

# **Fördjupad insatsplanering för nivå 775, Kirunagruvan**

***Rickard Hansen***

---

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

**Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet**

**Report 5120, Lund 2003**



# **Fördjupad insatsplanering för nivå 775, Kirunagruvan**

**Rickard Hansen**

**Lund 2003**

Fördjupad insatsplanering för nivå 775, Kirunagruvan

Rickard Hansen

**Report 5120**

**ISSN: 1402-3504**

**ISRN: LUTVDG/TVBB--5120--SE**

Number of pages: 114

Illustrations: Rickard Hansen och LKAB.

**Keywords**

Pre-planning process, advanced operational plan, CFD, mine, ventilation.

**Sökord**

Insatsplanering, fördjupad insatsplan, CFD, gruva, ventilation.

**Abstract**

Working out an advanced operational plan for the 775-level of the Kiruna mine, using CFD-simulations and calculations. The advanced operational plan includes for example instructions on how to control the ventilation depending on where the fire is located. The report also investigates different, proposed fire protection measures for the level.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2003.

---

Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 Lund

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

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

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

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

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

## Summary

This project was aimed at developing an advanced operational plan for the 775-level of the Kiruna mine. More precisely the work should consist of working out instructions on what actions to take concerning the ventilation during a fire and pre-planning for the water supply. Further more the work should also include analysis of the passive and active fire protection design of the level, recommendations were to be worked out in order to improve the environment for response personnel in case of a fire. Finally, a large amount of simulations – using the CFD-tool FDS – should be used as a tool for obtaining the major part of the documents described above.

In the rescue services legislation it is described that every rescue operation should be planned and organized so that the rescue operation could get started within a reasonable time limit and conducted in an effective manner. The development of operational plans can be referred to this sentence, as an operational plan is aimed at making the rescue operation more effective.

Today there is an operational plan, developed by the Kiruna fire and rescue service in cooperation with the mining company, LKAB. This operational plan consists of:

- An introductory A4-page with common information regarding the object and an eventual rescue operation and a register over included sketches.
- Sketches of each level, starting with the upper level. On each sketch the following has been marked: what roads to take, risks, the location of the fire alarm, re-assembly point, shut-off valves, possible salvage, the position of fire ventilation, sprinklered areas and a sideview of the level in question.

Aided by the chosen fire scenarios, the work continued with conducted fire simulations using the computer program FDS. With the results from the simulations a worked out instructions concerning how to control the ventilation at the level in case of a fire, depending upon where the fire is located at. Parts of the instructions also include planning for different scenarios depending upon how the ventilation-system is working. The result is included in the advanced operational plan. The pre-planning of the water supply and foam-operations was conducted and the result was included in the advanced operational plan.

The results from the simulations were verified by calculations and investigating simulations. Also, an analysis of the passive and the active fire protection design of the level was conducted. The analysis was aimed at giving recommendations in order to improve the environment during a fire for the rescue personnel. The results from this analysis – using computer simulations – was a recommendation for sealing off the largest workshop from the others but a sprinklered dieseltank was ruled out due to lack of positive results from the computer simulation. Further more the fire alarm should be modified so that it can give an indication on what detector that has been activated and thus where the fire possibly is. This in order to motivate the use of the instructions concerning the controlling of the ventilation.

Fire simulations dominate in this report as basis for decision. It hasn't been possible due to practical reasons to conduct any fire tests at the actual level. But it would be most desirable to follow up – particularly the instructions concerning the ventilation – with actual tests at the level. This in order to be able to verify the results from the simulations.

## Sammanfattning

Detta projektarbete syftade till att utforma en fördjupad insatsplan för nivå 775 i LKAB:s Kirunagruva. Rent konkret skulle detta bestå i omfallsplanering och åtgärdskalendrar för brandvattenförsörjningen samt styrning av ventilationen i händelse av brand. Vidare skulle det passiva respektive aktiva brandskyddet för nivån undersökas och eventuella rekommendationer ges med avseende på att förbättra insatsmiljön för räddningstjänsten. Slutligen skulle ett stort antal simuleringar med CFD-programmet FDS användas som verktyg för att få fram beslutsunderlag för flertalet av ovanstående punkter.

I räddningstjänstlagen återfinns man att: ”räddningstjänsten skall planeras och organiseras så att räddningsinsatserna kan påbörjas inom godtagbar tid och genomföras på ett effektivt sätt”. Utförandet av insatsplaner kan hänföras till just denna paragraf, då insatsplaner syftar till att effektivisera räddningsinsatsen. I nuläget finns en insatsplan upprättad av Kiruna räddningstjänst i samverkan med representanter från LKAB. Denna insatsplan är uppbyggd på följande vis:

- Inledande A4-sidor med allmän objektsinformation och insatsinformation samt ett ritningsregister.
- A3-ritningar över respektive nivå med start från översta nivån. På respektive ritning finns följande utmärkt: insatsväg, risker, centralapparats placering, återsamlingsplats, placering av eventuella avstängningar, eventuellt restvärde, placering av brandventilation, punktskydd samt sprängskiss på delen sett från sidan.

Med hjälp av utvalda brandscenarier, utfördes brandsimuleringar med hjälp av datorprogrammet FDS. Utifrån resultaten av simuleringarna utarbetades en åtgärdskalender för SVUJ. Åtgärdskalendern beskriver åtgärder som skall vidtas beroende på brandens placering. Visst fall av omfallsplanering innefattades också i åtgärdskalendern, denna omfallsplanering behandlar åtgärder som skall vidtas beroende på hur ventilationen fungerar på nivån. Resultatet inkluderas i den fördjupade insatsplanen. Omfallsplanering och planering av brandvattenförsörjningen och lättskumsfyllningsoperationer genomfördes och resultatet inkluderas i den fördjupade insatsplanen.

Kontroll av simuleringresultaten genomfördes med hjälp av handberäkningar och undersökande simuleringar.

Vidare genomfördes granskning av det passiva respektive aktiva brandskyddet på nivån med avseende på förbättringar av insatsförhållandena. Resultatet av dessa analyser i form av brandsimuleringar, var att en avskiljning av fordonsverkstaden rekommenderas medan behovet av punktskydd – i form av sprinkler – för dieseltanken inte kunde påvisas. Vidare bör det automatiska brandlarmet göras om till adresserbart sådant. Detta för att åtgärdskalendern skall kunna användas.

Brandsimuleringar som beslutsgrund, dominerar i denna rapport. Det har inte praktiskt varit möjligt att genomföra några brandtester på den berörda nivån. Dock är det önskvärt att följa upp – framför allt åtgärdskalendern för brandventilationen – med faktiska tester på nivån. Detta för att någorlunda verifiera resultaten från simuleringarna.

## **Förord**

Jag vill rikta ett varmt tack till alla som bidragit till att projektet har kunnat genomföras. De personer som jag vill tacka är utan inbördes rangordning:

- Daniel Gojkovic, institutionen för brandteknik, handledare för projektet och till mycket stor hjälp vid bland annat datorsimuleringarna.
- Lars Fredholm, institutionen för brandteknik.
- Lars Aidanpää, Bill Rundqvist, Erling Kenttä, Åke Skoglund och Birger Landström, LKAB.

Kiruna, maj 2003

Rickard Hansen



## Innehåll

### 1. Inledning

1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Metod	1
1.4 Avgränsningar	2

### 2. Beskrivning av Kirunagruvan och nivå 775

2.1 Allmänt	3
2.2 Befintligt brandskydd på nivå 775	8
2.3 Rökdykning och brandsläckning i underjordsgruva	9

### 3. Insatsplanering

3.1 Allmänt	11
3.2 Befintlig insatsplanering för nivå 775	11

### 4. Riskinventering

4.1 Riskinventering	13
4.2 Brand i lastmaskin, fordonsverkstaden	13
4.3 Fordonsbrand i parkeringsort	14
4.4 Brand vid dieseltank	14

### 5. Brandsimuleringar och val av brandscenario

5.1 Datormodellen FDS	15
5.2 Indata	15
5.3 Utdata	21
5.4 Resultat från simuleringar	21

### 6. Granskning av brandvattenförsörjningssystemet

6.1 Uppbyggnad	27
6.2 Flödesberäkningar	27
6.3 Lättskumsberäkningar	27
6.4 Jämförelse av flödesvärden	28
6.5 Vattenuttagens placering	28
6.6 Omfallsplanering brandvattenförsörjning	28

### 7. Analys av brandsimuleringarna

7.1 Analys av brandsimuleringar med avseende på ventilationen	31
7.2 Analys av brandsimuleringar med avseende på bergstemperaturen och risk för ras	32

7.3 Kontroll av utdataresultat med hjälp av handberäkningar och undersökande datorsimuleringar

7.3.1	Adiabatiska flamtemperaturen	33
7.3.2	Temperaturen i brandplymen	33
7.3.3	Hastighet och temperatur i ceiling jet	34
7.3.4	Q*	35
7.3.5	Storleken på gridsystemet	35

**8. Granskning av det passiva brandskyddet** 37

**9. Granskning av det aktiva brandskyddet** 39

**10. Resultat**

10.1	Åtgärdskalender och omfallsplanering	41
10.2	Granskning av det passiva respektive aktiva brandskyddet	43
10.3	Datorsimuleringar med FDS	44

**Referenser**

**Förteckning över bilagor**

**Bilaga 1: Ritning över nivå 775**

**Bilaga 2: Befintlig insatsplan för nivå 775**

**Bilaga 3: Brandstatistik**

**Bilaga 4: Ritning över ventilationen, nivå 775**

**Bilaga 5: Resultatet från datorsimuleringar**

**Bilaga 6: Skiss över borrsvattensystemet/brandsvattensystemet**

**Bilaga 7: Källkod för brandsimulering**

## 1. Inledning

### 1.1 Bakgrund

Kirunagruvan är världens största järnmalmsgruva. Järnmalmsbrytningen på platsen började vid förra sekelskiftet och pågår alltjämt i allra högsta grad. Det var under 1960-talet som underjordsbrytningen påbörjades, dessförinnan hade all brytning skett i dagbrott. Idag finns det cirka 40 mil asfalterad väg under jord, i gruvan återfinns förutom malmförädlingsverksamhet också verkstäder, matsal, styrcentral etc.

Själva hjärtat i gruvan är nivå 775 – nivå 775 anger att den är placerad 775 meter under det ursprungliga bergets topp – därifrån styrs det mesta i gruvan. På nivå 775 återfinns vi styrcentral, matsal, kontor, ställverk, oljerum, fordonsverkstad, lok/vagnsverkstad samt räls och tappverkstad. Nivå 775 är den nivå där flertalet av de människor som arbetar under jord återfinns. Sålunda är nivå 775 den mest sårbara delen av gruvan. Sammanlagt arbetar totalt 650 personer i gruvan.

Detta projektarbete utgör kursen ”Problembaserad brandteknisk riskhantering” vid brandingenjörsutbildningen, LTH. Arbetet ska visa på förmåga att tillämpa de kunskaper och färdigheter hos eleven som förvärvats under utbildningen, egenskaper såsom att självständigt analysera och redovisa en relativt omfattande uppgift på ett vetenskapligt metodiskt sätt.

### 1.2 Syfte

Syftet med detta projektarbete är att utforma en fördjupad insatsplan för nivå 775 i LKAB:s Kirunagruva. Rent konkret skulle detta bestå i omfallsplanering och åtgärdskalendrar för brandvattenförsörjningen samt styrning av ventilationen i händelse av brand. Vidare skulle det passiva respektive aktiva brandskyddet för nivån undersökas och eventuella rekommendationer ges med avseende på att förbättra insatsmiljön för räddningstjänsten. Slutligen skulle ett stort antal simuleringar med CFD-programmet FDS användas som verktyg för att få fram beslutsunderlag för flertalet av ovanstående punkter.

Omfallsplanering är en verksamhet där möjliga riktningar för utvalda scenarier tas fram och förberedande planering genomförs för de olika riktningarna (ex. kan detta omfatta planering av erforderliga specialresurser, hur de alarmeras etc.).

En åtgärdskalender är i princip en lista med föreslagna åtgärder som bör vidtas i samband med en specifik händelse. I regel försöker man lista de föreslagna åtgärderna i kronologisk ordning (så långt det nu är möjligt).

### 1.3 Metod

Följande delmoment återfinns i projektets fortlöpande arbete:

- Platsinventering, riskinventering och bakgrundsresearch: detta genomfördes med hjälp av dokumenterade studiebesök på platsen, intervjuer med sakkunniga inom företaget samt litteraturstudier.
- Val av brandscenarios: detta genomfördes med hjälp av införskaffande av brandstatistik, resultatet av riskinventeringen, intervjuer med sakkunniga inom företaget och samtal med personal från Brandteknik, LTH.
- Datorsimuleringar och analysarbete: detta genomfördes med hjälp av datorsimuleringar i FDS av ovan utvalda brandscenarios där även ventilationen varieras, flödesberäkningar

och lättskumsberäkningar med avseende på befintligt brandvattenförsörjningssystem samt analysarbete av det passiva brandskyddet, brandvattenförsörjningssystem, risken för ras vid brand och det aktiva brandskyddet med avseende på insatsaspekten.

- Utarbetande av omfallsplanering och åtgärdskalendrar: detta genomfördes med hjälp av analys av resultatet från ovanstående.
- Dokumentation och rapportskrivning: resultat från ovanstående punkter utmynnade i en fördjupad insatsplan. Slutlig rapport utarbetades.

#### **1.4 Avgränsningar**

I detta projektarbete ingår inte analyser/bedömningar av kommunikationsolyckor, kemikalieolyckor eller rasolyckor (undantaget risk för ras i samband med brand).

Projektarbetet behandlar enbart en brand som inträffar på den berörda nivån –775 meters nivå. Sålunda behandlas inte bränder som uppstår på annat håll i gruvan.

De släcksystem som återfinns på nivån har ej analyserats med avseende på deras inverkan på brand. Anledningen till detta är att släcksystemen återfinns i mindre och slutna utrymmen och har begränsad kapacitet. Sålunda kommer de inte att ha någon större effekt på brandförloppet i angränsande utrymmen.

Vidare görs inga sannolikhetsbedömningar av de olika scenarierna.

Inga brandförsök har genomförts.

## 2. Beskrivning av Kirunagruvan och nivå 775

### 2.1 Allmänt

LKAB är en världens ledande producent av högförädlade järnmalmprodukter och en av de största pelletsleverantörerna.

Malmkroppen i Kiruna är en sammanhängande jättelik magnetitkiva. Den är omkring fyra kilometer lång, har en genomsnittlig bredd på 80 meter och ett bedömt djup på cirka två kilometer. Lutningen är cirka 60 grader. Huvudnivån ligger för närvarande på 1045 meters djup. Fram till idag har cirka 940 miljoner ton malm brutits i Kiruna.



Bild 1. Malmkroppen i Kiruna.

Själva brytningen går till på följande sätt:

Första steget är tillredning av ortar. En gruvort är en tunnel som går inne i berget.

Tillredningen handlar om att bygga nya delar i gruvan där malmen kan brytas. Uppdraget får man från gruvplaneringen i form av bygghandlingar. Varje år beställer gruvplaneringen jobb enligt de förväntade behov som finns på leveranser av produkter och de kunskaper som finns om hur malmkroppen ser ut. En tillredningsort går tvärs igenom malmkroppen. Borrningen av ortarna sker med elhydrauliska borrarregat. För varje salva borrar upp mot 60 borrhål som är cirka fem meter långa. När salvan är färdigborrad, laddas borrhålen med sprängmedel.

Salvan sprängs på natten. Den losskjutna malmen lastas ut med hjälp av frontlastare. När det är gjort borrar man nästa salva, osv – tills hela tillredningsorten är klar. Ortarna kan vara upp till 80 meter långa. Ortens väggar och tak förstärks vid behov med bultar och/eller betongsprutas.



Bild 2. Tillredning.

När tillredningen är klar påbörjas rasborrningen. När ett antal malmortar är färdigdrivna kan man börja rasborra en skiva. Den är 27.5 meter i höjddled. Uppborrning av skivorna sker med fjärrstyrda rasborrningsaggregat. Operatörerna har sin arbetsplats i kontrollrummet på nivå 775 och fjärrstyr därifrån flera borraraggregat som arbetar ute på produktionsområdena. Aggregaten borrar uppåtriktade hålkransar, en solfjädersform. Varje krans innehåller 10 borrhål. De är normalt cirka 40-45 meter långa. Hålen borrar raka, för att efterföljande laddning och sprängning skall fungera effektivt. När en krans är färdigborrad, backas aggregatet tre meter, innan den börjar borra upp en ny hålskrans. En ort som är cirka 80 meter lång, rymmer cirka 20 kransar. När borringen är avslutad i hela orten, är det dags för laddning.



Bild 3. Rasborrning.

Borrhålen i en krans laddas med en laddrobot som sprutar in sprängmedlet. Skjutningar sker varje natt. Varje salva i rasbrytningen lossgör cirka 10.000 ton malm. När salvan är ventilerad på morgonen, sker utlastning med hjälp av frontlastare. Sedan laddas nästa krans, osv. Proceduren upprepas tills hela produktionsorten är utlastad.



Bild 4. Laddning och sprängning.

Nästa steg är raslastningen. I Kirunagruvan sker raslastningen till största del med hjälp av ellastmaskiner som är fjärrstyrda. Operatören sitter i kontrollrummet på nivå 775 och kör maskiner som navigerar ute i produktionsortarna med hjälp av roterande laser och reflexer i ortväggen. Information går trådlöst via ett antal basstationer till styrsystemen i kontrollrummets dator.



Bild 5. Raslastning.

Nästa steg är bergtransporten till huvudnivån. Huvudnivån i Kirunagruvan ligger på 1045 meters djup. Malmen tappas via fjärrstyrning från bergfickorna till järnvägsvagnar. Förarlösa tåg bestående av lok och 24 vagnar, transporterar malmen till en av fyra lossningsstationer. När tågen passerar över stationen öppnas botten på vagnarna och malmen faller ner i en bergficka och matas sedan in en av fyra krossar. Malmen krossas till cirka 100 mm stora bitar.



Bild 6. Bergtransport till huvudnivå.

Sista steget är uppfodringen. När malmen har krossats går den vidare med bandtransportörer till en plats i gruvan där de stora malmhissarna går. Malmen lastas automatiskt in i malmhissen och hissas sedan med en fart av 17 meter i sekunden upp till förädlingsverken ovan jord. Själva uppfodringen sker i två steg. Först via en av fyra malmhissar till nivå 775, där malmen omlastas för att sedan lyftas vidare i en av sex malmhissar till förädlingsverken. Krossning och uppfodring övervakas och styrs från kontrollrummet på nivå 775. /1/



Bild 7. Uppfodring.

På nivå 775 arbetar i normala fall cirka 100 personer. Flertalet av dessa återfinns i kontorsdelarna och i styrcentralen.

För nivåns utseende, se bilaga 1.

Nivå 775 består av följande delar:

- Lok- och vagnverkstad, där lok och tillhörande vagnar repareras. Här återfinns under normal drift stora mängder elkablar, ett mindre antal lok och vagnar, ett par lastbilar och personbilar, mindre mängder smörjolja och hydraulolja. Vidare finns också en mindre kontorsdel (kur) i ena änden av verkstaden.



Bild 8. Lok- och vagnverkstad.

- Förrådsutrymme mellan lok/vagnverkstad och fordonsverkstad, där framför allt maskindetaljer förvaras. Batteriladdningsrummet finns här. Här förvaras även 120 liter brandfarlig vätska.
- Elektronikverkstad med tillhörande pausutrymme och toalett. I elektronikverkstaden återfinns mindre mängder elkablage, elkomponenter och mätutrustning.
- Fordonsverkstad, där framför allt lastmaskiner repareras. I normala fall återfinns man två lastmaskiner inne för reparation eller översyn. För övrigt återfinns mindre mängder smörjolja och hydraulolja.



Bild 9. Fordonsverkstad.

- Kontorsdel (underhåll).
- Oljehanteringsrum, där cirka 16 m<sup>3</sup> av olika oljor (hydraulolja, spillolja etc.) finns.
- Räls- och tapparverkstad, där ett flertal personbilar, lastbilar och kabeltrummor återfinns. Här återfinns även en behållare med 5 m<sup>3</sup> diesel, behållaren fungerar som tankstation för dieselfordon. För övrigt återfinns mindre mängder smörjolja och hydraulolja.



Bild 10. Räls- och tapparverkstad.

- Ställverk.
- Styrcentral med tillhörande kontorsdel.
- Matsal.
- Fläktrum.

Utöver detta tillkommer givetvis förbindelser mellan exempelvis verkstäderna och till snedbanan. En del av dessa förbindelser fungerar också som så kallade parkeringsort, där personbilar och lastbilar ska parkeras. Parkeringsort finns på följande platser: utanför matsalen, de bägge förbindelserna mellan fordonsverkstaden och räls/tapparverkstaden, i räls/tapparverkstaden samt i snedbanan mellan matsalen och räls/tapparverkstaden. I ena förbindelsen mellan fordonsverkstaden och räls/tapparverkstaden återfinns även en gascentral med 530 liter acetylengas, 640 liter syrgas och 6 kg gasol. Själva gascentralen i sig befinner sig på ett högre betongfundament och är även försett med påkörningsskydd i form av stålbalkar.

## 2.2 Befintligt brandskydd på nivå 775

Det befintliga brandskyddet på nivå 775 består av följande komponenter:

- Brandsektioneringar: nivån kontra snedbanan (EI60), oljehanteringsrummet är egen brandcell (EI60), matsalen är egen brandcell (EI60), styrcentralen och kontorsdelen är egen brandcell (EI60), ställverket är egen brandcell (EI60), hisschaktet är öppet ner till nivå 898 men i övrigt avskilt i klass EI60. Fläktrummet vid matsalen är egen brandcell i klass EI60. Observera att den enskilda kontorsdelen är inte en brandcell.
- Aktiva släcksystem: ställverket samt golvet under styrcentralen är skyddat med ett koldioxidssystem.
- Automatiskt brandlarm: i styrcentralen finns rökdetektorer, i de mindre kontorsutrymmena finns värmedetektorer, i korridorerna finns rökdetektorer, i ställverket finns rökdetektorer, i verkstäderna återfinns rök- och linjedetektorer, i matsalen finns rökdetektorer, i oljehanteringsrummet finns rökdetektorer, i batteriladdningsrummet (förrådet) finns rökdetektorer och i fläktrummet finns rökdetektorer. Observera att brandlarmet i nuläget inte är adresserbart. Ett adresserbart brandlarm innebär att räddningstjänsten i ett mycket tidigt läge (redan på väg ut från brandstation) får kännedom om vilken sektion som larmat. Ett icke-adresserbart brandlarm innebär att räddningstjänsten får först kännedom om larmad sektion efter att de har anlänt till objektet ifråga. Ett adresserbart brandlarm innebär sålunda att räddningsledaren har möjlighet att i ett väldigt tidigt skede vidta erforderliga åtgärder och vara väl mentalt förberedd vid ankomsten till objektet.
- Brandpostuttag/borrvattenuttag finns i det mittersta partiet i fordonsverkstaden. Ytterligare ett uttag finns alldeles utanför matsalen, på nivå 740.
- Handbrandsläckare finns på platser runt hela nivån.
- All personal har genomgått brandskyddsutbildning, för att bland annat själva kunna släcka en brand i initialfasen.
- På nivån finns även andningsskydd, men denna är inte avsedd för eventuell rökdykning på nivån utan skall användas av särskild utbildad personal på nivån som kallas in som guide för att leda in räddningstjänstens personal vid bränder på annat håll i gruvan.
- Ventilationen på nivån går delvis att styra från styrcentralen samt från PC-media center som återfinns ovan jord. Ventilationen styrs då med hjälp av ett system som benämns SVUJ (Styrd Ventilation Under Jord), ventilationen är uppkopplad mot detta system där det går att stänga av respektive sätta på tillufts- och frånluftsflöden (dock går det inte att finjustera flödena, utan valmöjligheten består enbart i att utvalt flöde antingen stängs av eller sätts på) . Tanken är då att vid en brand skall ventilationen styras på så sätt att

utrymningen underlättas, branden hålls nere och släckningsarbetet underlättas. Dock finns det inga instruktioner utarbetade och heller inga rekommendationer om hur själva bedömningen skall gå till. Tanken är att räddningsledaren på plats skall i samverkan med styrcentralspersonal besluta om hur SVUJ ska utformas under insatsen. Förutom den vanliga komfortventilationen finns även särskild ventilation för brandgasevakuering på nivån, med en kapacitet på cirka 28000 m<sup>3</sup>/h /7/. Brandgasevakueringens intag sitter snett mittemot dieseltanken. Aktiveringen av brandgasevakueringen görs vanligtvis inne i styrcentralen, men kan också göras på plats vid själva intaget. Brandgasevakueringen används i viss mån även som komfortventilation, den sätts nämligen på vid skiftbyten då många fordon är igång och mängden avgaser är stor.

### 2.3 Rökdykning och brandsläckning i underjordsgruva

En släckinsats i en underjordsgruva innebär stora risker för insatspersonalen och ställer stora krav på dem. Insatsen kommer med stor sannolikhet att medföra mycket långa inträngningsvägar (i värsta fall flera hundra meter) och mycket långa tider för att söka av rökfyllda områden, ett mycket svårorienterat objekt med vägar som går i alla riktningar, problem med sambandet, höga krav på resurser och logistik (behovet av rökdykare och andningsskydd kommer att vara stort), stora risker med avseende på bergssläpp då berget upphettas, gasflaskor i verkstäder, gruvschakt m.m.

Vad kan man då göra för att öka effektiviteten vid en insats? I samband med planeringen av gruvnivåerna kan man säkerställa att avskiljningen finns ut mot snedbanan (snedbanan är körförbindelsen från dagen och ner till de olika nivåerna), att omfattande och komplexa nivåer delas upp i brandceller, att riskfyllda områden såsom verkstäder och parkeringsortar förses med punktskydd i form av sprinkler. Vidare bör man se över ventilationen för den berörda nivån. I Kirunagruvan går ventilationen till viss del att styra. Man kan då i vissa fall använda ventilationen för att minska rökspridningen och på så vis reducera de långa inträngningsvägarna. Observera att värmen vid en brand är oftast inte något att ta i beaktande (förutom bergssläpp, som dock bara berör det absoluta närområdet till branden) utan det är den kraftiga rökutvecklingen från exempelvis däckbränder som ställer till det för rökdykarna. Rent utrustningsmässigt kan räddningstjänsten använda sig av värmekamera för att effektivisera sökoperationerna och minimera risken för fall ner i schakt, eventuellt använda sig av andningsskydd av slutentyp för att öka rökdykarnas aktionstid.

Räddningstjänsten kan också öka på effektiviteten genom omfattande insatsplanering och övningsverksamhet. Särskilt utbildade guider från gruvbolaget kan användas för att komma tillrätta med problemen angående orienteringssvårigheterna.

För att öka på utrymningssäkerheten, placerar man ut så kallade räddningskammare vid blindtarmar där tillfälliga arbeten bedrivs. En räddningskammare är en isolerad container, utrustad med andningsskydd för 6 personer, ett luftförråd för 4 timmar samt en telefon. Tanken är att gruvpersonal i närheten skall kunna bege sig till räddningskammaren i händelse av brand. Där invänta räddningstjänstens rökdykare, som skall komma till undsättning och evakuera gruvpersonalen (i värsta fall med revitox, vilket är en räddningsmask för användning vid rökdykarinsatser).

När det gäller själva brandsläckningen, så skiljer den sig något jämfört med andra objekt. Så kallade temperaturkontroller (innebär att rökdykaren skickar iväg en stråle mot taket för att göra en bedömning om vilka temperaturer brandgaserna ovan har och då även risken för antändning av brandgaserna; kommer vattnet tillbaka så bedöms läget som lugnt men om vattnet förångas så bedöms risk finnas för antändning av brandgaserna och kylning av

brandgaserna bör påbörjas snarast) som vanligtvis genomförs flertalet gånger under en rökdykarinsats, är klart olämpliga i en gruva på grund av risken för bergssläpp. Många gånger är användningen av pulver ett klart bättre alternativ. Vid riskfyllda bränder där man vill att rökdykarna skall hålla ordentligt avstånd till branden, kan användning av mellanskum eller lättskum vara ett bra alternativ. Mellanskum och lättskum kan appliceras på betryggande avstånd från själva branden, skummet väller fram och kommer så småningom att nå fram till branden.

Observera att ovanstående risker, insatsteknik etc. gäller för järnmalmsgruvor såsom Kirunagruvan. För andra typer av gruvor kan det skilja sig avsevärt. Exempelvis är kolgruvor betydligt mera riskfyllda. Riskerna i en kolgruva är förutom de som finns i en järnmalmsgruva, även: metangasexplosion, självantändning och dammexplosion. I en kolgruva kan man inte använda ventilationen lika fritt och offensivt som i en järnmalmsgruva, då följderna vid exempelvis en dammexplosion skulle bli mångfalt värre. /10/

### 3. Insatsplanering

#### 3.1 Allmänt

I räddningstjänstlagen återfinns man att: ”räddningstjänsten skall planeras och organiseras så att räddningsinsatserna kan påbörjas inom godtagbar tid och genomföras på ett effektivt sätt”. /8/ Utförandet av insatsplaner kan hänföras till just denna paragraf, då insatsplaner syftar till att effektivisera räddningsinsatsen.

Insatsplanering i sig kan ses som en process där bland annat riskerna noteras, resurserna och eventuella hjälpmedel kontrolleras, eventuellt anpassas och listas etc. I denna rapport fokuseras främst på det slutgiltiga och handfasta resultatet i form av en så kallad insatsplan. Dock skall inte processen som leder fram till insatsplanen föringas, då den ger enormt mycket och då främst för de som är inblandade i den.

Allmänt sett kan man dela upp insatsplaner i tre kategorier /2/:

- Förenklad insatsplan (ofta kallad insatskort eller framkörningskort). Utgörs oftast bara av en A4-sida med den allra viktigaste informationen för det initiala skedet (framkörning, ankomst och inledande order).
- Insatsplan. Utgörs vanligtvis av mera detaljerad information om risker, restvärde etc. Därutöver inkluderas även mera detaljerad och omfattande ritningsmaterial i större format (A3).
- Fördjupad insatsplan. Skillnaden mellan den fördjupade insatsplanen och den vanliga insatsplanen, är att den fördjupade insatsplanen skall även innehålla information som behövs för att effektivisera en mera långsiktig och komplicerad insats.

#### 3.2 Befintlig insatsplanering för nivå 775

I nuläget finns en insatsplan (se bilaga 2) upprättad av Kiruna räddningstjänst i samverkan med representanter från LKAB. Denna insatsplan är uppbyggd på följande vis:

- Inledande A4-sidor med allmän objektsinformation och insatsinformation samt ett ritningsregister.
- A3-ritningar över respektive nivå med start från översta nivån. På respektive ritning finns följande utmärkt: insatsväg, risker, centralapparats placering, återsamlingsplats, placering av eventuella avstängningar, eventuellt restvärde, placering av brandventilation, punktskydd samt sprängskiss på delen sett från sidan.

Insatsplanen finns i flera exemplar, bland annat återfinns exemplar i larmcentralen för att kunna användas vid eventuellt stabsarbete. Insatsplanen är även digitaliserad

Insattiden ner till nivå 775 bedöms till 25 minuter. Vid framkörningen till nivån kommer en guide att sammanstråla med insatsstyrkan, för att på snabbaste och säkraste viset kunna leda insatsstyrkan fram till platsen. Guiden är oftast en elektriker och kan då även ansvara för brytning av ström.

Vid en längre och komplicerad insats i gruvan kommer även LKAB:s katastroforganisation att aktiveras, vilken kommer att ta hand om större delen av underhåll, resurser etc. för insatsen.

En fördjupad insatsplan för nivå 775 skulle då exempelvis kunna innehålla:

- Åtgärdskalender för användning av SVUJ på nivån.

- Omfallsplanering med avseende på brandvattenförsörjningen.

Färdig åtgärdskalender och omfallsplanering kan vara hjälpmedel vid en långvarig och komplicerad insats, särskilt som det är osäkert vad gäller tillgänglig personal för eventuellt stabsarbete. Räddningsledaren lär få starta upp det hela med underbemanning. Finns det då några hjälpmedel i form av åtgärdskalender eller omfallsplanering, lär detta få stor nytta.

## 4. Riskinventering

### 4.1 Riskinventering

På nivå 775 återfinns man följande potentiella risker för större bränder:

- Fordonsbrand i en parkeringsort. Kan antingen vara en personbil eller en lastbil.
- Brand i elkablage på trumma, i lok/vagnverkstaden eller i räls/tapparverkstaden. Material är PCP-gummi (cloroprene) som klassas som svårantändligt /4/. Kablaget finns i två dimensioner och dess löpmassa är: 461 kg/km för kabel med manteltjockleken 4x50, innermantel 1.7 mm och yttermantel 3 mm; 819 kg/km för kabel med manteltjockleken 4x95, innermantel 2 mm och yttermantel 4 mm. På varje trumma finns cirka 330 meter kabel.
- Brand i 5 m<sup>3</sup> dieseltank, räls/tapparverkstad.
- Brand i olja, oljehanteringsrum.
- Brand i lastmaskin, fordonsverkstaden. Brännbara ämnen: respektive däck väger 1947 kg och har måtten 40'/65'/39' (bredd, höjd, innermått (fälg)), 1000 liter hydraulolja (varunamn: Hydraway HVX 46).
- Brand i utströmmande gas, gascentralen.

I Kirunagruvan återfinns man en rad olika typer av lastmaskiner, den vanligaste typen är Toro 2500 vilken det finns 11 stycken av i gruvan. Toro 2500 har elektrisk drivning och är 14 meter lång, knappt 4 meter bred samt har en maxhöjd av 3.2 meter där förarhytten sitter högst upp. Maskinen väger 76 ton och kan ta maximalt 25 ton vid varje lastning eller drygt 10 m<sup>3</sup>.

Följande tre scenarios har valts ut för datorsimuleringar: brand i lastmaskin i fordonsverkstaden, fordonsbrand i en parkeringsort och brand vid 5 m<sup>3</sup> dieseltank. Anledningarna till att just dessa tre scenarier har valts ut är att enligt brandstatistiken för Kirunagruvan – mellan åren 1988—2002 – är fordonsbränder den i särklass vanligaste typen av bränder. Drygt 70 % av bränderna var fordonsbränder, se bilaga 3. Detta gör att fordonsbrand i en parkeringsort samt brand i lastmaskin, fordonsverkstaden, väljs ut. Lastmaskinsbranden är även intressant ur den synvinkeln att den innehåller stora mängder brännbart material och har potential att utvecklas till en större brand. Fordonsbrand i parkeringsort är även intressant ur den synvinkeln att parkeringsorter finns på en rad olika platser på nivån, vilket gör att utformningen av ventilationen sätts verkligen på prov under simuleringarna eftersom den då skall fungera tillfredsställande på en rad olika ställen på nivån. Slutligen så tas även brand vid dieseltank med som scenario, även om statistiken inte ger anledning till detta. Orsaken till att brandscenariot tas med är framför allt dess strategiska placering på nivån, vilket kan ställa till det för utrymmande personal samt räddningstjänstpersonal i händelse av en brand (bland annat med tanke på rökspridning till intilliggande utrymnen).

### 4.2 Brand i lastmaskin, fordonsverkstaden

I fordonsverkstaden utförs reparationer och översyn av framför allt lastmaskinerna. Varje lastmaskin har fyra däck à 1947 kg och dimensionerna: 1 meters bredd, 3.25 meters höjd och 1.95 meters innermått, fälg. Varje lastmaskin innehåller även 1000 liter hydraulolja. Lastmaskinerna är eldrivna via en kabel och kabelvinda i den bakre delen av maskinen. Tänkbara scenario skulle kunna vara att brand uppstår i utspild hydraulolja som i sin tur antänder ett lastmaskinsdäck. Observera att det vid simuleringarna ej har tagits med de 1000

liter hydraulolja som finns i särskild tank mitt på lastmaskinen, vid dimensioneringen av effektkurvan. Anledningen till detta är att sannolikheten att hydrauloljan skulle delta i någon större omfattning i brandförloppet bedöms vara liten, eftersom tanken är placerad så långt från däckens som möjligt samt att den till stor del är skyddad av själva maskinkonstruktionen.

#### **4.3 Fordonsbrand i en parkeringsort**

Vissa ortar är utsedda som parkeringsortar. Man finner där både personbilar och lastbilar. Tänkbart scenario skulle kunna vara en motorrumsbrand som sprids till resterande delar av fordonet.

#### **4.4 Brand vid 5 m<sup>3</sup> dieseltank**

I räls/tapparverkstaden finns en 5 m<sup>3</sup> dieseltank. Tänkbart scenario skulle kunna vara att ett läckage uppstår och dieseln rinner ut och bildar en pöl. Pölen antänds.

## 5. Brandsimuleringar och val av brandscenario

### 5.1 Datormodellen FDS

Vid simuleringarna har CFD-modellen Fire Dynamics Simulator (FDS) använts. FDS har tagits fram av NIST (National Institute of Standard and Technology).

En CFD-modell bygger på att man delat upp den intressanta volymen i flera, mindre delvolymmer. De fundamentala reglerna om bevarandet av massa, energi och rörelsemängd för de mindre delvolymerna, gör att man kan simulera brandförloppet med betydligt noggrannare resultat än vad som är möjligt med så kallade tvåzonsmodeller.

FDS i sig består utav programmet "fds2" som är ett beräkningsprogram. Sedan finns det ett visualiseringsverktyg som heter "smokeview" som kan användas i anslutning till "fds2". "smokeview" kan alltså presentera beräkningsresultaten från "fds2".

För exempel på indatafil för brandsimulering (i detta fallet scenario 41) , se bilaga 7.

### 5.2 Indata

Gridsystemet: Alla kroppar och utrymmen definieras som rätblock i ett xyz-koordinatsystem. Eftersom programmet använder sig av en Poisson lösning baserad på Fast Fourier Transforms (FFTs), skall storleken på gridsystemet vara av formen  $2^l 3^m 5^n$ , där l, m och n är heltal. Vid nästan samtliga simuleringar till denna rapport har följande gridsystem använts:

x-led = 108 ; y-led=48 ; z-led=10 . Vilket ger ett system med 51840 kontrollvolymmer.

Till största delen är det storleken på gridsystemet som styr simuleringstiden. Majoriteten av simuleringarna som återfinns i denna rapport tog mellan 10 till 15 timmar att genomföra.

Tidsrymd: Vid samtliga simuleringar har tidsrymden varit 25 minuter (eller 1500 sekunder), vilket bedöms vara den tid från det att branden startat till dess att rökdykarna påbörjar sitt angrepp på nivån.

Definition av ytskikt, material etc: I FDS finns ett flertal material fördefinierade, såsom betong, plåt, trä etc. I fördefinitionen ingår bland annat materialets termiska egenskaper. Finns inte materialet fördefinierat får det matas in manuellt. Då däck inte fanns fördefinierat, matades följande data in för däckmaterial:

- Materialet betraktas som 'Thermally-thick'
- Dess  $\alpha$ -värde är:  $1.1 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
- Dess k-värde är:  $0.19 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$
- Däckstjocklek: 0.07 m

Observera att ovanstående  $\alpha$ -värde och k-värde är de som gäller för PMMA. Anledningen till att värden för PMMA har använts är framför allt att det är svårt att finna entydiga värden för däcksmaterial då detta inte har någon entydig kemisk sammansättning, istället har värden för likartade material – polymera föreningar (plaster och gummiliknande material) – undersökts innan beslut fattats om vilka data som skall användas. När det gäller värden på k så ligger de kring  $0.2 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$  för material såsom polypropylen, PVC, nylon, teflon etc. När det gäller värden på  $\alpha$  så ligger de kring  $1 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  (exempelvis  $0.83 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  för polystyren,  $0.8 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  för PVC och  $1.3 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  för nylon) /3/ /13/ /14/. Sålunda har beslut fattats om att använda PMMA:s värden då de anses kunna representera de för däckmaterialet.

Vid simuleringarna har följande material varit involverade: betong (bergets egenskaper approximeras här med betongs egenskaper), däcksmaterial och plåt (fordonsplåt, kurar etc.). När det gäller approximationen av bergets egenskaper så har granit ett k-värde på 1.73-3.98 W/m<sup>2</sup>·°C och ett α-värde på 8-18·10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s, jämfört med en betongblandning med ett k-värde på 1.37 W/m<sup>2</sup>·°C och ett α-värde på cirka 8·10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s /3/. Sålunda kan approximationen betraktas som rättfärdigad.

Förbränningsparametrar: När det gäller det eller de brännbara ämnena som involveras vid brandsimuleringarna, så kan förbränningsparametrarna matas in (exempelvis de stökiometriska koefficienterna för O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, bränslet ; molekylvikten; rökpotentialen etc.).

Vid simuleringarna har följande förbränningsdata matats in för däcksmaterialet:

- Rökpotential: 0.857 g/g
- Stökiometrisk koefficient för O<sub>2</sub>: 7.84
- Stökiometrisk koefficient för CO<sub>2</sub>: 9.87
- Bränslets molekylvikt: 14.0 g/mol
- Avgiven mängd energi per förbrukad mass-enhet O<sub>2</sub>: 12800.0 kJ/kg
- Del av den totala mängden avgiven energi, som avgår i form av strålningsenergi: 0.43

Observera att ovanstående förbränningsparametrar är de som gäller för polyeten. På samma sätt som vid resonemanget kring k- och α-värdet (då PMMA:s värden valdes ut som representativa), genomfördes en undersökning av värden på framför allt rökpotentialer för polymera föreningar. Istället för att även här välja ut PMMA som representativ för däckmaterialet, valdes istället polyeten eftersom detta polymera material har ett högre värde på rökpotentialen och sålunda leder till mera konservativa och säkra resultat. Exempel på rökpotentialer för polymera föreningar: neoprene ≈ 0.5 g/g , PVC ≈ 0.3 g/g , klorpolymerer ≈ 0.6 g/g /3/. Sålunda väljes polyetens värde som representativa när det gäller förbränningsparametrarna.

Observera sålunda att tidigare i rapporten användes α- och k-värde för PMMA för att beskriva däckmaterialets termiska egenskaper. Anledningen till att värden från två olika material används vid simulering av däcksbland är att de i sina respektive fall ger väl tilltagna och konservativa värden som i slutändan ger värden med hög säkerhet. Vidare så har de bägge materialen någorlunda likartade egenskaper vilket gör att slutresultatet inte blir orealistiskt tilltagna.

#### Effektutveckling:

Vid simulering av brand i lastmaskinsdäck har rampfunktion använts för att få fram en αt<sup>2</sup>-kurva. Vid framtagandet av effektkurvan har det gått till på följande vis:

- Ett lastmaskinsdäck har följande dimensioner: 1 meters bredd, 3.25 meters höjd och 1.95 meters innermått, fälg. Dess mantelyta blir då:  $1 \cdot \pi \cdot 3.25 + 2 \cdot (\pi \cdot 1.625^2 - \pi \cdot 0.975^2) \approx 20.83 \text{ m}^2$ . Dess kontaktyta mot marken approximeras till:  $1 \cdot 0.45 = 0.45 \text{ m}^2$ . Maximalt involverad yta vid brand:  $20.83 - 0.45 = 20.38 \text{ m}^2$ .
- I denna rapport avses att få fram en effektkurva med hjälp av förhållanden mellan ytor, då däcksbland kommer att vara en ytrelaterad brand. I SFPE Handbook, sida 3-28, figur 3-1.47 /3/ finner man en effektkurva för två stycken R22.5-däck. Ur grafen kan man utläsa att maximalt effektvärde är 1000 kW.
- Mantelytan för ett R22.5-däck är:  $0.25 \cdot \pi \cdot 1.125 + 2 \cdot (\pi \cdot 0.5625^2 - \pi \cdot 0.2675^2) \approx 2.42 \text{ m}^2$ . Dess kontaktyta mot marken approximeras till:  $0.25 \cdot 0.25 = 0.0625 \text{ m}^2$ . Detta gör att maximalt involverad yta vid brand är (för två däck):  $2 \cdot (2.42 - 0.0625) = 4.715 \text{ m}^2$ .

- Enligt resonemang ovan skulle då det maximala effektvärdet för ett lastmaskinsdäck vara:  $(20.38/4.715) \cdot 1000 = 4322 \text{ kW}$ .
- Om det nu antas att maximalt effektvärde uppnås efter samma tidsrymd som för R22.5-däcken (cirka 1700 sekunder), så fås följande  $\alpha$ -värde:  $1.495 \cdot 10^{-3} \text{ kW/s}^2$ .

Observera att vid simuleringarna har inte hänsyn tagits till de 1000 liter hydraulolja som finns i särskild tank mitt på lastmaskinen, vid dimensioneringen av effektkurvan.

