

Haukur Ingason  
Anders Lönnermark

**Sammanställning av  
Runehamar försöken**

SP Arbetsrapport 2004:33  
SP Brandteknik  
Borås 2004

## Abstract

The report contains a summary of the Runehammar fire tests, which SP Fire Technology, in conjunction with TNO from Holland and SINTEF in Norway, carried out in 2003. Four large-scale fire tests were performed in the Runehammar tunnel. The tunnel is located outside Åndalsnes in Norway and was abandoned road tunnel with a length of about 1600 m. A simulated HGV trailer was built in the tunnel, using steel racks on which were loaded pallets carrying various mixtures of cellulose products (wood, corrugated cardboard etc.) and plastics. In each case, plastics made up a little less than 20 % of the load. The concentrations of oxygen, carbon dioxide, and carbon monoxide were measured in order to calculate the heat release rate from the fire. The heat release rate of the first test (wooden and plastic pallets) exceeded 200 MW, i.e. about the same as the heat release rate from a tanker fire. This is a world record in terms of actual measured fire heat release rate in a tunnel. It is worth noting that the burning goods consisted of a mixture of wood and plastic, which can hardly be said to be an uncommon load mixture. In addition, the load was by no means extremely large, as HGV trailers can not only be longer but can also carry greater quantities.

Key words: Road tunnels, fire load, heat release rate, large scale tests

**SP Sveriges Provnings- och  
Forskningsinstitut**  
SP AR 2004:33  
Borås 2004

**SP Swedish National Testing and  
Research Institute**  
SP Technical Notes 2004:33

Postal address:  
Box 857,  
SE-501 15 BORÅS, Sweden  
Telephone: +46 33 16 50 00

Telefax: +46 33 13 55 02  
E-mail: info@sp.se

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Beskrivning av Runehamar försöken</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Resultat från Runehamar försöken</b>	<b>10</b>
3.1	Brandeffekt	10
3.2	Gastemperatur	10
3.3	Lufthastighet	12
3.4	Värmestrålning	14
<b>4</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Referenser</b>	<b>18</b>

## Förord

SP Brandteknik initierade och genomförde i samarbete med SPs systerorganisationer i Norge (SINTEF) och Holland (TNO) fullskaliga brandförsök i Runehamartunneln hösten 2003. BRANDFORSK var en av delfinansierarna för dessa försök. Andra finansiärer för Runehamarförsöken var Vägverket, Banverket, Räddningsverket och EU-kommissionen via EU-projektet UPTUN. Ett antal industriella sponsorer deltog i försöken. Dessa var PROMAT International och Gerco i Holland som närmast branden skyddade tunneltaket mot den höga värmebelastningen och B I G Innovation i Tyskland/Tempest i USA som medverkade med fläktar för att åstadkomma långsgående flöde i tunneln. Norska vägverket, som äger Runehamartunneln, bidrog genom att låna tunneln till försök och genom hjälp vid bedömning av rasrisker. Vi vill tacka alla dessa företag och institutioner för deras medverkan i Runehamarförsöken.

## Sammanfattning

Rapporten beskriver de fyra fullskaliga brandförsök som har genomfördes i Runehamartunneln 2003 på uppdrag av bl a BRANDFORSK. Tunneln bestod av ungefär 1600 m lång övergiven vägtunnel, vilken lämpade sig väl för att genomföra de aktuella försöken. I tunneln byggdes en simulerad långtradartrailer upp med hjälp av ställage i stål. På denna ställdes pallar med olika blandningar cellulosa (trä, wellpapp etc.) och plast. I samtliga fall var andelen plast knappt 20 %. De olika uppsättningarna av gods valdes för att representera olika typer av vanliga gods och även studera skillnader i brandeffektutveckling.

Trailerlasten var 10 m lång, 2,6 m bred och 4,5 m hög. Bredden och höjden motsvarar maximalt tillåtna mått medan verkliga trailers kan vara längre. Lasten var täckt med ett polyesterkapell. Uppställningen var placerad drygt 1 km från den östra tunnelmynningen. Vid denna mynning stod två mobila fläktar. Dessa gav tillsammans en lufthastighet på drygt 3 m/s genom tunneln. Fläktarna användes för att styra luftflödet och på det sättet gjorde det möjligt att mäta den avgivna brandeffekten. Vindhastigheten hade valts för att ge så lite rök som möjligt uppströms om branden (s.k. backlayering). Godset tändes med två små standardtändkällor vid uppströmshavelsen på lasten.

För beräkningen av brandeffekten mättes halterna av syre, koldioxid och kolmonoxid. Brandeffekten kunde sedan beräknas enligt samma principer som vi använder i huvar och annan utrustning på SP Brandteknik, d v s baserad på mängd förbrukad syre. Dessa gaser är också intressanta vid bedömning av påverkan på människor i tunneln. Utöver dessa mättes även vattenhalten i brandgaserna, koncentration av HCN (vätecyanid) och i två försök även isocyanater. Brandeffekten i försöket med träpallar och plastpallar var högre än 200 MW, d v s ungefär lika stor som brandeffekten från en tankbilsbrand. Detta innebär 'världsrekord' när det gäller uppmätt brandeffekt i en tunnel. Det tidigare rekordet låg på omkring 120 MW och mättes upp i samband med brandförsök med möbler i Repparfjordtunneln i Norge 1992. För tre av de nu genomförda försöken var högsta effekten högre än 120 MW och i ett försök låg den lägre d v s på ungefär 70 MW. Brandbelastningen varierade mellan 67 GJ – 240 GJ i försöken, vilket kan anses som en normal brandbelastning för denna typ av transport.

Gastemperaturer mättes både uppströms och nedströms branden. De hade syftet att studera backlayering, värmebelastning på konstruktionen respektive flamlängd. Framför allt temperaturerna nära taket i närheten av godset är värda speciell uppmärksamhet. I det första försöket nådde de 1360 °C och även i de övriga försöken nådde gastemperaturerna upp till mellan 1250 °C och 1300 °C. Detta ligger över vad vi förväntade och långt över de 1100 °C, som anges som maximal temperatur enligt den s.k. HC-kurvan, en temperatur-tid-kurva som ofta används vid dimensionering av tunnlar.

