

Anlagd brand Analys av kostnader och nyttor med tekniska system

**Nils Johansson
Michael Strömgren
Patrick van Hees**

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

**Brandteknik och Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet**

Anlagd brand

Analys av kostnader och nyttor med tekniska system

Nils Johansson

Michael Strömgren

Patrick van Hees

Department of Fire Safety Engineering and Systems
Safety

Lund University, Sweden

Brandteknik och Riskhantering

Lunds tekniska högskola

Lunds universitet

Lund 2013

Anlagd brand
Analys av kostnader och nyttor med tekniska system

Nils Johansson
Michael Strömgren
Patrick van Hees

Lund 2013

Anlagd brand – Analys av kostnader och nyttor med tekniska system

Arson – An analysis of costs and benefits of technical systems

Nils Johansson

Report 3171

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--371--SE

Number of pages: 44

Keywords

Arson, design fires, passive systems, active systems, detection, cost-benefit analysis.

Sökord

Anlagd brand, brandscenarier, passiva system, aktiva system, detektion, kostnad-nytta analys.

Abstract

The project "Arson - a societal problem" has been running with funding from a number of players since 2008. The project consists of a number of sub-projects and the work presented in this report was conducted within the sub-project: "Technical- and risk-based methods to prevent and mitigate the consequences of arson". In this report a cost-benefit analysis of several different technical systems are performed on two reference buildings.

The analysis shows that the technical systems are beneficial in areas where there is high risk of arson. However, none of the studied systems can be justified on a national level, because there are big differences between different schools and cities. For example there are differences in fire frequency and potential damage on a specific school.

© Copyright: Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University
Lund 2013.

Brandteknik och Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>

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

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

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se/english>

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

Förord

Brandforsk inledde 2007 en satsning på forskning angående anlagd brand. Det resulterande forskningsprogrammet har som målsättning att ta ett samlat grepp kring anlagd brand. Fokus är på anlagda bränder i skolor och förskolor men även andra byggnader och anläggningar kommer att beaktas. Målsättningen och förhoppningen är att resultaten av projektet skall leda till färre anlagda bränder och med mindre konsekvenser för samhället.

Forskningen som presenteras i denna rapport har bedrivits som en del i Brandforsks särskilda satsning Anlagd Brand. Till projektet och delprojekten i Brandforsks särskilda satsning inom Anlagd Brand är såväl en styrgrupp, med representanter från finansiärerna, som en gemensam referensgrupp knuten.

Satsningen finansieras förutom av Brandforsk också av:

Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB)

Malmö Stad

Svenska Kommun Försäkrings AB

Kommunassurans Syd

Länsförsäkringar

Trygg-Hansa

Göta Lejon

St Eriks försäkring AB

Stockholmsregionens Försäkrings AB

Förenade Småkommuners Försäkringsbolag

KommuneForsikring

Vilket tacksamt erkännes.

Summary

This is an interim project report in the project: "Technology-and risk-based approaches to prevent and mitigate the consequences of arson". The goal of the project is to develop and evaluate technical systems and engineering solutions to prevent and reduce the impact of arson in school buildings.

This report presents an analysis of costs and benefits for a couple of detection systems, sprinkler systems and systems for protecting eaves. All of these systems can be used to prevent and limit arson in school buildings. The studied technical systems are intended primarily to reduce the severity of arson fires. Therefore, the focus of this report is to limit severe fires in school buildings.

The analysis is based on a case study of two reference buildings and the estimation of costs and benefits for the technical systems for the reference buildings. The reference buildings have been chosen because they were identified in previous studies as constructions with special risks. The benefit is estimated from the savings as installation and technical system is combined with fire frequency. In estimating the cost of the systems include the cost of installation and operation of the appropriate systems.

The methods used in this report have the advantage that they have resulted in a quantitative estimate of the cost and benefit of the systems, which allows for a relative comparison to be made between the systems. But, in the analysis it has been necessary to make several assumption and simplifications because the data set is limited and due to the general nature of the two reference cases.

The analysis shows that the technical systems are beneficial in areas where there is high risk of arson. The result shows that the expected fire frequency has great significance for the cost-benefit ratio. However, None of the studied systems can be justified on a national level because of the large differences between schools in regard to the situation on the school and its geographical location. For example, there can be great differences in fire frequency, potential damage and personal threats for different schools.

The results presented in this report are very dependent on the estimated maximum damage on the building. Although the likelihood of a fire in several compartments is low, the cost of such a fire is very large compared to smaller fires. The analysis is based on statistics on fire frequencies and damage costs. The difference in the cost estimate is illustrated by the two reference buildings used in the analysis and it makes it possible for the reader to get a feeling of the possible range of cost-benefit ratios.

Sammanfattning

Detta är den fjärde delrapporten och utgör samtidigt det fjärde arbetspaketet i projektet "Teknik- och riskbaserade metoder för att förhindra och begränsa anlagda bränder". Målet med projektet är att utveckla och utvärdera tekniska system och byggnadstekniska lösningar för att förhindra och minska konsekvenserna av anlagd brand i skolbyggnader.

I föreliggande rapport görs en genomgång av kostnader och nyttor för ett par typer av detektionssystem, sprinklersystem och system för skydd av takfot. Samtliga dessa system kan användas för att förhindra och begränsa anlagda bränder i skolbyggnader. De studerade tekniska lösningarna är främst avsedda för att minska skadeomfattningen vid uppkomna bränder. Fokus i denna rapport är därför på att begränsa omfattande skador på skolbyggnader vilket bör skiljas från ett fokus att reducera det totala antalet uppkomna bränder.

Analysen baseras på en fallstudie av två referensbyggnader och uppskattningen av kostnader och nyttor för de tekniska systemen genomförs för dessa referensbyggnader. Referensbyggnaderna har valts eftersom de mot bakgrund av tidigare studier anses representera riskkonstruktioner. Nyttan uppskattas genom att värdera besparingen som en installation av respektive tekniskt system innebär i kombination med brandfrekvensen. I uppskattningen av kostnaden för systemen ingår kostnaden för installation och drift av de aktuella systemen.

De metoder som har använts har fördelen att de har resulterat i en kvantitativ uppskattning av kostnad och nytta för varje system vilket gör att en relativ jämförelse kan göras mellan systemen. I analysen har det dock varit nödvändigt att göra flera antagande, uppskattningar och förenklingar eftersom dataunderlaget är begränsat och för att undvika alltför specificerade referensfall.

Analysen visar att tekniska system för att förebygga och begränsa kostnader av anlagda bränder i skolbyggnader är lönsamma i områden där det finns stor risk för anlagda bränder. Resultatet visar att den förväntade brandfrekvensen har stor betydelse för om nyttan blir större än kostnaderna. Inget av de studerade systemen kan motiveras på en nationell nivå. Bakgrunden till detta är att det är stora skillnader både beroende på förhållande på skolan och dess geografiska placering. Skillnaderna ligger till exempelvis i brandfrekvens, potentiell skada och individuella hot. I de städer med ett högt antal bränder i skolbyggnader är dock flera av de tekniska systemen motiverade och på stadsdels- eller skolnivå kan ännu fler av de studerade systemen vara lönsamma att installera.

Resultaten som presenteras i denna rapport är starkt beroende av den uppskattade maximala skadan på byggnaden. Även om sannolikheten för en brand i flera brandceller är liten så är kostnaden för en sådan brand väldigt stor jämfört med mindre omfattande bränderna. Denna diskreta skala av brandens möjliga omfattningar och den stora skillnaden i kostnad mellan de diskreta stegen innebär att en liten ändring av brandfrekvens eller kostnadsuppskattning för de mest omfattande bränderna får stor betydelse för resultatet. Underlaget till analysen grundas på statistik och skillnaden i kostnadsuppskattning illustreras genom de två referensbyggnaderna som använts i analysen. Det senare gör det möjligt för läsaren få ett grepp om hur mycket den uppskattade maximal skadan påverkar resultatet.

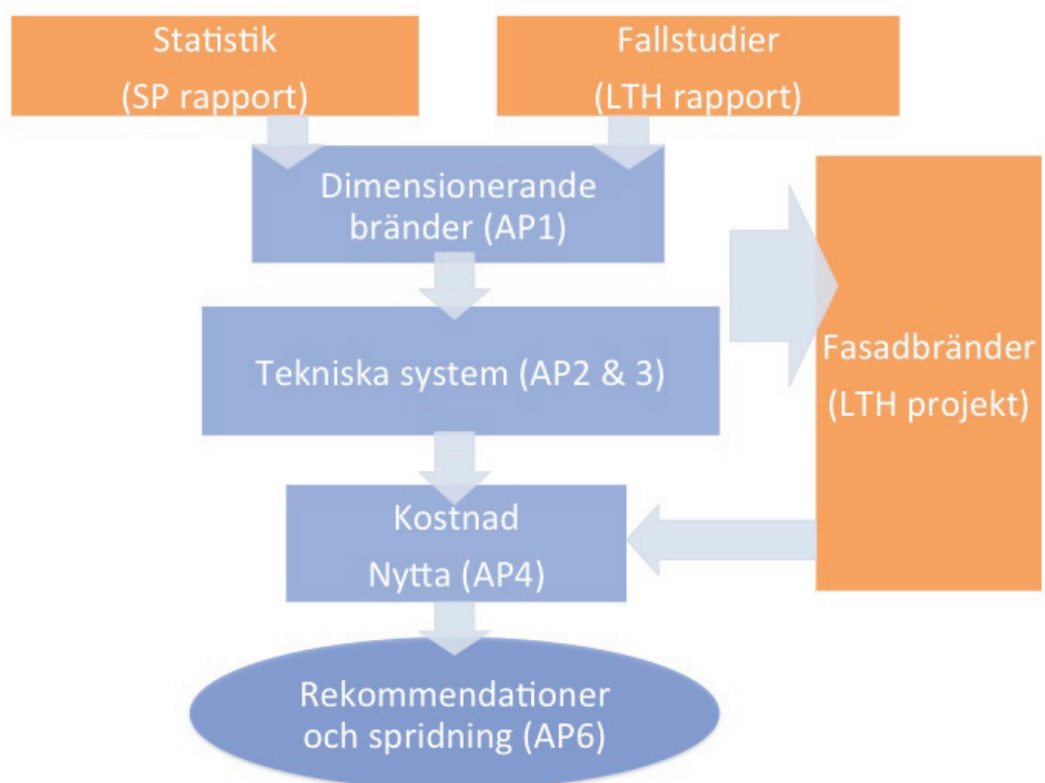
Innehållsförteckning

1	Inledning.....	12
1.1	SYFTE OCH MÅL MED AP4.....	13
1.2	METOD.....	14
1.2.1	Referensalternativ.....	14
1.3	TEKNISKA LÖSNINGARNA SOM ANALYSERAS.....	14
2	Kostnad nytta analys	16
3	Uppskattad nytta med respektive system.....	18
3.1	DETEKTIONSSYSTEM	18
3.1.1	Uppskattad detektionstid utvändig brand.....	18
3.1.2	Uppskattad detektionstid invändig brand.....	20
3.1.3	Uppskattning av besparing av minskad detektionstid.....	20
3.1.4	Detektionssystemens tillförlitlighet.....	22
3.1.5	Förväntad besparing med minskad detektionstid.....	23
3.2	SPRINKLERSYSTEM	24
3.2.1	Förväntad kostnad för genomsnittsbranden.....	24
3.2.2	Sprinklersystems tillförlitlighet.....	25
3.2.3	Förväntad besparing med sprinklersystem.....	25
3.3	SKYDD AV TAKFOT.....	26
3.3.1	Förväntad kostnad för genomsnittsbranden.....	26
3.3.2	Tillförlitlighet av skydd av takfot.....	26
3.3.3	Förväntad besparing vid skydd av takfot.....	27
3.4	OSÄKERHETER OCH BEGRÄNSNINGAR MED UPPSKATTNINGEN AV NYTTA.....	27
3.4.1	Brandfrekvens	27
3.4.2	Brandskadekostnader.....	28
3.4.3	Detektionssystem	28
3.4.4	Sprinklersystem	29
3.4.5	Skydd av takfot.....	30
3.4.6	Alternativ nytta.....	30
4	Uppskattad kostnad med respektive system	31
4.1	DETEKTIONSSYSTEM	31
4.2	SPRINKLERSYSTEM	32
4.3	SKYDD AV TAKFOT.....	33
4.4	OSÄKERHETER OCH BEGRÄNSNINGAR MED UPPSKATTNINGEN AV KOSTNADER.....	34
4.4.1	Beräkningar	34
4.4.2	Detektionssystem	34
4.4.3	Sprinklersystem	34
4.4.4	Skydd av takfot.....	35
5	Kostnad–nytta kvoter.....	36
5.1	DETEKTIONSSYSTEM	36
5.2	SPRINKLERSYSTEM	38
5.3	SKYDD AV TAKFOT.....	38
6	Känslighetsanalys.....	40
6.1	UPPSKATTAD NYTTA.....	40
6.1.1	Förväntad nytta till följd av kortare detektionstid.....	40
6.1.2	Uppskattad kostnad för vattenskada.....	41
6.2	UPPSKATTAD KOSTNAD.....	41
6.2.1	Beräkningar	41
6.2.2	Detektionssystem	42

6.2.3	<i>Skydd av takfot</i>	42
6.3	SLUTSATS KÄNSLIGHETSANALYS	42
7	Diskussion	43
8	Slutsats	45
	Referenser	46
	Bilaga 1 - IDA	48

1 Inledning

Detta är den fjärde delrapporten inom projektet "Teknik- och riskbaserade metoder för att förhindra och begränsa anlagda bränder". Denna rapport fokuserar på resultaten från det fjärde arbetspaketet (AP4), se figur 1.



Figur 1: Schema över projektet "Teknik- och riskbaserade metoder för att förhindra och begränsa anlagda bränder".

Målet och syftet med projektet är att utveckla och utvärdera tekniska system och byggnadstekniska lösningar för att förhindra och minska konsekvenserna av anlagd brand i skolbyggnader (skolor och förskolor). Lösningarna ska fungera både för nyproduktion och ombyggnad. Dessutom skall olika tekniska system och byggnadstekniska lösningars bidrag till att minska uppkomsten samt skadorna från anlagda bränder studeras.

Inom projektet har AP1, "Dimensionerande bränder", rapporterats i två separata delrapporter; "Dimensionerande brand: anlagda skolbränder" [1] och "Fyrverkeripjäser som antändning vid bränder" [2]. I den tredje delrapporten [3] gjordes en inventering av olika tekniska system för att förhindra och begränsa anlagda bränder. Denna rapport motsvarar arbetet inom AP2 (passiva system) och AP3 (aktiva system). Rapporteringen av AP2/3 slogs ihop eftersom vad som utgör ett "passivt" (AP2) eller "aktivt" (AP3) system är inte självklart. Därför diskuteras huvudsakligen "tekniska system", vilket omfattar både aktiva och passiva system, inom projektet.