Vid framtagandet av effektkurvan har alltså tekniken med  $\alpha t^2$ -kurva enbart använts för att lättare matematiskt beskriva effektutvecklingen fram till maximala effektutvecklingen. Till grund för rapportens effektkurva ligger hela tiden den ovan beskrivna effektkurvan för däcksbland, som återfinns i SFPE Handbook. Det som skiljer dem åt är att rapportens effektkurva är en skalning av effektkurvan i SFPE Handbook samt att ett framtaget  $\alpha$ -värde använts för att på ett förenklat sätt beskriva stigningen fram till maximala effektutvecklingen.

Följande effektkurva fås då:

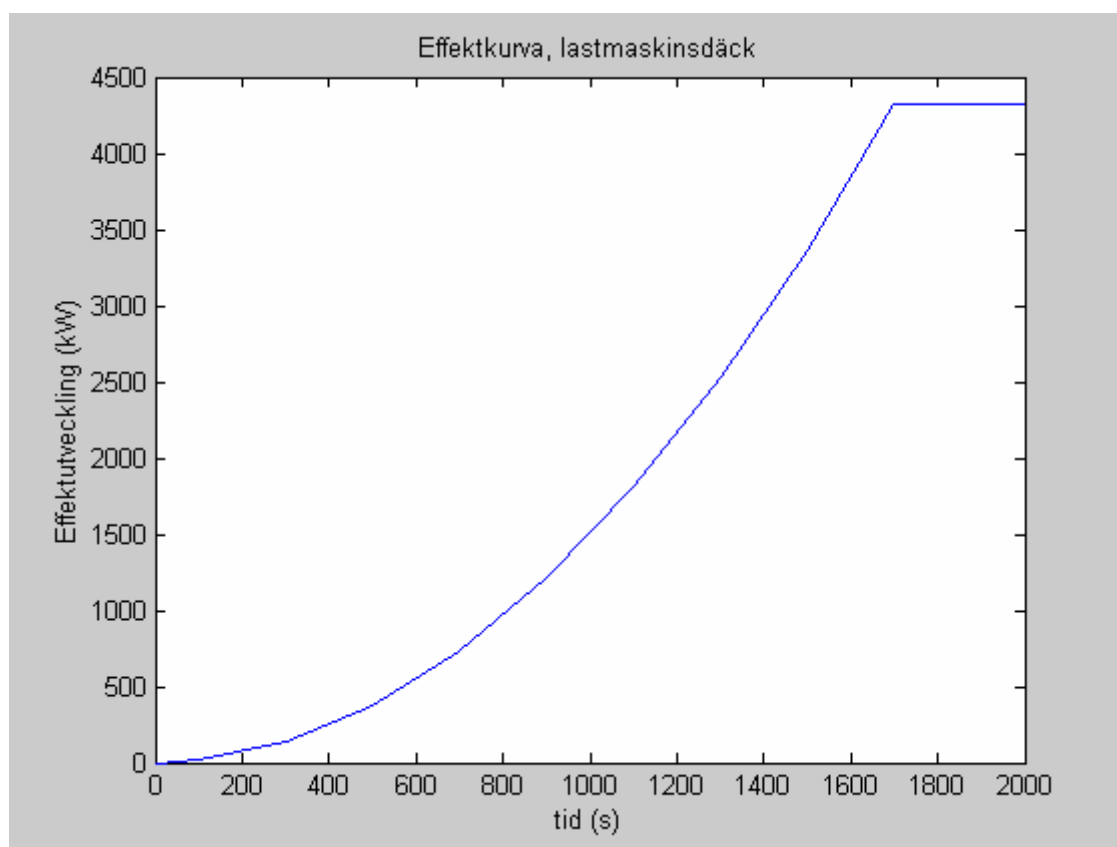


Bild 11. Effektkurva, brand i lastmaskinsdäck.

Ovanstående antaganden och approximationer har bland annat följande svagheter:

- Det har inte tagits med i beräkning att det finns geometriska skillnader mellan persondäck (inte bara storleksskillnader) och lastmaskinsdäck. Dessa skillnader fås inte med i beräkningarna genom att räkna med linjär skalning.
- Effektkurvan i SFPE Handbook /3/, avser ett försök med två däck som är fritt uppställda. Vid en brand i ett lastmaskinsdäck, kommer detta att vara monterat på en lastmaskin. Vid en brand kommer då återstrålning från lastmaskinen att påverka effektutvecklingen.

- Användandet av en effektkurva i form av en  $\alpha t^2$ -kurva är inte det absoluta idealet i detta fall, eftersom  $\alpha t^2$ -kurvornas huvudsakliga användningsområde är vid dimensionering av brandlarm och lämpar sig följaktligen bäst för små bränder. Men i detta fall har  $\alpha t^2$ -kurvan använts för att lättare matematiskt uttrycka effektutvecklingen, vilket gör att denna svaghets inverkan på slutresultatet får anses som mindre betydelsefull.

Det kan finnas risk för att avgiven strålningseffekt kan bli lägre än vad det skulle bli i verkligheten. Detta beroende på att strålningseffekten antas öka linjärt, vilket den inte gör.

Men denna svaghet kompenseras med ett väl tilltaget värde på  $\chi_R (=0.43)$ , vilket gör att den potentiella svagheten kan bortses.

För att få fram en bättre effektkurva, hade ett fullskaletest varit ypperligt. Men ett fullskaletest har inte varit möjligt. Den framtagna effektkurvan får ses som en någorlunda god approximation.

Vid framtagande av effektkurva för brand i personbilsdäck eller lastbilsdäck i parkeringsort har effektkurvor för personbilsbrand i SFPE Handbook använts /3/. Detta har givit följande  $\alpha$ -värden, maximala effektvärden och effektkurvor för brand i personbil:

Maximalt effektvärde (avläst ur graf 3-1.46) /3/: 4200 kW

$\alpha$ -värdet blir (avläst ur graf 3-1.46) /3/:  $5.18 \cdot 10^{-3} \text{ kW/s}^2$

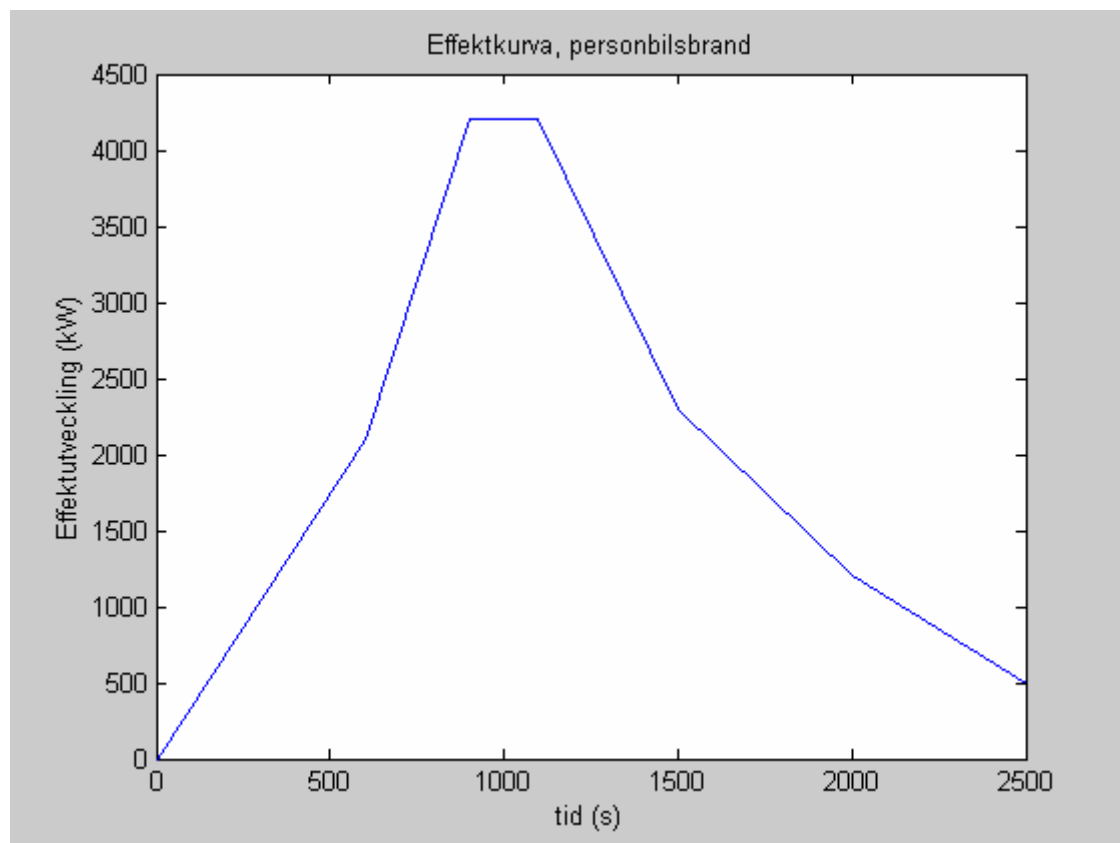


Bild 12. Effektkurva, personbilsbrand.

Vid brand i parkeringsort har brandens placering varierats från simulering till simulering. Detta beroende på att det finns en rad olika parkeringsortar placerade på nivån och följaktligen bör simuleringar utföras för de olika placeringarna med varierande inparametrar.

Observera att vid simulering av fordonsbrand har enbart brand i personbil simulerats. När det gäller rökpotential, sammansättning etc. har samma parametrar som för tidigare definierade däcksmaterialet använts.

Att bara brand i personbil har simulerats kan ha inneburit att alltför små bränder kan ha använts, men eftersom tidigare angivna – konservativa – parametrar har använts har detta med största sannolikhet kompenserat ovan angivna svaghet.

Vid framtagande av effektkurvan för brand vid dieseltanken, har det antagits att en pöl med diametern 3 meter bildas och tankens hela innehåll på 5 m<sup>3</sup> rinner ut. Följande parametrar och effektkurva fås:

$\alpha$ -värdet antas till 0.047 kW/s<sup>2</sup> och det maximala effektvärdet blir:  $1985 \cdot (\pi \cdot 1.5^2) \approx 14031$  kW, enligt tabell 3.6 ur "Enclosure Fire Dynamics" /6/.

Observera att i rapporten har fotogens fördefinierade egenskaper använts vad gäller rökgasproduktion etc. vid simuleringarna, detta har bedömts som lämpligt då fotogen har likartade egenskaper som diesel.

Anledningen till att inte parametrarna för diesel användes, var till största del på grund av att de inte fanns fördefinierade i programmet. Eftersom stora likheter finns mellan de bägge ämnena, drogs slutsatsen att eventuella avvikelser i slutresultatet skulle bli små.

Effektkurvan för brand vid dieseltanken har en svaghet, nämligen att effektutvecklingen i verkligheten kommer att ha en mer eller mindre momentan ökning upp till maximala effektutvecklingen snarare än en  $\alpha t^2$ -utveckling. Men detta faktum har ringa inverkan på utdatan då den huvudsakliga analysen av resultaten sker i den senare delen av förloppet, eftersom brandförloppet stabiliserat sig i det läget. Då maximal effektutveckling uppnås efter knappt 10 minuter – av totalt 25 minuter – har sålunda den konstaterade svagheten ringa inverkan på utdatan.

Observera att vid framtagandet av samtliga effektkurvor har bränderna betraktats som bränslekontrollerade eftersom öppningarna till bränderna är mycket stora (som regel minst 10 m<sup>2</sup> i vardera riktning). Vid exempelvis branden vid dieseltanken – med en maximal effektutveckling på cirka 14 MW – skulle den maximala effektutvecklingen med avseende på ventilationen vara:

$$\dot{Q}_v = 1.26 \cdot A_v \cdot (h_v)^{1/2} = 1.26 \cdot 20 \cdot (3)^{1/2} \approx 43.6 \text{ MW}$$

Vilket vida överskrider 14 MW. Sålunda är det ett riktigt antagande att bränderna kommer med stor sannolikhet att vara bränslekontrollerade.

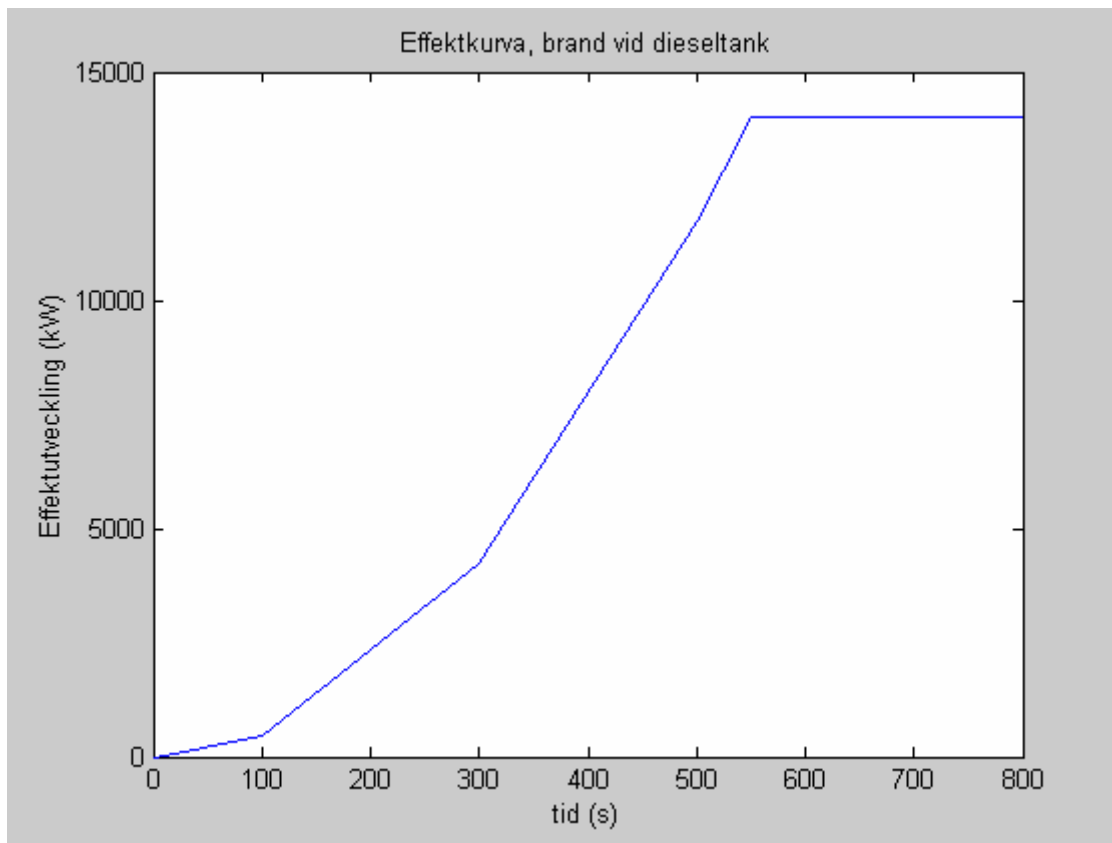


Bild 13. Effektkurva, brand vid dieseltank.

Ventilation: Vid inmatningen har de tre tillufts- och frånluftsflödena som finns på berörd del på nivån matats in, se bilaga 4 för ritning över flödena. Dessa tre ventilationsflöden återfinns alla i fordonsverkstaden och utgörs av ett frånluftsflöde på  $10.8 \text{ m}^3/\text{s}$  samt två tilluftsflöden på  $2.8$  respektive  $1.1 \text{ m}^3/\text{s}$  (arean på samtliga involverade ventilationsöppningar var på cirka  $1 \text{ m}^2$ ). Det finns ytterligare till- och frånluftsflöden på andra håll på nivån. Men de bedöms vara på ett sådant avstånd eller vara av mindre storlek, att deras inverkan på förloppet bedöms vara av mindre vikt. Även den särskilda brandgasevakueringen har matats in vid vissa simuleringar. Brandgasevakueringen återfinns snett mitt emot dieseltanken och har en kapacitet på  $7.8 \text{ m}^3/\text{s}$ . När det gäller tilluftsflödena har lufttemperaturen angivits till  $+9^\circ\text{C}$ . Öppningar i det definierade gridsystemets ytterkanter har definierats såsom öppna, vilket gör att till- och frånluft är möjligt genom dessa öppningar. Vid simuleringarna har flödesvärdena varierats inom möjliga gränser för att undersöka ventilationens inverkan på brandförloppet. Resultaten av variationerna i ventilationen syns i resultatgraferna för simuleringarna och då framför allt de som visar på siktförhållandena.

Väggar, fordon etc.: Alla volymkroppar såsom väggar, fordon etc. har definierats enligt gridsystemet. Observera att samtliga volymkroppar kan enbart ha formen av rätblock, vilket gör att exempelvis däckens geometri måste omräknas. Detta gör att exempelvis ett lastmaskinsdäck beräknas ha en kvadratisk sida av  $2.3$  meter.

Övrigt: De simulerade utrymmena har rökdetektorer samt linjedetektorer men inte värmedetektorer. Möjlighet finns att simulera brandlarmsdetektion med rökdetektorer i FDS. I

denna rapport har någon sådan simulering ej genomförts. Anledningen till detta är att osäkerheterna kring exempelvis körtiden, om guide kommer att möta upp i tid eller om räddningsstyrkan måste invänta honom etc. gör att en noggrann bestämning av detektionstiden får ses som överflödigt. Sålunda bakas den approximerade detektionstiden samman med de övriga till en total simuleringstid. Den totala simuleringstiden har i denna rapport satts till 25 minuter.

I FDS finns även möjlighet att ha med eventuell sprinkleranläggning i simuleringen. Men då det inte finns någon sprinkleranläggning i något av de simulerade utrymmena, har eventuella sprinklereffekter utelämnats.

Dock har en simulering med sprinklereffekt genomförts. Detta för att undersöka effekten vid en brand vid dieseltanken.

När det gäller placering av de olika fordonsbränderna, gäller följande:

Fordonsbranden i räls/tapparverkstaden är placerad cirka 8 meter från dieseltanken, i riktning mot gascentralen.

Fordonsbranden i snedbanan är placerad cirka 10 meter från dieseltanken, i riktning mot brandporten.

Fordonsbranden mellan lok- och fordonsverkstaden är placerad i passagen mellan lok/vagnsverkstaden och fordonsverkstaden, märkt med "P-plats" i ritning (se bilaga 1).

### **5.3 Utdata**

Vid simuleringarna har följande typer av utdata använts:

- Mätning i punkter i brandrummet och i angränsande utrymmen av temperatur och sikt. Detta för att bland annat utröna hur miljön förändras med tiden samt hur den kommer att vara då rökdykarna sätter igång sitt angrepp.

Mätpunkt 1 är belägen mitt i fordonsverkstaden på 1.8 meters höjd.

Mätpunkt 2 är belägen alldeles vid stora infarten till fordonsverkstaden på 1.8 meters höjd.

Mätpunkt 3 är belägen vid korsningen där dieseltanken finns, på 1.8 meters höjd.

Mätpunkt 4 är belägen vid brandporten (angreppspunkten) till nivån, på 1.8 meters höjd.

Se även bilaga 1, för närmare positionsangivelse av mätpunkterna.

Vid några simuleringar har även bergstemperaturen i närheten av branden mätts upp för att bedöma risken för ras till följd av värmepåverkan.

Dessutom har ytterligare mätpunkter lagts till vid en simulering som syftar till att analysera åtgärder angående det passiva brandskyddet. Mätpunkternas placering specificeras där det specifika scenariot behandlas.

### **5.4 Resultat från simuleringar**

I bilaga 5 återfinns graferna där redovisas temperatur och siktförhållanden för respektive scenario, i mätpunkter enligt ovan. Dessutom redovisas i vissa fall bergstemperaturen i närheten av branden.

Observera att värdena för siktförhållandena är till för analys av inbördes jämförelse mellan de olika scenarierna. Värdena är sålunda ingen exakt sifferbeskrivning av siktförhållandena (värdena anger bara sikten precis i den efterfrågade punkten, men inte runt omkring den). I de grafer där siktförhållandena i en viss punkt ej går att urskilja, ligger värdena i punkten konstant på 30 meter.

Vid framtagningen av scenarierna för brand i lastmaskinsdäck och vid dieseltank har alla kombinationer av ventilationsförhållanden tagits med. Effekttutvecklingen och brandens placering har hållits konstant, då det framför allt är de olika ventilationsförhållandenas inverkan på brandförloppet som är det intressanta. Vid framtagning av scenarierna för fordonbrand i de olika parkeringsorterna, har de flesta kombinationer av ventilationsförhållanden tagits med. Fokuseringen har framför allt varit på olika kombinationer där brandgasevakueringen är i fokus, då detta bedöms ha störst effekt på brandförloppet.

Tabell 1. Förteckning över simulerade brandscenarier

Scenario nr	Brandens placering	Ventilationsförhållanden	Övrigt
1	Brand i lastmaskinsdäck, fordonsverkstaden	Enligt normalvärden, brandgasevakueringen ej igång	
2	Brand i lastmaskinsdäck, fordonsverkstaden	Frånluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakueringen ej igång	
3	Brand i lastmaskinsdäck, fordonsverkstaden	Tilluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakueringen ej igång	
4	Brand i lastmaskinsdäck, fordonsverkstaden	Starkare tilluftsventilationen och frånluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakueringen ej igång	
5	Brand i lastmaskinsdäck, fordonsverkstaden	Svaga tilluftsventilationen och frånluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakueringen ej igång	
6	Brand i lastmaskinsdäck, fordonsverkstaden	Starka tilluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakueringen ej igång	
7	Brand i lastmaskinsdäck, fordonsverkstaden	Svaga tilluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakueringen ej igång	
8	Brand i lastmaskinsdäck, fordonsverkstaden	Varken frånluftsventilationen eller	

		tilluftsventilationen fungerar, brandgasevakeringen ej igång	
9	Brand i lastmaskinsdäck, fordonsverkstaden	Enligt normalvärden, brandgasevakeringen igång	
10	Brand i lastmaskinsdäck, fordonsverkstaden	Varken tilluftsventilationen eller frånluftsventilationen fungerar, brandgasevakeringen igång	Simulering av ytttemperaturen på berget, 10 meter från branden, utfördes
11	Brand vid dieseltank, räls/tapparverkstaden	Enligt normalvärden, brandgasevakeringen ej igång	
12	Brand vid dieseltank, räls/tapparverkstaden	Frånluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakeringen ej igång	
13	Brand vid dieseltank, räls/tapparverkstaden	Tilluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakeringen ej igång	
14	Brand vid dieseltank, räls/tapparverkstaden	Frånluftsventilationen och starka tilluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakeringen ej igång	
15	Brand vid dieseltank, räls/tapparverkstaden	Frånluftsventilationen och svaga tilluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakeringen ej igång	
16	Brand vid dieseltank, räls/tapparverkstaden	Starka tilluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakeringen ej igång	
17	Brand vid dieseltank, räls/tapparverkstaden	Svaga tilluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakeringen ej igång	Även simulering av ytttemperaturen på berget, 5 meter från branden, utfördes
18	Brand vid dieseltank, räls/tapparverkstaden	Varken tilluftsventilationen eller frånluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakeringen ej igång	
19	Brand vid dieseltank, räls/tapparverkstaden	Enligt normalvärden, brandgasevakeringen igång	
20	Brand vid dieseltank,	Varken tilluftsventilationen	

	räls/tapparverkstaden	eller frånluftsventilationen fungerar, brandgasevakeringen igång	
21	Fordonsbrand i räls/tapparverkstaden	Enligt normalvärden, brandgasevakeringen ej igång	
22	Fordonsbrand i snedbanan	Frånluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakeringen ej igång	
23	Fordonsbrand mellan lok- och fordonsverkstaden	Tilluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakeringen ej igång	
24	Fordonsbrand i räls/tapparverkstaden	Frånluftsventilationen och starka tilluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakeringen ej igång	
25	Fordonsbrand i snedbanan	Frånluftsventilationen och svaga tilluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakeringen ej igång	
26	Fordonsbrand mellan lok- och fordonsverkstaden	Starka tilluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakeringen ej igång	
27	Fordonsbrand i räls/tapparverkstaden	Svaga tilluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakeringen ej igång	
28	Fordonsbrand i snedbanan	Varken tilluftsventilationen eller frånluftsventilationen fungerar, brandgasevakeringen ej igång	Även simulering av ytttemperaturen på berget, 5 meter från branden, utfördes
29	Fordonsbrand mellan lok- och fordonsverkstaden	Enligt normalvärden, brandgasevakeringen igång	
30	Fordonsbrand i räls/tapparverkstaden	Enligt normalvärden, brandgasevakeringen igång	
31	Fordonsbrand i snedbanan	Enligt normalvärden, brandgasevakeringen igång	
32	Fordonsbrand mellan lok- och fordonsverkstaden	Varken tilluftsventilationen eller frånluftsventilationen fungerar,	

		brandgasevakueringen igång	
33	Fordonsbrand i räls/tapparverkstaden	Varken tilluftsventilationen eller frånluftsventilationen fungerar, brandgasevakueringen igång	
34	Fordonsbrand i snedbanan	Varken tilluftsventilationen eller frånluftsventilationen fungerar, brandgasevakueringen igång	
35	Brand i lastmaskinsdäck, fordonsverkstaden	Tilluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakueringen ej igång	
36	Brand vid dieseltank, räls/tapparverkstaden	Tilluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakueringen igång	
37	Fordonsbrand i snedbanan	Tilluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakueringen igång	
38	Fordonsbrand i räls/tapparverkstaden	Tilluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakueringen igång	
39	Fordonsbrand mellan lok- och fordonsverkstaden	Enligt normalvärden, brandgasevakueringen ej igång	
40	Fordonsbrand mellan lok- och fordonsverkstaden	Tilluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakueringen igång	
41	Fordonsbrand i räls/tapparverkstaden	Frånluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakueringen ej igång	
42	Fordonsbrand mellan lok- och fordonsverkstaden	Frånluftsventilationen fungerar ej, brandgasevakueringen ej igång	
43	Fordonsbrand i räls/tapparverkstaden	Varken tilluftsventilationen eller frånluftsventilationen fungerar, brandgasevakueringen ej igång	
44	Fordonsbrand mellan lok- och fordonsverkstaden	Varken tilluftsventilationen eller frånluftsventilationen	

		fungerar, brandgasevakeringen ej igång	
45	Samma som scenario 1, men med avskiljande partier för total avskiljning av fordonsverkstaden	Se scenario 1	Observera att temperaturen i mät punkt 2,3,4,5 och 7 är konstant 10°C under hela simuleringen
46	Samma som scenario 11, men med sprinkler installerad ovanför dieseltanken	Se scenario 11	

## 6. Granskning av brandvattenförsörjningssystemet

### 6.1 Uppbyggnad

Brandvattnet tas i nuläget från borrsvattensystemet vilket har stor tillförlitlighet. Risken för vattenbrist får anses vara liten.

För borrsvattensystemets utseende, se bilaga 6.

Ur bilden (bilaga 6) kan man utläsa att vattnet kommer från pumpstation KP56 (KP betyder: ”Kiruna, pumpstation”), går vidare via två pumpar. Därefter leds en del vatten bort mot turistgruvan på nivå 540, medan resten går ner till en bassäng på nivå 700 som fungerar som buffert och tryckreducerare. Därefter går vattnet vidare via filter på nivå 740 och slutligen ut mot spelsal och nivå 775. Observera att det efter nivå 544 inte finns några pumpar, eftersom man nyttjar självtrycket som fås med hjälp av nivåskillnaderna. Ledningsdimensionerna efter bassängen är inledningsvis 8 tums ledning, efter filtrena övergår dimensionen till 4 tums ledning och därefter 2 tums ledning fram till uttagen på nivån. Vattentrycket vid brandpostuttagen vid nivå 775 ligger kring cirka 8 bar. /11/

### 6.2 Flödesberäkningar

Vid beräkning av flödet från brandpostuttaget vid matsalen används följande uttryck /5/:

$$q = 0.2 \cdot d^2 \cdot (P)^{1/2}$$

Där:  $d = 50 \text{ mm}$

$P = 80 \text{ mvp}$

Vilket ger ett flöde på 4470 l/min.

### 6.3 Lättskumsberäkningar

Vid högriskbrand där exempelvis rasrisken bedöms vara hög och inget liv finns att rädda kan lättskum vara ett bra alternativ för att reducera risken för den egna personalen. Här på följande lättskumsberäkningar gäller för skumfyllning av fordonsverkstaden ifrån stora inkörseln. Fordonsverkstaden har valts ut då det är det största enskilda utrymmet på nivån, sålunda kan nedan beräknade värden användas vid bränder på andra håll på nivån med god säkerhet.

Följande dimensionerande förutsättningar har använts:

- En skumvätskeblandning på 1.5 %.
- Skumtal på 700.
- Två stycken aggregat à 200 m<sup>3</sup>/h används.
- Ett skumtäck med en höjd på 4 meter skall uppnås.
- Man skall förfoga över minst 2 ggr ursprungliga skumvolymen för att kompensera det skum som bryts ned av branden.
- Resurser skall finnas för att underhålla skummet under minst 30 minuter. /9/

Ytan på fordonsverkstaden är 532 m<sup>2</sup>.

Total mängd premix som erfordras (inklusive kompensation för nedbrytning samt 30 minuters back-up):  $(4 \cdot 532 \cdot 2) / 700 + (30 \cdot 400) / 700 \approx 6.08 + 17.1 = 23.18 \text{ m}^3$

Total mängd skumvätska som erfordras (inklusive kompensation för nedbrytning samt 30 minuters back-up):  $6080 \cdot 0.015 + 17100 \cdot 0.015 \approx 348 \text{ liter}$

Total mängd vatten som erfordras (inklusive kompensation för nedbrytning samt 30 minuters back-up):  $6080 - 91.2 + 17100 - 256.5 \approx 22830 \text{ liter}$

#### **6.4 Jämförelse av flödesvärden**

Följande normalvärden på brandvattenbehov är satta /5/:

Industrianläggningar med låg brandbelastning, dvs. brandsäkra byggnader utan upplag av brännbart material: 600 l/min

Industrianläggning med normal brandbelastning, dvs. brandsäkra byggnader utan större upplag av brännbart material: 1200 l/min

Industrianläggning med hög brandbelastning: 2400 l/min

Industrianläggning med exceptionell brandbelastning: <2400 l/min

Som synes har normalvärdena skrivits för anläggningar ovan jord. Men siffrorna är fullt användbara även för anläggningar under jord. Verkstäderna och parkeringsortarna skulle kunna placeras i kategorin som avser industrianläggningar med normal brandbelastning, dvs. 1200 l/min.

Med tanke på normalvärdet för brandvattenbehov uppfyller brandpostuttaget ställt krav. Med avseende på en rökdykarinsats kommer brandpostuttages kapacitet med råge att räcka till en omfattande rökdykarinsats. Vid en lättskumsfyllning kommer det att maximalt att krävas:

$$(400/700) \cdot 0.985 \approx 0.563 \text{ m}^3/\text{min}$$

vilket brandpostuttaget med lätthet kommer att kunna uppfylla.

Lyckligtvis slipper man att köra tankbilar i omlopp då avståndet mellan angreppspunkten (till nivå 775) och brandpostuttaget är cirka 200 meter, vilket gör att man i ett tidigt skede kommer att dra slang mellan brandpostuttaget och angreppspunkten.

Behovet av skumvätska är så pass stor så att skumvätskan på första släckbilen ej räcker till (bilen har 200 liter skumvätska). Detta gör att en av tankbilarna eller skumsläpet skall tas ner om beslut om skumfyllning tas eller övervägs.

#### **6.5 Vattenuttagens placering**

Förutom brandposten inne i fordonsverkstaden, finns även en brandpost alldeles utanför matsalen. Vilket gör att avståndet till den troliga angreppspunkten är cirka 200 meter. Sålunda får dagens placering av brandpostuttag betraktas som tillfredsställande.

Det finns ingen anledning till att iordningställa ytterligare ett brandpostuttag på nivån, då det uttaget ändå kommer att vara kopplad till samma ledning som de andra uttagen är kopplade till. Säkerheten/tillförlitligheten vad gäller vattenförsörjningen höjs alltså inte nämnvärt mycket.

#### **6.6 Omfallsplanering brandvattenförsörjning**

Om brandposten utanför matsalen skulle fallera, finns den närmaste brandposten på nivå 685 vilket är cirka 500 meter ( $10^\circ$  lutning) från den troliga angreppspunkten till nivå 775.

Om någonting skulle vara fel med brandvattenledningen ner till nivå 775, så får man gå upp till nivå 575 för att komma till ett brandpostuttag kopplat till en annan ledning. Avståndet från den troliga angreppspunkten till nivå 575 är cirka 1200 meter ( $10^\circ$  lutning).

I det första fallet skulle kapaciteten bli:  $(10000 / 8) = 1250$  liter/minut

Där 10000 står för tankbilens volym i liter och 8 står för den bedömda omloppstiden i minuter.

Denna kapacitet uppfyller flödeskraven för både en rökdykarinsats samt för en lättskumsfyllning.

I det andra fallet skulle kapaciteten bli:  $(10000 / 12) \approx 830$  liter/minut

Vilket innebär att kapaciteten skulle räcka till en lättskumsfyllning men inte en rökdykarinsats.

För att man även i andra fallet skall klara av en rökdykarinsats, skulle man kunna sätta in två tankbilar som kör i skytteltrafik:  $(20000 / 12) \approx 1670$  liter/minut

Vilket är en kapacitet som både uppfyller kravet för lättskumsfyllning och för rökdykarinsats.



## 7. Analys av brandsimuleringarna

Till grund för analyserna återfinns resultaten från datorsimuleringarna. Då osäkerheterna kring resultatet från simuleringarna kan vara stora, måste försiktighet iakttas vid användande av dessa. Vid analysen av resultatet har valet varit att enbart bedöma vilka ventilationsförhållanden som är mest fördelaktiga ur insatssynpunkt. Däremot ges inte en bedömning om hur pass mycket bättre de är. Vid den faktiska granskningen av graferna har en sammanvägning av både temperaturutvecklingen och siktförhållandena gjorts för att kunna komma fram till slutsatser. Då temperaturerna på längre avstånd från branden är likartade för olika scenarier och ej särskilt höga är det oftast siktförhållandena/rökfyllnaden som slutsatserna till största del baseras på.

### 7.1 Analys av brandsimuleringar med avseende på ventilationen

Observera att i de fall då tilluften är avslagen, fås tilluften via de övriga delarna av nivån som inte behandlas i rapporten samt otätheter vid bland annat brandporten till nivån.

Brand i lastmaskinsdäck: Utav brandsimuleringarna för scenario 1 till och med scenario 10 samt scenario 35, kan utläsas att:

Vid en jämförelse mellan simuleringen för scenario 1, 2 och 3 är scenario 3 den bästa ur utrymnings- och räddningstjänstsynpunkt. Den medför generellt sätt lägre temperaturer och tar längre tid för rökfyllnad. Scenario 3 innebar att tilluftsventilationen ej var igång och att brandgasevakueringen ej heller var igång. Detta mönster - att avstängd tilluftsventilation och stark frånluftsventilation är bästa kombinationen – kan även utläsas av de andra scenariernas simuleringar. Det syns tydligt ibland annat scenario 6 där vi generellt sett har lägre temperaturer och längre rökfyllnadstider än många av de andra scenarierna simuleringar. Det optimala läget skulle då vara att ha tilluftsventilationen avstängd och att ha all frånluftsventilation skulle få gå och då även brandgasevakueringen.

Detta syns tydligt vid en jämförelse mellan simuleringarna för scenario 2 respektive scenario 35. Visserligen är temperaturerna något högre vid scenario 35, men omfattningen av rökfyllnaden är större för scenario 2.

Om frånluften och brandgasevakueringen av någon anledning ej skulle fungera, kan man utläsa vid en jämförelse mellan simuleringarna för scenario 2 och 8 att man då även bör stänga av tilluftsventilationen.

Brand vid dieseltank: Utav brandsimuleringarna för scenario 11 till och med scenario 20 samt scenario 36, kan utläsas att:

Vid en jämförelse mellan scenario 11, 12 och 13 är scenario 12 det sämsta av dem ur utrymnings- eller räddningstjänstsynpunkt medan scenario 11 och 13 är i stort sett likartade. Vid en jämförelse mellan scenario 16 och 17 kan det urskönjas att scenario 16 är något bättre än scenario 17 – väldigt liten skillnad dock. Därav följer att slutsatserna från brand i lastmaskinsdäck, gäller även här. Det vill säga att det optimala läget skulle vara då tilluftsventilationen är avstängd och all frånluftsventilation är igång och då även brandgasevakueringen. Detta syns tydligt vid en jämförelse mellan simuleringarna för scenario 12 respektive scenario 36.

Om frånluften och brandgasevakueringen av någon anledning ej skulle fungera, kan man utläsa vid en jämförelse mellan scenario 12 och scenario 18 att man då kan låta tilluftsventilationen gå, då det inte är någon större skillnad mellan scenariernas grafer.

Fordonsbrand i räls/tapparverkstaden: Vid en jämförelse mellan simuleringarna för scenario 21, 24, 27, 30, 33, 38, 41 och 43, visar att scenario 38 är den mest gynnsamma situationen. . Det vill säga att det optimala läget skulle vara då tilluftsventilationen är avstängd och all frånluftsventilation är igång och då även brandgasevakueringen.

Om frånluften och brandgasevakueringen av någon anledning ej skulle fungera, kan man utläsa vid en jämförelse mellan scenario 41 och scenario 43 att man då även skall stänga av tilluften.

Fordonsbrand i snedbanan: Vid en jämförelse mellan simuleringarna för scenario 22, 25, 28, 31, 34 och 37, visar att scenario 31 och 37 är de mest gynnsamma situationerna. Man skulle även här kunna säga att det optimala läget är då tilluftsventilationen är avstängd och all frånluftsventilation är igång och då även brandgasevakueringen.

Om frånluften och brandgasevakueringen av någon anledning ej skulle fungera, kan man utläsa vid en jämförelse mellan scenario 22 och scenario 28 att man då skall låta tilluften fortsätta gå.

Fordonsbrand mellan lok- och fordonsverkstad: Vid en jämförelse mellan simuleringarna för scenario 23, 26, 29, 32, 39, 40, 42 och 44, visar på att scenario 40 är den mest gynnsamma situationen. Det vill säga att det optimala läget skulle vara då tilluftsventilationen är avstängd och all frånluftsventilation är igång och då även brandgasevakueringen.

Om frånluften och brandgasevakueringen av någon anledning ej skulle fungera, kan man utläsa vid en jämförelse mellan scenario 42 och scenario 44 att man då skall låta tilluften fortsätta gå.

## **7.2 Analys av brandsimuleringar med avseende på bergstemperaturen och risk för ras**

Risk för ras – i samband med brand – föreligger då bergstemperaturen ligger kring cirka 500°C /12/.

Utav simuleringarna för bergstemperaturen kan vi utläsa att för scenario 10 föreligger det inte någon uppenbar risk för ras inom det simulerade tidsintervallet – dock pekar temperaturkurvan fortsatt uppåt vid intervallets slut.

För scenario 17 föreligger det uppenbar risk för ras.

För scenario 28 föreligger det inte någon risk för ras.

Med hjälp av ovanstående resonemang, skulle man kunna ange minst 10 meters radie från branden som riskområde med avseende på ras. På så vis täcker man in de flesta troliga brandscenerierna.

Observera att viss osäkerhet föreligger kring resultatet eftersom betongs termiska egenskaper har använts vid simuleringarna och inte något bergmaterials termiska egenskaper. Men exempelvis granits termiska egenskaper bedöms enligt tidigare resonemang (se avsnitt 5.2) ha stora likheter med betongs termiska egenskaper. Varför denna osäkerhet får anses ha ringa betydelse på resultatet.

## **7.3 Kontroll av utdataresultat med hjälp av handberäkningar och undersökande datorsimuleringar**

För att någorlunda kunna kontrollera datorsimuleringarna från FDS, har handberäkningar och undersökande datorsimuleringar genomförts för två olika scenarier. Kontrollpunkterna var följande:

- Adiabatiska flamtemperaturen
- Temperaturen i brandplymen

- Hastighet och temperatur i ceiling jet
- $Q^*$
- Storleken på gridsystemet

Granskade simuleringar har valts ut slumpvis. För granskning av gridsystemet har scenario 4 valts ut. För granskning av de andra parametrarna har scenario 44 valts ut.

### 7.3.1 Adiabatiska flamtemperaturen

För att kontrollera simuleringens resultat mot den adiabatiska flamtemperaturen, genomfördes en komplementär simulering där temperaturen en decimeter ovanför brandytan registrerades. Vid denna simulering kom flamtemperaturen aldrig över  $1000^{\circ}\text{C}$ , vilket gör att simuleringen får anses som realistisk med avseende på den adiabatiska flamtemperaturen. Hade flamtemperaturen överskridit  $1300^{\circ}\text{C}$  hade simuleringens resultat varit av mera osäkert värde.

### 7.3.2 Temperaturen i brandplymen

För att kunna kontrollera simuleringens resultat, genomfördes en komplementär simulering där även temperaturen 0.5 meter under taknivån (direkt ovanför mittpunkten av branden) registrerades.

Vid handberäkningarna användes Heskestads uttryck:

$$\Delta T_0 = 9.1 \left( \frac{T_{\infty}}{g c_p^2 \rho_{\infty}^2} \right)^{1/3} \dot{Q}_c^{2/3} (z - z_0)^{-5/3}$$

Heskestads uttryck gäller för större bränder och ovanför flammorna (som i detta fallet) /3/. I ovanstående uttryck har följande värden satts in:

$$T_{\infty} = 282 \text{ K}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$c_p = 1.00 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

$$\rho_{\infty} = 1.26 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_c = 4200 \cdot 0.57 = 2394 \text{ kW}$$

$$z = 6.5 \text{ meter}$$

$$z_0 = 0.083 \dot{Q}_c^{2/5} - 1.02D, \text{ där } D \approx 1.95 \text{ m vilket ger att } z_0 \approx 0.35 \text{ m}$$

$Q_c$  valdes ut för tidsintervallet 900 till 1100 s, eftersom effektutvecklingen då är någorlunda konstant och stabil.

$$\rightarrow \Delta T_0 \approx 207 \text{ K}, \text{ vilket i sin tur ger att } T \approx 216^{\circ}\text{C}$$

Temperaturresultaten från simuleringen vid tidpunkten 1000 s, pendlar kring  $360^{\circ}\text{C}$ . Ovanstående resultat visar på mindre god överensstämmelse mellan simuleringens resultat och resultat från handberäkningarna. Temperaturen från handberäkningen är betydligt lägre än temperaturen som fås vid simuleringen.

Anledningarna till detta kan vara osäkerhet vad gäller det använda uttrycket i handberäkningen. Vidare så är branden inklämd mellan ett fordon och en bergsvägg vilket inte handberäkningen har tagit hänsyn till. Dessutom kan det vara så att brandsimuleringen

även simulerar brandspridning till intilliggande däck på fordonet, vilket handberäkningen inte tar hänsyn till.

### 7.3.3 Hastighet och temperatur i ceiling jet

För att kontrollera simuleringsresultaten med avseende på hastighet och temperatur i ceiling jet, genomfördes en komplementär simulering där temperaturen och hastigheten i takhöjd och en meter ut från brandytans ytterkant registrerades.

Handberäkningar av hastighet och temperatur i en ceiling jet:

$$t_2^* = (t-t_i)/(A\alpha_c H^{-4})^{-0.2}$$

Där:  $t_i = 0$

$$t = 900 \text{ s}$$

$$A = (g / \rho_\infty c_p T_\infty) = 9.81 / (1.26 \cdot 1.0 \cdot 282) = 0.028 \text{ m}^4 / \text{kJ} \cdot \text{s}^2$$

$$\alpha_c = Q_c / t^2 = 2394 / 900^2 \approx 2.95 \cdot 10^{-3} \text{ kW/s}^2$$

$$H = 6.95 \text{ m}$$

Vilket ger att  $t_2^* \approx 29.1$

Vidare så är:

$$(t_2^*)_f = 0.813(1+r/H)$$

Där:  $r = 2 \text{ m}$

Vilket ger att  $(t_2^*)_f \approx 1.05$

Dessa värden sätts in i följande uttryck och ger:

$$\Delta T_2^* = ((t_2^* - (t_2^*)_f) / (0.126 + 0.210 \cdot r/H))^{4/3} \approx 800$$

Vilket i sin tur ger att:

$$U_2^* = (\Delta T_2^*)^{1/2} \cdot 0.59(r/H)^{-0.63} \approx 36.6$$

Därefter används följande två uttryck för att få fram T och U:

$$\Delta T_2^* = ((T - T_\infty) / T_\infty) / (A\alpha_c)^{2/5} g^{-1} H^{-3/5}, \text{ vilket ger att } T \approx 176 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$U_2^* = U / (A\alpha_c H)^{1/5}, \text{ vilket ger att } U \approx 8.2 \text{ m/s}$$

Temperatur och hastighetsresultatet från simuleringen vid tidpunkten 1000 s, pendlar kring 380 °C respektive 3 m/s.

