



# CHALMERS

---



## Lärdomar från branden i Torslandaskolan

*Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och Vattenbyggnad VT14*

*Författare:*

JOHAN PORTSTRÖM

IBRAHIM RASHID

AGNES SJÖÖ

BOTOND SZALÓ

Institutionen för Bygg- och Miljöteknik  
*Avdelningen för Byggnadsteknologi*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2014



KANDIDATARBETE VT 2014

# Lärdomar från branden i Torslandaskolan

Kandidatarbete i Bygg- och Miljöteknik

JOHAN PORTSTRÖM

IBRAHIM RASHID

AGNES SJÖÖ

BOTOND SZALÓ

Lärdomar från branden i Torslandaskolan

Kandidatarbete i Bygg- och Miljöteknik

Johan Portström

Ibrahim Rashid

Agnes Sjöö

Botond Szaló

© Johan Portström, Ibrahim Rashid, Agnes Sjöö och Botond Szaló, 2014

Institutionen för Bygg- och Miljöteknik

Avdelningen Byggnadsteknologi

Chalmers Tekniska Högskola

412 96 Göteborg

Sverige

(+46) 31 – 772 10 00

[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)

Omslag: Bilden visar den nedbrunna skolan. (Göta Lejon 2011)

Institutionen för Bygg- och Miljöteknik

Göteborg, Sverige, 201

## Förord

Detta kandidatarbete har utförts på Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg på institutionen för Bygg- och Miljöteknik som en obligatorisk del av civilingenjörsprogrammet i Väg- och Vattenbyggad.

Vi vill tacka Ingemar Segerholm för hans stöd och hjälp som handledare.

Ett stort tack ska även Angela Sasic Kalagasidis, Bijan Adl-Zarrabi och Tommie Månsson på institutionen för Bygg- och Miljöteknik för hjälp med byggnadsfysikaliska modelleringar och tolkning av ritningar.

Vi vill också tacka Katarina Olsson på Göta Lejon, Lennart Persson på Cunningham & Lindsey, Ingemar Sunnerdahl på Länsstyrelsen, Susanne Rasmussen på Lokalförvaltningen, Peter Fröbom som rektor på Torslandaskolan och Nils Johansson på Lunds Universitet för att de ställt upp på intervjuer eller svarat på frågor via mejl.

## Abstract

The school Torslandaskolan in Göteborg, Sweden, burned to the ground in November, 2009. The accident was caused by three young adults who had set a car on fire near the facade. The engine of the car short-circuited and it started rolling towards the school wall. This led to fire spreading to the entire school. In 2013 a new school was erected at the same place as the previous one at a cost of 190 million SEK. The purpose of the current study is to describe the events that occurred during the fire and the economic consequences that followed.

This report is mainly a case study, which gives a detailed description of the case itself and also a summary of the present general knowledge of school fires, with a focus on building technology.

A computer model of the initial fire phase, done using the finite element method, shows that the fire probably would not have spread onto the school building if the car had not rolled towards the wall. A sensitivity analysis of a cost-benefit analysis of different types of technical detection systems is a part of this study as well. The result shows that the calculated profitability of these systems depends highly on the assumptions made, but that in general those kinds of systems are profitable.

In chapter 9 the report provides a set of recommendations as far as fire safety solutions are concerned.

Throughout the report, the school that burned down in 2009 is referred to as Torslandaskolan 1 and the school that was erected in 2013 is referred to as Torslandaskolan 2.

Keywords: fire, fire prevention, school fire, Torslandaskolan, Göteborg, building technology, heat radiation, finite element method, CBA

## Sammanfattning

Torslandaskolan i Göteborg brann ned till grunden i november 2009, till följd av att tre berusade ungdomar hade tänt eld på en bil i närheten av skolans fasad. Bilens motor fick en kortslutning vilket ledde till att bilen rullade fram intill fasaden och branden spred sig till skolan. 2013 blev en ny skola färdigställd, på samma plats till en kostnad av 190 mkr. Rapporten redogör för vad som hände under brandskedet och vilka ekonomiska konsekvenser det ledde till.

Främst är rapporten en fallstudie som detaljerat beskriver branden, men den sammanfattar även kunskapsläget om brand i stort. Fokus ligger på branden ur ett byggnadstekniskt perspektiv.

Egen datormodellering av det initiala brandskedet med finita elementmetoden visar på att branden troligtvis inte hade startat om inte bilen hade rullat fram. En känslighetsanalys av en kostnads–nyttoanalys av olika tekniska detektionssystem är också en del av rapporten. Resultatet visar att den beräknade lönsamheten för dessa i hög grad är beroende på antaganden som görs, men att som regel är den typen av detektionssystem lönsamma.

I det avslutande kapitel 9 har det sammanställts ett antal egna rekommendationer kring brandsäkerhetslösningar för ansvariga vid ombyggnation eller nybyggnation av skolor.

Genomgående i rapporten benämns skolan som brann ned 2009 som Torslandaskolan 1 och skolan som stod färdig 2013 benämns genomgående som Torslandaskolan 2.

Nyckelord: brand, brandskydd, skolbrand, Torslandaskolan, Göteborg, byggnadsteknologi, värmestrålning, finita elementmetoden, kostnads-nyttoanalys

## Innehåll

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| 1 Inledning.....                                       | 1  |
| 1.1 Bakgrund.....                                      | 1  |
| 1.2 Syfte och mål .....                                | 1  |
| 1.3 Avgränsningar.....                                 | 2  |
| 1.4 Metod och material .....                           | 2  |
| 2 Allmänt om anlagda skolbränder.....                  | 3  |
| 2.1 Placering av skolor.....                           | 4  |
| 2.2 Placering av Torslandaskolan .....                 | 4  |
| 3 Förloppet.....                                       | 5  |
| 3.1 Det initiala brandskedet .....                     | 5  |
| 3.2 Räddningstjänstens släckningsarbete.....           | 5  |
| 3.3 Efter branden.....                                 | 6  |
| 4 Datormodellering av värmestrålning mot fasad .....   | 8  |
| 4.1 Frågeställning.....                                | 8  |
| 4.2 Antaganden i modellen .....                        | 8  |
| 4.3 Resultat .....                                     | 11 |
| 4.4 Diskussion av modellen .....                       | 11 |
| 5 Byggnadstekniska aspekter.....                       | 13 |
| 5.1 Brandklass.....                                    | 13 |
| 5.2 Brandceller och brandväggar .....                  | 13 |
| 5.2.1 Brandcellsindelning i Torslandaskolan 1970 ..... | 14 |
| 5.2.2 Brandcellsindelning i Torslandaskolan 1971 ..... | 15 |
| 5.2.3 Brandcellsindelning i Torslandaskolan 1999 ..... | 15 |
| 5.2.4 Övergripande trend.....                          | 15 |
| 5.3 Brandspridning via takfoten.....                   | 16 |
| 5.4 Alternativ lösning .....                           | 18 |
| 6 Åtgärder mot anlagda skolbränder .....               | 19 |
| 6.1 Händelseförebyggande Arbete, HÅFA.....             | 19 |
| 6.2 Brandforsk .....                                   | 19 |
| 6.3 Systematiskt Brandskyddsarbete .....               | 19 |
| 6.4 Kameraövervakning.....                             | 20 |
| 6.4.1 Kameraövervakning på Torslandaskolan .....       | 21 |
| 6.5 Tekniska system.....                               | 21 |
| 7 Torslandaskolan 2.....                               | 22 |
| 7.1 Passiva säkerhetslösningar.....                    | 22 |

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| 8 Kostnads-nyttioanalys av detektionssystem .....      | 23 |
| 8.1 Metod och antaganden .....                         | 23 |
| 8.1.1 Besparing för minskad detektionstid.....         | 24 |
| 8.1.2 Förhöjd risk för brand .....                     | 25 |
| 8.1.3 Minskad tid med detektionssystem .....           | 25 |
| 8.1.4 Fördröjning av rökdetektion.....                 | 26 |
| 8.1.5 Lönsamhetskriterium.....                         | 26 |
| 8.2 Resultat .....                                     | 27 |
| 8.3 Analys .....                                       | 27 |
| 9 Slutsats.....                                        | 29 |
| 9.1 Rekommendationer till skolledning.....             | 29 |
| 9.2 Rekommendationer vid ombyggnad och nybyggnad ..... | 30 |
| 10 Källförteckning.....                                | 31 |
| Bilagor .....                                          | 34 |
| Bilaga 1 .....                                         | 34 |
| Bilaga 2 .....                                         | 35 |
| Bilaga 3 .....                                         | 37 |



## 1 Inledning

Natten till den 14:e november 2009 brann hela Torslandaskolan 1 ned till grunden efter att några ungdomar satt eld på en bil och branden spridit sig till den intilliggande byggnaden. Dådet följdes av långa rättsliga processer där de unga männen först riskerade att betala rekordhöga skadestånd på över 100 mkr till försäkringsbolaget Göta Lejon. Till slut kom de dock undan med att betala enbart rättegångskostnaderna och kostnaderna för den nedbrunna bilen.

Rapporten är en fallstudie som söker dra lärdom från denna enskilda händelse, men även sätta den i ett sammanhang och se vad som kan göras för att motverka liknande händelser i framtiden. Det aktuella forskningsläget sammanfattas. I det avslutande kapitlet ges ett antal rekommendationer för hur nya och befintliga skolor kan brandsäkras, riktade till ansvariga vid projektering av dessa.

### 1.1 Bakgrund

Torslandaskolan 1 utanför Göteborg byggdes år 1971. Den kompletterades och byggdes sedan ut ett antal gånger under de nästkommande åren. År 2009 brändes skolan ned till grunden av tre unga män. Branden startade i en bil utanför skolan och spreds till skolans fasad efter att en kortslutning orsakad av hettan fått bilens motor att starta och bilen att åka 2 m fram till fasaden.

Branden i Torslandaskolan 1 är relevant att ta lärdom från av flera anledningar: dels är den byggnadstekniskt intressant ur ett brandsäkerhetsperspektiv och dels är branden en av de mer storskaliga skolbränderna på flera år. Anlagda skolbränder i Sverige har varit i en stigande trend de senaste årtiondena.

I dagsläget brinner det i åtminstone en skola varje dag i Sverige och många av skolorna i Sverige är av liknande typ som Torslandaskolan 1, nämligen enplansskolor med trästomme, byggda under miljonprogramstiden. Genom att studera branden i Torslandaskolan 1 kan lärdomar tas för att eventuellt brandsäkra de skolorna.

### 1.2 Syfte och mål

Rapporten syftar till att beskriva brandförloppet och dess efterföljder samt att sätta den i en kontext i förhållande till det aktuella kunskapsläget. Fokus är på byggnadstekniska aspekter av brandspridningen och en ingående beskrivning av det initiala brandskedet.

Rapporten sammanfattar även den kunskapsmässiga och tekniska utvecklingen som har skett sedan tiden för branden, med störst fokus på den mycket utökade användningen av automatiska detektionssystem. Ekonomiska och juridiska aspekter av dessa berörs.

I rapportens resultat-del redovisas slutligen egna rekommendationer kring åtgärder som kan vidtas för att förhindra bränder av liknande art. Dessa rekommendationer baseras på ämnen som tagits upp tidigare i rapporten.

### 1.3 Avgränsningar

Rapporten berör främst tekniska frågor och kommer inte spekulera i eventuella sociala orsaker till anlagda skolbränder. Sådant faller utanför gruppens kompetensområde. En ingående analys av räddningstjänstens beteende och deras svårigheter faller också utanför rapportens ramar, eftersom det har mer med deras interna organisation att göra. Anlagda bränder rent generellt behandlas inte. Rapporten berör endast anlagda skolbränder. Kostnads-nyttoanalysen av detektionssystem i kapitel 8 berör endast externa sådana.

### 1.4 Metod och material

Rapporten är främst en litteraturstudie, med källor i form av Tingsrättens domar, polisens förundersökningsarbete, konstruktionsritningar hämtade från Stadsbyggnadskontoret, material från Göta Lejon, Bengt Dahlgren, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut och flera med anknytning till skolan eller branden.

Litteratur om brand ur ett byggnadstekniskt perspektiv, främst utgivet av Brandforsk, används också. Vidare har intervjuer gjorts med personer från Göta Lejon, Lokalförvaltningen, Lunds universitet, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP), Cunningham & Lindsey och en av skolans rektorer. Göta Lejon och Cunningham & Lindsey har även bistått med en del material.

Egna beräkningar finns i form av en strålningsberäkning med finita elementmetoden av antändningsskedet samt ett försök till fördjupning och vidareutveckling av en modell för ekonomisk kostnads-nyttoanalys av olika detektionssystem. Modelleringen av antändningsskedet har gjorts i Comsol Multiphysics och ekonomiska beräkningar har gjorts i Excel.

För materialet kring brandskedet och dess utredning har främst polisens förhör använts. I dessa förhör hade de tre gärningsmännen något annorlunda versioner av historien, så för rapportens skull har främst detaljer som är gemensamma för alla tre setts som pålitliga. Material från rättegångarna har hämtats ut och lästs på plats på Göteborgs Tingsrätt. Konstruktionsritningar har hämtats ut från Stadsbyggnadskontoret, Göteborg.

## 2 Allmänt om anlagda skolbränder

När Torslandaskolan 1 byggdes, 1970 talades det inte om fenomenet *skolbränder*. Det var inte avsevärt mycket vanligare att det brann i skolor än i någon annan typ av byggnader.<sup>1</sup> Sedan dess har dock anlagda skolbränder varit i en stigande trend, som stigit mycket snabbare än bränder i stort och i dagsläget är det minst en skolbrand varje dag (BRÅ 2014). Ungefär 40 bränder per år leder till så omfattande skador att nya lokaler måste hittas (Eriksson 2010). Kraftigast var uppgången under 90- och 00-talet. Toppnoteringen var 2008, med 434 anlagda bränder och 787 uttryckningar av Räddningstjänsten, men sedan dess har antalet gått ned till 378 uttryckningar, 2013 (MSB 2014). Det är oklart varför nedgången har varit så kraftig, men en tänkbar anledning skulle kunna vara att användandet av automatiska detektionssystem har ökat kraftigt, åren efter 2008. Detta får dock anses spekulativt.

Kostnaderna som skolbränder orsakar samhället varje år beräknas av försäkringsbolaget Göta Lejon till 500 miljoner kr, för hela landet (Brandskyddsföreningen 2013, s. 3).

Majoriteten av alla skolbränder anläggs av skolans elever under skoltid och de allra flesta hinner släckas innan stor skada uppstår. Problemen med allvarliga bränder uppkommer först då det brinner på kvällar eller helger och det dröjer längre innan branden upptäcks (Johansson och van Hees, 2010). Detta är de mest kostsamma och allvarliga bränderna.

En majoritet av byggnaderna är uppförda mellan 1960 och 1980 vilket även var fallet med Torslandaskolan 1. Enplansskolor med trästomme, av ungefär typen som Torslandaskolan 1, är kraftigt överrepresenterade bland de allvarligaste skolbränderna (van Hees 2014).

Bränder startar ofta utomhus vid fasaden, på toaletter eller i papperskorgar och spridning till vinden via fasad och takfot är en av de mest återkommande spridningsvägarna (Johansson och van Hees 2010, s. 2).

Bränder föregås ofta av flera skadegörelser och småbränder av mindre allvarlig karaktär. På Torslandaskolan 1 föregicks branden av ett antal mindre bränder veckorna innan (Polismyndigheten i Västra Götaland 2009A).

Typiska brister inom teknik och organisation är exempelvis ventilationssystem som sprider rök, avsaknad av automatlarm, otillräckliga brandceller och för få lärare närvarande under rasterna (Johansson & van Hees 2010, s. 24). Detta kan sammanfattas som brister inom byggnadstekniskt brandskydd, Systematiskt Brandskyddsarbete (SBA) och system för detektering.

