

Brannforsøk med trekkekummer

En forsøksstudie med brannpåvirkning på trekkekummer

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 1121



Tittel

Brannforsøk med trekkekummer

Undertittel

En forsøksstudie med brannpåvirkning på trekkekummer

Forfatter

Jens William Bjerkelund, Norconsult
Dag Ivar Fjeldberg, Norconsult

Avdeling

Utbyggingsområde vest

Seksjon

Tunneloppgradering vest

Rapportnummer

1121

Godkjent av

Stig Magnus Berg-Thomassen, Ole Pedro
Myklebostad, Kenneth Lyngsgård,
Geir Olaf Nerlien

Emneord

tunnel, trekkekum, brannforsøk

Sammendrag

I forbindelse med oppgradering av et stort antall tunneler på riksvegnettet har Statens vegvesen ønsket økt kunnskap om hvordan ulike typer trekkekummer vil kunne påvirkes av brann i tunnelrommet, og om kummene innehar tilstrekkelig brannmotstand for å kunne ivareta brannbeskyttelse av kabelføringer. Det er gjennomført fire storskala branntester med totalt åtte testvariasjoner.

Title

Fire testing with underground pull boxes

Subtitle

An experimental study of fire effects on underground pull boxes

Author

Jens William Bjerkelund, Norconsult
Dag Ivar Fjeldberg, Norconsult

Department

Construction Area Western Norway

Section

Tunnel Upgrades Western Norway

Report number

1121

Approved by

Stig Magnus Berg-Thomassen, Ole Pedro
Myklebostad, Kenneth Lyngsgård,
Geir Olaf Nerlien

Key words

tunnel, underground pull box, fire tests

Summary

In connection with the upgrading of a large number of tunnels on the national road network, the Norwegian Public Roads Administration has sought increased knowledge about how different types of underground pull boxes will be affected by fire in the tunnel space, and whether the pull boxes have sufficient fire resistance to ensure fire protection of cable routing. Four large-scale fire tests have been conducted with a total of eight test variations.



BRANNFORSØK MED TREKKEKUMMER

En forsøksstudie med brannpåvirkning på trekkekummer

Oppdragsnr.: 52201101 Dokumentnr.: NO-Trekkekum-01 Revisjon: J01



Oppdragsgiver: Statens vegvesen
Oppdragsgivers kontaktperson: Stig Magnus Berg-Thomassen, Statens vegvesen
Rådgiver: Norconsult Norge AS
Oppdragsleder: Dag Ivar Fjeldberg, Norconsult
Fagansvarlig: Jens William Bjerkelund, Norconsult
Andre nøkkelpersoner: Per Forseth, Norconsult
Steinar Haugros, Norconsult
Are Wendelborg Brandt, Are Brandt Consulting

Revisjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent
J01	2026-03-12	For bruk	DagFje	JWB	DagFje

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

Sammendrag

I forbindelse med oppgradering av et stort antall tunneler på riksvegnettet har Statens vegvesen ønsket økt kunnskap om hvordan ulike typer trekkekummer vil kunne påvirkes av brann i tunnelrommet, og om kummene innehar tilstrekkelig brannmotstand for å kunne ivareta brannbeskyttelse av kabelføringer. Vegdirektoratet har også stilt spørsmåltegn om materialvalget ved ulike tunnelprosjekter.

Det er gjennomført et forprosjekt med tilhørende litteraturstudie, og fire storskala branntester, med totalt åtte testvariasjoner. Testene ble gjennomført med bruk av horisontal brannmotstandsovn hos RISE Fire Research i Trondheim. Testserien ble gjennomført med en branneksponeeringskurve som er i henhold til EN 1363-1:2020 for å fastslå brannmotstanden for forskjellige deler av konstruksjonen¹.

Et sentralt element i branntestene var å se hvilke temperaturer som oppnås nede i trekkekummen, og i hvilken grad løsningene vil tåle forventet varmpåkjønning. Vurderingskriteriet var temperaturgrensene gitt for aktuelle kabelklasser.

Det er valgt en brannpåkjenning i tråd med standard tid-temperatur-kurve ISO-834. Testene har hatt en varighet på 105 minutter. Dette er valgt på grunnlag av føringer i tunnelsikkerhetsforskriften og Vegnormal N500:2024, som begge relaterer seg til nødvendig oppetid for elektroinstallasjoner i fasene tilknyttet evakuering av trafikanter og innsats fra nødetatene. Her er det vurdert til 1 time evakueringstid og 45 minutter tillegg for utrykningstid², som kan anses som et konservativt utgangspunkt.

Ikke-funksjonssikre kabler er godkjent for temperaturer opptil 70 °C. Et viktig observasjonspunkt i testene har derfor vært å se om det finnes løsninger hvor denne temperaturen ikke overstiges innen 105 minutter. Disse temperatur- og tidsparametrene er derfor utgangspunktet for definert testkriterier.

For å skape et realistisk test-oppsett var trekkekummene isolert på alle sider, bortsett fra selve lokket. Sidearealene var isolert med fiberisolasjon (fire master) og lettbetong (siporex). For observasjon og logging av temperatutvikling i kummen, var det etablert over 23 stk. målepunkter. Det var også plassert to platetermoelementer over hvert av kumløkkene for å måle ovnstemperatur.

Det er gjennomført tester med plastkummer (HDPE) og kummer i betong. Resultatene viste at HDPE-kummen kom dårligst ut, både med støpejernslokk og plastlokk. Disse kummene var fullstendig nedsmeltet og kablene var totalskadet. Betongkummene med støpejernslokk besto testkriteriet når ekstra tiltak ble etablert.

Testene viste at standard steinullisolasjon har god effekt som varmeisolering. Testene viste også at standard trekkekum i betong klarer å holde temperaturene under 70 °C i 105 minutter (testkriteriet) med følgende etablerte tiltak.

- Det benyttes standard lokk i støpejern.
- Det plasseres 10 cm steinullisolasjon over kablene i kummen. Isolasjonen må ligge tett mot alle veggene i kummen.
- Det etableres standard påstøp av betong (min 5 cm) eller asfalt (min 6 cm) oppå kumringen.

¹ Det er kun eksponeringskurven som er i henhold til EN 1363-1. Testutførelse, instrumentering og utforming av prøvestykkene er avtalt med styringsgruppa hos Statens vegvesen.

² Brann og redningsvesenforskriften definerer utrykningstid: «tiden det tar fra nødmeldesentralen har utalarmert innsatsstyrken til første innsatsstyrke er på hendelsesstedet»

BRANNFORSØK MED TREKKEKUMMER

En forsøksstudie med brannpåvirkning på trekkekummer

Oppdragsnr.: 52201101 Dokumentnr.: NO-Trekkekum-01 Revisjon: J01



Det bør vurderes en kumdesign som muliggjør at isolasjonen kan plasseres tett mot kumveggen. For eksempel at kummen innehar en knekk eller hylle som isolasjonen ligger mot.

Prosjektet har vært organisert med en styringsgruppe med representanter fra Statens vegvesen og Vegdirektoratet. RISE Fire Research har stått for gjennomføring av testene og utarbeidet testrapport [1] som presenterer informasjon om testoppsett og objektive resultater. Norconsult har fungert som prosjektkoordinator og utarbeidet denne oppsummerende rapporten med vurderinger. Are Brandt Consulting har bistått med veiledning og faglige innspill.

Innhold

1	Bakgrunn	1
2	Organisering av prosjektet	3
3	Målsetning og omfang	4
3.1	Målsetning med prosjektet	4
3.2	Begrensninger	4
3.3	Forutsetninger	4
4	Elektroinstallasjoner i tunneler	5
4.1	Trekkekumløsninger	5
5	Vurderinger i forprosjektfasen	6
5.1	Elementer som skal svares ut i prosjektet	6
5.2	Inndata og variabler i test-gjennomføringen	6
5.3	Valg av tid-temperatur-kurve	6
5.3.1	Føringer fra Vegnormal N500:2024	7
5.3.2	Erfaring fra brannforsøk i Runehamartunnelen	8
5.4	Varighet på test-gjennomføringen	9
5.5	Oppbygning av test-riggen og instrumentering.	9
5.6	Valg av test-produkter	12
5.7	Observasjoner fra testene	13
5.7.1	Test nr. 1	15
5.7.2	Test nr. 2	18
5.7.3	Test nr. 3	22
5.7.4	Test nr. 4	26
6	Oppsummering fra testene	32
6.1	Observasjoner	32
6.2	Tiltak for å etablere sikker løsning for ikke funksjonssikre kabler	32
6.3	Løsninger som frarådes ved bruk av ikke funksjonssikre kabler	33
7	Referanser	34
	Vedlegg 1 Testrapport av RISE Fire Research	I
	Vedlegg 2 Litteraturstudie av RISE Fire Research	II

1 Bakgrunn

Et stort antall tunneler, både på europa-, riks- og fylkesvegnettet, skal oppgraderes for imøtekommelse av Tunnelsikkerhetsforskriften³.

I arbeidet med rehabilitering og etablering av nye sikkerhetsinstallasjoner vil det ofte være nødvendig å oppgradere tilhørende elektroinstallasjoner. Eksempelvis kraftforsyning, fiber og telekommunikasjon, samt signal- og styringskabler.

For å trekke kablene gjennom tunneløpet benyttes trekkekummer. Disse forenkler også arbeidet med inspeksjon og vedlikehold, samt bedrer mulighetene for fremtidige elektroinstallasjoner.

Erfaring fra oppgraderingsprosjektene viser at det er noe variasjoner i materialvalg og utforming av trekkekummene. Vegdirektoratet har reist spørsmål ved valg av noen løsninger som benyttes i enkelte tunnelprosjekter. Det er stilt spørsmål om kablene i trekkekummen kan ta uakseptabel skade ved brann i tunnelrommet, og spesielt kummer og lokk som består av plastmateriale.

Tunnelsikkerhetsforskriften (TSF) angir ikke føringer tilknyttet utforming, ytelses- eller funksjonskrav på trekkekummene, eller for andre elektroinstallasjoner. TSF gir kun overordnede føringer. Tilknyttet punkt 2.17 *Strømforsyning og strømkrets*, står det følgende i punkt 2.17.1 og 2.17.2.: «Alle tunneler skal ha nødstrømforsyning som kan sikre drift av sikkerhetsutstyr som er uunnværlig for evakuering inntil alle trafikanter er evakuert fra tunnelen.» og «Strøm-, måle- og kontrollkretser skal være konstruert på en slik måte at lokal svikt, for eksempel på grunn av brann, ikke påvirker uberørte kretser.» I punkt 2.18 *Utstyrets brannmotstand* står det: «Brannmotstandsnivået i alt tunnelutstyr skal ta hensyn til de teknologiske mulighetene og ta sikte på å opprettholde de nødvendige sikkerhetsfunksjonene i tilfelle brann.» TSF pkt. 2.8.2 sier: «Det skal finnes sikkerhetsbelysning som sikrer en minimumssikt for trafikanter i tunnelen slik at de kan evakuere tunnelen i kjøretøyene sine i tilfelle av strømbrydd.»

Vegdirektoratet gir i skriv *Bruken av vegnormaler ved tunneloppgradering (TOG)*⁴ føringer om at oppgraderingsprosjektene skal tilstrebe imøtekommelse av vegnormalene, men at dette ikke er å anse som et absolutt krav. Vegdirektoratet anbefaler allikevel å legge de nyeste vegnormalene til grunn ved tunneloppgradering for oppfyllelse av minstekravene i TSF. I vegnormalene N500, N601 og NEK600, oppgis det heller ingen konkrete krav til utforming eller materialvalg av trekkekummer. N601 sier «Føringsveger for elektrisk infrastruktur skal planlegges og utføres på en slik måte at det sikrer drift også under uønskede hendelser i anleggene.» og NEK600 henviser til overnevnte standarder. I Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg (FEL) er det heller ingen konkrete krav til trekkekummer, og det henvises også her til overnevnte standarder. Vegnormalen N200 gir flere føringer for trekkekummer, både for utførelse og materialvalg, men ikke tilknyttet brannmotstand. Generelt stilles det krav til bruk av NS-standarder for både kummer av betong og plast. Samtidig åpner vegnormalen for at spesiallagde trekkekummer kan benyttes. Relevante utdrag for vegnormaler og standarder finnes som vedlegg til denne rapporten.

For imøtekommelse av overnevnte krav i TSF (pkt. 2.17) kan valg av løsninger gjøres på grunnlag av selvstendige risikovurderinger og tilpasninger for hvert enkelt prosjekt.

³ Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler (tunnelsikkerhetsforskriften) og Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse tunneler på fylkesvegnettet og kommunalt vegnett i Oslo (tunnelsikkerhetsforskrift for fylkesveg m.m.).

⁴ Bruken av vegnormaler ved tunneloppgradering (TOG), Vegvesen.no, [lenke](#)

BRANNFORSØK MED TREKKEKUMMER

En forsøksstudie med brannpåvirkning på trekkekummer

Oppdragsnr.: 52201101 Dokumentnr.: NO-Trekkekum-01 Revisjon: J01

Erfaring fra oppgraderingsprosjektene viser at det er variasjoner i hvordan kraft- og signalkabler er plassert. Valg av hensiktsmessig løsning for imøtekommelse av forskriftskrav vil derfor kunne variere mellom ulike tunnelprosjekter.

Mange av kablene i tunnelen er tilknyttet sikkerhetsinstallasjoner. Det er derfor viktig at nødvendig funksjonalitet opprettholdes i aktuelle tunnelseksjoner i den tiden hvor selvberging og nødetatenes innsats er nødvendig. I dag benyttes det derfor gjerne funksjonssikre kabler, som skal overholde NEK600:2025 11.3.3 (tidligere kalt kabelklasse 3) til en rekke installasjoner, for å sikre funksjonalitet i et branntilfelle. Kostnaden på slike kabler er imidlertid høy. Dette testprosjektet vil få vurdert om trekkekummene er et svakt punkt i en brannsituasjon eller om kablene kan sies å være brannsikkert forlagt. Eventuelt om det er noen tiltak som kan iverksettes for å sikre kablene dersom kummene er svake punkt.

Statens vegvesen ønsker derfor å få utvidet kunnskap om sårbarheten til enkelte løsninger, som et grunnlag for valg av fremtidige løsninger i ulike prosjekter, både nye tunneler og oppgradering av eksisterende tunneler.

2 Organisering av prosjektet

Prosjektet har vært organisert med en styringsgruppe bestående av representanter fra Statens vegvesen og Vegdirektoratet.

Styringsgruppen besto av:

- Stig Magnus Berg-Thomassen, prosjektsjef, utbyggingsdivisjonen, Statens vegvesen
- Ole Pedro Myklebostad, sjefingeniør, drift- og vedlikeholdsdivisjonen, teknologiavdelingen, Statens Vegvesen
- Kenneth Lyngsgård, senioringeniør, praktisk tunnelforvalter drift vest 1, drift- og vedlikehold, Statens vegvesen
- Geir-Olaf Nerlien, sjefingeniør, fagansvarlig elektro etat, Statens vegvesen
- Bjørn Arild Fossåen, sjefingeniør, fagspesialist tunnel, konstruksjonsteknikk, Vegdirektoratet

Det var ønskelig å benytte en uhildet og anerkjent aktør i forskningsmiljøet, og valget falt på RISE Fire Research (RISE) i Trondheim.

RISE i Trondheim ble engasjert av Norconsult for gjennomføring av litteraturstudie og praktiske storskala-forsøk. RISE har også utarbeidet testrapport tilknyttet testene.

Norconsult har fungert som prosjektkoordinator gjennom de ulike prosjektfasene og utarbeidet oppsummerende rapport (dette dokumentet).

Are Brandt Consulting (ABC) har vært en underleverandør til Norconsult, og fungert som rådgiver gjennom de ulike fasene. Are W. Brandt har mange års relevant erfaring fra storskala brannforsøk.

Det er avholdt jevnlig koordineringsmøter med styringsgruppen både i forprosjektfasen og i test-gjennomføringen.

3 Målsetning og omfang

3.1 Målsetning med prosjektet

Målsetningen med prosjektet er å få økt kunnskap om hvordan utvalgte trekkekummer påvirkes av brann i tunnelrommet. Det er ønskelig å observere hvilke temperaturer som oppnås nede i kummene og om trekkekummer vil tåle forventet varmepåkjennning, uten at kablene tar skade. Aktuelle kabler må kunne opprettholde sin funksjonalitet i nødvendig tidsperiode. Et omdiskutert tema har også vært om trekkekummenes robusthet ved varmepåvirkning kan påvirke krav til funksjonssikkerhet til kablene.

I kapittel 5 – *Vurderinger i forprosjektfasen* presenteres det mer inngående hvilke problemstillinger som skal svares ut.

3.2 Begrensninger

Prosjektet har følgende begrensninger:

- Prosjektet omhandler ikke branner som oppstår i selve kablene, nede i trekkekummen.
- Prosjekt har ikke til hensikt å teste brannmotstand på ulike kabeltyper.
- Prosjektet har ikke som målsetning å formalisere akseptkriterier.
- Prosjektet har ikke til hensikt å formalisere krav til ulike typer trekkekummer.

Produsenter må selv ta initiativ til gjennomføring av ytterligere tester, dersom andre løsninger skal vurderes. Det kan finnes egnede løsninger som ikke er testet i dette prosjektet.

3.3 Forutsetninger

Tunneleier aksepterer skader på tunnelkonstruksjon og installasjoner så lenge det ikke påvirker trafikantenes muligheter for selvberging og nødetatenes innsats i tunnelen.

Det forventes i tillegg at:

- Kablene i trekkekummen opprettholder sin funksjonalitet i tråd med vegnormal N500:2024. Dette betyr at kablene opprettholder sin funksjonalitet med en varighet på minimum 1 time pluss brannvesenets utrykningstid.⁵
- At trekkekummen og lokk ikke har tatt skade som påvirker kablene i kummen negativt.
- Temperaturen i kummen er ikke høyere enn tålegrensen for kablene. I prosjektet settes høyeste tålegrense til 70 °C, som er tålegrensen for ikke-funksjonssikre kabler, ECA-kabler (tidligere kalt kabelklasse 1 og 2). ECA-kabler er minimumskrav i NEK600.

⁵ Kablene skal opprettholde sin funksjonalitet med en varighet på minimum 1 time pluss brannvesenets utrykningstid. Krav 5.3.2-2/ N500:2024.

4 Elektroinstallasjoner i tunneler

En tunnel har flere elektriske komponenter med forskjellige krav til strømforsyning. Disse kan deles inn i høyspent, normalkraft og nødstrøm, med tilhørende ekomnett (fiber/kommunikasjonsnett for styring og overvåking). Høyspent forsyner de tekniske byggene.

Normalkraft forsyner installasjoner som ikke er en del av sikkerhetssystemet. Nødstrøm forsyner viktige sikkerhetsinstallasjoner i tunnelen, slik som nødbelysning, ledesystem og nødnett. Krav til hvilket utstyr som skal forsynes med nødstrøm er beskrevet i vegnormal N500.

Nødstrømsforsyningen i en tunnel skal vare i 1 time + utrykningstid. Dette løses med en sentral UPS som forsyner hovedfordeling nødstrøm og utstyr nedstrøms for denne. UPS og hovednødstrømstavle er plassert i tekniske bygg i dagsone eller i tunnel. Ved teknisk bygg i tunnel er disse ofte plassert i egne bergrom, men det forekommer også at tekniske bygg er plassert i tunnelrommet. Både bergrom og rom i tekniske bygg skal i utgangspunktet være egen branncelle. Vanligvis benyttes funksjonssikker kabling for all nødstrøm, uavhengig av forlegningsmetode.

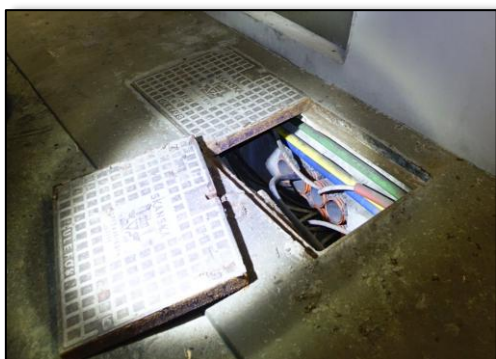
Ekomnettet for overføring av signaler for styring og overvåking mellom nødstasjoner, tekniske bygg, nødstyreskap og VTS er viktige for å kunne opprettholde styringen. Ekomnett utføres vanligvis som fibernett. I nye anlegg skal disse utføres som redundante adskilte nett. «Gamle» eksisterende anlegg er imidlertid ofte ikke utført eller tilrettelagt som redundante adskilte fibernett. Fiber har i den senere tid kommet i funksjonssikker utførelse, men innehar større kostnader og er derfor ofte ikke ønskelig å benytte. Her skal det nevnes at skjøtebokser for fiber ikke finnes i funksjonssikker løsning, pr. 2025, som gjør at det i praksis derfor ikke er bygget fullverdige funksjonssikre fibernett i eksisterende tunnelanlegg.

4.1 Trekkekumløsninger

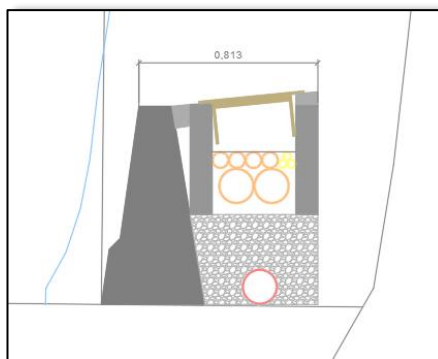
I tunneler etableres trekkekummer som oftest som en del av banketten eller bak en ca. 0,9 meter høy føringskant. Trekkekummer med lokk leveres i forskjellige materialer og størrelser.

- Standard TK2-kum. Betongkum med lokk i støpejern
- Plastkum med plastlokk eller støpejernlokk (Helgeland sør)
- Stålkum med stållokk (Nordøyvegen)

I eksisterende tunneler er det ikke uvanlig at det foreligger svært forskjellige typer løsninger.



Figur 1 Bildet er fra trekkekum i bankett.
Foto: Steinar Haugros, Norconsult



Figur 2 Typisk løsning av trekkeum bak føringskant. Figur utarbeidet av Norconsult.

5 Vurderinger i forprosjektfasen

Hele prosjektgruppa har hatt aktiv deltagelse i alle fasene av prosjektgjennomføringen. Dette kapittelet oppsummerer hovedelementene fra arbeidet med forprosjektet.

Det var tidlig vurdert som hensiktsmessig å gjennomføre litteratursøk og praktisk storskala brannforsøk med test av ulike trekkekummer. I kapitlene nedenfor presenteres de viktigste elementene fra forprosjektfasen.

5.1 Elementer som skal svares ut i prosjektet

- A. Hvilken varmepåkjønning kan forventes på en trekkekum ved brann i tunnelrommet?
- B. Har valg av materiale og utformingen av trekkekum og lokk betydning for kablens funksjonalitet?
- C. Om kummen opprettholder sin funksjonalitet/integritet uten å ta skade som påvirker kablene, for eksempel gjennom avskalling.
- D. Finnes det materialer som bør benyttes med varsomhet?
- E. Finnes det måter å isolere trekkekummen på, som gjør at temperaturer i kummen kan anses som ivaretatt?
- F. Vil påstøp med asfalt eller betong mellom trekkekum og lokk ha betydning for isoleringsevnen til trekkekummen?
- G. Hvilke trekkekummer vil være gode nok?

5.2 Inndata og variabler i test-gjennomføringen

Følgende elementer er vurdert som nødvendig å avklare før igangsettelse av testene.

- Valg av tid/temperatur-kurve.
- Varighet på test-gjennomføringen.
- Valg trekkekumløsninger. Dvs. type trekkekummer, lokk og kabler.
- Temperaturmålepunkter og type sensorer.
- Tilpasning av trekkekummen før testene.

5.3 Valg av tid-temperatur-kurve

I dette kapittelet argumenteres det for valg av tid-temperatur-kurve. Det er gjennomført en litteraturstudie av RISE Fire Research [2] og det er gjort en gjennomgang av resultater fra storskala brannforsøk i Runehamartunnelen. Den mest relevante storskalatesten er fra 2011, og erfaringer fra denne testen benyttes videre i dette prosjektet.

RISE har i sitt notat A Literature study on time-temperature development in tunnel fires [2] vurdert tilgjengelig forskningsdata og litteratur. RISE skriver at det finnes relativt lite dokumentert kunnskap tilknyttet temperaturer ved bakkenivå i vegtunnel. Storskalatester i Runehamartunnelen viser at temperaturutviklingen oppunder tunneltaket er raskere og større enn ISO 834, og temperaturen her er bedre modellert med HC- eller RWS- kurve. Ved bakkenivå kan det imidlertid forventes en lavere temperaturutvikling enn oppunder taket. Notatet til RISE Fire Research finnes som vedlegg.

I tillegg presenterer vegnormal N500:2024 retningslinjer tilknyttet valg av brannkurver ved prosjektering av tunnelinstallasjoner.

5.3.1 Føringer fra Vegnormal N500:2024

Det er nødvendig å fastsette hvilken brannkurve som skal benyttes i testingen. Med brannkurve menes temperatur-tid-kurve, altså temperaturutvikling over tid.

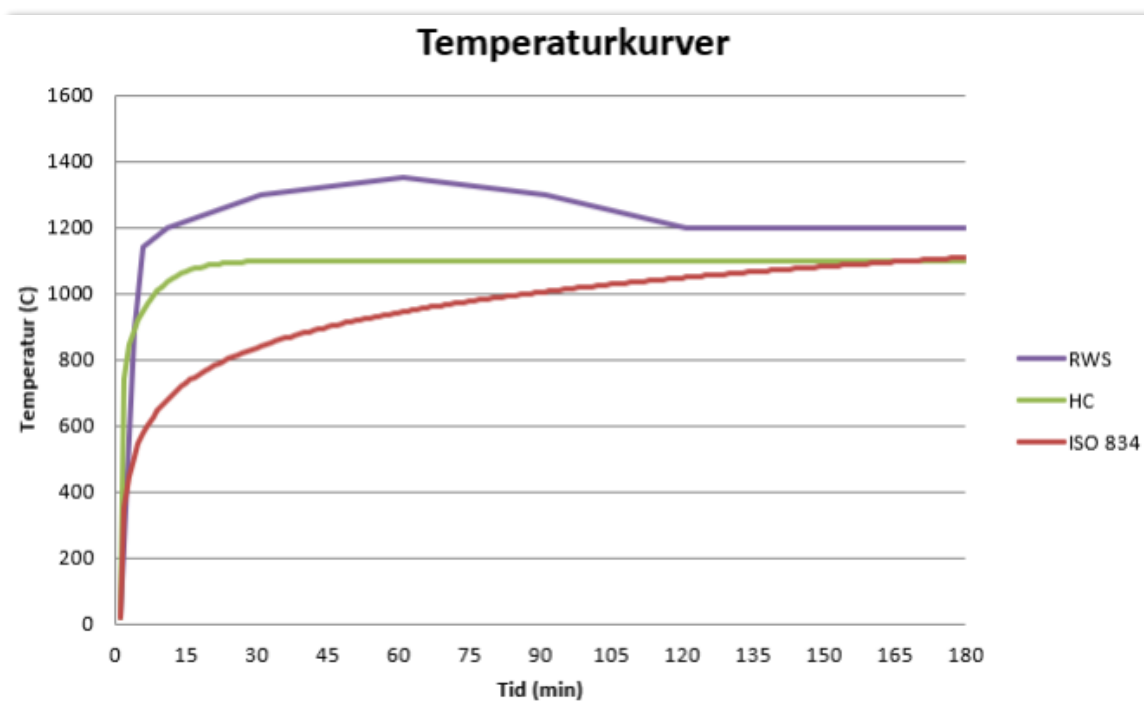
Vegnormal N500:2024 oppgir ikke eksplisitt hvilken brannkurve utrustningen skal testes etter, slik det er gjort for tunnelkonstruksjoner. Men ut fra kravene til teknisk utrustning, hvor det henvises til teknisk forskrift med veiledning, ligger det imidlertid implisitt hvilken brannkurve testingen bør utføres etter.

