

CFD-beräkningar på parallella processorer

- En utvärdering av parallella beräkningar för
modellering av rumsbrand med
Fire Dynamics Simulator

Gunnar Vestin
Jonathan Wahlqvist

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

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

Report 5284, Lund 2008

CFD-beräkningar på parallella processorer
- En utvärdering av parallella beräkningar för modellering
av rumsbrand med Fire Dynamics Simulator

**Gunnar Vestin
Jonathan Wahlqvist**

Lund 2008

Titel

CFD-beräkningar på parallella processorer – En utvärdering av parallella beräkningar för modellering av rumsbrand med Fire Dynamics Simulator.

Title

CFD-calculations using parallel processors – An evaluation of parallel calculations for enclosure fire modeling using Fire Dynamics Simulator.

Författare

Gunnar Vestin
Jonathan Wahlqvist

Report 5284

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5284--SE

Number of pages: 79 (appendixes not included)

Illustrations: Gunnar Vestin, Jonathan Wahlqvist, Blaise Barney

Keywords

evaluation, Computational Fluid Dynamics (CFD), parallel calculations, Fire Dynamics Simulator (FDS), fire model, sensitivity, validation.

Sökord

utvärdering, Computational Fluid Dynamics (CFD), parallella beräkningar, Fire Dynamics Simulator (FDS), brandmodell, känslighet, validering.

Abstract

This report focuses on CFD-calculations using parallel processors carried out with the software Fire Dynamics Simulator (FDS). From a users point of view the advantages and disadvantages with parallel CFD-calculations were analyzed and evaluated. A simplified method for quantitative evaluation was developed with guidance from ASTM E 1355 whereupon relative differences between serial reference scenarios and corresponding parallel calculations were quantified and evaluated. Also, aspects like wall clock time speed-ups and the use of hardware resources were evaluated. The purpose of the project was to identify possible sources of error and assess calculation speed-ups as a consequence of distributing calculations over multiple processors and whether these depend on the number of processors used.

Disclaimer

Författarna ansvarar för innehållet i rapporten.

© Copyright: Brandteknik och Riskhantering, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2008.

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

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>
Telefon: 046 - 222 73 60
Telefax: 046 - 222 46 12

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

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se/english>
Telephone: +46 46 222 73 60
Fax: +46 46 222 46 12

FÖRORD

Föreliggande rapport skildrar vårt examensarbete vid Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering på LTH. Arbetet har drivits som ett projekt med efterföljande skriftlig och muntlig redovisning. Projektet är en del i kursen *Examensarbete i brandteknik VBRM01* på 22,5 högskolepoäng. I kursen skall studenterna visa förmåga att tillämpa de kunskaper och färdigheter som förvärvats under utbildningen och självständigt analysera och redovisa en relativt omfattande uppgift på ett vetenskapligt metodiskt sätt. Ett godkänt resultat är en förutsättning för att erhålla Brandingenjörsexamen. Projektet genomfördes under sommaren och hösten 2008.

Tack

Vi vill framföra ett varmt tack till alla som har stöttat oss i vårt arbete med detta projekt.

Lund, december 2008

Gunnar Vestin

Jonathan Wahlqvist

SAMMANFATTNING

Att använda datorer och CFD-beräkningar (Computational Fluid Dynamics) för att modellera fysikaliska fenomen, som exempelvis bränder, har blivit allt vanligare. Exempel på användningsområden är bland annat utvärdering av brandskydd vid projektering, brandorsaksutredningar, förutse röktransport i byggnader och tunnlar samt produktutveckling. Med mer avancerade modeller för brandmodellering, ett ökat krav på effektivitet och ett förhöjt behov av datorkapacitet har intresset för möjligheten att fördela beräkningarna på flera parallellt arbetande processorer vuxit. Det var parallella CFD-beräkningar som stod i fokus för detta projekt.

Ur en användares perspektiv utvärderades och analyserades några av de för- och nackdelar som CFD-beräkningar på parallella processorer medför. Med utgångspunkt i den amerikanska vägledningen ASTM E 1355, för utvärdering av deterministiska brandmodellers förmåga att förutspå ett givet scenario, togs en metod fram för att utvärdera parallella CFD-beräkningar för brandmodellering.

Arbetet avgränsades till att omfatta den deterministiska brandmodellen Fire Dynamics Simulator version 5 (FDS5). Arbetet syftade inte i att validera eller utvärdera FDS5 som helhet utan att bedöma dess känslighet för parallella beräkningar.

Två brandscenarier modellerades och analyserades med avseende på det för beräkningarna antalet nyttjade processorer, användarens val av meshkonfiguration och det tidsintervall som användaren utvärderar erhållna resultat över. För detta valdes parametrar, viktiga för brandteori och brandmodellering samt vanligen använda indikatorer för utvärderingen av ett brandskydd, ut för kvantitativ jämförelse. De valda scenarierna bestod av ett väldokumenterat brandförsök och ett fiktivt atrium. Parallelliseringen verifierades genom att jämföra parallella resultat med seriella resultat. Beräkningarna genomfördes på det homogena datorklustret Milleotto vid Lunarc, Lunds centrum för vetenskapliga och tekniska beräkningar.

Den kvantitativa undersökningen visade att parallella beräkningar med FDS gav relativa medelavvikelser i storleksordningen upp till 10 % jämfört med de seriella referensberäkningarna, med ett par undantag där kvantiteter visade avvikelser upp mot 20 %. Detta kan medföra en större osäkerhet vid användandet av FDS för brandteknisk dimensionering. Huruvida dessa avvikelser ökar osäkerheten i FDS jämfört med experimentella data undersöktes ej. Med undantag för effektutvecklingen ökade inte avvikelserna i beräkningarnas resultat med antalet nyttjade processorer. För effektutvecklingen kunde en trend till ökning av de relativa medelavvikelserna ses då branden delades av en eller flera meshgränser.

Beräkningstiderna för FDS minskade då antalet nyttjade processorer ökade men den relativa tidsvinsten visade sig inte vara i närheten av linjär. Undersökningen visade att kubformade mesher var fördelaktigt ur ett tids- och resursanvändningsperspektiv. Att använda sig utav meshindelning i en dimension bedömdes, utifrån resultaten, vara olämpligt för parallella beräkningar och rekommenderades därför inte.

Resultaten från utvärderingen gav svar på ett flertal frågeställningar som ställts inför projektet men väckte även en rad nya frågeställningar. Förslag på fortsatt forskning inom området för CFD-beräkningar beaktades och delgavs därför.

Att utföra parallella CFD-beräkningar konstaterades generellt kräva mer av användaren än vad seriella beräkningar gör. Utöver att bli familjär med mjukvaran måste användaren ofta även lösa hårdvaru- och operativsystemsrelaterade problemställningar. För den oinvidde bedömdes detta kunna vara frustrerande men fördelarna med parallella beräkningar, så som kortare beräkningstider och möjlighet till större problemlösning, ansågs väga upp.

INNEHÅLL

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND OCH ÖVERSIKT	1
1.2	SYFTE.....	3
1.3	MÅLSÄTTNING.....	3
1.4	MÅLGRUPP	4
1.5	AVGRÄNSNINGAR	4
1.6	RAPPORTENS DISPOSITION	4
2	METOD.....	5
2.1	ANGREPPSSÄTT	5
2.2	VAL AV APPLIKATION.....	7
2.3	VAL AV SCENARIER.....	7
2.4	VAL AV FÄLTMODELL OCH UNDERMODELLER	8
2.5	VAL AV BRANDMODELLERINGSPARAMETRAR	8
2.6	KVANTITATIV JÄMFÖRELSE	9
2.7	KÄNSLIGHETSANALYS	12
3	FIRE DYNAMICS SIMULATOR.....	15
3.1	GRUNDLÄGGANDE KOMPONENTER	15
3.2	RELIABILITET OCH VALIDITET	16
3.3	FDS OCH PARALLELLA BERÄKNINGAR.....	16
4	PARALLELLA BERÄKNINGAR	17
4.1	VARFÖR PARALLELLA BERÄKNINGAR?	17
4.2	TYPEN AV PARALLELLA NÄTVERK	18
4.3	PROCESSORKOMMUNIKATION OCH MPI.....	19
4.4	AMDAHLS LAG	19
5	SCENARIO- OCH BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR	21
5.1	SCENARIO A.....	21
5.2	SCENARIO B.....	22
5.3	GEMENSAMMA FÖRUTSÄTTNINGAR	23
6	RESULTAT	27
6.1	FÖRUNDESRÖKNINGAR	27
6.2	KVANTITATIV JÄMFÖRELSE	27
6.3	RESURSANVÄNDNING.....	56
7	ANALYS OCH DISKUSSION.....	61
7.1	ANVÄND METOD.....	61
7.2	FÖRUNDESRÖKNINGAR	62
7.3	BRANDPARAMETRAR.....	63
7.4	RESURSANVÄNDNING.....	67
7.5	KOMMUNIKATION OCH FRAMTIDEN	69
7.6	FÖRSLAG PÅ FORTSATT ARBETE	70
8	SLUTSATSER	73
	REFERENSER.....	75
	BILAGOR	79

1 INLEDNING

I detta inledande kapitel återges bakgrunden till projektet, dess syfte, mål och avgränsningar.

1.1 Bakgrund och litteraturoversikt

Branden är ett komplext fysikaliskt fenomen och det finns flera, mer eller mindre komplicerade, metoder för att modellera denna. Bland de enklare, till exempel tvåzonsmodellen, görs modellantaganden som medför att de inte alltid kan anses giltiga när de tillämpas på exempelvis lite mer komplexa geometrier. De enklare modellerna kan inte alltid heller ge den detaljerade information som ibland önskas vid brandmodellering. För att få en mer utförlig representation och återgivning av de fysikaliska fenomenen hos branden kan fältmodeller baserade på grunderna för *Computational Fluid Dynamics* (CFD) användas. En del av de förenklingar och antaganden som är nödvändiga för zonmodellering behövs inte för fältmodellering med CFD [1]. Istället kan numeriska metoder användas för att lösa de partiella differentialekvationer som uttrycker de fysikaliska principerna för bevarandet av massa, energi, rörelsemängd och ämnen. Till skillnad från de få och stora kontrollvolymmer som används i zonmodellering kan fältmodelleringen lösa ut de styrande ekvationerna för tusen- eller miljontals mindre kontrollvolymmer.

Att använda datorer och CFD-beräkningar för att modellera bränder har blivit allt vanligare och tillämpningsområdena har ökat kraftigt. Exempel på applikationer för CFD-beräkningar är bland annat utvärdering av brandskydd vid projektering, brandorsaksutredningar, förutse röktransport i byggnader och tunnlar samt produktutveckling. Styrande för den ökade användningen har varit tillgången till och utvecklingen av CFD-mjukvara, sjunkande hårdvarukostnader och utvecklingen av datorkapacitet [1].

Fältmodellerna utvecklas för att bli mer pålitliga och för att återge de fysikaliska fenomenen på ett mer korrekt sätt. Beräkningarna som krävs blir då mer avancerade och möjliggör för tillämpningsområdena att bli mer komplexa, vilket leder till ett ökat behov av datorkapacitet. Den utvecklade datorkraften har gjort att beräkningstiderna sjunkit till timmar och dagar för den enskilda datorn men mer komplexa beräkningar och krav på snabbare resultat kan kräva mer än så. Enskilda användare och företag har, för en del mjukvaror, möjligheten att fördela beräkningarna på flera parallellt arbetande datorer, så kallade datorkluster, eller på en mer kraftfull dator med flera processorer för att bland annat ge möjligheten till att öka beräkningarnas precision och minska dess tidsåtgång. Det är parallella CFD-beräkningar som detta projekt kommer att behandla.

En mängd publikationer relaterade till parallella CFD-beräkningar för brandmodellering har skrivits. Exempelvis redogör och beskriver Galea och Ierotheou [2-4] för en relativt tidig utveckling (1992) och implementering av CFD-baserade fältmodeller som nyttjar ett godtyckligt antal parallellt beräknande processorer. Galea och Ierotheou demonstrerade förmågan och potentialen av parallella system genom att genomföra brandmodelleringar, bestående av uppåt 24 000 beräkningsceller, på upp till 15 processorer och reducerade beräkningstiderna från fyra dagar till åtta timmar. Grandison, Galea, Patel och Ewer [5, 6] beskriver en parallell implementering av en CFD-baserad fältmodell på konventionella kontorsdatorer. Detta gjordes för att demonstrera hur kontorsbaserade persondatorer, koppla-

de till ett lokalt nätverk, har potentialen att erbjuda de fördelar som parallella beräkningar erbjuder med en minimal kostnad kopplad till inköp av ytterligare hård- och mjukvara. Grandison, Galea, Patel och Ewer fann att CFD-baserade brandmodeller, genom att utnyttja den existerande kraften i konventionella kontorsdatorer, kan göras mer attraktiva för brandtekniska tillämpningar. Dittmer och Jämtäng [7] använde sig av parallella beräkningar på ett datorkluster för att kunna undersöka känsligheten i utvalda undermodeller i ett tunnelscenario för en CFD-baserad fältmodell. Författarna fann att markant avvikande beräkningsresultat erhöles under vissa förutsättningar med beräkningar på parallella processorer. Yan [8] presenterar en parallell utveckling av en självutvecklade CFD-baserade fältmodell för turbulent förbränning och flamspridning i bränder. Parallelliseringen verifierades genom att jämföra de parallella resultaten med seriella resultat och effektiviteten utvärderades med olika försöksscenarioer. Resultaten av Yans parallellisering gav i hög grad liknande resultat och visade att effektiviteten generellt var god, även om effektiviteten började avta då antalet processer blev större.

Idag finns ett flertal CFD-baserade fältmodeller på marknaden [9] och antalet ökar med åren. *Fire Dynamics Simulator* (FDS) [10-12] är en fältmodell som varit under utveckling av *The National Institute of Standards and Technology* (NIST) i 25 år. Sedan år 2000 kan användare fritt få tillgång till modellen vilket medfört att FDS blivit ett populärt verktyg för att modellera brandscenarioer för realistiska och mer komplexa geometrier. FDS är en av de obligatoriska fältmodeller som används i kursen *Simulering av rumsbrand (CFD) - VBR 200* vid *Lunds Tekniska Högskola*. Användare av FDS har sedan ett par år tillbaka kunnat använda sig av en parallell version av programvaran för beräkningar på flera processorer.

Tillförlitlighet och precision är viktiga ord när användare nyttjar sig av brandmodeller för att bland annat utforma eller utvärdera ett brandskydd. I den amerikanska vägledningen *ASTM E 1355* [13] återges metoder för att utvärdera deterministiska brandmodellernas förmåga att förutspå ett givet scenario. Modellverifieringar av detta slag används för att säkerställa tillförlitligheten och precisionen av bland annat fältmodeller som FDS [10, 11, 14, 15]. Utöver referenserna [10, 11, 14, 15] har FDS och dess undermodeller utvärderats och validerats i en rad publikationer [12] men till dags dato finns en begränsad mängd publikationer som undersöker validiteten av FDS-beräkningar, och CFD-beräkningar generellt för den delen, på parallellt arbetande processorer. En validering av CFD-mjukvaran SMART-FIRE har tidigare gjorts [5] där den maximala differensen mellan resultaten för en enskild processor och tolv parallella processorer var lägre än 10^{-4} %, vilket motsvarade det använda konvergenskriteriet för lösningen.

Vid parallella CFD-beräkningar med FDS delas problemet, beräkningsdomänen, upp i lika stort antal delar som antalet processorer som avses användas för att lösa problemet. Metoden kan medföra såväl fördelar som nackdelar. Fördelarna är möjlighet till större och/eller mer komplexa beräkningar samt en tidsvinst. Nackdelar kan vara att uppdelningen ger upphov till avvikelser i sökt lösning. Avvikelserna kan troligen tillskrivas såväl användaren som programutvecklaren. FDS modellutvecklare redogör [10] för att ett flertal förbättringar gjorts för att eliminera några, men inte alla, av de problem som de tidigare haft vid uppdelning av beräkningsdomänen i FDS. Numera finns möjligheten att i FDS försäkra sig om att volymen konserveras mellan uppdelningarna, men ännu har inte bevarandet av massa, energi och rörelsemängd, grundpelarna i CFD-beräkningar, testats fullt ut [16]. I användarmanualen till FDS [17] skriver modellutvecklarna av FDS att parallella be-

räkningar är ett relativt nytt område inom datavetenskapen och att växtvärk är att vänta de kommande åren.

I ett forum avsett för FDS-användare [18], startat av FDS modellutvecklare, har ett ökat intresse för parallella beräkningar uppstått då FDS-användare bland annat upptäckt och rapporterat att resultaten av CFD-beräkningarna inte blir de identiska då samma indatafil körs seriellt respektive parallellt. McGrattan [16] svarar att det kan finnas mindre skillnader mellan den seriella och parallella versionen av FDS då de behandlar beräkningen av en uppdelad beräkningsdomän på skilda sätt, men att detta inte studerats tillräckligt noga för att kunna avgöra om de två versionerna skall ge exakt samma resultat eller om det alltid kommer finnas mindre avvikelser.

Detta projekt avser att utifrån en användares perspektiv, utvärdera och analysera de eventuella skillnader som kan erhållas vid FDS-beräkningar på parallella processorer och bedöma huruvida dessa kan påverka en brandteknisk dimensionering. Två brandscenarier kommer att modelleras och analyseras i olika konfigurationer på det homogena datorklustret Milleotto vid Lunarc [19], Lunds centrum för vetenskapliga och tekniska beräkningar. En del av denna rapport kommer även att behandla resursanvändning för parallella CFD-beräkningar. Relativa tidsvinster för genomförda beräkningar kommer bland annat att undersökas och jämföras med tidigare genomförda arbeten [2-5, 7, 20, 21].

1.2 Syfte

Projektet syftar i att utvärdera tillförlitlighet och resursanvändning för CFD-modellen *Fire Dynamics Simulator* vad avser beräkningar på parallella processorer. Att utvärdera en brandmodell är mycket viktigt dels för att fastställa acceptabla användningsområden, dels för att påvisa modellens begränsningar. Ansvar för utvärdering och validering ligger inte enbart hos modellutvecklare utan bör även göras av modellanvändaren för att försäkra sig om att denne använder en lämplig modell för given applikation och att modellen ger tillräcklig noggrannhet. Resursanvändning studeras för att bättre kunna förutspå tidsvinster och bättre utnyttja tillgängliga resurser för parallella beräkningar.

1.3 Målsättning

Målet med projektet är att göra en validering och utvärdering av FDS5 med avseende på parallella beräkningar. Utvärderingen kan utgöra en grund för att fördjupa kunskaperna om för- och nackdelar med CFD-beräkningar på parallella processorer, i synnerhet för mjukvaran *Fire Dynamics Simulator*.

Målsättningen är att kunna identifiera eventuella avvikelser och bedöma tidsvinster som följd av en uppdelning av beräkningarna på flera processorer och hur dessa beror av antalet nyttjade processorer. Eventuella komplikationer och konsekvenser, för brandteknisk dimensionering, som beräkningar på flera processorer medför kommer att rapporteras och diskuteras. Vidare kommer klusterresurserna vid Lunarc att utvärderas vad avser användning och tillgänglighet för användning av FDS för parallella beräkningar i framtida CFD-kurser vid avdelningen för Brandteknik och Riskhantering vid Lunds Tekniska Högskola.

1.4 Målgrupp

Tänkta läsare är alla dem som använder sig av eller granskar CFD-beräkningar för brandteknisk utvärdering, samt alla som intresserar sig för det undersökta området. Innehållet är anpassat för personer med brandteknisk bakgrund och erfarenhet av CFD-beräkningar.

1.5 Avgränsningar

Arbetet avgränsades till att omfatta en fältmodell; FDS version 5. Då källkoden till FDS uppdateras kontinuerligt av utvecklaren NIST fastställdes det vid en tidpunkt inför beräkningarna att en programversion skulle användas, även om programuppdateringar skedde efter denna tidpunkt. Samtliga beräkningar utfördes med *Fire Dynamics Simulator* version 5.2.0 Rev 2102.

Arbetet syftar inte i att validera eller utvärdera FDS5 som helhet utan att bedöma dess känslighet för parallella beräkningar. Lämpligheten av den teoretiska basen och de antaganden som används i modellens grund har inte verifierats. Inte heller den matematiska och numeriska robustheten i FDS har verifierats.

Antalet beräkningar och deras omfattning avgränsades som en följd av den större mängd utdata som genererades och de beräkningstider som krävdes. Omfattningen valdes att koncentreras till användningsområden för brandteknisk dimensionering.

1.6 Rapportens disposition

För att tydliggöra tanken bakom rapportens disposition ges här en översikt av rapportens struktur.

I *kapitel 2* beskrivs de metoder och tillvägagångssätt som användes för genomförandet av projektet.

I *kapitel 3* och *kapitel 4* ges en bakgrund och kortare teoretisk introduktion till fältmodellen *Fire Dynamics Simulator* respektive parallella beräkningar. Kapitlen är av mer beskrivande karaktär men ger en grund för diskussion och slutsatser.

I *kapitel 5* återges förutsättningar och en beskrivning av de två scenarier som användes för att utvärdera *Fire Dynamics Simulator* för parallella beräkningar.

I *kapitel 6* presenteras erhållna resultat och observationer och i *kapitel 7* analyseras och diskuteras dessa och projektet som helhet. I *kapitel 8* redogörs för dragna slutsatser.

Sist i rapporten ges en lista över de referenser som det hänvisats till i text samt kompletterande bilagor.

2 METOD

I detta kapitel återges de metoder och förutsättningar som använts för detta projekt. Syftet med detta är bland annat att möjliggöra reproducerbarhet av genomförda undersökningar. Vid valet av vetenskapliga angreppssätt har två ledord – reliabilitet och validitet – stått främst. Med reliabilitet avses att metoden är tillförlitlig och återger samma resultat vid upprepade mätningar [22]. Med validitet avses att metoden verkligen mäter det som avses att mäta [22].

2.1 Angreppssätt

I den amerikanska vägledningen *ASTM E 1355* [13] återges en rekommenderad metod för att utvärdera brandmodellers förmåga till att förutspå förhållanden för ett specifikt ändamål. Metoden återger fyra områden av utvärdering:

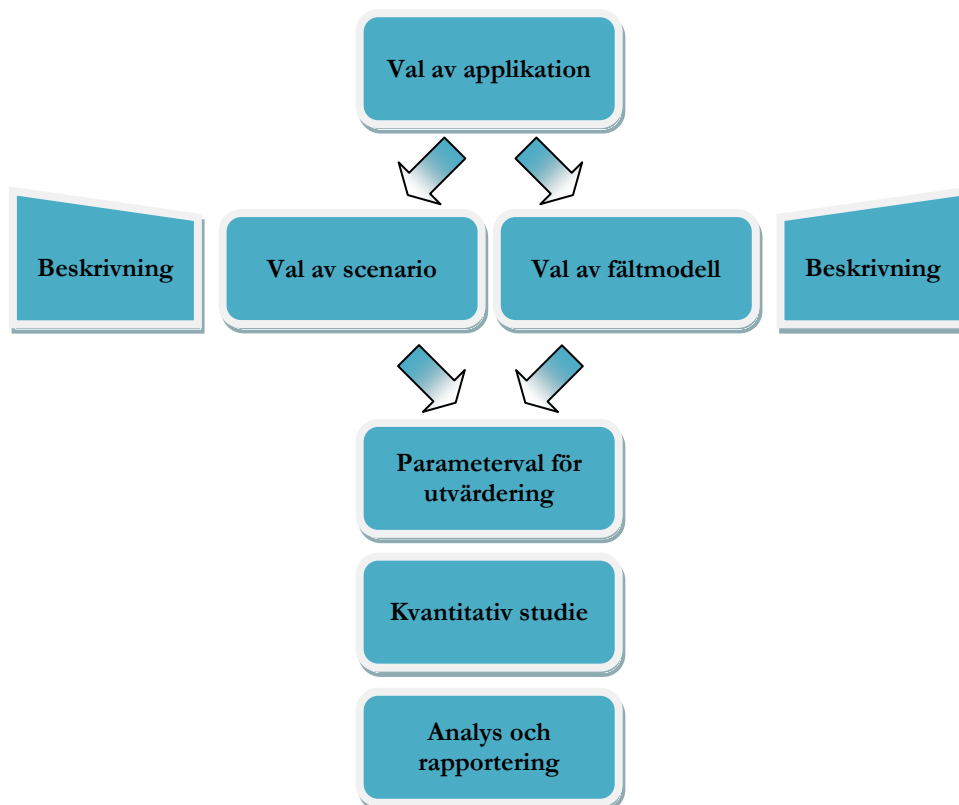
1. Definiera modellen och scenarierna för vilken utvärderingen skall genomföras.
2. Verifiera lämpligheten av den teoretiska basen och de antaganden som används i modellen.
3. Verifiera den matematiska och numeriska robustheten i modellen.
4. Kvantifiera osäkerheten och noggrannheten av modellresultaten vad avser brandförloppet i liknande scenarier.

Det bestämdes att en förenklad utvärdering enligt *ASTM E 1355* skulle utföras med fokus på steg 1 och 4 för att utvärdera CFD-beräkningar på parallella processorer. Utvärdering tänktes då vara mer anpassad ur en tänkt CFD-användares perspektiv. Steg 2 och 3 är mycket viktiga delar i en utvärdering men då detta gjorts i tidigare, betydligt mer omfattande, valideringar beslutades det att dessa skulle refereras till istället.

Med utgångspunkt i den rekommenderade utvärderingsmetoden i *ASTM E 1355* valdes följande angreppssätt, som modifierats något från tidigare valideringsstudier av brandmodeller [14], för att täcka in de fyra områdena (se även Figur 2:1):

1. **Definiera typiska applikationer för vilka användare kan tänkas nyttja fältmodeller för brandmodellering med parallella beräkningar.** En kortare eftersökning av typiska applikationer som användare nyttjar fältmodeller för brandmodellering genomfördes. Sökningen avsåg återge den bredd för vilken fältmodeller används för brandmodellering samt identifiera den applikation för vilket projektet främst skulle fokusera kring.
2. **Välj ut scenarier för vilken den kvantitativa studien ska byggas på.** Baserat på vald applikation i steg 1 valdes två brandscenarier, vilka benämndes scenario A och scenario B, att återge några av de karaktäristiska element som vald applikation används till. I scenario A användes ett dokumenterat experiment, medan scenario B utgjorde ett fiktivt atrium. Förutsättningarna för brandscenarierna och beräkningarna redovisas i kapitel 5.

- Välj ut och beskriv de fältmodeller samt specifika undermodeller som skall utvärderas.** Idag finns ett flertal CFD-baserade fältmodeller på marknaden [9] och en del av dessa har implementerats för parallella beräkningar. I enlighet med *ASTM E 1355* bör en beskrivning av undersökt fältmodell inbegripa en återgivning av dess teoretiska grund och grundläggande antaganden, en bedömning av dess matematiska och numeriska robusthet, en känslighetsanalys samt en validering mot experimentella data.
- Definiera de parametrar som den kvantitativa studien skall baseras på.** Brandrelaterade förhållanden och parametrar, som studien utvärderades ifrån, identifierades och motiverades. Baserat på vald fältmodells möjligheter och valda scenarier identifierades tolv brandrelaterade förhållanden och parametrar vilka beskrivs närmare i avsnitt 2.5.
- Genomför den kvantitativa studien för respektive fältmodell.** För den kvantitativa studien jämfördes seriella CFD-beräkningar mot parallella. Samtliga beräkningar genomfördes på det homogena datorklustret Milleotto vid Lunarc [19], Lunds centrum för vetenskapliga och tekniska beräkningar. En känslighetsanalys genomfördes för att öka resultatens tillförlitlighet. Förutsättningarna för beräkningarna på klustret Milleotto vid Lunarc återges i bilaga B.
- Analysera och rapportera resultaten.** Gjorda observationer och erhållna erfarenheter från parallella CFD-beräkningar i steg 5 rapporterades och diskuterades. Resultaten av den kvantitativa studien återgavs som en relativ differens mellan den seriellt beräknade referensen och de parallella beräkningarna.



Figur 2:1 Använt angreppssätt för utvärdering av CFD-beräkningar på parallella processorer.

Använt angreppssätt möjliggjorde tre vetenskapliga metoder för undersökningen: Fallstudie, deskription och kvantifiering [22].

Fallstudier är ett sätt att ta en liten del av ett större förlopp och med hjälp av fallet beskriva och representera verkligheten [22]. I detta projekt var detta en nödvändighet då det finns oändligt många scenarier att undersöka och då FDS som programvara kontinuerligt uppdateras. Nackdelen med att begränsas på detta vis är att en fallstudie aldrig kan representera hela verkligheten, varför slutsatser kan ses som indikationer för ett visst utfall [22].

Deskription används för att förklara hur något fungerar och lämpar sig bäst för mer övergripande verk [22]. Deskription som metod har i detta projekt använts för att beskriva hur parallella CFD-beräkningar för brandmodellering fungerar samt för redogörelsen av de gjorda observationer och erhållna erfarenheter som följde efter genomförda beräkningar.

Kvantifiering utgjorde den största delen av undersökningen. Ejvegård [22] framhåller att det i möjligaste mån kan vara bra att kvantifiera data. Kvantifierad data kan behandlas statistiskt, har en pedagogisk finess där de kan återges överskådligt i tabeller och diagram samt möjliggör att, relativt lätt, göra objektiva jämförelser.

I de kommande avsnitten i detta kapitel redogörs mer detaljerat för delar av använd metod.

2.2 Val av applikation

CFD-beräkningar för brandmodellering används till en rad applikationer som exempelvis utvärdering av brandskydd vid projektering, brandorsaksutredningar, förutse röktransport i byggnader och tunnlar samt produktutveckling. Grunden i CFD-beräkningar är i stort oberoende av vilken applikation som tillämpas men valet kan vara av betydelse för brandmodellering då olika undermodeller används beroende på tänkt användningsområde. För detta projekt studerades och utvärderades en av dessa applikationer. Fokus valdes att läggas på utvärdering av brandskydd vid projektering.

2.3 Val av scenarier

Försök utförda av Steckler, Quintiere och Rinkinen [23] har använts i en rad validerings- och verifieringsstudier av fältmodeller [24-27]. Försöken lämpar sig bra då de kan användas för att utvärdera en fältmodells förmåga att återge främst temperatur och flödesfördelning i ett mindre utrymme med en konstant och ickespridande brand. I referenserna [24, 27] framgår att försöken utgör ett standardtest som används av en rad zon- och fältmodellsutvecklare. Att använda ett dokumenterat försök ansågs viktigt för giltigheten av resultaten och som en referens mot att vald fältmodell kunde hanteras på ett korrekt sätt. En uppsättning av Steckler, Quintiere och Rinkinens försök utgjorde scenario A.

Atrium, stora öppna utrymmen som sträcker sig flera våningsplan, kan ses i allt fler publika utrymmen, exempelvis i köpcentrum. Milke [28] redogör för utmaningarna med brandgas-spridning i atrium, bland annat att brandgaserna med lätthet kan förflytta sig genom hela volymen på grund av avsaknaden av fysiska barriärer och att höga takhöjder kan ge längre detektionstider. Ett fiktivt scenario, tänkt att utvärdera en befintlig brandgasventilation i ett atrium, utgjorde scenario B.

En mer detaljerad återgivning av valda scenarier och beräkningsförutsättningar återges i kapitel 5.

2.4 Val av fältmodell och undermodeller

För detta projekt studerades och utvärderades en fältmodell med möjlighet till parallella beräkningar. Valet föll på *Fire Dynamics Simulator* (FDS) som utvecklats och underhålls av *The National Institute of Standards and Technology* (NIST). FDS är fritt tillgängligt inklusive öppen källkod, har många användare och är väldokumenterat [10-12, 17].

För detta projekt bestämdes att endast återge en kortare introduktion till FDS och använda undermodeller och istället ge referenser till mer ingående återgivningar av dess teoretiska grund och grundläggande antaganden, dess matematiska och numeriska robusthet, känslighetsanalyser och validering mot experimentella data. FDS presenteras närmare i kapitel 3.

Undermodeller för turbulensmodellering, strålning och förbränning valdes enligt standardvalen i FDS [17].

2.5 Val av brandmodelleringsparametrar

Studerade kvantiteter valdes utifrån grunden att de är betydelsefulla parametrar inom området brandteknik och brandmodellering samt att de är möjliga indikatorer för utvärderingen av ett brandskydd. Även mindre vanligen använda parametrar studerades för att undersöka modellen i ett bredare användarperspektiv. Följande brandmodelleringsparametrar valdes för den kvantitativa jämförelsen:

- **Effektutveckling:** Effektutvecklingen är den kanske viktigaste parametern för de förhållanden som uppstår vid en brand. Effektutvecklingen kan anses vara motorn i brandförloppet vilken ger upphov till de temperaturskillnader och lyftkrafter som är karaktäristiska för en brand. Vad avser fältmodellen FDS är effektutvecklingen den viktigaste fysikaliska parametern då den utgör källtermen i energiekvationen [11].
- **Gastemperatur:** Att beräkna punkttemperaturer är ett av de vanligaste målen med brandmodellering. Med en analys av punkttemperaturer är det möjligt för en användare att utvärdera exempelvis detektionstider, förhållanden vid en utrymning eller materiella skador.
- **Värmeöverföring:** Värmeöverföring via strålning och konvektion utgör en betydande del av värmetransporten i en brand. Strålningen har stor betydelse för brandspridning och är även av stor vikt vid utvärdering av utrymningsförhållanden. Konvektiv värmeöverföring ger ett stort värmebidrag för mål främst i det varma brandgaslagret, takstrålen eller brandplymen. Den totala värmeöverföringen via strålning och konvektion ($\dot{q}_r'' + \dot{q}_c''$) respektive enbart värmeöverföring via strålning (\dot{q}_r'') undersöktes.
- **Massflöde och gashastighet i öppningar:** Massflöde och gashastigheter är en viktig del av brandmodellering med CFD för att utvärdera beräkningarnas rimlighet. Kvantiteterna kan även användas som en indikation på brandens utveckling, brandgasspridning och för att studera neutralplanets läge. Massflödet är i FDS en integrerad kvantitet som beräknas över en yta. Den specificerade ytan rekommenderas

deras inte att korsa över flera meshgränser [17], vilket kan inträffa vid parallella beräkningar.

- **Väggtemperatur:** Att beräkna temperaturen i väggar, golv och tak är av betydelse för att bedöma brandspridning och hållbarheten i konstruktioner.
- **Brandgaslagrets höjd och temperatur:** Temperaturen och höjden av brandgaslagret kan ge en uppfattning om exempelvis utrymningsförhållanden och möjliga materiella skador bortom antändningskällan. Brandgaslagrets höjd är kanske mest relevant för tvåzonsmodeller där den definierar övergången mellan den övre och undre kontrollvolymen. I FDS beräknas brandgaslagrets höjd och temperatur utifrån en kontinuerlig vertikal temperaturprofil. Med denna information kan brandingenjören snabbt få en överblickbar lägesbild av brandgaslagrets höjd och temperatur. På grund av begränsningar i FDS [17] har kvantiteterna ej undersökts i de parallella beräkningar där den sökta vertikala temperaturprofilen bryts av gjord meshindelning.
- **Syrgaskoncentration:** Syrgaskoncentrationen har en direkt påverkan på förbränningen och därmed brandutvecklingen. Detta gäller i synnerhet ifall syrgaskoncentrationen är relativt låg.
- **Tryck:** Tryck kan vara av betydelse när det bidrar till att brandgaser sprids till brandrummets intilliggande utrymmen. Att modellera tryck kan också vara till nytta för att utvärdera konstruktioners hållfasthet.
- **Röktäthet:** Röktäthet kan påverka såväl utrymningsförhållanden som materiella skador. Röktätheten avser i genomförda beräkningar koncentrationen av sotpartiklar som transporteras med brandplymen in i det varma brandgaslagret och kan därför ses som en indikator för sikten.

För detaljer om hur FDS nyttjar och beräknar de utvalda parametrarna hänvisas till referenserna [10, 17].

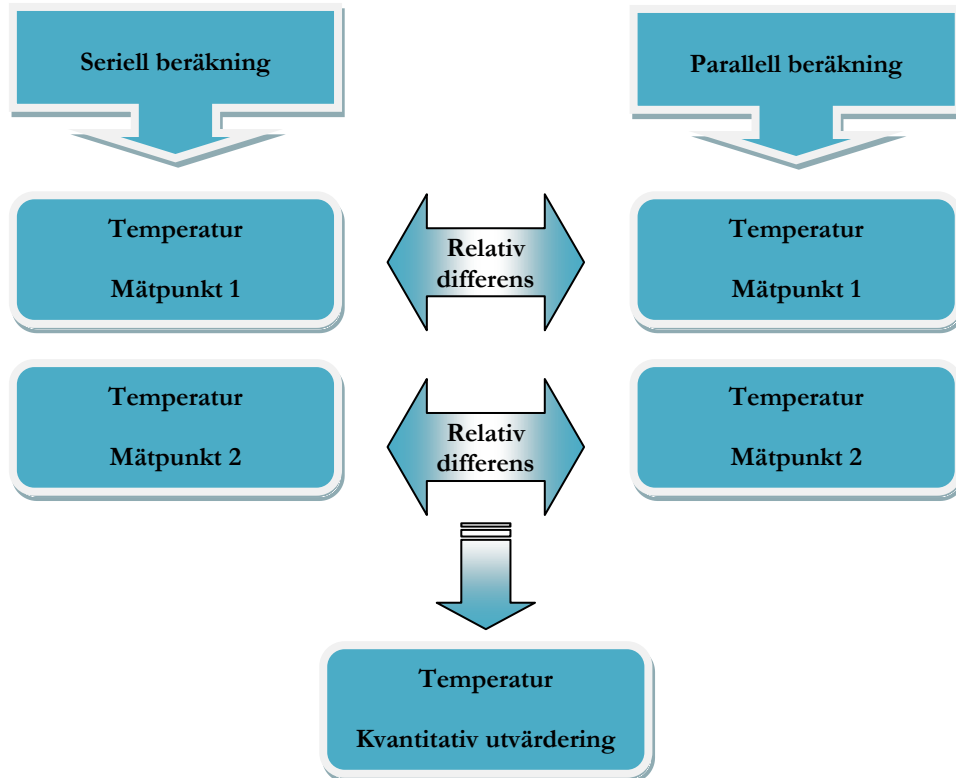
2.6 Kvantitativ jämförelse

Arbetets huvudsakliga inriktning var att modellera och jämföra resultaten av olika brandscenarier på parallellt arbetande processorer. Jämförelsen genomfördes ur en tänkt användares perspektiv för att återge det resultat som slutanvändaren kan förvänta sig vid exempelvis projektering av ett brandskydd. Som referens för jämförelsen användes en seriell beräkning av respektive brandscenario utan uppdelning av beräkningsdomänen, se Figur 2:2. Den seriella koden utgör grunden till den parallella koden och det är i denna form som den ursprungligen tagits fram, utvecklats, verifierats och validerats.

