

# **Brandsäkerhetsanalys**

**En studie av kulvert och källarsystem**

***Stellan Jakobsson***  
***Kenny Thuresson***

---

**Department of Fire Safety Engineering  
Lund University, Sweden**

**Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet**

**Report 5208, Lund 2006**



**Brandsäkerhetsanalys**  
**En studie av kulvert och källarsystem**

**Stellan Jakobsson**  
**Kenny Thuresson**

**Lund 2006**

**Titel**

Brandsäkerhetsanalys, en studie av kulvert och källarsystem

**Title**

Fire Safety Analysis, a studie of culvert- and basement systems

**Författare/Authors**

Stellan Jakobsson

Kenny Thuresson

**Report:** 5208

**ISSN:** 1402-3504

**ISRN:** LUTVDG/TVBB-5208-SE

**Number of pages:** 74

**Illustrations:**

Stellan Jakobsson

Kenny Thuresson

**Keywords:**

CFD, FDS, Cfast, Tunnel, basement systems, cable fire, smoke ventilation

**Sökord:**

CFD, FDS, Cfast, Tunnel, källarsystem, kabelbrand, brandgasventilation

**Abstract**

This report evaluates the fire safety of two adjoining facilities. These facilities have large basement systems and are connected under the ground by a long and narrow tunnel. Beneath the north-eastern facility's basement system stretches a cable culvert trough the entire facility. This report evaluates the risk and identifies areas that need measures for a satisfying fire safety. Using literature, FDS, CFast and other calculations a variety of solutions has been made and presented in this report to fulfil the fire safety for the buildings.

**Disclaimer**

Författarna ansvarar för innehållet i rapporten. Att helt undvika fel kan aldrig garanteras varför läsare av denna rapport själv bär ansvaret för eventuella konsekvenser av beslut baserade på denna rapport.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2006.

---

Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 Lund

[brand@brand.lth.se](mailto:brand@brand.lth.se)  
<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60  
Telefax: 046 - 222 46 12

Department of Fire Safety Engineering  
Lund University  
P.O. Box 118  
SE-221 00 Lund  
Sweden

[brand@brand.lth.se](mailto:brand@brand.lth.se)  
<http://www.brand.lth.se/english>

Telephone: +46 46 222 73 60  
Fax: +46 46 222 46 12

## Förord

Under arbetet av denna rapport har vi stött på både framgångar och motgångar. De som hjälpt oss under arbetets gång är framför allt våra handledare, Göran Andersson, Brandingenjör, Konsult, PRE Risk & Crisis Mangement och Lars Jensen, Professor, Installationsteknik LTH, som vi vill tacka för den tid de har givit oss och de goda råd de har gett. Vi vill även tacka personalen, på den avdelning vid objektet, som vi jobbat med för det mycket goda bemötandet och vaktbolaget vid objektet som hjälpt oss med material och visning av objektet.



---

Stellan Jakobsson



---

Kenny Thuresson



## Summary

Due to the new law *Lag om skydd mot olyckor*, SFS 2003:778, a system for control, evaluation and implementation of fire safety has been developed by the company for its facilities in Sweden. In this inspection of the fire safety at the evaluated facilities in this report, a weakness was detected in the culvert-system. The site consists of two facilities, one in the north-east and one in the south-west which are approximately three hundred meters apart. The facilities are connected by an underground tunnel where people daily use it to move between the facilities. The tunnel is continuous through the entire north-eastern facility's basement system, where it is referred to as the corridor, and binds the buildings of the north-eastern facility together. Underneath this corridor there is a cable culvert that stretches through the north-eastern basement system.

Over time, the ventilation-system has been modified as well as other renovations, to keep up with the activities of today. However, maintenance of the basement system and the culvert system has been neglected. In the basement system adjoining the tunnel-system, there are areas that would be damaged and/or contaminated in other ways in case of a fire. This report evaluates the risks and identifies areas which need to be addressed concerning fire safety of the culvert- and adjoining basement systems. This report also evaluates ventilation of the tunnel, whether fire-cells will hold, if spread will occur and the ability of the fire service to fight a fire in these areas. Solutions have been suggested to address the fire safety issues of these facilities.

Four parts have been chosen for a closer study; the south-western basement system, the north-eastern basement system, the tunnel and the cable-culvert.

In the **south-western** basement system, house B, some areas are separated by fire dampers that are activated by a tin-plate with a melting temperature at 66°C. However, a fire can produce smoke with temperatures lower than this activation temperature and as a result the smoke is able to spread between areas without the fire dampers being activated. Additionally, one of the central areas has inadequate sealing around door edges and where cables exit which would result in an easy spread of smoke to other areas. The south-western basement system, is also used as an exit-route and a storage space. An exit-way must be kept free from obstacles and flammable material to secure a safe exit in case of an emergency.

There are great inadequacies in the fire-cell separating doors at the **north-eastern** basement system, not just in function but also in usage. Calculations show that with the present system large spread of smoke can occur through multiple fire-cells which would affect activities and the emergency exit.

**The tunnel**, that connects the two basement systems, is about 260 m long and is separated from the adjoining basement systems with fire-cell separating doors. Throughout the ceiling there are cable trays which support a large variety of cables. The tunnel has no smoke ventilation which means that in case of a fire the only exit for the smoke are through the adjoining basement systems. A fire in the tunnel would result in a rapid smoke filling with toxic smoke and very low visibility. The fire would also produce a lot of unignited pyrolysis products that, in case of leakage or opening of the doors, would spread, possibly ignite and contaminate nearby areas. With smoke ventilation in the tunnel, the production of unignited pyrolysis products and smoke spread will be reduced in the tunnel and in adjoining areas.

The tunnel is used daily for transport by personnel. The tunnel is narrow and long and in some cases the distance to the closest exit is 90 m, therefore the tunnel can not be considered safe for everyone as an emergency exit.

The **cable-culvert** that is located underneath the north-eastern basement system has four cable trays which support a variety of cables as well as sewage and drainage pipes. The culvert is located in a dirty environment where there is open water and is subject to flooding. This environment contains high voltage cables and together creates an extremely unsafe situation from a fire safety point of view. The culvert is separated from adjoining fire-cells by thin aluminium hatches. These hatches have insufficient tightness and low isolation properties that are necessary to fulfil a fire-cell separating function. In case of a fire in the cable-culvert, the smoke will quickly spread to the closest adjoining fire-cells and soon thereafter to other fire-cells.

Fire produces many toxic gases including carbondioxide and carbonmonoxide. In a cable-fire, hydrochloride is also produced and which combines with steam to form hydrochloric acid. Hydrochloric acid is strongly corrosive and not only dangerous for human health but also causes corrosion damage to solid materials.

**Assistance from the fire service** in the tunnel is complicated by both the bad visibility produced by smoke and also the length of the tunnel. According to the Stockholm smoke-divers regulations it is recommended that the distance from the entrance should be no longer than 75 m. Tests at Malmö fire department show that after 125 m the hose becomes too heavy for the smoke-divers to drag. The tunnel has stretches that can be over 180 m long, this clearly demonstrates that there is an access problem for the fire service. Smoke ventilation in the tunnel creates a smoke free environment which would greatly help any assistance from the fire department. After a fire is extinguished the smoke ventilation would also be a great help in airing out the remaining smoke from the tunnel.

From the conclusions made in the report, these suggestions have been made from chapter 8:

- The functions of the fire doors *must* be checked.
- Inadequate cable sealing's *must* be fixed
- Flammable material *must not* be placed in exit ways
- Smoke ventilation *must* be installed
- The tunnel *must not* be used as a transportation way for personal
- Fire extinguishers *must* be readily available.
- The fire-cell separating hatches that separate the cable-culvert *must* be replaced.
- Drainage in the cable-culvert *must* be checked
- Flammable material *must* be removed from the cable trays.
  
- An action plan for the fire service *should* be created.
- Flashlights connected to the exit alarm *should* be installed in the basement systems and the tunnel.
- Fire dampers with melting tin plates *should* be replaced with dampers that are activated by the fire alarm.
- Blue-prints of the site *should* be available and updated.
- An investigation *should* be made into the appropriateness of open water and sewage pipes in the cable-culvert
- An inventory *should* be made of the cables in the cable trays.
- Sheet metal coverings *should* be placed on the cable trays to reduce the risks of fire.



## Sammanfattning

Efter nya lagen *Lag om skydd mot olyckor*, SFS 2003:778, har ett system utvecklats för kontroll, redovisning och uppföljning av brandsäkerheten av objekttnehavarens anläggningar i Sverige. En brist som uppmärksammats vid denna kontroll är brandsäkerheten i kulvertsystemen på de utvärderade anläggningarna. På objektet finns två stora anläggningar, en i nordöst och en i sydväst, belägna ett hundratal meter ifrån varandra. Dessa binds samman med en underjordisk gångtunnel som dagligen nyttjas av personal som rör sig mellan anläggningarna. Gångtunneln fortsätter även igenom hela den nordöstra anläggningens källarsystem, kallas då gångkorridoren, och binder på så sätt samman dess byggnader. Under denna gångkorridor finns en kabelkulvert som följer det nordöstra källarsystemets utsträckning.

Under tidens gång har ventilationssystemet modifierats och andra ombyggnationer har gjorts i anläggningarna för att dessa skall klara dagens verksamheter. Dock har källarsystemen och kulvertsystemen underprioriterats i dessa perspektiv. I källarsystemen, i anslutning till kulvertsystemen, finns vissa verksamheter som kan skadas och på andra sätt påverkas vid händelse av brand. Utvärderingen behandlar risker och brister i brandsäkerheten rörande kulvertsystemen, med angränsande källarutrymmen. Det som beaktas i rapporten är ventilationens påverkan, huruvida brandcellsgränserna kommer att hållas, om en spridning kommer att ske och vilka möjligheter räddningstjänsten har för att bekämpa en brand. I den mån det är möjligt har åtgärder och förslag till bättre lösningar getts för att uppnå en tillfredsställande brandsäkerhet.

Fyra delar har studerats närmare; den sydvästra anläggningens källarsystem, den nordöstra anläggningens källarsystem, gångtunneln och kabelkulverten.

I det **sydvästra källarsystemet**, hus B, finns utrymmen avskiljda med smältblecksaktiverade brandgasspjäll med en aktiveringstemperatur på 66°C. En brand kan producera brandgaser med lägre temperatur än aktiveringstemperaturen och spridning mellan utrymmena kan då ske utan att spjällen stängs. Ett av de centrala utrymmena har bristfälliga tätningar i kabelgenomföringar och dörrar så att brandgaser lätt kan spridas. Källarsystemet, som även är en utrymningsväg, används som uppställningsplats för diverse materiel. En utrymningsväg skall hållas fri från hinder och brännbart materiel för att säkerställa en utrymning.

**Nordöstra källarsystemet** har stora brister i de brandcellsavskiljande dörrarna, inte bara vad det gäller funktionen utan även dess användning. Beräkningar visar att det i nuläget kan ske en stor brandgasspridning genom flera brandceller som påverkar verksamheter och utrymnings säkerheten.

**Gångtunneln**, som binder samman de två källarsystemen, är ca 260 m lång och skiljs från angränsande källarutrymmen med brandcellsavskiljande dörrar. Längs taket går två kabelstegar med en stor variation av kablar. Tunneln har ingen brandgasventilation vilket resulterar i att vid en brand är brandgasernas enda väg ut genom de angränsande källarsystemen. En brand i tunneln medför en snabb brandgasfyllnad med väldigt dålig sikt och giftiga brandgaser. Branden skulle även producera mycket oförbrända brandgaser som, vid läckage eller öppnande av dörrar kan spridas, eventuellt antändas och kontaminera närliggande utrymmen. Med brandgasventilation i gångtunneln minskas produktionen av oförbrända brandgaser samt brandgasspridningen reduceras i tunneln och dess angränsande utrymmen.

Gångtunneln används dagligen som transportväg av personal men eftersom det är ett litet utrymme med för långa gångavstånd till närmsta utrymningsväg, upp till 90 m, kan inte gångtunneln anses som säker för alla ur utrymnings synpunkt.

**Kabelkulverten** som är belägen under den nordöstra delens källarsystem har fyra kabelstegar med stor variation av kablar men även avloppsledningar och dränering. Kabelkulverten befinner sig i en miljö med smuts, översvämningar etc. vilket i kombination med bl.a. högspänningskablar skapar dåliga förutsättningar ur brandsynpunkt. Kabelkulverten avskiljs endast från närliggande brandceller med tunna aluminiumluckor. Dessa saknar god täthet och isolering som krävs för att uppfylla en brandcellsavskiljande funktion. Vid en brand i kabelkulverten sprids brandgaserna snabbt in i den närliggande brandcellen och senare även till övriga brandceller.

Vid en brand bildas bl.a. koldioxid och kolmonoxid som är skadliga för hälsan. Vid en kabelbrand bildas även väteklorid som förenat med vattenånga bildar saltsyra. Saltsyran är starkt frätande och inte enbart skadlig för människan utan orsakar även korrosionsskador på fasta material.

**En insats av räddningstjänsten** i gångtunneln försvåras p.g.a. den dåliga sikten som brandgaserna medför och den långa sträckan som rökdykarna måste förflytta sig vid en inträngning. Enligt Stockholms rökdykarreglemente rekommenderas det att rökdykarna max har en inträngningssträcka på 75 m och försök från Malmö brandkår visar att efter 125 m blir det för tungt för brandmännen att dra slangen. Vid en inträngning i gångtunneln kan inträngningssträckan bli över 180 m vilket belyser inträngningsproblematiken för räddningstjänsten. Med hjälp av brandgasventilation i tunneln finns möjligheten till inträngning i helt brandgasfri miljö. Efter släckning av branden hjälper även brandgasventilationen till att ventilerar ut de resterande brandgaserna ur tunneln.

Utifrån de slutsatser som gjorts i rapporten har dessa åtgärdsförslag tagits fram i kapitel 8:

- Branddörrars funktion *skall* ses över.
- Bristfälliga kabeltätningar *skall* åtgärdas.
- Brännbart materiel *skall inte* placeras i utrymningsvägarna.
- Brandgasventilation *skall* installeras.
- Gångtunneln *skall inte* användas för persontransport.
- Handbrandsläckare *skall* finnas tillgängliga.
- De brandcellsavskiljande luckor som avgränsar kabelkulverten *skall* ersättas.
- Dräneringen i kabelkulverten *skall* ses över.
- Lättantändligt material *skall* tas bort från kabelstegar.
  
- En insatsplan *bör* utformas med räddningstjänsten.
- Blixtljus kopplade till utrymningslarmet *bör* installeras i källarsystemen och gångtunneln.
- Brandspjäll med smältbleck *bör* ersättas mot brandspjäll som aktiveras av brandlarmet.
- Ritningar över objektet *bör* finnas tillgängliga och uppdateras så att de följer dagens utseende och specifikationer.
- En utredning på huruvida avloppsrör och vattnet är lämpliga i kabelkulverten *bör* göras.
- En inventering *bör* göras av kablar i kabelstegarna.
- Täckplåtar *bör* läggas på kabelstegarna för att minska risken för uppkomst av brand.

# Innehåll

1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Mål och syfte.....	1
1.3 Metod.....	1
1.4 Avgränsningar.....	2
2 Objektsbeskrivning.....	3
2.1 Historik / Allmänt.....	3
2.2 Byggnaderna.....	3
2.3 Sydvästra källarsystemet.....	4
2.4 Nordöstra källarsystemet.....	5
2.5 Gångtunneln.....	6
2.6 Kabelkulverten.....	6
3 Brandskyddsbeskrivning nuvarande brandskydd.....	9
3.1 Aktiva System.....	9
3.1.1 Brandlarm.....	9
3.1.2 Brandgasventilation.....	9
3.1.3 Släckutrustning.....	9
3.2 Ventilationssystemet.....	10
3.2.1 Ventilationssystemet vid brand.....	10
3.3 Systematiskt brandskyddsarbete.....	11
3.4 Räddningstjänsten.....	11
4 Brandstatistik.....	13
4.1 Statistik kabelbränder.....	13
5 Inträngningsproblematik.....	15
5.1 Aktionstid för rökdykarinsatser.....	15
5.2 Problematik gångtunneln.....	15
6 Brandförlopp.....	17
6.1 Sydvästra källarsystemet.....	17
6.1.1 Problemställning Hus B.....	17
6.1.2 Diskussion.....	17
6.2 Nordöstra Källarsystemet.....	18
6.2.1 Val av brandscenario.....	18
6.2.2 Brandförlopp Inlastningsrum/sopdepå.....	18
6.2.3 CFast.....	19
6.2.4 Geometriska förenklingar.....	19
6.2.5 Utrymningskriterier.....	20
6.2.6 Resultat/Diskussion.....	20
6.3 Gångtunneln.....	21
6.3.1 Val av brandscenario.....	21
6.3.2 Brandgaser från kablar.....	21
6.3.3 Brandförlopp Gångtunneln.....	22
6.3.4 FDS – Fire Dynamics Simulator.....	22
6.3.5 Geometriska förenklingar och antaganden.....	23
6.3.6 Dimensionering brandgasventilation.....	24
6.3.7 Resultat.....	24
6.3.8 Resultat känslighetsanalys.....	27

6.3.9 Utrymning .....	27
6.3.10 Diskussion .....	27
6.4 Kabelkuverten .....	29
6.4.1 Val av brandscenario .....	29
6.4.2 Brandförlopp Kabelkulverten.....	30
6.4.3 Geometriska förenklingar.....	31
6.4.4 Resultat.....	31
6.4.5 Resultat känslighetsanalys.....	34
6.4.6 Diskussion .....	34
7 Diskussion och slutsats.....	37
8 Förslag till åtgärder .....	39
Referenser.....	41
Bilaga A Hus F .....	43
A.1 Effektkurva träpallar.....	43
A.2 Indata CFast.....	46
A.3 Jämförelse av CFast med FDS .....	46
A.3.1 Jämförelse syrekoncentrationer .....	48
A.3.2 Slutsats.....	50
Bilaga B Gångtunneln .....	51
B.1 Skiss gångtunneln med mått .....	51
B.2 Effektkurva kabelbrand .....	52
B.3 Förenklingar FDS .....	54
B.4 Indata FDS.....	56
B.5 Brandgasernas spridningshastighet.....	70
B.6 Gridstorlekens betydelse.....	70
Bilaga C Kabelkulverten .....	73

# 1. Inledning

Nedan ges en beskrivning av rapportens syfte och uppbyggnad. Rapporten är riktad till såväl brandingenjörer som personal vid objektet.

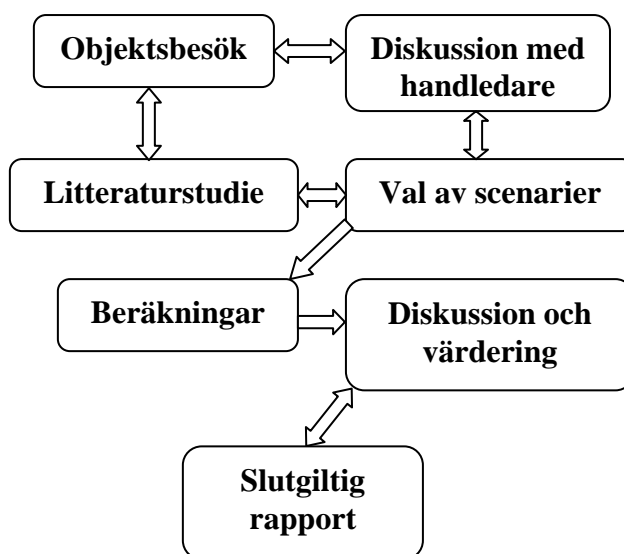
## 1.1 Bakgrund

Denna rapport är ett 10 poängs projektarbete i kursen Brandtekniskt Projektarbete VBR 131 för brandingenjörutbildningen vid Lunds Tekniska Högskola. Arbetet skall visa på kunskap, kompetens och färdigheter som byggts upp under studietiden genom att, i detta fall, utreda brandsäkerheten på valda delar av ett objekt.

## 1.2 Mål och syfte

Anläggningsinnehavarna har enligt den nya lagen *Lag om Skydd mot olyckor* skapat och praktiserar ett systematiskt brandskyddsarbete. Byggnaderna har under årens lopp utvecklats och byggts om för att passa den fortskridande moderna utvecklingen i dagens verksamheter. Dock har källarsystemet underprioriterats bl.a. i brandskyddet och i synnerhet den gångtunnel som går mellan de båda anläggningarna och den kabelkulvert i de nordöstra byggnaderna. Målet med denna rapport är att ta reda på vad som kan vara de största riskerna för källar-anläggningen, från bl.a. gångtunneln, hur närliggande delar påverkas, räddningstjänstens arbetsmöjligheter och även hur säkerheten ser ut i dessa delar samt ge möjliga förslag till förbättringar.

## 1.3 Metod



Figur 1.1 Metodillustration.

För att först skapa en korrekt bild av objektet gjordes ett första besök med dokumentering, fotografering, mätningar etc. Därefter skedde en omfattande litteratursökning för att skapa en bild av problematik vid liknande objekt. Under litteratursökningen och den nödvändiga sällningen av materialet, skedde vidare besök och tankestuga över rimliga scenarier och faktiska problem. Diskussion med handledare från objektet har även genomförts för att få en rapport som även granskar den problematik som redan är belyst av anläggningsinnehavarna. När väl problemställningen var klar skedde vidare litteratursökning och beräkningar av scenarier. Resultaten har sedan diskuterats och värderats för att skapa en komplett och korrekt rapport.

## **1.4 Avgränsningar**

De delar av byggnaderna som analyseras i denna rapport är i huvudsak gångtunnel mellan nordöstra och sydvästra byggnaderna, kabelkulverten i de nordöstra byggnaderna, men även närliggande delar som kan påverkas och skada den befintliga verksamheten i byggnaderna. Rapporten utgår från den information som finns tillgänglig och/eller som går att få fram genom okulärbesiktningar och mätningar. Då byggnadernas tekniska förvaltning inte har tillgänglig information som är av vital del för rapporten och p.g.a. av den sekretess som åligger objektet, måste rapporten avgränsas till att visa vad som krävs för en tillfredsställande brandsäkerhet med avseende på hur närliggande utrymmen berörs och inte hur de direkt påverkas. Det har heller inte beaktats hur en brand påverkar hållfastheten hos byggnadsdelarna

## 2 Objektsbeskrivning

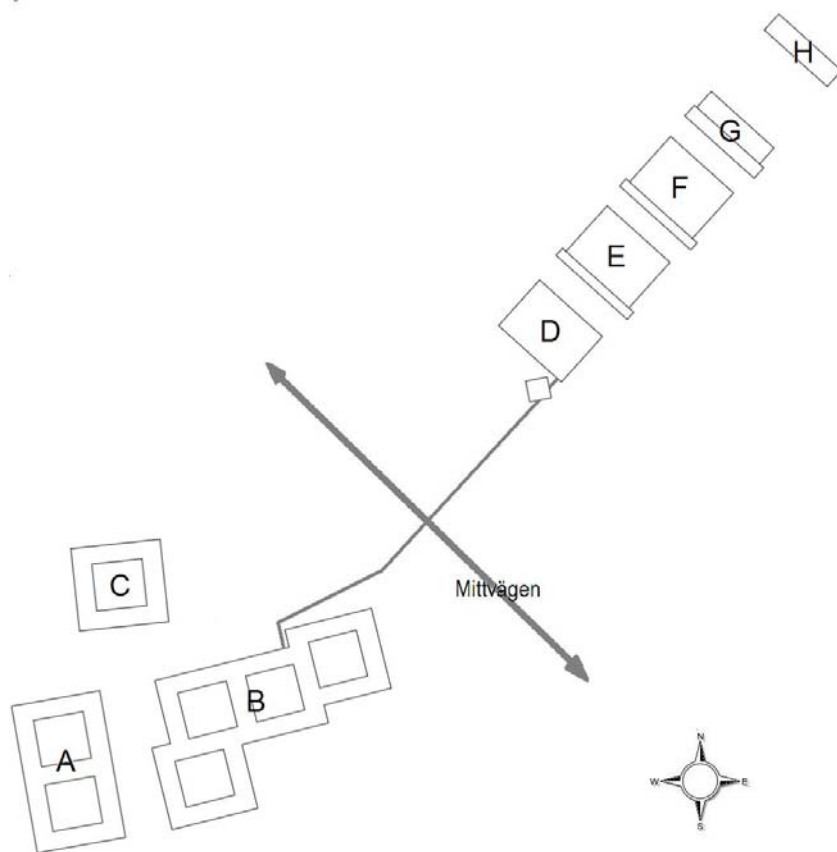
För att skapa en klarare bild av objektet kommer denna del beskriva de delar av objektet som ingår i arbetet av rapporten.

### 2.1 Historik / Allmänt

Byggnaderna färdigställdes i huvudsak på slutet av 60-talet men har därefter genomgått en del ombyggnationer och tillägg för att följa samhällets moderna utveckling och behoven som ställs av byggnadens verksamheter.

### 2.2 Byggnaderna

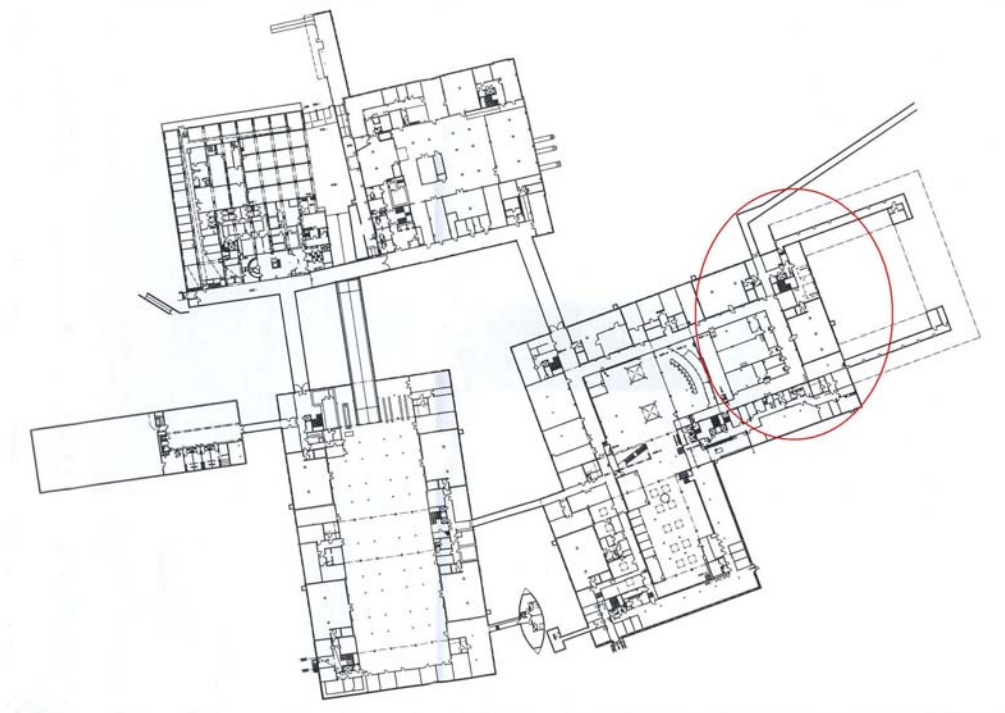
Sydvästra delens byggnader, A - C består i huvudsak av två till trevånings kontorshus. Byggnaderna är konstruerade som sammansatta kvadratiska delar med en eller flera kvadratiska innergårdar, enligt figur 2.1. Under markplan finns ett sammanlänkat källarsystem enligt figur 2.2. Nordöst om dessa byggnader på andra sidan Mittvägen ligger de nordöstra byggnaderna, D till I, som är kontorshus i upp till 11 plan. Även dessa har ett sammanlänkat källarsystem enligt figur 2.4. Dessa båda källarsystem är dessutom sammankopplade med en gångtunnel som är belägen under Mittvägen och sträcker från den sydvästra delens byggnader ca 260 m till den nordöstra delens byggnader, se figur 2.1 nedan.



Figur 2.1. De sydvästra byggnaderna, A – C samt de nordöstra byggnaderna, D - H.

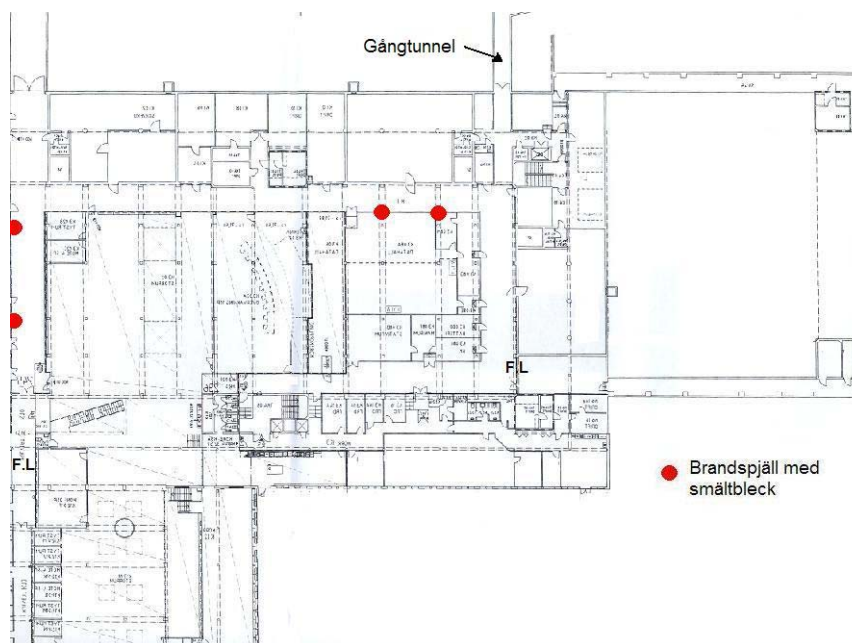
## 2.3 Sydvästra källarsystemet

De sydvästra byggnadernas källarplan består i huvudsak av tre större sammanlänkade källarsystem, se figur 2.2, där en cirkel visar var gångtunneln startar på sin väg mot det nordöstra källarsystemet. Denna cirkel innefattar även den närmsta vitala del som kan tänkas påverkas vid en eventuell brand i gångtunneln.