---

<sup>1</sup> Intervju med Susanne Rasmusson på Lokalförvaltningen, 2014-03-09

## 2.1 Placering av skolor

Enligt Susanne Rasmusson på Lokalförvaltningen i Göteborg, kan skolors placering inom ett bostadsområde inverka på risken för brand.<sup>2</sup> Under 60- och 70-talet, var det en uttalad ambition att bostadsområden placerades som satelliter utanför staden och skolor placerades i sin tur i utkanten av dessa. Krav på ansvarsfullt användande av skattepengar i kombination med ideal om att barn ska ha närhet till naturen innebar och innebär än idag att skolor ofta placerades på impedimentmark, vilket är oanvänd mark som blivit över efter exploatering. Detta trots att Lokalförvaltningen hellre hade velat placera dem mer centralt.

Detta fick till följd att många skolor ligger undanskymda på platser där få befinner sig efter skoltid. De flesta skolor står tomma och nedsläckta på kvällarna. De är därför i riskzonen för att ungdomar i lugn och ro ska kunna starta en brand och att branden kommer kunna växa sig stor innan någon hinner upptäcka den och slå larm.

## 2.2 Placering av Torslandaskolan

Torslandaskolan 1 låg placerad ungefär i mitten av samhället, på en kulle och synlig från långt håll. Däremot var det långt till närmaste bostäder och platsen låg omgiven av skog. Det fanns flera platser kring skolan, skyddad från insikt, där ungdomar kunde vistas. Baksidan där branden startade var skyddad från insyn av byggnader åt norr och öst, ett berg i sydlig riktning och av skog åt väst. Det dröjde tills skolan blev helt övertänd innan branden var synlig från håll, men vid det laget var den istället synlig från i stort sett hela Torslanda. Eftersom Torslandaskolan 2 byggdes på samma fastighet som Torslandaskolan 1, så är problematiken ungefär densamma.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> Intervju med Susanne Rasmusson på Lokalförvaltningen, 2014-03-09

<sup>3</sup> Intervju med Peter Fröbom på Torslandaskolan, 2014-04-01

### 3 Förloppet

I detta kapitel behandlas hela förloppet, från det att ungdomarna tände eld på bilen till brandtjänstens släckningsarbete och även en del om vad som hände efter att skolan brunnit ned. De tre gärningsmännen kallas A, B och C i texten.

Flygfoto över skolan och området återfinns i bilaga 1.

#### 3.1 Det initiala brandskedet

Natten till den 14/11, 2009, i stadsdelen Torslanda i Göteborg var de tre ungdomarna A, B och C på väg hem från en fest. Då detta utspelade sig var de i åldrarna 17-19 år. Samtliga var kraftigt berusade. De gick förbi högstadiedelen av Torslandaskolan 1 och bestämde sig för att ”förstöra något” (Polismyndigheten 2009B-F). Ungdomarna gick bakom skolan till en mer avskild del. De fick syn på vaktmästarens bil som stod parkerad några meter ifrån skolbyggnaden och A hoppade på fönsterrutan för att försöka krossa den. B och C följde dennes exempel, men C halkade av huven. Någon av dem letade då upp en sten och slog in rutan med den. A försökte elda i förarsätet, men det tog inte eld. De letade efter brännbara saker i bilen. Det duggregnade lätt, denna natt.

Någon av dem föreslog att de skulle ”spränga bilen” (Polismyndigheten 2009E). De lade in papper och kartonger i förarsätet som de sedan tände på. När bilen efter några minuter övertändes och de tre var på väg därifrån hörde de ett larm. De tänkte att det förmodligen var bilens larm. Plötsligt hörde de en smäll. C beskrev det som att det var glas som smällde. Enligt A hade då 10 minuter passerat sedan de satte eld på bilen. Kort därefter hördes ytterligare en smäll som snarare verkade komma från bilmotorn och bilen hoppade framåt, närmare skolbyggnaden.

En tredje smäll hördes och bilen hoppade fram ytterligare. Bilen stod då ungefär en halvmeter ifrån väggen. C såg att träfasaden blivit svartbränd och alla tre insåg att skolan var på väg att börja brinna. De tre pratade om att det kanske vore bäst att ringa Räddningstjänsten, men de ville undvika att själva bli misstänkta. De avvek därför från platsen kort innan brandbilar dök upp. A, B och C kom överens om att inte berätta vad som hänt för någon.

Flera personer i Torslanda såg att det brann och gick ut för att se vad som hände med skolan och släckningsarbetet. A, B och C småpratade med några de träffade i närheten. Efter ett tag gick C hem till sig. A och B gick tillbaka och såg hur branden tog över skolan (Polismyndigheten 2009A-F).

#### 3.2 Räddningstjänstens släckningsarbete

Räddningstjänsten fick ett automatiskt brandlarm 02:22 och en brandbil med 5 brandmän var på plats 8 minuter senare. De anlände till skolans entré och såg inte att det brann på baksidan. Rökdykare gick in genom huvudentrén och såg efter ett tag tjock rök från en ventilationstrumma. De fick syn på den brinnande bilen och kallade på förstärkning. Under det utdragna släckningsarbetet, som varade till morgonen därefter, var det som mest 45 personal på plats (Räddningstjänsten 2010, s. 15).

Branden spred sig från fasaden till den öppna vinden och därifrån vidare till andra delar av skolan. Situationen blev snabbt svår att kontrollera och släckningsarbetet kantades av problem. Det uppstod kommunikationsproblem de olika arbetslagen emellan. Håltagning från taket för släckning på vinden fick avbrytas för att takkonstruktionen var av ett annat slag än det väntade, vilket gjorde att det tog längre tid än beräknat. Rutan till ett klassrum som skulle sättas under övertryck visade sig vara av okrossbart plexiglas, varpå karmen på glaspartiet behövde monteras bort innan det kunde utföras. En pelletssilo fattade eld och började brinna kraftigt. Vattentillförseln var otillräcklig, så vid ett tillfälle blev det vattenstopp i 5 minuter för en av skärsläckarna som var på plats.

På grund av att skolan byggts om och byggts till ett flertal gånger var det oklart för brandmännen var brandcellerna var placerade. De kunde därmed inte på ett effektivt vis hindra brandspridningen som tog över allt mer av skolan. Efter två timmar brand var samtliga huskroppar övertända. Kort därefter kom det fram att det fanns en acetylenflaska på okänd plats i skolan, vilket innebar att de var tvungna att ha ett kraftigt säkerhetsavstånd (Räddningstjänsten 2010, s. 33). Räddningsarbetet handlade för personalen på plats bara om att från avstånd hindra branden från att sprida sig ytterligare. Den intilliggande idrottshallen räddades till slut. Klockan 06:00 fattade en naturgasledning eld, men den tilläts brinna, tills personal från Göteborgs energi åkte ut och stängde av gasen (Räddningstjänsten 2010, s. 15).

### 3.3 Efter branden

Dagen efter branden kunde polisen konstatera att *"alla fasta och lösa inventarier samt konstruktionsdelar [var] av varierande grad brandpåverkade"* (Polismyndigheten 2009G). Vissa väggar stod kvar, men taket var helt utplånat. Vaggsektionen 3.6 meter till höger om bilen hade fortfarande fasaden och färgen intakt, men plexiglasen i väggen hade smält och såg ut som gråvita skynken. Se figur 3.2. På väggen framför den totalförstörda bilen fanns en V-formad förkolning, där branden startade.



Figur 3.1 och 3.2. Bilder från polisens brandplatsundersökning, på väggen framför respektive till höger om bilen (Polismyndigheten 2009G)

Samma dag berättade C för sina föräldrar vad som hade hänt. En dag senare gick han med sina föräldrar till polisstationen och erkände brottet. I de tidiga polisförhören nekade A och B, men när de i ett senare förhör upplysts om att C hade erkänt så gjorde de likadant varpå alla tre delges misstanke om grov mordbrand. Polisen hade fram till erkännandet, ingenting som knöt de tre till dådet.

Högstadieläverna i skolan fick först inkvarteras i andra, kringliggande skolor. Därefter uppfördes temporära modulsolor medan planerandet av en ny Torslandaskola påbörjades. Kostnaderna för den nedbrunna skolan beräknades av skadereglerarföretaget Cunningham & Lindsey till 117 mkr.<sup>4</sup> Det kommunala försäkringsbolaget Göta Lejon krävde de tre gärningsmännen på hela summan i rättegångar som kom att vara i flera år och som avslutades först 2013 (Göteborgs Tingsrätt 2013).

A, B och C friades från anklagelserna om mordbrand då det inte ansågs rimligt att de kunde ha räknat med att branden skulle sprida sig till mer än bilen. Det visade sig att bilen hade växeln i och ingen handbroms. En kortslutning orsakad av hettan från branden fick motorn att hoppa igång och bilen att därmed rulla framåt. Enligt expertvittnens utlåtanden i Tingsrätten var det oklart huruvida det var möjligt att branden hade startat om bilen hade stått kvar på sin plats, cirka 3 meter ifrån väggen. Dessutom är det så extremt ovanligt att bilar kortsluter och hoppar framåt att det inte vore rimligt för A, B och C att förutsäga det, varpå något uppsåt att sätta eld på skolan inte kunde styrkas (Göteborgs Tingsrätt 2004, s. 3f).

Statens Tekniska Forskningsinstitut (SP) gjorde, för försäkringsbolaget Göta Lejons räkning, ett fullskaligt experiment där de bland annat satte eld på en liknande bil som den som brann vid Torslandaskolan. Just frågan ifall branden hade startat om bilen hade stått kvar 3 meter ifrån väggen undersöktes dock inte (Andersson 2010). Se kapitel 4 för en datorsimulering av detta.

Trots friandet från mordbrand kvarstod skadeståndskravet från Göta Lejon (Göteborgs Tingsrätt 2013, s. 5). Efter flera års rättstvist friades de tre från även denna anklagelse och dömdes 2013 endast till att betala självrisker på 13,6 mkr till Göta Lejon, 150 tkr till Göteborgs Stad för bilen och 220 tkr för rättegångskostnaderna (Göteborgs Tingsrätt 2013, s. 2). Deras försäkringar täckte dock de 13,6 mkr.<sup>5</sup> Samma år blev den nya Torslandaskolan 2 färdigbyggd och kunde börja brukas.

---

<sup>4</sup> Intervju med Lennart Persson på Cunningham & Lindsey, 2014-03-04

<sup>5</sup> Intervju med Katarina Olsson på Göta Lejon, 2014-02-07

## 4 Datormodellering av värmestrålning mot fasad

Modellering av strålning från den brinnande bilen mot träfasaden, i Comsol Multiphysics. Modelleringen är gjord utifrån antagandet att fasaden hade fattat eld även om bilen stått kvar på sin ursprungliga plats. Antagandet visade sig felaktigt. Väggen hade troligtvis inte fattat eld om inte bilen hade förflyttats fram mot väggen.

### 4.1 Frågeställning

Statens Forskningsinstitut (SP) gjorde, på Göta Lejons uppdrag, ett fullskaligt experiment där de satte eld på en riktig bil, av modell nästan snarlik den Opel Combo AB11 som brann vid Torslandaskolan 1, men med vanlig bensinmotor istället för dennes hybridmotor. Under experimentet studerades bland annat den brinnande bilens effekt och temperatur. Något som inte besvarades var dock frågan som flera inkallade experter uttalade sig om under rättegångarna i Tingsrätten (Göteborgs Tingsrätt 2004, s. 3f): hade skolan börjat brinna om bilen hade stått kvar på sin ursprungliga plats, 3 m ifrån fasaden? I ett försök att belysa och försöka besvara den frågan gjordes här en egen datormodellering i programmet Comsol Multiphysics. Det är ett program för finita element-beräkningar och är väl lämpat för att göra beräkningar av värmestrålning och värmeflöden. Hypotesen som utgicks ifrån var att fasaden hade fattat eld även om bilen hade stått kvar på ursprungsplatsen. Hypotesen visade sig vara felaktig, med vissa förbehåll.

Det är även motiverat att mer allmänt studera brinnande bilars strålning på intilliggande fasader, men inte bara för att reda ut det här specifika och nästan unika fallet. I ett större perspektiv är anlagda bilbränder ett fenomen som har varit på uppgång på ungefär samma sätt som anlagda skolbränder (BRÅ 2014). Särskilt som ett fenomen som förekommer vid upplopp har bilbränder varit på uppgång. Med fler bilbränder kommer fler av dem ske intill lättantändliga fasader och leda till att bränder sprider sig. På sikt kan fördjupad kunskap på området motivera en översyn av regler kring hur långt ifrån lättantändliga föremål parkeringar generellt får placeras.

### 4.2 Antaganden i modellen

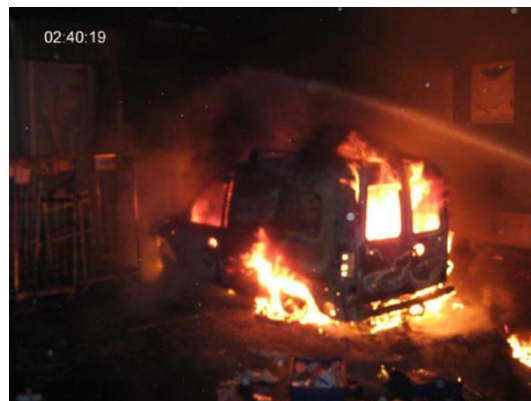
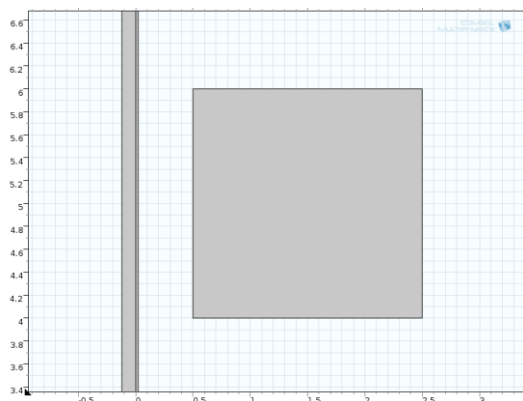
Det enda som modelleras är strålningen från värmekällan, bilen, till den närmaste väggen. Detta eftersom bilen stod på ett sådant avstånd och hade en sådan temperatur att värmestrålning kunde antas dominera över alla andra typer av värmeöverföringar. Det blåste i skolans riktning, med 5 m/s, vid tillfället. Det är dock inte uppenbart att anta att det blåste på det viset lokalt kring bilen och byggnaden, men det skulle kunna innebära att elden piskade rakt mot fasaden. Mest troligt är dock att den absoluta merparten av flammorna steg uppåt. Allt utom strålningsvärme försummas därför.

Ytemperaturen ett material uppnår av en viss infallande strålning beror på materialets värmeupptagningsförmåga,  $kpc$ , där  $k$  [W/(m\*K)] är värmeledningstalet,  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] är densitet och  $c$  [J/(kg\*K)] är värmekapacitet. Ett lågt värde på  $kpc$  innebär att lite värme tränger in i materialet och värmen koncentreras istället vid ytan, som värms upp snabbt. Ett högt värde innebär att ytan värms upp långsammare (Bengtsson 2001, s. 27). För att materialet ska börja brinna måste det först värmas upp tills det når sin pyrolystemperatur. Vid denna temperatur bryts materialet ned till pyrolysgaser. Vid ytterligare uppvärmning upp till antändningstemperatur kan dessa gaser fatta eld. Om den tillförda energin överstiger energin som behövs för att uppnå pyrolystemperatur börjar materialet brinna.

Att temperaturen på fasaden överstiger antändningstemperaturen räknas därför, i modellen, som ett tillräckligt kriterium för att fasaden fattar eld. Antändningstemperatur på fasaden antas till 673.15 K.