I N500:2024, kapittel 10.2-2, står det at tekniske bygg i tunneler skal bygges slik at brann sikkerheten for aktuelt utstyr ivaretas, og minimum i henhold til byggteknisk forskrift. I byggteknisk forskrift er alle krav knyttet opp imot løsninger testet etter ISO-834 temperatur kurve. Tekniske bygg som ligger direkte mot tunnelrommet vil derfor normalt ha en brannklassifisering etter temperaturkurve ISO-834. I N500:2024, kapittel 10.2-5, vises det også til byggteknisk forskrift for brannkrav til dører til tekniske rom, som har et EI60-krav.

I N500:2024, kapittel 5.3.9 Utstyr for nødutganger, vises det til veiledningen til teknisk forskrift (VTEK). Det angis at skilleveggene mellom tunnelrommet og hhv. rømningsvei eller tverrpassasje skal ha EI-brannklassifisering, hhv. EI60 for tverrpassasjer og REI-M 120 for nødutgang.

For tunnelkonstruksjon og -kledninger gjelder egne krav. Dette er angitt i kapittel 5.4 i N500:2024. Her stilles det krav til dimensjonering etter HC-kurven, ref. figur 5.4.1-1 i vegnormalen. Alternativt RWS-kurve, når det er fare for tap av konstruksjon, ref. N400:2023. Det er altså høyere krav til tunnelkonstruksjon, enn til tekniske bygg og rømningsveger.

I arbeidet med testing av trekkekummer, vurderes det derfor som hensiktsmessig å legge temperaturkurve ISO-834 til grunn. I figuren under vises temperaturkurvene RWS, HC og ISO-834.



Figur 3 Temperaturkurver relevant i dagens regelverk (N500).

5.3.2 Erfaring fra brannforsøk i Runehamartunnelen

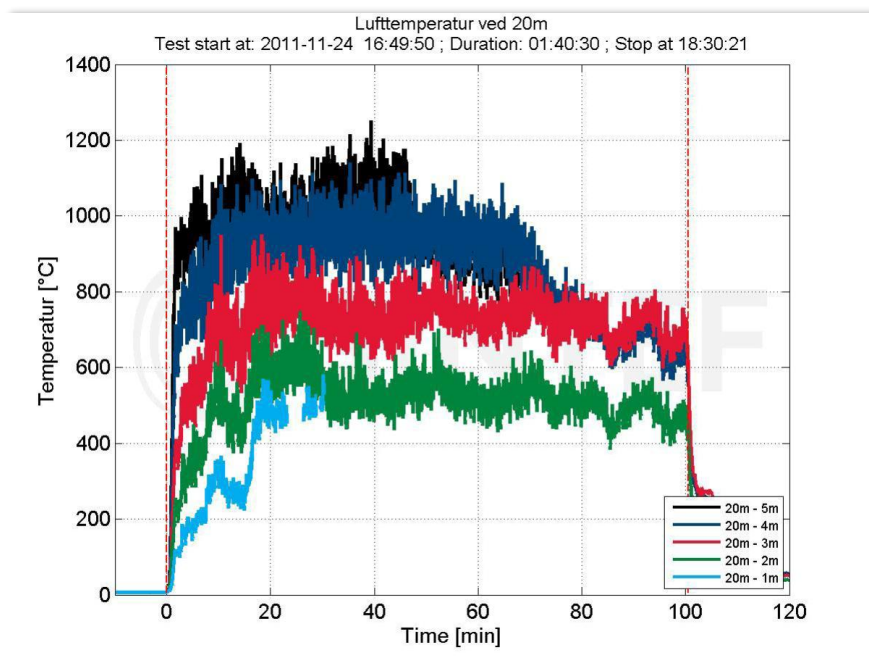
Det er gjort en ytterligere gjennomgang av testresultatene fra tidligere gjennomførte brannforsøk i Runehamartunnelen [3]. Dette er gjort for å ha en desto sterke forståelse og grunnlag for valg av dimensjonerende tid-temperatur-kurve i branntestene med trekkekummene.

Fra fullskala-tester gjennomført for Statens Vegvesen [3] i 2011 ble det gjort målinger på to thermorack plassert henholdsvis 20 meter og 50 meter nedstrøms for brannen. Det øverste termoelementet på begge thermorackene var plassert 5 meter over vegbanen (1 meter under himlingen), og det nederste termoelementet var plassert 1 meter over vegbanen.

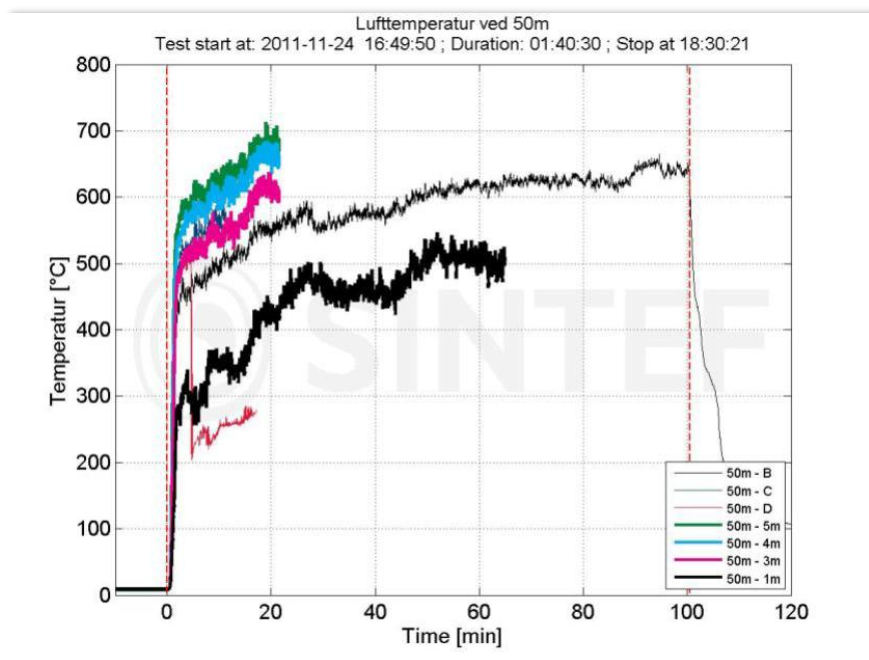
Etter at brannen var stabilisert ble det på thermoracket 20 meter nedstrøms målt ca. 1200 °C på det øverste termoelementet og ca. 550 °C på termoelementet på det nederste. Se figur 2 nedenfor. Dette gir en redusert temperatur vertikalt i profilet på 650 °C, noe som utgjør en forskjell på 54 %. De samme tallene for thermoracket 50 meter nedstrøms gir en forskjell på 45%. Se figur 3 nedenfor.

Hvis man bruker dette som grunnlag for å vurdere i hvilken grad ISO-834 kan representere tid-temperaturkurven for bakkeplan/nederste del av profilet, så har RWS tid-temperaturkurven en makstemperatur på ca. 1350 °C. Dette gir en temperatur, 1 meter over bakkenivå, på mellom 620 - 740 °C. Dette er betydelig lavere enn ISO-834, som kommer opp i ca. 1100 °C (etter 200 min).

Med bakgrunn i disse målingene fra fullskalatesten i Runehamar test-tunnel, så vil det være et konservativt utgangspunkt å gjennomføre testene for trekkekummene med en ISO-834 tid-temperatur-kurve.



Figur 4 Thermorack 20 m nedstrøms for brannen. Hentet fra Sintef rapport: NBL F11125



Figur 5 Thermorack 50 m nedstrøms for brannen. Hentet fra Sintef rapport: NBL F11125

5.4 Varighet på test-gjennomføringen

Vegnormal N500:2024, kapittel 5.3.2-2, sier at nødstrømssystemer som minimum skal fungere 1 time pluss utrykningstid⁶. Utstyr som eksempelvis skal være tilkoblet nødstrøm er overvåkningssystemer, stopp- og kjørefeltssignaler, fjernstyrte bomber og automatisk hendelsesdeteksjon.

Erfaring fra prosjekter viser at første ressurs fra brannvesenet svært sjeldent har kjøretid over 25-30 minutter. I tillegg må man medregne en forspenningstid på 5-6 minutter. Noe lengre forspenningstid kan også forventes fra frivillige brannvesen uten vaktordning, eventuelt uten roterende vakt. For å ivareta et konservativt utgangspunkt er det derfor valgt å ta utgangspunkt i en utrykningstid på 45 minutter. Dette gir en tid for testgjennomføring på 105 minutter, med utgangspunkt i ISO-834.

Det er vurdert som lite ønskelig å forlenge testene i særlig grad utover 105 minutter. En gjennomføringstid utover dette vil kunne medføre uheldige store skader på test-materiellet, og gjøre det vanskelig å evaluere skader på kum, lokk og kabler.

Merk at det i tunnelprosjekter hvor nødetatene har samlet forspenning- og kjøretid over 45 minutter, vil ikke testresultatene kunne benyttes, og det vil være behov for særskilte vurderinger i hvert enkelt tilfelle.

5.5 Oppbygning av test-riggen og instrumentering.

Brannmotstandsovn hos RISE Fire Research gir mulighet for å generere ønsket tid-temperaturkurve. Det er også mulig å kjøre test med to trekkekummer samtidig. Ovnen produserer varme gjennom en forblandet miks

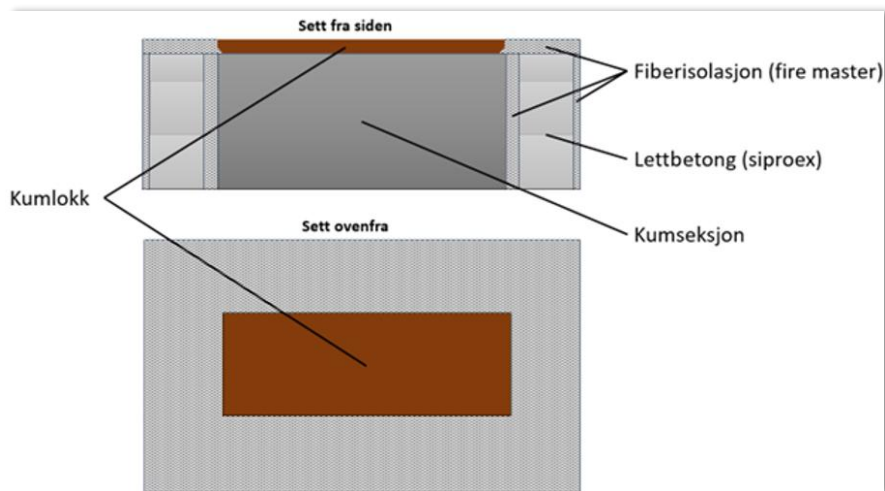
⁶ Definisjon på utrykningstid jmf. Brann- og redningsvesenforskriften: *Tiden det tar fra nødmeldesentralen har utalarmert innsatsstyrken til første innsatsstyrke er på hendelsesstedet.*

BRANNFORSØK MED TREKKEKUMMER

En forsøksstudie med brannpåvirkning på trekkekummer

Oppdragsnr.: 52201101 Dokumentnr.: NO-Trekkekum-01 Revisjon: J01

av oksygen og propan. Propanflammen er lokalisert relativt høyt i ovnen, på oversiden av lokket. Flammens lokasjon gir størst varmepåkjenning på lokkets overside, og noe mindre på sidearealene.



Figur 6 Illustrasjonen viser oppbygning av testriggen. Illustrasjon: RISE Fire Research.



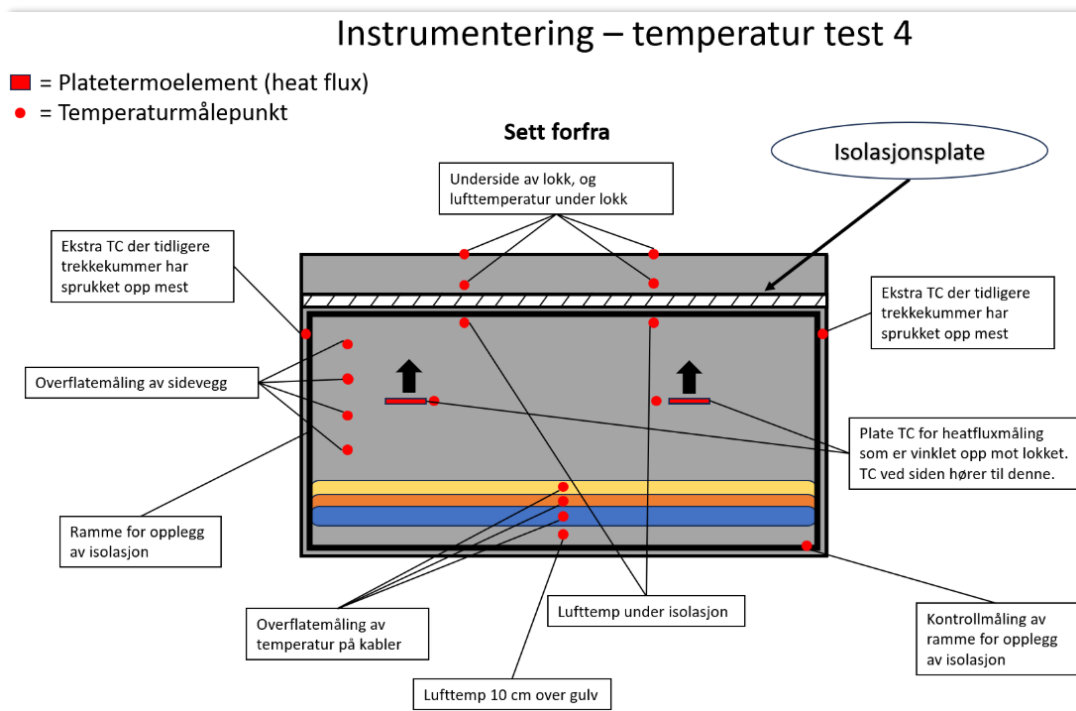
Figur 7 Fotografiet viser hvordan kummen er dekket med fiberisolasjon (fire master) og lettbetong (Siporex). Foto: RISE Fire Research.



Figur 8 Bildet viser varmepåvirkning på lokk.
Foto: RISE Fire Research.



Figur 9 Bildet viser trekkekummene isolert med Siporex på kort- og langside. Foto: RISE Fire Research.



Figur 10 Illustrasjonen viser kabler og temperaturmålepunkter for test nr.4. Noen endringer i oppsettet ble gjort underveis. Illustrasjonen: RISE Fire Research

Alle sider av trekkekummen ble isolert, bortsett fra lokket og den synlige delen av rammen til lokket. Isolasjonen besto av porebetong og AES fiberisolasjon som ble plassert lagvis. For ytterligere detaljer se rapport til RISE Fire Research [1].

På testene plasseres det temperatursensorer som vist på Figur 10, med totalt 17 stk. sensorer. 15 stk. er termometer og 2 stk. er varmefluksmåler. Varmefluksmåler måler total varmefluks i W/m^2 og gir en oversikt over den energien som både kommer fra stråling og lufttemperatur. På test nr. 2 er det valgt å plassere 4 stk. ekstra målepunkter ytterligere enn i test 1. Det plasseres 2 ekstra termoelementer under isolasjonsplaten (luft under isolasjonsplaten) og 2 stk. termoelementer på rammen, for å måle temperaturen på stålramma. Test nr. 3 ble gjennomført med samme instrumentering som ved test nr. 2b, men i tillegg var det plassert

temperaturmåler på rammen for opplegg av isolasjon. Test nr. 4 ble det lagt inn 2 stk. ekstra temperaturmålere på oversiden av begge kortsideweggene i hovedrommet.

Tid-temperatur-kurven forhåndsinnstilles manuelt av operatør / teknikker hos RISE Fire Research. Testene avsluttes etter avtalt tid.

Etter hver av testene vil følgende elementer bli evaluert:

- Tilstand på kum, lokk og kabler
- Varmeutvikling i kummen, gjennom temperaturmålepunktene
- Tilstand belegning mellom trekkekum og lokk

5.6 Valg av test-produkter

Valg av materiell i testene bygger på erfaringer fra tunneloppgraderingsprosjektene og innspill fra prosjektgruppa. Tabell 1 og

Tabell 2 viser hvilke kabler og kummer som er benyttet i testene.

Etter hver test evaluerer prosjektgruppa resultatene fra gjennomført test og vurderer hvilke kum- og lokk-løsninger som skal benyttes i videre forsøk. I forprosjektfasen ble det utarbeidet utkast til testmatrise som blir brukt i vurderingen av videre fremdrift etter hvert forsøk.

Et av hovedelementene i prosjektet er å observere hvilke temperaturer som oppnås nede i kummen med bruk av ulike kum- og lokk-løsninger, samt tilstand på kummen etter at testen er gjennomført. Kummer og lokk i plastmateriale testes først, da dette materialet vurderes som mest sårbar mot varme. Det blir evaluert hvorvidt godset har tatt skade, slik som smelteskader, kollaps eller avskalling.

Det er utfordrende å gjennomføre testene med strøm på kablene. Dette vurderes heller ikke som nødvendig dersom trekkekommene anses å være intakte etter gjennomført test. Kablenes tåleevne mot ulike temperaturer er allerede kjent gjennom produsentenes produktdokumentasjon, og vil ikke bli overprøvd i dette prosjektet.

Følgende kabeltyper og trekkekummer ble benyttet i testingen.

Tabell 1 Tabellen viser hvilke kabler som ble benyttet i testene.

Type kabel	Produktnavn
Signalkabel, kabelklasse 2	IFSI-EMC 1kV
Signalkabel, kabelklasse 3	BFSI-EMC 0,6/1kV
Kraftkabel, kabelklasse 2	IFSI Easy 1kV
Kraftkabel, kabelklasse 3	BFSI 0,6/1 kV
Fiberkabel, kabelklasse 2	G48 G652D/G657A1 QXXI SLIM CT
Fiberkabel, kabelklasse 3	Draka 1/0 CT CST LSHF-FR C1

Tabell 2 - Tabellen viser hvilke kumseksjoner og kumlokk som ble benyttet på de ulike testene. ID viser til test 1-4, bokstav a og b viser til hvilken kum.

ID	Kumseksjon	Kumlokk	Kommentar
1a	FF6045 svarte kumseksjoner	Støpejernslokk D400	Ingen kommentar
1b	SW1220-18 kabelbrønn A15 HDPE	SW1220-18 leveres med lok	Ingen kommentar
2a	TK2 – Tunnel 1063 x 380 x 500	Furnes TK2 Tunnel - FI ramme.	Ingen kommentar

2b	TK2 – Tunnel 1063 x 380 x 500	Furnes TK2 Tunnel - FI ramme	Isolert – 30 mm
3a	TK2 – Tunnel 1063 x 380 x 500	Furnes TK2 Tunnel - FI ramme	Isolert – 50 mm
3b	TK2 – Tunnel 1063 x 380 x 500	Furnes TK2 Tunnel - FI ramme	Isolert – 100 mm
4a	TK2 – Tunnel 1063 x 380 x 500	Furnes TK2 Tunnel - FI ramme	Isolert – 100 mm Asfalt på topp av kum
4b	TK2 – Tunnel 1063 x 380 x 500	Furnes TK2 Tunnel - FI ramme	Isolert – 100 mm. Betong på topp av kum

5.7 Observasjoner fra testene

Resultater etter hver test ble evaluert før neste test ble igangsatt. Dette kapittelet oppsummerer observasjoner og vurderinger som blir gjort av prosjektgruppa underveis i testene. Det presenteres vurderinger tilknyttet materialvalg og andre tilpasninger for påfølgende test. En slik tilnærming er nødvendig for å sikre best mulig måloppnåelse.

Objektive testresultater er hentet fra sluttrapporten til RISE [1]. For utdypende informasjon om testene henvises det derfor til den rapportens kapittel 4.

Alle testene er gjennomført med tid-temperatur-kurve ISO-834 og har en varighet på 105 minutter. Et sentralt observasjonspunkt (testkriteriet) er tiden det tar før temperaturen overgår 70 °C.

RISE sin test-rapport [1] presenterer temperaturutvikling på flere lokasjoner i kummene. For ytterligere detaljer tilknyttet disse målingene, se deres rapport. På følgende lokasjoner er det etablert temperatursensorer.

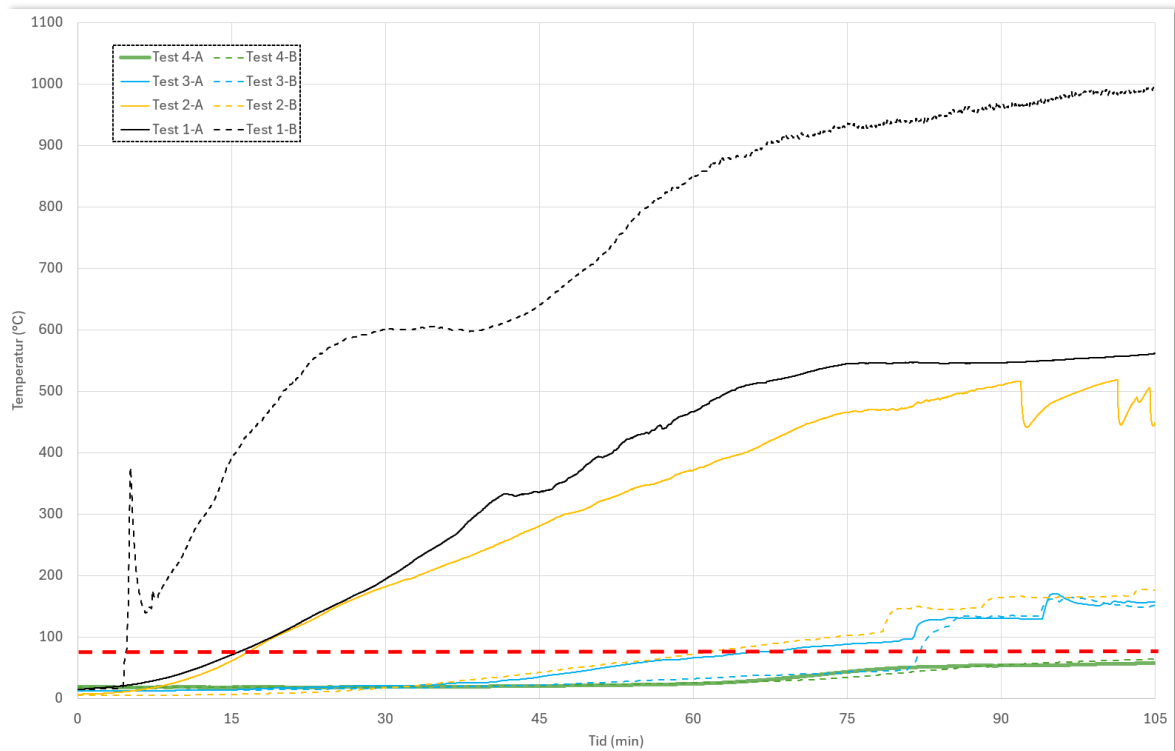
- Lufttemperatur 10 cm over bunnen
- Lokk
- Luft under lokk
- Kort- og langsider
- Heat flux, lokalisert over kablene, vendt opp mot lokket.

I denne rapporten er fokuset på temperaturobservasjoner 10 cm over bunnen av kummen. Det er denne lokasjonen som anses som mest relevant sett oppimot dokumentert tålegrense for kablene. Oppsummering av temperaturresultatene er gitt i en sammenstilt graf, vist ved Figur 11, og benyttes videre i rapporten. Oversikten viser alle testene i samme illustrasjon. Den røde linjen viser testkriteriet ved 70 °C. I de påfølgende kapitlene henvises det til denne samlegrafen.

BRANNFORSØK MED TREKKEKUMMER

En forsøksstudie med brannpåvirkning på trekkekummer

Oppdragsnr.: 52201101 Dokumentnr.: NO-Trekkekum-01 Revisjon: J01



Figur 11 Samlegraferen viser temperatur 10 cm over bunnen av kummen for alle 4 testene (2 kummer pr test gir 8 resultatgrafer). Illustrasjon: RISE Fire Research.

5.7.1 Test nr. 1

Målsetning / bakgrunn

Erfaring fra tunneloppgraderingsprosjektene viser at trekkekummer i High-Density Polyethylene (HDPE) enten er brukt eller vurdert brukt i flere tunneler. Det samme gjelder valg av lokk, hvor HDPE-kum kombineres med støpejernslokk. HDPE er en type hardplast som blant annet tåler høy trykkpåkjenning, har lav vannabsorpsjon og lang levetid. Mye brukte kummer er enten byggesett-løsning (sammenkoblet tårnløsning) og/eller ordinær hel ferdig utformet løsning (ikke byggesett). Det var ønskelig å få erfaring med denne type materiale og hvordan oppvarmet HDPE-kum vil påvirke kablene, eventuelt hvorvidt kummen i seg selv vil smelte. Det var derfor ønskelig å benytte HDPE-kum i første rekke av testene.



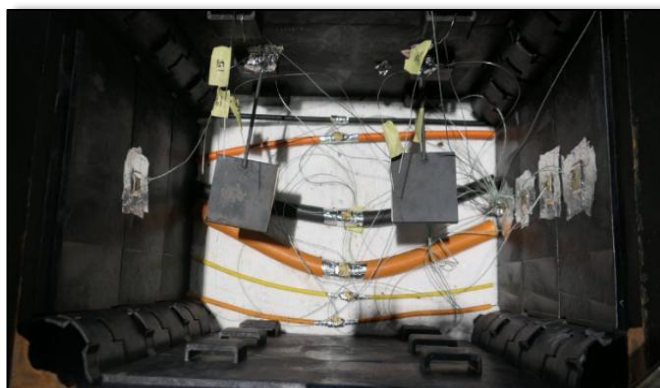
Figur 12 Bildene viser trekkekummer i HDPE-materiale plassert i brannmotstandsovn for testene ble igangsatt. Foto: RISE Fire Research.