I AP 1 identifierades följande dimensionerande bränder för anlagda skolbränder:

1. Skräp eller brännbarvätska som antänds nära fasaden. Branden kan spridas in i byggnaden genom fönster eller andra öppningar alternativt upp på vinden genom t.ex. en ventilerad takfot.

2. Mindre fordon placeras invid fasad. Den initiala branden blir något kraftigare än nr. 1 men spridningen kan ske på samma sätt.
3. Molotov cocktail bestående av t.ex. bensin kastas in i en skolbyggnad genom ett fönster.
4. Fyrverkeripjäs avfyras in i skolbyggnad genom krossat fönster eller annan öppning.

Utifrån de dimensionerande bränderna och inventeringen gjordes en tabell (se Tabell 1) där de olika bränderna kopplas ihop med de tekniska system som ingick i inventeringen [3]. I tabellen görs en indelning av vilka system som skulle kunna påverka utgången av respektive brand.

Tabell 1: Indelning av system, "X" innebär att systemet bedöms kunna påverka utgången av den angivna typen av dimensionerande brand.

System	Dimensionerande brand			
	1	2	3	4
Detektering inomhus			X	X
Detektering på vind	X	X		
Värmedetekterande kablar	X	X		
Konventionella kameror	X	X	X	X
Termosensorer	X	X	X	X
Inbrottslarm			X	X
Kombilarm			X	X
Säkra glas	X	X	X	X
Obrännbar fasad	X	X		
Belysning	X	X	X	X
Skydd av takfötter	X	X		
Brandnät / takfotsventil	X	X		
Sprinklersystem			X	X
Vattendimma			X	X
Brandgasventilation	X	X	X	X

Tabellen avser främst det initiala skedet av brandförloppet, Skydd av takfötter kan t.ex. hindra en brand som slår ut ur ett fönster att sprida sig till vinden.

När tekniska lösningar för att förhindra och begränsa bränder ska väljas måste hänsyn tas till kostnaden för systemet samt den nytta som kan förväntas genom att systemet bidrar till att begränsa eller förhindra en brand. Med hjälp av en analys av kostnader och nyttor av de tekniska systemen blir det enklare för kommuner och andra anläggningsägare att fatta beslut om brandskyddsåtgärder.

I föreliggande rapport görs en sådan analys med utgångspunkt från de tekniska lösningar som studerats inom projektet. Som ingångsvärden till AP4 används resultat från tidigare arbetspaket inom projektet tillsammans med resultat från ett annat projekt: "Detektering av utvändiga bränder - Resultat från små- och storskaliga experiment" [4].

1.1 Syfte och mål med AP4.

Syftet med arbetet är att göra uppskattning av kostnader och nyttor för ett par tekniska system för att förhindra och begränsa anlagda bränder i skolor. Målet med arbetet är att presentera underlag som gör det enklare för kommuner och andra anläggningsägare att fatta beslut om brandskyddsåtgärder i skolor.

Målet är således inte att redovisa en fullständig kostnad-nytta analys utan att presentera en metodologi och underlag som kan användas för att göra en relativ jämförelse mellan olika system.

1.2 Metod

I denna rapport genomförs en uppskattning av kostnader och nytta av enskilda tekniska system. Hela analysen baseras på fallstudie av två referensbyggnader. Uppskattningen av kostnader och nyttor genomförs för ett antal tekniska system för dessa referensbyggnader.

Nytta uppskattas genom att värdera besparingen som en installation av respektive tekniskt system innebär i kombination med brandfrekvensen. I uppskattningen av kostnaden för systemen ingår kostnaden för installation och drift av de aktuella systemen.

1.2.1 Referensalternativ

I analysen av kostnader och nyttor används två referensfall som referensalternativ (nollalternativ). Det betyder att utgångspunkten i analysen är i dessa referensfall utifrån vilka kostnad och nytta med de studerade tekniska systemen kan uppskattas. Referensfallen har valts eftersom de mot bakgrund av tidigare studier [5] ses som typiska skolbyggnader där det kan vara motiverat att installera tekniska system. Referensfallen beskrivs i mer detalj nedan.

Referensfall 1

Referensfall 1 är en typisk förskola eller mindre skola i Sverige som består av en byggnad med ett våningsplan och en oisolerad vind under ett sadeltak. Byggnaden är uppförd med en lättkonstruktion med träreglar och träfasad. Byggnaden har en byggnadsyta på totalt 1200 m² och en total fasadlängd på 180 m. Det finns inga speciella brandsystem i denna typ av byggnad, d.v.s. byggnaden består av en enda brandcell utan något automatisk brandlarm eller annat detektionssystem. Arbetsmiljöverket kan, genom AFS 2009:2, i vissa situationer ställa krav på larm i skolor men så bedöms det inte vara i referensfall 1.

Livslängden på alla system som studeras i byggnaden har satts till 20 år och kalkylräntan är 4%. Detektionstiden för utvändig och invändig brand antas vara 5 minuter respektive 3 minuter då inget detektionssystem finns installerat. Detektionstiden inomhus är en uppskattning av tiden till någon person i byggnaden (t.ex. personal) att upptäcka branden. Detektionstiden utomhus är tiden till någon person utanför byggnaden (t.ex. förbipasserande) upptäcker branden.

Referensfall 2

Referensfall 2 är en större skola som också består av en byggnad med en våning och oisolerad vind under ett sadeltak. Denna byggnad har en byggnadsyta på totalt 5000 m² och en total yttre fasad som är 320 m lång. Det finns ett automatiskt brandlarm i bygganden med detektorer i korridorer och klassrum.

Livslängden på alla system som studeras i byggnaden har satts till 20 år och kalkylräntan är 4%. Detektionstiden för utvändig och invändig brand antas, precis som för referensfall 2, vara 5 minuter respektive 3 minuter.

1.3 Tekniska lösningarna som analyseras

Mot bakgrund av den genomförda inventeringen [3] väljs följande tekniska lösningar ut för att ingå i den kvantitativa analysen av kostnader och nyttor:

- Detektionssystem
 - Maximalvärmekabel
 - Differentialvärmekabel
 - Detektering på vind med rökdetektor
 - Termosensor
 - Detektionssystem inomhus
- Sprinklersystem i byggnaden
- Skydd av takfot
 - Täta takfötter utan ventilerings
 - Täta takfötter med alternativ ventilerings av vinden
 - Täta takfötter med takfotsventil

2 Kostnad nytta analys

I kostnads-nytta analyser genomförs en summering av alla fördelar/nyttor (eng. benefits) och alla kostnader för samhället med en viss åtgärd i två olika vågskålar [6].

En kostnad-nytta analys innehåller i stort följande tre steg:

- Nyttan och kostnader för åtgärden tas fram
- Dessa räknas om till monetära termer
- Fördelarna (d.v.s. nyttan) vägs mot kostnaderna.

En åtgärds nytta kan mätas med individers betalningsvillighet för de fördelar som uppstår och kostnader definieras som värdet som förloras vid bästa alternativ användning av resurserna. I föreliggande rapport är det dock de olika åtgärdernas nytta i form av dess bidrag till minskade skadekostnader som används. Om nyttan i det sista steget ovan är större än kostnaden är slutsatsen att åtgärden är samhällsekonomiskt lönsam. Nyttan kan bero på olika effekter som t.ex. minskade person- och egendoms- och miljöskador [7]. Detta kan också uttryckas som en kvot, s.k. kostnad-nytta kvot, genom att dela nyttan med kostnaden. Om denna kvot är större än 1 är alternativet lönsamt. Då anlagdbrand i skolor lyckligtvis inte orsakat personskador historiskt har ingen hänsyn tagits till nytta till följd av en minskning av personskador. Miljöskador har bedömts vara svåruppskattade då det har mycket stor betydelse vilken recipient man har, d v s hur känslig miljön är kring skolan för föroreningar. Därför har man valt i föreliggande analys studera enbart nyttan av minskade egendomsskador.

Nyttan och kostnaden för åtgärden som uppkommer vid olika tidpunkter måste beaktas. I föreliggande analys tas hänsyn till nytta och kostnaden (t.ex. investeringskostnader och underhållskostnader) för de tekniska systemen under hela dess beräknade livstid. Eftersom händelser som uppkommer vid olika tidpunkter inte är direkt jämförbara måste de räknas om till en viss tidpunkt. För att göra detta används nuvärdesmetoden. Med nuvärdesmetoden kan kostnader som uppkommer vid olika tidpunkter jämföras genom att de räknas om bakåt i tiden (diskonteras) med en viss räntesats. Räntesatsen som används ska motsvara en ränta som kunde getts på en alternativ placering och inflationen (se ekvation 1)

$$r = \left(\frac{1 + r_c}{1 + I} \right) - 1 \quad \text{ekvation 1}$$

Där r_c är räntan för kostnader och I är inflationen. Det kan vara svårt att uppskatta räntan för denna typ av analyser. I flera tidigare kostnad-nyttoanalyser i Sverige har dock en ränta på 5% [8] och 4% [9] använts. Ekvation 2 används för att beräkna den totala kostanden under varje tekniskt systems livstid, LCC .

$$LCC = I_{in} + \sum_{i=0}^n \frac{R_i}{(1+r)^i} \quad \text{ekvation 2}$$

Där I_{in} är den initiala investeringen (t.ex. projektering, material och installation) och R_i är den årliga driftskostnaden för år i . Ingen hänsyn kommer tas till kostnader för återinvestering och likvidation i föreliggande analys. Den förväntade årliga kostnaden, A , beräknas med annuitetsmetoden, där den totala kostnaden för respektive system sprids ut över systemets livslängd.

$$A = LCC \cdot \frac{r}{1-(1+r)^{-i}}$$

ekvation 3

3 Uppskattad nytta med respektive system

Nyttan för respektive system studeras i detta kapitel. Nyttan har i största möjligaste mån kvantifierats i monetära termer (SEK). Det finns stora osäkerheter i de uppskattningar som gjorts här och det finns uppenbara nyttor som ej varit möjliga att kvantifiera. En diskussion kring dessa osäkerheter förs i avsnitt 3.4.

3.1 Detektionssystem

Följande detektionssystem studeras kvantitativt för de utvändiga bränderna:

- Maximalvärmekabel
- Differentialvärmekabel
- Detektering på vind med rökdetektor
- Termosensor

När det gäller invändiga bränder studeras enbart en typ av detektionssystem, nämligen en automatisk brandlarmanläggning utförd enligt t.ex. SBF110:6 [10] med rökdetektorer placerade i skolbyggnaden.

3.1.1 Uppskattad detektionstid utvändig brand

Storskaliga försök har tidigare genomförts på maximalvärmekabeln och differentialvärmekabeln för att studera detekteringstid och optimal placering [11]. Småskaliga experiment har också utförts för att studera hur en maximalvärmekabel kan modelleras [12]. Utomhus förekommer dock väderförhållande som kommer att ha stor påverkan på detektionstiden. För att få en bättre uppskattning av detektionstiden har experiment i verklig skala genomförts utomhus. En detaljerad beskrivning av experimenten kan hittas i en rapport från Lunds universitet [4], men en kort beskrivning av den experimentella uppställningen ges här.

Experimentet utfördes mot fasaden på en en-våningsbyggnad (se Figur 2). Två typer av fasadbeklädnad användes i experimenten: en obrännbar minerit skiva och råspont målad med vattenbaserad utomhusfärg. Höjden på takfoten var 2,5 m ovanför brandkällan. Takfoten var 300 mm bred och det fanns en ventilationsöppning in till vindsutrymmet under sadeltaket. Två storlekar av ventilationsöppningen användes (30 mm och 60 mm). Avståndet frånnock till golvet på vinden var 1,2 m och hela vinden var 3,5 m bred och 6 meter lång. Alla experiment antändes på samma plats på fasaden, men då fasaden var träbeklädd så ersattes denna mellan provningar.



Figur 2: Försökuppställning.

Temperaturer mättes med termoelement på fasaden och vinden. Rökdetektorer placerades i vindsutrymmet. Rökdetektorer placerades så högt som möjligt på vinden, omedelbart ovanför brandkällan och 2,5 m lateralt om brandkällan.

Heptan användes som bränsle i experimenten och fyra brandstorlekar undersöktes: 260 kW, 140 kW 65 kW och 8 kW, se Tabell 2. En lastcell användes för att registrera massförlusten från bränslet.

Tabell 2: Beskrivning av de olika test serierna.

Test	Effekt (kW)	Fasadtyp	Ventilationsöppning (mm)	Antal test
1	140	Obrännbar	30	4
2	65	Obrännbar	30	3
3	140	Brännbar	30	2
4	65	Brännbar	30	2
5	140	Obrännbar	60	3
6	65	Obrännbar	60	4
7	8	Obrännbar	30	2
8	260	Obrännbar	30	1

Tabell 3: Uppmätta detektionstider i de genomförda experimenten.

Tekniskt system	Detektionstid (s)			Test serie	Antal test
	Min	Max	Medel		
Maximalvärmekabel	64	400	179	1,3,4,5,6,8	9
Differentialvärmekabel	16	27	22	3,5,8	4
Rökdetektor 1	88	478	162	1,2,3,4,5,6,7,8	21
Rökdetektor 2	77	316	168	1,2,3,4,5,6,8	18

Det är en stor spridning i detekteringstid för de tre systemen (se Tabell 3) och det är inte möjligt att se att fasadtypen eller ventilationsöppningen har någon effekt på detekteringstiden. Det finns dock en ganska tydlig trend som visar att en högre värmeeffekt kommer att ge en snabbare upptäckt. Detektionstiderna för maximalvärmekabeln och differentialvärmekabel låg även i linje med resultat från SP:s tidigare försök [11].

En viktig fråga är tillförlitlighet för de olika detektionssystemen. Det är uppenbart att en plötslig ökning av temperaturen behövs för att differential värmekabeln ska detektera brand eftersom temperaturökningen varit för låg i många av testerna, även om ett kärl med Heptan (som har en mycket snabbare brandtillväxt än en brand i en papperskorg) användes som brandkälla. Differentialvärmekabel upptäckte branden i endast 4 av de 21 proven (19%), medan maximalvärmekabeln upptäckte branden senare men dock vid 9 tester (43%). Rökdetektorn närmast branden (rökdetektor 1) upptäckte alla bränder och rökdetektorn längre bort upptäckte alla bränder utom bränderna i testserie 7 och en brand i testserie 2.

Utifrån detektionstiderna i Tabell 3 görs en uppskattning av detektionstiden som används i referensfallen i kostnads-nytta analysen (se Tabell 4).

Tabell 4: Uppskattad detektionstid och detektionsfrekvens i försöken.