Beräkningarna genomfördes som *blinda beräkningar*, enligt *ASTM E 1355* [13], där modell-användaren ges en grundläggande beskrivning av scenariot som skall modelleras. Problembeskrivningen återges inte exakt för sådana beräkningar utan det är upp till användaren att ta fram lämpliga modelleringsparametrar utifrån problembeskrivningen, vilket är vanligt för utvärdering av brandskydd vid projektering. Blinda beräkningar kan vara ett lämpligt sätt

att undersöka en användares förståelse för en given fältmodell och att denna används på korrekt sätt.

I kommande avsnitt ges en mer ingående beskrivning av de metoder som användes för att kvantifiera och jämföra erhållna resultat.



Figur 2:2 Metod för kvantitativ utvärdering av utvalda brandparametrar.

2.6.1 Förundersökningar

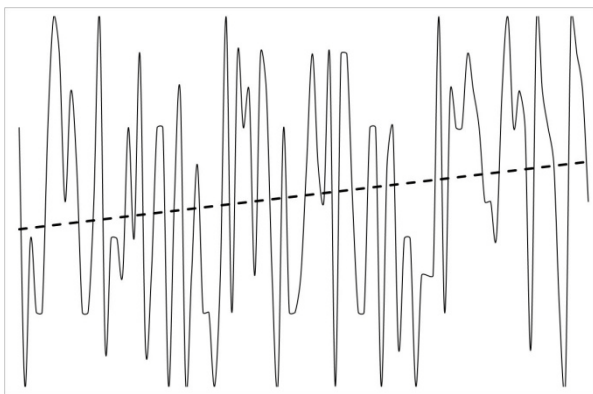
För att undersöka reproducerbarheten och repeterbarheten av resultaten för vald fältmodell gjordes inledande undersökningar med avseende på datorers konfigurationer och operativsystem samt om dessa utfördes med en seriell eller parallell version av fältmodellen. Detta gjordes för att kontrollera den påverkan som använd metod för beräkningar och använt datorsystem, Milleotto, kunde generera. Resultaten av dessa förundersökningar delges i den inledande delen av kapitel 6.

2.6.2 Utvärdering av brandparametrar

FDS är en transient fältmodell som genererar tidsberoende resultat. I *ASTM E 1355* [13] föreslås det att en skillnad görs för jämförelser mellan två tidsbaserade kurvor och att lämplig jämförelse beror på kurvornas karaktär. För jämförelser av steady state-typ föreslås att resultaten uttrycks som ett medelvärde av den absoluta differensen ($\text{modellvärde} - \text{referensvärde}$) eller som ett medelvärde av den absoluta relativa differensen ($(\text{modellvärde} - \text{referensvärde}) / \text{referensvärde}$). För snabbt varierande jämförelser kan jämförelsen uttryckas som ett intervall av den beräknade absoluta eller relativa differensen. För genomförda jämförelser nyttjades det senare föreslagna angreppssättet med relativ differens. Relativ differens valdes för att ge en indikation på vad användaren kan förvänta sig och för att resultaten inte skulle bli fullt lika scenarioanknutna som absoluta differenser skulle kunna bli.

FDS skriver önskad data till utdatafiler då den modellerade brandförloppstiden överstiger önskat samplingsintervall. I genomförda beräkningar valdes samplingsintervallet till 0,1 sekunder, det vill säga tio utskrifter per sekund och mätpunkt. Detta resulterade i cirka 600 000 dataceller med resultat i utdatafilen för respektive beräkning. Som en följd av att tidsstegen mellan två scenariouppsättningar kan skiljas åt, erhöles mindre skillnader i utskriftstiden mellan körningarna för respektive scenario. Önskas data var 0,1 sekund, kan data i utdatafilen vara skriven vid 0,101, 0,202, 0,301 sekunder etcetera för en scenariouppsättning men vid 0,102, 0,203, 0,303 sekunder för en annan. FDS interpolerar ej resultaten exakt till önskad samplingsintervall. FDS-användaren har möjligheten att själv välja initialt tidssteg och även läsa detta för resterande beräkning för att på så vis bland annat få utdata vid exakt önskad tidpunkt. Att läsa tidsstegen är ej rekommenderat [17] då det kan leda till numerisk instabilitet eftersom lösningen är beroende av tidsstegens storlek.

För att dämpa effekten av tidsvariationerna i utdata, göra jämförelsen mer ur ett användarperspektiv och se till resultaten som helhet valdes att medelvärdesbilda utdata över bestämda tidsintervall. De oregelbundna turbulenta rörelserna och de karaktäristiska svängningarna förknippade med polymer mildras då något, se Figur 2:3. Detta är vanligt förekommande vid CFD-beräkningar av transienta brandförlopp för att få en mer ”rättvisande” uppfattning av exempelvis temperaturen vid en utrymningssituation.



Figur 2:3 Schematisk representation av medelvärdesbildning över ett bestämt tidsintervall. Den streckade linjen utgör ett tänkt medelvärde av den heldragna fluktuerande linjen.

Den relativa positiva differensen, absolutbeloppet av $\varepsilon_{\Delta t}$, beräknades för samtliga använda mätpunkter, över det bestämda tidsintervallet, med hjälp av följande ekvation:

$$\varepsilon_{\Delta t} = \left| \frac{P_{\Delta t} - S_{\Delta t}}{S_{\Delta t}} \right| = \left| \frac{\sum_{i=1}^n P_i/n - \sum_{i=1}^n S_i/n}{\sum_{i=1}^n S_i/n} \right|$$

[Ekv. 2:1]

där $P_{\Delta t}$ är resultatet av den parallella beräkningen över undersökt tidsintervall och $S_{\Delta t}$ är resultatet av den seriella referensen över samma tidsintervall. n motsvarar antalet utdataposter i resultatfilen över valt tidsintervall. För ett valt tidsintervall på tio sekunder skulle detta motsvara ett medelvärde över 100 poster ur resultatfilen eftersom samplingsintervallet valdes till 0,1 sekunder.

2.6.3 Resursanvändning

Tidsåtgången för beräkningarna av de seriella referenserna respektive de parallella beräkningarna jämfördes med avseende på den faktiska tid som användes för beräkningarna. Den faktiska tiden styrs av den processor som behöver mest tid för beräkningarna och återges som *Total Elapsed Wall Clock Time* i respektive beräknings *.out*-fil. Utifrån förundersökningen upptäcktes det att beräkningstiderna för två likadana parallella beräkningar kunde skilja markant. Av denna anledning bestämdes det att några av scenariouppsättningarna skulle beräknas mer än en gång för att ge en uppfattning av osäkerheten i tidsåtgång.

Använd mängd arbetsminne (RAM – *Random Access Memory*) för beräkningarna baseras på de automatiska rapporter som levereras av Lunarc-systemen efter genomförda beräkningar. Tillförlitligheten och exaktheten i dessa undersöktes inte varför de endast användes som indikationer.

2.7 Känslighetsanalys

En känslighetsanalys bör vara en del av varje CFD-användares rutin vid brandmodellering. Traditionellt undersöker känslighetsanalysen i vilken utsträckning en fältmodells indata påverkar dess utdata [11]. Indata kan vara i form av fysikaliska egenskaper hos solider och gaser, gränsvillkor, etcetera. Indata kan även vara av numerisk form som storleken av den numeriska griden.

Beräkningstiderna för CFD-modeller är ofta långa och antalet indataparametrar kan vara många. Det bestämdes därför att känslighetsanalyser skulle främja projektet som helhet och koncentreras på vald metodik. Genomfört projekt inkluderade därför tre känslighetsanalyser vilka presenteras mer grundligt i kommande avsnitt. Utförligare läsning om känslighetsanalyser och en sammanställning av mer omfattande känslighetsanalyser utförda med avseende på FDS inklusive val av parametrar finns att återfinna i referenserna [7, 11, 17].

2.7.1 Känslighet för val av gridstorlek

Gridstorleken är den viktigaste numeriska parametern i FDS då den bestämmer den spatiala och temporala noggrannheten av de diskreta partiella differentialekvationerna [10, 11]. Inför den kvantitativa jämförelsen genomfördes en känslighetsanalys med avseende att finna lämpliga gridstorlek för respektive scenario. Denna gridstorlek användes sedan över hela beräkningsdomänen för den kvantitativa studien. Känslighetsanalysen och en djupare genomgång av FDS känslighet för valet av gridstorlek presenteras i bilaga A.

2.7.2 Känslighet för val av meshindelning

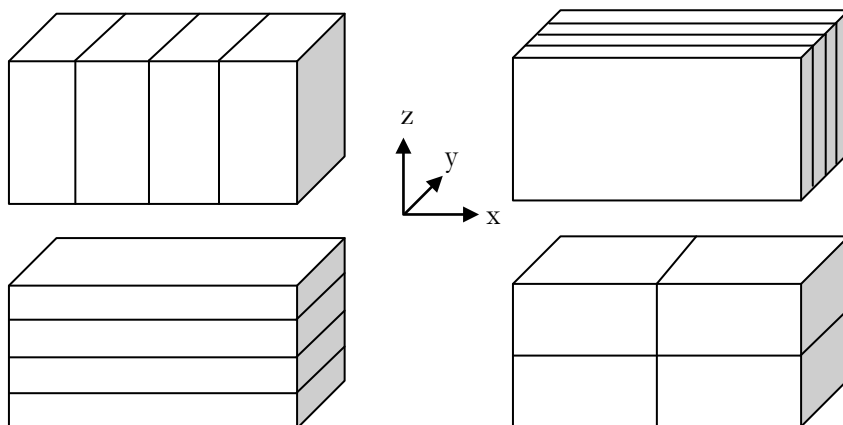
En förutsättning för parallella beräkningar med FDS är att användaren delar in beräkningsdomänen i flera gridnät, så kallade mesher. Meshindelningen bedömdes vara den största bidragande faktorn som användaren kan påverka resultatet i parallella beräkningar jämfört med en seriell beräkning. Meshindelningen kan i stort göras godtyckligt sett till antalet mesher och hur dessa ansluter till varandra. Ett antal begränsningar och rekommendationer finns dock [17].

Beräkningar av de undersökta scenarierna gjordes med en vidd av en mesh (seriellt) upp till 36 mesher (parallellt). Dessutom undersöktes upp till fyra olika varianter, se Figur 2:4, att göra dessa meshindelningar för att möjliggöra en känslighetsbedömning av erhållna resultat. Meshindelningen gjordes uniform med avseende på antalet celler i respektive mesh. Detta

gjordes för att få en så jämn belastning på de arbetande processorerna som möjligt för att få den parallella versionen av FDS att fungera väl [17]. Någon hänsyn till att gjord meshindelning eventuellt delade områden med mer komplicerade fenomen togs inte. För FDS bör detta vanligtvis försöka undvikas då informationsutbytet mellan mesher ännu inte är lika noggrant som informationsutbytet mellan celler inom en mesh [17]. En systematisk meshindelning gjordes för att kunna fördela beräkningsbördan över använda resurser samt för att på ett strukturerat sätt kunna jämföra erhållna resultat.

För att få en ”tätare” kommunikation mellan mesherna synkroniserades tidsstegen vilket gör alla mesher aktiva under varje iteration. Att på detta sätt tvinga meshen att uppdateras med ett mindre än idealt tidssteg kostar inget i processortid för en parallell beräkning då aktuell mesh, och därmed dess tilldelade processor, annars hade varit överksam [17]. Synkroniserade tidssteg är sedan version 5 av FDS standard [17] och bidrar till färre antal fel och mindre instabilitet i beräkningarna än då osynkroniserade tidssteg användes som standard [29]. För att förbättra noggrannheten av lösningen av tryck mellan flera mesher användes funktionen `PRESSURE_CORRECTION=TRUE`. Med kommandot aktiverat konserveras volymen mellan använda mesher [10, 16]. Mer om funktionen återfinns i referenserna [10, 17].

De i känslighetsanalysen ingående meshindelningarna återfinns i kapitel 5.



Figur 2.4 Fyra olika uniforma varianter av meshindelning för parallella beräkningar på fyra processorer. Figuren återger de tre möjliga varianterna av meshindelning i en dimension samt en möjlig variant av meshindelning i två dimensioner.

2.7.3 Känslighet för val av tidsintervall för medelvärdesbildning

För den kvantitativa jämförelsen mellan den seriella referensen och de parallella beräkningarna identifierades det tidsintervall över vilken en medelvärdesbildning görs som en eventuellt känslig parameter. En känslighetsanalys på tidsintervallet storlek gjordes därför för att undersöka dess påverkan på resultatet. De tidsintervall som valdes att ingå i denna analys var 10, 30 och 60 sekunder. Det kortare tidsintervallet, 10 sekunder, användes som en markör för en mer teoretisk reliabilitet hos FDS. De längre tidsintervallen valdes för att se till ett användarperspektiv med FDS där exempelvis brandgasspridning, utrymning eller steady state utvärderas.

3

FIRE DYNAMICS SIMULATOR

Detta kapitel innehåller en beskrivning av den undersökta fältmodellen Fire Dynamics Simulator. Detta kapitel berör endast funktionaliteten och teorin bakom FDS ytligt och den intresserade hänvisas till referenserna [10, 15, 17] för en mer detaljerad återgivning då detta inte är en del av projektets huvudsakliga mål. Grundläggande teori om Computational Fluid Dynamics återges i bilaga C.

Fire Dynamics Simulator (FDS) är en fältmodell främst använd för modellering av fluida flöden drivna av en brand. Utvecklingen görs av National Institute of Standards and Technology (NIST) i USA och har pågått under cirka 25 års tid i olika former.

3.1 Grundläggande komponenter

Den hydrodynamiska modellen i FDS löser en form av Navier-Stokes-ekvationer, lämpade för termisk drivna flöden med låg hastighet, på numerisk väg med tyngdpunkt på brandgas-spridning och värmetransport från branden [10, 17]. Turbulens löses med *Large Eddy Simulation* (LES) av Smagorinskyform [17]. Möjlighet till *Direct Numerical Simulation* (DNS) finns om gridnätet består av tillräckligt små celler.

Förbränning modelleras som standard av en "Mixture Fraction Model" för att följa bränslet från dess källa genom förbränningsprocessen. Förenklat antar modellen att förbränningen är blandningskontrollerad och att reaktionen mellan bränsle och syre sker momentant oavsett temperatur, ett lämpligt antagande för välventilerade bränder [10]. För exempelvis underventilerade bränder, där bränsle och syre kan blandas utan att förbrännas, är de underliggande fysiska mekanismerna mer komplexa. Det finns, mer avancerade, förbränningsmodeller i FDS som tar hänsyn till att kemiska reaktioner kan ske i olika steg, men den enklare modellen anses, för många tillämpningar, vara en fullgod approximation [10].

Värmetransport genom strålning kan behandlas på två olika sätt av FDS. Den ena metoden antar en grå gas där lika strålning ges över alla frekvenser, medan den andra så kallade "wide band"-modellen delar upp strålningsfrekvenserna i sex olika band [10, 17]. Den förstnämnda är den vanligast tillämpade och utgör standardvalet i FDS. Antagandet om en grå gas är lämpligt för brandmodellering då huvuddelen av strålningen vid större bränder kommer från sot och där detta har ett kontinuerligt strålningspektra [15]. Då "grå gas"-approximationen används löser FDS strålningstransportekvationen (Radiation Transport Equation, RTE) genom att använda en algoritm för en numerisk finit volym tillsammans med absorptionskoefficienten hos gas- och sotblandningen [10, 15, 17]. Den rumsliga diskretiseringen av strålningstransportekvationen uppnås genom att dela upp den sfäriska strålningen i fasta vinklar, vilka är 104 till antalet som standard [15]. Detta ger en god precision nära strålningskroppen men ett sämre resultat längre ifrån som en följd av att strålarna sprids ut mer på en längre sträcka.

FDS tilldelar alla solida ytor termiska gränsvillkor samt information om hur material beter sig då det brinner. Värme- och masstransport till och från solida ytor hanteras med hjälp av empiriska korrelationer. För LES-beräkningar används en kombination av naturlig och påtvingad konvektion för att bestämma den konvektiva värmeöverföringen [15]. Det är möjligt att beräkna värme- och masstransporten direkt då en *Direct Numerical Simulation*

(DNS) utförs [10, 17]. Om solida material antas termisk tjocka används en endimensionell värmeledningsekvation för att bestämma dess temperatur och förbränningshastighet medan temperaturen är homogen genom hela kroppen om materialet anses vara termiskt tunt [15].

3.2 Reliabilitet och validitet

I en av de tekniska referenserna till FDS5 [10] beskrivs att den modell (sett till FDS som helhet) som används, ursprungligen togs fram för att analysera bränder i ”industriell skala”. För dessa ändamål förutspås, beroende på den numeriska gridens storlek, temperatur och flödes hastigheter med en felmarginal på 10-20 % av experimentella mätningar om värmeutvecklingen (HRR) specificeras. För scenarion där värmeutvecklingen förutspås istället för att specificeras anger den tekniska referensen att modellosäkerheten är ännu högre.

En verifiering och känslighetsanalys av FDS matematiska och numeriska robusthet görs inte i detta projekt. Detta har gjorts i tidigare rapporter [11, 15] dit intresserade läsare hänvisas. De matematiska och numeriska metoderna presenteras i sin helhet i referens [10]. Validering mot experimentella data har gjorts i stor omfattning och många är sammanfattade i referens [12].

3.3 FDS och parallella beräkningar

I FDS finns det möjlighet till parallella beräkningar [17], det vill säga beräkningar som utförs på mer än en processor, vilket beskrivs mer ingående i kapitel 4. Detta kräver att ett så kallat *message passing interface* (MPI) installeras på de datorer som ska räkna på problemet för att ta hand om kommunikationen mellan de olika processorerna. MPI beskrivs vidare i kapitel 4.3. Parallella versioner av FDS finns färdigkompileerade för operativsystemen Windows, Linux och Mac OSX, men för vissa konfigurationer och beroende på installerat MPI-bibliotek kan en specifik version behöva kompileras för ett tänkt system. För kompileringen används en källkod som är densamma för alla system.

I dagsläget kräver den parallella versionen av FDS att användaren skapar lika många meshes som det antal processorer som ska användas men planer på att häva denna restriktion finns för framtiden [16].

4

PARALLELLA BERÄKNINGAR

I detta kapitel introduceras läsaren till parallella beräkningar vilket stora delar av detta projekt bygger på. Kapitlet inleds med tanken bakom parallella beräkningar och avslutas med mer detaljbaserade avsnitt som en grund inför kommande diskussioner.

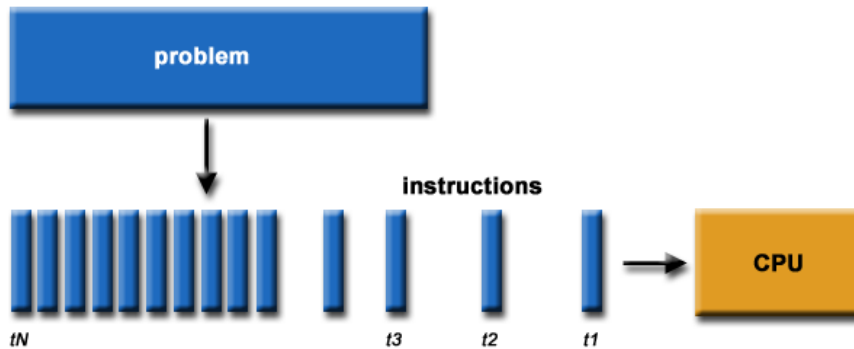
4.1 Varför parallella beräkningar?

Traditionellt sett har datormjukvaror skrivits för seriella beräkningar. För att kunna lösa ett problem konstrueras och implementeras en algoritm som ett seriellt flöde av instruktioner. Dessa instruktioner exekveras en åt gången av en dators processor. När en instruktion är slutförd påbörjas nästa, se Figur 4:1. [30]

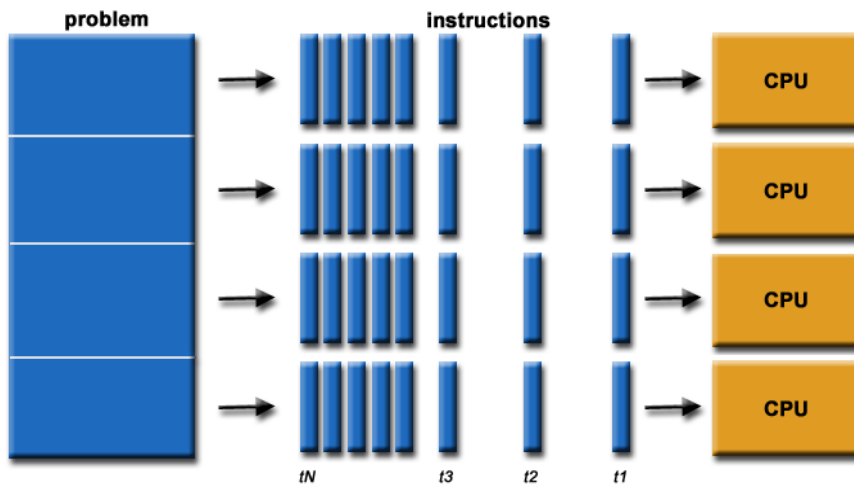
Parallella beräkningar däremot klarar av att hantera multipla processelement samtidigt för att lösa ett problem. Detta åstadkommes genom att bryta ner problemet i delar så att varje processelement kan exekvera sin del av algoritmen samtidigt som de andra, se Figur 4:2. Processelementen kan vara olikartade och inkludera resurser så som en dator med multipla processorer, flera datorer sammankopplade i ett nätverk (ett så kallat kluster), specialiserad hårdvara eller en kombination av alla nämnda varianter. [30]

Det finns en rad fördelar med att kunna utföra beräkningar parallellt. Fyra stora fördelar är:

- **Tidsbesparing.** Tillsammans kan flera processorer lösa samma problem som en ensam processor på kortare tid.
- **Lösa större problem.** Datorkapaciteten på en dator räcker inte alltid till för att kunna utföra större arbeten. Med parallella beräkningar kan resurser från flera datorer användas.
- **Simultankapacitet.** Flera processorer medför möjligheten att hantera flera oberoende processer samtidigt på ett effektivt sätt.
- **Redundans.** Beroende på mjukvara kan en process som misslyckas eller tappar prioritet återupptas/flyttas till en annan processor [6].



Figur 4:1 Traditionell seriell behandling av en beräkning. Från "Introduction to Parallel Computing" [30] av B. Barney, *Livermore Computing*, 2008. Reproducerad med tillstånd.



Figur 4:2 Parallell behandling av en beräkning på fyra processorer. Från "Introduction to Parallel Computing" [30] av B. Barney, *Livermore Computing*, 2008. Reproducerad med tillstånd.

4.2 Typer av parallella nätverk

Det finns i grund och botten två typer av parallella nätverk; homogena samt heterogena nätverk. Ett homogent nätverk består av datorer med samma processorarkitektur, operativsystem och mjukvarubibliotek. Ett heterogent nätverk består av datorer som skiljer sig på någon av dessa punkter, det vill säga alla kombinationer utom just det homogena. [31]

För att kunna dra nytta av all datorkapacitet i ett heterogent nätverk på ett effektivt sätt bör koden som exekveras kunna tillämpa *Dynamic Load Balancing* (DLB). Med detta menas att varje dator i ett kluster tilldelas en lämplig mängd arbete i förhållande till dess kapacitet. Detta görs för att hela processen inte ska stanna upp och vänta på de beräkningar som görs av den datorn med minst kapacitet. Med hjälp av DLB kan även en beräkning på en processor, som belastas av en annan process i alltför stor grad, omprioriteras och delvis skickas till en processor som är mindre belastad. [6] DLB används av bland annat CFD-koden SMARTFIRE för att kunna utnyttja befintliga kontorsdatorer med olika konfigurationer för att utföra beräkningarna så effektivt som möjligt [6]. DLB används inte av FDS som istället måste få definierat vilken processor som ska räkna på en viss del av problemet och saknar möjlighet till automatisk omfördelning av arbetsbördan [17].

4.3 Processorkommunikation och MPI

För att kunna utföra parallella beräkningar krävs kommunikation mellan de använda processorerna. För FDS sker denna kommunikation i dagsläget med hjälp av *Message Passing Interface* (MPI) [17]. MPI är en biblioteksspecifikation innehållande information om hur ett bibliotek ska skrivas för att göra det möjligt för flera processorer att kommunicera med varandra så att beräkningarna kan utföras parallellt. Tanken bakom MPI är att etablera en praktisk, effektiv och flexibel standard för informationsbyte [32]. MPI är inte en IEEE eller ISO standard men har i själva verket blivit industristandarden när det kommer till att skriva program för ”message passing”-programvara [32].

4.4 Amdahls lag

Amdahls lag, även känt som Amdahls argument, är uppkallat efter en dataforskare vid namn Gene Amdahl [33] och används för att finna den maximala förväntade förbättringen hos ett system när bara en del av systemet förbättras. Amdahls lag används ofta vid parallella beräkningar för att kunna förutspå den maximala tidsvinsten då multipla processorer används. Detta förutsätter dock att storleken på problemet är den samma även när det parallelliseras.

I princip all parallell kod består av en seriell del och en parallell del. Tidsvinsten vid parallella beräkningar är begränsad till tiden det tar att utföra den seriella delen av koden. Amdahls lag ger, om P är proportionen av ett program som kan parallelliseras och $(1-P)$ är andelen som inte kan parallelliseras, den maximala tidsvinsten som kan uppnås då N processorer används som [34]:

$$\frac{1}{(1-P) + \frac{P}{N}}$$

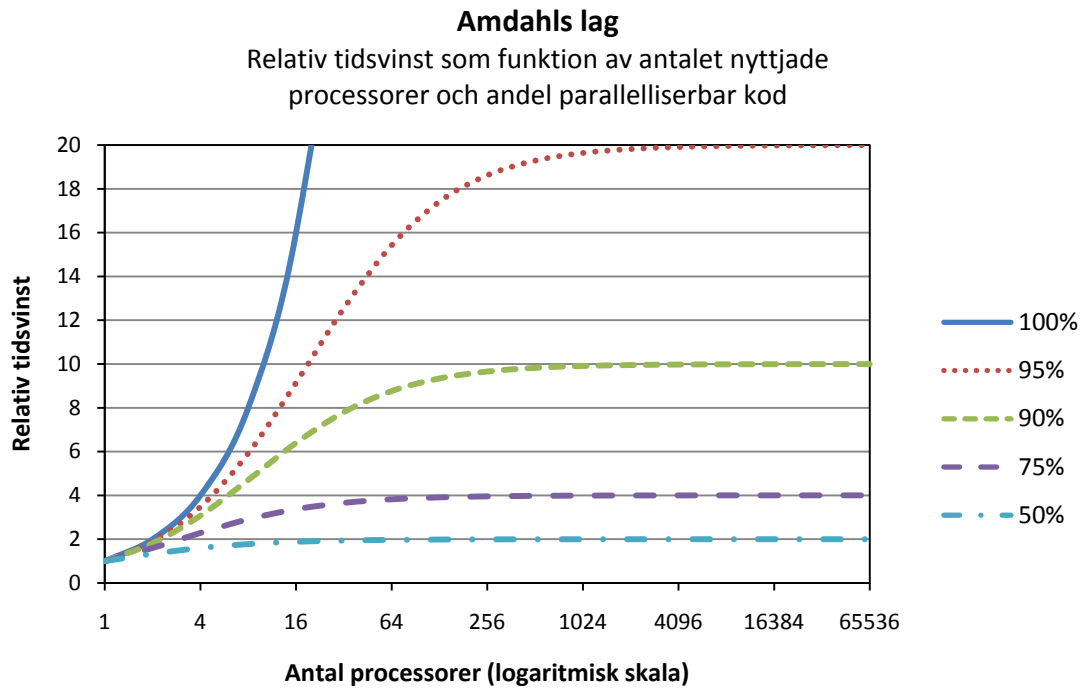
[Ekv. 4:1]

Om ett program exempelvis behöver 100 timmar för att utföra en uppgift på en processor, och en särskild del på fem timmar inte kan parallelliseras medan de återstående 95 timmarna (95 %) kan parallelliseras, så spelar det ingen roll hur många processorer som tilldelas beräkningarna, den minimala tiden för exekvering kan inte bli mindre än den kritiska tiden på fem timmar. Detta medför att den maximala relativa tidsvinsten blir 20 gånger. I Figur 4:3 åskådliggörs konsekvensen av Amdahls lag sett till antalet använda processorer och andelen parallelliserbar kod.

Då N går mot oändligheten kan uttrycket [Ekv. 4:1] förenklas till $1/(1-P)$. Detta betyder att en relativ ökning av tidsvinsten snabbt blir mindre då antalet processorer, N , ökar även om andelen kod som inte är parallelliserbar är liten. På grund av detta är parallella beräkningar, sett ur ett tidsperspektiv, mest effektivt för antingen ett mindre antal processorer eller för problem med mycket höga värden på P , så kallade ”embarrassingly parallel problems”. En stor del av utmaningen för parallell programmering består i att försöka reducera $(1-P)$ till det minsta möjliga värdet.

Undantagsvis erhålls tidsvinster större än N då N processorer används, så kallade superlinjära tidsvinster. Detta kan verka förvirrande då det strider mot Amdahls lag, men en förklaring är att när problemet delas upp i tillräckligt många bitar kan varje del bli så pass liten att dessa får plats i processorn egna minne, den så kallad cachén [8]. Detta gör att använ-

dandet av RAM sjunker drastiskt, till skillnad från en seriell referens där stora delar av problemet normalt måste lagras i RAM vilket tar längre tid.



Figur 4:3 Visualisering av Amdahls lag. X-axeln är logaritmisk med basen två.

5

SCENARIO- OCH BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR

I detta kapitel återges kortfattat förutsättningar och en beskrivning av de två scenarier som använts för att utvärdera Fire Dynamics Simulator för parallella beräkningar. Mer detaljerade förutsättningar för genomförda beräkningar återges i bilaga B.

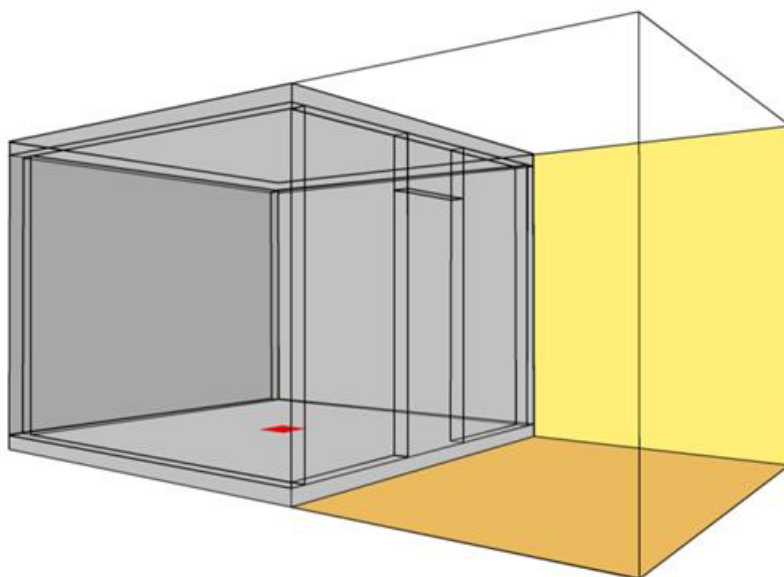
5.1 Scenario A

Steckler, Quintiere och Rinkinen [23] genomförde 55 fullskaleförsök med varierande effektutveckling, öppningsstorlekar och brandplaceringar. Brandrummets dimensioner var 2,8 x 2,8 x 2,18 meter (B x D x H). Instrument användes för att bland annat uppmäta temperaturer i ett av brandrummets hörn samt för att uppmäta temperaturer och hastigheter i brandrummets öppning.

För scenario A valdes ett av försöken med en i brandrummet centralt placerad brand, en effektutveckling på 158 kW och en dörröppning på 0,74 x 1,83 meter (B x H), se Figur 5:1. Materialet i väggar och tak specificerades enligt Tabell 5:1. Använd gridstorlek motsvarade en cellstorlek på cirka 2,8 centimeter ($D^*/\delta x = 16$) och baserades på genomförd känslighetsanalys, se bilaga A. Beräkningsdomänen bestod totalt av ca 1,75 miljoner celler. Beräkningsdomänen expanderades två meter utanför brandrummet i x-led för att inte störa flödesbilden. Detta möjliggjorde studier av neutralplanets höjd i dörröppningen samt den modellerade dörrplymen.

Tabell 5:1 Egenskaper för väggmaterial, scenario A

Egenskap	Ansatt värde
Specifik värmekapacitet	1,13 kJ/kgK
Termisk konduktivitet	0,18 W/mK
Densitet	870 kg/m ³
Tjocklek	0,1 m



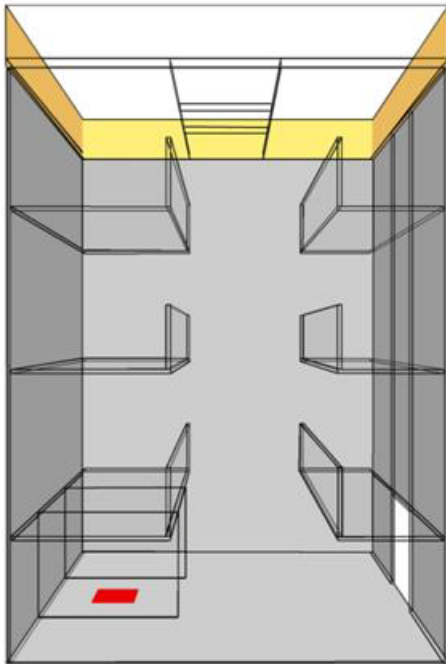
Figur 5:1 Geometri, scenario A. Brandens placering markerad i rött.

5.2 Scenario B

För scenario B användes ett fiktivt atrium för att utvärdera kapaciteten av en tänkt brandgasventilation. Det fiktiva atriet har för brandmodelleringen antagits ha dimensionerna 8 x 8 x 11 meter (B x D x H), se Figur 5:2. Atriet delades in i fyra plan inklusive bottenplan. På bottenplan modellerades en öppning för tilluft på 2 x 2,1 meter (B x H) och i atriets tak en öppning på 2 x 2 meter (B x D) för den tänkta brandgasventilationen. Branden, placerad på bottenplan, specificerades med en effektutveckling på cirka 2000 kW och antogs representera en brand i en större möbel. Materialet i väggar och tak specificerades enligt Tabell 5:2. Använd gridstorlek motsvarade en cellstorlek på cirka 7,4 centimeter ($D^*/\delta x = 16$) och baserades på genomförd känslighetsanalys, se bilaga A. Beräkningsdomänen bestod totalt av ca 1,89 miljoner celler.

Tabell 5:2 Egenskaper för väggmaterial, scenario B

Egenskap	Ansatt värde
Specifik värmekapacitet	0,88 kJ/kgK
Termisk konduktivitet	2,1 W/mK
Densitet	2400 kg/m ³
Tjocklek	0,1 m



Figur 5:2 Geometri, scenario B. Brandens placering markerad i rött.

5.3 Gemensamma förutsättningar

Modellerings tiden för samtliga deluppsättningar av scenario A och scenario B valdes till 600 sekunder.

I båda scenarierna användes bränslet metan vars förbrännings- och strålningsegenskaper erhållits ur referens [35].

Utvärderade kvantiteter, enligt avsnitt 2.5, uppmättes i ett antal varierade positioner, avseende höjd, djup och direkt påverkan av brandgaser, inom respektive scenario för att öka reliabiliteten i studiens resultat. Positionerna valdes som tänkta punkter för en brandteknisk dimensionering. I scenario A utvärderades kvantiteterna i brandrummet och öppningen till detta samt styrdes till viss del av Steckler, Quintiere och Rinkinen [23] försöksuppställning. I scenario B utvärderades kvantiteterna även utanför brandrummet i den övriga geometrin. I Tabell 5:3 återges antalet mätpunkter för de utvärderade kvantiteterna i respektive scenario. Effektutvecklingen behandlades ur den kommaseparerade filen *CHID_brr.csv* vilken genererades per automatik vid varje beräkning med FDS.

Tabell 5:3 Antalet mätpunkter för utvärderade kvantiteter i respektive scenario

Kvantitet	Scenario A	Scenario B
Effektutveckling	1	1
Gastemperatur	36	33
Värmeöverföring ($\dot{q}_r'' + \dot{q}_c''$)	8	8
Värmeöverföring (\dot{q}_r'')	8	8
Massflöde	1	3
Gashastighet	16	12
Väggtemperatur	8	10
Brandgaslagrets höjd	1	1
Brandgaslagrets temperatur	2	2
Syrgaskoncentration	2	2
Tryck	2	2
Röktäthet	2	2

De meshkonfigurationer som var tänkta att beräknas återfinns i Tabell 5:4. För att särskilja genomförda beräkningar infördes ett benämningssystem av formen:

Scenario_antalprocessorer_mesmindelning.

Fyra exempel på detta benämningssystem ges nedan:

- A_N1_0 innebär beräkningar av scenario A på en processor utan uppdelning av beräkningsdomänen.
- $A_N4_X2_Z2$ innebär beräkningar av scenario A på fyra processorer med en meshindelning där beräkningsdomänen delats upp i två delar i dimensionen x och i två delar i dimensionen z (jämför Figur 2:4) och på så sätt utgör totalt fyra mesher.
- $B_N27_X3_Y3_Z3$ innebär beräkningar av scenario B på 27 processorer med en meshindelning där beräkningsdomänen delats upp i tre delar i vardera av dimensionerna x, y och z.
- Benämningar som slutar på ett enkelt X, Y eller Z, som exempelvis A_N4_X (jämför Figur 2:4), innebär att beräkningsdomänen endast delats i en dimension motsvarande N delar.

Anledningen till att beräkningsdomänerna i scenario A och B inte delades in på exakt samma sätt grundas i praktiska skäl.

