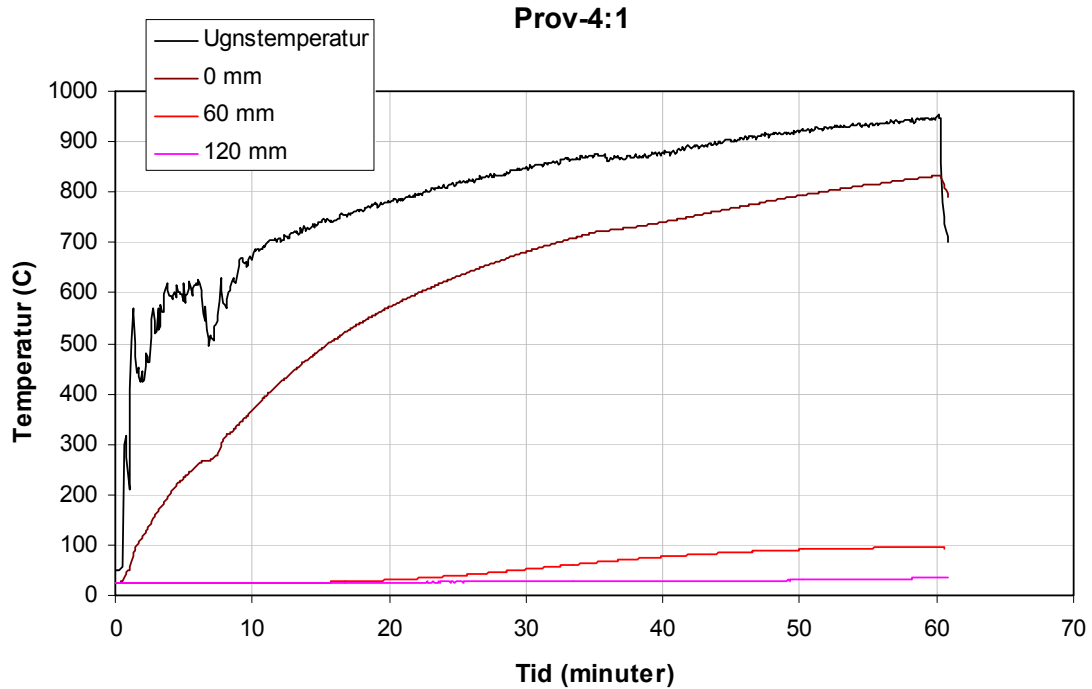
Figur 2-29 Temperaturer vid prov av provkropp Prov-2:2. Termoelementet vid 0 mm djup var ur funktion tidvis.



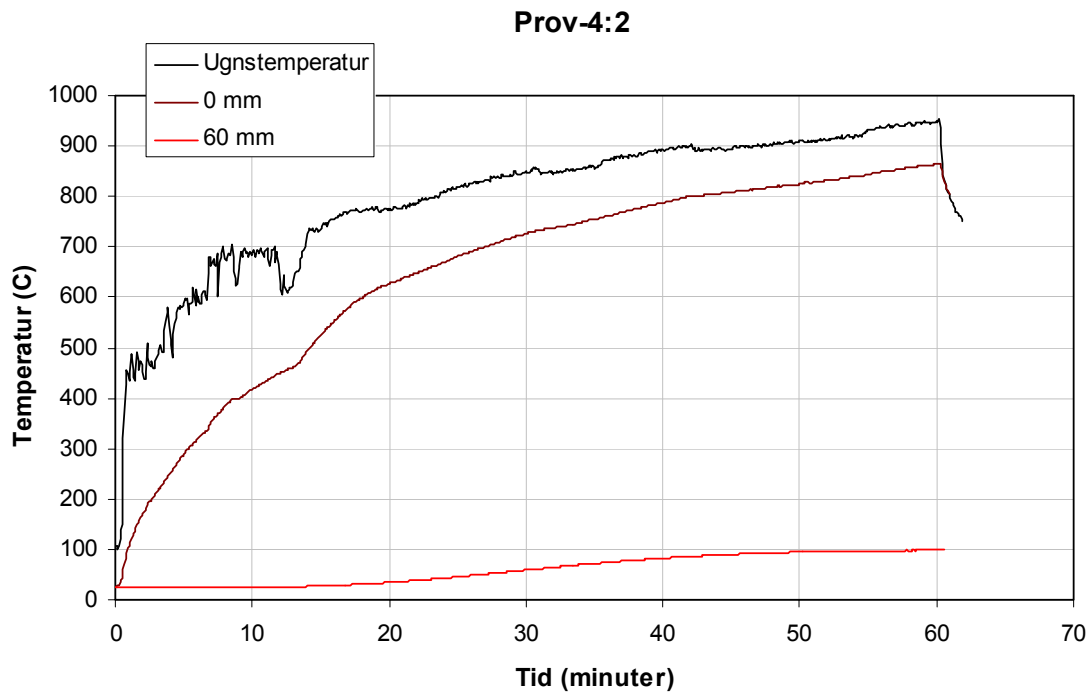
Figur 2-30 Temperaturer vid prov av provkropp Prov-3:1.