Figur 2.2 Sammanlänkade källarplanet hos sydvästra byggnaderna.

Figur 2.3 är en förstoring av den närliggande delen intill gångtunneln. Där finns olika verksamheter där bl.a. gamla brandgasspjäll avskiljer de centrala verksamheterna från övriga delar av källarsystemet.

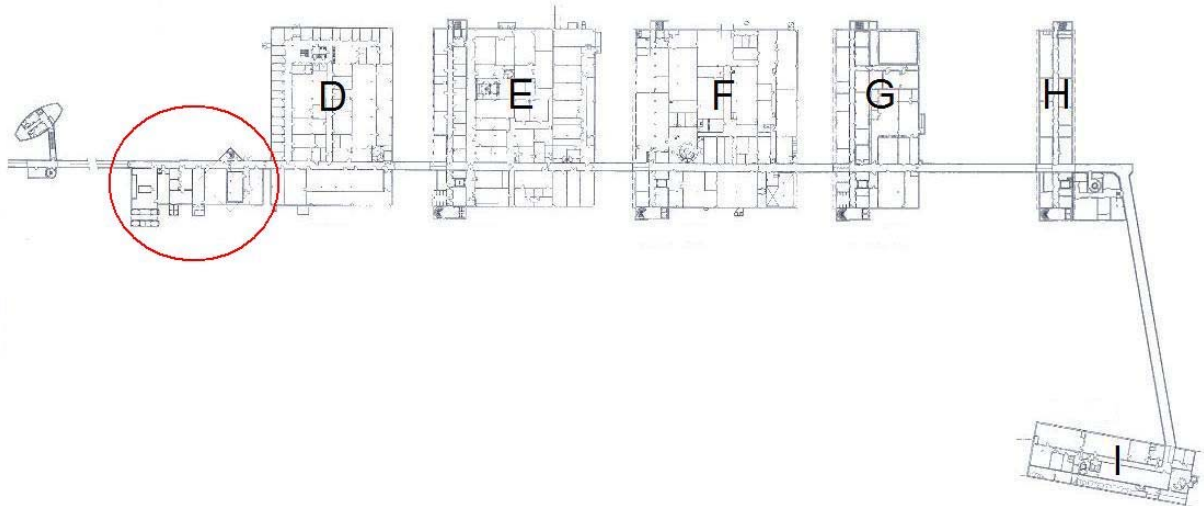


Figur 2.3 Förstoring av källardelen närmast gångtunneln på den sydvästra sidan med utmarkerade brandspjäll och frånluftsdon (F.L.).



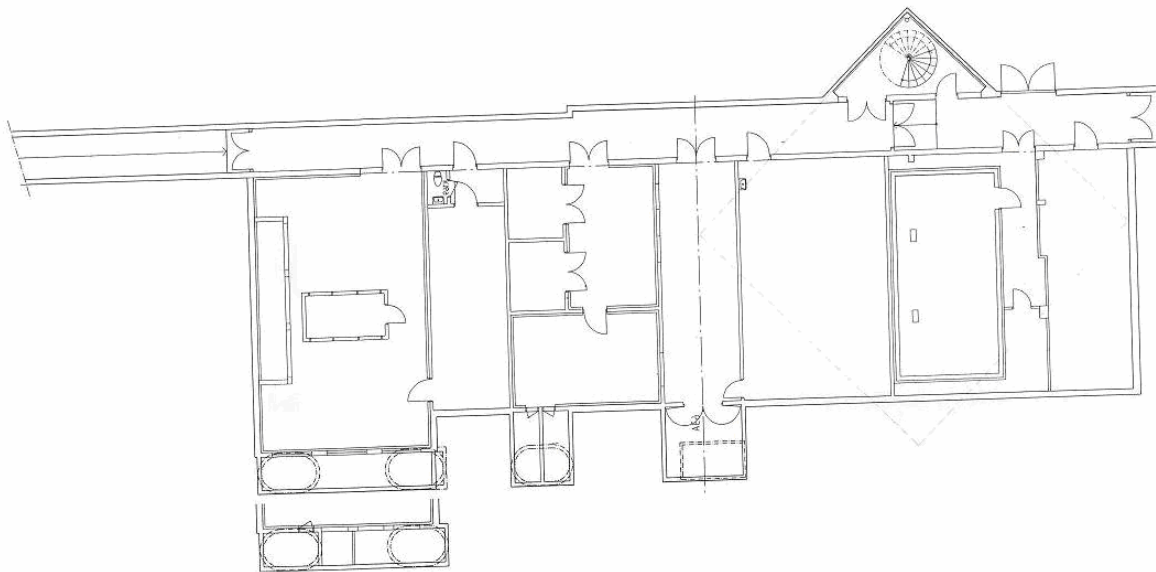
## 2.4 Nordöstra källarsystemet

De nordöstra byggnadernas källarplan består även det av ett sammanlänkat källarsystem som binds samman av en gångkorridor, se figur 2.4 nedan. Den inringade delen i figuren är den som ligger närmast gångtunneln d.v.s. gångkorridorens start vid den nordöstra anläggningen. Denna del kan påverkas mest vid en eventuell brand i gångtunneln eftersom denna del ligger i direkt anslutning till den.



Figur 2.4 Det sammanlänkade källarsystemet hos den nordöstra anläggningen, gångtunnel och närmsta känsliga del inringad.

Figur 2.5 är en förstoring av den känsliga delen, cirkeln i figur 2.4, intill gångtunneln. Där finns inte bara verksamhet som kan vara känslig vid en eventuell brand, utan under denna del av gångkorridoren, från starten av den nordöstra anläggningen, finns en kabelkulvert (kapitel 2.6). Denna går under gångkorridoren och följer dess utsträckning mellan källarplansdelarna. Denna del är inte bara känslig i sig utan kan vara en möjlig start för ett scenario då den ligger i en känslig miljö och har såväl högspänningskablar som annan elektronisk kablage.



Figur 2.5 Förstoring av källardelen närmast gångtunneln på den nordöstra sidan med känsliga utrymmen.

## 2.5 Gångtunneln

Gångtunneln sträcker sig från den sydvästra anläggningen, hus B:s källarsystem, till den nordöstra, hus D:s källarsystem, se figur 2.6, och används i dag främst för persontransport och av vaktmästaren för transport av bl.a. avfall.



Figur 2.6 Genomskärningsskiss gångtunneln.

I taket längs tunneln går två kabelstegar med en variation av kablar, allt från fiberoptiska till vanliga elkablar. Tunneln lutar ca 5° till sin lägsta punkt, se figur 2.7, där den vänder upp med samma lutning. Tunneln avskiljs från respektive källarsystem med brandcellsavskiljande dörrar som stängs när brandlarmet aktiveras. Total längd från första branddörren på sydvästra sidan till första branddörren på nordöstra är ca 260 m, se Bilaga B.1. Här finns tre vägar ut från händelse av brand. De första två är genom sydvästra respektive nordöstra sidans källarsystem och den tredje är via en spiraltrappa längst ner vid tunnelns lägsta punkt. Brandlarmet i tunneln är uppdelad i två sektioner enligt figur 2.6.

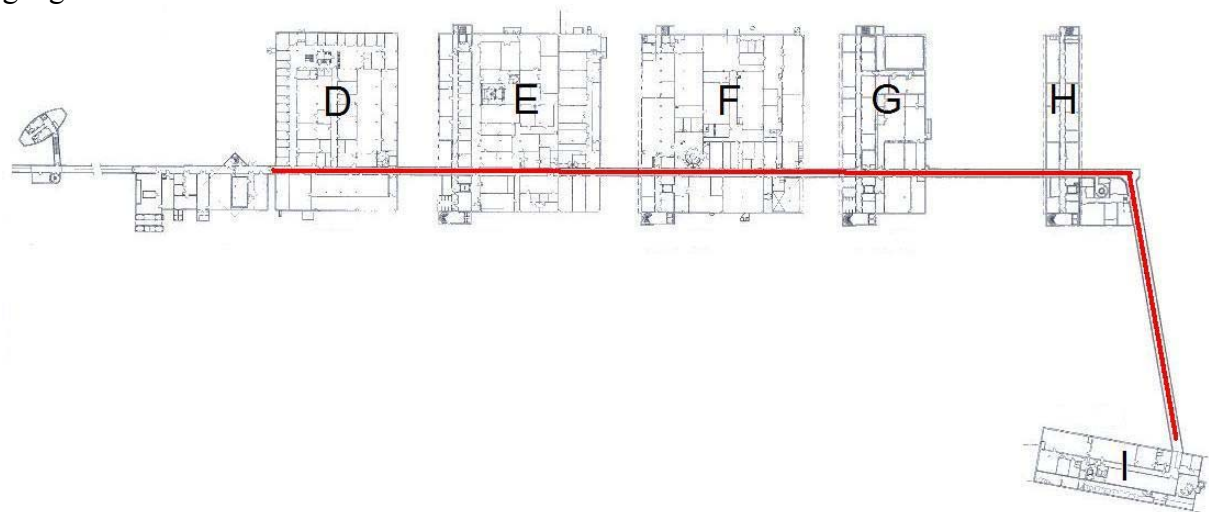


Figur 2.7 T.v. sedd från nordöstra anläggningen, visar den lägsta punkten av gångtunneln ca 6 m under mark. T.h. Nödutgången som går till en spiraltrappa som leder upp ovan mark.

## 2.6 Kabelkulverten

Denna kulvert går under gångkorridoren intill starten av den nordöstra anläggningen, se figur 2.8 nedan, och sträcker sig genom alla dess byggnadsdelar ca 300 m till hus H och svänger sedan vidare mot hus I. Här finns såväl högspänningsledningar som kommunikationskablar och avloppsledningar. Utrymmet är väldigt fuktigt, smutsigt och det finns även indikationer på förekomst av skadedjur som kan orsaka eventuell uppkomst av olycks scenarier. Det förekommer även översvämningar i denna kulvert, den 21 augusti 2006 var det så högt vattenstånd i denna del att vattnet gick ända upp till branddetektorerna i dess tak[1]. Det finns

inga avgränsningar vertikalt mellan byggnaderna längs kabelkuverten utan det enda som förhindrar en spridning av brandgaser är aluminiumluckor som avskiljer den från gångkorridoren ovan. I kabelkulverten finns det såväl rök som värmedetektorer.



*Figur 2.8 Kabelkulvert (markerad) under gångkorridoren i den nordöstra anläggningen.*



### 3 Brandskyddsbeskrivning nuvarande brandskydd

Byggnaden är en enligt Boverkets Byggregler[2] klassad som en Br1-byggnad. Brandcellerna i källarplanet är gjorda enligt EI 60 och med trapphusen gjorda i EI 30.

#### 3.1 Aktiva System

Utmed taket längs hela gångtunneln och de angränsande källarsystemen är rökdetektorer placerade och till detta är även ett utrymningslarm kopplat. Då aktuella ritningar saknar vital ventilationsbeskrivning är brandgasspridningen via ventilationen praktiskt taget oberäknelig. Det finns äldre modeller av brandgasspjäll, som stängs med smältbleck, utplacerade på bl.a. centrala utrymmen i den sydvästra delens källarsystem. Dessa är konstruerade så att vid 66°C smälter blecken och då stängs spjällen som sedan skall hålla brandgaserna utanför eller kvar i rummen. De större modellerna av brandspjäll som finns på de två frånluftssystemen som ligger i sydvästra delens källarsystem, se figur 2.3 och 3.1, har dock inga smältbleck utan är motorstyrda via brandlarmssystemet.



Figur 3.1 Brandlarmsaktiverade brandgasspjäll, följt av smältblecksaktiverade brandgasspjäll.

##### 3.1.1 Brandlarm

Brandlarmet är sektionerat med gångtunneln indelad i två sektioner, se figur 2.6. Delningen i gångtunneln medför att en del av tunneln är kopplad till den sydvästra delen och den andra till nordöstra delens brandlarmssystem. Detta medför att det inte är klart att alla angränsande brandcellsavskiljande dörrar stängs vid ett eventuellt scenario. Då t.ex. nordöstra sidan kan stängas vid ett larm men inte den sydvästra och vice versa.

##### 3.1.2 Brandgasventilation

Det finns ingen, enligt erhållna ritningar och ockulärbesiktning, brandgasventilation i de beskrivna källardelarna och heller ingen i gångtunneln. Enligt **dagens regler** står det skrivet i BBR[2] 5:921 att ”Brandgasventilation av källare skall kunna ordnas i alla byggnader utom i småhus. Källare i en byggnad i klass Br1 skall ha fönster eller andra öppningar mot det fria i en sådan omfattning att trapphusen inte behöver utnyttjas för brandgasventilation”.

##### 3.1.3 Släckutrustning

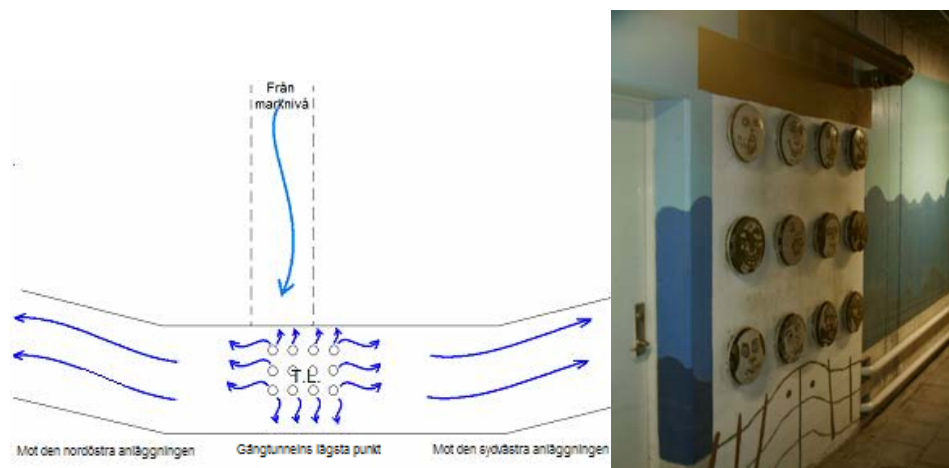
Det finns inget fast släcksystem i gångtunneln eller i de angränsande källardelarna men det finns handbrandsläckare utplacerade på strategiska platser i byggnaden, dock avsaknades vissa av dessa vid objektsbesöken vilket ägare eller nyttjanderättshavare skall tillgodose[3].



Figur 3.2 T.v. Pulversläckare i gångtunneln intill starten vid den sydvästra delen och t.h. avsaknad av brandsläckare i nedre nödutgång från gångtunneln.

### 3.2 Ventilationssystemet

Ventilationssystemet på källarplanet är ett så kallat Från- och Tilluftssystem (FT-system). Tilluften tas från taket och har sitt inlopp på gångtunnelns lägsta punkt med ett inflöde på 0.4 m<sup>3</sup>/s, se skiss i figur 3.3, Frånluften går upp via gångtunneln och ut i de närliggande källardelarna där frånluftsaggregat finns, se figur 2.3. Fläktrummet med tilluftsaggregat ligger intill spiraltrappan på gångtunnelns lägsta punkt, se figur 2.7. Denna tilluft slås ej ifrån vid en eventuell brand utan är alltid på under dagtid och stängs endast av under nattetid.



Figur 3.3 T.v. Skiss över tilluften vid lägsta delen av tunneln, t.h. tilluftsdonen vid den lägsta delen av gångtunneln intill ingången av spiraltrappan.

#### 3.2.1 Ventilationssystemet vid brand

Det funktionskravet som ställs enligt BBR5:653 [2] anger att ”luftbehandlingsinstallationer skall utformas så att ett tillfredsställande skydd mot spridning av brandgas mellan brandceller erhålls.” I ett FT-system sker brandgasspridning lättare än i ett F-system. Då trycket i brandrummet ökar och överstiger trycket i T-systemet, trycks brandgaserna tillbaka och kan således backa i ventilationssystemet och spridas vidare till andra brandceller. Det är således T-systemet som utger, enligt brandgasspridningssynpunkt, den svagaste länken i ett FT-system. Dock spelar en backning i tilluften mindre roll, då den inte är kopplad till någon annan brandcell. I nuläget för att förhindra en eventuell brandgasspridning till närliggande brandceller är det därför av stor vikt att avskiljningar fungerar d.v.s. att de branddörrar som skall stängas är täta och fungerar tillfredsställande.

### **3.3 Systematiskt brandskyddsarbete**

Anläggningen bedriver ett systematiskt brandskyddsarbete, SBA, enligt nya lagen *Lag om skydd mot olyckor* [2]. En tydlig fördelning av ansvarsuppgifter gällande brandskyddet för anläggningen är gjord enligt SBA och utrymningsövningar utförs kontinuerligt.

### **3.4 Räddningstjänsten**

Räddningstjänsten bedöms ha en framkörningstid på 5 min [4] och kan således i bästa fall påbörja en insats i byggnaden inom 10 min efter att de fått larm. Dock är 10 min en mindre trolig tid i dessa svåra utrymmen p.g.a. den problematik de stöter på vid en inträngning.





## 4 Brandstatistik

Statistik från räddningsverket för brandorsak vid brand i byggnader är indelat beroende på vilken typ av byggnad det berör. Indelningen är brand i bostad, brand i allmän byggnad och brand i industri. Objektets byggnader går under kategorin industri.

Den vanligaste **kända** brandorsaken i industrier är p.g.a. värmeöverföring, och den näst vanligaste är något sorts tekniskt fel, se diagram 4.1 [5].

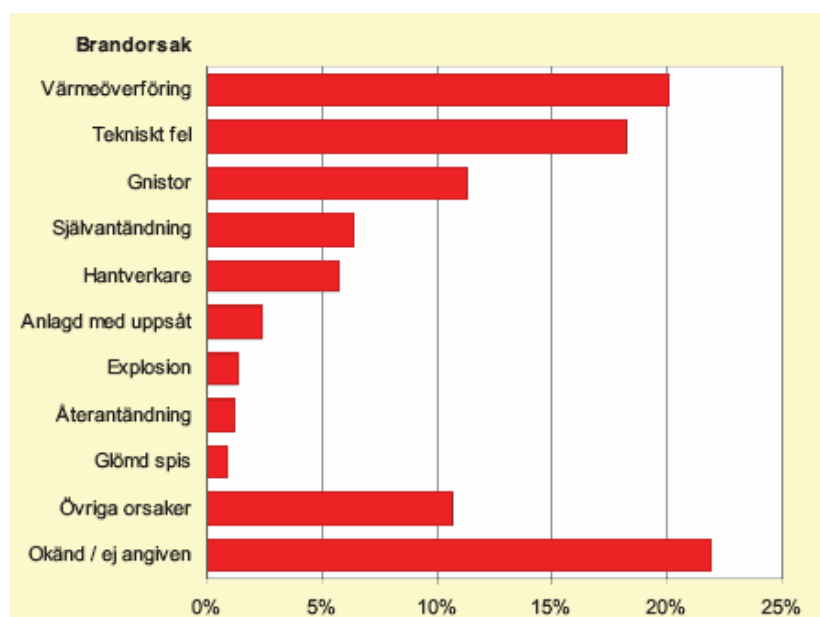


Diagram 4.1 Andel räddningsinsatser vid brand i industri efter brandorsak, 1996-2004.

### 4.1 Statistik kabelbränder

För att gå djupare i den tekniska felorsaken har statistik från Finland studerats. Statistiken är baserad på bränder som uppkommit p.g.a. tekniska fel under 1994 och 1995. Där är kortslutning eller jordfel orsaken till bränderna i 75 %, 1994, och 72 %, 1995, av fallen, se tabell 4.1.[6]

Fire Cause	1994		1995	
	No.	%	No.	%
<b>Electrical fires</b>				
Short circuit or ground fault	870	75	984	72
Loose connection	36	3	56	4
Overheating	54	5	73	5
Improper installation	17	1	11	1
Other electrical faults	186	16	236	17
<b>Electrical faults, total</b>	<b>1163</b>	<b>100</b>	<b>1360</b>	<b>100</b>
<b>All fires</b>				
Electrical faults, total	1163	13	1360	13
Lightning	287	3	306	3
Other known causes	6229	70	6798	67
Unknown	1191	13	1580	16
<b>Total</b>	<b>8870</b>	<b>100</b>	<b>10044</b>	<b>100</b>

Tabell 4.1 Brandorsaker vid tekniska fel i Finland under 1994 och 1995.

Även om ett tekniskt fel inträffar så måste något brännbart material antändas för att en brand skall kunna uppstå. I tabell 4.2 [6] redovisas komponenter som har antänts vid tekniskt fel. I 21% av fallen har isoleringen runt kablarna antänts. Datan är i o.f.s. hämtad från ett rapport-system för fel i kärnkraftverk, men det ger en fingervisning om att kabelbränder, med isoleringen runt kabeln som brännbart material, förekommer.

Ignited Component	No.	%	Voltage		
			Power	Control	Not specified
Cable insulation	8	21	7	1	
Switch, breaker	4	10	2		2
Contact, splice, terminal	1	3	1		
Relay	2	5		2	
Oil	11	28	11		
Slip ring in turbogenerator	1	3	1		
Unknown	10	26	6		4
No fire <sup>1)</sup>	2	5	2		
<b>Total</b>	39	100	30	3	6

Tabell 4.2 Antänd komponent eller material från felrapporter på kärnkraftverk 1997.

## 5 Inträngningsproblematik

Vid en undersökning av den tänkbara problematik som kan uppkomma vid en eventuell brand i gångtunneln (för specifikationer se bilaga B.1) måste man titta på rökdykares inträngningsmöjlighet vid små utrymmen som smala tunnlar.

### 5.1 Aktionstid för rökdykarinsatser

Tiden som en rökdykare har till förfogande under en insats begränsas av den fysiska utmattning som kroppen utsätts för vid bl.a. förhöjd kroppstemperatur och den belastning som blir av slangdragningen. På detta läggs även till den dåliga sikten som brandgaser ger och det begränsade luftförrådet hos de portabla tryckflaskorna. Det luftförråd som räddningstjänstpersonalen bär med sig räcker i normala fall för ett arbete under ca 30 min[7]. Skulle det under inträngningen dessutom krävas en undsättning av drabbade människor kommer detta att skapa en större påfrestning och en större luftförbrukning. Det finns tester[7] som genomförts i industrilokaler för att sedan kunna jämföras med rökdykarinsatser med långa inträngningsvägar som bl.a. tunnlar. Under dessa tester var förflyttningshastigheten i medeltal 6 m/min för ett rökdykarangrepp. Enligt tester och utredningar som gjorts av Malmö Brandkår[7] är det framtaget en maximal insatssträcka för rökdykare med slang till 125 m, efter detta blir det helt enkelt för tungt att dra slangen. Om det skulle vara längre insatssträckor krävs det att det finns brandposter belägna längs vägen. Detta dock med risk av för stora avsteg ifrån brandpersonalens säkerhet. Det måste även tilläggas att rökdykarreglementet vid Stockholms brandförsvaret endast rekommenderar rökdykare att tränga in en maximal sträcka av 75 m[7]. Oavsett själva sträckan så är det sikten och temperaturen i utrymmet som har den avgörande faktorn för hur långt en rökdykaroperation kan fortgå i svåra utrymmen.

### 5.2 Problematik gångtunneln

Gångtunneln, från dess start på den sydvästra sidan ner till den lägsta punkten, är ca 180 m och från den nordöstra delen till den lägsta punkten är ca 70 m. Detta ger en total längd av ca 260 m och detta är enbart avstånden från dess start, inte från en inträngningspunkt för räddningstjänsten. En brand någonstans i de centrala delarna av denna tunnel skulle då skapa väldiga problem för ett ingrepp av räddningstjänsten, inte enbart för att det skulle innebära ett avsteg från bl.a. rökdykarreglementet, utan även då tester och utredningar visar på att detta är över de maximala gränser som anses rimliga för ett rökdykarangrepp. En möjlighet för att underlätta en rökdykarinsats i gångtunneln skulle vara om brandgaser kunde vädras ut och på så sätt ge ett rökdykarangrepp som kan ske med acceptabel sikt och en rimlig angreppstemperatur i tunneln. Om en brand utbryter har brandgaserna egentligen bara två möjligheter att vädras ut dels rakt ut i den nordöstra delen och dels ut i den sydvästra delen. Eftersom tunneln lutar uppåt och varma brandgaser stiger så finns det ingen möjlighet att kunna släppa ut brandgaser upp i trapphuset, figur 2.7. Detta trapphus har en öppning vid den lägsta delen av gångtunneln och följer en spiraltrappa upp i det fria. Det faktum att trapphuset ligger på den lägsta punkten gör att det krävs ett ordentligt övertryck, alternativt ett maskinellt utsug för att kunna transportera bort brandgaserna denna väg och då finns det bättre placering för något sådant. Det måste dock tilläggas att för att öppna denna del krävs det att dörrarna öppnas manuellt och trapphuset skulle i detta läge kunna fungera som en skorsten. Eftersom alla dörrar stängs vid en brand skulle, om dörren öppnas, detta vara ett nytt syreintag för branden och en möjlighet för de varma brandgaserna att ta sig ut om tunneln är fylld med brandgaser. Det skulle i nuläget ej ses som en rimlig möjlighet att intränga denna väg eftersom spiraltrappen är både smal och brant samt går ca 12 m ner under marken. Den ovisshet som räddningstjänsten har om förhållandena i gångtunneln medför en allt för stor risk i detta läge.

Räddningstjänstens möjligheter ligger då i att ta sig in och ner via de nordöstra- alternativt den sydvästra delens byggnader, vilket dock skulle bygga på de redan för långa inträngningsavståndet, och här försöka släcka branden och på något sätt vädra ut brandgaserna. Problemet med att vädra ut brandgaser här blir att det lätt kan spridas vidare till övriga delar av byggnaderna och där ha möjligheten att skapa ytterligare problem. Dessutom skulle en baspunkt utanför gångtunneln bli kontaminerad av brandgaser vid öppnande av dörrarna till tunneln. Detta skulle innebära ett skift av brandpersonal som måste vara beredda i trapphuset eller strax ovanför, i utrymmen som ej är rökfyllda. Så därför måste inträngningen räknas med den extra sträckan ner till källarutrymmet som ansluter till gångtunneln.

## 6 Brandförlopp

I rapporten har fyra delar har studerats närmare, sydvästra källarsystemet, nordöstra källarsystemet, gångtunneln och kabelkulverten. Scenarier har valts ut för att utvärdera delarnas funktionalitet med fokus på risker och brister i brandsäkerheten.

### 6.1 Sydvästra källarsystemet

Källarsystemet som studerats närmare i sydvästra anläggningen är hus B:s källarsystem. Det står även i direkt förbindelse med hus C och hus A, avskilt med branddörrar och uppställda med dörrstängare som är kopplade till brandlarmssystemet. Den centrala verksamheten har ett eget tilluftssystem och frånluften går ut i källarsystemet via don med brandspjäll som stängs med smältbleck. Även verksamheterna i den västra delen av hus B har frånluftsdon som går ut i källarsystemet, med samma brandspjällsfunktion. Dessa smältbleck har en aktiverings-temperatur på 66° C. Källarsystemet är även en utrymningsväg från dessa verksamheter.

#### 6.1.1 Problemställning Hus B

En närmare studie av brandsäkerheten har valt att göras här eftersom det upptäcktes brister i täthet av kabelgenomföringar och dörrar till de centrala utrymmena, se figur 6.1.

Effektiviteten på brandspjällen som aktiveras av smältbleck ifrågasattes också. Källarsystemet används även som uppställningsplats av material, se figur 6.1, vilket inte är godtagbart. Enligt Arbetsmiljöverket[8] skall utrymningsvägar och vägar som leder till dessa, i arbetslokaler, hållas fria från hinder. Detta är heller inte att rekommendera i brandsynpunkt, eftersom brännbart material förvaras i utrymningsvägen.



Figur 6.1 T.v bristfälliga kabelgenomföringar, Mitten springa under dörr, T h. uppställt material i källarsystemet.