Test 1a

- Trekkekum: Melbye, Footway Fortress, FF6045, Rating: D400, Materiale: HDPE
- Størrelse: 150mm, innermål: 610x445, yttermål: 715x550mm
- Lokk: Støpejernslokk D400, 2-delt ramme, ikke låsbart. Størrelse lokk: 680x100x510



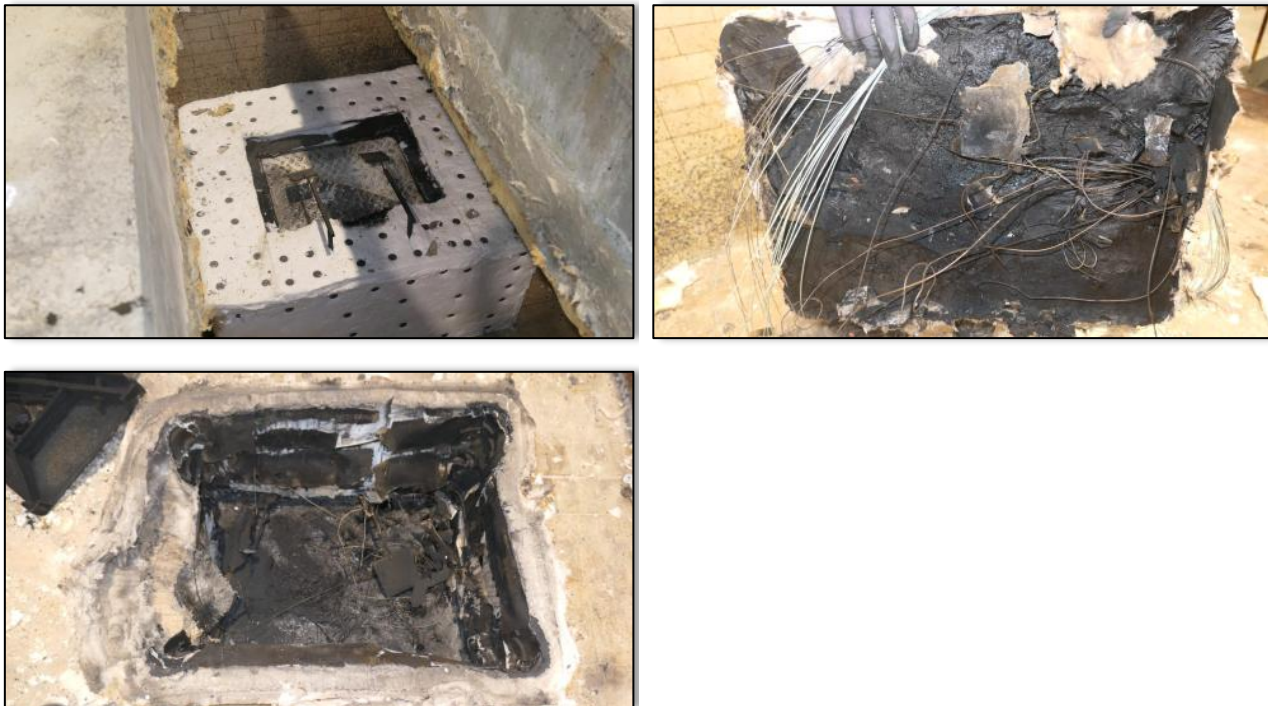
Figur 13 Bildet viser HDPE-trekkekum med støpejernslokk. Foto: RISE Fire Research.



Figur 14 Bildet viser hvordan kablene er plassert i trekkekummen. Foto: RISE Fire Research.

Tilstand på kum, lokk og kabler etter test-gjennomføring:

Resultatene fra test nr. 1 viser at HDPE-kum med støpejernlokk var fullstendig nedsmeltet, og ikke tålte den temperaturpåkjenningen som kummen ble utsatt for. Alle kum-elementene er å anse som totalskadet, i tillegg til kablene som var plassert i kummen.



Figur 15 Bildene over viser fullstendig nedsmeltet HDPE-trekkekum. Foto: RISE Fire Research.

Temperaturutvikling:

Grafen (Figur 11) tilknyttet kum 1a, presentert ved svart heltrukken linje, viser at temperaturen stiger raskt helt fra start og når 70 °C etter bare 15 minutter. Den raske temperaturutviklingen skyldes med stor sannsynlighet at materialet ikke tåler den høye varmen og smeltet/kollapset innen svært kort tid. Ved 105 minutter uti brannforsøket var temperaturen ved kablene ca. 550 °C.

BRANNFORSØK MED TREKKEKUMMER

En forsøksstudie med brannpåvirkning på trekkekummer

Oppdragsnr.: 52201101 Dokumentnr.: NO-Trekkekum-01 Revisjon: J01

Test 1b:

Type trekkekum og lokk: SW1220-18 A15 HDPE svart, 48x65x45cm, Grønt HDPE-lokk.



Figur 16 Bildet viser grønn HDPE-kum og HDPE-lokk. Foto: RISE Fire Research.



Figur 17 Bildet viser hvordan kablene er plassert i HDPE-kummen. Foto: RISE Fire Research.

Tilstand på kum, lokk og kabler:

I likhet med trekkekummen Footway Fortress, i test 1a, ble både trekkekummen og kablene totalskadet. Lokket var også fullstendig nedsmeltet.



Figur 18 Bildet viser tilstand på kummen etter test. Foto: RISE Fire Research.



Figur 19 Bildet viser trekummen etter test. Kummen er fullstendig nedsmeltet. Foto: RISE Fire Research.

Temperaturutvikling i kummen:

Grafen (svart stippet linje) i Figur 11 viser at temperaturen i kummen stiger svært raskt, og når 70 °C etter ca. 5 minutter. Ved test 1b var temperaturutviklingen i kummen desto raskere enn ved test 1a, og testkriteriet nås ca. 10 minutter raskere. Dette skyldes med stor sannsynlighet at HDPE-lokk er langt mindre robust mot varmpåkjønning enn støpejernslokk. Ved 105 minutter uti brannforsøket var temperaturen ved kablene ca. 1000 °C.

5.7.2 Test nr. 2

Målsetning / bakgrunn

Erfaringer fra test 1a og 1b viste at trekkekummer i HDPE-materiale har svært dårlig brannmotstand og smelter raskt. I test nr. 2 er det derfor ønskelig å benytte et materiale som anses som mer robust mot varme. Det anses ikke som hensiktsmessig å teste kum og/eller lokk av HDPE-materiale ytterligere.

I test nr. 2 vil det bli benyttet betongkummer i begge testene, og begge med støpejernslukk. Trekkekummer i betong, Type TK2 Tunnel, er mye brukt i tunneloppgraderingsprosjekter.

Ved denne testen er det også ønskelig å erfare om bruk av isolasjonsplate vil fungere som tiltak for å hindre varmpåvirkning på kum og kabler. Den ene kummen (test 2a) vil være uten isolasjonsplater, men i den andre (test 2b) vil det plasseres 3 cm steinullisolasjon (Rockwool)⁷ 2-3 cm under nedre kant av skjørtet på rammen av lokket.



Figur 20 Bildet viser trekkekum type TK2 Tunnel. Foto: RISE Fire Research.



Figur 21 Bildet viser kummene før test isolert med lettbetong og AES fiberisolasjon. Foto: RISE Fire Research.

Test 2a

- Trekkekum: TK2 Tunnel – Betong
- Størrelse: lengde: 1063 mm, bredde 380 mm, høyde 500 mm, utsparing 340 x 250 mm
- Lokk: Støpejernslukk, D400

Kummens kort- og langside har utsparinger for kabelgjennomføring. Disse er dekket med XPS-materiale.

Det er ikke plassert isolasjonsmatter i denne kummen. Bildet under viser kummens utforming og hvordan kablene er plassert.

⁷ I testene ble det benyttet steinullisolasjon av typen Rockwool markplate, artikkelnummer: 30674964

BRANNFORSØK MED TREKKEKUMMER

En forsøksstudie med brannpåvirkning på trekkekummer

Oppdragsnr.: 52201101 Dokumentnr.: NO-Trekkekum-01 Revisjon: J01



Figur 22 Bildet viser kablene plassert i trekkekum TK2 Tunnel. Foto: RISE Fire Research.

Tilstand på kum, lokk og kabler etter test-gjennomføring:

Resultater fra testen viser at både trekkekummen og kablene har tatt store skader. Støpejernslokket var intakt, men varmen fra lokket ned på godset til kummen har medført såpass stor påkjenning at trekkekummen har kollapset. Kablene i kummen har derfor også fått store skader.



Figur 23 Bildene over viser hvordan trekkekum TK2 Tunnel har fått store skader etter gjennomført test. Foto RISE Fire Research.

Temperaturutvikling i kummen:

Grafen tilknyttet test 2a (gul heltrukken linje i Figur 11) viser at temperaturen i kummen stiger raskt, og når 70 °C etter ca. 17-20 min. Varmesensorer (presentert i RISE-rapport) viser at temperaturer på lang- og kortsiden øker raskest, som indikerer at det er høy varmegjennomtrengning på disse punktene. Ved 105 minutter uti brannforsøket var temperaturen ved kablene ca. 450 - 500 °C.

Test 2b

- Trekkekum: TK2 Tunnel - Betong
- Størrelse: lengde: 1063 mm, bredde 380 mm, høyde 500 mm, utsparing 340 x 250 mm
- Løkk: Støpejernsløkk D400

I denne kummen er det plassert 3 cm isolasjonsmatte av steinull-isolasjon (Rockwool), 2-3 cm under nedre kant av skjørtet på rammen av løkkes. Isolasjonen er lagt som en hel matte, uten skjørt, og på en stållamme som vist på bildet under.



Figur 24 Bildet viser hvordan trekkekum TK2 Tunnel er isolert med 3 cm steinullisolasjon. Foto: RISE Fire Research.



Figur 25 Bildet viser stållammen som isolasjonen ble plassert på. Foto: RISE Fire Research.

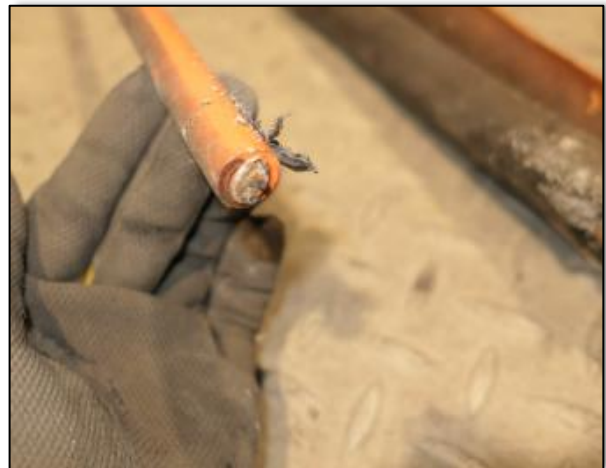
Tilstand på kum, løkk og kabler etter test-gjennomføring:

Etter gjennomført test viser kummen seg å være ødelagt med store skader som følge av avskalling. Kum i test 2b har dog tatt langt mindre skade enn kum i test 2a. Testene viser derfor at isolasjonsplatene reduserer varmepåkjenningen i kummen og på kablene. Løkket var intakt etter gjennomført test. Kablene hadde tatt noe skade, og det er uvisst om de fortsatt ville fungert.

BRANNFORSØK MED TREKKEKUMMER

En forsøksstudie med brannpåvirkning på trekkekummer

Oppdragsnr.: 52201101 Dokumentnr.: NO-Trekkekum-01 Revisjon: J01



Figur 26 Bildene viser hvordan TK2 trekkekum er skadete etter test med 3cm isolasjon. Foto: RISE Fire Research

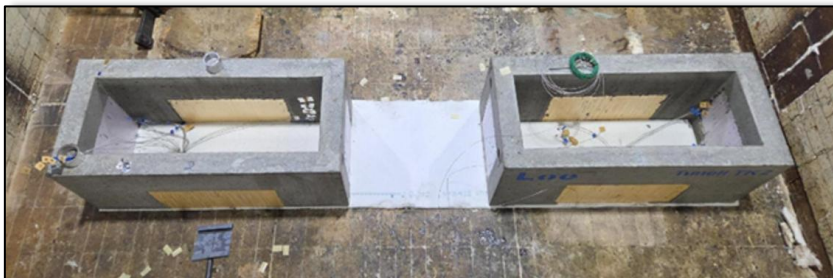
Temperaturutvikling i kummen:

Grafen (gul stiplet linje) i Figur 11 viser at temperaturen holdes lav relativt lenge og ikke når 70 °C før ca. 60 minutter. Dvs. at temperaturen har holdt seg under kritisk grense i nesten 45 minutter lenger enn ved test 2a. Ved 105 minutter uti brannforsøket var temperaturen ved kablene mellom 160-170 °C.

5.7.3 Test nr. 3

Målsetning / bakgrunn

Resultatene fra test 2a viste at betongkummen (uten isolasjonsmatter) fikk stor grad av avskalling og at temperaturen i kummen nådde testkriteriet i løpet av 16 minutter. Testen viste også at bruk av steinullisolasjon fungerer bra for å beskytte kummen og hindre varme ned mot kablene. Med bruk av 3 cm isolasjonsplater, tok allikevel kummen en del skader. Ved test 3 er det derfor ønskelig å erfare om et tykkere lag av isolasjon vil forsterke kummene, og om henholdsvis 5 cm (kum 3a) og 10 cm (kum 3b) isolasjonsmatter vil være tilstrekkelig for å hindre at temperatur i kummen overstiger 70 °C innen 105 minutter. Ved begge testene ble isolasjonen lagt uten skjørt og på stålramme.



Figur 27 Bildet viser de to kummene TK2 Tunnel som skal benyttes ved test 3.
Foto: RISE Fire Research.



Figur 28 Bildet viser de to kummene med montert støpejernslokk før testene skal igangsettes.
Foto: RISE Fire Research.

Test 3a

- Trekkekum: TK2 Tunnel - Betong
- Størrelse: Lengde: 1063 mm, bredde 380 mm, høyde 500 mm, utsparing 340 x 250 mm
- Lokk: Støpejernslokk D400

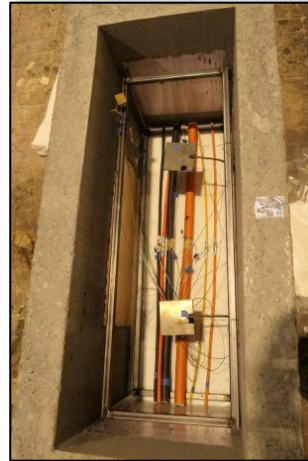
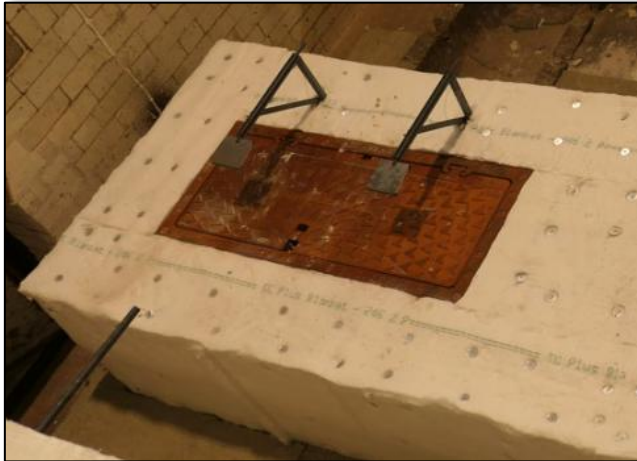
I kummen er det plassert 5 cm isolasjonsmatte av steinullisolasjon (Rockwool), under nedre kant av skjørtet på rammen av lokket.

BRANNFORSØK MED TREKKEKUMMER

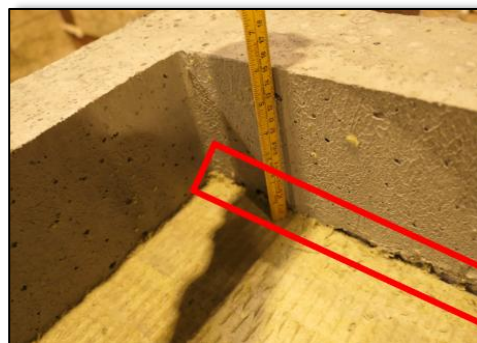
En forsøksstudie med brannpåvirkning på trekkekummer

Oppdragsnr.: 52201101 Dokumentnr.: NO-Trekkekum-01 Revisjon: J01

Det ble notert en liten glippe mellom kummens kortsider og isolasjonsmatten. En slik glippe kan bidra til å slippe varme inn mot kablene. Se figur Figur 30.



Figur 29 Bildene viser kum med støpejernslokk før test 3 og hvordan kablene. Foto: RISE Fire Research.



Figur 30 Bildet viser glippe mellom isolasjon og kummens kortsider som kan ha bidratt til noe varmetilførsel.

Tilstand på kum, lokk og kabler etter test-gjennomføring:

Resultatene fra testen viser at områdene ved sidearealene, ved utsparingene dekket med XPS-materiale, har hatt størst varmegjennomtrenging og derfor avskalling. Kablene i kummen er såpass skadet av de høye temperaturene at de trolig har mistet sin funksjonalitet. Kummen var mindre skadet, sammenlignet med kum i test nr. 2a, hvor det ikke var plassert isolasjonsmatter.

BRANNFORSØK MED TREKKEKUMMER

En forsøksstudie med brannpåvirkning på trekkekummer

Oppdragsnr.: 52201101 Dokumentnr.: NO-Trekkekum-01 Revisjon: J01



Figur 31 Bildene over viser tilstanden på kummer og kabler etter gjennomført test. Foto: RISE Fire Research.

Temperaturutvikling i kummen:

Grafene (blå heltrukken linje) i Figur 11 viser at temperaturen når 70 °C etter ca. 65-70 minutter. Dette er bare noe lenger, ca. 5-10 minutter lenger enn ved test 2b. Ved 105 minutter uti brannforsøket var temperaturen ved kablene ca. 150 °C.

Test 3b

- Trekkekum: TK2 Tunnel - Betong
- Størrelse: Lengde: 1063 mm, bredde 380 mm, høyde 500 mm, utsparing 340 x 250 mm
- Lokk: Støpejernslokk D400

I denne kummen er det plassert 10 cm (2x5 cm) isolasjonsmatte med steinullisolasjon (Rockwool).

BRANNFORSØK MED TREKKEKUMMER

En forsøksstudie med brannpåvirkning på trekkekummer

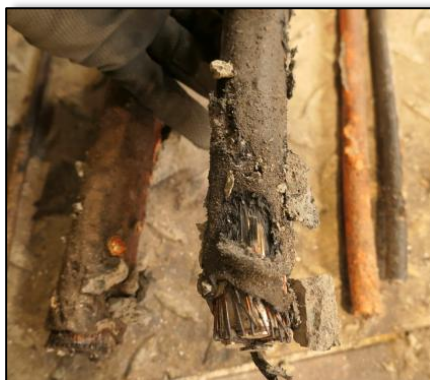
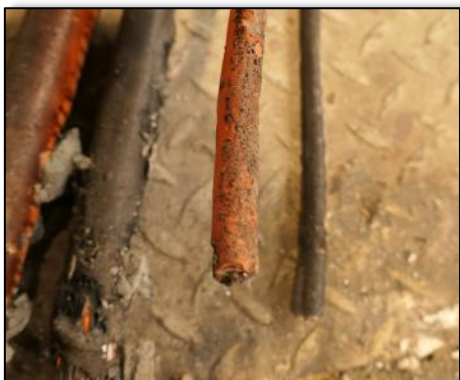
Oppdragsnr.: 52201101 Dokumentnr.: NO-Trekkekum-01 Revisjon: J01



Figur 32 Bildet viser trekkekum TK2 Tunnel og støpejernslokk med 10 cm isolasjon før igangsettelse av test. På undersiden av lokket 2 stk. temperatursensorer. Foto: RISE Fire Research

Tilstand på kum, lokk og kabler etter test-gjennomføring:

Kum i test 3b tok noe mindre skade enn kum i test 3a, men kablene var også her såpass skadet av de høye temperaturene at de trolig ikke ville ha opprettholdt sin funksjonalitet.



Figur 33 Bildene over viser tilstand på kum og kabler etter test 3b. Foto: RISE Fire Research.

Temperaturutvikling i kummen:

Ved test 3b (10 cm isolasjon) viser temperaturkurven at testkriteriet nås etter ca. 80-85 minutter. Dette er ca. 10-15 minutter lenger enn ved test 3a (5 cm isolasjon), men fortsatt ikke lenger enn nødvendig testkriteriet. Ved 105 minutter uti brannforsøket var temperaturen ved kablene ca. 150 °C.

5.7.4 Test nr. 4Målsetning / bakgrunn

Erfaring fra test nr. 3 viser at 10 cm steinullisolasjon beskyttet kablene svært godt mot varme, men at betongkummen, TK 2 Tunnel, virker å være noe sårbar på kortsidene ved områdene for utsparing dersom dette området ikke er tildekket. Kablene hadde også tatt en del skade.

Ved test nr. 4 var det også ønskelig å erfare om påstøp asfalt eller betong over kanten på kummene ville ha positiv innvirkning på resultatene. Ved test nr. 4 ble det valgt å etablere 6 cm påstøp asfalt over betongkanten på den ene kummen (test 4a), og et 5 cm påstøp betong over betongkanten på den andre (test 4b). Det å etablere et slikt lag er i tråd med normal praksis i tunnelprosjekter, hvor kummen er nedsenket i bankett eller i havarinisjer.



Figur 34 Bildet viser hvordan kumlokk og bakken ligger i flukt i en havarinisje. Foto: Ole Pedro Myklebostad, Statens vegvesen.

Asfalt er kjent for å ta fyr ved høye temperaturer, og det var ønskelig å se om dette også kunne skje her. På den annen side kan asfalt også fungere som et beskyttende lag, dersom det hindrer varmeoverføring ned via glipper. Betong vil ikke ta fyr, men det er interessant å observere hvorvidt det vil sprekke/skalle av.

For kum A er det lagt 6 cm asfalt, type AGB 16. Ved kum B er det lagt 5 cm betong, type B55. Ytterligere spesifikasjoner er oppgitt nedenfor. Asfalten ble herdet i 45 timer og betongen ble herdet i 52 timer.

Også ved denne testen legges det 2x5 cm steinullisolasjon i kummen, tilsvarende som i test 3b. Også her er ble isolasjonen lagt som en hel matte, uten skjøt og på en stålramme.

Det var ingen glippe mellom isolasjonsplatene og innervegg på trekkekum ved disse testene.

BRANNFORSØK MED TREKKEKUMMER

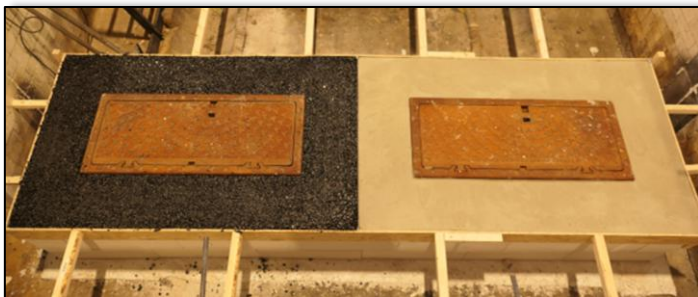
En forsøksstudie med brannpåvirkning på trekkekummer

Oppdragsnr.: 52201101 Dokumentnr.: NO-Trekkekum-01 Revisjon: J01

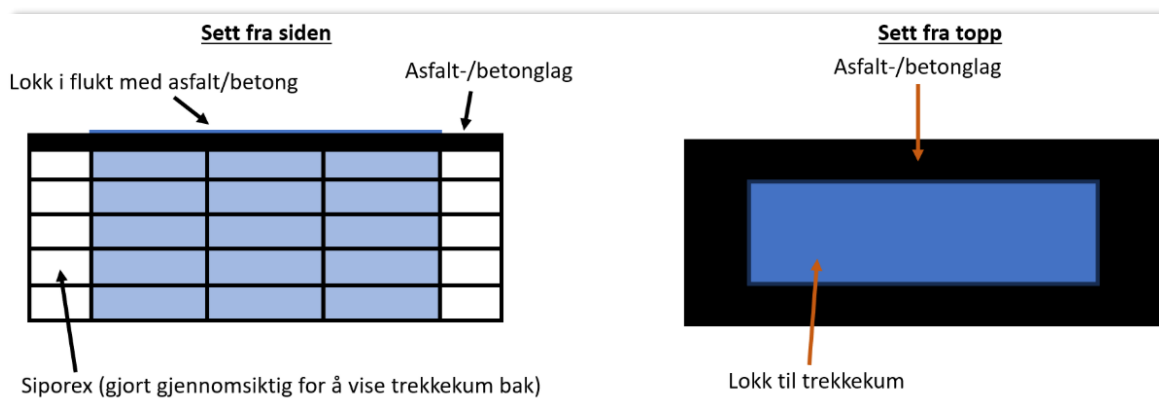


Figur 35 Bildet viser hvordan isolasjonen ligger tett inntil innerveggen på trekkekummen. Foto: RISE Fire Research

Ved denne testen ble det også besluttet at testen skulle avbrytes før opprinnelig tid (105 min), dersom temperaturen i kummen når 70 °C. Dette for å vurdere tilstanden på kummen. Det skulle tas utgangspunkt i termoelementet plassert ca. 10 cm over bunnen av kummen (ca. 5 cm over kablene). Bildet nedenfor viser lag av asfalt og betong.



Figur 36 Bildet viser trekkekum TK2 Tunnel med påstøp av asfalt på vestre og påstøp med betong til høyre. Bildet til høyre viser trekkekummen ute påstøpen er etablert. Foto: RISE Fire Research.



Figur 37 Illustrasjonen viser oppbygning av testtriggen for test nr. 4. Her var det etablert påstøp av asfalt- og betonglag over hver av kummene. Illustrasjonen er utarbeidet av RISE Fire Research.

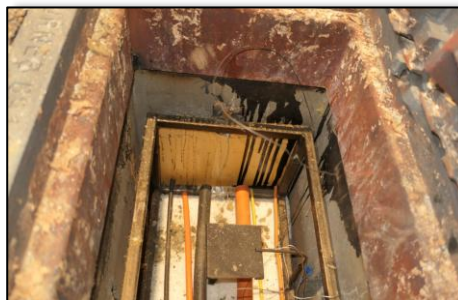
Test 4a

- Trekkekum: TK2 Tunnel - Betong
- Størrelse: Lengde: 1063 mm, bredde 380 mm, høyde 500 mm, utsparing 340 x 250 mm
- Løkk: Støpejernsløkk D400

I kummen er det plassert 10 (2x5cm) cm isolasjonsmatte av steinullisolasjon (Rockwool), under nedre kant av skjørtet på rammen av lokket. Det ble etablert påstøp av 6 cm asfalt over betongkanten.

Tilstand på kum, løkk og kabler etter test-gjennomføring:

Testen fikk en varighet på 105 min, og ble ikke avbrutt før planlagt tid. Det ble observert langt mindre skader på betongkummen sammenlignet med test 3, og ingen avskalling fra lang- eller kortside. Heller ingen skader på kablene. Både kummen og kablene fremsto som godt intakte. Merk! Det er ikke avskalling fra kummen som vises på bildet nedenfor, men biter av isolasjonen som ble revet av da isolasjonsplatene ble løftet av etter test.