I försöken studerades även strålningspåverkan på eventuell räddningspersonal uppströms av branden respektive brandspridningen nedströms branden. Målet är att resultaten skall öka kunskapen om vilka bränder som kan uppstå i tunnlar. Detta kan sedan ligga till grund för framtagande av riktlinjer för säkrare tunnlar och säkrare räddningsinsatser.

# 1 Inledning

Stora tunnelbränder med allvarliga konsekvenser i Europa och övriga världen har ytterligare satt personsäkerheten i tunnlar i fokus. På senare tid har över femhundra personer omkommit vid bränder i tunnlar. I flera fall har de ekonomiska konsekvenserna för tunnelägarna varit enorma. Efterspelet till varje olycka kräver mycket stora insatser inte minst från myndighetshåll.

Brandlasten i tunnlar varierar mycket beroende på typ av tunnel och trafikintensitet. Tunnlar utanför storstäderna har en betydligt lägre trafikintensitet jämfört med tunnlar inne i storstäderna. Detta gör att trafiksituationen kan bli annorlunda och det i sin tur kräver andra säkerhetsåtgärder och därmed annan dimensionering. I vissa tunnlar kan konsekvenserna av en eventuell brand bli mycket omfattande på grund av för hög brandbelastning. Det visar inte minst de tunnelolyckor som har inträffat i Europa de senaste åren (Eurotunneln, Mont Blanc, Tauern, Kaprun, St:Gotthard). I många av dessa fall har bränderna blivit ventilationskontrollerade vilket kan innebära brandeffekter mellan 150 - 350 MW beroende på tunneltvärsnitt och ventilationshastighet. Därför krävs mer kunskap dels om en förväntad brands storlek samt om hur brand sprids mellan fordon i en brandsituation.

Det finns flera faktorer som har spelat en avgörande roll vid tunnelbränderna i Europa. Gemensamma nämnare har varit betydelsen av brandbelastningen och ventilationen för brandutvecklingen. I flera av bränderna spelade lasten i långtradare en viktig roll för utgången. Huvudorsaken till detta är att långtradare innehåller mycket brännbart gods och att branden sprider sig snabbt på grund av längsventilationen. Detta innebär stora problem vid evakuerings- och släckningsarbete eftersom räddningspersonalen har svårt att närma sig branden. Stora skador har också uppstått på takkonstruktionerna eftersom betongen har spjälkat i för stor omfattning.

Med bakgrund mot denna utveckling genomförde SP i samarbete med TNO i Holland och SINTEF i Norge fyra fullskaliga brandförsök i Runehamartunneln utanför Åndalsnes i Norge. Försöken finansierades av bland annat Räddningsverket, Vägverket, Banverket och Styrelsen för svensk brandforskning (BRANDFORSK). Syftet med projektet var att öka kunskapen om brandutveckling i långtradarlasten och ventilation genom fullskaleförsök i en vägtunnel.

## 2 Beskrivning av Runehamar försöken

Runehamar försöken genomfördes under ledning av SP Brandteknik i samarbete med SPs systerorganisationer i Norge (SINTEF) och i Holland (TNO). Resultaten från försöken presenterades för första gången vid ett symposium i Borås 2003 och finns beskrivna i mer detalj i referenserna [1, 2, 3, 4].

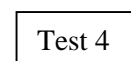
Runehamartunneln är en ungefär 1600 m lång övergiven vägtunnel som ägs av Norska Vägverket och den lämpade sig väl för att genomföra de aktuella försöken. I tunneln byggdes en simulerad långtradartrailer upp med hjälp av ställage i stål. I tre av försöken användes pallar med olika blandningar av trä, wellpapp och plast och i ett av försöket användes möbler. I samtliga fall var andelen plast knappt 20 % och lastens vikt varierade mellan ungefär 3 till 10 ton. I tabell 1 ges mer detaljerad information kring försöken.

Tabell 1 Fyra olika uppsättningar av gods användes i brandförsöken.

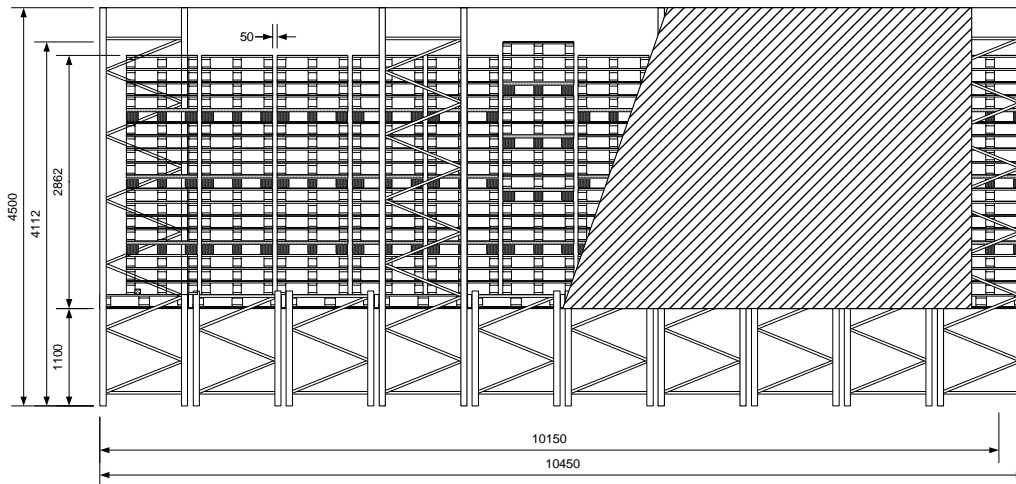
Försök	Gods	Total vikt
T1	Träpallar (82 %) och plastpallar (18%) <sup>a)</sup>	10 ton
T2	Träpallar (82%) och madrasser (18%)	6,3 ton
T3	Möbler (82% trä och 18% plast) och 10 lastbilsdäck	8,5 ton
T4	Plastmuggar (19 %) i pappkartonger på träpallar (81%)	2,8 ton

a) anger viktprocent av den totala vikten

Trailerlasten var 10 m lång, 2,6 m bred och 4,5 m hög, se figur 1 och 2. Bredden och höjden motsvarar maximalt tillåtna mått medan verkliga trailers kan vara längre. Lasten var täckt med ett polyesterkapell. Berget vid brandplatsen var skyddat med Promatect T skivor på en sträcka av 75 m, se figur 4. Tunneltvärsnittet var ungefär 47 m<sup>2</sup> utan skydd och 32 m<sup>2</sup> med skydd och takhöjden var 5.8 m utan skydd och 5 m med skydd.

