

TAKTISK UTFORMNING AV RÄDDNINGSSINSATSER -EN SIMULERINGSMODELL

RAPPORT RÄDDNINGSTJÄNSTAVDELNINGEN R53-161/96

**TAKTISK UTFORMNING AV RÄDDNINGSSINSATSER
- EN SIMULERINGSMODELL**

Rapporten har utarbetats av
Stefan Svensson, Räddningstjänstavdelningen, tfn 054 - 10 41 28

För innehållet svarar författaren

1996 Statens räddningsverk, Karlstad
Räddningstjänstavdelningen
ISBN 91-88890-51-1

Beställningsnummer R53-161/96
1996 års utgåva

Tactical outlining of fire fighting operations - a simulation model

Stefan Svensson

Abstract

This report describes a model for tactical outlining of fire fighting operations. The model consists of two components, an outer component which describes the relations between accident - fire fighting operation (rescue operation) - results, using five resulting parameters, and an inner component which describes the fire fighting operation (the rescue operation) as a system of methods (an entirety of measures) and their relationship, in time and space. The main purpose of the work is to form a basis, consisting of a model which can be used as a tool for simulation of fire fighting operations, in order to study the significance of fire protection measures during operations and to try out different solutions to tactical problems. Simulation of the model can also be used during training, for dimensioning of fire fighting/rescue forces and for planning of building areas. These applications would give results such as needed capacity of the fire fighting/rescue forces, what types of buildings that can be accepted in an area and needed level of fire protection in this area. The model can also be used as a (mental) tool for command and control during fire fighting/rescue operations. The report also includes an example on how fire fighting operations can be simulated, using simple mathematical relations.

Keywords: fire fighting operation, tactics, model, mathematical model, simulation

Ett stort tack till

Göran Holmstedt, Institutionen för Brandteknik LTH

Lars Fredholm, Militärhögskolan Karlstad

Magnus Qvant, Räddningskolan Revinge

Martin Olander, Karlstads Brandförsvär

Lars Hedström, Södertörns Brandförsvärsförbund

Jan Ahlberg, Räddningsverket

Elisabeth Söderberg, Räddningsverket

Björn Albinsson, Räddningsverket

för deras värdefulla synpunkter och kommentarer.

Taktisk utformning av räddningsinsatser - en simuleringsmodell

<i>Sammanfattning</i>	5
<i>Summary in English</i>	7
<i>Inledning</i>	9
<i>Kommunal räddningstjänst</i>	11
<i>Räddningstaktik</i>	15
<i>En generell modell av räddningsinsatser</i>	17
Modellens yttre del	17
Modellens inre del	19
<i>Metoder vid räddningsinsatser</i>	23
<i>Simuleringsmodeller</i>	25
Stokastisk simuleringsmodell	25
Deterministisk simuleringsmodell	25
<i>Exempel på simulering av en räddningsinsats</i>	27
<i>Diskussion</i>	37
Avslutning	40
<i>Litteraturförteckning</i>	41
<i>Bilaga; Exempel i Simulink[®] för en enkel räddningsinsats</i>	43

Sammanfattning

Detta arbete ingår i ett större projekt, "Brandförebyggande åtgärder som taktisk resurs under räddningsinsats", vilket är del av forskarutbildning.

I rapporten beskrivs en generell modell av räddningsinsatser. Modellen består i huvudsak av två delar, en yttre del som beskriver förhållandet olycka - räddningsinsats - utfall, samt en inre del som beskriver räddningsinsatsen som ett system av metoder (eller en helhet av åtgärder) och deras inbördes förhållande, i tid och rum.

Modellens yttre del beskrivs med hjälp av de fem utfallsparametrar; i) antalet döda, ii) antalet skadade, iii) storleken på egendomsskadan, iv) storleken på miljöpåverkan samt v) kostnaderna för insatsen. Vidare sägs att det räddningstaktiska problemet består i att utforma räddningsinsatsen så att utfallsparametrarna minimeras, med hänsyn till den aktuella insatsen. De olika utfallsparametrarna ska därvid viktas på något sätt. Till exempel bör antalet döda normalt viktas högst medan egendomsskadan vid samma insats bör viktas lägre. Vid vissa insatser kan det vara mycket svårt att vikta till exempel egendomsskadan mot miljöskadan. Viktningen kan variera, i såväl tid som rum, under en och samma räddningsinsats.

Modellens inre del beskriver räddningsinsatsen som en helhet av åtgärder eller metoder. Varje sådan metod kan beskrivas i rimligt enkla termer av mål och medel.

Avsikten är i första hand att använda den beskrivna modellen som ett verktyg för att genom simulering studera bland annat betydelsen av brandförebyggande åtgärder för genomförandet av räddningsinsatser. Genom simulering bör det därvid gå att prova olika taktiska lösningar och jämföra till exempel betydelsen av automatisk vattensprinkler mot räddningsstyrkans kapacitet med avseende på släckning.

Tillämpning av modellen och simuleringar av modellen kan tänkas ske också inom en rad andra områden. Ett sådant område är vid utbildning, där eleven kan prova olika taktiska lösningar och jämföra resultaten från simuleringar under olika förutsättningar. Eleven skulle därefter, under vissa strikta antaganden, kunna prova och verifiera olika taktiska lösningar som provats genom simulering, vid övning. Ett annat område är vid samhällsanalyser av olika slag. Bland annat skulle man genom simulering kunna erhålla ett verktyg/underlag för dimensionering av kommunens räddningsstyrkor. Ett annat exempel på samhällsanalys, kan vara att använda simuleringen som ett verktyg i kommunens planering för hur olika områden ska bebyggas. Därvid skulle resultat erhållas, såsom vilka typer av byggnader som kan accepteras eller vilka skyddssystem som erfordras inom ett visst geografiskt område, baserat bland annat på de befintliga räddningsstyrkornas kapacitet.

Modellen kan också användas som ett (mentalt) verktyg för ledning av räddningsinsatser, där ledning i huvudsak omfattas av verksamheterna planering, genomförande och uppföljning.

Förhoppningen är att utifrån komplicerade stokastiska/deterministiska modeller för hur räddningsinsatser utformas, på sikt finna generella "handboksmetoder" för analytiska lösningar på taktiska problem, dvs generella, fältmässiga metoder för att lösa taktiska problem. Syftet skulle därvid vara att dels erhålla bättre kontroll över räddningsinsatserns utformning och dels förbättra resultatet (utfallet) av räddningsinsatser.

Rapporten innehåller också ett exempel på hur räddningsinsatser kan simuleras, med hjälp av enkla matematiska samband.

Summary in English

This work is a part of a major project, "Fire Protection Measures as Tactical Resource During Fire Fighting Operations".

In the report a model for tactical outlining of fire fighting operations is described. The model consists of two components, an outer component which describes the relations between accident - fire fighting operation (rescue operation) - results, and an inner component which describes the fire fighting operation (the rescue operation) as a system of methods (an entirety of measures) and their relationship, in time and space.

The outer component of the model is described with five resulting parameters; i) number of dead, ii) number of injured, iii) the size and extent of the property damage, iv) the size and extent of the environmental damage and v) the cost for the operation. It is also stated that the tactical problem is to outline the operation in such a way that the resulting parameters are minimized. The resulting parameters should then be weighted in some way. As an example the parameter "number of the dead" should generally be weighted as most important. During some operations it might be difficult to weigh the size and the extent of the property damage against the size and the extent of the environmental damage. The weighting can also vary in time and space, during an operation.

The inner component of the model describes the operation as an entirety of measures/methods. Each such measure/method can be described in reasonably simple terms of objects and means.

The main purpose is to use the model as a tool for simulation of fire fighting operations, in order to study the significance of fire protection measures during operations. Simulation should be a valuable tool to try out different solutions to tactical problems. As an example it should be possible to compare sprinkler systems and the capacity of the rescue force.

Other applications are also possible. Simulation of the model can be used during training, where the student can try out different solutions to tactical problems and also to verify the results from such simulations during live fire training.

Two other examples where simulation of the model can be used are also mentioned in the report. The first one is about dimensioning of fire fighting/rescue forces and the second is about planning of building areas. These applications would give results such as needed capacity of the fire fighting/rescue forces, what types of buildings that can be accepted in an area and needed level of fire protection in this area.

The model can also be used as a (mental) tool for command and control during fire fighting/rescue operations.

From complex stochastic and deterministic models of fire fighting/rescue operations, the expectations are to find and develop general analytical solutions to tactical problems. The aim would then be on one hand to obtain better control of fire fighting/rescue operations and on the other hand to improve the results from such operations.

The report also includes an example on how fire fighting operations can be simulated, using simple mathematical relations.

Inledning

Under våren 1994 initierade Räddningsverket tillsammans med Institutionen för Brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola, ett projekt med titeln "Brandförebyggande åtgärder som taktisk resurs under räddningsinsats". Projektet är del av forskarutbildning.

Syftet med projektet är att studera förutsättningarna för utformningen av räddningsinsatser med utgångspunkt i så kallade brandförebyggande åtgärder, dvs åtgärder som vidtas i byggnader i syfte att begränsa brands uppkomst, att släcka brand eller att begränsa konsekvenserna av brand. I huvudsak avses i projektet byggnadstekniska brandskyddsåtgärder. Avsikten är att eventuellt finna generella metoder för att utnyttja sådana brandförebyggande åtgärder som resurs i samband med räddningsinsatser.

I en förstudie inom ramarna för projektet (Svensson, 1996), påtalades bland annat att komplexa räddningsproblem normalt löses genom ett begränsat antal, välkända, lösningsmönster. Slutsatserna bygger på Kleins modell för igenkänningsbaserat beslutsfattane (Klein, 1992). En annan av förstudiens slutsatser var att fortsatt arbete bör vara inriktat mot att lösa taktiska problem analytiskt. Med detta avses att med hjälp av analytiska metoder försöka finna alternativa lösningar på taktiska problem.

Denna rapport beskriver en modell för räddningsinsatsers taktiska utformning samt diskuterar hur en sådan modell kan användas för att finna analytiska lösningar på taktiska problem. Sådana analytiska lösningar innefattar också brandförebyggande åtgärder. Rapporten innehåller också ett enkelt exempel, där den beskrivna modellen används för att simulera en räddningsinsats.

Avsikten är i första hand att använda den beskrivna modellen som ett verktyg för att genom simulering studera bland annat betydelsen av brandförebyggande åtgärder för genomförandet av räddningsinsatser. Genom simulering bör det därvid gå att prova olika taktiska lösningar och jämföra till exempel betydelsen av automatisk vattensprinkler mot räddningsstyrkans kapacitet med avseende på släckning.

Rapporten är i indelad i sju avsnitt, enligt följande.

- Avsnitt 1, "Kommunal räddningstjänst", gör ett försök att beskriva den komplexitet räddningsinsatser innefattar.
- Avsnitt 2, "Räddningstaktik", ger en bakgrund till det system modellen ska representera.
- Avsnitt 3, "En generell modell av räddningsinsatser", beskriver modellen.
- Avsnitt 4, "Metoder vid räddningsinsatser", ger en beskrivning av vad som avses med metodbegreppet.
- Avsnitt 5, "Simuleringsmodeller", beskriver övergripande simulering och simuleringsmodeller.
- Avsnitt 6, "Exempel på simulering av räddningsinsats", ger ett enkelt beräkningsexempel på hur den beskrivna modellen kan användas för att simulera räddningsinsatser.
- Avsnitt 7, "Diskussion", diskuterar behovet och nyttan av modellen, i huvudsak utifrån kontrollbegreppet.

Kommunal räddningstjänst

Sveriges kommunala räddningstjänster utför tillsammans under ett år cirka 90000 räddningsinsatser, varav cirka 20000 är mot bränder i byggnader (Räddningsverkets statistik för åren 1988 - 1994). Normalt syns inte den komplexitet som ligger bakom räddningsinsatsen. Det som syns består av en mängd fordon och personal, en byggnad som brinner och förtvivlade människor som skriker på hjälp. Bakom denna fasad finns en organiserad massa av såväl människor som maskiner. Människorna är utbildade och tränade att ta hand om olyckor och maskinerna är ofta speciellt framtagna för att fungera som hjälpmedel vid olyckor. För den oinvigde kan det dock te sig som om händelser sker utan ordning, i fel ordning eller som om det inte händer något alls.

Räddningsinsatsen är vad som inom systemanalysen kallas ett komplext system (Agrell, 1989). Komplexiteten består bland annat i följande faktorer.