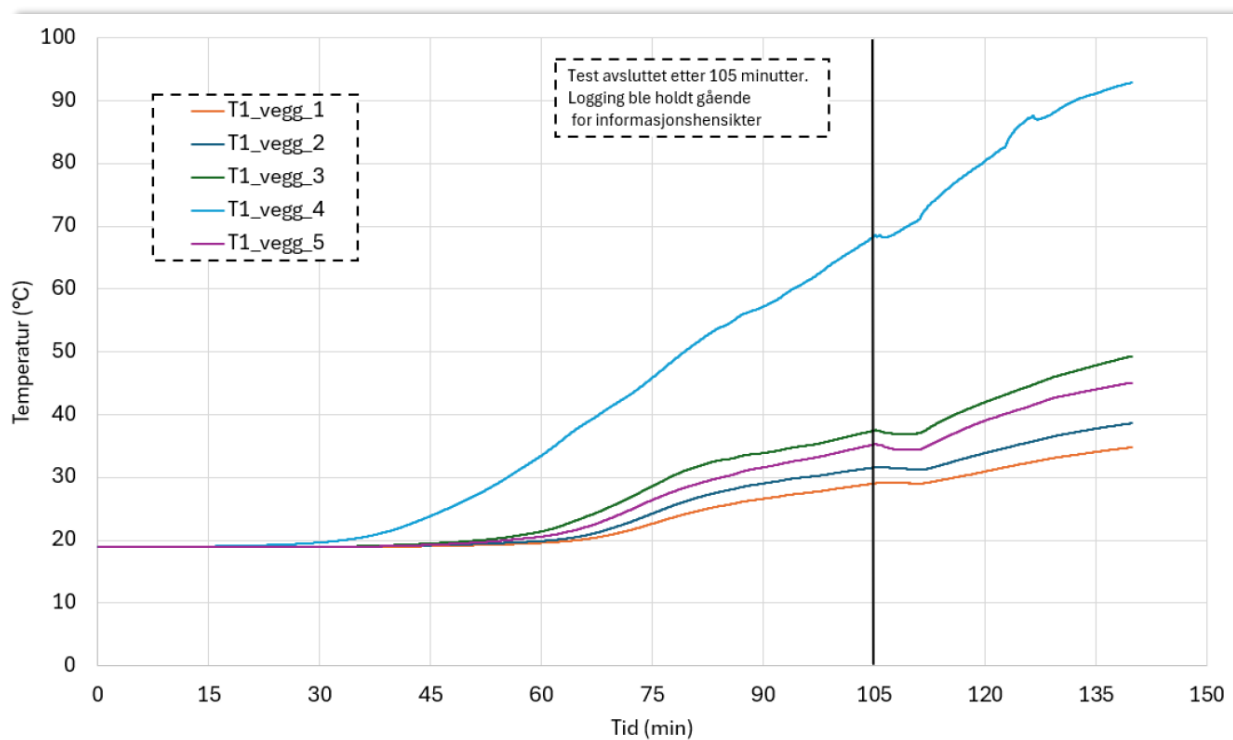


Figur 38 Illustrasjonene viser trekkekum 4a etter gjennomført test. Foto: RISE Fire Research.

Temperaturutvikling i kummen:

Grafen (grønn heltrukken linje), Figur 11, viser at temperaturen aldri kommer over 70 °C i løpet av 105 min. Grafen viser også at temperaturen holder seg under 50 °C i over 40 minutter.

Temperatursensoren plassert ved øvre del av sideveggen, presentert ved graf T1_vegg_4, viser at temperaturen var under 70 °C ved testslutt. Heller ingen andre temperatursensorer i denne kummen registrerte over 70 °C.



Figur 39 Grafen T1_vegg_4 viser temperaturen på sensor plassert øverst på sidevegg.

Test 4b

- Trekkekum: TK2 Tunnel - Betong
- Størrelse: Lengde: 1063 mm, bredde 380 mm, høyde 500 mm, utsparing 340 x 250 mm
- Lekk: Støpejernsløkk D400

Tilsvarende som i kum A, er det i denne kummen plassert 10 cm (2x5 cm) isolasjonsmatte av steinullisolasjon (Rockwool). Isolasjonsmattene er plassert 2-3 cm under nedre kant av skjørtet på rammen av lokket. Betongen mellom lokk og kum er av typen B55, og legges med tykkelse 5 cm. Betongen fikk herde i 52 timer, før testen ble igangsatt.

Tilstand på kum, lokk og kabler etter test-gjennomføring

I likhet med Kum 4a, med asfaltlag under lokk, var også i denne kummen ingen synlige skader eller avskalling. Både kummen og kablene fremsto som intakte. Merk! Det er ikke avskalling fra kummen som vises på bildet nedenfor, men biter av isolasjonen som ble revet av da isolasjonsplatene ble løftet av etter test.



Figur 40 Bildene viser tilstand på oppi trekkekummen etter gjennomført test 4b. Foto: RISE Fire Research.

Temperaturutvikling i kummen

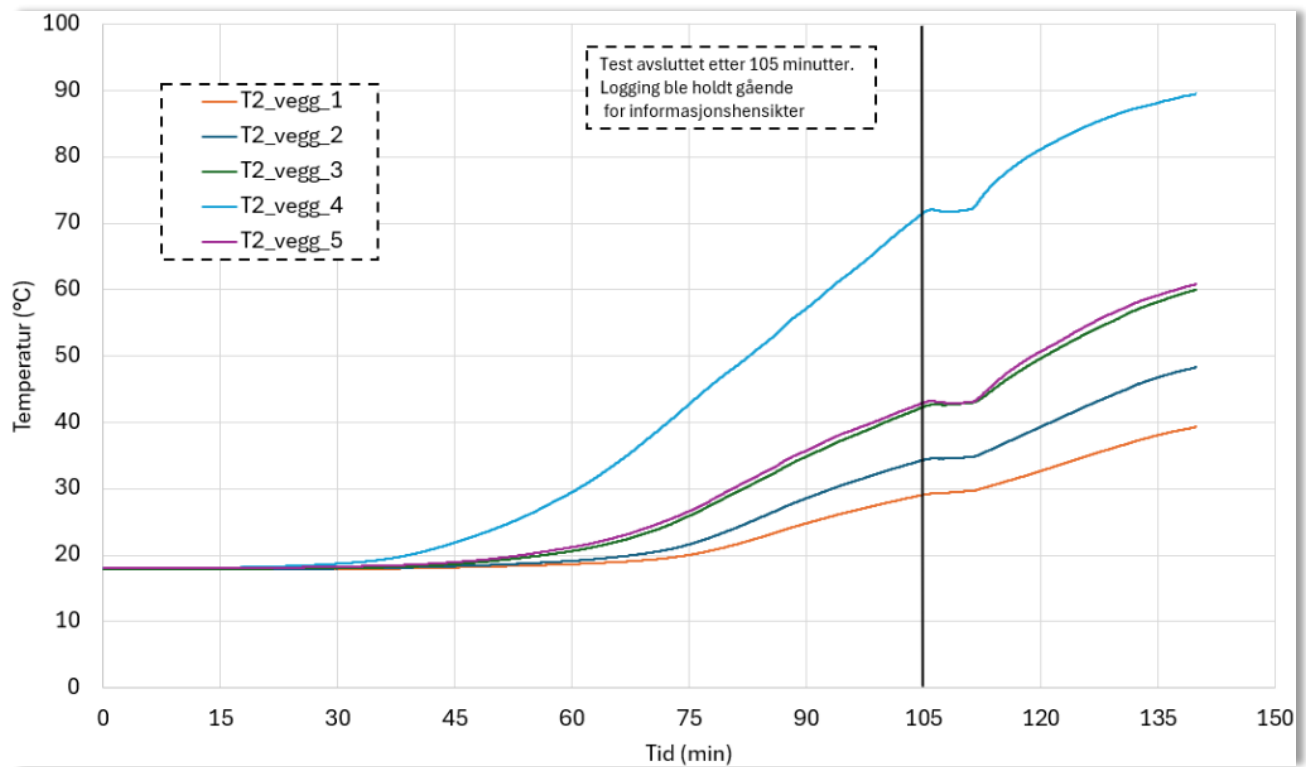
Temperaturkurven ved test 4b (påslag betong) viser tilnærmet samme utvikling som ved test 4a (påslag asfalt). Også her holdes temperaturen under 50 °C i over 40 minutter.

Temperatursensoren plassert ved øvre del av sideveggen, presentert ved graf T2_vegg_4, viser at temperaturen oversteg 70 °C noen få minutter før testslutt. Ingen andre temperatursensorer i denne kummen registrerte over 70 °C.

BRANNFORSØK MED TREKKEKUMMER

En forsøksstudie med brannpåvirkning på trekkekummer

Oppdragsnr.: 52201101 Dokumentnr.: NO-Trekkekum-01 Revisjon: J01



Figur 41 Grafen T2_vegg_4 viser temperaturen på sensor plassert øverst på sidevegg.

6 Oppsummering fra testene

I dette kapittelet vurderer Norconsult de observasjoner som er dokumentert av RISE Fire Research og viderefører dette til konkrete anbefalinger. I tillegg svares det ut de syv problemstillingene som er definert i forprosjektfasen og som er presentert i kapittel 5.1.

Observasjonene bygger på totalt 4 branntester. I hver av testene er det to kummer. ISO-834 tid-temperaturkurve er vurdert som representativ brannpåkjenning i branntestene. Valg av trekkekummer og kabling er vurdert i forprosjektfasen og underveis i arbeidet. Valg av løsningene er presentert i kapittel 5.6.

Det bemerkes at testene og vurderingene som er utført er begrenset til kun å gjelde selve trekkekummene, og kabelføringene som skjer i disse.

6.1 Observasjoner

Ingen av standardkummene, i hverken betong eller HDPE, besto testkriteriet uten ekstra tiltak. Plastkummen (HPDE) kom dårligst ut, både med bruk av støpejernslokk og plastlokk. Disse kummene var fullstendig nedsmeltet og kablene ble totalskadet.

I test med betongkum og støpejernslokk - uten ekstra tiltak - ble det også høy temperatur i kummen tidlig i brannforløpet. Det ble registrert over 70 °C i kummen før det hadde gått 20 minutter og temperaturen økte til over 500 °C. Ved disse testene fikk både betongkummen og kablene store skader. Temperaturen var under temperaturgrensen for funksjonssikre kabler (som normalt testes for å tåle 750 °C etter IEC 60331 i 90 minutter).

Det ble gjennomført flere tester med bruk av standard isolasjonsmatter av steinull, plassert nede i standard betongkummer med støpejernslokk og -ramme. Isolasjonsmattene ble plassert under støpejernslokk og -ramme. Med 3 cm steinullisolasjon tok det ca. 40 minutter å nå 70 °C. Med 5 cm isolasjon tok det 60-70 minutter til 70 °C. Test 4, siste test, viste derimot at 10 cm isolasjon ga gode resultater.

I test 4 ble det etablert 5 cm betong-påstøp på kumringen på den ene kummen, i likhet med kummer plassert i tunnelbankett. På den andre kummen ble det etablert 6 cm asfalt oppå kumringen, i likhet med kummer plassert i havarinisje. Det ble plassert 10 cm steinullisolasjon i hver av kummene. Resultatene på denne siste testen viste at temperaturkriteriet ikke ble nådd. På målepunktet 10 cm over bunnen av kummen var temperaturen under 70 °C i 105.

6.2 Tiltak for å etablere sikker løsning for ikke funksjonssikre kabler

Standard trekkekum i betong med støpejernslokk vil kunne imøtekomme det definerte akseptkriteriet – maksimum 70 °C i 105 minutter - dersom følgende sikringstiltak etableres:

- Det må plasseres 10 cm steinullisolasjon i kummen under støpejernslokket. Isolasjonen må ligge tett mot alle veggene i kummen.
- Det må etableres påstøp av enten betong eller asfalt over kanten på kummen, som er slik kummene normalt blir montert i tunnel. Tykkelsen må være minimum 6 cm for asfalt og 5 cm for betong.

Ved utførelse som angitt i punktene over vil kablene være sikkert forlagt i trekkekummene, og det er grunnlag for å bruke kabler som ikke er funksjonssikre.

Merk! Ved tunneler hvor utrykningstiden er over 45 minutter bør det gjøres en særskilt risikovurdering om løsningen kan anses som akseptabel.

6.3 Løsninger som frarådes ved bruk av ikke funksjonssikre kabler

For imøtekommelse av det definerte akseptkriteriet kan ikke følgende løsninger benyttes:

- Trekkekummer eller lokk i plastmateriale (HDPE).
- Standard trekkekummer i betong og støpejernslokk, uten isoleringsmatter eller påstøp av betong eller asfalt.

Bruk av plastmaterialer vil kunne være problematisk ved betydelig varmpåkjønning. Bruk av funksjonssikre kabler er en selvfølge ved bruk av slike kumløsninger, men det vil være et spørsmål om funksjonen faktisk opprettholdes når kummen smelter slik testene viste. Dette forholdet er ikke vurdert nærmere i dette prosjektet.

Ved bruk av trekkekummer i betong med støpejernlokk og -ramme, uten isolasjon, viser testene at funksjonssikre kabler vil være nødvendig for at kablens funksjon skal kunne opprettholdes i tilstrekkelig tid.

7 Referanser

- [1] D. O. Stensrud, «Branntester av trekkekummer,» RISE Fire Research AS, 2025.
- [2] L. Jiang, «A literature study on time-temperature developement in tunnel fires,» RISE Fire Research, 2023.
- [3] «Brannforsøk i Runehamartunnelen, Rapport: 100 MW Tunnelbrann - Test av PE-skum med PP-fiberarmert sprøytebetong,» SINTEF NBL,, 2014.

BRANNFORSØK MED TREKKEKUMMER

En forsøksstudie med brannpåvirkning på trekkekummer

Oppdragsnr.: 52201101 Dokumentnr.: NO-Trekkekum-01 Revisjon: J01

Vedlegg 1 Testrapport av RISE Fire Research

Tittel: Branntester av trekkekummer

Forfatter: Dag Olav Snersrud

TITTEL:

Branntester av trekkeummer

OPPDRAGSGIVER:

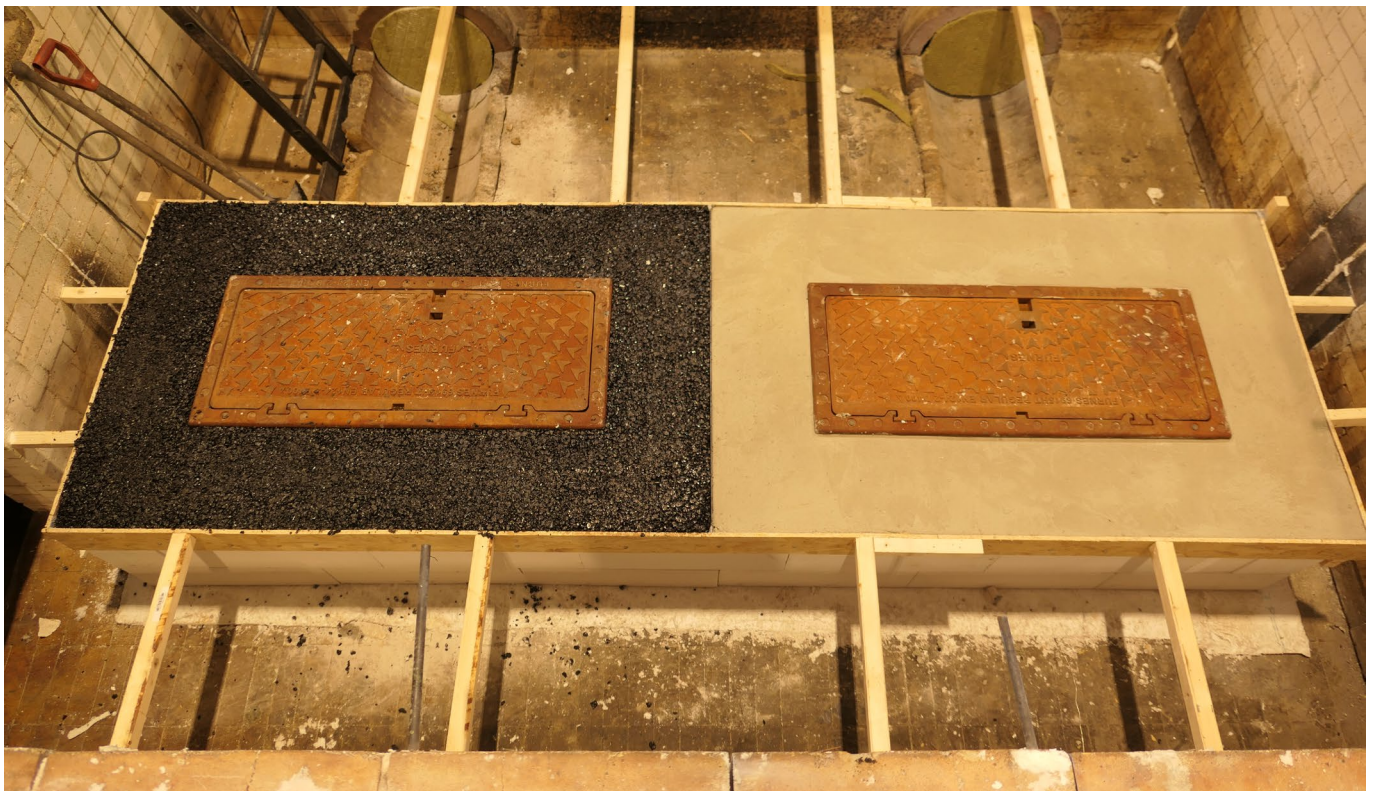
Norconsult Norge AS

PRODUKT/PRØVESTYKKE:

Trekkeummer

STANDARD/METODE:

Ikke-standardisert metode



RISE Fire Research AS

Postadresse
Postboks 4767 Torgarden
7465 Trondheim
Norge

Besøksadresse
Tillerbruvegen 202
7092 Tiller
Norge

Telefon
+47 464 18 000

E-post / web
post@risefr.no
www.risefr.no

Org. nr.
NO 982 930 057 MVA

Branntester av trekkekummer

PROSJEKTNR.	20670-4
RAPPORTNR.	20670-4
RAPPORT UTGITT AV	RISE Fire Research AS (heretter kalt RISE)
DATO FOR UTSTEDELSE	2026-02-24
OPPDRAGSGIVER	Norconsult Norge AS Vestfjordgaten 4 1338 Sandvika Norge
OPPDRAGSGIVERS REF.	Dag Ivar Fjeldberg
ANTALL SIDER INKL. VEDLEGG.	26
STANDARD/METODE	Ikke-standardisert metode
PRODUKT/PRØVESTYKKE	Trekkekummer
DATOINTERVALL FOR TESTING	2024-10-03 til 2025-06-26
TESTSTED	RISE Fire Research AS Tillerbruvegen 202 7092 Tiller Norge
FORMÅL MED TEST	Informasjon / Forskning og utvikling
FORFATTER AV RAPPORTEN	Dag Olav Snersrud, Prosjektleder Dag Olav Snersrud
KVALITETSSIKRING	Robert Olofsson, Kvalitetssjef Robert Olofsson

Denne rapporten kan ikke gjengis annet enn i sin helhet, unntatt med skriftlig forhåndsgodkjenning fra det utstedende laboratoriet.

Eventuelle testresultater gjelder bare elementet som er testet.

Beslutningsregel: Der det er aktuelt, gis samsvarsvurderinger (f.eks. Pass/Fail) basert på simple acceptance-regelen, slik den er definert i ILAC-G8, med mindre annet er angitt.

Dokumenthistorikk

Versjon	Dato	Beskrivelse av versjon
1	2026-02-24	Første versjon.

Sammendrag

Fire branntester ble gjennomført på ulike trekkekummer med ulik isoleringstykkelse. Totalt ble 8 forskjellige variasjoner testet ut.

Resultatene kan sees i kapitel 4.

Innhold

1	MERKNADER.....	5
2	PRØVESTYKKE	5
2.1	GENERELL INFORMASJON.....	5
2.2	UTVALG	6
3	TESTPROSEDYRE.....	6
3.1	TESTOPPSETT	6
4	TESTER.....	8
4.1	TEST 1.....	8
4.1.1	Instrumentering	10
4.1.2	Resultater.....	10
4.1.3	Ovnsdata.....	12
4.2	TEST 2.....	13
4.2.1	Instrumentering	14
4.2.2	Resultater.....	15
4.2.3	Ovnsdata.....	17
4.3	TEST 3.....	18
4.3.1	Instrumentering	19
4.3.2	Resultater.....	19
4.3.3	Ovnsdata.....	21
4.4	TEST 4.....	22
4.4.1	Instrumentering	23
4.4.2	Resultater.....	23
4.4.3	Ovnsdata.....	25
VEDLEGG A.	INSTRUMENTLISTE	26
VEDLEGG B.	BEREGNING AV VARMESTRÅLING	27

1 Merknader

Denne testserien er utført som en ad-hoc testserie med brannekspnering i henhold til EN 1363-1:2020. Det er kun eksponeringskurven som er i henhold til EN 1363-1, mens testutførelse, instrumentering og utformingen av prøvestykkene er avtalt med kunde.

Det ble utført fire tester, med to trekkekummer plassert i ovnen per test. Totalt ble åtte trekkekummer testet i prosjektet.

På bunnen av hver trekkekum ble det plassert kabler av forskjellige typer som ble kappet i begge ender for å få plass nede i trekkekummen. Dette ble gjort for å simulere reelle forhold, samt å gi en indikasjon på hvordan kablene ser ut etter test. Kablene ble ikke funksjonstestet.

2 Prøvestykke

2.1 Generell informasjon

I dette kapitlet er det oppsummert hvilke produkter som ble brukt i testene. For trekkekummene er det oppgitt informasjon om både kumseksjon og kumlokk, samtidig som det er oppgitt hvilken test den gitte kombinasjonen av kumseksjon og kumlokk ble testet. I tillegg er det lagt ved en kommentar til hver av trekkekummene som inneholder ekstra informasjon der det er relevant.

Tabell 1 Trekkekummene som ble tatt i bruk under test. HDPE er en forkortelse for «High-density polyethylene».

ID	Kumseksjon	Kumlokk	Kommentar
1a	FF6045 svarte kumseksjoner	Støpejernslokk D400	Ingen kommentar.
1b	SW1220-18 kabelbrønn A15 HDPE	SW1220-18 leveres med lokk.	Ingen kommentar.
2a	TK 2 – Tunnel. 1063 x 380 x 500	Furnes TK2 Tunnel - FI ramme.	Ingen kommentar.
2b	TK 2 – Tunnel. 1063 x 380 x 500	Furnes TK2 Tunnel - FI ramme.	Isolert – 30 mm.
3a	TK 2 – Tunnel. 1063 x 380 x 500	Furnes TK2 Tunnel - FI ramme.	Isolert – 50 mm.
3b	TK 2 – Tunnel. 1063 x 380 x 500	Furnes TK2 Tunnel - FI ramme.	Isolert – 100 mm.
4a	TK 2 – Tunnel. 1063 x 380 x 500	Furnes TK2 Tunnel - FI ramme.	Isolert – 100 mm. Asfalt-topp.
4b	TK 2 – Tunnel. 1063 x 380 x 500	Furnes TK2 Tunnel - FI ramme.	Isolert – 100 mm. Betong-topp.

Tabell 2 Kablene som ble kappet og lagt nede i trekkekummene under test. Det ble brukt en av hver type i alle trekkekummene.

Type kabel	Produktnavn
Signalkabel, klasse 2	IFSI-EMC 1kV
Signalkabel, klasse 3	BFSI-EMC 0,6/1kV
Kraftkabel, klasse 2	IFSI Easy 1kV
Kraftkabel, klasse 3	BFSI 0,6/1 kV
Fiberkabel, klasse 2	G48 G652D/G657A1 QXXI SLIM CT
Fiberkabel, klasse 3	Draka 1/0 CT CST LSHF-FR C1

2.2 Utvalg

RISE var ikke involvert i utvelgelsen av de materialer/produkter som ble testet.

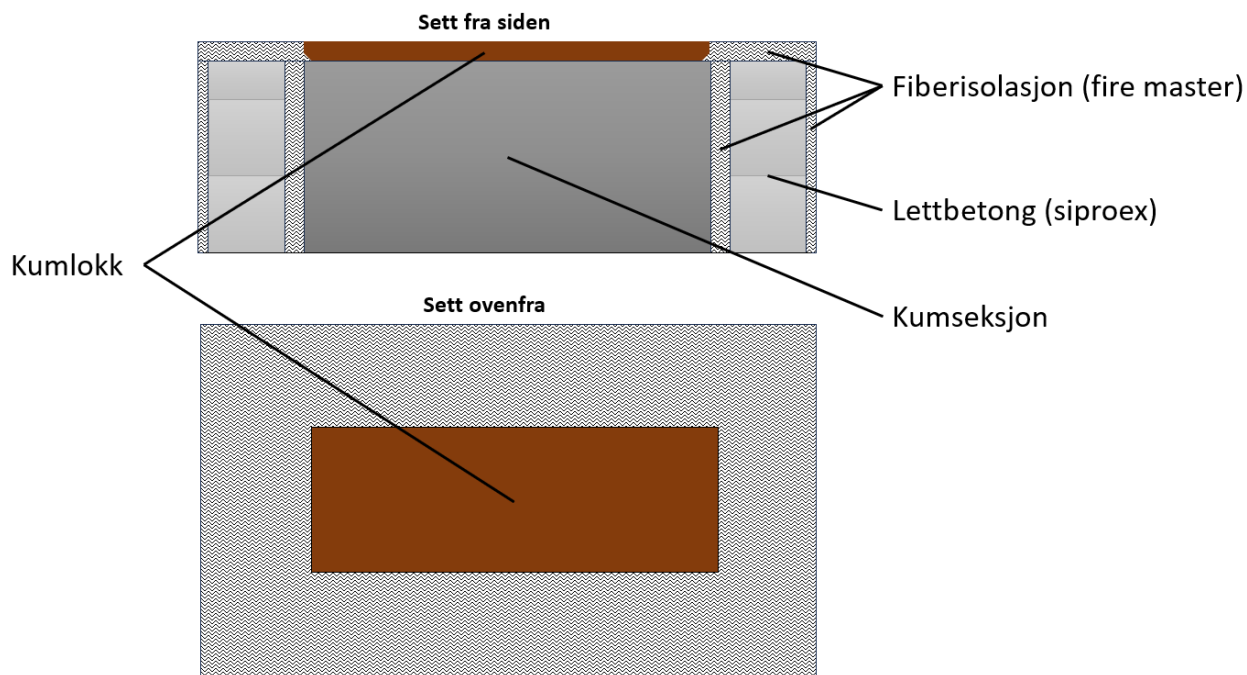
3 Testprosedyre

3.1 Testoppsett

Trekkekummene ble plassert på bunnen av en brannmotstandsovn, og isolert på alle sider unntatt lokket og den synlige delen av rammen til lokket. Isolasjonen besto av porebetong, densitet ca. 580 kg/m³ og AES fiberisolasjon (Firemaster, densitet 128 kg/m³) som ble plassert lagvis rundt trekkekummene. Det ble først tatt i bruk *CONLIT Kleber*, *rockwool lim for å* lime et lag med 50 mm fiberisolasjon inntil trekkekummene. Deretter ble det plassert et 200 mm tykt lag med porebetong på utsiden av fiberisolasjonen, som igjen ble dekket til med et lag 25 mm fiberisolasjon, se Figur 3.1 og Figur 3.2 for skisse og fotografi av hvordan det endelige oppsettet så ut.