Tabell 5:4 Tänkta meshkonfigurationer för beräkning

Scenario A	Scenario B
A_N1_0	B_N1_0
A_N2_X	B_N2_X
A_N2_Y	B_N2_Y
A_N2_Z	B_N2_Z
A_N4_X2_Y2	B_N4_X2_Y2
A_N4_Y2_Z2	B_N4_X2_Z2
A_N6_X	B_N6_X
A_N6_Y	B_N6_Y
A_N6_Z	B_N6_Z
A_N6_X3_Y2	B_N6_X2_Y3
A_N6_X3_Z2	B_N6_X2_Z3
A_N18_X	B_N18_X
A_N18_Y	B_N18_Y
A_N18_Z	B_N18_Z
A_N18_X3_Y2_Z3	B_N18_X2_Y3_Z3
A_N36_X	B_N27_X
A_N36_Y	B_N27_Y
A_N36_X4_Y3_Z3	B_N27_Z
	B_N27_X3_Y3_Z3

6 RESULTAT

I detta kapitel återges de resultat som erhöles och de observationer som gjordes under projektets gång. En del resultat återges deskriptivt medan andra återges numeriskt och grafiskt. Resultaten analyseras och diskuteras mer utförligt i kapitel 7.

6.1 Förundersökningar

De inledande undersökningarna visade att seriella beräkningar med FDS ger identiska resultat givet att samma indatafil, operativsystem, processorarkitektur och kompilator används, se Tabell 6:1. Även parallella beräkningar, under samma förutsättningar som för de seriella beräkningarna, ger inbördes identiska resultat. Således är repeterbarheten av resultaten garanterad medan reproducerbarheten av erhållna resultat är begränsad till det använda systemet Milleotto vid Lunarc [19] och de förutsättningar som ges i bilaga B. Försök visar även att den seriellt respektive parallellt kompilerade versionen av FDS ger identiska resultat givet tidigare beskrivna förutsättningar samt att endast en mesh används. Försök med att använda den i FDS inkluderade möjligheten att återuppta beräkningar (RESTART), visade att identiska resultat ej erhöles i jämförelse med beräkningar som tilläts fortgå hela beräkningstiden ut. Resultaten av förundersökningarna diskuteras vidare i kapitel 7.2.

Tabell 6:1 Resultat och jämförelse av inledande undersökningar

Förutsättningar		Identiska resultat	
Beräkning 1	Beräkning 2	Ja	Nej
AMD 1	AMD 1	X	
AMD 1	AMD 2	X	
AMD 1	Intel 1		X
Klusterkörning 1	Klusterkörning 2	X	
Seriell kluster	Parallell kluster	X	
Seriell kluster	Restart		X

AMD 1 A_N1_0 beräknad på AMD baserad dator med Windows som operativsystem.

AMD 2 A_N1_0 beräknad på AMD baserad dator med Windows som operativsystem, bärvarumässigt identisk med AMD 1.

Intel 1 A_N1_0 beräknad på Intel baserad dator med Windows som operativsystem.

Klusterkörning 1 A_N36_X4_Y3_Z3 beräknad på datorklustret Milleotto.

Klusterkörning 2 Samma förutsättningar som för Klusterkörning 1, dock med skillnaden att inte samma noder eller processorer användes.

Seriell kluster A_N1_0 beräknad på datorklustret Milleotto med seriellt kompilerad källkod av FDS.

Parallell kluster Samma förutsättningar som för Seriell kluster, dock med parallellt kompilerad källkod av FDS.

Restart Samma förutsättningar som för Seriell kluster, dock avbruten och omstartad två gånger med hjälp av den inbyggda restartfunktionen.

6.2 Kvantitativ jämförelse

I Figur 6:1 till Figur 6:4 ges inledningsvis en temperatur- och hastighetsprofil, 30 sekunder in i brandförloppet, för de två undersökta scenariernas referenser A_N1_0 respektive B_N1_0. Detta för att läsaren skall få en uppfattning av den flödesbild som utvecklades.

I Figur 6:5 till Figur 6:7 presenteras beräknade data för en temperaturmätning och en mätning av gashastigheten för scenario A respektive en temperaturmätning för scenario B. Fi-

gurena återger resultaten för samtliga slutförda parallella beräkningar i jämförelse mot respektive referensberäkning. Jämförelsen baseras på medelvärden över ett 60 sekunders intervall för att återkoppla till brandteknisk dimensionering.

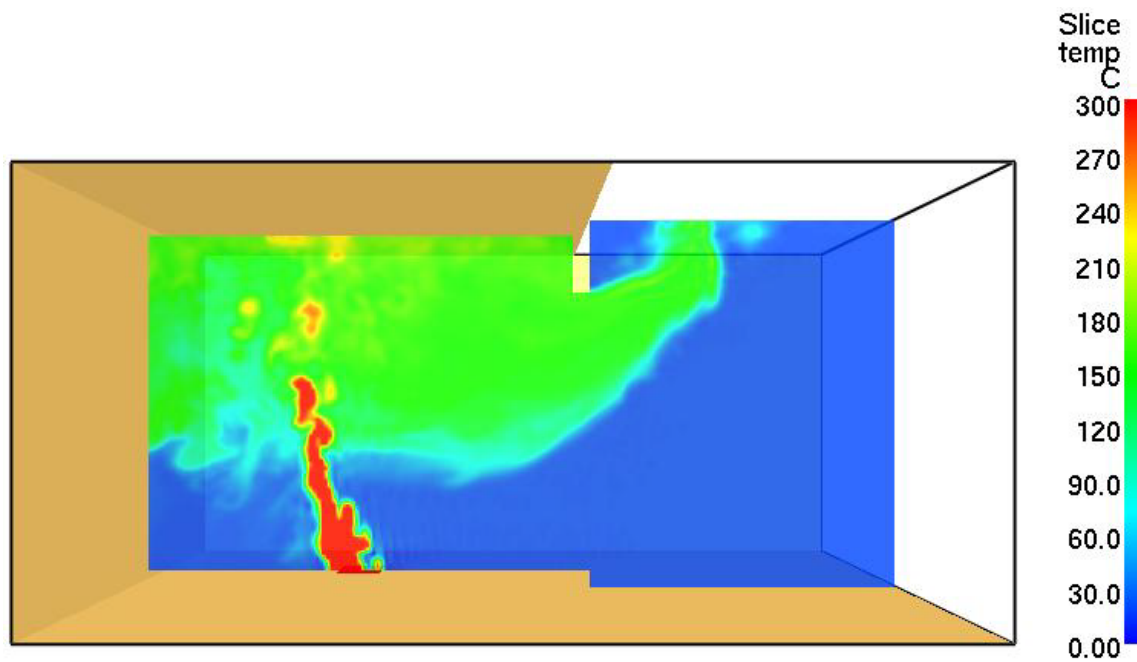
I Figur 6:8 till Figur 6:29 och Tabell 6:2 till Tabell 6:23 återges erhållna resultat som den positiva relativa differensen, $\epsilon_{\Delta t}$, dels grafiskt med boxplots [36] dels med beskrivande statistik. I boxarnas underkant ges första kvartilen (25:e percentilen) och i deras överkant tredje kvartilen (75:e percentilen). I boxarna finns även medianen markerad. Boxarnas längds motsvaras av kvartilavståndet inom vilket 50 % av observationerna återfinns. Från boxarnas över- och underkanter har linjer dragits ut för att ange var övriga observationer, utom extremvärden, befinner sig. Värden som ligger mer än en och en halv gånger kvartilavståndet under respektive över första och tredje kvartilen är uteliggare. Beskrivande statistik som återges är antalet observationer (N), medelvärde (Mean), standardavvikelsen (StDev), minimum, första kvartilen (Q1), medianen, tredje kvartilen (Q3), maximum och antalet uteliggare (# outliers).

I detta kapitel återges endast de kvantitativa resultaten, i boxplots och tabeller, då tidsmedelvärdesintervallet valdes till 10 sekunder. Resultaten av känslighetsanalysen för övriga intervall återges i bilaga D och diskuteras vidare i kapitel 7.

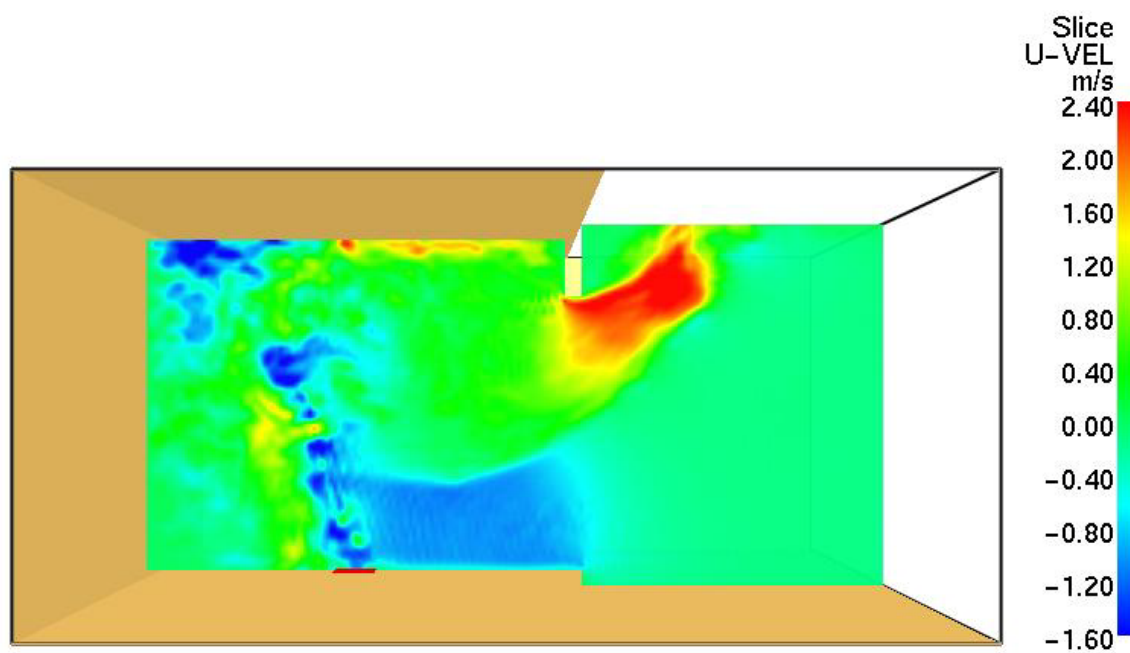
För scenario B har endast de inledande 300 av de 600 beräknade sekunderna av brandförloppet utvärderats. Detta som en följd av att underventilerade förhållanden uppstod under beräkningarnas senare delar, vilket diskuteras vidare i kapitel 7.

Massflöde, brandgaslagrets höjd och brandgaslagrets temperatur gick ej att utvärdera i alla beräkningar på grund av begränsningar i FDS, vilket diskuteras vidare i kapitel 7.3.

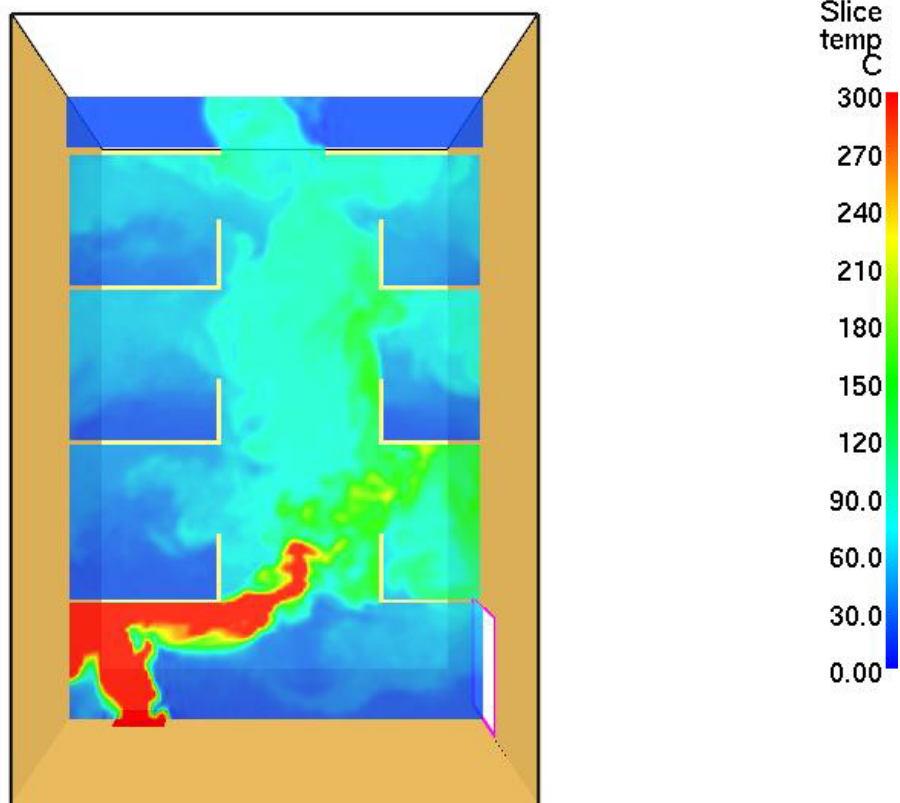
På grund av okända anledningar (diskuteras i kapitel 7.3) kunde ett par tänkta beräkningar inte slutföras. Dessa redovisas ej i de grafiska boxplottarna och inte heller i den beskrivande statistiken. De beräkningar som inte slutfördes var A_N18_Z, A_N36_Y, B_N18_X och B_N27_X.



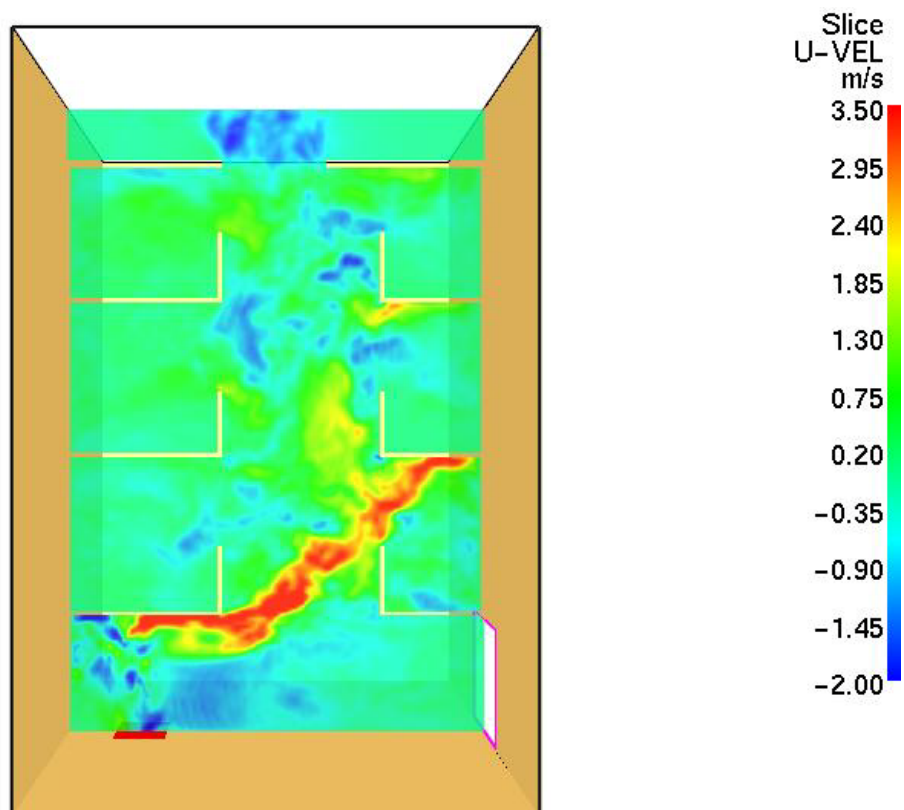
Figur 6:1 Tvärsnittsprofil utmed mittlinje för temperaturen i scenario A_N1_0 , 30 sekunder in i brandförloppet.



Figur 6:2 Tvärsnittsprofil utmed mittlinje för flödesbastighet (u -komponent) i scenario A_N1_0 , 30 sekunder in i brandförloppet.

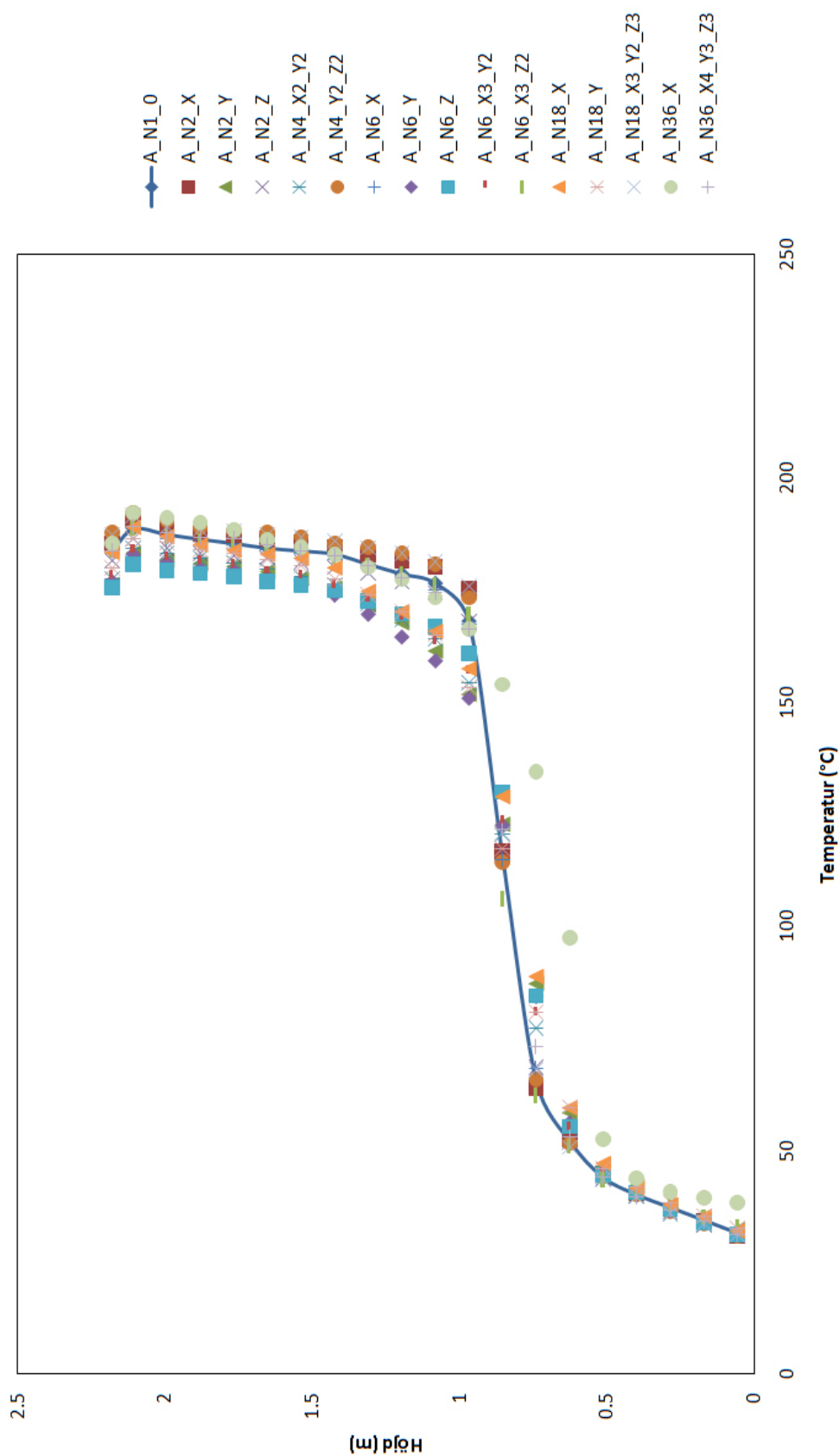


Figur 6:3 Tvärsnittprofil utmed mittlinje för temperaturen i scenario B_N1_0, 30 sekunder in i brandförloppet.

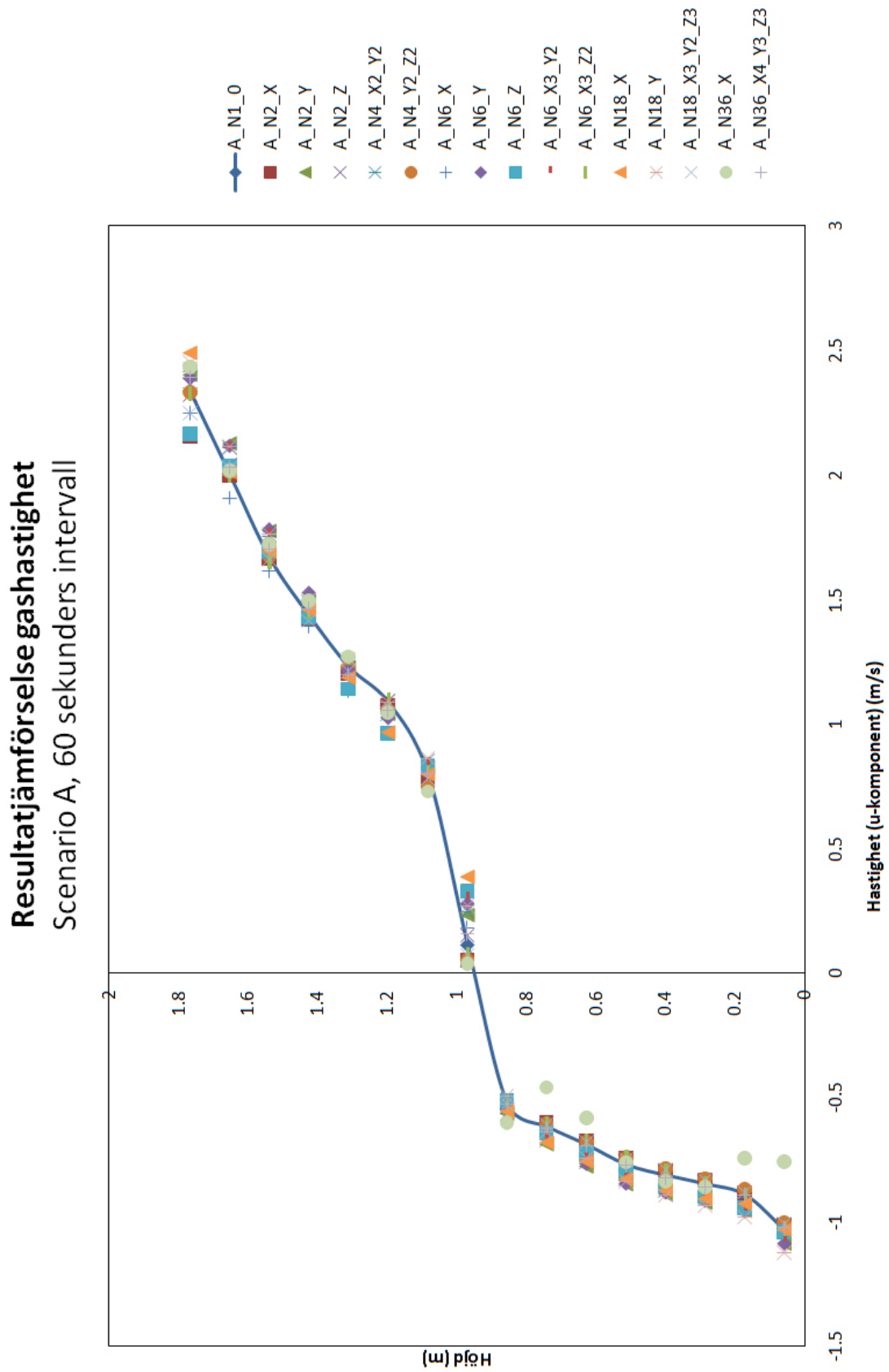


Figur 6:4 Tvärsnittprofil utmed mittlinje för flödes hastighet (u-komponent) i scenario B_N1_0, 30 sekunder in i brandförloppet.

Resultatjämförelse gastemperatur Scenario A, 60 sekunders intervall

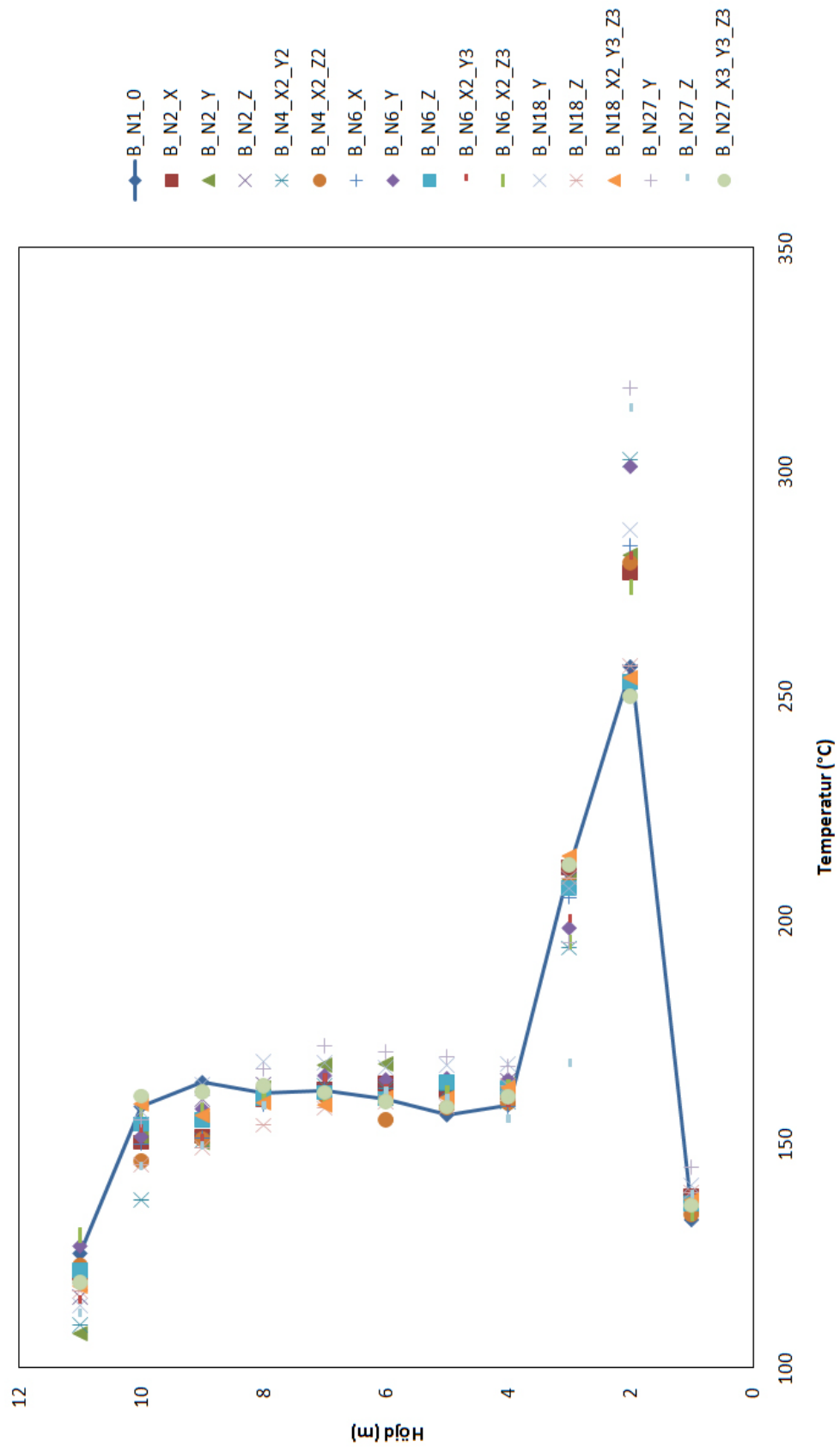


Figur 6:5 Temperaturprofiler i brandrummet för scenario A. Redovisade resultat är baserade på ett medelvärde under brandmodelleringens sista minut.

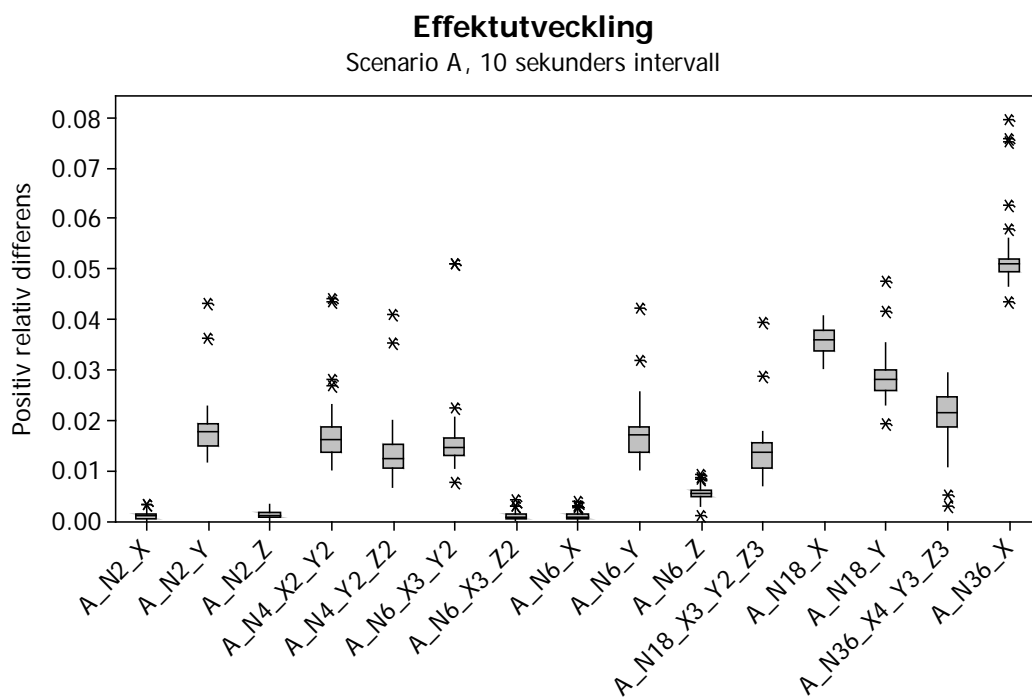


Figur 6:6 Hastighetsprofiler i brandrummets dörröppning för scenario A. Redovisade resultat är baserade på ett medelvärde under brandmodelleringens sista minut.

Resultatjämförelse gastemperatur
 Scenario B, 60 sekunders intervall



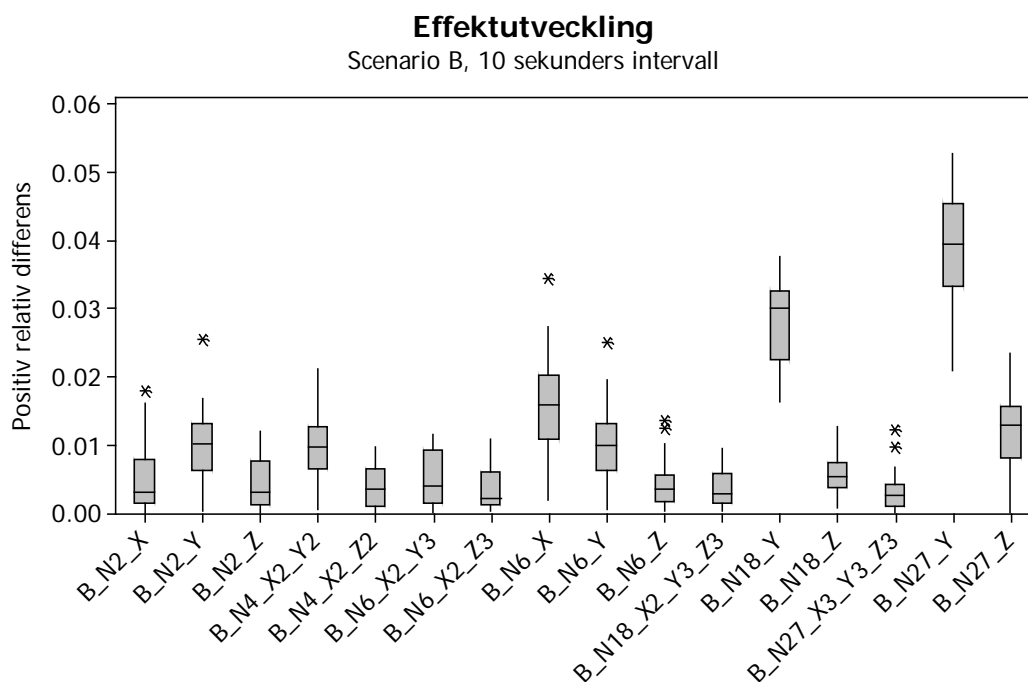
Figur 6:7 Temperaturprofiler i atriets centrala delar för scenario B. Redovisade resultat är baserade på ett medelvärde under brandmodelleringens femte minut.



Figur 6:8 Boxplot med positiv relativ differens för effektutveckling, scenario A, 10 sekunders intervall.

Tabell 6:2 Beskrivande statistik för dataunderlaget till effektutveckling, scenario A, 10 sekunders intervall

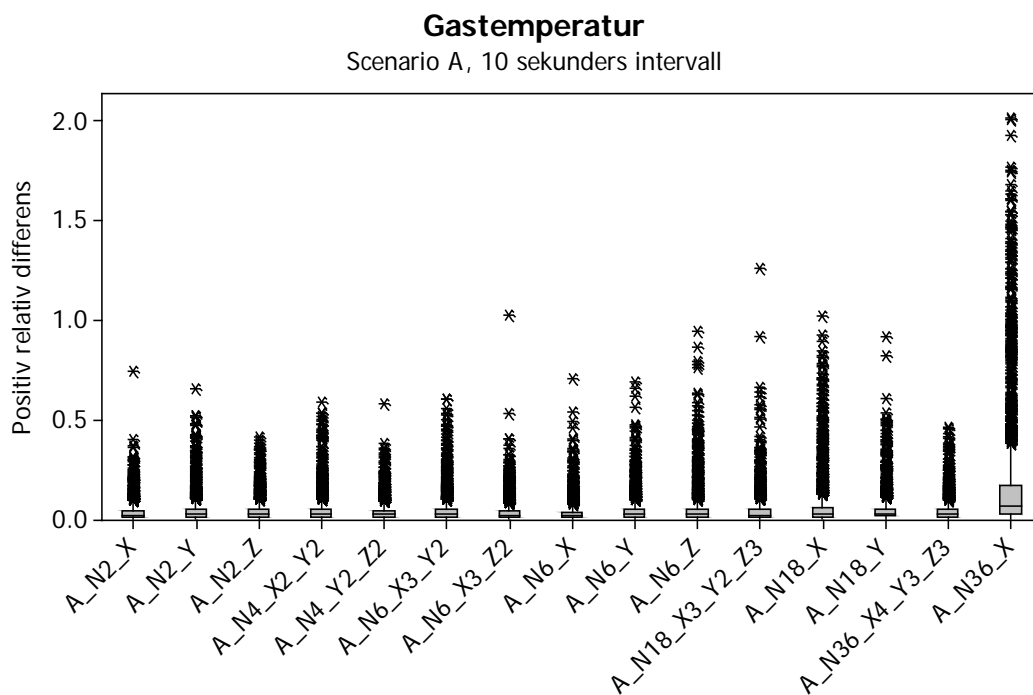
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
A_N2_X	60	0,0010	0,0008	<0,0000	0,0003	0,0009	0,0014	0,0033	2
A_N2_Y	60	0,0178	0,0050	0,0115	0,0148	0,0175	0,0192	0,0430	2
A_N2_Z	60	0,0011	0,0007	0,0001	0,0005	0,0009	0,0016	0,0031	0
A_N4_X2_Y2	60	0,0171	0,0063	0,0100	0,0137	0,0160	0,0186	0,0441	4
A_N4_Y2_Z2	60	0,0133	0,0057	0,0065	0,0103	0,0123	0,0152	0,0410	2
A_N6_X3_Y2	60	0,0158	0,0071	0,0075	0,0129	0,0145	0,0163	0,0511	4
A_N6_X3_Z2	60	0,0010	0,0008	<0,0000	0,0004	0,0008	0,0014	0,0040	3
A_N6_X	60	0,0009	0,0008	<0,0000	0,0004	0,0007	0,0012	0,0037	5
A_N6_Y	60	0,0171	0,0050	0,0100	0,0137	0,0170	0,0185	0,0422	2
A_N6_Z	60	0,0055	0,0014	0,0011	0,0047	0,0055	0,0061	0,0092	4
A_N18_X3_Y2_Z3	60	0,0135	0,0048	0,0069	0,0105	0,0137	0,0153	0,0395	2
A_N18_X	60	0,0357	0,0026	0,0303	0,0338	0,0359	0,0377	0,0405	0
A_N18_Y	60	0,0283	0,0042	0,0193	0,0259	0,0279	0,0300	0,0475	3
A_N36_X4_Y3_Z3	60	0,0208	0,0048	0,0027	0,0186	0,0216	0,0244	0,0292	2
A_N36_X	60	0,0522	0,0064	0,0436	0,0493	0,0509	0,0521	0,0796	6



Figur 6:9 Boxplot med positiv relativ differens för effektutveckling, scenario B, 10 sekunders intervall.