Tekniskt system	Detektions tid (s)	Detektionsfrekvens
Maximalvärmekabel	180	43%
Differentialvärmekabel	30	19%
Rökdetektor	180	100%

De framtagna detektionsfrekvenserna gäller för det genomförda experimentet med konstanta brandeffekter. Om bränderna hade tillåtits att växa hade förmodligen alla system detekterat men vid en senare tid än den som anges i Tabell 4.

Det fjärde detektionssystem som analyseras är ett system med termosensorer. Termosensorer kan registrera värme från personer som rör sig runt en byggnad och ge larm innan en brand anläggs [3]. Därför ansätts detektionstiden för termosensorer till 0 sekunder.

3.1.2 Uppskattad detektionstid invändig brand

När det gäller invändiga bränder studeras en automatisk brandlarmanläggning utförd enligt t.ex. SBF110:6 med rökdetektorer inomhus. Precis som för de utvändiga detektionssystemen kommer detektionstiden variera för olika fall. Saker som kommer att påverka detektionstiden för en invändig rökdetektor är bl.a.:

- Placering av detektor i förhållande till branden (lateralt och vertikalt)
- Vad som brinner, d.v.s. hur snabbt branden tillväxer och hur mycket branden sotar.

En brandlarmanläggning utförd enligt SBF 110:6 [10] medför att alla ytor är övervakade vilket innebär det att längsta lateralt avstånd till en detektor är 12-14 meter. I normalfallet bedöms en brand i skolmiljö detekteras av en rökdetektor efter ungefär en minut (Tabell 5).

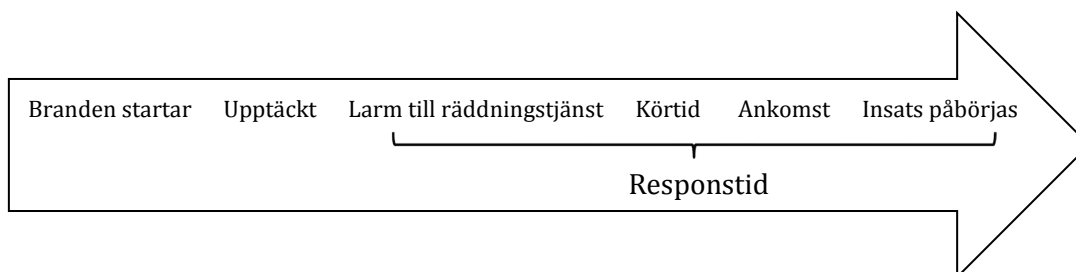
Tabell 5: Uppskattad detektionstid för invändiga bränderna.

Tekniskt system	Detektionstid (s)
Rökdetektor	60

3.1.3 Uppskattning av besparing av minskad detektionstid

Den största nyttan med ett detektionssystem bedöms vara att en tidig upptäckt erhålls. Således är det önskvärt att översätta en minskning i detekterings tid till monetära termer.

Juås [13] och Jaldell [14] har använt statistik på responstid för svenska räddningstjänster (se Figur 3) för att göra en kostnadsuppskattning för olika grader av brandskador och kvantifiera hur mycket pengar en minskad responstid på 5 minuter motsvarar. Syftet med dessa analyser var att ge stöd till kostnads-nyttoanalyser av räddningstjänstens bemanning, d.v.s. om pengar skulle kunna sparas genom att gå från en heltidskår till en deltidskår (5 minuters längre svarstid).



Figur 3: Ingående delar i begreppet responstid.

Samma tillvägagångssätt har använts i denna rapport för att kvantifiera vad detektionstiden motsvarar i monetära termer. De grundläggande antagande är följande:

- Tiden för räddningstjänsten att ingripa kan minskas med den tid som sparas genom ett snabbare detekteringssystem.

- Varje sparad sekund till följd av kortare detektionstid i förhållande till referensfallet ger en besparing.

Statistik från försäkringsbolaget Göta Lejon och ett antal brandutredningsrapporter har använts för att få en uppskattning av kostnaderna för en viss storlek på brandskada i en skolbyggnad (se Tabell 6). Data från försäkringsbolaget ger kostnader förknippade med specifika bränder och brandutredningarna från dessa bränder ger ett kvalitativt mått på graden av brandskada när räddningstjänsten anländer. Fem kategorier av brandskador, benämnt "Brandens storlek" i Tabell 6, har använts. Dessa fem kategorier är de samma som används i den svenska statistiken för byggnadsbränder som tillhandahålls av MSB.

Tabell 6: Uppskattad kostnad för olika brandstorlekar

Brandens storlek	Kostnader (kSEK)*			Antal bränder
	Min	Max	Medel	
Branden släckt/endast rök	0	5,5	1,8	3
Brand i startföremål	0	1,1	0,9	5
Brand i startutrymme	0	87,0	41,4	4
Brand i flera rum	274	1070	631	3
Brand i fler brandceller	36400	161100	90100	3

* Kostnaderna i tabellen är omräknade till 2011 års penningvärde.

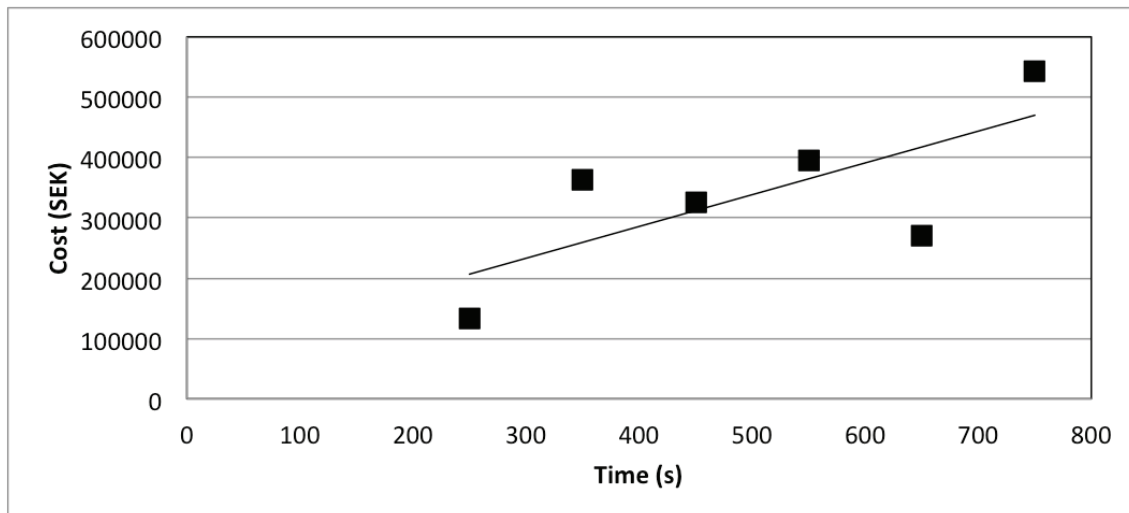
Jaldell [14] använde andra värden på kostnadsuppskattningen som var betydligt lägre för de större brandstorlekarna. Den troliga anledningen till detta är att de mest omfattande bränderna i skolbyggnader ger högre brandskadekostnader än motsvarande bränder som studerades av Jaldell, förmodligen eftersom skolbyggnader i medeltal är större. Den förväntade totala kostnaden för anlagda skolbränder i Sverige beräknas till cirka 240 miljoner kronor per år med de genomsnittliga kostnaderna i Tabell 6 och statistik på antalet bränder i varje brandstorlekkategori. Detta är en grov men förmodligen konservativ uppskattning eftersom det är något mindre än vad som anges av försäkringsbolag [15].

Kategorin brand i flera brandceller ger en uppskattad medelkostnad för 90 miljoner kronor (se Tabell 6). Detta är därför inte tillämpligt för mindre objekt så som referensfall 1. För referensfall 1 antas därför kostnaden för "Brand i fler brandceller" vara 20 miljoner, för referensfall 2 används dock 90 miljoner. Värdet för referensfall 1 är uppskattade efter uppgifter om skadekostnader från försäkringsbolaget Göta Lejon. Med hjälp av statistik från MSB går det att studera förhållandet mellan skolbränders bedömda storlek vid räddningstjänsters ankomst och responstiden (se Tabell 7).

Tabell 7: Andel av bränder med viss storlek för olika responstider

Brandens storlek vid räddningstjänstens ankomst	Andel bränder vid olika responstider (s)					
	200-299	300-399	400-499	500-599	600-699	700-799
Branden släckt/endast rök	0,65	0,54	0,46	0,50	0,44	0,39
Brand i startföremål	0,22	0,28	0,30	0,25	0,33	0,29
Brand i startutrymme	0,13	0,13	0,19	0,19	0,17	0,25
Brand i flera rum	0,00	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05
Brand i fler brandceller	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03
	1	1	1	1	1	1

De förväntade kostnaderna för anlagd bränder i svenska skolor och förskolor vid specifika responstider kan beräknas med hjälp av medelvärdena i Tabell 6 och Tabell 7. En grov uppskattning av besparingen per sekund minskad responstid kan erhållas med hjälp av en linjär regressionsanalys av de förväntade kostnaderna vid olika tidpunkter (se Figur 4).



Figur 4: Regressionsanalys av samband mellan respons tid och förväntad kostnad för brand i referensfall 2.

Lutningen på regressionslinjen ger en besparing på cirka 530 och 2100 kr/s för responstider mellan 200 och 800 sekunder för referensfall 1 respektive referensfall 2. Förklaringsgraden (R^2) är 0,52 och 0,48 för referensfall 1 respektive referensfall 2, vilket innebär att responstiden förklarar 52 % respektive 48% av variationer i kostnaden. Jaldell [14] beräknade att en minskning med 5 minuter i svarstid skulle ge en besparing på 352.400 kronor (i 2004 års penningvärde) i offentliga byggnader (inklusive skolbyggnader) motsvarar detta i genomsnitt cirka 1320 kr/s i 2011 års penningvärde.

För att kunna använda denna uppskattning är det nödvändigt att känna detektionstiden för referensfallen (se avsnitt 1.2.1).. Denna tid kommer naturligtvis att variera med tid och plats. Det kan förväntas att människor upptäcker en brand snabbare dagtid och när de är på offentliga platser och långsammare under natten och på platser som är skyddade från insyn.

3.1.4 Detektionssystemens tillförlitlighet

Bukowski och Budnick [16] har sammanställt data som visar tillförlitligheten för olika typer av detektionssystem för glöd- och flambränder inomhus. I Bukowski och Budnicks sammanställning varierar tillförlitligheten mellan 70 och 95% beroende på typ av detektionsprincip (t.ex. värme eller rök) och typ av brand men även mellan olika studier.

När det gäller olika typer av värmekablar placerade vid takfoten förekommer inte många studier av tillförlitlighet. NRCC [17] har bedömt tillförlitligheten som hög för värmekablar placerade i tunnlar jämfört med andra detektionssystem.

I analysen används en tillförlitlighet på 80% för värmekablarna och 90% för rökdetektorer på vind och termosensorer. Att rökdetektorerna har en högre tillförlitlighet motiveras av att de detekterade brand i fler fall än de övriga testade systemen i de fullskaleförsök som beskrivs i 3.1.1. Ytterligare diskussion om detta antagande förs i avsnitt 3.4.3.

3.1.5 Förväntad besparing med minskad detektionstid

För att kunna uppskatta den förväntade nyttan av de tekniska systemen är det nödvändigt att veta det förväntade antalet bränder i skolbyggnader. Detta görs genom att studera antalet bränder inomhus och utomhus i skolor (se Tabell 8 och Tabell 9). Antalet bränder har erhållits ur MSB:s databas IDA [18] hur indelningen av bränder inomhus och utomhus gjorts framgår av bilaga 1.

Tabell 8: Skolbränder som startat inomhus

Stad	Antal bränder (2000-2011)	Antal skolor*	Brand per skola
Stockholm	197	168	0,098
Göteborg	395	160	0,206
Malmö	190	83	0,191
Sverige	4007	4406	0,076

*Antal kommunala skolor under 2011 [19].

Tabell 9: Skolbränder som startat utanför byggnaden

Stad	Antal bränder (2000-2011)	Antal skolor*	Brand per skola
Stockholm	16	168	0,008
Göteborg	50	160	0,026
Malmö	23	83	0,023
Sverige	353	4406	0,007

*Antal skolor under 2011.

Den besparade tiden är skillnaden mellan detektionstiden i referensfallet (d,v,s. 5 minuter för brand utomhus och 3 minuter för brand inomhus) och när ett tekniskt system används. Nyttan kan uppskattas med hjälp av det beräknade värdet på besparing per sekund. För att ta hänsyn till den bedömda tillförlitligheten multipliceras uppskattade nyttor för värmekablarna med 0,8 för rökdetektorer och termosensorer med 0,9.

Tabell 10: Besparad tid och nytta med installation.

Tekniskt system	Scenario	Besparad tid (s)	Nytta (SEK)	
			Ref. fall 1	Ref. fall 2
Maximalvärmekabel	Utomhus	120	50.900	201.600
Differentialvärmekabel	Utomhus	270	114.400	453.600
Rökdetektor (vind)	Utomhus	120	50.900	201.600
Termosensor	Utomhus	300	127.200	504.000
Rökdetektor	Inomhus	60	25.600	100.800

Tabell 10 i kombination med Tabell 8 används för att härleda den förväntade fördelen med minskad detekteringstid (se Tabell 12).

Tabell 11: Förväntad besparing för referensfall 1 i Sverige och de tre storstäderna.

Tekniskt system	Scenario	Förväntad besparing (SEK/år)			
		Stockholm	Göteborg	Malmö	Sverige
Maximalvärmekabel	Utomhus	400	1300	1.200	300
Differentialvärmekabel	Utomhus	900	3.000	2.600	800
Rökdetektor (vind)	Utomhus	400	1.300	1.200	300
Termosensor	Utomhus	1.000	3.300	2.900	800

Rökdetektor	Inomhus	2.500	5.200	4.900	1.900
-------------	---------	-------	-------	-------	-------

Tabell 12: Förväntad besparing för referensfall 2 Sverige och de tre storstäderna.

Tekniskt system	Scenario	Förväntad besparing (SEK/år)			
		Stockholm	Göteborg	Malmö	Sverige
Maximalvärmekabel	Utomhus	1.600	5.300	4.700	1.300
Differentialvärmekabel	Utomhus	3.600	11.800	10.500	3.000
Rökdetektor (vind)	Utomhus	1.600	5.300	4.700	1.400
Termosensor	Utomhus	4.000	13.100	11.600	3.400
Rökdetektor	Inomhus	9.900	20.800	19.200	7.600

3.2 Sprinklersystem

Förväntad nytta med heltäckande sprinklersystem utfört enligt SBF 120:6 [20] studeras i detta avsnitt. Ett sprinklersystem utfört enligt SBF 120:6 kommer att begränsa branden.