Olika källor hävdar olika antändningstemperaturer för trä och buden pendlar mellan 473.15 K som lägst (Dafo 2014) och 873.15 K som högst (Bengtsson 2001, s. 30). 673.15 K ligger däremellan. Flera källor framhåller att antändningstemperaturen i många fall kan gå under den förväntade. Särskilt för trä som värms upp många gånger och under längre perioder kan antändningstemperaturen gå ned så rejält att det inte behövs mycket mer än 373.15 K. Med tanke på att den studerade väggen inte tidigare varit uppvärmd och dessutom är täckt med ett lager målarfärg och det är fuktigt i luften framstår det som rimligt att anta att det är 673.15 K som gäller i praktiken.

Geometriskt är det en 2-dimensionell modell, sedd uppifrån. Se figur 4.1 Den ses som det kritiska snittet som är varmast. Bilen och väggen har utformats som enkla rektanglar. Bilrektangeln är kubisk, har måtten  $2 \times 2$  m och materialet har egenskaperna som stål. Väggen består av ett fasadlager om  $10 \times 0.022$  m med materialegenskaperna hos gran (Burström 2006) samt ett isoleringslager om  $10 \times 0.12$  m med egenskaperna hos mineralull. Bilen står på ett avstånd av  $X + X_0$  m ifrån fasaden, där  $X$  är kofångarens avstånd mot väggen och  $X_0$  är avståndet från kofångaren till den reella värmekällan. Värmekällan låg längre bak än kofångaren ( $X_0 = 0$  m), men eftersom hela bilen värmdes upp och flammor trängde ut utanför fönstret placeras  $X_0$  inte så långt bak som till rutan ( $X_0 \approx 0.7$  m). En adderad halvmeter på kofångarens avstånd är den uppskattning som användes i denna modellering.



Figur 4.1. Modelleringsdiagram av bil mot vägg. Figur 4.2. Räddningstjänstens foto av den brinnande bilen. (Räddningstjänsten 2010, s. 7)

Väggen utformas som en enda obruten rektangel trots att det i det verkliga fallet fanns ett fönster framför bilen. Denna förenkling motiveras med att fönstrets eventuella kylande effekt i form av att bland annat bortreflektera en viss del av den infallande strålningen, antas vara försumbar.

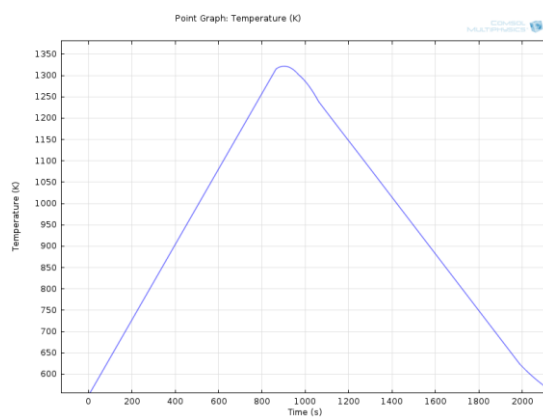
Emissiviteten hos väggen sätts till  $\varepsilon = 0.86$ . Emissiviteten hos den brinnande bilen sätts till  $\varepsilon = 0.8$  när bilen är nära väggen och  $\varepsilon = 0.5$  när bilen är en bit ifrån väggen. Denna uppskattning är en antagen syntes mellan den höga emissiviteten hos flammorna, den låga emissiviteten hos röken och den medelhöga emissiviteten hos bilens yta (Goyal et al. 2009).

Maximal finhet på mesh används, det vill säga modellen har maximalt antal noder.

Ytterkanterna på väggen antas adiabatiska, eftersom de är för långt bort för att ha någon särskild inverkan. Detta minskar antalet beräkningar som måste utföras. Innanför fasaden modelleras endast isolering som en rektangel som ligger tätt emot fasaden. Luftspalt och övriga lager försummas helt.

Temperaturen inne i lokalerna antas till 293.15 K. Temperaturen utomhus antas till 277.15 K (SMHI 2010). Brandskedet formuleras som att ytan på kuban börjar på 277.15 K, stiger linjärt till sin maxtemperatur efter 900 sekunder och sedan avtar linjärt till 277.15 K till sekund 2100. Denna funktion av tid är tänkt att efterlikna den temperaturkurva SP kom fram till.

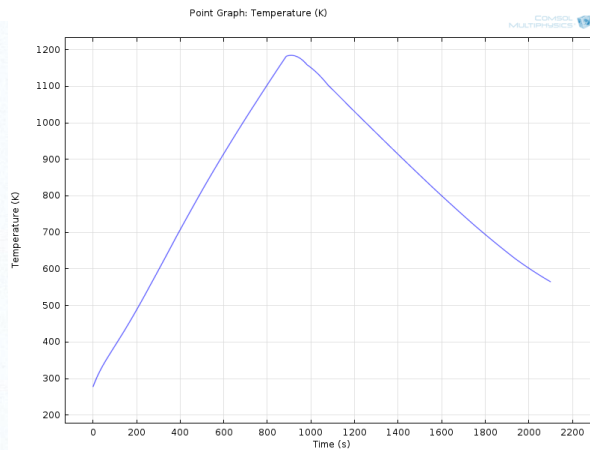
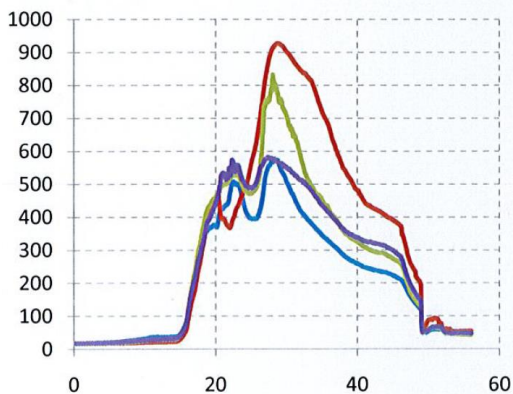
Maxtemperaturen på den brinnande bilen är okänd, men eftersom den också är den enda okända variabeln går den att hitta, genom att utgå från SPs försök. Under det försöket mätte fyra plattermetrar placerade på olika platser upp en maximal yttemperatur på cirka 1203.15 K, när bilen stod direkt emot den uppbyggda fasaden ( $X = 0$ ) framför fönstret. Det är termometern under fönstret som uppmätte den högsta temperaturen. Se figur 4.3 respektive 4.5. Med beteendet vid just denna yttemperaturmätare känt, ställs ett liknande fall upp i Comsol och genom att testa med olika temperaturer på bilen, tills en uppskattning av temperaturen hos den brinnande bilen som visar samma typ av beteende hittas.



Figur 4.3. Bild från SPs försök (Andersson 2010) Figur 4.4. Den modellerade brandens temperaturutveckling.

Vid ett antagande om en maxtemperatur på bilen på 1321 K erhöles en temperatur vid fasadytan som på ett godtagbart vis liknade den uppmätta temperaturen från plattermometern ovan.

Temperatur °C



Figur 4.5. Yttertemperatur enligt SPs försök (Andersson 2010). Figur 4.6. Motsvarande kurva i modellen.

### 4.3 Resultat

Med bilens maxtemperatur känd flyttades bilen till  $X = 0.5$  m från fasaden. Vid denna beräkning avlästes istället temperaturen 1 mm in i väggen. Detta motsvarar genomsnittstemperaturen av de yttersta 2 mm, för vilka temperaturen varierar så gott som linjärt. Detta enligt antagandet att det behövs en del material för att en brand ska kunna ta fäste.

Vid  $X = 0.5$  m nåddes maxtemperaturen 932.4 K med antagandet om  $\varepsilon = 0.5$ . Med det högre antagandet om  $\varepsilon = 0.8$  nåddes maxtemperaturen 1028 K. Det är inte helt givet vilket av dessa värden som är det rätta. I båda fallen är dock temperaturen långt över antändningstemperaturen 673.15 K och skolan fattar garanterat eld, vilket är det förväntade utfallet.

Därefter flyttades bilen till avståndet  $X = 3$  m från fasaden.  $\varepsilon$  sattes till 0.5.

Vid  $X = 3$  m finns det ingen konvektiv värmeöverföring alls och det är hög rökutveckling som blockerar en del av strålningen. En maximal temperatur på 664 K uppnåddes i beräkningen. Detta är något lägre än antändningstemperaturen 673.15 K, varför hypotesen att väggen hade börjat brinna även om inte bilen hade åkt fram får anses motbevisad, enligt den här modellen. Dock är antändningstemperaturen en väldigt osäker siffra som kan variera avsevärt beroende på vilken källa som används och marginalerna är så pass små, så resultatet får ändå sägas vara följande: det är inte omöjligt att väggen hade börjat brinna även om bilen hade stått kvar på sin ursprungsplats.

### 4.4 Diskussion av modellen

Enligt modellen hade inte fasaden på Torslandaskolan 1 fattat eld om bilen stått kvar på sin ursprungliga plats. Modellen är dock känslig för flera antaganden och det är bara 9.15 K som skiljer fasadens temperatur från antändningstemperaturen. Med en något högre antagen emissivitet skulle temperaturen snabbt gått upp över antändningstemperaturen.

Modellen bygger på den brinntid som SP hade. Med något mer brännbart material och längre brinntid skulle väggens temperatur hinna nå upp över antändningstemperatur. Den ursprungliga bilen var av en hybridvariant med metangas och brann kanske längre och kraftigare än den bil som SP testade. Även fullskaliga försök är känsliga för antaganden och samtliga eventuella fel som fanns i det försöket har fortplantat sig till den här modellen.

Osäkerheter i modellens metod kan å andra sidan innebära att temperaturen kan ha varit lägre än den beräknade. Vid avståndet 3 m förekommer ingen konvektiv värmeöverföring; rökutvecklingen är kraftig och röken blockerar en del av värmestrålningen; det blåser en del och kall luft kommer in mellan bilen och fasaden. Allt detta kan inverka till att den faktiska temperaturen blir avsevärt mycket lägre än beräknat.

När Torslandaskolan 2 byggdes placerades parkeringar på minst 4 m avstånd från fasaden och hinder sattes upp som skulle hindra bilar från att rulla fram närmare än så.<sup>6</sup> Den nya fasaden är dock av betong och skulle knappast börja brinna, ens om bilen stod på 3 m avstånd. Den säkerhetsåtgärden kan därför ha varit en aning förhastad.

---

<sup>6</sup> Intervju med Peter Fröbom på Torslandaskolan, 2014-04-01

## 5 Byggnadstekniska aspekter

Fokus i detta kapitel av rapporten är de byggnadstekniska aspekter som inverkar på branden. Först beskrivs brandklass och brandceller, eftersom brandklassen styr brandsäkerhetskraven på byggnadens konstruktion. Därefter redogörs för konstruktionens uppbyggnad på Torslandaskolan 1 och dess betydelse för brandspridningen.

### 5.1 Brandklass

Byggnader delas in i tre olika brandklasser (BBR 2012, 5 kap.): Br1, Br2 och Br3, med olika utförandekrav ställda på de olika klasserna. Br1 är den högsta klassen och ställer framförallt krav på motståndskraftiga brandceller och goda utrymningsmöjligheter. Tekniska detaljer om vad detta innebär finns i BBR. Denna högsta klass är vad som krävs för byggnader där många människor vistas och där det kan vara svårt att utrymma byggnaden.

Br2 är även den tämligen strikt och måste uppfyllas för byggnader där människor vistas, men där risken för personskada vid brand inte är lika stor som för Br1-klassade byggnader. Byggnader som enkelt kan utrymmas och där det inte anses föreligga någon fara för människoliv har endast krav på sig att leva upp till Br3, vilket är den lägsta klassen. I den klassen ställs mest krav på att branden inte får spridas till andra byggnader (BBR 2012, 5 kap).

Skolor som byggs idag måste alltid byggas i minst Br2-klass. Detta eftersom de nästan alltid har stora byggnadsareor och samlingslokal i bottenvåningen. Torslandaskolan 2 är byggd i Br1, eftersom den har fler än 3 våningsplan. Torslandaskolan 1 var dock, att döma av hur snabbt branden spred sig (Räddningstjänsten 2010), endast utförd i Br3. Det kan bero på mindre strikta byggregler under tiden för skolans tillkomst. Byggnaderna var förhållandevis billiga att uppföra, vilket gjorde att det inte hade varit lönt att lägga stora summor på att brandsäkra dem och dessutom var 1970 långt innan skolbränder blev ett samhällsligt problem.

När Torslandaskolan 1 byggdes gällde Svensk Byggnorm 1967 (SBN 1967). I den regelsamlingen fanns bestämmelser om att byggnaden skulle uppfylla kraven för brandhärdighet. Då fanns inte begreppet brandklasser (SBN 1967, 37 kap. 2§). Boverket har inga generella krav på att retroaktivt ändra byggnader uppförda innan nuvarande regler för att de ska uppfylla dessa. Vid ombyggnad måste dock gällande regler följas, men ibland kan hänsyn tas till särskilda omständigheter som gör det svårt att uppfylla.<sup>7</sup>

### 5.2 Brandceller och brandväggar

Byggnader är uppdelade i brandceller. Med en brandcell menas en avgränsad del av en byggnad, som bromsar upp spridandet av brand till en annan cell. Brandcellers placering planeras på ett sådant sätt att det ska finnas tillräcklig tid för utrymning. De kan även uppstå naturligt av att hus byggs med olika sektioner, med olika verksamheter. I ett flerbostadshus tenderar varje lägenhet att vara sin egen brandcell och en brand sprider sig som regel inte från en lägenhet till en annan förrän hela lägenheten är övertänd.

---

<sup>7</sup> Mejlkorrespondens med Anneli Svensson på Boverket 2014-05-06

Väggen i en brandcell är dess brandvägg och brandväggar delas upp efter hur hög bromsande verkan den har mot eld. Den ska uppfylla kraven på:

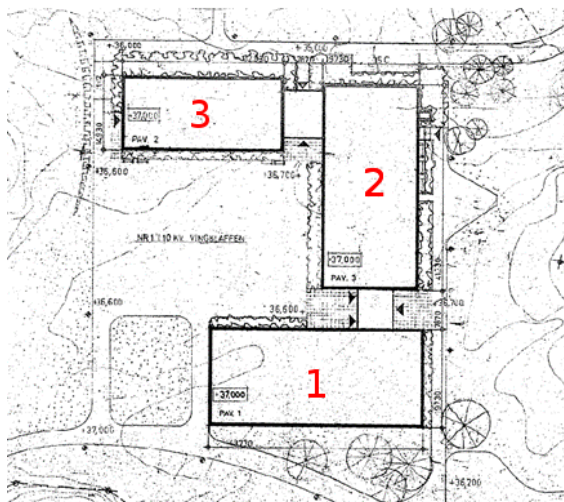
- bärförmåga (R) - byggnadsdelens förmåga att ha kvar sin stabilitet trots brandpåverkan
- brandisolering (I) - byggnadsdelens förmåga att ha oförändrad temperatur på den icke-brandhärjade sidan
- integritet(E) - byggnadsdelens täthet gentemot att släppa igenom branden genom exempelvis sprickor, öppningar och svagheter i anslutningar

Dessa klassbeteckningar kombineras på olika sätt och följs av en siffra som indikerar tidskrav i minuter. Exempelvis är EI30 en kombination av integritet och isolerande förmåga, som betyder att konstruktionen är isolerande samt brandtät under 30 minuter, men inte nödvändigtvis bärande. REIt är en brandväggs förmåga att fungera som en brandvägg i t minuter. Det finns ett flertal tilläggsbeteckningar såsom strålning (W), mekaniskt motstånd (M), röktäthet (S).

En brandsektion har samma uppgift som en brandcell fast den är separat från byggnaden med branddörrar, brandväggar, bjälklag för att begränsa brandspridning mellan byggnader.

Hur snabbt en brand sprids är beroende på hur lätt elden får fäste i en brandcell, hur många brandceller den övertända brandcellen angränsar till och hur snabbt den antänder de intilliggande brandcellerna. När en brandcell blivit övertänd börjar branden sprida sig till intilliggande brandceller. För att en eld ska spridas så långsamt som möjligt ska därför brandcellerna ha få beröringsytor. Ju fler beröringsytor, desto fler brandceller kommer bli övertända, för då kommer varje brandcell kunna sprida branden till desto fler andra brandceller.