Ovanstående resultat visar på dålig överensstämmelse mellan simuleringsresultat och resultaten från handberäkningarna.

Anledningarna till detta kan vara detsamma som för avsnitt 7.3.2, dvs. osäkerheter i de använda uttrycken, att handberäkningarna ej tagit hänsyn till eventuell brandspridning eller att branden är inklämd mellan en bergsvägg och ett fordon.

### 7.3.4 $Q^*$

Vid undersökningen av  $Q^*$  användes följande uttryck:

$$Q^* = Q / (\rho_{\infty} c_p T_{\infty} D^2 (gD)^{1/2})$$

I ovanstående uttryck har följande värden satts in:

$$\begin{aligned} Q &= 4200 \text{ kW} \\ \rho_{\infty} &= 1.26 \text{ kg/m}^3 \\ c_p &= 1.00 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \\ T_{\infty} &= 282 \text{ K} \\ D &\approx 1.95 \text{ m} \\ g &= 9.81 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Vilket ger att  $Q^* \approx 0.7$

Eftersom  $Q^* \approx 0.7$  befinner sig inom intervallet  $0.1 < Q^* < 2.5$ , så visar detta på att branden med avseende på  $Q^*$  befinner sig inom intervallet för vad man skulle kunna beteckna som typiska bränder i hus eller dylikt, vilket också är fallet är. Sålunda ett positivt resultat.

### 7.3.5 Storleken på gridsystemet

Upp till en viss storlek på gridsystemet varierar utdatan även om alla andra parametrar hålls konstanta. För att undersöka vid vilken storlek på gridsystemet som denna variation upphör, genomfördes en rad simuleringar för ett och samma scenario.

Följande storlekar på gridsystemet simulerades: 6480 kontrollvolym, 28800 kontrollvolym, 40500 kontrollvolym och 81000 kontrollvolym. Vid de tidigare simuleringarna hade ett system med 51840 kontrollvolym använts.

Vid undersökningarna mellan de olika gridsystemen, jämfördes utdatan (dvs. temperaturerna och siktförhållandena i mätpunkterna) dem emellan. Vid dessa jämförelser framkommer det att gridsystemet med 51840 kontrollvolym visar på i stort sett samma resultat som gridsystemet med 81000 kontrollvolym. Däremot existerar inte alls samma överensstämmelse med gridsystemen med 40500 kontrollvolym eller mindre (framför allt gäller det temperaturerna som skiljer sig avsevärt i en del fall).

Sålunda är slutsatsen att gridsystemet har en gridoberoende lösning vid cirka 50000 kontrollvolym och de simuleringar som analyserna baseras på är sålunda gridoberoende. Nedan återges graferna för temperaturmätning och siktförhållandena i mätpunkt 1 för de olika gridsystemen.

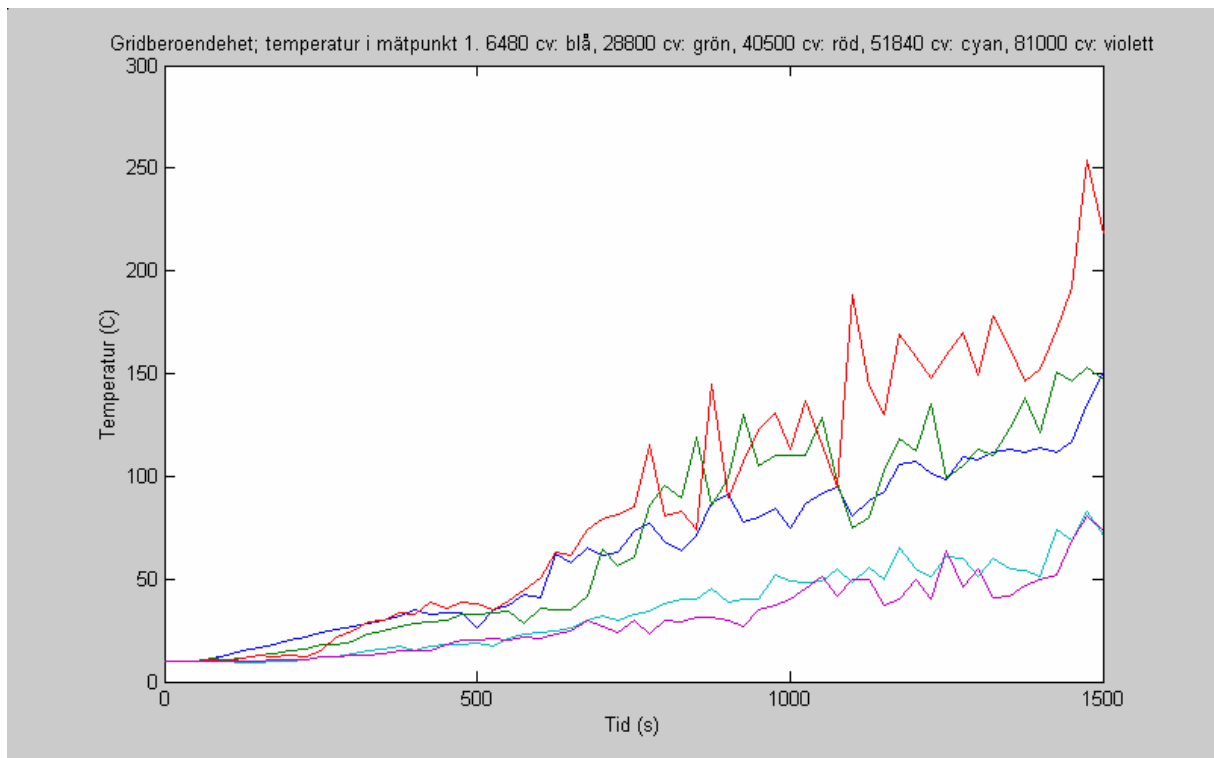


Bild 14. Gridberoendeheten för mätpunkt 1, temperaturmätning.

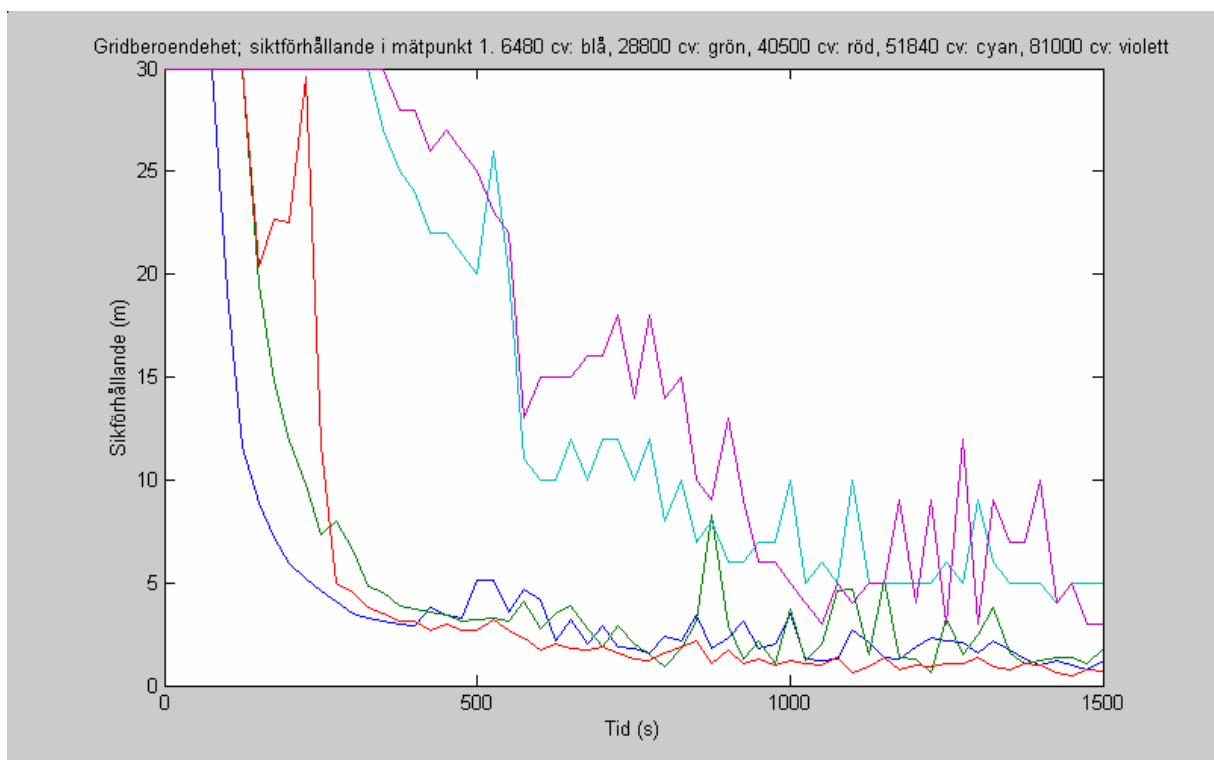


Bild 15. Gridberoendeheten för mätpunkt 1, siktförhållanden.

## 8. Granskning av det passiva brandskyddet

Ett sätt att minska på omfattningen av rökfyllnaden och underlätta en släckinsats genom att minska på angreppsvägarnas längd, kan vara att avskilja fordonsverkstaden gentemot de angränsande utrymmena – fordonsverkstaden innebär bland annat väldigt hög brandbelastning jämfört med de andra brandscenarierna. Detta skulle innebära att orten mellan fordonsverkstaden och räls/tapparverkstaden samt den stora inkörsel-orten till fordonsverkstaden skulle kunna avskiljas med hjälp av rökjalusier som går ner vid aktivering av brandlarmet. Rökjalusier skulle säkerligen räcka till, eftersom temperaturerna vid rökjalusierna troligtvis skulle ligga på ganska låga nivåer. För att undersöka detta genomfördes en datorsimulering. Scenario 45 omfattar denna simulering. Förutom de ordinarie mätpunkterna, mättes även temperatur och sikt på ömse sidor av rökjalusierna: mätpunkt 2 är placerad på utsidan (sett från fordonsverkstaden) av rökjalusiet till stora inkörsel-orten, mätpunkt 5 är placerad på insidan av rökjalusiet till stora inkörsel-orten, mätpunkt 6 är placerad på insidan av rökjalusiet i orten mellan fordonsverkstaden och räls/tapparverkstaden, mätpunkt 7 är placerad på utsidan av rökjalusiet i orten mellan fordonsverkstaden och räls/tapparverkstaden.

Vid en jämförelse mellan scenario 45 och scenario 1, ser man att för scenario 45 kommer rökfyllnaden av själva fordonsverkstaden kommer att ske snabbare och bli mera omfattande än för scenario 1. Vad gäller temperaturerna så kommer det att bli varmare vid brandplatsen i fordonsverkstaden för scenario 45 jämfört med scenario 1, men temperaturen på insidan rökjalusiet når inte ens 35°C. Detta innebär att rökjalusierna inte lär ha några problem med att stå emot det dimensionerade brandförloppet. Sålunda kan en installation av rökjalusier vara en god åtgärd för att minimera rökspridningen och reducera angreppsvägarna vid en insats mot en brand i fordonsverkstaden.

Vidare så bör man åtgärda det automatiska brandlarmet så det blir ett adresserbart sådant istället. Ett adresserbart brandlarm är ett måste för att man skall ha någon nytta av åtgärdskalendern för SVUJ, då denna kräver att man har en någorlunda bild av brandens placering.



## 9. Granskning av det aktiva brandskyddet

Dieseltanken på nivån är – olyckligtvis – väldigt strategiskt placerad och brandscenariot medför att en hel del ortar blir blockerade av rök. Det vore därför önskvärt att kunna åtgärda detta problem.

Då det gäller brandscenariot för dieseltanken, lär inte avskiljning vara en särskilt praktisk lösning då tanken är placerad mitt i en strategisk korsning. Avskiljning skulle orsaka stora praktiska problem för bland annat kommunikationerna på nivån.

Däremot skulle punktskydd i form av vattensprinkler placerad ovanför tanken vara en idé. För att kunna utvärdera denna åtgärd, genomförs en datorsimulering – scenario 46. I datorsimuleringen är sprinklern placerad rakt ovanför tanken, sprinklern har ett RTI-värde på 148 och aktiveras vid en temperatur på 74°C.

Vid simuleringen aktiverades sprinklern efter 75 sekunder.

Vid en jämförelse mellan graferna för scenario 46 och scenario 11 (motsvarande scenario, men utan sprinkler), kan vi se att för temperaturkurvan så sänker man temperaturen i närheten av dieseltanken med cirka 10 grader. Sålunda en positiv effekt. Men när det gäller siktförhållandena så blir visserligen sikten något bättre vid dieseltanken, men vid mätpunkterna vid fordonsverkstaden (mätpunkt 1 och 2) medför sprinkling att siktförhållandena försämras. Orsaken till detta ligger troligtvis i att brandgaserna kyls ner av sprinklervattnet och detta gör då att nollplanet i utkanterna av brandgaskudden sjunker ytterligare neråt. Sikten försämras på så vis ytterligare. Observera att ventilationen är igång under simuleringen, vilket även det drar ner på ett ensidigt, positivt resultat av sprinklingen. Sålunda är det av tvivelaktigt värde – baserat på simuleringen – att installera sprinkler ovanför dieseltanken. Klokast är att låta det vara som det är i nuläget.

Märk väl att sprinklerfunktionen i FDS är ämnad för användning vid fall av kylning av en varm gas eller ett hett fast föremål, inte en vätska. Vidare så klarar FDS inte riktigt av att ta med förändringarna i pyrolysen som inträffar då släckvattnet kyler av bränslet. Detta gör att det även runt simuleringsverktyget och dess resultat, råder det osäkerheter kring sprinklerscenariot /15/.



## 10. Resultat

### 10.1 Åtgärdskalender och omfallsplanering

Nuvarande insatsplan över nivå 775 består av en A3-ritning med diverse uppgifter samt allmän information som återfinns på en inledande A4-sida (se kapitel 3.2).

Den information/fakta som återfinns i nuvarande insatsplan överensstämmer med faktiska förhållanden och utformningen av insatsplanen får betraktas som lyckad då den är lätt att få en snabb och god bild över nivån ifråga.

Dock bör den kompletteras med uppgifter om var ytterligare brandvattenuttag finns samt att riskområdet från branden – med avseende på ras – ligger på minst 10 meter.

Till den nuvarande insatsplanen läggs åtgärdskalendern för styrning av ventilationen och omfallsplaneringen för brandvattenförsörjningen till för att tjäna som en fördjupad insatsplan för nivå 775. Varför dessa dokument skall läggas till den nuvarande insatsplanen är därför att de kommer att öka på beslutstödet för räddningsledaren och då framför allt vid en större och/eller komplicerad insats på nivån. Räddningsledaren kan då lägga sin värdefulla tid på andra brådskande ärenden, då vissa frågor kan komma att besvaras av dokumenten.

Med hjälp utav brandsimuleringarna med avseende på ventilationen, skulle följande initiala riktlinjer kunna tjäna som beslutstöd/åtgärdskalender för styrning av ventilationen:

#### Brand i fordonsverkstaden:

- Ta kontakt med SVUJ på nivå 775.
- Beordra att brandgasevakueringen slås på.
- Beordra att tilluftsventilationen stängs av på nivån (gäller även då brandgasevakueringen och frånluftsventilationen ej fungerar).
- Låt frånluftsventilationen på nivån gå.
- Observera effekt och var beredd på att ändra något av flödena.

#### Brand vid dieseltank i räls/tapparverkstaden:

- Ta kontakt med SVUJ på nivå 775.
- Beordra att brandgasevakueringen slås på.
- Beordra att tilluftsventilationen stängs av på nivån.
- Låt frånluftsventilationen på nivån gå.
- Observera effekt och var beredd på att ändra något av flödena.

#### Fordonsbrand i räls/tapparverkstaden:

- Ta kontakt med SVUJ på nivå 775.
- Beordra att brandgasevakueringen slås på.
- Beordra att tilluftsventilationen stängs av på nivån (gäller även då brandgasevakueringen och frånluftsventilationen ej fungerar).
- Låt frånluftsventilationen på nivån gå.
- Observera effekt och var beredd på att ändra något av flödena.

#### Fordonsbrand i snedbanan:

- Ta kontakt med SVUJ på nivå 775.
- Beordra att brandgasevakueringen slås på.

- Beordra att tilluftsventilationen stängs av på nivån (observera att tilluften ej skall stängas av om brandgasevakueringen och frånluftsventilationen ej fungerar).
- Låt frånluftsventilationen på nivån gå.
- Observera effekt och var beredd på att ändra något av flödena.

#### Fordonsbrand mellan lok- och fordonsverkstaden:

- Ta kontakt med SVUJ på nivå 775.
- Beordra att brandgasevakueringen slås på.
- Beordra att tilluftsventilationen stängs av på nivån (observera att tilluften ej skall stängas av om brandgasevakueringen och frånluftsventilationen ej fungerar).
- Låt frånluftsventilationen på nivån gå.
- Observera effekt och var beredd på att ändra något av flödena.

Observera att ovanstående åtgärdskalender skall ses som ett stöd i inledningsskedet då det inte finns mycket att gå på. Om effekterna av vidtagna åtgärder blir oönskade, får man ändra på något av flödena och observera förändringarna.

Omfallsplaneringen för brandvattenförsörjningen – där valet har varit att även inkludera lättskumsfyllning – skulle kunna se ut som följer:

Brandvattenförsörjning: Närmaste brandpost är placerad strax utanför matsalen, cirka 200 meter från brandporten.

Om denna skulle vara ur funktion, finns nästa brandpost på nivå 685, cirka 500 meter från brandporten (det rör sig dock om samma ledning).

Närmaste brandpost på annan ledning är placerad på nivå 575, cirka 1200 meter från brandporten.

Respektive uttag bedöms vara fullt tillräcklig för en rökdykarinsats eller skumfyllningsoperation.

Om brandposten på nivå 685 skall användas, skall en av tankbilarna tas med ner och sättas in för omloppskörning.

Om brandposten på nivå 575 skall användas, skall bägge tankbilarna tas med ner och sättas in för omloppskörning.

Lättskumsfyllning: Vid lättskumsfyllning av någon av verkstäderna på nivå 775, kommer följande komponenter att krävas:

- Tankbil alternativt skumsläpet (med avseende på skumvätska). Total mängd vatten som krävs  $\approx 23 \text{ m}^3$ . Total mängd skumvätska som krävs  $\approx 350$  liter.
- Två stycken lättskumsaggregat (å  $200 \text{ m}^3/\text{h}$ ).
- Eventuell tankbil/tankbilar enligt omfallsplaneringen av brandvattenförsörjningen.

Följande dimensionerande förutsättningar har använts vid dimensioneringen:

- En skumvätskeblandning på 1.5 %.
- Skumtal på 700.
- Ett skumtäck med en höjd på 4 meter skall uppnås.
- Man skall förfoga över minst 2 ggr ursprungliga skumvolymen för att kompensera det skum som bryts ned av branden.
- Resurser skall finnas för att underhålla skummet under minst 30 minuter.

Ovanstående åtgärdskalender och omfallsplanering har valts ut då det är de två som med största sannolikhet kommer att behövas vid en brand på nivån. Ytterligare åtgärdskalender hade kunnat vara en som behandlar rökdykning på nivån, men taktiken i nuläget är att med hjälp av ventilationen få miljön till att bli så pass gynnsam att en ordinär rökdykarinsats kan genomföras. Sålunda finns det inte i nuläget något större behov av en specifik åtgärdskalender för rökdykning på nivån. När det gäller omfallsplanering så finns det inte behov av någon annan större planering, däremot finns det en del mindre omfall såsom eventuell rökfyllning av framkörningsvägen. Men dessa mindre omfallsplaner löses snabbt med hjälp av ex. det lätt överskådliga ritningsmaterialet som finns i den nuvarande insatsplanen.

Åtgärdskalendern behandlar vad som bör göras vid en rad olika brandscenarier. Brandscenarierna är ingalunda heltäckande för alla möjliga tänkbara bränder som kan uppstå. De utvalda brandscenarierna har valts ut med grundval av befintlig brandstatistik samt de troliga konsekvenser som de kan medföra med avseende på utrymningen och en insats från räddningstjänsten. Ytterligare tänkbara brandscenarier är exempelvis brand i kablage på kabeltrumma i lok/vagnverkstad eller i räls/tapparverkstad, brand i oljehanteringsrum eller gasbrand i gascentralen.

När det gäller eventuell kablagebrand hade den med största sannolikhet inte inneburit ett värre brandförlopp än branden vid dieseltanken eller lastmaskinsbrand i fordonsverkstaden.

Anledningarna till detta är att brandbelastningen vid en kablagebrand kommer med stor sannolikhet att vara mindre än vid dieselbrand eller lastmaskinsbrand. Vidare så är kabeltrummorna i räls/tapparverkstaden placerade på en mindre strategisk plats (bland annat med avseende på ventilationen) än dieseltanken, vilket kommer att innebära att en eventuell utrymning kommer att vara mindre kritisk än i fallet med brand vid dieseltank. På samma sätt är kabeltrummorna i lok/vagnverkstaden placerade på en mera perifer plats än vad en lastmaskin i fordonsverkstaden är.

På liknande sätt är oljehanteringsrummet placerad i ytterkanten av fordonsverkstaden och då närmare bestämt i ett särskilt avskilt utrymme. Dock lär brandbelastningen vid en eventuell brand i oljehanteringsrummet vara högre än en lastmaskinsbrand i fordonsverkstaden. Men å andra sidan kompenseras detta med att oljehanteringsrummet är avskilt mot fordonsverkstaden med stora brandportar som stängs automatiskt då det automatiska brandlarmet utlöses.

När det gäller gasbrand i gascentralen så kommer det scenariot med största sannolikhet inte att innebära ett värre brandförlopp än någon av de simulerade. Däremot kommer eventuell explosionsrisk att försvåra eller till och med omöjliggöra en eventuell insats från räddningstjänstens sida.

När det gäller omfallsplaneringen av brandvattenförsörjningen, så baseras den bland annat på väl tilltagna och robusta tumregler. Dock finns det osäkerheter när det gäller lättskumsfyllningen. Vid beräkningarna har utrymmet som ska skumfyllas betraktats som mer eller mindre slutet. Verkligheten är dock en annan eftersom skummet kommer att rinna in i intilliggande utrymmen såsom räls/tapparverkstaden och på så vis är risken stor att mer skumvätska och vatten kommer att krävas för att skumfylla utrymmet. Men i beräkningsmodellen som använts finns ganska mycket marginaler och sålunda bedöms de siffror som återfinns i omfallsplaneringen vara användbara.

## **10.2 Granskning av det passiva respektive aktiva brandskyddet**

Vid den övergripande granskningen av det passiva brandskyddet för nivån framkom det att det automatiska brandlarmet föreslås bytas ut mot ett adresserbart sådant. Detta för att öka på

nyttan av åtgärdskalendern för SVUJ, eftersom räddningsledaren på ett mycket tidigare stadium får en indikation om var branden är.

Vid simulering med avseende på det passiva brandskyddet, framkom det att en avskiljning av fordonsverkstaden med rökjalusier skulle ha en mycket positiv effekt för att minimera rökspridningen och reducera angreppsvägarna. Vid simuleringen framkom att temperaturerna vid rökjalusierna skulle vara förhållandevis låga, vilket talar i favör för en eventuell installation av rökjalusier. Viss osäkerhet föreligger kring effekten på rökjalusierna om den simulerade branden hade varit närmare placerad rökjalusierna än den var vid simuleringen (där den var placerad mitt i verkstaden, på längsta avstånd från någon av jalusierna). Dock var de registrerade temperaturerna väldigt låga (<35 °C) och dessutom kan inte lastmaskinerna placeras var som helst i verkstaden då det enbart finns särskilt utsedda platser i mitten av verkstaden. Sålunda kan rökjalusier betraktas som en mycket god rekommendation för att öka det passiva brandskyddet på nivån.

Vid granskningen av det aktiva brandskyddet genomfördes en simulering för att undersöka effekterna av eventuell sprinkling av dieseltanken. Dock uteblev positiva effekter av en sprinkling av tanken. Dessutom föreligger det stora osäkerheter kring användande av FDS vid ovanstående simulering (se resonemang i avsnitt 9). Sammantaget gör detta att sprinkling av dieseltanken inte kan rekommenderas med grundval av utförd simulering.

### 10.3 Datorsimuleringar med FDS

Med hjälp av utvalda brandscenarier, utfördes brandsimuleringar med hjälp av datorprogrammet FDS. Brandsimuleringar som beslutsgrund, dominerar i denna rapport. Ett mycket stort antal simuleringar har genomförts, närmare bestämt ett drygt femtiotal simuleringar.

Vid användande av simuleringsresultaten har försiktighet iakttagits när det gäller analyserna eftersom skillnaderna i många fall varit små mellan de olika simuleringarna. Dessutom föreligger osäkerhet vad gäller själva resultaten från simuleringarna.

Vid kontrollen av simuleringsresultaten med hjälp av handberäkningarna och undersökande datorsimuleringar, framkom det att i de flesta fallen av kontrollpunkterna visade bland annat handberäkningarna på positiva resultat ur simuleringarnas synvinkel. Dock ger simuleringarna bland annat allmänt sett högre temperaturer i brandplymen. Detta kan bland annat bero på osäkerhet i uttrycken för handberäkningarna, att den simulerade branden var inklämd mellan ett fordon och en bergsvägg vilket handberäkningarna inte inkluderade samt att datorsimuleringen troligtvis har simulerat brandspridning till intilliggande föremål vilket handberäkningen inte har gjort.

Men denna osäkerhet har ringa inverkan på analysarbetet, eftersom analyserna i huvudsak har gått ut på att ta fram de mest gynnsamma scenarier ur ventilationssynpunkt, inte att analysera hur pass mycket bättre ett visst scenario är jämfört med ett annat.

Det har inte praktiskt varit möjligt att genomföra några brandtester på den berörda nivån.

Dock är det önskvärt att följa upp – framför allt åtgärdskalendern för brandventilationen – med faktiska tester på nivån. Detta för att någorlunda verifiera resultaten från simuleringarna.

## Referenser

- /1/           www.lkab.se (2002-11-25)
- /2/           Jönsson J., Löfving P., *Insatsplanering för räddningstjänsten som ett led i det totala säkerhetsarbetet*, Brandteknik, Report 5085, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund 2001
- /3/           *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, SFPE, NFPA, Third edition, Quincy 2002
- /4/           *Kraftkabelhandboken*, Ericsson Cables AB, 1996
- /5/           *Brandvattenförsörjning*, Räddningsverket, Karlstad 1999
- /6/           Karlsson B., Quintiere J., *Enclosure Fire Dynamics*, CRC Press, Boca Raton 2000
- /7/           Mätning på nivå 775 med Åke Skoglind, 2003-02-03
- /8/           Räddningstjänstlagen 1986:1102
- /9/           *Skumboken*, Räddningsverket, Karlstad 1993
- /10/          *Brandskydd i gruv- och berganläggningar*, Svenska Gruvföreningen, Stockholm, 2000
- /11/          Telefonsamtal med Erling Kenttä, 2003-02-13.
- /12/          Telefonsamtal med Rolf Haug-Hansen, 2003-01-30.
- /13/          Drysedale D., *An Introduction to Fire Dynamics*, Wiley, Second edition, Chichester, 2000
- /14/          [www.hukseflux.com/thermal%conductivity/thermal.htm](http://www.hukseflux.com/thermal%conductivity/thermal.htm) (2003-05-14).
- /15/          McGrattan et. al., *Fire Dynamics Simulator (Version 2) – Technical Reference Guide*, NIST, NISTIR 6783, 2001

## **Förteckning över bilagor**

Bilaga 1: Ritning över nivå 775

Bilaga 2: Befintlig insatsplan för nivå 775

Bilaga 3: Brandstatistik

Bilaga 4: Ritning över ventilationen, nivå 775

Bilaga 5: Resultat från datorsimuleringar

Bilaga 6: Skiss över borrvattensystemet/brandvattensystemet

Bilaga 7: Exempel på källkod för brandsimulering





### Bilaga 3.

#### Statistik, brand KUJ (1988—2002):

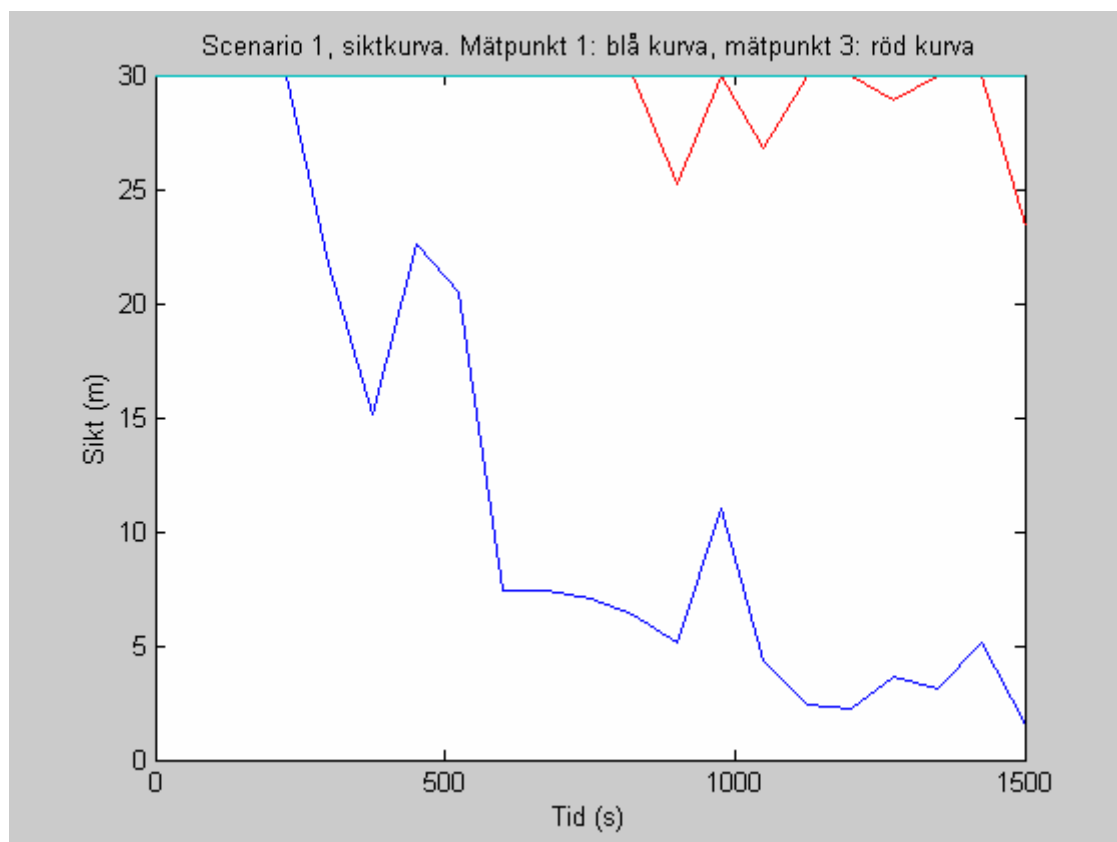
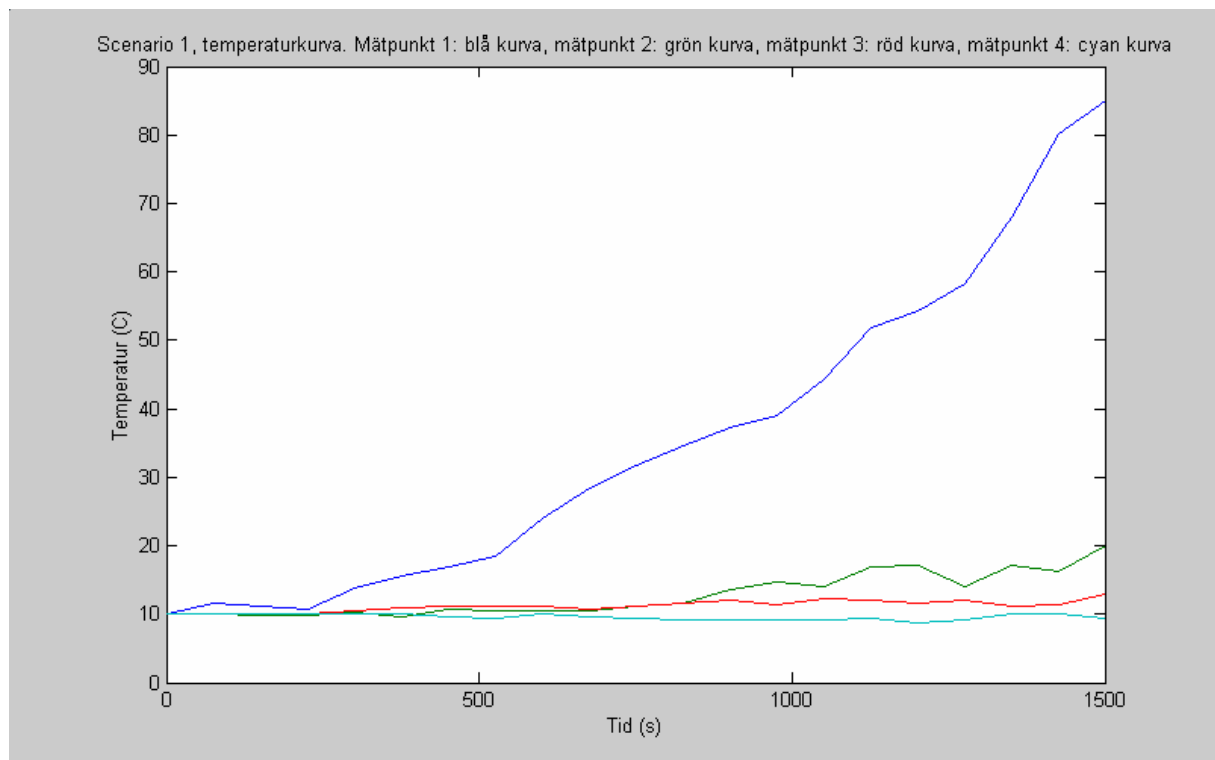
Plats	Brandorsak	Brandspridning	Följder
KUJ	Kortslutning vid huvudströmbrytare	Branden begränsades till startföremålet: hytten på fordonet	-
KUJ, brytningsdelen	Kortslutning i elkablar	Branden begränsades till startföremålet: panel på lastmaskin	-
KUJ, brytningsdelen	Okänt	Brand framför förarhytt	Orten rökfylldes snabbt. Komplicerad rökdykning (150 meter angreppsväg).
KUJ, nivå 562	Okänt	Brand i farmartank	-
KUJ, nivå 659	Överhettade bromsar, enbart rökspridning	-	-
KUJ, nivå 745	Överhettning av Telmabroms, samt läckage i bränsletanken	-	-
KUJ, nivå 564	Skärning av balkar	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, väg 22	Turbohavari på maskin	-	Kraftig rökutveckling
KUJ, parkeringsort nivå 815	Vid start av fordon, fattade en elkabel eld	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, nivå 740	Brand i elcentral	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, nivå 838	Brand i brädgolv/tak i schakt	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, väg 16	Brand i fordon (VW buss)	Fordonet övertändes helt	Rökfylld snedbana
KUJ, nivå 740	Överhettning i kompressor, fordon	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, nivå 775	Drosselbrand till lysrörsarmatur	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, nivå 686	Brand i elskåp och kabelbrand	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, lokverkstaden	Brand i terminallok, överslag i ett motstånd varvid gnistor tänt eld på växellådsolja och tygtrasor som låg på golvet	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, nivå 740	Kabelbrand	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, brytningsdelen	Brand i matarkabel	Begränsad till	-

	till lastmaskinen	startföremålet	
KUJ, väg 18 nivå 740	Brand i lastmaskin; vid pågående lastning upptäcktes att kabeltrycket försvann och maskinen slocknade, föraren upptäckte då rök från hydraulmotorn.	Begränsad till startföremålet	Orten rökfylldes snabbt
KUJ, brytningsdelen	Brand i skyddshölje	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, väg 43 nivå 792	Brand i lastmaskin; fordonet blev strömlöst under färd, brand i kabelvindan upptäcktes.	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, väg 25 nivå 840	Brand i motorrum	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, brytningsdelen	Brand i skarv på elkabel (skrotningsfordon)	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, brytningsdelen	Brand i lastmaskin; matarkabeln	Begränsad till startföremålet	Orten rökfylldes snabbt
KUJ, arbetsplats 63530	Brand i lastmaskin; kabeltrumman	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, väg 28 nivå 820	Kortslutning av transformatorstation	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, arbetsplats 63520	Brand i lastmaskin; kabelvindan	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, nivå 795	Brand i fordon	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, brytningsdelen	Brand i lastmaskin; kabelvindan	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, väg 22 nivå 680	Rökutveckling från lastbil, berodde på olja på avgasrör	-	-
KUJ, väg 17 nivå 792	Brand i fast el-motor	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, väg 17 nivå 792	Brand i lastmaskin; kabel	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, brytningsdelen	Brand i lastmaskin; kabelvindan	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, brytningsdelen	Brand i elskåp	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, väg 43 nivå 765	Brand i lastmaskin; kabel	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, brytningsdelen	Brand i lastmaskinen; kabel	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, nivå 1045	Branden började när	Branden spreds längs	Omfattande

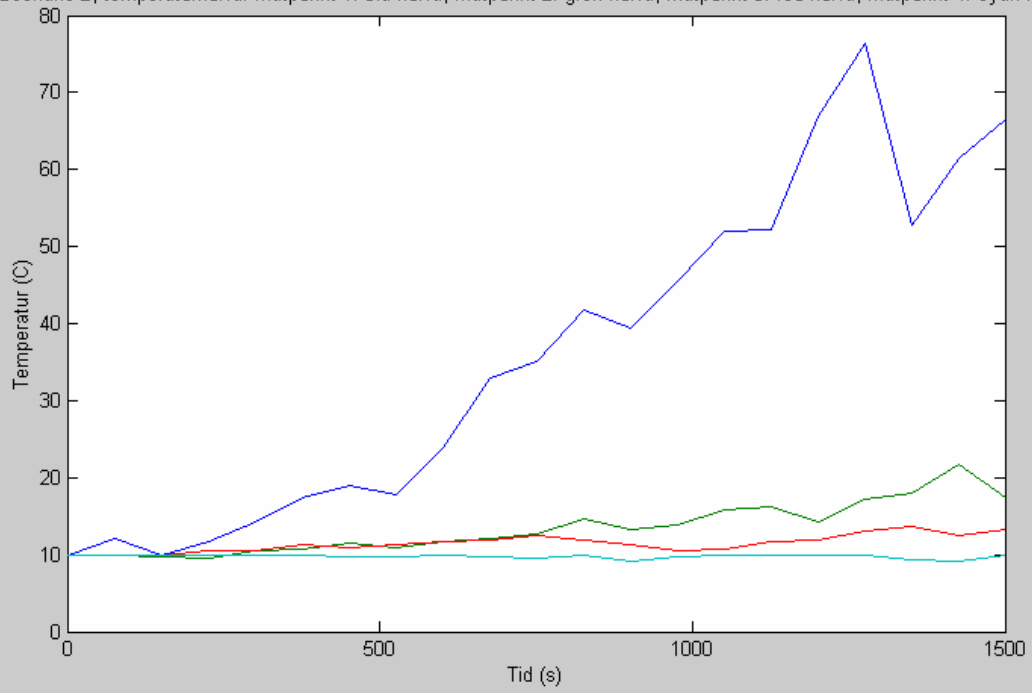
	kontaktledningen och jordlinan kom i beröring med varandra, varvid en ljusbåge antände skyddsisoleringen och ett ovanliggande plasttak.	involverat kablage i spårorten	rökfylld av berörd nivå, utrymning genomfördes, komplicerad rökdykning på grund av omfattande angreppsvägar.
KUJ, verkstad nivå 775	Brand i gasledning (acetylen), orsakad av läckage från trasig gaskran och antändning från arbete med kaprondell.	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, väg 18 nivå 820	Brand i elcentral	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, snedbanan	Brand i laddningsfordon; däck	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, väg 22	Brand i motorrummet på fordon	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, väg 41 nivå 792	Brand i lastmaskin; uppstått framför släpringsboxen	Begränsad till startföremålet	-
KUJ, nedfarten till nivå 775	Brand baktill på fordonet	Begränsad till startföremålet	-
KUJ	Brand i lastmaskin, branden uppstod i midjan efter kortslutning	Begränsad till startföremålet	-



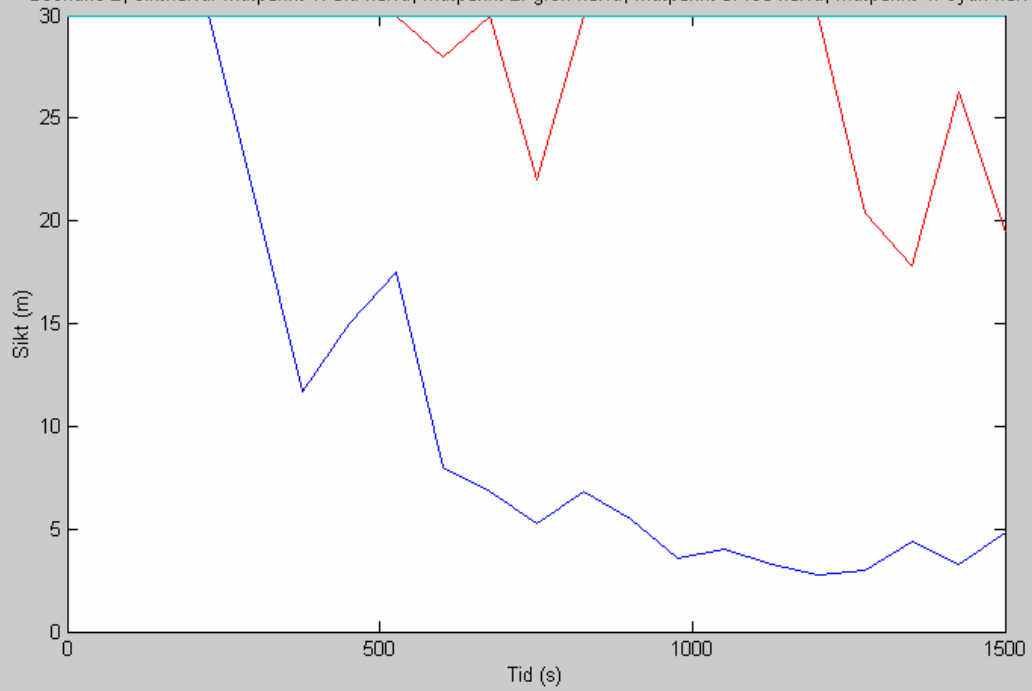
## Bilaga 5.