- Storleken på systemet

Många inblandade gör att flera, ibland motverkande, handlingar pågår samtidigt. Begreppet ”storlek” kan också innebära såväl en geografisk aspekt som en tidsaspekt, i synnerhet i samband med räddningsinsatser.
- Interdisciplinära samband

Systemet är tvärvetenskapligt, dvs för att lösa problem krävs insatser från flera olika vetenskapsgrenar. Dessa olika vetenskapsgrenar kan omfatta såväl tekniska som samhällsvetenskapliga och humanistiska områden.
- Hög ordning

Systemet har många tillståndsvARIABLER. TillståndsvARIABLENA beskriver systemets tillstånd i varje tidpunkt. Systemets olika delar har olika tillståndsvARIABLER för att beskriva tillståndet i dessa olika delar.
- Återkopplingslingor

Information i olika delar av systemet återförs till andra delar av systemet. Exempel kan vara att kunskap om resultaten från olika handlingssätt, påverkar valet av handlingssätt (i en viss situation).
- Tidsfördröjningar

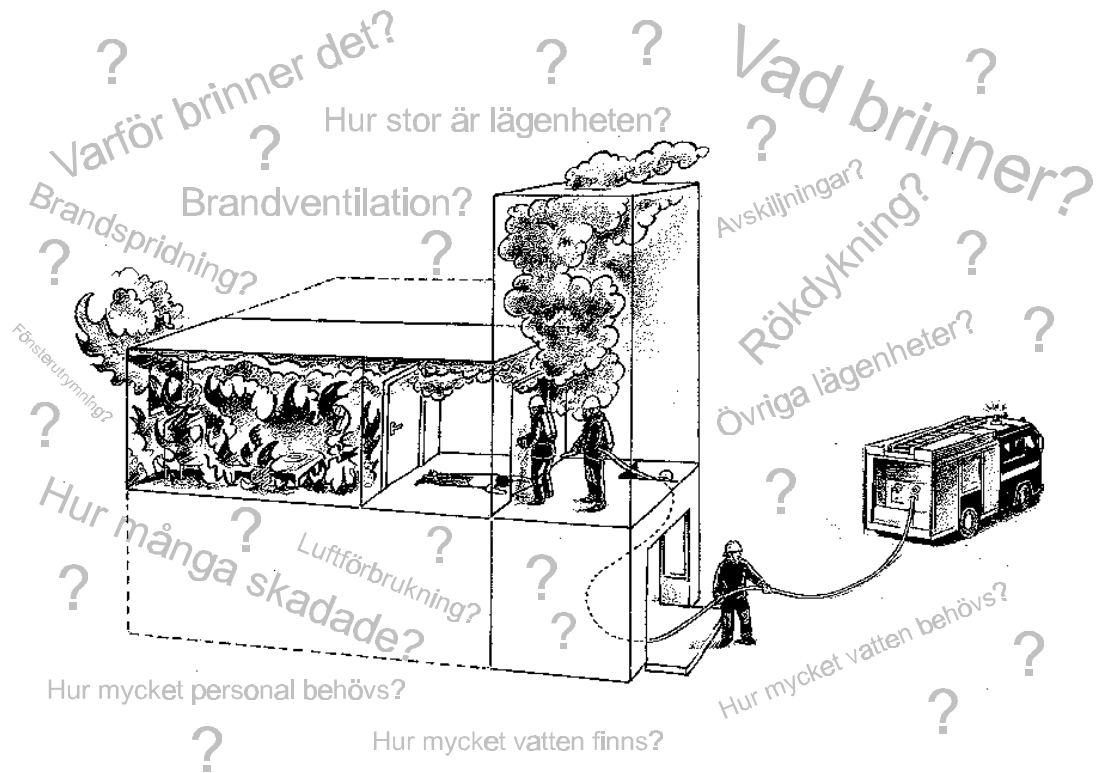
Det råder dynamiska, dvs tidsberoende, samband mellan storheter i systemet.
- Olinjära samband

Det råder olinjära samband mellan storheter i systemet. Detta innebär bland annat att storheter inte alltid är direkt beroende av andra storheter, vilket kan göra att systemets förlopp i princip är omöjligt att förutse.
- Stokastiska element

Bristande information om hur olika delar av systemet interagerar, erfordrar statistiska beskrivningar av samband mellan storheter.

Vanliga egenskaper i komplexa system är bland annat att dom har en inneboende okänslighet mot förändringar, dvs dom är relativt tröga. Det kan dock finnas känsliga punkter i systemet, punkter där små variationer i indata kan ge stor påverkan på systemet. I komplexa system kan också kort- och långsiktiga effekter vara paradoxalt

motsatta. Under räddningsinsatser kan detta komma till uttryck till exempel då man låter vissa delar av en fastighet brinna av under kontrollerade former, i syfte att begränsa den totala skadan.



Figur 1; Räddningsinsatsen, ett komplext system.

Den kommunala räddningstjänstens operativa roll består i att planera, organisera och utföra räddningsinsatser vid olyckshändelser eller överhängande fara för olyckshändelser för att hindra eller begränsa skador på människor, egendom eller i miljön. Inom kommunen ska det finnas en räddningskår med en eller flera räddningsstyrkor, som genomför de räddningsinsatser kommunen har att svara för.

Var och en av alla räddningsinsatser som utförs, utformas och genomförs enligt vissa mönster, mönster som normalt kännetecknas av igenkännande och rutin (Svensson, 1996). Så har Klein (1992), genom att studera bland annat brandbefäl, arbetat fram en deskriptiv modell för så kallat igenkänningsbaserat beslutsfattande (recognition-primed decision making). Detta sätt att utforma räddningsinsatser har många fördelar. Bland annat är agerandet adaptivt samt att det tillåter erfarna beslutsfattare att agera snabbt. Igenkännande är också effektivt i situationer där tiden är kritisk samt där förhållandena är labila.

Igenkänningsbaserat beslutsfattande (eller ett igenkänningsbaserat sätt att utforma räddningsinsatser) begränsar dock utformningen till kända och väl beprövade lösningsmönster. Den eller de som fattar beslut om och utformar insatsen kan ha svårt att

finna nya metoder eller lösningsmönster som, i något avseende, är effektivare än de kända och väl beprövade mönstren.

Motsatsen till att utforma räddningsinsatser enligt ett igenkänningsbaserat tillvägagångssätt, är att utforma insatserna analytiskt (Svensson, 1996). Detta sätt att agera går i huvudsak ut på att man bryter ned hela det system som räddningstjänstsituationen består av - syfte, resurs och olycka - i dess minsta beståndsdelar. Därefter identifierar man samband mellan dessa delar, värderar de olika delarna och slutligen sätts beståndsdelarna samman till en räddningsinsats. Den analytiska metoden bygger på ingenjörsvetenskap vilket bland annat innebär att man söker finna de villkor som gör att systemet på ett optimalt sätt uppfyller vissa kriterier.

Det räddningstaktiska problemet, dvs hur insatsen ska utformas för att nå vissa syften, kan i huvudsak sägas bestå av att optimera, dvs att på bästa sätt, utnyttja de tillgängliga resurserna för att hindra eller begränsa skador. Ett sätt att arbeta analytiskt och jämföra olika analytiska lösningar på taktiska problem, är genom simulering. Simulering innebär att man med hjälp av modeller av verkligheten "producerar" ett visst utfall i en dator. Simulering kan användas för att prova och studera olika frågeställningar och lösningar på problem som skulle vara svåra att prova under verkliga förhållanden.

För att simulera ett system krävs en modell av systemet, som på ett riktigt sätt beskriver systemet, dess inre och yttre egenskaper samt förhållanden mellan dessa egenskaper. Kvaliteten på modellen är avgörande för resultatet av simuleringen. För att bygga en modell av en situation som ska simuleras, bör situationen kunna delas in på ett sådant sätt att de viktigaste egenskaperna faller ut och kan beskrivas i rimligt enkla termer. Det krävs också god kunskap om och insikt i systemet och dess struktur.

Systemet som modellen ska beskriva, består av såväl människor som av tekniska system. Syftet med systemet kan sägas vara att det ska kontrollera andra system. Dessa andra system representeras av olika typer av olyckor, till exempel bränder, kemikalieutsläpp eller trafikolyckor.

En bakgrund till det system som modellen ska representeras ges i nästa avsnitt.

Räddningstaktik

Vid varje räddningsinsats ska det, enligt räddningstjänstlagen (1986:1102), finnas en räddningsledare. Räddningsledaren leder och ansvarar för en räddningsinsats där en eller flera räddningsstyrkor deltar. Under denne kan det finnas chefer som leder olika delar av räddningsinsatsen (Räddningsverket, 1996). Räddningsledarens uppgifter består bland annat i att orientera sig på olycksplatsen, göra bedömningar om läget, fatta beslut om hur problemet (olyckan) ska hanteras samt att omsätta detta eller dessa beslut till verksamhet. Edling et al (1993) skriver att räddningsledaren, utifrån räddningstjänstlagstiftningen, svarar för insatsen och bestämmer vilka styrkor och andra resurser som räddningsorganen ska använda i den aktuella insatsen. Räddningsledaren avgör också hur räddningsarbetet ska bedrivas. Det gäller för den som leder en räddningsinsats att klargöra problem, bedöma utvecklingen av händelseförloppet, utforma målen för insatsen samt att organisera verksamheten.

En central uppgift under räddningsinsatsen kan sägas vara att utforma denna i tid och rum, med hänsyn taget till en mängd faktorer. Dessa faktorer benämns ofta skadeplassfaktorer och de viktigaste faktorerna benämns kritiska faktorer (Brunacini, 1985).

Räddningstaktik kan sägas vara hur räddningsinsatser utformas. Fredholm (1991) genomförde en studie om räddningstaktik, varvid han fann att begreppet taktik består av tre grunddelar, i) ett syfte eller överordnat mål, ii) resurstillgång, och iii) skademiljöns (olyckans) utbredning i tid och rum. Dessa grunddelar kan enligt Räddningsverket (1992) beskrivas som:

- syftet med räddningstjänst
 - Avser bland annat de lagar, förordningar, föreskrifter, moraliska/etiska regler, doktriner m m, som styr och reglerar vad räddningstjänsten syftar till i en viss situation.
- resurserna
 - Innefattar till exempel räddningsstyrkans sammansättning och personalens kompetens, teknik till förfogande, förebyggande åtgärder m m.
- skadans art
 - Avser bland annat olycksorsak, olyckans utbredning, dess förlopp, m m.

Enkelt uttryckt kan detta beskrivas som att alla räddningstjänstsituationer, dvs sådana situationer där den kommunala räddningstjänsten normalt gör insatser, består av syfte, resurs och skada.

Fredholm identifierar också fyra dimensioner av det som han kallar det räddningstaktiska problemet,

- identifiera räddningsproblem,
 - dvs att analysera och strukturera den situation man hamnat i. Definiera behoven av räddningstekniska åtgärder (räddningstekniska problem). Definiera behoven av resurser (resursmässiga problem). Definiera behov av verkställighet (lednings-, organisations- och samordningsproblem). Löpande följa upp och analysera läget.

- utforma mål, mål- och resurshierarkier samt samordna dessa,
dvs att formulera konkreta och realistiska mål i förhållande till skadestyrning och resurser (ögonblickligen gripbara och över tid frambringade).
- förutse händelseutvecklingen,
dvs att skriva fram skeendet i tid och rum som underlag för beslut. Det gäller både på skadestyrningen och tillgången på resurser.
- samordna insats personellt och resursmässigt.
dvs att organisera ledning, dvs åstadkomma att en mängd aktörer agerar samfällt i enlighet med en överordnad intention.

Med utgångspunkt i dessa problemdimensioner säger Fredholm att:

”...räddningstaktik blir mönstret av tänkande och agerande för att utifrån det övergripande syftet att hindra och begränsa skador på människor eller egendom eller i miljön nå så bra insatsresultat som möjligt.”

En god taktisk utformning innebär att agera så att ett så bra resultat som möjligt uppnås med tillgängliga resurser i den i tid och rum utbredda skademiljön. Räddningstaktik är enligt detta betraktelsesätt hur man utformar räddningsinsatser. Fredholm skriver också om ett så kallat taktisk ideal:

"Räddningstaktik bör utformas som en helhet av på ett så optimalt sätt som möjligt i tid och rum lokalt insatta och i förhållande till situationens krav överstarka resurser."

Strävan är att utforma räddningsinsatser optimalt, dvs på bästa sätt, med hänsyn till situationens krav och tillgängliga resurser.

En generell modell av räddningsinsatser

En modell av räddningsinsatsen ska beskriva vissa grundläggande egenskaper. Omfattande studier av kommunal räddningstjänst, räddningsinsatser, taktik mm, har givit som resultat att räddningsinsatsen bör modelleras och studeras i två huvuddelar, en yttre del som beskriver förhållandet olycka - räddningsinsats - utfall, samt en inre del som beskriver räddningsinsatsen som ett system av metoder (eller en helhet av åtgärder) och deras inbördes förhållande, i tid och rum.