Det ble montert tre termoelementer mellom isolasjonen og ytterveggen på hver av trekkekummene for å verifisere om trekkekummen var godt nok isolert, og om varmeeksponeringen hadde blitt begrenset til lokket. For å forhindre kryptvarme nedenifra ble også hele gulvet i testovnen isolert.

Det ble plassert to platetermoelement ca. 100 mm ovenfor hver av trekkekummene som målte ovnstemperaturen under testen.



Figur 3.1 Skisse som viser de ulike komponentene den utvendige isoleringen bestod av.



Figur 3.2 Fotografi av to av trekkekummene i forkant av test 3.

4 Tester

Det ble gjennomført fire separate tester, med to trekkekummer i hver test. I Tabell 3 er det gitt en oversikt over de fire testene og hva som ble testet.

Tabell 3 Oversikt over testene som er gjennomført.

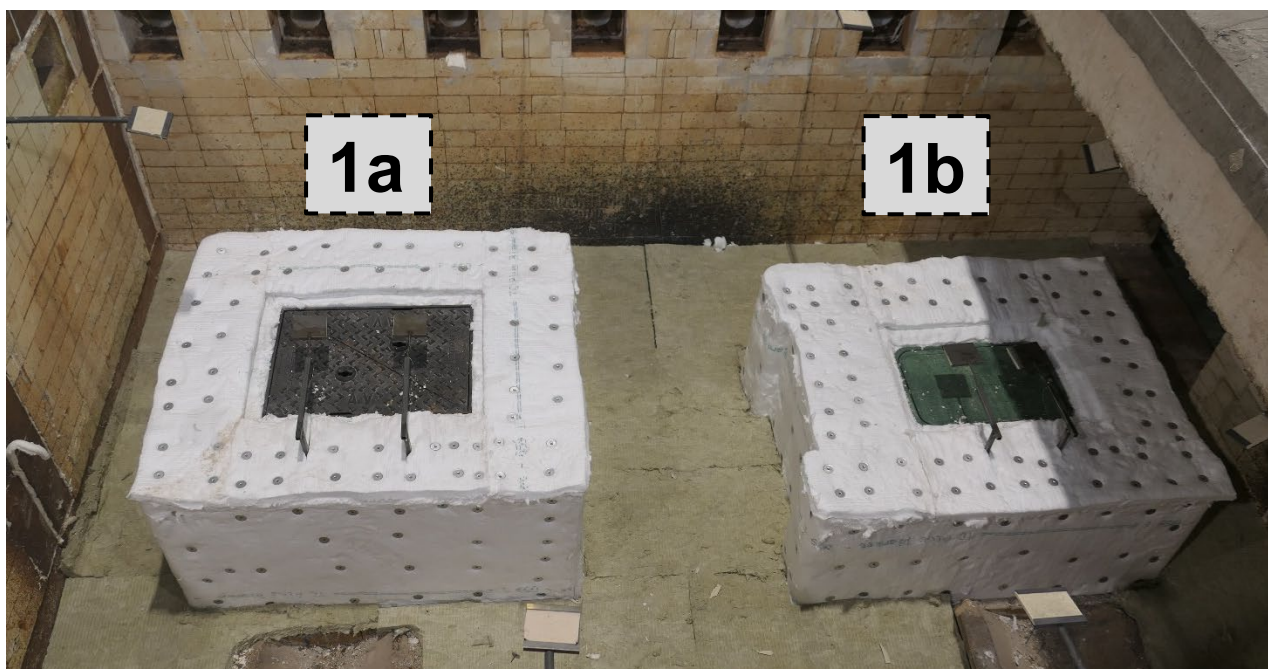
Test Nr.	ID	Kumløsning
1	1a	FF6045 HDPE kumseksjon med støpejernslokk
	1b	SW1220-18 HDPE kumseksjon og lokk.
2	2a	TK 2 – Tunnel. 1063 x 380 x 500 mm uten isolasjon.
	2b	TK 2 – Tunnel. 1063 x 380 x 500 mm med 30 mm isolasjon under lokk.
3	3a	TK 2 – Tunnel. 1063 x 380 x 500 mm med 50 mm isolasjon under lokk.
	3b	TK 2 – Tunnel. 1063 x 380 x 500 mm med 100 mm isolasjon under lokk.
4	4a	TK 2 – Tunnel. 1063 x 380 x 500 mm med 100 mm isolasjon og asfalttopp for å simulere at trekkekummen er nedsenket i veibanen.
	4b	TK 2 – Tunnel. 1063 x 380 x 500 mm med 100 mm isolasjon og betongtopp for å simulere at trekkekummen er nedsenket i banketten.

4.1 Test 1

Trekkekummene som ble brukt i denne testen var FF6045 HDPE kumseksjoner med støpejernslokk (1a) og SW1220-18 HDPE kumseksjon og lokk (1b).



Figur 4.1 Til venstre: Trekkekum FF6045 HDPE kumseksjoner med støpejernslokk. Til høyre: SW1220-18 HDPE kumseksjon og lokk.



Figur 4.2 Fotografi av trekkekum 1a og 1b før test 1.



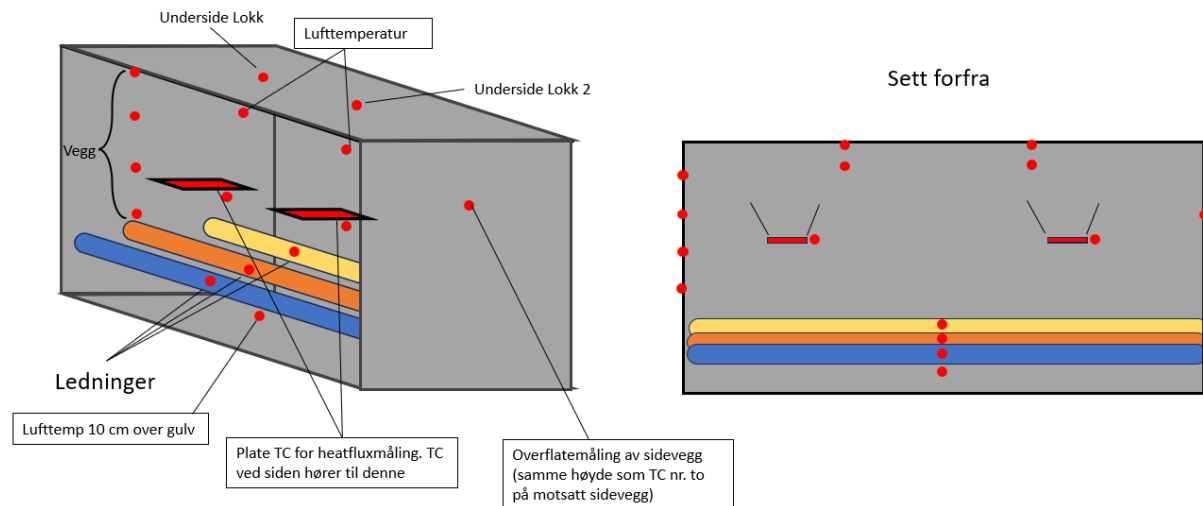
Figur 4.3 Trekkekum 1a (venstre) og 1b (høyre) direkte etter test. Under støpejernslokket på trekkekum 1a var mesteparten av kumseksjonen smeltet bort og brent opp. Trekkekum 1b er fullstendig brent opp/smeltet, og det er kun et hulrom igjen der trekkekummen var.

4.1.1 Instrumentering

Både trekkekum 1a og 1b ble instrumentert likt, se Figur 4.4 og Vedlegg A som inneholder instrumentliste med forklaringer.

■ = Platetemoelement (heat flux)

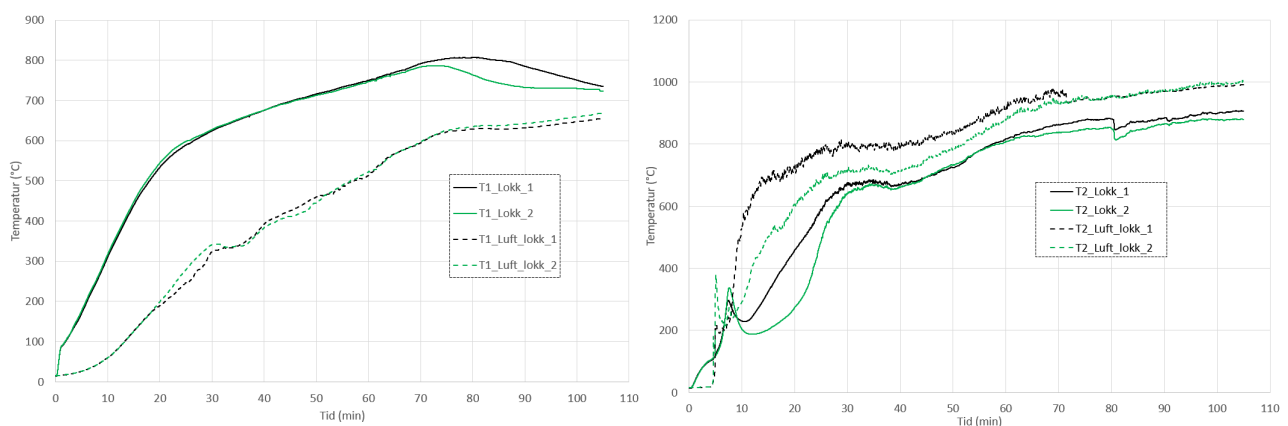
● = Temperaturmålepunkt



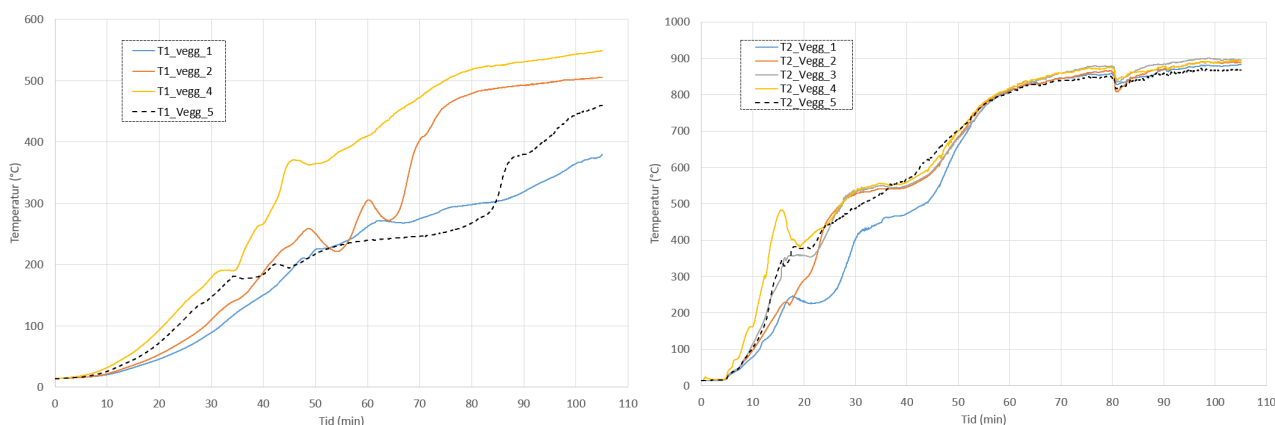
Figur 4.4 Plassering av temperaturmålere nede i trekkekummene. I motsetning til de 3 kablene som er tegnet inn i figuren, ble det tatt i bruk 6 kabler under testene.

4.1.2 Resultater

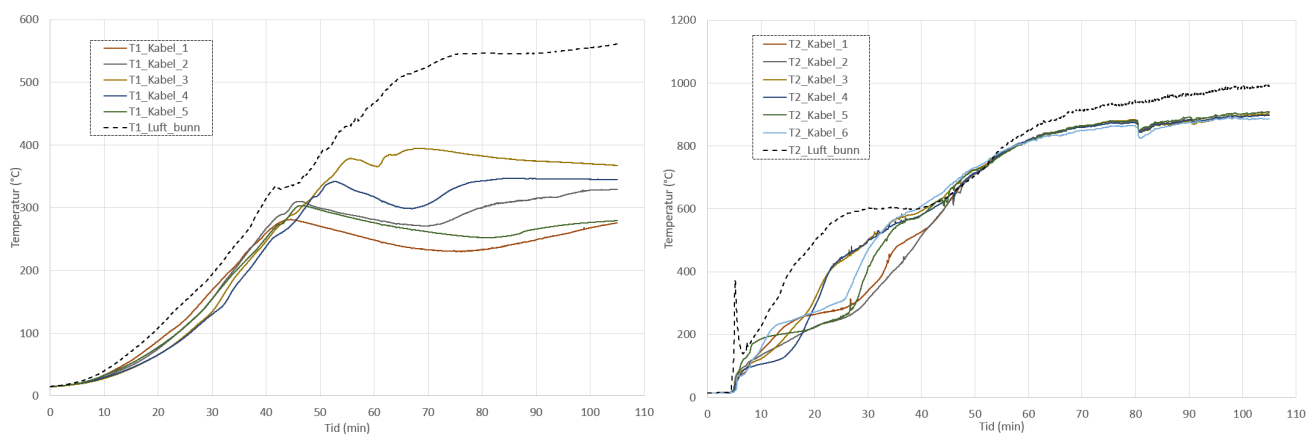
Resultatene fra begge trekkekummene blir presentert ved siden av hverandre for sammenligning.



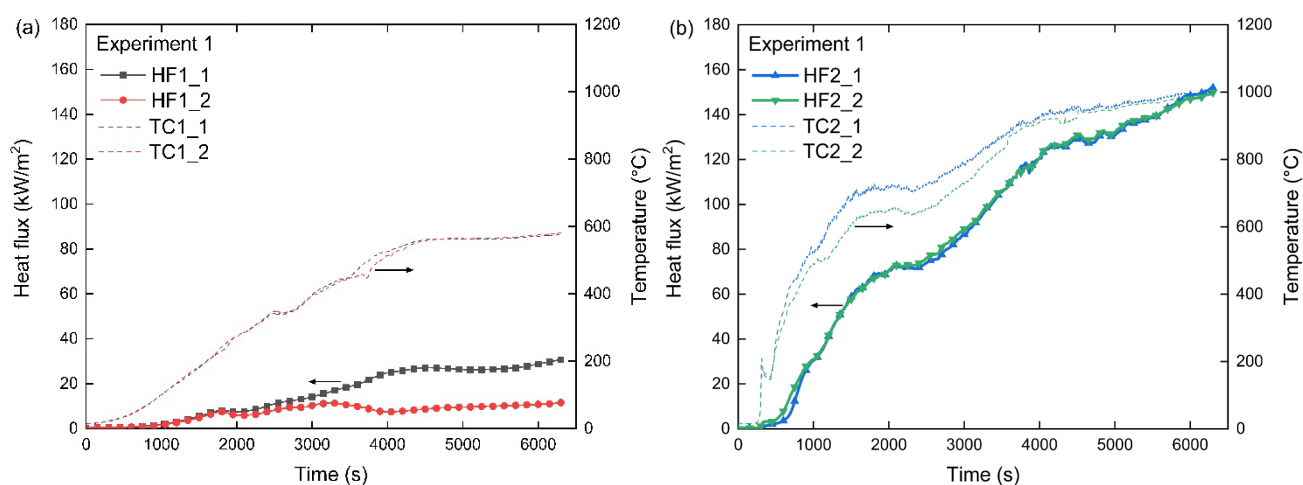
Figur 4.5 Temperaturer i og under lokket for trekkekum 1a (venstre) og 1b (høyre).



Figur 4.7 Temperaturer på veggen av trekkekum 1a (venstre) og 1b (høyre).

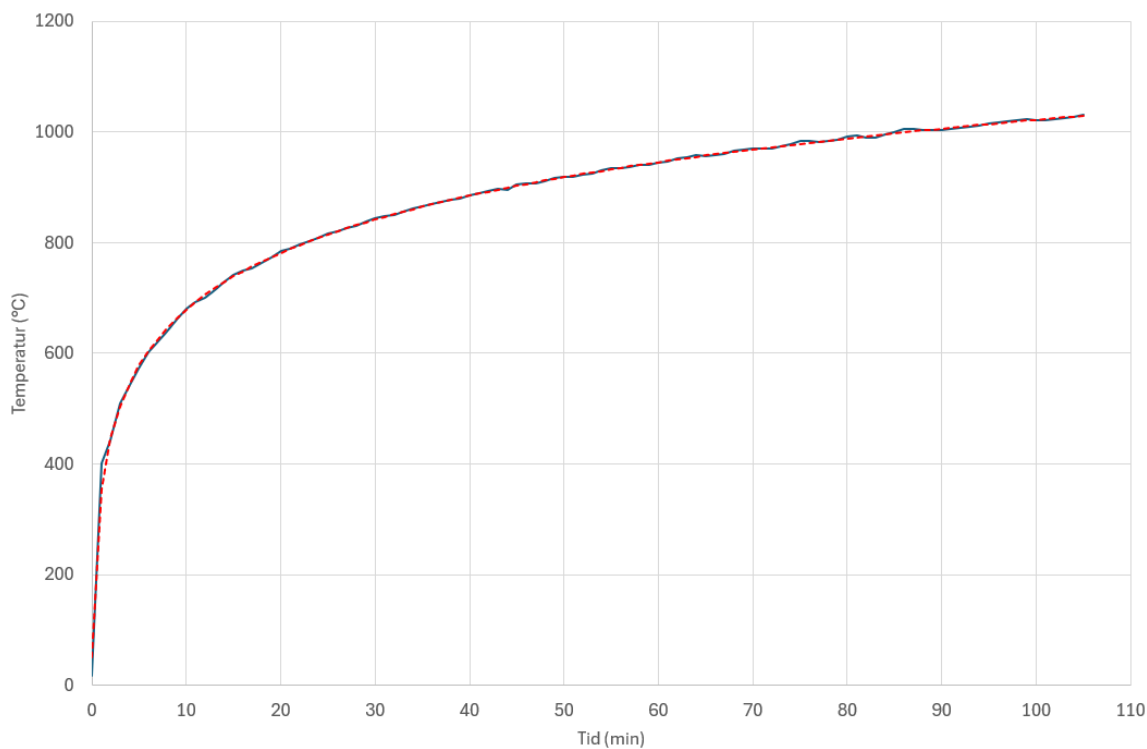


Figur 4.6 Temperatur 10 cm over bakken nede i kummene (stiplet linje) og temperaturen på overflaten av kablene i trekkekum 1a (venstre) og 1b (høyre). Merk at det var et defekt termoelement (T1_kabel_6) i kum 1a som er fjernet fra grafen.

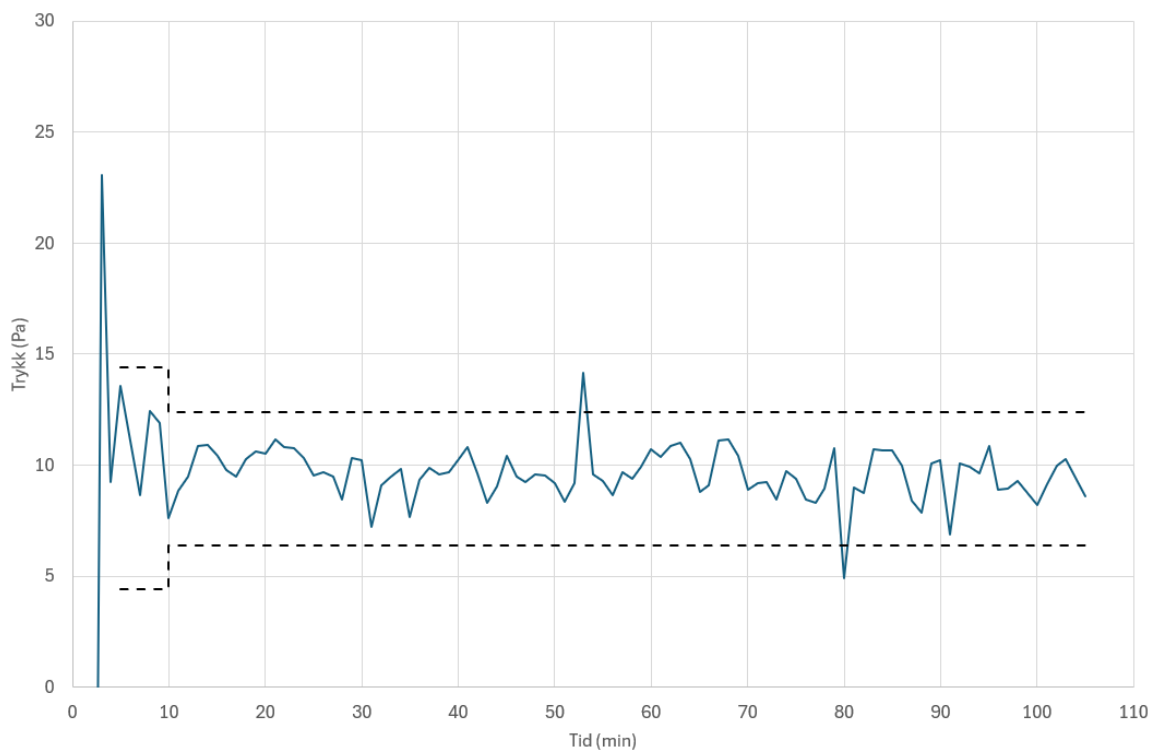


Figur 4.8 Varmestråling ned mot kablene beregnet ut fra målingene fra platetermoelementene i hhv. trekkekum 1a (venstre) og 1b (høyre). Se info om beregning av verdiene i Vedlegg B.

4.1.3 Ovnsdata



Figur 4.9 Ovnstemperatur under test 1 sammen med standard tid-/temperaturkurve i EN 1363-1:2020.



Figur 4.10 Ovnstrykk under test 1. Tilsiktet trykk var 9,4 Pa. Toleranser er fra EN 1363-1:2020.

4.2 Test 2

Test 2 besto av 2 stk. TK2 – tunnel med støpejernslokk fra Furnes, se Figur 4.11 og Figur 4.13. Forskjellen mellom trekkekummene var at 2a ble testet uten noen modifikasjoner, mens 2b ble testet med en 30 mm tykk isolasjonsplate av typen Rockwool markplate (Artikkelnummer: 30674964) som ble lagt 2-3 cm under nedre kant av skjørtet på rammen til lokket. Isolasjonsplaten ble lagt på en ramme som ble plassert ned i trekkekummen. Figur 4.12 viser hvordan dette ser ut med åpent lokk.



Figur 4.11 Trekkekum 2b, før test.



Figur 4.12 Trekkekum 2b etter isolasjonsplate er lagt ned i trekkekummen.

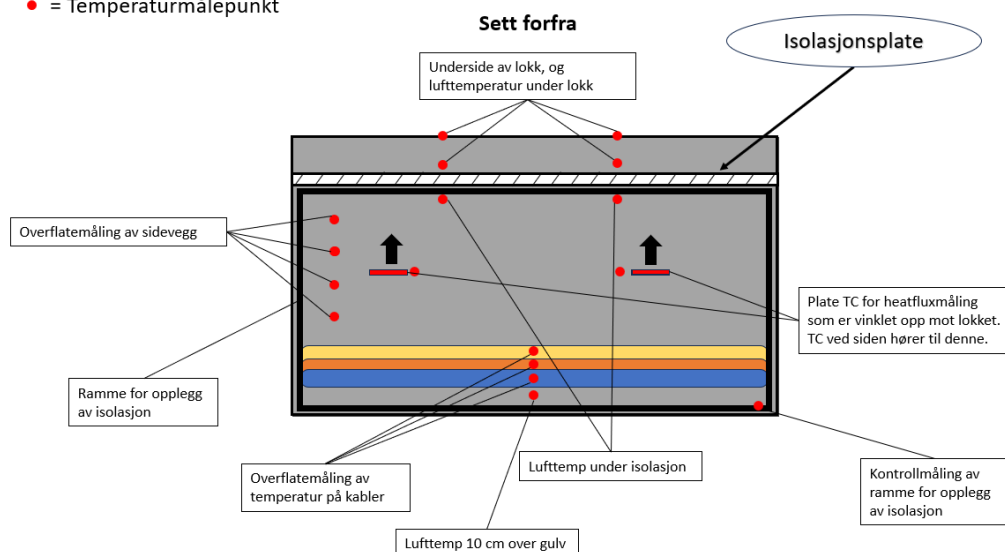


Figur 4.13 Trekkefum 2a (nærmest) og 2b (bakerst) før teststart.

4.2.1 Instrumentering

For trekkefum 2a var instrumenteringen lik som for begge trekkefumene i test 1, som kan sees i Figur 4.4. Trekkefum 2b derimot hadde en innlagt isolasjonsplate som delte hovedrommet i trekkefummen i 2 deler. Det ble derfor lagt til 2 termoelementer rett under isolasjonen, se Figur 4.14 og Vedlegg A for instrumentliste med forklaringer.

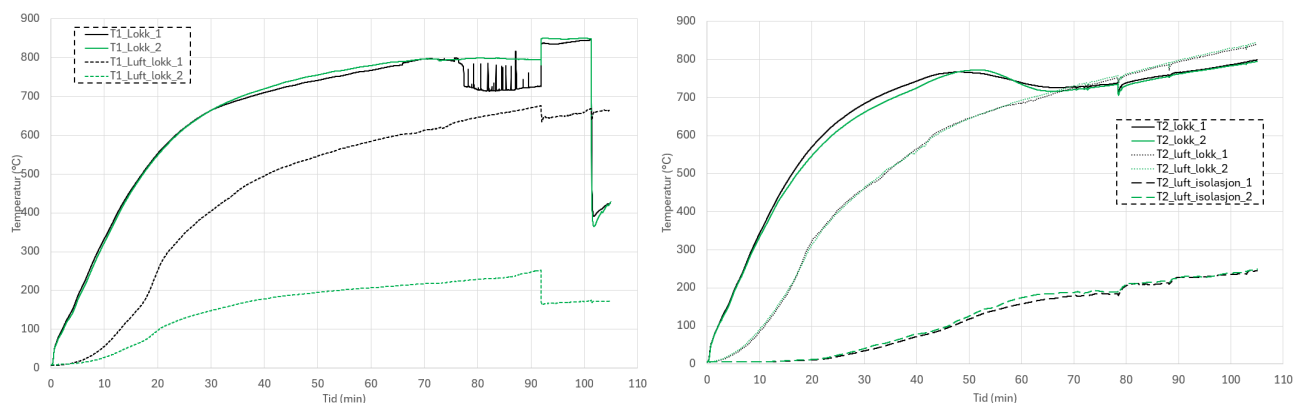
- = Platetermoelement (heat flux)
- = Temperaturmålepunkt



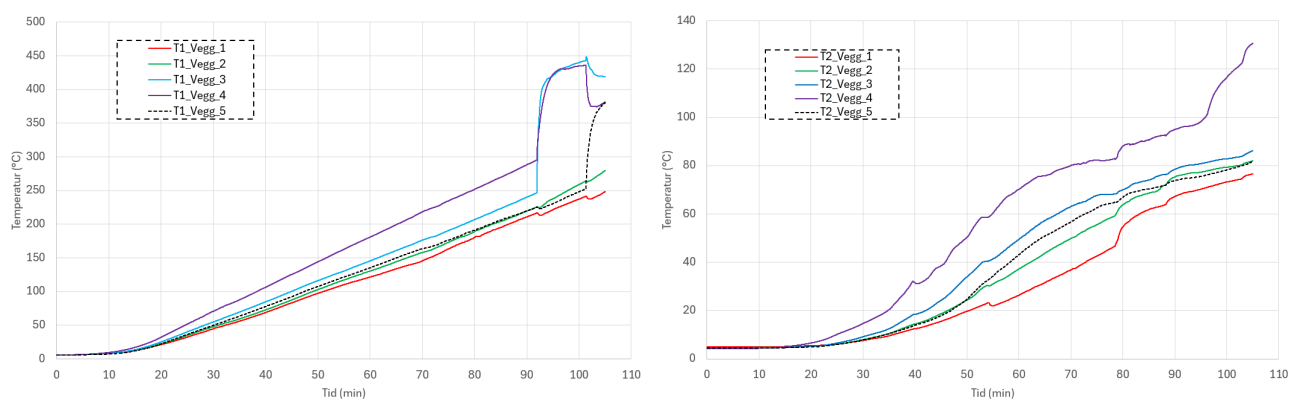
Figur 4.14 Skisse som viser instrumentering av trekkefum 2b.