### 5.2.1 Brandcellsindelning i Torslandaskolan 1970

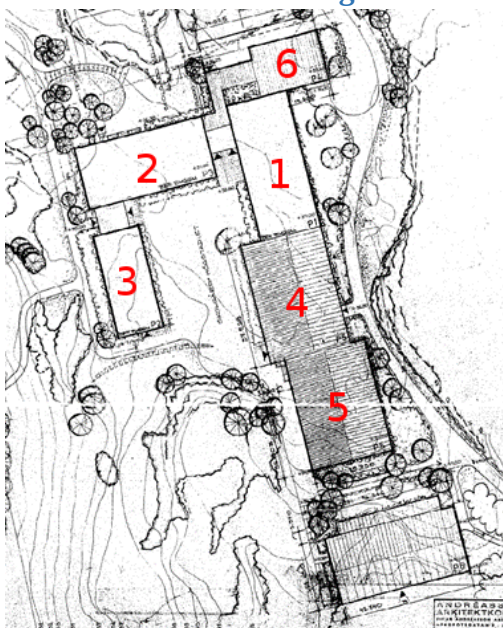


Figur 5.1. Områdesplan 1970

Torslandaskolan 1 började som en endimensionellt utsträckt byggnad, bestående av tre huskroppar, när den stod färdig år 1970. I likhet med många andra enplansskolor som tillkom under den tidsperioden hade byggnaden en skolgård som skapades av arean som byggnaderna inneslöt.

De tre huskropparna var åtskilda av 7.8 m långa inglasade gångar. Varje huskropp fungerade som en hel brandcell eller brandsektion. Om en brand hade uppstått i en av dem hade den huvudsakligen kunnat spridas genom strålningsvärme, tack vare att glasgångarna höll brandcellerna åtskilda.

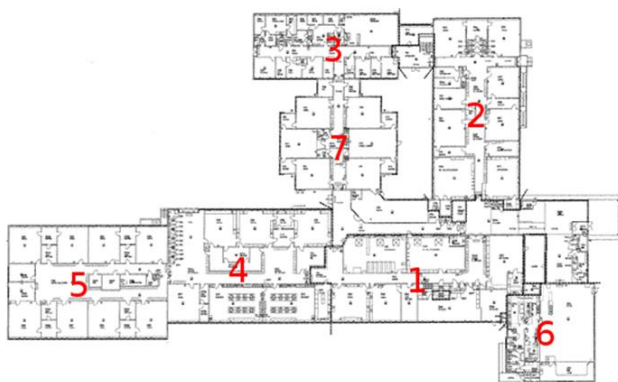
### 5.2.2 Brandcellsindelning i Torslandaskolan 1971



Kort därefter fick byggnaden flera tillbyggnader och 1971 såg den ut som bilden visar. Brandcellsintegriteten i glasgången mellan 1 och 2 var uppluckrad eftersom bryggan mellan dem hade blivit större, vilket innebär att en brand skulle haft mer material att spridas i. 4, som var en matsal, låg tätt emot 1. 1 låg tätt emot 6. En brand som hade startat i 1 skulle, så snart 1 övertänts, börja spridas till tre brandceller: 2, 4 och 6.

Figur 5.2. Områdesplan 1971

### 5.2.3 Brandcellsindelning i Torslandaskolan 1999



Figur 5.3. Områdesplan 1999

1999 tillkom ytterligare en hel huskropp: 7. Det är den sista huskroppen som tillkom och skolan förlorade sin skolgård i och med dess tillkomst. Se även figur B1.2 i bilaga 1. Detta gav upphov till en brygga mellan 1 och 3. Även området mellan 1 och 2 samt 6 byggdes till, så att gränserna mellan huskropparna i viss mån suddades ut. En brand som övertände 1 skulle nu direkt börja sprida sig till huskropparna 2, 4, 6 och 7. Detta är vad som faktiskt hände. Bilen stod parkerad i hörnet mellan 1 och 6.

### 5.2.4 Övergripande trend

Den övergripande trenden i skolans alla tillbyggnader var de tidigare åtskilda huskropparna byggdes ihop till mer av en sammanhängande helhet. Detta kan anses önskvärt för skolans dagliga funktion; det är givetvis av godo att nya lokaler byggs till i efterhand, allt eftersom verksamheten utökas och finner nya behov och det är givetvis önskvärt att dessa tillbyggnader tillkommer i rumslig närhet till befintliga lokaler.

Det är alltså av godo att tillbyggnader sker intill befintliga huskroppar, men det ställer högre krav på att brandcellernas utförande är av hög kvalitet och att deras integritet är intakt. Detta kan ha fallerat på Torslandaskolan 1.

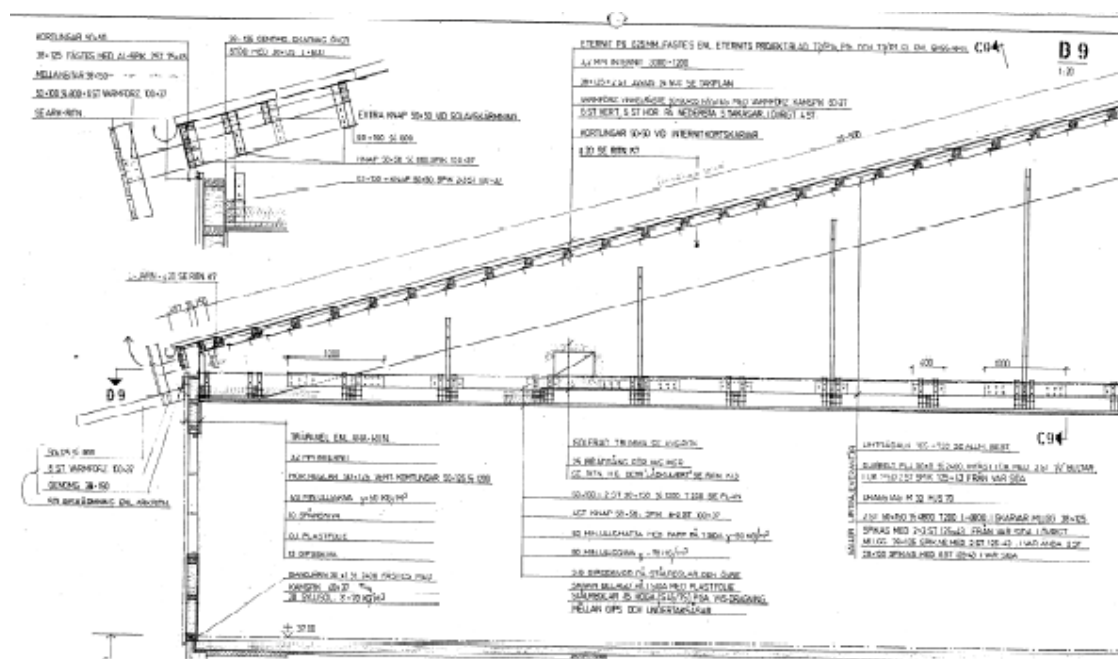
I bilaga 2, figur B2.1 och B2.2 syns en brandcellsindelning som förekommer i en byggteknisk olycksutredning som David Forsander och Thomas Natanaelsson på Bengt Dahlgren fick i uppdrag av Göta Lejon att göra (Forsander och Natanaelsson 2010). Lila linjer markerar uttalad brandcell eller vägg som uppskattningsvis uppfyller minst REI30.

Vinden på varje huskropps takkonstruktion är en brandcell, som de flesta vindkonstruktioner byggda på 70 talet.<sup>8</sup> Under ombyggnaderna som skett hade en viss förskjutning skett mellan brandväggarna i markplan och de i vindsplan, så att de inte längre fungerade som en enhetlig brandvägg. Istället hade genvägar uppstått där elden kunnat leta sig igenom. Dessa markeras i rött i bilaga 2, figur B3.3, som är en superponering av markplan och vindsplan.

I olycksutredningen spekulerades det dessutom kring huruvida korrekt brandtätning gjorts vid nya installationer av ventilationsrör på vinden. Eventuellt kunde det ha funnits otätheter i brandcellerna, genom vilka branden kunde sprida sig.

### 5.3 Brandspridning via takfoten

Takkonstruktionen som fanns på Torslandaskolan 1 var känslig för brand. Den var endast byggd av trä och dessa material verkar ha varit dåligt skyddade mot brand. Konstruktionen är dessutom krångligt byggd, med många detaljkonstruktioner, vilket Forsander och Natanaelsson menar kan ha varit svårt för byggarbetarna att utföra korrekt (Forsander och Natanaelsson 2010, s. 14).

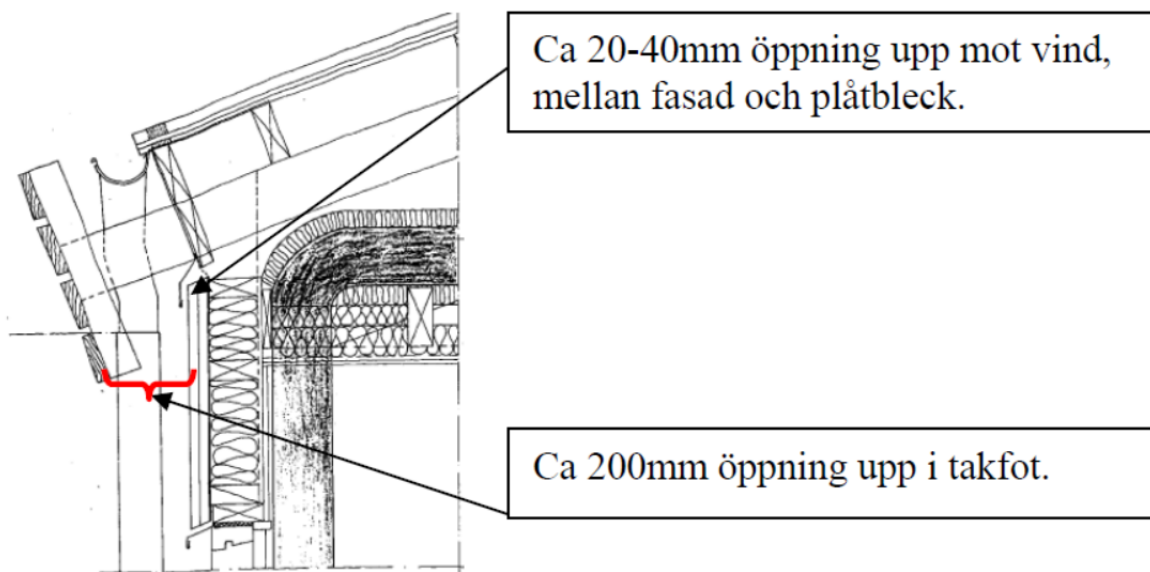


Figur 5.4. Konstruktionsritning 1970

<sup>8</sup> Intervju med Angela Sasic på Chalmers, 2014-04-28

Konstruktionen bestod av tvärgående limträbalkar 700×140 mm respektive 600×116 mm. På dessa låg vinkelrätt placerade takåsar med dimensionen 38×125 mm som en sekundärkonstruktion. Råspont låg sedan ovanpå takåsarna och taktegel längst upp (Forsander och Natanaelsson 2010, s.14).

Takkonstruktionen var uppbyggd med en ventilerad yttertaks konstruktion samt en öppen kallvind via takfotsundersida. Se figur 5.5 Öppningen i vinden, mellan fasaden och plåtblecken var ungefär 20-40 mm enligt ritningar och öppningen upp i takfoten ca 200 mm (Forsander och Natanaelsson 2010, s. 15).



Figur 5.5. Detaljritning över öppningen, med kommentarer från Bengt Dahlgren-rapporten (Forsander och Natanaelsson 2010, s. 15)

Enligt konstruktionsritningar från 1971 är takfoten uppbyggd endast av trä, som inte är skyddad av något obrännbart material. En utvärdig brand genererar tryckskillnad mellan vind och utomhusluften på grund av stora temperaturskillnader. Ett ökat undertryck på vind suger in brandgaser och flammor genom takfotsöppningen.<sup>9</sup> Öppen takfot kan leda brandgaser och flammor att komma i kontakt med råsponten och takstolen. Dessa är uppbyggda av trämaterial och därmed brandkänsliga.

Det finns ingen uppenbar teknisk funktion bakom takfotens mycket speciella utformning. Den skulle eventuellt kunna ha varit utformad på detta vis för att fungera som skärm för att skydda takkonstruktionen mot slagregn och kondens. Utformningen gör dock att rök inte samlas under taket utan sprids upp genom öppningen och ut i luften. En viss positiv påverkan kan förekomma i fall brandkällan inte ligger intill fasaden utan längre bort, då kan skivorna fånga upp rök/gaser och leda dem längs utsidan. På detta vis förhindras röken att tränga in genom öppningar. Det i sin tur leder till att mindre rök går genom vindöppningen. Mest troligt är dock att takfoten är utformad som den är av estetiska skäl.

<sup>9</sup> Intervju med Bijan Adl-Zarrabi, 2014-05-15

#### 5.4 Alternativ lösning

En alternativ lösning för att brandsäkra denna takkonstruktion hade varit att dela in vinden i fler och mindre brandceller för att fördröja brandspridning. För att denna ska fungera effektivt måste brandcellsindelningen på vinden överensstämma med brandcellsindelningen på marknivå. Det är också viktigt att säkerställa att den vertikala brandcellsindelningen är korrekt utförd. Detta går att göra med exempelvis stenullsmattor täckta av svällande brandskyddsfärger på vindsgolvet.

Därefter är det viktigt att skydda takfoten och det kan göras genom att tätar öppningarna. Det kan till exempel göras med brandfärger eller brandskyddskuddar.<sup>10</sup> Båda två fungerar på så sätt att de sväller vid kraftig temperaturökning. Genom detta tätar de öppningar och förhindrar att rök kommer in.

Ett alternativ kan i detta fall vara ett slags automatsystem som består av öppningsbara spjäll som kopplas ihop med rökdetektorer vid taket. När rök detekteras så stängs spjällen och tätar takfotsöppningen. Den här metoden används vid branddämpare i ventilationssystem, där man på det sättet hindrar att rök sprids via ventilation. Längden på spjällen skulle kunna dimensioneras efter brandcellernas bredd så att de bidrar till en bättre fungerande brandcell på vinden. Det kan dock bli dyrt.

En annan kostsam lösning är att ventilerar vinden via taket istället för via takfoten. Då går det att täppa igen takfoten för att stoppa rök från att gå in underifrån, men det orsakar ingen stor ändring i själva ventilationen.

Förhindrandet av att brandgaser samlas på vinden kan göras genom att installera brandventilation som öppnas manuellt eller automatiskt ifall de är sammankopplade med rökdetektorer och brandlarmet. På det sättet släpper den ut brandgaser som i sin tur också hjälper till att snabbare lokalisera branden.

---

<sup>10</sup> Intervju med Bijan Adl-Zarrabi, 2014-05-15

## 6 Åtgärder mot anlagda skolbränder

Det tas i dagsläget vissa krafttag mot brand. Sedan branden på Torslandaskolan 1, 2009, har flera nya åtgärder tillkommit eller blivit mer framträdande. Dessa är dock inte att betrakta som direkta reaktioner på den branden, utan istället på den generella trenden av skolbränder som Torslandaskolan 1 är ett av de mer storskaliga exemplen på.

Göta Lejon har dock gjort fler inspektioner och riskbesiktningar på plats sedan 2009, som en direkt reaktion på branden.