#### 6.1.2 Diskussion

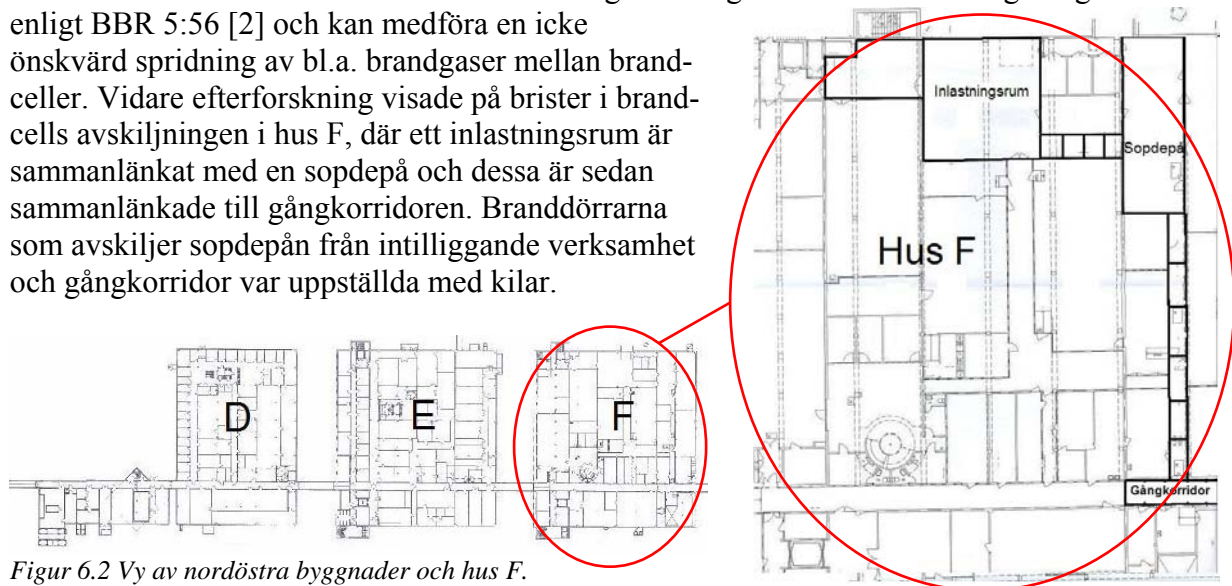
Om en brand utbryter i de centrala utrymmena kan brandgaser utan svårigheter sprida sig ut i källarsystemet eftersom kabeltätningarna och tätheten hos dörrarna är bristfälliga. En svag brand eller en brand i de borte delarna, med avseende från brandgasspjällens position i källarsystemet, kan producera mycket brandgaser utan att de uppnår en temperatur över 66 °C. Det medför att brandgaser kan ha en stigningskraft som är tillräcklig för att spridas fritt genom brandspjällen utan att de stängs.

Eftersom källarsystemet är en utrymningsväg så påverkas utrymnings säkerheten så fort brandgaserna sprids ut i källarsystemet. Därför skall tätningarna i dörrarna samt kabelgenomföringarna åtgärdas och för att vara säkra på att brandspjällen stängs bör de bytas ut mot spjäll som stängs i samband med att brandlarmet går.

Om en brand skulle starta i något av det uppställda materialet i källarsystemet skulle det göra den obrukbar som utrymningsväg. Det blir även en personskaderisk om det står hinder i utrymningsvägarna när sikten är begränsad.

## 6.2 Nordöstra Källarsystemet

De nordöstra byggnaderna har en sammanlänkande gångkorridor mellan alla byggnaderna i källarplanet. Dessa byggnader är alla egna brandceller och avskiljs med branddörrar i klass EI 60 och stängs med magnethållare som aktiveras av brandlarmet. Efter en genomgång av dessa dörrar fastställdes det att 5 av 7 dörrar inte fungerar enligt krav. Detta är icke godtagbart enligt BBR 5:56 [2] och kan medföra en icke önskvärd spridning av bl.a. brandgaser mellan brandceller. Vidare efterforskning visade på brister i brandcells avskiljningen i hus F, där ett inlastningsrum är sammanlänkat med en sopdepå och dessa är sedan sammanlänkade till gångkorridoren. Branddörrarna som avskiljer sopdepån från intilliggande verksamhet och gångkorridor var uppställda med kilar.



Figur 6.2 Vy av nordöstra byggnader och hus F.

### 6.2.1 Val av brandscenario

Inlastningsrummet och sopdepån innehåller potentiella tändkällor och eftersom de är sammanlänkade enda ut till gångkorridoren synes detta som ett lämpligt utrymme att skapa ett brandscenario på för att visa på spridningspotentialen.

Det finns många orsaker till att en brand skall uppkomma som t.ex. anlagd brand, tekniskt fel, etc.(se statistik kapitel 4). Det viktigaste här är dock att det kan uppkomma av en rad olika anledningar och för att göra det visuellt enkelt tas en träpallsstapel i mitten av inlastningsrummet som startkälla för att påvisa spridning mellan brandcellerna (effektkurva, bilaga A.1).



Figur 6.3 Pallstapel som antas som brännbart material.

### 6.2.2 Brandförlopp Inlastningsrum/sopdepå

Det program som används här, för att beräkna brandförloppet, är CFast eftersom det klarar av att räkna med flera rum, vilket blir ett måste i detta fall p.g.a. de långa korridorerna som

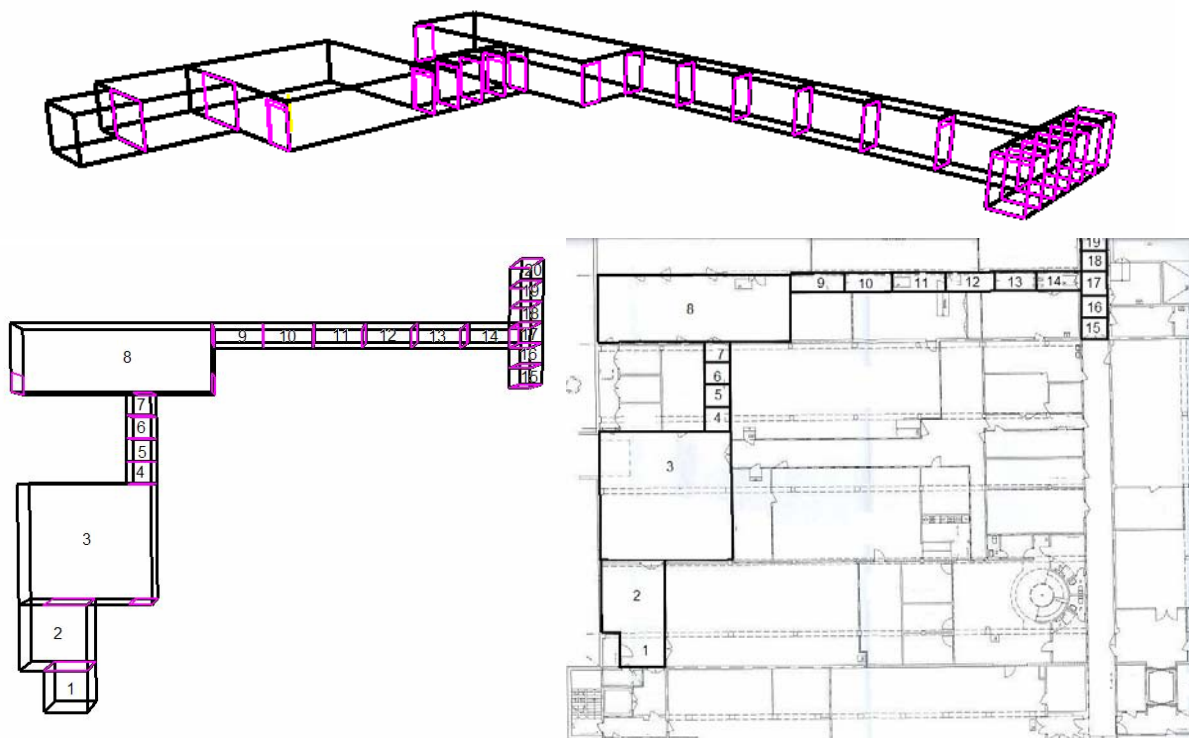
sammanbinder rummen. Varje korridor måste göras om till flera rum för att få en korrekt beräkning, då för långa beräkningsutrymmen ger en felaktig beräkningsbild när det gäller brandgasfyllnad och -spridning.

### 6.2.3 CFast

CFast har utvecklats av Building and fire research, NIST (USA) med ett ursprungligt syfte att simulera bränder i en- och tvåfamiljshus. CFast första version släpptes 1990 och har därefter utvecklats och förbättrats av NIST som även med tiden gett den fler beräkningskomponenter. Den version som används i denna rapport är 6.0.4.50831 som kom ut 2005. CFast är en enklare beräkningsmodell för brand- och brandgasutveckling än FDS, som beskrivs i 6.3, och kräver inte samma långa simuleringstider. CFast baseras på en tvåzonsmodell där de varma brandgaserna stiger och ger en klar skiktning mellan de övre varma och de lägre kalla gaserna. Temperaturerna i skikten anses som enhetliga. Modellen beräknar utbredningen, bildandet av brandgaser och temperaturer per tidsenhet genom de angivna rummen under en brand. Modellen kan användas för beräkning av flera rum, stora som små, allt från 1 m<sup>3</sup> till 1000 m<sup>3</sup>. CFast används av brandingenjörer för enklare beräkningar av brandgasspridningar, toxicitet och temperatur i olika brandgaslager. Modellen kan visuellt visa den skapade geometrin men inte den aktuella brandgasspridningen. Indata kan ges i form av i programmet fasta värden alternativt egna specifika indata som anges av användaren såsom rumsgeometri, vad det är som brinner, rumshöjd och öppningar. Utdata blir i form av en textfil med effektutveckling, temperatur, flöden, brandgasmängd och toxicitet.

### 6.2.4 Geometriska förenklingar

För ge en rimlig brandgasspridning har utrymmena delats upp i 20 zoner med en takhöjd på 2.75 m se figur 6.4. De vertikala öppningarna som blir mellan varje zon har sänkts med 0.25 m, där det inte finns dörrkarmar, och med 0.5 m, där dörrkarmar finns, för att få en tillfredsställande fördröjning på brandgasspridningen.



Figur 6.4 Zonindelning och förenkling i CFast.

## 6.2.5 Utrymningskriterier

För att personer säkert skall kunna utrymma via någon lokal finns det kritiska värden på toxicitet som fastställts, för att människor inte skall utsättas för några skadliga doser.

Kriterierna säger att en säker utrymning kan ske om brandgaslagrets inte understiger kritisk höjd,  $1.6 + 0.1 \cdot (\text{Takhöjden i meter})$ . Om brandgaslagret ändå understiger kritisk höjd kan en säker utrymning ske om sikten i brandgaserna är minst 5 m, koncentrationen koldioxid inte överstiger 5 %, koncentrationen kolmonoxid inte överstiger 2000 ppm och koncentrationen syre inte understiger 15 %. Brandgaslagret får max ha en temperatur på 80°C. [9]

## 6.2.6 Resultat/Diskussion

Beräkningarna visar att efter 5 min skulle zon 17 (belägen i gångkorridoren) vara fylld med brandgaser ner till 1.37 m och en sikt i det övre lagret på 5 m. Dock kan inte detta antas som fullt korrekt då CFast beräkningar blir mindre och mindre korrekta desto längre bort från brandrummet resultaten mäts. Det övre lagret endast har uppnått en temperatur på 45°C, det är då mer troligt att ingen eller en liten skiktning har skett på grund av det långa avståndet från brandrummet och den låga temperaturen. Dock skall det beaktas att det finns brandgaser som sprids mellan brandceller enda ut i gångkorridoren med förhöjda halter kolmonoxid, koldioxid och för låga halter syre. Det trånga utrymmet hindrar spridning av brandgaser vilket gör att brandgaslagret sjunker till låga nivåer relativt snabbt, men branden kan ändå fortsätta då zonerna 15 och 20 är öppna för ytterligare tillförsel av nytt syre.

I samtliga övre brandgaslager som understiger den kritiska höjden, som i detta fall är 1.88 m, uppkommer värden inom 400 sekunder som klart understiger den kritiska syrenivån på 15 %, se Bilaga A.3.1. Detta visar att de brister som finns i brandcellsavskiljningen måste åtgärdas för att förhindra dessa riskabla scenarier.

För att verifiera de beräkningar och antaganden i detta scenario har det gjorts en jämförelse med motsvarande beräkningar av CFD (Computer Fluid Dynamics) med programmet FDS, eftersom det är en mer avancerad beräkningsmodell. Samma indata som användes vid CFast beräkningarna användes i FDS beräkningarna. Därefter jämfördes olika utdata mellan beräkningarna för att finna eventuella avvikelser från CFast resultaten och FDS. FDS beräkningarna och jämförelsen styrker de antaganden och slutsatser som gjorts med marginella undantag som dock ej påverkar scenariots slutsatser. För en närmare beskrivning av jämförelsen se bilaga A.3.

Oavsett storleken på branden kommer brandgasspridning att ske om brandcellsavskiljande dörrar inte nyttjas som föreskrivet. Om dörrarna stängs och är helt täta blir det ingen vidare brandgasspridning, men om det är ett litet läckage någonstans vid dörrarna kommer brandgaser att kunna läcka ut till närliggande utrymmen. Det visas dock att dessa spridningar inte blir något märkvärdigt. Då beräkningar gjordes med en kvarts centimeters läckage mot golvet så visades det att brandgaser spreds vidare, men med låga temperaturer och inga kriterier överskreds. De låga syrenivåer som bildades i scenariot med öppna dörrar försvann när dörrarna hölls stängda, även om ett litet läckage fanns under varje dörr.

I detta scenario användes enbart träpallar som bränsle. Skulle ytterligare spridning av branden ske till närliggande material som är beläget i inlastningsrummet, se figur 6.5, kan en större brandgasmängd bildas. Detta skulle kunna resultera i ytterligare brandgasspridning som saknar möjligheter att motverkas, i och med de felaktiga dörrarna, i såväl brandscenariorummen som vidare ut i gångkorridoren. Detta scenario är en påvisning av vad felaktig hantering av befintligt brandskydd kan leda till.





Figur 6.5 Ytterligare brandmöjligheter i anslutning till lastpallarna i inlastningsrummet.

## 6.3 Gångtunneln

Gångtunneln förbinder de sydvästra- och nordöstra anläggningarna. Den används dagligen för persontransport och av vaktmästaren mellan områdena. Gångtunneln skiljs från angränsande områden med branddörrar i varje ände, uppställda med magnethållare, som aktiveras av brandlarmet. Tunneln är ca 260 m lång och har tre utrymningsvägar. En åt varsitt håll genom sydvästra- respektive nordöstra källarsystemet, och en vid tunnelns lägsta punkt som leds via en spiraltrappa ut i det fria. Om en brand uppstår i tunneln kan i värsta fall vägen till närmaste nödutgång vara över 90 m.

Längs taket i tunneln går två kabelstegar med en variation av kablar. Vid genomgång av branddörrarna upptäcktes att branddörren mot nordöstra anläggningen hade brister och vid genomgång av kabelstegarna upptäcktes att mycket överflödigt/oanvänd kabel fanns kvar i kabelstegarna, samt att lättantändligt material har lagts mellan kablarna. Tunneln har ingen brandgasventilation vilket resulterar i, om en brand skulle uppkomma i tunneln, att brandgasernas enda väg att spridas är via sydvästra- respektive nordöstra källarsystemet.

### 6.3.1 Val av brandscenario

För att få en bild över hur en brand i gångtunneln utvecklas, med brandgasspridning, temperatur och toxicitet samt vilka konsekvenser den kan ha, har tunneln studerats närmare.

Kabelstegarna med dess kablar utgör i sig allt som behövs för en brand. Orsaken till att en brand kan starta kan vara en kortslutning, skadad kabel, jordfel etc., se statistik kapitel 4. Isoleringen kring kablarna består av olika plaster som i o.f.s. inte ger en kraftig brand, men de bildar mycket och giftiga brandgaser. För beräkning av effektkurva se bilaga B.2.

### 6.3.2 Brandgaser från kablar

PVC och PE (polyeten) är vanliga isoleringsmaterial runt kablar [10]. När dessa brinner bildas koldioxid, kolmonoxid och vattenånga, men PVC bildar även väteklorid[11]. Eftersom kabelstegarna innehåller en stor variation av kablar går det inte att beräkna hur höga halter som kommer att bildas, utan bara att det kommer bildas brandgaser som innehåller väteklorid.

Den väteklorid som bildas är i gasform och då väldigt löslig i vatten. Det innebär att vätekloriden som förekommer i brandgaserna förenar sig med vattenångan. När de varma brandgaserna sedan träffar en kall yta så kondenseras blandningen till saltsyra. Om ytan som saltsyran kondenseras mot är av metall så orsakas korrosion. Elektrisk och elektronisk utrustning är extra känslig där saltsyra orsakar anmärkningsvärda korrosionsskador[12].

Det skall även tilläggas att det inte krävs en brand för att PVC skall ge ifrån sig väteklorid. Väteklorid börjar bildas redan vid 100 °C[13] som t.ex. kan ske vid en överhettning av kablar[12].

Om brandgaserna innehåller väteklorid märks det tydligt av personer som kan finnas i brandens närhet. Gasen ger upphov till irritation av slemhinnorna redan innan koncentrationerna har nått hälsoskadliga nivåer. Höga koncentrationer av väteklorid kan orsaka lungskador[14].

Höga koncentrationer av koldioxid i brandgaserna leder främst till att koncentrationen syre minskar. Om en person andas in mycket koldioxid ökar andningsfrekvensen och får på så sätt i sig mer koldioxid och andra giftiga brandgaser. Effekten blir att personen drabbas av syrebrist.

Kolmonoxid påverkar människan genom att när det andas in tas det lättare upp av blodet än syre (210 ggr lättare). På så sätt tränger kolmonoxiden undan syret i blodet och personen drabbas av syrebrist, men också förvärrade symtom som hjärt- och kärlsjukdomar. Varje år omkommer ca 100 personer i bränder och de flesta p.g.a. kolmonoxidförgiftning[15].

### 6.3.3 Brandförlopp Gångtunneln

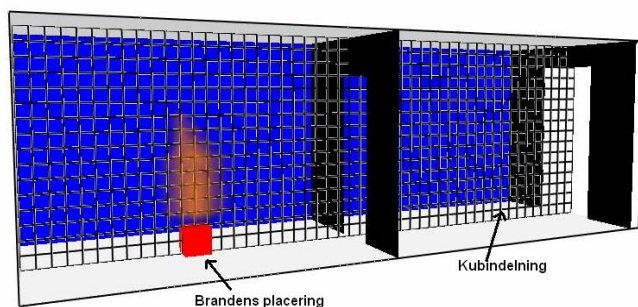
För att beräkna brandförloppen i gångtunneln har simuleringsprogrammet FDS använts. För att påvisa de olika problemen i tunneln har flera olika simuleringar utförts och även för att se hur förhållandena påverkas av en brandgasventilation.

### 6.3.4 FDS – Fire Dynamics Simulator

FDS är ett datorprogram för beräkning av bränder i givna geometrier. FDS har under de senaste 25 åren utvecklats av NIST (National Institute of Standards and Technology) i USA och den första allmänna versionen släpptes år 2000. Version 4.05 som används i dessa simuleringar publicerades under 2005.

FDS används idag över hela världen, vanligen av konsulter, för brandprojektering, brandutredningar för att simulera bränders förlopp i både existerande och projekterade geometrier.

När en simulering ska utföras skapar användaren en beskrivning av geometrin, ventilationen, brandens egenskaper och placering. Geometrin delas sedan in i kuber (grid) av önskad storlek, (ju mindre storlek, desto mer noggrant resultat), se figur 6.6. Under simuleringen beräknas alla egenskaper, så som flödeshastigheter, temperaturer, koncentrationer av ämnen, värmestrålning och brandgasspridning i samtliga kuber. Resultatet kan sedan redovisas antingen visuellt direkt i den angivna geometrin, eller i sifferform för önskade delar av geometrin för mer noggrannhet.

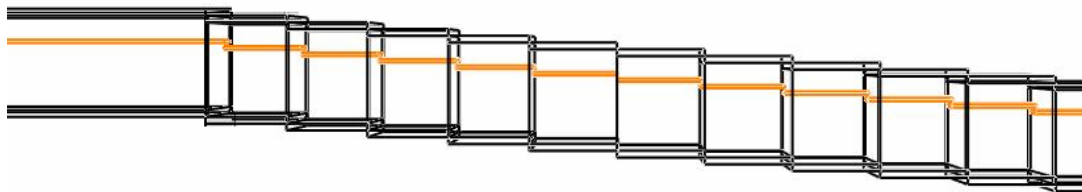


Figur 6.6 Geometribeskrivning FDS.

Simuleringarna kräver mycket stor datorkraft. Simuleringar med mindre geometrier (som en mindre lägenhet) kan köras på en vanlig hemmadator, men när geometrierna blir större och kubstorleken minskas krävs större resurser. I sådana fall körs simuleringarna med flera datorer sammankopplade över ett nätverk. I simuleringarna med FDS har datorer på Lunds Universitet, klustret Lunarc, används, där 7-12 datorer har arbetat samtidigt på varje simulering. Ändå tog de minsta simuleringarna ca 15 h, d.v.s. mer än 4 dygn för en dator.

### 6.3.5 Geometriska förenklingar och antaganden

Geometrin i tunneln har förenklats för att den skall kunna simuleras. FDS klarar endast av rätblock, så därför har lutningen i tunneln byggts upp som en trappa där varje trappsteg är 2.6 m långt och 0.2 m högt. Kabelstegarna har förenklats till en enda stege på höjden 2 m ovan golvet, och följer taket genom hela tunneln, se figur 6.7 och 6.8. Höjden i tunneln är, mellan golv på en övre trappstegsdel och tak på en under trappstegsdel, lika hög som den verkliga tunneln. FDS kan klara att räkna med endast en lutning genom att gravitationsvektorn förändras. I detta fall lutar det åt två olika håll och för att skapa en helhetsbild av brandförloppen i tunneln måste ”trappstegsförenklingen” användas. P.g.a. tidsskäl har inte simuleringar med trappstegsförenklingen jämförts med gravitationsvektorförändringen. Dock visar beräkningar på tryckskillnaden över en slät tunnel och en tunnel med trappstegsförenkling att tryckförlusten är större i en tunnel med trappsteg, se bilaga B.3. Detta medför att flödet och hastigheten påverkas negativt jämfört med en slät tunnel. För tunnelns verkliga mått, se bilaga B.1.



Figur 6.7 Geometridel av tunneln.

För att förenkla svängen på sydvästra sidan har tunneln förskjutits i sidled med 0.2 m för att få ett motstånd i flödet genom svängen. Denna förskjutning ger en flödesförlust som motsvarar den förlust som skulle skapas av den faktiska 20° böj som finns i tunneln. Böjen skulle kunna förenklas med en förlängning av tunneln med ca 3 m, men detta skulle påverka värmeförluster till omgivningen p.g.a. värmetransporter genom väggar, golv och tak, därför har det valts att förskjuta tunneln i sidled [16].



Figur 6.8 Hela simulerade geometrin av gångtunneln, för en klarare bild av helheten, jämför med figur 2.6.

Tilluften längst ner i tunneln har ersatts med ett enda don med samma totalflöde som de verkliga donen,  $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ . För att flödet från tilluften skall stabilisera sig i tunneln så startas tilluften 50 s innan branden startar.

Branddörrarna som stängs av brandlarmet har antagits stängas när brandgaserna har transporterats lika lång sträcka som det maximala avståndet mellan rökdetektorerna (ca 10 m) med en fördröjning på 10 s för att dörrarna helt skall stängas. Eftersom tunneln har brandlarmsdelning, stängs inte branddörrarna i båda ändarna samtidigt, utan brandgaserna måste spridas förbi den lägsta punkten för att den, av branden motsatta, branddörren skall stängas.

### 6.3.6 Dimensionering brandgasventilation

En brandgasventilationens funktion är att underlätta utrymning, förhindra eller försvåra brandgasspridning eller att underlätta en insats av räddningstjänsten [9]. Ur simuleringarna utan brandgasventilation utläses att temperaturen på brandgaserna är relativt låga, vilket gör att dess stigningskraft inte är markanta men tillräcklig för att sprida brandgaserna till de övre delarna av tunneln. Brandgasventilationen har därför placerats i de övre delarna. Eftersom stigningskraften av brandgaserna är begränsad rekommenderas att fläktar som suger ut brandgaserna installeras. Huvudregeln vid brandgasventilation är att lika mycket luft som brandgasventilationen suger ut måste kunna komma in för att få ett tillfredställande flöde.

Risken att en brand uppkommer i tunneln är störst i de lutande delarna då de är betydligt längre än de horisontella delarna. Det resulterar i att endast den del som branden uppkommer i larmas av brandlarmet. I det fallet kommer motstående branddörr på den brandoberörda sidan av tunneln hållas öppen. Om brandgasventilationen startar i samband med att brandlarmet går, används tilluftsventilationen i den lägsta delen och den öppna branddörren på den brandoberörda sidan som tilluft för att få en tillfredställande brandgasventilation. Det skulle då även uppstå ett luftflöde från den brandoberörda delen av tunneln mot brandgasventilationen vilket hjälper för att hålla den delen brandgasfri. På så sätt kan kapaciteten på brandgasfläkten vara större än kapaciteten på tilluftsventilationen i den lägsta delen.

I simuleringarna har kapaciteten på brandgasventilationen beräknats med hänsyn till att den skall klara av det ökade flödet från branden, samt inflödet genom tilluften i den lägsta delen av tunneln. Tumregeln [17] säger att en brand på 0.514 MW ger ett ökat flöde på ca 0.514 m<sup>3</sup>/s. Tilluften i tunneln ger ett ökat flöde med 0.4 m<sup>3</sup>/s vilket ger ett totalt flöde på ca 0.9 m<sup>3</sup>/s. För att få lite marginal har kapaciteten på brandgasfläkten satts till 1 m<sup>3</sup>/s i simuleringarna. Ett krav nattetid dock är att tilluften, i den lägsta delen av tunneln, startas automatiskt när brandlarmet går, då den i vanliga fall är avstängd.

### 6.3.7 Resultat

Simuleringarna som beräknats i FDS är gjorda med en gridstorlek på 20x20 cm och 10x10 cm för att få gridberoende, se bilaga B.6. Simuleringstiden för brandförloppet är 1200 s, dvs 20 min. Olika försök har gjorts med tre scenarier i gångtunneln, en brand på nordöstra sidan, en på sydvästra sidan och en i tunnelns lägsta punkt. Försöken är uppbyggda med helt täta branddörrar, med branddörrar med läckage på 0.01 m<sup>2</sup> (motsvarar ett läckage på ca 6 mm under dörren) och med täta branddörrar där brandgasventilation har installerats. För att kontrollera hur avgörande brandens storlek är har även en känslighetsanalys gjorts, där effekten har fördubblats, för indatafil se bilaga B.4. Resultaten har jämförts med kriterierna för säker utrymning, se kapitel 6.2.5.

#### Brand på Nordöstra sidan

Med täta branddörrar sprids brandgaserna snabbt och når branddörren mot nordöstra byggnaderna redan efter 80 s. Därefter sjunker brandgaserna och sprider sig nedåt i tunneln igen. Efter ca 13 min börjar brandgaserna spridas över till sydvästra sidan av tunneln, se figur 6.9.



Figur 6.9 Brandgasernas utbredning efter 13 min.

Brandgaserna är så täta att de inte går att se igenom, så fort brandgaserna har nått golvet i tunneln är sikten mindre än 1 m. Sikten på sydvästra sidan blir begränsad men understiger inte 5 m. Brandgaserna i övre delen av tunneln innehåller även höga koncentrationer av kolmonoxid, över 2000 ppm, och låga koncentrationer av syre, under 15 %, efter ca 6.5 min. På sydvästra sidan kommer de aldrig upp i några farliga koncentrationer. Temperaturen i brandgaserna varierar hela tiden under brandens förlopp. Som varmast är brandgaserna i den övre delen av tunneln. Efter 6.5 min är temperaturen i de övre delarna av brandgaserna ca 120 °C och ca 80 °C i de undre delarna. Det som händer därefter är att brandgaserna sjunker längre ner i tunneln och når branden, som tränger undan mängden syre som behövs för att branden skall kunna hålla full effekt. Effekten avtar därmed och temperaturen sjunker i brandgaserna. Temperaturen i brandgaserna som sprids till sydvästra sidan har en temperatur på ca 30 °C.

När brandgasventilation installerats förhindras spridningen helt mot sydvästra sidan och brandgaserna hålls i schack i den övre delen på nordöstra sidan av tunneln, se figur 6.10.



Figur 6.10 Brandgasernas position efter 250 s och efter.

Temperaturen i de övre delarna av brandgaslagret är ca 170 °C och ca 80 °C i de nedre delarna, men endast i den brandgasfyllda delen av tunneln. Kolmonoxidhalten och syrehalten överstiger/understiger aldrig sina gränsvärden, men sikten i den brandgasfyllda delen är mindre än 1 m.

Med läckande branddörrar, utan brandgasventilation, är temperaturen i tunneln densamma som med tät branddörr, men brandgaserna sprider sig över till sydvästra sidan av tunneln redan efter 400 s. När brandgaserna nått branddörren och sjunkit ner till dörrens nedre kant, efter 120 s, börjar brandgaserna strömma in i utrymmet innanför branddörren, se figur 6.11. Brandgaserna som strömmar in har en temperatur på ca 70 °C, innehåller mycket sot som snabbt försämrar sikten i utrymmet, koncentrationer på kolmonoxid över 2000 ppm och syrekoncentrationer under 15 %. Efter ca 550 s är hela utrymmet innanför branddörren fyllt med brandgaser och sikten är under 1 m.