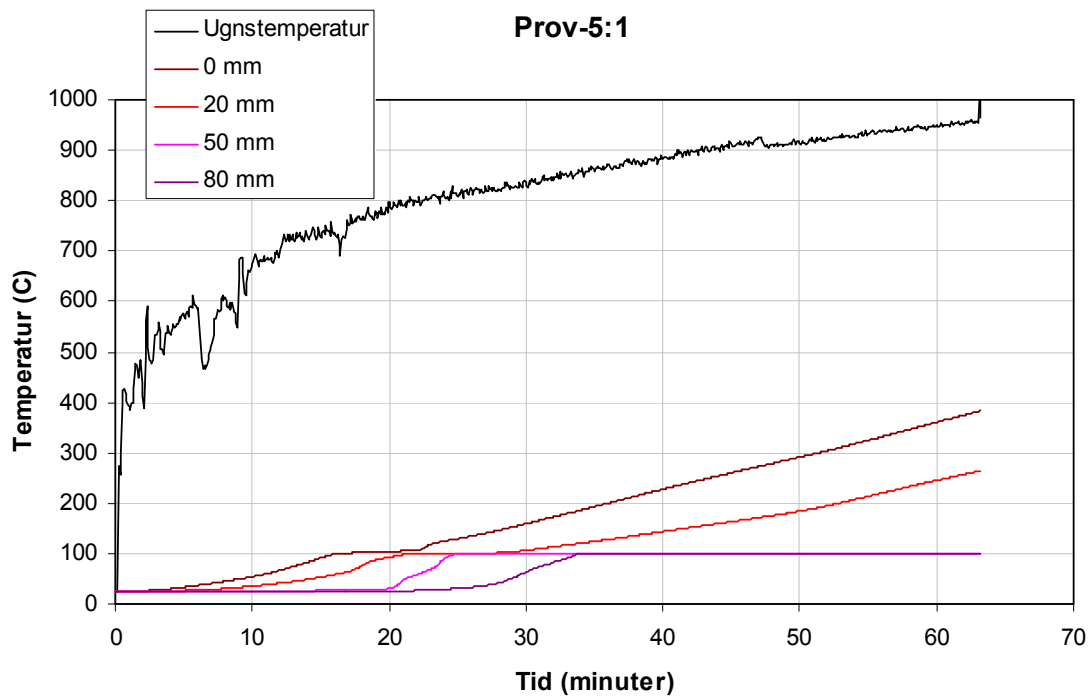
Figur 2-31 Temperaturer vid prov av provkropp Prov-3:2.



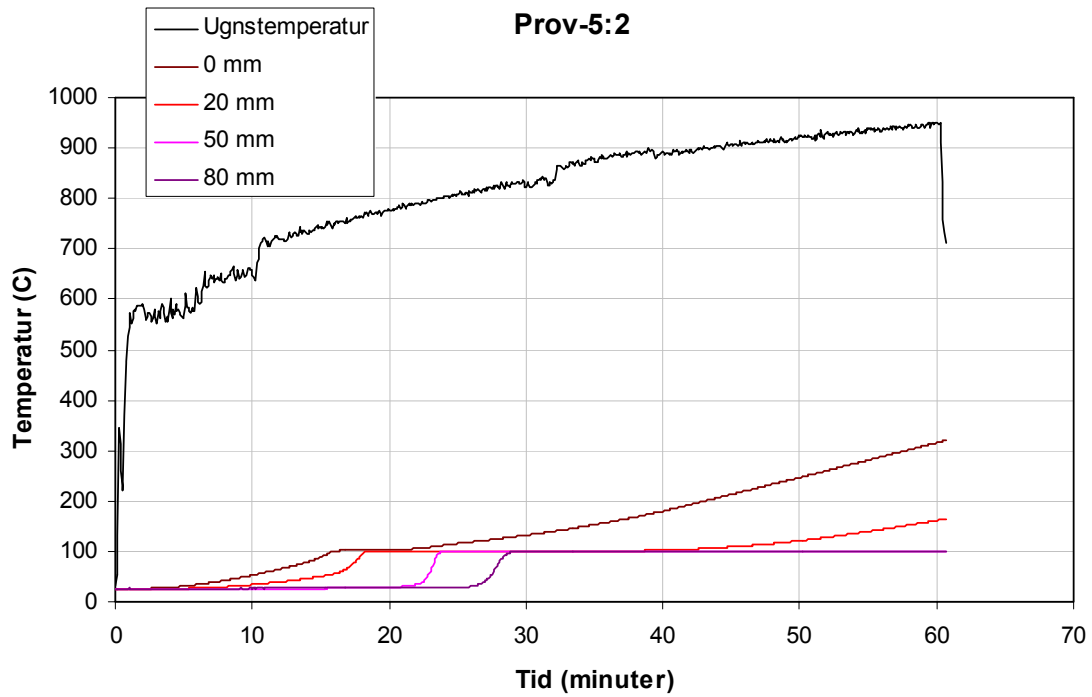
Figur 2-32 Temperaturer vid prov av provkropp Prov-4:1.