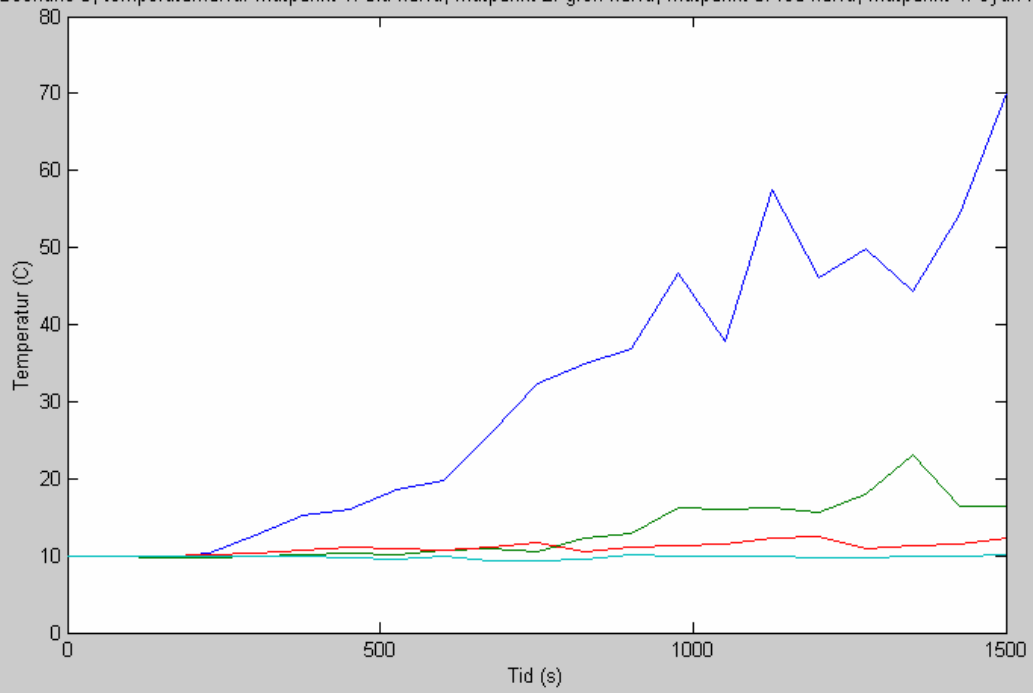
Scenario 2, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



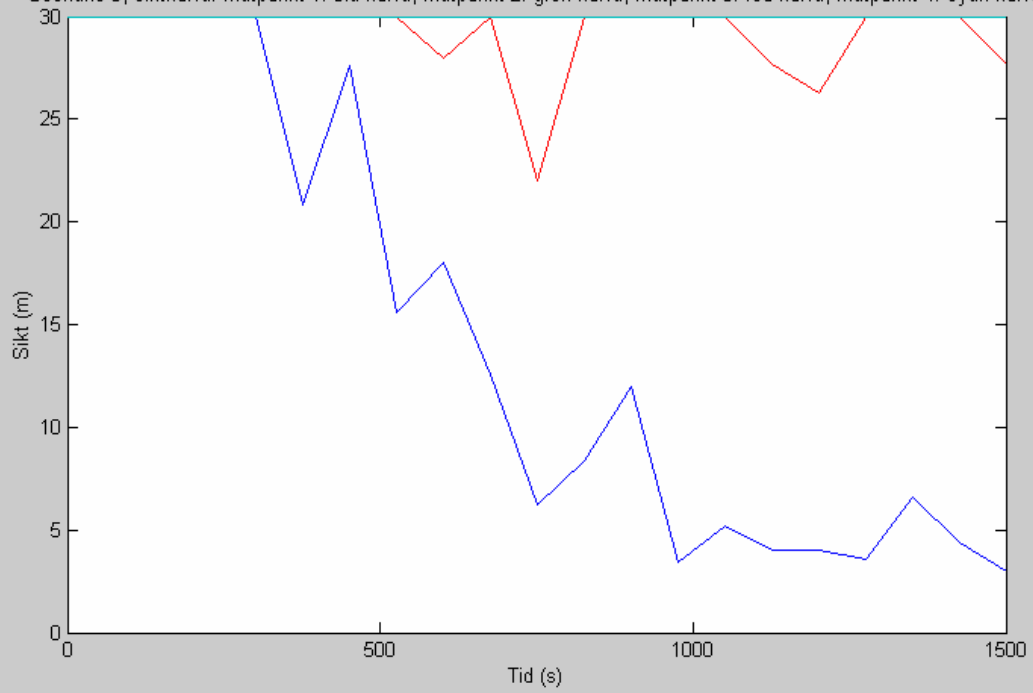
Scenario 2, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



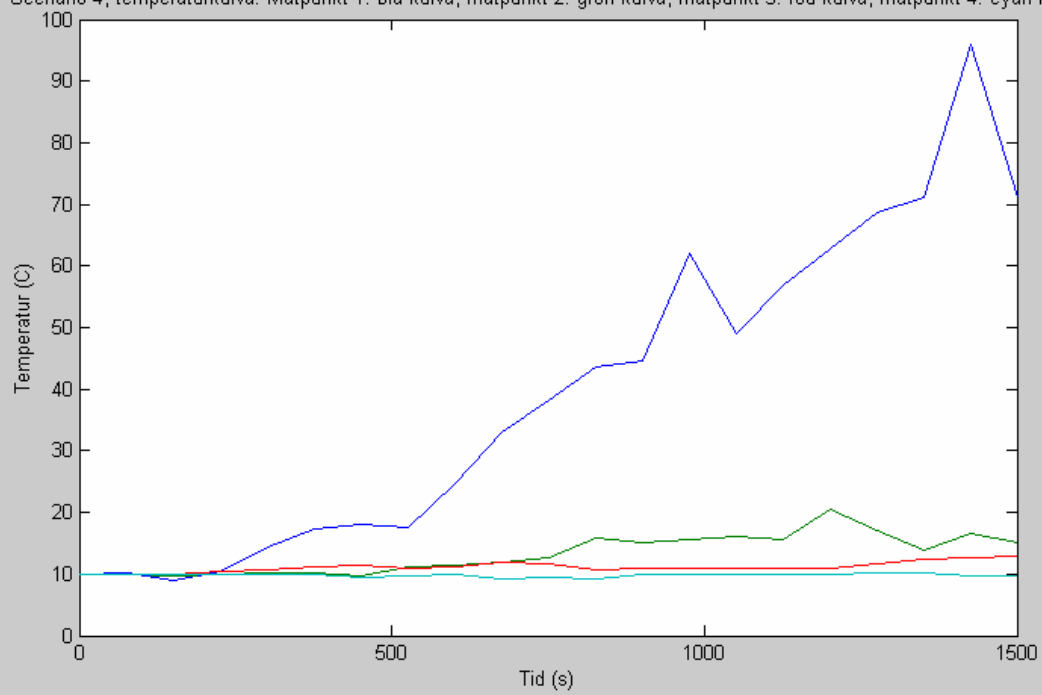
Scenario 3, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



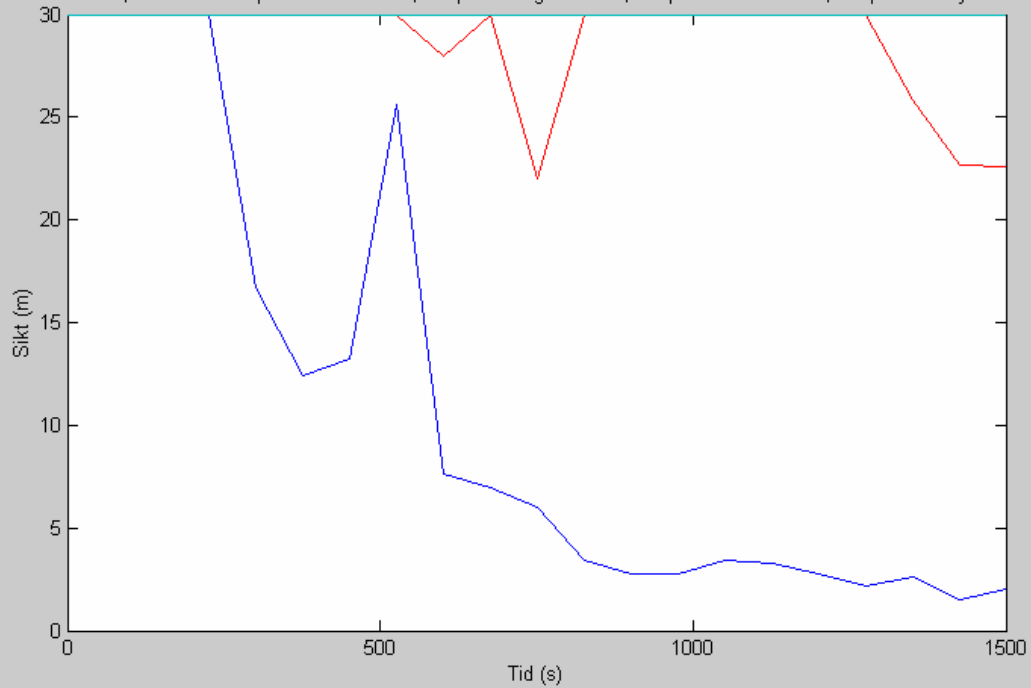
Scenario 3, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



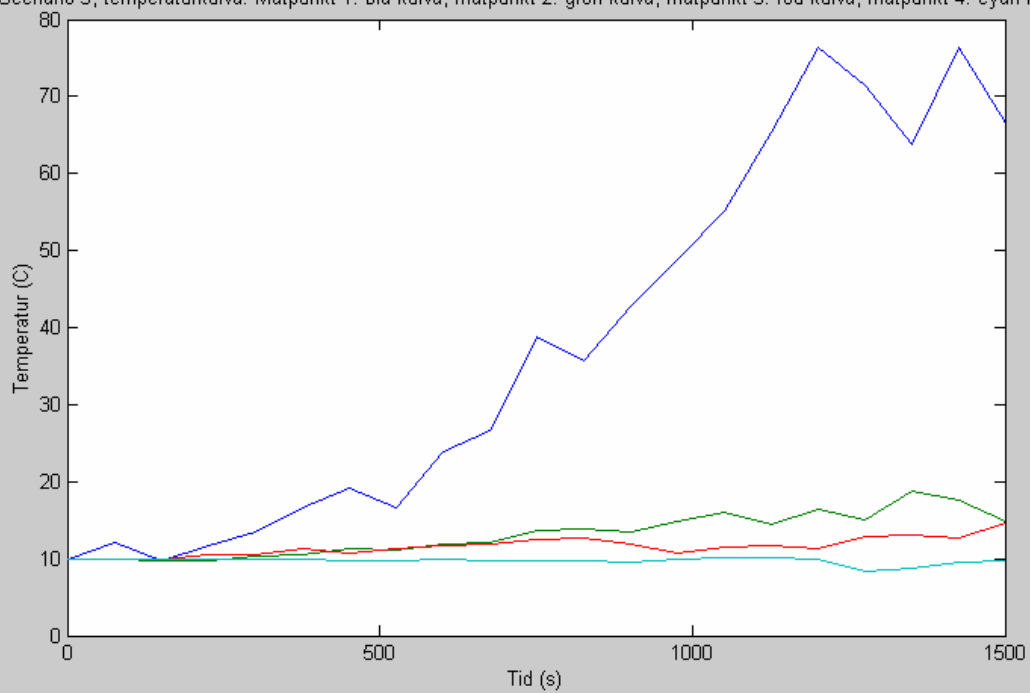
Scenario 4, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



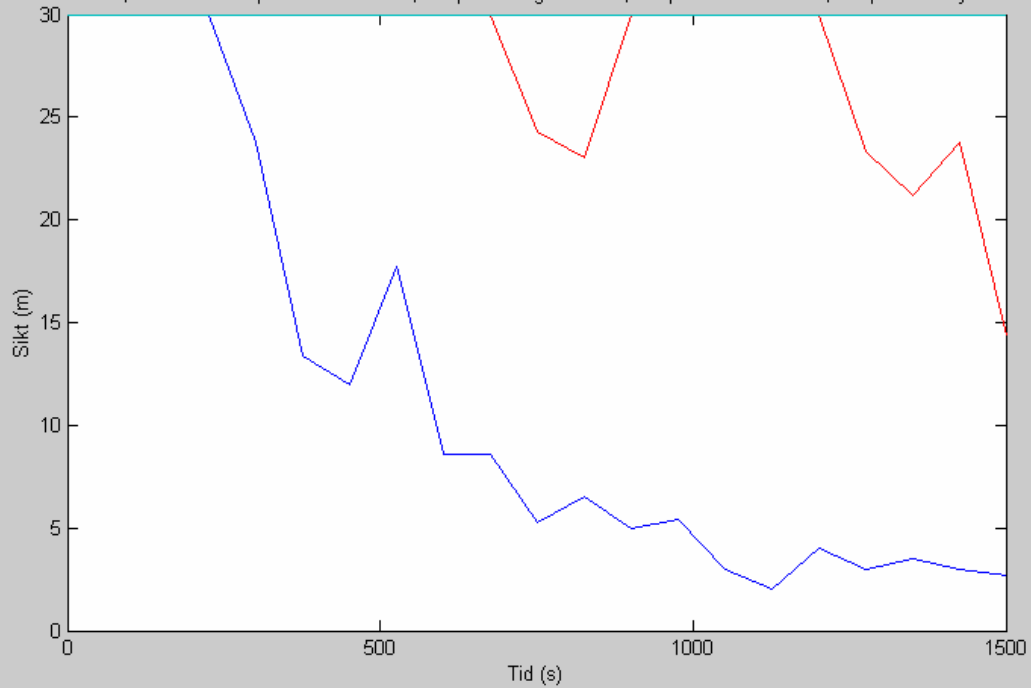
Scenario 4, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



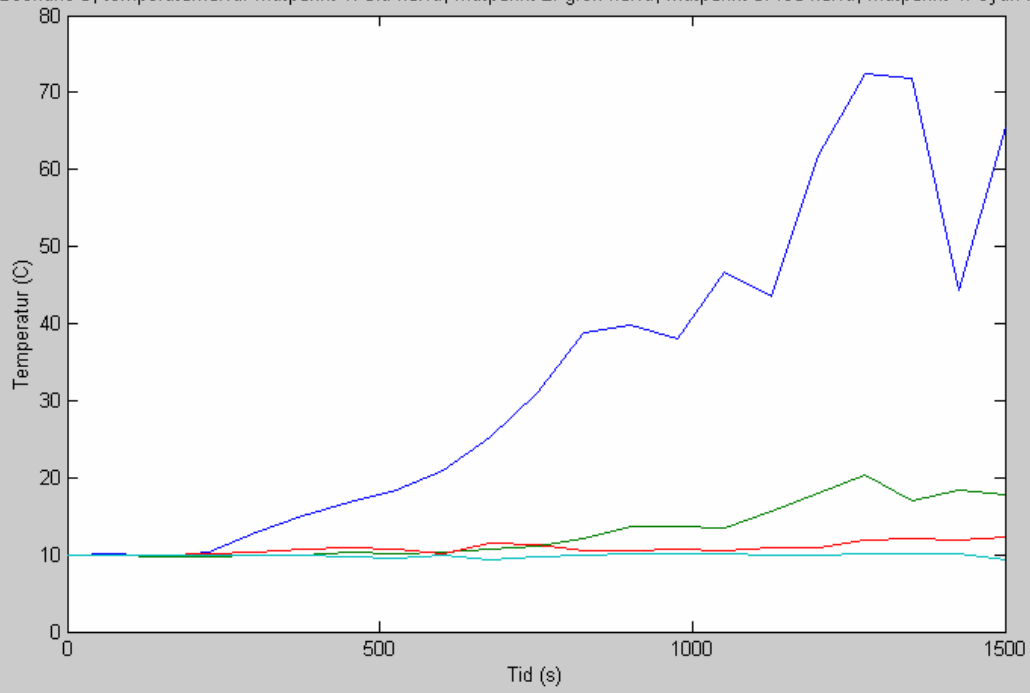
Scenario 5, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



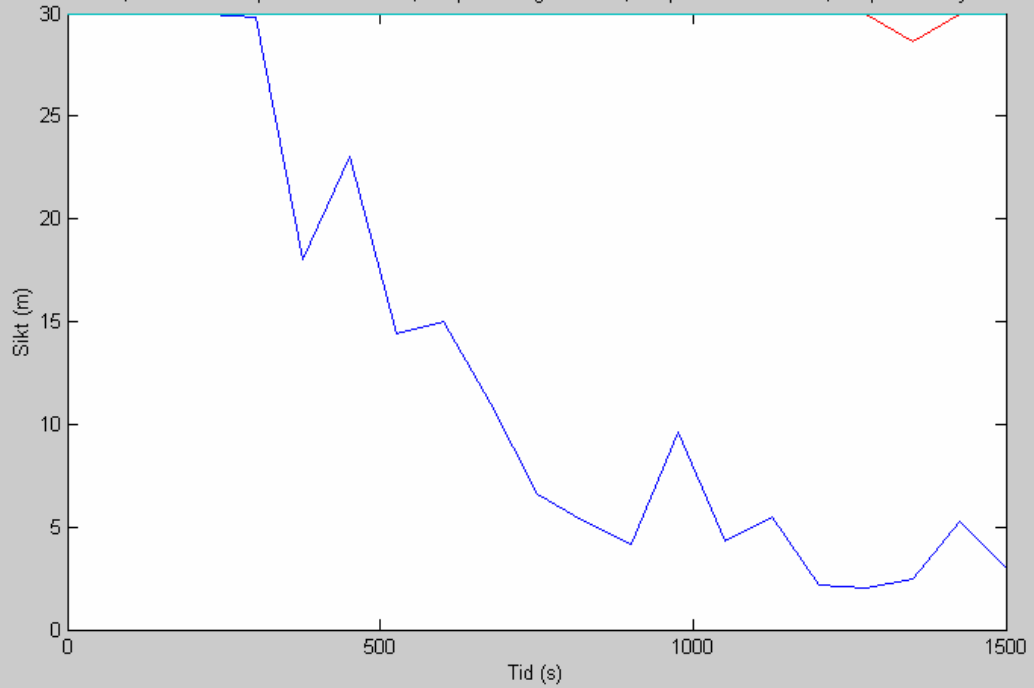
Scenario 5, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



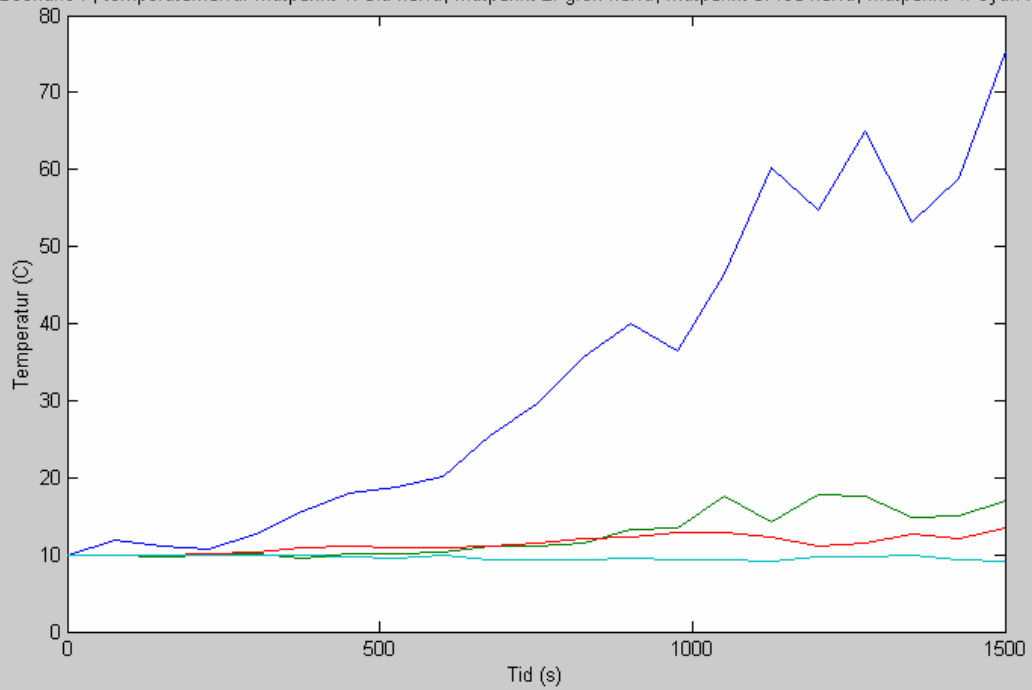
Scenario 6, temperaturkurva. Mät punkt 1: blå kurva, mät punkt 2: grön kurva, mät punkt 3: röd kurva, mät punkt 4: cyan kurva



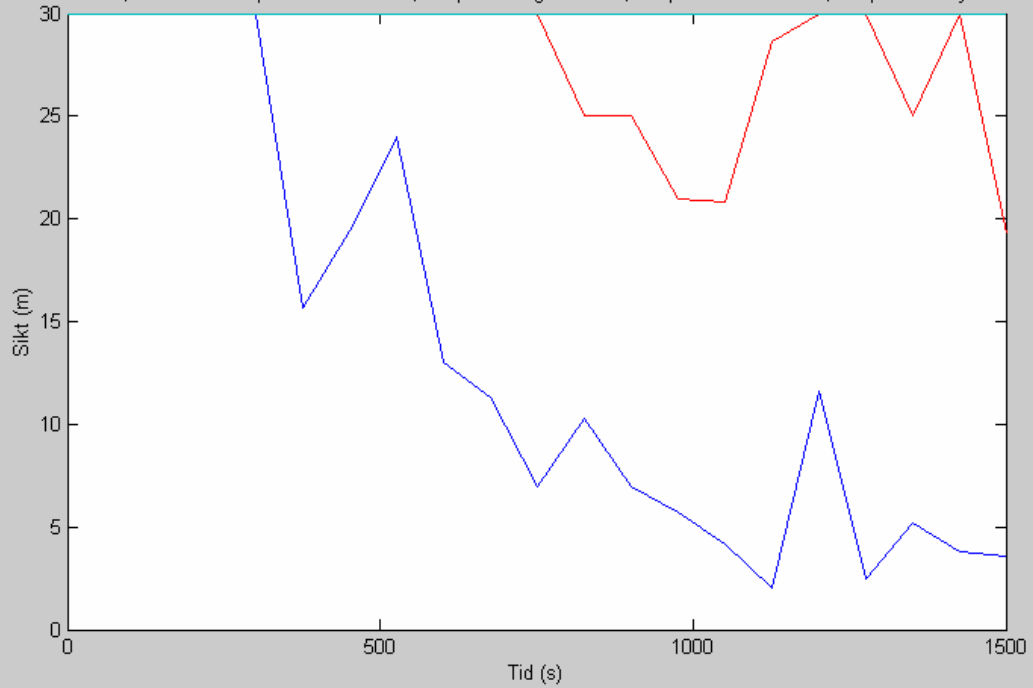
Scenario 6, siktkurva. Mät punkt 1: blå kurva, mät punkt 2: grön kurva, mät punkt 3: röd kurva, mät punkt 4: cyan kurva



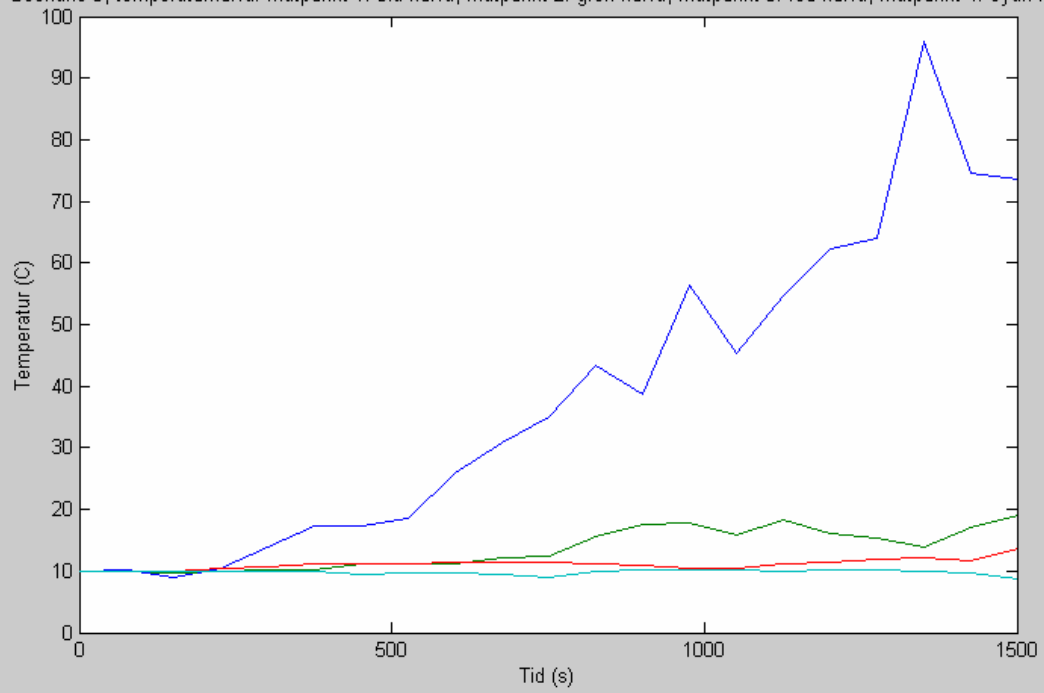
Scenario 7, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



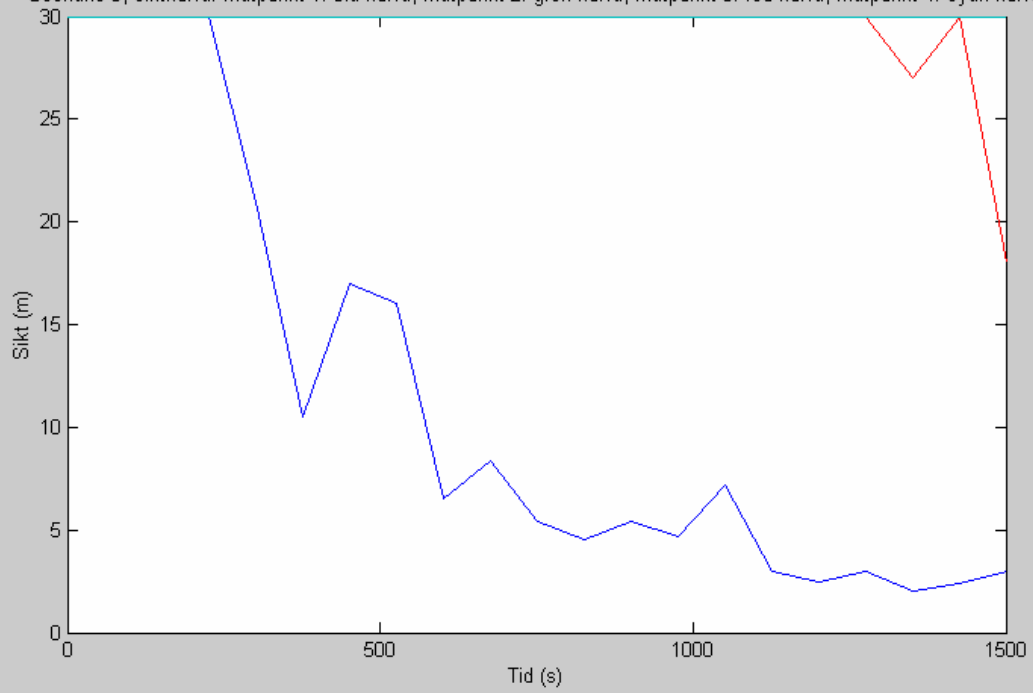
Scenario 7, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



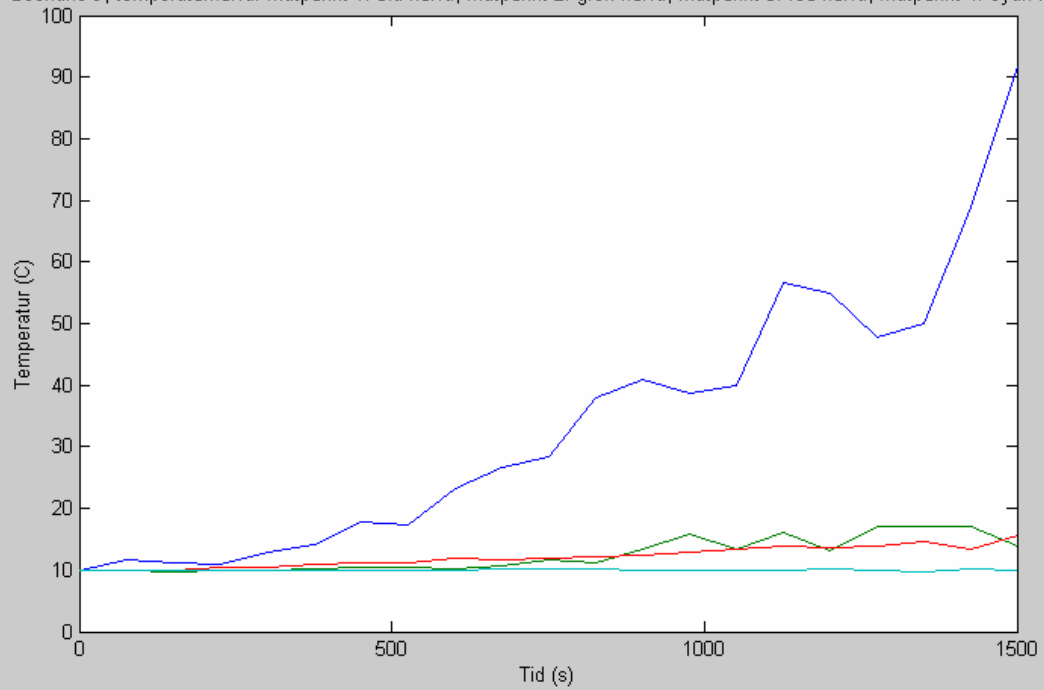
Scenario 8, temperaturkurva. Mät punkt 1: blå kurva, mät punkt 2: grön kurva, mät punkt 3: röd kurva, mät punkt 4: cyan kurva



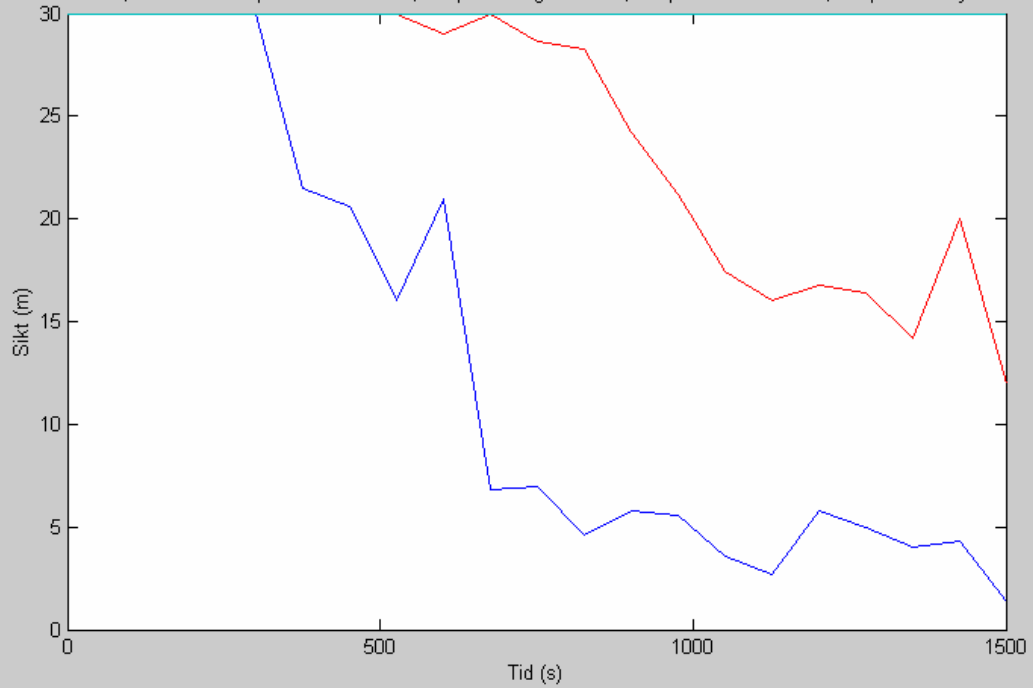
Scenario 8, siktkurva. Mät punkt 1: blå kurva, mät punkt 2: grön kurva, mät punkt 3: röd kurva, mät punkt 4: cyan kurva



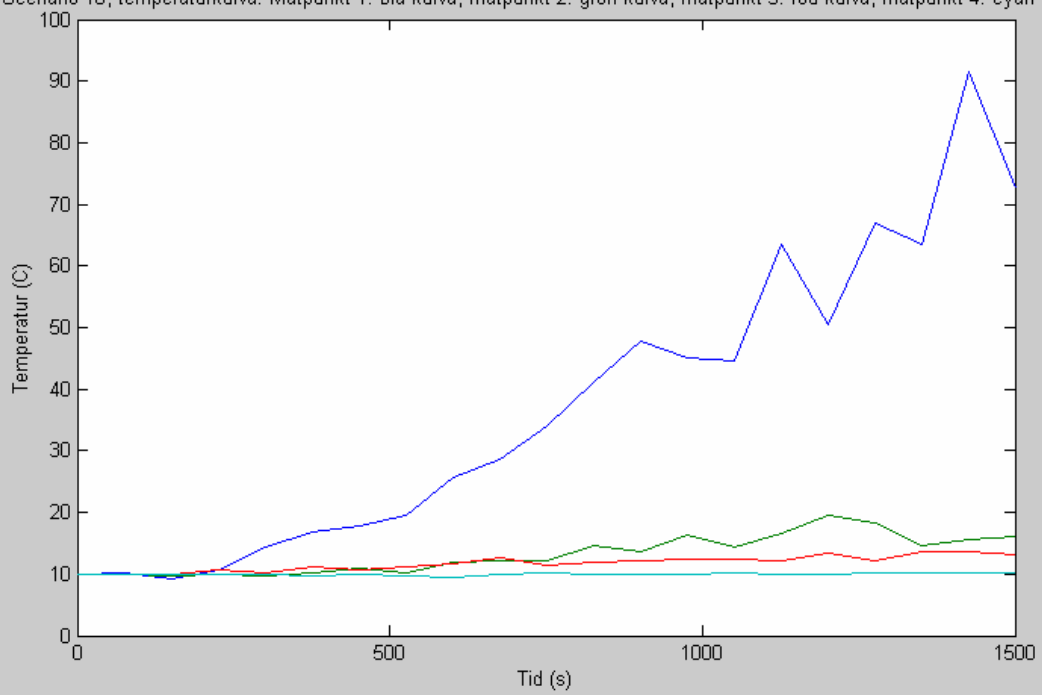
Scenario 9, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



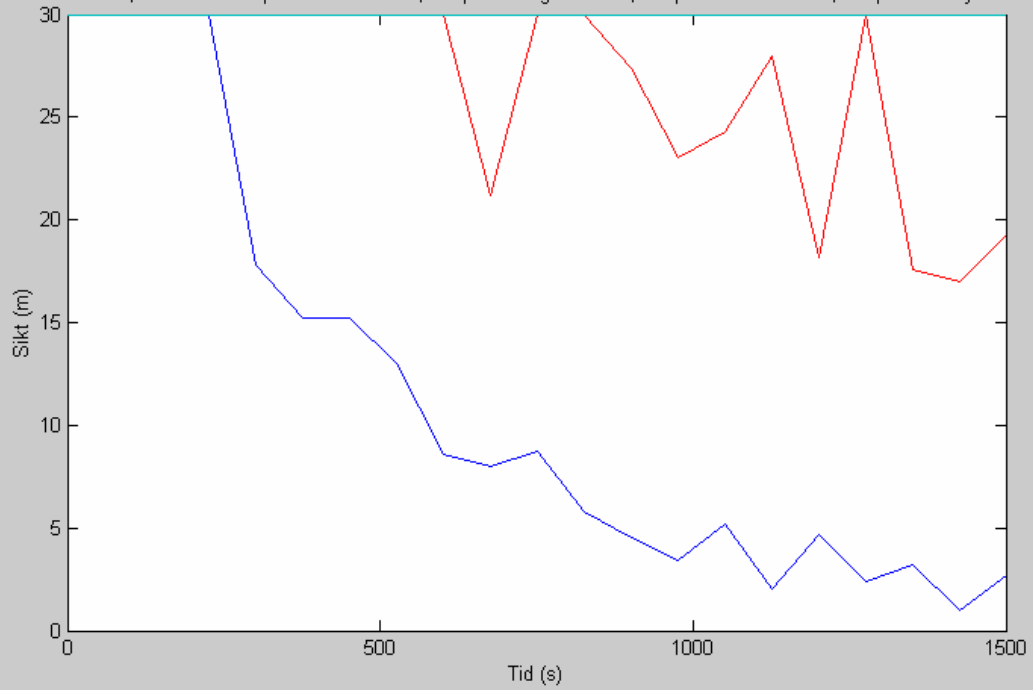
Scenario 9, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



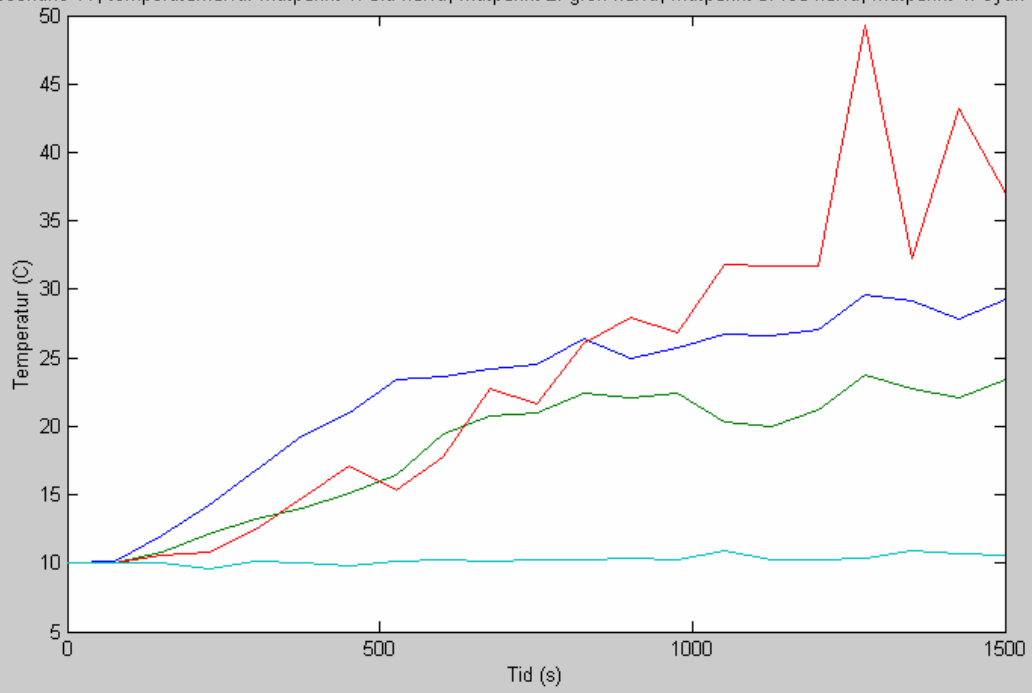
Scenario 10, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



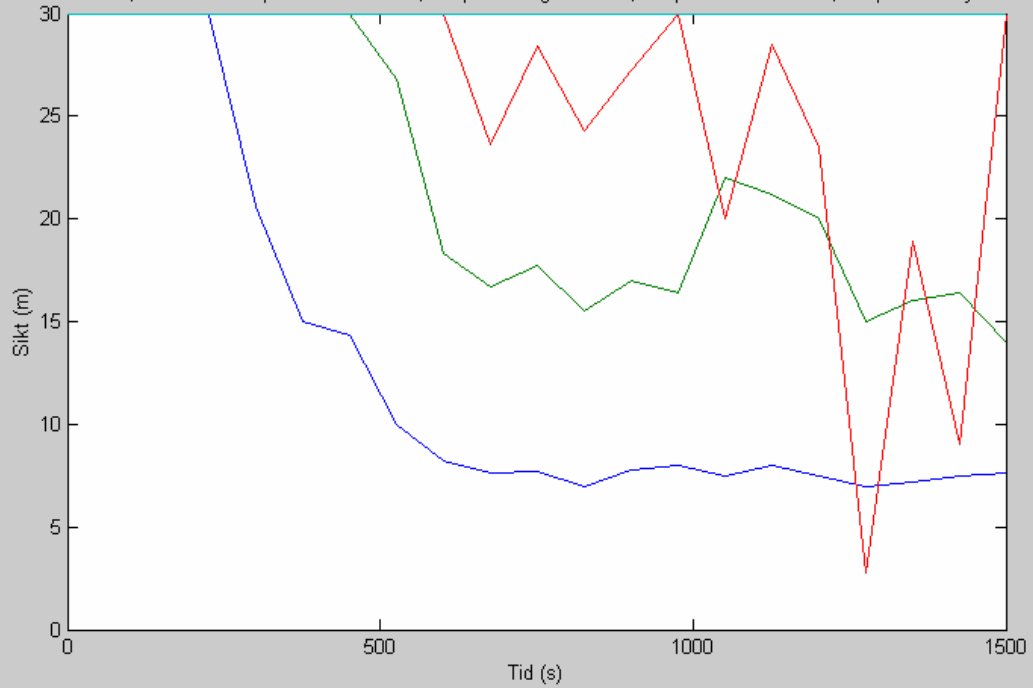
Scenario 10, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



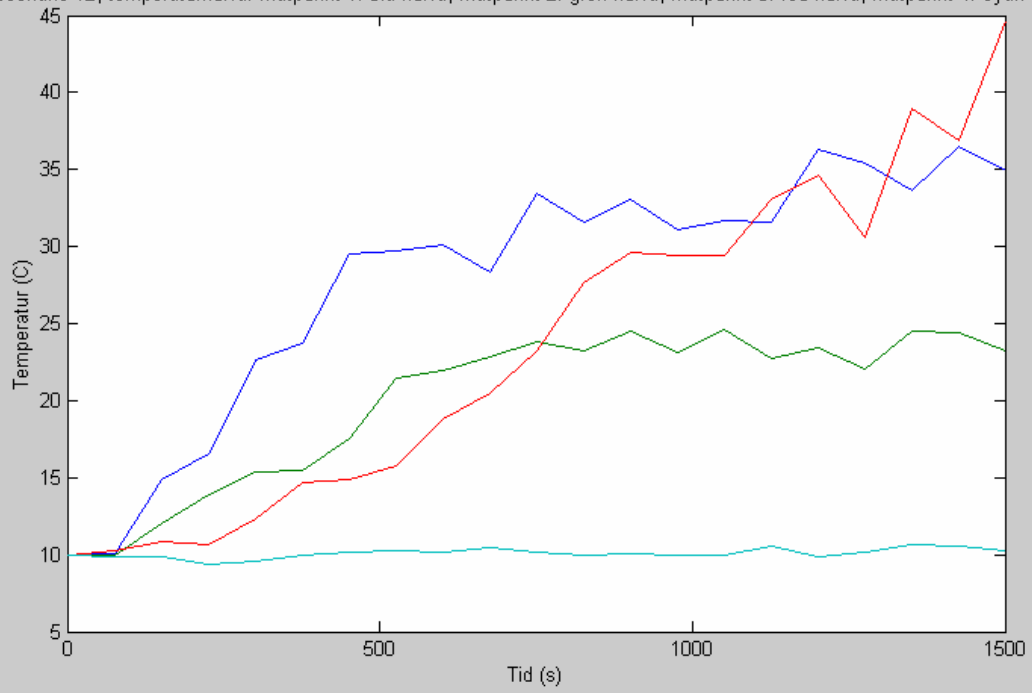
Scenario 11, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



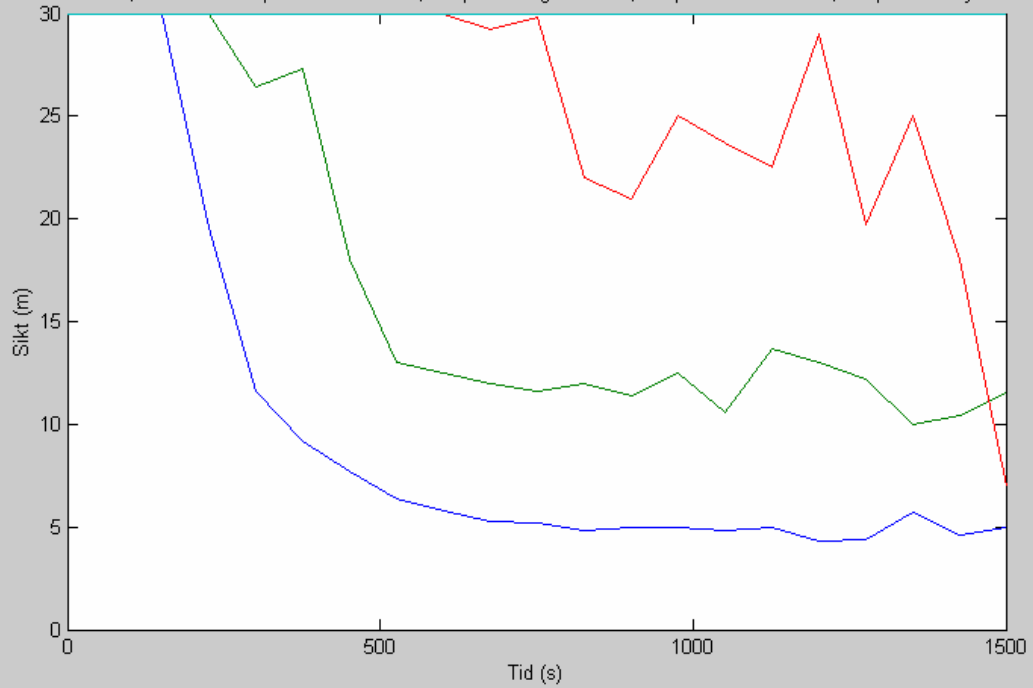
Scenario 11, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