Figur 6.11 Brandgasernas utbredning efter 120 s.

### Brand på Sydvästra sidan

Med täta branddörrar fylls tunneln helt i den övre sydvästra delen efter ca 120 s och det innan brandgaserna nått fram till branddörren vilket sker vid ca 150 s, se figur 6.12. Temperaturen i brandgaslagret är som varmast intill branden och håller ca 170 °C. Längre bort från branden kyls brandgaserna snabbt och håller en temperatur på ca 80 °C.



Figur 6.12 Brandgasernas utbredning efter 120 s.

När brandgaserna fyllt övre delen, och börjat strömma ner i tunneln dämpas branden och temperaturerna minskar. Brandgaserna som når branddörren har en temperatur på ca 40 °C och ökar till ca 50 °C under brandförloppet. Koncentrationen på kolmonoxid överstiger 2000 ppm och koncentrationen på syre understiger 15 % efter ca 550 s i de övre delarna av tunneln. Brandgaserna kyls snabbt när de sprids uppåt i tunneln vilket gör att de förlorar sin stigitkraft och sjunker mot golvet. När brandgaserna har fyllt den övre delen av tunneln, efter ca 150 s, har sikten minskat till mindre än 1 m. Brandgaserna sprider sig aldrig över till nordöstra sidan.

När en brandgasventilation installerats når brandgaserna branddörren efter 120 s, men fyller endast den övre delen av tunneln, se figur 6.13. Temperaturerna är oförändrade i jämförelse med brandförloppet utan brandgasventilation, men brandgaserna når aldrig branden och reducerar på så sätt inte dess effekt, vilket medför att temperaturerna hålls genom hela brandförloppet.



Figur 6.13 Brandgasernas utbredning efter 250 s och framåt.

Kolmonoxidkoncentrationen överstiger aldrig 2000 ppm och syrekoncentrationen understiger aldrig 15 %. Sikten understiger 1 m efter ca 200 s, men då endast i den övre delen av tunneln.

Vid branddörr med läckage, utan brandgasventilation, ser brandförloppet likadant ut som om branddörren var tät, förutom så fort brandgaserna når branddörren då börjar de strömma ut i Hus B:s källarsystem. Detta sker efter ca 150 s, se figur 6.14. Brandgaserna som strömmar ut har en temperatur på ca 40 °C och innehåller mycket sot som försämrar sikten samt koncentrationer av kolmonoxid över 2000 ppm.



Figur 6.14 Brandgasernas utbredning efter 150 s.

### Brand vid lägsta punkten

Vid en brand längst nere i tunneln, precis vid tilluften, sprider sig brandgaserna snabbt åt båda hållen, se figur 6.15. Efter ca 230 s är hela nordöstra sidan av tunneln fylld med brandgaser och efter ytterligare 380 s är sydvästra sidan fylld.



Figur 6.15 Brandgasernas utbredning efter 60 s.

Branden kan brinna med full effekt eftersom tilluften förser branden med syre under hela brandförloppet. Temperaturen precis ovanför branden är ca 320 °C och håller sig där under

hela brandförloppet, men eftersom brandgaserna snabbt sprider sig uppåt i båda riktningarna i tunneln kyls de och tappar sin stigmat vilket skapar en väl omblandad miljö med mycket brandgaser. Koncentrationerna av kolmonoxid hålls lägre än brandscenerierna längre upp i tunneln och överstiger inte 2000 ppm för än efter ca 900 s, men då endast på nordöstra sidan.

Med brandgasventilation är temperaturen i tunneln densamma som scenariet utan, men brandgasventilationen fördröjer fyllnadstiden av brandgaser till 330 s på nordöstra sidan och 880 s på sydvästra sidan. Brandgaserna från sydvästra sidan har dock en förmåga att spridas över till nordöstra sidan i slutet av brandförloppet. Koncentrationerna på kolmonoxid och syre överstiger/understiger aldrig sina gränsvärden. Sikten i båda delarna av tunneln är under 1 meter efter ca 250 s.

### **6.3.8 Resultat känslighetsanalys**

En större brand i sydvästra och nordöstra fallen leder inte till högre temperatur men det leder till en snabbare brandgasfyllnad av tunneln. Det medför att de koncentrationerna av de farliga brandgaserna uppkommer snabbare och att sikten försämras snabbare. Vid en större brand vid den lägsta punkten ökar temperaturen ovanför branden till ca 500 °C och ca 70 °C i övriga delarna av tunneln. Brandgasfyllnaden blir även här snabbare i både sydvästra och nordöstra delen av tunneln.

### **6.3.9 Utrymning**

Det kriteriet för säker utrymning som snabbast överskrids är sikten i brandgaserna. Så fort brandgaserna har passerat den kritiska höjden 1.88 m, vilket sker ca 1 min efter att branden har startat, är sikten under 5 m. Det värsta utrymningssceneriet är om en person på väg ner i tunneln inte hör utrymningslarmet och då möts av brandgaserna som är på väg att spridas uppåt. För att beräkna om brandgaserna skulle hinna ifatt personen, då denne vänt upp igen, har brandgasernas spridningshastighet uppåt i tunneln beräknats för de olika scenarierna, se bilaga B.5. Som snabbast transporteras brandgaserna med ca 0.6 m/s i brand på nordöstra sidans känslighetsanalys. Den hastigheten har sedan jämförts med gånghastigheten för en normal person som vid låg persontäthet, vilket det anses vara i tunneln, som på ett horisontellt underlag är 1.3 m/s [18]. I tunneln måste personen gå i en uppförslutning vilket medför att den utrymmande personens gånghastighet antas till 1 m/s. Med utgångspunkt från att brandgasernas spridningshastighet på max 0.6 m/s, den utrymmande personens gånghastighet på 1 m/s så kommer personen gå ifrån brandgaserna och på så sätt hinna sätta sig i säkerhet innan brandgaserna nått personen. Dock gäller detta en person utan någon form av fysiska hinder och inte en person som kan tänkas ha lägre gånghastighet. Enligt BBR[2] 5:332 bör gångavståndet till en utrymningsväg inte överstiga 30 m. I annat fall krävs en analytisk dimensionering men även då bör inte gångavståndet överstiga 60 m [9]. Gångavståndet till närmsta utrymningsväg kan i tunneln bli upp till 90 m.

### **6.3.10 Diskussion**

Vid brand på sydvästra och nordöstra sidan ser brandförloppen nästan identiska ut. Övre delarna av tunneln fylls snabbt med brandgaser och branden dämpas när brandgaserna fyllt upp tunneln. Att inte brandgaserna sprider sig till nordöstra sidan vid sydvästra scenariet beror på att avståndet från lägsta punkten till branden är för stor. Skulle en brand istället starta längre ner på sydvästra sidan skulle brandgaser med största sannolikhet spridas över till nordöstra sidan. Brandgaserna har i båda fallen höga koncentrationer av kolmonoxid och låga halter av syre vilket tyder på att branden är underventilerad, d.v.s. har för lite syre för att hålla full effekt. När en brand inte kan brinna med full effekt p.g.a. syrebrist bildas oförbrända brandgaser. Dessa samlas i de övre delarna av tunneln och vid läckage i branddörrarna kan de

spridas in till hus B och D:s källarsystem. När oförbrända brandgaserna blandas med syre blir de brandfarliga och det kan räcka med en gnista från en lampkontakt eller ett blinkande lysrör för att antända dem.

Temperaturen på de läckande brandgaserna vid sydvästra delen är ca 40 °C vilket räcker för att brandgaserna skall hålla hög höjd, men inte för att aktivera brandspjällen mot de centrala delarna i källarsystemet.

Brandgasventilationen förhindrar inte bara att brandgaserna skall spridas till sydvästra sidan vid nordöstra branden, utan motverkar även att branden skall bli underventilerad, vilket motverkar produktionen av oförbrända brandgaser. Med brandgasventilation hålls en del av tunneln hela tiden fri från brandgaser, vilket underlättar vid utrymning och för räddningstjänsten när de skall göra en insats.

Vid brand vid lägsta punkten sprids brandgaserna åt båda hållen i tunneln och temperaturen vid branden är högre än i de andra scenarierna. Detta beror på att branden inte störs av brandgaserna, utan kan brinna med full effekt med syret från tilluften under hela brandförloppet. Det resulterar även i att koncentrationerna hålls lägre i brandgaserna.

Vid scenariot med brandgasventilation tenderade brandgaserna från sydvästra sidan att sprida sig över till nordöstra sidan, även då en fläkt var installerad på sydvästra sida också. Detta beror på att kapaciteten på båda fläktarna sattes lika och eftersom avståndet från nordöstra fläkten till lägsta punkten är mindre än till sydvästra fläkten bildas mindre motstånd för brandgaserna att transporteras mot nordöstra sidan. På så sätt sker en liten spridning från sydvästra sidan över till nordöstra sidan i slutet på brandförloppet. Tilluftens kapacitet är även för liten för att båda brandgasfläktarna samtidigt skall kunna drivas med full effekt. Brandgasventilationen förbättrar i det här läget inte utrymningssäkerheten eller räddningstjänstens inträngningsmöjligheter, förutom att brandgasfyllnadstiden i tunneln blir längre.

Med känslighetsanalys vid tunnelns lägsta punkt ökar temperaturen och fyllnadstiden av brandgaser minskar. Eftersom produktionen av brandgaser ökar kommer de påverka branden genom att tränga undan syret från tilluftsventilationen och dämpa branden. Då finns risk för att oförbrända brandgaser bildas som kan spridas och eventuellt antändas i intilliggande utrymmen. En brandgasventilation skulle även hjälpa i detta läge för att minska risken för oförbrända brandgaser.

Brandgaserna som bildas i samtliga scenarier är mycket kompakt och innehåller mycket sot, vilket medför att sikten begränsas snabbt i tunneln. Detta försvårar en insats för räddningstjänsten och är den avgörande faktorn för utrymning. Även om brandgasernas spridningshastighet är långsam och en person normalt sätt kan gå ifrån dem anses gångtunneln inte vara säker för alla ur utrymningssynpunkt. Detta p.g.a. att gångavståndet till närmsta utrymningsväg i värsta fall kan bli 90 m.

De geometriska förenklingarna medför att det blir en viss fördröjning av spridningen av brandgaser. Detta eftersom brandgaserna måste passera kanten på de trappsteg som tunneln är uppbyggd av. I verkliga tunneln är taket och golvet helt slätt, vilket ger ett mindre motstånd för brandgaserna än i den simulerade geometrin. Detta medför att spridningshastigheten i verkliga fall är högre än i de simulerade scenarierna. Kabelstegarna som i simuleringarna är helt plana kan medföra en långsammare utveckling av en brand. I den verkliga tunneln lutar



kabelstegarna med samma lutning som tunneln, vilket kan medföra att förloppet utvecklas snabbare. Detta styrker att gångtunneln inte är säker ur utrymningssynpunkt. Förenklingen med ett tilluftsdon nere vid tunnelns lägsta punkt påverkar inte förloppet, då simuleringar med exakt antal tilluftsdon även har gjorts och resultaten jämförts.

Brandgasventilationen har olika påverkan på de olika scenarierna. En viktig funktion som en brandgasventilation har i samtliga scenarier är även att ventilerar ut brandgaserna när branden väl är släckt.

## 6.4 Kabelkuverten

Kulverten, som är beskriven under kapitel 2.6, ligger under hela den gångkorridor som sträcker sig igenom den nordöstra delens källarsystem. Den är ca 2.2 m bred och har en takhöjd på ca 1.4 m i den första delen, belägen närmast sydväst, och sedan höjs taknivån med ca 0.4 m fram till kulvertdelen under hus H. Detta ger en genomsnittlig höjning på ca 0.1 m per byggnadsdel upp till 1.8 m. Delar av de kablar som ligger på kabelstegarna igenom gångtunneln, från de sydvästra byggnadernas sida, går ner under gångkorridoren till kabelkulverten vid den nordöstra sidans startdel och här tillförs även en del högspänningskablar. Det är även här en stor blandning av kablar, som synes nedan i figur 6.16, vilka ger en rimlig likhet till kabelbrandberäkningarna i gångtunneln, därför kommer det här att användas en del härledning därifrån. För specifikationer av effekt m.m. för kabelbrand se kapitel 6.3.



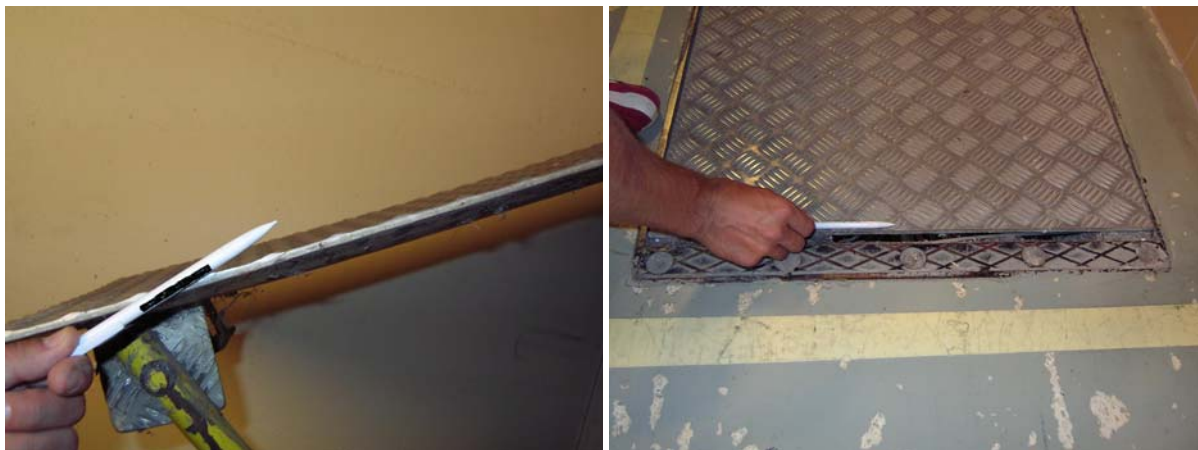
Figur 6.16 Kablar i kabelkulverten på vänstersida respektive högersida sett från startdelen närmast den sydvästra anläggningen.

### 6.4.1 Val av brandscenario

De förhållanden som kulverten befinner sig under, med översvämningar och smuts etc., ger en stor olycksrisk och den avgränsas endast från närliggande brandceller genom tunna aluminiumluckor. Dessa luckor är 0.58 m breda, 1.05 m långa och ca 0.5 cm tjocka. De har dessutom en dålig passform som ofta skapar öppna glipor vid stängning. De kablar som finns i kulverten är både nya och väldigt gamla, vissa är även ihopskarvade [1] och under förutsättningar som översvämningar finns även möjlig ärgning på kablarna. Under en försäkringsrevision påvisades även att aluminiumluckor var undermåliga ”06-01 Huvudkulverten. Aluminiumluckorna till kabelschaktet skall ersättas med ställuckor helst isolerade och täta. Detta för att förhindra värmespridning och syreläckage in till schaktet i händelse av en brand.”

Kraven som ställs på brandcellsavskiljande byggnadsdelar är enligt BBR 5:56 [2] ”Brandcellsavskiljande byggnadsdelar skall vara täta mot genomsläpp av flammor och gaser och vara så värmeisolerande att temperaturen på den av brand opåverkade sidan inte medför risk för brandspridning. Byggnadsdelen skall utformas så att den upprätthåller sin avskiljande funktion...” och där tillkommer BBR 5:6214 [2] ”Dörrar, luckor och portar i en brandcellsavskiljande byggnadsdel skall normalt utföras i samma brandtekniska klass som gäller för den aktuella byggnadsdelen...”. För att belysa problemet ytterligare står det i SBFs rekommendationer [19] kapitel 5.1 att ”Kabelkulvertens omslutande väggar, golv och tak utförs i lägst brandteknisk klass A 60 och med tillräcklig mekanisk hållfasthet” (A 60 motsvarar dagens EI 60).

Aluminium har en väldigt bra ledningsförmåga och dessa luckor är ca 0.5 cm tjocka vilket medför att det blir en väldigt snabb värmetransport till den brand opåverkade sidan. Det finns dessutom otätheter vid stängning av luckorna, se figur 6.17, som vid en eventuell brand, medför en direkt spridningsrisk av eventuella brandgaser etc. från kabelkulverten till nästa brandcell. Dessutom säger SBFs rekommendationer [19] kapitel 8.1 att ”Rör för gas, olja eller vatten får ej förläggas tillsammans med elkablar i kabelkällare, -kulvert eller -schakt, om inte välgrundade orsaker tvingar fram en sådan förläggning”. I kulverten finns såväl avloppsrör som rent vattenflöde, speciellt vid översvämningar. Dessa anvisningar som räknats upp här visar tydligt på bristfälligheter som finns hos denna kulvert innan ens ett scenario har testats för att se på konsekvenserna.



Figur 6.17 En bild av en aluminiumlucka som skall skilja kabelkulverten från annan brandcell.

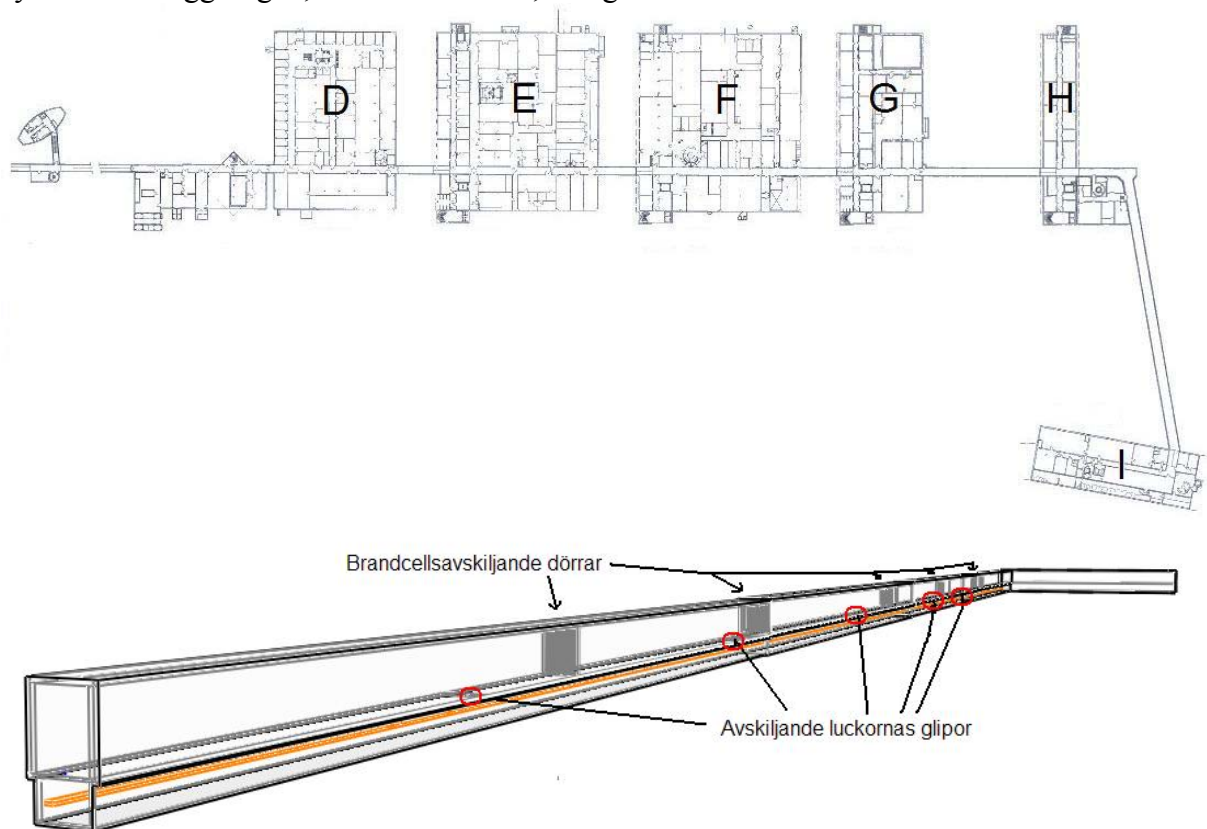
Det finns många orsaker till vad som skulle kunna orsaka ett scenario i denna kabelkulvert, se statistik kapitel 4. Bara det faktum att det förekommer ordentliga översvämningar i en kulvert full med gamla och nya kablar, med allt från enkla kommunikationskablar till högspänningsledning, ger en klar bild av vad som kan ske. Faktumet att det finns indicier på att skadedjur kan förekomma ger ytterligare en bild på att en stor risk för brand existerar här.

#### 6.4.2 Brandförlopp Kabelkulverten

Kulverten sträcker sig helt öppen över en väldigt lång sträcka. Beräkningar visar att det finns fullt tillräckligt med syre för att hålla igång en kabelbrand, lik den som beräknas i 6.3, i över 50 min (se bilaga C). Detta skulle innebära att de springor i aluminiumluckorna, som ligger närmast branden, inte i första hand är någon kritisk del för tillförsel av syre till en eventuell brand utan skulle fungera som läckage för brandgaser att spridas ut i de intilliggande brandcellerna.

### 6.4.3 Geometriska förenklingar

För att se hur en brand skulle påverka omgivningen i kabelkulverten har kulverten beräknats i FDS. De bitar som har beräknats är en sammanlänkad bit från dess start, närmast den sydvästra anläggningen, fram t.o.m. hus I, se figur 6.18.



Figur 6.18 Geometrisk förenkling av kabelkulvert och gångkorridor i FDS.

Simuleringarna som beräknats i FDS är gjorda med en gridstorlek på 20x20 cm och 10x10 cm, resultaten ger marginell skillnad vilket styrker ett gridoberoende. Simuleringstiden för brandförloppet är 1200 s. Flera scenarier har beräknats med två olika bränder i kabelkulverten.

Eftersom de luckor som skall avskilja kabelkulverten från övriga brandceller är undermåliga har det satts att dessa läcker med en motsvarande glipa som i detta fall blir  $0.01 \text{ m}^2$ . Det har sedan gjorts tre scenarier, ett med läckage i de brandcellsavskiljande dörrar som finns i korridoren ovanför kabelkulverten, då dessa har visats vara undermåliga (se Kapitel 6.2). Läckagen under dörrarna har satts att motsvara en ca 6 mm glipa, vilket blir  $0.01 \text{ m}^2$ . Ett scenario har gjorts med helt täta branddörrar. Dessa båda scenarier har utformats så att kabelbranden startar i närheten av en brandcellsavskiljande lucka och därför har kabelbranden flyttats i det tredje scenariet till en position mellan två luckor.

För att kontrollera hur avgörande brandens storlek är har även en känslighetsanalys gjorts, där effekten har fördubblats.

### 6.4.4 Resultat

#### Scenario med läckage i brandcellsavskiljande dörrar i korridoren

Kabelbranden är satt att starta i en kabelstege nära starten intill gångtunneln och branden beräknades börja direkt och följa effekten enligt kabelbranden i kapitel 6.3. Inom 60 s är ca 30

m av kabelkulverten fylld med brandgaser till halva dess höjd och de har även börjat läcka upp till utrymmet ovanför kulverten, se figur 6.19.



Figur 6.19 Inom 60 s börjar brandgasspridning ske till ovanliggande brandcell.

Efter ca 2 min når brandgaserna fram till nästa lucka, ca 40 m från den första. Vid detta läge är brandgaserna så tjocka i kulverten att det i stort sett inte är någon sikt i denna del. P.g.a. det lilla utrymmet och den mängd brandgaser som produceras dämpas kabelbranden vilket ger ett långsammare förlopp och temperaturerna i brandgaserna hålls relativt låga, ca 140°C nära branden, och kyls snabbt längre bort p.g.a. de stora avstånden.

Efter 3 min håller nästa brandcell ovan kabelkulverten på att fyllas av brandgaser och själva kulverten är i stort fyllt fram till hus E, se figur 6.20.



Figur 6.20 Rökfyllnad vid 180 s.

Inom 300 s sker ytterligare läckage till en tredje brandcell, kabelkulverten är då fylld med kompakta brandgaser på en sträcka av ca 130 m. Utrymmet närmast ovanför branden är fyllt med brandgaser under de kriterier som är fastställda för en säker utrymning, se kapitel 6.2.5, och mängden brandgaser ökar snabbt i detta utrymme för att senare fylla det helt. Det är fortfarande en låg temperatur i brandgaserna, ca 160°C nära branden, men sikten i brandgaslagret är väldigt liten p.g.a. de kompakta brandgaserna, se figur 6.21.



Figur 6.21 Brandgaserna sprids inom 300 s till ytterligare en tredje brandcell.

Allt eftersom brandgaserna fyller kabelkulverten dämpas branden och brandgasspridningen sker allt långsammare. Efter ca 11 min börjar brandgasspridning ske till en fjärde brandcell och då är det första utrymmet, närmast ovan branden, totalt fyllt med brandgaser och utrymmet efter är fyllt med tjocka brandgaser ner under 1.88 m, som är kriteriet för brandgaslagrets höjd för säker utrymning i korridoren. Brandgaserna har vid 11 min en temperatur av ca 20°C i det första rummet och ca 140°C i kabelkulverten nära branden.

### Scenario täta brandcellsavskiljande dörrar i korridoren

Även i detta scenario sker brandgasspridningen till ovanliggande brandceller väldigt snabbt. Det sker ett läckage till den närmaste brandcellen inom 60 s, se figur 6.22, men där efter sker en förändring mot föregående scenario.



Figur 6.22 Brandgasspridning till närmaste brandcell sker inom 60 s.

Det bildas ett högre tryck i korridorerna som inte kan fördelas, i o.m. att de brandcellsavskiljande dörrarna hålls täta, och på så sätt sker brandgasspridningen gradvis i ”puffar” genom luckornas glipor. Då brandgaserna når den andra luckans glipa, efter 140 s, börjar denna fyllas med brandgaser och spridningen till den första brandcellen avstannar, se figur 6.23. Temperaturerna i brandgaserna hålls även i detta scenario relativt låga, ca 160°C nära branden, och kyls snabbt längre bort i kulverten.



Figur 6.23 Brandgaserna når nästa brandcell efter ca 140 s och brandgasfyllnaden avstannar till den första brandcellen.

Brandcellernas tryckuppbyggnad medför att det blir en mindre brandgasspridning från kabelkulverten upp till brandcellerna. P.g.a. den stora volymen, i kabelkulverten, finns det tillräckligt med syre för att hålla branden vid liv en längre tid men den dämpas allteftersom brandgaserna fyller utrymmet. Vid 300 s är kabelkulverten totalt fylld med brandgaser över en sträcka på ca 130 m, temperaturen i brandgaserna är låg, ca 170°C nära branden, och sikten är obefintlig, se figur 6.24.



Figur 6.24 Kabelkulverten är vid 300 s fylld med brandgaser över en sträcka på ca 130 m och sikten är obefintlig.

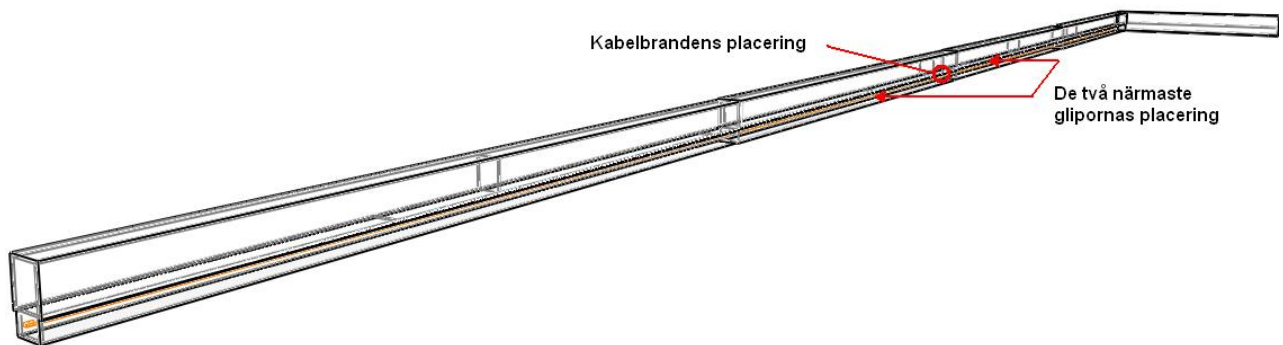
Efter ca 700 s är det första utrymmet fyllt med brandgaser långt under de fastställda utrymningskriterierna medan övriga brandceller ännu inte har fått några större mängder av brandgaser, se figur 6.25. Brandgaserna har i kulverten då ca 170°C nära branden och i det första utrymmet ca 20°C.



Figur 6.25 Efter ca 700 s är första brandcellen brandgasfylld medan övriga ännu är säkra för utrymning.

### Scenario med kabelbranden centrerad

I detta scenario har branden placerats i mitten av kabelkulverten, mellan två luckor, se figur 6.26.



Figur 6.26 Placering av kabelbranden och de närmaste luckornas glipor.