För att kunna uppskatta en nytta med sprinklersystemet uppskattas först en genomsnittskostnad för bränder i skolor. Besparingen med ett sprinklersystem blir således skillnaden mellan den förväntade kostnaden utan sprinklersystem och kostnaden på skadan som sprinklersystem begränsar branden till. Ingen hänsyn tas till att branden upptäckts tidigare och släcks av personal eller räddningstjänst.

I behandlingen av statistiken har det förutsatts att sprinklersystem ej funnits i någon brand. Eftersom det tidigare framkommit att sprinklersystem ej är vanligt i skolor [3] så anses detta antagande ej påverka resultaten i någon större utsträckning. Om sprinklersystem hade varit vanligt förekommande på svenska skolor hade det varit nödvändigt att korrigera den uppskattade brandskadekostnader efter det.

3.2.1 Förväntad kostnad för genomsnittsbranden

Den förväntade genomsnittliga kostnaden för bränder inomhus i skolor kan uppskattas med information i Tabell 6 och statistik på antalet bränder i varje brandstorleks kategori.

Tabell 13: Förväntad brandskadekostnad för referensfall 1 för den genomsnittliga branden inomhus

Brandens storlek vid räddningstjänstens ankomst	Andel	Kostnad från Tabell 6 (kSEK)	Förväntad kostnad (kSEK)
Branden släckt/enda st rök	0,706	1,8	1,3
Brand i startföremål	0,169	0,9	0,2
Brand i startutrymme	0,100	41,4	4,1
Brand i flera rum	0,021	631	13,2
Brand i fler brandceller	0,004	20000	80
Summa	1	-	93,2

Tabell 14: Förväntad brandskadekostnad för referensfall 2 för den genomsnittliga branden inomhus.

Brandens storlek vid räddningstjänstens ankomst	Andel	Kostnad från Tabell 6 (kSEK)	Förväntad kostnad (kSEK)
Branden släckt/enda st rök	0,706	1,8	1,3
Brand i startföremål	0,169	0,9	0,2
Brand i startutrymme	0,100	41,4	4,1
Brand i flera rum	0,021	631	13,2

Brand i fler brandceller	0,004	90100	358,6
Summa	1	-	378,3

Den förväntade kostnaden för genomsnittsbranden inomhus blir enligt Tabell 13 och Tabell 14 cirka 93.200 respektive 378.300 kr för referensfall 1 och 2. Kategorin "Brand i flera brandceller" har väldigt stor påverkan på medelkostnaden i båda fallen, mediankostnaden kommer däremot vara runt 1000 kronor.

3.2.2 Sprinklersystems tillförlitlighet

De vanligaste anledningarna till att ett sprinklersystem inte fungerar är att det varit avstängt [21]. Bukowski och Budnick [16] har sammanställt data som visar att tillförlitligheten för sprinklersystem inomhus. I Bukowski och Budnicks sammanställning varierar tillförlitligheten mellan 95 och 99% i olika studier. I analysen används därför en tillförlitlighet på 95%.

3.2.3 Förväntad besparing med sprinklersystem

I analysen förutsätts det att sprinklersystemet i 95% av fallen aktiverar och skadorna begränsas till startutrymmet både vad det gäller brand och vattenskador. Detta innebär att 95 % av bränderna i kategorierna "Brand i flera rum" och "Brand i flera brandceller" överförs till kategorin "Brand i startutrymme".

Tabell 15: Förväntad brandskadekostnad för den sprinklade genomsnittsbranden.

Brandens storlek vid räddningstjänstens ankomst	Andel	Kostnad från Tabell 6 (kSEK)	Förväntad kostnad (kSEK)
Branden släckt/enda st rök	0,706	1,8	1,3
Brand i startföremål	0,169	0,9	0,2
Brand i startutrymme	0,124	41,4	5,2
Brand i flera rum	0,001	631	0,7
Brand i fler brandceller	0,0002	90100	18,0
Summa	1		25,4

Tabell 15 gäller i sin helhet för referensfall 2. För referensfall 1 antas, som tidigare, kostnaden för "Brand i fler brandceller" vara 20 miljoner.

Den förväntade brandskadekostnaden för den sprinklade genomsnittsbranden inomhus blir enligt dessa beräkningar 11.400 kr för referensfall 1 och 25.400 kr för referensfall 2. Till denna kostnad måste dock även skadekostnaden till följd av vatten från sprinkler. Denna genomsnittliga kostnad uppskattas till 50.000 kr. Denna summa har valts eftersom vattenskadan bedöms vara begränsad till startutrymmet och antas därför ungefär motsvara brandskadekostanden för ett utrymme (se Tabell 6). Kostnader på grund av vattenskador har inte förekommit i tidigare svenska uppskattningar av nyttan av sprinklersystem [9], men om dessa uppskattningar stämmer så är kostnaden för vattenskador betydelsefull för uppskattning av nyttan. Den totala kostnaden för den sprinklade genomsnittsbranden inomhus blir då 61.400 kr respektive 75.400 kr för referensfall 1 och 2. Den genomsnittliga besparingen beräknas som skillnaden mellan förväntad kostnad utan sprinkler (Tabell 14) och med sprinkler (Tabell 15) och är 31.800 respektive 297.600 kr för referensfall 1 och 2. Dessa värden används för att beräkna de förväntade besparingarna i Tabell 16 och Tabell 17.

Tabell 16: Förväntad besparing för referensfall 1 i Sverige och de tre storstäderna per skola.

Tekniskt system	Scenario	Förväntad besparing (SEK/år)			
		Stockholm	Göteborg	Malmö	Sverige
Sprinklersystem	Inomhus	3.100	6.500	6.100	2.400

Tabell 17: Förväntad besparing för referensfall 2 i Sverige och de tre storstäderna per skola.

Tekniskt system	Scenario	Förväntad besparing (SEK/år)			
		Stockholm	Göteborg	Malmö	Sverige
Sprinklersystem	Inomhus	29.100	61.200	56.800	22.600

3.3 Skydd av takfot

Skydd av takfot täcker enbart in de utvändiga scenarierna. Följande två alternativ för skydd av takfot studeras kvantitativt:

- Tätta takfötter med alternativ ventilerings av kallvinden.
- Svällande takfotsventiler i ventilationsöppningar i takfoten.

Nytan med skydd av takfot bedöms vara att branden hindras från att komma upp på vinden, d.v.s. brandspridningen in till byggnaden fördröjs så pass att branden kan släckas. För att kunna uppskatta denna nytta används samma resonemang som i föregående avsnitt om sprinklersystem.

3.3.1 Förväntad kostnad för genomsnittsbranden

Den förväntade genomsnittliga kostnaden för bränder utomhus i skolor kan uppskattas med information i Tabell 6 och statistik på antalet bränder i varje brandstorlekskategori.

Tabell 18: Förväntad brandskadekostnad för referensfall 2 för den genomsnittliga branden utomhus.

Brandens storlek vid räddningstjänstens ankomst	Andel	Kostnad från Tabell 6 (kSEK)	Förväntad kostnad (kSEK)
Branden släckt/enda rök	0,382	1,8	0,7
Brand i startföremål	0,456	0,9	0,4
Brand i startutrymme	0,113	41,4	4,7
Brand i flera rum	0,031	631	19,7
Brand i fler brandceller	0,017	90100	1531,4
Summa	1	-	1556,4

Tabell 18 gäller i sin helhet för referensfall 2. För referensfall 1 antas, som tidigare, kostnaden för "Brand i fler brandceller" vara 20 miljoner.

Den förväntade kostnaden för genomsnittsbranden utomhus blir enligt dessa beräkningar cirka 359.700 respektive 1.556.400 kr för referensfall 1 och 2.

3.3.2 Tillförlitlighet av skydd av takfot

Till författarnas vetskap så finns inga studier på tillförlitligheten för tätade takfötter eller brandskyddade takfötter med takfotsventiler. För andra passiva system finns dock data, Bukowski och Budnick [16] har sammanställt data som visar att tillförlitligheten på murverks- och gipskonstruktioner varierar mellan 69 och 95%. Liknade spridning är säkert möjlig för en tätad takfot eller eventuellt lägre eftersom det är osäkert om en tätad takfot kan likställas med en brandcellgräns inom en byggnad. Därför väljs en tillförlitlighet på 70% vilket är i nederkant på det intervall som Bukowski och Budnick angivit.

3.3.3 Förväntad besparing vid skydd av takfot

I analysen förutsätts att skyddet av takfoten medför att branden i 70% av de utvändiga bränderna fördröjs från att spridas in på vinden och byggnaden. Detta innebär att 70% av bränderna i kategorierna "Brand i flera rum" och "Brand i flera brandceller" överförs till kategorin "Brand i startutrymme".

Tabell 19: Förväntad brandskadekostnad för den skyddade genomsnittsbranden.

Brandens storlek vid räddningstjänstens ankomst	Andel	Kostnad från Tabell 6 (kSEK)	Förväntad kostnad (kSEK)
Branden släckt/enda rök	0,382	1,8	0,7
Brand i startföremål	0,456	0,9	0,4
Brand i startutrymme	0,147	41,4	6,1
Brand i flera rum	0,009	631	5,9
Brand i fler brandceller	0,005	90100	459,5
Summa	1		472,6

Tabell 19 gäller i sin helhet för referensfall 2. För referensfall 1 antas, som tidigare, kostnaden för "Brand i fler brandceller" vara 20 miljoner. Den förväntade brandskadekostnaden för brand med skyddad takfot blir enligt dessa beräkningar 113.100 kr för referensfall 1 och 472.600 kr för referensfall 2. Den genomsnittliga besparingen blir 246.600 och 1.083.800 kr för respektive referensfall och de båda tekniska lösningarna för skydd av takfot.

Tabell 20: Förväntad besparing för referensfall 1 i Sverige och de tre storstäderna per skola.

Tekniskt system	Scenario	Förväntad besparing (SEK/år)			
		Stockholm	Göteborg	Malmö	Sverige
Skydd av takfot	Utomhus	2.000	6.400	5.700	1.600

Tabell 21: Förväntad besparing i Sverige och de tre storstäderna per skola.

Tekniskt system	Scenario	Förväntad besparing (SEK/år)			
		Stockholm	Göteborg	Malmö	Sverige
Skydd av takfot	Utomhus	8.600	28.200	25.000	7.200

3.4 Osäkerheter och begränsningar med uppskattningen av nytta

Uppskattningarna som är gjorda i detta kapitel är grova. Generellt har konservativa antagande gjorts, vilket innebär en slutlig underskattning av kostnad-nytta kvoten, för att ta höjd för de osäkerheter som finns.

3.4.1 Brandfrekvens

Nytan är helt beroende av den uppskattade brandfrekvensen. En dubblad brandfrekvens kommer att innebära en två gånger så stor nytta. Eftersom det handlar om ett litet antal bränder så innebär det att frekvensen, t.ex. för den utvändiga branden, kan påverkas mycket om bara ett par fler bränder inträffar. Det är även tydligt från resultatet (se Tabell 8 och Tabell 9) att brandfrekvensen skiljer sig åt mellan städer och platser. De brandfrekvenser som använts är hämtade från MSB:s databas [18] vilken bedöms omfatta de bränder som är aktuella för analysen, d.v.s. mörkertalet är litet. Det har dock varit lite svårt att välja ut de bränder som är aktuella för respektive scenario. För scenariot utomhus så har de bränder som har startutrymme "utanför byggnad" valts eftersom det tolkats som bränder utanför men intill byggnaden. Det finns andra kategorier som t.ex.

statutrumme "Utomhus" i vilken aktuella bränder skulle kunnat förekomma men dessa har inte tagits med i analysen. Detta innebär att den använda brandfrekvensen är något lägre än i verkligheten och därför även konservativ i denna analys.

I den genomförda analysen görs ett enkelt medelvärde för hela landet och de tre storstäderna. Det innebär att ingen hänsyn tas till faktorer som kanske kan påverka brandfrekvens som t.ex. skolans placering, elevantal, ålder på eleverna. Att dessa faktorer påverkar antalet anlagda bränder har klarlagts i en tidigare studie av MSB [22], som visade att förekomsten av anlagda bränder är vanligare i större skolor, större kommuner och större städer. Om förväntad brandfrekvens är känd på en enskild skola så kan dock denna typ av analys även göras på skolnivå. Särskilt viktigt kan det vara om skolan ligger i ett område eller stadsdel där det förekommer med anlagda bränder och skadegörelse.

Brandfrekvensen har uppskattats genom att dividera antalet bränder med antalet kommunala skolor enligt statistik från Skolverket. Det innebär att det bortses från friskolorna. Brandfrekvensen för friskolor är dock betydligt lägre än för kommunala skolor enligt tidigare studier [22] och de uppskattade brandfrekvenserna bedöms därför vara representativa för kommunala skolor.

Brandfrekvensen har antagits vara densamma för referensfallet under 20 år (de tänkta investeringarnas livslängd). Om andra förebyggande insatser vidtas är det möjligt att brandfrekvensen sjunker under kommande år. En minskad förväntad brandfrekvens kommer innebära att nyttan minskar.

3.4.2 Brandskadekostnader

Någon hänsyn har inte tagits till nytta genom färre omkomna eller skadade vid installation av brandskyddssystem i skolor. Anledningen till detta är att skolbränder främst är ett egendomsproblem eftersom ingen har omkommit i en skolbrand under den tid som MSB (och tidigare Räddningsverket) sammanställt insatsstatistik [18].

De använda brandskadekostnaderna baseras på information från ett försäkringsbolag. Ett par händelser har använts för att uppskatta kostnaden för olika kategorier på brandstorlek. Det finns ett stort antal olika startutrymmen och starföremål som är möjliga vid bränder i skolbyggnader och de som använts i analysen har bedömts ge en någorlunda representativ nivå. När det gäller beräkning av medelvärde blir det väldigt skevt eftersom det finns extremvärden (brand i flera brandceller) som gör att medelvärdet blir väldigt högt. För att undersöka påverkan av förändrade brandskadekostnader görs en känslighetsanalys i kapitel 6.

Vid uppskattning av medelbrandskadekostnaden i samband med beräkningarna för sprinklersystem och skydd av takfot har statistik på brandens storlek vid räddningstjänstens ankomst använts. Detta är en minimum bedömning av brandskadan eftersom branden kan fortsätta att tillväxa även efter räddningstjänstens ankomst. Detta innebär att den möjliga nyttan förmodligen är större. Anledningen till att inte uppgifter om brandens totala omfattning använts är att kategorin "I startbyggnaden" finns med. Denna kategori kan nämligen innefatta flera av de andra kategorierna och därför är det möjligt att nyttan kan överskattas om denna statistik används.