Tabell 6:3 Beskrivande statistik för dataunderlaget till effektutveckling, scenario B, 10 sekunders intervall

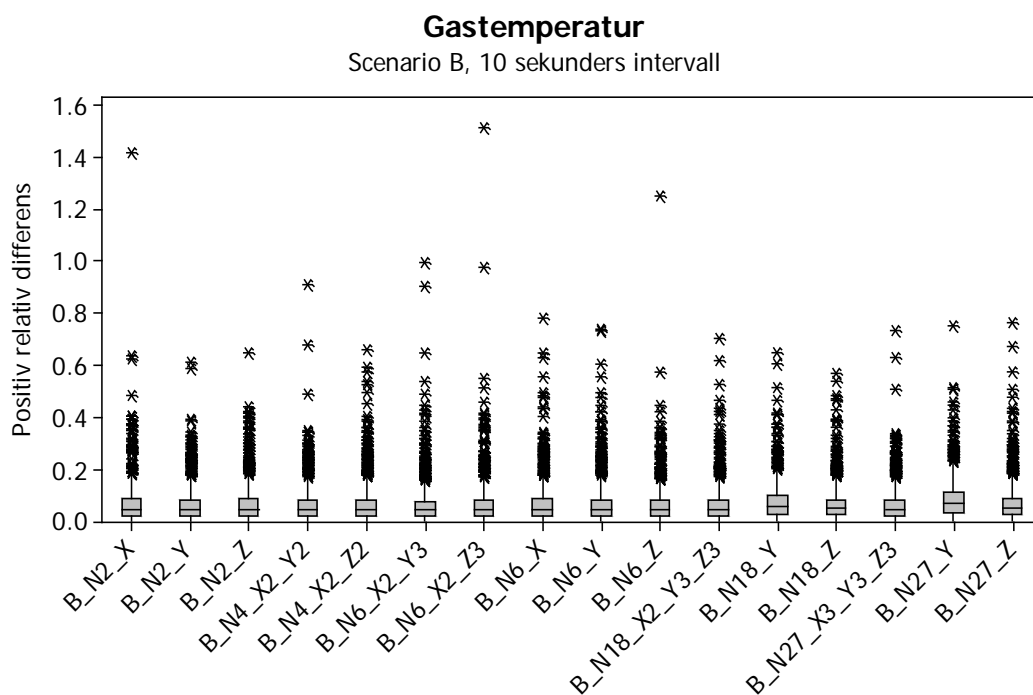
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
B_N2_X	30	0,0051	0,0049	0,0001	0,0013	0,0029	0,0078	0,0179	1
B_N2_Y	30	0,0098	0,0053	0,0002	0,0062	0,0101	0,0132	0,0254	1
B_N2_Z	30	0,0045	0,0038	0,0001	0,0011	0,0030	0,0076	0,0120	0
B_N4_X2_Y2	30	0,0100	0,0048	0,0004	0,0064	0,0097	0,0126	0,0211	0
B_N4_X2_Z2	30	0,0038	0,0030	0,0001	0,0010	0,0035	0,0064	0,0096	0
B_N6_X2_Y3	30	0,0051	0,0039	0,0001	0,0015	0,0040	0,0091	0,0115	0
B_N6_X2_Z3	30	0,0034	0,0030	0,0002	0,0011	0,0021	0,0059	0,0109	0
B_N6_X	30	0,0161	0,0070	0,0019	0,0109	0,0159	0,0203	0,0345	1
B_N6_Y	30	0,0100	0,0057	0,0005	0,0062	0,0100	0,0131	0,0250	1
B_N6_Z	30	0,0042	0,0034	0,0002	0,0017	0,0036	0,0055	0,0136	2
B_N18_X2_Y3_Z3	30	0,0035	0,0026	0,0002	0,0014	0,0028	0,0058	0,0094	0
B_N18_Y	30	0,0279	0,0062	0,0164	0,0225	0,0302	0,0325	0,0376	0
B_N18_Z	30	0,0056	0,0032	0,0006	0,0036	0,0052	0,0074	0,0127	0
B_N27_X3_Y3_Z3	30	0,0030	0,0029	0,0001	0,0009	0,0026	0,0042	0,0122	2
B_N27_Y	30	0,0388	0,0084	0,0208	0,0332	0,0396	0,0455	0,0529	0
B_N27_Z	30	0,0117	0,0059	<0,0000	0,0080	0,0128	0,0156	0,0235	0



Figur 6:10 Boxplot med positiv relativ differens för gastemperatur, scenario A, 10 sekunders intervall.

Tabell 6:4 Beskrivande statistik för dataunderlaget till gastemperatur, scenario A, 10 sekunders intervall

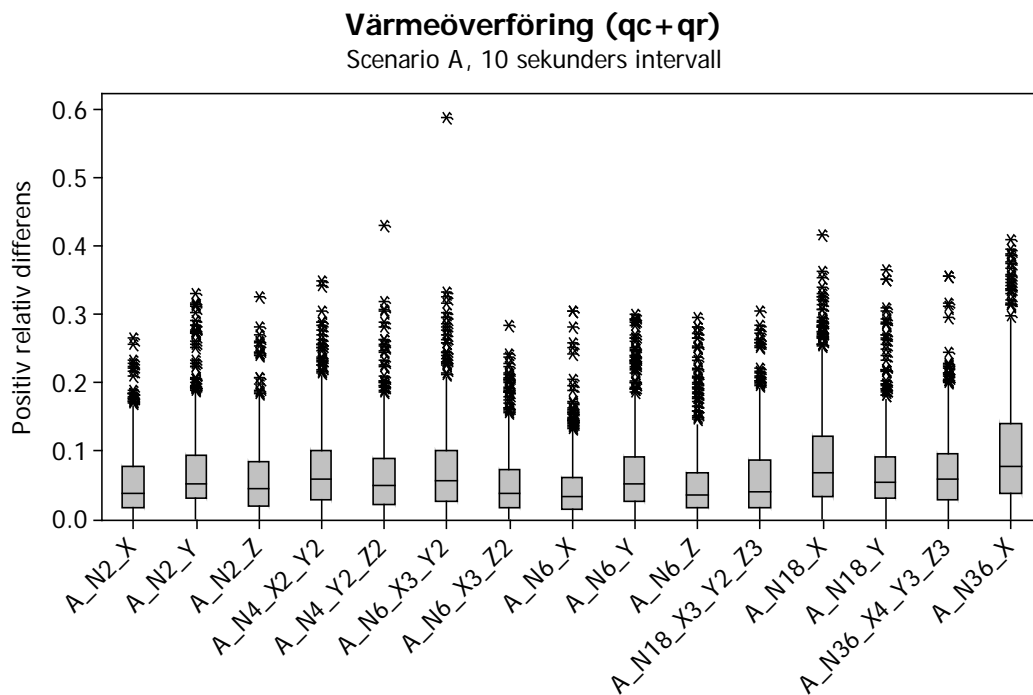
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
A_N2_X	2160	0,0322	0,0460	<0,0000	0,0060	0,0172	0,0406	0,7438	152
A_N2_Y	2160	0,0422	0,0635	<0,0000	0,0105	0,0220	0,0463	0,6498	199
A_N2_Z	2160	0,0357	0,0477	<0,0000	0,0078	0,0204	0,0445	0,4121	150
A_N4_X2_Y2	2160	0,0419	0,0627	<0,0000	0,0110	0,0229	0,0474	0,5876	181
A_N4_Y2_Z2	2160	0,0345	0,0454	<0,0000	0,0077	0,0205	0,0423	0,5818	169
A_N6_X3_Y2	2160	0,0421	0,0639	<0,0000	0,0100	0,0224	0,0454	0,6084	198
A_N6_X3_Z2	2160	0,0325	0,0516	<0,0000	0,0055	0,0161	0,0378	1,0262	191
A_N6_X	2160	0,0301	0,0487	<0,0000	0,0054	0,0149	0,0358	0,7056	159
A_N6_Y	2160	0,0410	0,0599	<0,0000	0,0104	0,0221	0,0465	0,6890	186
A_N6_Z	2160	0,0458	0,0836	<0,0000	0,0077	0,0210	0,0465	0,9462	189
A_N18_X3_Y2_Z3	2160	0,0380	0,0680	<0,0000	0,0068	0,0190	0,0444	1,2579	151
A_N18_X	2160	0,0588	0,1082	<0,0000	0,0105	0,0253	0,0564	1,0204	207
A_N18_Y	2160	0,0473	0,0690	<0,0000	0,0132	0,0274	0,0515	0,9176	197
A_N36_X4_Y3_Z3	2160	0,0368	0,0505	<0,0000	0,0079	0,0207	0,0442	0,4591	163
A_N36_X	2160	0,1636	0,2820	<0,0000	0,0217	0,0637	0,1668	2,0137	233



Figur 6:11 Boxplot med positiv relativ differens för gastemperatur, scenario B, 10 sekunders intervall.

Tabell 6:5 Beskrivande statistik för dataunderlaget till gastemperatur, scenario B, 10 sekunders intervall

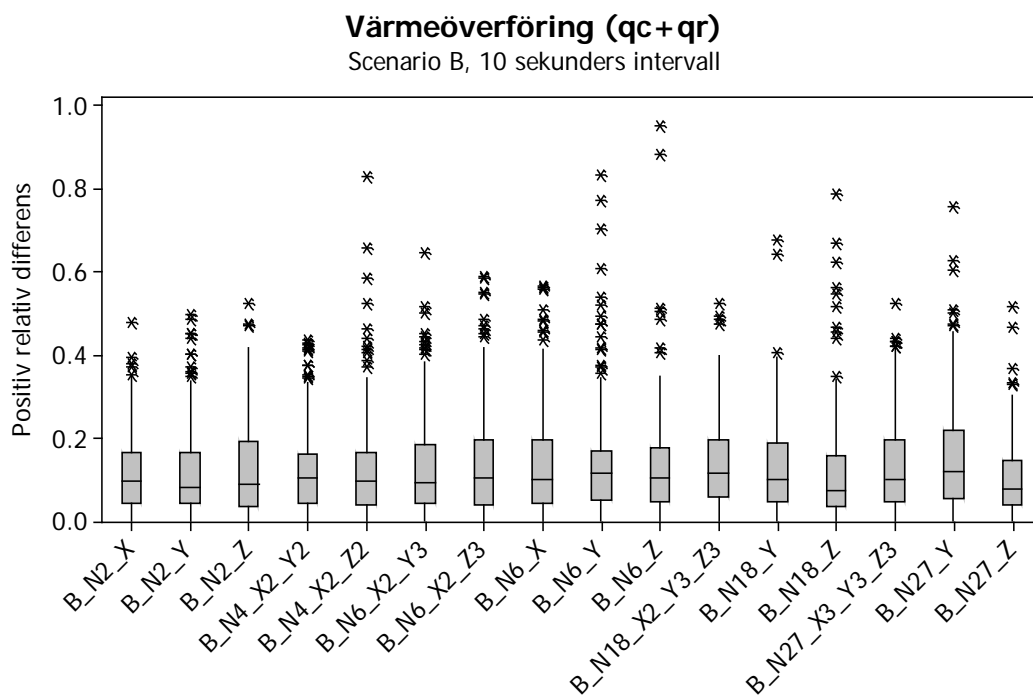
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
B_N2_X	990	0,0655	0,0831	0,0001	0,0194	0,0441	0,0839	1,4143	51
B_N2_Y	990	0,0608	0,0642	<0,0000	0,0185	0,0431	0,0818	0,6083	54
B_N2_Z	990	0,0638	0,0710	<0,0000	0,0181	0,0432	0,0826	0,6451	63
B_N4_X2_Y2	990	0,0607	0,0688	<0,0000	0,0181	0,0420	0,0800	0,9087	55
B_N4_X2_Z2	990	0,0639	0,0750	<0,0000	0,0195	0,0414	0,0811	0,6590	67
B_N6_X2_Y3	990	0,0625	0,0792	<0,0000	0,0197	0,0410	0,0741	0,9956	73
B_N6_X2_Z3	990	0,0658	0,0869	0,0001	0,0203	0,0442	0,0809	1,5146	62
B_N6_X	990	0,0656	0,0761	<0,0000	0,0208	0,0447	0,0834	0,7846	60
B_N6_Y	990	0,0660	0,0778	<0,0000	0,0193	0,0451	0,0819	0,7384	67
B_N6_Z	990	0,0619	0,0731	<0,0000	0,0201	0,0434	0,0772	1,2539	57
B_N18_X2_Y3_Z3	990	0,0610	0,0689	<0,0000	0,0179	0,0420	0,0791	0,7046	56
B_N18_Y	990	0,0711	0,0709	0,0001	0,0242	0,0540	0,0953	0,6463	44
B_N18_Z	990	0,0641	0,0674	<0,0000	0,0216	0,0464	0,0822	0,5672	62
B_N27_X3_Y3_Z3	990	0,0608	0,0679	<0,0000	0,0174	0,0411	0,0777	0,7344	66
B_N27_Y	990	0,0830	0,0738	<0,0000	0,0329	0,0642	0,1118	0,7533	36
B_N27_Z	990	0,0672	0,0731	0,0001	0,0218	0,0474	0,0854	0,7635	58



Figur 6:12 Boxplot med positiv relativ differens för värmeöverföring ($\dot{q}_r'' + \dot{q}_c''$), scenario A, 10 sekunders intervall.

Tabell 6:6 Beskrivande statistik för dataunderlaget till värmeöverföring ($\dot{q}_r'' + \dot{q}_c''$), scenario A, 10 sekunders intervall

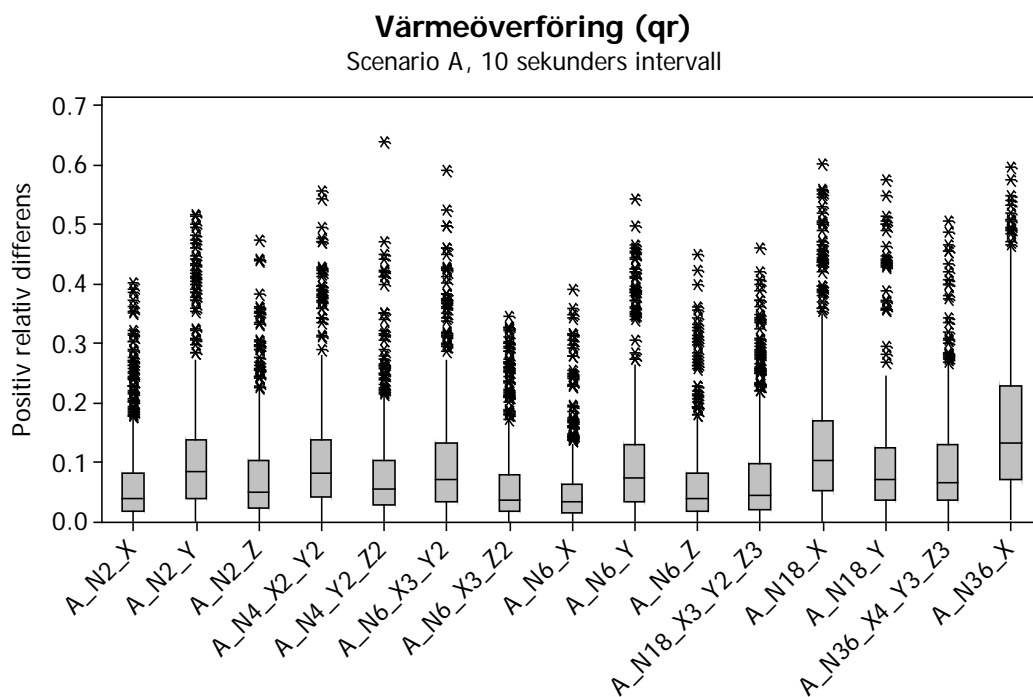
Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
A_N2_X	480	0,0535	0,0503	0,0003	0,0158	0,0372	0,0766	0,2659	20
A_N2_Y	480	0,0727	0,0645	0,0005	0,0292	0,0522	0,0926	0,3301	35
A_N2_Z	480	0,0599	0,0555	0,0001	0,0193	0,0435	0,0847	0,3251	16
A_N4_X2_Y2	480	0,0750	0,0638	0,0002	0,0286	0,0579	0,1010	0,3504	24
A_N4_Y2_Z2	480	0,0647	0,0605	0,0001	0,0221	0,0489	0,0877	0,4300	25
A_N6_X3_Y2	480	0,0741	0,0688	0,0005	0,0261	0,0553	0,1002	0,5891	25
A_N6_X3_Z2	480	0,0524	0,0496	0,0001	0,0174	0,0371	0,0724	0,2841	26
A_N6_X	480	0,0460	0,0469	0,0001	0,0141	0,0322	0,0605	0,3062	28
A_N6_Y	480	0,0700	0,0639	0,0006	0,0255	0,0523	0,0901	0,3002	35
A_N6_Z	480	0,0533	0,0557	0,0002	0,0166	0,0361	0,0671	0,2969	36
A_N18_X3_Y2_Z3	480	0,0611	0,0594	0,0002	0,0166	0,0397	0,0865	0,3044	20
A_N18_X	480	0,0897	0,0781	0,0003	0,0332	0,0672	0,1201	0,4165	32
A_N18_Y	480	0,0697	0,0628	<0,0000	0,0302	0,0542	0,0904	0,3654	32
A_N36_X4_Y3_Z3	480	0,0702	0,0585	0,0003	0,0274	0,0573	0,0962	0,3564	19
A_N36_X	480	0,1016	0,0858	0,0002	0,0362	0,0775	0,1402	0,4112	21



Figur 6:13 Boxplot med positiv relativ differens för värmeöverföring ($\dot{q}_r'' + \dot{q}_c''$), scenario B, 10 sekunders intervall.

Tabell 6:7 Beskrivande statistik för dataunderlaget till värmeöverföring ($\dot{q}_r'' + \dot{q}_c''$), scenario B, 10 sekunders intervall

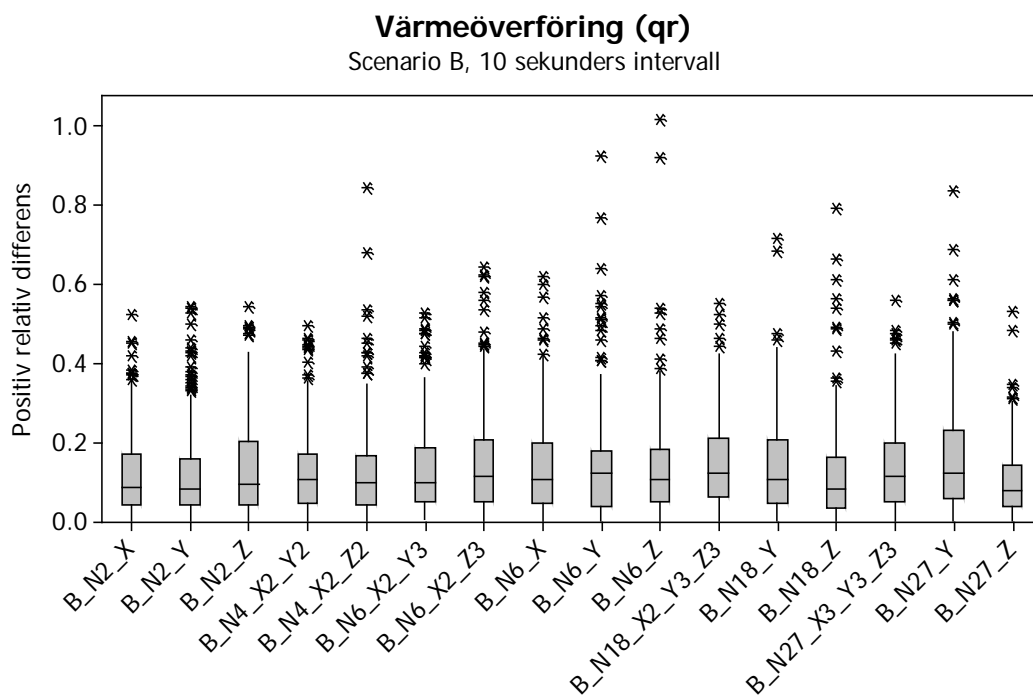
Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
B_N2_X	240	0,1171	0,0973	0,0003	0,0419	0,0940	0,1658	0,4761	5
B_N2_Y	240	0,1152	0,1061	0,0006	0,0423	0,0783	0,1622	0,4978	11
B_N2_Z	240	0,1269	0,1099	0,0006	0,0361	0,0893	0,1919	0,5220	3
B_N4_X2_Y2	240	0,1230	0,1005	0,0003	0,0437	0,1022	0,1609	0,4355	11
B_N4_X2_Z2	240	0,1234	0,1198	0,0001	0,0380	0,0949	0,1640	0,8282	11
B_N6_X2_Y3	240	0,1280	0,1113	0,0006	0,0418	0,0913	0,1830	0,6438	10
B_N6_X2_Z3	240	0,1377	0,1253	0,0017	0,0399	0,1015	0,1948	0,5879	9
B_N6_X	240	0,1350	0,1228	0,0007	0,0405	0,0995	0,1944	0,5647	9
B_N6_Y	240	0,1371	0,1319	0,0002	0,0492	0,1129	0,1696	0,8336	15
B_N6_Z	240	0,1280	0,1203	0,0019	0,0468	0,1040	0,1738	0,9516	7
B_N18_X2_Y3_Z3	240	0,1361	0,1024	0,0018	0,0588	0,1133	0,1957	0,5229	4
B_N18_Y	240	0,1287	0,1098	0,0005	0,0456	0,0985	0,1869	0,6749	3
B_N18_Z	240	0,1144	0,1211	0,0001	0,0350	0,0718	0,1578	0,7859	10
B_N27_X3_Y3_Z3	240	0,1299	0,1093	0,0006	0,0442	0,1001	0,1945	0,5232	6
B_N27_Y	240	0,1534	0,1315	0,0002	0,0516	0,1187	0,2167	0,7572	7
B_N27_Z	240	0,1016	0,0852	<0,0000	0,0366	0,0769	0,1463	0,5162	5



Figur 6:14 Boxplot med positiv relativ differens för värmeöverföring (\dot{q}_r), scenario A, 10 sekunders intervall.

Tabell 6:8 Beskrivande statistik för dataunderlaget till värmeöverföring (\dot{q}_r), scenario A, 10 sekunders intervall

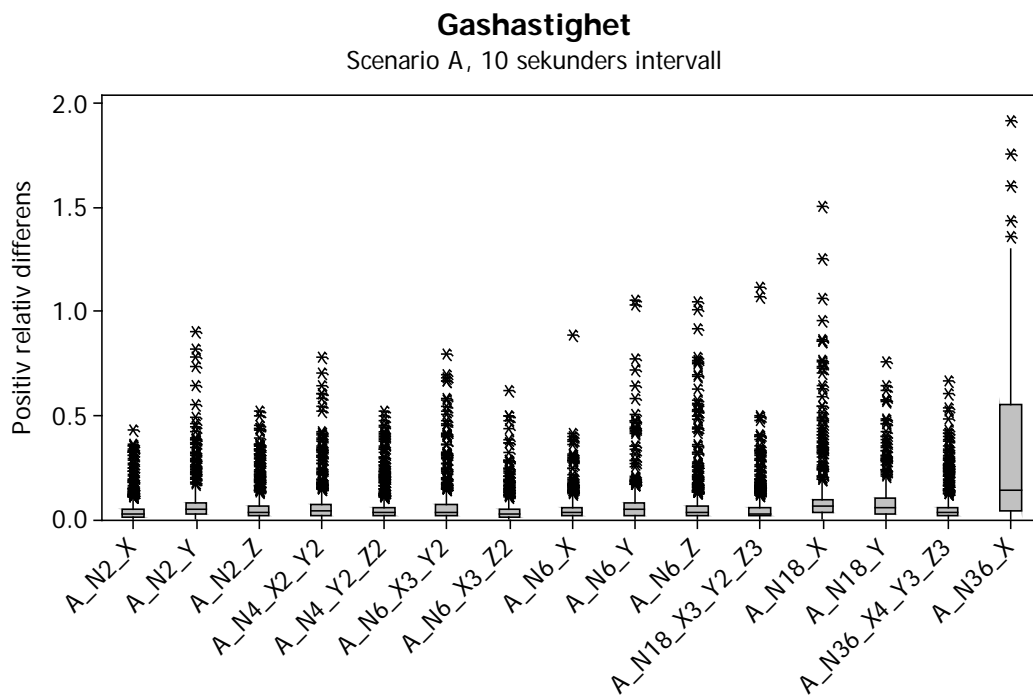
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
A_N2_X	480	0,0646	0,0763	<0,0000	0,0152	0,0375	0,0800	0,4004	46
A_N2_Y	480	0,1058	0,1011	<0,0000	0,0373	0,0829	0,1352	0,5141	33
A_N2_Z	480	0,0769	0,0828	0,0003	0,0200	0,0473	0,1009	0,4715	34
A_N4_X2_Y2	480	0,1044	0,0958	<0,0000	0,0398	0,0799	0,1358	0,5552	29
A_N4_Y2_Z2	480	0,0802	0,0857	0,0001	0,0269	0,0546	0,1013	0,6384	36
A_N6_X3_Y2	480	0,1010	0,0999	0,0004	0,0330	0,0699	0,1309	0,5892	34
A_N6_X3_Z2	480	0,0630	0,0731	<0,0000	0,0152	0,0342	0,0773	0,3453	48
A_N6_X	480	0,0516	0,0632	0,0001	0,0140	0,0324	0,0610	0,3902	44
A_N6_Y	480	0,1019	0,1016	0,0003	0,0330	0,0719	0,1284	0,5428	36
A_N6_Z	480	0,0648	0,0747	0,0005	0,0172	0,0376	0,0801	0,4487	38
A_N18_X3_Y2_Z3	480	0,0778	0,0864	0,0001	0,0190	0,0437	0,0966	0,4601	43
A_N18_X	480	0,1291	0,1157	0,0003	0,0503	0,1004	0,1687	0,6002	37
A_N18_Y	480	0,0947	0,0958	0,0005	0,0350	0,0687	0,1240	0,5748	24
A_N36_X4_Y3_Z3	480	0,0930	0,0892	0,0002	0,0336	0,0644	0,1269	0,5053	25
A_N36_X	480	0,1613	0,1219	0,0016	0,0695	0,1309	0,2280	0,5949	14



Figur 6:15 Boxplot med positiv relativ differens för värmeöverföring (q_r), scenario B, 10 sekunders intervall.

Tabell 6:9 Beskrivande statistik för dataunderlaget till värmeöverföring (q_r), scenario B, 10 sekunders intervall

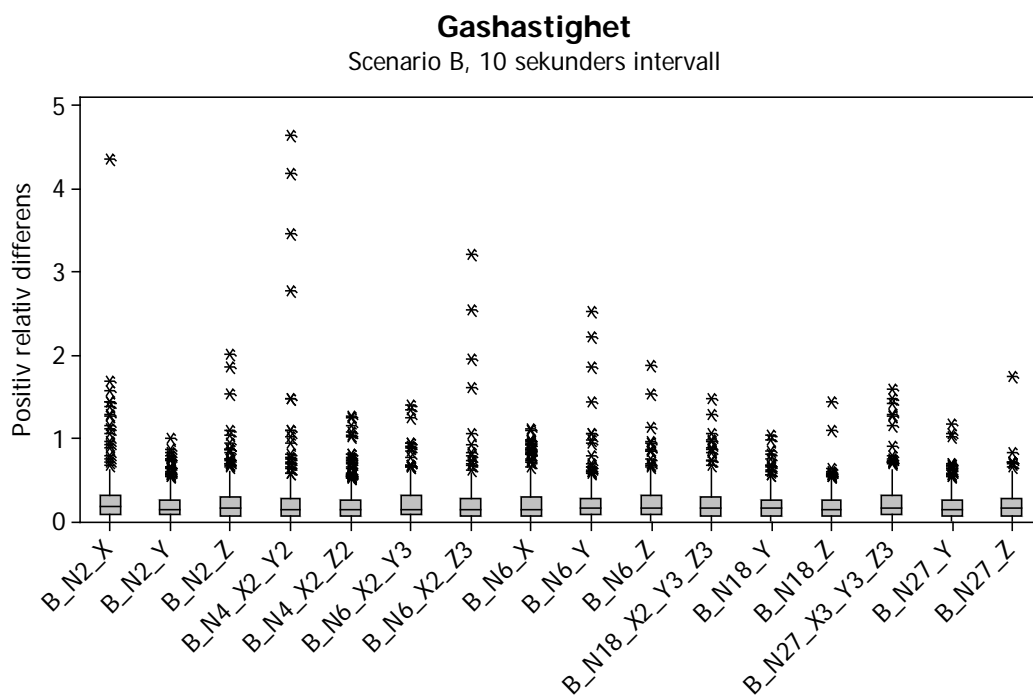
Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
B_N2_X	240	0,1175	0,1011	0,0006	0,0414	0,0860	0,1670	0,5226	9
B_N2_Y	240	0,1201	0,1147	0,0003	0,0411	0,0806	0,1547	0,5413	19
B_N2_Z	240	0,1320	0,1185	0,0003	0,0383	0,0910	0,2021	0,5405	6
B_N4_X2_Y2	240	0,1261	0,1050	0,0014	0,0453	0,1050	0,1679	0,4923	10
B_N4_X2_Z2	240	0,1254	0,1204	0,0007	0,0397	0,0957	0,1664	0,8434	12
B_N6_X2_Y3	240	0,1318	0,1137	0,0022	0,0469	0,0957	0,1863	0,5258	13
B_N6_X2_Z3	240	0,1472	0,1333	0,0005	0,0491	0,1134	0,2055	0,6437	10
B_N6_X	240	0,1388	0,1230	0,0017	0,0458	0,1037	0,1949	0,6173	8
B_N6_Y	240	0,1410	0,1397	0,0001	0,0354	0,1187	0,1752	0,9228	14
B_N6_Z	240	0,1329	0,1269	0,0001	0,0492	0,1050	0,1822	1,0147	8
B_N18_X2_Y3_Z3	240	0,1451	0,1080	0,0011	0,0611	0,1223	0,2101	0,5492	5
B_N18_Y	240	0,1350	0,1185	0,0002	0,0425	0,1056	0,2053	0,7159	4
B_N18_Z	240	0,1163	0,1221	0,0003	0,0335	0,0793	0,1597	0,7898	10
B_N27_X3_Y3_Z3	240	0,1361	0,1119	0,0012	0,0469	0,1105	0,1979	0,5564	6
B_N27_Y	240	0,1606	0,1405	0,0008	0,0558	0,1219	0,2295	0,8341	8
B_N27_Z	240	0,1013	0,0872	0,0015	0,0375	0,0752	0,1424	0,5290	6



Figur 6:16 Boxplot med positiv relativ differens för gashastighet, scenario A, 10 sekunders intervall.

Tabell 6:10 Beskrivande statistik för dataunderlaget till gashastighet, scenario A, 10 sekunders intervall

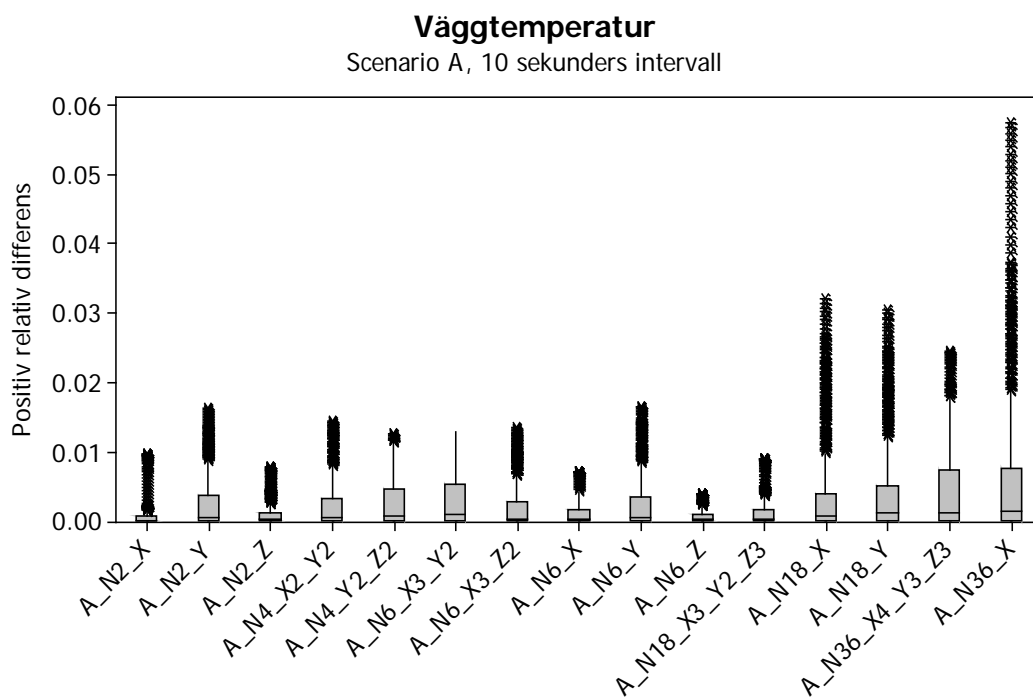
Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
A_N2_X	960	0,0397	0,0522	<0,0000	0,0109	0,0239	0,0485	0,4280	61
A_N2_Y	960	0,0619	0,0821	0,0001	0,0192	0,0431	0,0778	0,9041	43
A_N2_Z	960	0,0499	0,0668	0,0001	0,0141	0,0302	0,0601	0,5204	63
A_N4_X2_Y2	960	0,0555	0,0777	<0,0000	0,0156	0,0356	0,0670	0,7766	54
A_N4_Y2_Z2	960	0,0454	0,0655	<0,0000	0,0134	0,0278	0,0501	0,5173	73
A_N6_X3_Y2	960	0,0571	0,0855	0,0001	0,0149	0,0342	0,0660	0,7944	61
A_N6_X3_Z2	960	0,0396	0,0566	0,0001	0,0098	0,0236	0,0494	0,6171	50
A_N6_X	960	0,0435	0,0552	0,0001	0,0136	0,0297	0,0565	0,8819	44
A_N6_Y	960	0,0613	0,0858	<0,0000	0,0174	0,0423	0,0781	1,0531	38
A_N6_Z	960	0,0585	0,1061	<0,0000	0,0149	0,0303	0,0597	1,0447	77
A_N18_X3_Y2_Z3	960	0,0466	0,0773	0,0001	0,0115	0,0248	0,0528	1,1158	72
A_N18_X	960	0,0863	0,1227	0,0003	0,0334	0,0641	0,0954	1,5018	51
A_N18_Y	960	0,0732	0,0790	0,0002	0,0242	0,0540	0,0968	0,7579	36
A_N36_X4_Y3_Z3	960	0,0489	0,0686	<0,0000	0,0133	0,0305	0,0554	0,6669	62
A_N36_X	960	0,3010	0,3330	0,0003	0,0373	0,1375	0,5504	1,9186	5



Figur 6:17 Boxplot med positiv relativ differens för gashastighet, scenario B, 10 sekunders intervall.

Tabell 6:11 Beskrivande statistik för dataunderlaget till gashastighet, scenario B, 10 sekunders intervall

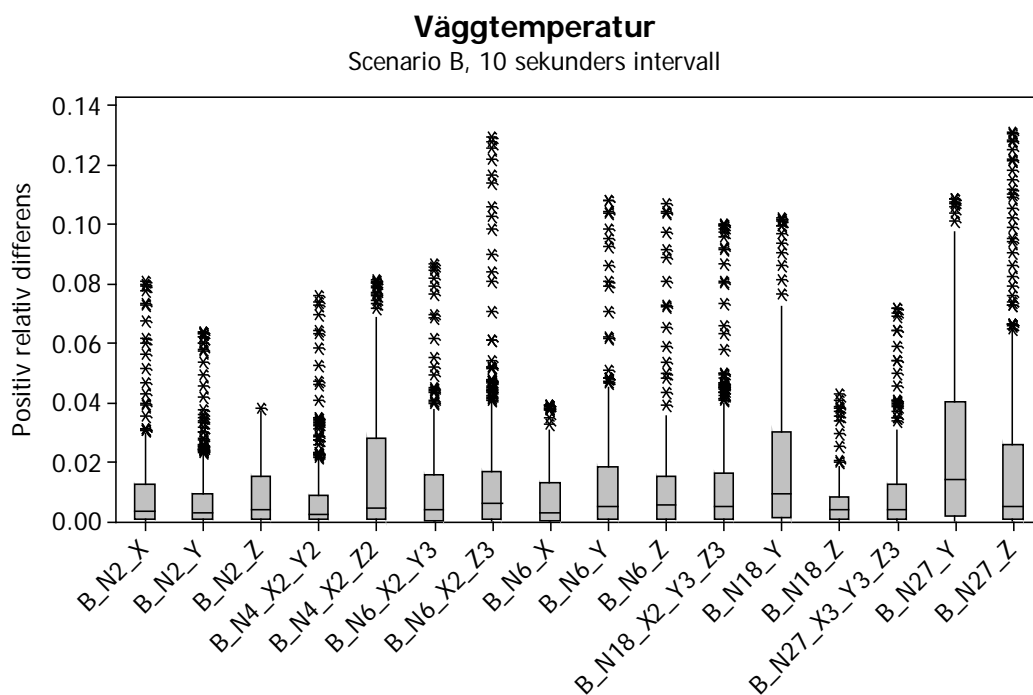
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
B_N2_X	360	0,2462	0,3297	0,0005	0,0812	0,1662	0,3135	4,3420	18
B_N2_Y	360	0,1844	0,1718	0,0014	0,0670	0,1262	0,2505	1,0004	19
B_N2_Z	360	0,2173	0,2399	0,0003	0,0615	0,1464	0,2919	2,0059	18
B_N4_X2_Y2	360	0,2245	0,4305	0,0004	0,0573	0,1396	0,2599	4,6269	19
B_N4_X2_Z2	360	0,1891	0,2023	0,0003	0,0555	0,1270	0,2400	1,2547	27
B_N6_X2_Y3	360	0,2111	0,2052	0,0012	0,0705	0,1421	0,2963	1,3907	14
B_N6_X2_Z3	360	0,2083	0,2847	0,0002	0,0638	0,1395	0,2694	3,2090	12
B_N6_X	360	0,2139	0,2197	0,0007	0,0595	0,1388	0,2932	1,1149	22
B_N6_Y	360	0,2096	0,2587	0,0003	0,0672	0,1529	0,2678	2,5149	16
B_N6_Z	360	0,2096	0,2080	0,0018	0,0675	0,1550	0,3010	1,8633	12
B_N18_X2_Y3_Z3	360	0,2052	0,2035	0,0008	0,0584	0,1522	0,2896	1,4753	12
B_N18_Y	360	0,1870	0,1652	0,0002	0,0622	0,1493	0,2543	1,0282	12
B_N18_Z	360	0,1805	0,1656	0,0010	0,0601	0,1341	0,2467	1,4243	12
B_N27_X3_Y3_Z3	360	0,2157	0,2231	0,0003	0,0702	0,1535	0,2983	1,5877	15
B_N27_Y	360	0,1747	0,1630	0,0002	0,0662	0,1303	0,2491	1,1612	14
B_N27_Z	360	0,1868	0,1739	0,0005	0,0564	0,1474	0,2741	1,7425	7



Figur 6:18 Boxplot med positiv relativ differens för väggtemperatur, scenario A, 10 sekunders intervall.