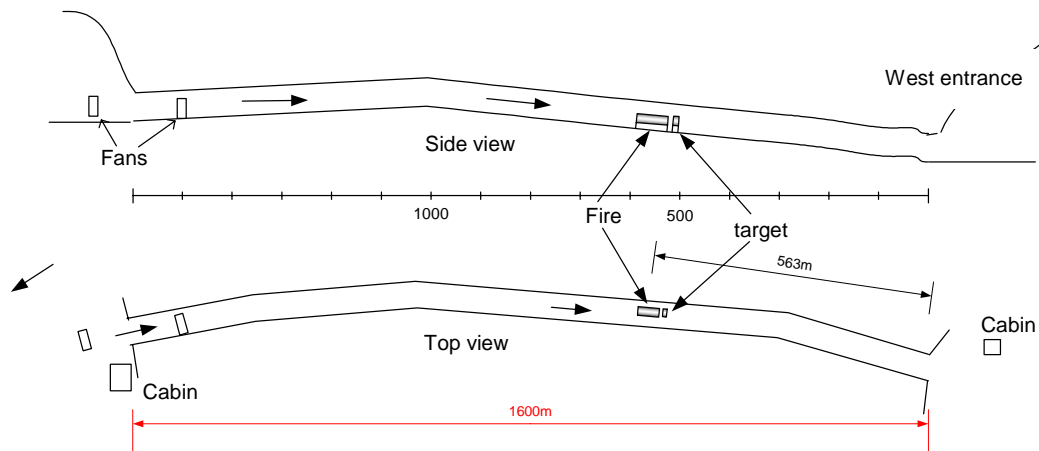


Figur 1 Bilder från försöksställning som användes i Runehamar försöken.



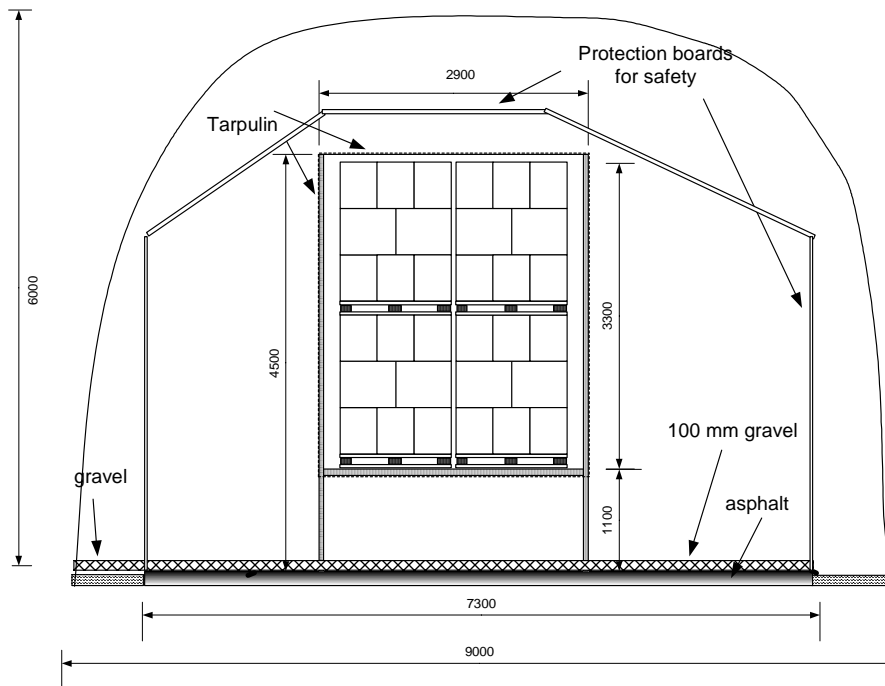
Figur 2 En skiss av godset som användes i första försöket (T1).

Två mobila fläktar stod i tunnelmynningen och gav tillsammans en lufthastighet på drygt 3 m/s genom tunneln (se figur 3, fans). Fläktarna användes för att styra luftflödet och på det sättet göra det möjligt att mäta den avgivna brandeffekten. Lufthastigheten hade valts för att ge så lite rök som möjligt uppströms om branden (s.k. backlayering) samtidigt som säkerheten för försökspersonalen tillgodosågs. Godset tändes med två små standardtändkällor vid uppströmshavet på lasten. När branden var som intensivast sjönk vindhastigheten inne i tunneln ner till ungefär 1,5 – 2,5 m/s på grund av det mottryck som branden genererade, se figur 11.