3.4.3 Detektionssystem

De uppskattade detektionstiderna som används för framförallt de utvändiga bränderna är osäkra. Dessa bygger på ett uppskattat medelvärde från ett fåtal försök. Det finns en stor spridning kring detta medelvärde. För att illustrera känsligheten av detektionstiden så presenteras en känslighetsanalys av denna parameter i avsnitt 6.1.1.

Uppskattningen av förväntad nyttan bygger även den på en bedömning av brandskada per sekund som i sin tur baserad på uppgifter från försäkringsbolag och räddningstjänsten. Detta är en grov bedömning eftersom brandskadekostnaden per sekund kommer att varieras med bl.a. vart det brinner, hur stor branden är och om det är i början eller senare i brandförloppet. Uppskattningen har gjorts med en linjär regressionsanalys. Denna metod ger ett osäkert värde på besparing per sekund, eftersom det beror mycket på intervallet av responstider som studeras och hur medelvärde görs. Även om det förefaller som om brandskadan förhåller sig linjärt till responstiden så kanske det snarare ska vara en exponentiell brandtillväxt eftersom brandtillväxt brukar modelleras som exponentiell [23].

3.4.4 Sprinklersystem

Jaldell [9] genomförde en litteraturstudie av hur sprinkler påverkat dödsfall, egendom och personskador och då antogs det att sprinkler reducerade både person- och egendomsskador med 70%. För skolbyggnader finns uppgifter från USA [21] att sprinklersystem innebär att förlorat egendomsvärde minskar med 63%. Enligt Jaldell går det inte att hitta någon studie av sprinklersystem där fler variabler än brandvarnare är konstanta, vilket gör att dessa effekter kan bero av andra åtgärder än bara sprinklersystem. Vid uppskattning av nyttan av sprinklersystemet har det antagits att det fungerar i samtliga fall och begränsar branden i 95% av fallen. Den genomsnittliga besparingen har enligt ovan varit 297.600 SEK för referensfall 2 vilket motsvarar minskade egendomsskador med 80%. För referensfall 1 var besparingen 31.800 SEK vilket motsvarar minskade egendomsskador med 34%.

Tillförlitligheten för sprinklersystemet ansattes till 95% grundat på uppgifter från Bukowski et al. [1]. I beräkningarna har det antagits att sprinklersystemet har samma tillförlitlighet oberoende av brandstorlek. Det är inte säkert eftersom en stor andel av bränderna inte blir så stora att sprinklersystemet aktiverar och i andra fall kan bränder med väldigt snabba förlopp göra att sprinklersystemet inte kommer kunna begränsa branden.

Kostnaden för vattenskadan är antagen till 50.000 SEK i beräkningen. Eftersom vattenskadan bedöms vara begränsad till startutrymmet antas den motsvara brandskadekostanden för ett utrymme (se Tabell 6). Kostnaderna som är angivna i Tabell 6 innehåller även vattenskador i samband med räddningstjänst och eftersom sprinkler ger mindre allvarliga vattenskador än räddningstjänstens släckning [24] bör det antagna värdet vara konservativt. Detta innebär dock att kostnaden för vattenskador är medräknad delvis två gånger, en gång i brandskadekostnaden och en gång i vattenskadan från sprinklersystemet. Detta innebär att den framräknade förväntade besparingen (nyttan) kan vara större med sprinklersystem än uppskattat. För att undersöka påverkan av den antagna kostnaden för vattenskada görs en känslighetsanalys i kapitel 6.

Kostnaden av felutlösning av sprinkler har inte tagits med i beräkningarna. Enligt Nystedt [24] är det dock mycket ovanligt att sprinkler aktiveras utan påverkan av brand. I en skola kan dock risken för sabotage vara högre och det kan då vara lämpligt att använda dolda sprinklerhuvuden eller skyddskorgar. Någon sådan typ av funktion/lösning är dock inte medräknad i de genomförda kostnadsuppskattningarna.

Slutligen ska det påpekas att det sprinklersystem som har studerats utgör en konventionell installation i inomhusmiljö. Sprinklersystem skulle även kunna installeras i vindsutrymmen, på lastkajer etc, vilket skulle innebära att fler bränder hade kunnat behandlas till en liten kostnadsökning.

3.4.5 Skydd av takfot

I uppskattningen av nytta jämföras de aktuella lösningarna när det gäller tillförlitlighet d.v.s. i 70% av fallen undviks brandspridning till vindskonstruktionen då någon av de tekniska lösningarna används. Till författarnas vetskap så finns inga studier på hur tillförlitliga brandskyddade takfötter och takfotsventiler är. För andra passiva system finns dock data. Bukowski och Budnick [16] har sammanställt data som visar att tillförlitligheten på murverks- och gipskonstruktioner varierar mellan 69 och 95%. Liknade spridning är säkert möjlig för en tätad takfot eller eventuellt lägre eftersom det är osäkert om en tätad takfot kan likställas med en brandcellgräns inom en byggnad. För att takfotsventilerna ska fungera krävs det att de sväller och tätar till ventilationsöppningen vid brand, d.v.s. det krävs en förändring av ventilens tillstånd till skillnad från en helt tät takfot som är mer ett passivt system som inte kräver ett förändrat tillstånd för att fungera. Eftersom det är möjligt att något kan gå fel när ventilen sväller så är det inte orimligt att tillförlitligheten för den svällande produkten är lägre än den täta takfoten.

Adl-Zarrabi [25] har studerat hur åldring och temperatur påverkar ett par olika svällande material. Studien visade bland annat att hur grafitbaserade material sväller beror på hur fort de värms upp. Johansson et al. [26] har dock inte kunnat se att uppvärmningshastigheten skulle ha någon praktisk betydelse när sådana svällande produkter placeras i en mindre ventilationsöppning.

Om branden kan tillväxa utanför byggnaden (t.ex. om fasadmateriäl är brännbart) kan dock branden spridas in i byggnaden på andra sätt än via takfoten (t.ex. via fönster). Brandskydd av takfot kan därför inte ses som tillräckligt skydd för att förhindra brand spridning till vindskonstruktionen utan snarare en lösning för att fördröja brandspridning in i byggnaden.

3.4.6 Alternativ nytta

Det finns tydliga alternativa nyttor med flera av de tekniska systemen. Till exempel har det visat sig på flera ställen att installation av termosensorer har inneburit mindre skadegörelser. Ingen hänsyn har tagits till sådana alternativa nyttor eftersom detta arbete har fokus på brand som skadehändelse. I detta avseende är alltså nyttan med system och tekniska lösningar som kan begränsa andra typer av skador underskattad.

4 Uppskattad kostnad med respektive system

Kostnaderna för respektive system och referensfall studeras i detta kapitel. Kostnaden har i största möjligaste mån kvantifierats i monetära termer (SEK). Alla kostnadsuppskattningar är utan moms.

4.1 Detektionssystem

Kostnader, baserad på information från leverantörer och projektörer, för de olika tekniska systemen framgår av Tabell 22. De totala kostnaderna för de tekniska systemen kommer naturligtvis att variera mellan länder, tillverkare och entreprenörer. De kostnader som redovisas i Tabell 22 skall därför betraktas som grova uppskattningar.

Tabell 22: Kostnader för detektionssystem

Tekniskt system	Material kostnader SEK/enhet	Installations kostnader (SEK)	Driftskostnader (SEK/år)
Brandlarmscentral	25.000	5.000	5.000 *
Maximalvärmekabel	100 /m	10.000	0
Differentialvärmekabel	12.000 + 100 /m **	10.000	1.000
Rökdetektor på vind	2.000	5.000	5.000
Termosensor	40.000	5.000	15.000

* Inklusive kostnaden för uppkoppling till larmcentral.

** En enhet kan övervaka 100 m.

Driftkostnaden för brandlarmscentralen inkluderar även kostnaden för uppkoppling till larmcentral. Kostnaden för underhållet av brandlarmscentralen är inkluderat i driftkostnaden för detektorerna. Nuvärdesmetoden (se kap. 2) används för att beräkna kostnaden för systemen under hela dess livstid.

I denna analys har livstiden för samtliga system antagits vara 20 år. Kostnaderna för borttagningen av systemen beaktas inte i denna analys.

Kostnaden för att installation och drift av de tekniska systemen under en 20-årsperiod kan uppskattas för båda referensfallen med hjälp av informationen i Tabell 22. De årliga kostnaderna för respektive system beräknas som annuiteten för den nuvärdesberäknade värdet av total kostnaden (se ekvation 3).

Tabell 23: Beräknad årlig kostnad för detektionssystemen i referensfall 1.

Detektionssystem	Material (SEK)	Installation (SEK)	Driftkostnad (SEK/år)	Annuitetskostnad (SEK/år)
Maximalvärmekabel	52.000	10.000	5.000	9.600
Differentialvärmekabel	67.000	15.000	6.000	12.000
Rökdetektor (vind)	49.000	10.000	10.000	14.300
Termosensor	160.000	5.000	15.000	27.100
Rökdetektor (inomhus)	49.000	10.000	10.000	14.300

* Annuiteten för det nuvärdesberäknade värdet av total kostnaden

I referensfall 1 (se avsnitt 1.2.1) finns ingen brandlarmscentral vilket innebär att kostnaderna för maximalvärmekabel, differentialvärmekabel och rökdetektorer (vind) och rökdetektor (inomhus) i Tabell 23 inkluderar kostnaderna för brandlarmcentralen i Tabell 22.

Tabell 24: Beräknad årlig kostnad för de detektionssystemen i referensfall 2.

Tekniskt system	Material (SEK)	Installation (SEK)	Driftkostnad (SEK/år)	Annuitetskostnad (SEK/år)
Maximalvärmekabel	32.000	10.000	0	3.100
Differentialvärmekabel	80.000	10.000	1.000	7.600
Rökdetektor (vind)	100.000	5.000	5.000	12.800
Termosensor	160.000	5.000	15.000	27.100

I referensfall 2 (se avsnitt 1.2.1) finns en befintlig brandlarmscentral vilket innebär att kostnaderna för maximalvärmekabel, differentialvärmekabel och rökdetektorer (vind) i Tabell 24 **Fe! Hittar inte referenskälla.** enbart inkluderar kostnaderna för de enskilda detektionssystemen i Tabell 22.

4.2 Sprinklersystem

Boverket har i samband med revideringen av Boverkets Byggregler (BBR) genomfört en kostnad-nytta analys av installation av sprinklersystem i särskilda boenden och vårdanläggningar [27]. Boverket uppskattade att kostnader för att installera sprinklersystem i en vårdanläggning skulle vara ca 26 SEK/m². De kostnadsuppskattningar som Boverket använde för sprinklersystem i normal riskklass (OH1) används även i denna analys (se Tabell 25).

Tabell 25: Kostnader för olika system delar i sprinklersystem.

System del	Kostnad
Sprinkler	300 kr/kvm
Pumpar	320.000 SEK
Underhåll	2 SEK/m ² år
Leveransbesiktning	2 SEK/m ²
Serviceavtal	5.000

Tabell 26: Beräknad årlig kostnad för sprinklersystem i referensfall 1.

System del	Kostnad	Annuitetskostnad (SEK/år)
Sprinkler	360.000 SEK	26.500
Pumpar	320.000 SEK	23.500
Underhåll	2.400 SEK/år	2.400
Leveransbesiktning	2.400 SEK	200
Serviceavtal	5.000 SEK/år	5.000
Totalt	-	57.600

Den genomsnittliga årliga kostnaden för referensfall 1 blir 48 SEK/m². Om en livslängd på 25 år används (som Boverket gjort) blir den årliga kostnaden knappt 43 SEK/m². Detta är betydligt högre än Boverkets uppskattning, på 26 SEK/m², för vårdanläggningar.

Tabell 27: Beräknad årlig kostnad för sprinklersystem i referensfall 2.

System del	Kostnad	Annuitetskostnad (SEK/år)
Sprinkler	1.500.000 SEK	110.400
Pumpar	320.000 SEK	23.500
Underhåll	10.000 SEK/år	10.000
Leveransbesiktning	10.000 SEK	700
Serviceavtal	5.000 SEK/år	5.000
Totalt	-	149.700

Den genomsnittliga årliga kostnaden för referensfall 2 blir 30 SEK/m². Detta är något högre än Boverkets uppskattning för vårdanläggningar. Ansätts en livslängd på 25 blir den årliga kostnaden knappt 26 SEK/m² vilket motsvarar Boverkets beräkning.

4.3 Skydd av takfot

Kostnader, baserad på information från leverantörer och projektörer, för de olika tekniska systemen framgår av Tabell 28. Till skillnad från detektionssystem så finns inga driftkostnader med eftersom de dessa tekniska lösningar bedöms kräva inget eller mycket lite underhåll. De totala kostnaderna för de tekniska systemen kommer naturligtvis att variera mellan länder, tillverkare och entreprenörer. De kostnader som redovisas i Tabell 28 är grova uppskattningar.

Båda de studerade lösningarna antas innebära en grundkostnad d.v.s. ombyggnation från ventilerad takfot till tät och obrännbar takfot (12 mm fiberceMENTSskiva). I fallet med täta takfot ordnas ventilering av vinden på annat sätt (t.ex. med ventilering under takpannor med s.k. mögelstoppers [28]) och i fallet med takfotsventil så placeras dessa i takfoten.

Tabell 28: Kostnader för skydd av takfot

Teknisk lösning	Materialkostnader	Arbetskostnad*
Grundkostnad	100 SEK/m	500 SEK/m
Täta takfötter med alternativ ventilering	30 SEK/enhet	250 SEK/m
Takfotsventil	2000 SEK/enhet	250 SEK/m

* Arbetskostnader är uppskattad som SEK/m takfot.

Nuvärdesmetoden (se kap. 2) används för att beräkna kostnaden för systemen under hela dess livstid. I denna analys har livstiden för samtliga lösningar antagits vara 20 år. Kostnaderna för borttagningen av systemen beaktas inte i denna analys.

Kostnaden för de båda lösningarna under en 20-årsperiod kan uppskattas för båda referensfallen med hjälp av informationen i Tabell 28. De årliga kostnaderna för respektive system beräknas som annuiteten för den nuvärdesberäknade värdet av total kostnaden (se ekvation 3).

Antalet takfotsventiler uppskattas till 90 och 160 stycken för referensfall 1 respektive 2. Detta innebär en takfotsventil med cirka 1,5 m mellanrum längs takfoten. Takfotsventilen har en effektiv ventilationsarea på 0,023 m². Tio stycken mögelstoppers per takfotsventil krävs för att erhålla samma ventilationsarea. Bedömningen av nödvändig ventilationsarea har gjorts mot bakgrund av normal storlek på ventilationsspalt och det är möjligt att en mindre ventilationsarea är acceptabel. Det rekommenderas nämligen att installera en mögelstopper per takstolsfack [28], vilket kommer ge en betydligt mindre ventilationsarea. Befintlig frånluftsöppning vidnocken bedöms vara tillräcklig.