Modellens yttre del

Operativ räddningstjänst avser att genom räddningsinsatser hindra eller begränsa skador på människor, egendom eller i miljön. Dessa räddningsinsatser ska genomföras med hänsyn till

- behovet av ett snabbt ingripande,
- det hotade intressets vikt,
- kostnaderna för insatsen samt
- omständigheterna i övrigt.

Normalt larmas räddningsstyrkan genom ett alarmeringsföretag, som mottar larm genom till exempel telefonsamtal eller automatiska brandlarm, efter det att en olycka inträffat. Avgörandet om vad som är räddningstjänst genomförs i praktiken av högsta uttryckande befäl efter samråd med alarmeringsföretaget då larmet når räddningsstyrkan. Arbetet med att konkret utforma räddningsinsatsen påbörjas normalt omedelbart därefter.

Antag att en olycka som inträffar genererar en viss skada, vilken kan sägas bestå av fem utfallsp parametrar: antalet döda, antalet skadade, en viss egendomsskada, en viss miljöskada samt kostnaderna för insatsen. Antag att utformningen av räddningsinsatsen påbörjas då räddningstjänsten larmas, dvs vid tiden $\tau = 0$. Då är

antalet döda = d_0 ,

antal skadade = s_0 ,

storleken av egendomsskadan = e_0 ,

storleken på miljöpåverkan = m_0 samt

kostnaderna för insatsen = $k_0 = 0$.

Genom att välja tiden $\tau = 0$ då räddningstjänsten larmas, förbises det faktum att en stor del av utformningsarbetet redan är utfört. Detta kan ha skett genom till exempel insatsplanering eller planer för sammansättningen av första uttryckande räddningsstyrka. Detta kan dock kompenseras för i modellens inre del, se nästa avsnitt.

För denna studie görs vissa begränsningar i utfallsp parametrarnas omfattning. Bland annat så innefattar parametrarna antalet döda samt antalet skadade inte någon medicinsk behandling utöver de primära livräddande åtgärder som utförs av den kommunala räddningstjänsten, i huvudsak bortförande från livshotande läge. De innefattar inte

heller någon ytterligare medicinsk bedömning utöver bedömningen död/skadad. Eventuellt kan en enkel bedömning/bestämning av skadan, till exempel på en skala 0 - 100% (oskadad - död), införas i de fall denna kan beräknas utifrån till exempel påverkan från brand (brandgaser, strålning etc.).

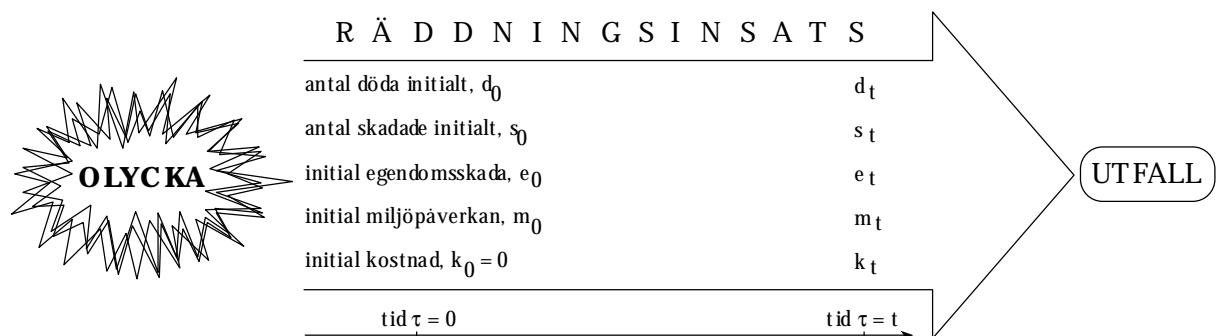
Kostnaderna för insatsen består endast av de kostnader som själva räddningsinsatsen genererar, till exempel kostnader för använd slang, förbrukat släckvatten eller förbrukat bränsle till fordon, dvs rörliga kostnader. Kostnaden kan dock beräknas på ett flertal sätt. Kostnadsparametern bör dock relateras till kriterierna för räddningstjänst och framför allt till när räddningstjänsten kan avslutas.

Enligt prop.1985/86:170 ska en räddningsinsats pågå tills det inte föreligger fara för ytterligare skada eller för att en inträffad skada förvärras. Räddningsinsatsen kan avslutas när riskerna för ytterligare skada inte kan motiveras genom ytterligare räddningsåtgärder eller när risken för ytterligare skador är så obetydliga att det inte är motiverat att fortsätta räddningsarbetet. Under själva räddningsarbetet tas, av praktiska skäl, väldigt sällan hänsyn till kostnaderna för insatsen. I slutskedet av räddningsarbetet kan dock kostnaden vara direkt avgörande för när arbetet kan eller ska avslutas.

Räddningstjänsten utför en räddningsinsats som genererar ett visst utfall. Utfallet består vid tiden $\tau = t$ (då räddningstjänsten är avslutad) av utfallsparametrarna

- antalet döda = d_t ,
- antalet skadade = s_t ,
- storleken på egendomsskadan = e_t ,
- storleken på miljöpåverkan = m_t samt
- kostnaderna för insatsen = k_t .

Se figur 2 nedan.



Figur 2; En modell av räddningsinsatsen; den yttre delen som beskriver förhållandet olycka - räddningsinsats - utfall.

Det räddningstaktiska problemet består i att utforma räddningsinsatsen så att utfallsparametrarna minimeras, med hänsyn till den aktuella insatsen. De olika utfallsparametrarna ska därvid viktas på något sätt. Till exempel bör antalet döda nor-

malt viktas högst medan egendomsskadan vid samma insats bör viktas lägre. Vid vissa insatser kan det vara mycket svårt att vikta till exempel egendomsskadan mot miljöskadan. Viktningen kan variera, i såväl tid som rum.

Vissa arbeten med att värdera miljöskadan har genomförts, vilket kan vara värt att nämna i sammanhanget. Bland annat genomförde SP (Persson et al, 1995) en studie i syfte att kvantifiera utsläpp från bränder i byggnader och bilar. Som underlag för denna kvantifiering användes bland annat typisk mängd brännbart material i villa/radhus, lägenhet, skola samt i bilar. Dessa mängder kombinerades med resultat från såväl storskaliga mätningar som mätningar i konkalorimeter över utbyten, i kg/kg, för CO₂, CO, NO_x, HCN, HCL samt SO₂. Syftet med resultatet var att få en uppskattning över mängden föroreningar från bränder till atmosfären under ett år. Motsvarande beräkningar/uppskattningar bör också gå att genomföra under ett enskilt brandförlopp.

Utfallsp parametrarna är inte avsedda att betraktas som absoluta tal. Avsikten är endast att jämföra olika simuleringar med varierande förutsättningar.

Modellens inre del

Modellen ska också beskriva räddningsinsatsen som en helhet av åtgärder. Räddningsinsatsen är därvid ett dynamiskt system, bestående av ett antal olika metoder som ska tillämpas och kombineras på lämpligt sätt. Med ett dynamiskt system avses, enligt Brehmer (1995a) att

- en serie moment är nödvändiga för att nå ett mål, dvs att uppnå och behålla kontrollen i en situation är en kontinuerlig process med flera moment/metoder, där vart och ett moment endast kan finnas i sitt sammanhang,
- dessa moment är inte oberoende, dvs senare moment är påverkade av tidigare genomförda moment, vilka i sin tur kommer att påverka senare moment,
- underlaget för momenten förändras, dels autonomt (av sig självt) och dels som en följd av tidigare moment,
- momenten (serien av moment) utförs i realtid.

En dynamisk situation består således av en situation med ett eller flera problem som ska lösas. För att lösa detta eller dessa problem krävs flera moment i sekvens som är riktade mot samma mål (att lösa problemet/problemen) och att beslutsfattaren får information om delmoments inverkan på omvärlden. Det finns därför möjligheter att i senare moment korrigera eventuella negativa konsekvenser av tidigare moment/metoder i sekvensen. Dessutom förändras situationen med tiden både som en följd av genomförda moment och autonomt, dvs av sig självt. I sammanhanget kan "moment" likställas med "metod".

Enkelt uttryckt är ett dynamiskt system ett tidsberoende system.

En metod är i sammanhanget ett beskrivbart förfarande för att uppnå något. Metoden kan till exempel vara livräddning genom fönster med hjälp av höjdfordon eller släckning av rumsbrand genom rökdykning (så kallad invändig brandsläckning). Varje sådan metod har en måldel och en meddel, vilka kan beskrivas i rimligt enkla termer.

Exemplet med livräddning med hjälp av höjdfordon blir i dessa termer

mål: rädda nödställd ur fönster (innan kritiska förhållanden uppstår),

medel: höjdfordon (med viss kapacitet),

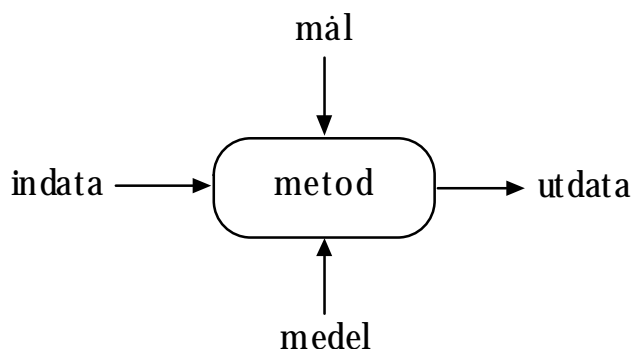
fönster (med viss kapacitet),

1 brandman (viss kompetens/kapacitet),

(andningsapparat),

(annan nödvändig/önskvärd utrustning med viss kapacitet).

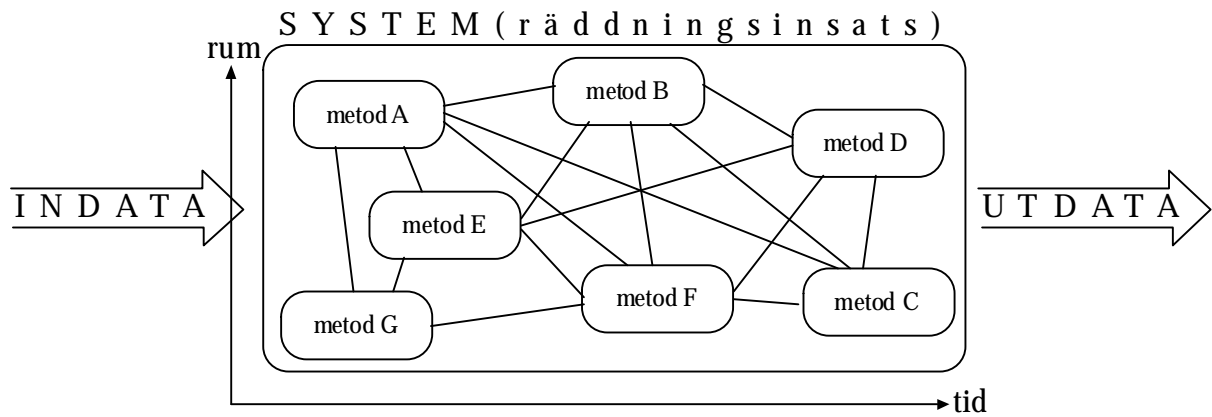
Varje sådan metod behöver en viss mängd indata för att kunna verka och den genererar en viss mängd utdata, se figur 3 nedan. Metoden och dess bestämda inbördes förhållanden bör också kunna beskrivas antingen i statistiska termer (frekvensfunktion eller fördelningsfunktion för kapacitet eller motsvarande), eller också i matematiska termer.



Figur 3; Metoder/deluppgifter under räddningsinsatser bestämd av mål och medel.

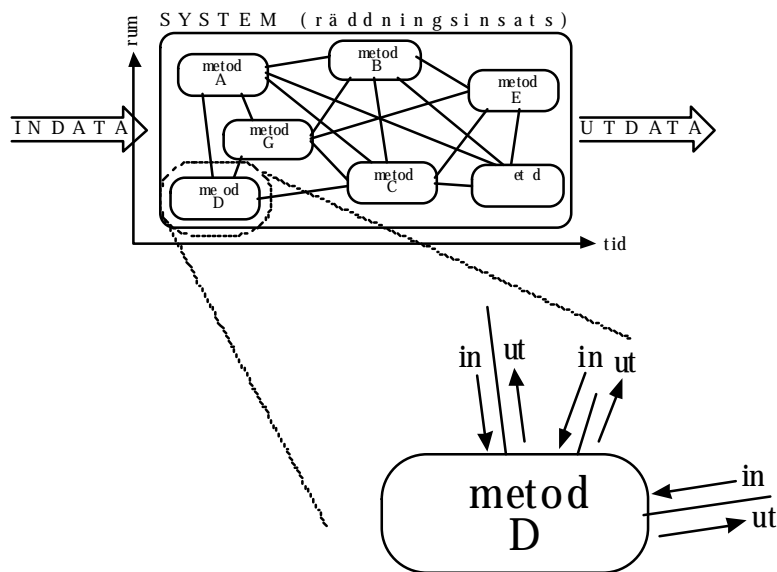
Som tidigare nämnts skriver Fredholm (1991) att räddningstaktik bör utformas som en helhet av på ett så optimalt sätt som möjligt i tid och rum lokalt insatta och i förhållande till situationens krav överstarka resurser. Strävan är att utforma räddningsinsatser optimalt, dvs på bästa sätt, med hänsyn till situationens krav och tillgängliga resurser. Detta innebär att optimera dels respektive metod eller deluppgift som räddningsinsatsen består av och dels att optimera deras inbördes kombinationer, i tid och rum, så att utfallet blir så bra som möjligt.