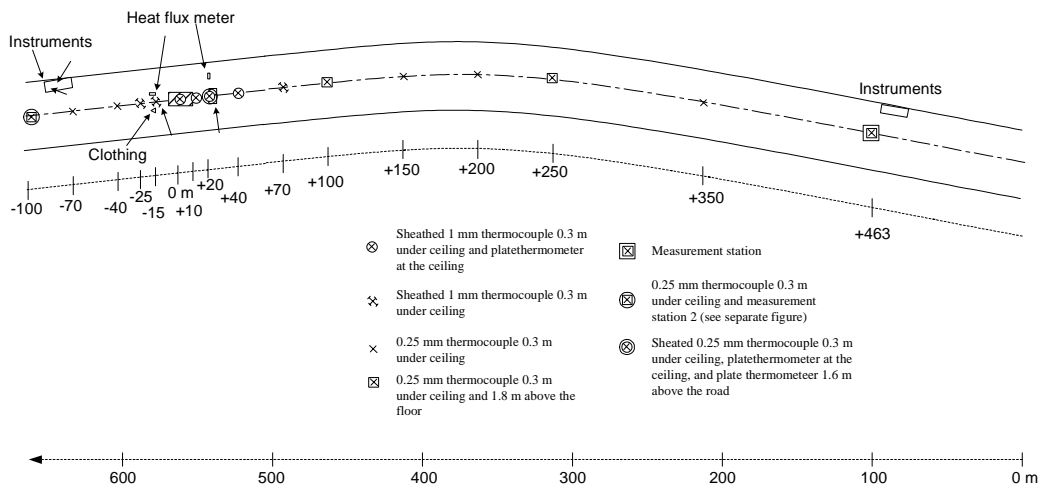
Figur 3 Översiktsbild över tunneln och placering på fläktar (fans) och brand (fire). Ungefär 15 m från branden placerades ett target för att undersöka risken för brandspridning mellan fordonen.





Figur 4 Tunnelberget skyddades med skivor av Promatect T i tak och väggar på en sträcka av 75 m. Branden placerades ungefär i mitten av tunneln.

I figur 5 visas placeringen av alla de instrument som användes i försöken. Gastemperaturer uppmättes med termoelement av typ K, 0.25 mm i diameter, plattermoelement, lufthastighet, gas analyser ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$  och  $HCN$ ) och strålning. Mätningen av brandeffekten gjordes 458 m nedströms branden.



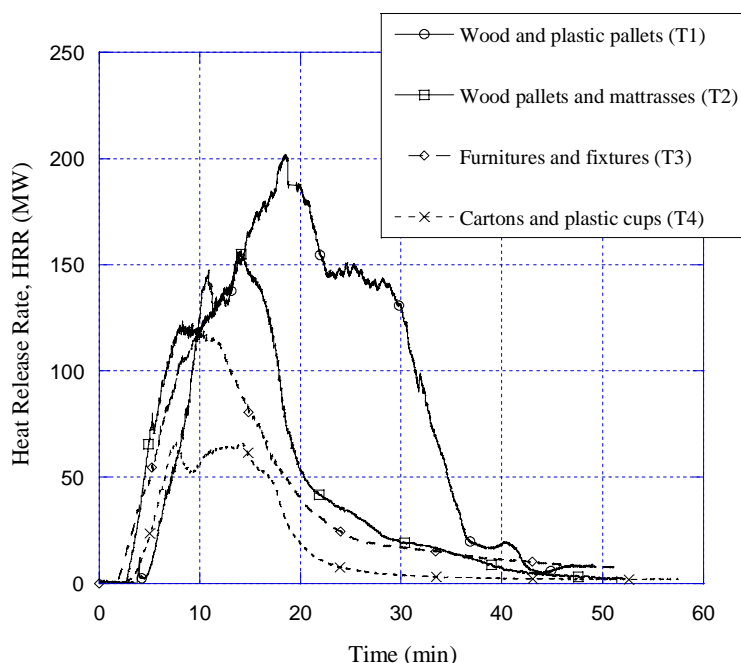
Figur 5 Översiktssbild över instrumenten som användes i försöken.

## 3 Resultat från Runehammar försöken

### 3.1 Brandeffekt

Brandeffekten beräknades enligt samma principer som SP Brandteknik använder i huvar och annan utrustning, d v s baserad på mängd förbrukad syre och producerad koldioxid. Dessa gaser är också intressanta vid bedömning av påverkan på människor i tunneln. Utöver dessa mättes även vattenhalten i brandgaserna, koncentration av HCN (vätecyanid), kolmonoxid och i två försök även isocyanater.

För tre av de nu genomförda försöken var effekten högre än 120 MW. I försök T1 var den högsta brandeffekten 203 MW, i andra försöket (T2) 158 MW, i tredje försöket (T3) 125 MW och i sista försöket (T4) var den 70 MW. Brandtillväxtshastigheten var relativt linjär från 5 MW upp till 100 MW. Den varierade från 17 MW/minut till 29 MW/minut där den var snabbast i andra försöket med polyuretan madrasser och träpallar. I figur 6 visas uppmätta brandeffekter från försöken. Det anmärkningsvärda är att det handlar om en blandning av trä och plast, ett långt ifrån ovanligt gods på våra vägar. Dessutom är lasten inte på något vis extremt stor eftersom långtradare både kan vara längre och transportera mer last.

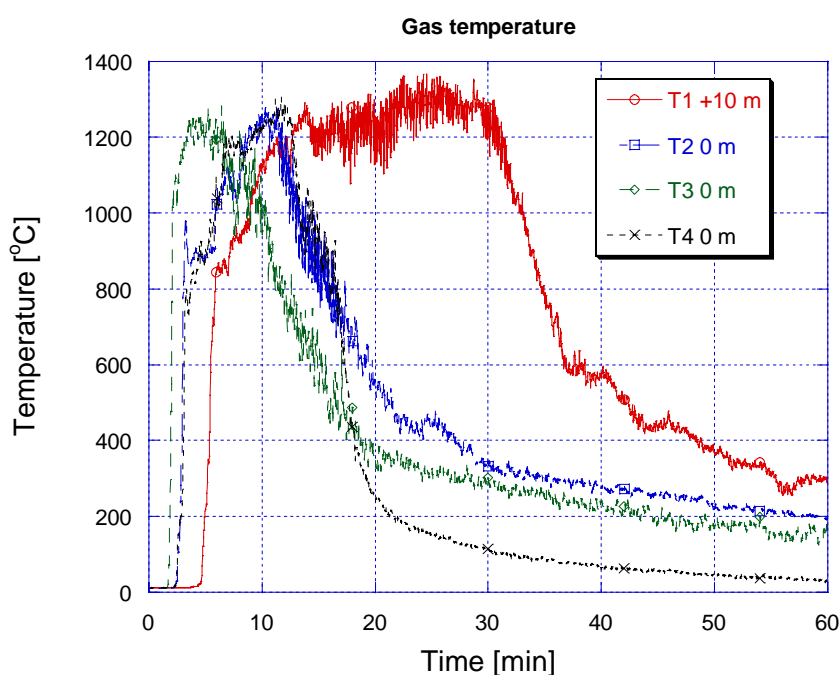


Figur 6 Uppmätta brandeffekter i Runehammar försöken [1].