Värt att notera är också att ventilering av vinden kanske inte är optimalt i välisolerade byggnader [29] vilket innebär att enbart tätning av takfoten kan vara aktuellt, d.v.s. enbart grundkostnaden och därför tas även den med som ett alternativ på lösning.

Tabell 29: Beräknad årlig kostnad för de tekniska systemen i referensfall 1.

Teknisk lösning	Antal enheter	Material (SEK)	Installation (SEK)	Annuitetskostnad (SEK/år)
Täta takfötter utan ventilering	-	18.000	90.000	7.900
Täta takfötter med alternativ ventilering	900	45.000*	135.000*	13.200
Svällande ventiler	90	198.000*	135.000*	24.500

* Inkl. grundkostnaden för tätning av takfot enligt Tabell 28.

Tabell 30: Beräknad årlig kostnad för de tekniska systemen i referensfall 2.

Teknisk lösning	Antal enheter	Material (SEK)	Installation (SEK)	Annuitetskostnad (SEK/år)
Täta takfötter utan ventilering	-	32.000	160.000	14.100
Täta takfötter med alternativ ventilering	1.600	80.000*	240.000*	23.500
Svällande ventiler	160	352.000*	240.000*	43.600

* Inkl. grundkostnaden för tätning av takfot enligt Tabell 28.

4.4 Osäkerheter och begränsningar med uppskattningen av kostnader

4.4.1 Beräkningar

För att kunna göra beräkningar av nuvärde har förutsättningarna som är angivna för respektive referensfall använts. Systemens livslängd kan mycket väl vara längre än 20 år. För enkelhetens skull så används samma livslängd för samtliga system/lösningar. Den kan såklart variera mellan olika system. För automatlarm har 20 års livslängd använts i tidigare studie [8] och för sprinklersystem så har 25 års livslängd använts [9, 27]. Förmodligen är en antagen livslängd på 20 år konservativt men för att undersöka påverkan av livslängden på resultat genomförs en känslighetsanalys (se avsnitt 6.2.1).

Den kalkylränta som används är baserad på rekommendationer i tidigare analyser [9]. I ännu äldre analyser har en kalkylränta på 5% använts [8], men den valda kalkylräntan på 4% anses vara konservativ.

4.4.2 Detektionssystem

Kostnadsuppskattningarna för detektionssystemen baseras på uppgifter från leverantörer och projektörer. Utifrån de uppgifter som hämtas in så är det uppenbart att det är stora skillnader mellan vem som tillfrågas och vilken typ av projekt som de är involverade i. Hur systemen upphandlas kommer också att ha stor betydelse. För att undersöka hur detta påverkar resultatet har en känslighetsanalys genomförts (se avsnitt 6.2.2).

4.4.3 Sprinklersystem

Kostnaderna för sprinklersystem är hämtade från en analys genomförd av Boverket [27] som i sin tur får uppgifter från sprinklerfrämjandet. Kostnaden för sprinklersystem beror, precis som för automatiskt brandlarm på storleken av byggnaden och detta är något som illustreras i de två referensbyggnaderna som används i studien.

4.4.4 Skydd av takfot

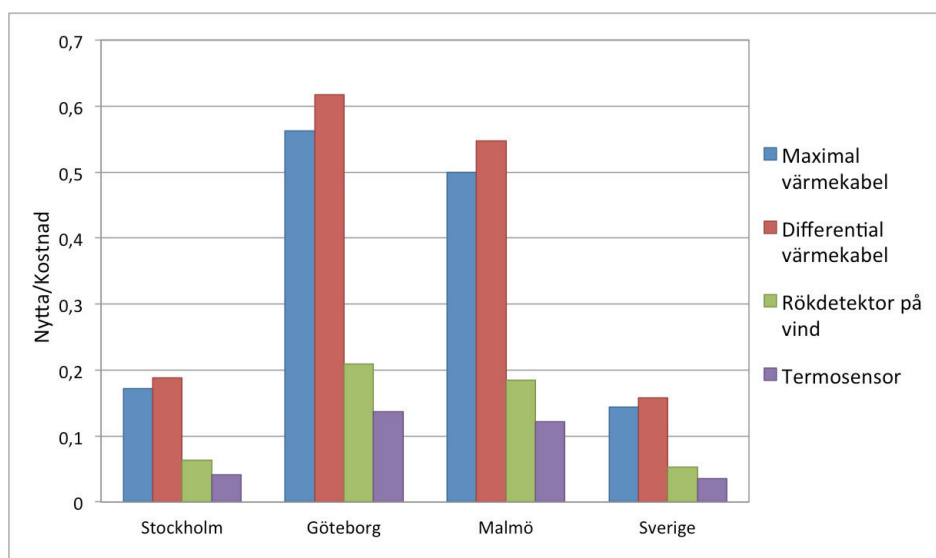
Materialkostnaderna (se Tabell 28) för skydd av takfot är hämtade från återförsäljare. Arbetskostnaderna är dock en uppskattning som är förknippade med en stor osäkerhet och kommer variera stort om det handlar om nyproduktion eller ombyggnad. För att undersöka hur arbetskostnaden påverkar resultatet har en känslighetsanalys genomförts (se avsnitt 6.2.3).

5 Kostnad–nytta kvoter

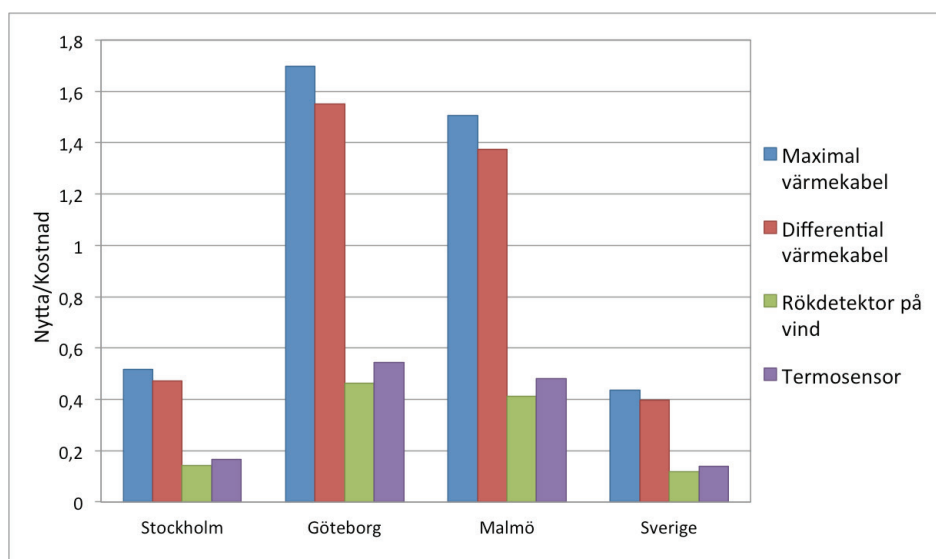
I följande kapitel presenteras kostnad-nytta kvoter. Dessa kvoter har erhållits genom att dela nyttan (kap. 3) med kostnaden (kap. 4). I teorin är ett alternativ lönsamt om denna kvot är större än 1. De framtagna kostnaderna och nyttan i föregående kapitel bedöms dock vara förknippade med flera antaganden och osäkerheter så det anses inte rimligt att använda 1 som ett strikt kriterium. Presentationen av kvoter gör det dock möjligt att på ett överskådligt sätt göra en rangordning mellan olika system. För samtliga tekniska system har kostnads-nytta kvoter tagits fram för Stockholm, Göteborg, Malmö och hela Sverige.

5.1 Detektionssystem

Kostnads-nytta kvoter för detektionssystemen har tagits fram för fyra detektionssystem i byggnader där en befintlig centralapparat med uppkoppling till SOS finns och för fem detektionssystem där installation av centralapparat och uppkoppling till SOS ingår.

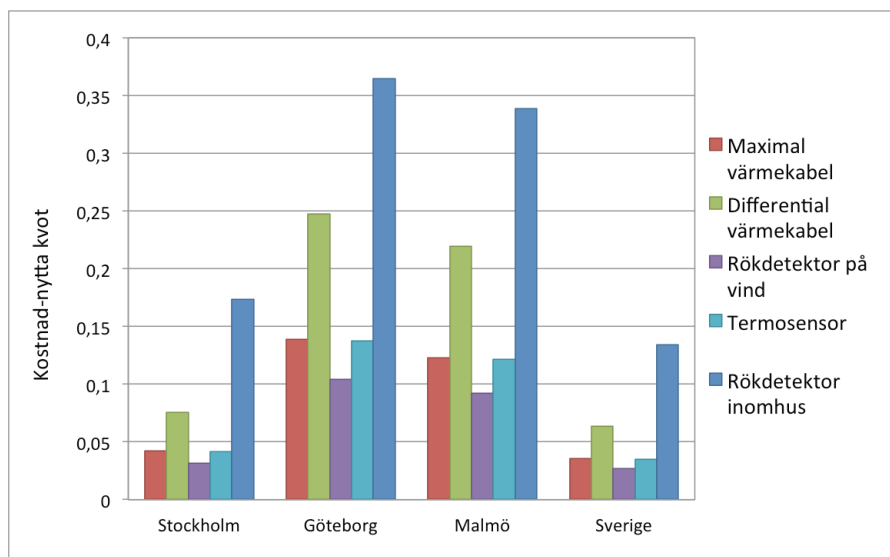


Figur 5: Detektionssystem i referensfall 1 dock har byggnaden befintlig brandlarmcentral med uppkoppling till SOS.

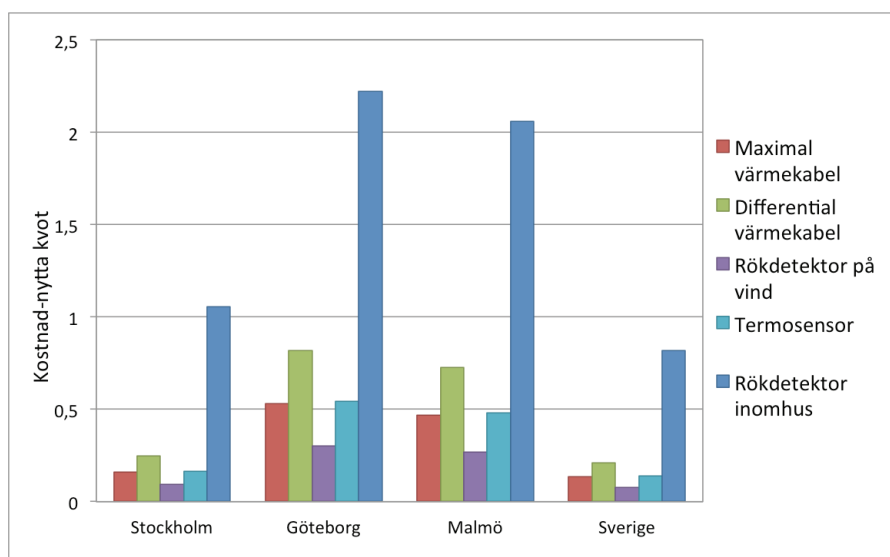


Figur 6: Detektionssystem i referensfall 2 med befintlig brandlarmcentral och uppkoppling till SOS.

För referensfall 1 (Figur 5) är nyttan lägre än referensfall 2 (Figur 6) detta är främst eftersom den maximala skadan på byggnaden är lägre vilket leder till att kvoten också blir lägre. I båda fallen har differential- och maximalvärmekabel ungefär lika stor kvot trots olika kostnader för installation och drift samt uppskattad nytta. Detta betyder att den kortare detektionstiden för differentialvärmekabel inte väger upp för de högre kostnaderna jämfört med maximalvärmekabeln för denna typ av installation. Kvoten skiljer sig betydligt mellan de tre städerna och hela landet, vilket visar att brandfrekvensen kommer ha en avgörande betydelse för hur stor kvoten blir.



Figur 7: Detektionssystem i referensfall 1 där installation av brandlarmcentral och uppkoppling till SOS ingår.



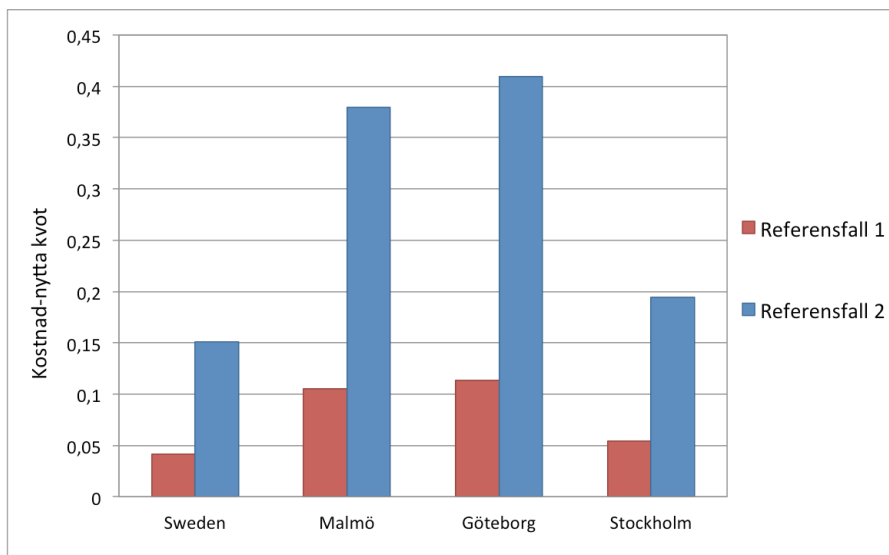
Figur 8: Detektionssystem i referensfall 2 dock utan befintlig brandlarmscentral vilket innebär att installation av brandlarmcentral och uppkoppling till SOS ingår i kostnaden.

En stor installationskostnad samt löpande kostnader läggs på kostnadssidan för både maximal- och differentialvärmekablarna när kostnaden för en centralapparat med uppkoppling till SOS också tas med i beräkningen (Figur 7 och Figur 8). Kostnaderna blir då så stora att den kortare detektionstiden för differentialvärmekabeln gör den betydligt mer fördelaktig jämfört med maximalvärmekabeln. Rökdetektorer inomhus har en

överlägsen kvot vilket främst beror på den höga brandfrekvensen. Enligt dessa beräkningar är rökdetektorer inomhus motiverat för referensfall 2 i storstäderna.

5.2 Sprinklersystem

Kostnads-nytta kvoter för sprinklersystem har tagits fram för de båda referensfallen.