4.2.2 Resultater

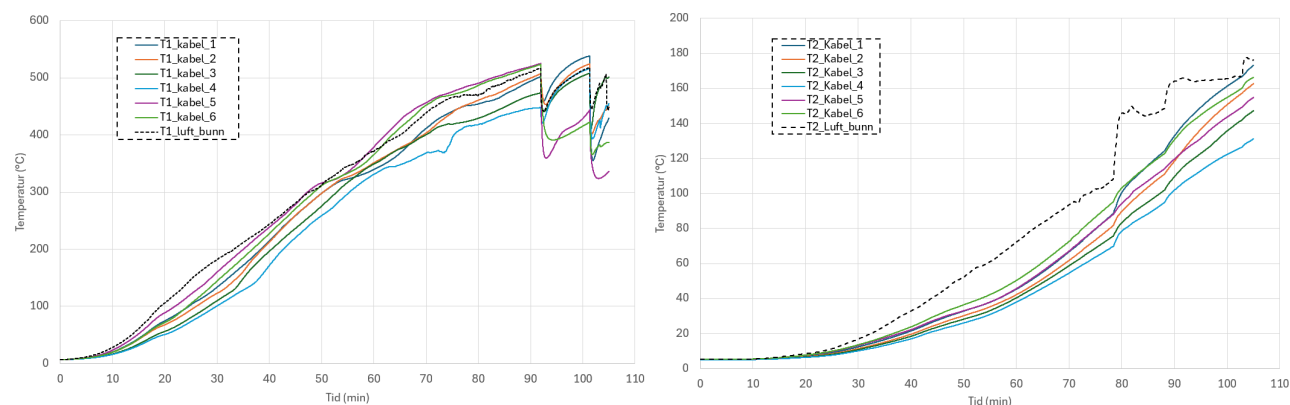
Resultatene fra begge trekkekummene blir presentert ved siden av hverandre for sammenligning.



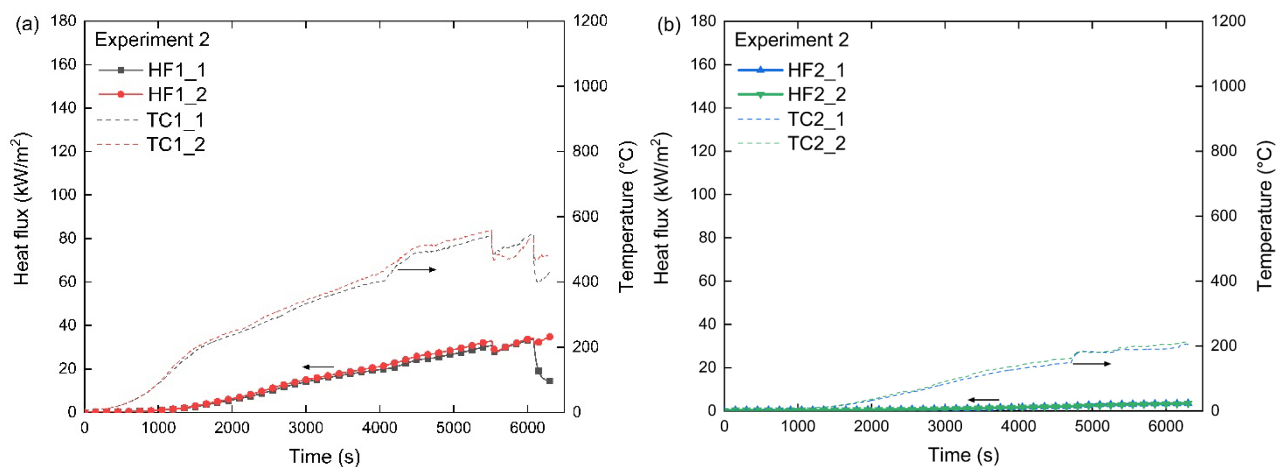
Figur 4.15 Temperaturer i og under lokket for trekkekkum 2a (venstre) og 2b (høyre). Merk at T1_luft_lokk_2 i venstre graf bør sees bort i fra siden denne sannsynligvis var defekt. T2_luft_isolasjon 1 og 2 i høyre graf måler temperaturen under isolasjonsplaten i trekkekkum 2b.



Figur 4.16 Temperaturer på veggen av trekkekkum 2a (venstre) og 2b (høyre).

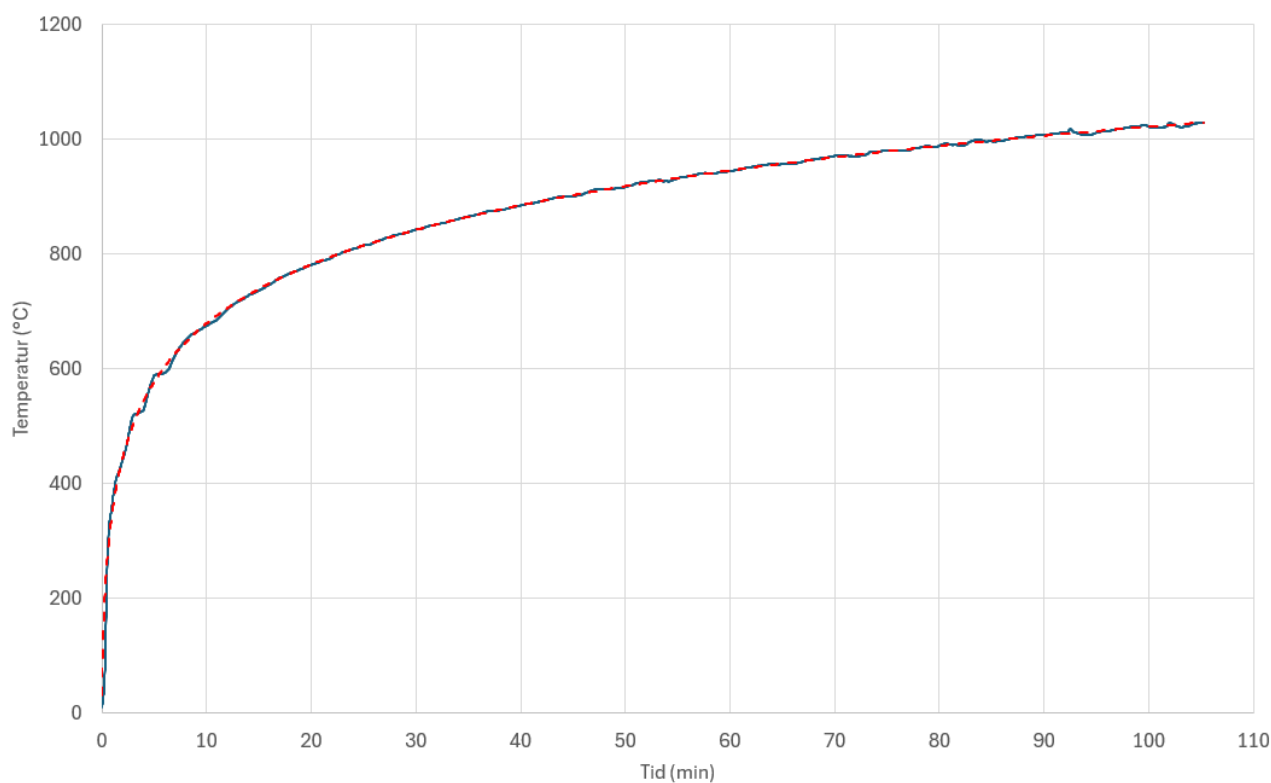


Figur 4.17 Temperatur 10 cm over bakken nede i kummene (stiplet linje) og temperaturen på overflaten av kablene i trekkekkum 2a (venstre) og 2b (høyre).

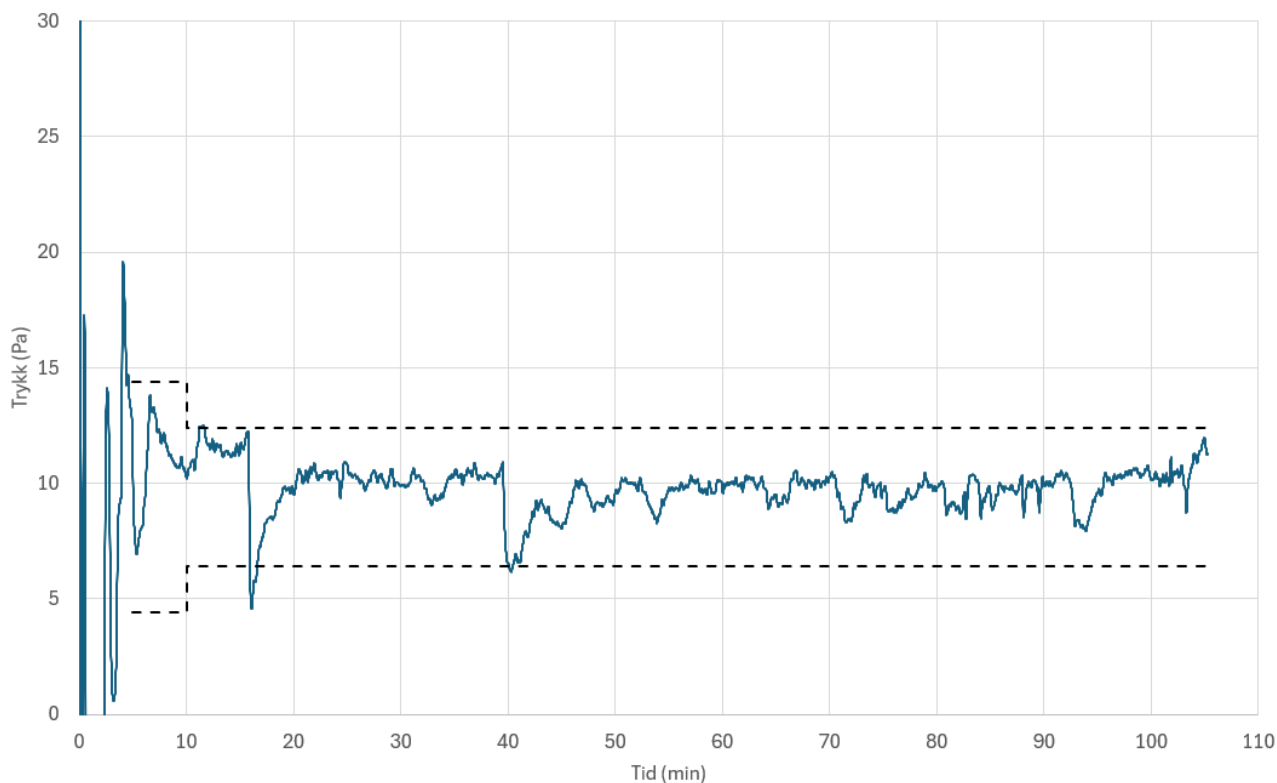


Figur 4.18 Varmestråling ned mot kablene beregnet ut fra målingene fra platetermoelementene i hhv. trekkeum 2a (venstre) og 2b (høyre). Se info om beregning av verdiene i Vedlegg B.

4.2.3 Ovnnsdata



Figur 4.19 Ovnstemperatur under test 2 sammen med standard tid-/temperaturkurve i EN 1363-1:2020.



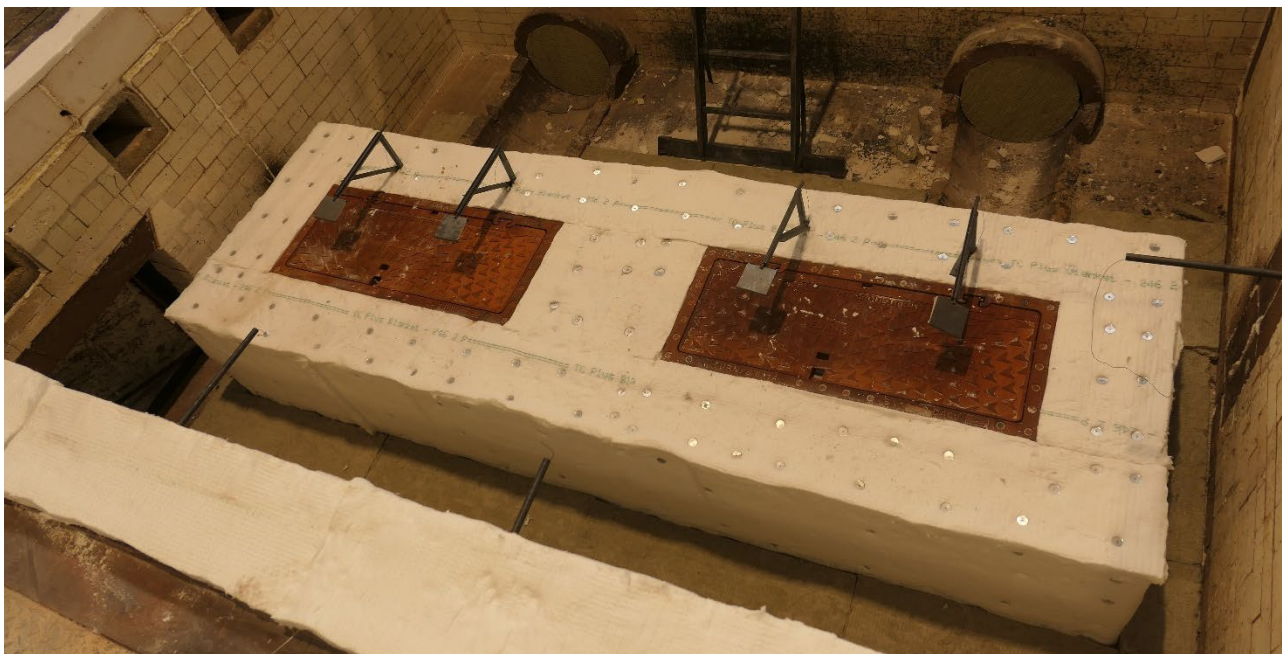
Figur 4.20 Ovnstrykk under test 2. Tilsiktet trykk var 9,4 Pa. Toleranser er fra EN 1363-1:2020.

4.3 Test 3

Test 3 bestod av 2 stk. TK2 – tunnel med støpejernslokk fra Furnes, se Figur 4.21 og Figur 4.22. Forskjellen mellom trekkekummene var at de ble testet med ulik isolasjonstykkelse. Trekkekum 3a ble testet med 50 mm og trekkekum 3b ble testet med 2 isolasjonsplater med tykkelse på 50 mm, som ga en total isolasjonstykkelse på 100 mm. Isolasjonen for begge testene var av typen Rockwool markplate (Artikkelnummer: 30674931) som ble lagt 2-3 cm under nedre kant av skjørtet på rammen til lokket. Isolasjonsplaten ble lagt på en ramme som ble plassert ned i trekkekummen.



Figur 4.21 Fotografi av trekkekum 3a (venstre) og 3b (høyre) før de ble isolert utvendig.

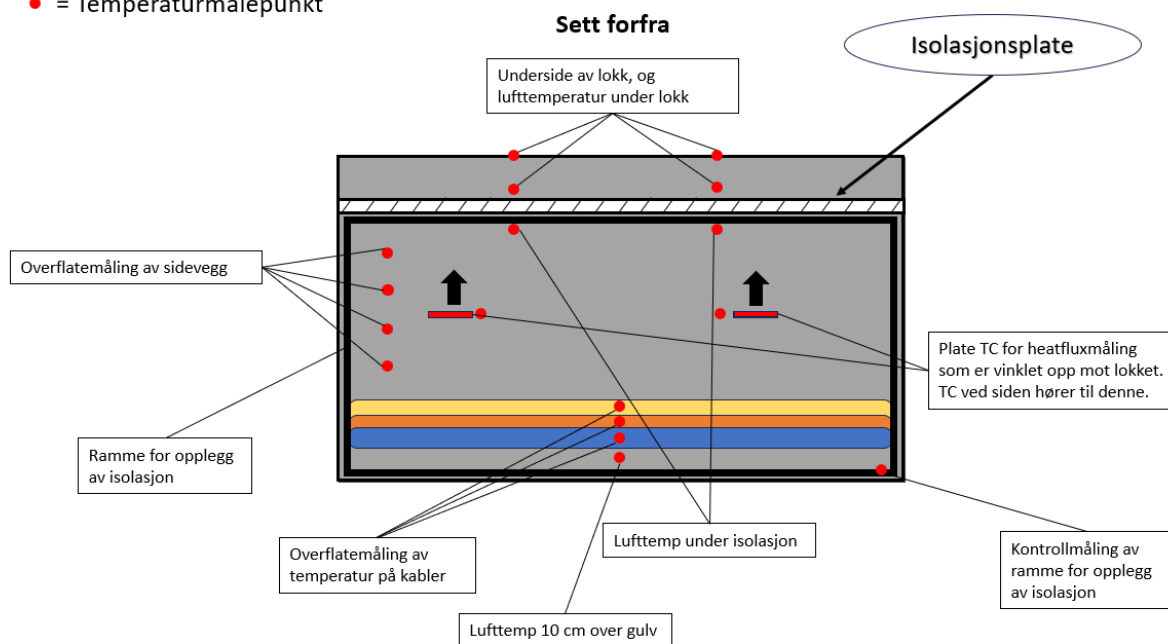


Figur 4.22 Fotografi av trekkekum 3a (venstre) og 3b (høyre) etter utvendig isolasjon er montert.

4.3.1 Instrumentering

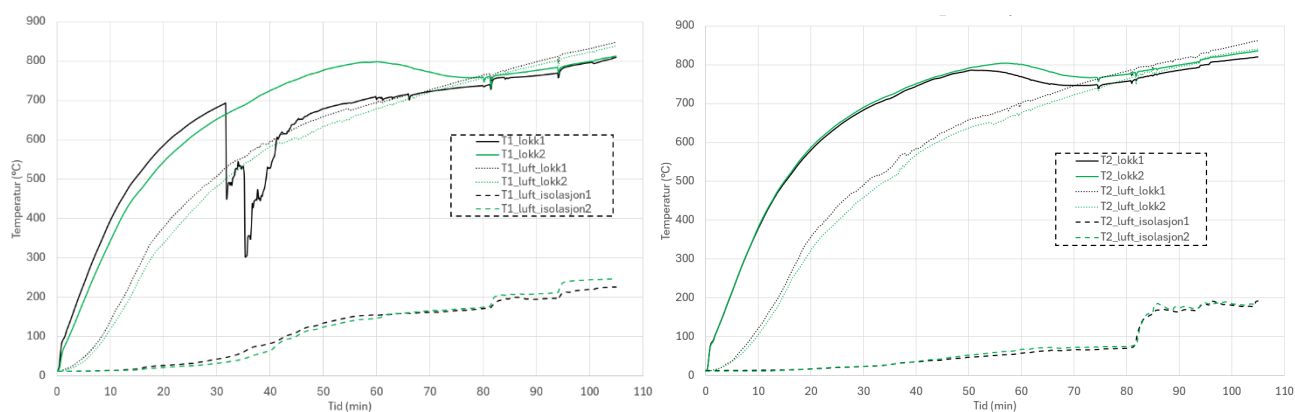
Både trekkefum 3a og 3b ble instrumentert identisk, siden den eneste forskjellen var isolasjonstykkelsen, se Figur 4.23 og Vedlegg A som inneholder instrumentliste med forklaringer.

- = Platetermoelement (heat flux)
- = Temperaturmålepunkt

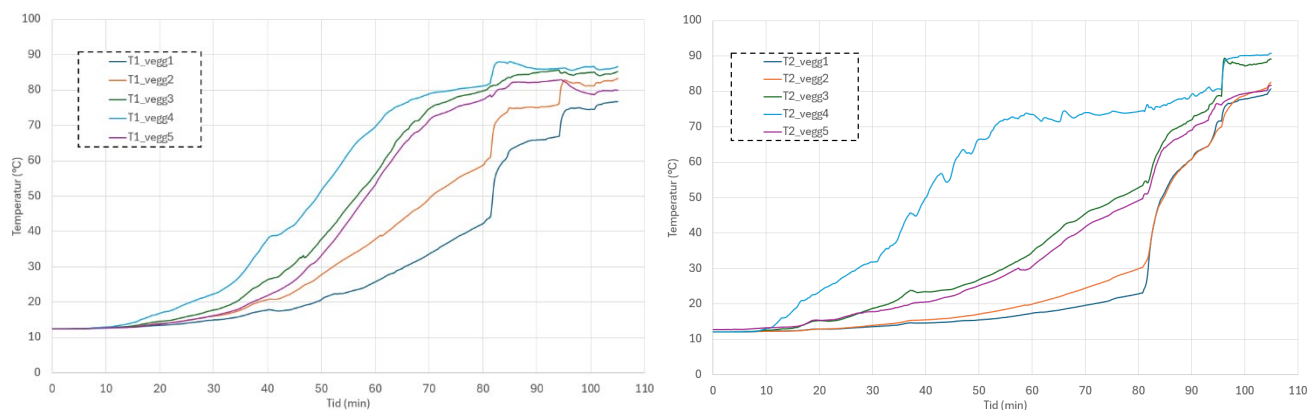


Figur 4.23 Skisse som viser plassering av instrumenter i test 3.

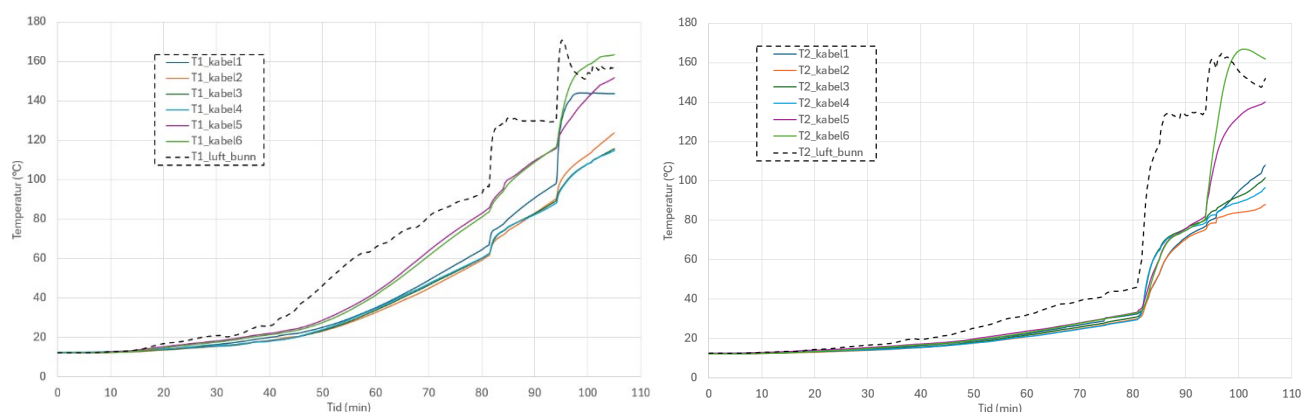
4.3.2 Resultater



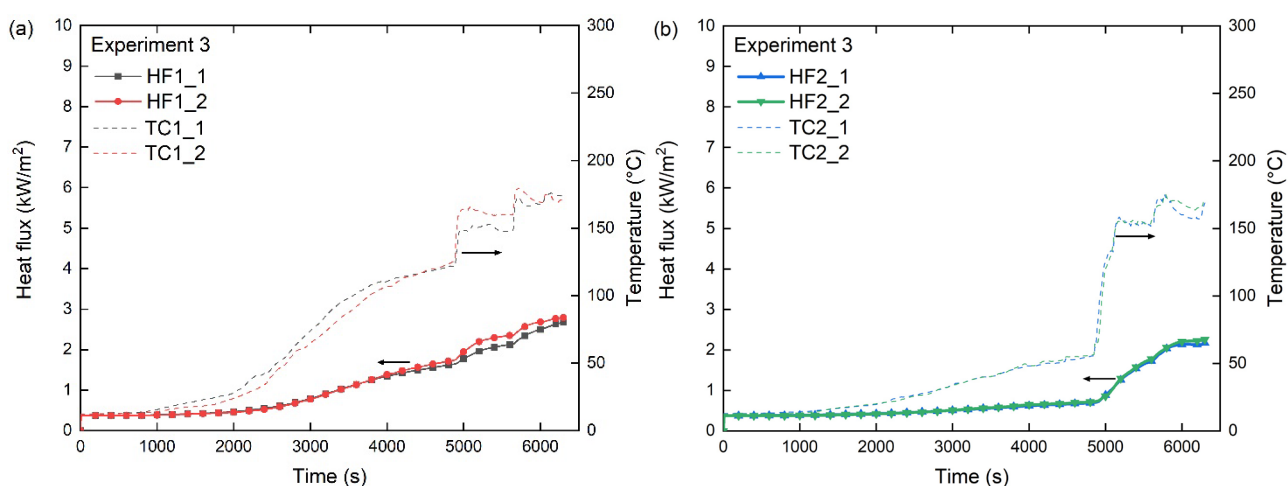
Figur 4.24 Temperaturer i og under lokket for trekkefum 3a (venstre) og 3b (høyre). Merk at T1_lokk_1 i venstre graf har sannsynligvis løsnet fra lokket under test. T1_luft_isolasjon 1 og 2 og T2_luft_isolasjon 1 og 2 måler temperaturen under isolasjonsplaten i trekkefumene.



Figur 4.26 Temperaturer på veggene av trekkeum 3a (venstre) og 3b (høyre).