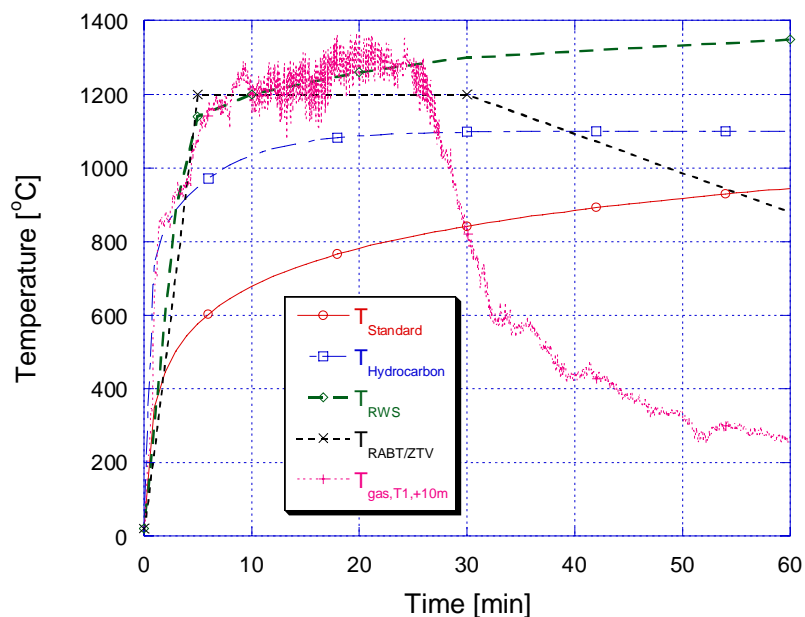
### 3.2 Gastemperatur

Gastemperaturer mättes både uppströms och nedströms branden. De hade syftet att studera backlayering, värmebelastning på konstruktionen respektive flamlängd. Framför allt temperaturerna nära taket i närheten av godset är värda speciell uppmärksamhet. I det första försöket nådde den 1360 °C och även i de övriga försöken uppmättes högsta temperaturer mellan 1250 °C och 1300 °C. Det motsvarar en infallande värmestrålning mot taket som är omkring 300 – 400 kW/m<sup>2</sup> och vilket ger enormt hög värmebelastning

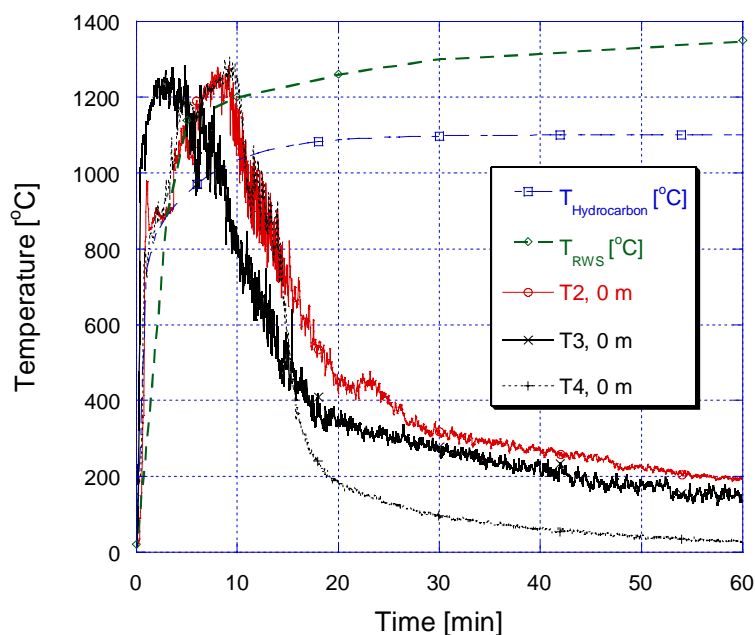
mot konstruktionen. Skyddet klarade temperaturpåverkan vid första försöket bra medan berget nedströms skyddet blev kraftigt bortskalat på grund av temperaturerna i taket. Gastemperaturen i taket strax bortom skyddet låg på ungefär 600 – 800°C i första försöket men den avtog ganska snabbt, ner mot ungefär 250 °C på avståndet 250 m ifrån branden. De uppmätta gastemperaturerna ligger över vad vi förväntade och långt över de 1100 °C, som anges som maximal temperatur enligt den s.k. HC-kurvan, en temperatur-tid-kurva som ofta används vid dimensionering av tunnlar. De temperaturnivåerna som uppmättes återges bäst av den holländska RWS-kurvan även om den initiala temperaturen var högre jämfört med RWS-kurvan och temperaturerna låg på en hög nivå under en kortare tid (10 – 25 minuter jämfört med 110 minuter). I figur 7 visas de uppmätta temperaturerna i alla fyra försöken i Runehamar [2]. I figur 8 och 9 jämförs uppmätta gastemperaturer med olika standardbrandkurvor .



Figur 7 Uppmätt taktemperatur i Runehamarförsöken [2].



Figur 8 Uppmätt gastemperatur i första försöket (T1) jämfört med olika standardbrandkurvor [2].