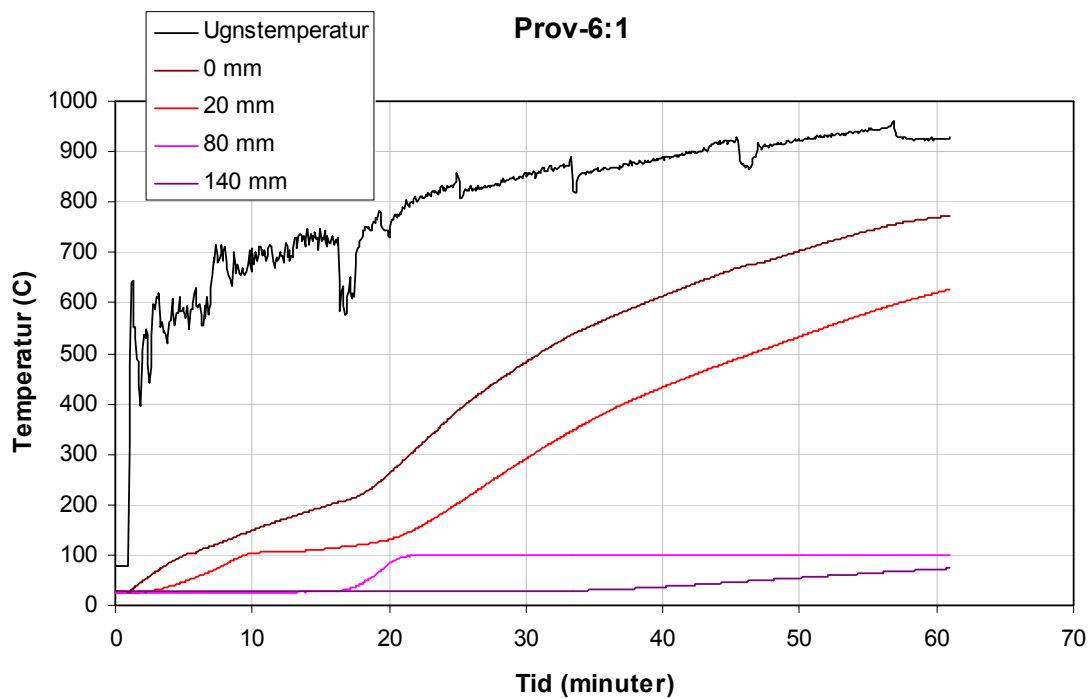
Figur 2-33 Temperaturer vid prov av provkropp Prov-4:2. Termoelement på djup 120 mm var ur funktion.



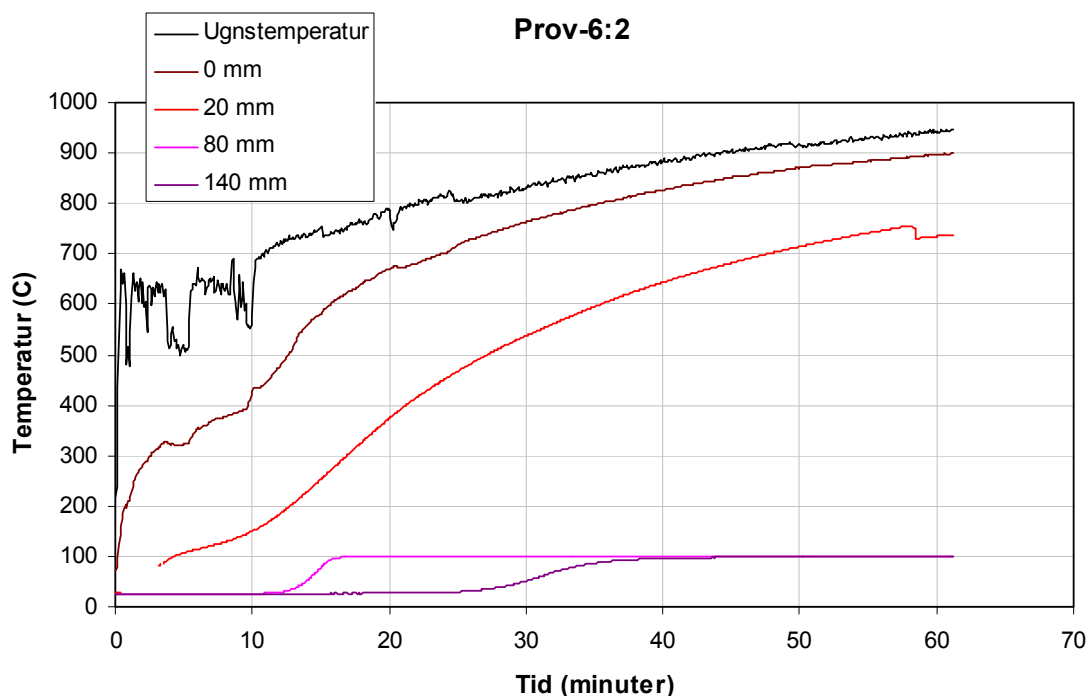
Figur 2-34 Temperaturer vid prov av provkropp Prov-5:1.