I detta scenario tar brandgasspridningen till närmaste brandcell dubbelt så lång tid, d.v.s. ca 80 s, dock sker det då till två brandceller samtidigt, se figur 6.27, och efter detta till ytterligare två efter 200 s. Även i detta scenario visas brandgaserna hålla en låg temperatur, ca 150°C efter 200 s nära branden, men är väldigt kompakta. Med den centrala placeringen av branden sker spridningen snabbare än i övriga scenarier då hela kabelkulverten är fylld med brandgaser på 700 s och det sker då ett läckage av brandgaser till samtliga ovanliggande brandceller.



Figur 6.27 Brandgasspridning till två brandceller på 80 s.

Detta scenario ter sig likt de övriga på samma sätt om de brandcellsavskiljande dörrarna är täta eller har läckage d.v.s. vid täta branddörrar sker ett litet läckage av brandgaser till ovanliggande brandceller medan det avsevärt ökar om dörrarna inte är täta.

### 6.4.5 Resultat känslighetsanalys

En större brand i kabelkulverten medför inte någon högre temperatur i brandgaslagren, nära branden ökar temperatur i genomsnitt från 160°C till 240°C. Temperaturen direkt ovanför branden ökar från ca 280°C till ca 380°C. Den högre effekten hos känslighetsanalysen leder dock till en snabbare brandgasfyllnad. Det medför även att spridning till ovanliggande brandceller sker snabbare och att koncentrationerna av de farliga brandgaserna uppkommer snabbare samt att sikten försämras snabbare.

### 6.4.6 Diskussion

Oavsett var på en kabelstege i kabelkulverten en brand skulle uppstå sker utvecklingen och spridningen av brandgaser mycket snabbt. I samtliga scenarier börjar det redan efter en minut spridas brandgaser till den närmaste brandcellen och kort därefter till nästa. Kabelbranden har en långsam spridning p.g.a. den mängd brandgaser som bildas och som dämpar dess effekt. Detta medför dock att en avsevärd mängd kompakta brandgaser bildas och sprids snabbt igenom luckornas glipor. Detta visar på att aluminiumluckornas dåliga täthet kan skapa väldigt stora problem vad gäller brandcellsavskiljning. Luckorna behöver ha en hög täthet men även god isolering för att detta inte skall kunna inträffa. Dessa scenarier visar även på

vikten av att de brandcellsavskiljande dörrarna i korridoren hålls täta, då de kan dämpa spridningen mellan brandcellerna avsevärt, förlänga tiden för utrymning och minska en kontaminering av brandgaser till övriga verksamheter.

För att sådana scenarier som beräknats i denna del inte skall inträffa överhuvudtaget måste kulverten ses över ordentligt. Kablarna måste få en totalinventering för att se så inte skador kan ha inträffat vid bl.a. översvämningar och speciellt skarvningar som, om de inte utförts korrekt, kan vara en ytterst svag länk. Dessutom måste dräneringen av kulverten ses över så inte de nämnda översvämningarna kan ske. De resultat som kommit fram av detta scenario är till stor del på grund av de bristfälliga delar, som strider mot lagar och förordningar, som beskrivits i 6.4.1.





## 7 Diskussion och slutsats

Överlag finns det små och stora brister i det befintliga brandskyddet. Framförallt gäller det brandcellsavskiljande dörrar som har brister i sin funktion och uppställning. Vid efterforskning i de nordöstra byggnaderna visade det sig att 5 av 7 dörrar i gångkorridoren hade allvarliga brister. Den sopdepå som är belägen i hus F har brandcellsavskiljande dörrar som är uppställda med kilar vilket medför en direkt brandgasspridning genom flera brandceller ända ut till gångkorridoren. Vid beräkningar har uppställda träpallarna använts som bränsle för att påvisa brandgasspridning genom brandcellerna. Dessa pallar är dock endast en del av det potentiella bränslet i utrymmet. En verklig brand skulle enkelt kunna få ett kraftigare förlopp och mer utvecklad brandgasspridning. Detta är tillsynes små brister i det befintliga brandskyddet men kan ge stora konsekvenser vid ett scenario. En enkel åtgärd för att förhindra detta är att se till att det befintliga brandskyddet nyttjas så som föreskrivet i lagar och förordningar. Om personalen vill att dörrarna skall stå uppställda vid lokalernas nyttjande skall dörrarna stå uppställda med magnethållare, eller motsvarande, som aktiveras vid ett brandlarm och inte på något annat sätt hållas öppna. Vidare skall alla dörrar ses över och åtgärdas så ingen brandgasspridning kan ske mellan brandcellerna. Dessa dörrar är så pass bristfälliga att en brandgasspridning i dagens läge skulle kunna ske igenom så gott som hela nordöstra delens källarsystem, om tillräckligt med brandgaser produceras.

Kabelkulverten under de nordöstra byggnaderna innehåller kablage i stor variation. Miljön i utrymmet är smutsigt, fuktigt och där förekommer även översvämningar vid kraftiga skyfall samt indikationer på skadedjur. Detta är en ytterst olämplig miljö för en kabelkulvert. De aluminiumluckor som skall avskilja denna kulvert mot närliggande brandceller är i nuläget undermåliga i sin brandtekniska utformning. Brandgasspridning från kabelkulverten sker snabbt till närliggande brandceller och det trånga utrymmet ger en stor mängd oförbrända brandgaser som kan antändas av små tändkällor i andra utrymmen. Eftersom kulverten är ett trångt och svåråtkomligt utrymme som vid händelse av brand snabbt sprider brandgaser till andra brandceller ger det en mycket svårarbetad miljö för räddningstjänsten. Detta ställer inte bara höga krav på den brandcellsavskiljande förmågan utan även på förhindrandet av uppkomsten av en brand. Det är därför inte bara luckorna som skall åtgärdas utan även miljön i kabelkulverten måste förbättras. Dränering skall ses över så inga översvämningar kan ske, kablarna måste inventeras med hänsyn till bl.a. skick, skarvning, möjlig ärgning och oanvända kablar etc.

Den gångtunnel som sammanbinder de sydvästra med de nordöstra byggnaderna är ett komplicerat utrymme. Det är ett litet utrymme under en lång utsträckning som snabbt kommer att fyllas med brandgaser vid en eventuell kabelbrand. Tunneln saknar brandgasventilation som medför att brandgaserna endast kan ventileras ut genom nordöstra alternativt sydvästra källarsystem. Utformningen av gångtunneln gör det inte bara svårt för räddningstjänsten att tränga in den långa sträckan och bekämpa en brand, utan den snabba brandgasfyllnaden skapar även snabbt en väldigt låg sikt som försvårar arbetet ytterligare. Brandgaser som bildas dämpar själva branden och bildar mycket oförbrända brandgaser, som kan antändas av externa källor vid läckage eller öppnande av de brandcellsavskiljande dörrarna. Brandgaserna behöver ingen antändning för att göra skada i de närliggande utrymmena. Brandgaserna i sig skapar en stor saneringsinsats då sot och andra ämnen som bildas kan smutsa ner närliggande utrymmen och även orsaka stor skada elektronisk utrustning.

Vid en brand bildas bl.a. koldioxid och kolmonoxid som är skadliga för hälsan. Vid en kabelbrand såsom dessa bildas även väteklorid som förenat med vattenånga bildar saltsyra.

Saltsyran är starkt frätande och inte enbart skadlig för människan utan orsakar även korrosionsskador på materiel.

En brandgasventilation i gångtunneln motverkar produktionen av oförbrända brandgaser och fördröjer brandgasfyllnadstiden i tunneln samt spridning till närliggande utrymmen. I bästa fall kan halva tunneln hållas helt fri från brandgaser vilket ger en mer lättarbetad miljö för räddningstjänsten. Dessutom skulle det hjälpa efterarbetet då brandgaserna inte skulle behöva vädras ut genom källarsystemen.

Eftersom det är ett litet utrymme i gångtunneln skulle en brand upptäckas relativt snabbt av brandlarm alternativt en person som befinner sig i tunneln. Då personal som transporterar sig i utrymmet i vissa fall har hörselkåpor eller liknande, t.ex. vid transport med eltruck, kanske inte brandlarmet gjort denna person uppmärksam av branden. En person utan fysiska hinder skulle normalt ha möjligheter att utrymma vid en brand. Dock är det ett väldigt långt gångavstånd som i värsta fall kan bli 90 m till närmsta utrymningsväg. Det finns stora risker att normalbelysningen slutar fungera och den självlysande utrymningslinjen på golvet är i dåligt skick. Det finns heller ingen nödbelysning att tillgå och vägledande skyltar saknas längs tunneln. Därför kan inte gångtunneln anses som säker för alla ur utrymningssynpunkt.

Då räddningstjänsten har en insatstid till objektet på 5 - 10 minuter skulle tunneln kunna vara helt fylld med brandgaser innan de har anlänt. En brandgasventilation skulle kunna underlätta en rökdykarinsats då den brandgasfyllda inträngningssträckan skulle kunna förkortas avsevärt. I bästa fall skulle rökdykarna kunna ta sig ner till branden i en någorlunda brandgasfri miljö. Om en brand i gångtunneln utlöser larmet på nordöstra sidan skulle det kunna vara ett bättre alternativ för räddningstjänsten att ta sig in via sydvästra sidan, för att i största mån förhindra vidare brandgasspridning. Dessa strategier skulle kunna underlättas med väl utformad insatsplan för räddningstjänsten.

Om en brand utbryter i en central verksamhet, i det sydvästra källarsystemet, kan brandgaser utan svårigheter sprida sig ut i källarsystemet eftersom kabeltätningarna och tätheten hos dörrarna är bristfälliga. En svag brand eller en brand i de borte delarna, med avseende från brandgasspjällens position i källarsystemet, kan producera mycket brandgaser utan att de uppnår en temperatur över 66 °C. Det medför att brandgaser kan ha en stigmatkraft som är tillräcklig för att spridas fritt genom brandspjällen utan att de stängs. Även ett läckage eller ett öppnande av branddörren från gångtunneln kan sprida sådana brandgaser att dessa utrymmen kontamineras. Det medför att brandgaser kan spridas fritt genom brandspjällen utan att de stängs. För att vara säker att brandspjällen stängs bör de bytas ut mot spjäll som stängs i samband med att brandlarmet aktiveras.

Om en brand skulle starta i något av det uppställda materialet i källarsystemet skulle det göra den obrukbar som utrymningsväg. Det blir även en personskaderisk om det står hinder i utrymningsvägarna när sikten är begränsad.

Om en brand uppstår kan en snabb släckningsinsats av driftig personal i initialskedet vara det mest effektiva. Förutsättningen är dock att det finns någon form av släckutrustning nära till hands. Vid besök på objektet saknades flera handbrandsläckare på utmarkerade platser. Det bör därför ske en inventering av denna utrustning för att säkerställa denna släckmöjlighet.

## 8 Förslag till åtgärder

De åtgärdsförslag som ges har i uppgift att motverka uppkomsten av en brand och vidare motverka spridningen av branden och dess brandgaser för att mildra dess konsekvenser. Dagens lagar och förordningar är inte retroaktiva d.v.s. byggnader som är konstruerade och uppförda innan lagarna trädde i kraft behöver inte följa dessa, såvida de inte byggs om. Dock står det skrivet enligt *Lag om skydd mot olyckor*, 2003:778, kapitel 2, 2§, att ”Ågare eller nyttjanderättshavare till byggnader eller andra anläggningar skall... ..vidta de åtgärder som behövs för att förebygga brand och för att hindra eller begränsa skador till följd av brand.” Därför skall dagens lagar och förordningar användas för att skapa tillfredsställande person-säkerhet och brandskydd.

Åtgärdsförslagen har delats in i enklare och mer omfattande åtgärder för att få en överblick på vad som kan åtgärdas i nuläget. Vidare har åtgärdsförslagen indelats i *skall* och *bör* för att belysa vikten av att åtgärderna genomförs.

### Enklare åtgärder

#### **Skall**

Branddörrars funktion *skall* ses över så de uppfyller kraven enligt BBR 5:56. I nuläget finns det dörrar som inte går igen helt, dörrar med läckage och dörrar som ställts upp med kilar. Om det är ett krav för verksamheterna att dörrarna hålls öppna *skall* de i sådana fall ställas upp med magneter som aktiveras av brandlarmet. Detta för att hindra spridning av brandgaser vid eventuell brand.

Bristfälliga kabeltätningar *skall* åtgärdas, då korrekt utförda tätningar är ett måste för att förhindra brandgasspridning mellan brandceller. (BBR 5:56).

Brännbart materiel *skall inte* placeras i utrymningsvägarna, även då det bara är tillfälligt. Det är i sig inte bara bränsle för en eventuell brand utan skapar även hinder för personer vid en utrymning. (AFS 2000:42 78§).

Gångtunneln *skall inte* användas för persontransport p.g.a. de allt för långa gångavstånden till närmsta utrymningsväg. Detta för att säkerställa en utrymning innan kritiska förhållanden uppstår. (BBR 5.332).

Handbrandsläckare *skall* finnas tillgängliga på de utmarkerade platserna för att möjliggöra en släckinsats i initialskedet. En tidig släckinsats kan helt förhindra ett brandförlopp. (Lag om skydd mot olyckor).

Lättantändligt material *skall* tas bort från kabelstegar för att förhindra uppkomst av brand.

#### **Bör**

En insatsplan *bör* utformas med räddningstjänsten för att underlätta eventuella insatser i de svåra utrymnena. En bra orientering över området och färdiga insatsstrategier underlättar ett räddningstjänstarbete.

Blixtljus kopplade till utrymningslarmet *bör* installeras i källarsystemen och gångtunneln för att personal med hörselkåpor eller dylikt skall bli varse om larm.

Brandspjäll med smältbleck *bör* ersättas mot brandspjäll som aktiveras av brandlarmet för att säkerställa dess funktion. Brandgaser med lägre temperaturer än smältbleckens aktiveringstemperatur kan spridas och orsakar vidare skador om åtgärder inte vidtas.

Ritningar över objektet *bör* uppdateras så att de följer dagens utseende och specifikationer. Det *bör* vara lättillgängliga för framtida ändamål, så som försäkringsutredningar, brand-skyddsprojektering m.m.

## **Omfattande åtgärder**

### ***Skall***

Brandgasventilation *skall* installeras för att underlätta utrymning, en räddningstjänstinsats, minska produktionen av oförbrända brandgaser och motverka alternativt förhindra brandgasspridning till närliggande utrymmen. Brandgasventilation *skall* enligt dagens byggregler finnas i källarsystem i Br1 byggnader (BBR 5:921).

De brandcellsavskiljande luckor, som avgränsar kabelkulverten mot angränsande utrymmen, *skall* bytas ut så att uppfyller de krav som ställs. De brister som finns idag medför direkt brandgasspridning mellan flera brandceller. (BBR 5:56 samt SBFs rekommendationer 11:1 1979).

Dräneringen i kabelkulverten *skall* ses över så att översvämningar i dessa utrymmen inte kan ske, trots kraftiga skyfall.

### ***Bör***

En utredning på huruvida avloppsrör och vattnet är lämpliga i kabelkulverten *bör* göras för att minska risken för skador på kablar, tekniska fel och uppkomst av brand. (SBFs rekommendationer 11:1 1979).

En inventering *bör* göras av kablar i kabelstegarna för att bestämma dess skick och för att minimera det brännbara materialet *bör* överflödiga kablar tas bort.

Täckplåtar *bör* läggas på kabelstegarna för att minska risken för uppkomst av brand.

## Referenser

- [2] *Boverkets Byggregler BFS 1993:57 med ändring till och med 2005:17*, Föreskrifter och allmänna råd, Karlskrona
- [3] Lag om skydd mot olyckor 2003:778
- [7] *Räddningsinsatser vid tunnelbränder – Probleminventering och miljöbeskrivning vid brand i spårtunnel*, FoU Rapport, SRV, Karlstad, 2001
- [8] *Arbetsplatsens utformning*, Arbetarskyddsstyrelsens Författningssamling AFS 2000:42
- [9] *Brandskyddshandboken*, Rapport 3134, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 2005
- [10] *Dikromdifenyleter - underlag till ett internationellt förbud -*, Kemi Rapport 5/04, Kemikalieinspektionen, Stockholm, 2004
- [11] *Fire - LCA Models: Cable Case Study*, SP Report 2001:22, SP Swedish National Testing and Research Institute, Borås, 2001
- [15] *Utsläpp från bränder – Analyser av brandgaser och släckvatten*, SP Report 2002:24, SP Swedish National Testing and Research Institute, Borås, 2002
- [16] Miller, Dennis, *International Flow Systems*, BHRA, 1986
- [17] Jensen, Lars, *Brandgasspridning via ventilationssystem*, KFS AB, Lund, 2002
- [18] *Utrymningsdimensionering*, Boverket, Karlskrona, 2004
- [19] *SBFs Rekommendationer 11:1 1979*, Svenska brandförsvarsföreningen, Stockholm
- [20] Karlsson, B. & Quintiere, J. G., *Enclosure Fire Dynamics*, Boca Raton: CRC Press LLC, 1999
- [21] National Fire Protection Association & Society of Fire Protection, *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Quincy National Fire Protection Association, USA, 1988
- [23] *Cable Fires in difficultly accessible areas*, SP Report 2002:12, SP Swedish National Testing and Research Institute, Borås, 2002

## Elektroniska källor

- [5] Räddningstjänsten i siffror : Fakta om räddningstjänstens insatser 1996 – 2004, <http://www.srv.se/Shopping/pdf/20836w.pdf>, 2006-09-02.
- [6] Fire induced damage to electrical cables and fire growth on cables, [http://www.eurosafe-forum.org/ipsn/pdf/euro2\\_1\\_4\\_fireinduced\\_damage.pdf](http://www.eurosafe-forum.org/ipsn/pdf/euro2_1_4_fireinduced_damage.pdf), 2006-06-20
- [12] Pyrolys av PVC, <http://www.kmv.chalmers.se/gamlahemsidan/pyrolys/pvc.html>, 2006-09-17

[13] Brandgasspridning via ventilationssystem, <http://www.brand.lth.se/utbild/pbr/pbr-5018.pdf>, 2006-09-17

[14] PVC och brand, PVC Forum, [http://www.pvc.se/PDF/brand\\_lo.pdf](http://www.pvc.se/PDF/brand_lo.pdf), 2006-09-17

[22] John H. Klote, Design Fires: What You Need to Know, <http://www.hpac.com/member/archive/pdf/2002/0902/klote.pdf>, 2006-08-17

[24] Materialegenskaper, [http://www.e.kth.se/~e99\\_nja/](http://www.e.kth.se/~e99_nja/), 2006-08-11

[25] Plastex, PE, <http://www.plastex.se/produkter/material.html>, 2006-08-18

### **Övrigt**

[1] Samtal med ansvarig vid objektets tekniska förvaltning, 2006-08-24

[4] Samtal med registrator vid det lokala brandförsvaret, 2006-09-18

## Bilaga A Hus F

### A.1 Effektkurva träpallar

Effektkurvan har beräknats på en stapel med Europallar, 1.2 x 0.8 x 0.15 m, se figur 6.3. Det har valts en stapel på ca 1.5 m där den maximala energin av dess massa har beräknats och jämförts med energin som är möjlig att utveckla ur syrenivån i utrymmena. Därefter har en möjlig effektkurva beräknats för att sedan kunna användas i vidare beräkningar i hus F.

#### Beräkning av effektkurva

Mått per träpall 800x1200x150 mm

Vikt ca 21 kg/pall

Total massa trä: 10 träpallar á 21 kg = 210 kg

Golv area med bränsle (längd x bredd) = 1.2 m · 0.8 m (två staplar)  $\approx 1 \text{ m}^2$

Effekt per kvm ( $Q''$ ) = 4200/1 = 4200 kW/m<sup>2</sup> [19]

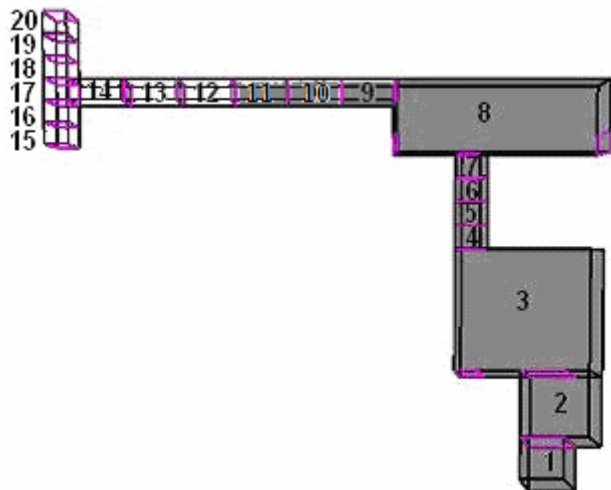
$\Delta H_c$  (furu) = 19500 kJ/kg [21]

$\Delta H_{\text{eff}} = \Delta H_c \cdot 0.7 = 19500 \cdot 0.7 = 13650 \text{ kJ/kg}$

Den totala effekten av bränslet blir således  $13650 \cdot 210 = 2866500 \text{ kJ}$

#### Beräkning av syremängd vid brand

Här används zon 1 – 11, vilka är helt öppna mot varandra, detta för att få en liten blick på om branden kommer att begränsas under förloppet.



Figur A.1 Skuggade ytor är de som används vid beräkningarna.

$V$  = Rummets volym [m<sup>3</sup>]

$E$  = Total energimängd [kJ]

$\gamma$  = Volymandel syre i luft [%]

$\chi$  = Andel syre som kan förbrännas (antaget värde 0.5)

$\alpha$  = Tillväxtkonstant [kW/m<sup>2</sup>]

$\rho$  = densitet [kg/m<sup>3</sup>]

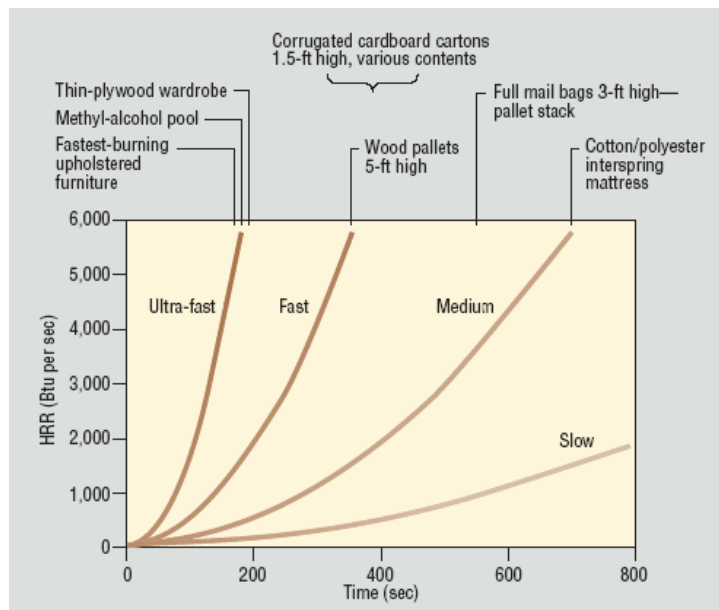
$$V = 12.6 \cdot 2.75 + 30.8 \cdot 2.75 + 110 \cdot 2.75 + 3.8 \cdot 2.75 \cdot 4 + 91.84 \cdot 2.75 + 6.72 \cdot 2.75 \cdot 3 = 771.7 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{syre}} = V \cdot \rho_{\text{syre}} \cdot \gamma = 771.7 \cdot 1,2 \cdot 0,23 = 212.975 \text{ kg}$$

$$E = \chi \cdot m_{\text{syre}} \cdot \Delta H_{c, \text{syre}} = 0,5 \cdot 212.975 \cdot 13 = 1384.34 \text{ MJ} = 1384340 \text{ kJ}$$

$$2866500 \text{ kJ} > 1384340 \text{ kJ}$$

Eftersom den totala energin från syret klart understiger den möjliga energibildningen hos bränslet kommer branden att bli syrekontrollerad.



Figur A.2 Tillväxthastighet för olika material med bl.a. träpallsstapel.[22]

Pallstapeln beräknas ha en *fast* kurva i startdelen, se figur A.2, och eftersom avsvalningsfasen sker i en långsammare hastighet än tillväxten sätts avsvalningsfasen till en ”snabb” *medium* ( $0.025 \text{ kW/s}^2$ ) till *slow*.

$$\text{Fast} = 0.047 \text{ kW/s}^2$$

$$\text{Medium} = 0.012 \text{ kW/s}^2$$

$$\text{Slow} = 0.003 \text{ kW/s}^2$$

$$\dot{Q} = \alpha t^2$$

$$\dot{Q} = 4200 \text{ kW}$$

$$\sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} = \sqrt{\frac{4200 \text{ kW}}{0.047}} = 298.9 \text{ s}$$

Branden får sin topp efter ca 5 minuter på 4.2 MW.

Uttrycket integreras för att få fram energin under tillväxtfasen:

$$E_B = \int_0^{298.9} \alpha \cdot t^2 dt = \left[ \frac{\alpha \cdot t^3}{3} \right]_0^{298.9} = 418364 \text{ kJ}$$



Då avsvlningsfasen sker under ett långsammare förlopp än tillväxten har dess hastigheter satts till:

Den inledande avsvlningen  $0.025 \text{ kW/s}^2$  ( $\alpha_2$ ) under de inledande 360 s

Den avslutande fasen  $0.003 \text{ kW/s}^2$  ( $\alpha_3$ ) under 560 s

För att sedan beräkna den energi som avsvlningsfasen kräver har dessa värden integrerats till:

$$E_{B2} = \int_0^{360} \alpha_2 \cdot t^2 dt = \left[ \frac{\alpha_2 \cdot t^3}{3} \right]_0^{360} = 388800 \text{ kJ}$$

$$Q = 0.025 \cdot 360^2 = 3240 \text{ kW}$$

$$4200 - 3240 = 960 \text{ kW}$$

$$E_{B3} = 960 \text{ kW} \cdot 360 \text{ s} = 345600 \text{ kJ}$$

$$E_{B4} = \int_0^{560} \alpha_3 \cdot t^2 dt = \left[ \frac{\alpha_3 \cdot t^3}{3} \right]_0^{560} = 175616 \text{ kJ}$$



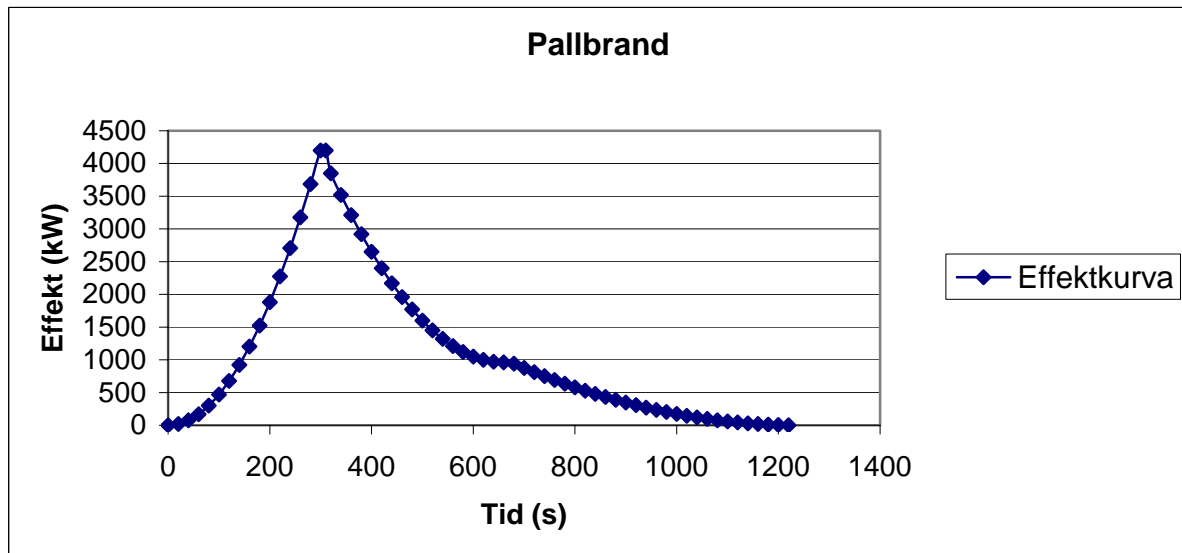
Den totala energin som förbränns blir således:

$$E_B + E_{B2} + E_{B3} + E_{B4} = 418364 + 388800 + 345600 + 175616 = 1328380 \text{ kJ}$$

$$1384340 \text{ kJ (det totala syrets energi)} - 1328380 \text{ kJ} = 55960 \text{ kJ}$$

$$\frac{55960 \text{ kJ}}{4200 \text{ kW}} = 13.3 \text{ s (den tid som effektkurvan kommer att hålla sin maximala effekt)}$$

Detta resulterar i en effektkurva med utseende enligt följande:



Figur A.3 Effektkurva träpallar i hus F.