Indata i exemplet ovan kan till exempel vara brandförloppet. Utdata är ett delutfall för metoden i termer av dels ”delutfallsp parametrar” och dels använda/uppbundna/förbrukade höjdfordon, brandmän, andningsapparater, mm. De tillgängliga metoderna sätts in i ett sammanhang, kombineras med varandra och blir då en del av hela systemet, dvs räddningsinsatsen, se figur 4 nedan. Indata till systemet skapar också övergripande mål för hela insatsen.



Figur 4; En modell av räddningsinsatsen: en inre del som beskriver ett system av metoder och deras inbördes förhållande, i tid och rum.

Systemet är dynamiskt, dvs att de olika metoderna är beroende på så sätt att senare utförda metoder påverkas av tidigare genomförda metoder, vilka i sin tur kommer att påverka metoder som utförs senare under insatsen samt att underlaget (indata) för metoderna förändras, dels autonomt och dels som en följd av tidigare genomförda metoder. Detta gör att modellen också måste ta hänsyn till de olika metodernas förhållande till varandra, se figur 5 nedan.



Figur 5; Varje metod som en del av systemet/räddningsinsatsen.

Den beskrivna modellen tillåter också vissa specialfall. Ett sådant specialfall kan vara då hela insatsen i praktiken består av en enda metod, som till exempel vid brand i en mindre papperskorg. Metoden kan då bestå i att släcka med hjälp av pyttsspruta. Varken rökdykning eller vattenförsörjning behövs för en sådan enkel insats.

Metoder vid räddningsinsatser

En metod är, som beskrivits ovan, ett beskrivbart förfarande för att uppnå något (ett mål). Som underlag för bland annat räddningstjänstplanen för Jönköpings kommun, har Melin (1996) beskrivit en mängd olika så kallade typinsatser som kan förekomma inom kommunen. Med detta som grund kan räddningsinsatser mot brand i byggnad delas i ett stort antal metoder. Exempel på dessa metoder är:

- vattenförsörjning
- rökdykning, invändig livräddning via dörr
- rökdykning, aktiv livräddning via fönster med hjälp av höjdfordon
- rökdykning, invändig släckning via dörr
- rökdykning, invändig släckning via fönster med hjälp av höjdfordon
- passiv livräddning via fönster med hjälp av höjdfordon
- utrymning av övriga lägenheter

Dessa metoder ska kombineras i tid och rum under räddningsinsatsen. Simuleringen syftar till att finna bästa kombinationen så att utfallsparametrarna kan minimeras.

För att finna struktur i de olika metoderna och deras inbördes (möjliga) förhållanden kan dessa beskrivas med mål och medel, som i sin tur kan överföras till antingen en stokastisk funktion eller en deterministisk funktion. Exempel på mål/medelbeskrivningar kan för några av metoderna ovan vara:

vattenförsörjning

mål: att försörja insatsen med vatten (erforderlig mängd/flöde upp till viss maximinivå),

medel: pump (med viss kapacitet),
vattentag (med viss kapacitet),
tank (med viss kapacitet),
slangsystem (med viss kapacitet),
1 - 2 brandmän (viss kompetens/kapacitet),

rökdykning, invändig släckning via dörr

mål: att tränga in i lägenhet via dörr för att bekämpa brand,

medel: 1+2 brandmän (viss kompetens/kapacitet),
andningsapparat (med viss kapacitet),
slang/strålrör (med viss kapacitet),
vattenförsörjning (med viss kapacitet),
övrig skyddsutrustning (med viss kapacitet),

passiv livräddning via fönster (med hjälp av höjdfordon)

mål: rädda nödställd ur fönster (innan kritiska förhållanden uppstår),

medel: höjdfordon (med viss kapacitet),
fönster (minst 0.6m×1.2m),
1 brandman (viss kompetens/kapacitet),
(andningsapparat),
(eventuell övrig utrustning).

För att kunna använda dessa metoder för simulering bör de kunna beskrivas med ett eller flera matematiska eller stokastiska samband. Se exemplet nedan.

Med detta metodbegrepp som beskrivits ovan, kan också brandförebyggande åtgärder beskrivas som en metod. Ett exempel på detta kan vara en automatisk vattensprinkler, enligt följande:

automatisk vattensprinkler

mål: att begränsa brands spridning (inom visst område),

medel: detektorer (sprinklerhuvuden) med vissa (bestämda) gränsvärden för detektion, rörledning (med viss kapacitet), vattenförsörjning (med viss kapacitet).

Ett annat sätt är att använda förebyggande åtgärder som medel för att kunna genomföra vissa metoder. Ett sådant medel är fönstret i metoden ”passiv livräddning via fönster” ovan. Om det inte finns något fönster kan metoden inte utföras. Om fönstret är för litet kan metoden eventuellt utföras, men med sämre resultat.

Därmed erhålls ett sätt att genom simulering använda såväl det byggnadstekniska brandskyddet som andra förebyggande åtgärder, och jämföra dessa med andra metoder som räddningsstyrkan gör.

Simuleringsmodeller

Avsikten med modellen som beskrivs ovan är i första hand att simulera räddningsinsatser under olika förutsättningar. En sådan simulering kan göras helt stokastisk, helt deterministisk eller en kombination av dessa båda sätt. För att simulera räddningsinsatser bör kombinationen av dessa båda modeller vara det mest lämpliga, eftersom insatser till stor del bygger på människors agerande och att detta i sig alltid innebär en viss grad av slumpmässighet.

Stokastisk simuleringsmodell

En stokastisk modell bygger på statistik. För att beräkna utfallet av räddningsinsatsen kan man i modellen använda sig av förutbestämda sannolikheter. Ett exempel kan vara att under flera räddningsinsatser uppskatta eller mäta tider eller grad av måluppfyllelse för vissa metoder eller arbetsmoment. Detta skulle ge sannolikheter att en viss metod lyckas (helt eller delvis) inom en viss tid till. Beräkningsproceduren kan ske med hjälp av så kallad Monte Carlo-simulering, vilket är en beräkningsmetod för en stokastisk variabel. Genom Monte Carlo-simulering simulerar man utfallet av ett antal stokastiska variabler. Denna beräkningsprocedur kan dock vara väldigt tidsödande, eftersom man simulerar förloppet ett stort antal gånger.

Begränsningarna med denna typ av modell är dock stora. Det går till exempel inte att förbättra respektive metod, eftersom modellen bygger på känd eller uppskattad kapacitet av välkända och beprövade metoder. För helt nya metoder kan endast uppskattningar göras vilka svårligen kan verifieras utifrån genomförda räddningsinsatser. Möjligtvis kan man skapa övningsituationer som efterliknar den simulerade insatsen, i syfte att prova nya metoder. Modellen kan inte heller ta hänsyn till variationer i indata mer än i mycket begränsad omfattning. Sådana variationer begränsas av användarens/modellkonstruktörens insikt i systemet. Detta begränsar också resultatet från simuleringar.

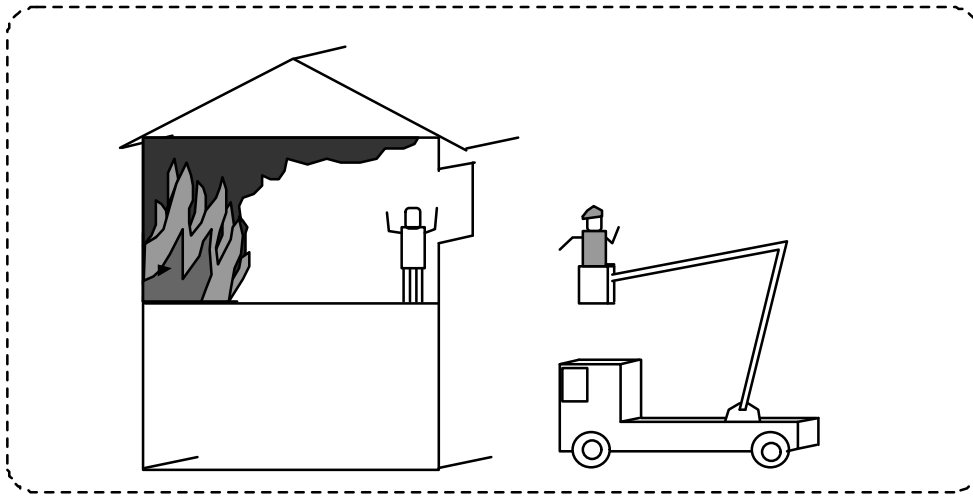
Denna typ av modeller lämpar sig generellt inte för värderings- eller prediktionsändamål. Simuleringsmodellens pedagogiska värde för övnings- och utbildningsändamål vid undervisning av till exempel taktik och ledning är dock inte att förringa (Kaijser, 1993).

Deterministisk simuleringsmodell

En deterministisk modell bygger på att man med matematiska eller fysikaliska samband kan bestämma hur olika variabler förhåller sig till varandra. Denna metod kräver en god kännedom om systemet, dess variabler, förhållanden mellan variabler samt hur systemet uppför sig under vissa förutsättningar. En deterministisk modell blir även vid kraftig förenkling och under en mängd antaganden, mycket komplex.

I exemplet med livräddning genom fönster med hjälp av höjdfordon, kan indata till exempel vara brandförloppet. Utdata är i varje ögonblick metodens dittills uppnådda resultat. Målet kan beskrivas med en funktion för den nödställdes överlevnad. Metodens medel kan till exempel beskrivas med en funktion för höjdfordonets rörelse, en funktion för andningsapparatens lufttillgång samt en funktion för brandmannens luftförbrukning. Sammantaget ger detta en beskrivning av metoden "livräddning genom fönster med hjälp av höjdfordon", bestående av ett fåtal funktioner som tillsammans bestämmer vad metoden kan utföra och på vilket sätt detta kan utföras. På motsvarande

de sätt kan så gott som samtliga i räddningsinsatsen ingående metoder beskrivas med ett fåtal (förenklade) matematiska/fysikaliska samband.



Figur 6; Metoden "livräddning genom fönster med hjälp av höjdfordon".

hur människan beter sig, till exempel vid rökdykning, blir en fullständigt deterministisk modell knappast möjlig. Under vissa strikta antaganden och kraftiga förenklingar

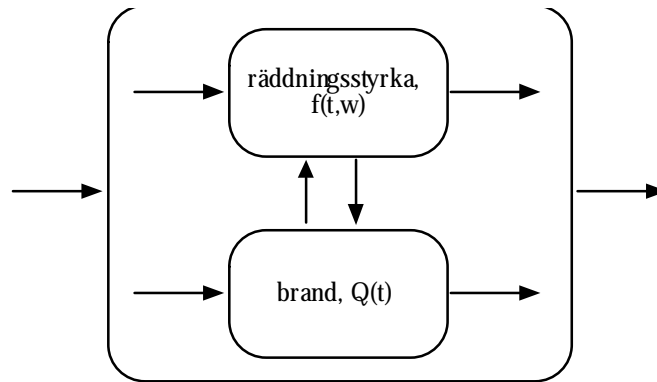
kan göras är att låta brandförloppet (vilket kan bestämmas och beskrivas i matematiska/fysikaliska termer med tämligen god approximation) styra en stor del av hur räddningstjänstpersonalen fattar beslut och agerar under räddningsinsatsen. En viss effektutveckling skulle leda till ett visst handlande, ett visst flöde av brandgaser genom en fönster (vilket kan kopplas till vissa visuella effekter) skulle leda till ett annat.

genomförda metoder, och dels av sig självt. Detta gör att en simuleringsmodell för en räddningsinsats bör vara dynamisk, dvs att den tar hänsyn till de tidsberoende förändringar som sker.

Exempel på simulering av en räddningsinsats

Som illustration av hur modellen som presenterades ovan, se figur 4, kan användas, beskrivs här en enkel dynamisk simulering av en räddningsinsats. Exemplet bygger på enkla samband där vi gör ett antal antaganden utan att i någon större utsträckning verifiera dessa. Syftet är endast att visa principen för hur simulering kan utföras med hjälp av modellen beskriven ovan. Till hjälp för att bygga modellen och simulera denna har programvarorna MatLab[®] och Simulink[®] använts.