Figur 2-35 Temperaturer vid prov av provkropp Prov-5:2.



Figur 2-36 Temperaturer vid prov av provkropp Prov-6:1.



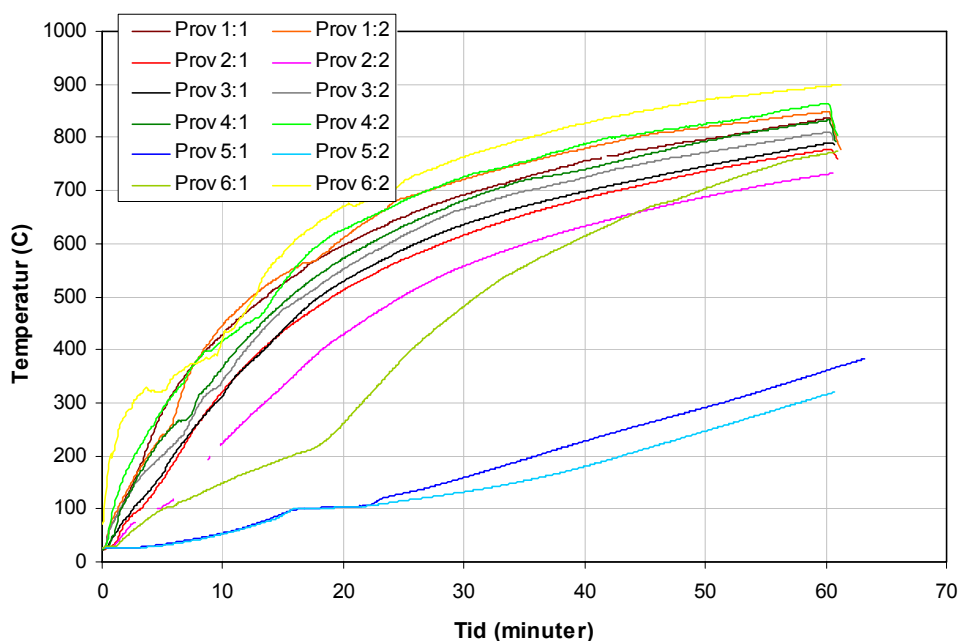
Figur 2-37 Temperaturer vid prov av provkropp Prov-6:2.

2.5 Sammanfattning och diskussion om brandtesterna

Sex olika typer av provkroppar, och två av varje typ, har brandprovats för att studera risken för explosiv spjälkning samt brandisolationsförmågan. Vid provningarna har standardbrandkurvan enligt ISO 834:1975 använts och provningarna har gjorts på en liten ugn enligt SP Brand 119, utgåva 3, daterad 2002-01-24.

Vid brandproven noterades att inget av provföremålen visade några tendenser till spjälkning. Efter provningarna var den brandpåverkade ytan något sprucken, men inget material hade skalats av.

Temperaturen mättes upp på olika djup vid brandprovningarna. Det är dock svårt att direkt tolka resultaten då djupen från den brandexponerade ytan är osäkra. Detta beror på att den fixpunkt som använts vid montering av termoelementen var tätskiktet. Därefter sprutades EPSCement och efter detta eventuellt även en sprutbetong. Tjockleken på de sprutade materialen varierade varför termoelementens placering är osäker. Detta framgår av figur 39 där temperaturen hos termoelementet placerat i ytan visas. Detta termoelement borde visa temperaturer strax under standardbrandkurvan. Vissa kurvor ligger mycket lågt vilket tyder på att termoelementen ligger djupt inne i materialet.



Figur 2-38 Temperatur vid ytan på alla provkroppar.

3 MEKANISKA EGENSKAPER HOS EPSCEMENT

Provföremål

10 stycken plattor av polystyrenbaserad sprutbetong. Plattornas dimensioner var 600x600x120 mm (6 st), 600x600x200 mm (2 st) och 600x800x120 mm (2 st). Plattorna var tillverkade 2005-06-13 och ankom för provning under vecka 26.

Provberedning och provningsmetod

Tryckhållfasthet har bestämts enligt SS 13 72 20 i tillämpliga delar. Tre stycken kuber med sidlängden ca 100 mm sågades ut från en platta därefter planslipades tryckytorna. Provkropparna märktes EPS 1-3 och förvarades i 20 ± 2 °C och 50 % RF fram till provning. Belastningshastigheten var 0,05 MPa/s.

Frostresistens har bestämts enligt SS 13 72 44, utgåva III, enligt förfarande IA vilket innebär att en sågad yta provas med 3 % - NaCl-lösning. Tre stycken provkroppar med sidlängden ca 150 mm och höjden ca 50 mm sågades ut från en platta och märktes till EPS 1-3.