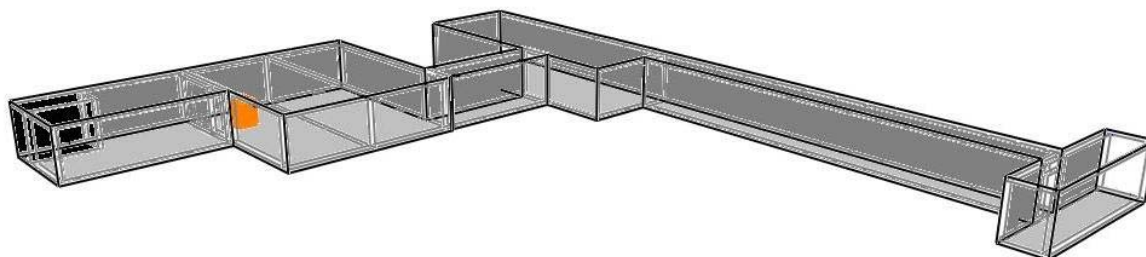
## A.2 Indata CFast

	<b>zon 1</b>	<b>zon 2</b>	<b>zon 3</b>	<b>zon 4</b>	<b>zon 5</b>	<b>zon 6</b>	<b>zon 7</b>
<b>Golvmaterial</b>	betong	Betong	betong	betong	betong	betong	betong
<b>Väggmaterial</b>	betong	Betong	betong	betong	betong	betong	betong
<b>Takmaterial</b>	betong	Betong	betong	betong	betong	betong	betong
<b>Golvyta (m<sup>2</sup>)</b>	12.6	30.8	110	3.8	3.8	3.8	3.8
<b>Takhöjd (m)</b>	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75
<b>Brandrum</b>	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Nej	Nej
<b>Öppningar ut</b>	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej
	<b>zon 8</b>	<b>zon 9</b>	<b>zon 10</b>	<b>zon 11</b>	<b>zon 12</b>	<b>zon 13</b>	<b>zon 14</b>
<b>Golvmaterial</b>	betong	Betong	betong	betong	betong	betong	betong
<b>Väggmaterial</b>	betong	Betong	betong	betong	betong	betong	betong
<b>Takmaterial</b>	betong	Betong	betong	betong	betong	betong	betong
<b>Golvyta (m<sup>2</sup>)</b>	91.84	6.72	6.72	6.72	6.72	6.72	6.72
<b>Takhöjd (m)</b>	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75
<b>Brandrum</b>	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej
<b>Öppningar ut</b>	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej
	<b>zon 15</b>	<b>zon 16</b>	<b>zon 17</b>	<b>zon 18</b>	<b>zon 19</b>	<b>zon 20</b>	
<b>Golvmaterial</b>	betong	Betong	betong	betong	betong	betong	
<b>Väggmaterial</b>	betong	Betong	betong	betong	betong	betong	
<b>Takmaterial</b>	betong	Betong	betong	betong	betong	betong	
<b>Golvyta (m<sup>2</sup>)</b>	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06	
<b>Takhöjd (m)</b>	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	
<b>Brandrum</b>	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	
<b>Öppningar ut</b>	Ja	Nej	Nej	Nej	Nej	Ja	

Tabell X.4 Indata till CFast

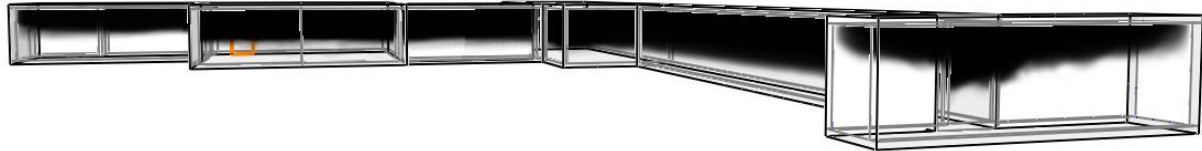
## A.3 Jämförelse av CFast med FDS

För att verifiera de antaganden och beräkningar som gjorts har här valts att göra en CFD beräkning med FDS (för specifikationer om FDS, se kapitel 6.3). Samma effektkurva har använts och samma rumsgeometrier som synes i figur A.5, nedan.



Figur A.5 Geometrin som används i FDS och som är av samma mått som den geometri i CFast beräkningarna.

Beräkningarna i CFast visar på att zon 17 skulle vara fylld med brandgaser ner till 1.37 m, vilket enligt FDS skulle vara en rimlig beräkning, se figur A.6 nedan. Det måste beaktas att CFast gör en medelvärdesberäkning av brandgaslagrets höjd vilket det i själva verket inte blir. Figur A.6 visar på en vertikal höjning av brandgaslagret då de sprids vidare ut i den gångkorridor som fortsätter från zon 17.



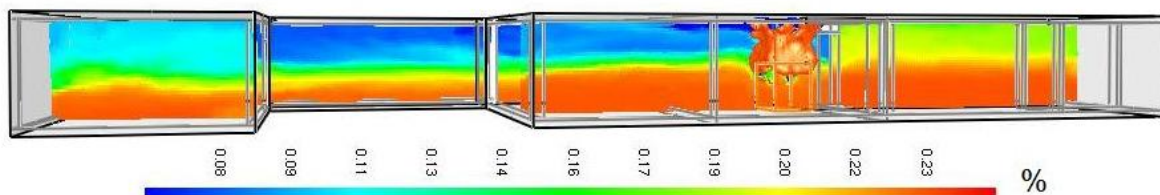
Figur A.6 Brandgaslagret ut till zon 17 som enligt CFast skall ligga på 1.37 m över golv.

CFast beräknar en sikt i zon 17 på 5 meter över 1.37 m vilket också enligt FDS blir en rimlig beräkning, se figur A.7, då som sagt medelvärdesberäkningar utförs med CFast. Dock blir detta brandgaslager enligt FDS beläget en aning högre upp än resultatet visar i CFast.



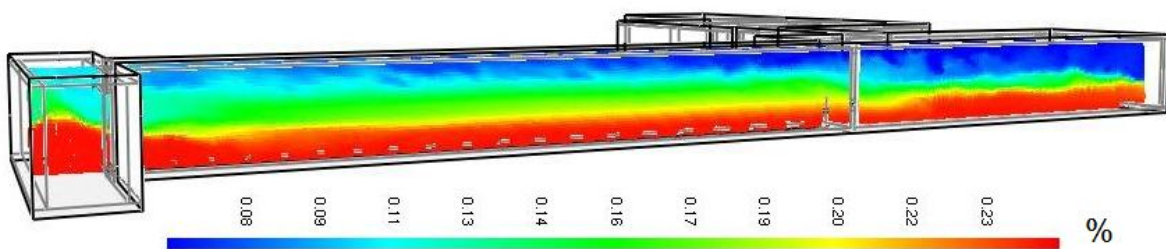
Figur A.7 Sikt i zon 17.

Enligt beräkningarna i CFast skall alla utrymmen, inom 400 s, få klart lägre syre nivå i de övre brandgaslagren än de kritiska 15 %. FDS verifierar detta med undantag för zon 1 och 2 som inte når denna nivå förrän efter ca 900 s, se diagram i A.3.1.



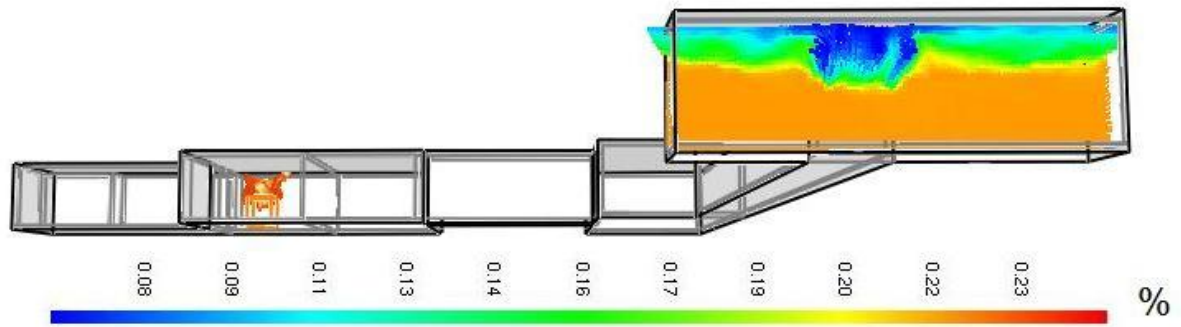
Figur A.8 Syrekoncentrationer i zonerna 1 – 8.

I figur A.8 ovan syns detta fenomen tydligt längst till höger och kan bero på den tryck-uppbyggnad som sker i brandrummet som samtidigt hämtar nytt syre från gångkorridoren och på så vis kan syrenivån hållas högre i zon 1 och 2 under en längre tid.



Figur A.9 Syrekoncentrationerna i zonerna 8 – 17.

Resultaten hos övriga utrymmen är av liknande karaktär som beskrivs enligt CFast. Den syretillförsel som erhålls från gångkorridoren gör att brandgaserna kan spridas ut här och nivåer av syre- koncentrationer kan i gångkorridoren hållas över de kriterier som är fastställda, se figur A.10.



Figur A.10 Syrekonzentrationerna i zonerna 15 – 20.

### A.3.1 Jämförelse syrekonzentrationer

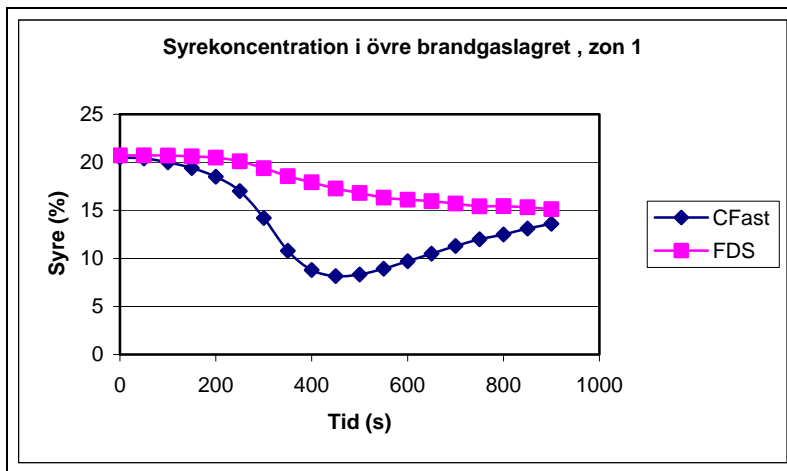


Diagram A1 Syrekonzentration i övre brandgaslager, zon 1.

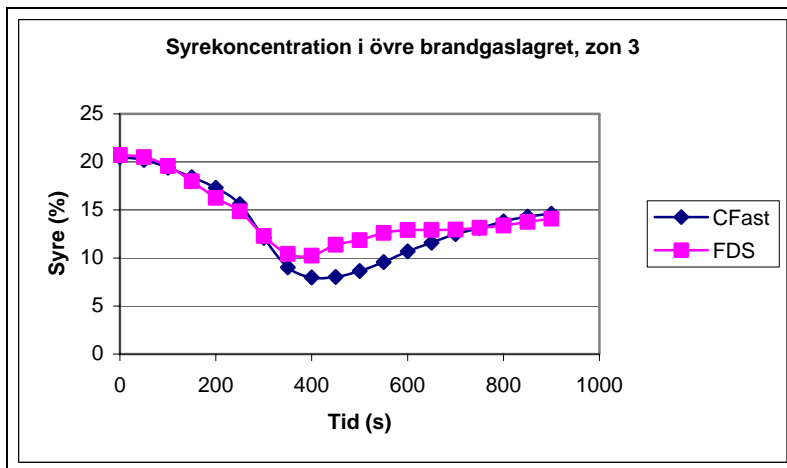


Diagram A.2 Syrekonzentration i övre brandgaslager, zon 3.

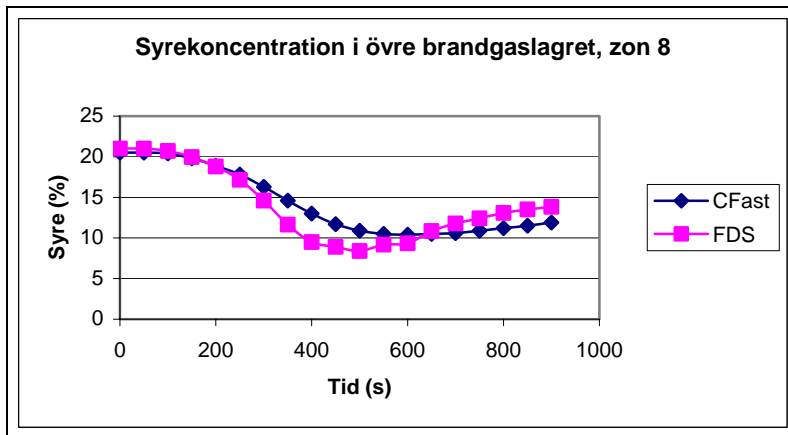


Diagram A.3 Syr koncentration i övre brandgaslager, zon 8.

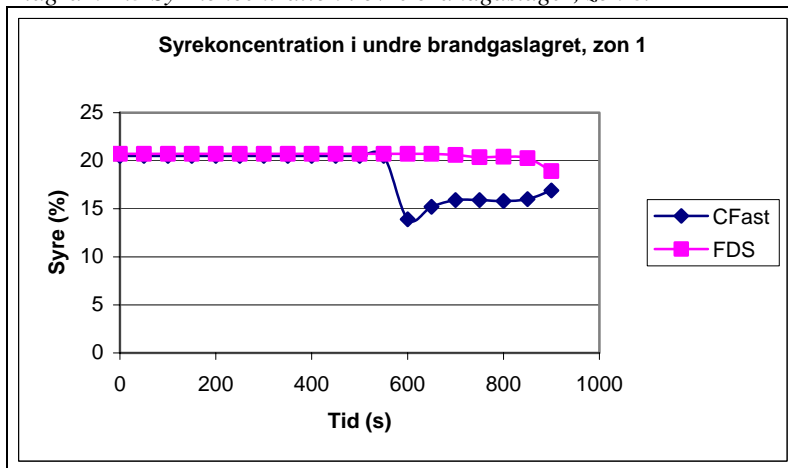


Diagram A.4 Syrekonzentration i undre brandgaslager, zon 1.

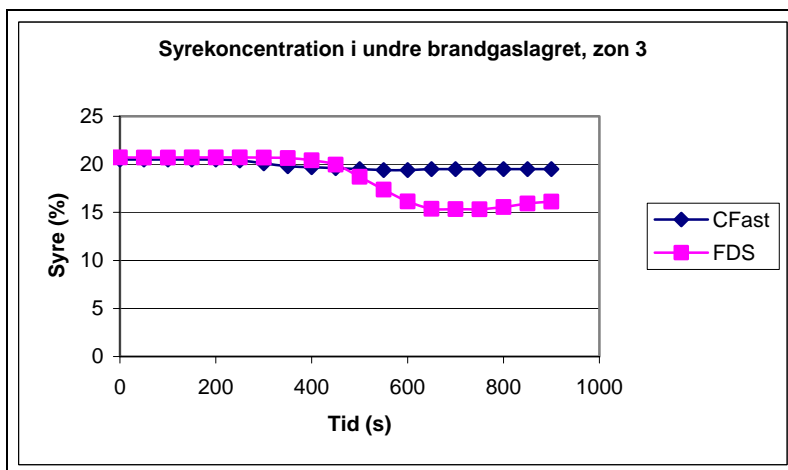


Diagram A.5 Syrekonzentration i undre brandgaslager, zon 3.

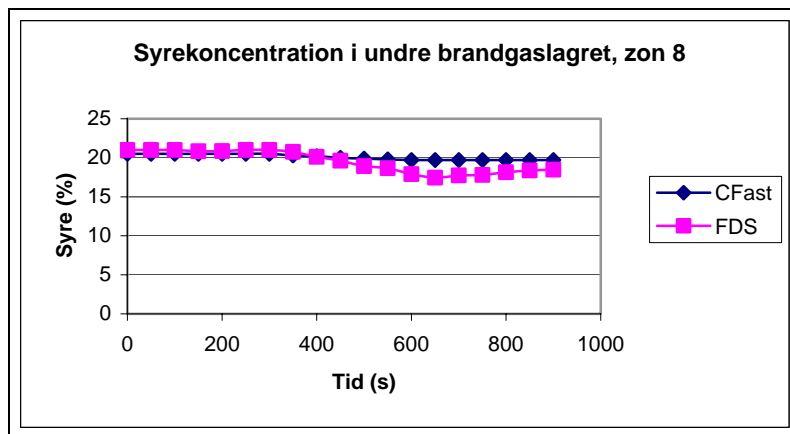


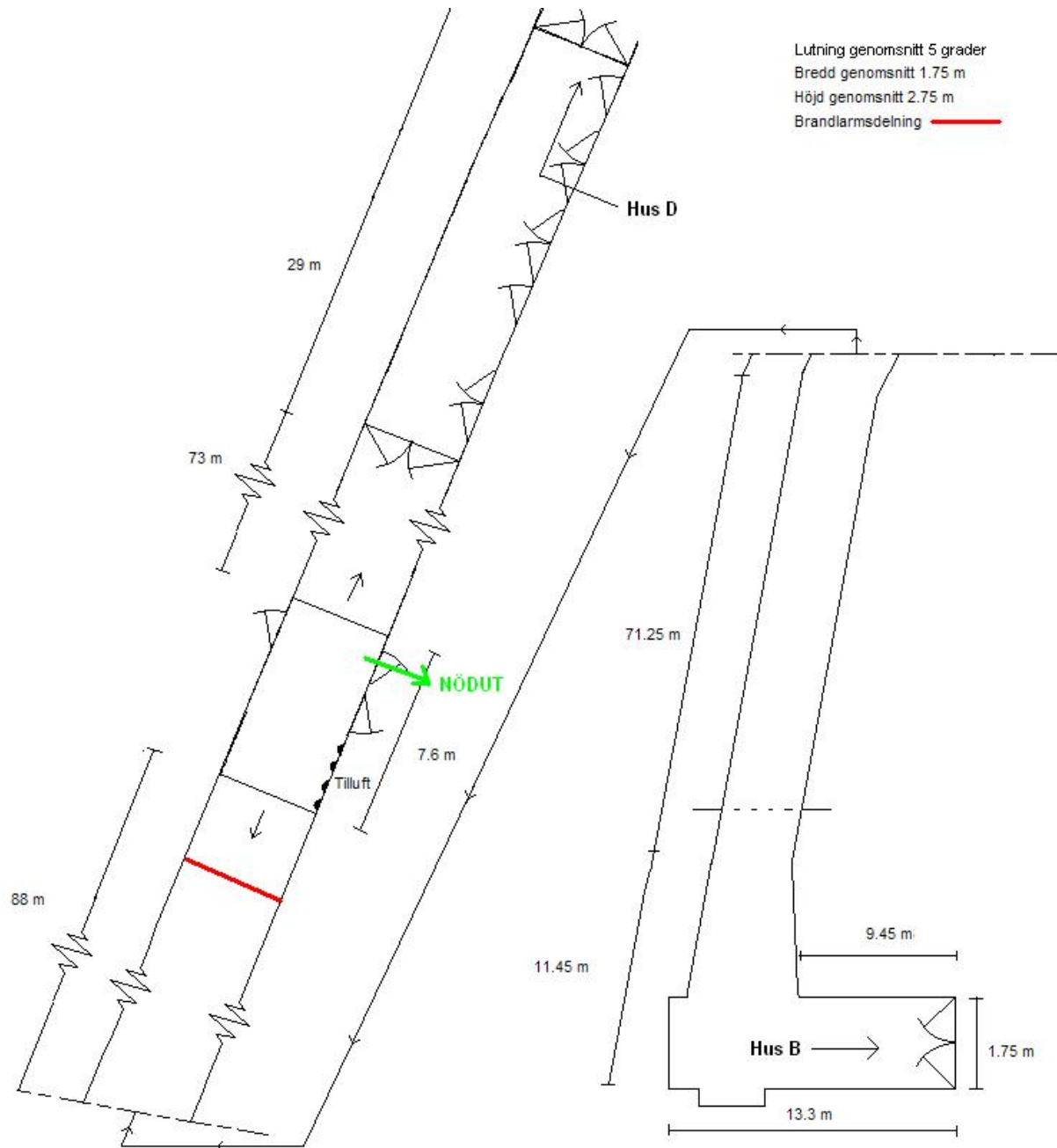
Diagram A.6 Syrekonzentration i undre brandgaslager, zon 8.

### A.3.2 Slutsats

FDS ger liknande resultat som visas i CFast beräkningarna, dock med vissa undantag men verifierar ändå de brandgasspridningar som sker och de kritiska gränser som bryts. CFast är en mycket enklare beräkningsmetod än en CFD beräkning men visar ändå i detta fall att den är fullt tillräcklig för att värdera ett scenario av denna karaktär. De största skillnaderna ligger i att tvåzonsberäkningar skapar en skarp brytning mellan det övre- och undre brandgaslagren. Denna brytning visar sedan enhetliga värden rakt igenom lagren. FDS ger en mer exakt beräkning av denna brytning som i själva verket blir större och inte så exakt. En tydlig bild av detta ges av figur A.9, den visar på syrekonzentrationen i korridoren från sopdepån till gångkorridoren. Denna figur visar att det i stället bildas något som motsvarar tre lager, ett undre lager med en ”full” mängd syre, ett mellan lager med en syrekonzentration runt de kriterier som är gränsen för utrymningskriterierna och ett tredje övre lager som ligger en bra bit under utrymningskriterierna. Dessa tre lager kan inte beräknas med en tvåzonsberäkning utan där blir de istället fördelade på de två lagren. Detta ger istället resultat som ligger över eller under de faktiska kriterierna eller händelserna. Dock för att skapa en enkelt överskådlig bild av ett scenario som i många fall inte behöver några exaktare beräkningar, fyller tvåzonsmodeller ett bra syfte men för exaktare resultat krävs exaktare beräkningsmetoder.

# Bilaga B Gångtunneln

## B.1 Skiss gångtunneln med mått



Figur B.1, Skiss över gångtunneln (OBS ej skalenlig).

## B.2 Effektkurva kabelbrand

Effekten på branden har beräknats genom att den totala mängden brännbart material har uppskattats. Eftersom kablarnas typ varierar har materialet valts till PVC/Polyetylen vilka är vanliga material för kablar [10]. Genom att beräkna tvärsnittsarean av isoleringen kring kabelkärnan, samt med hjälp av längden på kablarna och densiteten av PVC och Polyetylen/Polyeten, har massan brännbart material erhållits för de båda kabelstegen. Branden har antagits starta på en liten del av kabelstegen (1.3 m per kabelstege) och sakta ökat till sin maxeffekt. Maxeffekten har beräknats med den mängd brännbart material som finns på de brandberörda delarna av kabelstegen och tillväxthastigheten har jämförts med verkliga försök med kabelbränder [23].

### Kabelstegen

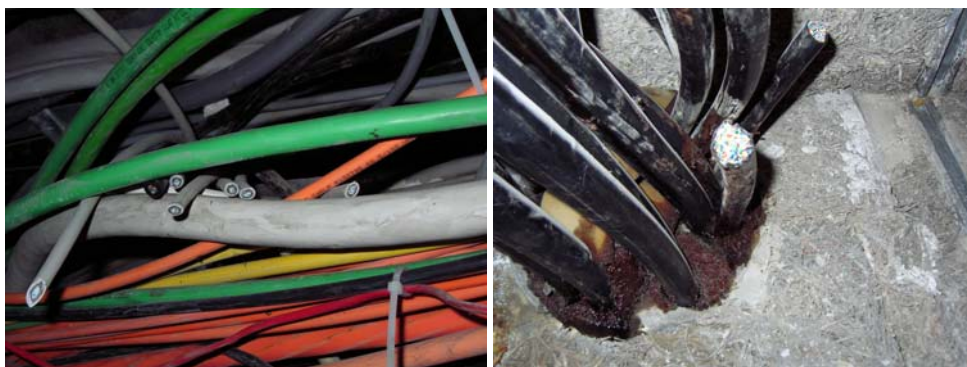
I den undre kabelstegen finns ca 50 kablar med en diameter i snitt på 1 cm och i den övre är kablarna mer jämt fördelade, se figur B.2.



Figur B.2 Undre respektive övre kabelstegen.

### Beräkning massa brännbart material

Isoleringen tjocklek varierar mellan 1-2 mm, se figur B.3. Detta ger en medeltjocklek på 1.5 mm. Längden på en kabelstege, från början av gångtunneln vid sydvästra sidan till första branddörren på nordöstra sidan är ca 250 m.



Figur B.3 Snittbilder på kablarna.

Densiteten på PVC är ca  $1200 \text{ kg/m}^3$  [24] och på Polyetylen är ca  $940 \text{ kg/m}^3$  [25]. Detta ger en medeldensitet på  $1070 \text{ kg/m}^3$ .



$$m = \rho \cdot (A_{\text{tot}} - A_{\text{kärna}}) \cdot L \cdot X$$

- $m$  = massan brännbart material [kg]  
 $\rho$  = medeldensitet brännbart material [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]  
 $A_{\text{tot}}$  = Kabelns totala tvärsnittsarea [ $\text{m}^2$ ]  
 $A_{\text{kärna}}$  = Kabelkärnans tvärsnittsarea [ $\text{m}^2$ ]  
 $L$  = Längd kabelstege [m]  
 $X$  = Antal kablar

### Undre kabelstegen

50 kablar med en snittdiameter på 1 cm och istoleringsjocklek på 1.5 mm med en längd av 250 m ger en total massa av brännbart material på 536 kg.

### Övre kabelstegen

7 st kablar med diameter 2 cm, 4 st med diameter 2.5 cm, 5 st med diameter 4 cm och 2 st med diameter 5 cm ger en total massa av brännbart material på 647 kg.

Den totala massan brännbart material i båda kabelstegen blir således 1183 kg över de 250 m.

### Beräkning effekt

Det totala energiinnehållet i kablarna ges från SFPE handboken [21], som anger ett effektivt värde på  $\Delta H_c$  på 20.9 MJ/kg vilket ger ett totalt energiinnehåll på 24724.7 MJ.

För att beräkna maxeffekt används värden på förbränningshastigheten per kvadratmeter [20] vilken är 0.026  $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$  för Polyetylen och 0.016  $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$  för PVC. Dessa ger en medelförbränningshastighet per kvadratmeter på 0.021  $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$ . Effekten per kvadratmeter fås genom förbränningshastigheten per kvadratmeter multiplicerat med förbränningsenergin ( $\Delta H_c$ )  $0.021 \cdot 20.9 = 0.439 \text{ MW}/\text{m}^2$ .

Enligt försök H3 med kabelbränder av SP [23], se diagram B.1 når en kabelbrand, liknande den som kan uppkomma i gångtunneln, sin maxeffekt efter ca 1.5 min efter den startat.

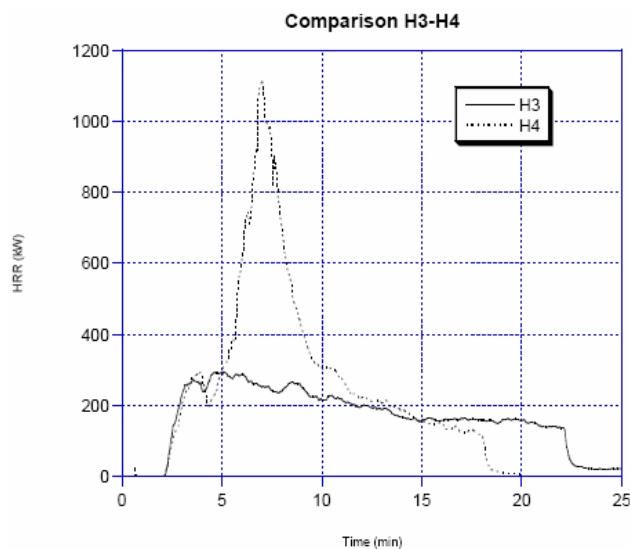


Diagram B.1. Effektkurva från försök H3 [22].

I simuleringarna så antas branden starta i en kabelstegsdel på 2.6 x 0.45 m. Detta ger en maxeffekt på  $2.6 \cdot 0.45 \cdot 0.439 = 0.514$  MW. Med omvandling till  $\alpha^2$ -kurva i jämförelse med SP's försök skulle detta ge en tillväxthastighet på  $0,0634 \text{ kW/s}^2$ . Eftersom kabelstegen är så långa och att det finns tilluftsventilation i gångtunneln så blir branden bränsle- kontrollerad och antas hålla sin maxeffekt under hela simuleringstiden. Effektkurvan får följande utseende:

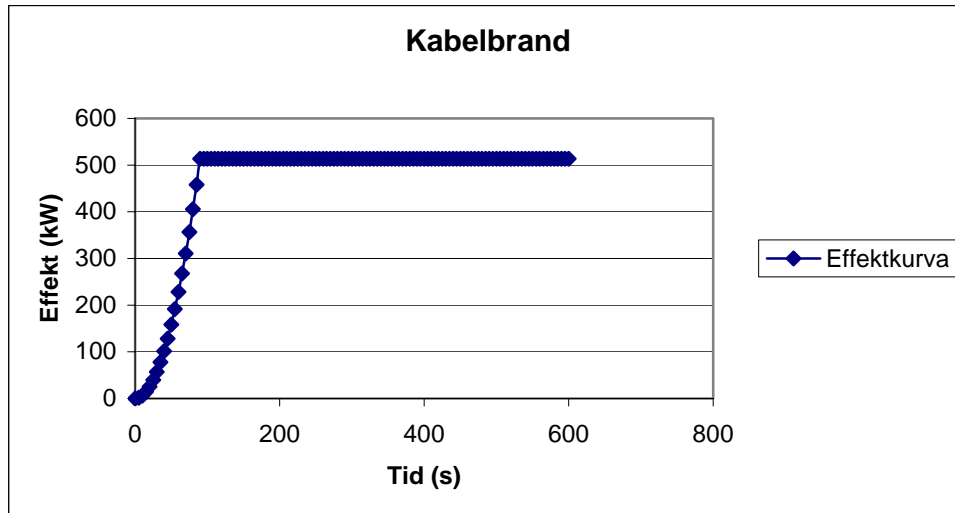


Diagram B.2 Effektkurva kabelbrand.