Antag att vi vill studera hur behovet av släckvatten vid en brand med känd (antagen) effektutveckling varierar med insatstiden och hur olika släckvattenflöden inverkar på brandförloppet, beroende på insatstiden. För att begränsa skadan (e_t i figur 2, ovan) vill vi påverka effektutvecklingen med hjälp av ett visst släckvattenflöde, så att branden släcks och egendomsskadan minimeras. Modellen ska kunna kompensera lång insatstid (en större brand) med mer släckvatten. Se figur 7, nedan.



Figur 7; En modell av en mindre räddningsinsats (brandsläckning av "rutinkaraktär").

Antag att den totalt utvecklade effekten är skillnaden mellan brandeffekten och släckeffekten:

$$\dot{Q}_{tot} = \dot{Q}_{brand} - \dot{Q}_{vatten} \quad (1)$$

där $\dot{Q}_{brand} = \dot{Q}(t)$ samt (2)

$$\dot{Q}_{vatten} = f(t, w) \quad (3)$$

w = släckvattenflöde, l/s

t = tid, s.

För att lösa detta simuleringsproblem behövs dels en ekvation för brandens utveckling och dels en för släckvattnets påverkan på branden. För enkelhetens skull approximeras brandens effektutveckling med en sinuskurva under de första 1800 sekunderna, för att därefter bli konstant under de följande 1800 sekunderna. Därefter avtar branden.

Maximal effektutveckling är 10000 kW och hela brandförloppet tar 5400 sekunder (90 inuter). Detta förlopp beskrivs matematiskt med

$$\dot{Q} = \begin{cases} 10000 \cdot \sin(\cdot \mathbf{p} / \quad) & 0 \leq t < 1800 \\ \quad \cdot \sin((-1800) \cdot \mathbf{p} / 3600) & 1800 \leq t < 3600 \\ & t \geq \end{cases} \quad (4)$$

För att finna en lämplig ekvation (3) för släckvatteneffekten behövs ett samband mellan bland annat erforderligt släckvattenflöde och brandeffekt, helst med åtminstone

antal bränder och funnit för praktisk brandsläck

$$\mathbf{w} = 1.24 \cdot A^{0.5} \quad (\text{typiskt släckvattenflöde, l/s}) \quad (5)$$

$$\mathbf{t} = 1.66 \cdot 60 \cdot A^{0.554} \quad (\text{typisk släcktid, s}) \quad (6)$$

$$A = \text{brandarean, m}^2$$

Dessutom ska modellen ha en minsta släckvattenpåföring för kontroll av branden. Denna väljs till exempel enligt Persson et al (1984), till 1.6 g/sm², vilket är det minsta teoretiska värdet på släckvattenpåföring för att släcka en brand. Dvs

$$w_{\min} = 1.6 \cdot 10^{-3} \cdot A(t) \quad (\text{minsta flöde för kontroll, l/s}) \quad (7)$$

$$A(t) = \text{brandarean som funktion av tiden, m}^2$$

För att få den önskade anknytningen till verkligheten använder vi oss av sambanden (5), (6) och (7). Utifrån dessa samband vill vi nu att funktionen (3) ska uppfylla följande villkor (se figur 8, nedan)

$$f(t, 0) = 0 \quad (8)$$

$$f(i + \Delta i, w) \rightarrow \infty, \text{ då } w \rightarrow \infty \quad (9)$$

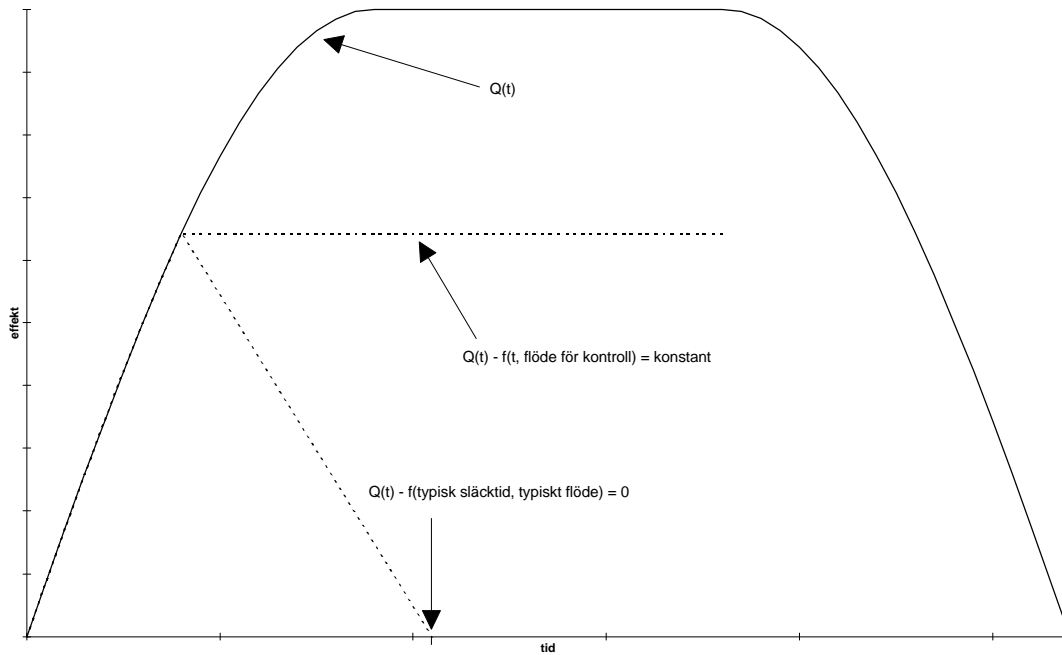
Villkoren (8) och (9) ger att

$$f(t, w) = \mathbf{a} \cdot w \cdot (t - i) \quad (10)$$

Dessutom vill vi att sambandet (1) ska uppfylla följande randvillkor ($i =$ insatstiden).

$$\dot{Q}(\mathbf{t} + i) - f(\mathbf{t} + i, \mathbf{w}) = 0 \quad (11)$$

$$\dot{Q}(t) - f(t, w_{\min}) = \dot{Q}(i) \quad (12)$$



Figur 8; brandens effektutveckling och randvillkor.

Insättning av (10) i (11) och (12) ger att

$$\mathbf{a} = \frac{\dot{Q}(t) - Q(i) - Q(\mathbf{t} + i)}{w_{\min} \cdot (t - i) - \mathbf{w} \cdot \mathbf{t}} \quad (13)$$

För att lösa ut typiskt släckvattenflöde ur formel (5) samt typisk släcktid ur formel (6) behövs brandarean. Brandarean för detta beräknas vid räddningstjänstens framkomst, dvs vid tiden $t = i$ (insatstiden). Dessutom behövs brandarean för att beräkna minsta erforderliga släckvattenflöde för kontroll ur (7). Detta släckvattenflöde är dock tidsberoende.

Brandarean kan beräknas ur sambandet

$$A(t) = \frac{\dot{Q}(t)}{\dot{Q}''} \quad (14)$$

I exemplet är brandeffekten per areaenhet vald till värdet för träbrand, 100 kW/m^2 , vilket i många fall kan anses vara tämligen lågt.

I Simulink[®] ges ekvation (1), (4) - (7), (10), (13) samt (14) en simuleringsmodell enligt bilaga. I den i bilagan redovisad modellen styrs släckvattenflödet av brandeffekten (brandarean) vid räddningsstyrkans ankomst, dvs som i fall B nedan.

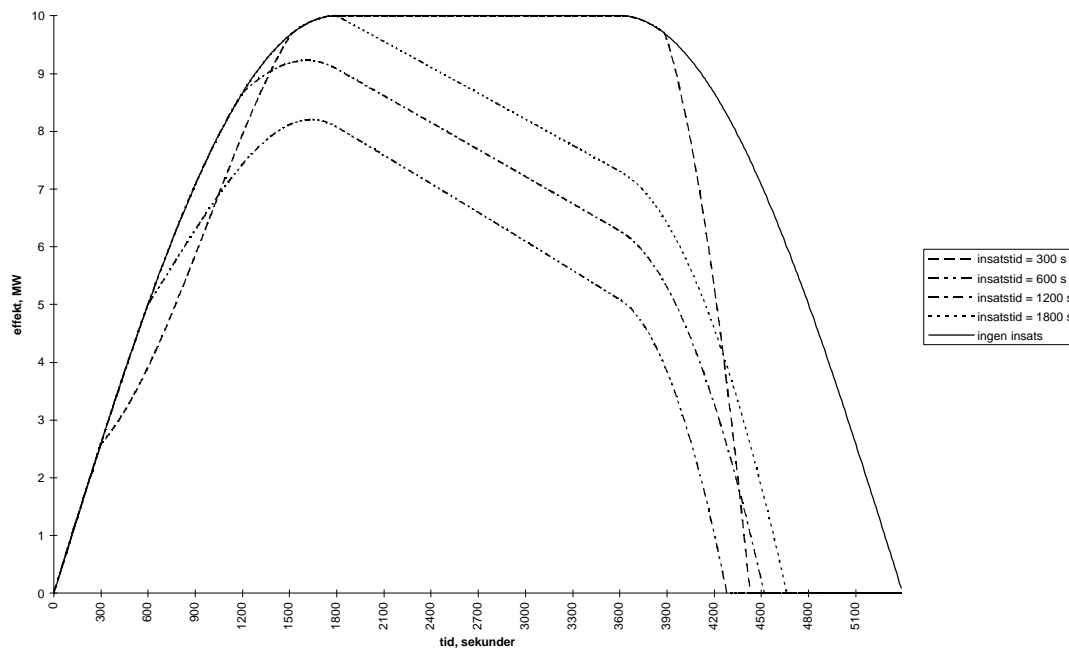
Modellen simuleras för tre olika fall.

- A) I det första fallet simuleras släckvattenflödet 5 l/s , motsvarande ett modernt dimstrålrör (FogFighter[®], 300 l/min), för insatstiderna 5, 10, 20, 30 minuter respektive utan räddningsinsats. Resultatet av dessa simuleringar ges i figur 9 samt i tabell 1.
- B) I det andra fallet styr brandeffekten (brandarean) vid räddningstjänstens ankomst släckvattenflödet, enligt ekvation (5) ovan), för insatstiderna 5, 10, 20, 30 minuter respektive utan räddningsinsats. Brandarean beräknas vid tiden för räddningsstyrkans ankomst, dvs vid $t = i$. Detta eftersom valt angreppssätt, och därmed också insatt släckvattenflöde normalt grundar sig på räddningsstyrkans första bedömning av situationen. Resultatet av dessa simuleringar ges i figur 10 samt i tabell 2. Detta förutsätter givetvis att räddningsstyrkan har erforderlig utrustning i form av strålrör eller vattenkanoner.
- C) Det tredje fallet simulerar 5 olika släckvattenflöden för insatstiden 600 sekunder. Släckvattenflödena är 5, 10, 15 och 20 l/s . Resultatet av dessa simuleringar ges i figur 11 samt i tabell 3.

Släcktiden är tiden från insatsens början tills brandeffekten är noll.

Fall A;

Släckvattenflödet är 5 l/s , motsvarande ett modernt dimstrålrör (FogFighter[®], 300 l/min). Släckning simuleras för insatstiderna 5, 10, 20, 30 minuter respektive utan räddningsinsats. Resultatet av dessa simuleringar ges i figur 9 samt i tabell 1.



Figur 9; Utvecklad effekt i exemplet ovan vid insattiderna 5, 10, 20 och 30 minuter. Släckvattenflödet är oberoende av brandens storlek, 5 l/s.