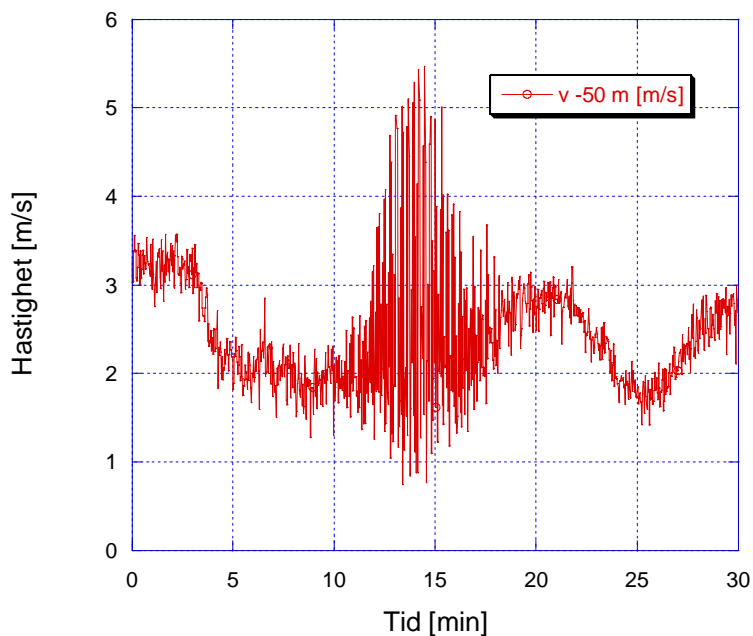


Figur 9 Uppmätt gastemperatur i andra, tredje och fjärde försöket jämfört med RWS och HC standardbrandkurvor.

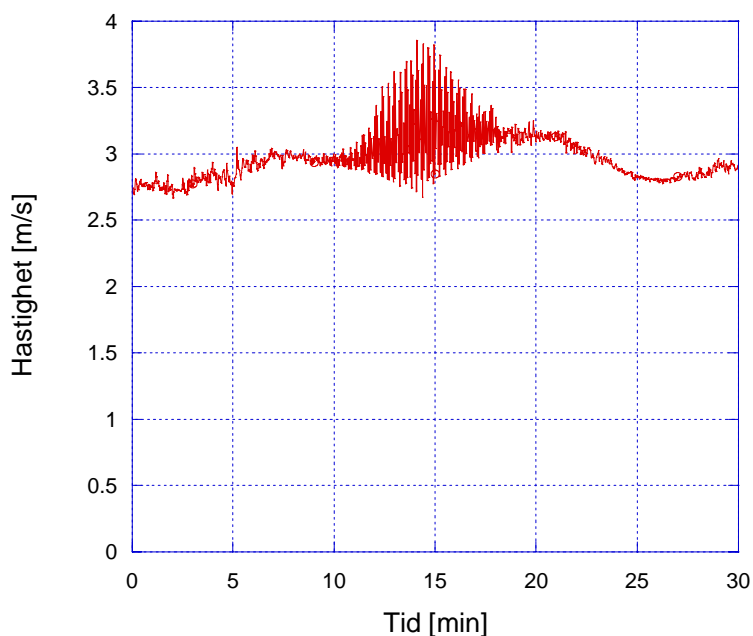
### 3.3 Lufthastighet

Två mobila fläktar användes för att generera luftflöde i tunneln. Fläktarna var av typen Tempest MVU 125/140 med en diameter på 1.52 m. Fläktarnas flödeskapacitet var 190 000 m<sup>3</sup>/h och axialkraften var 2500 N per fläkt. Den ena fläkten placerades ungefär 12 m utanför tunnelmynningen och den andra ungefär 60 m innanför tunnelmynningen. Dessa

gav tillsammans en lufthastighet på drygt 3 m/s genom tunneln i försökets början, se figur 10. Fläktarna användes för att styra luftflödet och på det sättet göra det möjligt att mäta den avgivna brandeffekten. Lufthastigheten hade valts för att ge så lite rök som möjligt uppströms om branden (s.k. backlayering).



Figur 10 Uppmätt lufthastighet 50 m uppströms branden i försök T2.



Figur 11 Uppmätt lufthastighet 458 m nedströms branden i försök T2.

Under första (T1) och andra (T2) försöket uppstod ett fenomen som inte har inträffat tidigare i tunnelsammanhang. Luftmassan inne i tunneln började pulsera fram och tillbaks. Fenomenet inträffade när brandeffekten var över 125 – 135 MW (jämför med figur 6). Frekvensen i pulsationerna var mycket konstant, ungefär 4 sekunder för den

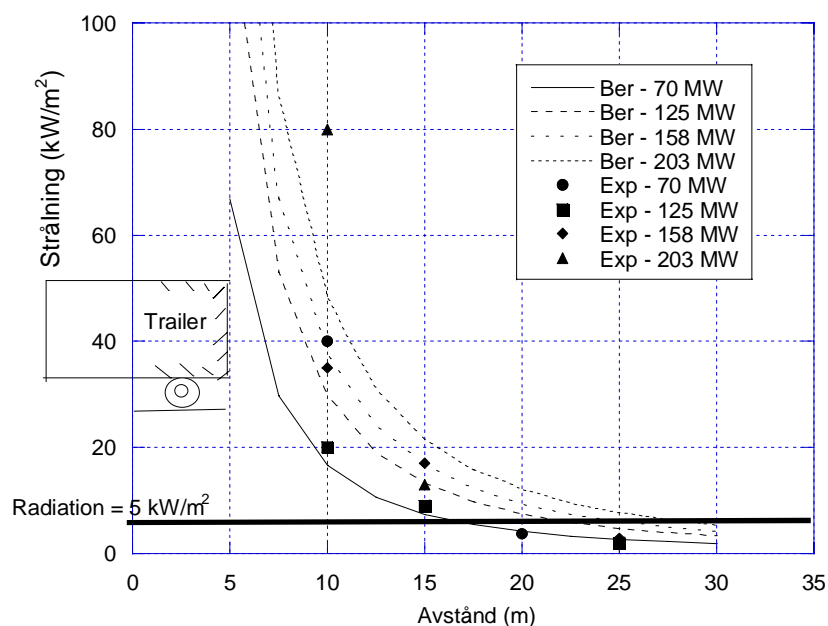
korta frekvensen respektive 18 sekunder för den långa frekvensen. I figur 10 och 11 visas hastighetsmätningar från andra försöket (T2). Mätningarna är gjorda 50 m uppströms branden (figur 10) och 458 m nedströms branden (figur 11). Där syns tydligt när branden börjar pulsera. Orsaken till dessa pulsationer är inte känd, men de kan generas på grund av ett samspel mellan de termiska krafter och virvlar som branden genererar, fläktarnas kapacitet och yttre vind. Det är inte känt om detta är ett problem som behöver tas hänsyn till vid dimensionering av brandgasventilation i tunnlar.