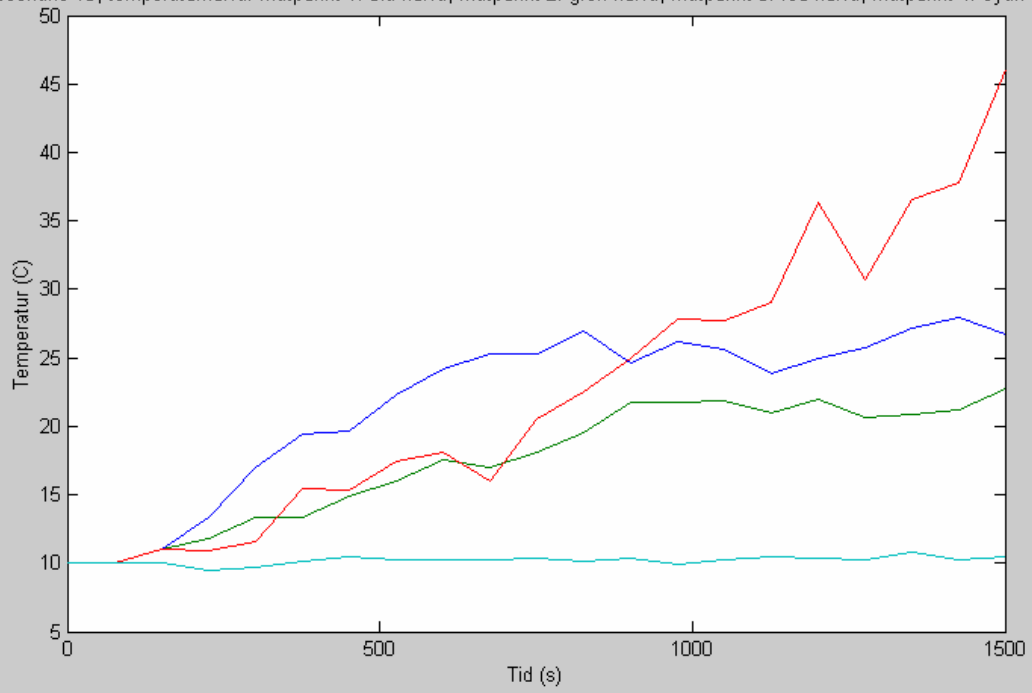
Scenario 12, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



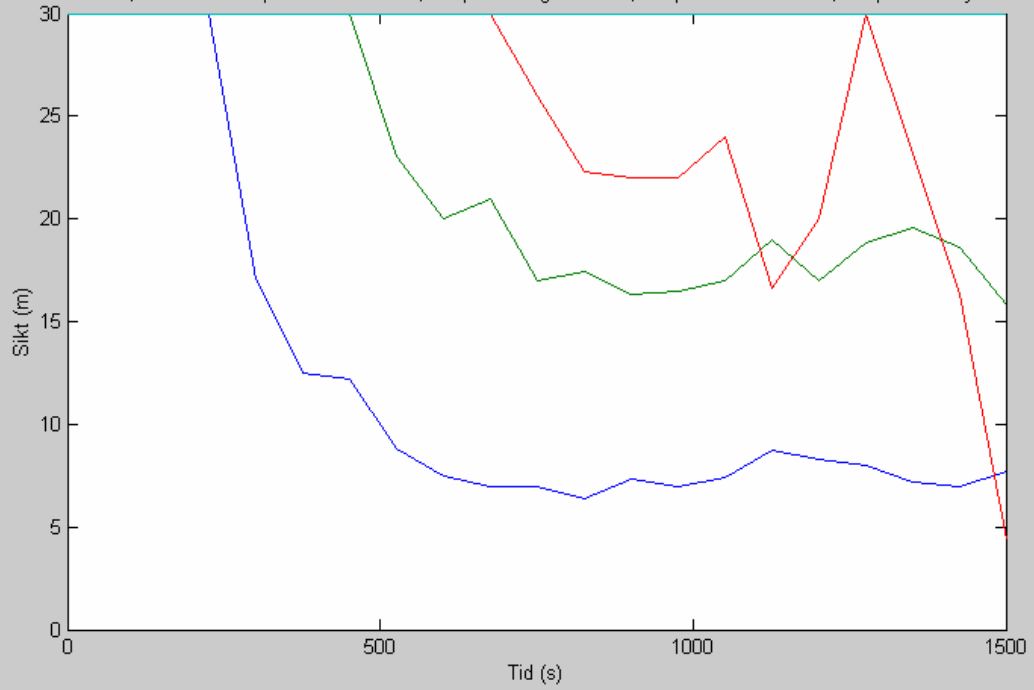
Scenario 12, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



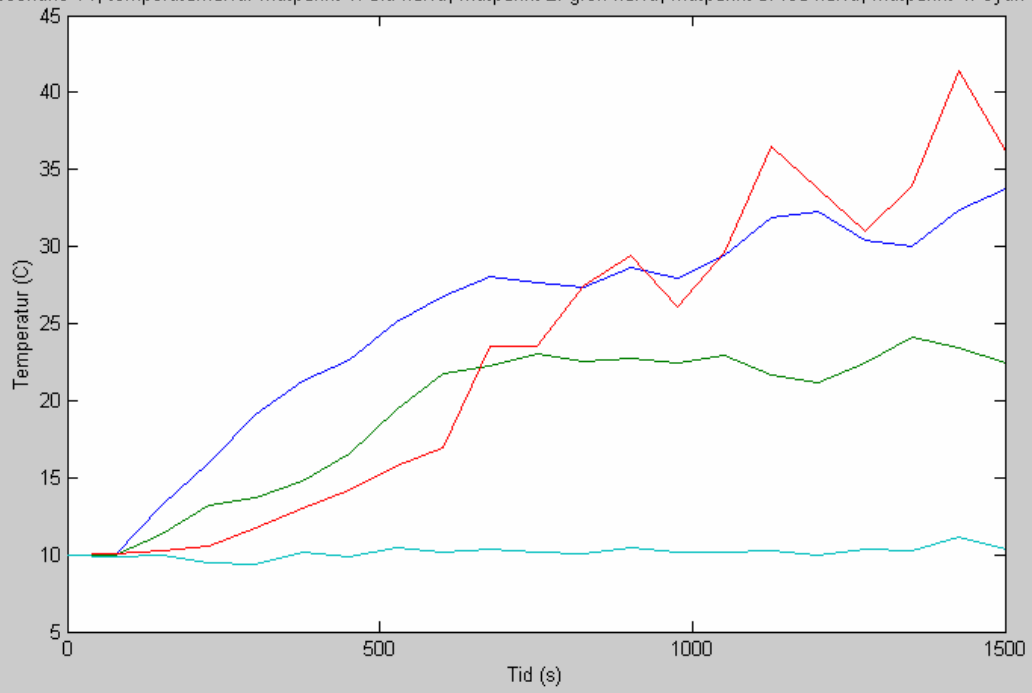
Scenario 13, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



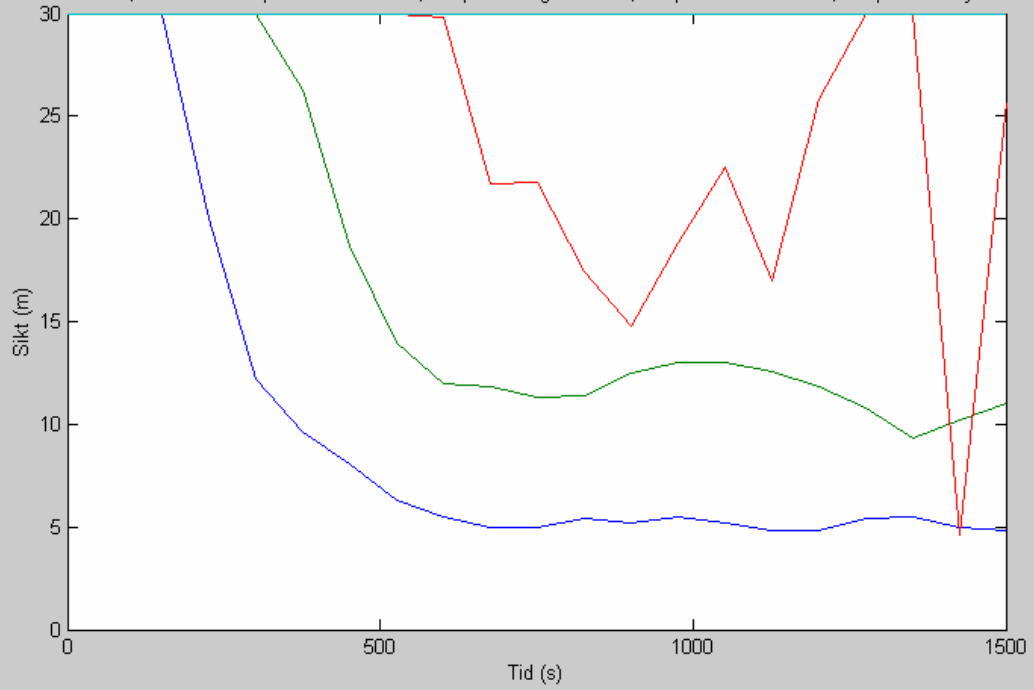
Scenario 13, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



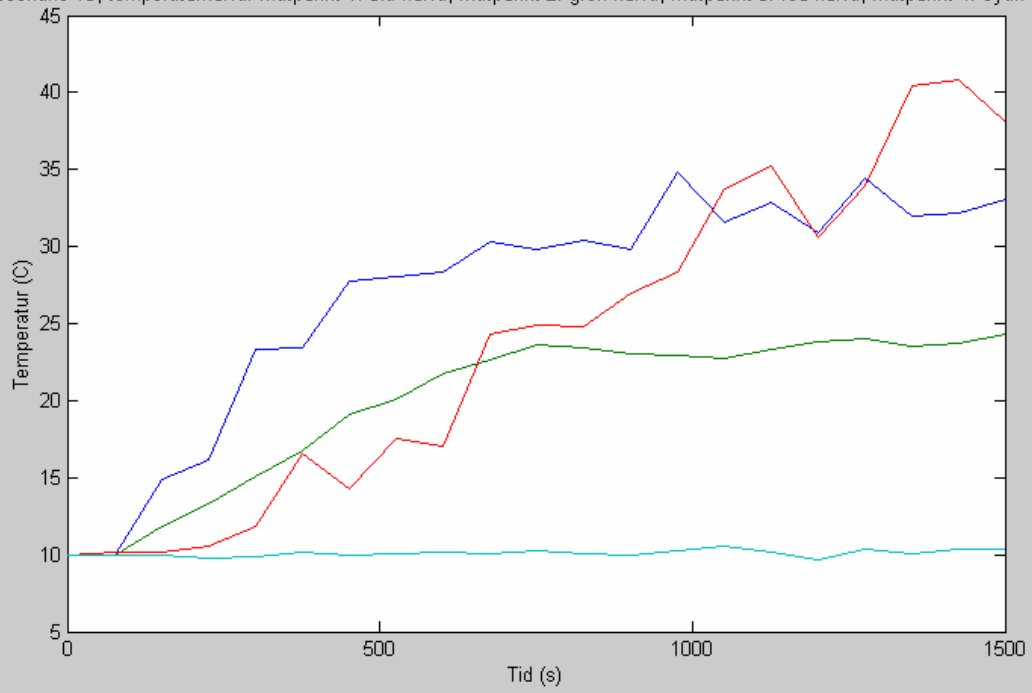
Scenario 14, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



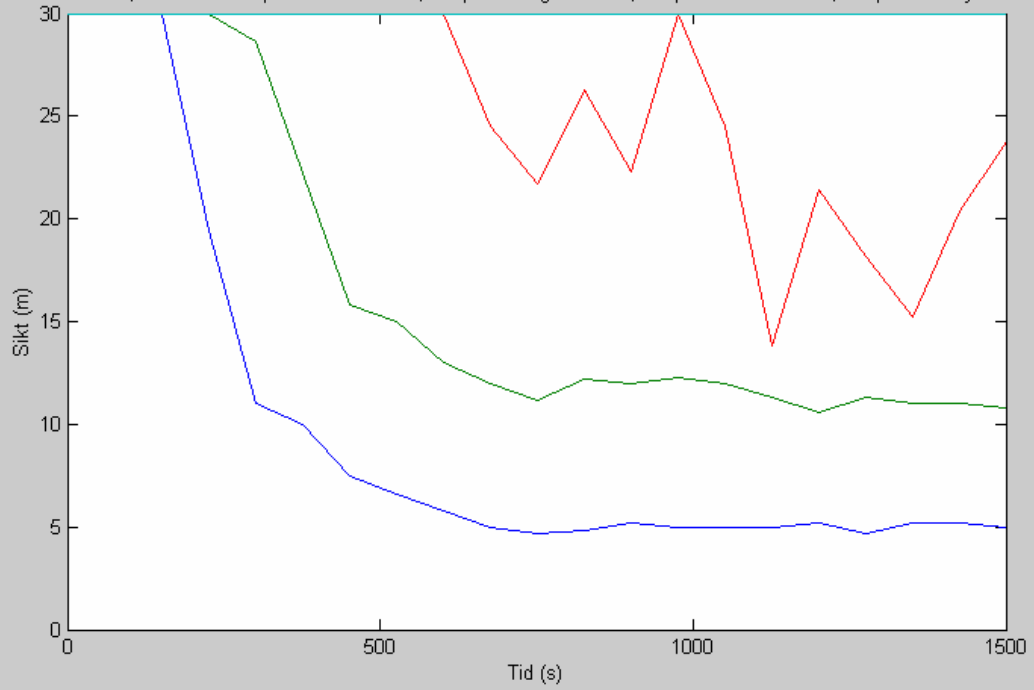
Scenario 14, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



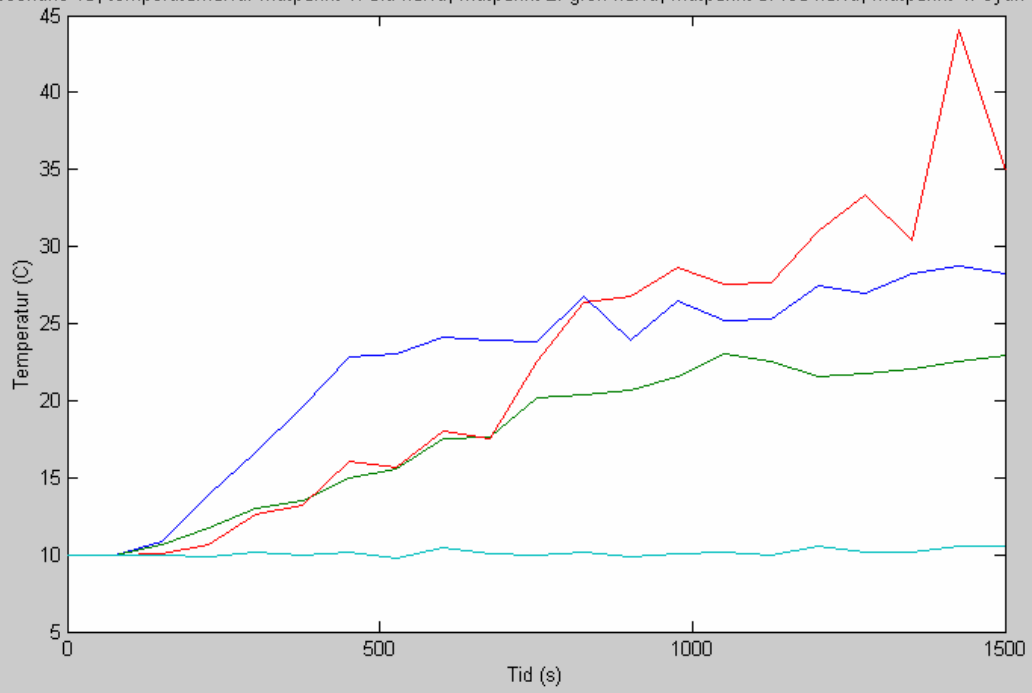
Scenario 15, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



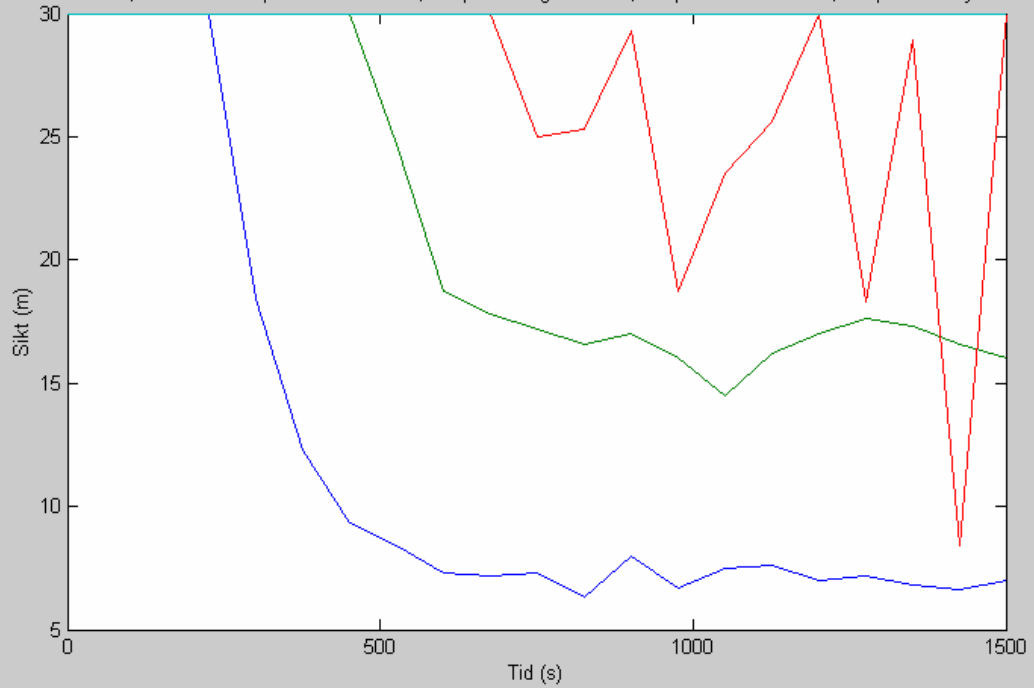
Scenario 15, sikturva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



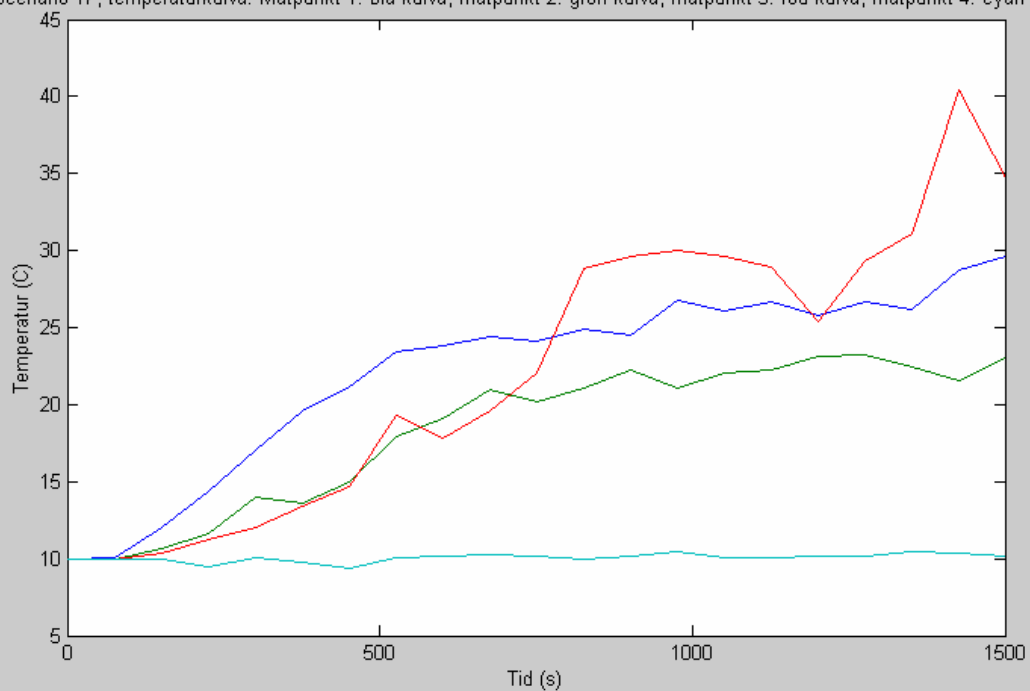
Scenario 16, temperaturkurva. Mät punkt 1: blå kurva, mät punkt 2: grön kurva, mät punkt 3: röd kurva, mät punkt 4: cyan kurva



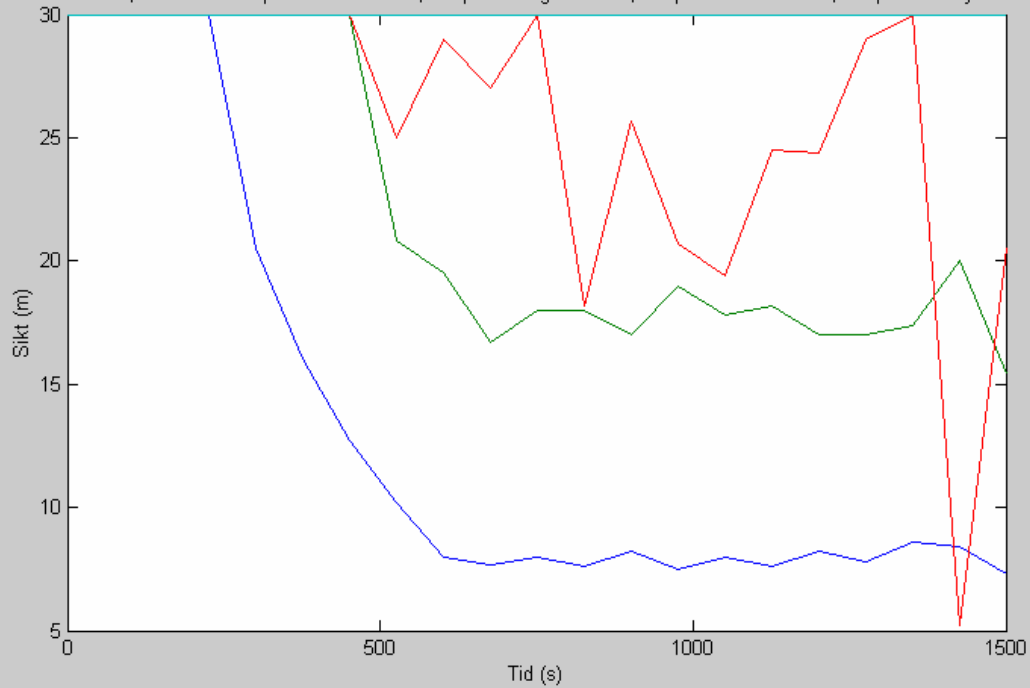
Scenario 16, siktkurva. Mät punkt 1: blå kurva, mät punkt 2: grön kurva, mät punkt 3: röd kurva, mät punkt 4: cyan kurva



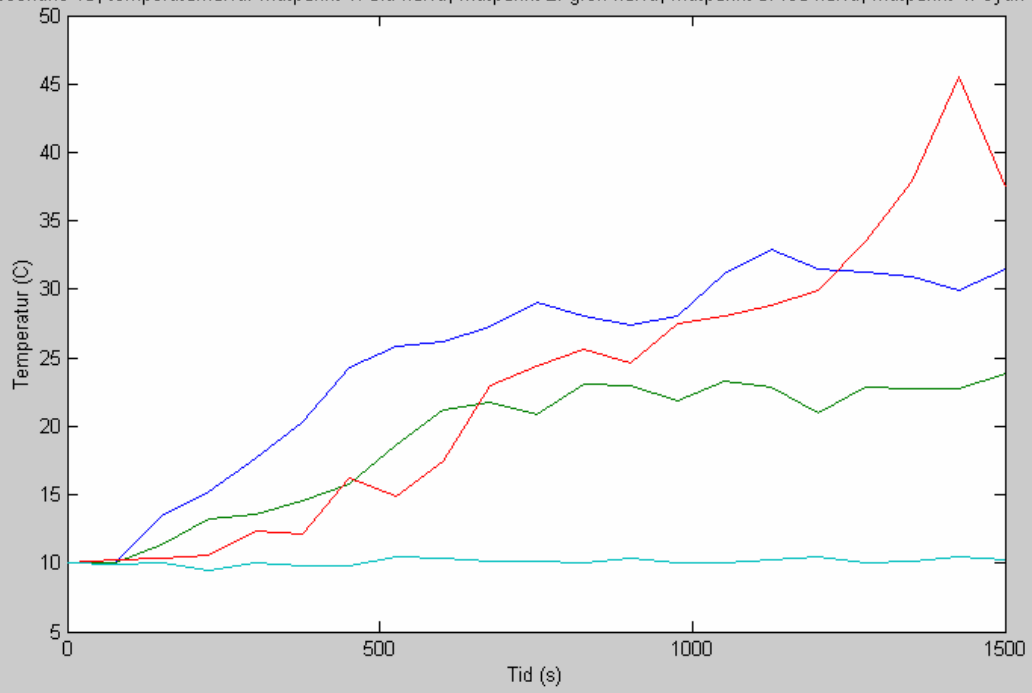
Scenario 17, temperaturkurva. Mät punkt 1: blå kurva, mät punkt 2: grön kurva, mät punkt 3: röd kurva, mät punkt 4: cyan kurva



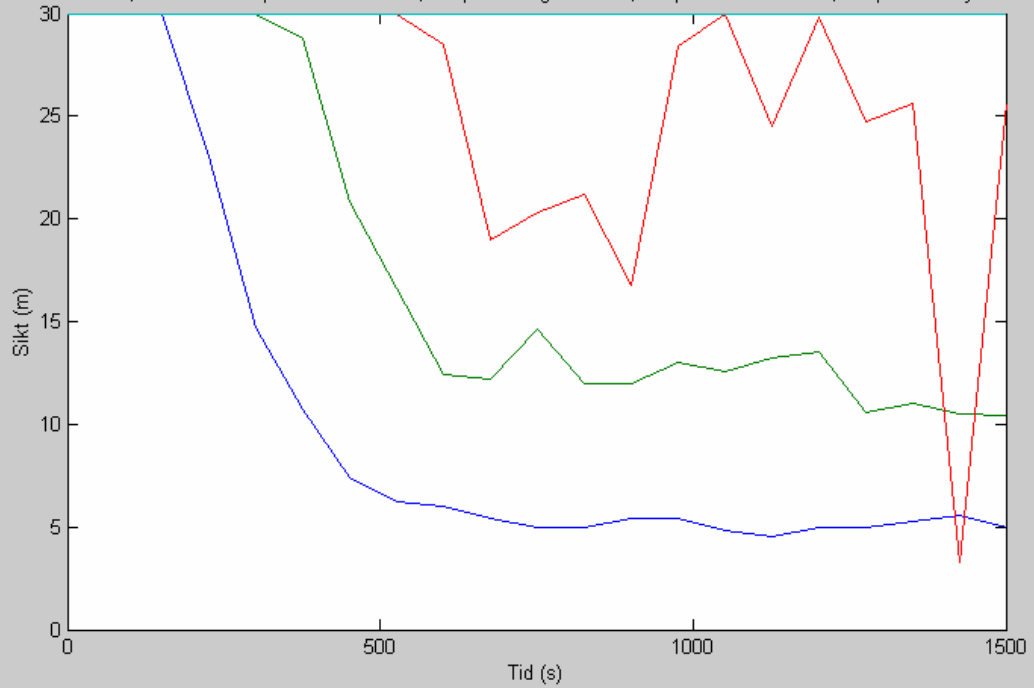
Scenario 17, siktkurva. Mät punkt 1: blå kurva, mät punkt 2: grön kurva, mät punkt 3: röd kurva, mät punkt 4: cyan kurva



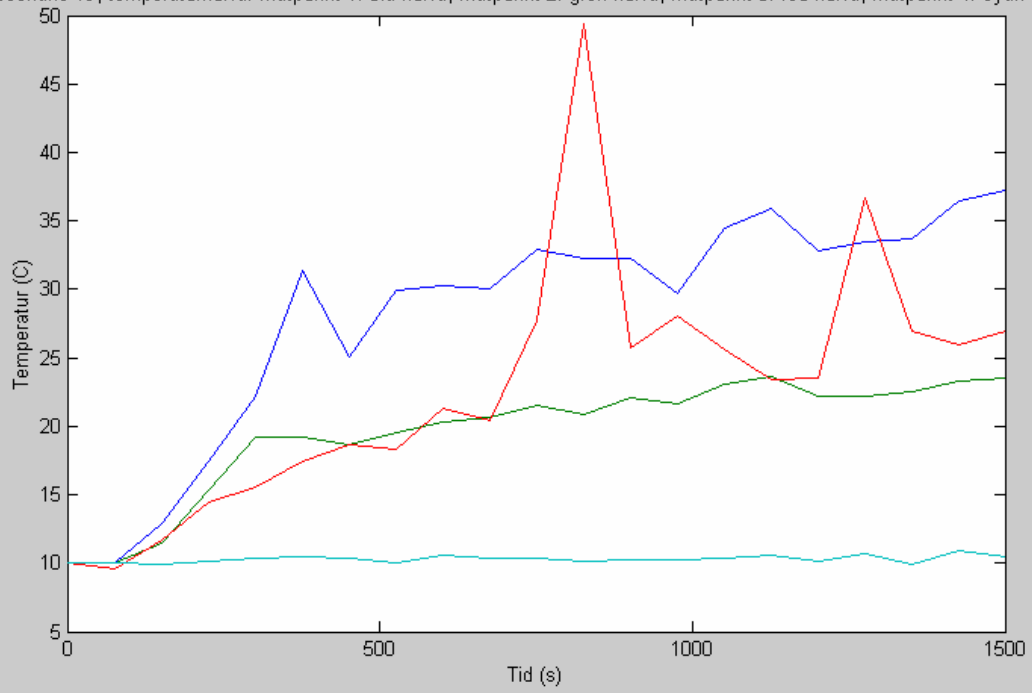
Scenario 18, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



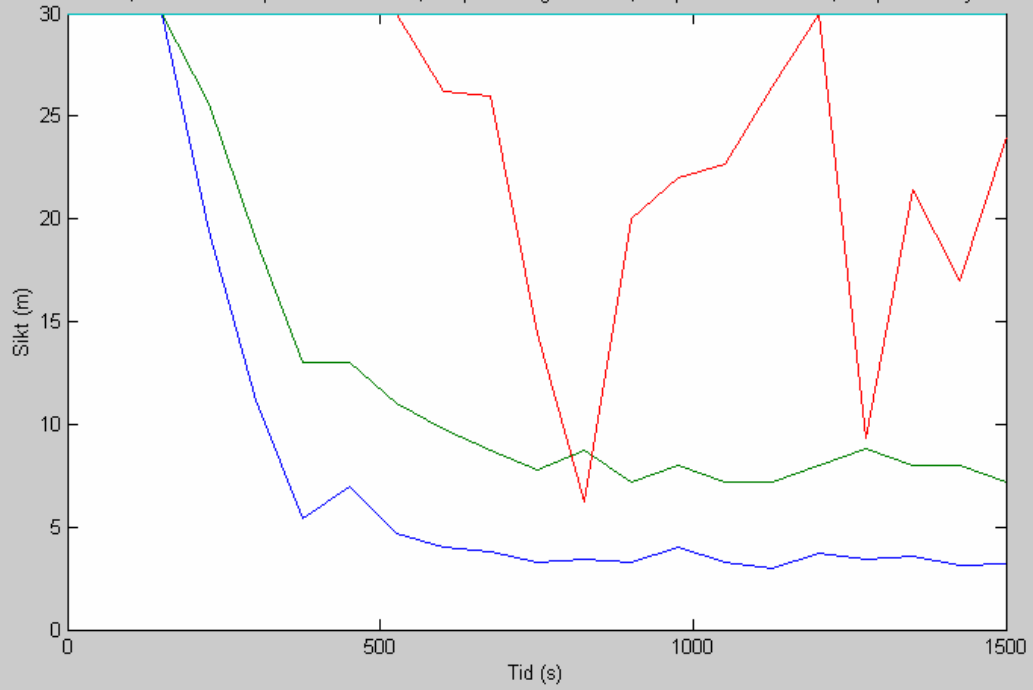
Scenario 18, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



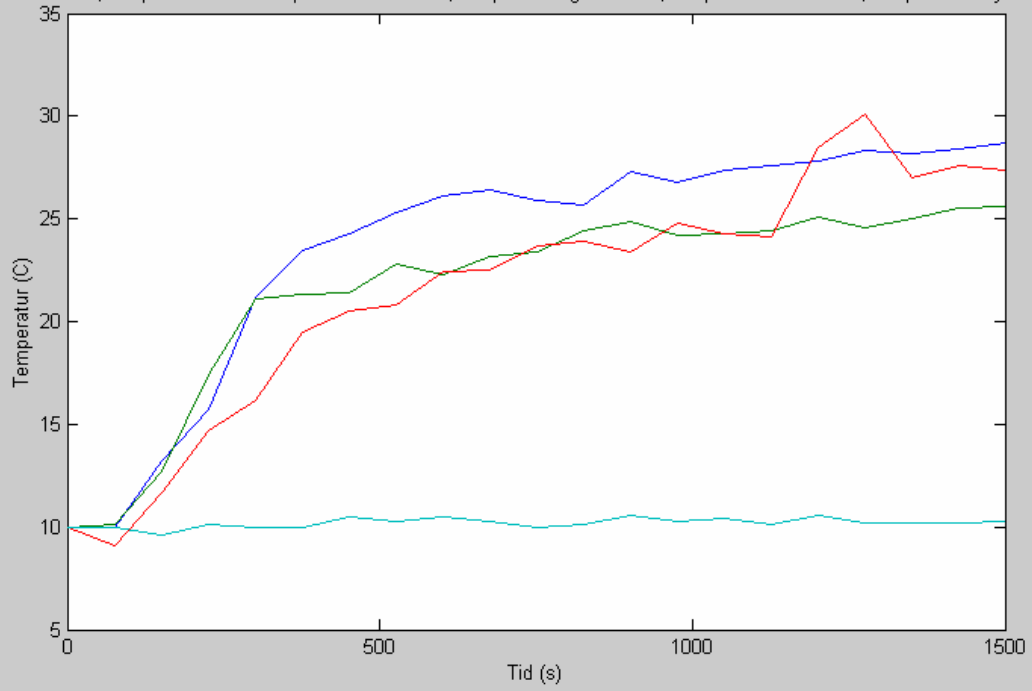
Scenario 19, temperaturkurva. Mät punkt 1: blå kurva, mät punkt 2: grön kurva, mät punkt 3: röd kurva, mät punkt 4: cyan kurva



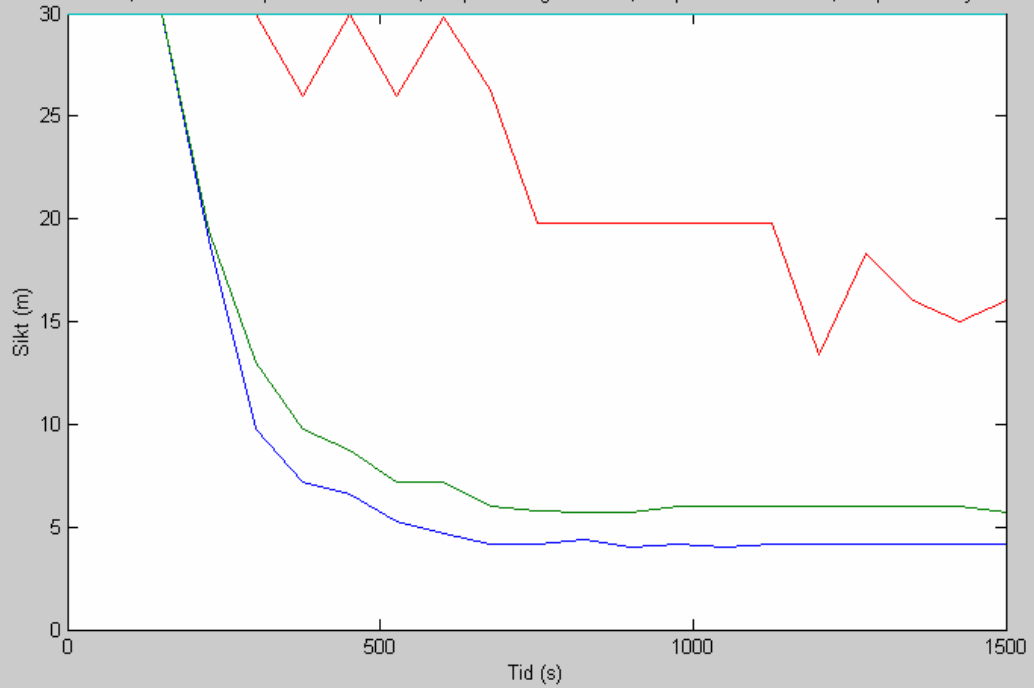
Scenario 19, siktkurva. Mät punkt 1: blå kurva, mät punkt 2: grön kurva, mät punkt 3: röd kurva, mät punkt 4: cyan kurva



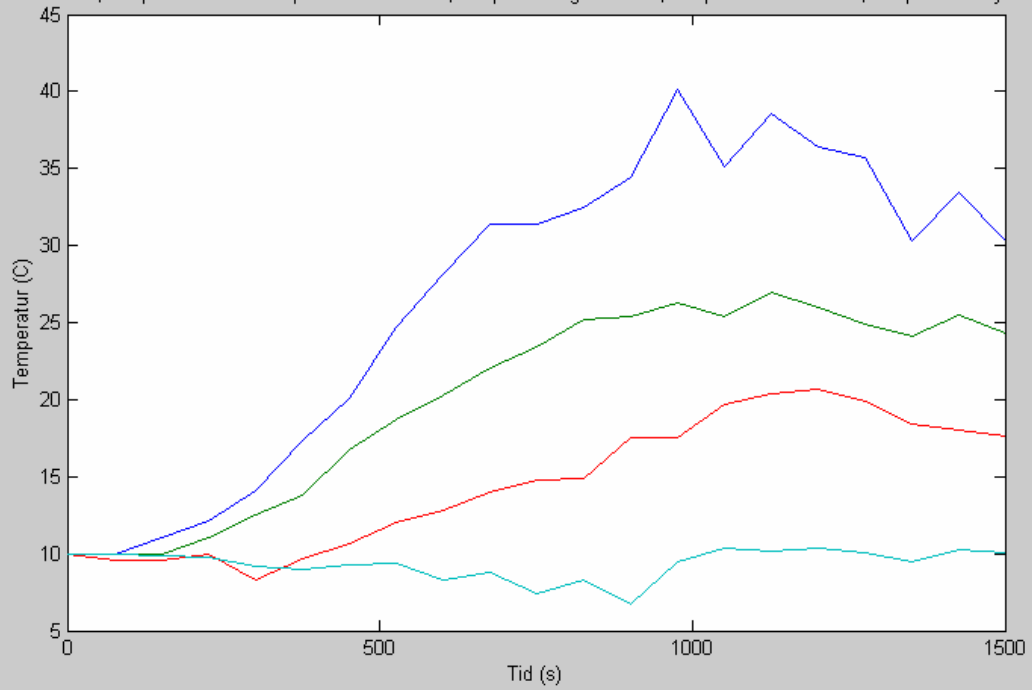
Scenario 20, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



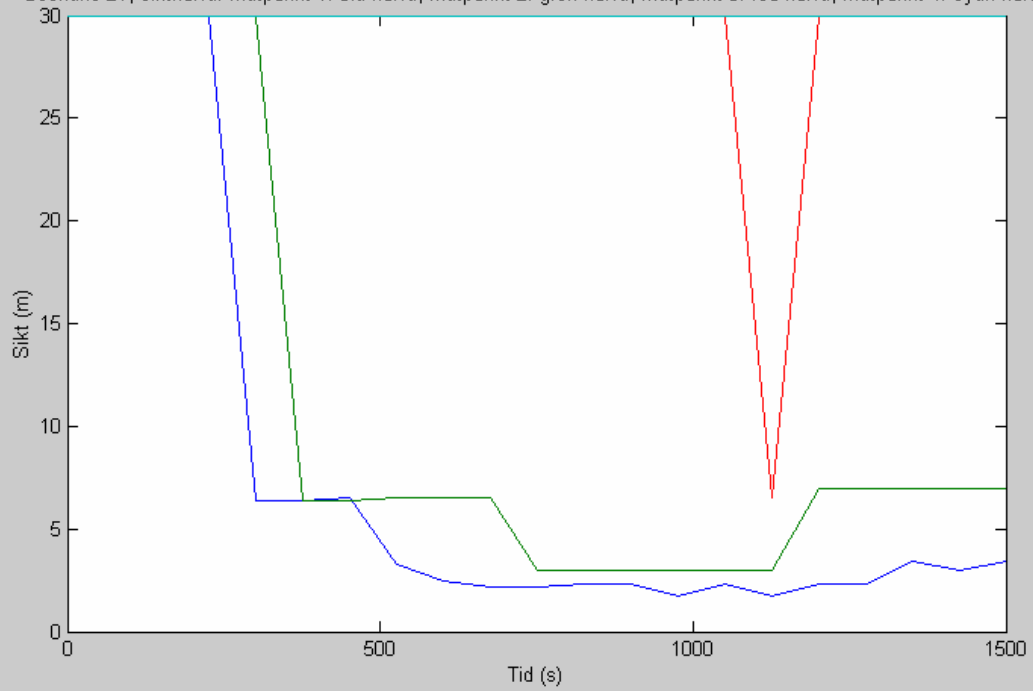
Scenario 20, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



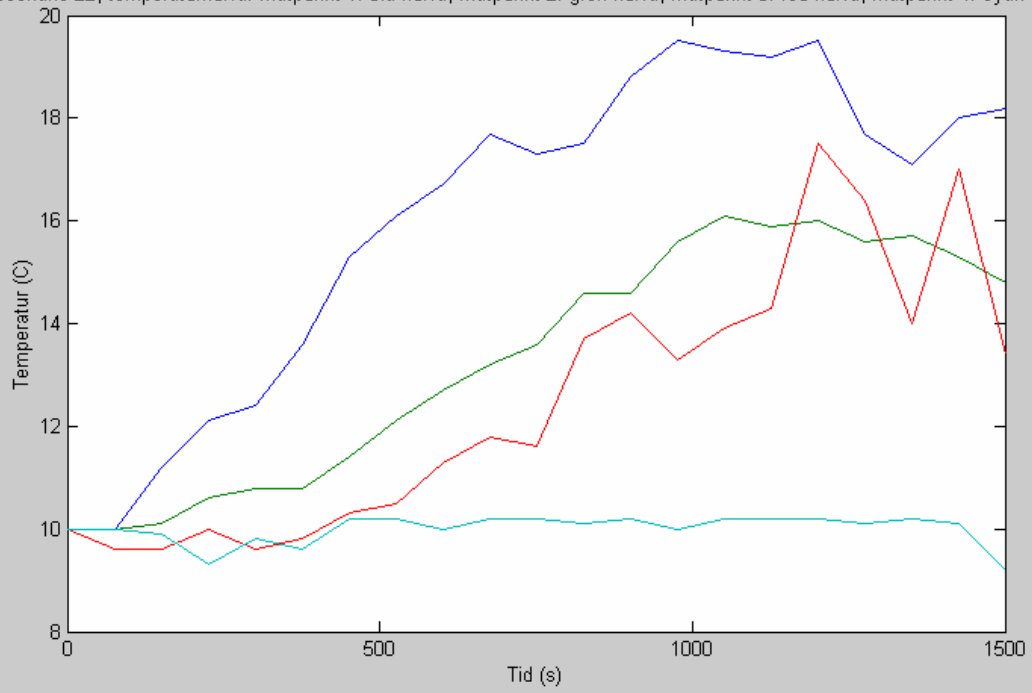
Scenario 21, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



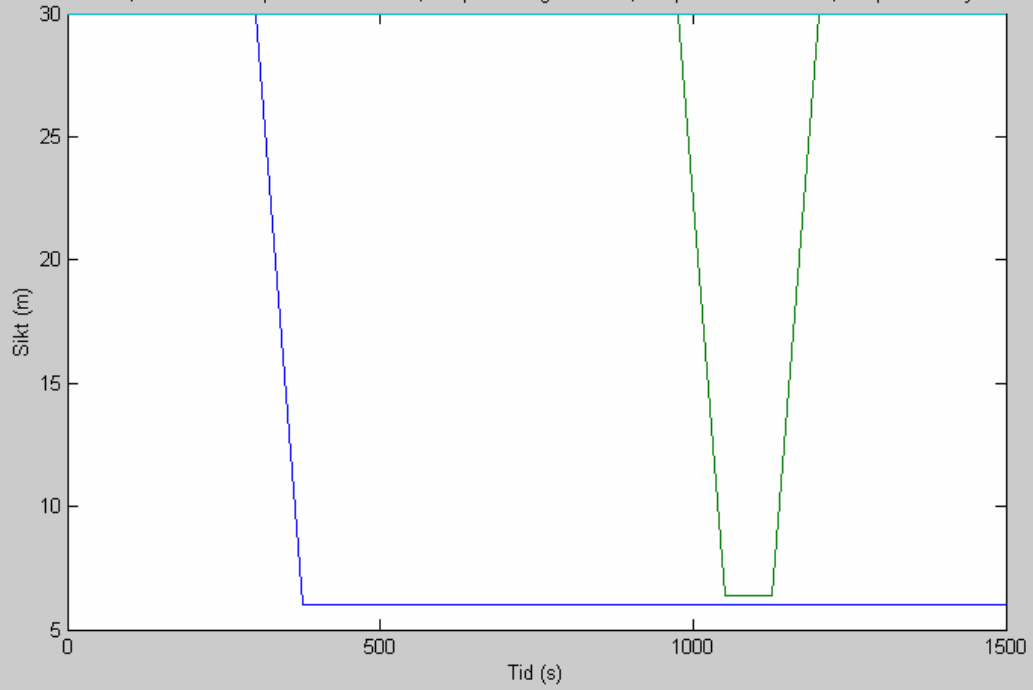
Scenario 21, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