Tabell 6:12 Beskrivande statistik för dataunderlaget till väggtemperatur, scenario A, 10 sekunders intervall

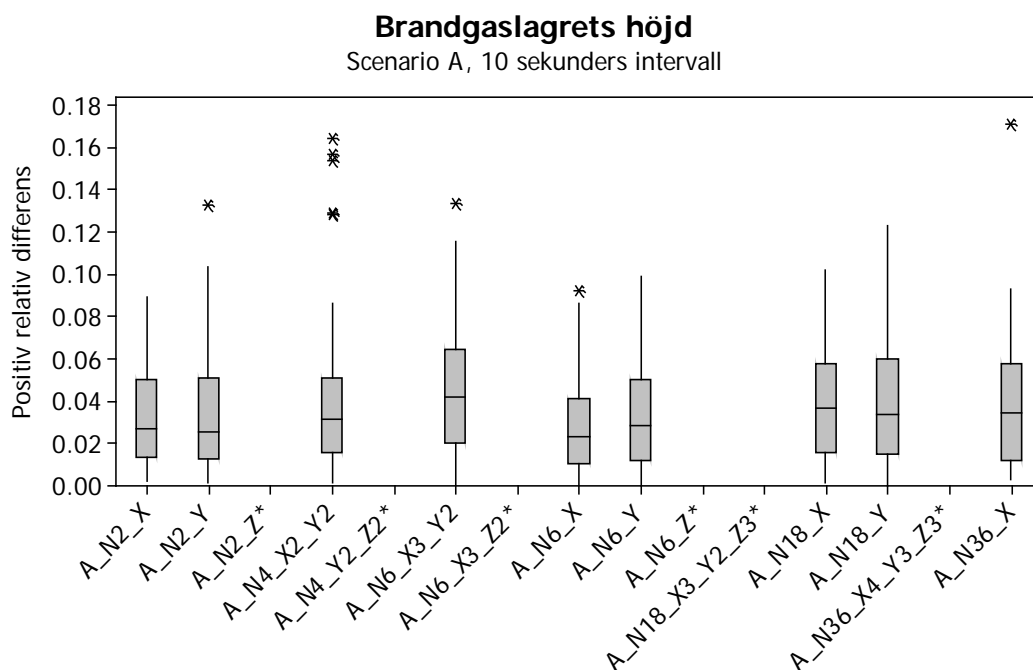
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
A_N2_X	480	0,0008	0,0019	<0,0000	<0,0000	0,0001	0,0006	0,0096	59
A_N2_Y	480	0,0027	0,0041	<0,0000	<0,0000	0,0005	0,0036	0,0163	58
A_N2_Z	480	0,0011	0,0018	<0,0000	<0,0000	0,0003	0,0011	0,0077	81
A_N4_X2_Y2	480	0,0023	0,0035	<0,0000	<0,0000	0,0005	0,0033	0,0144	46
A_N4_Y2_Z2	480	0,0026	0,0035	<0,0000	0,0001	0,0006	0,0047	0,0126	9
A_N6_X3_Y2	480	0,0029	0,0038	<0,0000	0,0001	0,0009	0,0053	0,0129	0
A_N6_X3_Z2	480	0,0021	0,0034	<0,0000	<0,0000	0,0003	0,0027	0,0134	65
A_N6_X	480	0,0010	0,0015	<0,0000	<0,0000	0,0002	0,0017	0,0071	23
A_N6_Y	480	0,0026	0,0042	<0,0000	<0,0000	0,0004	0,0035	0,0166	61
A_N6_Z	480	0,0007	0,0010	<0,0000	<0,0000	0,0002	0,0010	0,0039	44
A_N18_X3_Y2_Z3	480	0,0013	0,0022	<0,0000	<0,0000	0,0003	0,0016	0,0089	56
A_N18_X	480	0,0046	0,0077	<0,0000	0,0001	0,0008	0,0040	0,0320	90
A_N18_Y	480	0,0048	0,0073	<0,0000	0,0001	0,0012	0,0050	0,0304	81
A_N36_X4_Y3_Z3	480	0,0045	0,0065	<0,0000	0,0001	0,0011	0,0073	0,0245	27
A_N36_X	480	0,0076	0,0127	<0,0000	0,0001	0,0013	0,0076	0,0575	83



Figur 6:19 Boxplot med positiv relativ differens för väggtemperatur, scenario B, 10 sekunders intervall.

Tabell 6:13 Beskrivande statistik för dataunderlaget till väggtemperatur, scenario B, 10 sekunders intervall

Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
B_N2_X	300	0,0095	0,0150	<0,0000	0,0006	0,0031	0,0122	0,0807	20
B_N2_Y	300	0,0085	0,0135	<0,0000	0,0003	0,0028	0,0092	0,0634	36
B_N2_Z	300	0,0090	0,0107	<0,0000	0,0003	0,0038	0,0150	0,0377	1
B_N4_X2_Y2	300	0,0077	0,0132	<0,0000	0,0003	0,0021	0,0088	0,0757	32
B_N4_X2_Z2	300	0,0159	0,0215	<0,0000	0,0006	0,0045	0,0280	0,0810	12
B_N6_X2_Y3	300	0,0114	0,0167	<0,0000	0,0002	0,0037	0,0153	0,0865	19
B_N6_X2_Z3	300	0,0151	0,0240	<0,0000	0,0007	0,0058	0,0167	0,1293	35
B_N6_X	300	0,0073	0,0097	<0,0000	0,0002	0,0027	0,0128	0,0392	10
B_N6_Y	300	0,0137	0,0204	<0,0000	0,0005	0,0048	0,0184	0,1081	20
B_N6_Z	300	0,0124	0,0186	<0,0000	0,0008	0,0051	0,0152	0,1070	16
B_N18_X2_Y3_Z3	300	0,0139	0,0218	<0,0000	0,0004	0,0046	0,0163	0,1000	37
B_N18_Y	300	0,0192	0,0240	<0,0000	0,0013	0,0090	0,0301	0,1019	11
B_N18_Z	300	0,0058	0,0072	<0,0000	0,0006	0,0037	0,0081	0,0426	11
B_N27_X3_Y3_Z3	300	0,0091	0,0137	<0,0000	0,0005	0,0035	0,0126	0,0718	21
B_N27_Y	300	0,0243	0,0288	<0,0000	0,0016	0,0137	0,0400	0,1084	8
B_N27_Z	300	0,0195	0,0305	<0,0000	0,0003	0,0047	0,0259	0,1309	31

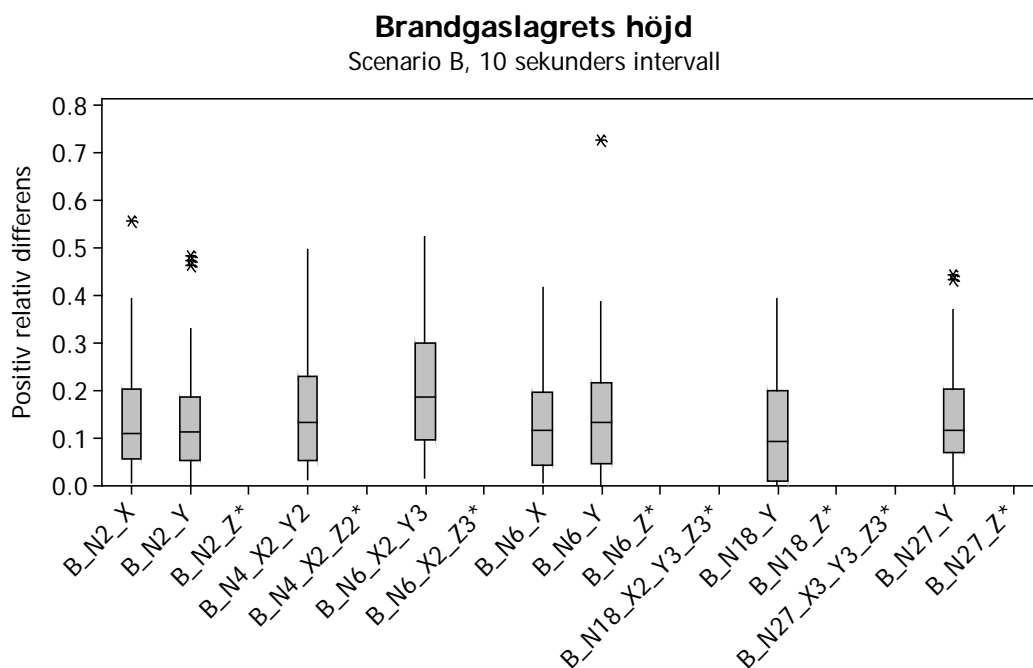


* Kvantiteten kunde ej undersökas

Figur 6:20 Boxplot med positiv relativ differens för brandgaslagrets höjd, scenario A, 10 sekunders intervall.

Tabell 6:14 Beskrivande statistik för dataunderlaget till brandgaslagrets höjd, scenario A, 10 sekunders intervall

Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
A_N2_X	60	0,0331	0,0242	0,0019	0,0137	0,0271	0,0499	0,0891	0
A_N2_Y	60	0,0366	0,0305	0,0017	0,0126	0,0256	0,0508	0,1328	1
A_N2_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N4_X2_Y2	60	0,0397	0,0378	0,0013	0,0157	0,0315	0,0510	0,1637	5
A_N4_Y2_Z2	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N6_X3_Y2	60	0,0457	0,0315	0,0008	0,0200	0,0422	0,0645	0,1335	1
A_N6_X3_Z2	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N6_X	60	0,0271	0,0226	0,0005	0,0105	0,0230	0,0412	0,0922	1
A_N6_Y	60	0,0329	0,0260	0,0002	0,0117	0,0286	0,0502	0,0985	0
A_N6_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N18_X3_Y2_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N18_X	60	0,0407	0,0282	0,0016	0,0154	0,0371	0,0577	0,1018	0
A_N18_Y	60	0,0387	0,0278	<0,0000	0,0148	0,0340	0,0598	0,1226	0
A_N36_X4_Y3_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N36_X	60	0,0382	0,0305	0,0029	0,0117	0,0342	0,0576	0,1709	1



* Kvantiteten kunde ej undersökas

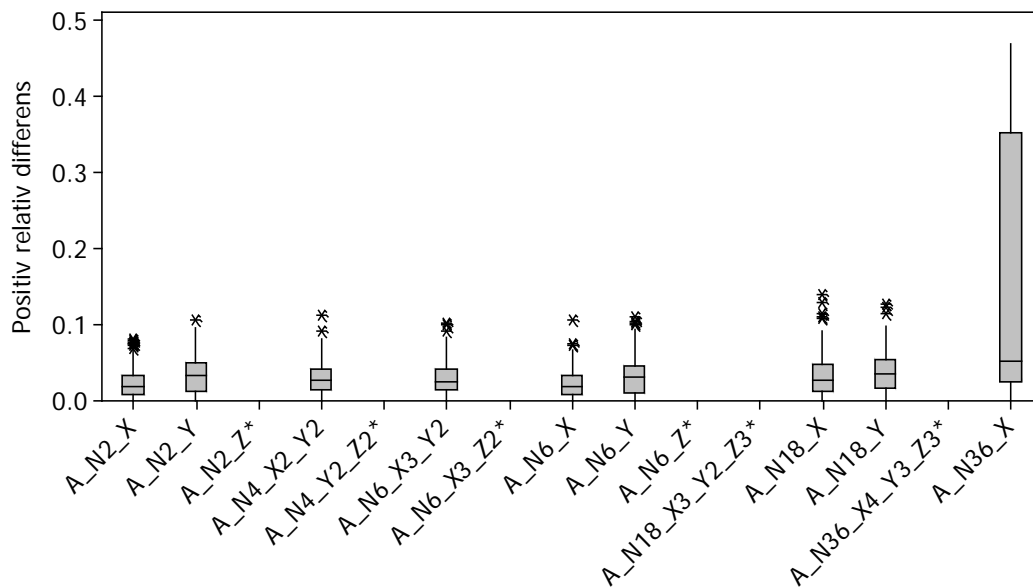
Figur 6:21 Boxplot med positiv relativ differens för brandgaslagrets höjd, scenario B, 10 sekunders intervall.

Tabell 6:15 Beskrivande statistik för dataunderlaget till brandgaslagrets höjd, scenario B, 10 sekunders intervall

Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
B_N2_X	30	0,1466	0,1241	0,0063	0,0554	0,1103	0,2047	0,5575	1
B_N2_Y	30	0,1481	0,1326	0,0007	0,0532	0,1130	0,1885	0,4827	3
B_N2_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N4_X2_Y2	30	0,1629	0,1276	0,0124	0,0538	0,1326	0,2317	0,4979	0
B_N4_X2_Z2	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N6_X2_Y3	30	0,2174	0,1445	0,0165	0,0979	0,1868	0,3011	0,5245	0
B_N6_X2_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N6_X	30	0,1336	0,1057	0,0065	0,0421	0,1158	0,1964	0,4187	0
B_N6_Y	30	0,1606	0,1538	0,0003	0,0465	0,1340	0,2182	0,7266	1
B_N6_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N18_X2_Y3_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N18_Y	30	0,1150	0,1088	0,0032	0,0097	0,0919	0,1992	0,3928	0
B_N18_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N27_X3_Y3_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N27_Y	30	0,1459	0,1212	0,0002	0,0687	0,1177	0,2031	0,4437	2
B_N27_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0

Brandgaslagrets temperatur

Scenario A, 10 sekunders intervall

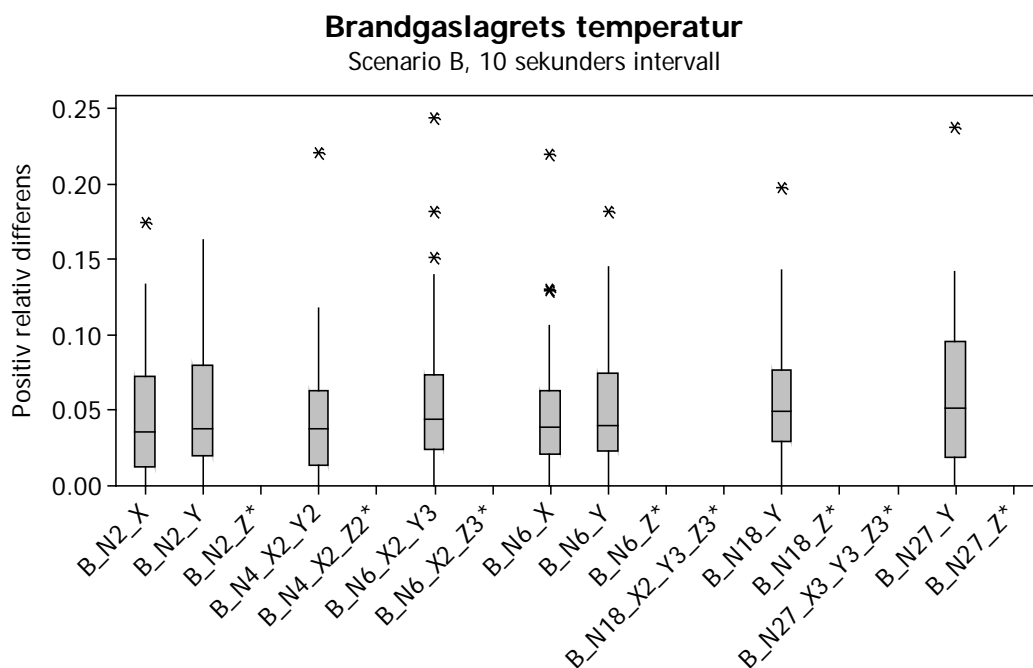


* Kvantiteten kunde ej undersökas

Figur 6:22 Boxplot med positiv relativ differens för brandgaslagrets temperatur, scenario A, 10 sekunders intervall.

Tabell 6:16 Beskrivande statistik för dataunderlaget till brandgaslagrets temperatur, scenario A, 10 sekunders intervall

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
A_N2_X	120	0,0250	0,0218	<0,0000	0,0086	0,0186	0,0327	0,0818	7
A_N2_Y	120	0,0347	0,0245	<0,0000	0,0129	0,0329	0,0496	0,1069	1
A_N2_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N4_X2_Y2	120	0,0304	0,0217	0,0003	0,0144	0,0275	0,0422	0,1119	2
A_N4_Y2_Z2	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N6_X3_Y2	120	0,0314	0,0221	0,0001	0,0150	0,0260	0,0428	0,1026	3
A_N6_X3_Z2	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N6_X	120	0,0236	0,0202	<0,0000	0,0084	0,0179	0,0332	0,1060	3
A_N6_Y	120	0,0325	0,0250	0,0001	0,0110	0,0321	0,0457	0,1112	4
A_N6_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N18_X3_Y2_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N18_X	120	0,0355	0,0294	0,0001	0,0126	0,0281	0,0488	0,1396	5
A_N18_Y	120	0,0386	0,0270	0,0001	0,0177	0,0356	0,0537	0,1265	3
A_N36_X4_Y3_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N36_X	120	0,1804	0,1669	0,0014	0,0248	0,0527	0,3528	0,4687	0

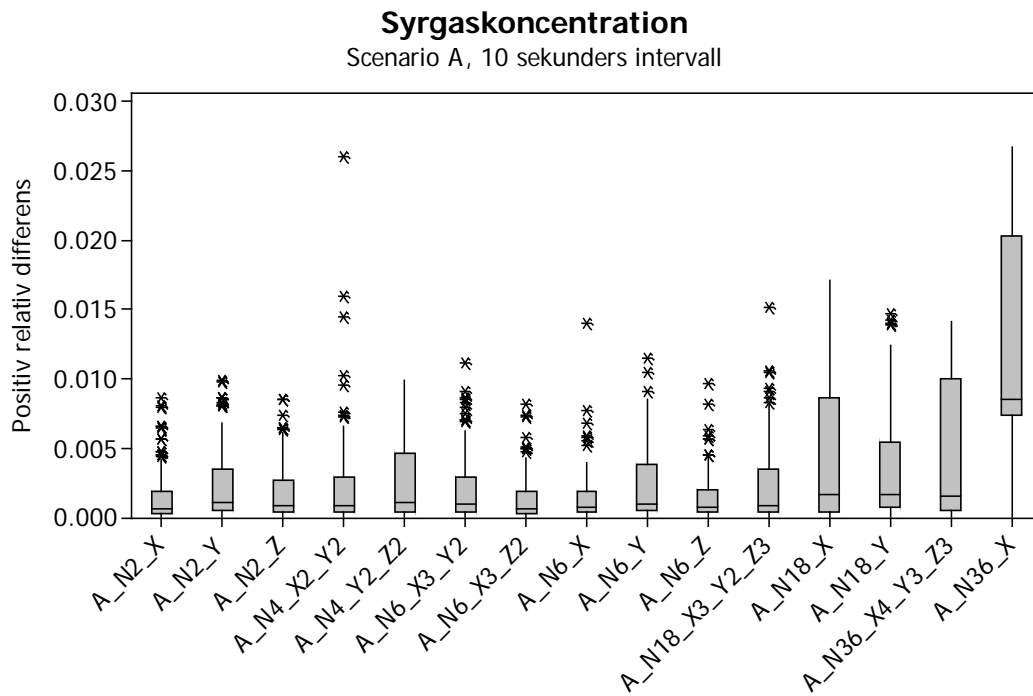


* Kvantiteten kunde ej undersökas

Figur 6:23 Boxplot med positiv relativ differens för brandgaslagrets temperatur, scenario B, 10 sekunders intervall.

Tabell 6:17 Beskrivande statistik för dataunderlaget till brandgaslagrets temperatur, scenario B, 10 sekunders intervall

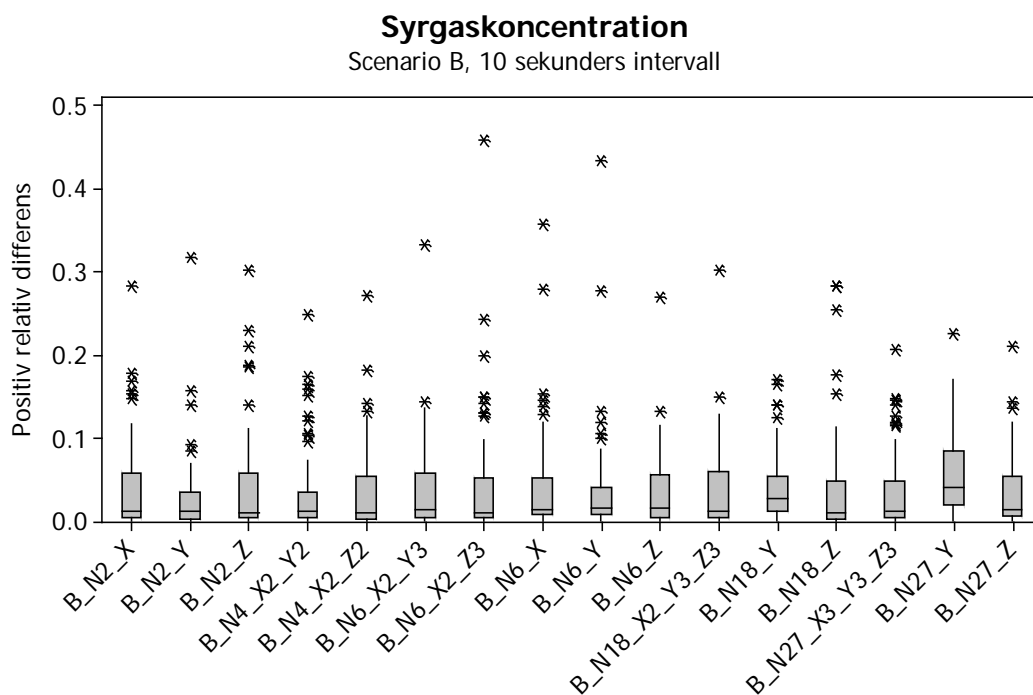
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
B_N2_X	60	0,0490	0,0438	0,0001	0,0124	0,0362	0,0725	0,1744	1
B_N2_Y	60	0,0526	0,0445	0,0001	0,0198	0,0380	0,0804	0,1634	0
B_N2_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N4_X2_Y2	60	0,0450	0,0409	0,0005	0,0137	0,0384	0,0637	0,2214	1
B_N4_X2_Z2	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N6_X2_Y3	60	0,0556	0,0454	0,0003	0,0245	0,0445	0,0737	0,2443	3
B_N6_X2_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N6_X	60	0,0487	0,0378	0,0002	0,0216	0,0390	0,0631	0,2196	3
B_N6_Y	60	0,0524	0,0393	0,0001	0,0232	0,0404	0,0744	0,1817	1
B_N6_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N18_X2_Y3_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N18_Y	60	0,0550	0,0365	0,0002	0,0297	0,0492	0,0767	0,1976	1
B_N18_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N27_X3_Y3_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N27_Y	60	0,0616	0,0486	0,0009	0,0190	0,0516	0,0958	0,2378	1
B_N27_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0



Figur 6:24 Boxplot med positiv relativ differens för syrgaskoncentration, scenario A, 10 sekunders intervall.

Tabell 6:18 Beskrivande statistik för dataunderlaget till syrgaskoncentration, scenario A, 10 sekunders intervall

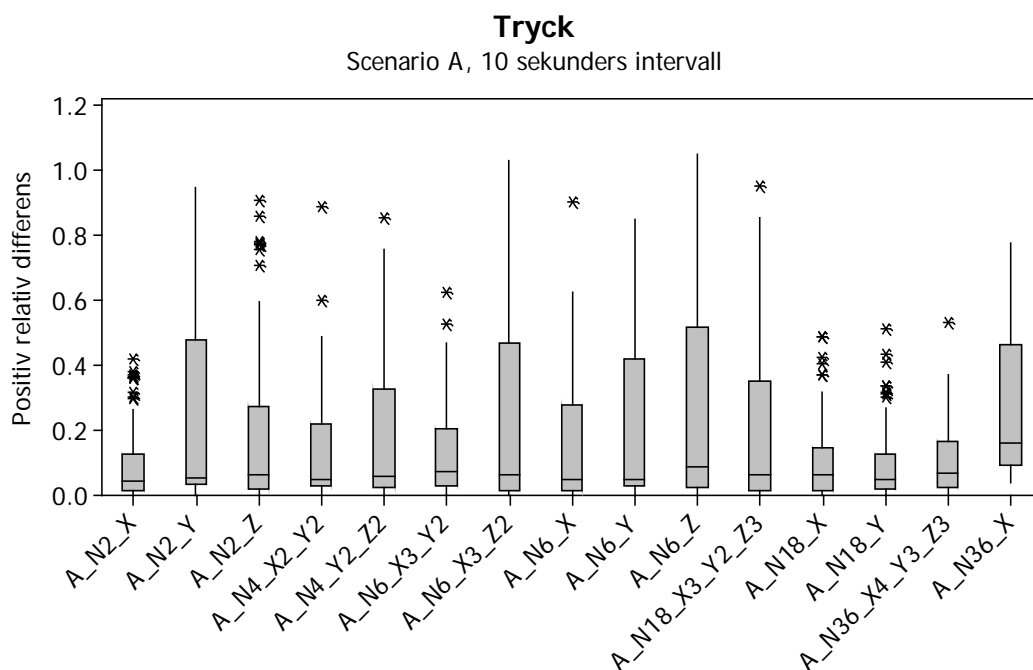
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
A_N2_X	120	0,0014	0,0019	<0,0000	0,0002	0,0006	0,0019	0,0086	13
A_N2_Y	120	0,0022	0,0025	<0,0000	0,0005	0,0011	0,0034	0,0099	10
A_N2_Z	120	0,0017	0,0020	<0,0000	0,0003	0,0008	0,0027	0,0085	7
A_N4_X2_Y2	120	0,0022	0,0035	<0,0000	0,0004	0,0008	0,0029	0,0261	8
A_N4_Y2_Z2	120	0,0025	0,0028	<0,0000	0,0003	0,0010	0,0046	0,0099	0
A_N6_X3_Y2	120	0,0021	0,0025	<0,0000	0,0004	0,0009	0,0029	0,0111	10
A_N6_X3_Z2	120	0,0013	0,0017	<0,0000	0,0002	0,0006	0,0019	0,0082	8
A_N6_X	120	0,0014	0,0019	<0,0000	0,0003	0,0007	0,0018	0,0140	7
A_N6_Y	120	0,0023	0,0025	<0,0000	0,0005	0,0010	0,0038	0,0115	3
A_N6_Z	120	0,0014	0,0018	<0,0000	0,0003	0,0007	0,0020	0,0096	8
A_N18_X3_Y2_Z3	120	0,0023	0,0029	<0,0000	0,0003	0,0008	0,0035	0,0151	7
A_N18_X	120	0,0044	0,0046	<0,0000	0,0004	0,0017	0,0087	0,0171	0
A_N18_Y	120	0,0034	0,0037	<0,0000	0,0007	0,0016	0,0054	0,0147	4
A_N36_X4_Y3_Z3	120	0,0049	0,0048	<0,0000	0,0005	0,0015	0,0100	0,0141	0
A_N36_X	120	0,0131	0,0073	<0,0000	0,0073	0,0086	0,0203	0,0267	0



Figur 6:25 Boxplot med positiv relativ differens för syrgaskoncentration, scenario B, 10 sekunders intervall.

Tabell 6:19 Beskrivande statistik för dataunderlaget till syrgaskoncentration, scenario B, 10 sekunders intervall

Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
B_N2_X	60	0,0407	0,0583	<0,0000	0,0047	0,0124	0,0576	0,2819	6
B_N2_Y	60	0,0299	0,0493	<0,0000	0,0028	0,0111	0,0336	0,3160	5
B_N2_Z	60	0,0411	0,0645	<0,0000	0,0039	0,0103	0,0567	0,3013	6
B_N4_X2_Y2	60	0,0358	0,0545	<0,0000	0,0030	0,0111	0,0338	0,2483	10
B_N4_X2_Z2	60	0,0364	0,0535	<0,0000	0,0027	0,0102	0,0539	0,2705	4
B_N6_X2_Y3	60	0,0371	0,0558	<0,0000	0,0032	0,0134	0,0563	0,3309	2
B_N6_X2_Z3	60	0,0434	0,0774	<0,0000	0,0034	0,0088	0,0522	0,4580	9
B_N6_X	60	0,0422	0,0660	<0,0000	0,0068	0,0143	0,0516	0,3565	6
B_N6_Y	60	0,0391	0,0681	<0,0000	0,0082	0,0158	0,0401	0,4323	6
B_N6_Z	60	0,0342	0,0454	<0,0000	0,0043	0,0147	0,0548	0,2694	2
B_N18_X2_Y3_Z3	60	0,0364	0,0522	<0,0000	0,0040	0,0120	0,0594	0,3021	2
B_N18_Y	60	0,0406	0,0413	<0,0000	0,0111	0,0265	0,0540	0,1688	5
B_N18_Z	60	0,0395	0,0665	<0,0000	0,0017	0,0104	0,0472	0,2831	5
B_N27_X3_Y3_Z3	60	0,0350	0,0482	<0,0000	0,0039	0,0122	0,0470	0,2052	8
B_N27_Y	60	0,0554	0,0478	<0,0000	0,0182	0,0405	0,0830	0,2250	1
B_N27_Z	60	0,0373	0,0449	<0,0000	0,0065	0,0142	0,0536	0,2100	3

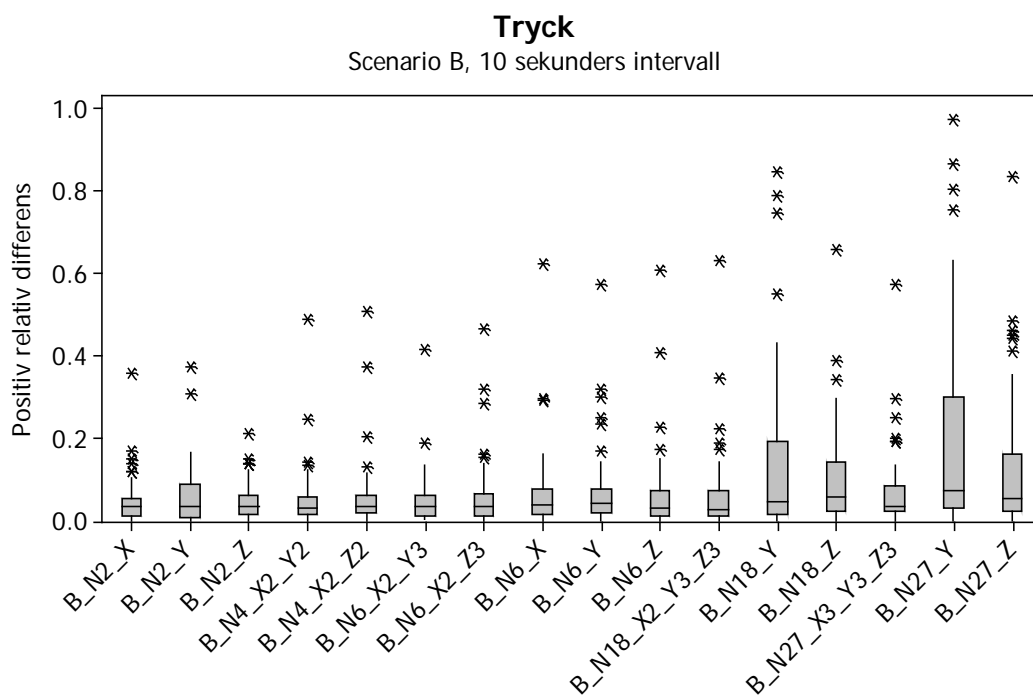


De två initiala intervallen i respektive scenario har utelämnats i jämförelsen

Figur 6:26 Boxplot med positiv relativ differens för tryck, scenario A, 10 sekunders intervall.

Tabell 6:20 Beskrivande statistik för dataunderlaget till tryck, scenario A, 10 sekunders intervall

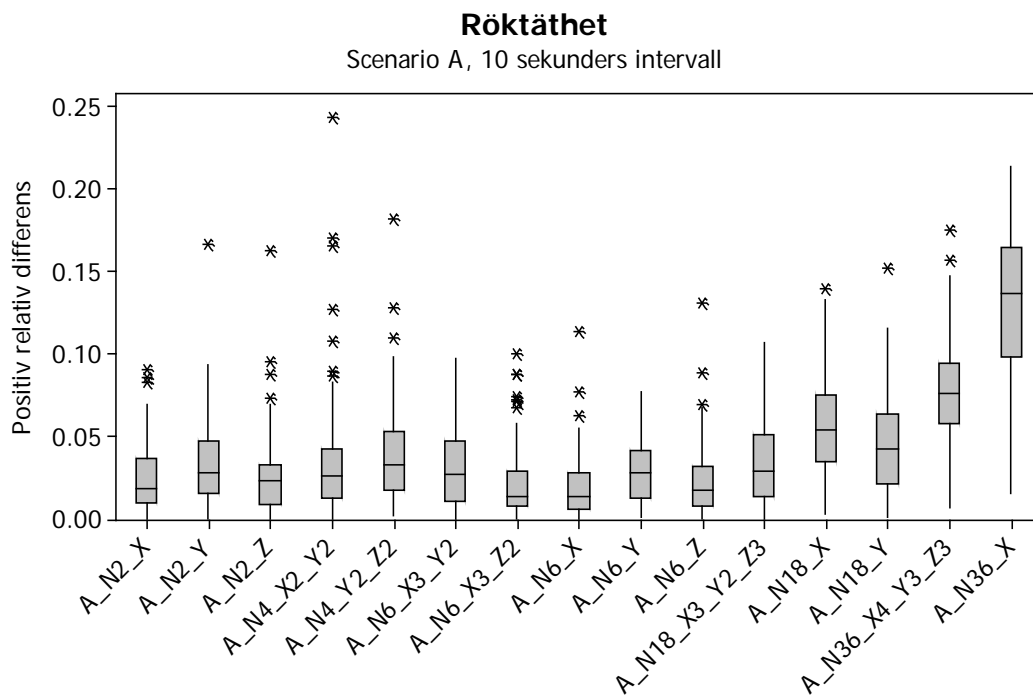
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
A_N2_X	118	0,0850	0,1025	0,0006	0,0132	0,0436	0,1249	0,4189	10
A_N2_Y	118	0,2369	0,2704	0,0006	0,0342	0,0558	0,4767	0,9459	0
A_N2_Z	118	0,1747	0,2237	0,0013	0,0213	0,0623	0,2738	0,9069	7
A_N4_X2_Y2	118	0,1340	0,1566	0,0002	0,0272	0,0513	0,2190	0,8865	2
A_N4_Y2_Z2	118	0,1797	0,2132	0,0012	0,0239	0,0576	0,3251	0,8562	1
A_N6_X3_Y2	118	0,1298	0,1354	0,0003	0,0284	0,0753	0,2052	0,6230	2
A_N6_X3_Z2	118	0,2331	0,2769	0,0003	0,0147	0,0658	0,4687	1,0328	0
A_N6_X	118	0,1585	0,1947	0,0009	0,0138	0,0500	0,2790	0,9013	1
A_N6_Y	118	0,2081	0,2423	0,0009	0,0297	0,0464	0,4184	0,8516	0
A_N6_Z	118	0,2627	0,2880	0,0018	0,0259	0,0881	0,5177	1,0506	0
A_N18_X3_Y2_Z3	118	0,1920	0,2314	0,0001	0,0165	0,0633	0,3521	0,9538	1
A_N18_X	118	0,0959	0,1083	0,0004	0,0161	0,0656	0,1449	0,4883	6
A_N18_Y	118	0,0920	0,1047	0,0004	0,0210	0,0488	0,1261	0,5113	8
A_N36_X4_Y3_Z3	118	0,1004	0,0956	0,0016	0,0253	0,0692	0,1679	0,5320	1
A_N36_X	118	0,2828	0,2153	0,0378	0,0930	0,1614	0,4623	0,7750	0



Figur 6:27 Boxplot med positiv relativ differens för tryck, scenario B, 10 sekunders intervall.

Tabell 6:21 Beskrivande statistik för dataunderlaget till tryck, scenario B, 10 sekunders intervall

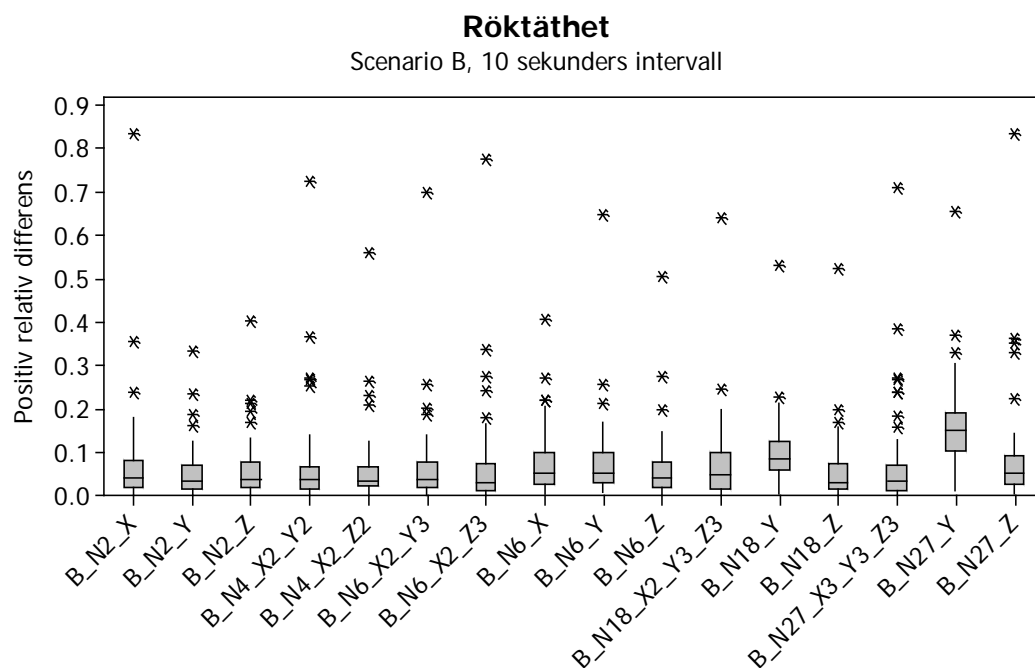
Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
B_N2_X	60	0,0466	0,0572	0,0002	0,0098	0,0356	0,0540	0,3584	6
B_N2_Y	60	0,0571	0,0690	0,0001	0,0094	0,0363	0,0888	0,3730	2
B_N2_Z	60	0,0472	0,0450	0,0010	0,0152	0,0328	0,0633	0,2122	5
B_N4_X2_Y2	60	0,0505	0,0711	0,0012	0,0143	0,0327	0,0585	0,4910	4
B_N4_X2_Z2	60	0,0553	0,0821	0,0010	0,0203	0,0329	0,0617	0,5088	4
B_N6_X2_Y3	60	0,0493	0,0607	0,0052	0,0132	0,0352	0,0618	0,4171	2
B_N6_X2_Z3	60	0,0566	0,0806	<0,0000	0,0119	0,0337	0,0669	0,4658	5
B_N6_X	60	0,0639	0,0952	0,0003	0,0158	0,0368	0,0765	0,6237	3
B_N6_Y	60	0,0705	0,0953	0,0013	0,0179	0,0409	0,0777	0,5739	6
B_N6_Z	60	0,0618	0,0974	0,0005	0,0113	0,0318	0,0730	0,6085	4
B_N18_X2_Y3_Z3	60	0,0585	0,0976	0,0015	0,0123	0,0261	0,0746	0,6332	5
B_N18_Y	60	0,1369	0,1986	0,0016	0,0158	0,0471	0,1935	0,8475	4
B_N18_Z	60	0,1022	0,1172	<0,0000	0,0237	0,0560	0,1411	0,6585	3
B_N27_X3_Y3_Z3	60	0,0683	0,0906	0,0019	0,0223	0,0363	0,0830	0,5744	6
B_N27_Y	60	0,1874	0,2398	0,0005	0,0292	0,0715	0,2993	0,9741	4
B_N27_Z	60	0,1250	0,1612	0,0009	0,0242	0,0536	0,1601	0,8358	6



Figur 6:28 Boxplot med positiv relativ differens för röktätet, scenario A, 10 sekunders intervall.