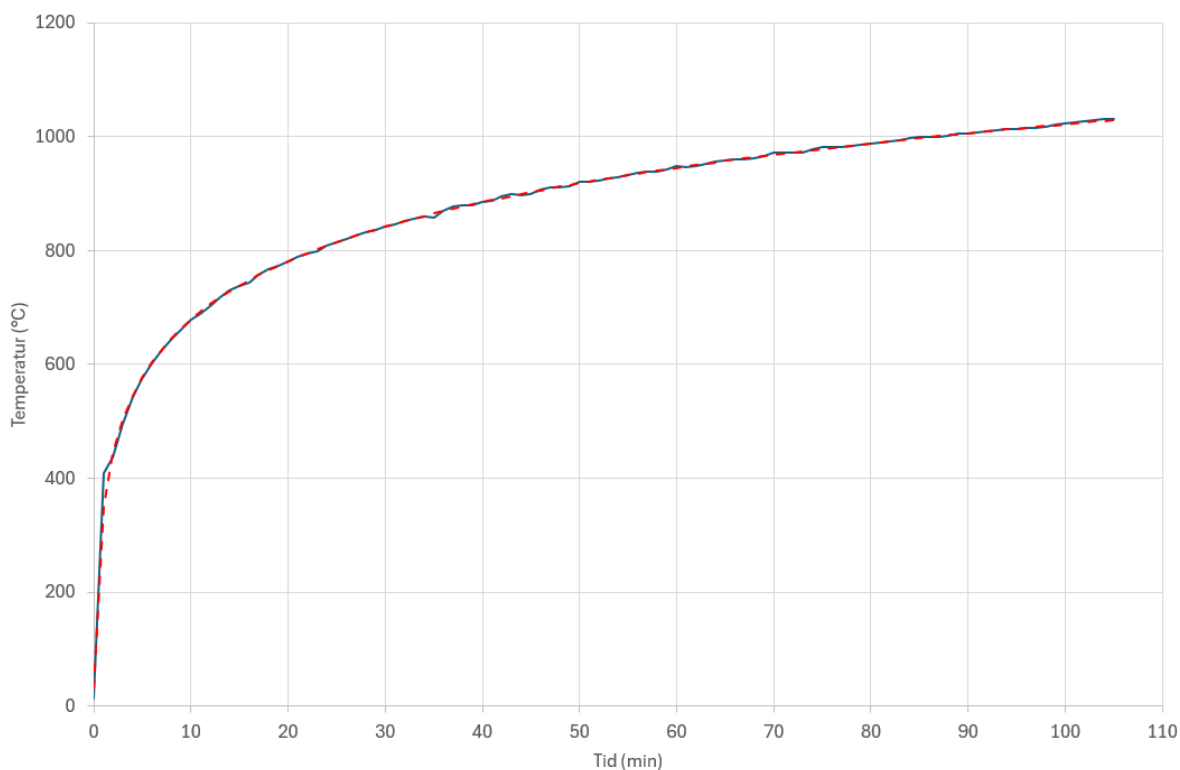


Figur 4.25 Temperatur 10 cm over bakken nede i kummene (stiplet linje) og temperaturen på overflaten av kablene i trekkeum 3a (venstre) og 3b (høyre).

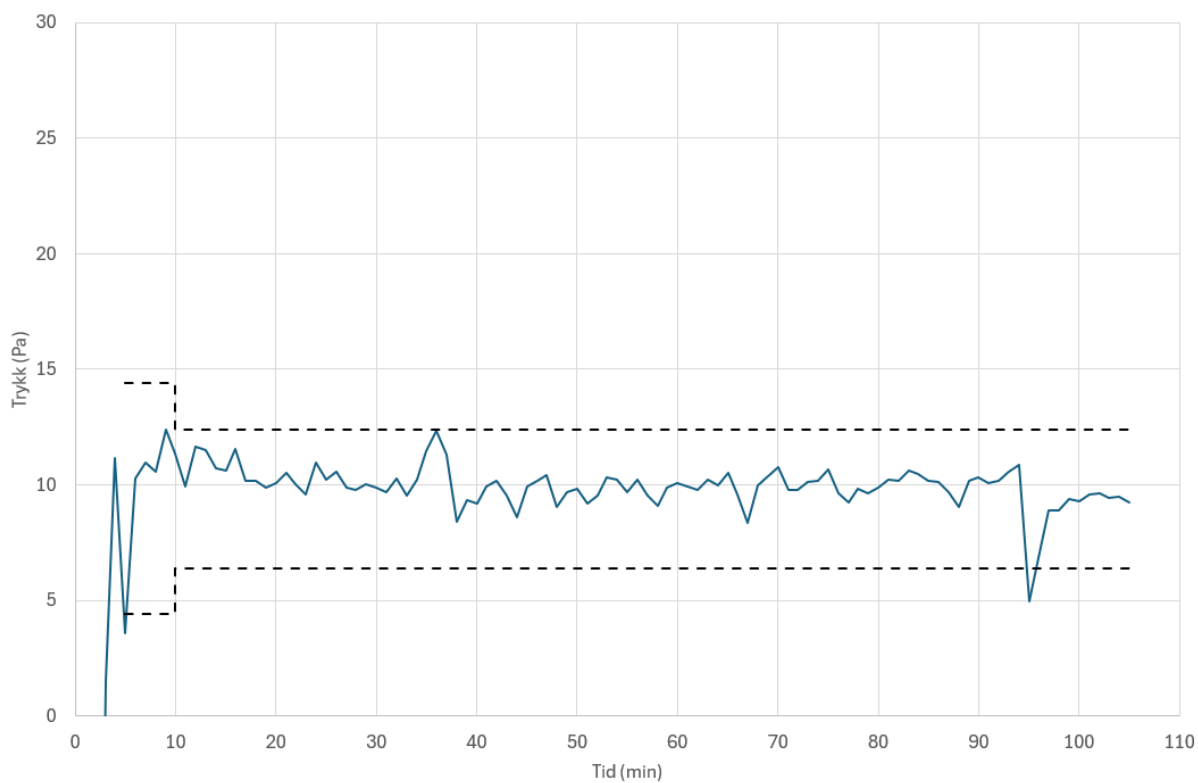


Figur 4.27 Varmestråling ned mot kablene beregnet ut fra målingene fra platetermoelementene i hhv. trekkeum 3a (venstre) og 3b (høyre). Se info om beregning av verdiene i Vedlegg B.

4.3.3 Ovnstestdata



Figur 4.28 Ovnstemperatur under test 3 sammen med standard tid-/temperaturkurve i EN 1363-1:2020.

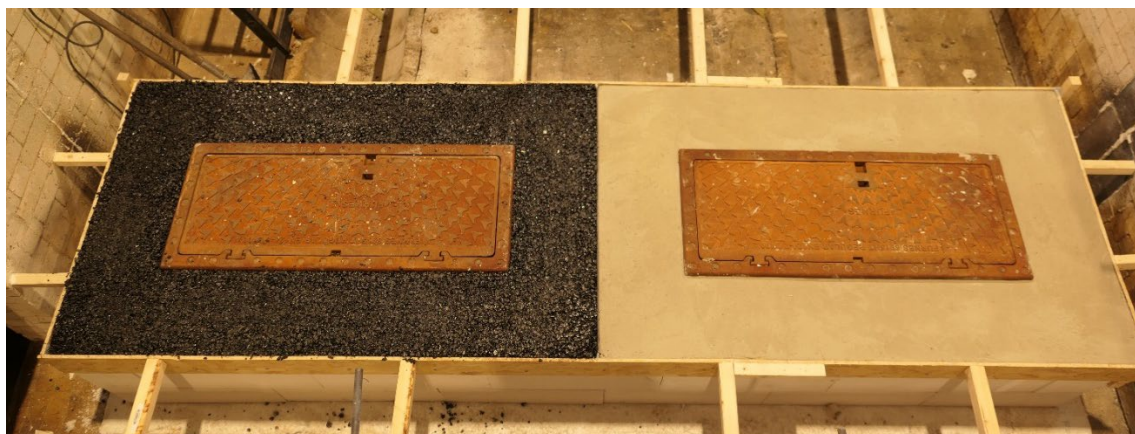


Figur 4.29 Ovnstrykk under test 3. Tilsiktet trykk var 9,4 Pa. Toleranser er fra EN 1363-1:2020.

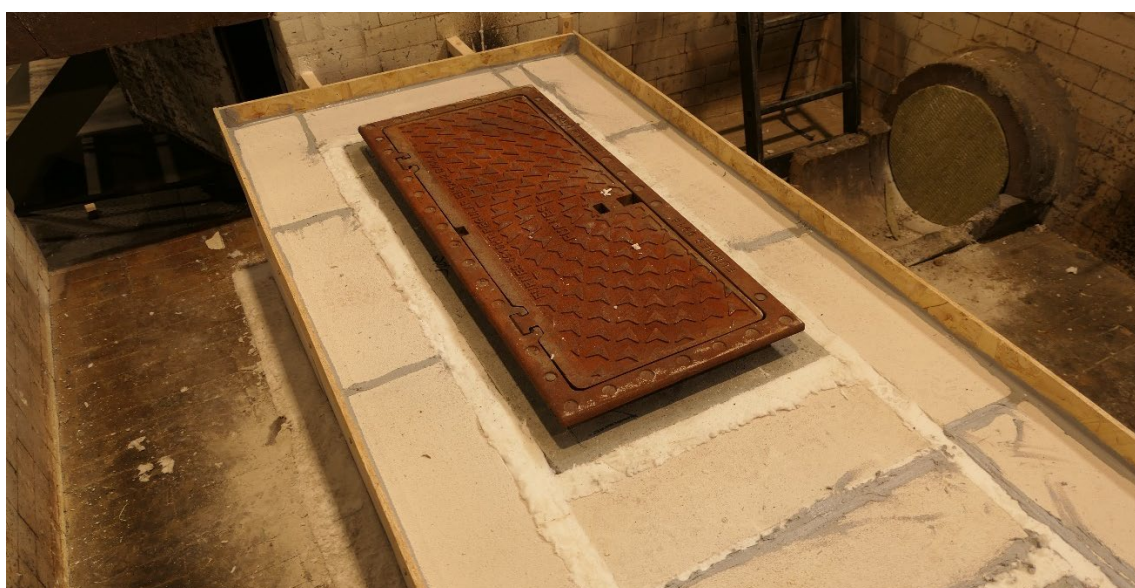
4.4 Test 4

Test 4 bestod av 2 stk. TK2 – tunnel med støpejernslokk fra Furnes, se Figur 4.30. I henhold til oppdragsgiver viste resultatene fra test 3 tilstrekkelig gode resultater, så oppdragsgiver ønsket å gjennomføre en så realistisk test som mulig, for å eliminere eventuelle feilkilder. Det ble derfor lagt asfalt (6 cm tykkelse, type AGB 16) rundt trekkekum 4a for å simulere at trekkekummen er senket ned i veibanen. Rundt trekkekum 4b ble det støpt betong (5 cm tykkelse, type B55) for å simulere at trekkekummen var senket ned i banketten. Asfalten herdet i 45 timer, og betongen herdet i 52 timer.

Utover asfalt- og betonglaget som ble lagt på toppen, var ytre isolering og plassering av isolasjon inne i trekkekummen den samme som for trekkekum 3b. Trekkekum 4a og 4b ble testet med 2 isolasjonsplater med tykkelse på 50 mm, som ga en total isolasjonstykkelse på 100 mm. Isolasjonen for begge testene var av typen Rockwool markplate (Artikkelnummer: 30674931) som ble lagt 2-3 cm under nedre kant av skjørtet på rammen til lokket. Isolasjonsplaten ble lagt på en ramme som ble plassert ned i trekkekummen.



Figur 4.30 Fotografi av trekkekum 4a (venstre) og 4b (høyre) mens asfalten og betongen herder. Treverket som støttet konstruksjonen ble tatt vekk før teststart.

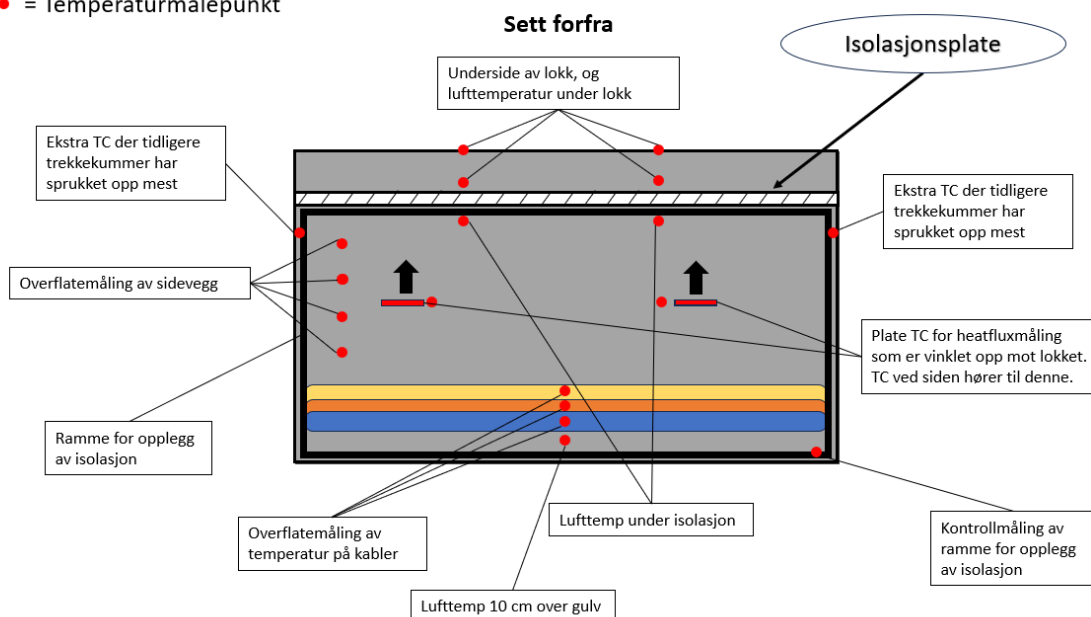


Figur 4.31 Fotografi av trekkekum 4a før asfaltlaget ble lagt på.

4.4.1 Instrumentering

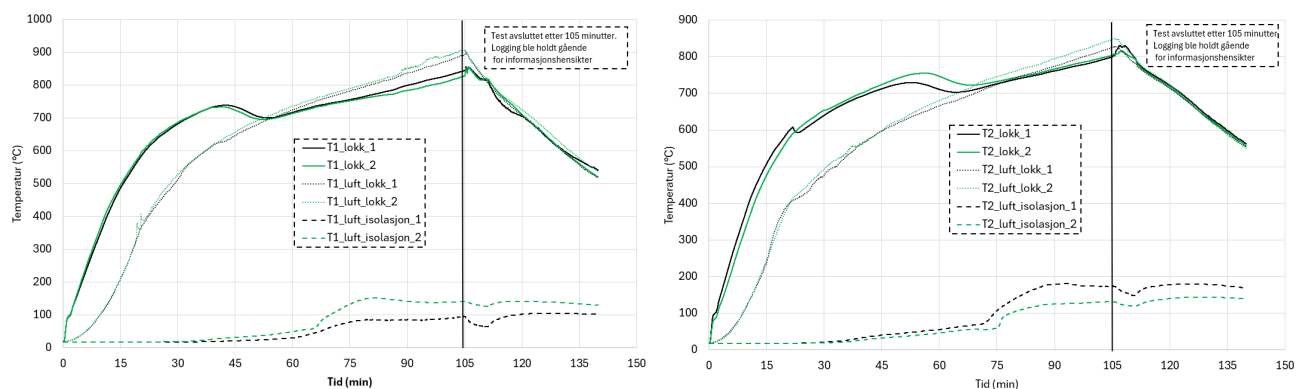
Både trekkefum 4a og 4b ble instrumentert identisk, siden den eneste forskjellen var isolasjonstykkelsen, se Figur 4.23 og Vedlegg A som inneholder instrumentliste med forklaringer.

- = Platetermoelement (heat flux)
- = Temperaturmålepunkt

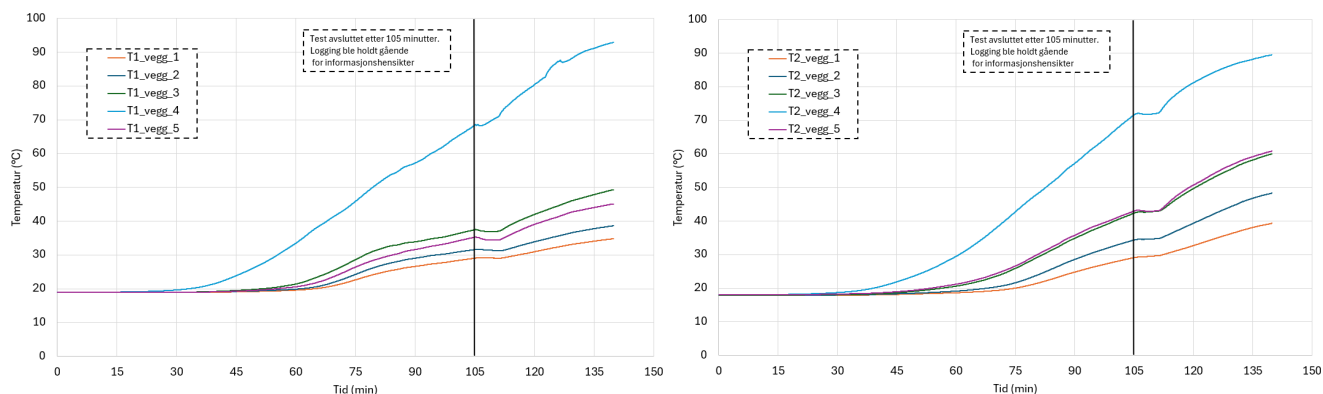


Figur 4.32 Skisse som viser instrumentering av trekkefum 4a og 4b.

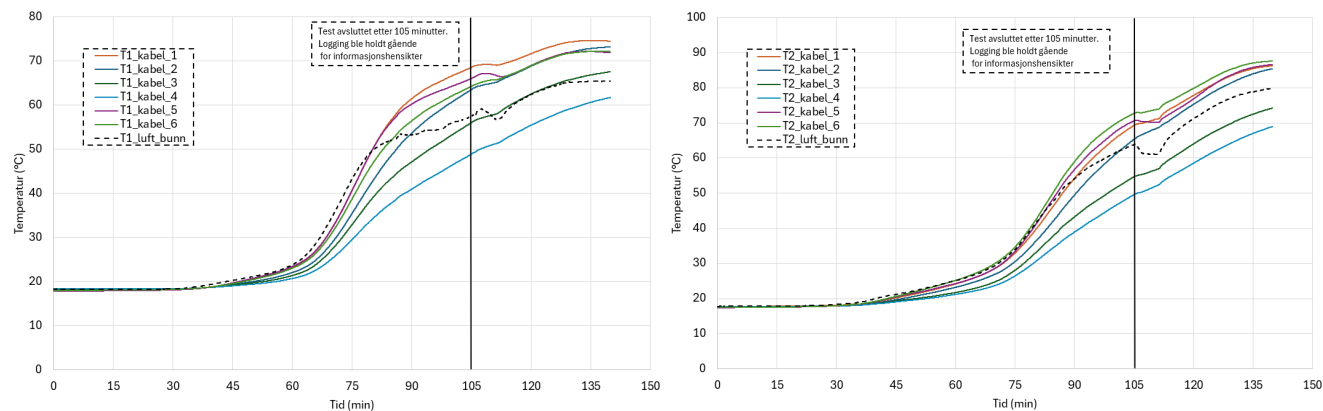
4.4.2 Resultater



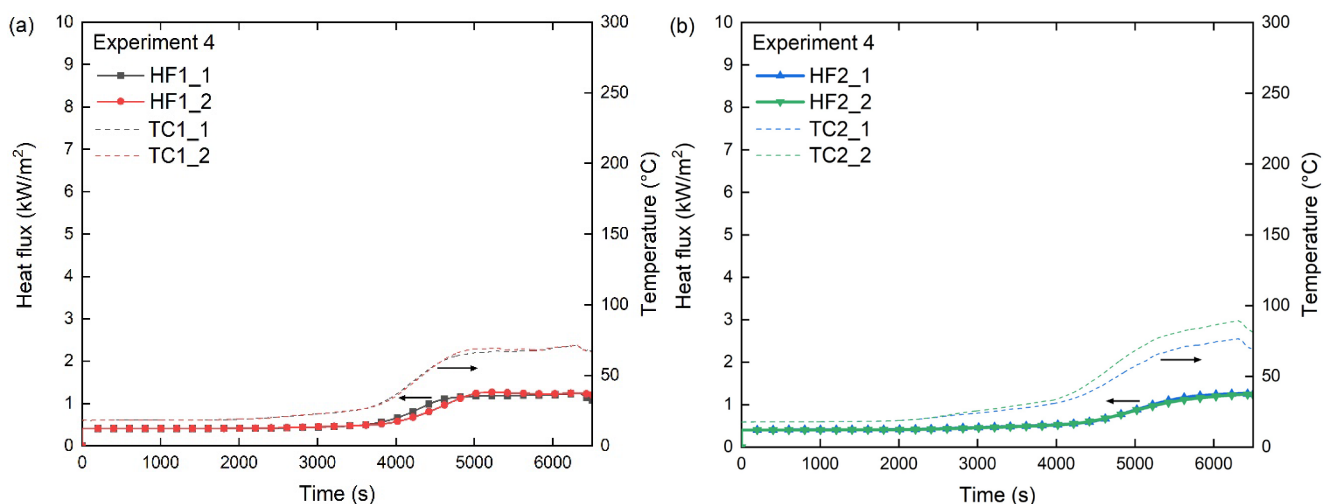
Figur 4.33 Temperaturer i og under lokket for trekkefum 4a (venstre) og 4b (høyre). Merk at T1_lokk_1 i venstre graf har sannsynligvis løsnet fra lokket under test. T1_luft_isolasjon 1 og 2 og T2_luft_isolasjon 1 og 2 måler temperaturen under isolasjonsplaten i trekkekummene.



Figur 4.34 Temperaturer på veggen av trekkekum 4a (venstre) og 4b (høyre).

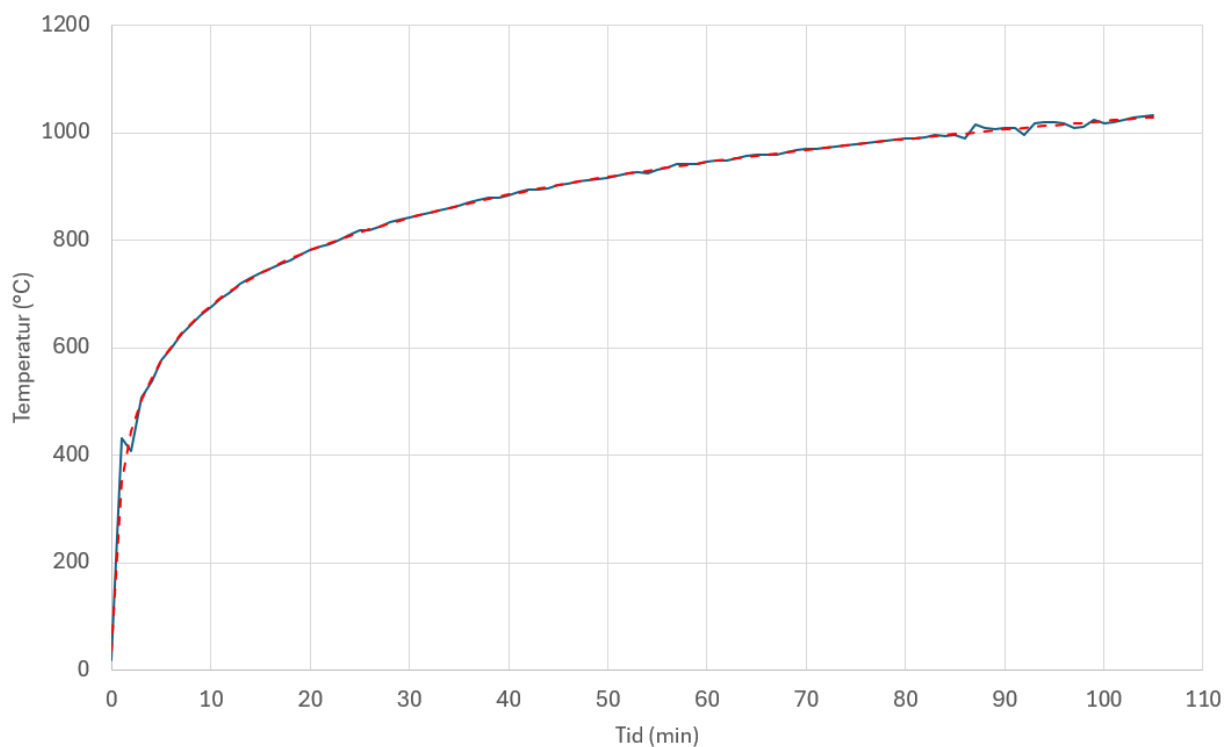


Figur 4.35 Temperatur 10 cm over bakken nede i kummene (stiplet linje) og temperaturen på overflaten av kablene i trekkekum 4a (venstre) og 4b (høyre).

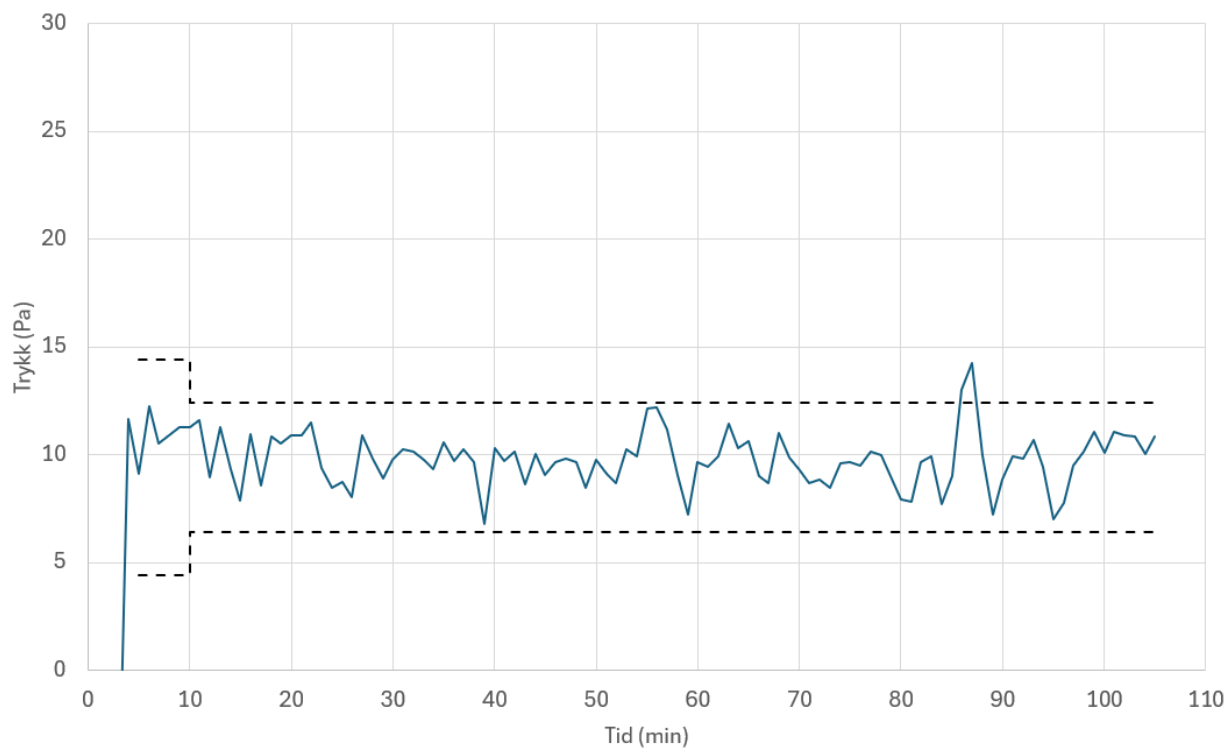


Figur 4.36 Varmestraling ned mot kablene beregnet ut fra målingene fra platetermoelementene i hhv. trekkekum 4a (venstre) og 4b (høyre). Se info om beregning av verdiene i Vedlegg B.