Från en platta sågades tre stycken provbalkar ut med måtten ca 125x75x550mm (bxhxl). Efter utsågning märktes balkarna 1-3 och förvarades därefter i vatten fram till provning. Böjdragprovning genomfördes enligt Svenska Betongföreningens skrift, "Stålfiberbetong -Rekommendationer för konstruktion, utförande och provning" - Betongrapport nr 4. 1995. På grund av materialets sprödhet kunde inte seghetsindex respektive residualhållfasthet bestämmas. Vid provningen erhöles endast maximal belastning.

3.1 Tryckhållfasthet

Provningsdatum: 2005-07-1 1

Tabell 3-1 Resultat från tryckhållfasthetsprovning.

Märkning	Höjd (mm)	Area (mm x mm)	Vikt (kg)	Densitet* (kg/m ³)	Brottlast (kN)	Tryckhållfasthet (MPa)
EPS1	98,7	99,9 x 99,1	0,45	463	38,5	3,9
EPS2	99,0	99,7 x 99,2	0,45	463	36,5	3,7
EPS3	98,7	99,9 x 99,5	0,45	462	37,5	3,8
Medelvärde:				463		3,8
Stdav:						0,1

* Densitet på torra provkroppar.

3.2 Frostresistens

Provningsdatum: 2005-07-15 - 09-09

Tabell 3-2 Resultat från frostresistensprovning.

Provkropp Märkt	Avskalningar efter antal cykler, (kg/m ²)				
	7	14	28	42	56
EPS1	0,32	0,32	0,32	0,33	0,33
EPS2	0,24	0,25	0,25	0,25	0,26
EPS3	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29
Medelvärde:	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29

3.3 Böjdragprovning

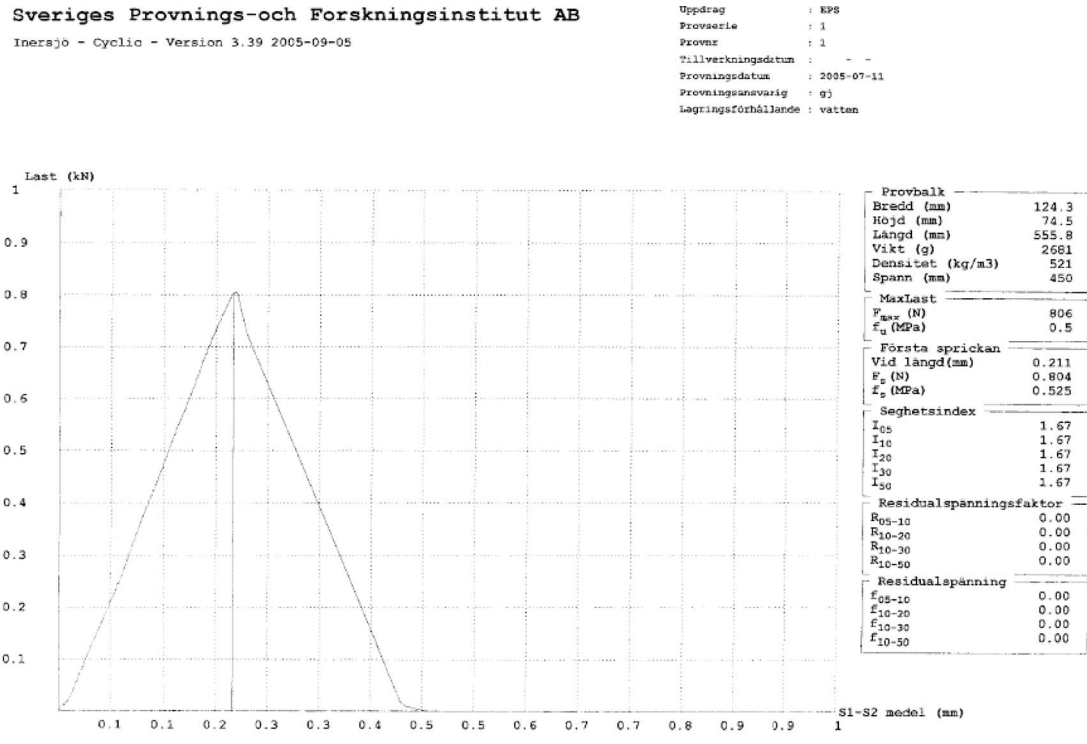
Provningsdatum: 2005-07-1 1

Tabell 3-3 Resultat från Böjdragprovningen.

Märkning	Dimension bxhxl (mm)	Vikt (kg)	Densitet* (kg/m ³)	Maximal belastning (kN)	Spänning vid maximal belastning (MPa)
EPS1	124,3x74,5x555,8	2,68	520	0,81	0,53
EPS2	124,5x74,3x552,1	2,68	525	0,75	0,49
EPS3	124,5x74,6x552,8	2,69	525	0,75	0,49
Medelvärde:					0,50
Stdav:					0,02

* Densitet på våta provkroppar.