Tabell 6:22 Beskrivande statistik för dataunderlaget till röktätet, scenario A, 10 sekunders intervall

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
A_N2_X	120	0,0248	0,0197	0,0003	0,0096	0,0188	0,0361	0,0908	3
A_N2_Y	120	0,0325	0,0235	<0,0000	0,0150	0,0284	0,0473	0,1665	1
A_N2_Z	120	0,0258	0,0231	<0,0000	0,0088	0,0229	0,0330	0,1625	4
A_N4_X2_Y2	120	0,0328	0,0342	<0,0000	0,0121	0,0257	0,0419	0,2432	7
A_N4_Y2_Z2	120	0,0384	0,0283	0,0015	0,0172	0,0332	0,0528	0,1815	3
A_N6_X3_Y2	120	0,0301	0,0224	0,0001	0,0109	0,0268	0,0474	0,0976	0
A_N6_X3_Z2	120	0,0219	0,0205	0,0002	0,0074	0,0136	0,0288	0,1005	7
A_N6_X	120	0,0192	0,0174	0,0001	0,0062	0,0138	0,0283	0,1136	3
A_N6_Y	120	0,0291	0,0189	0,0007	0,0122	0,0283	0,0412	0,0769	0
A_N6_Z	120	0,0224	0,0200	0,0003	0,0081	0,0170	0,0319	0,1305	3
A_N18_X3_Y2_Z3	120	0,0332	0,0240	0,0002	0,0133	0,0287	0,0508	0,1067	0
A_N18_X	120	0,0553	0,0303	0,0033	0,0345	0,0538	0,0755	0,1392	1
A_N18_Y	120	0,0457	0,0306	0,0008	0,0210	0,0422	0,0632	0,1517	1
A_N36_X4_Y3_Z3	120	0,0788	0,0313	0,0070	0,0575	0,0764	0,0946	0,1748	2
A_N36_X	120	0,1315	0,0396	0,0152	0,0983	0,1369	0,1643	0,2138	0



De två initiala intervallen i respektive scenario har utelämnats i jämförelsen

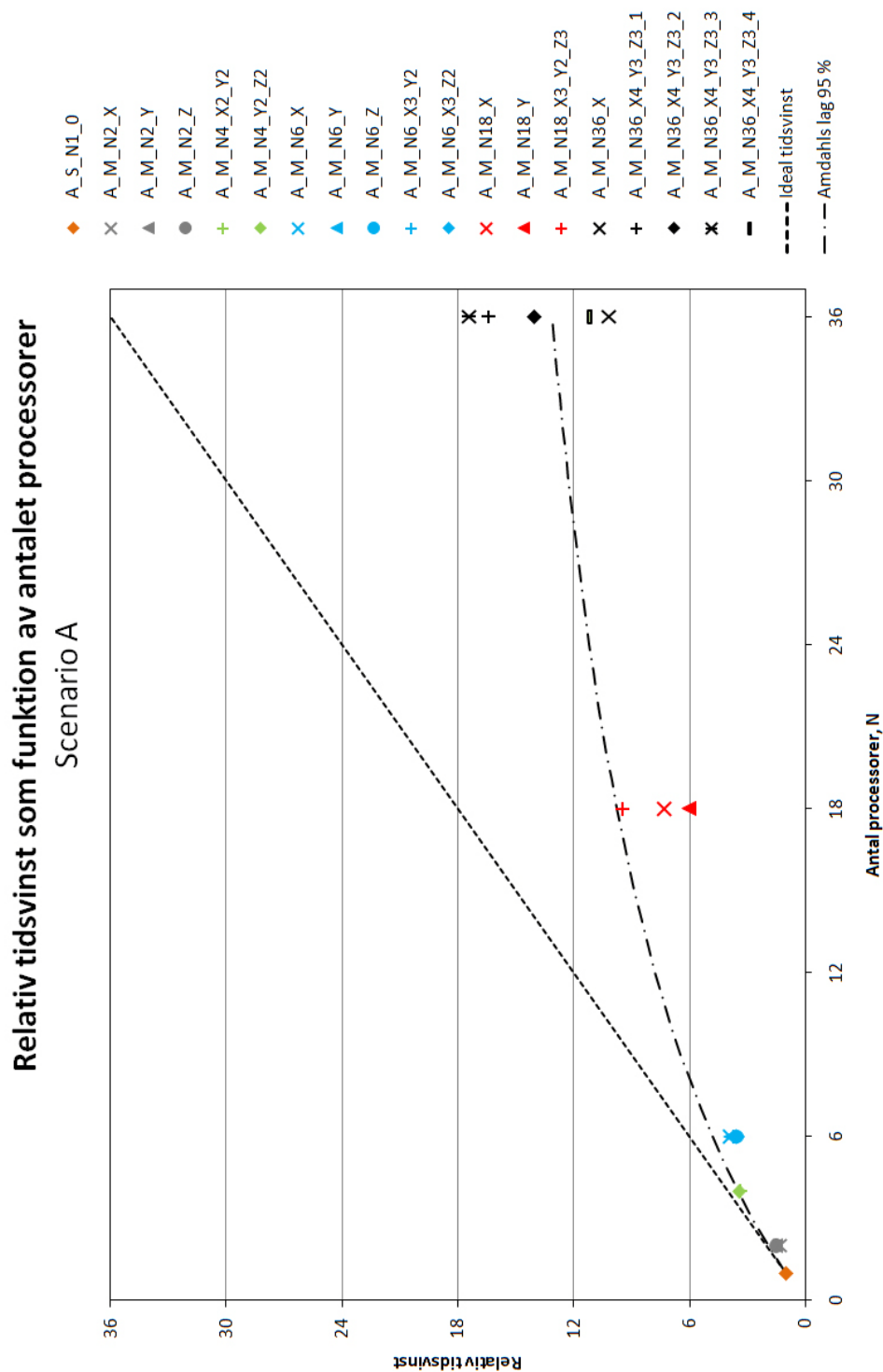
Figur 6:29 Boxplot med positiv relativ differens för röktäthet, scenario B, 10 sekunders intervall.

Tabell 6:23 Beskrivande statistik för dataunderlaget till röktäthet, scenario B, 10 sekunders intervall

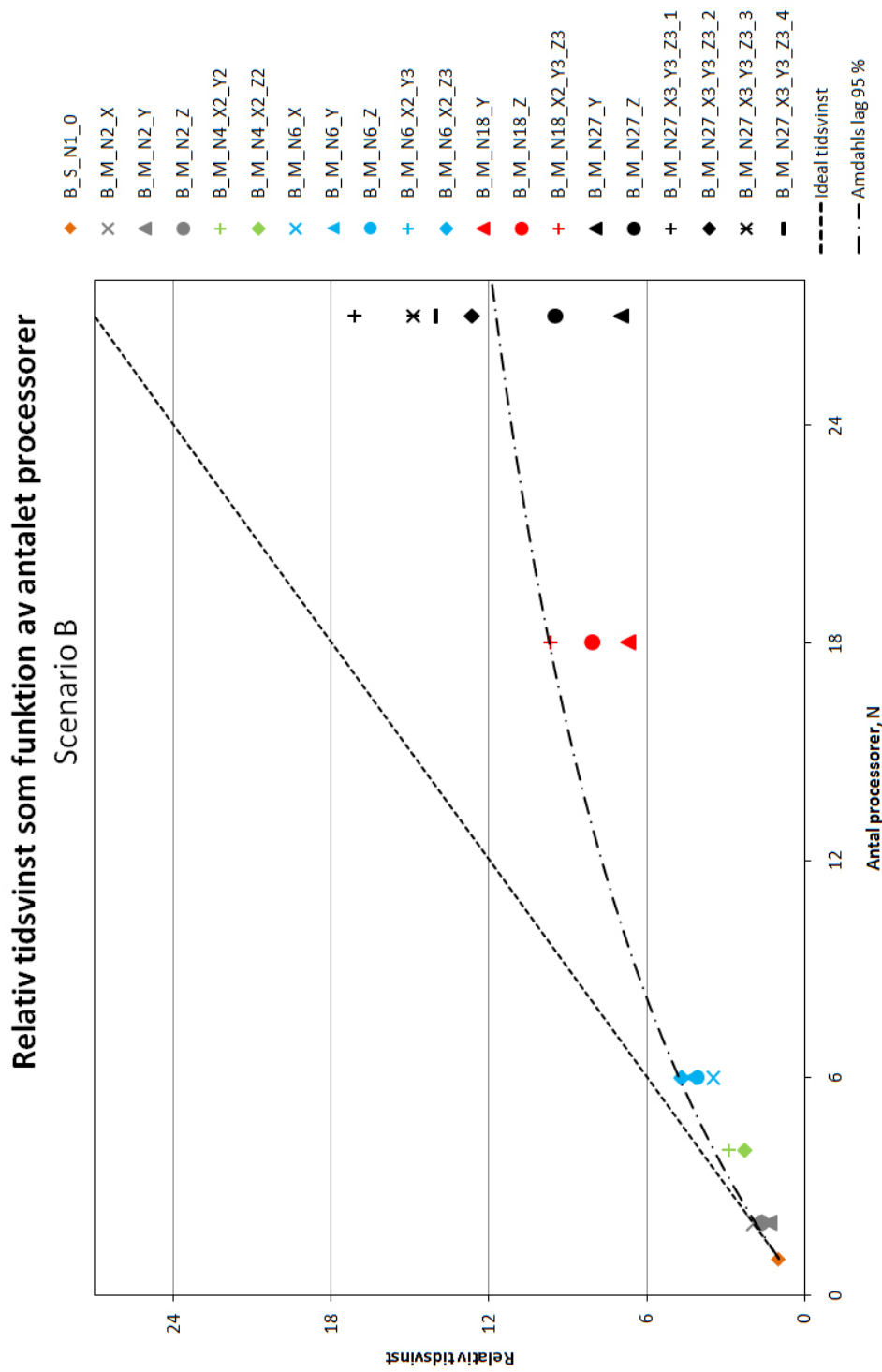
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
B_N2_X	58	0,0704	0,1196	0,0006	0,0168	0,0407	0,0818	0,8378	1
B_N2_Y	58	0,0501	0,0598	0,0012	0,0132	0,0323	0,0683	0,3326	1
B_N2_Z	58	0,0607	0,0704	0,0014	0,0177	0,0350	0,0759	0,4027	1
B_N4_X2_Y2	58	0,0703	0,1136	0,0014	0,0155	0,0380	0,0668	0,7261	2
B_N4_X2_Z2	58	0,0580	0,0851	0,0014	0,0205	0,0336	0,0677	0,5596	1
B_N6_X2_Y3	58	0,0626	0,0986	0,0009	0,0182	0,0358	0,0755	0,6990	0
B_N6_X2_Z3	58	0,0685	0,1173	0,0015	0,0123	0,0297	0,0746	0,7787	0
B_N6_X	58	0,0766	0,0753	0,0047	0,0243	0,0509	0,1007	0,4062	2
B_N6_Y	58	0,0785	0,0927	0,0061	0,0311	0,0519	0,1007	0,6497	1
B_N6_Z	58	0,0612	0,0779	0,0004	0,0188	0,0391	0,0758	0,5051	1
B_N18_X2_Y3_Z3	58	0,0706	0,0937	0,0006	0,0164	0,0474	0,0976	0,6410	0
B_N18_Y	58	0,0993	0,0761	0,0041	0,0581	0,0843	0,1241	0,5308	0
B_N18_Z	58	0,0560	0,0774	0,0003	0,0147	0,0297	0,0715	0,5232	0
B_N27_X3_Y3_Z3	58	0,0722	0,1169	<0,0000	0,0123	0,0338	0,0691	0,7105	1
B_N27_Y	58	0,1603	0,1040	0,0092	0,1018	0,1501	0,1891	0,6566	2
B_N27_Z	58	0,0850	0,1263	0,0037	0,0255	0,0531	0,0900	0,8365	1

6.3 Resursanvändning

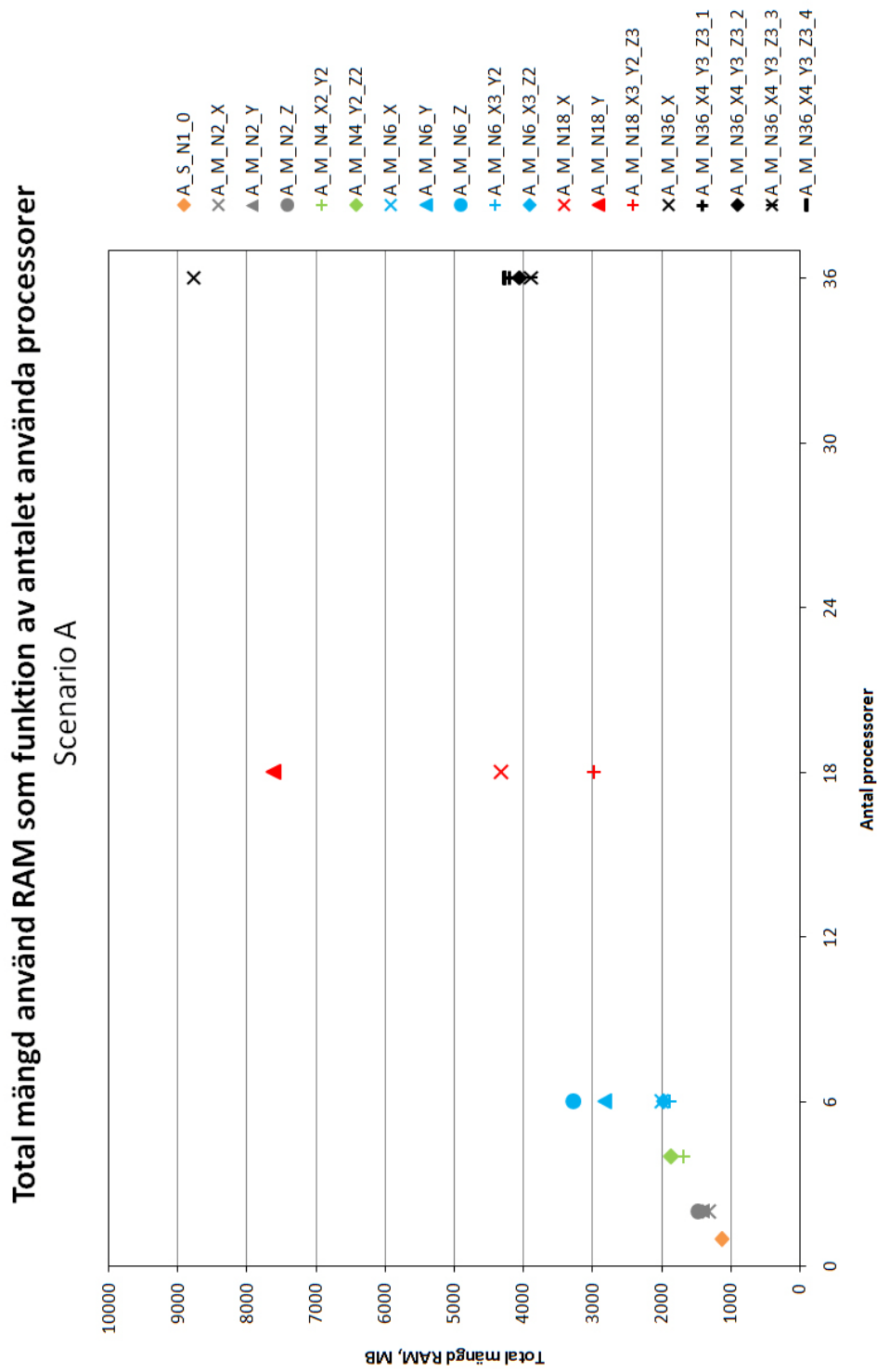
I Figur 6:30 till Figur 6:33 återges en jämförelse av använda resurser i form av relativ tidsvinst som funktion av antalet nyttjade processorer och den totala mängden använd RAM. Beräkningar med tillagd beteckning 1-4 avser upprepade försök under i övrigt samma förutsättningar.



Figur 6:30 Relativ tidsvinst som funktion av antalet nyttjade processorer, scenario A. Tidsåtgång för referensberäkningen A_N1_0 var 445 timmar.

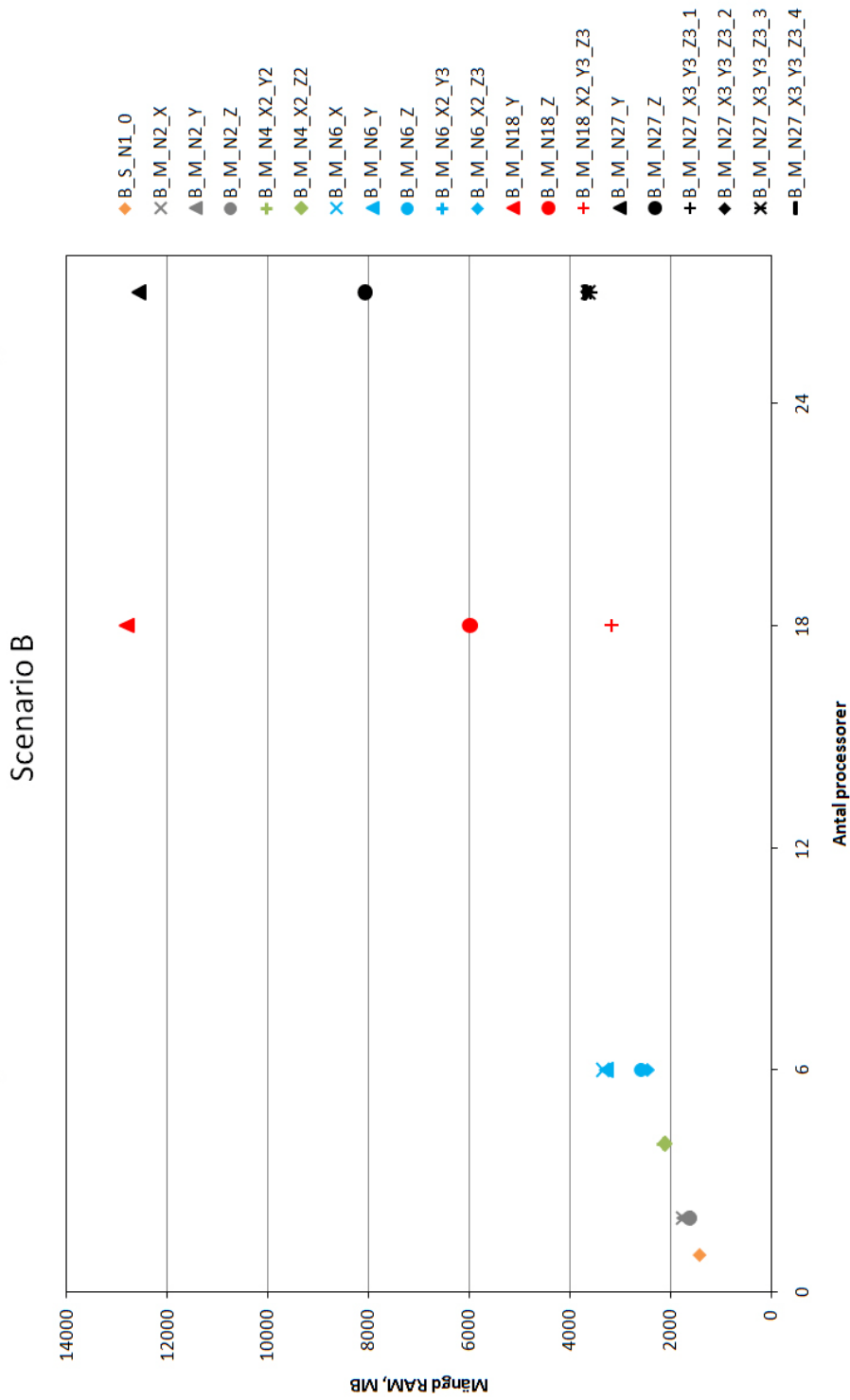


Figur 6:31 Relativ tidsvinst som funktion av antalet nyttjade processorer, scenario B. Tidsåtgång för referensberäkningen B_N1_0 var 245 timmar.



Figur 6:32 Total använd mängd RAM som funktion av antalet nyttjade processorer, scenario A.

Total mängd använd RAM som funktion av antalet använda processorer



Figur 6:33 Total använd mängd RAM som funktion av antalet nyttjade processorer, scenario B.

7

ANALYS OCH DISKUSSION

I detta kapitel analyseras och diskuteras projektet som helhet och resultaten som det producerade. Kapitlet innehåller även förslag på fortsatt arbete inom det studerade området.

I kommande avsnitt diskuteras inledningsvis den använda metoden, de resultat som erhöles och de observationer som gjordes med avseende på parallella CFD-beräkningar med FDS. Därefter förs en diskussion om datakommunikation och framtidsutsikter för dessa. Slutligen ges förslag på framtida arbete för att bredda och utveckla kunskapen inom parallella CFD-beräkningar.

7.1 Använd metod

Det är mycket svårt att utvärdera parallella CFD-beräkningar i helhet. De två områdena, CFD och parallella beräkningar, har stora djup var för sig och i detta projekt har undersökningen begränsats till ett mindre användningsområde; parallella beräkningar för modellering av rumsbrand. Även för denna applikation är det viktigt att klargöra att genomfört projekt undersökt ett begränsat antal scenarier och därför inte nödvändigtvis kan representera alla tänkbara scenarier.

I projektet användes en logisk meshindelning för att kunna fördela beräkningsbördan över använda resurser samt på ett strukturerat sätt kunna jämföra erhållna resultat. Användare av FDS rekommenderas att följa de rekommendationer som ges i användarmanualen till FDS vad avser meshindelning och därmed betänka effekterna som eventuella meshindelningar i områden med mer komplicerade fenomen kan komma att ge.

Sett till den använda metoden som helhet bedöms den kunna användas för fler applikationer och brandmodeller än de som undersökts i detta projekt. Metoden bedöms även, med viss modifiering, kunna användas för utvärdering av brandmodeller i andra syften än för parallella beräkningar där även *ASTM E 1355* [13] torde utgöra en bra grund för sådana problem.

Valet att enbart presentera beräknade avvikelser som positiva, se ekvation [Ekv. 2:7], medför vissa för- och nackdelar beroende på vad som avser visas. En nackdel med att enbart redovisa beräknade avvikelser som positiva är att informationen om eventuell över- eller underskattning av kvantiteter mellan referensberäkningen och utvärderad beräkning går förlorad. Då målet med detta projekt främst var att påvisa en avvikelse så anses det inte betydelsefullt att denna information går förlorad. Kontroll i utdata tyder dessutom på att ungefär samma mängd mätdata underskattas som överskattas och att en trend därmed ej kan uttydas. Ytterligare ett argument för att använda absolutbelopp är att medelvärde och median blir mer rättvisande. Teoretiskt sett skulle en nollavvikelse kunna erhållas då både negativa och positiva tal ingår i undersökningen. En konsekvens av absolutbelopp som dock måste uppmärksammas är att spridningen blir smalare än för originaldata. Detta är dock bara en effekt av att all negativ data förflyttas och ingår i den positiva mängden och är inte ett systematiskt fel.

7.2 Förundersökningar

Olika kombinationer av hårdvara, operativsystem och kompilatorer kan resultera i skillnader för slutresultatet vid användandet av FDS. Under förundersökningarna noterades det exempelvis att mindre skillnader erhöles i resultatet då beräkningar utfördes på en AMD-processor jämfört med en Intel-processor. Detta är en följd av att de två undersökta processorerna har olika metoder för slumpgenerering. FDS-beräkningar börjar som standard med små störningar i flödesbilden för att förhindra uppkomsten av ett perfekt symmetriskt flöde då gräns- och begynnelsevillkoren är perfekt symmetriska [17]. Dessa störningar är en produkt av slumpgenerering vilket förklarar de små skillnaderna i resultaten. Skillnaderna är så pass små att de inte nämnvärt bedöms påverka resultaten i helhet med avseende på exempelvis brandteknisk dimensionering, vilket även stärks av resultat framtagna av Dittmer och Jämtäng [7].

Som en följd av de resursregler som tillämpas på Lunarc-systemen avsågs inledningsvis funktionen RESTART användas för att möjliggöra att återuppta de beräkningar som kunde tänkas överstiga tillåtna beräkningstider. Inledande undersökningar visade dock att beräkningar där restartfunktionen användes, ej gav samma resultat jämfört med motsvarande beräkningar som tilläts fortgå hela beräkningstiden ut. Alternativet att använda omstarter valdes därför medvetet bort för att säkerställa resultatens reliabilitet och reproducerbarhet. Fördelarna med att använda funktionen RESTART är att den dels fungerar som en säkerhet vid oönskade beräkningsstopp, dels kan användas för att ändra indataparametrar under beräkningens gång. Resultaten från förundersökning tyder på att restartfunktionen genererar mindre avvikelser, så pass små att de troligen ligger inom FDS angivna felmarginal på 10-20 %, men tillräckligt stora för att påverka använd metodik och de slutliga resultaten. Då en analys av dessa resultat ej är kopplat till projektets huvudsakliga syfte och mål, utan för att stärka resultaten utifrån använd metod, undersöktes dessa resultat inte mer utförligt. Det skulle dock vara intressant att studera detta vidare för att grundligare undersöka dess betydelse för brandmodellering, i synnerhet för ett flertal upprepade omstarter.

Det noterades under förundersökningarna att den seriellt kompilerade och den parallellt kompilerade versionen av FDS producerade samma resultat under förutsättningen att endast en processor och mesh tilldelas respektive definieras för beräkningarna. Således stärks reliabiliteten och validiteten i resultaten då referensberäkningarna inte blir beroende av om det är den seriella eller parallella versionen av FDS källkod som används. McGrattan [16] redogör för möjligheten att använda MPI-versionen av FDS på endast en processor och att denna då ger samma resultat som den seriella versionen eftersom datautbyte sker på samma sätt mellan de definierade mesherna. McGrattan framhåller även att den seriella versionen skulle kunna avskaffas om det inte var för att samtliga användare då skulle behöva installera bibliotek för MPI-kommunikation, vilket kan vara besvärligt för användare med mindre datorvana. Författarnas åsikt är att en utgivning av endast den parallella versionen är motiverad då, bland annat, de flesta datorer som säljs idag har multicore-processorer. För att kunna använda all kapacitet i en sådan dator krävs den parallella versionen av FDS. Det anses därför överflödigt att tillhandahålla en mindre kapabel version när samma funktionalitet och mer därtill finns i den parallella versionen. Det bedöms vidare inte orimligt att en grundläggande handledning för installation och konfiguration skulle kunna publiceras av NIST för att göra programvaran så tillgängligt som möjligt för alla användare.

7.3 Brandparametrar

I Figur 6:5 till Figur 6:7 kan en påverkan på beräknade resultat, i jämförelse med de seriella referensberäkningarna, ses som en följd av uppdelning på parallella processorer. I såväl scenario A som scenario B ses störst spridning för mätpunkter i ”känsliga” områden. I scenario A (Figur 6:5 och Figur 6:6) är spridningen störst i mätpunkter kring neutralplanet vilket är en känslig punkt. I scenario B ses den största spridningen kring de mätpunkter där den turbulenta och heta plymen strömmar ut ur brandrummet. Även detta får ses som ett känsligt område som varierar stort över tid och rum. Användaren bör därför, som i all CFD-modellering, vara uppmärksam på branddynamik och de flöden som genereras i en brandmodellering. Ur resultaten bakom Figur 6:5 till Figur 6:7, samt övriga resultat, går det ej att finna en trend som påvisar att parallella beräkningar konsekvent över- eller underskattar resultaten. Det har heller ej gått att fastställa ett generellt samband mellan ökat antal processorer som används, och därmed mesher, och ökad avvikelse i resultaten för beräkningar med FDS. Detta är för författarna ganska överraskande då ett ökat antal mesher och gränsceller, innan projektets start, bedömdes kunna leda till mer kommunikationsfel och avvikelser. För i princip alla undersökta kvantiteter minskar de relativa avvikelserna mot de seriella referensberäkningarna med ett längre valt tidsintervall. Således kan valet av undersökt tidsintervall, som en följd av brandmodelleringens mål, vara av betydelse.

För FDS finns en erkänd osäkerhet på 10-20 % gentemot experimentella data [10]. För många tillämpningar inom brandmodellering, exempelvis projektering av brandskydd, är detta oftast fullt acceptabelt och utan större påverkan för slutprodukten. En allmän bedömning av resultaten av den kvantitativa undersökningen visar att parallella beräkningar med FDS ger relativa medelavvikelser i storleksordningen upp till 10 % jämfört med de seriella referensberäkningarna, med ett par undantag där kvantiteter visar medelavvikelser upp mot 20 %. Om dessa är oberoende av varandra skulle vissa kombinationer av den ”normala” osäkerheten i FDS och en större avvikelse genererad av användandet av parallella beräkningar kunna ge oacceptabelt stora osäkerheter. Vissa av de större avvikelserna genereras av mätpunkter belägna i och kring speciellt känsliga områden och ”övergångsfaser”, som exempelvis brandgaslagrets neutralplan. Nedan redogörs för de observationer som gjorts utifrån resultaten för undersökta brandmodelleringsparametrar:

- **Effektutveckling:** Effektutvecklingen visar väldigt liten relativ känslighet vid parallella beräkningar, i medel 0-4 %. Detta är i sig ett viktigt resultat då effektutvecklingen utgör källtermen i FDS energiekvationen och således utgör den viktigaste fysikaliska parametern. Hade stora relativa differenser kunnat observeras för denna kvantitet skulle säkerligen större skillnader, än de erhållna, för övriga kvantiteter kunna noteras. Värt att notera är att effektutvecklingen verkar påverkas av att meshgränser placerats genom specificerade bränder. Samtliga större medelvärdesavvikelser i Figur 6:8 och Figur 6:9, samt motsvarande resultat i bilaga D för tidsintervallen större än tio sekunder, har en eller flera meshgränser genom den effektutvecklande ytan. Dessutom kan en trend till ökning i avvikelse urskiljas för effektutvecklingen som funktion av ökat antal nyttjade processorer för de beräkningar där branden delades av en meshgräns.
- **Gastemperatur:** För denna kvantitet inhämtades mycket mer mätdata än för övriga kvantiteter. I Figur 6:10 och Figur 6:11 kan ett stort antal uteliggare noteras. En övervägande majoritet av dessa beror, i synnerhet för scenario A, på att mycket

mätdata tagits i brandgaslagret varför små skillnader i brandgaslagrets höjd, vilket har noterats, genererar större relativa avvikelser. Antalet uteliggare är inte lika många i scenario B vilket kan bero på att mätdata tagits i mer varierande positioner jämfört med scenario A och då inte påverkas lika mycket av termisk stratifiering. Beräkning A_N36_X noteras avvika kraftigt från övriga beräkningar, vilket diskuteras vidare efter genomgången av undersökta kvantiteter. I övrigt ligger medelavvikelse mellan 3-6 % för scenario A och mellan 6-8 % för scenario B. Gastemperaturen visar inga tendenser till ökning av den relativa avvikelsen då antalet processorer ökar. Gastemperaturen är på det hela taget en ganska stabil och säker parameter som inte verkar känslig för uppdelning av parallella beräkningar. FDS-användaren bör dock uppmärksamma att större avvikelser kan erhållas vid parallella beräkningar och själva bedöma hur dessa kan komma att påverka den brandtekniska dimensioneringens syfte och mål.

- **Värmeöverföring:** Storleksmässigt liknande resultat erhöles mellan beräkningarna inom respektive scenario och antalet nyttjade processorer verkar inte ha någon systematisk betydelse. Medelavvikelse ligger mellan 5-13 % för scenario A och mellan 10-16 % för scenario B. Större avvikelser ses för scenario B vilket kan bero på den markant högre specificerade effektutvecklingen, vilken fluktuerade inom ett större intervall än för scenario A. Värmeöverföring visar lägre relativa avvikelser med ett längre valt tidsintervall. Värmeöverföringen är således en känsligare parameter under kortare perioder men en summering över längre tider ger en liknande känslighet som övriga kvantiteter, det vill säga upp till tio procent. Att värmeöverföringen är känslig för valet av tidsintervall är troligen en direkt avspeglning av brandens fluktuerande karaktär.
- **Massflöde:** Massflöde visade sig vara en mindre lämpad kvantitet att undersöka på grund av begränsningar i programmet. Massflödet integreras över en definierad yta men beräknas ej över hela ytan då denna delas av meshgränser. Om det exempelvis finns en meshgräns mitt i en dörr beräknas massflödet endast i den ena halvan av dörren. Massflödet valdes att inte redovisas liksom övriga undersökta kvantiteter då det gav ojämförbara resultat. Kvantiteten inkluderades av intresse från författarna, trots att manualen påpekade problemen, vilket var något optimistiskt.
- **Gashastighet:** Medelavvikelse ligger mellan 4-9 % för scenario A och mellan 18-25 % för scenario B. Många uteliggare noteras i båda scenarierna och en stor spridning kan ses i materialet för scenario B. Vald presentationsmetod visar dock inte vilka mätpunkter som genererar störst avvikelse. Scenario B visar generellt en större avvikelse för gashastigheterna vilket kan isoleras till en mätplats i synnerhet av de tre som användes. Kraftigast är avvikelsen i öppningen för tilluft nere på bottenvåningen medan de övriga två mätplatserna visar ungefär samma storleksmässiga avvikelser som för scenario A. De relativt kraftigt avvikande gashastigheterna i tilluftsöppningen i scenario B kan bero på ett pulserande inflöde då det visade sig att tilluften var för knapp och underventilation uppstod i ett senare skede av beräkningarna. För scenario A noteras i Figur 6:16 att beräkning A_N36_X avviker kraftigt från övriga igen.
- **Väggtemperatur** I Figur 6:18 och Figur 6:19 noteras ett flertal uteliggare, men generellt är medelavvikelse mellan 0-0,5 % för sce-

nario A och mellan 0-2 % för scenario B. Genomförda beräkningar visar att en uppdelning för parallella beräkningar skulle vara av mycket liten betydelse för en utvärdering av väggtemperaturer. Vid närmare kontroll av utdata noterades att många av de redovisade uteliggarna för scenario B kan härledas till mätningar i de väggar dit flammen lutar på grund av det kraftiga inflödet av luft, vilket kan vara en del av förklaringen till deras antal. Detta då inkommande värmestrålning ökar snabbt då flammen är närmre väggen. I scenario B noteras större relativa differenser än för scenario A vilket kan bero på att väggmaterialet i scenario A har en större termisk tröghet och därmed inte är fullt lika känsligt för temperaturförändringar in till väggar.

- **Brandgaslagrets höjd och temperatur:** Medelavvikelser ligger mellan 3-5 % för scenario A och mellan 11-22 % för scenario B med avseende på brandgaslagrets höjd, och mellan 2-4 % samt 5-6 % för brandgaslagrets temperatur. Scenario B visar på större avvikelser vad gäller brandgaslagrets höjd, vilket kan bero på den flödesbild som ges ut från brandrummet (se Figur 6:3 och Figur 6:4) och de mätpunkter som användes. Brandgaslagrets höjd är en integrerad storhet som ges av en vertikal temperaturprofil, mätt som en vertikal linje. Variationer i flöde över mätpunkterna, som mäts över hela rumshöjden i atriets mitt, kan generera stora avvikelser. Då både brandgaslagrets höjd och temperatur är integrerade storheter kan de på samma sätt som för massflödet inte beräknas då de delas av en meshgräns. Detta sker för alla beräkningar då z-led är delad och dessa är därför inte redovisade i resultaten. Beräkning A_N36_X sticker återigen ut ur mängden med högre relativa avvikelser än övriga uppsättningar för scenario A.
- **Syrgaskoncentration:** Medelavvikelser ligger mellan 0-0,5 % för scenario A och mellan 3-6 % för scenario B. Scenario A påvisar en väldigt låg avvikelse där en mätpunkt befann sig i brandgaslagret och en i golvnivå. Scenario B, som visar på en större spridning, hade en mätpunkt i brandrummet och en mätpunkt på en av de högre våningarna. Den större spridningen skulle kunna bero på att den ena mätpunkten var placerad långt ifrån branden, men en definitiv slutsats kan ej dras. Syrgaskoncentrationen visade sig även vara känslig för intervalltiden som medelvärdesbildningen gjordes över, se bilaga D. Beräkning A_N36_X avviker kraftigt från övriga igen.
- **Tryck:** I tidigare versioner av FDS har avvikelser och lösningar av tryck mellan mesher varit ett problem och innan beräkningarna hade utförts fanns därför en misstanke om att avvikelsen skulle öka med antalet använda processorer, men detta visade sig vara ogrundat. Erhållna resultat pekar dock på att denna kvantitet fortfarande är relativt känslig för uppdelning i multipla mesher. Medelavvikelser ligger mellan 8-26 % för scenario A och mellan 5-19 % för scenario B. I scenario A ses betydligt större relativa differenser jämfört med scenario B, men någon entydig förklaring till detta har ej gått att finna. Ur utdata har det observeras att det är beräknade undertryck i brandrummet som står för de större relativa avvikelserna i scenario A.

På grund av de inbyggda mindre ”störningar” som fanns under beräkningarnas första tidssteg genererades orimliga avvikelser. Grunden till detta är använd metod med relativa differenser där två värden mycket nära noll kan resultera i mycket stora

tal vid division. De inledande tidsstegen resultat togs av denna anledning bort innan de redovisades.

- **Röktäthet:** Likt kvantiteten tryck fanns störningar under de första tidsstegen som genererade orimliga avvikelser varför de inledande värdena togs bort innan de redovisades. Generellt är avvikelsen ett par procent för både scenario A, 2-8 %, och B, 5-16 %, jämfört med respektive referensberäkning och kvantiteten verkar inte vara känslig för ett ökat antal nyttjade processorer. Beräkning A_N36_X avviker åter igen kraftigt från övriga beräkningar av scenario A.