### 6.1 Händelseförebyggande Arbete, HÄFA

Som en reaktion på Backabranden, 1998, startade Räddningstjänsten Storgöteborg, Försäkrings AB Göta Lejon och lokalförsörjningsnämnden tillsammans projektet HÄFA (Händelseförebyggande Arbete). Det är ett projekt för att ge femteklassare information om brand och låta dem besöka en brandstation. (Lokalförvaltningen 2011) Det kan verka självklart att informationskampanjer skulle få ungdomar att sluta vara så oförsiktiga. I Brandforsks forskningsprogram påpekas dock att *”Många av de åtgärder som idag genomförs i form av utbildningar och informationskampanjer till bland annat barn och ungdomar för att minska barns lek med eld är dåligt utvärderade. De få internationella utvärderingar som finns pekar på att dessa åtgärder inte har någon positiv effekt på barns lek med eld”* (Brandforsk 2014B, s. 17).

### 6.2 Brandforsk

Brandforsk är inte nytt. Det bildades 1979 och drivs av Brandskyddsföreningen som ett sätt att samordna och finansiera många olika typer av brandforskning. De beskriver sig själva som *”statens, försäkringsbranschens och industrins gemensamma organ”* för ändamålet (Brandforsk 2014A). Brandforsk hade 2007 till 2013 en stor satsning på brandforskning, med extra inriktning på specifikt anlagda skolbränder.

### 6.3 Systematiskt Brandskyddsarbete

Systematiskt brandskyddsarbete (SBA) är ett arbetssätt för att kvalitetssäkra brandskyddsarbetet, som regleras av *Lag (2003:778) om skydd mot olyckor*. Denna modell är uppdelad i sju steg som beskrivs nedan.

Det första steget är att skapa en organisation. Den kan delas upp i två delar: en brandskyddsorganisation och en utrymningsorganisation. Viktigt i dessa organisationer är att tydliggöra vem som har vilka ansvarsområden. I det andra steget ska verksamheten beskrivas och därmed bestäms även brandklass på byggnaden. Utbildning för anställda och elever är också en del i detta arbete. I det tredje steget beskrivs verksamheten rent byggnadstekniskt och beslut kring aktiva – och passiva lösningar tas. Efter detta får inte ändringar ske utan fastighetsägarens tillåtelse.

En riskanalys görs i det fjärde steget. Risker identifieras, prioriteras och sedan framställs en åtgärdsplan. I steg fem planeras utbildningsverksamheten, eftersom kunskapen om brandsäkerhet är viktigt och bör spridas. I det sjätte steget ska arbetet med de föregående stegen kontrolleras och, om så behövs, rättas till. Det sjunde och sista steget är dokumentation av det hela, vilket är en förutsättning för att saker ska kunna förbättras (Göteborgs Stad 2013).

## 6.4 Kameraövervakning

För att förhindra skadegörelse sätts ofta övervakningskameror upp runt omkring skolor. Skyltar kring området varnar för dessa. 2009, då Torslandaskolan brann ned, var inspelad övervakning någonting som var svårt att få tillstånd till, men på senare år har den tekniska utvecklingen gått snabbt och fenomenet har blivit mycket mer utbrett.<sup>11</sup> Lagtexten har uppdaterats för att inte släpa efter den tekniska utvecklingen.

Fram till 2013 reglerades övervakning av *Lag (1998:150) om allmän kameraövervakning*, men sedan mitten av 2013 gäller *Kameraövervakningslagen (2013:460)* (KÖL). De två lagarna är i mångt och mycket lika och ställer krav på att tillstånd för övervakning av offentlig plats måste sökas från Länsstyrelsen samt att vid övervakning måste skyltning upplysa om detta och att fler personer än vad som är absolut nödvändigt får inte ha tillgång till det inspelade materialet. Vad som tillkommer i KÖL är mest av allt utvidgade formuleringar som gör lagen mer tillämplig på externa övervakningstjänster samt mer uttryckliga restriktioner om att det inspelade materialet inte får användas till andra syften än vad det ursprungligen gavs tillstånd för (KÖL 28§, 29§, 31§ 1-2 st).

Tillstånd ska i båda lagarna ges då övervakning anses kunna förhindra eller klara upp brott eller skadegörelse. Praxis för att tillstånd ska ges är oförändrad och innebär att övervakning endast får ske kvällstid och natttid samt att kamerorna endast får vara kapabla att filma två meter ut från byggnadens fasad. Vissa företag säljer även tjänster som innefattar anonymiserad övervakning med infraröda värmekameror. Dessa fångar upp hela området utan att ansikten går att urskilja, men det är i dagsläget oklart ifall detta kräver tillstånd eller ej. Det är Länsstyrelsens tillsvidarehållning att det inte är tillståndspliktigt.<sup>12</sup>

Det finns rena värmedetektorer, som bara känner av temperaturhöjningar utan att ta in bild, för att automatiskt larma om brand. Dessa kräver inte heller tillstånd, eftersom de inte kan läsa av ansikten. Exempelvis är det tillåtet att placera sådana kameror inne på toaletter för att detektera bränder som startar av att elever tjuvröker och fimpar i papperskorgen.

En annan typ av övervakning är rörelsedetektorer. Även dessa går att sätta upp utan tillstånd. Dessa kan användas för att larma om att någon befinner sig på området, även om det inte går att avgöra vad personen planerar att göra.

Enligt Susanne Rasmusson på Lokalförvaltningen har skadegörelse kraftigt gått ned sedan övervakning började användas i större skala.<sup>13</sup> Det är inte alltid det ens finns kameror. Ibland sitter skyltar bara uppe för att varna för kameror, utan att några sådana finns.<sup>14</sup> Det kan eventuellt röra sig om att det har varit omständligt för skolan att få licens eller att det skulle blivit för dyrt. En skylt kan ändå erbjuda en avskräckande effekt på potentiella våldverkare.

---

<sup>11</sup> Mejlkorrespondens med Ingemar Sunnerdahl på Länsstyrelsen, 2014-04-22

<sup>12</sup> Mejlkorrespondens med Ingemar Sunnerdahl på Länsstyrelsen, 2014-04-28

<sup>13</sup> Intervju med Susanne Rasmussen på Länsstyrelsen, 2014-02-24

<sup>14</sup> Intervju med Lennart Persson på Cunningham & Lindsey, 2014-03-04

#### 6.4.1 Kameraövervakning på Torslandaskolan

För Torslandaskolan 1:s del, hade tvåmetersgränsen för övervakning inneburit att kamerorna inte hade kunnat fånga upp när gärningsmännen satte eld på bilen som sedan satte eld på skolan, även om de för all del kan ha råkat vistas inom två meter från fasaden vid några tillfällen under dådet.

Utsidan av Torslandaskolan 2 bevakas av ett externt säkerhetsföretag, som har termiska kameror som fångar upp anonymiserad bild längs alla fasader. Bevakningssystemet reagerar automatiskt på vissa typer av rörelser utanför byggnaden.<sup>15</sup>

#### 6.5 Tekniska system

Nils Johansson på Lunds universitet och Lars-Gunnar Klason vid Sveriges Tekniska Forskningsinstitut gav 2011 ut en enkät till kommuner, i syftet att inventera vilka åtgärder som tas mot skolbränder. Tekniska system som dök upp var: automatiskt brandlarm, differentialkabel, smältkabel, kombilarm, belysning, konventionella kameror, termosensorer, obrännbar fasad, okrossbart glas, takfötter klädda i obrännbart material och tätade luftspalter. Övriga åtgärder som dök upp var: belysning vid utsatta ställen, termosensorer, skyltar som varnar för kameraövervakning, pappershanddukar som ersatts med elektrisk handtork, buskar intill husfasaden som klippts ned, porttelefon för att hålla okända ute, sprinkler, vattendimma, brandgasventilation, tillbyggd sektionering med brandcellsgränser, brandnät och vanligt inbrottslarm (Johansson och Klason, s. 15ff). För en mer fullständig genomgång av vad vardera åtgärd innebär samt omfattningen av dem hänvisas till rapporten.

---

<sup>15</sup> Intervju med Peter Fröbom på Torslandaskolan, 2014-04-01

## 7 Torslandaskolan 2

Göteborgs Stads lokalförvaltning hade, 2009, planer på att göra en stor utbyggnad av den närliggande Lillebyskolan, men när en ny Torslandaskola akut behövde byggas slogs de två projekten ihop och den nya Torslandaskolan blev istället ett mer påkostat projekt, på 190 miljoner kronor, istället för de ursprungligen uppskattade 117 miljoner kronorna. Göta Lejon stod för hälften av kostnaden och Göteborgs Stad för hälften.<sup>16</sup> Istället för att dimensioneras för den ursprungliga elevvolymen på 370 utformades skolan för 600 elever i årskurs 4-9. Den har en bruttoarea på 8500 kvm (Lokalsekretariatet 2010).

Byggnaden ritades av Liljewall arkitekter AB och planerades som en byggnad med blandfunktion. Den ska bland annat kunna användas som samlingssal, konferenslokaler och övernattningslokaler (Lokalsekretariatet 2010). Tanken är att en ökad synlig aktivitet på området ska minska risken för skadegörelse.

Göta Lejon hade mycket att säga till om i utformandet av de tekniska säkerhetssystemen. Som kommunalt försäkringsbolag kan de ändå vägra försäkra skolor de anser inte uppfyller säkerhetskraven eller sänka ersättningsvillkoren för dessa. De sköt även till ytterligare 1.5 miljoner kronor för tekniska säkerhetssystem för bland annat brand.<sup>17</sup>

### 7.1 Passiva säkerhetslösningar

Byggnaden är gjord i Br1 och är gjord för att uppfylla kraven i Boverkets Byggregler (Lokalförvaltningen 2013, s. 8f). I relationshandlingen nämns dock att ”inga brandtekniska åtgärder, utöver de som behövs för att uppfylla myndighetskraven, vidtas” (Lokalförvaltningen 2013, s. 9).

Skolan är uppdelad i många och små brandceller. Varje klassrum är en egen brandcell och det finns automatiskt stängbara glasdörrar i korridorerna, som sektionerar utrymmet ytterligare.<sup>18</sup> Dessa är gjorda i klassen EI<sub>2</sub>30-C, där den nedsänkta tvåan står för branddörr och tillägget C står för automatisk stängning (BBR 2011:6, 5 kap. 231§). Även dörrarna till klassrummen där övernattning får ske är gjorda i EI<sub>2</sub>30-C (Lokalförvaltningen 2013, s. 12). Av 21 brandcellsskiljande dörrar är endast 4 gjorda i EI<sub>2</sub>60 eller EI<sub>2</sub>60-C. Detta gäller dörrar som inte vetter mot trapphus eller som vetter mot teknikrum (Lokalförvaltningen 2013, s. 13).

Vad gäller materialen så användes så mycket obrännbara material som möjligt (Lokalförvaltningen 2013, s. 13ff). Till skillnad från Torslandaskolan 1 som hade en stomme av trä byggdes Torslandaskolan 2 i betong och det skulle vara synligt att så var fallet. En av tankarna med materialet var att det skulle ge känslan av att skolan inte kan brinna ned.<sup>19</sup>

---

<sup>16</sup> Intervju med Katarina Olsson på Göta Lejon, 2014-02-07

<sup>17</sup> Intervju med Katarina Olsson på Göta Lejon, 2014-02-07

<sup>18</sup> Intervju med Peter Fröbom, 2014-04-01

<sup>19</sup> Intervju med Peter Fröbom, 2014-04-01

## 8 Kostnads-nyttoanalys av detektionssystem

Enligt en preliminär skadekostnadsanalys uppgick marknadsvärdet för den nedbrunna skolan till 40 mkr innan branden. Kalkyler för uppförandekostnad för en liknande byggnad visar på 85 mkr. Total kostnad för byggnaden inklusive räddningstjänst samt hyresförlust uppgick sammanlagt till 102.6 mkr. Inventarier samt andra extra kostnader beräknades till 15 mkr. Sammanlagt blev detta ca 117 mkr kostnad för branden (Göta Lejon 2010). Tekniska system som detekterar bränder kan vara kostsamma, men med summor som dessa på spel kan det verka uppenbart att det är värt en hel del. Det är lätt hänt att skolor investerar i fler detektionssystem än vad som egentligen är kostnadseffektivt. Alla icke-kostnadseffektiva investeringar är pengar som annars kanske hade kunnat gå till undervisningstid eller skolmat, så en väl underbyggd analys är på sin plats.

I rapporten *Analys av kostnader och nyttor med tekniska system*, utgiven inom projektet Brandforsk, 2009, gör Nils Johansson, Michael Strömgren och Patrick van Hees kostnads-nytto-analyser (hädanefter: CBA, efter engelskans *Cost-Benefit Analysis*) av olika automatiserade larmsystem (Johansson et al. 2009). En CBA går i korthet ut på att sätta ett monetärt värde på nyttan ett system gör och sedan dela detta med kostnaden för systemet. En kvot större än eller lika med 1 anses prisvärd. Johansson et al. kommer fram till nyttokvoter för ett antal studerade tekniska system för Sverige som helhet och för Göteborg, Stockholm och Malmö specifikt och det visar sig att tekniska detektionssystem överlag nästan enbart är lönsamma i högriskområden (Johansson et al. 2009, s. 43).

Här ska nu genomföras en CBA för Torslandaskolan 1 enligt Johanssons et al. metod. Syftet med detta är att tillämpa schablonmetoden på ett specifikt fall och samtidigt utföra en känslighetsanalys på fler av parametrarna än i Johanssons et al. rapport. Det kommer argumenteras för rimligheten i olika antagna värden. Ambitionen är att detta ska vara en smärre vidarearbetning av modellen.

### 8.1 Metod och antaganden

Kalkylräntan är alternativkostnad för investeringen, det vill säga den avkastning som kan förväntas vid ett alternativt användande av pengarna. Kalkylräntan beror främst på inflation och reporänta. Johansson et al antar  $r = 4\%$ , för att 4-5% har använts i liknande beräkningar tidigare. Det är dock ett orimligt högt  $r$  i dagsläget, med tanke på att både reporänta och inflation varit osedvanligt låga ett antal år. (Riksbanken 2014) Johansson själv spekulerar i att ett lägre  $r$ , kanske så lågt som 1%, torde vara närmare verkligheten.<sup>20</sup> En rimlig uppskattning torde vara ett  $r = 2\%$ .

Livscykelkostnaden för varje tekniskt system beräknas  $LCC = I_{in} + \sum_{i=0}^n \frac{R_i}{(1+r)^i}$  där  $I_{in}$  är investeringen,  $R_i$  den årliga driftskostnaden och  $n$  förväntad livslängd i år. Johansson et al sätter  $n$  till 20 år för samtliga system.

Annuitetskostnad, d.v.s. den förväntade årliga kostnaden beräknas  $A = LCC \cdot \frac{r}{1-(1+r)^{-i}}$  (Johansson et al. 2009, s. 16)

---

<sup>20</sup> Mejlkorrespondens med Nils Johansson 2014-04-23

Kostnaderna för systemen uppskattas till:

Tabell 1. (Johansson et al. 2012, s. 9), \* Inklusiv kostnaden för uppkoppling till larmcentral, \*\* En enhet kan övervaka 100 m.

| Tekniskt system        | Materialkostnader [SEK/enhet] | Installationskostnader [SEK] | Driftskostnader [SEK/år] |
|------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| Brandlarmscentral      | 25000                         | 5000                         | 5000*                    |
| Maximalvärmekabel      | 100/m                         | 10000                        | 0                        |
| Differentialvärmekabel | 12000 + 100/m**               | 10000                        | 1000                     |
| Rökdetektorer på vind  | 2000                          | 5000                         | 5000                     |
| Termosensor            | 40000                         | 5000                         | 15000                    |

För en skola som inte redan är ansluten till brandlarmscentral adderas annuitetskostnaden för sådan till övriga kostnader.