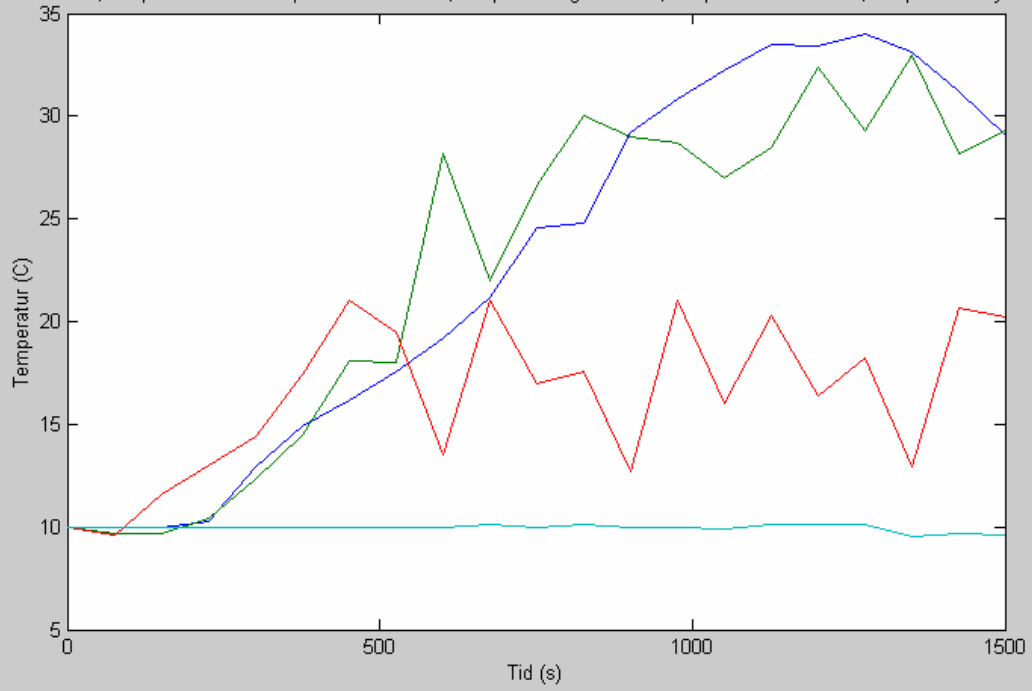
Scenario 22, temperaturkurva. Mät punkt 1: blå kurva, mät punkt 2: grön kurva, mät punkt 3: röd kurva, mät punkt 4: cyan kurva



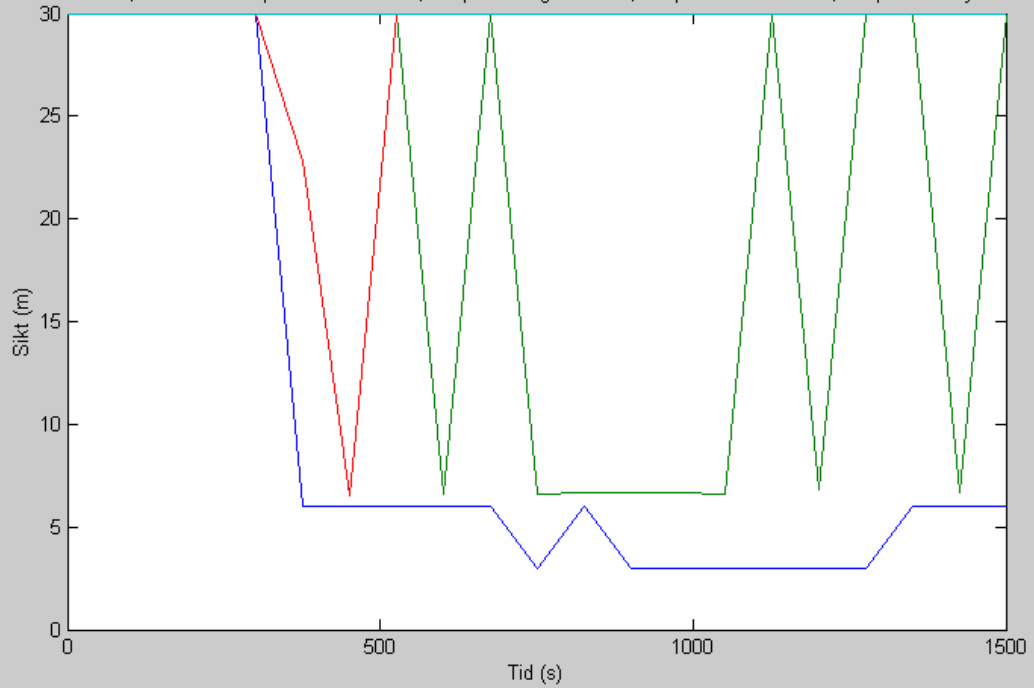
Scenario 22, siktkurva. Mät punkt 1: blå kurva, mät punkt 2: grön kurva, mät punkt 3: röd kurva, mät punkt 4: cyan kurva



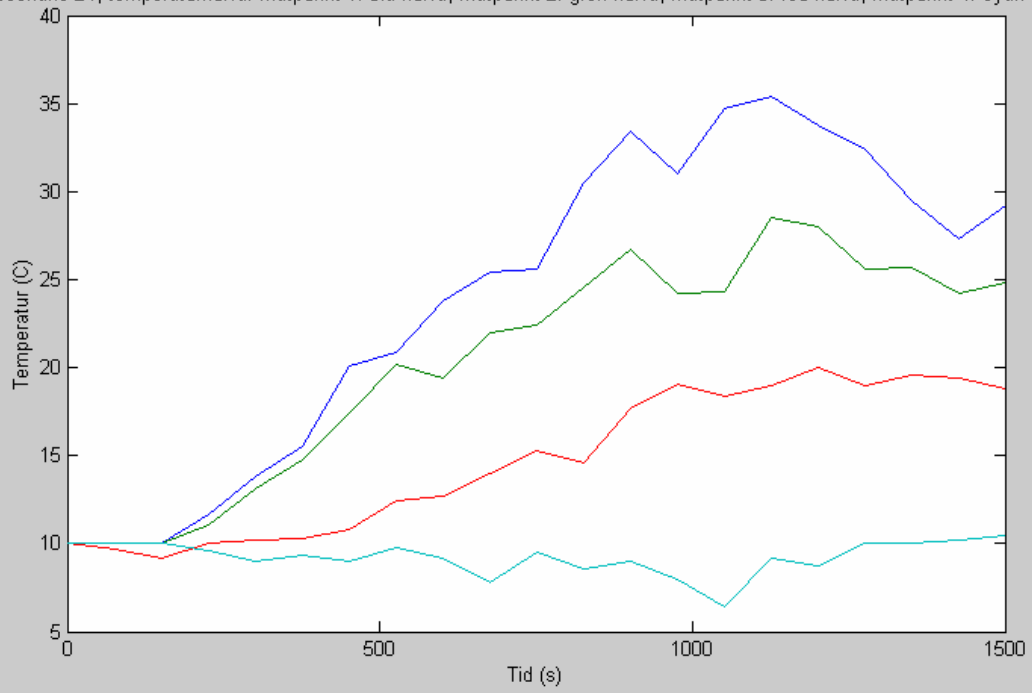
Scenario 23, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



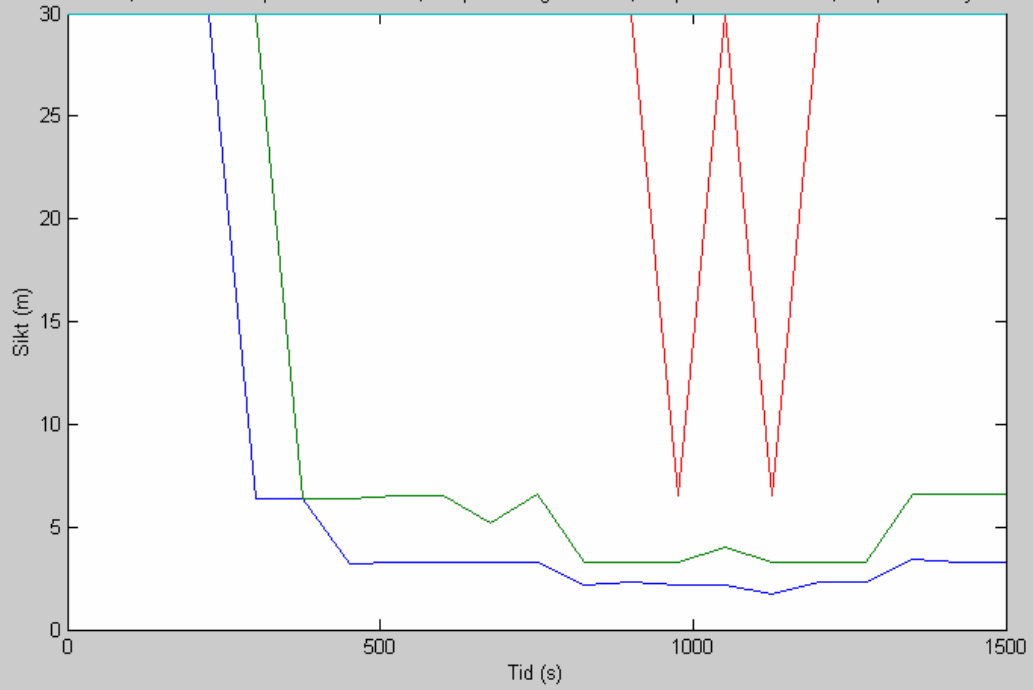
Scenario 23, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



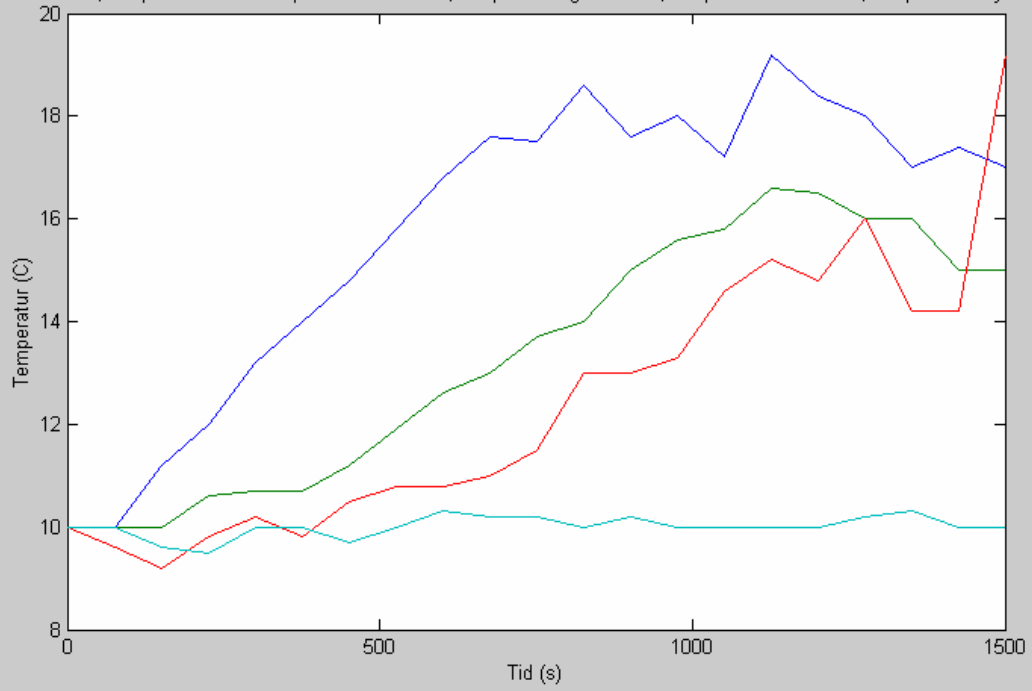
Scenario 24, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



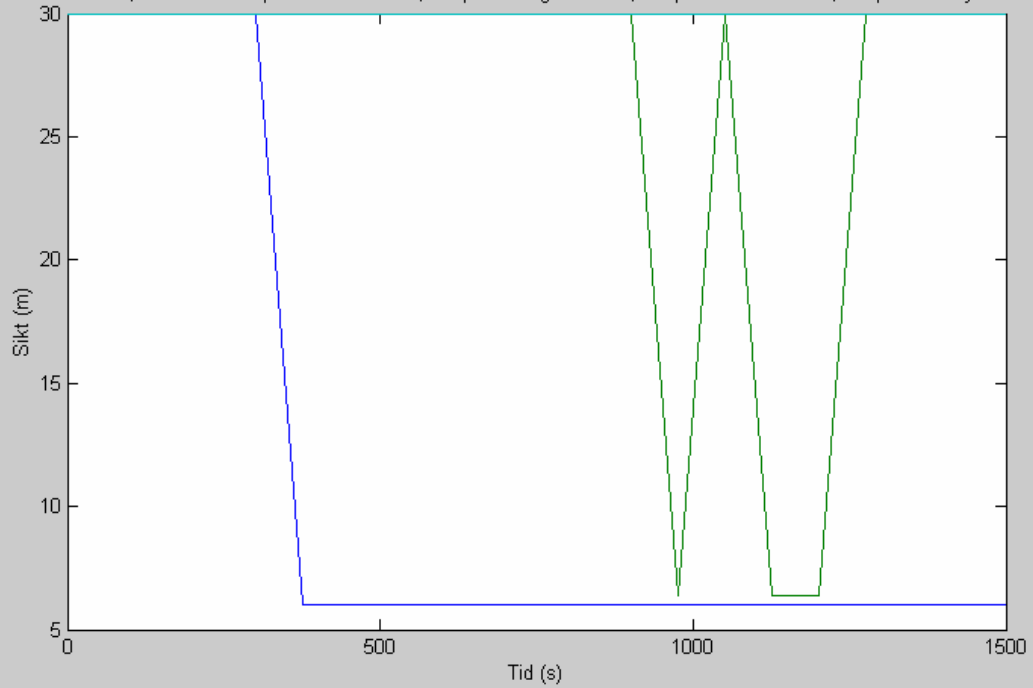
Scenario 24, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



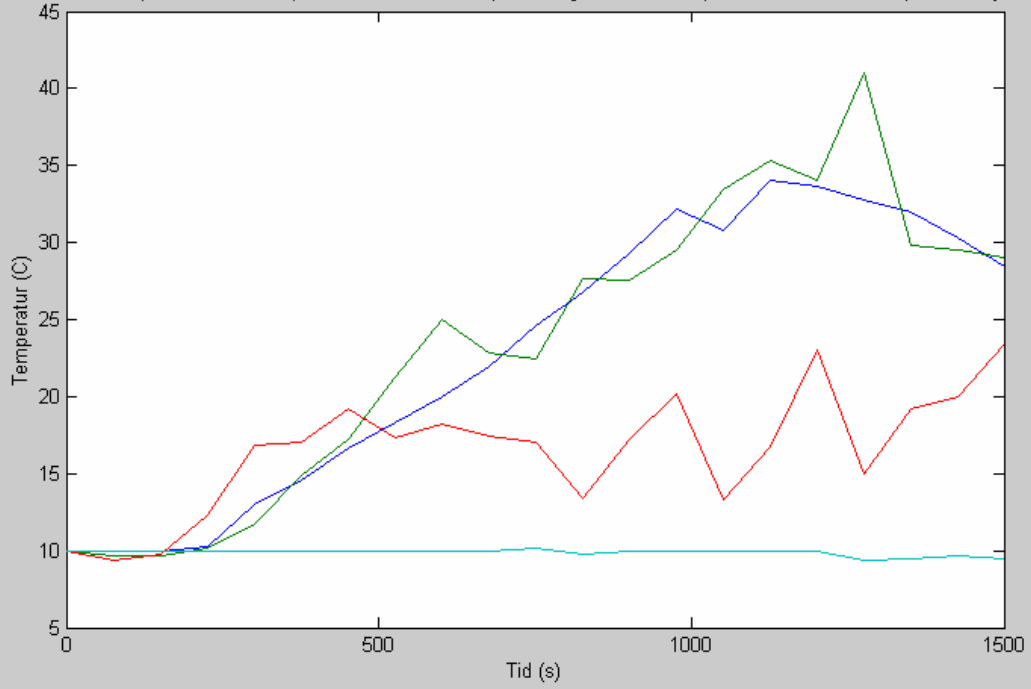
Scenario 25, temperaturkurva. Mät punkt 1: blå kurva, mät punkt 2: grön kurva, mät punkt 3: röd kurva, mät punkt 4: cyan kurva



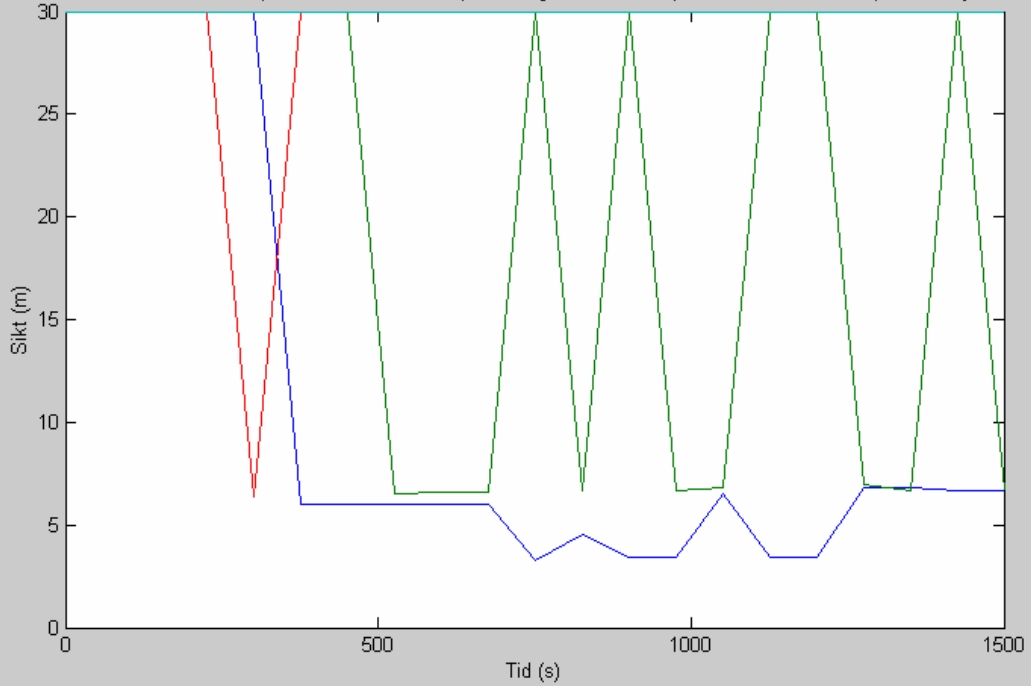
Scenario 25, siktkurva. Mät punkt 1: blå kurva, mät punkt 2: grön kurva, mät punkt 3: röd kurva, mät punkt 4: cyan kurva



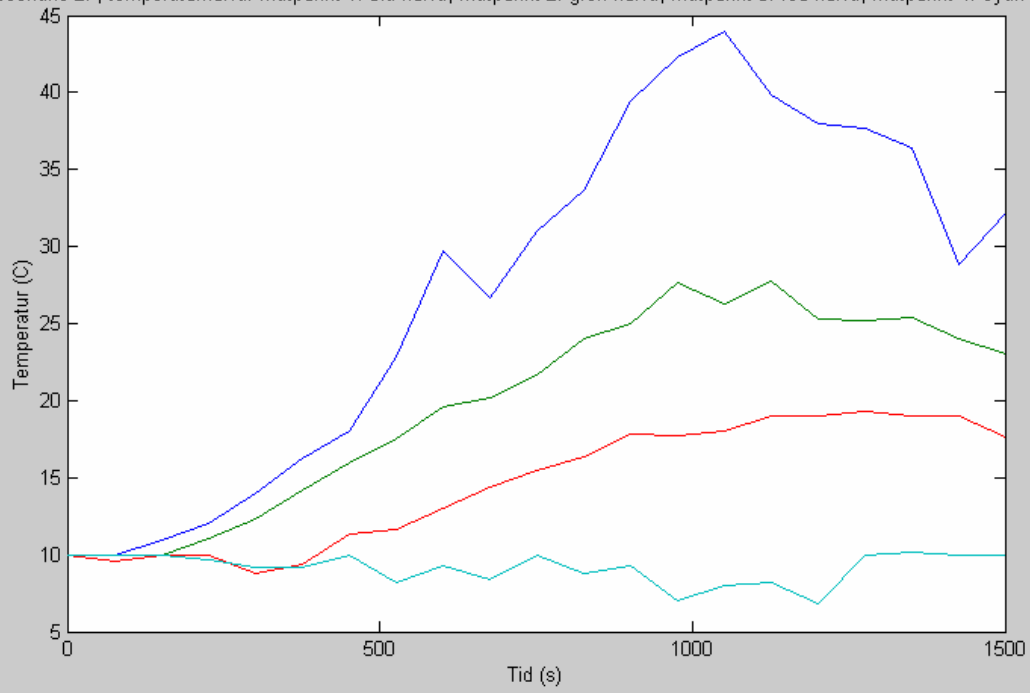
Scenario 26, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



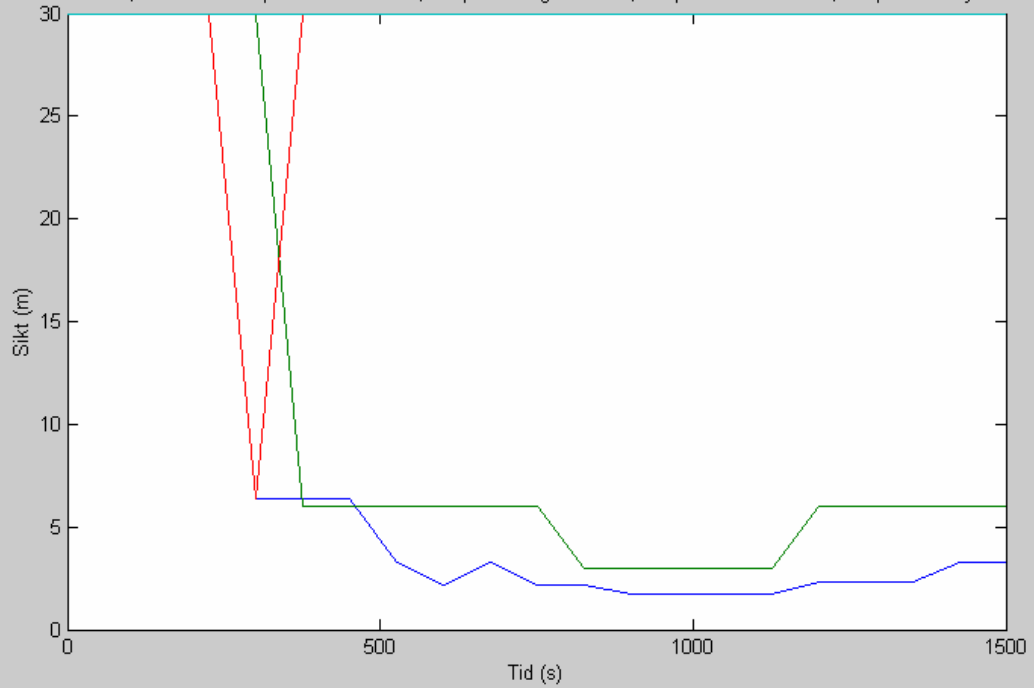
Scenario 26, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



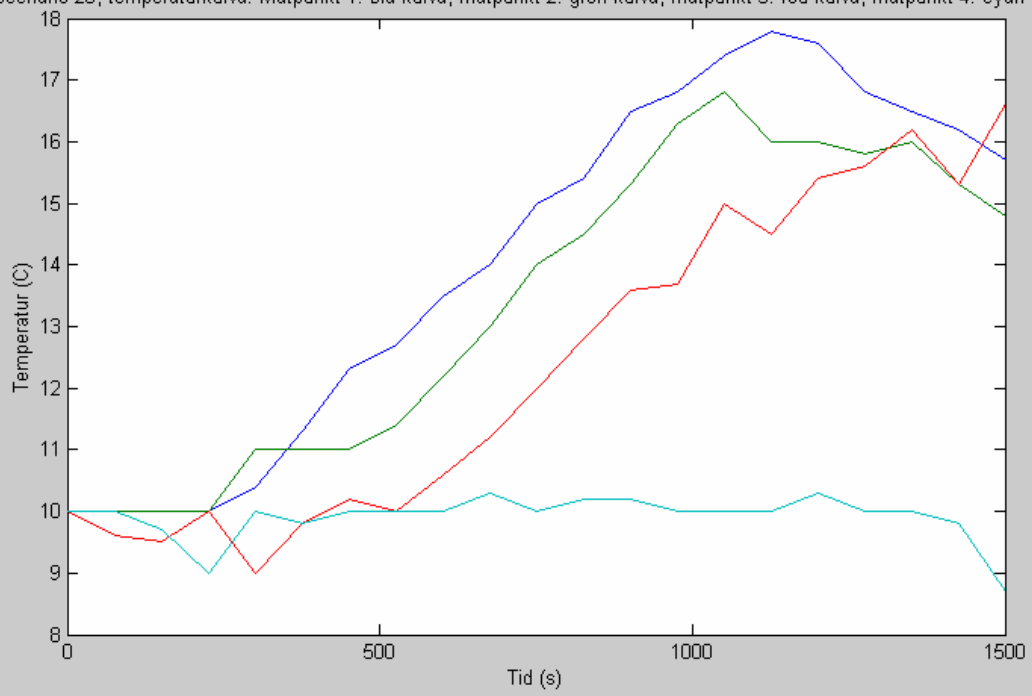
Scenario 27, temperaturkurva. Mät punkt 1: blå kurva, mät punkt 2: grön kurva, mät punkt 3: röd kurva, mät punkt 4: cyan kurva



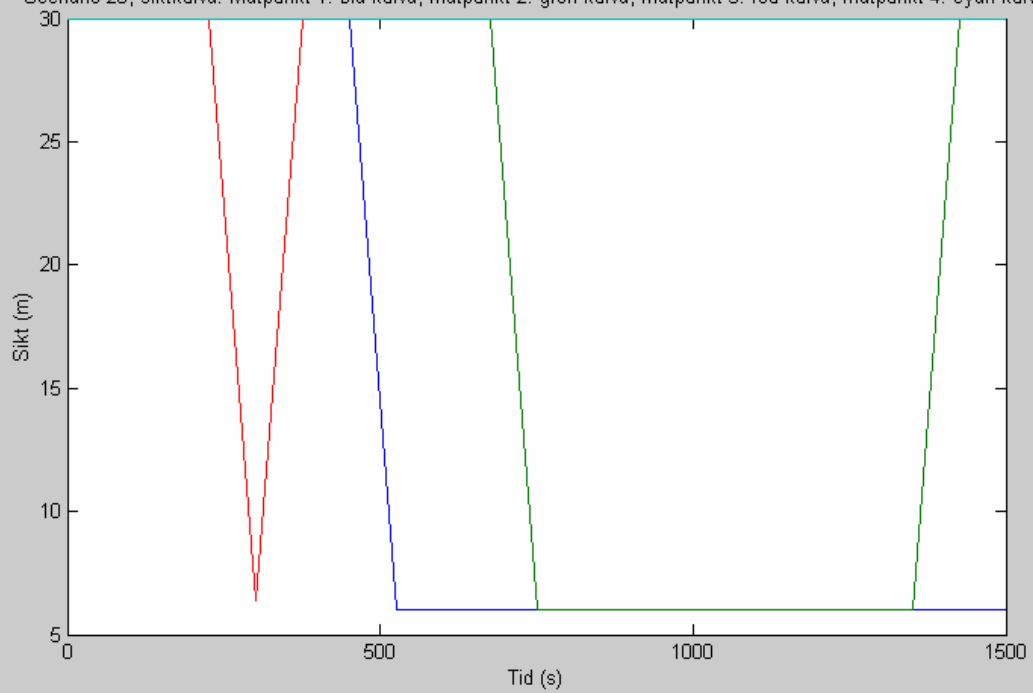
Scenario 27, siktkurva. Mät punkt 1: blå kurva, mät punkt 2: grön kurva, mät punkt 3: röd kurva, mät punkt 4: cyan kurva



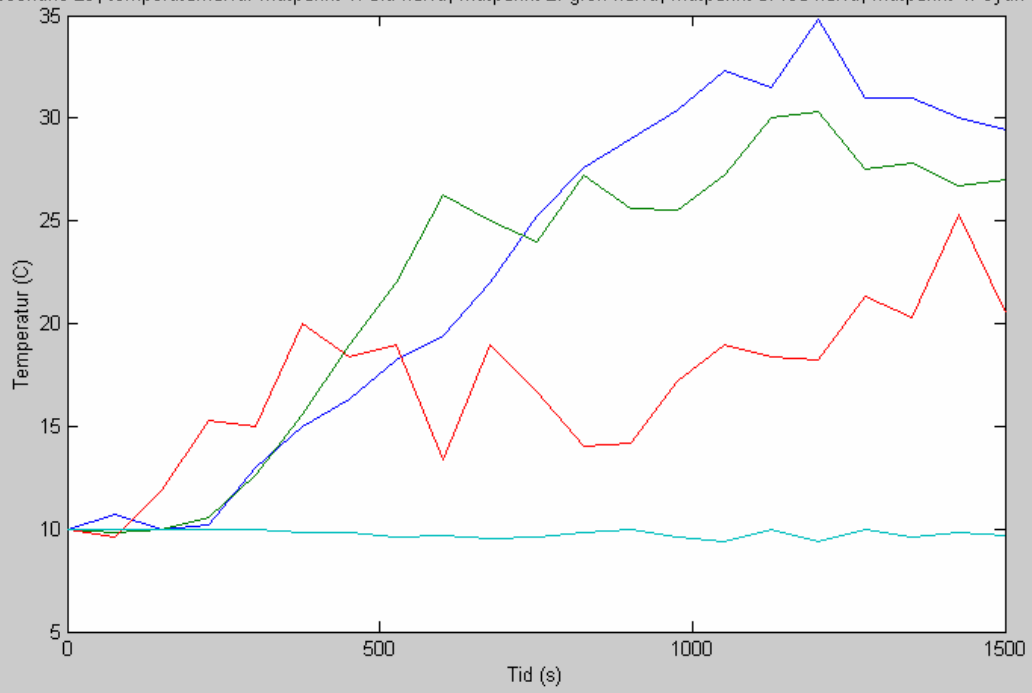
Scenario 2B, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



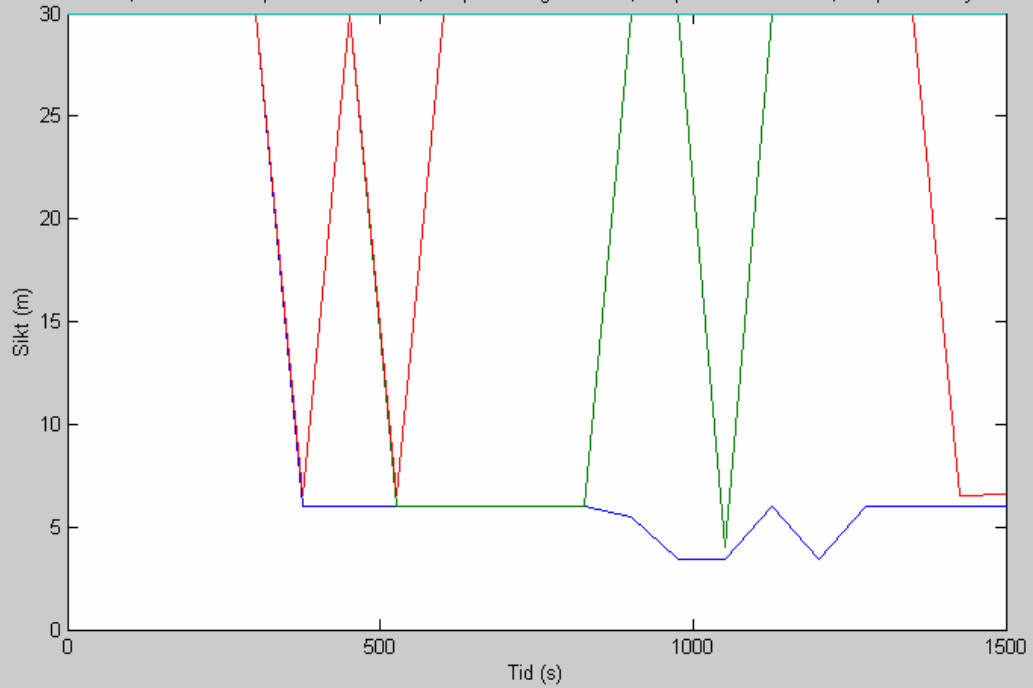
Scenario 2B, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



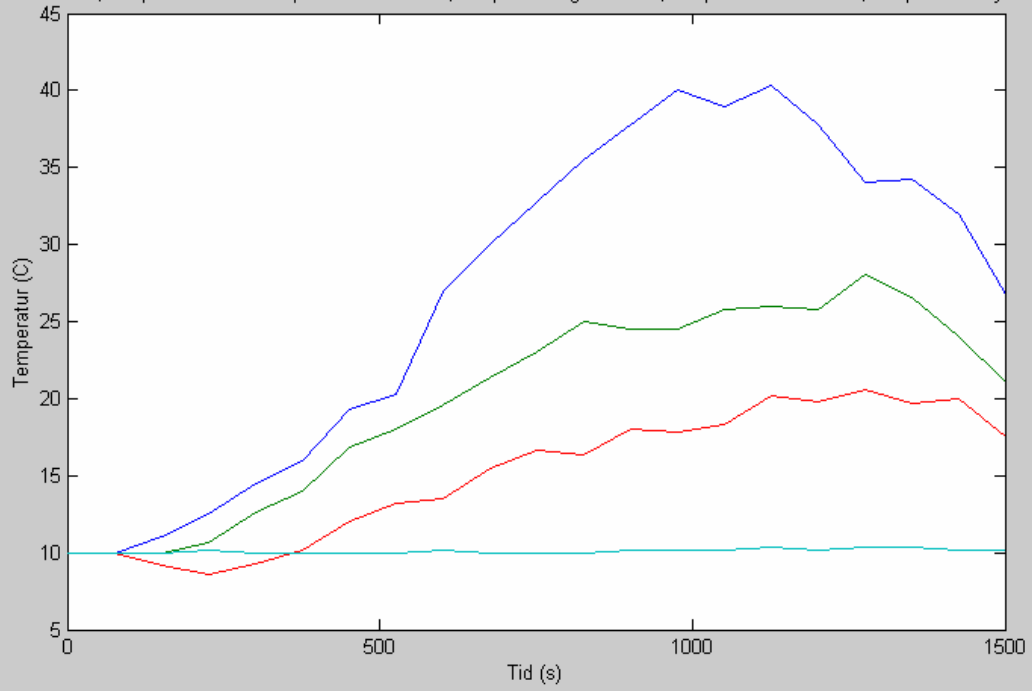
Scenario 29, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



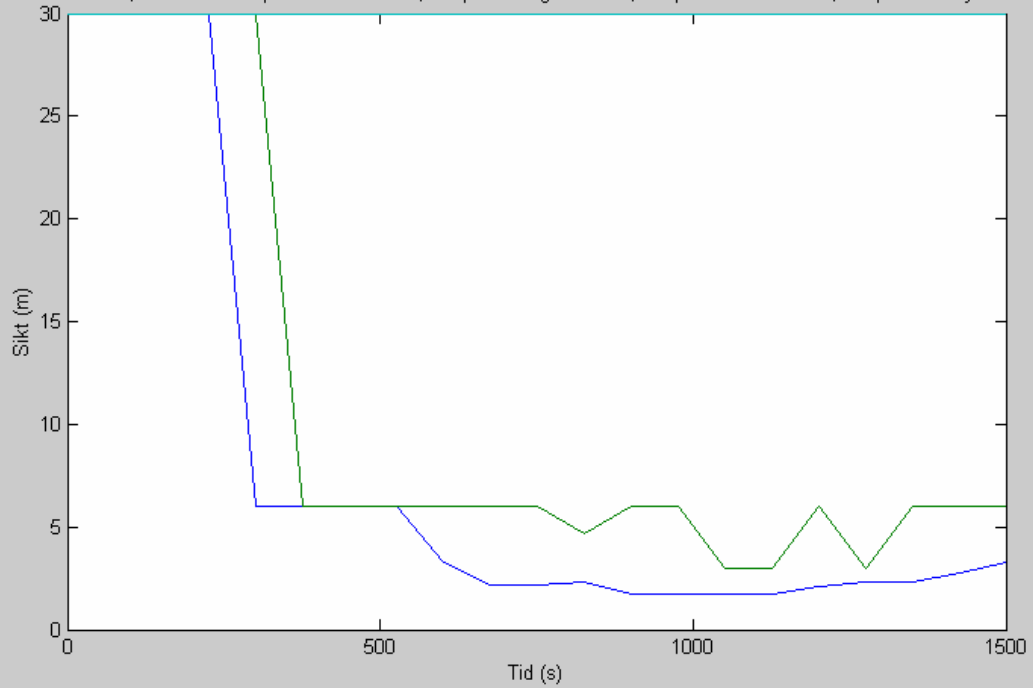
Scenario 29, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



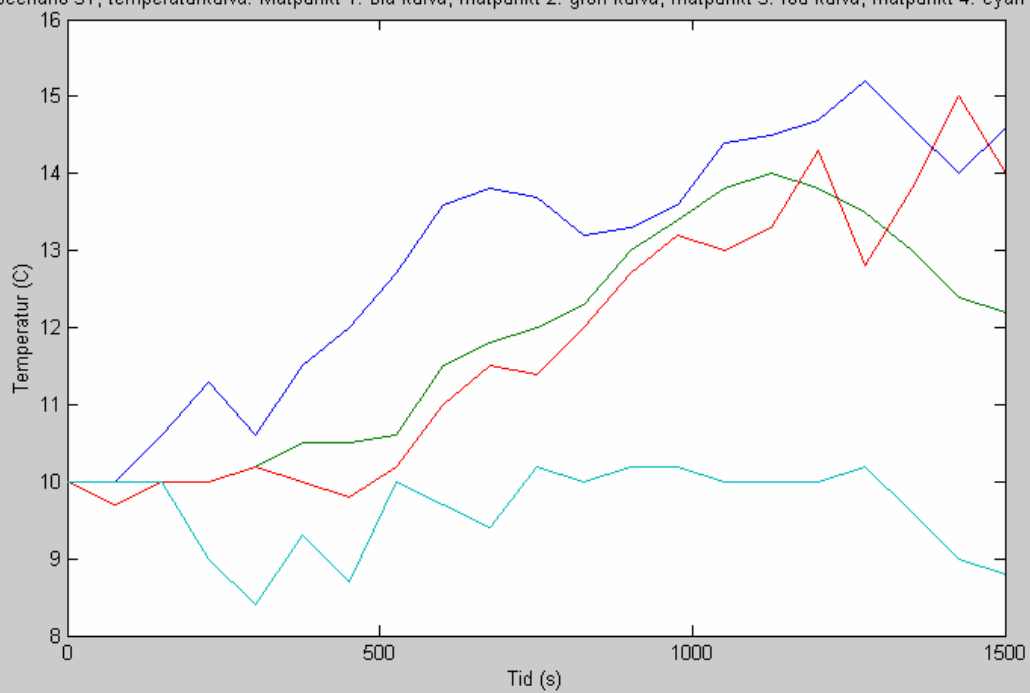
Scenario 30, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



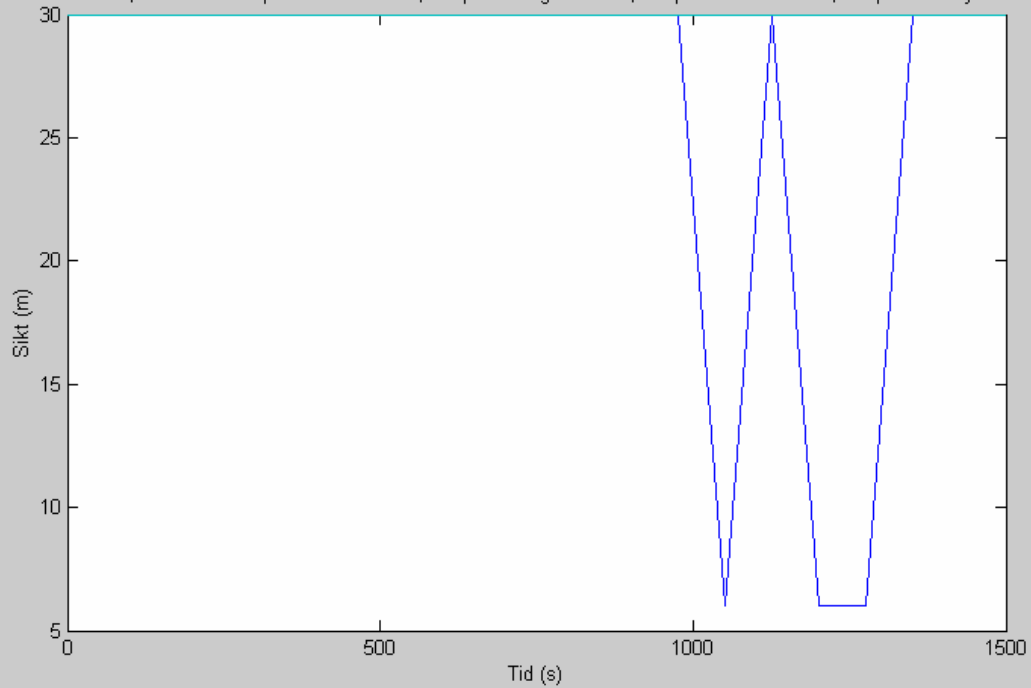
Scenario 30, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



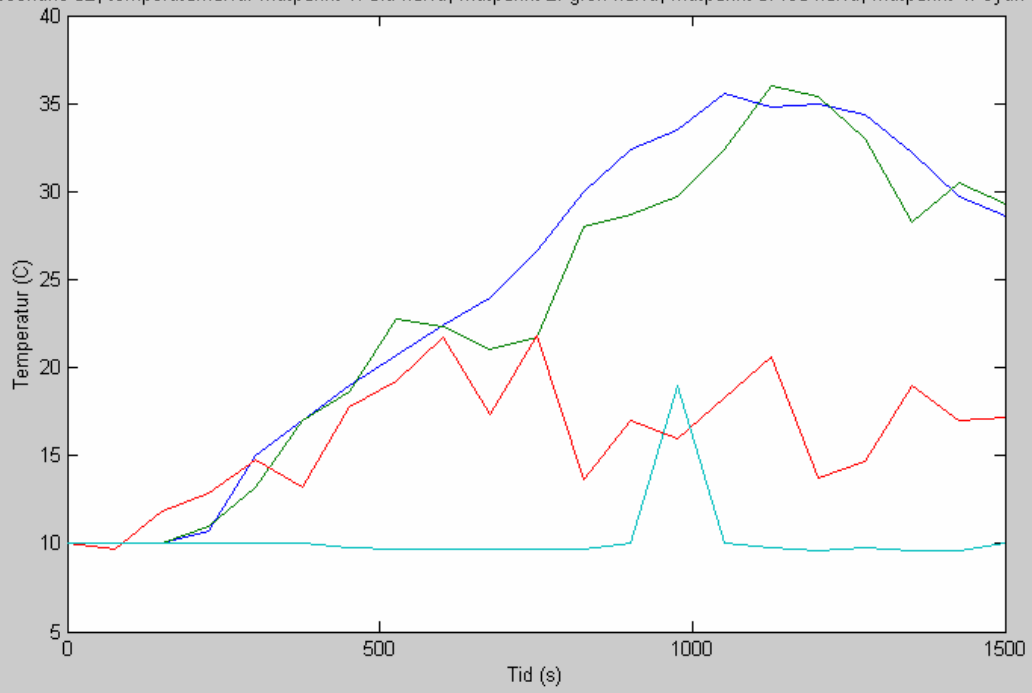
Scenario 31, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