Ett par av de tänkta beräkningarna (se kapitel 6.2) med ett större antal processorer och meshindelning i en dimension gick ej att slutföra på grund av ett okänt fel och redovisas därför inte i denna rapport. En orsak skulle kunna vara numerisk instabilitet i beräkningarna som en följd av att för få celler spänner över meshernas bredd. Mycket rörelser i beräkningsdomänen och för stora tidssteg kan leda till att rörelser inte beräknas korrekt varpå beräkningarna kan bli instabila. Denna teori stärks av att en av de beräkningarna med flest nyttjade processorer inblandade (A_N36_X), och som slutfördes felfritt, påvisar mycket större avvikelse för flera kvantiteter än övriga beräkningar av samma scenario. Det finns dock en rad andra orsaker som skulle kunna leda till numerisk instabilitet i beräkningarna varför ingen definitiv slutsats kan dras.

En uppmärksam detalj för scenario B var att avvikelserna för beräkning B_N27_Y var störst för nästan alla undersökta kvantiteter. Denna avvikelse bedöms dock inte vara lika markant som för scenario A_N36_X och anses inte på samma sätt vara missvisande för resultatet. Dock kan detta betyda att B_N27_Y är på gränsen vad avser numerisk stabilitet och visar på ytterligare en indikation att meshindelning i en dimension kan påverka beräkningarna mer än bara resursmässigt (se diskussion i avsnitt 7.4).

I genomfört projekt specificerades effektutveckling av användarna. I och med detta modelleras förbränningen per automatik av en "Mixture Fraction Model". För vald förbränningsmodell pekar inget på att meshindelning genom branden ger konsekvent större avvikelse än de som inte har meshgräns i branden förutom för just kvantiteten effektutveckling. Det är möjligt att andra förbränningsmodeller i FDS uppvisar annorlunda relativa avvikelser, varför ytterligare försök vore önskvärt för att om möjligt kunna beskriva FDS i en större helhet.

Då underventilerade förhållanden uppstod i scenario B, trots att handberäkningar inte förutspådde detta, erhöles mycket skiftande och väldigt stora relativa avvikelser sett till referensscenariot. Mätdata efter tidpunkten för underventilering togs ej hänsyn till i resultatet. Att modellera underventilerade bränder är en stor utmaning med FDS och kräver mer av användaren samt användandet av mer komplexa undermodeller. Detta är enligt en av FDS tekniska referenser [10] ett pågående forskningsområde och bör komma att förbättras i framtiden. För parallella beräkningar rekommenderas tillsvidare extra försiktighet vid modellering av underventilerade bränder då helt andra förbränningsmodeller än de som använts i detta projekt krävs. Detta skulle kunna vara ett intressant upplägg för framtida forskning.

En annorlunda vald gridstorlek i kombination med parallella beräkningar har ej undersökts för FDS i detta projekt. Gridstorleken är en kritisk faktor i FDS, se bilaga A, och effekten

av denna parameters val kan vara stor med avseende på resultaten. Det vore intressant att studera om och hur relativa avvikelser för parallella beräkningar står i relation till användarvalet av gridstorlek.

7.4 Resursanvändning

Även om parallella beräkningar möjliggör förkortade beräkningstider anses den största fördelen vara att kunna genomföra mer komplexa, krävande och detaljerade beräkningar för brandteknisk dimensionering.

Resursanvändning är en viktig del att ta hänsyn till vid CFD-beräkningar. Vad gäller hårdvara så kan införskaffning vara en stor investering och kräver därefter mycket underhåll. Detta passar sig inte för alla användare varför möjligheten att hyra datorkraft skulle kunna vara en lösning. Fördelarna med detta är att användaren inte behöver konfigurera ett nytt system utan istället kan fokusera sig på CFD-beräkningar, som trots allt kan vara nog så krävande som det är. Möjligheten till ett användarvänligt och intuitivt användargränssnitt skulle ytterligare kunna underlätta användandet av sådana system. Att hyra in sig på ett kluster eller liknande är en resurs som inte ska underskattas av tyngre användare av parallella CFD-beräkningar. Inlärningskurvan för användandet av FDS på Lunarc-systemen är inledningsvis brant men projektet har resulterat i en användarmanual som Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering kommer att få tillgång till. Fördelarna med att använda Lunarc-systemen för kommande CFD-kurser anses överväga de eventuella inledande svårigheter som studenterna kan tänkas stöta på vid användandet av systemen.

Det har noterats att de beräkningar som resulterat i större relativa kvantitativa avvikelser (enligt avsnitt 7.3) även avviker kraftigt, relativt sett, i RAM-användning och tidsåtgång. Det är beräkningar med ett större antal processorer och meshindelning i en dimension som påvisar kraftigast avvikande resultat.

I kommande avsnitt redogörs för de observationer som gjorts utifrån erhållna resultat kopplade till resursanvändning.

7.4.1 Beräkningstider

Det observerades under arbetets gång att beräkningstiderna generellt blir kortare, med ett par undantag, vid ökat antal nyttjade processorer. Resultaten visar dock en viktig aspekt att ta hänsyn till vid tidsplanering; användaren kan inte förvänta sig linjära tidsvinster samt att den relativa tidsvinsten avtar med ökat antal nyttjade processorer, likt tidigare undersökningar av bland annat Dittmer och Jämtäng (FDS4) [7], Galea och Ierotheou (HARWELL-FLOW3D) [2-4], Grandison, Galea, Patel och Ewer (SMARTFIRE) [5], Bessonov, Fougère och Roux [20] samt Vatsa och Faulkner (TLNS3D) [21] visar på. Detta är i enlighet med Amdahls lag och kan ses som en indikation på den parallelliserbarhet nämnda referenser erhöill för respektive programvaror.

För detta projekt noteras att de mest effektiva tidsvinsterna erhöill upp till sex processorer för att sedan vika av ganska kraftigt för de beräkningar där ett större antal processorer användes. För en del av beräkningarna kan det till och med noteras att det, relativt sett, var mer effektivt att använda sig utav 18 processorer än 36. Detta kan dock vara en slump då flertalet av beräkningarna endast slutförts en gång vardera. En definitiv slutsats kan därför inte dras då detta hade krävt upprepade beräkningar, vilket inte var möjligt för detta projekt på grund av begränsad tillgång till det använda datorklustret.

Genomförda beräkningar visar en sämre relativ tidsvinst än tidigare nämnda undersökningar [2-5, 7, 20, 21]. Detta kan bero på skillnader i valet av gridstorlek för beräkningarna och problemens komplexitet. I jämförelse med Dittmer och Jämtäng (FDS4) [7] kan denna skillnad även bero på en omskriven källkod och den utökade MPI-kommunikationen (pressure correction med mera) som införts i FDS 5 för att öka den matematiska robustheten i modellen och på så sätt försöka säkerställa bättre resultat.

Försämrad tidsvinst relativt ökat antal processorer är ett generellt problem och inte specifikt för FDS. Programutvecklare strävar alltid efter att minska den seriella delen av koden för att kunna uppnå bättre skalning av parallella applikationer. FDS var från början ett seriellt program och övergången till parallella beräkningar har pågått sedan version 4, men är fortfarande i utvecklingsstadiet. Prioriteten ligger i dagsläget på att öka den matematiska robustheten och försöka minska meshconnectivity-problem. Efter denna fas kommer koden optimeras så att den blir mer parallelliserbar och därmed öka den potentiella tidsvinsten med parallella beräkningar [37]. Vid en jämförelse med teorin bakom Amdahls lag pekar erhållna resultat på att omkring 95 % av beräkningarna i FDS5 utfördes parallellt, vilket motsvarar en maximal teoretisk tidsvinst på 20 gånger oavsett antalet nyttjade processorer. Detta gäller endast för detta projekts gjorda kompilering, som inte var systemoptimerad, och avspeglar inte nödvändigtvis andelen parallelliserbar kod i FDS. Det skall klargöras att det är svårt att bestämma andelen som kan parallelliseras med tillförlitlighet och mer exakthet utan att ha mer kännedom om hur parallelliseringen i FDS sker och använda betydligt fler beräkningar som underlag.

Det finns även andra faktorer som kan vara orsaken till att sämre skalning påvisas i detta projekt än i tidigare arbeten. En sådan är övrig nätverkstrafik i det använda systemet. Under arbetets gång var använt system tungt belastat större delar av tiden vilket kan ha haft betydelse för resultatet. Detta styrks av att de upprepade beräkningarna av A_N36_X4_Y3_Z3 respektive B_N27_X3_Y3_Z3 hade stor spridning i beräkningstid sinsemellan. Vid körning med seriell källkod i förundersökning visade det sig att upprepade beräkningar på samma dator tog olika tid men långt ifrån den spridning som syns vid parallella beräkningar på klustret Milleotto (storleksordning 100 sekunder vid de seriella körningarna). Nätverkstrafik undgås vid seriella beräkningar medan den ökar ju fler processorer som används vid parallella beräkningar.

En indikation på använt systems betydelse ges i resultat framtagna av Vatsa och Faulkner [21]. Där visade ett enklare kluster en sämre relativ tidsvinst vid ökat antal processorer, likt resultaten i detta projekt, jämfört med samma beräkningar på en så kallad superdator som visade en nästan helt linjär tidsvinst. Samma programvara men olika effektiv tidsskalning indikerar inverkan från systemen. Ett intressant resultat gällande relativa tidsvinster vid parallella CFD-beräkningar gjordes även av Yan [8] samt av Bessonov, Fougère och Roux [20] där relativa tidsvinster över 100 % påvisades med ett system, så kallade superlinjära tidsvinster.

Resultaten i Figur 6:30 och Figur 6:31 visar en trend där mer kubformade mesher är tidsmässigt effektivare än mesher indelade i endast en dimension för FDS-beräkningar. Detta syns tydligast från och med 18 processorer och fler för scenario A respektive för sex processorer och fler för scenario B.

7.4.2 Minnesanvändning, RAM

Trenden att en mer kubisk meshindelning är mer tidseffektiv än mesher indelade i endast en dimension kan tydligt uttydas för 18 processorer och fler i scenario A respektive för sex processorer och fler i scenario B. Samma trend kan ses vad avser mängden RAM som krävs för beräkningarna, även om detta resultat är mindre tillförlitligt på grund av osäkerheten i mätmetoden. Att minnesanvändningen ökar beror troligen på antalet celler som angränsar till varandra, vilket kan förklaras med att mer information behöver utbytas samt mellanlagras inför varje tidssteg [16]. Minsta antalet gränsceller erhålls då mesherna är kubformade och alla mesher har samma volym. Även om detta inte alltid är praktiskt möjligt bör detta eftersträvas då resultaten visar på en betydande påverkan på tidsvinsten samt använd mängd RAM.

Ett antal av beräkningarna, med ett större antal arbetande processorer och meshindelning i en dimension, slutfördes inte på grund av okända fel och redovisas därför inte i denna rapport. Felen tros antingen bero på numerisk instabilitet, vilket förklarats i avsnitt 7.3, eller på grund av otillräckliga minnesresurser för beräkningarna. Det senare problemet är känt för att ge icke specificerade felmeddelande likt de som erhöles. Tyvärr saknar Lunarc-systemen ett sätt för användaren att övervaka hårdvaruanvändningen under tiden ett arbete är i gång varför felkällan inte kan säkerställas. Vid prövning av de felande beräkningarna på en lokal dator med operativsystemet Windows, övervakades och observerades att tillgängligt RAM tog slut varpå beräkningen avbröts med ett felmeddelande, dock ej exakt samma som på klustret. En definitiv slutsats kopplat till att de avbrutna beräkningarna berodde på otillräckliga minnesresurser kan ej dras då FDS-versionen på den lokala datorn kompilerats under andra förutsättningar gentemot Lunarc-systemen.

7.5 Kommunikation och framtiden

Parallell implementering löses på olika sätt för olika mjukvaror. Exempelvis används olika programkod, olika biblioteksspecifikationer för kommunikation mellan processorer etcetera. Genomförd studie behöver därför inte påvisa de resultat som kan erhållas för andra mjukvaror än FDS, i synnerhet gäller detta resultaten för den kvantitativa undersökningen. Ett exempel på detta är brandmodellen SMARTFIRE som implementerats på ett skilt sätt från FDS. SMARTFIRE har rapporterats ge lägre differenser än 10^{-4} % [5], vilket motsvarade det använda konvergenskriteriet för lösningen. Det skall dock uppmärksammas att SMARTFIRE är en RANS-kod och därmed löser turbulensmodellering mer genomsnittligt än en LES-kod (se bilaga C), vilket kan vara en förklaring till den försumbara avvikelsen.

Ett flertal nyare kompilatorer stödjer automatiserad parallellisering. Detta innebär nya möjligheter vad gäller parallella beräkningar och möjligheten att omvandla seriellt skriven programkod för parallella beräkningar utan att manuellt ändra i koden [38]. Automatiserad parallellisering är dock knutet till minnesdelade processorer, så som multicore-processorer och ”Memory Shared Computers”, men under dessa förutsättningar skulle ett program som FDS internt kunna dela upp beräkningarna över alla kärnor med endast en definierad mesh. Vid beräkningar på flera datorer utan fullständigt minnesdelade resurser, exempelvis två fysiskt åtskilda multicoredatorer, skulle FDS i dagsläget fortfarande behöva två definierade mesher och ett MPI-program för lösa ut kommunikationen.

För att försöka säkerställa konsekventa resultat vid parallella beräkningar med FDS skulle en uppdelning av beräkningsdomänen kunna undvikas genom att ekvationerna istället skulle parallelliseras. På så sätt skulle problematiken med kommunikation mellan mesher helt

kunna undgås. Kommunikation mellan processorer skulle fortfarande äga rum men det skulle inte vara kvantitativa data som skickas runt utan delar av programinstruktioner och ekvationer. Detta skulle dock innebära stora förändringar i FDS källkod, främst i hur ekvationer programmeras, och skulle vara mycket tidskrävande att ändra och orimligt att kräva av den relativt lilla utvecklingsgruppen bakom FDS. Dessutom skulle detta kunna innebära att tidsåtgången blev längre då de ekvationer som inte kan utföras parallellt endast hade beräknats av en processor.

FDS är i nuläget sårbart för maskinhaveri, även om en restartfunktion finns att tillgå. Det har dock visat sig under projektets gång att denna funktion inte är 100 % tillförlitlig. Ett tänkbart komplement för framtidens FDS är att implementera *dynamic load balancing* (DLB) för att möjliggöra ett mer redundantert system vid stora klusterberäkningar. En ytterligare positiv effekt med DLB, skulle vara möjligheten att kunna få effektivare beräkningar på ett heterogent system, till exempelvis vid användning av olika kontorsdatorer som ett kluster.

7.6 Förslag på fortsatt arbete

Detta projekt har endast berört ytan av ett i framtiden kraftigt växande område inom brandmodellering med hjälp av CFD; parallella beräkningar. Ett flertal obesvarade frågor kvarstår för att ytterligare fördjupa kunskaperna om för- och nackdelar med CFD-beräkningar, däribland för mjukvaran *Fire Dynamics Simulator*, på parallella processorer.

- En mer omfattande undersökning vore önskvärt att genomföra för att kunna dra än mer generella slutsatser vad beträffar CFD-beräkningar på parallella processorer. Ett framtida arbetsområde skulle kunna utveckla detta projekt att omfatta fler undersökningar och fältmodeller för att stärka erhållna resultat och observationer. En sådan mer omfattande undersökning skulle kunna bidra till utvecklingen av dagens och framtidens fältmodeller.
- I detta projekt har långt ifrån alla kombinationer av funktioner, undermodeller, och parametrar för dessa, i FDS undersökts. Intressanta områden som flamspridning över meshgränser, sprinkleraktivering och effekten av dessa, en grundligare studie av strålning genom meshgränser är exempel på saker som skulle kunna utgöra framtida forskningsområden. Det skall dock noteras att många av dessa funktioner och undermodeller ännu är under utveckling.
- I detta projekt genomfördes en känslighetsanalys av gridstorlekens betydelse för beräkningarnas resultat innan den kvantitativa jämförelsen genomfördes. Vad som inte undersökts är hur känsliga de relativa avvikelserna är för beräkningar på parallella processorer sett till valet av gridstorlek. Exempel på frågor som kvarstår är om det erhålls allt större avvikelser i resultaten ju grövre eller finare gridstorleken är och hur en blandning av finare och grövre gridnät påverkar resultaten.
- En tanke kring vilka effekter som kan ses i resultat beroende på om använt system är homogent alternativt heterogent väcktes under projektets gång. En konsekvens som är trolig är att det heterogena systemet kommer uppvisa större avvikelse på grund av olikheten inom systemet. Det visade sig i förundersökningarna att en mindre skillnad fanns då beräkningarna utfördes på en AMD-baserad dator gentemot en Intel-baserad dator. Även om denna skillnad var liten vid seriella beräk-

ningar skulle det potentiellt kunna öka i proportioner då en större mängd processorer med olika specifikationer används för parallella beräkningar, vilket vore intressant att följa upp.

- I syfte att särskilja den eventuellt rena kommunikationspåverkan som skulle kunna uppstå mellan processorer som utför parallella CFD-beräkningar vore det, för exempelvis FDS och dess MPI-kommunikation, möjligt att genomföra och jämföra beräkningar med ett likt antal mesher på såväl en processor som multipla processorer.

8

SLUTSATSER

En validering och utvärdering av parallella beräkningar för modellering av rumsbrand med Fire Dynamics Simulator har genomförts för att utifrån en användares perspektiv, kvantifiera och analysera de eventuella för- och nackdelar som kan erhållas vid CFD-beräkningar på parallella processorer. I detta kapitel redogörs för dragna slutsatser.

Utifrån genomfört projekt har följande slutsatser kunnat dras:

- En allmän bedömning av resultaten av den kvantitativa undersökningen visar att parallella beräkningar med FDS ger relativa avvikelser i storleksordningen upp till 10 % jämfört med de seriella referensberäkningarna, med ett par undantag där kvantiteter visar avvikelser upp mot 20 %. Detta kan medföra en större osäkerhet vid användandet av FDS för brandteknisk dimensionering. Huruvida dessa avvikelser ökar osäkerheten i FDS jämfört med experimentella data har ej undersökts.
- Relativa avvikelser i resultaten ökar inte med antalet processorer som används, med undantag för effektutvecklingen. Denna trend syntes dock endast då branden delades av en eller flera meshgränser.
- Beräkningstiden för parallella CFD-beräkningar minskar då antalet använda processorer ökar, men den relativa tidsvinsten är sällan linjär med avseende på antalet nyttjade processorer.
- Genomförd studie visar att kubformade mesher är fördelaktigt ur ett tids- och resursanvändningsperspektiv. Att använda sig utav meshindelning i en dimension rekommenderas inte trots att det kan vara lättare för användaren att konfigurera.
- Parallella CFD-beräkningar kräver generellt mer av användaren än vad seriella beräkningar gör. Utöver att bli familjär med mjukvara måste användaren ofta även lösa hårdvaru- och operativsystemsrelaterade problemställningar. För den oinvidige kan detta vara frustrerande men fördelarna med parallella beräkningar, så som kortare beräkningstider och möjlighet till större problemhantering, väger ofta upp.

REFERENSER

- [1] Cox, G., & Kumar, S. (2002). Modeling Enclosure Fires Using CFD. I P. J. DiNenno (Red.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (3rd ed.) (pp. 3:194-3:218). Quincy, MA: National Fire Protection Association.
- [2] Galea, E. R., & Ierotheou, C. S. (1992). Fire-Field Modelling on Parallel Computer. *Fire Safety Journal*, 19, (2), 251-266.
- [3] Galea, E. R., & Ierotheou, C. S. (1992). A Parallel Implementation of a General Purpose Fluid Flow Code and its Application to Fire Field Modelling. I D. J. Evans, G. R. Joubert & H. Liddell (Red.), *Proceedings of the International Conference on Parallel Computing '91* (pp. 601-608). Amsterdam: North-Holland.
- [4] Ierotheou, C. S., & Galea, E. R. (1992). A Fire Field Model Implemented in a Parallel Computing Environment. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 14, 175-187.
- [5] Grandison, A. J., Galea, E. R., Patel, M. K., & Ewer, J. (2005). The Development of Parallel Implementation for a CFD Based Fire Field Model Utilising Conventional Office Based PCs. *Journal of Applied Fire Science*, 12, (2), 137-157.
- [6] Grandison, A. J., Galea, E. R., Patel, M. K., & Ewer, J. (2007). Parallel CFD Fire Modelling on Office PCs with Dynamic Load Balancing. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 55, (1), 29-39.
- [7] Dittmer, T., & Jämtäng, U. (2006). *Känslighetsanalys av FDS och dess undermodeller i ett tunnelseenario* (Rapport 5192). Lund: Lunds Tekniska Högskola, Brandteknik.
- [8] Yan, Z. H. (2002). Parallel Computation of Turbulent Combustion and Flame Spread in Fires. *Numerical Heat Transfer, Part B*, (41), 191-208.
- [9] Olenick, S. M., & Carpenter, D. J. (2003). An Updated International Survey of Computer Models for Fire and Smoke. *Journal of Fire Protection Engineering*, 13, 87-110.
- [10] McGrattan, K., Hostikka, S., Floyd, J., Baum, H., Rehm, R., Mell, W., & McDermott, R. (2008). *Fire Dynamics Simulator (version 5) Technical Reference Guide : Volume 1: Mathematical Model* (NIST Special Publication 1018-5 July 30 2008). Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology.
- [11] McDermott, R., McGrattan, K., Hostikka, S., & Floyd, J. (2008). *Fire Dynamics Simulator (version 5) Technical Reference Guide : Volume 2: Verification* (NIST Special Publication 1018-5 July 30 2008). Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology.
- [12] McGrattan, K., Hostikka, S., Floyd, J., & Klein, B. (2008). *Fire Dynamics Simulator (version 5) Technical Reference Guide : Volume 3: Validation* (NIST Special Publication 1018-5 July 30 2008). Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology.

- [13] American Society for Testing and Materials. (2004). *ASTM E1355 - 05a Standard Guide for Evaluating the Predictive Capability of Deterministic Fire Models*. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.
- [14] U.S. Nuclear Regulatory Commission., & Electric Power Research Institute. (2007). *Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications, Volume 1: Main Report* (Report NUREG-1824 and EPRI 1011999). Rockville, MD: Office of Nuclear Regulatory Research, and Palo Alto, CA: Electric Power Research Institute.
- [15] U.S. Nuclear Regulatory Commission., & Electric Power Research Institute. (2007). *Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications, Volume 7: Fire Dynamics Simulator (FDS)* (Report NUREG-1824 and EPRI 1011999). Rockville, MD: Office of Nuclear Regulatory Research, and Palo Alto, CA: Electric Power Research Institute.
- [16] McGrattan, K. [a.k.a. Kevin] (2008, Juni 4). *FDS and Smokeview Discussions* [www dokument]. URL <http://groups.google.com/group/fds-smv>
- [17] McGrattan, K., Klein, B., Hostikka, S., & Floyd, J. (2008). *Fire Dynamics Simulator (version 5) User's Guide* (NIST Special Publication 1019-5 July 30 2008). Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology.
- [18] Klein, B. [a.k.a. BKlein] (2008, Juli 1). *FDS and Smokeview Discussions* [www dokument]. URL <http://groups.google.com/group/fds-smv>
- [19] Lunarc. (2008, Augusti 1). *Center for Scientific and Technical computing LUNARC Lund University* [www dokument]. URL <http://www.lunarc.lu.se/>
- [20] Bessonov, O., Fougère, D., & Roux, B. (2001). Parallel Simulation of 3D Incompressible Flows and Performance Comparison for Several MPP and Cluster Platforms. I V. Malyskin (Red.), *Parallel Computing Technologies : 6th international conference* (pp. 401-409). Berlin: Springer.
- [21] Vatsa, V. N., & Faulkner, T. R. (1998). *Navier-Stokes Computations on Commodity Computers* [Online]. Tillgänglig: NASA Technical Reports Server (NTRS): 20040095926 [2008, Juli 1]
- [22] Ejvegård, R. (2007). *Vetenskaplig metod* (3:e rev. uppl.). Lund: Studentlitteratur.
- [23] Steckler, K. D., Quintiere, J. G., & Rinkinen, W. J. (1982). *Flow Induced by Fire in a Compartment* (NBSIR B2-2520). Washington, DC: National Bureau of Standards.
- [24] Grandison, A. J., Galea, E. R., & Patel, M. K. (2008, Juli 3). *CFD Fire Field Modelling Standards* [www dokument]. URL http://fseg.gre.ac.uk/fire/standards_for_fire_field_models_proj.html
- [25] McGrattan, K. B., Baum, H. R., & Rehm, R. G. (1998). Large Eddy Simulation of Smoke Movement. *Fire Safety Journal*, 30, (2), 161-178.

- [26] Sanderson, V. E., Rubini, P. A., & Moss, J. B. (1999). The Effect of Vent Size on a Compartment Fire: Numerical Simulation and Validation. I *Proceedings of the Eight International Conference - INTERFLAM'99* (pp. 1189-1194). London: Interscience Communications Ltd.
- [27] Zou, G. W., & Chow, W. K. (2005). Evaluation of the Field Model, Fire Dynamics Simulator, for a Specific Experimental Scenario. *Journal of Fire Protection Engineering*, 15, 77-92.
- [28] Milke, J. A. (2002). Smoke Management in Covered Malls and Atria. I P. J. DiNenno (Red.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (3rd ed.) (pp. 4:292-4:310). Quincy, MA: National Fire Protection Association.
- [29] Floyd, J. [a.k.a. dr_jfloyd] (2008, September 8). *FDS and Smokeview Discussions* [www dokument]. URL <http://groups.google.com/group/fds-smv>
- [30] Barney, B. (2008, Juli 1). *Introduction to Parallel Computing* [www dokument]. URL https://computing.llnl.gov/tutorials/parallel_comp/
- [31] LAM development team. (2008, Augusti 11). *LAM FAQ: Heterogenenity and LAM/MPI* [www dokument]. URL <http://www.lam-mpi.org/faq/category11.php3>
- [32] Barney, B. (2008, Juli 2). *Message Passing Interface (MPI)* [www dokument]. URL <https://computing.llnl.gov/tutorials/mpi/>
- [33] Amdahl, G. M. (1967). Validity of the single-processor approach to achieving large scale computing capabilities. I *AFIPS Spring Joint Computer Conference Proceedings* (pp. 483-485). Atlantic City, NJ: AFIPS Press.
- [34] Gustafson, J. L. (2008, Oktober 14). *Reevaluating Amdahl's Law* [www dokument]. URL <http://www.scl.ameslab.gov/Publications/Gus/AmdahlsLaw/Amdahls.html>
- [35] Tewarson, A. (2002). Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires. I P. J. DiNenno (Red.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (3rd ed.) (pp. 3:82-3:161). Quincy, MA: National Fire Protection Association.
- [36] Körner, S., & Wahlgren, L. (2002). *Praktisk statistik* (3:e uppl.). Lund: Studentlitteratur.
- [37] McDermott, R. [a.k.a. Randy McDermott] (2008, Augusti 22). *FDS and Smokeview Discussions* [www dokument]. URL <http://groups.google.com/group/fds-smv>
- [38] Zhang, G., Unnikrishnan, P., & Ren, J. (2005). Experiments with Auto-parallelizing SPEC2000FP Benchmarks. I R. Eigenmann, Z. Li & S. P. Midkiff (Red.), *Lecture Notes in Computer Science* (Volume 3602) (pp. 348-362). Heidelberg: Springer.

BILAGOR

BILAGA A

KÄNSLIGHETSANALYS GRIDSTORLEK

Denna bilaga återger den inledande känslighetsanalys som gjordes för att finna den gridstorlek som projektet sedan skulle komma att baseras på.

CFD-modeller löser en approximativ form utav kontinuitetsekvationerna för bevarandet av massa, rörelsemängd och energi i ett numeriskt gridnät. Generellt gäller att en finare numerisk grid ger en bättre numerisk lösning av de styrande ekvationerna. Gridstorleken är således ett kritiskt användarval vid brandmodellering med FDS och har i flera studier [1-4] visat känslighet för detta val.

Felet associerat med omvandlingen av partiella derivator till diskret form är en funktion av gridstorleken och typen av differentiering som används. FDS använder andra ordningens approximationer av de temporala och spatiala derivatorna av Navier-Stokes-ekvationerna vilket innebär att omvandlingen till diskret form orsakar ett fel som är proportionellt mot kvadraten på tidsstegen eller på gridstorleken [2]. Teoretiskt bör då en halvering av gridstorleken reducera dessa fel med en faktor fyra. Då ekvationerna är icke-linjära behöver denna felreducering nödvändigtvis inte överföras i motsvarande storlek för önskade utdata [2]. Att beakta är att beräkningstiden teoretiskt ökar 16 gånger vid en halvering av gridstorleken (en faktor två i varje rumslig dimension samt tiden) [2].

Ett mått för hur väl flödena återges, i en simulering med stigande polymer, ges av $D^*/\delta x$ där D^* är brandens karakteristiska diameter och δx är den nominella storleken av meshens celler [5]. Brandens karakteristiska diameter ges av ekvation [Ekv. A:1] [5]:

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_\infty c_p T_\infty \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad [Ekv. A:1]$$

där \dot{Q} , ρ_∞ , c_p , T_∞ och g är den totala effektutvecklingen (kW), luftens densitet vid omgivningstemperatur (kg/m^3), specifika värmekapaciteten (kJ/kgK), omgivningstemperaturen (K) respektive tyngdaccelerationen (m/s^2).

I användarmanualen till FDS [5] föreslår författarna att $D^*/\delta x$ kan ses som antalet celler som spänner över brandens karakteristiska diameter och att beräkningens upplösning blir bättre ju fler dessa celler är. Samma författare anser också att det är bättre att uttrycka meshkvalitén i form av $D^*/\delta x$ än den absoluta gridstorleken.

Tidigare gjorda undersökningar föreslår att tio till 20 celler över brandens karakteristiska diameter ger en god upplösning. McGrattan, Baum och Rehm [3] fann att $D^*/\delta x = 10$ var en tillräcklig upplösning efter noggranna jämförelser med plymkorrelationer. Ma och Quintiere [1] fann att $D^*/\delta x = 20$ var den optimala upplösningen för simulering av flammhöjder. Ett vanligt värde att låta känslighetsanalyser utgå ifrån är $D^*/\delta x = 10$, men såväl lägre som högre värden kan vara mer lämpade beroende på målet med beräkningen.

På grund av de stora skillnaderna i föreslagna upplösningar genomfördes en känslighetsanalys med avseende på lämplig gridstorlek för scenario A och scenario B. Respektive scenario simulerades seriellt med en upplösning motsvarande $D^*/\delta x = 8, 10, 16$ och där samma uniforma gridstorlek eftersträvades i alla tre dimensioner.

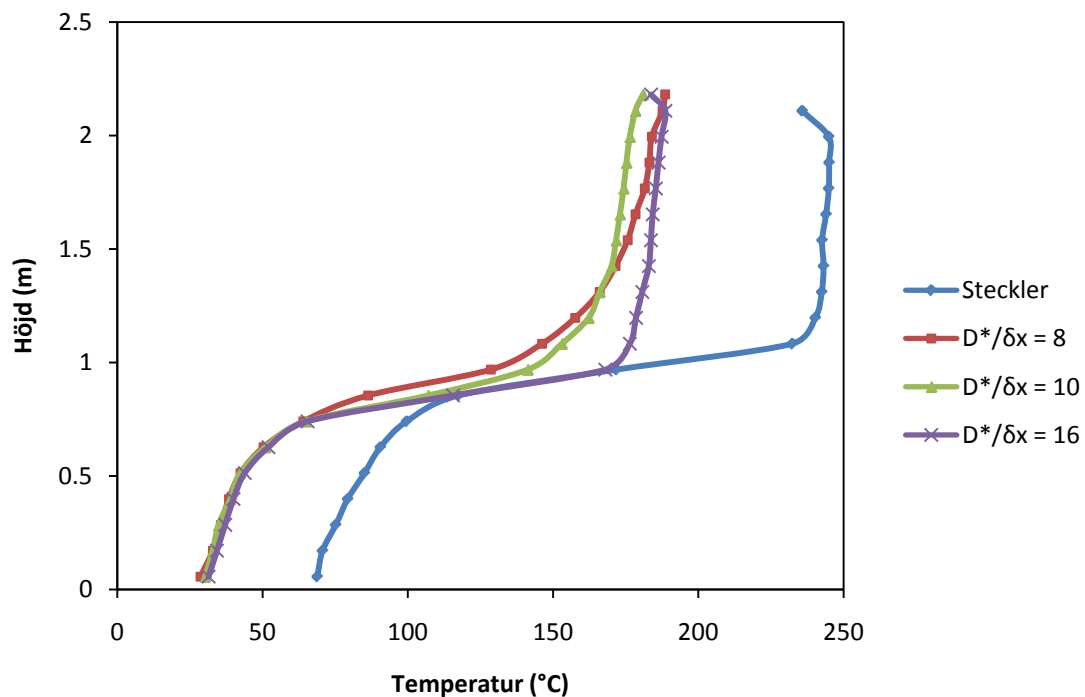
A.1 Scenario A

Förutsättningarna för känslighetsanalysen av scenario A framgår av Tabell A:1. Övriga indata för beräkningarna är givna i bilaga B.1.

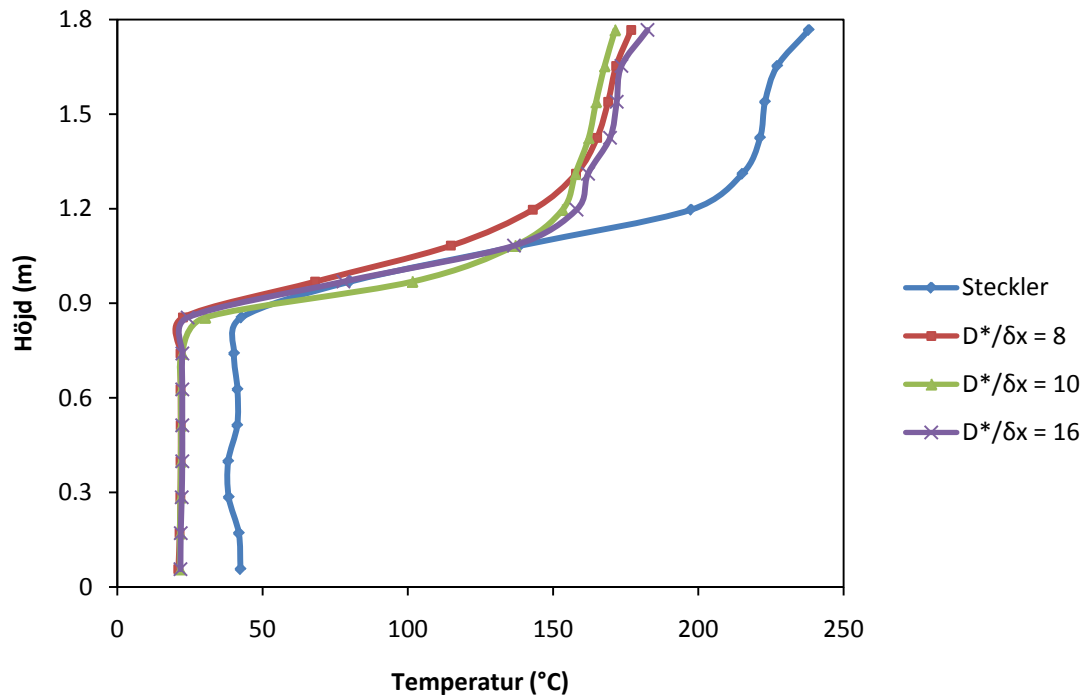
Tabell A:1 Förutsättningar för scenario As känslighetsanalys

$D^*/\delta x$	Grid (I x J x K)	Cell storlek ($\delta x \delta y \delta z$) (cm)	\dot{Q} (utdata) (kW)	Beräkningstid (h)
8	90 x 54 x 45	5,55 5,55 5,33	153	32,8
10	120 x 72 x 54	4,17 4,17 4,44	153	77,8
16	180 x 108 x 90	2,78 2,78 2,67	153	445,0

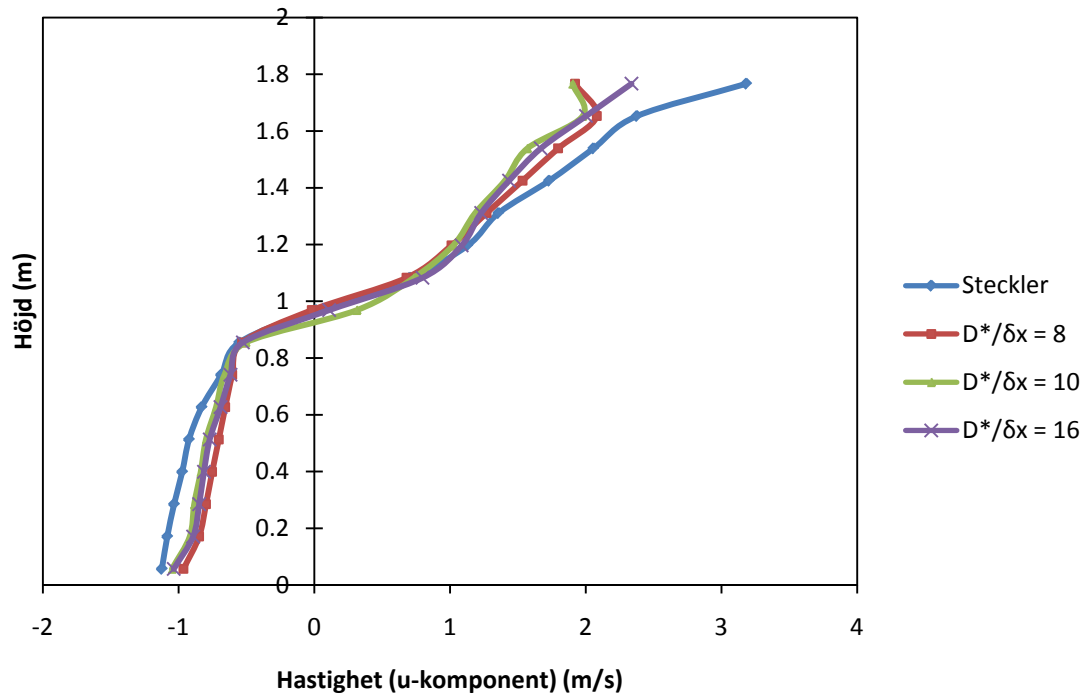
I Figur A:1, Figur A:2 och Figur A:3 ges en jämförelse av brandrumstemperaturen, temperaturen i brandrummets dörröppning och hastigheterna i brandrummets dörröppning för genomförd känslighetsanalys och motsvarande värden från Steckler, Quintiere och Rinkins försök [6]. Redovisade resultat är baserade på presenterade kvantiteters medelvärde under brandmodelleringens sista minut.