För Torslandaskolan 1, med 500 yttre fasadyta, skulle detta innebära följande årliga kostnader, för olika antaganden av r:

Tabell 2. Annuitetskostnadsberäkningar

| Tekniskt system        | Material och installation | A (r=5%) | A (r=4%) | A (r=3%) | A (r=2%) | A (r=1%) |
|------------------------|---------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Brandlarmscentral      | 30000                     | 7395     | 6159     | 4952     | 3773     | 2622     |
| Maximalvärmekabel      | 60000                     | 4815     | 4415     | 4033     | 3669     | 3325     |
| Differentialvärmekabel | 72000                     | 6775     | 6088     | 5427     | 4791     | 4182     |
| Rökdetektorer på vind  | 105000                    | 13413    | 11678    | 9993     | 8359     | 6778     |
| Termosensor            | 165000                    | 28203    | 23997    | 19897    | 15905    | 12022    |

### 8.1.1 Besparing för minskad detektionstid

Avgörande för hur lyckat släckningsarbetet blir är hur lång tid det tar innan branden kan släckas. Ju längre tid som går, desto större är risken för att branden sprider sig till flera brandceller och blir avsevärt mycket svårare att hålla under kontroll. Det som detektionssystem kan hjälpa till med är därför att minska detektionstiden, det vill säga tiden det tar från dess att branden startar till dess att någon upptäcker branden. Tiden från upptäckten till dess att räddningstjänsten blivit larmade, utryckning skett och insats kan påbörjas kallas responstid. Det är av yttersta vikt för räddningsarbetet att den totala tiden hålls så låg som möjligt.

Johansson et al. gör en regressionsanalys mellan statistik över kostnad för olika brandstorlekar och statistik över andelar brandstorlekar vid olika responstider. När de utgår från en totalkostnad på 240 miljoner per år för anlagda skolbränder i Sverige får de siffran 2100 kr/s (Johansson et al. 2009, s. 21). Siffran 240 mkr härleder de från uppskattade kostnader för enskilda brandtyper, som de sedan förstorar upp till riksnivå. Det är denna siffra de sedan gör en regressionsanalys på. I fallet Torslandaskolan 1, som var 1.4 ggr så stort och därmed kan antas vara 1.4 ggr så dyrt som referensfallet, blir kostnaden  $2100 \cdot 1.4 = 2940$  kr/s.

240 mkr kan dock vara i nederkant och enligt försäkringsbolaget Göta Lejons uppskattningar kan det istället röra sig om upp till 500 mkr (Brandskyddsföreningen 2013, s. 3). Med en regressionsanalys på denna siffra skulle kostnaden per sekund öka linjärt och för referensfallet sluta på  $2100 \cdot 1.4 \cdot \frac{500}{240} = 6125$  kr/s. Alternativt kan det aritmetiska medelvärdet 375 mkr antas, vilket skulle innebära  $2100 \cdot 1.4 \cdot \frac{375}{240} = 4594$  kr/s.

### 8.1.2 Förhöjd risk för brand

I Göteborgs 160 skolor brinner det mycket oftare än i Sveriges skolor i stort. Det är 0.232 bränder per skola och år, varav 0.026 startar utifrån skolan. För Sverige i stort blir siffran 0.082 respektive 0.007 bränder (Johansson et al. 2009, s. 23).

Det ger  $\frac{0.232}{0.0825} \approx 3$  gånger så stor risk att det börjar brinna i en typisk Göteborgsskola än för en skola i Sverige i stort och  $\frac{0.026}{0.007} \approx 4$  gånger så stor risk för specifikt fasadbränder.

Högre risk innebär att riskminskande åtgärder i Göteborg generellt är mer prisvärda än för landet som helhet. För en typisk Göteborgsskola skulle förväntad besparing per sekund kunna skalas utifrån hur stor avvikelsern är från väntevärdet för Göteborgs kommun. Hur hög risken faktiskt är för skolan varierar dock från stadsdel till stadsdel: Torslanda som stadsdel ligger i statistiken närmare Sveriges genomsnitt än Göteborgs dito. Alla anlagda bränder inräknat utfördes mellan 2002-2013 i genomsnitt 62 anlagda bränder per 100 000 invånare och år i landet i stort, men 76 bränder i Göteborgs kommun. För Torslanda är siffran 44 bränder per 100 000 invånare och år (BRÅ 2014). För en CBA över Torslandaskolan är det förmodligen mest relevant att anta att rikssiffror stämmer, men för områden med förändrad risk tas siffran för hur avvikande risken är och skalas med besparingen för minskad detektionstid i 8.1.1. Denna siffra kan tas fram med hjälp av statistik från BRÅ.

### 8.1.3 Minskad tid med detektionssystem

Att ha en ungefärlig kostnad för minskad responstid att utgå ifrån kan underlätta vid beslutsfattandet, men på lite mer detaljnivå är responstiden en funktion av skolans storlek, kostnad, stad, nollresponstid och diverse mer subjektiva antaganden om hotbild.

I sina referensfall utgick Johansson et al. från en nolldetektionstid, detektionstiden utan något larmsystem alls, för utvändigt brand på 5 minuter. Besparingarna för minskad responstid är beräknade i jämförelse med den nolldetektionstiden och skulle bli högre vid ett högre antagande, vilket uppenbarligen var fallet för Torslandaskolan 1 och eventuellt även i andra avlägset belägna skolor. Branden hann växa till sig under 10-15 minuter (Polismyndigheten 2009B-F) innan de automatiska systemen utlöste. Nollresponstiden hade således varit högre än åtminstone den tiden. Vi kan därför anta en nollresponstid på 15 minuter. Eftersom skolan ligger mer än hundra meter ifrån några bostadshus och dessutom omges av både berg och skogsdungar kan tiden vara ännu längre och vid en brand i undanskymd del av skolan kan det dröja tills skolan är övertänd innan den är synlig från håll. Se figur B1.1 i bilaga 1.

Vid branden var Räddningstjänsten på plats inom 8 minuter från dess att larmet startade. Den totala responstiden fördröjdes något av att personalen på plats till en början inte upptäckte branden (Räddningstjänsten 2010). Det dröjde totalt 17 minuter tills de kunde börja släcka.

Uppskattad detektionstid för vardera tekniskt system bygger på lite mer omständlig analys av Johanssons et al. testfall. Olika typer av detektionssystem tar olika lång tid på sig att upptäcka brand, men är också olika pålitliga att överhuvudtaget detektera brand. Johansson et al. sätter typtiden vid fasadbrand för maximalvärmekabel till 180 sekunder; differentialvärmekabel till 30 sekunder, rökdetektor inne i öppen vind till 180 sekunder och termosensorer till 0 sekunder. Tiden 0 sekunder beror på möjligheten att upptäcka elden innan den har startat (Johansson et al. 2009, s. 20). Med övervakningskamera och automatiska detektionssystem kan detektionstiden till och med bli negativ och responstiden påbörjas innan en brand ens är på väg att starta. Detta skulle kunna innebära att brandkåren är på plats redan innan branden ens hunnit ta fäste.

#### 8.1.4 Fördröjning av rökdetektion

Takstolen på Torslandaskolan 1 var utformad med ett slags trågaller som satt i vägen för öppningen. Enligt SPs test så kan rökdetektion på vinden ha fördröjts med 3-5 gånger (Andersson 2010, s. 11), på grund av skolans okonventionella takfotskonstruktion. En CBA av skolan skulle eventuellt kunna ansätta detektionstiden för rökdetektion till  $a_1 \cdot 180$ , där  $a_1$  är fördröjningen.

Denna takstol var dock en speciallösning som inte var standard i skolbyggnader från den tiden, varför  $a_1 = 1$  kan antas, med förbehållet att rökdetektorer inte bör placeras på sådan plats att rökdetektion försvåras.

#### 8.1.5 Lönsamhetskriterium

För ett tekniskt system gäller:

$$N = a_2 \cdot a_3 \cdot a_4 \cdot a_5 \cdot T_b \cdot b$$

$N$  = Nyttan med tekniska systemet

$a_2$  = Koefficient för det tekniska systemet. I rapporten från 2009 räknas det med 0.8 för rökdetektorer och 0.9 för termosensorer för att kompensera för att de inte alltid upptäcker branden i tid, men i den något uppdaterade rapporten från 2012 används inte den här koefficienten. I det följande kommer koefficienterna dock inkluderas.

$$a_3 = \{\text{Skolans BTA}\} / 5000 \text{ (5000 m}^2 \text{ är referensfallets BTA)}$$

$$a_4 = \{\text{Landets totala årliga kostnad för skolbränder}\} / 240 \text{ (240 mkr är referensfallets antagande)}$$

$$T_b = \text{Besparad tid} = \text{Nolldetektionstid} - \text{Detektionstid}$$

$$b = \text{Besparingen per minskad sekund detektionstid}$$

$$a_5 = \text{Koefficient för hur avvikande området brandrisk är i förhållande till landets medelvärde (1 innebär ingen avvikelse)}$$

$$B = N \cdot d$$

$$B = \text{Förväntad besparing i kr/år}$$

$$N = \text{Nyttan i kr med tekniska systemet}$$

$$d = \text{Antal bränder per skola och år som systemet kan detektera}$$

Om annuitetskostnaden,  $A$ , är mindre än den förväntade besparingen,  $B$ , så är systemet prisvärt. Detta innebär att om  $B/A > 1$  så är systemet lönsamt.

I en känslighetsanalys framstår det som rimligt att pröva följande variabler enligt olika antaganden: kalkylränta (1%, 2% och 3%), områdeskoefficient (1 och 4), landets totalkostnad (240, 375 och 500 mkr) samt nolldetektionstid (300, 600 och 900 s). Detta ger 54 möjliga fall. Dessa förenklas ned till färre fall genom att endast  $r = 2\%$  testas för alla variabler och sedan testas övriga räntor för endast ett av fallen. Även områdeskoefficienten 8, som väl skulle kunna ses som ett extremt riskområde, testas för ett av fallen.

## 8.2 Resultat

Se bilaga 3 för resultat med samtliga antaganden.

## 8.3 Analys

De egna rekommenderade värdena för varje antagande är följande:

Johanssons et al. bedömningar av antal bränder per skola och detektionstiden för varje enskilt system är den bästa siffran att gå på, för närvarande. För systemens kostnader skulle istället en undersökning av det dagsaktuella prisläget ge en mer rättvisande beräkning.

Antaganden för skolans BTA samt yttre fasadomkrets är specifika för Torslandaskolan 1 och bygger på referensfallet. För en tillämpning av den här metoden på andra byggnadstyper får dessa siffror modifieras. Även beräknad kostnad för brandskada måste modifieras.

Kalkylräntan 2% kan anses vara den rimliga, med stöd i senare års ekonomiska läge och med Johanssons egen rekommendation.<sup>21</sup>

Områdeskoefficienten 1 är den mest rimliga för specifikt stadsdelen Torslanda. För skolor i Göteborg i stort är istället 4 den rimliga. För beräkning av skola i särdeles eldhärjad stadsdel kan siffran höjas ytterligare, med stöd i platsspecifika siffror från BRÅ.

Landets totalkostnad 500 mkr är den rimliga bedömningen. Detta eftersom den bygger på Göta Lejons analys av landets totala kostnader. Siffran 240 mkr, som Johansson et al använder, bygger på en extrapolering utifrån ett fåtal fall och är enligt dem själva en konservativ uppskattning (Johansson et al. 2009, s. 21).

Nolldetektionstiden 900 s är den rimliga i fallet Torslandaskolan 1 och på liknande vis avskilt placerade skolor. För bränder som startas i avskildhet på natten kommer det i praktiken dröja tills skolan är övertänd innan någon från håll kan se branden och kunna slå larm. För skolor som är mer centralt placerade kan siffran istället bli lägre än 300 s.

---

<sup>21</sup> Mejlkorrespondens med Nils Johansson, 2014-04-23

Med ovanstående resonemang är fall 9 det mest rimliga för specifikt en skola som Torslandaskolan 1. Då är samtliga system lönsamma och det hade till och med varit lönsamt att investera i larmcentral om det inte redan hade funnits. Notera att det resultatet hänger på att en högre totalkostnad än 240 mkr antas. I fall 1-3, för vilka 240 mkr är antaget, är endast de båda typerna av värmekablar helt lönsamma.

*Tabell 3. Fall 9, Torslandaskolan 1. A1 är annuitetskostnad utan larmcentral och A2 är annuitetskostnad med larmcentral. B är systemets besparing,*

|                        | B     | A1    | B/A1 | Lönsamt? | A2    | B/A2 | Lönsamt? |
|------------------------|-------|-------|------|----------|-------|------|----------|
| Maximalvärmekabel      | 30870 | 3669  | 8.41 | Ja       | 7442  | 4.15 | Ja       |
| Differentialvärmekabel | 37301 | 4791  | 7.79 | Ja       | 8564  | 4.36 | Ja       |
| Rökdetektorer på vind  | 24696 | 8359  | 2.95 | Ja       | 12132 | 2.04 | Ja       |
| Termosensor            | 34729 | 15905 | 2.18 | Ja       | 19678 | 1.76 | Ja       |

I Torslandaskolan 2, som är avsevärt mycket dyrare och som i övrigt skiljer sig en hel del från referensfallet, blir resultatet liknande, fast med ännu högre kvoter. Med en kostnad om 190 mkr mot Torslandaskolan 1:s 117 mkr kan kvoten  $(190/117) \approx 1.7$  multipliceras med skolans BTA i modellen. Med en BTA på  $1.7 \cdot 7000 = 11900 \text{ m}^2$  instoppat i Fall 9 ges resultatet:

*Tabell 4. Fall 9, Torslandaskolan 2.*

|                        | B     | A1    | B/A1  | Lönsamt? | A2    | B/A2 | Lönsamt? |
|------------------------|-------|-------|-------|----------|-------|------|----------|
| Maximalvärmekabel      | 52479 | 3669  | 14.30 | Ja       | 7442  | 7.05 | Ja       |
| Differentialvärmekabel | 63412 | 4791  | 13.24 | Ja       | 8564  | 7.40 | Ja       |
| Rökdetektorer på vind  | 41983 | 8359  | 5.02  | Ja       | 12132 | 3.46 | Ja       |
| Termosensor            | 59039 | 15905 | 3.71  | Ja       | 19678 | 3.00 | Ja       |

Med så pass höga kvoter blir det lönsamt att investera i flera olika system som kan komplettera varandra. Det tycks vara den bedömningen som gjordes i praktiken, eftersom Torslandaskolan 2 kännetecknas av en påtaglig nivå synliga detektionssystem.<sup>22</sup>

I fall 10, som kan anses vara det rimligaste fallet för en typisk avlagset belägen skola i Göteborg, är kvoten B/A nästan absurt hög. Siffrorna bygger på att vissa system gör nästan 20 mkr nytta, vilket kan vara en orimligt hög siffra och en brist i modellen.

Fallen 14 och 15, bygger på extremt konservativa respektive frikostiga antaganden. Fall 15 tycks ha mer orimliga siffror än fall 14, vilket kan tyda på att hela den här justeringen av modellen har en snedvridning åt det lönsamma hållet. Alternativt kan Johanssons et al. ursprungliga antaganden ha en snedvridning åt det icke-lönsamma hållet. Värt att notera är att modellerna leder till kraftigt skilda slutsatser.

Detta ska inte ses som en uttömmande beräkning, utan gäller bara materiella hänsyn med hänsyn till bränder som börjar utanpå fasaden. Beräkningen visar dock på hur viktigt det är att inte gå efter en schablonlösning rakt av, utan göra en detaljerad tillämpning på varje enskilt fall och ha förståelse för vilka antaganden bedömningen bygger på.

<sup>22</sup> Egen okulärbesiktning

## 9 Slutsats

Rapporten behandlar brister på Torslandaskolan 1, både byggnadstekniskt och rent säkerhetsmässigt. Dessa brister borde inte upprepas vid uppförandet av nya skolor och därför kommer ett antal rekommendationer för hur nya skolor ska byggas på ett säkert sätt att presenteras nedan.

### 9.1 Rekommendationer till skolledning

Vid installation av branddetektionssystem finns det ingen anledning att överdimensionera. Skyddssystem är kostsamma och bör endast inhandlas efter en välgjord kostnads-nyttoanalys. Det får inte bli så att stora pengar läggs på övervakningskameror, när de hade gjort bättre nytta på annat håll i den dagliga verksamheten.