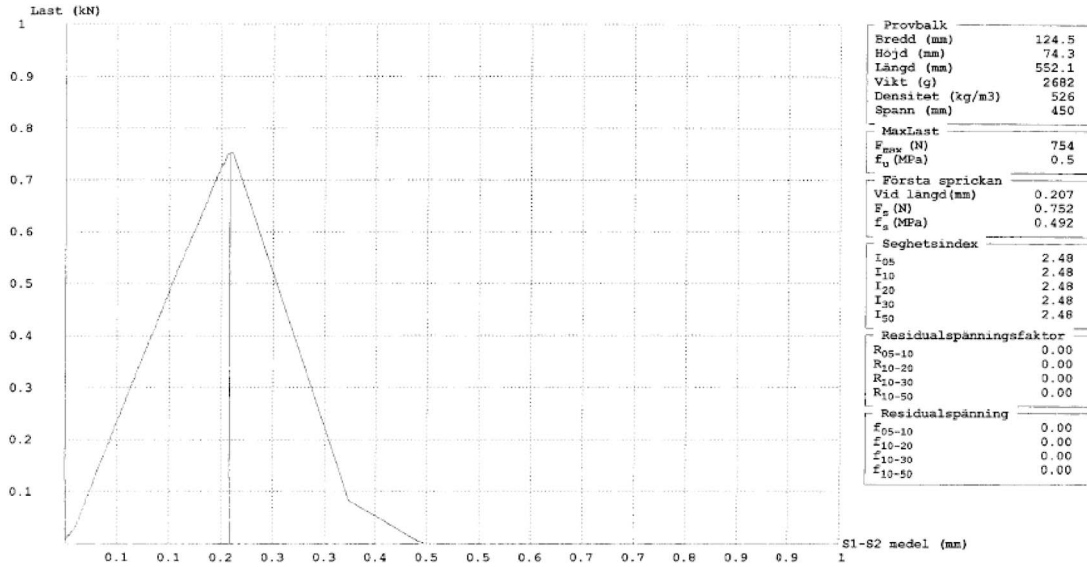
För att kunna bedöma om brottet är sprött eller segt redovisas lastmätningen från de tre böjdragproven i Figur 3-1, Figur 3-2 och Figur 3-3 samt typkurvor för olika brottyper i Figur 3-4.



Figur 3-1 Lastmätning för den första balken.

Sveriges Provnings-och Forskningsinstitut AB
Inersjö - Cyclic - Version 3.39 2005-09-05

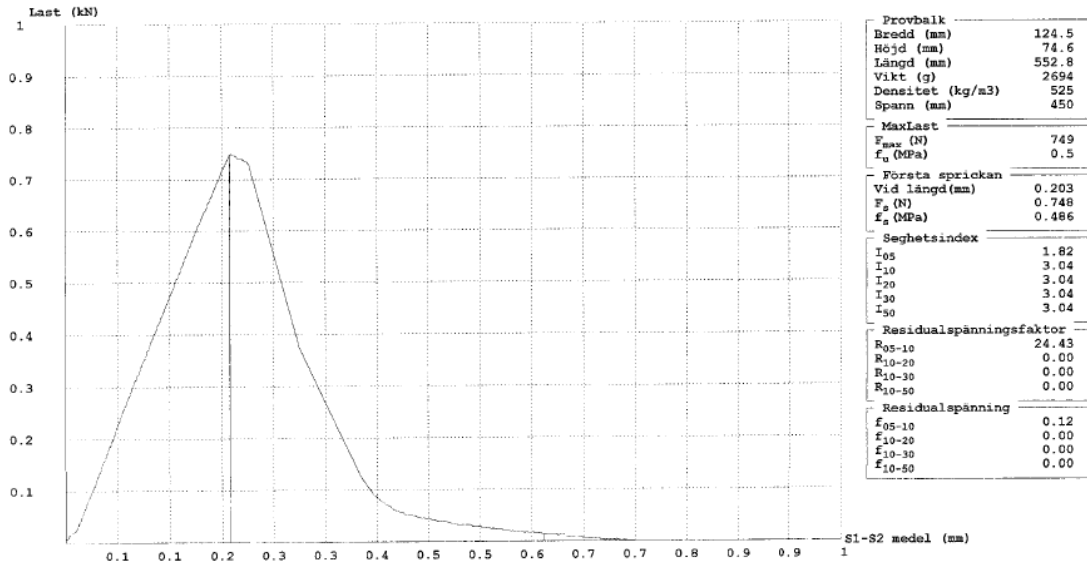
Uppdrag : EFS
Proverier : 1
Provr : 2
Tillverkningsdatum : - -
Provingsdatum : 2005-07-11
Provingsansvarig : GJ
Lagringsförhållande : vatten