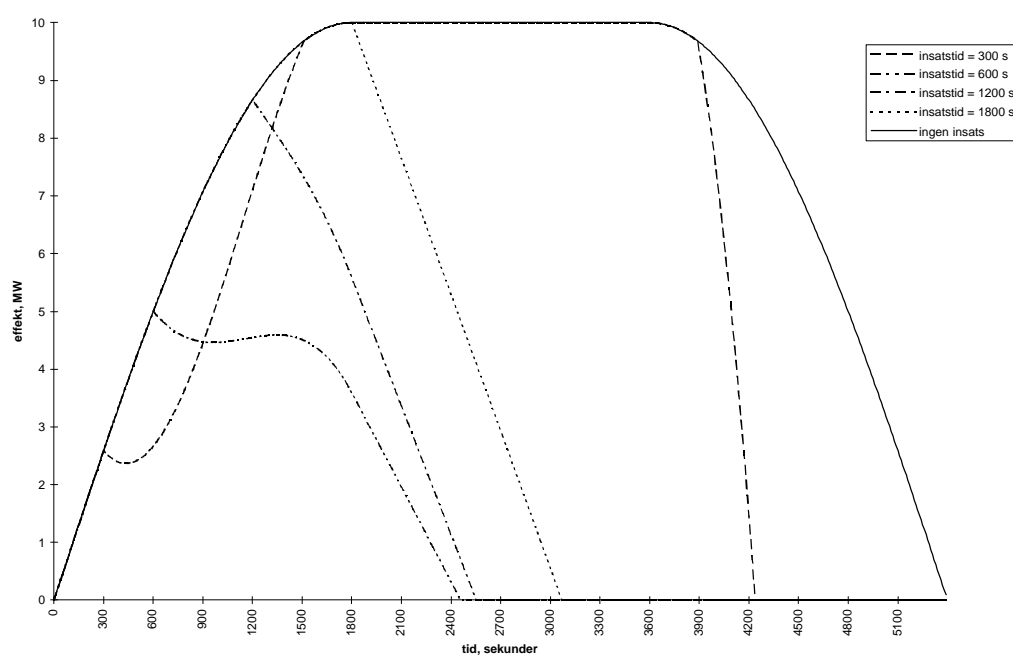
Insattid, s	flöde, l/s	totaltid, s	släcktid, s	total släckvattenmängd, l
300	5.0	4430	4130	20650
600	5.0	4290	3690	18450
1200	5.0	4520	3320	16600
1800	5.0	4670	2870	14350

Tabell 1; Släcktider för respektive insattid.

Släckvattenflödet 5 l/s är inte erforderligt för att släcka branden under dess tillväxtperiod i något fall. Brandeffekten ökar snabbare än vad räddningsstyrkan hinner påföra vattnet. När tillväxthastigheten minskar slocknar dock branden snabbare än då ingen insats sker. Skadan är att betrakta som total för samtliga insattider. Resultatet tyder på att kort insattid inte är tillräckligt, om inte ett visst minsta släckvattenflöde också kan erhållas.

Fall B;

Brandeffekten (brandarean) vid räddningstjänstens ankomst styr släckvattenflödet, enligt formel (5) ovan), för insattiderna 5, 10, 20, 30 minuter respektive utan räddningsinsats.



Figur 10; Utvecklad effekt i exemplet ovan vid insatstiderna 5, 10, 20 och 30 minuter. Släckvattenflödet bestäms av brandeffekten (brandarean) vid räddningstjänstens ankomst.

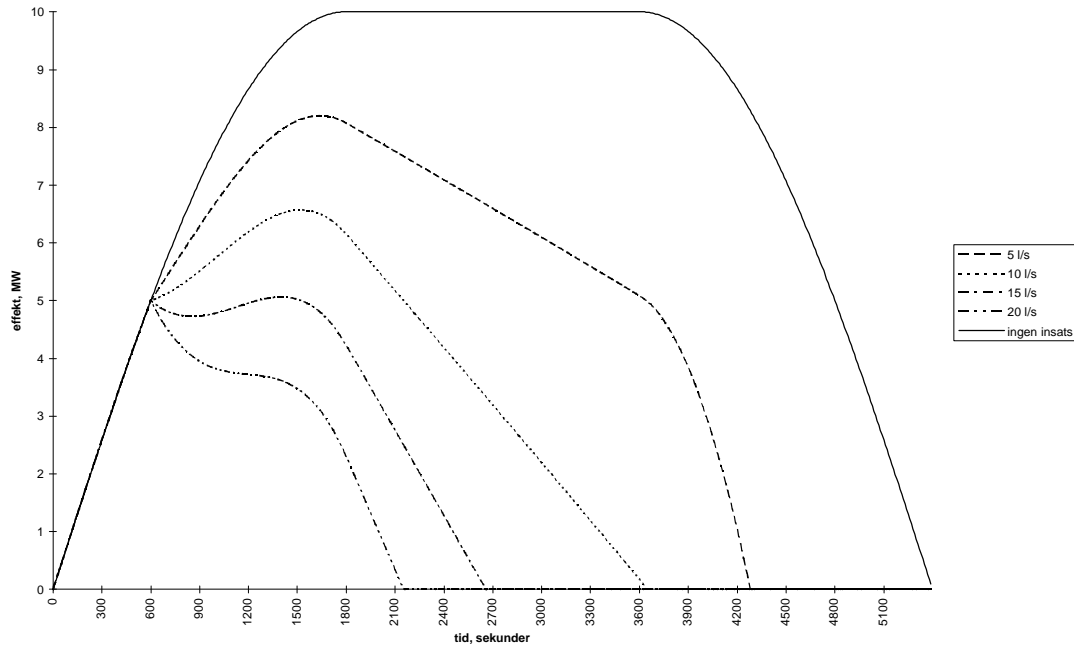
Insatstid, s	flöde ($w = \omega$), l/s	typisk släcktid (τ), s	total tid, s	släcktid, s	total släckvattenmängd, l
300	10.8	604	4240	3940	42552
600	16.7	870	2460	1860	31062
1200	24.0	1180	2560	1360	32640
1800	26.4	1280	3070	1270	33528

Tabell 2; Släckvattenflöde och släcktider för respektive insatstid.

Brandens effekt ger vid insatstiden 300 sekunder att släckvattenflödet blir 10.8 l/s. Detta är inte tillräckligt för att erhålla släckning under brandens tillväxtperiod. Brandeffekten begränsas under en kort tidsperiod, för att därefter åter stiga. Samtliga släcktider minskar med ökande insatstid och ökande släckvattenflöde. Släcktiderna i tabell 2 är kortare än i tabell 1 för respektive insatstid. Den totalt förbrukade släckvattenmängden ökar dock, eftersom släckvattenflödena är större. Med andra ord så släcker mer vatten branden fortare (vilket är väntat!).

Fall C;

Släckvattenflödena 5, 10, 15 respektive 20 l/s simuleras för insatstiden 600 sekunder. Resultatet av dessa simuleringar ges i figur 11 samt i tabell 3.



Figur 11; Utvecklad effekt i exemplet ovan för släckvattenflödena 5, 10, 15, 20 och 25 l/s vid insatstiden 10 minuter (600 sekunder).

Insatstid, s	flöde, l/s	total släcktid, s	släcktid, s	total släckvattenmängd, l
600	5	4290	3690	18450
600	10	3650	3050	30500
600	15	2660	2060	30900
600	20	2160	1560	31200

Tabell 3; släcktider för respektive släckvattenflöde.

För låga värden på flödet, 5 och 10 l/s, erhålls ingen släckning under brandens tillväxtperiod. Brandeffekten begränsas dock något. Släckning erhålls först när brandens tillväxthastighet minskar. För flödena 15 och 20 l/s släcks branden under dess tillväxtperiod, varvid skadan begränsas. Även om släcktiderna blir kortare för större flöden, erfordras dock en större total släckvattenmängd.

Den egendomsskada som blir i respektive simulering kan beräknas till exempel från avbrunnen area,

$$e_t = \frac{A(t)}{A_{tot}} \cdot 100\% \quad (15)$$

Jag lämnar dock detta till den intresserade betraktaren att själv roa sig med.

Exemplet ovan visar principen för dynamisk simulering, där händelseförloppet förändrar sig hela tiden, dels som följd av genomförda metoder, och dels av sig självt.

Exemplet bygger på enkla samband där vi gör ett antal antaganden utan att i någon större utsträckning verifiera dessa. I exemplet kan vi studera hur behovet av släckvatten vid en brand med känd (antagen) effektutveckling varierar med insatstiden och hur olika släckvattenflöden inverkar på brandförloppet, beroende på insatstiden. Modellen kan kompensera lång insatstid (en större brand) med mer släckvatten. Modellen tillåter inte korrigering av släckvattenflödet under simuleringens gång. Detta innebär att släckning inte erhålls för viss effektutveckling i kombination med vissa släckvattenflöden (branden utvecklas okontrollerat eller under viss kontroll för att slutligen själv-slockna).

Modellen förbiser dock det faktum att sättet att applicera vattnet kan vara avgörande för utfallet av insatsen. Även faktorer så som dropstorlek påverkar släckförmågan. Mer vatten är inte heller alltid lösningen på brandsläckningsproblem, även om det finns ett visst samband.

Funktionen (3) ovan är egentligen ingen funktion för vattnets släcke effekt. Den är snarare en funktion för räddningsstyrkans förmåga att släcka en brand med ett visst tillväxtförlopp, med visst släckvattenflöde, på viss tid. Funktionerna (5) och (6) bygger därvid på ett visst statistiskt samband mellan erforderligt släckvattenflöde, tid till släckning och brandarea.

Modellen tillåter ett godtyckligt brandförlopp. Det har dock visat sig att under vissa förutsättningar blir ekvation (3) negativ. Detta innebär att för vissa (teoretiska) brandförlopp, för små släckvattenflöden eller för korta insatstider, ökar brandens effektutveckling och når högre maximivärden än då insats inte sker. Att detta kan ske kan förklaras med α -värdet (13), vilket fullt utskrivet blir

$$\mathbf{a} = \frac{\dot{Q}(t) - \dot{Q}(i) - \dot{Q}(1.66 \cdot 60 \cdot \left(\frac{\dot{Q}(i)}{\dot{Q}''}\right)^{0.554} + i)}{w_{\min}'' \cdot \frac{\dot{Q}(t)}{\dot{Q}''} \cdot (t - i) - 1.24 \cdot \left(\frac{\dot{Q}(i)}{\dot{Q}''}\right)^{0.664} \cdot 1.66 \cdot 60 \cdot \left(\frac{\dot{Q}(i)}{\dot{Q}''}\right)^{0.554}}$$

Denna kvot är dynamisk (tidsberoende) och som synes tämligen komplext. Såväl täljare som nämnare är beroende av brandens tillväxthastighet. I täljaren finns dessutom ett "dubbelberoende", eftersom typisk släcktid (6), τ , beror på brandens effekt vid in-

satstiden. För tider över insatstiden men under summan av insatstid och typisk släcktid, beror α -värdet dessutom på vad som sker "i framtiden" (sista termen i täljaren).

Vid simuleringarna har detta lösts genom en relation som sätter α -värdet lika med noll då det beräknade α -värdet är mindre än noll.

Denna typ av problem kan lätt uppstå vid dynamiska simuleringar. Som tidigare nämnts kan det finnas känsliga punkter i systemet/modellen, där små variationer i indata ger stora variationer i utdata, eller som i exemplet rent av orimliga resultat.

Dessutom vill jag påpeka att exemplet ovan endast är en grov approximation av verkligheten! Avsikten med exemplet är att illustrera hur modellen i figur (2) och (4) kan användas för dynamisk simulering av räddningsinsatser.

Diskussion

Få försök har gjorts för att teoretisera räddningstjänst och för att bygga generella modeller av räddningsinsatser. Brehmer (1991) har gjort simuleringar med skogsbrandsläckning. Syftet med dessa arbeten har i huvudsak varit att studera dynamiskt beslutsfattande. Det är dock inget ovanligt att utföra simuleringar inom andra typer av verksamheter, verksamheter som till stora delar liknar räddningsinsatser. Ofta bygger man modeller av och simulerar olika produktionssystem innan dessa byggs i full skala. Detta ger möjligheter att i detalj studera till exempel hur olika produktionsenheter i en bilfabrik ska utformas för bästa resultat, bästa anpassningen till arbetaren eller för största ekonomiska vinst av ett visst produktionssystem. På motsvarande sätt skulle en modell över räddningsinsatser och hur dessa utformas, kunna medföra möjligheter att prova olika alternativa lösningsmönster på taktiska problem. Det skulle också kunna medföra en möjlighet att prova nya metoder i ett större sammanhang, innan dessa utprovas under verkliga förhållanden. Detta skulle bland annat medföra ökad säkerhet för räddningspersonal. Den räddningstjänst som normalt finns i kommunerna bygger till stor del på erfarenhet och en historisk utveckling. Den stora risken med detta är att räddningstjänstorganisationen inte klarar av att förändras och utvecklas i takt med "olyckssamhället".

Att teoretisera räddningstjänst och att bygga modeller av räddningsinsatser skapar förutsättningar för att öka kontrollen över skeendet under en räddningsinsats. Brehmer (1995a) definierar fyra grundvillkor för att få kontroll över ett system eller en situation:

- 1 det måste finnas ett mål,
- 2 det måste vara möjligt att utröna systemets eller situationens tillstånd,
- 3 det måste vara möjligt att påverka systemets eller situationens tillstånd, samt att
- 4 det måste finnas en modell av systemet eller av situationen.