Aktiviteter utanför skoltid framstår som en god idé för att undvika att skolor står nedsläckta och obebakade. Skolor är ofta flexibla byggnader som lätt kan anpassas till annan verksamhet än den avsedda; särskilt gymnastiksalar kan lätt hyras ut till sportklubbar. Detta är ett lätt sätt att få fler ögon på plats för att avskräcka från eller snabbt upptäcka anlagd brand och inbrottsförsök.

Bilar bör som regel parkeras på ett säkerhetsavstånd på 4 m ifrån träfasad. Det finns dock ingen anledning till att hålla samma säkerhetsavstånd till icke brännbar fasad. På grund av fenomenets extrema ovanlighet finns det inte heller någon anledning att dimensionera parkeringsplatser på så vis att inte övertända bilar som kortsluts ska kunna röra sig framåt.

Skadegörelse kommer ofta i vågor. En större anlagd brand följer ofta flera veckor av skadegörelser och mindre bränder. Det är en bra idé att sätta in extra bevakning när skadegörelse skett.

Behållare med brandfarligt innehåll, såsom acetylen, får egentligen bara förvaras på bestämda platser för vilken detaljplan måste godkännas. Detta information ska sedan Räddningstjänsten ha tillgänglig i sitt interna datorsystem. Brandmännen får annars inte alls gå in i byggnaden om det finns risk för att brandfarliga behållare kan finnas i brandhärjade delar av byggnaderna. Det kan vara en billig säkerhetsåtgärd att förse behållare med GPS-sändare för att de ska kunna lokaliseras lätt, eftersom sannolikheten annars finns att någon har flyttat på dem trots att detta inte är tillåtet.

Ungdomar som anlägger bränder hänvisar ofta till okunskap när bränderna sedan orsakar stora materiella skador. Numera är brandinformation i skolorna vanligt, men i Brandforsks forskningsprogram tas upp att denna typ av kampanjer inte är bevisbaserade. Se kapitel 6.1. I den mån bevisbaserade informationskampanjer skulle dyka upp är de givetvis att kraftigt föredra.

All skadegörelse borde rapporteras och sammanställas. Om många skolor gör på det viset och delar informationen sinsemellan kan kanske nya, oväntade mönster upptäckas som kan ligga till grund för mer effektiva prioriteringar och bättre åtgärdsstrategier.

## 9.2 Rekommendationer vid ombyggnad och nybyggnad

För rekommendationer kring specifikt vindskonstruktioner: se kapitel 5.4.

Som regel bör inte mer resurser läggas på brandsäkerhet än att kraven i BBR är uppfyllda. Allvarliga bränder är trots allt någonting som kan vara svårt att stoppa helt eftersom brandskedet är kaotiskt och oförutsägbart. En helt brandsäker byggnad är därför troligtvis en överdimensionerad och slösaktig byggnad. Pengarna skulle göra mer nytta på annat håll.

Obrännbara byggmaterial är bättre än brännbara byggmaterial. De senaste åren har träbyggandet blivit mer utbrett och vissa stora byggen sker i trä. Trästomme är dock inte att rekommendera i skolbyggnader, eftersom de är så mycket mer brandutsatta än många andra byggnadstyper. Betongstomme och -fasad är att föredra, allt annat lika. Vid planerat fasadbyte av en träfasad kan det vara värt att byta till obrännbart material istället.

Vid projekteringen, men även under byggnationen eller eventuella ombyggnationer bör det kontrolleras att alla brandceller är funktionella och att enskilda brandceller hålls små. Ett sätt att kontrollera att brandsäkerheten är komplett kan vara att skapa en BIM-modell av byggnaden, även vid tillbyggnad av befintlig byggnad. I BIM-modeller är det lättare att få en överblick över var eventuella svaga punkter kan finnas i brandcellsuppdelningen.

För att även säkra gamla skolbyggnader kan det vara en bra idé att gå tillbaka och kontrollera att de faktiskt uppfyller brandklassen de ursprungligen byggdes i. Det kan även vara att föredra att se över dokumentationer från ombyggnationer och liknande, eftersom räddningstjänstens arbete blir mycket enklare om ritningar över byggnaden stämmer överens med verkligheten.

Placering av skolor är viktigt och bör ses efter noggrannare än vad det gör i dagsläget. Att integrera skolan med samhället är ett bättre val än att bygga den utanför tätbebyggt område. Detta eftersom det blir mer naturligt att folk vistas där och därmed svårare för bråkmakare att komma undan osedda.

På sikt borde skolbyggnader som byggs i nutid söka sig bort från rekordårens vanor att förlägga skolor avskilt från övrig bebyggelse och istället anamma de nyare stadplaneringsidealen om tät blandstad. Skolor borde integreras mer i övrig bebyggelse. Istället för att ha en monofunktionell skolbyggnad kan skolor inhysas i kontorsbyggnader och liknande. En skola på en övervåning i ett shoppingcenter skulle exempelvis få hjälp av de säkerhetsföretag och säkerhetspersonal som bevakar de kommersiella lokalerna där. En skola som står för sig själv får däremot betala hela kostnaden för övervakning själv, utan att kunna dela kostnaden med andra verksamheter.

## 10 Källförteckning

Andersson, Petra (2010). *Undersöknings detektionsproblem vid Torslandaskolan*. Göteborg

Bengtsson, Lars-Göran (2001). *Inomhusbrand*. Karlstad

Blomqvist, Per och Johansson, Henrik (2008) *Brandstatistik – Vad vet vi om anlagd brand?* <http://www.anlagdbrand.se/sv/Documents/Redovisning%20206-071.pdf> (senast hämtad: 2014-04-15)

Boverket (2012). *Regelsamling för byggande – BBR*. Karlskrona

Brandforsk (2014A). *Om oss*. [http://www.brandforsk.se/om\\_oss](http://www.brandforsk.se/om_oss) (senast hämtad: 2014-04-15)

Brandforsk (2014B). *Program Brandforsk 2012-2014*. Stockholm

Brandskyddsföreningen (2013). *Brandskadeåret 2012*.

Brottsförebyggande Rådet, BRÅ (2014). Statistikdatabasen över anmälda brott. <http://bra.se/bra/brott-och-statistik/statistik/anmalda-brott.html> (senast hämtad: 2014-05-07)

Dafo (2014) *Antändningstemperaturer*. [http://www.dafo.se/sv/faktabank\\_brandskydd/brandriskerochriskhantering/brandteori/varme](http://www.dafo.se/sv/faktabank_brandskydd/brandriskerochriskhantering/brandteori/varme) (senast hämtad: 2014-05-15)

Deimer, Andreas (2013). *Beskrivning av brandskyddet – Relationshandling*. Göteborg

Eriksson, Annika H. (2010). *Skolbränder kräver snabba lösningar* i P1-morgon, 2010-02-16.

Forsander, David och Natanaelsson, Thomas (2010). *Analys av byggnadstekniska förutsättningar, branden i Torslandaskolan*.

Goyal, P och Vishnu Verma och Singh, R.K och Ghosh A.K (2009). *Thermal analysis of a spent fuel transportation task*. Bangalore

Göta Lejon (2010) *Prelimiär skadekostnad. Skada nr. 2009-175216-21 respektive 175249-2*

Göta Lejon (2011) *När det ofattbara händer*. Göteborg

Göteborgs Stad (2013) *SBA – Handbok för systematiskt brandskyddsarbete*. Göteborg

Göteborgs Stad Lokalförvaltningen (2013). *Relationshandling – Beskrivning av brandskyddet*. Göteborg

Göteborgs Stad Lokalförvaltningen (2011). *Förslag till delfinansiering av HÄFA. Diariennr N230-0459/11*, Göteborg.

Göteborgs Stad Lokalsekretariatet (2010). *Nya Torslandaskolan – Förstudie*. Göteborg.  
Göteborg Tingsrätt (2013). *Dom - Mål nr T 16523-10*. Göteborg

Göteborg Tingsrätt (2004). *Sakkunnigutlåtande till polis, åklagare och domstol beträffande brand – och rökspridning*. Göteborg

Johansson, Nils och van Hees, Patrick (2010). *Fallstudier – Vilka tekniska faktorer spelar en roll vid anlagd brand i skolor*. Lund

Johansson, Nils och van Hees, Patrick och Simonson, MacNamee och Margaret et al.(2012). *A Cost-Benefit analysis of fire protection systems designed to protect against exterior arson fires in school*. Lund

Johansson, Nils och Strömgren, Hans och van Hees, Patrick (2009). *Anlagd brand – Analys av kostnader och nyttor med tekniska system*. Lund

Johansson, Nils och Klason, Lars-Gunnar (2011). *Inventering av tekniska system avsedda att förebygga och begränsa konsekvenser av anlagd brand i skolor och förskolor*. Lund

Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (2011) *Anlagd brand i skolan 1996-2010*. [https://www.msb.se/Upload/Forebyggande/brandskydd/Statistik\\_skolbrand.pdf](https://www.msb.se/Upload/Forebyggande/brandskydd/Statistik_skolbrand.pdf) (senast hämtad: 2014-05-19)

Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (2014) *Skolbränder*. <http://ida.msb.se/ida2#page=a0036> (senast hämtad: 2014-05-16)

Polismyndigheten i Västra Götaland (2009A). *Polisens förhör med vaktmästare Anders Lundin*. Diariennr 1400-K194270-09. (2009-11-16)

Polismyndigheten i Västra Götaland (2009B). *Polisens förhör med gärningsman C*. Diariennr 1400-K194270-09. (2009-11-17)

Polismyndigheten i Västra Götaland (2009C). *Polisens förhör med B*. Diariennr 1400-K194270-09. (2009-11-17)

Polismyndigheten i Västra Götaland (2009D). *Polisens förhör med C*. Diariennr 1400-K194270-09. (2009-11-19)

Polismyndigheten i Västra Götaland (2009E). *Polisens förhör med A*. Diariennr 1400-K194270-09. (2009-11-19)

Polismyndigheten i Västra Götaland (2009F). *Polisens förhör med B*. Diariernr 1400-K194270-09. (2009-11-23)

Polismyndigheten i Västra Götaland (2009G). *Protokoll över brandplatsundersökning*. Diariernr K194270-09. (2009-11-25)

Räddningstjänsten Storgöteborg (2010). *Olycksundersökning – Brand i skola, Torslandaskolan Göteborg den 14 november 2009*. Årssekvensnummer: 2009007382. Diarenummer: A0227/10-555

SMHI (2010). *Månadstabell*. Norrköping  
Statens planverk (1967). *Svensk byggnorm 67*.

Sveriges Riksbank (2014). *Aktuell prognos för reporänta, inflation och BNP*.  
[http://www.brandforsk.se/om\\_oss](http://www.brandforsk.se/om_oss) (senast hämtad: 2014-04-15)

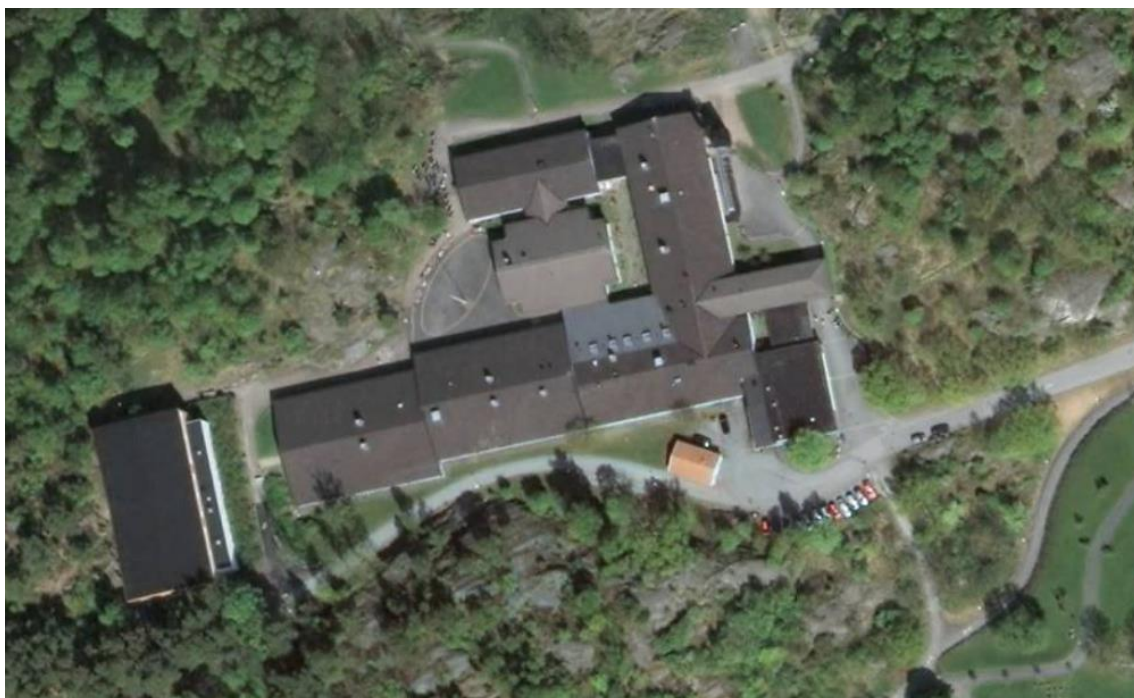
van Hees, Patrick och Johansson, Nils och Andersson, Petra och Klason, Lars-Gunnar (2014) *Tekniska åtgärder mot anlagd brand*  
<http://www.anlagdbrand.se/documents/seminarier/nov%202010/patrick%20van%20hees.pdf> (senast hämtad: 2014-05-16)

## Bilagor

### Bilaga 1



*Figur B1.1. Flygfoto över Torslanda (Eniro.se, senast hämtad: 2014-04-02)*

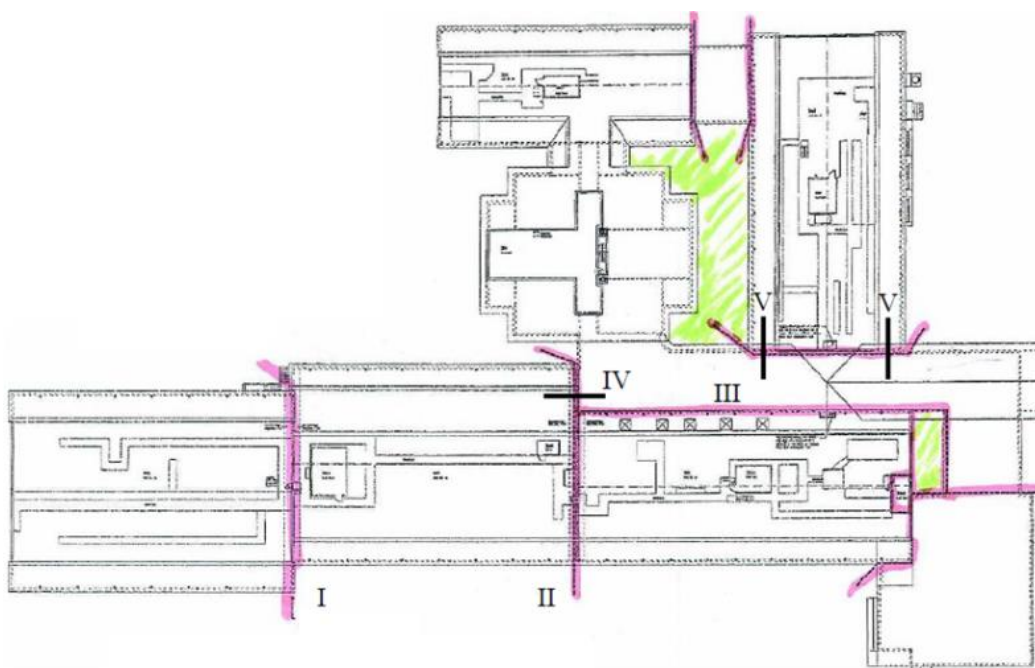


*Figur B1.2. Flygfoto över Torslandaskolan 1 (Eniro.se, senast hämtad: 2014-04-02)*