### B.3 Förenklingar FDS

Den lutande tunneln har förenklats med trappstegsdelar. Dessa sektioner har kompenserats med 0.2 m högre innerhöjd än den lutande tunnelns innerhöjd. Hur denna förenkling påverkar tryckförlusten undersöks genom att beräkna tryckförlusten vid samma flöde för en tunneldel med trappsteg och en tunneldel utan trappsteg av samma längd.

$$\Delta p = \Delta p_{\text{friktion}} + \Delta p_{\text{engång}} \quad (1)$$

$$\Delta p_{\text{friktion}} = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad (2)$$

$$\Delta p_{\text{engång}} = \sum n \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad (3)$$

$\lambda$  = Den relativa skrovligheten (anses som konstant i de båda fallen, 0,03)

L = Längden av tunneldelen

D = Hydrauliska diametern i tunneln,  $D = \frac{4 \cdot A}{O}$

A = Tvärsnittsarean

O = Inneromkretsen

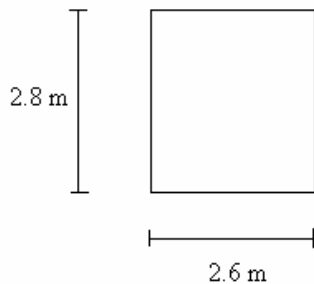
$\rho \cdot \frac{v^2}{2}$  = Dynamiskt tryck

v = Flödehastigheten

n = Engångsförlust

### Verklig tunnel med höjden 2.8 m utan trappsteg

Den lutande tunneldelen har endast en friktionsförlust som beräknas med ekvation (2)



$$D = \frac{4 \cdot 1.8 \cdot 2.8}{2(1.8 + 2.8)} = 2.1913 \text{ m}$$

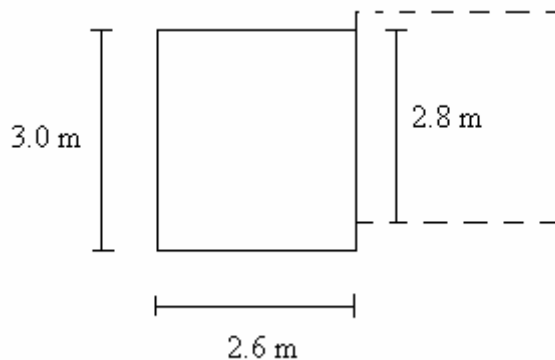
$v$  = Flödes hastigheten, antas till 1 m/s

$$\rho \cdot \frac{v^2}{2} = 1.2 \cdot \frac{1^2}{2} = 0.6 \text{ kg/ms}$$

$$\Delta p = \Delta p_{\text{friktion}} = 0.03 \cdot \frac{2.6}{2.1913} \cdot 0.6 = 0.021 \text{ Pa}$$

### Förenklade tunnel med höjden 3.0 m med trappsteg

Den förenklade tunneln har en friktionsförlust som beräknas med ekvation (2) samt en engångsförlust p.g.a. kontraktion före ett trappsteg och expansion efter, beräknas enligt ekvation (3)



$$D = \frac{4 \cdot 1.8 \cdot 3.0}{2(1.8 + 3.0)} = 2.25 \text{ m}$$

$v$  = Flödes hastigheten, reduceras p.g.a. den ökade takhöjden till  $1 \text{ m/s} \cdot \frac{2.8}{3} = 0.93333 \text{ m/s}$

$$\rho \cdot \frac{v^2}{2} = 1.2 \cdot \frac{0.9333^2}{2} = 0.5226 \text{ kg/ms}$$

$$\Delta p_{\text{friktion}} = 0.03 \cdot \frac{2.6}{2.25} \cdot 0.5226 = 0.01812 \text{ Pa}$$

Engångsförlusten ges från areaförhållandet mellan tunneln och trappstegshöjningen med 93 % vilket ger en total engångsförlust på ca 0.05 [16].

$$\Delta p_{engång} = 0.05 \cdot 0.5226 = 0.02613 Pa$$

$$\Delta p = 0.01812 + 0.02613 = 0.044 Pa$$

### Slutsats

Dessa grova beräkningar visar att tryckförlusten är något större i den förenklade geometrin, vilket påverkar flödet och hastigheten negativt jämfört med den verkliga tunneln.

## B.4 Indata FDS

Indatafil till FDS för brand på nordöstra sidan med 10 cm grid. De övriga simuleringarna är uppbyggda med samma indatafil, men gridens storlek, brandens placering, tiden tills branddörrarna stängs, läckage och brandgasventilation har ändrats eller lagts till.

```
&HEAD CHID='tunneln10a',TITLE='tunneln GRID 10CM, nordöst, branddörr' /

&GRID IBAR=450,JBAR=24, KBAR=48 /del 1 nordöst
&PDIM XBAR0=00,XBAR=45,YBAR0=0,YBAR=2.4,ZBAR0=4.2,ZBAR=9.0 / del 1 nordöst

&GRID IBAR=400, JBAR=24, KBAR=64 /del 2 nordöst
&PDIM XBAR0=45,XBAR=85,YBAR0=0,YBAR=2.4,ZBAR0=1.4,ZBAR=7.80 /del 2 nordöst

&GRID IBAR=250, JBAR=24, KBAR=48 /del 3 nordöst

&PDIM XBAR0=85,XBAR=110,YBAR0=0,YBAR=2.4,ZBAR0=0.0,ZBAR=4.8 /del 3 nordöst

&GRID IBAR=400, JBAR=24, KBAR=64 /del 1 sydväst
&PDIM XBAR0=110,XBAR=150.,YBAR0=0,YBAR=2.4,ZBAR0=0.20, ZBAR=6.60 /del 1
sydväst

&GRID IBAR=400, JBAR=24, KBAR=64 /del 2 sydväst
&PDIM XBAR0=150.,XBAR=190.,YBAR0=0.,YBAR=2.4,ZBAR0=3.2,ZBAR=9.6 /del 2
sydväst

&GRID IBAR=400, JBAR=24, KBAR=64 /del 3 sydväst
&PDIM XBAR0=190.,XBAR=230.,YBAR0=0,YBAR=2.4,ZBAR0=6.2,ZBAR=12.6 /del 3
sydväst

&GRID IBAR=384, JBAR=24, KBAR=64 /del 4 sydväst
&PDIM XBAR0=230,XBAR=268.4,YBAR0=0,YBAR=2.40,ZBAR0=9.,ZBAR=15.4 /del 4
sydväst

&GRID IBAR=120, JBAR=150, KBAR=32 /del 5 sydväst
&PDIM XBAR0=268.4,XBAR=280.4,YBAR0=-12.60,YBAR=2.4,ZBAR0=12.2,ZBAR=15.4
/del 5 sydväst

&TIME TWFIN=1200, SYNCHRONIZE=.TRUE. /

&MISC SURF_DEFAULT='CONCRETE',RADIATION=.TRUE./

&REAC ID='POLYETHYLENE'
FYI='Polyethylene, C_1 H_2'
MW_FUEL=14
NU_O2=1.5
```

NU\_CO2=1.  
NU\_H2O=1.  
SOOT\_YIELD=0.136  
CO\_YIELD=0.147  
RADIATIVE\_FRACTION=0.49 /SFPD s 3-80 Polyethylene/polyvinylchloride

nr 5

&SURF ID = 'CONCRETE'  
FYI = 'Quintiere, Fire Behavior'  
RGB = 1.0,1.,1.  
C\_P = 0.88  
DENSITY=2100.  
KS = 1.0  
DELTA = 0.2 /

&SURF ID='FAN',VEL=-0.4/

&SURF ID='FIRE',HRRPUA=197.5,RAMP\_Q='BURN' / 513.51kw på 2\*1.3m2 ger en effekt på 197.5kW/m2

&RAMP ID='BURN', T=50.,F=0./  
&RAMP ID='BURN', T=60.,F=0.012346/  
&RAMP ID='BURN', T=70.,F=0.049383/  
&RAMP ID='BURN', T=80.,F=0.11111/  
&RAMP ID='BURN', T=90.,F=0.197531/  
&RAMP ID='BURN', T=100.,F=0.308642/  
&RAMP ID='BURN', T=110.,F=0.444444/  
&RAMP ID='BURN', T=120.,F=0.604938/  
&RAMP ID='BURN', T=130.,F=0.790123/  
&RAMP ID='BURN', T=140.,F=1/

kabelstege sydväst

&OBST XB= 110,112.6,1.5,2,2.6,2.7,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 112.6,115.2,1.5,2,2.8,2.9,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 115.2,117.8,1.5,2,3,3.1,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 117.8,120.4,1.5,2,3.2,3.3,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 120.4,123,1.5,2,3.4,3.5,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 123,125.6,1.5,2,3.6,3.7,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 125.6,128.2,1.5,2,3.8,3.9,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 128.2,130.8,1.5,2,4,4.1,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 130.8,133.4,1.5,2,4.2,4.3,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 133.4,136,1.5,2,4.4,4.5,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 136,138.6,1.5,2,4.6,4.7,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 138.6,141.2,1.5,2,4.8,4.9,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 141.2,143.8,1.5,2,5,5.1,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 143.8,146.4,1.5,2,5.2,5.3,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 146.4,149,1.5,2,5.4,5.5,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 149,151.6,1.5,2,5.6,5.7,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 151.6,154.2,1.5,2,5.8,5.9,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 154.2,156.8,1.5,2,6,6.1,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 156.8,159.4,1.5,2,6.2,6.3,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 159.4,162,1.5,2,6.4,6.5,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 162,164.6,1.5,2,6.6,6.7,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 164.6,167.2,1.5,2,6.8,6.9,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 167.2,169.8,1.5,2,7,7.1,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 169.8,172.4,1.5,2,7.2,7.3,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 172.4,175,1.5,2,7.4,7.5,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 175,177.6,1.5,2,7.6,7.7,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 177.6,180.2,1.5,2,7.8,7.9,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 180.2,182.8,1.5,2,8,8.1,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /

&OBST XB= 182.8,185.4,1.5,2,8.2,8.3,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 185.4,188,1.5,2,8.4,8.5,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 188,190.8,1.5,2,8.6,8.7,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 190.8,193.6,1.5,2,8.8,8.9,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 193.6,196.4,1.5,2,9,9.1,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 196.4,199.2,1.7,2.2,9.2,9.3,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 199.2,202,1.7,2.2,9.4,9.5,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 202,204.8,1.7,2.2,9.6,9.7,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 204.8,207.6,1.7,2.2,9.8,9.9,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 207.6,210.4,1.7,2.2,10,10.1,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 210.4,213.2,1.7,2.2,10.2,10.3,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 213.2,216,1.7,2.2,10.4,10.5,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 216,218.8,1.7,2.2,10.6,10.7,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 218.8,221.6,1.7,2.2,10.8,10.9,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 221.6,224.2,1.7,2.2,11,11.1,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 224.2,226.8,1.7,2.2,11.2,11.3,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 226.8,229.4,1.7,2.2,11.4,11.5,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 229.4,232,1.7,2.2,11.6,11.7,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 232,234.6,1.7,2.2,11.8,11.9,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 234.6,237.2,1.7,2.2,12,12.1,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 237.2,239.8,1.7,2.2,12.2,12.3,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 239.8,242.4,1.7,2.2,12.4,12.5,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 242.4,245,1.7,2.2,12.6,12.7,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 245,247.6,1.7,2.2,12.8,12.9,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 247.6,250.2,1.7,2.2,13,13.1,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 250.2,252.8,1.7,2.2,13.2,13.3,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 252.8,255.4,1.7,2.2,13.4,13.5,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 255.4,258,1.7,2.2,13.6,13.7,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 258,260.6,1.7,2.2,13.8,13.9,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 260.6,263.2,1.7,2.2,14,14.1,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 263.2,265.8,1.7,2.2,14.2,14.3,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 265.8,268.4,1.7,2.2,14.4,14.5,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /

Kabelstege slutet vid sydväst

&OBST XB= 268.4,280.2,1.7,2.2,14.4,14.5,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /

Kabelstege nordöst

&OBST XB= 0,30,1.5,2,8,8.1,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 30,32.4,1.5,2,8,8.1,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 32.4,34.8,1.5,2,7.8,7.9,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 34.8,37.2,1.5,2,7.6,7.7,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 37.2,39.6,1.5,2,7.4,7.5,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 39.6,42.2,1.5,2,7.2,7.3,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 42.2,44.8,1.5,2,7,7.1,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 44.8,47.4,1.5,2,6.8,6.9,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 47.4,50,1.5,2,6.6,6.7,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 50,52.6,1.5,2,6.4,6.5,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 52.6,55.2,1.5,2,6.2,6.3,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 55.2,57.8,1.5,2,6,6.1,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 57.8,60.4,1.5,2,5.8,5.9,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 60.4,63,1.5,2,5.6,5.7,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_IDS=' FIRE', ' INERT', ' INERT' /  
&OBST XB= 63,65.6,1.5,2,5.4,5.5,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_IDS=' FIRE', ' INERT', ' INERT' /  
&OBST XB= 65.6,68.2,1.5,2,5.2,5.3,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 68.2,70.8,1.5,2,5,5.1,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 70.8,73.4,1.5,2,4.8,4.9,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 73.4,76,1.5,2,4.6,4.7,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /  
&OBST XB= 76,78.6,1.5,2,4.4,4.5,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID=' INERT' /

&OBST XB= 78.6,81.2,1.5,2,4.2,4.3,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 81.2,83.8,1.5,2,4,4.1,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 83.8,86.4,1.5,2,3.8,3.9,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 86.4,89,1.5,2,3.6,3.7,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 89,91.6,1.5,2,3.4,3.5,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 91.6,94.2,1.5,2,3.2,3.3,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 94.2,96.8,1.5,2,3,3.1,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 96.8,99.4,1.5,2,2.8,2.9,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 99.4,102,1.5,2,2.6,2.7,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /  
&OBST XB= 102,110,1.5,2,2.4,2.5,RGB=1.0,0.5,0,SURF\_ID='INERT' /

#### nordöst Tak

&OBST XB= 29,29.2,0.2,2,8.2,8.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 0,30,0,2.2,8.8,9,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 30,32.4,0,2.2,8.8,9,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 32.4,34.8,0,2.2,8.6,8.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 34.8,37.2,0,2.2,8.4,8.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 37.2,39.6,0,2.2,8.2,8.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 39.6,42.2,0,2.2,8,8.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 42.2,44.8,0,2.2,7.8,8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 44.8,47.4,0,2.2,7.6,7.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 47.4,50,0,2.2,7.4,7.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 50,52.6,0,2.2,7.2,7.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 52.6,55.2,0,2.2,7,7.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 55.2,57.8,0,2.2,6.8,7,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 57.8,60.4,0,2.2,6.6,6.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 60.4,63,0,2.2,6.4,6.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 63,65.6,0,2.2,6.2,6.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 65.6,68.2,0,2.2,6,6.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 68.2,70.8,0,2.2,5.8,6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 70.8,73.4,0,2.2,5.6,5.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 73.4,76,0,2.2,5.4,5.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 76,78.6,0,2.2,5.2,5.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 78.6,81.2,0,2.2,5,5.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 81.2,83.8,0,2.2,4.8,5,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 83.8,86.4,0,2.2,4.6,4.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 86.4,89,0,2.2,4.4,4.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 89,91.6,0,2.2,4.2,4.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 91.6,94.2,0,2.2,4,4.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 94.2,96.8,0,2.2,3.8,4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 96.8,99.4,0,2.2,3.6,3.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 99.4,102,0,2.2,3.4,3.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 102,110,0,2.2,3.2,3.4,RGB=0.,0,0./

#### Nordöst Golv

&OBST XB= 0,30,0,2.2,5.8,6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 30,32.4,0,2.2,5.6,5.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 32.4,34.8,0,2.2,5.4,5.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 34.8,37.2,0,2.2,5.2,5.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 37.2,39.6,0,2.2,5,5.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 39.6,42.2,0,2.2,4.8,5,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 42.2,44.8,0,2.2,4.6,4.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 44.8,47.4,0,2.2,4.4,4.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 47.4,50,0,2.2,4.2,4.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 50,52.6,0,2.2,4,4.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 52.6,55.2,0,2.2,3.8,4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 55.2,57.8,0,2.2,3.6,3.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 57.8,60.4,0,2.2,3.4,3.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 60.4,63,0,2.2,3.2,3.4,RGB=0.,0,0./

&OBST XB= 63,65.6,0,2.2,3,3.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 65.6,68.2,0,2.2,2.8,3,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 68.2,70.8,0,2.2,2.6,2.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 70.8,73.4,0,2.2,2.4,2.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 73.4,76,0,2.2,2.2,2.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 76,78.6,0,2.2,2,2.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 78.6,81.2,0,2.2,1.8,2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 81.2,83.8,0,2.2,1.6,1.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 83.8,86.4,0,2.2,1.4,1.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 86.4,89,0,2.2,1.2,1.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 89,91.6,0,2.2,1,1.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 91.6,94.2,0,2.2,0.8,1,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 94.2,96.8,0,2.2,0.6,0.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 96.8,99.4,0,2.2,0.4,0.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 99.4,102,0,2.2,0.2,0.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 102,110,0,2.2,0.2,0.4,RGB=0.,0,0./

nordöst främre vägg

&OBST XB= 0,30,0,0.2,6,8.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 30,32.4,0,0.2,5.8,8.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 32.4,34.8,0,0.2,5.6,8.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 34.8,37.2,0,0.2,5.4,8.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 37.2,39.6,0,0.2,5.2,8.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 39.6,42.2,0,0.2,5,8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 42.2,44.8,0,0.2,4.8,7.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 44.8,47.4,0,0.2,4.6,7.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 47.4,50,0,0.2,4.4,7.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 50,52.6,0,0.2,4.2,7.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 52.6,55.2,0,0.2,4,7,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 55.2,57.8,0,0.2,3.8,6.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 57.8,60.4,0,0.2,3.6,6.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 60.4,63,0,0.2,3.4,6.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 63,65.6,0,0.2,3.2,6.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 65.6,68.2,0,0.2,3,6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 68.2,70.8,0,0.2,2.8,5.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 70.8,73.4,0,0.2,2.6,5.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 73.4,76,0,0.2,2.4,5.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 76,78.6,0,0.2,2.2,5.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 78.6,81.2,0,0.2,2,5,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 81.2,83.8,0,0.2,1.8,4.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 83.8,86.4,0,0.2,1.6,4.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 86.4,89,0,0.2,1.4,4.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 89,91.6,0,0.2,1.2,4.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 91.6,94.2,0,0.2,1,4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 94.2,96.8,0,0.2,0.8,3.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 96.8,99.4,0,0.2,0.6,3.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 99.4,102,0,0.2,0.4,3.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 102,110,0,0.2,0.4,3.2,RGB=0.,0,0./

nordöst Bakre vägg

&OBST XB= 0,30,2,2.2,6,8.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 30,32.4,2,2.2,5.8,8.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 32.4,34.8,2,2.2,5.6,8.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 34.8,37.2,2,2.2,5.4,8.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 37.2,39.6,2,2.2,5.2,8.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 39.6,42.2,2,2.2,5,8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 42.2,44.8,2,2.2,4.8,7.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 44.8,47.4,2,2.2,4.6,7.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 47.4,50,2,2.2,4.4,7.4,RGB=0.,0,0./



&OBST XB= 50,52.6,2,2.2,4.2,7.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 52.6,55.2,2,2.2,4,7,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 55.2,57.8,2,2.2,3.8,6.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 57.8,60.4,2,2.2,3.6,6.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 60.4,63,2,2.2,3.4,6.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 63,65.6,2,2.2,3.2,6.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 65.6,68.2,2,2.2,3,6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 68.2,70.8,2,2.2,2.8,5.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 70.8,73.4,2,2.2,2.6,5.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 73.4,76,2,2.2,2.4,5.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 76,78.6,2,2.2,2.2,5.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 78.6,81.2,2,2.2,2,5,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 81.2,83.8,2,2.2,1.8,4.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 83.8,86.4,2,2.2,1.6,4.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 86.4,89,2,2.2,1.4,4.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 89,91.6,2,2.2,1.2,4.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 91.6,94.2,2,2.2,1,4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 94.2,96.8,2,2.2,0.8,3.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 96.8,99.4,2,2.2,0.6,3.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 99.4,102,2,2.2,0.4,3.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 102,110,2,2.2,0.4,3.2,RGB=0.,0,0./

#### sydväst tak

&OBST XB= 110,112.6,0,2.2,3.4,3.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 112.6,115.2,0,2.2,3.6,3.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 115.2,117.8,0,2.2,3.8,4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 117.8,120.4,0,2.2,4,4.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 120.4,123,0,2.2,4.2,4.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 123,125.6,0,2.2,4.4,4.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 125.6,128.2,0,2.2,4.6,4.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 128.2,130.8,0,2.2,4.8,5,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 130.8,133.4,0,2.2,5,5.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 133.4,136,0,2.2,5.2,5.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 136,138.6,0,2.2,5.4,5.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 138.6,141.2,0,2.2,5.6,5.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 141.2,143.8,0,2.2,5.8,6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 143.8,146.4,0,2.2,6,6.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 146.4,149,0,2.2,6.2,6.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 149,151.6,0,2.2,6.4,6.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 151.6,154.2,0,2.2,6.6,6.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 154.2,156.8,0,2.2,6.8,7,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 156.8,159.4,0,2.2,7,7.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 159.4,162,0,2.2,7.2,7.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 162,164.6,0,2.2,7.4,7.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 164.6,167.2,0,2.2,7.6,7.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 167.2,169.8,0,2.2,7.8,8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 169.8,172.4,0,2.2,8,8.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 172.4,175,0,2.2,8.2,8.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 175,177.6,0,2.2,8.4,8.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 177.6,180.2,0,2.2,8.6,8.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 180.2,182.8,0,2.2,8.8,9,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 182.8,185.4,0,2.2,9,9.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 185.4,188,0,2.2,9.2,9.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 188,190.8,0,2.2,9.4,9.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 190.8,193.6,0,2.2,9.6,9.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 193.6,196.4,0,2.2,9.8,10,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 196.4,199.2,0,2,2.4,10,10.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 199.2,202,0,2,2.4,10.2,10.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 202,204.8,0,2,2.4,10.4,10.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 204.8,207.6,0,2,2.4,10.6,10.8,RGB=0.,0,0./

&OBST XB= 207.6,210.4,0.2,2.4,10.8,11,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 210.4,213.2,0.2,2.4,11,11.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 213.2,216,0.2,2.4,11.2,11.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 216,218.8,0.2,2.4,11.4,11.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 218.8,221.6,0.2,2.4,11.6,11.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 221.6,224.2,0.2,2.4,11.8,12,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 224.2,226.8,0.2,2.4,12,12.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 226.8,229.4,0.2,2.4,12.2,12.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 229.4,232,0.2,2.4,12.4,12.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 232,234.6,0.2,2.4,12.6,12.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 234.6,237.2,0.2,2.4,12.8,13,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 237.2,239.8,0.2,2.4,13,13.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 239.8,242.4,0.2,2.4,13.2,13.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 242.4,245,0.2,2.4,13.4,13.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 245,247.6,0.2,2.4,13.6,13.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 247.6,250.2,0.2,2.4,13.8,14,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 250.2,252.8,0.2,2.4,14,14.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 252.8,255.4,0.2,2.4,14.2,14.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 255.4,258,0.2,2.4,14.4,14.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 258,260.6,0.2,2.4,14.6,14.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 260.6,263.2,0.2,2.4,14.8,15,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 263.2,265.8,0.2,2.4,15,15.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 265.8,268.4,0.2,2.4,15.2,15.4,RGB=0.,0,0./

sydväst golv

&OBST XB= 110,112.6,0,2.2,0.2,0.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 112.6,115.2,0,2.2,0.4,0.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 115.2,117.8,0,2.2,0.6,0.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 117.8,120.4,0,2.2,0.8,1,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 120.4,123,0,2.2,1,1.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 123,125.6,0,2.2,1.2,1.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 125.6,128.2,0,2.2,1.4,1.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 128.2,130.8,0,2.2,1.6,1.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 130.8,133.4,0,2.2,1.8,2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 133.4,136,0,2.2,2,2.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 136,138.6,0,2.2,2.2,2.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 138.6,141.2,0,2.2,2.4,2.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 141.2,143.8,0,2.2,2.6,2.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 143.8,146.4,0,2.2,2.8,3,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 146.4,149,0,2.2,3,3.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 149,151.6,0,2.2,3.2,3.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 151.6,154.2,0,2.2,3.4,3.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 154.2,156.8,0,2.2,3.6,3.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 156.8,159.4,0,2.2,3.8,4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 159.4,162,0,2.2,4,4.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 162,164.6,0,2.2,4.2,4.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 164.6,167.2,0,2.2,4.4,4.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 167.2,169.8,0,2.2,4.6,4.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 169.8,172.4,0,2.2,4.8,5,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 172.4,175,0,2.2,5,5.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 175,177.6,0,2.2,5.2,5.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 177.6,180.2,0,2.2,5.4,5.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 180.2,182.8,0,2.2,5.6,5.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 182.8,185.4,0,2.2,5.8,6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 185.4,188,0,2.2,6,6.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 188,190.8,0,2.2,6.2,6.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 190.8,193.6,0,2.2,6.4,6.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 193.6,196.4,0,2.2,6.6,6.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 196.4,199.2,0,2.2,6.8,7,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 199.2,202,0,2.2,7,7.2,RGB=0.,0,0./

&OBST XB= 202,204.8,0.2,2.4,7.2,7.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 204.8,207.6,0.2,2.4,7.4,7.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 207.6,210.4,0.2,2.4,7.6,7.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 210.4,213.2,0.2,2.4,7.8,8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 213.2,216,0.2,2.4,8,8.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 216,218.8,0.2,2.4,8.2,8.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 218.8,221.6,0.2,2.4,8.4,8.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 221.6,224.2,0.2,2.4,8.6,8.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 224.2,226.8,0.2,2.4,8.8,9,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 226.8,229.4,0.2,2.4,9,9.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 229.4,232,0.2,2.4,9.2,9.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 232,234.6,0.2,2.4,9.4,9.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 234.6,237.2,0.2,2.4,9.6,9.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 237.2,239.8,0.2,2.4,9.8,10,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 239.8,242.4,0.2,2.4,10,10.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 242.4,245,0.2,2.4,10.2,10.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 245,247.6,0.2,2.4,10.4,10.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 247.6,250.2,0.2,2.4,10.6,10.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 250.2,252.8,0.2,2.4,10.8,11,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 252.8,255.4,0.2,2.4,11,11.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 255.4,258,0.2,2.4,11.2,11.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 258,260.6,0.2,2.4,11.4,11.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 260.6,263.2,0.2,2.4,11.6,11.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 263.2,265.8,0.2,2.4,11.8,12,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 265.8,268.4,0.2,2.4,12,12.2,RGB=0.,0,0./

sydväst främre vägg

&OBST XB= 110,112.6,0,0.2,0.4,3.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 112.6,115.2,0,0.2,0.6,3.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 115.2,117.8,0,0.2,0.8,3.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 117.8,120.4,0,0.2,1,4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 120.4,123,0,0.2,1.2,4.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 123,125.6,0,0.2,1.4,4.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 125.6,128.2,0,0.2,1.6,4.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 128.2,130.8,0,0.2,1.8,4.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 130.8,133.4,0,0.2,2,5,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 133.4,136,0,0.2,2.2,5.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 136,138.6,0,0.2,2.4,5.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 138.6,141.2,0,0.2,2.6,5.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 141.2,143.8,0,0.2,2.8,5.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 143.8,146.4,0,0.2,3,6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 146.4,149,0,0.2,3.2,6.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 149,151.6,0,0.2,3.4,6.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 151.6,154.2,0,0.2,3.6,6.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 154.2,156.8,0,0.2,3.8,6.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 156.8,159.4,0,0.2,4,7,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 159.4,162,0,0.2,4.2,7.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 162,164.6,0,0.2,4.4,7.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 164.6,167.2,0,0.2,4.6,7.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 167.2,169.8,0,0.2,4.8,7.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 169.8,172.4,0,0.2,5,8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 172.4,175,0,0.2,5.2,8.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 175,177.6,0,0.2,5.4,8.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 177.6,180.2,0,0.2,5.6,8.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 180.2,182.8,0,0.2,5.8,8.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 182.8,185.4,0,0.2,6,9,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 185.4,188,0,0.2,6.2,9.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 188,190.8,0,0.2,6.4,9.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 190.8,193.6,0,0.2,6.6,9.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 193.6,196.4,0,0.2,6.8,9.8,RGB=0.,0,0./