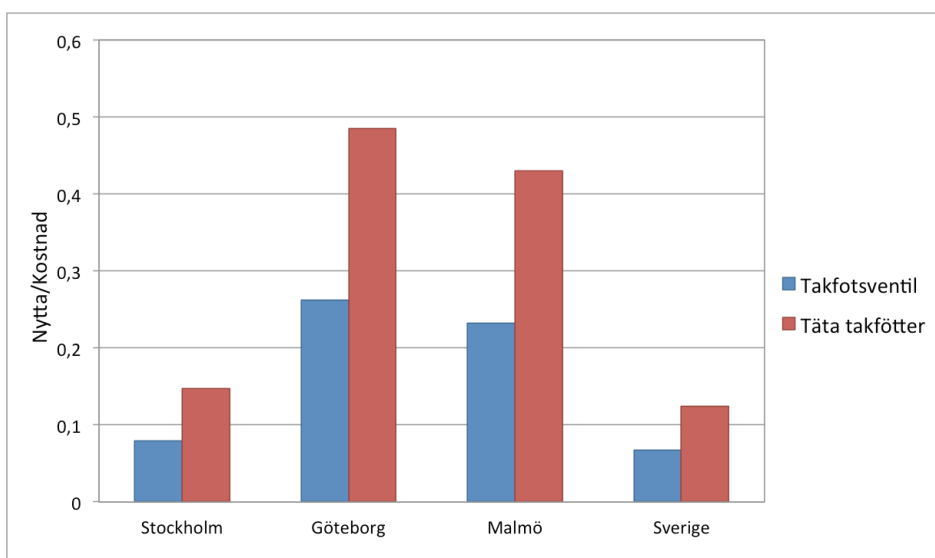


Figur 9: Kostnad-nytta kvot för sprinklersystem i referensfall 1 och 2.

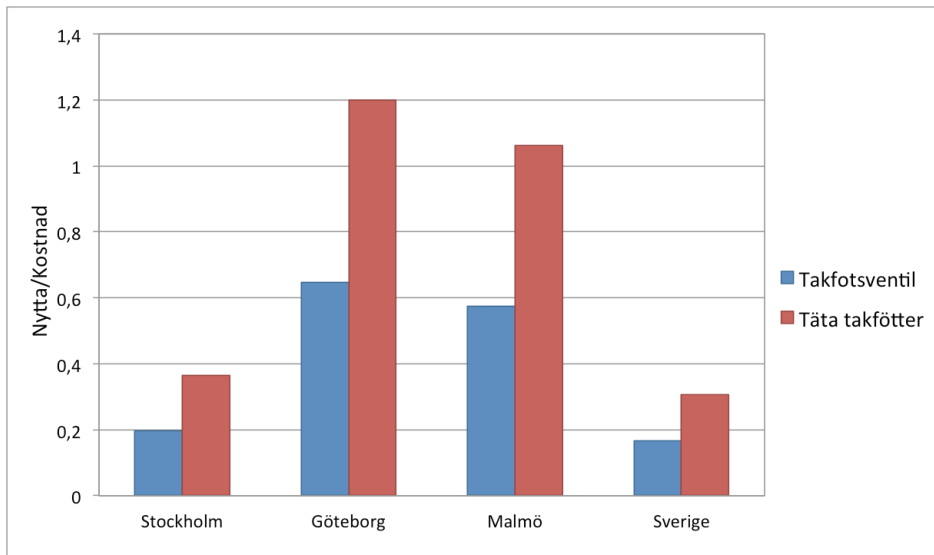
Figur 9 visar att sprinklersystemet är betydligt mindre lönsamt för den mindre skolbyggnaden även om installationskostnaden är något lägre. Orsaken till detta är att den maximala skadekostnaden är högre för den större byggnaden och detta har en stor betydelse för utfallet.

5.3 Skydd av takfot

Kostnads-nytta kvoter för två typer av lösningar för skydd av takfot har tagits fram.



Figur 10: Skydd av takfot för referensfall 1.



Figur 11: Skydd av takfot för referensfall 2.

Skillnaden mellan de två systemen i analysen är att kostnaderna är olika. Nyttan är dock bedömd till att vara lika, d.v.s de båda systemen antas ge ett likvärdigt skydd. För referensfall 2 (Figur 11) är kvoten högre än i referensfall 1 (Figur 10) eftersom den maximala kostnaden är högre i den större byggnaden.

6 Känslighetsanalys

I följande kapitel görs en känslighetsanalys av de parametrar som bedömts som särskilt osäkra i avsnitt 3.4 och 4.4. En parameter undersöks åt gången. Syftet med att genomföra känslighetsanalysen är att utreda betydelsen av de osäkra parametrarna.

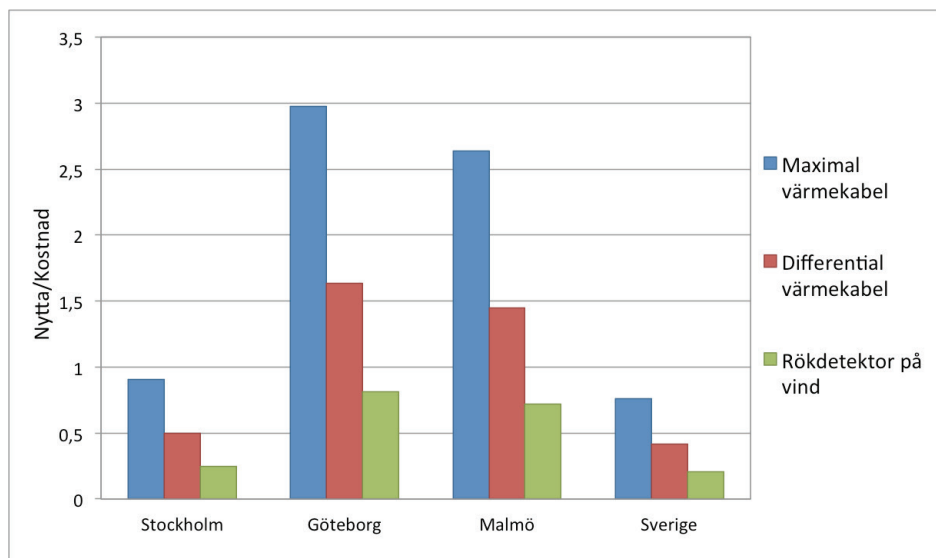
6.1 Uppskattad nytta

Detektionstiden och uppskattningen av kostnad för vattenskada är de enda osäkra parametern i nytta uppskattningarna som undersöks i känslighetsanalysen. Brandfrekvensen är en väldigt viktig parameter som styr hur stor den förväntade nytta blir. Någon känslighetsanalys av den görs dock inte i detta kapitel eftersom inverkan av olika brandfrekvenser framkommer vid jämförelsen mellan de olika storstäderna och Sverige i diagrammen som presenterats i kapitel 5. Känsligheten av de uppskattade tillförlitligheterna på de tekniska systemen studeras ej eftersom de antagna värdena bedöms ge konservativa resultat, d.v.s. den verkliga nyttan är högre.

6.1.1 Förväntad nytta till följd av kortare detektionstid

Känsligheten av de uppskattade detektionstiderna i Tabell 4 och Tabell 5 undersöks genom att minska och öka dem med 50% för referensfall 2.

Kostnad-nytta kvoten ökar med cirka 6% för differentialvärmekabeln, samtidigt som kvoten ökar med 75% för maximalvärmekabeln och rökdetektorer på vinden om detektionstiden minskar med 50%. På samma sätt minskar kvoten med 6% för differentialvärmekabeln och med 75% för maximalvärmekabeln och rökdetektorer på vinden om detektionstiden ökas med 50%.



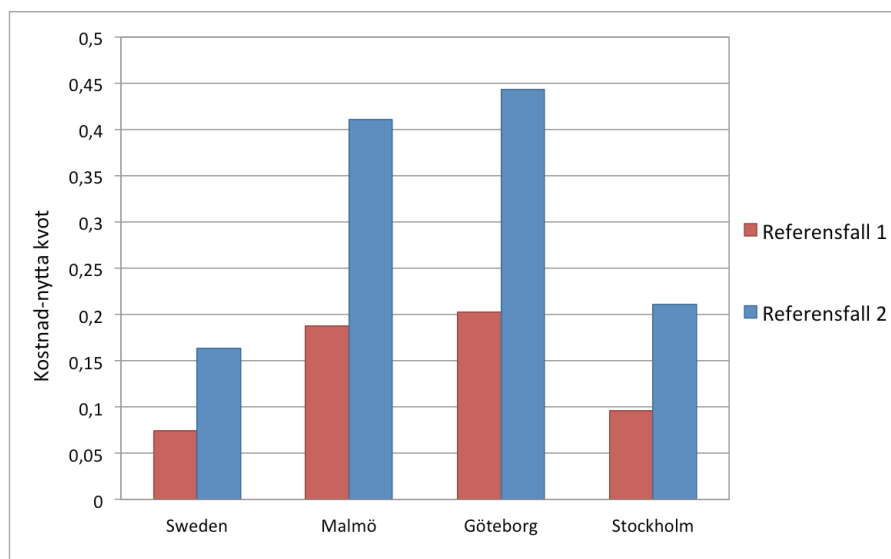
Figur 12: Utvändiga detektionssystem med 50% kortare detektionstid jämfört med i Figur 6.

Då Figur 12 och Figur 6 jämförs så är det uppenbart att en procentuell ändring av detektionstiden kommer att ha en stor betydelse för rangordningen av systemen. En procentuellt kortare detektionstid för samtliga system kommer innebära att maximalvärmekabeln får en betydligt större ökning av kostnad-nytta kvoten jämfört med differentialvärmekabeln.

6.1.2 Uppskattad kostnad för vattenskada

Känsligheten av de uppskattade vattenskadorna i bedömningen av nyttan av sprinklersystem i kap 3.2 undersöks genom att halvera den uppskattade vattenskadekostnaden till 25.000 SEK.

Kostnad-nytta kvoten ökar med 180% för referensfall 1, men är fortfarande låg eftersom ökningen sker från en väldigt låg nivå. För referensfall 2 ökar kvoten med 8%.



Figur 13: Kostnad-nytta kvot för sprinklersystem i referensfall 1 och 2 med halverad uppskattad kostnad för vattenskador.

Det kan konstateras att en minskad uppskattad vattenskadekostnad kommer att ha en stor inverkan på kostnad-nytta kvoten i den mindre byggnaden dock räcker det långt ifrån att få upp kostnad-nytta kvoten i samma nivå som t.ex. för detektionssystemen.

6.2 Uppskattad kostnad

Tre stycken parametrar på kostnadssidan analyseras i känslighetsanalysen.

6.2.1 Beräkningar

I de ursprungliga beräkningarna har livslängden antagits till 20 år, för att undersöka känsligheten görs nya beräkningar av kostnad-nytta kvoter för detektionssystem utomhus och sprinklersystem för referensfall 2 (Figur 14).



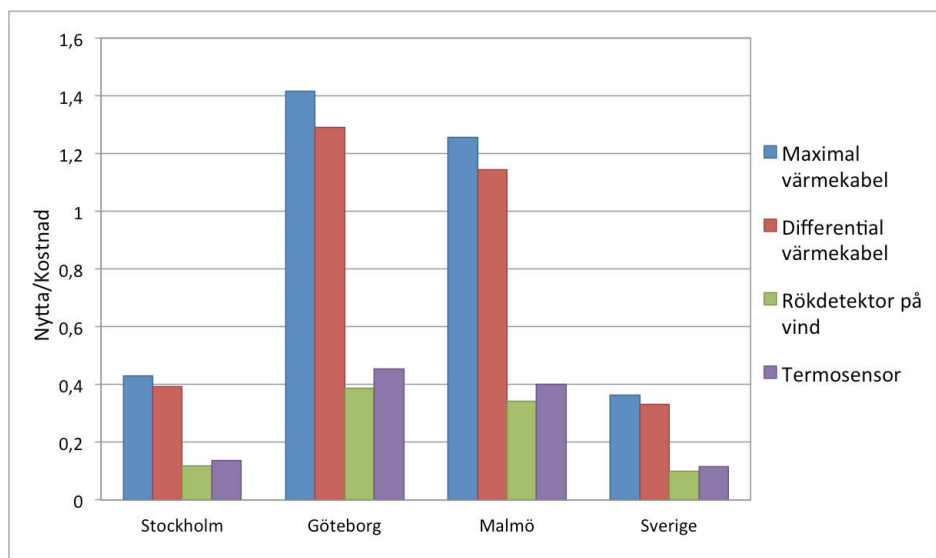
Figur 14: Utvändiga detektionssystem i referensfall 2 med 15 års livslängd.

Kostnad-nytta kvoten för system där de löpande kostnaderna utgör en större del av de totala kostnaderna är känsligare för en ändring av livslängden. En livslängd på 15 år (se Figur 14) i stället för 20 år innebär att kvoten för värmekablarna minskar med cirka 20% och med cirka 10% för rökdetektorer på vinden och termosensorer. En livslängd på 25 år innebär att kvoten ökar med knappt 15% för värmekablarna och med 6-8% för rökdetektorer på vinden och termosensorer.

När det gäller sprinklersystemet kommer en livslängd på 15 år innebära att kvoten minskar med cirka 17%. En livslängd på 25 år innebär att kvoten ökar med cirka 13%.

6.2.2 Detektionssystem

De uppskattade kostnaderna för detektionssystemen är osäkra därför undersöks det hur stor påverkan en ökning på 20% och 100% av underhålls- och installationskostnader innebär för kostnad-nytta kvoten.



Figur 15: Referensfall 2 med 20% högre underhålls-, material och installationskostnader.

För referensfall 2 innebär en 20% högre underhålls-, material- och installationskostnader att kvoten sjunker med cirka 17% (Figur 15) och dubbelt så höga kostnader innebär att kvoten halveras.

6.2.3 Skydd av takfot

Arbetskostnaden vid skydd av takfoten har bedömts vara osäker och därför undersöks det vad en förändring med 20% av enbart arbetskostnaden innebär för referensfall 2.

En minskning av arbetskostnaden med 20% innebär att kvoten för lösningen med täta takfötter och takfotsventiler ökar med 18 respektive 9%. En ökning av arbetskostnaden med 20% innebär däremot en minskning av kvoten med 13 respektive 7%.

6.3 Slutsats känslighetsanalys

I känslighetsanalysen har det studerats hur procentuella förändringar av de uppskattade värdena på fyra olika parametrar påverkar framtagna kostnad-nytta kvoter. På kostnadssidan innebär de procentuella förändringarna en mindre procentuell förändring av kostnad-nytta kvoten.

På nyttosidan har den uppskattade detektionstiden analyserats. Analysen visar att en procentuell förändring av detektionstiden får stor betydelse för kostnad-nytta kvoten för detektionssystemen med längre detektionstid. Nyttan räknas som produkten av den minskade detektionstiden och den förväntade besparingen per sekund vilken innebär att den uppskattade förväntade besparingen per sekund är en betydelsefull parameter.