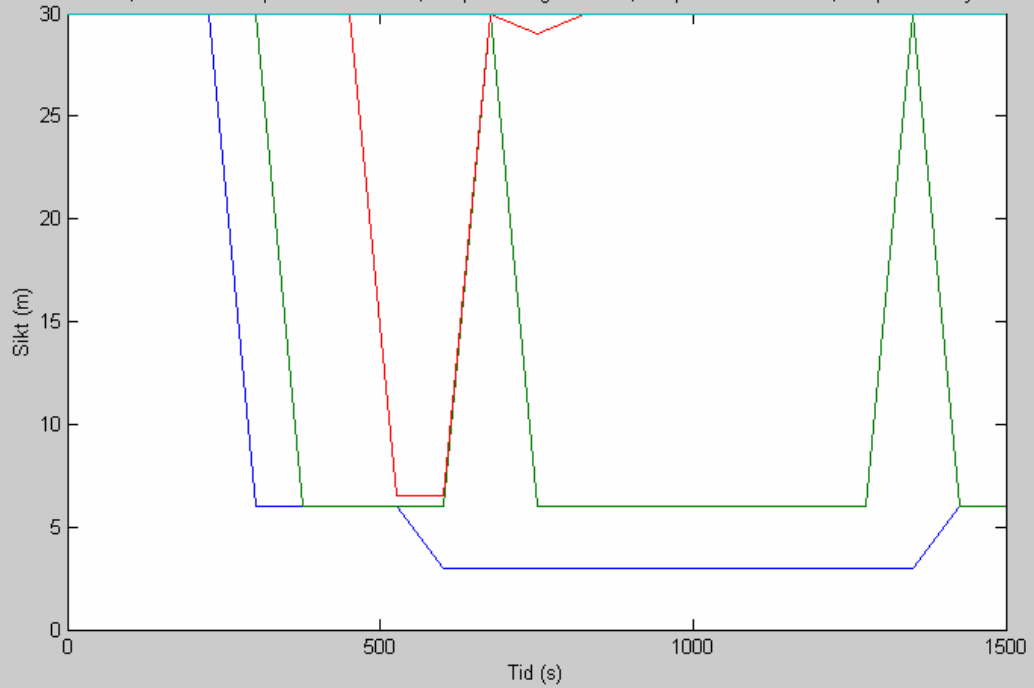
Scenario 31, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



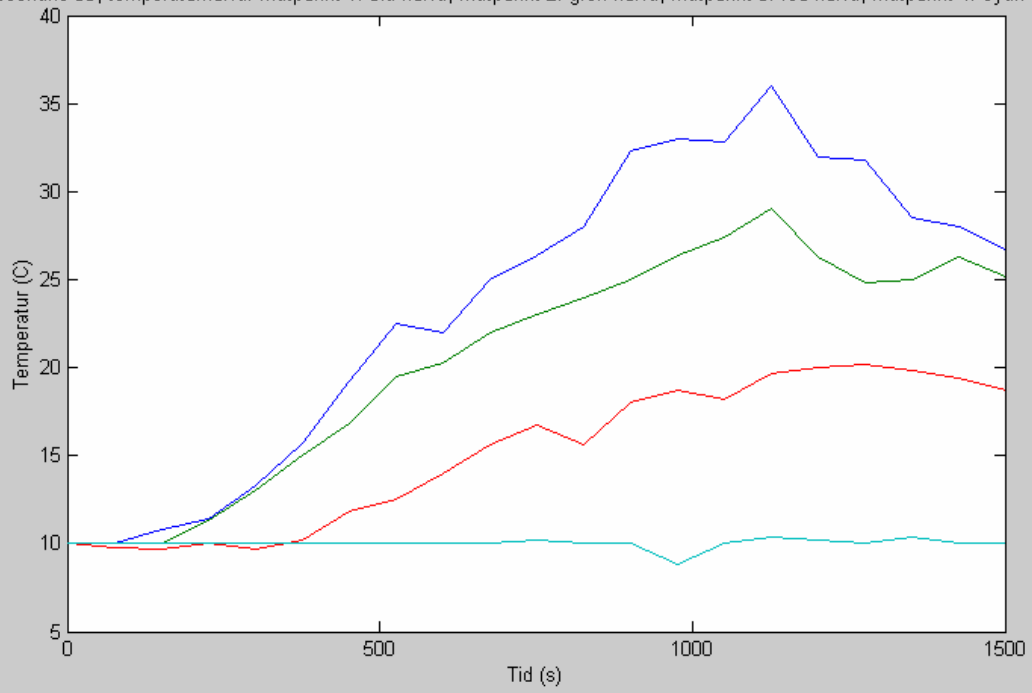
Scenario 32, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



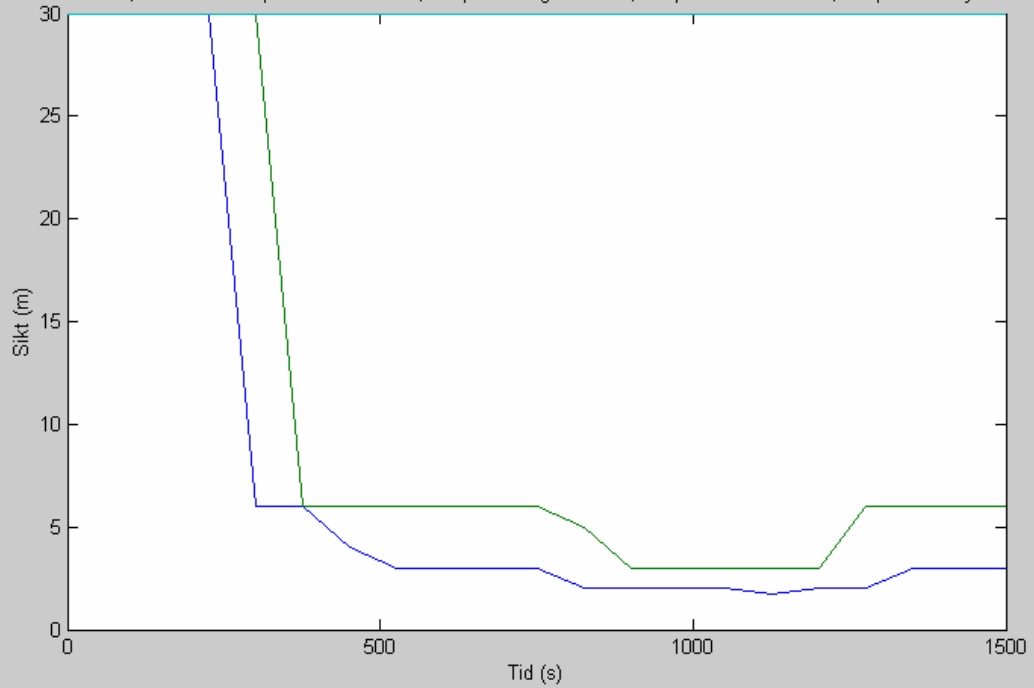
Scenario 32, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



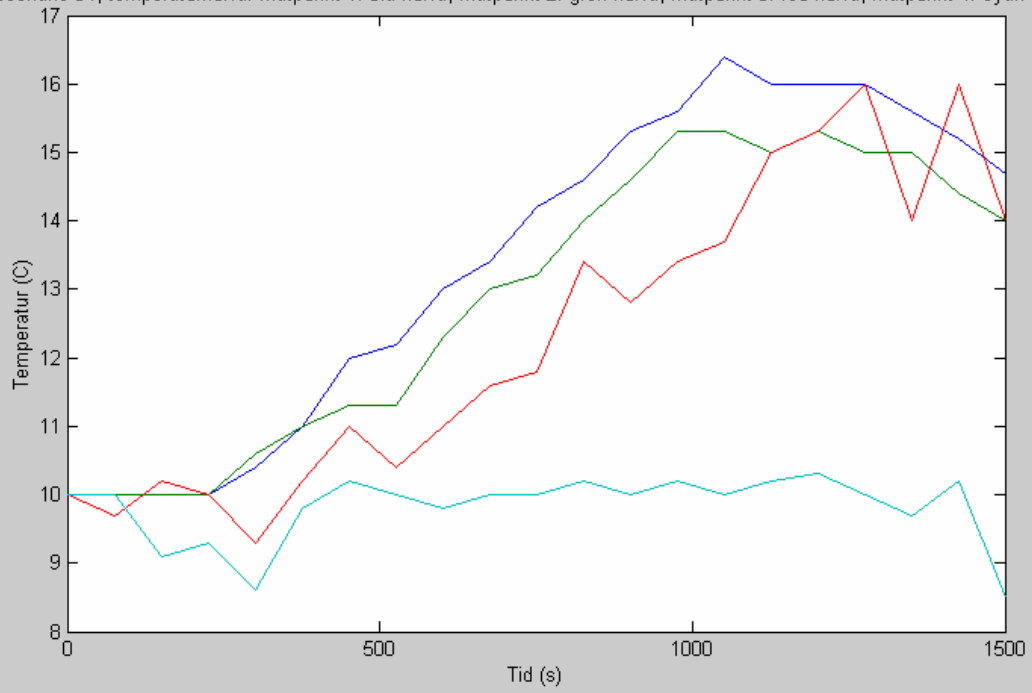
Scenario 33, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



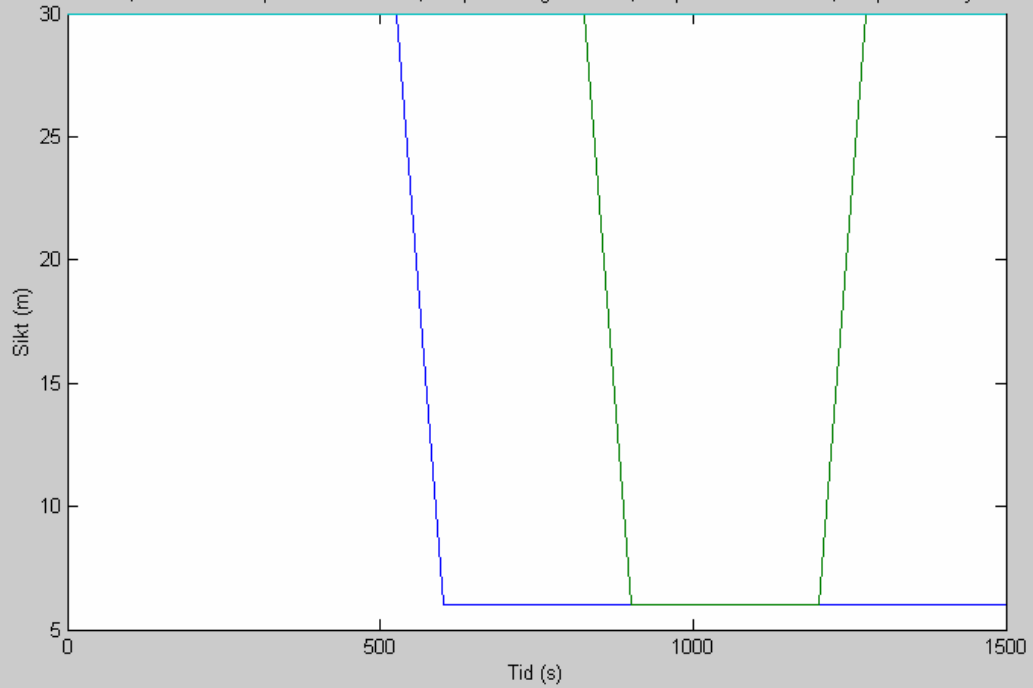
Scenario 33, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



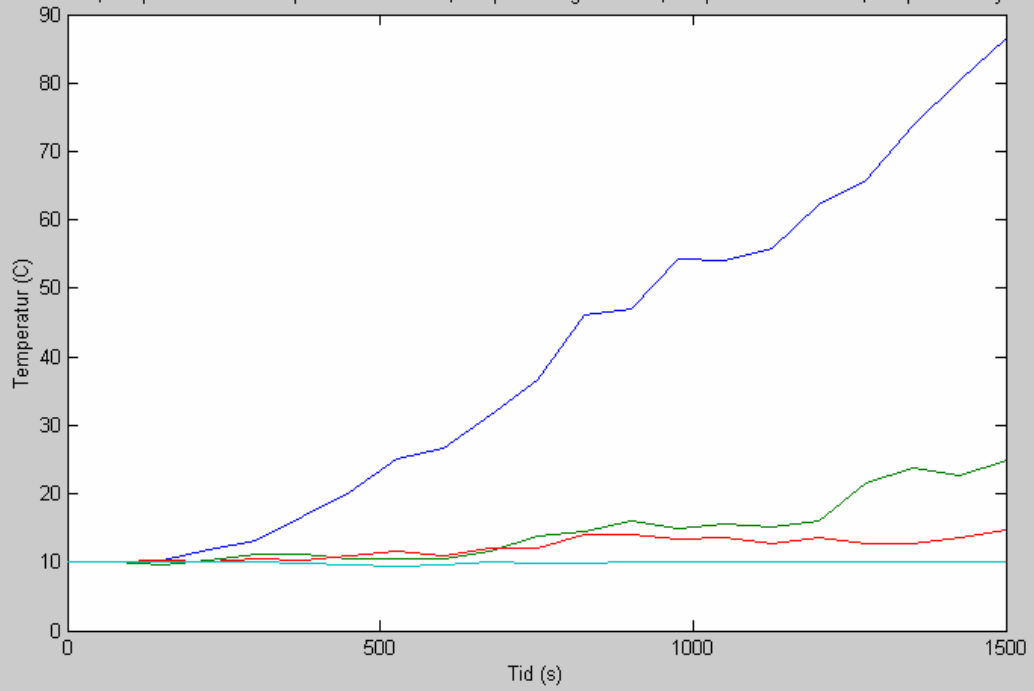
Scenario 34, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



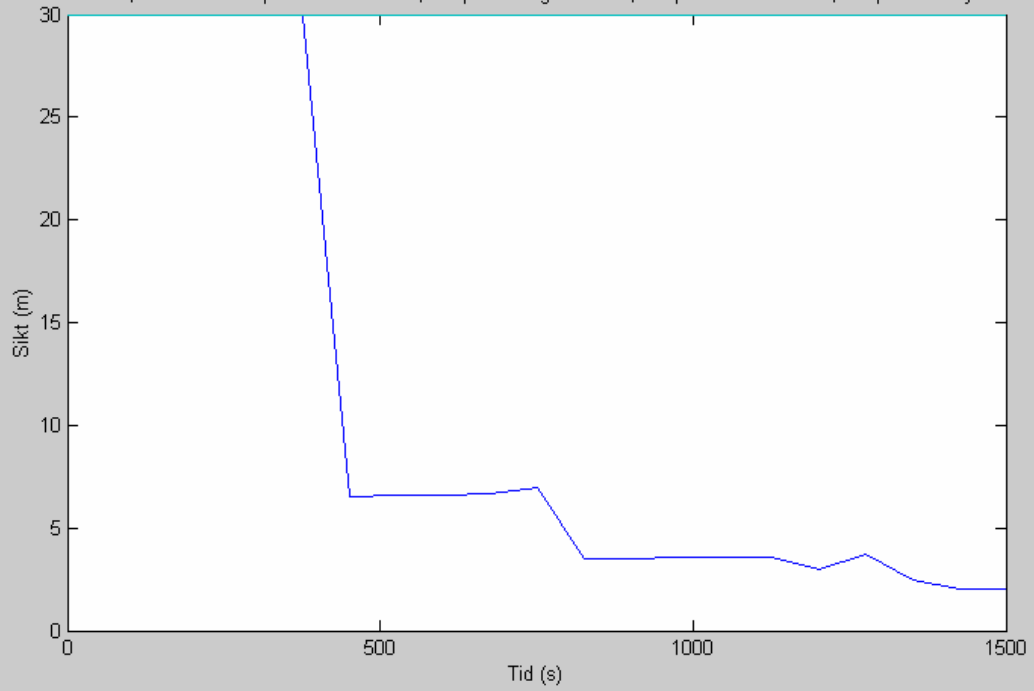
Scenario 34, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



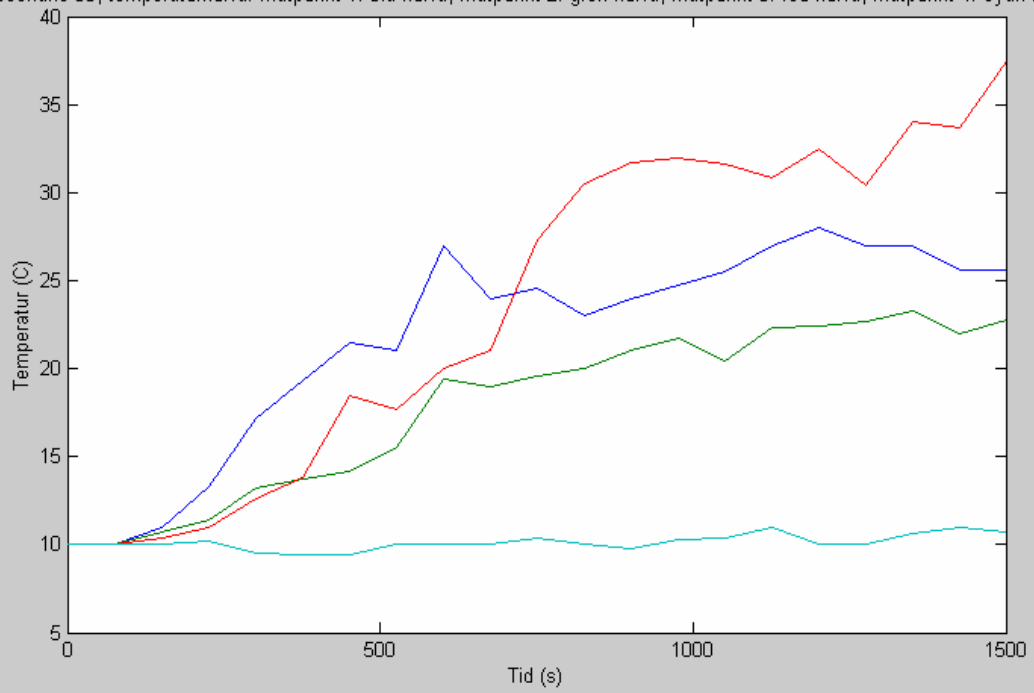
Scenario 35, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



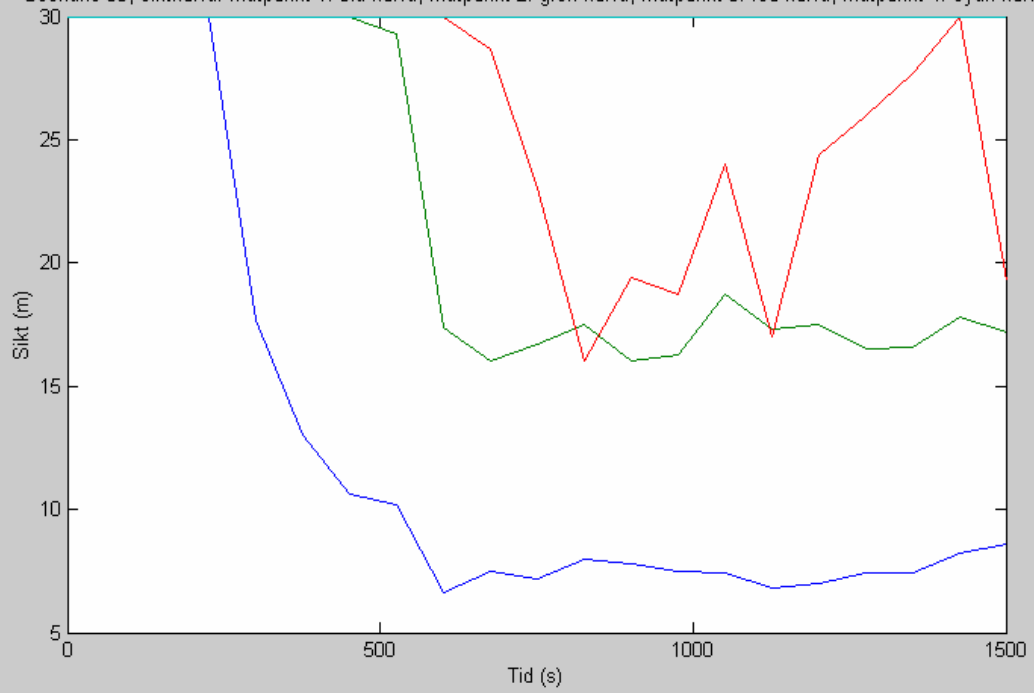
Scenario 35, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



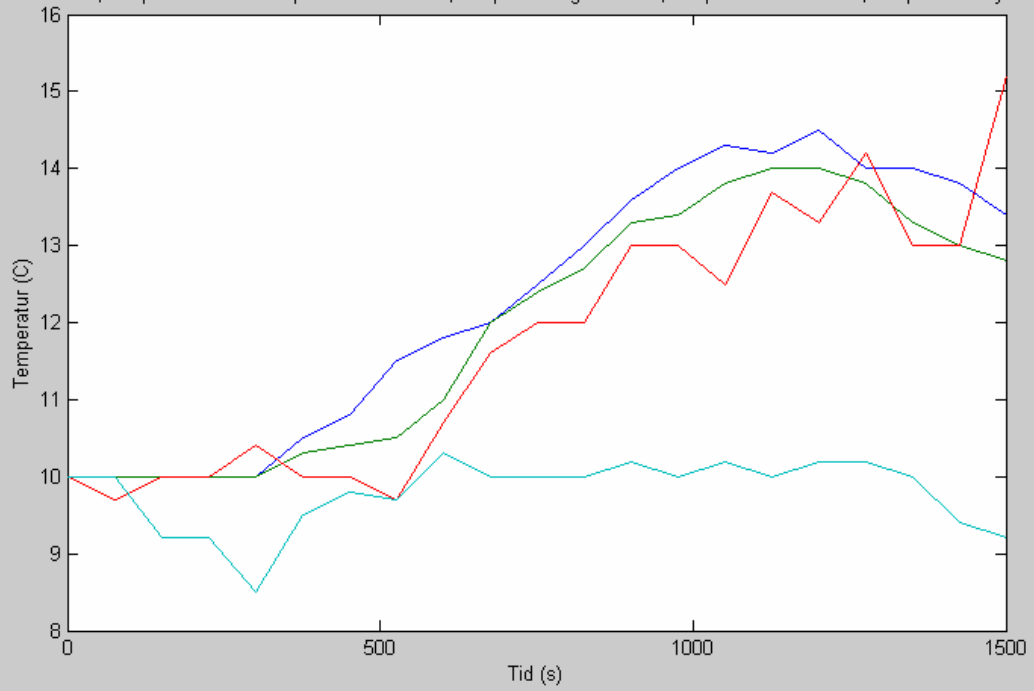
Scenario 36, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



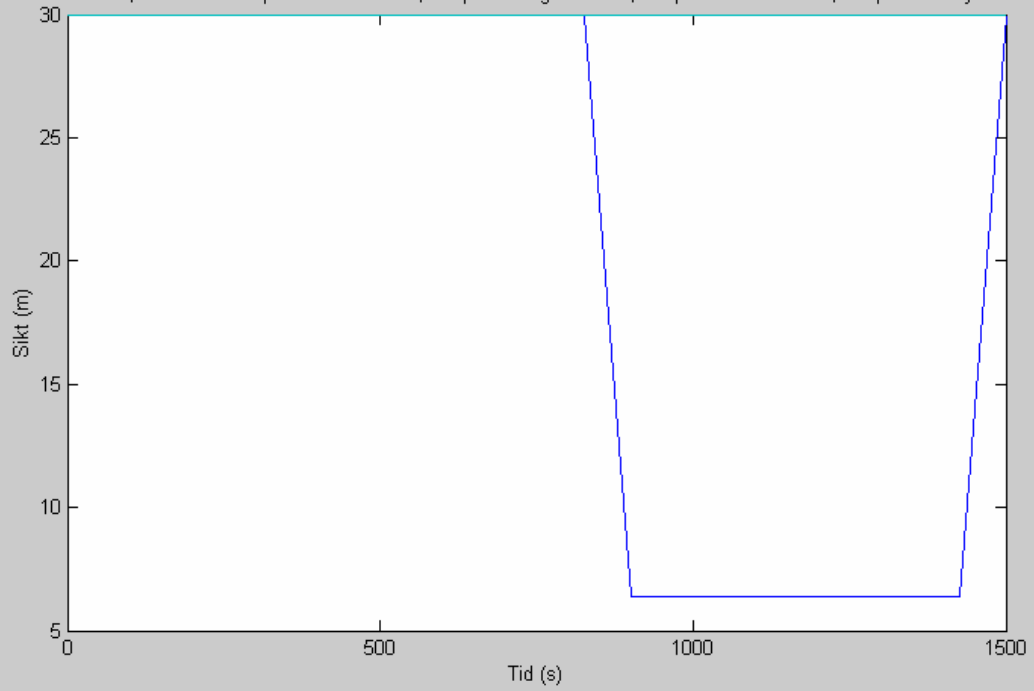
Scenario 36, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



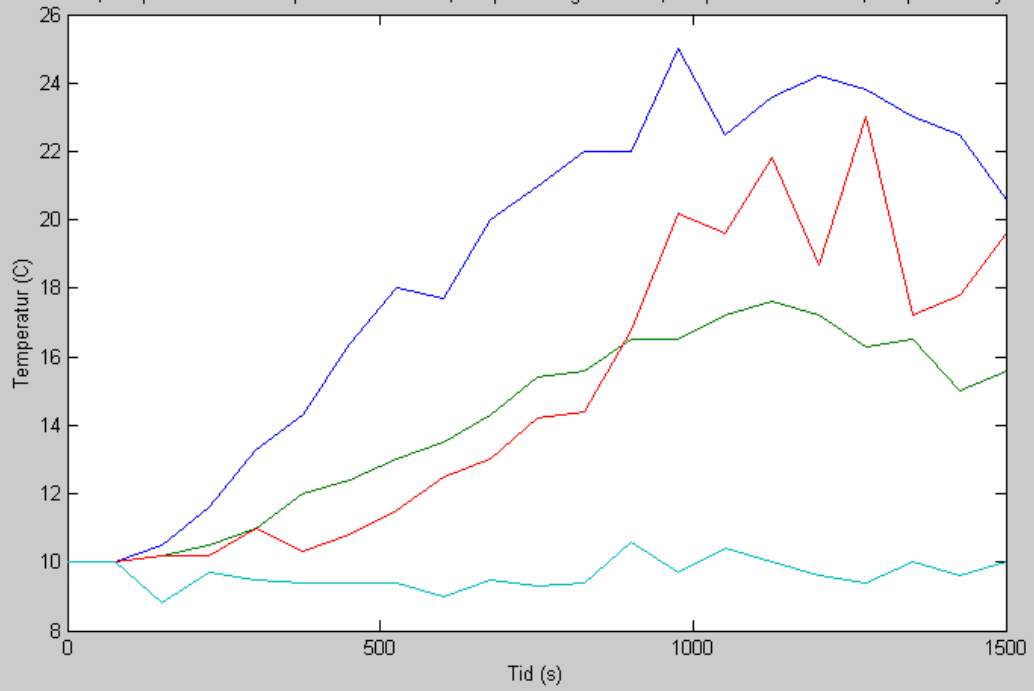
Scenario 37, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



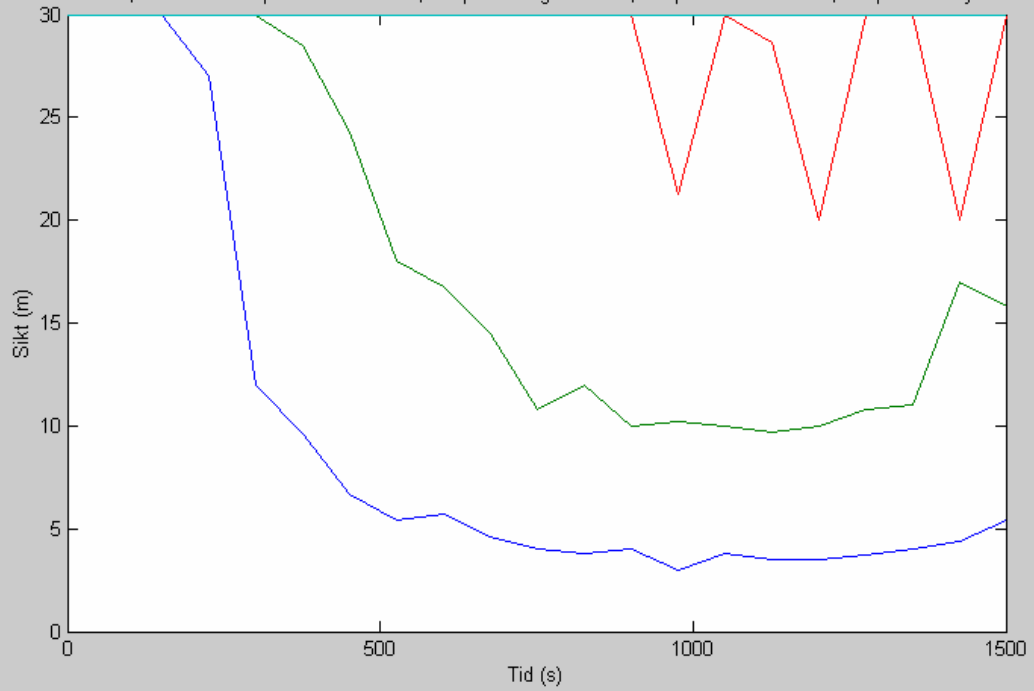
Scenario 37, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



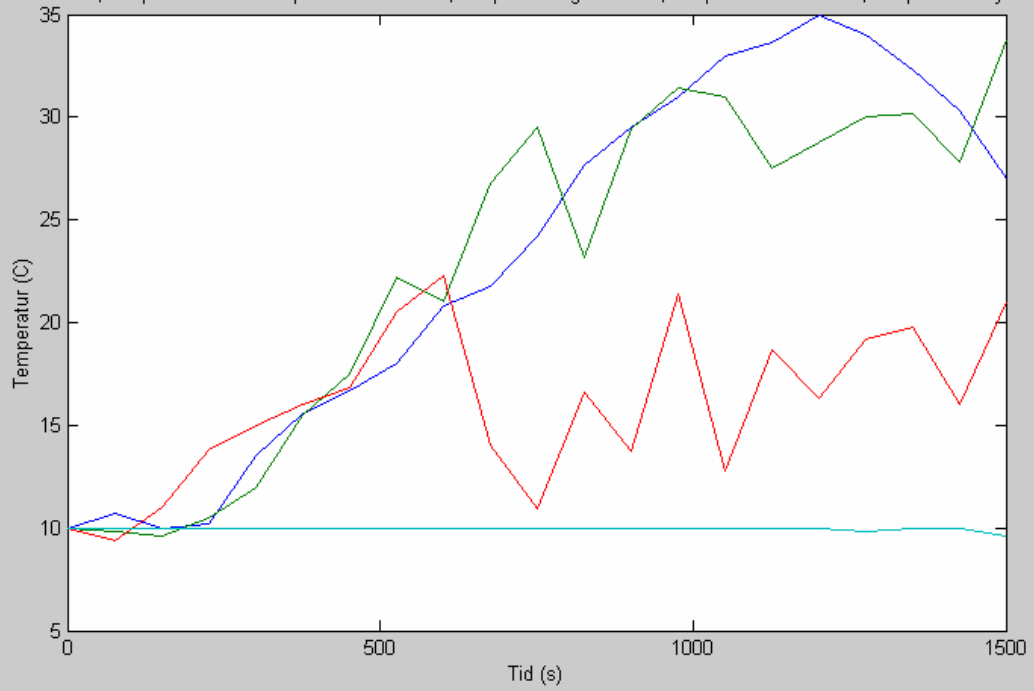
Scenario 38, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



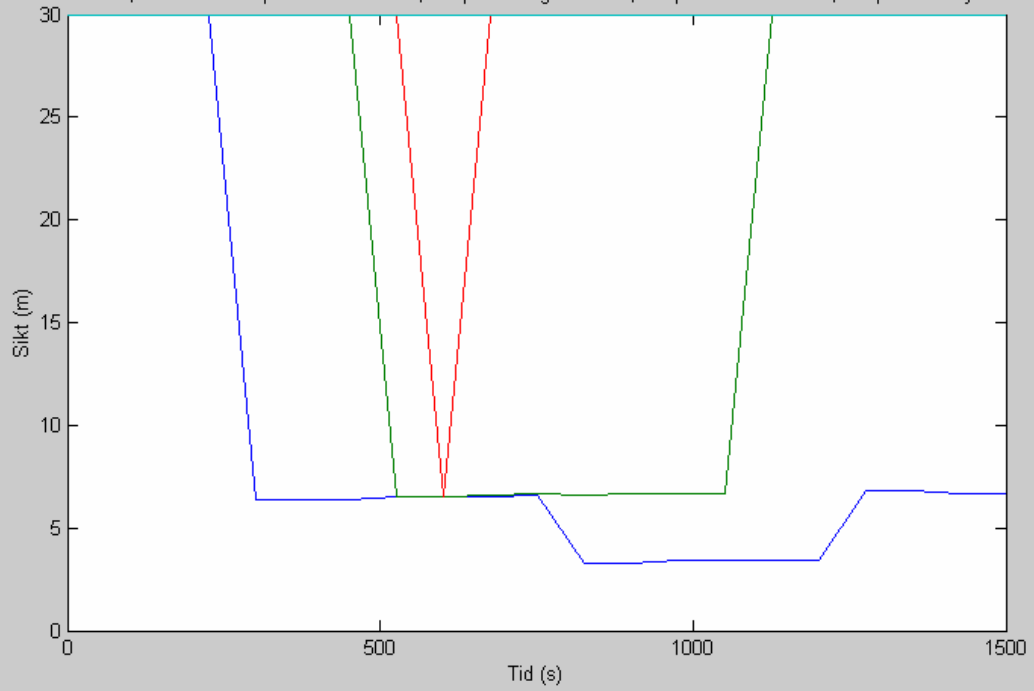
Scenario 38, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



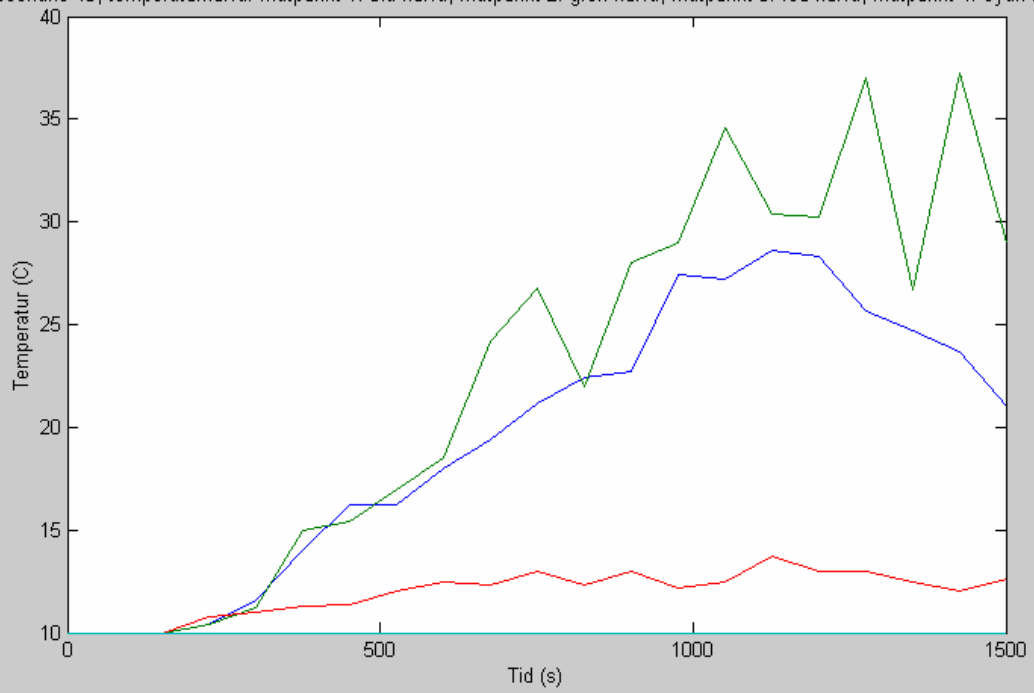
Scenario 39, temperaturkurva. Mät punkt 1: blå kurva, mät punkt 2: grön kurva, mät punkt 3: röd kurva, mät punkt 4: cyan kurva



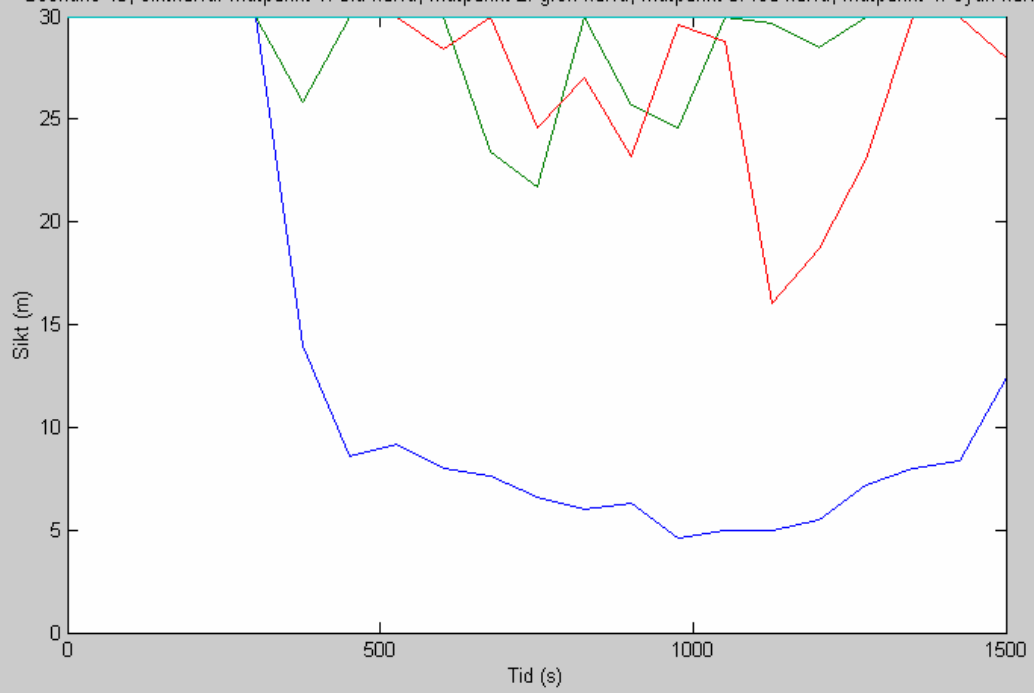
Scenario 39, siktkurva. Mät punkt 1: blå kurva, mät punkt 2: grön kurva, mät punkt 3: röd kurva, mät punkt 4: cyan kurva



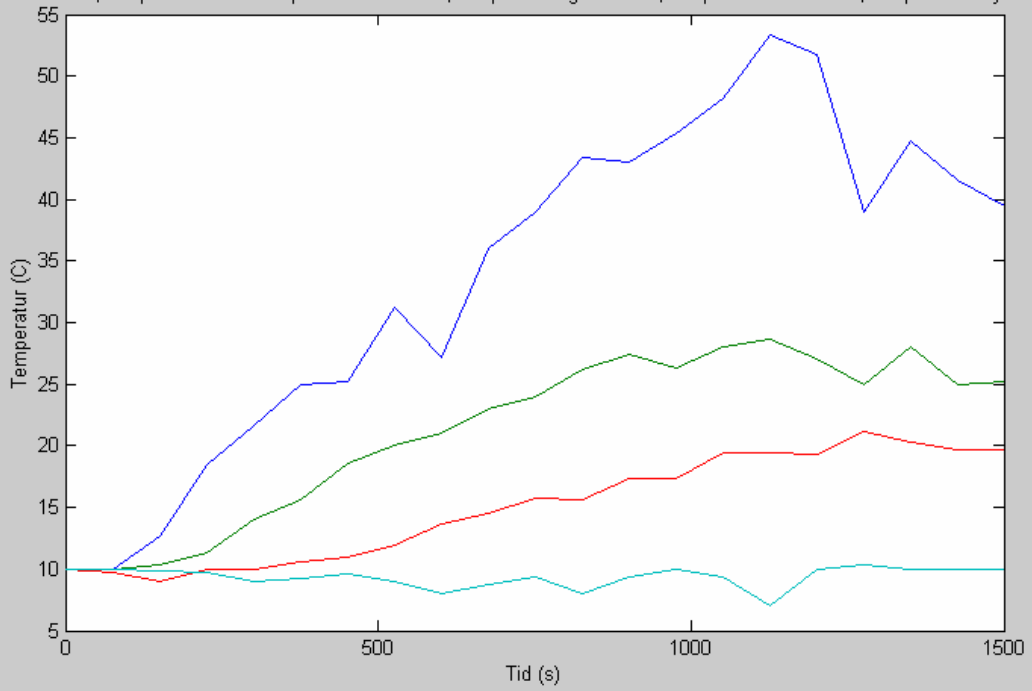
Scenario 40, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



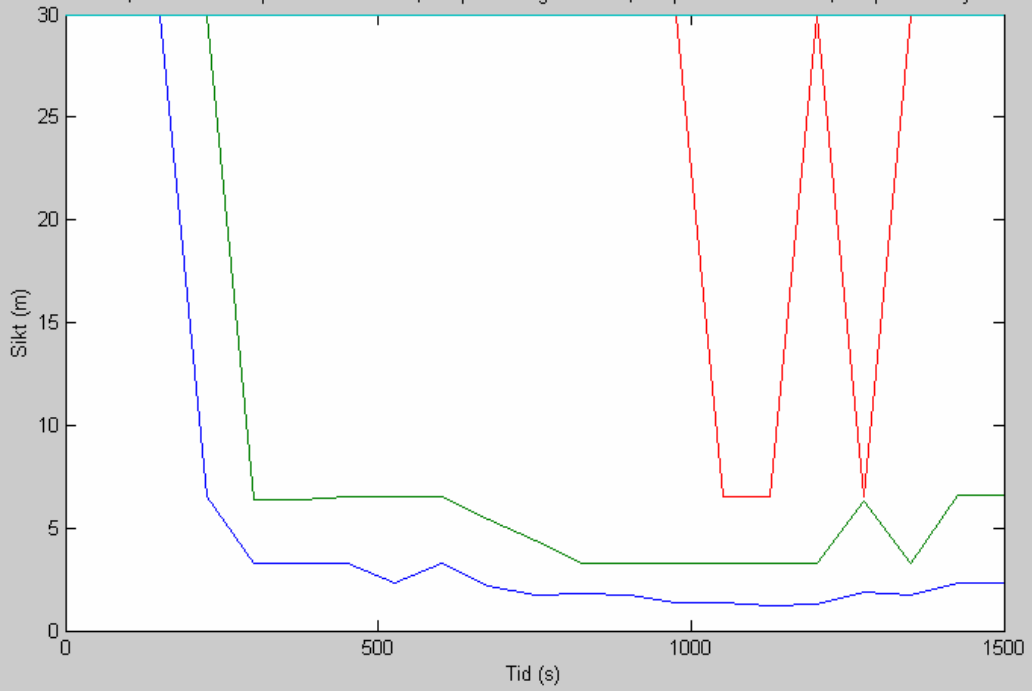
Scenario 40, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



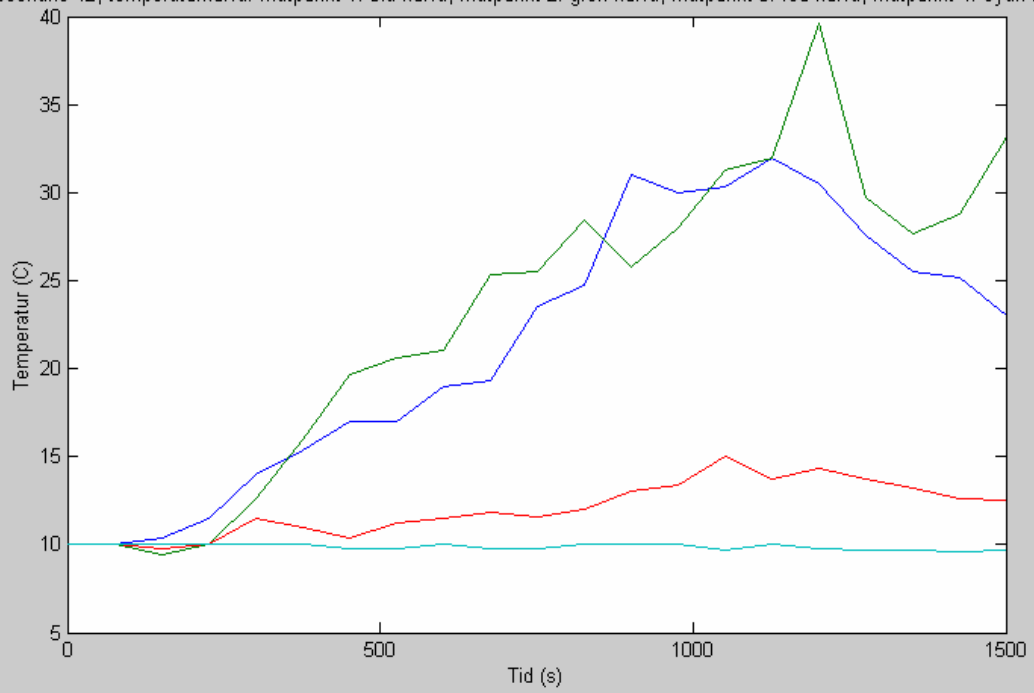
Scenario 41, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