4.4.3 Ovnsdata



Figur 4.37 Ovnstemperatur under test 4 sammen med standard tid-/temperaturkurve i EN 1363-1:2020.



Figur 4.38 Ovnstrykk under test 4. Tilsiktet trykk var 9,4 Pa. Toleranser er fra EN 1363-1:2020.

Vedlegg A. Instrumentliste

Det var noe forskjell på instrumenteringen i de 8 trekkekummene som er testet, men alle hadde en lik hovedbase av instrumenter, som kan sees i Tabell 4.

Tabell 4 Instrumentliste som inkludere hovedbasen av instrumentene som ble brukt hver test.

TC - Navn	Beskrivelse
T_Vegg_1	Overflate vegg - nederst
T_Vegg_2	Overflate vegg - midten nederst
T_Vegg_3	Overflate vegg - midten øverst.
T_Vegg_4	Overflate vegg - øverst
T_Vegg_5	Overflate motsatt vegg - midten øverst
T_Lokk_1	Overflatetemp underside av lokk
T_Lokk_2	Overflatetemp underside av lokk
T_Kabel_1	Overflatetemperatur signalkabel, klasse 2 (IFSI-EMC 1kV)
T_Kabel_2	Overflatetemperatur signalkabel, klasse 3 (BFSI-EMC 0,6/1kV)
T_Kabel_3	Overflatetemperatur kraftkabel, klasse 2 (IFSI Easy 1kV)
T_Kabel_4	Overflatetemperatur kraftkabel, klasse 3 (BFSI 0,6/1 kV)
T_Kabel_5	Overflatetemperatur fiberkabel, klasse 2 (G48 G652D/G657A1 QXXI SLIM CT)
T_Kabel_6	Overflatetemperatur fiberkabel, klasse 3 (Draka 1/0 CT CST LSHF-FR C1)
T_Luft_lokk_1	Lufttemp i trekkekum under lokk.
T_Luft_lokk_2	Lufttemp i trekkekum under lokk.
T_PTC_1	Varmestrålingsmåler vendt mot lokk.
T_PTC_1_air	Lufttempmåling ved siden av PTC_1.
T_PTC_2	Varmestrålingsmåler vendt mot lokk.
T_PTC_2_air	Lufttempmåling ved siden av PTC_2.
T_Luft_bunn	Lufttemp i trekkekum 10 cm over bunn.
T_RISE_langside_1	Målepunkt for verifisering
T_RISE_langside_2	Målepunkt for verifisering
T_RISE_kortside	Målepunkt for verifisering

Trekkekum 2b, 3a, 3b, 4a og 4b hadde noen tilleggsinstrumenter for å plukke opp ekstra data. Disse er presentert i Tabell 5.

Tabell 5 Tilleggsinstrumenter brukt i noen av testene.

TC - Navn	Beskrivelse	Kommentar
T_Luft_isolasjon_1	Lufttemp i trekkekum under isolasjonsplate.	Brukt i 2b, 3a, 3b, 4a og 4b.
T_Luft_isolasjon_2	Lufttemp i trekkekum under isolasjonsplate.	Brukt i 2b, 3a, 3b, 4a og 4b.
T_Ramme	Festet til ramme ved siden av kabler.	Brukt i 2b, 3a, 3b, 4a og 4b.
T_vegg_K1	Overflate kortside 1 (midt på kortside)	Brukt i 4a og 4b.
T_Vegg_K2	Overflate kortside 2 (midt på andre kortside)	Brukt i 4a og 4b.

Vedlegg B. Beregning av varmestraling

The incident radiation heat flux can be obtained through the equation [1,2]:

$$q_{inc} = \sigma T_{PTC}^4 + \frac{h + K}{\varepsilon} (T_{PTC} - T_g) + \frac{c\rho\delta}{\varepsilon} \frac{dT_{PTC}}{dt}$$

where ε is the emissivity of the PTC (0.9), σ is the Stefan-Boltzman constant ($5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}^4)$), T_{PTC} is the temperature of the PTC, T_g is the gas temperature, h is the convective heat transfer coefficient ($10 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$), K is the thermal conduction coefficient ($8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$), and δ is the thickness of the steel plate. The convective heat transfer coefficient can change under different external conditions. The gas temperature was approximated using the 1.5 mm TC close to the PTC.

In these tests, the radiation is found to be dominant and for simplicity, the incident heat flux is determined by:

$$q_{inc} = \sigma T_{PTC}^4$$

RISE Fire Research AS

Postadresse: P. O. Box 4767 Torgarden, 7465 Trondheim
Telefon: +47 464 18 000
E-post: post@risefr.no
Internett: www.risefr.no



Verification

Document ID 09222115557570860156

Document

Testrapport 20670-4 Branntester av trekkeklummer

Main document

28 pages

Initiated on 2026-02-24 14:00:02 CET (+0100) by Dag Olav Snersrud (DOS)

Finalised on 2026-02-24 14:56:55 CET (+0100)

Signatories

Dag Olav Snersrud (DOS)

dag.olav.snorsrud@risefr.no

+4795759810

Dag Olav Snersrud

Signed 2026-02-24 14:00:41 CET (+0100)

Robert Olofsson (RO)

RISE Fire Research

robert.olofsson@risefr.no

Robert Olofsson

Signed 2026-02-24 14:56:55 CET (+0100)

This verification was issued by Scrive. For more information/evidence about this document see the concealed attachments. Use a PDF-reader such as Adobe Reader that can show concealed attachments to view the attachments. Please observe that if the document is printed, the integrity of such printed copy cannot be verified as per the below and that a basic print-out lacks the contents of the concealed attachments. The digital signature (electronic seal) ensures that the integrity of this document, including the concealed attachments, can be proven mathematically and independently of Scrive. For your convenience Scrive also provides a service that enables you to automatically verify the document's integrity at: <https://scrive.com/verify>



Vedlegg 2 Litteraturstudie av RISE Fire Research

Tittel: A literature study on time-temperature developement in tunnel fires

Forfatter: Lei Jiang



Literature study

A literature study on time-temperature development in tunnel fires

Author:

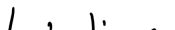
Lei Jiang

A literature study on time-temperature development in tunnel fires

VERSION 1	DATE 2023-09-21
AUTHOR(S) Lei Jiang	
CLIENT(S) Norconsult	CLIENT'S REF. Dag Fjeldberg
PROJECT NO. 20670	NO. PAGES AND APPENDICES: 10

SUMMARY:
The gas temperature beneath the ceiling has been a key parameter in tunnel fire studies, while the floor level temperatures have often been overlooked. The 2003 Runehamer tunnel fire tests demonstrated that the standard ISO 834-1 curve tends to underestimate the temperature increase beneath the ceiling. Instead, a more accurate representation of temperature rise could be achieved by using the hydrocarbon (HC) curve and the RWS curve.

Literature on the floor level temperature in a tunnel fire is limited. However, studies show that the temperature rise close to the ground is lower compared to those near the ceiling. Consequently, it is anticipated that the thermal load experienced by the floor in the tunnel is likely to be less intense than that encountered near the ceiling.

PREPARED BY Lei Jiang		SIGNATURE 
APPROVED BY Kemal Sarp Arsava		SIGNATURE 
REPORT NO. 20670	CLASSIFICATION Restricted	CLASSIFICATION THIS PAGE Restricted

History

VERSION	DATE	VERSION DESCRIPTION
1	2023-09-21	First version.

Contents

1 Introduction	5
1.1 Objectives	6
1.2 Limitations	6
2 Literature review	7
2.1 Maximum temperature beneath the ceiling	7
2.2 Temperature at a lower level	8
3 Conclusions	11
Bibliography	12

1 Introduction

In road tunnels, it is common to find cables buried underground along the sides of the tunnel beneath the road surface. One challenge of the setup is that the cables buried underground could be damaged in case of a large tunnel fire. Being protected by a basin, fire is unlikely to spread directly to the cables. However, high temperatures can impose a danger, particularly because many of these cables are covered with plastic coatings that can readily melt under extreme heat conditions. Due to the semi-closed structure, the temperature at the ceiling can rise up to over 1000 °C within 5 min upon a fire outbreak in a tunnel.

To study the fire resistance of the basin used in road tunnels in Norway, fire tests are planned in the test lab at RISE Fire Research. In fire resistance tests, one important input is the time-temperature curve in the furnace. Widely used standard curves include ISO 834-1 [1], EN 1363-2 [2] for hydrocarbon (HC) fire, and Rijkswaterstaat (RWS) [3] for fire in road tunnels. These three curves are shown together in Figure 1. There are also other curves available, such as BART curve [4], which includes a cooling process.

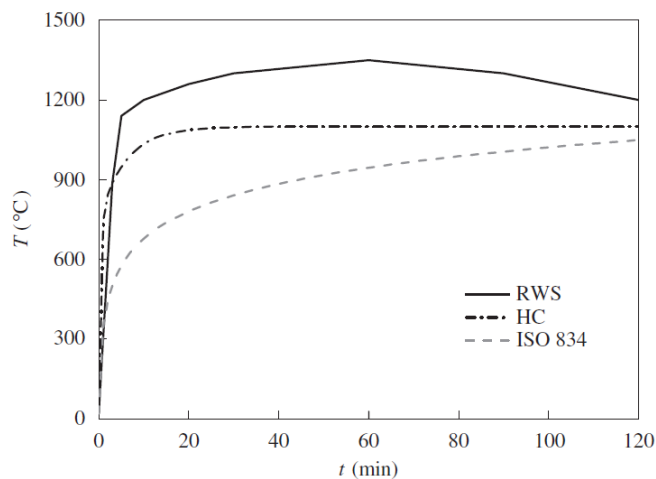


Figure 1. RWS, HC and ISO 834 standardized time-temperature curves to test the tunnel linings in the furnace [5].

The ISO 834-1 curve is derived from the burning rate of typical building materials and contents. However, in the context of fires within the petrochemical industry, where the combustion rate of materials like petrol gas or chemicals is substantially higher, a more specialized curve known as the hydrocarbon (HC) curve (defined in EN 1363-2) has been developed to better represent these scenarios. A modified hydrocarbon (MHC) curve is further developed by the French regulation, with the maximum temperature reaching 1300 °C. The RWS curve is developed by Rijkswaterstaat, Ministry of Transport in the Netherlands. It assumes the occurrence of a 50 m³ fuel, oil, or petrol tanker fire with a substantial fire load of 300 MW, which persists for 120 minutes. Compared with ISO 834-

1 curve, HC and RWS curves suggest a much faster temperature rise at the beginning, as well as a much higher temperature during the test.

PIARC (World Road Association), as well as ITA (International Tunneling Association), recommends the use of the ISO 834 curve (60 min) for cars and vans and the RWS curve or the modified HC curve (HCM, 120 min) for trucks and tankers [5].

In modern fire tests, elements are expected to be tested in a condition close to the end use. The standardized curves that are developed based on the ceiling temperature may not be suitable to represent the temperature at the floor level. A literature study is therefore needed to investigate which standard time-temperature curve should be used and if there are other curves that can be more representative of the end use.

1.1 Objectives

The aim of this literature review is to identify an appropriate time-temperature curve that accurately reflects floor level temperatures during a tunnel fire. This curve will be used in furnace tests to assess the heat resistance of cable protection cases.

1.2 Limitations

This study aims to find a time-temperature curve that can best represent the thermal load on a basin buried underground in a tunnel. Due to limited studies available, reference has to be made to the temperature rise beneath the ceiling, which is a well-investigated parameter in tunnel fire studies. The focus is on providing information for the fire resistance test, rather than studying a specific fire scenario.

2 Literature review

Gas temperature is of great importance for the assessment of heat exposure to tunnel users and tunnel structures. In a large tunnel fire, the flame impinges the ceiling and then extends along the tunnel ceiling [6]. The tunnel elements at the ceiling level undergo the worst condition, while the condition for elements on the side walls and on the floor is usually less severe. In tunnel fire study, the maximum ceiling gas temperature has been a key topic and the results provide the worst-case scenario for tunnel elements exposure. Due to limited studies available on the temperature at floor level, the temperature beneath the ceiling is first presented for reference, followed by the discussion of temperature at a lower level.

2.1 Maximum temperature beneath the ceiling

The maximum temperature beneath the ceiling during a tunnel fire has been under extensive investigation [5,7]. This temperature is related to fire heat release rate (HRR), fire source geometry, tunnel height and also the ventilation velocity (V , m/s) when the ventilation flow is large, as presented in Li et al. [7]:

$$\Delta T_{max} = \begin{cases} 17.5 \frac{Q^{2/3}}{H_{ef}^{5/3}}, & V' \leq 0.19 \\ \frac{Q}{V b_{fo}^{1/3} H_{ef}^{5/3}}, & V' > 0.19 \end{cases}$$

where Q is fire HRR (kW), H_{ef} is the effective tunnel height (the vertical distance between the bottom of the fire source and the tunnel ceiling, m), b_{fo} is the radius of the fire source (m), $V' = V / \left(\frac{gQ}{b_{fo} \rho_0 c_p T_0} \right)^{1/3}$, ρ_0, c_p, T_0 is the ambient air density (kg/m³), heat capacity (kJ/kg·K) and ambient temperature (K), respectively. For a large fire when the flame impinges on the ceiling and crawls along the tunnel ceiling, it is found that the maximum excess gas temperature beneath the ceiling approaches a constant value (1350 °C in the test), regardless of the ventilation velocity [5].

In the Runehamer tunnel fire tests carried out in 2003 [8,9], the gas temperatures measured 10 m downstream of the source (D10) beneath the ceiling were higher than those obtained in other similar large-scale test series conducted using solid materials, as shown in Figure 2. Runehamer tunnel is approximately 1600 m long, 6 m high and 9 m wide with a cross-section of about 47 m². The maximum HRR in the test was 202 MW and the fire source was wood pallets and plastic pallets, representing an HGV fire. The Runehamer temperature curve at the ceiling was best represented as a combination of the HC curve (fast increase) and the RWS curve (most intense fire and highest temperatures).

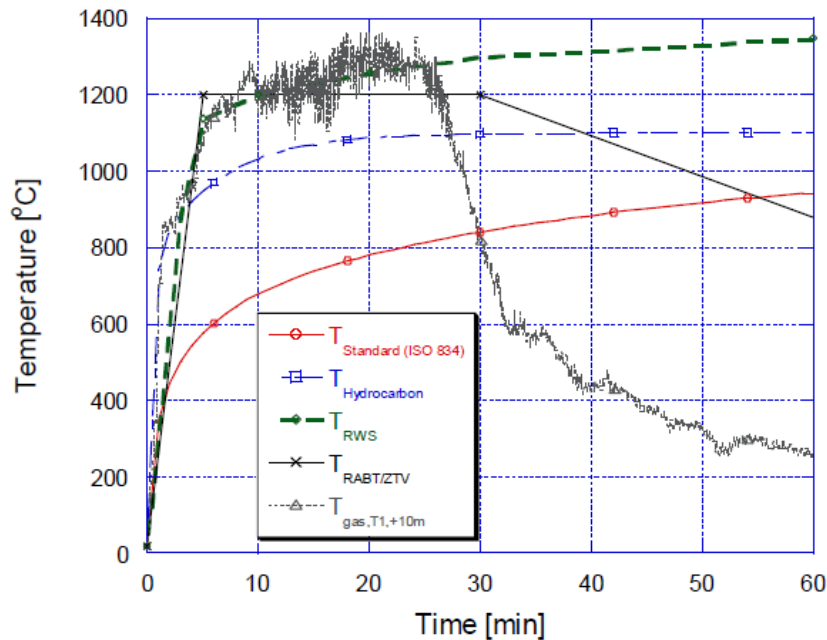


Figure 2. The gas temperatures 10 m downstream of the fire (D10) in Runehamer tunnel fire test T1, comparing with different fire temperature curves used for testing reaction of structures to heat exposure. Figure from Ingason et al. [8].

Hua et al. [10] quantified uncertainties in the time-temperature evolution of railway tunnel fire by literature study and numerical simulation of 540 fire scenarios. For high-intensity fires larger than 40 MW, the mean maximum ceiling temperature was 1007 °C. For low-intensity fires smaller than 30 MW, the mean maximum ceiling temperature was 245 °C.

In most tunnel fire tests, the fire source was simply simulated by the fixed wood stacks, rubber, or pool fires. In case of an oil tank truck leakage, the fire can easily spread along with the spreading oil, forming spill fires along the tunnel [11]. However, the study on the temperature near a spill fire site is limited.

2.2 Temperature at a lower level

While plenty of study can be found for the at the tunnel ceiling level, the temperature at a lower level or at the floor level near the fire, has instead received much less attention. In open fires, the radiation towards the floor surface nearby is usually not high. For fires inside a tunnel, the radiation from the ceiling and the side walls can add up to the radiation to the floor near the fire and result in a higher temperature.

In the Memorial Tunnel fire test conducted in 1995 [12], fires from 10 MW to 100 MW were studied. The 100 MW fire was equivalent to a flammable fuel spill feeding a pool about 45 m² in area. Memorial Tunnel is a two-lane tunnel about 853 m long and with a

cross-section of 36.2 m² (with ceiling) or 60.4 m² (without ceiling). The tunnel has a 3.2 percent upgrade from the south to the north tunnel portal. The fire source was fuel oil in oil pans. In one test with a fire size of 100 MW and backlayering controlled by longitudinal ventilation flow of 3 m/s, the temperature beneath the ceiling reached 1200 °F (649 °C) and the temperature close to the floor was 600 °F (315 °C).

Lemaire [13] further discussed the 2003 Runehamer tunnel fire tests and analyzed the heat fluxes close to the fire site. By converting the heat flux to the temperature of a black body radiating with the same flux as received by the wall, the radiation temperatures measured close to the fire 1 m above the floor at the side wall were compared with standard curves and the results are shown in Figure 3. The HHR in the four tests was from 70 MW to 260 MW. In all the tests, the thermal load on the wall exceeded the ISO 834 curve and the HC curve was more representative.

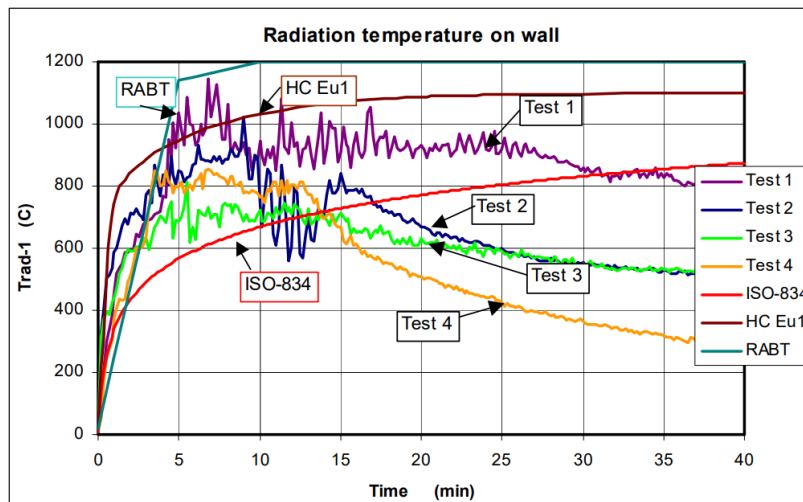


Figure 3. Radiation temperatures on the side wall 1 m above the floor for all tests measured at the fire source (D0, test 1, test 2, test 4) or 5 m downstream (D5, test 3) , figure from Lemaire [13].

In the Runehamer test carried out by RISE Fire Research in 2022, a 50 MW pool fire was studied. The pool had a size of 8.0 m (length) × 2.5 m (width) and was filled with 23 mm commercial diesel on a base of 60 mm water. The pool was placed on the left lane of the tunnel. The temperature close to the fire source was measured at 5 m downstream (from the pool centre), at several heights above the floor level at the left side and right side of the tunnel, as well as 6 m height above the floor level at the tunnel centre. Before water suppression at 2 min, the maximum temperature beneath the ceiling reached 700 °C and the temperature at 1.6 m height reached 150 °C. The temperature at the floor level was not measured but was expected to be even lower than 150 °C. After water suppression, the upper smoke layer was disrupted and the maximum temperature measured during the test was 800 °C, at 3.6 m height above the floor at the left side of the tunnel.

Liu et al. [14] conducted a series of pool fire tests in a full-scale tunnel. The tunnel was 52 m long, 3.2 m wide, and 3.2 m high that included a 1.6 m high vaulted ceiling. The fuels tested included sweet crude oil, high-sulfur crude oil and heavy naphtha. The oil pan was 0.25 m² or 0.5 m². The wind speed was from 1.2 m/s to 1.5 m/s. The maximum temperature measured 2 m downstream at 0.8 m height above the floor was about 150 °C, while the maximum temperature measured beneath the ceiling was 190 °C.

Shi et al. [15] studied the temperature rise around pool fires in a full-scale tunnel (52 m × 3.2 m × 3.2 m) and open space. The oil pan was 0.841 m × 0.595 m × 0.130 m. Temperature close to the fire source was measured at 2.5 m from the oil pan centre at 0.3 m above the floor. The maximum average temperature rise observed in the test was 78 °C for the fire in open space, while it was 18 °C inside the tunnel at downstream under the ventilation flow from 1.26 m/s to 1.56 m/s.

In tunnel fire studies, the temperature at the floor level close to the fire is usually not measured, since the maximum temperature is expected beneath the ceiling. Due to the effect of buoyancy, hot smoke tends to accumulate in the upper layer while the temperature in the lower layer is lower. The few studies in the literature suggest that the thermal load on the floor is not high, although the fire size in these studies is not large. The temperature at a lower level is expected to be lower than that beneath the ceiling, but further study is needed for a quantitative conclusion.

3 Conclusions

This literature study has shown that relatively little study can be found concerning temperature at floor level inside a tunnel.

In fire resistance tests for tunnel linings, standard time-temperature curves are usually used. The large-scale fire tests in Runehamer tunnel show that the temperature beneath the ceiling has a faster rise and a higher temperature than the standard ISO 834-1 curve, and the gas temperature is better modelled by the HC curve and the RWS curve.

Studies show that the temperature and heat flux at a low level or floor level is lower than that beneath the ceiling. Due to limited studies available, a time-temperature curve at the floor level close to a fire is not found. Nevertheless, the thermal load for the basin underneath the ground is expected to be smaller than that at the ceiling.

Bibliography

- [1] ISO 834-1, 'Fire-resistance tests — Elements of building construction — Part 1: General requirements'. International Organization for Standardization, 1999.
- [2] EN 1363-2, 'Fire resistance tests—Part 2: alternative and additional procedures'. European Committee for Standardization, 1999.
- [3] 'Beproeving van het gedrag bij verhitting van twee isolatie materialen ter bescherming van tunnels bij brand'. Instituut TNO voor Bouwmaterialen en Bouwconstructies, B-79-391, Delft, The Netherlands, 1979.
- [4] 'Richtlinien für Ausstattung und Betrieb von Tunneln (RABT)'. Forschungsgesellschaft für StraXen- und Verkehrswesen, 1985.
- [5] Y. Z. Li and H. Ingason, 'The maximum ceiling gas temperature in a large tunnel fire', *Fire Saf. J.*, vol. 48, pp. 38–48, Feb. 2012.
- [6] H. Ingason, Y. Z. Li, and A. Lönnemark, *Tunnel Fire Dynamics*. New York, NY: Springer New York, 2015.
- [7] Y. Z. Li, B. Lei, and H. Ingason, 'The maximum temperature of buoyancy-driven smoke flow beneath the ceiling in tunnel fires', *Fire Saf. J.*, vol. 46, no. 4, pp. 204–210, May. 2011.
- [8] H. Ingason, A. Lönnemark, and Y. Z. Li, *Runehammar Tunnel Fire Tests*, vol. SP Report 2011:55. SP Technical Research Institute of Sweden, 2011.
- [9] H. Ingason, Y. Z. Li, and A. Lönnemark, 'Runehammar tunnel fire tests', *Fire Saf. J.*, vol. 71, pp. 134–149, Jan. 2015.
- [10] N. Hua, A. Tessari, and N. Elhami-Khorasani, 'Quantifying Uncertainties in the Temperature–Time Evolution of Railway Tunnel Fires', *Fire Technol.*, vol. 57, no. 1, pp. 361–392, Jan. 2021.
- [11] J. Liu, D. Li, Z. Wang, and X. Chai, 'A state-of-the-art research progress and prospect of liquid fuel spill fires', *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 28, p. 101421, Dec. 2021.
- [12] 'Memorial Tunnel Fire Ventilation Test Program—Test Report', Massachusetts Highway Department and Federal Highway Administration, 1995.
- [13] T. Lemaire, 'Runehammar tunnel fire tests: radiation, fire spread and back layering', presented at the International Symposium on Catastrophic Tunnel Fires, Borås, Sweden, 2003.
- [14] W. Liu, L. Deng, S. Wu, C. Shi, and W. Hong, 'Experimental investigation of mass loss rate and spatial temperature distribution of the pool fire in tunnel', *Tunn. Undergr. Space Technol.*, vol. 129, p. 104688, Nov. 2022.
- [15] C. Shi, W. Liu, W. Hong, M. Zhong, and X. Zhang, 'A modified thermal radiation model with multiple factors for investigating temperature rise around pool fire', *J. Hazard. Mater.*, vol. 379, p. 120801, Nov. 2019.

Verification

Transaction 09222115557501161552

Document

Literature study Norconsult

Main document

12 pages

Initiated on 2023-09-21 19:36:39 CEST (+0200) by Lei Jiang (LJ)

Finalised on 2023-09-22 09:12:17 CEST (+0200)

Signatories

Lei Jiang (LJ)

lei.jiang@risefr.no



Signed 2023-09-21 19:38:22 CEST (+0200)

Kemal Sarp Arsava (KSA)

kemal.sarp.arsava@risefr.no



Signed 2023-09-22 09:12:17 CEST (+0200)

This verification was issued by Scrive. Information in italics has been safely verified by Scrive. For more information/evidence about this document see the concealed attachments. Use a PDF-reader such as Adobe Reader that can show concealed attachments to view the attachments. Please observe that if the document is printed, the integrity of such printed copy cannot be verified as per the below and that a basic print-out lacks the contents of the concealed attachments. The digital signature (electronic seal) ensures that the integrity of this document, including the concealed attachments, can be proven mathematically and independently of Scrive. For your convenience Scrive also provides a service that enables you to automatically verify the document's integrity at: <https://scrive.com/verify>





Statens vegvesen
Pb. 1010 Nordre Ål
2605 Lillehammer

Tlf: (+47) 22 07 30 00

firmapost@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Tryggere, enklere og grønnere reisehverdag