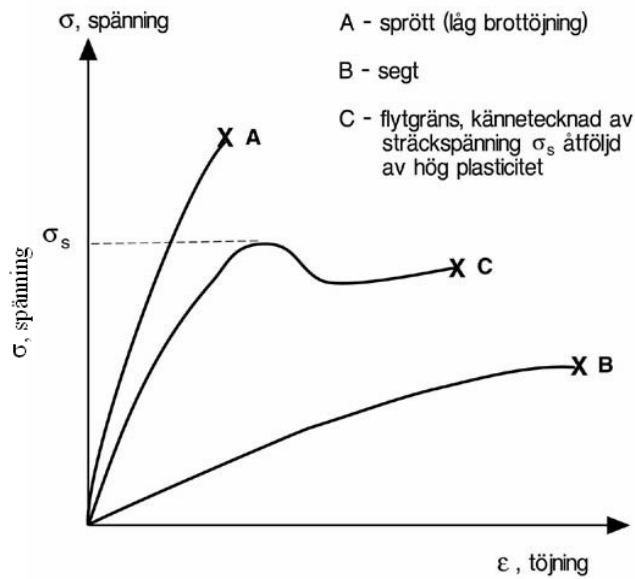
Figur 3-2 Lastmätning för den andra balken

Sveriges Provnings-och Forskningsinstitut AB
Inersjö - Cyclic - Version 3.39 2005-09-05

Uppdrag : EFS
Proverier : 1
Provr : 3
Tillverkningsdatum : - -
Provingsdatum : 2005-07-11
Provingsansvarig : GJ
Lagringsförhållande : vatten



Figur 3-3 Lastmätning för den tredje balken.



Figur 3-4 Spännings-töjningskurvor för spröda och duktila material
A – sprött material
B – segt material
C – material med flytgräns, kännetecknad av sträckspänning σ_s åtföljd av hög plasticitet

Baserat på de utförda lastmätningarna kan konstateras att brottet för provbalken av EPSCement är sprött.

3.4 E-modul

Genom lastmätning till dess att första spricka slår upp har E-modulen för den sprutade EPSCementen utvärderats till 1,4 GPa. Se vidare bilaga med lastmätning.

4 TERMISKA EGENSKAPER

Bestämning av termiska egenskaper (värmekonduktivitet och värmediffusivitet) med Transient Plane Source (TPS) vid rumstemperatur. Provföremålen var utvalda och insänt av uppdragsgivare till SP. Det ankom till SP 2005-06-21. Till provningen användes kuber med sidlängden 150 mm. Provföremålen förvarades i laboratoriet fram till provning. Temperaturen i laboratoriet var 20 ± 1 °C och den relativa fuktigheten var 60 ± 5 %. Transient Plane Source (TPS), 'Slab' modulen, används vid provningar. Tre mätningar utfördes på varje provföremål. Kapton sensor (4922) med 14.9 mm i radie har använts vid alla mätningar. Effekten var 5 W och mättiden var 10 sekunder för alla mätningar.

4.1 Resultat

Mättningsresultaten har presenterats i Tabell 4-1 och Tabell 4-2.

Tabell 4-1 Värmekonduktivitet, värmediffusivitet och beräknad volymetrisk värmekapacitet hos EPS Cement vid 20 °C.

Provkropp 1	λ (W/mK)	α (mm ² /s)	C (MJ/m ³ K)
Mätning 1	0,177	0,290	0,610
Mätning 2	0,177	0,295	0,601
Mätning 3	0,176	0,288	0,610
Medelvärde	0,177	0,291	0,607
Standardavvikelse	0,001	0,003	0,005
Variationskoef. (%)	0,4	1,2	0,8

Tabell 4-2 Värmekonduktivitet, värmediffusivitet och beräknad volymetrisk värmekapacitet hos EPS Cement vid 20 °C.

Provkropp 2	λ (W/mK)	α (mm ² /s)	C (MJ/m ³ K)
Mätning 1	0,180	0,277	0,650
Mätning 2	0,180	0,283	0,637
Mätning 3	0,181	0,288	0,631
Medelvärde	0,181	0,283	0,639
Standardavvikelse	0,001	0,005	0,010
Variationskoef. (%)	0,3	1,8	1,5

En högre omgivningstemperatur ger en högre uppmätt värmekonduktivitet (λ). Detta förklarar varför värmekonduktiviteten här är högre än den initialt angivna värmekonduktiviteten (0,08 W/mK). Omgivningstemperaturen vid dessa försök var +20°C vilket skall jämföras med omgivningstemperaturen för den initialt angivna värmekonduktiviteten som var mätt vid +10°C.

4.2 Sammanfattning termiska tester

Värmekonduktiviteten för den provade EPSCement vid 20 °C är 0,18 W/mK.