&OBST XB= 196.4,199.2,0.2,0.4,7,10,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 199.2,202,0.2,0.4,7.2,10.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 202,204.8,0.2,0.4,7.4,10.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 204.8,207.6,0.2,0.4,7.6,10.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 207.6,210.4,0.2,0.4,7.8,10.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 210.4,213.2,0.2,0.4,8,11,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 213.2,216,0.2,0.4,8.2,11.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 216,218.8,0.2,0.4,8.4,11.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 218.8,221.6,0.2,0.4,8.6,11.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 221.6,224.2,0.2,0.4,8.8,11.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 224.2,226.8,0.2,0.4,9,12,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 226.8,229.4,0.2,0.4,9.2,12.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 229.4,232,0.2,0.4,9.4,12.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 232,234.6,0.2,0.4,9.6,12.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 234.6,237.2,0.2,0.4,9.8,12.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 237.2,239.8,0.2,0.4,10,13,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 239.8,242.4,0.2,0.4,10.2,13.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 242.4,245,0.2,0.4,10.4,13.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 245,247.6,0.2,0.4,10.6,13.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 247.6,250.2,0.2,0.4,10.8,13.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 250.2,252.8,0.2,0.4,11,14,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 252.8,255.4,0.2,0.4,11.2,14.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 255.4,258,0.2,0.4,11.4,14.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 258,260.6,0.2,0.4,11.6,14.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 260.6,263.2,0.2,0.4,11.8,14.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 263.2,265.8,0.2,0.4,12,15,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 265.8,268.4,0.2,0.4,12.2,15.2,RGB=0.,0,0./

sydväst bortre vägg

&OBST XB= 110,112.6,2,2.2,0.4,3.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 112.6,115.2,2,2.2,0.6,3.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 115.2,117.8,2,2.2,0.8,3.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 117.8,120.4,2,2.2,1,4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 120.4,123,2,2.2,1.2,4.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 123,125.6,2,2.2,1.4,4.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 125.6,128.2,2,2.2,1.6,4.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 128.2,130.8,2,2.2,1.8,4.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 130.8,133.4,2,2.2,2,5,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 133.4,136,2,2.2,2.2,5.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 136,138.6,2,2.2,2.4,5.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 138.6,141.2,2,2.2,2.6,5.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 141.2,143.8,2,2.2,2.8,5.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 143.8,146.4,2,2.2,3,6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 146.4,149,2,2.2,3.2,6.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 149,151.6,2,2.2,3.4,6.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 151.6,154.2,2,2.2,3.6,6.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 154.2,156.8,2,2.2,3.8,6.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 156.8,159.4,2,2.2,4,7,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 159.4,162,2,2.2,4.2,7.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 162,164.6,2,2.2,4.4,7.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 164.6,167.2,2,2.2,4.6,7.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 167.2,169.8,2,2.2,4.8,7.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 169.8,172.4,2,2.2,5,8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 172.4,175,2,2.2,5.2,8.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 175,177.6,2,2.2,5.4,8.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 177.6,180.2,2,2.2,5.6,8.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 180.2,182.8,2,2.2,5.8,8.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 182.8,185.4,2,2.2,6,9,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 185.4,188,2,2.2,6.2,9.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 188,190.8,2,2.2,6.4,9.4,RGB=0.,0,0./

&OBST XB= 190.8,193.6,2,2.2,6.6,9.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 193.6,196.4,2,2.2,6.8,9.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 196.4,199.2,2,2.2,7,10,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 199.2,202,2,2.2,7.2,10.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 202,204.8,2,2.2,7.4,10.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 204.8,207.6,2,2.2,7.6,10.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 207.6,210.4,2,2.2,7.8,10.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 210.4,213.2,2,2.2,8,11,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 213.2,216,2,2.2,8.2,11.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 216,218.8,2,2.2,8.4,11.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 218.8,221.6,2,2.2,8.6,11.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 221.6,224.2,2,2.2,8.8,11.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 224.2,226.8,2,2.2,9,12,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 226.8,229.4,2,2.2,9.2,12.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 229.4,232,2,2.2,9.4,12.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 232,234.6,2,2.2,9.6,12.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 234.6,237.2,2,2.2,9.8,12.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 237.2,239.8,2,2.2,10,13,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 239.8,242.4,2,2.2,10.2,13.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 242.4,245,2,2.2,10.4,13.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 245,247.6,2,2.2,10.6,13.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 247.6,250.2,2,2.2,10.8,13.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 250.2,252.8,2,2.2,11,14,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 252.8,255.4,2,2.2,11.2,14.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 255.4,258,2,2.2,11.4,14.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 258,260.6,2,2.2,11.6,14.6,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 260.6,263.2,2,2.2,11.8,14.8,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 263.2,265.8,2,2.2,12,15,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 265.8,268.4,2,2.2,12.2,15.2,RGB=0.,0,0./

#### Slutet sydväst

&OBST XB= 268.4,280.4,0.2,2.4,12.2,12.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 268.4,280.4,0.2,2.4,15.2,15.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 268.4,278.4,0.2,0.4,12.4,15.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 268.4,280.4,2,2.2,12.4,15.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 278.2,280.4,-12.8,0.2,12.2,12.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 278.2,280.4,-12.8,0.2,15.2,15.4,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 278.2,278.4,-12.8,0.2,12.4,15.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 280.2,280.4,-12.8,0.2,12.4,15.2,RGB=0.,0,0./  
&OBST XB= 278.4,280.2,-9.8,-10,14.6,15.2,RGB=0.,0,0./

#### Block under nordöst

&OBST XB =0,30.,0,2.4,4.20,5.8,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =30,32.4,0,2.2,0,5.6,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =32.4,34.8,0,2.2,0,5.4,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =34.8,37.2,0,2.2,0,5.2,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =37.2,39.6,0,2.2,0,5,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =39.6,42.2,0,2.2,0,4.8,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =42.2,44.8,0,2.2,0,4.6,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =44.8,47.4,0,2.2,0,4.4,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =47.4,50,0,2.2,0,4.2,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =50,52.6,0,2.2,0,4,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =52.6,55.2,0,2.2,0,3.8,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =55.2,57.8,0,2.2,0,3.6,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =57.8,60.4,0,2.2,0,3.4,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =60.4,63,0,2.2,0,3.2,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =63,65.6,0,2.2,0,3,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =65.6,68.2,0,2.2,0,2.8,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =68.2,70.8,0,2.2,0,2.6,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./

&OBST XB =70.8,73.4,0,2.2,0,2.4,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =73.4,76,0,2.2,0,2.2,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =76,78.6,0,2.2,0,2,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =78.6,81.2,0,2.2,0,1.8,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =81.2,83.8,0,2.2,0,1.6,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =83.8,86.4,0,2.2,0,1.4,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =86.4,89,0,2.2,0,1.2,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =89,91.6,0,2.2,0,1,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =91.6,94.2,0,2.2,0,0.8,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =94.2,96.8,0,2.2,0,0.6,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =96.8,99.4,0,2.2,0,0.4,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =99.4,102,0,2.2,0,0.2,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./

#### Block över nordöst

&OBST XB =30,32.4,0,2.2,8.8,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =32.4,34.8,0,2.2,8.6,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =34.8,37.2,0,2.2,8.4,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =37.2,39.6,0,2.2,8.2,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =39.6,42.2,0,2.2,8,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =42.2,44.8,0,2.2,7.8,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =44.8,47.4,0,2.2,7.6,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =47.4,50,0,2.2,7.4,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =50,52.6,0,2.2,7.2,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =52.6,55.2,0,2.2,7,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =55.2,57.8,0,2.2,6.8,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =57.8,60.4,0,2.2,6.6,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =60.4,63,0,2.2,6.4,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =63,65.6,0,2.2,6.2,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =65.6,68.2,0,2.2,6,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =68.2,70.8,0,2.2,5.8,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =70.8,73.4,0,2.2,5.6,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =73.4,76,0,2.2,5.4,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =76,78.6,0,2.2,5.2,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =78.6,81.2,0,2.2,5,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =81.2,83.8,0,2.2,4.8,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =83.8,86.4,0,2.2,4.6,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =86.4,89,0,2.2,4.4,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =89,91.6,0,2.2,4.2,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =91.6,94.2,0,2.2,4,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =94.2,96.8,0,2.2,3.8,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =96.8,99.4,0,2.2,3.6,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =99.4,102,0,2.2,3.4,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =102,110,0,2.4,3.4,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./

#### Block under sydväst

&OBST XB =110,112.6,0,2.2,0,0.2,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =112.6,115.2,0,2.2,0,0.4,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =115.2,117.8,0,2.2,0,0.6,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =117.8,120.4,0,2.2,0,0.8,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =120.4,123,0,2.2,0,1,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =123,125.6,0,2.2,0,1.2,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =125.6,128.2,0,2.2,0,1.4,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =128.2,130.8,0,2.2,0,1.6,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =130.8,133.4,0,2.2,0,1.8,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =133.4,136,0,2.2,0,2,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =136,138.6,0,2.2,0,2.2,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =138.6,141.2,0,2.2,0,2.4,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =141.2,143.8,0,2.2,0,2.6,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =143.8,146.4,0,2.2,0,2.8,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./

&OBST XB =146.4,149,0,2.2,0,3,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =149,151.6,0,2.2,0,3.2,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =151.6,154.2,0,2.2,0,3.4,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =154.2,156.8,0,2.2,0,3.6,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =156.8,159.4,0,2.2,0,3.8,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =159.4,162,0,2.2,0,4,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =162,164.6,0,2.2,0,4.2,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =164.6,167.2,0,2.2,0,4.4,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =167.2,169.8,0,2.2,0,4.6,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =169.8,172.4,0,2.2,0,4.8,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =172.4,175,0,2.2,0,5,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =175,177.6,0,2.2,0,5.2,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =177.6,180.2,0,2.2,0,5.4,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =180.2,182.8,0,2.2,0,5.6,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =182.8,185.4,0,2.2,0,5.8,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =185.4,188,0,2.2,0,6,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =188,190.8,0,2.2,0,6.2,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =190.8,193.6,0,2.2,0,6.4,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =193.6,196.4,0,2.2,0,6.6,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./

&OBST XB =196.4,199.2,0.2,2.4,6.2,6.8,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =199.2,202,0.2,2.4,6.2,7,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =202,204.8,0.2,2.4,6.2,7.2,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =204.8,207.6,0.2,2.4,6.2,7.4,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =207.6,210.4,0.2,2.4,6.2,7.6,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =210.4,213.2,0.2,2.4,6.2,7.8,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =213.2,216,0.2,2.4,6.2,8,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =216,218.8,0.2,2.4,6.2,8.2,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =218.8,221.6,0.2,2.4,6.2,8.4,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =221.6,224.2,0.2,2.4,6.2,8.6,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =224.2,226.8,0.2,2.4,6.2,8.8,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =226.8,229.4,0.2,2.4,6.2,9,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =229.4,232,0.2,2.4,6.2,9.2,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =232,234.6,0.2,2.4,6.4,9.4,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =234.6,237.2,0.2,2.4,6.4,9.6,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =237.2,239.8,0.2,2.4,6.4,9.8,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =239.8,242.4,0.2,2.4,6.4,10,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =242.4,245,0.2,2.4,6.4,10.2,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =245,247.6,0.2,2.4,6.4,10.4,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =247.6,250.2,0.2,2.4,6.4,10.6,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =250.2,252.8,0.2,2.4,6.4,10.8,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =252.8,255.4,0.2,2.4,6.4,11,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =255.4,258,0.2,2.4,6.4,11.2,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =258,260.6,0.2,2.4,6.4,11.4,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =260.6,263.2,0.2,2.4,6.4,11.6,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =263.2,265.8,0.2,2.4,6.4,11.8,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =265.8,268.4,0.2,2.4,6.4,12,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./

#### Block över sydväst

&OBST XB =110,112.6,0,2.2,3.4,10,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =112.6,115.2,0,2.2,3.6,10,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =115.2,117.8,0,2.2,3.8,10,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =117.8,120.4,0,2.2,4,10,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =120.4,123,0,2.2,4.2,10,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =123,125.6,0,2.2,4.4,10,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =125.6,128.2,0,2.2,4.6,10,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =128.2,130.8,0,2.2,4.8,10,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =130.8,133.4,0,2.2,5,10,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =133.4,136,0,2.2,5.2,10,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./  
&OBST XB =136,138.6,0,2.2,5.4,10,SURF\_ID='INERT',RGB=1.,1,1./

```

&OBST XB =138.6,141.2,0,2.2,5.6,10,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =141.2,143.8,0,2.2,5.8,10,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =143.8,146.4,0,2.2,6,10,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =146.4,149,0,2.2,6.2,10,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =149,151.6,0,2.2,6.4,10,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =151.6,154.2,0,2.2,6.6,10,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =154.2,156.8,0,2.2,6.8,10,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =156.8,159.4,0,2.2,7,10,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =159.4,162,0,2.2,7.2,10,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =162,164.6,0,2.2,7.4,10,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =164.6,167.2,0,2.2,7.6,10,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =167.2,169.8,0,2.2,7.8,10,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =169.8,172.4,0,2.2,8,10,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =172.4,175,0,2.2,8.2,10,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =175,177.6,0,2.2,8.4,10,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =177.6,180.2,0,2.2,8.6,10,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =180.2,182.8,0,2.2,8.8,10,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =182.8,185.4,0,2.2,9,10,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =185.4,188,0,2.2,9.2,10,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =188,190.8,0,2.2,9.4,12.6,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =190.8,193.6,0,2.2,9.6,12.6,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =193.6,196.4,0,2.2,9.8,12.6,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./

&OBST XB =196.4,199.2,0.2,2.4,10,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =199.2,202,0.2,2.4,10.2,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =202,204.8,0.2,2.4,10.4,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =204.8,207.6,0.2,2.4,10.6,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =207.6,210.4,0.2,2.4,10.8,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =210.4,213.2,0.2,2.4,11,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =213.2,216,0.2,2.4,11.2,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =216,218.8,0.2,2.4,11.4,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =218.8,221.6,0.2,2.4,11.6,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =221.6,224.2,0.2,2.4,11.8,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =224.2,226.8,0.2,2.4,12,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =226.8,229.4,0.2,2.4,12.2,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =229.4,232,0.2,2.4,12.4,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =232,234.6,0.2,2.4,12.6,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =234.6,237.2,0.2,2.4,12.8,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =237.2,239.8,0.2,2.4,13,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =239.8,242.4,0.2,2.4,13.2,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =242.4,245,0.2,2.4,13.4,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =245,247.6,0.2,2.4,13.6,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =247.6,250.2,0.2,2.4,13.8,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =250.2,252.8,0.2,2.4,14,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =252.8,255.4,0.2,2.4,14.2,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =255.4,258,0.2,2.4,14.4,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =258,260.6,0.2,2.4,14.6,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =260.6,263.2,0.2,2.4,14.8,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =263.2,265.8,0.2,2.4,15,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =265.8,268.4,0.2,2.4,15.2,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./

```

SIDOBLOCK

NORDÖST

```

&OBST XB =0,30,2.2,2.4,5.8,9,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =30,102,2.2,2.4,0,9,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./

```

Block lägsta punkten

```

&OBST XB =102,110,2.2,2.4,0,3.2,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./

```

Block slutet sydväst



```

&OBST XB =110,196.4,2.2,2.4,0,10,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =196.4,268.4,0,0.2,6.4,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =268.4,278,0,0.2,12.2,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./
&OBST XB =268.4,278.2,-12.8,0.2,12.2,15.4,SURF_ID='INERT',RGB=1.,1,1./

Tilluft
&VENT XB= 106.00,107.00,0.20,0.20,0.50,1.50,SURF_ID='FAN',RGB=0.,0,0./

Atmosfär nordöst
&VENT XB= 0.00,0.00,0.20,2.00,6.00,8.80,SURF_ID='OPEN', RGB=0.,0,1. /

Atmosfär nordöst
&VENT XB= 278.40,280.20,-12.8,-12.8,12.40,15.20,SURF_ID='OPEN', RGB=0.,0,1.
/

Dörr nordöst
&OBST XB= 29,29.2,0.2,2.0,6.0,8.2,RGB=0.,0,0., T_CREATE=100. /

Dörr sydväst
&OBST XB= 278.4,280.2,-9.8,-10,12.4,14.6,RGB=0.,0,0., T_CREATE=875. /

Utdata

&SLCF PBY=1.1,QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.FALSE.,DTSAM=5
/temperatur i tunneln

&SLCF PBX=278.6,QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.FALSE.,DTSAM=5
/temperatur slutet sydväst

&SLCF PBY=1.1,QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE.,DTSAM=5
/flödes hastighet tunneln

&SLCF PBX=278.6,QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE.,DTSAM=5
/flödes hastighet slutet sydväst

&SLCF PBY=1.1,QUANTITY='oxygen', VECTOR=.FALSE.,DTSAM=5
/koncentration syre i tunneln

&SLCF PBX=278.6,QUANTITY='oxygen', VECTOR=.FALSE.,DTSAM=5
/koncentration syre slutet sydväst

&SLCF PBY=1.1,QUANTITY='carbon dioxide', VECTOR=.FALSE.,DTSAM=5
/koncentration koldioxid i tunneln

&SLCF PBX=278.6,QUANTITY='carbon dioxide', VECTOR=.FALSE.,DTSAM=5
/koncentration koldioxid slutet sydväst

&SLCF PBY=1.1,QUANTITY='carbon monoxide', VECTOR=.FALSE.,DTSAM=5
/koncentration kolmonoxid i tunneln

&SLCF PBX=278.6,QUANTITY='carbon monoxide', VECTOR=.FALSE.,DTSAM=5
/koncentration kolmonoxid slutet sydväst

&SLCF PBY=1.1,QUANTITY='visibility', VECTOR=.TRUE.,DTSAM=5
/sikt i tunneln

&SLCF PBX=278.6,QUANTITY='visibility', VECTOR=.TRUE.,DTSAM=5
/sikt slutet sydväst

&BNDF QUANTITY='RADIATIVE_FLUX', DTSAM=5
/Strålningen mot omgivningen

&TAIL

```

## B.5 Brandgasernas spridningshastighet

För att bestämma hur snabbt brandgaserna sprider sig uppåt i gångtunneln har en medelhastighet beräknats för varje scenario. Hastigheten är beräknad från att branden startar till att brandgaserna når branddörren ovanför branden. Genom att läsa ut ur simuleringarna hur lång tid det tar för brandgaserna att transporteras sträckan från branden till branddörren erhålls en medelhastighet.

Scenario	Avstånd från brand till branddörr (m)	Brandgasernas transporttid (s)	Medelhastighet (m/s)
A	41,6	80	0,52
B	41,6	80	0,52
C	41,6	75	0,55
D	41,6	70	0,59
E	64,2	150	0,43
F	64,2	150	0,43
G	64,2	120	0,54
H	64,2	130	0,49
I	73	160	0,46
J	73	150	0,49
K	73	140	0,52

Tabell B.1 Beräkning brandgasernas medelspridningshastighet

### Scenariobeskrivning

- A. Brand sydvästra sidan av tunneln, branddörr utan läckage
- B. Brand sydvästra sidan av tunneln, branddörr med läckage
- C. Brand sydvästra sidan av tunneln, branddörr utan läckage med brandgasventilation
- D. Brand sydvästra sidan av tunneln, branddörr utan läckage, känslighetsanalys
- E. Brand nordöstra sidan av tunneln, branddörr utan läckage
- F. Brand nordöstra sidan av tunneln, branddörr med läckage
- G. Brand nordöstra sidan av tunneln, branddörr utan läckage med brandgasventilation
- H. Brand nordöstra sidan av tunneln, branddörr utan läckage, känslighetsanalys
- I. Brand lägsta punkten av tunneln, branddörr utan läckage
- J. Brand lägsta punkten av tunneln, branddörr utan läckage med brandgasventilation
- K. Brand lägsta punkten av tunneln, branddörr utan läckage, känslighetsanalys

## B.6 Gridstorlekens betydelse

Gridstorleken är avgörande för att få relevanta resultat. Med mindre gridstorlek, med så lika kubsidor som möjligt, erhålls relevantare resultat, tills då gränsen (gridoberoende) nås, då samma resultat fås även griden minskas. För att kontrollera så att simuleringarna i gångtunneln är gridberoende har simuleringar med 20x20 cm gid och 10x10 cm grid används. Resultaten från dessa har sedan jämförts för att se hur mycket de skiljer från varandra. Resultaten är plottade mot höjden på från olika positioner i tunneln när branden har brunnit i 500 s, se diagram B.3. 10a är simulering med 10x10 cm grid, 20a är simulering med 20x20 cm grid, båda vid brand på sydvästra sidan av tunneln med täta branddörrar. 10b är simulering med 10x10 cm grid, 20b är simulering med 20x20 cm grid, båda vid brand på nordöstra sidan av tunneln med täta branddörrar.

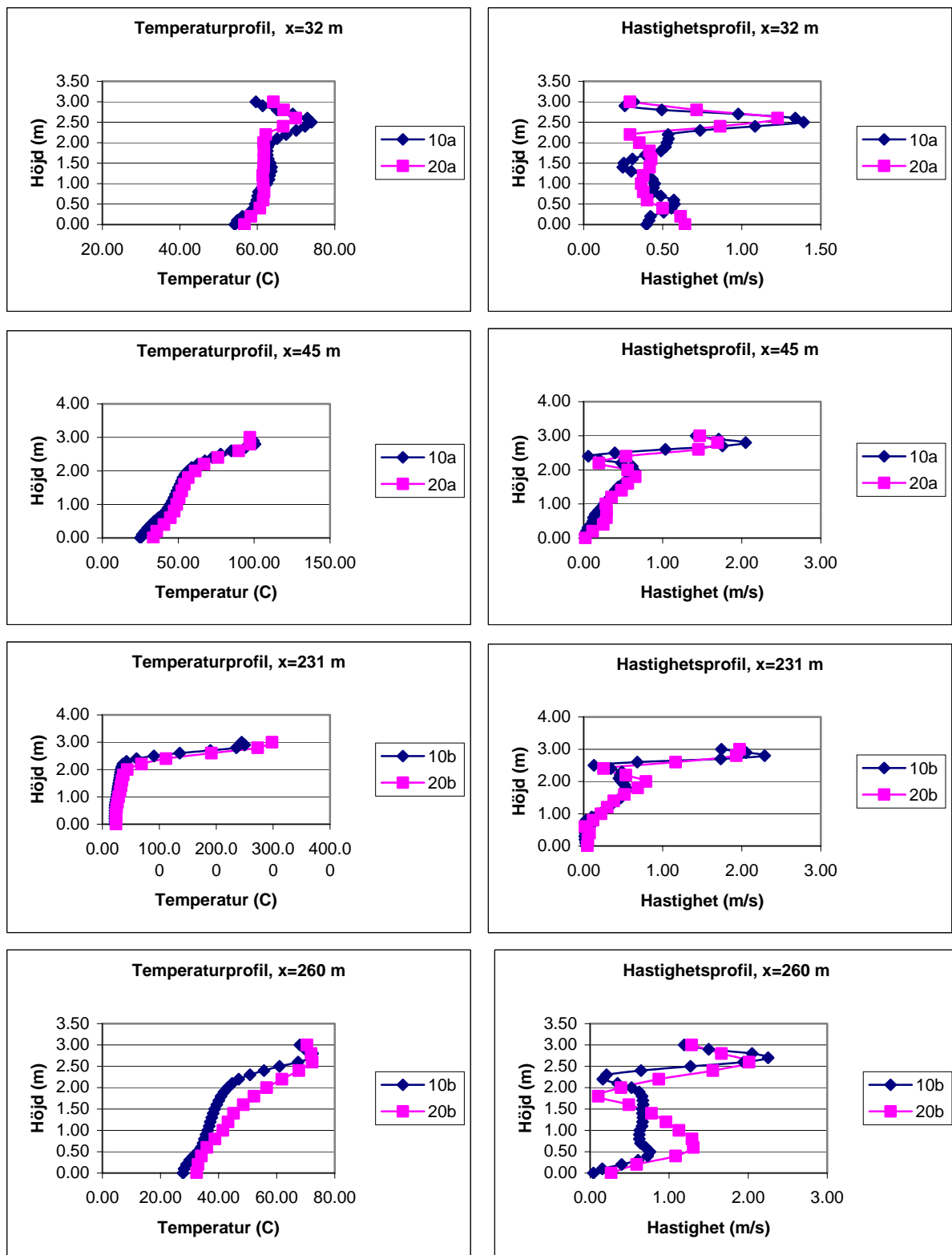


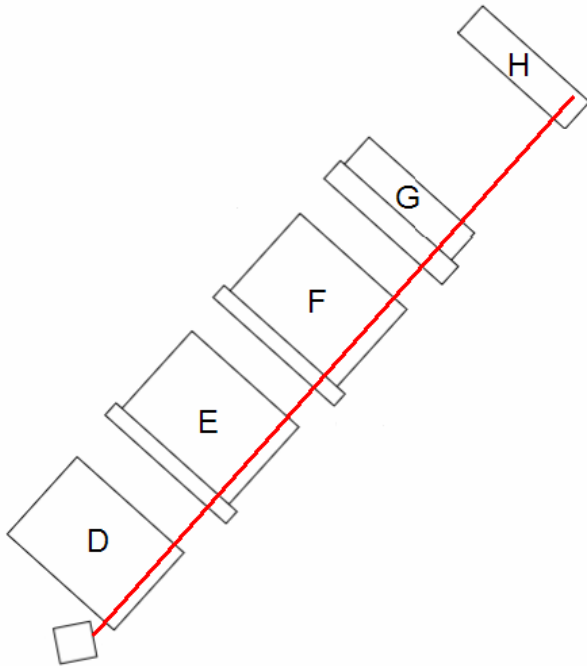
Diagram B.3 Jämförelse av resultat vid simuleringarna a och b, mellan 10x10 cm grid och 20x20 cm grid.

Resultaten skiljer sig inte avsevärt från varandra mellan simuleringarna med 20x20 cm grid och 10x10 cm grid men för säkerhets skull provades även att köra simuleringar med 5x5cm grid, men de simuleringarna krävde så mycket datorkapacitet att inte ens Lunds tekniska högskolas datorer på klustret Docenten klarade av att köra dem. Men eftersom resultaten skiljer minimalt mellan dessa simuleringar så anses resultaten relevanta. Detta styrks även med att gridens kubsidor är helt lika.



## Bilaga C Kabelkulverten

Vid beräkningar av syremängd vid brand i kabelkulverten används kabelkulverten, från dess start mot den sydvästra anläggningen till hus H.



Figur C.1 Översikt av den nordöstra anläggningen med kabelkulverten som beräknas markerad.

$V$  = Rummets volym [ $\text{m}^3$ ]

$E$  = Total energimängd [ $\text{kJ}$ ]

$\gamma$  = Volymandel syre i luft [%]

$\chi$  = Andel syre som kan förbrännas (antaget värde 0,5)

$\alpha$  = tillväxtkonstant [ $0.0634 \text{ kW/m}^2$ ]

$\rho$  = densitet [ $\text{kg/m}^3$ ]

$$V = 12 \cdot 2,2 \cdot 1,4 + 37,5 \cdot 2,2 \cdot 1,4 + 12,5 \cdot 2,2 \cdot 1,45 + 48,5 \cdot 2,2 \cdot 1,5 + 12,5 \cdot 2,2 \cdot 1,55 + 50 \cdot 2,2 \cdot 1,6 + 12,5 \cdot 2,2 \cdot 1,65 + 25 \cdot 2,2 \cdot 1,7 + 37,5 \cdot 2,2 \cdot 1,75 + 25 \cdot 2,2 \cdot 1,8 = 953,26 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{syre}} = V \cdot \rho_{\text{syre}} \cdot \gamma = 953,26 \cdot 1,2 \cdot 0,23 = 263,1 \text{ kg}$$

$$E = \chi \cdot m_{\text{syre}} \cdot \Delta H_{c, \text{syre}} = 0,5 \cdot 263,1 \cdot 13 = 1710,15 \text{ MJ} = 1710150 \text{ kJ}$$

För att enkelt kunna se om syret räcker för branden beräknas energin upp till 514 kW och hålls sedan konstant tills syret tagit slut.

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 = 0,514 \text{ MW}$$

$$t = \sqrt{\frac{514 \text{ kW}}{0.0634}} = 90 \text{ s}$$

Sedan integrera för att få fram energin under tillväxtfasen:

$$E_B = \int_0^{90} \alpha \cdot t^2 dt = \left[ \frac{\alpha \cdot t^3}{3} \right]_0^{90} = 15406.2 \text{ kJ}$$

Energin som kan förbrännas vid maxeffekt:

$$E_C = E - E_B = 1710150 - 15406.2 = 1694743.8 \text{ kJ}$$

$$\dot{Q} = 0,514 \text{ MJ/s}$$

$$E_C = \dot{Q} \cdot t$$

$$t = \frac{E_C}{\dot{Q}} = \frac{1694743.8 \text{ kJ}}{514 \text{ kJ/s}} = 3297 \text{ s} \approx 55 \text{ min}$$

$$3297 \text{ s} + 90 \text{ s} = 3387 \text{ s} \approx 56.5 \text{ min}$$

### **Resultat**

Denna beräkning visar att det finns fullt tillräcklig med syre i kulverten för att hålla branden igång under lång tid som bränslekontrollerad, i över 50 minuter.