Kontroll över ett system eller en situation kräver att det finns ett eller flera mål att arbeta mot. Målet för systemet innefattar dels det övergripande målet för räddningstjänsten ("..att hindra eller begränsa skador..") och dels mål för de i systemet ingående metoderna (som till exempel: "..rädda nödställd ur fönster.."). Målet för hela insatsen är i de allra flesta fall tämligen enkelt att fastställa. Delmål under en räddningsinsats eller mål för olika metoder kan innebära större svårigheter att ställa upp, eftersom man normalt varken utbildar eller övar i termer av olika metoder. Övningar och utbildningar för räddningstjänstpersonal avser i huvudsak att lära ut helhet. Det bör dock vara möjligt att finna ett enkelt sätt att ta fram "metodmål" och överföringsfunktioner för dessa mål, så att de går att införa i modeller av systemet.

Kontroll innebär också att kunna utröna systemets tillstånd. Det kan till exempel handla om att avgöra vilken kapacitet personalen har i ett visst ögonblick, hur mycket släckvatten som finns till förfogande, hur mycket som förbrukas vid ett visst ögonblick eller i vilket skede branden (olyckan) befinner sig i. Det finns flera exempel på räddningsinsatser som inte har lett till önskat resultat av just den anledningen att det antingen inte har varit möjligt att utröna systemets tillstånd eller också därför att någon analys av tillståndet inte har skett även då detta har varit möjligt.

Det måste också finnas en reell möjlighet att påverka systemet mot uppställda mål. Det kan dock finnas anledning att ifrågasätta vilka möjligheter det finns att påverka skeendet under en räddningsinsats. Vid utlarmning av räddningsstyrka erhålls ofta information på sådant sätt att all personal i styrkan uppfattar informationen, till exempel över högtalare i vagnhall. De mentala bilder detta skapar hos de olika individerna i räddningsstyrkan, kan vara så starka att de "tar över" och begränsar möjligheterna för befälet/räddningsledaren att utforma insatsen. Ofta finns det också planer för hur utryckningståget bör se ut och vilken resurs som ska tas med till vissa skadeobjekt eller vid vissa olyckstyper. En stor del av den taktiska utformningen är därmed redan utförd då larmet når räddningsstyrkan. Detta sätter vissa begränsningar i vilka lösningsmönster som är (initialt) möjliga och det leder in räddningsinsatsens utformning i kända och välbeprövade mönster. I detta läge har ett enskilt befäl ingen reell möjlighet att förändra skeendet, åtminstone inte under räddningsinsatsens inledande skede. Räddningsledare, räddningsledning eller befäl utför med detta synsätt ingen ledning av arbetet utan utför endast en rad rutinuppgifter under räddningsinsatsen.

Fredholm (1995) skriver om att genom så kallat successivt preciserande beslutsfattande bygga upp insatsen till avgörandesituationer. Med detta menas att beslutsfattaren agerar (beslutar) lite grann, utvärderar resultatet av detta agerande, agerar litet till, osv. Detta skulle kunna innebära att den reella påverkan på systemet kommer först efter ganska lång tid, då behovet av påverkan på och kontroll av systemet i många fall har minskat, eftersom insatsen vid denna tidpunkt redan "är igång" och löper av sig självt. Det blir då också i många fall svårt att påverka systemet, just eftersom det nästan lever ett eget liv, utan påverkan utifrån i form av beslut eller order.

Dessa tre grundvillkor för kontroll som beskrivs ovan: ett mål, att utvärdera samt att påverka, är relativt uppenbara och enkla att förstå. Att det för kontroll också krävs en modell av systemet eller av situationen är dock inte lika uppenbart.

En modell av ett system är inget annat än ett sätt att beskriva systemet och dess inre och yttre egenskaper och förhållanden mellan dessa egenskaper. Systemet bör kunna delas in på ett sådant sätt att de viktigaste egenskaperna faller ut och därmed kan beskrivas i rimligt enkla termer. Att arbeta med modeller av systemet innebär att ha kunskap om eller insikt i hur olika delar av räddningsinsatsen hänger samman och hur förändringar i vissa delar av systemet kan påverka andra delar av systemet. Inslaget av igenkänningsbaserat agerande är stort under räddningsinsatser, vilket troligen medför att det i praktiken är mycket sällan den eller de som utformar insatsen arbetar med (mentala) modeller av räddningsinsatser. Modellen ger en tydlig bild över vad som ska utföras och på vilket sätt detta kan utföras. Att som beslutsfattare (räddningsledare) arbeta med en modell av systemet (räddningsinsatsen) bör därför skapa förutsättning för bättre beslut och därmed för bättre utformningar av systemet (räddningsinsatsen).

Denna rapport ingår som del i forskarutbildning, där avsikten bland annat är att eventuellt finna metoder för att utnyttja brandförebyggande åtgärder som resurs i samband med räddningsinsatser. I modellen för räddningsinsatser taktiska utformning, beskriven ovan, är avsikten att också brandförebyggande åtgärder ska kunna ingå. Sådana åtgärder kan därvid antingen ingå som en egen metod, eller också att låta åtgärderna ingå som medel, eller förutsättning, för att kunna genomföra en viss metod. Exempel på när en förebyggande åtgärd som kan betraktas som en egen metod är en automatisk sprinkleranläggning. Ett exempel på då förebyggande åtgärder kan ingå som ett medel för att genomföra en viss metod, är fönsterutrymning vilket kräver att fönstret är utfört

på ett visst sätt. Därmed ges möjlighet att simulera räddningsinsatser där man aktivt kan ta hänsyn till brandförebyggande åtgärder (såväl byggnadstekniska åtgärder som till exempel interna rutiner vid brand hos ett företag). Byggnadstekniska åtgärder, och även andra förebyggande åtgärder, påverkar också brandförloppet. Ett exempel på detta kan vara att olika typer av ytskikt påverkar såväl flamspridning som produktionen av brandgaser.

Modellen kan användas för i huvudsak två principiellt olika tillämpningar. Den första med syfte att studera variationer i utdata och därigenom finna den bästa kombinationen av utfallsparametrarna. Denna tillämpning används med avsikt att optimera systemet. Den andra tillämpning görs i syfte att variera i och studera indata. Detta görs med avsikt att finna villkor för att kontrollera systemet. Båda dessa tillämpningar är intressanta vad det gäller att studera brandförebyggande åtgärder som taktisk resurs. Fortsatt forskning får ge vid handen vilken tillämpning som är lämpligast att satsa på.

Avsikten är i första hand att använda den beskrivna modellen som ett verktyg för att genom simulering studera bland annat betydelsen av brandförebyggande åtgärder vid genomförandet av räddningsinsatser. Tillämpning av modellen och simuleringar av modellen kan också tänkas ske inom andra områden. Ett sådant område är vid utbildning, där eleven kan prova olika taktiska lösningar och jämföra resultaten från simuleringar under olika förutsättningar. Eleven skulle därefter, under vissa strikta antaganden, kunna prova och verifiera olika taktiska lösningar som provats genom simulering, vid övning.

Ett annat område är vid samhällsanalyser av olika slag. Ett exempel på detta kan vara att simulera räddningsinsatser mot ett stort antal "typolyckor" i olika delar av en kommun. Dessa "typolyckor" kan till exempel väljas utifrån ett statistiskt material, baserat bland annat på kommunens bebyggelsestruktur, typer av industri, transportleder mm. Därvid skulle man erhålla ett underlag för dimensionering av kommunens räddningsstyrkor, framtaget med hjälp av analytiska/ingenjörsmässiga metoder.

Ett annat exempel på användning vid samhällsanalyser, kan vara att använda simulering som ett verktyg i kommunens planering för hur olika områden ska bebyggas. Ett sådant användande av modellen skulle till exempel kunna ge som resultat vilka typer av byggnader som kan accepteras eller vilka skyddssystem som erfordras inom ett visst geografiskt område, baserat bland annat på de befintliga räddningsstyrkornas kapacitet. Den vägledning som finns i nuläget, är Räddningsverkets allmänna råd och kommentarer till 21 § räddningstjänstlagen (Räddningsverket, 1995). Dessa grundar sig på motsvarande råd och anvisningar från 1963 med kompletteringar från 1965 (Statens Brandinspektion, 1963 samt Statens Brandinspektion, 1965). Dessa råd och anvisningar innehåller också en metod att utifrån kommunens storlek beräkna räddningsstyrkans storlek och sammansättning. Metoden utvecklades under sjuttioalet, men antogs aldrig formellt (SOU 1983:77).

Generella modeller av räddningsinsatser bör komma såväl beslutsfattare som utförare av beslut under räddningsinsatser till nytta. Det bör ge möjligheter att se helhetsresultat av enskilda metoder under insatser och därmed ges förutsättningar för att "normala" eller rent av "slentrianmässiga" lösningar på taktiska problem undviks. Om räddningsledare eller andra beslutsfattare under räddningsinsatser kan lära sig att betrakta räddningsinsatser utifrån modellen presenterad i figurerna 2 och 4 ovan, öppnar detta en rad möjligheter. Dels ger det en bättre struktur på och förklaring till de skeenden som sker till följd av beslut. Dels kan det skapa förståelse för hur resultatet (utfallet)

av räddningsinsatser varierar beroende på bland annat fattade beslut och vidtagna åtgärder.

Räddningstaktik är, generellt, hur räddningsinsatser utformas. Verktöget för att utforma insatsen är ledning. Ledning omfattas i huvudsak av verksamheterna planering, genomförande och uppföljning av räddningsinsatser (Räddningsverket, 1996). För att planera insatsen kan det finnas behov av en modell som ger en överblick över hur olika verksamheter hänger ihop och bygger på varandra. Den kan också ge svar på frågor som till exempel när ett visst behov uppstår under insatsen och vad som behövs för att fylla detta behov. När räddningsinsatsen ska genomföras kan modellen skapa sammanhang hos olika sektorer eller verksamheter. Den kan också användas för ordergivning, genom att chefen kan ge order på formen metod - tid - rum (vad ska göras, när ska det göras och var ska det göras). Slutligen kan modellen också användas för att följa upp utförd verksamhet. Genom att se insatsen som en helhet av åtgärder (metoder) och åtgärderna (metoderna) uppbyggda av personal och teknik, kan eventuellt slutsatser dras om varför ett visst utfall har uppstått under räddningsinsatsen.

Avslutning

Taktiska problem bör gå att lösa med analytiska metoder, varvid det bör gå att finna alternativa eller rent av helt nya lösningar på taktiska problem. Genom att implementera dessa i verkliga räddningstjänstsituationer och låta räddningsstyrkor använda dessa alternativa/nya lösningar, kommer dessa lösningar så småningom att bli väl inarbetade och välkända. Då inträder ett nytt tillstånd av igenkänningsbaserat beslutsfattande för att lösa taktiska problem. Förhoppningen är dock att dessa i något avseende är bättre än äldre lösningar som inte är framtagna genom analytiska metoder, alternativt att man genom analytiska metoder har verifierat tidigare kända metoder.

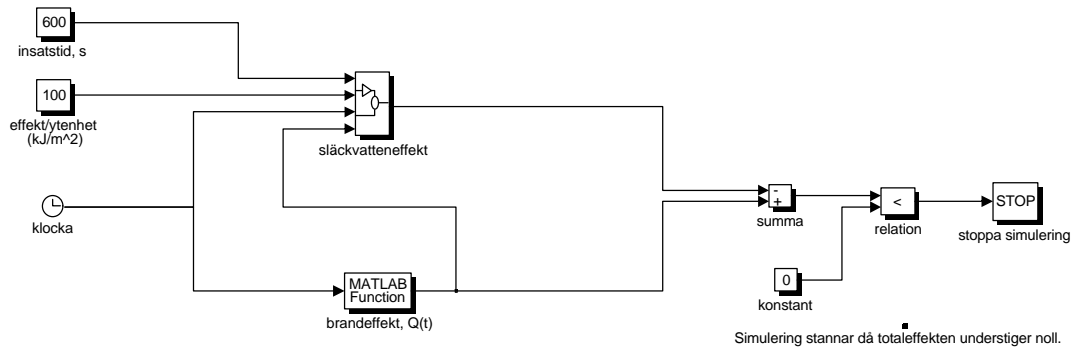
Förhoppningen är dock att utifrån komplicerade stokastiska/deterministiska modeller för hur räddningsinsatser utformas, på sikt finna generella "handboksmetoder" för analytiska lösningar på taktiska problem, dvs generella, fältmässiga metoder för att lösa taktiska problem. Syftet skulle därvid vara att dels erhålla bättre kontroll över räddningsinsatsers utformning och dels förbättra resultatet (utfallet) av räddningsinsatser.