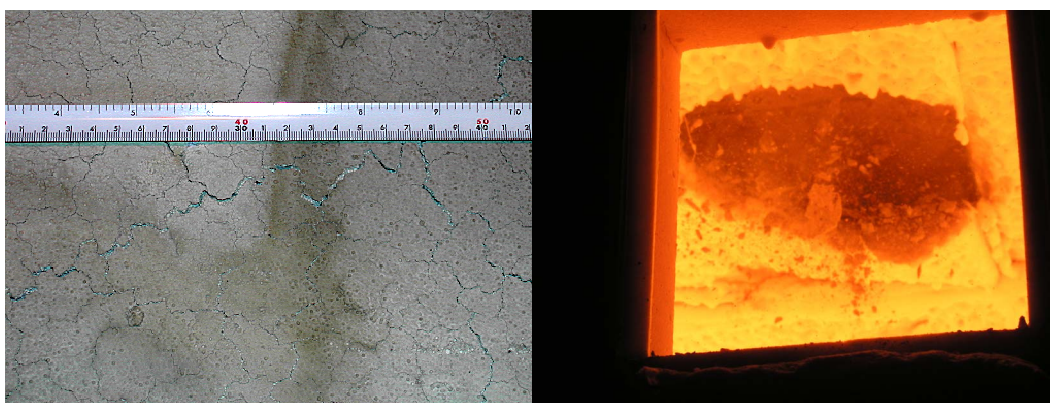
Värmediffusiviteten för den provade EPSCement vid 20 °C är 0,29 mm²/s.

Volymetrisk värmekapacitet för den provade EPSCement vid 20 °C är 0,62 MJ/m³K.

5 DISKUSSION

Syftet med etapp 1 var att på ett förenklat sätt prova om sprutad EPSCement kunde vara en lämplig komponent i ett system för brandtålig vatten- och frostsäkring för tunnlar.

Sex olika varianter på lösningsförslag med EPSCement provades. EPSCementens tjocklek varierades mellan 60 och 120 mm. Alla lösningsförslag uppfyllde kravet att inte spjälka efter 60 minuters brandbelastning med brandgastemperatur enligt standardbrandkurvan ISO 834:1975. I figuren nedan visas ett exempel på krackelerad yta och ett annat exempel på spjälkning av betong.



Figur 5-1 Till vänster visas provkropp 2-1 som krackelerar men inte spjälkar. Till höger visas från ett helt annat försök sprutbetong som lossnat och betong under sprutbetongen som spjälkar vid brandtest.

Uppmätt värmeledningsförmåga beror av omgivningstemperaturen under mätningen. I projektets startskede uppgavs värmekonduktiviteten (λ) till 0,08 W/mK, vilket då hade mätts vid +10 °C. Detta är sannolikt i överensstämmelse med de inom detta projekt uppmätta resultaten, där värmekonduktiviteten (λ) vid 20 °C uppmätts till 0,18 W/mK. För frostisolering borde det dock vara mer relevant att mäta vid en temperatur strax över fryspunkten, t ex + 5 °C, en sådan mätning skulle sannolikt ge ytterligare lägre värde på värmekonduktiviteten.

Provkroppar med en yta av EPSCement får efter brandbelastning en lätt krackelerad yta, detta är oberoende om 60 eller 120 mm EPSCement tjocklek använts. En krackelerad yta kan accepteras, så länge den inte faller ner.

Provkroppar av EPSCement som belagts med 20 mm sprutbetong innehållande 2 kg/m³ polypropylenfiber uppvisar vare sig krackelering eller spjälkning efter 60 minuters brandbelastning.

På 60 mm djup i EPSCementen är temperaturen efter 60 minuters brandbelastning oftast kring 100 °C. På 30 mm djup är temperaturen något högre, 200-300 °C. För de tjockare provkropparna med 120 mm EPSCement var temperaturen efter 60 minuters brandbelastning även den så låg som ca 100 °C. Att temperaturen ofta stannar vid ca 100 °C beror på att det finns vatten i konstruktionen som kondenserar. En längre provtid leder till uttorkning och att temperaturen stiger.

Då LLDPE membranet mjuknar vid ca 400 grader, är sannolikt de valda tjocklekarna ett tillräckligt skydd för att konstruktionen skall kunna klara av en brandsituation under minst en timme.

Initialt var uppfattningen att brott för EPSCement skulle uppträda som ett segt brott. Baserat på de utförda lastmätningarna kan konstateras att brott för provbalken av EPSCement sker som ett sprött brott.

6 REKOMMENDATION FÖR VIDARE ARBETE

För att den nya tekniken skall kunna användas i ett tunnelprojekt måste ett antal undersökningar utföras. Detta är några av dem:

1. Kravbilden måste utredas för att skapa underlag för det fortsatta arbetet.
2. En eller flera hypotetiska utformningar för olika kravbilder utvärderas.
3. Utvärdering av systemets brandmotstånd och mekaniska stabilitet.
4. Metod för överföring av krafter från EPSCement till bultar måste dimensioneras och provas.
5. Metodik för applicering måste utvärderas.
6. Egenskaperna hos den färdiga konstruktionen måste verifieras.

SveBeFo

Box 47047
SE-100 74 Stockholm

Telefon 08-692 22 80 • Fax 08-651 13 64
info@svebefo.se
Besöksadress: Mejerivägen 4

ISSN 1104 - 1773 • SVEBEFO-R--K23--SE

tbk.