I figur 11 kan man se att lufthastigheten sjunker på grund av brandens inverkan på mottrycket inne i tunneln. Bortom branden så lutar tunneln neråt ungefär 1 % vilket genererar ett termiskt motstånd för fläkten. När branden är mellan 120 MW - 200 MW så är storleksordningen på detta mottryck, d v s att tunneln lutar neråt bortom branden, mellan 35 Pa – 45 Pa. Även själva branden skapar ett motstånd när de kalla brandgaserna blandas med de varma gaser som stiger upp från branden och börjar accelerera uppåt.

### 3.4 Värmestrålning

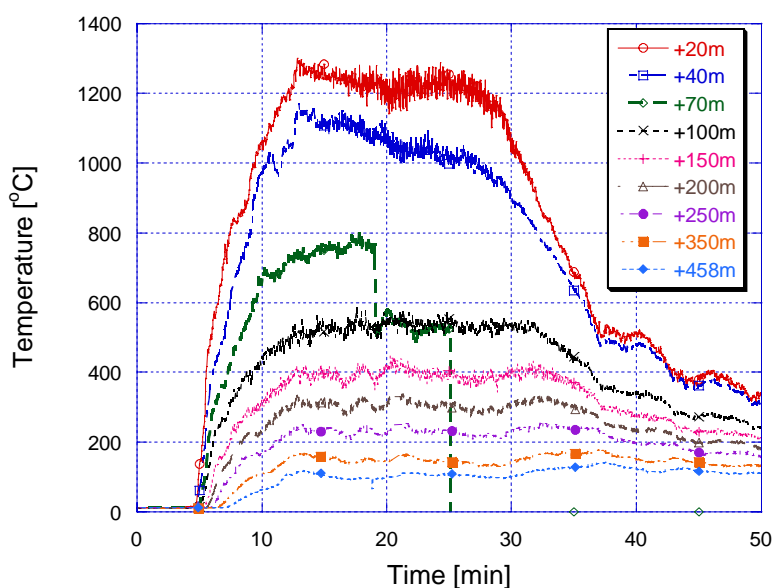
I första försöket uppmättes värmestrålning mot vägbanan 10 m nedströms trailern på 250 kW/m<sup>2</sup>. De flesta brännbara material antänder inom någon eller några minuter om de utsätts för värmestrålning på 20 – 25 kW/m<sup>2</sup>. Det visar vilka enorm värmestrålning som uppstod nedströms branden. I samtliga försök spreds branden till det target som var utplacerad 15 m från branden (fritt avstånd mellan target och trailerns gavel)

I försöken studerades även strålningspåverkan på eventuell räddningspersonal uppströms av branden respektive brandspridningen nedströms branden. En eventuell räddningsinsats nedströms branden under de första 30 – 40 minuterna hade varit omöjlig. När branden var som intensivast låg strålningsnivåerna uppströms branden, på ett avstånd mellan 20 – 25 m från brandens centrum, över de gränser som en rökdykare skulle klara av utan extra skydd (5 kW/m<sup>2</sup>), se figur 12. För jämförelse finns beräknade värden som bygger på en enkel modell för strålning, se referens [5]. Trots att rökdykarna hade haft vinden i ryggen så hade de fått problem att spruta vatten på långtradaren under en period på 10 – 20 minuter. Det är inte heller säkert att de hade kunnat släcka branden på det avståndet vid lägre strålningsnivåer. Kunskapen kring hur mycket vatten som krävs för att släcka denna typ av bränder är mycket begränsad. Teoretiska beräkningar indikerar att det krävs minst 1250 L/minut för att kontrollera en 100 MW brand. Det finns stort behov av att dimensionera vilken släckkapacitet räddningstjänsten behöver vid denna typ av bränder.



Figur 12 Beräknade (Ber) och experimentella (Exp) strålningsnivåer uppströms Runehamar bränderna som funktion av maximal brandeffekt och avstånd från brandens centrum [5].

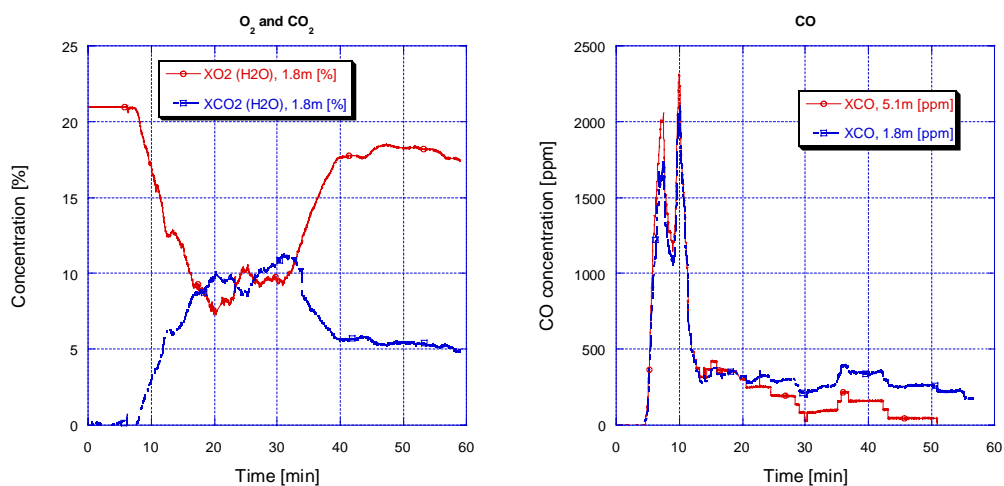
I försöken uppnåddes ingen 'backlayering' av röken vid lufthastigheter över 2,7 m/s. Vid hastigheter mellan 1,5 m/s till 2 m/s uppmättes däremot en backlayering som var över 100 m. Beroende på försök så uppmättes flamlängder mellan 40 till 100 m och allt brännbart material nedströms branden på ett avstånd mellan 20 till 60 m antändes. Det visar att branden skulle kunna spridas vidare i de tunnlar som har motsvarande förhållanden. Tunneltvärsnittets betydelse för resultaten har inte undersökts systematiskt men tunneltvärsnitt större än det i Runehamar tunneln ger förmodligen gynnsammare resultat.