Brandfrekvensen är en väldigt viktig parameter eftersom den styr hur stor den förväntade nytta blir. Inverkan av olika brandfrekvenser framkommer vid jämförelsen mellan de olika storstäderna och Sverige i de diagram som presenterats i kapitel 5. I riskområden med högre brandfrekvens kommer kvoterna att vara högre.

7 Diskussion

De framtagna kostnad-nytta kvoterna visar tydligt att den förväntade brandfrekvensen kommer att ha stor betydelse för storleken på kostnad-nytta kvoten. Beräkningar har gjorts på de tre storstäderna och som ett genomsnitt för hela Sverige för två fiktiva typbyggnader (referensfall). På stadsdels- och skolnivå kan dock brandfrekvensen vara betydligt högre och i många fall har alla de studerade tekniska lösningarna kostnad-nytta kvoter över 1 i högriskområden.

De studerade tekniska lösningarna är främst avsedda för att minska skadeomfattningen vid uppkomna bränder, således är fokus i denna rapport på att begränsa omfattande skador på skolbyggnader vilket bör skiljas från ett fokus att reducera antalet uppkomna bränder generellt.

De metoder som har använts i denna analys har fördelen att de har resulterat i en kvantitativ uppskattning av kostnad och nytta för varje system vilket gör att en relativ jämförelse kan göras mellan systemen. I analysen har det dock varit nödvändigt att göra flera antagande, uppskattningar och förenklingar eftersom dataunderlaget är begränsat och för att undvika alltför specificerade referensfall. De genomförda antagandena och uppskattningarna är överlag gjorda på den säkra sidan, d.v.s. de presenterade kostnad-nytta kvoterna är förmodligen lågt uppskattade och större nytta kan finnas för systemen än uppskattad.

Resultaten av analysen är starkt beroende av den uppskattade maximala skadan på byggnaden. Även om sannolikheten för en brand i flera brandceller är liten så är kostnaden för en sådan brand väldigt stor jämfört med de mindre bränderna (se Figur 7). Denna diskreta skala av brandens möjliga omfattningar och den stora skillnaden i kostnad mellan de diskreta stegen innebär att en liten ändring av brandfrekvens eller kostnadsuppskattning för de mest omfattande bränderna kommer få en stor betydelse för resultatet. De använda brandfrekvenserna och kostnaderna grundas dock på flera års statistik och skillnaden i kostnadsuppskattning illustreras genom de två referensbyggnaderna som använts i analysen.

Det är framförallt storleken på referensbyggnaderna som skiljer de två referensfallen. Detta innebär att kostnaden för installationen av de olika tekniska systemen blir något annorlunda. Det är dock framförallt nyttan som blir större i referensfall 2. Detta eftersom den förväntade besparingen per sekund är viktig för den uppskattade nyttan av detektionssystem. Den förväntade besparingen per sekund för referensfall 1 är cirka en fjärdedel av den förväntade besparingen per sekund för referensfall 2 och detta får en avgörande betydelse för de uppskattade kostnad-nytta kvoterna även om kostnaderna också skiljer mellan de båda referensfallen. Dessa förväntade besparingarna per sekund är framtagna för skolor och kan inte överföras till andra typer av byggnader t.ex. "brand i startutrymme" och "brand i flera rum" kommer att ha en annan innebörd i andra verksamheter.

Vid uppskattning av nyttan för skydd av takfot och sprinklersystem i skolbyggnaderna har inte samma metod som detektionssystemen använts. I stället för att kvantifiera en nytta med kortare detektionstid har istället systemen antagits begränsa branden till en viss storlek med en viss tillförlitlighet. När det gäller sprinklersystemet finns det tillgänglig statistik på hur ofta branden begränsas vilket gör resultatet trovärdigare. Däremot har det varit nödvändigt att uppskatta kostnaden för vattenskador vilken har antagits motsvara brandskadekostanden för ett utrymme. Eftersom det är troligt att branden blir begränsad till startutrymmet (t.ex. ett klassrum) bedöms detta antagande vara rimligt. Ett problem är dock att kostnader från försäkringsbolaget även innefattar kostnader till följd av

räddningstjänstens insats, som t.ex. vattenpåföring, vilket gör att kostnader för vattenskadorna räknas till viss del dubbelt. Konsekvensen av detta är att den förväntade besparingen med sprinklersystem blir något lägre i analysen än i verkligheten.

När det gäller skydd av takfot antas det att systemen med en viss tillförlitlighet kan upprätthålla brandskyddet fram till dess att räddningstjänsten är på plats. Den uppskattade tillförlitligheten baseras på statistik över olika typer av brandcellsavskiljande byggnadsdelar i rumsbränder. I detta fall handlar det om utvändiga bränder vilka inte beter sig som en rumsbrand eftersom den omgivande miljön är annorlunda. Dessutom finns det andra svaga delar i fasaden, som t.ex. fönster och dörrar, genom vilka branden kan sprida sig. Den använda tillförlitligheten på 70% är osäker och en procentuell förändring av tillförligheten ger motsvarande procentuella förändring i uppskattad nytta.

För att kunna genomföra en kvantitativ analys av kostnad och nytta av de olika systemen har det bedömts nödvändigt att använda något olika metod för att uppskatta nyttan. Detta innebär att jämförelser mellan grupperna av system (d.v.s. detektionssystem, sprinklersystem och skydd av takfot) ska göras med försiktighet. Inom grupperna av system har dock liknade antagande och förenklingar genomförts vilket innebär att en rangordning av systemen inom grupperna kan göras.

För detektionssystemen har de båda värmekablarna de högsta kvoterna. Det går dock inte att avgöra vilken värmekabel som har den högsta kvoten. De har nämligen lika stora kostnad-nytta kvoter och en liten procentuell förändring av detektionstiden (upp eller ner) kommer att innebära en stor förändring av kostnad-nytta kvoten för främst maximalvärmekabeln. För värmekablarna är nyttan relativt begränsad till att detektera brand utanför byggnaden medan det för rökdetektorer på vinden och termosensorer finns ytterligare aspekter av nytta. Rökdetektorerna kan även detektera brand som startar på vinden och termosensorerna kan även utgöra en åtgärd för att minska skadegörelse och öka tryggheten på skolan. Dessa ytterligare aspekter av nytta har inte beaktats i den genomförda analysen men måste givetvis tas med i en helhetsbedömning när en investering ska göras i ett tekniskt system. Nämnas bör även att kostnadsbilden för rökdetektorer på vinden kan vara lägre om installation sker i samband med installation av rökdetektorer i övriga delar av byggnaden.

När det gäller sprinklersystemet visar analysen att det är mindre lönsamt för den mindre skolbyggnaden (referensfall 1) även om installationskostnaden är något lägre. Orsaken till detta är att den maximala skadekostnaden är högre för den större byggnaden och detta har en stor betydelse för kvoten.

I analysen av de två lösningarna för skydd av takfoten finns det bara skillnader på kostnadssidan. Kostnaden för installation av takfotsventilerna bedöms vara högre än tätning och inklädning av takfoten i obrännbart material och därför har lösningen med takfotsventiler en lägre kvot. Problemet med tätning av takfoten är att ventilationen av vindsutrymmet måste ordnas på annat sätt än via takfoten. Detta är viktigt att beakta i en befintlig byggnad eftersom förändrade ventilationsförhållande kan resultera i mer fukt på vinden och risk för mögelskador.

8 Slutsats

Den genomförda analysen visar att tekniska system för att förebygga och begränsa kostnader av anlagda bränder i skolbyggnader är lönsamma i högriskområden. De framtagna kostnad-nytta kvoterna visar tydligt att den förväntade brandfrekvensen kommer att ha stor betydelse för storleken på kostnad-nytta kvoten. Inget av de studerade systemen kan motiveras på en nationell nivå. Bakgrunden till detta är att brandfrekvensen inte är så hög på nationell nivå att något systematiskt krav på tekniska system är motiverat. Det finns dock stora skillnader mellan olika delar i landet och mellan enskilda skolor. Skillnaderna ligger i brandfrekvens men även i exempelvis potentiell skada och individuella hot. I städer med ett högt antal bränder i skolbyggnader är dock flera av de studerade systemen motiverade och på platser med ännu större antal bränder (t.ex. på stadsdels- eller skolnivå) kommer ännu fler av de studerade systemen att vara lönsamma att installera.

Det går inte att rangordna samtliga studerade system mot varandra eftersom det finns skillnader i hur kostnad-nytta kvoterna tagits fram. Det är dock möjligt att rangordna inom de olika grupperna av system och lösningar. När det gäller detektionssystem så är de två studerade detektionskablarna överlägsna jämfört med rökdetektorer och termosensorer. I den bedömningen har dock ingen hänsyn tagits till de ytterligare nyttor som rökdetektor och termosensorer kan innebära. Vid skydd av takfoten har en lösning med tät takfot en högre kvot än då takfotsventiler används eftersom kostnaderna för en sådan installation bedöms är lägre. Kostnad-nytta kvoten för sprinklersystem har generellt bedömts vara mindre än 1 även i städer med hög brandfrekvens.

Referenser

1. Klason, L.-G., Johansson, N., & Andersson, P., *Dimensionerande brand: anlagda skolbränder*, rapport 2010:15, SP Brandteknik, Borås, 2010.
2. Klason, L.-G. & Johansson, N., *Fyrverkeripjäser som antändning vid bränder*, rapport 2011:05, SP Brandteknik, Borås, 2011..
3. Johansson, N. & Klason, L.-G., *Inventering av tekniska system avsedda att förebygga och begränsa konsekvenser av anlagd brand i skolor och förskolor*, rapport 7033, avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2011.
4. Johansson, N. & van Hees, P., *Detektering av utvändiga bränder - Resultat från små- och storskaliga experiment*, avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2012.
5. van Hees, P. & Johansson, N., *Fallstudier – Vilka tekniska faktorer spelar en roll vid anlagd brand i skolor?*, rapport 3148, avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2009.
6. Mattson, B., *Kostnads-nyttoanalys, värdegrunder, användbarhet, användning*, Räddningsverket, Karlstad, 2010.
7. Jaldell, H., *Kostnadsnyttoanalyser och evidens av brandskydd i bostäder - brandvarnare och handbrandsläckare*, Karlstads Universitet, 2011.
8. Mattson, B., et al., *Lagom brandsäkert - Kostnads- nyttoanalys och jämförelser mellan länder*, Räddningsverket, Karlstad, 1994.
9. Jaldell, H., *Kostnadsnyttoanalyser - Sprinkler i särskilda boenden för äldre*, Myndigheten för Samhällskydd och Beredskap, Karlstad, 2012.
10. Svenska Brandskyddsföreningen, *Regler för automatisk brandlarmanläggning*, 2001.
11. Andersson, P., Persson, H & Tuovinen, H., *Råd för installation av värmedetektionskablar på ytterfasad*, SP Brandteknik, Borås, 2006.
12. Johansson, N., Wahlqvist, J., & van Hees, P., *Detection of a Typical Arson Fire Scenario – Comparison Between Experiments and Simulations*. Journal of Fire Protection Engineering, 2012. **22**(1): p. 23-44.
13. Juås, B., *Tidsfaktorns betydelse vid räddningstjänstens insatser*, Karlstads Universitet, 1995.
14. Jaldell, H., *Tidsfaktorns betydelse vid räddningsinsatser – en uppdatering av en samhällsekonomisk studie*, Räddningsverket, Karlstad, 2004.
15. Svenska Brandskyddsföreningen, *Brandskadestatistik*: http://www.brandskyddsforeningen.se/press/statistik/brandskadestatistik_2010 . [hämtad 2012-11-05]
16. Bukowski, R.W., Budnick, K.E. & Schemel, C.F., *Estimates of the Operational Reliability of Fire Protection Systems*, International Conference on Fire Research and Engineering, Society of Fire Protection Engineers, Chicago, 1999.
17. Liu, Z., et al., *An Overview of the International Road Tunnel Fire Detection Research Project*, 10th Fire Suppression & Detection Research Application Symposium, Orlando, 2006.
18. Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, *IDA - Informationssystem för statistik och analys*, 2012.
19. Skolverket., *Statistik 2012*: <http://www.skolverket.se/statistik-och-analys/statistik> [hämtad 2012-11-06]
20. Svenska Brandskyddsföreningen, *Regler för automatisk vatten sprinkleranläggning*.
21. Hall, J.R., *U.S. Experience with sprinklers and other automatic fire extinguishing equipment*, National Fire Protection Agency, Quincy, USA, 2010..
22. Andersson, B., et al., *Vilka skolor har en ökad risk för anlagd brand?*, Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, Karlstad, 2010.

23. Karlsson, B. & Quintiere, J.G. *Enclosure Fire Dynamics*, CRC Press. Boca Raton, USA, 1999
24. Nystedt, F., *Verifying Fire Safety Design in Sprinklered Buildings*, avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2011.
25. Adl-Zarrabi, B., *Influence of temperature, moisture, salt, cleaner compounds and rainwater on the expansion of intumescent fire seals*, SP Brandteknik, Borås, 2007.
26. Johansson, N., et al., *Behaviour of an Intumescent System Subjected to Different Heating Conditions*, Fire and Materials Conference, San Fransisco, 2013.
27. Boverket, *Konsekvensutredning - för revidering (BFS 2011:26) av avsnitt 5 Brandskydd i Boverkets byggregler, BBR (BFS 2011:6) - för allmänt råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd (BFS 2011:27)*, Boverket, Karlskrona, 2011.
28. Bygghemma, *Ventilationshuv för undertak T-Emballage Mögelstopper*:
<http://www.bygghemma.se/utomhus/tak/takpannor-och-tillbehor/tillbehor/ventilationshuv-for-undertak-t-emballage-mogelstopper/p-172000> [hämtad 2012-11-05];
29. Tobin, L. & Samuelsson, I., *Hur ska vindar ventileras? Bygg & Teknik*, Byggteknik förlaget, 2004.

Bilaga 1 – IDA

För både brand inomhus och utanför byggnaden har statistik över bränder i skolor och förskolor från MSB:s databas IDA plockats ut mellan 2000 och 2011.

Brand inomhus

För brand inomhus har följande kategorier exkluderats från statistiken i IDA databasen:

- Balkong/altan,
- Balkong/loftgång
- Djurstall
- Fristående förråd/uthus
- Fristående garage
- Höupplag/loge/lada
- Inbyggt garage
- Lastbrygga
- Radgarage
- Silo
- Skorsten
- Utanför byggnad
- Utomhus
- Vind

Brand utomhus

För brand utomhus har enbart kategorin “utanför byggnad” inkluderats.