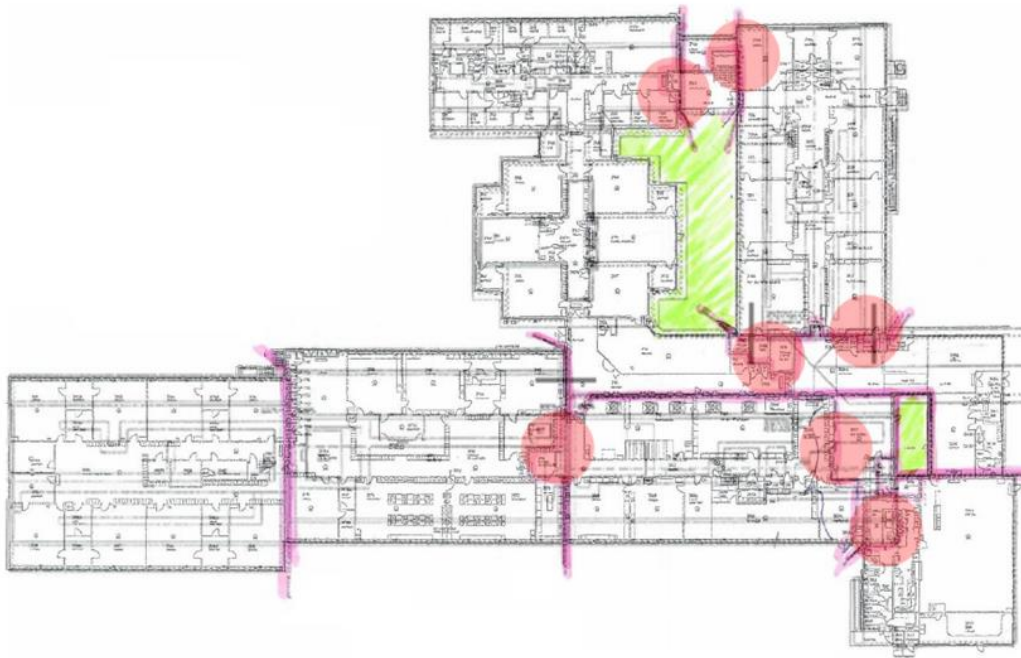
## Bilaga 2



Figur B2.1. Brandcellsindelning markplan. (Natanaelsson och Forsander 2010)



Figur B2.2. Brandcellsindelning vindsplan. (Natanaelsson och Forsander 2010)



*Figur B2.3. Superponering av brandceller i markplan och vindsplan. Områden där brandceller har förskjutits gentemot varandra markerade i rött. (Natanaelsson och Forsander 2010)*

### Bilaga 3

I tabellerna gäller att A1 respektive A2 är annuitetskostnaden utan respektive med brandlarmscentral. B är förväntad besparing per år.

Fall 1: kalkylränta = 2 %; områdeskoefficient = 1; landets totalkostnad = 240 mkr; nolldetektionstid = 300 s

|                        | B    | A1    | B/A1 | Lönsamt? | A2    | B/A2 | Lönsamt? |
|------------------------|------|-------|------|----------|-------|------|----------|
| Maximalvärmekabel      | 2470 | 3669  | 0.67 | Nej      | 7442  | 0.33 | Nej      |
| Differentialvärmekabel | 5557 | 4791  | 1.16 | Ja       | 8564  | 0.65 | Nej      |
| Rökdetektorer på vind  | 1976 | 8359  | 0.24 | Nej      | 12132 | 0.16 | Nej      |
| Termosensor            | 5557 | 15905 | 0.35 | Nej      | 19678 | 0.28 | Nej      |

Fall 2: kalkylränta = 2 %; områdeskoefficient = 1; landets totalkostnad = 240 mkr; nolldetektionstid = 600 s

|                        | B     | A1    | B/A1 | Lönsamt? | A2    | B/A2 | Lönsamt? |
|------------------------|-------|-------|------|----------|-------|------|----------|
| Maximalvärmekabel      | 8644  | 3669  | 2.36 | Ja       | 7442  | 1.16 | Ja       |
| Differentialvärmekabel | 11731 | 4791  | 2.45 | Ja       | 8564  | 1.37 | Ja       |
| Rökdetektorer på vind  | 6915  | 8359  | 0.83 | Nej      | 12132 | 0.57 | Nej      |
| Termosensor            | 11113 | 15905 | 0.70 | Nej      | 19678 | 0.56 | Nej      |

Fall 3: kalkylränta = 2 %; områdeskoefficient = 1; landets totalkostnad = 240 mkr; nolldetektionstid = 900 s

|                        | B     | A1    | B/A1 | Lönsamt? | A2    | B/A2 | Lönsamt? |
|------------------------|-------|-------|------|----------|-------|------|----------|
| Maximalvärmekabel      | 14818 | 3669  | 4.04 | Ja       | 7442  | 1.99 | Ja       |
| Differentialvärmekabel | 17905 | 4791  | 3.74 | Ja       | 8564  | 2.09 | Ja       |
| Rökdetektorer på vind  | 11854 | 8359  | 1.42 | Ja       | 12132 | 0.98 | Nej      |
| Termosensor            | 16670 | 15905 | 1.05 | Ja       | 19678 | 0.85 | Nej      |

Fall 4: kalkylränta = 2 %; områdeskoefficient = 1; landets totalkostnad = 375 mkr; nolldetektionstid = 300 s

|                        | B    | A1    | B/A1 | Lönsamt? | A2    | B/A2 | Lönsamt? |
|------------------------|------|-------|------|----------|-------|------|----------|
| Maximalvärmekabel      | 3859 | 3669  | 1.05 | Ja       | 7442  | 0.52 | Nej      |
| Differentialvärmekabel | 8682 | 4791  | 1.81 | Ja       | 8564  | 1.01 | Ja       |
| Rökdetektorer på vind  | 3087 | 8359  | 0.37 | Nej      | 12132 | 0.25 | Nej      |
| Termosensor            | 8682 | 15905 | 0.55 | Nej      | 19678 | 0.44 | Nej      |

Fall 5: kalkylränta = 2 %; områdeskoefficient = 1; landets totalkostnad = 375 mkr; nolldetektionstid = 600 s

|                        | B     | A1    | B/A1 | Lönsamt? | A2    | B/A2 | Lönsamt? |
|------------------------|-------|-------|------|----------|-------|------|----------|
| Maximalvärmekabel      | 13506 | 3669  | 3.68 | Ja       | 7442  | 1.81 | Ja       |
| Differentialvärmekabel | 18329 | 4791  | 3.83 | Ja       | 8564  | 2.14 | Ja       |
| Rökdetektorer på vind  | 10805 | 8359  | 1.29 | Ja       | 12132 | 0.89 | Nej      |
| Termosensor            | 17364 | 15905 | 1.09 | Ja       | 19678 | 0.88 | Nej      |

Fall 6: kalkylränta = 2 %; områdeskoefficient = 1; landets totalkostnad = 375 mkr;  
nolldetektionstid = 900 s

|                        | B     | A1    | B/A1 | Lönsamt? | A2    | B/A2 | Lönsamt? |
|------------------------|-------|-------|------|----------|-------|------|----------|
| Maximalvärmekabel      | 23153 | 3669  | 6.31 | Ja       | 7442  | 3.11 | Ja       |
| Differentialvärmekabel | 27976 | 4791  | 5.84 | Ja       | 8564  | 3.27 | Ja       |
| Rökdetektorer på vind  | 18522 | 8359  | 2.22 | Ja       | 12132 | 1.53 | Ja       |
| Termosensor            | 26047 | 15905 | 1.64 | Ja       | 19678 | 1.32 | Ja       |

Fall 7: kalkylränta = 2 %; områdeskoefficient = 1; landets totalkostnad = 500 mkr;  
nolldetektionstid = 300 s

|                        | B     | A1    | B/A1 | Lönsamt? | A2    | B/A2 | Lönsamt? |
|------------------------|-------|-------|------|----------|-------|------|----------|
| Maximalvärmekabel      | 5145  | 3669  | 1.40 | Ja       | 7442  | 0.69 | Nej      |
| Differentialvärmekabel | 11576 | 4791  | 2.42 | Ja       | 8564  | 1.35 | Ja       |
| Rökdetektorer på vind  | 4116  | 8359  | 0.49 | Nej      | 12132 | 0.34 | Nej      |
| Termosensor            | 11576 | 15905 | 0.73 | Nej      | 19678 | 0.59 | Nej      |

Fall 8: kalkylränta = 2 %; områdeskoefficient = 1; landets totalkostnad = 500 mkr;  
nolldetektionstid = 600 s

|                        | B     | A1    | B/A1 | Lönsamt? | A2    | B/A2 | Lönsamt? |
|------------------------|-------|-------|------|----------|-------|------|----------|
| Maximalvärmekabel      | 18008 | 3669  | 4.91 | Ja       | 7442  | 2.42 | Ja       |
| Differentialvärmekabel | 24439 | 4791  | 5.10 | Ja       | 8564  | 2.85 | Ja       |
| Rökdetektorer på vind  | 14406 | 8359  | 1.72 | Ja       | 12132 | 1.19 | Ja       |
| Termosensor            | 23153 | 15905 | 1.46 | Ja       | 19678 | 1.18 | Ja       |

Fall 9: kalkylränta = 2 %; områdeskoefficient = 1; landets totalkostnad = 500 mkr;  
nolldetektionstid = 900 s (det rimligaste fallet för Torslandaskolan 1)

|                        | B     | A1    | B/A1 | Lönsamt? | A2    | B/A2 | Lönsamt? |
|------------------------|-------|-------|------|----------|-------|------|----------|
| Maximalvärmekabel      | 30870 | 3669  | 8.41 | Ja       | 7442  | 4.15 | Ja       |
| Differentialvärmekabel | 37301 | 4791  | 7.79 | Ja       | 8564  | 4.36 | Ja       |
| Rökdetektorer på vind  | 24696 | 8359  | 2.95 | Ja       | 12132 | 2.04 | Ja       |
| Termosensor            | 34729 | 15905 | 2.18 | Ja       | 19678 | 1.76 | Ja       |

Fall 10: kalkylränta = 3 %; områdeskoefficient = 4; landets totalkostnad = 240 mkr;  
nolldetektionstid = 300 s

|                        | B     | A1    | B/A1  | Lönsamt? | A2    | B/A2 | Lönsamt? |
|------------------------|-------|-------|-------|----------|-------|------|----------|
| Maximalvärmekabel      | 39514 | 4033  | 9.80  | Ja       | 8985  | 4.40 | Ja       |
| Differentialvärmekabel | 88906 | 5427  | 16.38 | Ja       | 10379 | 8.57 | Ja       |
| Rökdetektorer på vind  | 31611 | 9993  | 3.16  | Ja       | 14945 | 2.12 | Ja       |
| Termosensor            | 88906 | 19897 | 4.47  | Ja       | 24849 | 3.58 | Ja       |

*Eftersom områdeskoefficienten 4 ger lönsamhet på samtliga system med antagandena 3% ränta, 240 mkr totalkostnad och 300 s nolldetektionstid så kommer det även vara fallet för samtliga övriga fall med samma områdeskoefficient. Därför redovisas de inte.*

Fall 11: kalkylränta = 2 %; områdeskoefficient = 4; landets totalkostnad = 500 mkr;  
nolldetektionstid = 900 s

|                        | B      | A1    | B/A1  | Lönsamt? | A2    | B/A2  | Lönsamt? |
|------------------------|--------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|
| Maximalvärmekabel      | 493920 | 3669  | 134.6 | Ja       | 7442  | 66.37 | Ja       |
| Differentialvärmekabel | 596820 | 4791  | 124.6 | Ja       | 8564  | 69.69 | Ja       |
| Rökdetektorer på vind  | 395136 | 8359  | 47.27 | Ja       | 12132 | 32.57 | Ja       |
| Termosensor            | 555660 | 15905 | 34.94 | Ja       | 19678 | 28.24 | Ja       |

Fall 12: kalkylränta = 1%; områdeskoefficient = 1; landets totalkostnad = 500 mkr;  
nolldetektionstid = 900 s (det rimligaste fallet, fast med r = 1%)

|                        | B     | A1    | B/A1 | Lönsamt? | A2    | B/A2 | Lönsamt? |
|------------------------|-------|-------|------|----------|-------|------|----------|
| Maximalvärmekabel      | 30870 | 3325  | 9.28 | Ja       | 5947  | 5.19 | Ja       |
| Differentialvärmekabel | 37301 | 4182  | 8.92 | Ja       | 6804  | 5.48 | Ja       |
| Rökdetektorer på vind  | 24696 | 6778  | 3.64 | Ja       | 9400  | 2.63 | Ja       |
| Termosensor            | 34729 | 12022 | 2.89 | Ja       | 14644 | 2.37 | Ja       |

Fall 13: kalkylränta = 3%; områdeskoefficient = 1; landets totalkostnad = 500 mkr;  
nolldetektionstid = 900 s (det rimligaste fallet, fast med r = 3%)

|                        | B     | A1    | B/A1 | Lönsamt? | A2    | B/A2 | Lönsamt? |
|------------------------|-------|-------|------|----------|-------|------|----------|
| Maximalvärmekabel      | 30870 | 4033  | 7.65 | Ja       | 8985  | 3.44 | Ja       |
| Differentialvärmekabel | 37301 | 5427  | 6.87 | Ja       | 10379 | 3.59 | Ja       |
| Rökdetektorer på vind  | 24696 | 9993  | 2.47 | Ja       | 14945 | 1.65 | Ja       |
| Termosensor            | 34729 | 19897 | 1.75 | Ja       | 24849 | 1.40 | Ja       |

Fall 14: kalkylränta = 5%; områdeskoefficient = 1; landets totalkostnad = 240 mkr;  
nolldetektionstid = 300 s (extremfall 1, orimligt konservativa förutsättningar)

|                        | B    | A1    | B/A1 | Lönsamt? | A2    | B/A2 | Lönsamt? |
|------------------------|------|-------|------|----------|-------|------|----------|
| Maximalvärmekabel      | 2470 | 4815  | 0.51 | Nej      | 12209 | 0.20 | Nej      |
| Differentialvärmekabel | 5557 | 6775  | 0.82 | Nej      | 14170 | 0.39 | Nej      |
| Rökdetektorer på vind  | 1976 | 13413 | 0.15 | Nej      | 20808 | 0.09 | Nej      |
| Termosensor            | 5557 | 28203 | 0.20 | Nej      | 35597 | 0.16 | Nej      |

Fall 15: kalkylränta = 1%; områdeskoefficient = 8; landets totalkostnad = 500 mkr;  
nolldetektionstid = 900 s (extremfall 2, orimligt frikostiga förutsättningar)

|                        | B       | A1    | B/A1   | Lönsamt? | A2    | B/A2   | Lönsamt? |
|------------------------|---------|-------|--------|----------|-------|--------|----------|
| Maximalvärmekabel      | 1975680 | 3325  | 594.20 | Ja       | 5947  | 332.22 | Ja       |
| Differentialvärmekabel | 2387280 | 4182  | 570.87 | Ja       | 6804  | 350.88 | Ja       |
| Rökdetektorer på vind  | 1580544 | 6778  | 233.18 | Ja       | 9400  | 168.14 | Ja       |
| Termosensor            | 2222640 | 12022 | 184.88 | Ja       | 14644 | 151.78 | Ja       |





© Johan Portström, Ibrahim Rashid, Agnes Sjöo och Botond Szaló, 2014

Institutionen för Bygg- och Miljöteknik  
Avdelningen Byggnadsteknologi  
Chalmers Tekniska Högskola  
412 96 Göteborg  
Sverige

(+46) 31 – 772 10 00

[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)