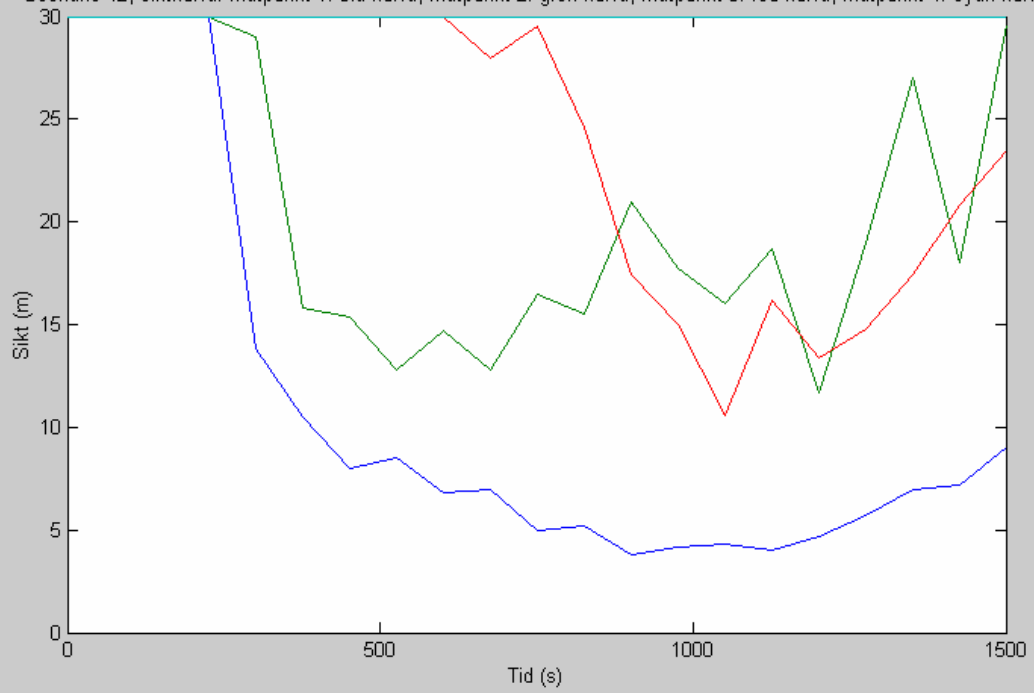
Scenario 41, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



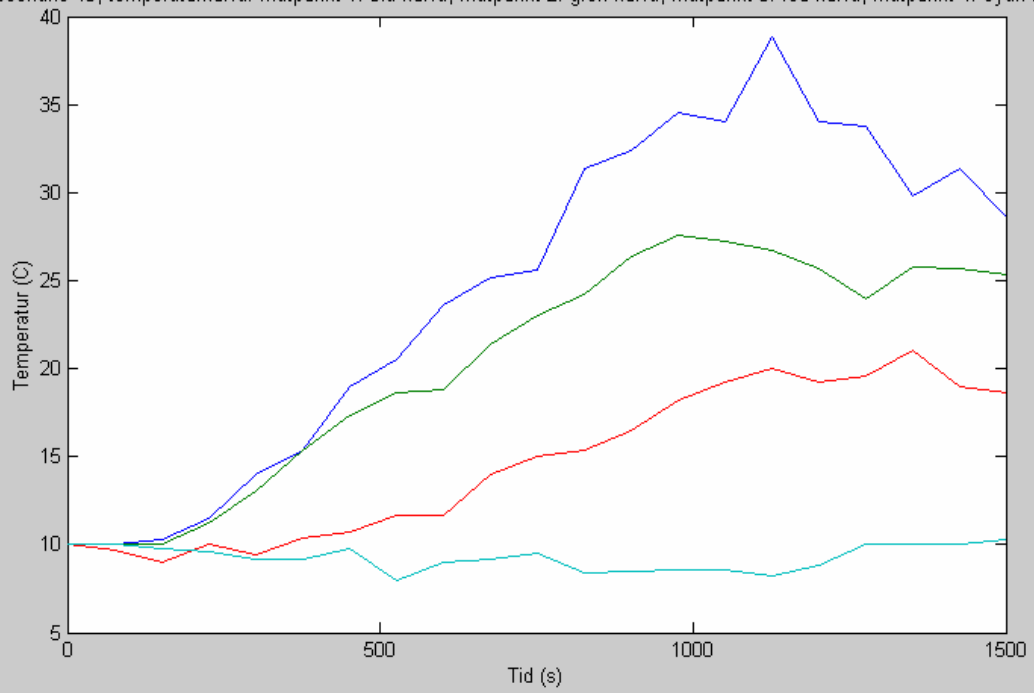
Scenario 42, temperaturkurva. Mät punkt 1: blå kurva, mät punkt 2: grön kurva, mät punkt 3: röd kurva, mät punkt 4: cyan kurva



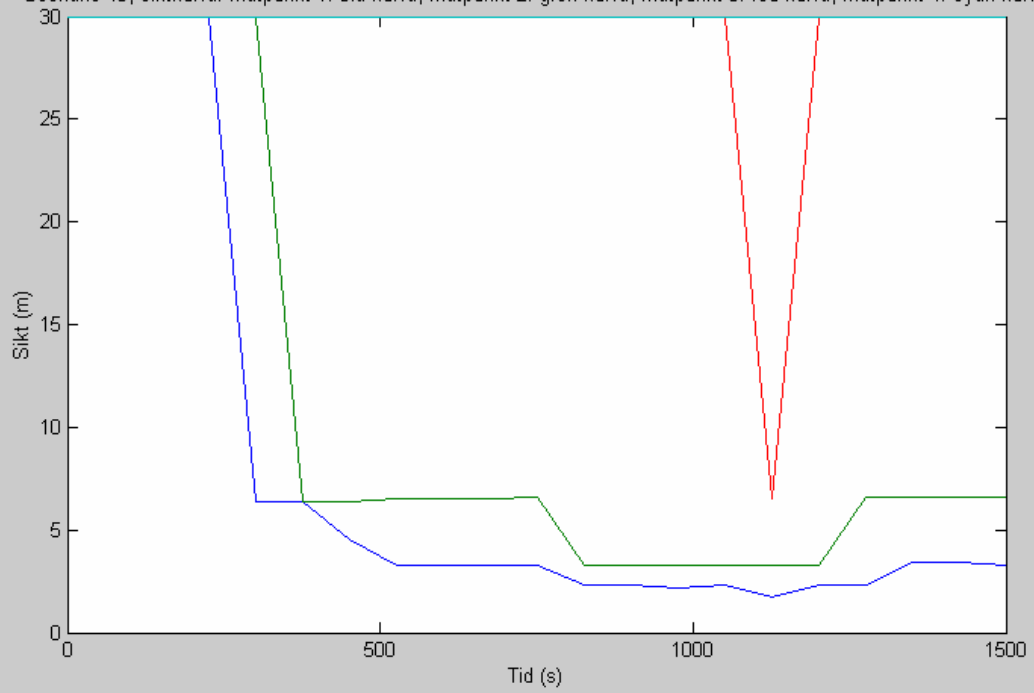
Scenario 42, siktkurva. Mät punkt 1: blå kurva, mät punkt 2: grön kurva, mät punkt 3: röd kurva, mät punkt 4: cyan kurva



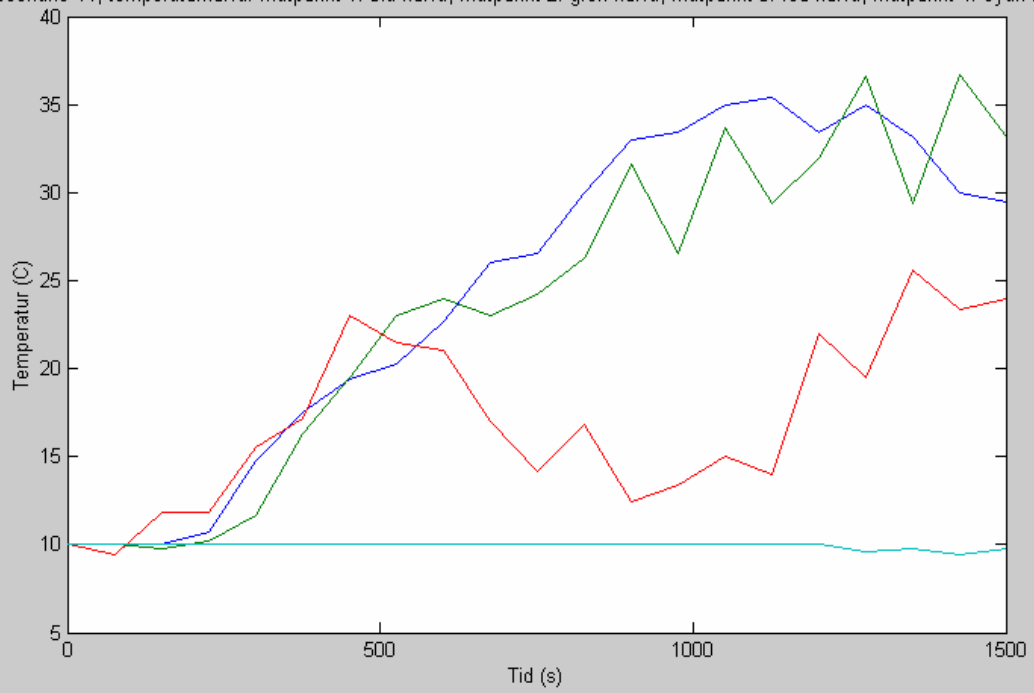
Scenario 43, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva



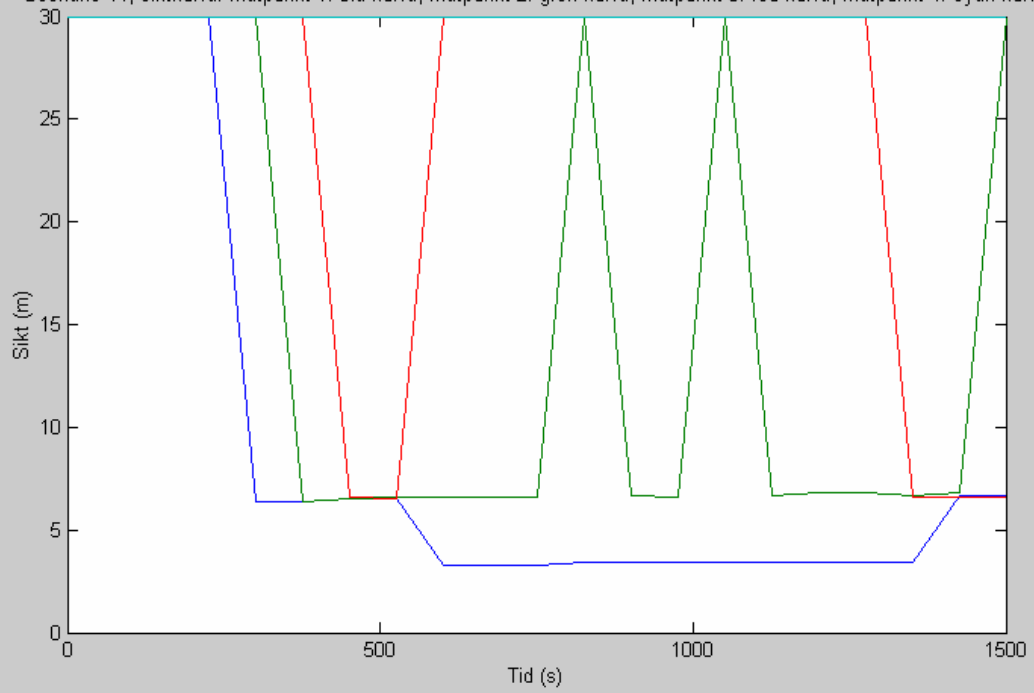
Scenario 43, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva

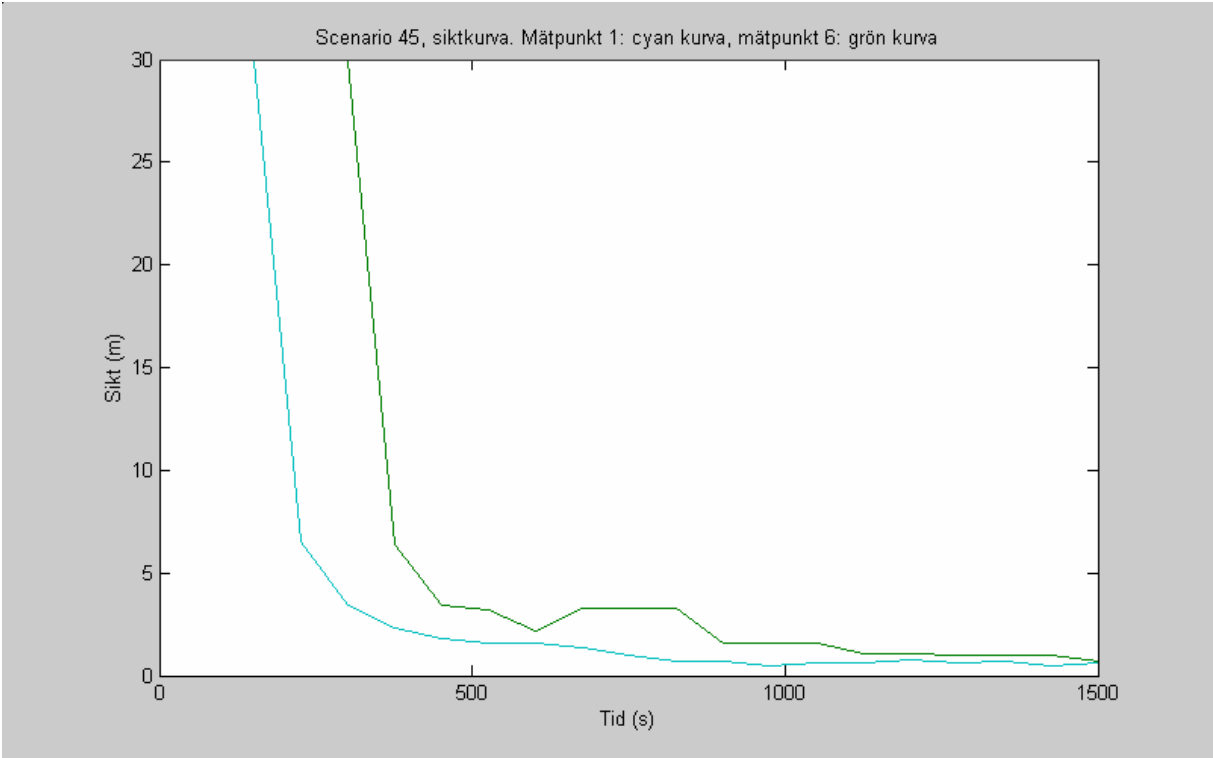
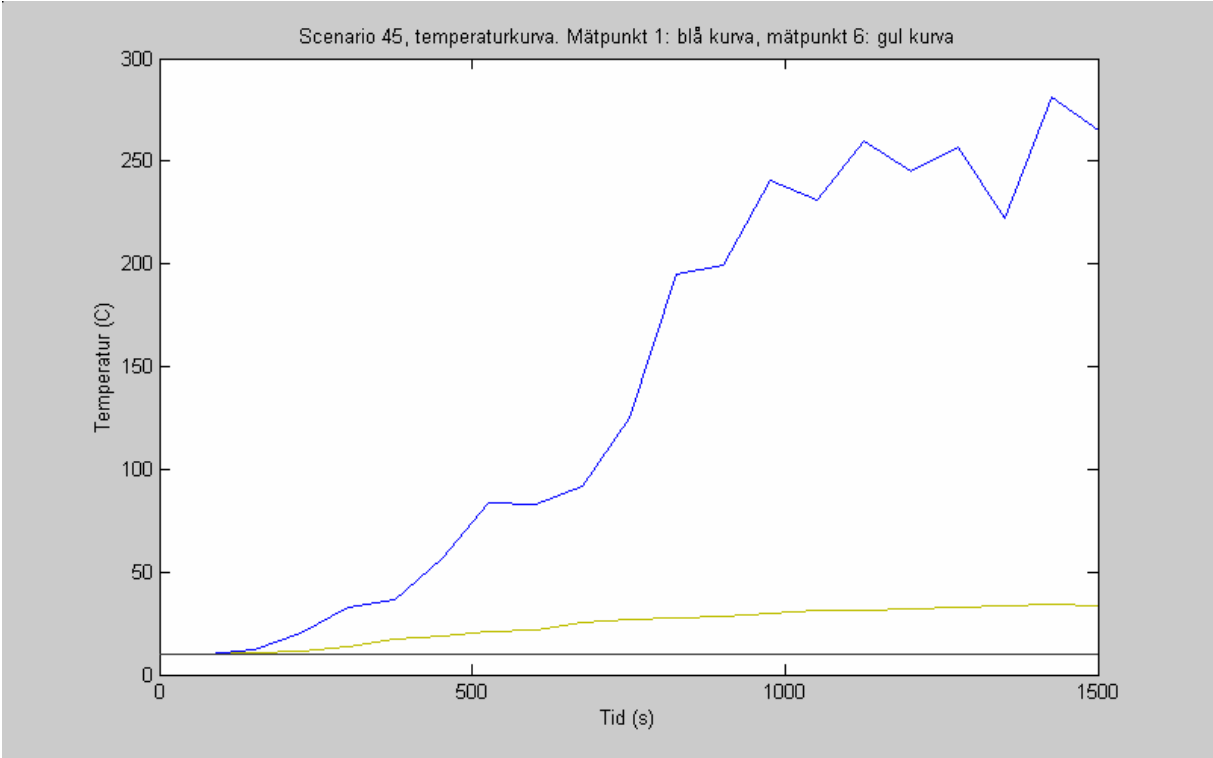


Scenario 44, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva

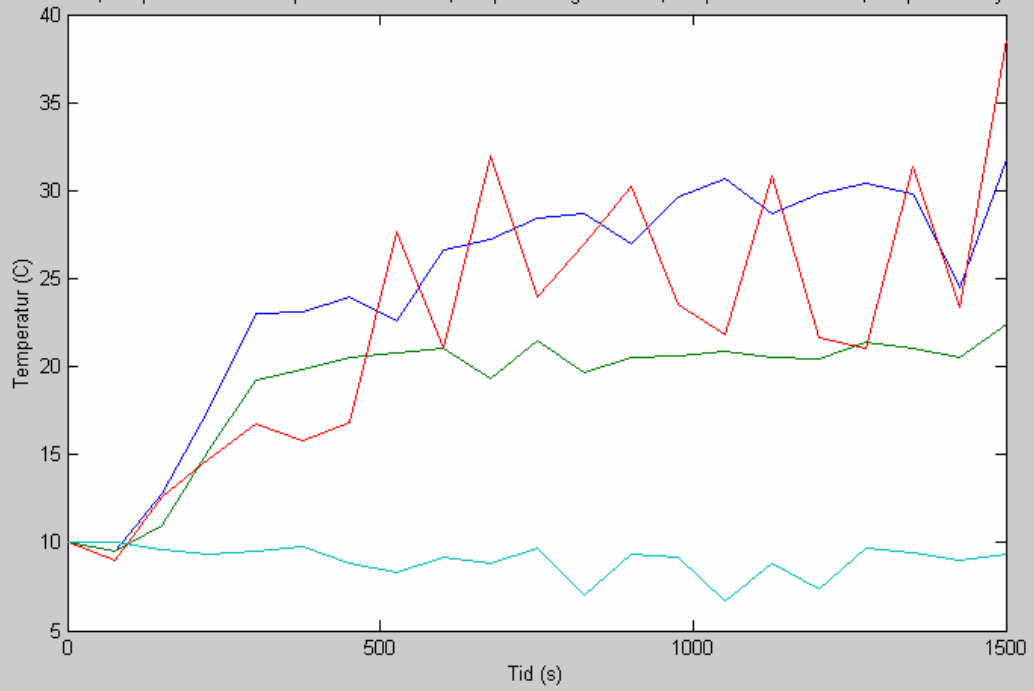


Scenario 44, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva

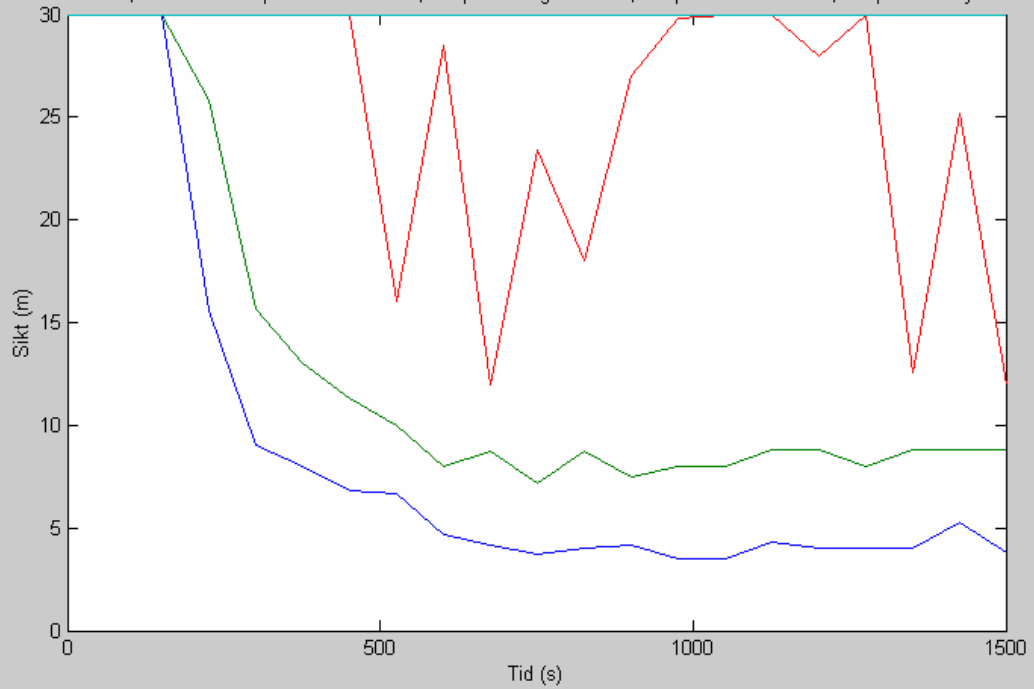




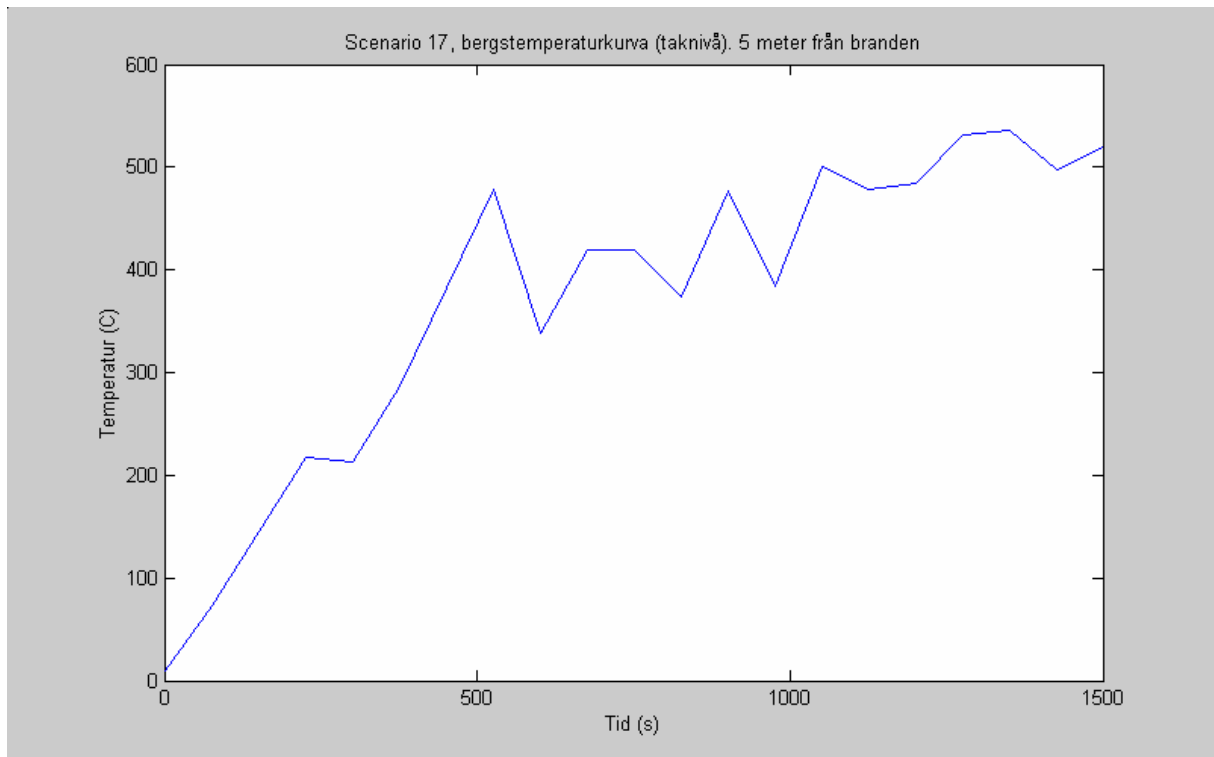
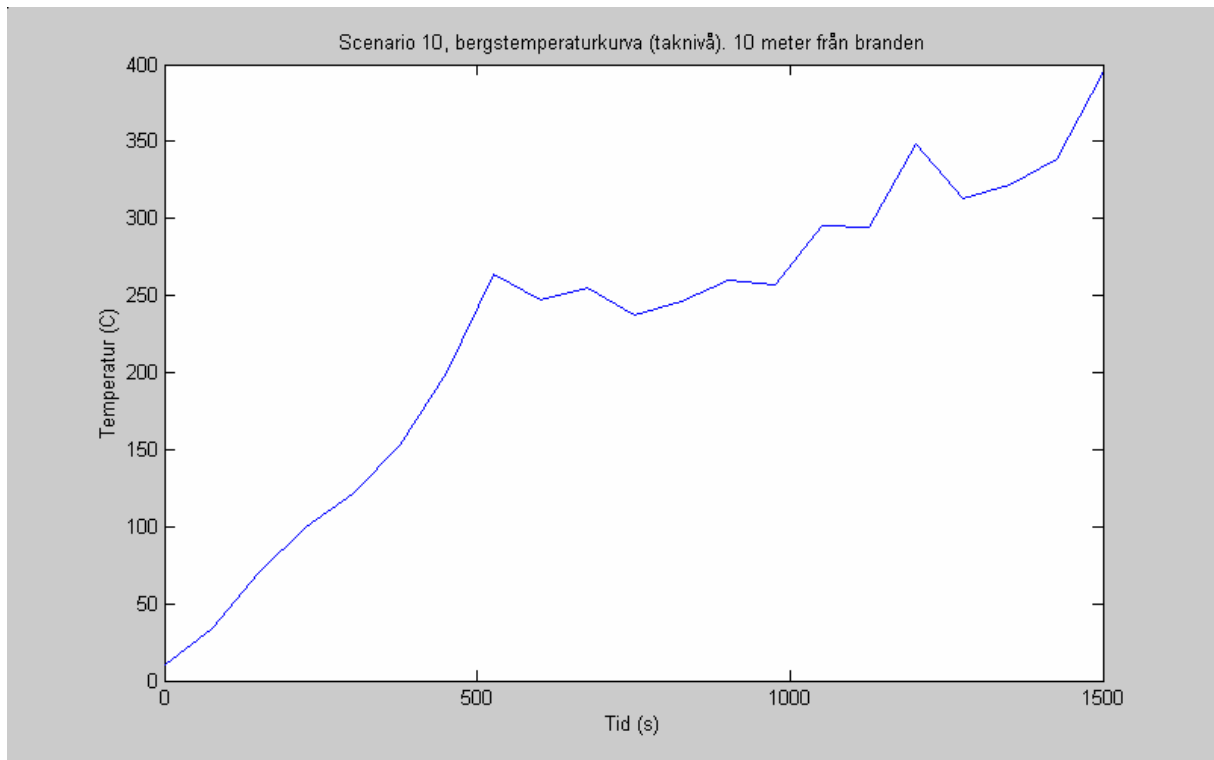
Scenario 46, temperaturkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva

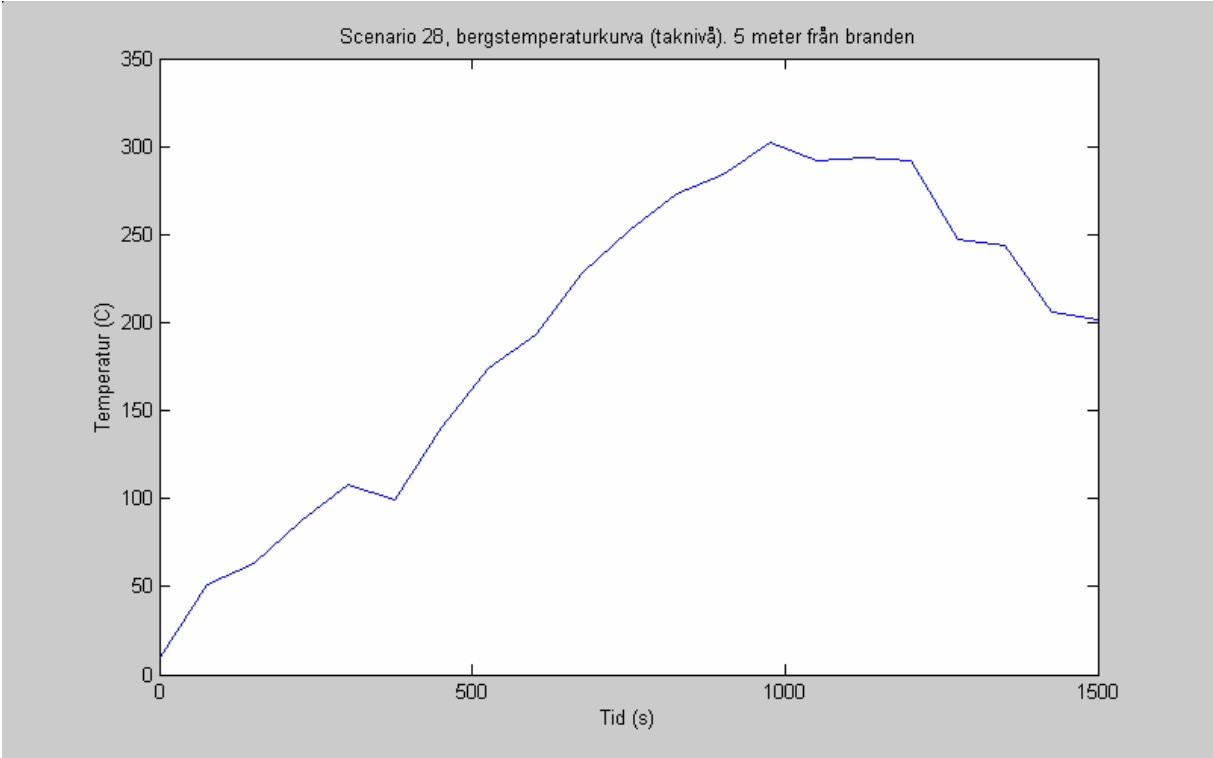


Scenario 46, siktkurva. Mätpunkt 1: blå kurva, mätpunkt 2: grön kurva, mätpunkt 3: röd kurva, mätpunkt 4: cyan kurva

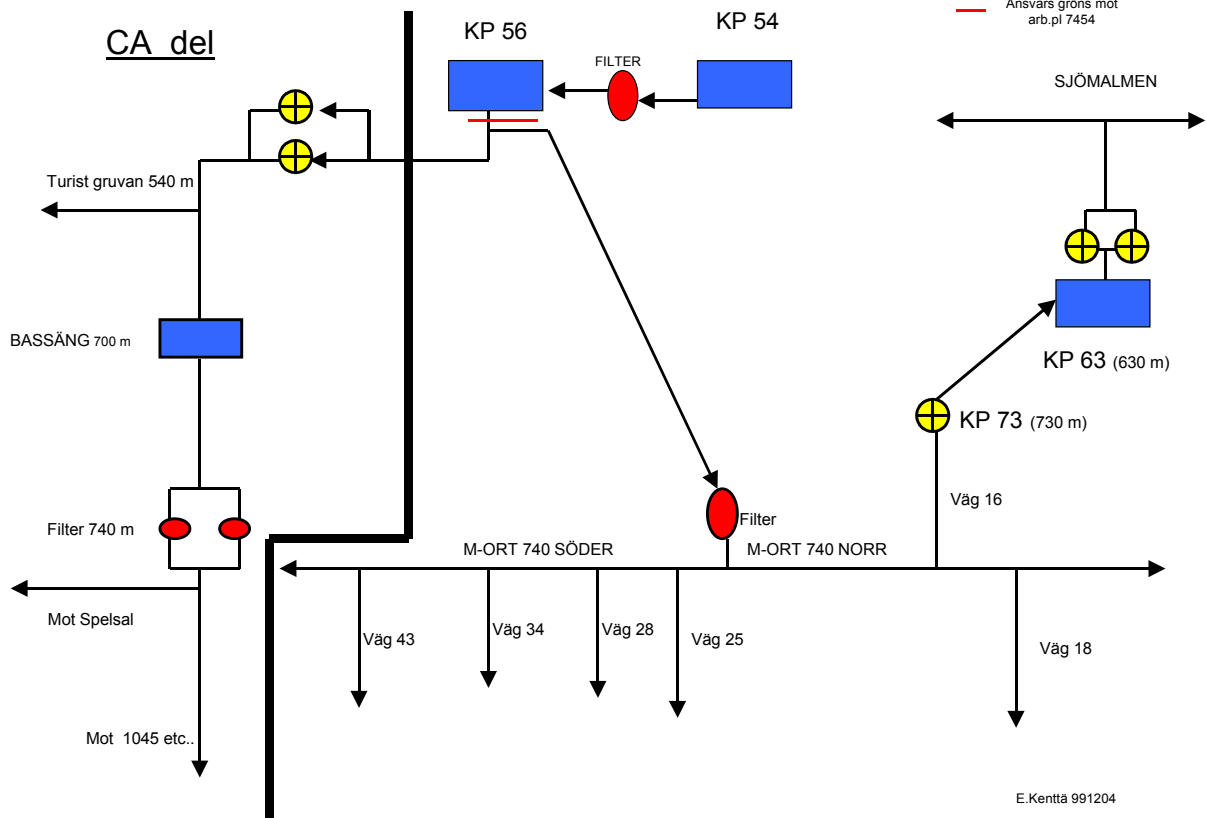


## Mätningar av bergstemperaturen.





# Flödesschema Borrwater



## Bilaga 7.

```
&HEAD CHID='kuj41',TITLE='fordonsbrand i räls/tapparverkstaden, frånventilationen av' /
&GRID IBAR=108,JBAR=48,KBAR=10 /
&PDIM XBAR=108,YBAR=48,ZBAR=10 /
&TIME TWFIN=1500. /
&MISC SURF_DEFAULT='CONCRETE',
DATABASE='c:\nist\fds\database2\database2.data', TMPA=10. , TMPO=10./
&SURF ID='fire',HRRPUA=4200.,
      RAMP_Q='RAMPTYRE'/
&RAMP ID='RAMPTYRE', T=0.0, F=0.0/
&RAMP ID='RAMPTYRE', T=900.0, F=1.0/
&RAMP ID='RAMPTYRE', T=1100.0, F=1.0/
&RAMP ID='RAMPTYRE', T=1500.0, F=0.55/
&RAMP ID='RAMPTYRE', T=2000.0, F=0.29/
&RAMP ID='RAMPTYRE', T=2500.0, F=0.12/
&SURF ID='tyre'
      FYI='Thermally-thick material'
      ALPHA=1.1E-7
      KS=0.19
      DELTA=0.07 /
&REAC ID='tyre'
      SOOT_YIELD=0.857
      NU_O2=7.84
      NU_CO2=9.87
      MW_FUEL=14.0
      EPUMO2=12800.0
      RADIATIVE_FRACTION=0.43 /
&REAC ID='fire'
      SOOT_YIELD=0.857
      NU_O2=7.84
      NU_CO2=9.87
      MW_FUEL=14.0
      EPUMO2=12800.0
      RADIATIVE_FRACTION=0.43 /
&VENT XB=46.0, 50.5, 0.0, 0.0, 0.0, 7.0, SURF_ID='OPEN'/
&VENT XB=60.0, 66.0, 0.0, 0.0, 0.0, 7.0, SURF_ID='OPEN'/
&VENT XB=60.0, 66.0, 48.0, 48.0, 0.0, 7.0, SURF_ID='OPEN' /
&VENT XB=108.0, 108.0, 41.0, 48.0, 0.0, 7.0, SURF_ID='OPEN' /
&VENT XB=0.0, 0.0, 41.0, 48.0, 0.0, 7.0, SURF_ID='OPEN' /
&SURF ID='blower1', VEL=-2.8, TMPWAL=10./
&SURF ID='sug', VEL=0.0/
&SURF ID='blower2', VEL=-1.1, TMPWAL=10./
&OBST XB=0.0, 46.0, 0.0, 15.0, 0.0, 10.0/
&OBST XB=0.0, 25.0, 15.0, 16.0, 0.0, 10.0/
&OBST XB=50.5, 60.0, 0.0, 15.0, 0.0, 10.0/
&OBST XB=55.5, 60.0, 15.0, 16.0, 0.0, 10.0/
&OBST XB=50.0, 60.0, 21.0, 24.0, 0.0, 10.0/
&OBST XB=0.0, 16.0, 23.0, 41.0, 0.0, 10.0/
&OBST XB=22.0, 60.0, 24.0, 41.0, 0.0, 10.0/
```

&OBST XB=66.0, 108.0, 0.0, 41.0, 0.0, 10.0/  
&OBST XB=0.0, 22.0, 16.0, 23.0, 7.0, 10.0/  
&OBST XB=16.0, 22.0, 23.0, 24.0, 7.0, 10.0/  
&OBST XB=46.0, 50.5, 0.0, 15.0, 7.0, 10.0/  
&OBST XB=50.0, 55.5, 15.0, 21.0, 7.0, 10.0/  
&OBST XB=55.5, 60.0, 16.0, 21.0, 7.0, 10.0/  
&OBST XB=60.0, 66.0, 0.0, 41.0, 7.0, 10.0/  
&OBST XB=16.0, 22.0, 24.0, 41.0, 7.0, 10.0/  
&OBST XB=0.0, 108.0, 41.0, 48.0, 7.0, 10.0/  
&OBST XB=47.0, 49.0, 1.0, 6.0, 0.0, 2.0, SURF\_ID='SHEET METAL'/  
&OBST XB=0.0, 22.0, 18.0, 19.0, 6.5, 7.0, SURF\_ID='SHEET METAL'/  
&OBST XB=22.0, 50.0, 18.0, 19.0, 9.5, 10.0, SURF\_ID='SHEET METAL'/  
&OBST XB=50.0, 60.0, 18.0, 19.0, 6.5, 7.0, SURF\_ID='SHEET METAL'/  
&OBST XB=58.0, 60.0, 17.0, 19.0, 0.0, 2.0, SURF\_ID='SHEET METAL'/  
&OBST XB=51.0, 55.0, 17.0, 19.0, 0.0, 2.0, SURF\_ID='SHEET METAL'/  
&OBST XB=47.0, 49.0, 10.0, 12.0, 0.0, 1.5, SURF\_ID='SHEET METAL'/  
&OBST XB=46.7, 47.0, 10.0, 10.5, 0.0, 0.5, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=46.7, 47.0, 11.5, 12.0, 0.0, 0.5, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=48.5, 48.8, 10.0, 10.5, 0.0, 0.5, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=48.5, 48.8, 11.5, 12.0, 0.0, 0.5, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=27.0, 34.0, 19.0, 22.0, 0.0, 2.0, SURF\_ID='SHEET METAL'/  
&OBST XB=27.0, 29.3, 22.0, 23.0, 0.0, 2.3, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=31.7, 34.0, 22.0, 23.0, 0.0, 2.3, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=27.0, 29.3, 18.0, 19.0, 0.0, 2.3, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=31.7, 34.0, 18.0, 19.0, 0.0, 2.3, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=37.0, 44.0, 17.0, 20.0, 0.0, 2.0, SURF\_ID='SHEET METAL'/  
&OBST XB=37.0, 39.3, 16.0, 17.0, 0.0, 2.3, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=37.0, 39.3, 20.0, 21.0, 0.0, 2.3, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=41.7, 44.0, 16.0, 17.0, 0.0, 2.3, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=41.7, 44.0, 20.0, 21.0, 0.0, 2.3, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=17.0, 19.0, 28.0, 30.0, 0.0, 2.0, SURF\_ID='SHEET METAL'/  
&OBST XB=16.7, 17.0, 28.0, 28.5, 0.0, 0.5, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=16.7, 17.0, 29.5, 30.0, 0.0, 0.5, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=19.0, 19.3, 28.0, 28.5, 0.0, 0.5, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=19.0, 19.3, 29.5, 30.0, 0.0, 0.5, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=19.0, 20.0, 24.0, 41.0, 6.5, 7.0, SURF\_ID='SHEET METAL'/  
&OBST XB=61.0, 62.0, 0.0, 68.0, 6.5, 7.0, SURF\_ID='SHEET METAL'/  
&OBST XB=0.0, 108.0, 42.0, 43.0, 6.5, 7.0, SURF\_ID='SHEET METAL'/  
&OBST XB=57.0, 59.0, 46.0, 47.0, 0.0, 1.5, SURF\_ID='SHEET METAL'/  
&OBST XB=51.0, 53.0, 45.0, 47.0, 0.0, 2.0, SURF\_ID='fire'/  
&OBST XB=47.0, 49.0, 45.0, 47.0, 0.0, 1.5, SURF\_ID='SHEET METAL'/  
&OBST XB=47.0, 47.3, 44.8, 45.0, 0.0, 0.3, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=47.0, 47.3, 47.0, 47.2, 0.0, 0.3, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=48.7, 49.0, 44.8, 45.0, 0.0, 0.3, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=48.7, 49.0, 47.0, 47.2, 0.0, 0.3, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=43.0, 45.0, 45.0, 46.5, 0.0, 1.5, SURF\_ID='SHEET METAL'/  
&OBST XB=43.0, 43.3, 44.8, 45.0, 0.0, 0.3, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=43.0, 43.3, 46.5, 46.7, 0.0, 0.3, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=44.7, 45.0, 44.8, 45.0, 0.0, 0.3, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=44.7, 45.0, 46.5, 46.7, 0.0, 0.3, SURF\_ID='tyre'/

&OBST XB=38.0, 40.0, 45.0, 46.5, 0.0, 1.5, SURF\_ID='SHEET METAL'/  
&OBST XB=38.0, 38.3, 44.8, 45.0, 0.0, 0.3, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=38.0, 38.3, 46.5, 46.7, 0.0, 0.3, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=39.7, 40.0, 44.8, 45.0, 0.0, 0.3, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=39.7, 40.0, 46.5, 46.7, 0.0, 0.3, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=32.0, 34.0, 45.0, 47.0, 0.0, 2.0, SURF\_ID='SHEET METAL'/  
&OBST XB=32.0, 32.5, 44.7, 45.0, 0.0, 0.5, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=32.0, 32.5, 47.0, 47.3, 0.0, 0.5, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=33.5, 34.0, 44.7, 45.0, 0.0, 0.5, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=33.5, 34.0, 47.0, 47.3, 0.0, 0.5, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=68.0, 70.0, 42.0, 43.5, 0.0, 1.5, SURF\_ID='SHEET METAL'/  
&OBST XB=68.0, 68.3, 41.8, 42.0, 0.0, 0.3, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=68.0, 68.3, 43.5, 43.7, 0.0, 0.3, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=69.7, 70.0, 41.8, 42.0, 0.0, 0.3, SURF\_ID='tyre'/  
&OBST XB=69.7, 70.0, 43.5, 43.7, 0.0, 0.3, SURF\_ID='tyre'/  
&VENT XB=24.0, 25.0, 20.0, 21.0, 10.0, 10.0, SURF\_ID='sug'/  
&VENT XB=46.0, 47.0, 20.0, 21.0, 10.0, 10.0, SURF\_ID='blower1'/  
&VENT XB=48.0, 49.0, 5.0, 6.0, 7.0, 7.0, SURF\_ID='blower2'/  
&THCP XYZ=44.0, 18.0, 1.8, QUANTITY='TEMPERATURE' /  
&THCP XYZ=60.0, 19.0, 1.8, QUANTITY='TEMPERATURE' /  
&THCP XYZ=63.0, 41.0, 1.8, QUANTITY='TEMPERATURE' /  
&THCP XYZ=108.0, 45.0, 1.8, QUANTITY='TEMPERATURE' /  
&THCP XYZ=44.0, 18.0, 1.8, QUANTITY='visibility' /  
&THCP XYZ=60.0, 19.0, 1.8, QUANTITY='visibility' /  
&THCP XYZ=63.0, 41.0, 1.8, QUANTITY='visibility' /  
&THCP XYZ=108.0, 45.0, 1.8, QUANTITY='visibility' /