Litteraturförteckning

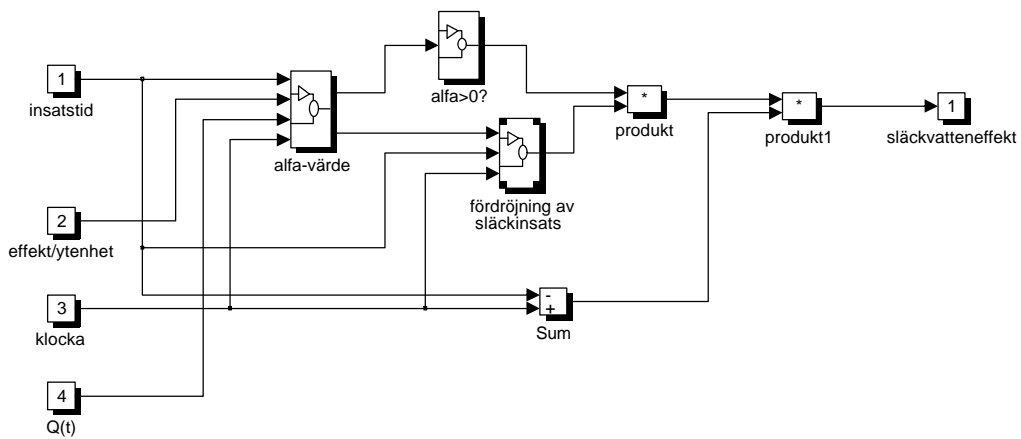
- Agrell, P.S. (1989). Om att utreda. FOA-rapport A 10010. FOA: Stockholm.
- Baldwin, R. (1971). Use of Water in the Extinction of Fires by Brigades. Institution of Fire Engineers Quart. 31, no 82/1972, pp. 163 - 168.
- Brehmer, B. (1991). Dynamiskt beslutsfattande. Rabinowicz, W. (Eds.) Valets veder-mödor, sex beslutsteoretiska studier. Stockholm: Thales.
- Brehmer, B. (1995a). Dynamic decision making: a paradigm for the study of problems of command and control? (FOA-report).
- Brehmer, B. (1995b). Distributed decision making in dynamic environments (FOA - report).
- Brunacini, A., V. (1985). Fire Command. NFPA: Quincy, MA.
- Edling, U., Frid, S.R., Hedström, K., Lewensjö, Å., & Wikström, P.O. (1993). Räddningstjänst, en lagkommentar. Svenska Brandförsvarsförbundet. Stockholm.
- Fredholm, L. (1991). The development of rescue tactics, Analysis and proposed methods. (FOA report C50089 - 5.3). National Defense Research Establishment, Department of Human Studies. Stockholm.
- Fredholm, L. (1995). Taktik vid räddningsinsatser. (FOA rapport R-95-00128-5.3-SE). Försvarets Forskningsanstalt, Huvudavdelningen för Mänsklig Prestation och Funktion. Sundbyberg.
- Glad, T. & Ljung, L. (1994). Modeling of Dynamic Systems. Prentice-Hall: New Jersey.
- Hoover, S.V., Perry, R.F. (1990). Simulation: a problem-solving approach. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company.
- Kaijser, T. (1993). Om värdering av komplexa system (FOA-rapport C 30695-3.8). FOA: Stockholm.
- Klein, G.A. (1992). A Recognition-Primed Decision (RPD) Model of Rapid Decision Making. Klein, G.A., Orasanu, J., Calderwood, R., & Zsombok, C.E. (Eds.) Decision making in action, models and methods. Norwood, New Jersey: Ablex Publishing Corporation.
- Lind, M., Allard, R., & Brehmer, B. (1984). Dynamiskt beslutsfattande (FOA rapport C 53015-H2). Försvarets Forskningsanstalt, Huvudavdelning 5. Stockholm.
- MatLab[®]. Users Guide.
- Melin, G. (1994). Målsättning för räddningsstyrkor 1994 - reviderad utgåva; vissa typinsatser. Opublicerat manuskript (daterat 1994-04-21). Jönköping: Räddningstjänsten.
- Melin, G. (1996). Räddningstjänsten Jönköpings Kommun, utryckningsstyrkornas kapacitet. Opublicerat manuskript. Jönköping: Räddningstjänsten.
- Persson, B., Simonsson, M & Månsson, M. (1995) Utsläpp från bränder till atmosfären, SP-rapport 1995:70. Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut: Borås.
- Persson, H., Holmstedt, G., Ryderman, A. (1984). Släckmedel och släckverkan, SP-rapport 1984:35. Statens Provningsanstalt: Borås.

- Regeringens proposition 1985/86:170.
- Räddningstjänstförordningen, 1986:1107 (Ändring: t.o.m. 1994:1492)
- Räddningstjänstlagen, 1986:1102 (Ändring: t.o.m. 1994:1722 - omtryck: 1992:948)
- Räddningsverket (1995). Allmänna råd och kommentarer om kommunal räddningstjänstplan, 1995:3. Räddningsverket: Karlstad.
- Räddningsverket (1996). Ledning med stabstjänst, Räddningstjänsthandboken del 2. Karlstad.
- Räddningsverket. (1992). Räddningstaktik, Påverkan och utformning (U29-385/92). Karlstad.
- Shannon, E., R. (1975). Systems simulation: the art and science. London: Prentice-Hall.
- Simulink[®]. Users Guide.
- SOU 1983:77. Effektiv räddningstjänst. Slutbetänkande av räddningstjänstkommittén. Stockholm: Försvarsdepartementet.
- Statens Brandinspektion (1963). Exempel på brandordningar, meddelande 1963:3. Statens Brandinspektion: Stockholm.
- Statens Brandinspektion (1965). Vaktstyrka och beredskapsstyrka, meddelande 1965:7. Statens Brandinspektion: Stockholm.
- Svensson, S. (1996). Brandförebyggande åtgärder som taktisk resurs vid räddningsinsats - förstudie (rapport R53-134/96). Räddningsverket: Karlstad.
- Thomas, P.H. (1959). Use of Water in the Extinction of Large Fires. Institution of Fire Engineers Quart. 19, no 35/1959, pp130 - 132.
- Vännman, K. (1990). Matematisk statistik. Lund: Studentlitteratur.

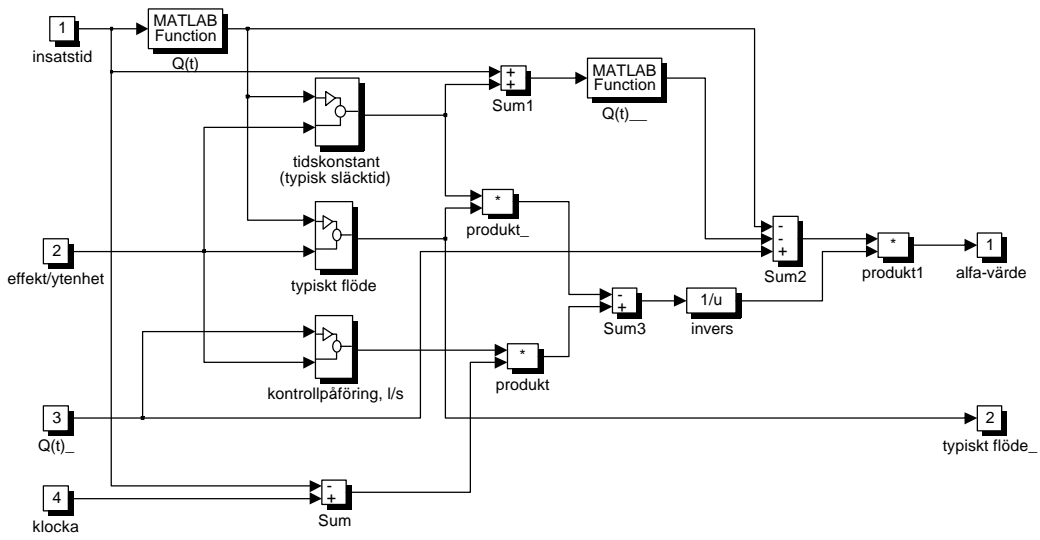
Bilaga; Exempel i Simulink® för en enkel räddningsinsats



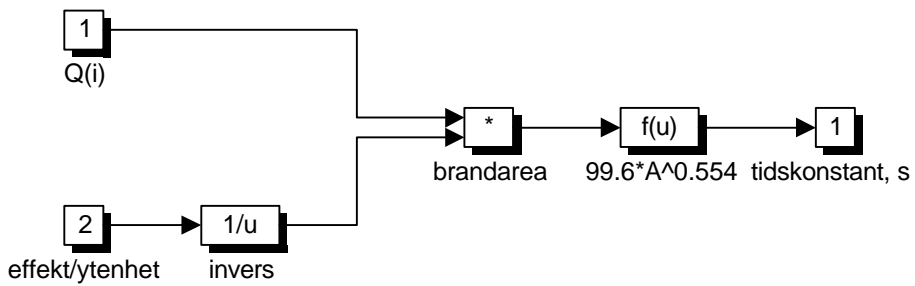
Beräkning av totalt utveckladeffekt; $\dot{Q}_{tot} = \dot{Q}_{brand} - \dot{Q}_{vatten}$



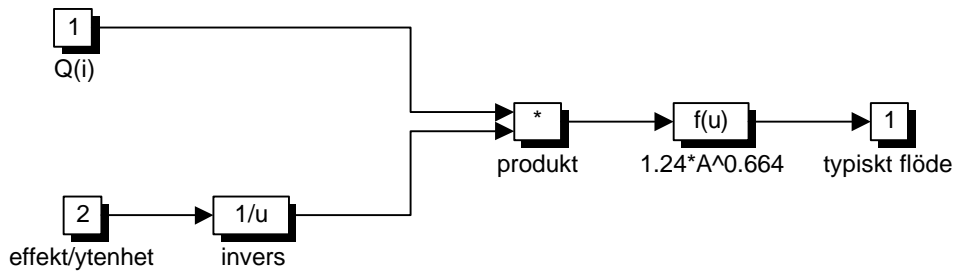
Beräkning av släckvatteneffekt; $f(t, w) = \mathbf{a} \cdot w \cdot (t - i)$



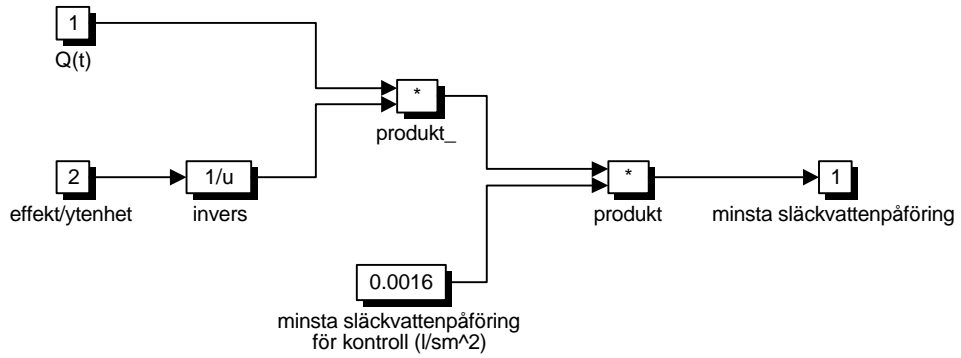
Beräkning av alfa-värde
$$a = \frac{\dot{Q}(t) - Q(i) - Q(t+i)}{w_{\min} \cdot (t-i) - w \cdot t}$$



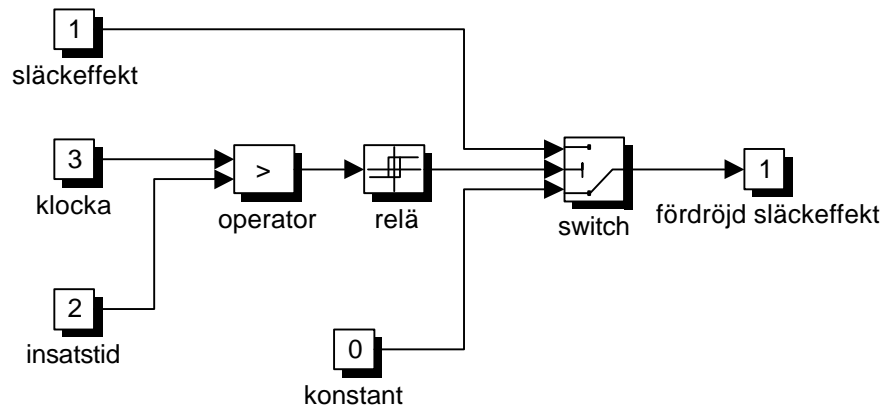
Beräkning av typisk släcktid; $t = 1.66 \cdot 60 \cdot A^{0.554}$, samt
 omräkning av effektutveckling till brandarea; $A = \frac{\dot{Q}(i)}{\dot{Q}''}$



Beräkning av typiskt flöde; $w = 1.24 \cdot A^{0.664}$, samt
 omräkning av effektutveckling till brandarea; $A = \frac{\dot{Q}(i)}{\dot{Q}''}$



Beräkning av minsta erforderliga släckvattenflöde för kontroll.



Fördröjning av släckinsatsen ($t + i$)