Figur 13 Temperaturfördelningen nedströms branden i försök T1.

När det gäller den utrymningsmiljö nedströms branden som uppstod under försöken, så visar beräkningar baserade på mätdata 458 m från branden att ingen oskyddad person hade överlevt någon av bränderna. Tiden till att någon förlorar medvetande nedströms brand varierade mellan 2 till 6 minuter från det att röken nådde fram till den plats de befann sig. I försöket med madrasser, där det bildades mycket cyanid (HCN), så förlorade de medvetandet efter endast 2 minuter från det att röken kom fram. I övriga fall var det drygt 6 minuter. Gastemperaturen nedströms branden sjunker fort men den är fortfarande ganska hög 458 m från branden, eller drygt hundra grader, se figur 13.

I figur 14 visas vilka nivåer på syrehalt, koldioxidhalt och karbonmonoxidhalt uppmättes i första försöket (T1). Syrehalten var nere på ungefär 7 – 8 % och koldioxid halten var uppe på 11 – 12 %. Kolmonoxidhalten var som högst på ungefär 0.2 %.



Figur 14 Uppmätta gaskoncentrationer vid mätstationen 458 m nedströms branden i första försöket (T1) med trä och plastpallar. Till vänster visas syrehalten ( $O_2$ ) som funktion av tid och koldioxidhalten ( $CO_2$ ) 1,8 m över vägbanan och till höger visas karbonmonoxidhalten (CO) på två olika höjder över vägbanan, 1,8 m och 5,1 m.



## 4 Slutsatser

Runehamar försöken bekräftar de farhågor man har haft angående brandutvecklingen i långtradarlaster. Det anmärkningsvärda är att det handlar om en blandning av trä och plast, dvs ett långt ifrån ovanligt gods på våra vägar. Dessutom är lasten inte på något vis extremt stor eftersom långtradar både kan vara längre och transportera mer last. Dessutom finns det långtradarare som är betydligt längre än den långtradaratrapp som användes i Runehamarförsöken. Därför finns det anledning att se över de dimensioneringsvärden som används för vägtunnlar idag. Långtradarnas betydelse för brandsäkerheten i vägtunnlar har därmed fått ny fokus och de bör få större betydelse i de framtida riskanalyser som genomförs för olika vägtunnelprojekt.

De höga gastemperaturerna som uppmättes i Runehamar försöken har väckt stor förundran och har skapat en ny debatt kring vilka tid-temperaturkurvor som ska användas vid dimensionering av vägtunnlar. Ska man ha en RWS-kurva, en HC-kurva, eller en ISO-kruva? Gäller resultaten även i tunnlar med annat tunneltvärsnitt än det som fanns i Runehamartunneln? Det finns inga entydiga svar när det gäller dessa frågeställningar. Runehamarförsöken, med det givna tunneltvärsnittet och takhöjden, visa dock att med det gods och ventilationsförhållanden som rådde under försöket att högsta taktemperaturerna lätt kan bli uppemot 1200 – 1360 °C. Därför finns det ett behov av att utvärdera inverkan av takhöjden, avståndet mellan gods och takhöjd, tvärsnittsarean och ventilationsförhållandena på taktemperaturerna. Detta kan undersökas systematiskt med hjälp av försök i en mindre skala.

I försöken studerades även strålningspåverkan på eventuell räddningspersonal uppströms av branden. De strålningsnivåer som uppmättes uppströms branden indikerar att det kan bli problem för räddningstjänsten att släcka branden med vinden i ryggen.

## 5 Referenser

- 1 Ingason, H. och Lönnemark, A., "Large-scale Fire Tests in the Runehammar tunnel - Heat Release Rate (HRR)", In *International Symposium on Catastrophic Tunnel Fires (CTF)*, (H. Ingason, Ed.) SP Swedish National Testing and Research Institute, Borås, Sweden, 2003.
- 2 Lönnemark, A. och Ingason, H., "Large Scale Fire Tests in the Runehammar Tunnel - Gas Temperature and Radiation", In *International Symposium on Catastrophic Tunnel Fires (CTF)*, (H. Ingason, Ed.) SP Swedish National Testing and Research Institute, Borås, Sweden, 2003.
- 3 Lemaire, T., "Runehammar Tunnel Fire Tests: Radiation, Fire Spread and Back Layering", In *International Symposium on Catastrophic Tunnel Fires (CTF)*, SP Swedish National Testing and Research Institute, Borås, Sweden, 2003.
- 4 Brandt, A., "Presentation of test result from large scale fire tests at the Runehammar tunnel", In *International Symposium on Catastrophic Tunnel Fires (CTF)*, (H. Ingason, Ed.) SP Swedish National Testing and Research Institute, Borås, Sweden, 2003.
- 5 Ingason, H., Bergqvist, A., Lönnemark, A., Frantzych, H. och Hasselrot, K., Räddningsinsats i vägtunnlar, FoU rapport SRV 2005.