Figur A:1 Temperaturprofiler i brandrummet för scenario As känslighetsanalys.



Figur A.2 Temperaturprofiler i brandrummets dörröppning för scenario A:s känslighetsanalys.



Figur A.3 Hastighetsprofiler i brandrummets dörröppning för scenario A:s känslighetsanalys.

Genomförd känslighetsanalys tyder på att resultaten konvergerar vid undersökta upplösningar, men att den finast undersökta upplösningen, $D^*/\delta x = 16$, visar bäst överensstämmelse med Steckler, Quintiere och Rinkinen's försök.

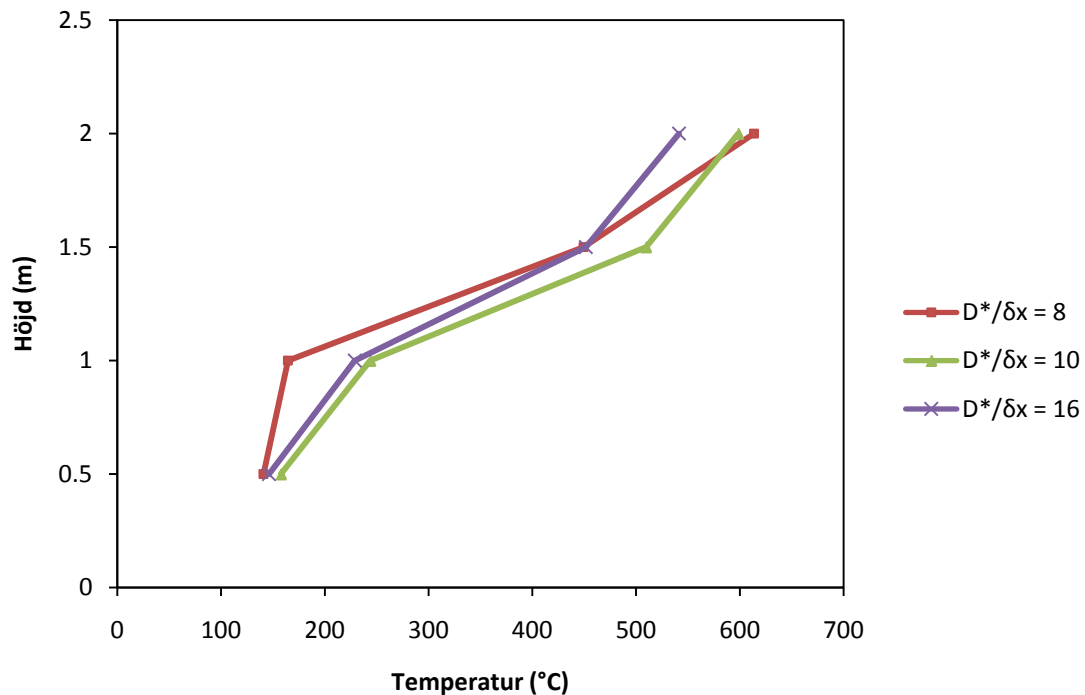
A.2 Scenario B

Förutsättningarna för känslighetsanalysen av scenario B framgår av Tabell A:2. Övriga indata för beräkningarna är givna i bilaga B.1.

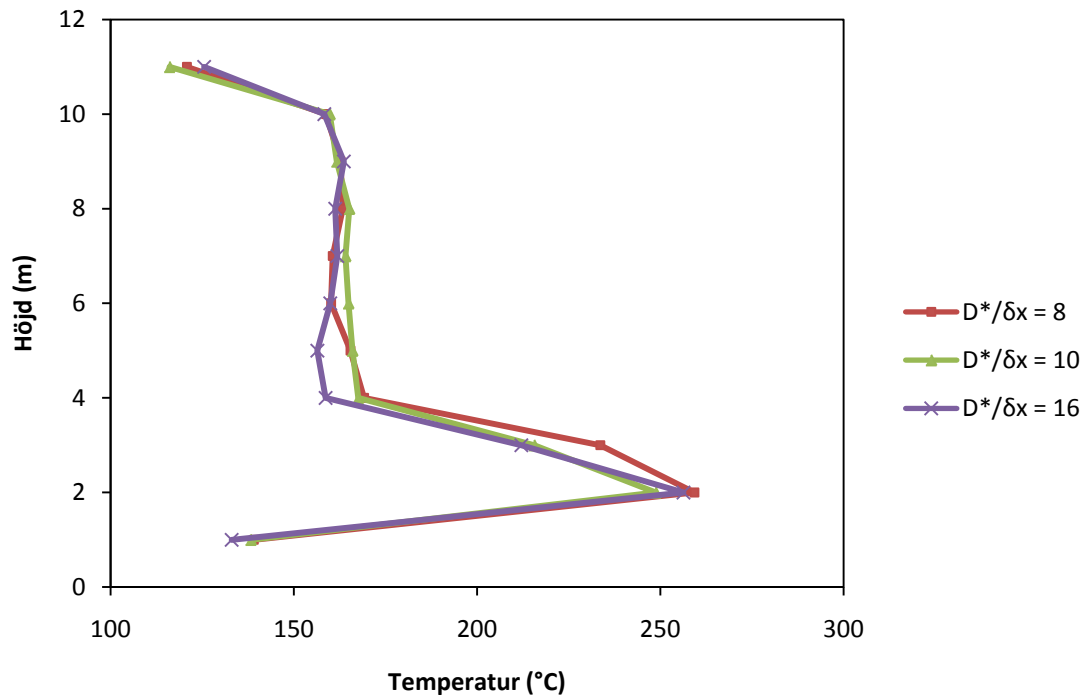
Tabell A:2 Förutsättningar för scenario Bs känslighetsanalys

$D^*/\delta x$	Grid (I x J x K)	Cell storlek (δx δy δz) (cm)	\dot{Q} (utdata) (kW)	Beräkningstid (h)
8	54 x 54 x 81	14,83 14,83 14,81	1987	13,2
10	64 x 64 x 96	12,52 12,52 12,50	1998	37,0
16	108 x 108 x 162	7,42 7,42 7,41	1987	244,9

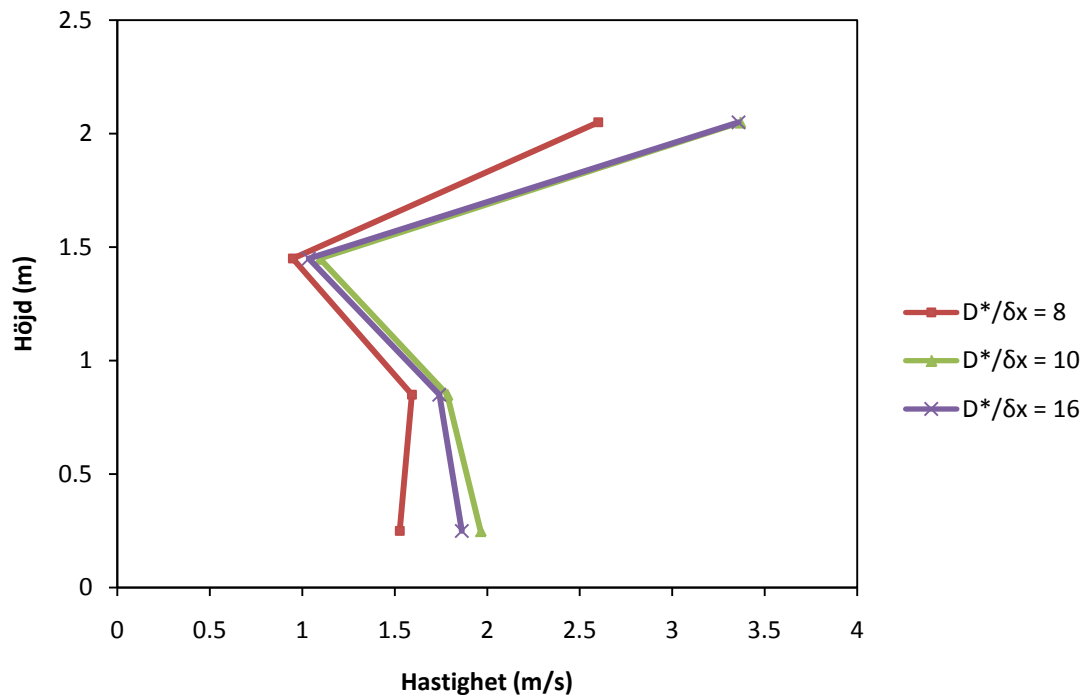
I Figur A:4, Figur A:5 och Figur A:6 ges en jämförelse av brandrumstemperaturen, temperaturen i atriets centrala delar och hastigheterna i brandrummets öppning för genomförd känslighetsanalys. Redovisade resultat är baserade på presenterade kvantiteters medelvärde under brandmodelleringens femte minut.



Figur A:4 Temperaturprofiler i brandrummet för scenario Bs känslighetsanalys.



Figur A:5 Temperaturprofiler i atriets centrala delar för scenario Bs känslighetsanalys.



Figur A:6 Hastighetsprofiler i brandrummets öppning för scenario Bs känslighetsanalys.

Genomförd känslighetsanalys tyder på att resultaten konvergerar vid undersökta upplösningar.

A.3 Sammanfattning

Valet av gridstorlek är ofta en avvägning med hänsyn till sökt resultat och tidsåtgången för beräkningarna. Inför projektets kvantitativa jämförelse genomfördes en känslighetsanalys med avseende på gridstorlek för scenario A och scenario B. $D^*/\delta x = 16$ gav bäst överensstämmelse mot Steckler, Quintiere och Rinkinen försök i scenario A och tydde även på konvergens i både scenario A och scenario B för ett flertal av de undersökta parametrarna. Som tidigare beskrivits behöver en finare grid ej nödvändigtvis innebära ett mer noggrant resultat utan istället resultera i onödigt långa beräkningstider för samma noggrannhet.

I syfte att kunna göra mer generella jämförelser för scenariot utöver de som studerats användes den finast undersökta gridstorleken, $D^*/\delta x = 16$, för projektets kvantitativa jämförelse med följande motiveringar:

- En högre upplösning ger ofta ett mer högupplöst resultat än en lägre.
- En högre upplösning är önskvärt och en av de fördelar som kan dras av parallella beräkningar.
- Med resurser dedikerade för beräkningar kan datorns kapacitet likväl utnyttjas i en högre grad.
- Det är för projektets använda metod svårt att dela in en lågupplöst grid i uniforma delar då ett större antal processorer används.

Referenser

- [1] Ma, T. G., & Quintiere, J. G. (2003). Numerical simulation of axi-symmetric fire plumes: accuracy and limitations *Fire Safety Journal*, 38, (5), 467-492.
- [2] McDermott, R., McGrattan, K., Hostikka, S., & Floyd, J. (2008). *Fire Dynamics Simulator (version 5) Technical Reference Guide : Volume 2: Verification* (NIST Special Publication 1018-5 July 30 2008). Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology.
- [3] McGrattan, K. B., Baum, H. R., & Rehm, R. G. (1998). Large Eddy Simulation of Smoke Movement. *Fire Safety Journal*, 30, (2), 161-178.
- [4] Dittmer, T., & Jämtäng, U. (2006). *Känslighetsanalys av FDS och dess undermodeller i ett tunnelscenario* (Rapport 5192). Lund: Lunds Tekniska Högskola, Brandteknik.
- [5] McGrattan, K., Klein, B., Hostikka, S., & Floyd, J. (2008). *Fire Dynamics Simulator (version 5) User's Guide* (NIST Special Publication 1019-5 July 30 2008). Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology.
- [6] Steckler, K. D., Quintiere, J. G., & Rinkinen, W. J. (1982). *Flow Induced by Fire in a Compartment* (NBSIR B2-2520). Washington, DC: National Bureau of Standards.

BILAGA B

BERÄKNINGAR MED FDS

I denna bilaga återfinns information för att kunna återskapa genomförda beräkningar. Detta inkluderar indatafilerna för FDS samt information och detaljer kring användandet av Lunarc-systemen.

B.1 Indata FDS seriella beräkningar

I kommande avsnitt ges de indatafilerna som användes till referensberäkningarna för scenario A och scenario B.

B.1.1 Scenario A

```
&HEAD CHID='S_S_N1_0',TITLE='Steckler, Serial, 1 node' /

&TIME T_END=600.0, SYNCHRONIZE=.TRUE. /

&MESH IJK=180,108,90, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,0.0,2.4 /

&MISC PRESSURE_CORRECTION=.TRUE. /

&DUMP SMOKE3D=.FALSE.,
      DT_DEVC=0.1,
      DT_HRR=0.1,
      DT_SLCF=10.0,
      DT_PL3D=1000000.0 /

&REAC ID      = 'METHANE',
      FYI      = 'Methane, C H_4',
      C        = 1,
      H        = 4,
      SOOT_YIELD=0.01,
      CO_YIELD=0.001,
      HEAT_OF_COMBUSTION=49600,
      IDEAL=.FALSE. /

&RADI RADIATIVE_FRACTION=0.14/

&MATL ID='PROMATEC',
      SPECIFIC_HEAT=1.13,
      CONDUCTIVITY=0.18,
      DENSITY=870 /

&SURF ID='WALLS',
      RGB=146,202,166,
      MATL_ID='PROMATEC',
      THICKNESS=0.1 /

&SURF ID='BURNER',HRRPUA=2100 / HRR 158 kW on surface of 0.09 m2 adjusted
&VENT XB= 1.365,1.635,1.365,1.635,0.10,0.10, SURF_ID='BURNER', RGB=255,0,0 /
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=3.0,5.0,0.0,3.0,2.4,2.4, COLOR='INVISIBLE' / TopVent
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=5.0,5.0,0.0,3.0,0.0,2.4, COLOR='INVISIBLE' / EastVent

&OBST XB= 0.00,3.00,0.00,3.00,0.00,0.10, RGB=146,202,166 / Floor
&OBST XB= 0.00,3.00,0.00,0.10,0.10,2.30, SURF_ID='WALLS' / South
&OBST XB= 0.00,0.10,0.10,2.90,0.10,2.30, SURF_ID='WALLS' / West
&OBST XB= 0.00,3.00,2.90,3.00,0.10,2.30, SURF_ID='WALLS' / North
&OBST XB= 2.90,3.00,0.10,2.90,0.10,2.30, SURF_ID='WALLS' / East
&OBST XB= 0.00,3.00,0.00,3.00,2.30,2.40, SURF_ID='WALLS' / Ceiling
&HOLE XB= 2.89,3.01,1.13,1.87,0.10,1.93 / Door

&SLCF PBY=1.50, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&SLCF PBY=1.50, QUANTITY='U-VELOCITY',VECTOR=.TRUE. /

Gas Phase TC Trees
&DEVC XYZ=2.595,2.595,0.157, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-1' /
&DEVC XYZ=2.595,2.595,0.271, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-2' /
```

```

&DEVC XYZ=2.595,2.595,0.385, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-3' /
&DEVC XYZ=2.595,2.595,0.499, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-4' /
&DEVC XYZ=2.595,2.595,0.613, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-5' /
&DEVC XYZ=2.595,2.595,0.727, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-6' /
&DEVC XYZ=2.595,2.595,0.841, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-7' /
&DEVC XYZ=2.595,2.595,0.955, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-8' /
&DEVC XYZ=2.595,2.595,1.069, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-9' /
&DEVC XYZ=2.595,2.595,1.183, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-10' /
&DEVC XYZ=2.595,2.595,1.297, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-11' /
&DEVC XYZ=2.595,2.595,1.411, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-12' /
&DEVC XYZ=2.595,2.595,1.525, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-13' /
&DEVC XYZ=2.595,2.595,1.639, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-14' /
&DEVC XYZ=2.595,2.595,1.753, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-15' /
&DEVC XYZ=2.595,2.595,1.867, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-16' /
&DEVC XYZ=2.595,2.595,1.981, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-17' /
&DEVC XYZ=2.595,2.595,2.095, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-18' /
&DEVC XYZ=2.595,2.595,2.209, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-19' /
&DEVC XYZ=2.595,2.595,2.281, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-20' /
&DEVC XYZ=2.95, 1.50, 0.157, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-1' /
&DEVC XYZ=2.95, 1.50, 0.271, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-2' /
&DEVC XYZ=2.95, 1.50, 0.385, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-3' /
&DEVC XYZ=2.95, 1.50, 0.499, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-4' /
&DEVC XYZ=2.95, 1.50, 0.613, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-5' /
&DEVC XYZ=2.95, 1.50, 0.727, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-6' /
&DEVC XYZ=2.95, 1.50, 0.841, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-7' /
&DEVC XYZ=2.95, 1.50, 0.955, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-8' /
&DEVC XYZ=2.95, 1.50, 1.069, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-9' /
&DEVC XYZ=2.95, 1.50, 1.183, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-10' /
&DEVC XYZ=2.95, 1.50, 1.297, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-11' /
&DEVC XYZ=2.95, 1.50, 1.411, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-12' /
&DEVC XYZ=2.95, 1.50, 1.525, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-13' /
&DEVC XYZ=2.95, 1.50, 1.639, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-14' /
&DEVC XYZ=2.95, 1.50, 1.753, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-15' /
&DEVC XYZ=2.95, 1.50, 1.867, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-16' /

```

```

&DEVC XYZ=0.10, 1.49, 1.10, QUANTITY='INSIDE_WALL_TEMPERATURE', IOR= 1, DEPTH=0.02,
ID='Wall W-1' /
&DEVC XYZ=0.10, 1.49, 1.10, QUANTITY='INSIDE_WALL_TEMPERATURE', IOR= 1, DEPTH=0.04,
ID='Wall W-2' /
&DEVC XYZ=1.50, 2.90, 1.19, QUANTITY='INSIDE_WALL_TEMPERATURE', IOR=-2, DEPTH=0.02,
ID='Wall N-1' /
&DEVC XYZ=1.50, 2.90, 1.19, QUANTITY='INSIDE_WALL_TEMPERATURE', IOR=-2, DEPTH=0.04,
ID='Wall N-2' /
&DEVC XYZ=2.90, 0.60, 1.31, QUANTITY='INSIDE_WALL_TEMPERATURE', IOR=-1, DEPTH=0.02,
ID='Wall E-1' /
&DEVC XYZ=2.90, 0.60, 1.31, QUANTITY='INSIDE_WALL_TEMPERATURE', IOR=-1, DEPTH=0.04,
ID='Wall E-2' /
&DEVC XYZ=1.50, 0.10, 1.40, QUANTITY='INSIDE_WALL_TEMPERATURE', IOR= 2, DEPTH=0.02,
ID='Wall S-1' /
&DEVC XYZ=1.50, 0.10, 1.40, QUANTITY='INSIDE_WALL_TEMPERATURE', IOR= 2, DEPTH=0.04,
ID='Wall S-2' /

```

Integrated Quantities (comment out for Z-divided tests)

```

&DEVC XB=2.95,2.95,1.13,1.87,0.10,1.93,QUANTITY='MASS FLOW', ID='Door Mass Flow' /
&DEVC XB=2.80,2.80,2.80,2.80,0.10,2.30,QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='Layer Height' /
&DEVC XB=2.80,2.80,2.80,2.80,0.10,2.30,QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', ID='HGL Temp' /
&DEVC XB=2.80,2.80,2.80,2.80,0.10,2.30,QUANTITY='LOWER TEMPERATURE', ID='LGL Temp' /

```

Bidirectional Probes

```

&DEVC XYZ=2.95,1.50,0.160, QUANTITY='U-VELOCITY', ID='BPu Door 1' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,0.271, QUANTITY='U-VELOCITY', ID='BPu Door 2' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,0.385, QUANTITY='U-VELOCITY', ID='BPu Door 3' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,0.499, QUANTITY='U-VELOCITY', ID='BPu Door 4' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,0.613, QUANTITY='U-VELOCITY', ID='BPu Door 5' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,0.727, QUANTITY='U-VELOCITY', ID='BPu Door 6' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,0.841, QUANTITY='U-VELOCITY', ID='BPu Door 7' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,0.955, QUANTITY='U-VELOCITY', ID='BPu Door 8' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,1.069, QUANTITY='U-VELOCITY', ID='BPu Door 9' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,1.183, QUANTITY='U-VELOCITY', ID='BPu Door 10' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,1.297, QUANTITY='U-VELOCITY', ID='BPu Door 11' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,1.411, QUANTITY='U-VELOCITY', ID='BPu Door 12' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,1.525, QUANTITY='U-VELOCITY', ID='BPu Door 13' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,1.639, QUANTITY='U-VELOCITY', ID='BPu Door 14' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,1.753, QUANTITY='U-VELOCITY', ID='BPu Door 15' /

```

```

&DEVC XYZ=2.95,1.50,1.867, QUANTITY='U-VELOCITY', ID='BPu Door 16' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,0.160, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Door 1' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,0.271, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Door 2' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,0.385, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Door 3' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,0.499, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Door 4' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,0.613, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Door 5' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,0.727, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Door 6' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,0.841, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Door 7' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,0.955, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Door 8' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,1.069, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Door 9' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,1.183, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Door 10' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,1.297, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Door 11' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,1.411, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Door 12' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,1.525, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Door 13' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,1.639, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Door 14' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,1.753, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Door 15' /
&DEVC XYZ=2.95,1.50,1.867, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Door 16' /

```

Compartment Pressure

```

&DEVC XYZ=0.20,0.20,0.20, QUANTITY='PRESSURE', ID='Pressure 1' /
&DEVC XYZ=2.80,2.80,2.20, QUANTITY='PRESSURE', ID='Pressure 2' /

```

Gaseous Sampling

```

&DEVC XYZ=0.20,0.20,0.20, QUANTITY='oxygen', ID='O2 1' /
&DEVC XYZ=2.80,2.80,2.20, QUANTITY='oxygen', ID='O2 2' /

```

Smoke Obscuration/Concentration

```

&DEVC XYZ=0.20,0.20,2.00, QUANTITY='soot density', ID='Smoke Concentration 1' /
&DEVC XYZ=2.80,2.80,2.20, QUANTITY='soot density', ID='Smoke Concentration 2' /

```

Heat Flux

```

&DEVC XYZ=0.10, 1.40, 1.40, QUANTITY='HEAT_FLUX', IOR= 1, ID='HF Wall W-1' /
&DEVC XYZ=0.10, 1.60, 1.19, QUANTITY='HEAT_FLUX', IOR= 1, ID='HF Wall W-2' /
&DEVC XYZ=1.41, 2.90, 1.31, QUANTITY='HEAT_FLUX', IOR=-2, ID='HF Wall N-1' /
&DEVC XYZ=1.61, 2.90, 1.10, QUANTITY='HEAT_FLUX', IOR=-2, ID='HF Wall N-2' /
&DEVC XYZ=2.90, 0.70, 1.00, QUANTITY='HEAT_FLUX', IOR=-1, ID='HF Wall E-1' /
&DEVC XYZ=2.90, 0.90, 0.79, QUANTITY='HEAT_FLUX', IOR=-1, ID='HF Wall E-2' /
&DEVC XYZ=1.50, 0.10, 0.90, QUANTITY='HEAT_FLUX', IOR= 2, ID='HF Wall S-1' /
&DEVC XYZ=1.70, 0.10, 0.70, QUANTITY='HEAT_FLUX', IOR= 2, ID='HF Wall S-2' /
&DEVC XYZ=0.10, 1.40, 1.40, QUANTITY='RADIATIVE_FLUX', IOR= 1, ID='RF Wall W-1' /
&DEVC XYZ=0.10, 1.60, 1.19, QUANTITY='RADIATIVE_FLUX', IOR= 1, ID='RF Wall W-2' /
&DEVC XYZ=1.41, 2.90, 1.31, QUANTITY='RADIATIVE_FLUX', IOR=-2, ID='RF Wall N-1' /
&DEVC XYZ=1.61, 2.90, 1.10, QUANTITY='RADIATIVE_FLUX', IOR=-2, ID='RF Wall N-2' /
&DEVC XYZ=2.90, 0.70, 1.00, QUANTITY='RADIATIVE_FLUX', IOR=-1, ID='RF Wall E-1' /
&DEVC XYZ=2.90, 0.90, 0.79, QUANTITY='RADIATIVE_FLUX', IOR=-1, ID='RF Wall E-2' /
&DEVC XYZ=1.50, 0.10, 0.90, QUANTITY='RADIATIVE_FLUX', IOR= 2, ID='RF Wall S-1' /
&DEVC XYZ=1.70, 0.10, 0.70, QUANTITY='RADIATIVE_FLUX', IOR= 2, ID='RF Wall S-2' /

```

```
&TAIL /
```

B.1.2 Scenario B

```
&HEAD CHID='A_S_N1_0',TITLE='Atrium, Serial, 1 node' /
```

```
&TIME T_END=600.0, SYNCHRONIZE=.TRUE. /
```

```
&MESH IJK=108,108,162, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,0.0,12.0 /
```

```
&MISC PRESSURE_CORRECTION=.TRUE. /
```

```

&DUMP SMOKE3D=.FALSE.,
      DT_DEVC=0.1,
      DT_HRR=0.1,
      DT_SLCF=10.0,
      DT_PL3D=1000000.0 /

```

```

&REAC ID      ='METHANE',
      FYI      ='Methane, C H_4',
      C        =1,
      H        =4,
      SOOT_YIELD=0.01,
      CO_YIELD=0.001,
      HEAT_OF_COMBUSTION=49600,

```

```

        IDEAL=.FALSE. /

&RADI RADIATIVE_FRACTION=0.14/

&MATL ID='CONCRETE',
        SPECIFIC_HEAT=0.88,
        CONDUCTIVITY=2.1,
        DENSITY=2400 /

&SURF ID='WALLS',
        RGB=146,202,166,
        MATL_ID='CONCRETE',
        THICKNESS=0.1 /

&SURF ID='BURNER',HRRPUA=2000. / HRR simuleras som 2000 kW på en yta av 1.0 m2
&VENT XB= 0.95,1.95,3.50,4.50,0.10,0.10, SURF_ID='BURNER', RGB=255,0,0 /
&VENT XB= 0.00,8.01,0.00,8.01,12.00,12.00, SURF_ID='OPEN',COLOR='INVISIBLE'/ TopVent
&VENT XB= 8.01,8.01,3.00,5.00, 0.10, 2.20, SURF_ID='OPEN', / DoorVent

&HOLE XB= 3.00,5.00,3.00,5.00,10.89,11.01 / SM
&HOLE XB= 7.89,8.01,3.00,5.00, 0.10, 2.20 / Door
&OBST XB= 0.00,3.00,2.50,2.60, 0.10, 2.30, SURF_ID='WALLS' / FR South
&OBST XB= 0.00,3.00,5.40,5.50, 0.10, 2.30, SURF_ID='WALLS' / FR North
&OBST XB= 0.00,8.01,0.00,0.10, 0.10,10.90, SURF_ID='WALLS' / South
&OBST XB= 0.00,8.01,7.91,8.01, 0.10,10.90, SURF_ID='WALLS' / North
&OBST XB= 0.00,0.10,0.00,8.01, 0.10,10.90, SURF_ID='WALLS' / West
&OBST XB= 7.91,8.01,0.00,8.01, 0.10,10.90, SURF_ID='WALLS' / East
&OBST XB= 6.00,8.01,0.00,8.01,10.90,11.00, SURF_ID='WALLS' / Ceiling
&OBST XB= 0.10,3.00,0.10,7.91, 2.30, 2.40, SURF_ID='WALLS' / F 2.1
&OBST XB= 6.00,7.91,0.10,7.91, 2.30, 2.40, SURF_ID='WALLS' / F 2.2
&OBST XB= 2.90,3.00,0.10,7.91, 2.40, 3.60, SURF_ID='WALLS' / R 2.1
&OBST XB= 6.00,6.10,0.10,7.91, 2.40, 3.60, SURF_ID='WALLS' / R 2.2
&OBST XB= 0.10,3.00,0.10,7.91, 5.30, 5.40, SURF_ID='WALLS' / F 3.1
&OBST XB= 6.00,7.91,0.10,7.91, 5.30, 5.40, SURF_ID='WALLS' / F 3.2
&OBST XB= 2.90,3.00,0.10,7.91, 5.40, 6.60, SURF_ID='WALLS' / R 3.1
&OBST XB= 6.00,6.10,0.10,7.91, 5.40, 6.60, SURF_ID='WALLS' / R 3.2
&OBST XB= 0.10,3.00,0.10,7.91, 8.30, 8.40, SURF_ID='WALLS' / F 4.1
&OBST XB= 6.00,7.91,0.10,7.91, 8.30, 8.40, SURF_ID='WALLS' / F 4.2
&OBST XB= 2.90,3.00,0.10,7.91, 8.40, 9.60, SURF_ID='WALLS' / R 4.1
&OBST XB= 6.00,6.10,0.10,7.91, 8.40, 9.60, SURF_ID='WALLS' / R 4.2
&OBST XB= 0.00,8.01,0.00,8.01, 0.00, 0.10, / Floor

&SLCF PBY=4.00, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&SLCF PBY=4.00, QUANTITY='VELOCITY',VECTOR=.TRUE. /

Gas Phase TC Trees
&DEVC XYZ=2.80,5.30, 0.50, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-1' /
&DEVC XYZ=2.80,5.30, 1.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-2' /
&DEVC XYZ=2.80,5.30, 1.50, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-3' /
&DEVC XYZ=2.80,5.30, 2.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 1-4' /
&DEVC XYZ=4.00,4.00, 1.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-1' /
&DEVC XYZ=4.00,4.00, 2.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-2' /
&DEVC XYZ=4.00,4.00, 3.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-3' /
&DEVC XYZ=4.00,4.00, 4.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-4' /
&DEVC XYZ=4.00,4.00, 5.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-5' /
&DEVC XYZ=4.00,4.00, 6.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-6' /
&DEVC XYZ=4.00,4.00, 7.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-7' /
&DEVC XYZ=4.00,4.00, 8.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-8' /
&DEVC XYZ=4.00,4.00, 9.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-9' /
&DEVC XYZ=4.00,4.00,10.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-10' /
&DEVC XYZ=4.00,4.00,11.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 2-11' /
&DEVC XYZ=1.50,2.00, 4.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 3-1' /
&DEVC XYZ=1.50,4.00, 4.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 3-2' /
&DEVC XYZ=1.50,6.00, 4.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 3-3' /
&DEVC XYZ=1.50,2.00, 7.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 4-1' /
&DEVC XYZ=1.50,4.00, 7.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 4-2' /
&DEVC XYZ=1.50,6.00, 7.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 4-3' /
&DEVC XYZ=1.50,2.00,10.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 5-1' /
&DEVC XYZ=1.50,4.00,10.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 5-2' /
&DEVC XYZ=1.50,6.00,10.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 5-3' /
&DEVC XYZ=7.00,2.00, 4.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 6-1' /
&DEVC XYZ=7.00,4.00, 4.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 6-2' /
&DEVC XYZ=7.00,6.00, 4.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 6-3' /
&DEVC XYZ=7.00,2.00, 7.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 7-1' /

```

```
&DEVC XYZ=7.00,4.00, 7.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 7-2' /
&DEVC XYZ=7.00,6.00, 7.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 7-3' /
&DEVC XYZ=7.00,2.00,10.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 8-1' /
&DEVC XYZ=7.00,4.00,10.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 8-2' /
&DEVC XYZ=7.00,6.00,10.00, QUANTITY='THERMOCOUPLE', ID='Tr 8-3' /
```

```
&DEVC XYZ=7.00,4.00,10.90, QUANTITY='INSIDE_WALL_TEMPERATURE', IOR=-3, DEPTH=0.02,
ID='Ceiling 1-1' /
&DEVC XYZ=7.00,4.00,10.90, QUANTITY='INSIDE_WALL_TEMPERATURE', IOR=-3, DEPTH=0.04,
ID='Ceiling 1-2' /
&DEVC XYZ=1.50,4.00, 2.30, QUANTITY='INSIDE_WALL_TEMPERATURE', IOR=-3, DEPTH=0.02,
ID='Ceiling 2-1' /
&DEVC XYZ=1.50,4.00, 2.30, QUANTITY='INSIDE_WALL_TEMPERATURE', IOR=-3, DEPTH=0.04,
ID='Ceiling 2-2' /
&DEVC XYZ=0.10,4.00, 1.10, QUANTITY='INSIDE_WALL_TEMPERATURE', IOR= 1, DEPTH=0.02,
ID='Wall 1-1' /
&DEVC XYZ=0.10,4.00, 1.10, QUANTITY='INSIDE_WALL_TEMPERATURE', IOR= 1, DEPTH=0.04,
ID='Wall 1-2' /
&DEVC XYZ=1.50,5.40, 1.20, QUANTITY='INSIDE_WALL_TEMPERATURE', IOR=-2, DEPTH=0.02,
ID='Wall 2-1' /
&DEVC XYZ=1.50,5.40, 1.20, QUANTITY='INSIDE_WALL_TEMPERATURE', IOR=-2, DEPTH=0.04,
ID='Wall 2-2' /
&DEVC XYZ=1.50,2.60, 1.40, QUANTITY='INSIDE_WALL_TEMPERATURE', IOR= 2, DEPTH=0.02,
ID='Wall 3-1' /
&DEVC XYZ=1.50,2.60, 1.40, QUANTITY='INSIDE_WALL_TEMPERATURE', IOR= 2, DEPTH=0.04,
ID='Wall 3-2' /
```

Integrated Quantities (comment out for Z-divided tests)

```
&DEVC XB=3.00,5.00,3.00,5.00,10.95,10.95,QUANTITY='MASS FLOW',ID='Vent Mass Flow' /
&DEVC XB=7.95,7.95,3.00,5.00, 0.10, 2.20,QUANTITY='MASS FLOW',ID='Door Mass Flow' /
&DEVC XB=3.00,3.00,2.60,5.40, 0.10, 2.30,QUANTITY='MASS FLOW',ID='Fire Mass Flow' /
&DEVC XB=4.50,4.50,4.00,4.00, 1.00,10.90,QUANTITY='LAYER HEIGHT',ID='Layer Height' /
&DEVC XB=4.50,4.50,4.00,4.00, 1.00,10.90,QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',ID='HGL Temp' /
&DEVC XB=4.50,4.50,4.00,4.00, 1.00,10.90,QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',ID='LGL Temp' /
```

Bidirectional Probes

```
&DEVC XYZ=3.50,4.00,10.95, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Vent 1' /
&DEVC XYZ=3.83,4.00,10.95, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Vent 2' /
&DEVC XYZ=4.17,4.00,10.95, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Vent 3' /
&DEVC XYZ=4.50,4.00,10.95, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Vent 4' /
&DEVC XYZ=7.95,4.00, 0.25, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Door 1' /
&DEVC XYZ=7.95,4.00, 0.85, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Door 2' /
&DEVC XYZ=7.95,4.00, 1.45, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Door 3' /
&DEVC XYZ=7.95,4.00, 2.05, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Door 4' /
&DEVC XYZ=3.00,4.00, 0.25, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Fire 1' /
&DEVC XYZ=3.00,4.00, 0.85, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Fire 2' /
&DEVC XYZ=3.00,4.00, 1.45, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Fire 3' /
&DEVC XYZ=3.00,4.00, 2.05, QUANTITY='VELOCITY', ID='BP Fire 4' /
```

Compartment Pressure

```
&DEVC XYZ=0.20,4.00,1.00, QUANTITY='PRESSURE', ID='Pressure 1' /
&DEVC XYZ=2.00,4.00,6.50, QUANTITY='PRESSURE', ID='Pressure 3' /
```

Gaseous Sampling

```
&DEVC XYZ=0.20,4.00,1.00, QUANTITY='oxygen', ID='O2 1' /
&DEVC XYZ=2.00,4.00,6.50, QUANTITY='oxygen', ID='O2 3' /
```

Smoke Obscuration/Concentration

```
&DEVC XYZ=0.20,4.00,1.00, QUANTITY='soot density', ID='Smoke Concentration 1' /
&DEVC XYZ=2.00,4.00,6.50, QUANTITY='soot density', ID='Smoke Concentration 3' /
```

Heat Flux

```
&DEVC XYZ=1.40,3.90, 2.30, QUANTITY='HEAT_FLUX', IOR=-3, ID='HF Ceiling 2-1' /
&DEVC XYZ=1.60,4.10, 2.30, QUANTITY='HEAT_FLUX', IOR=-3, ID='HF Ceiling 2-2' /
&DEVC XYZ=0.10,3.90, 1.30, QUANTITY='HEAT_FLUX', IOR= 1, ID='HF Wall 1-1' /
&DEVC XYZ=0.10,4.10, 1.10, QUANTITY='HEAT_FLUX', IOR= 1, ID='HF Wall 1-2' /
&DEVC XYZ=1.40,5.40, 1.00, QUANTITY='HEAT_FLUX', IOR=-2, ID='HF Wall 2-1' /
&DEVC XYZ=1.60,5.40, 0.80, QUANTITY='HEAT_FLUX', IOR=-2, ID='HF Wall 2-2' /
&DEVC XYZ=1.50,2.60, 0.80, QUANTITY='HEAT_FLUX', IOR= 2, ID='HF Wall 3-1' /
&DEVC XYZ=1.70,2.60, 0.70, QUANTITY='HEAT_FLUX', IOR= 2, ID='HF Wall 3-2' /
```

```
&DEVC XYZ=1.40,3.90, 2.30, QUANTITY='RADIATIVE_FLUX', IOR=-3, ID='RF Ceiling 2-1' /
&DEVC XYZ=1.60,4.10, 2.30, QUANTITY='RADIATIVE_FLUX', IOR=-3, ID='RF Ceiling 2-2' /
&DEVC XYZ=0.10,3.90, 1.30, QUANTITY='RADIATIVE_FLUX', IOR= 1, ID='RF Wall 1-1' /
```

```
&DEVC XYZ=0.10,4.10, 1.10, QUANTITY='RADIATIVE_FLUX', IOR= 1, ID='RF Wall 1-2' /
&DEVC XYZ=1.40,5.40, 1.00, QUANTITY='RADIATIVE_FLUX', IOR=-2, ID='RF Wall 2-1' /
&DEVC XYZ=1.60,5.40, 0.80, QUANTITY='RADIATIVE_FLUX', IOR=-2, ID='RF Wall 2-2' /
&DEVC XYZ=1.50,2.60, 0.80, QUANTITY='RADIATIVE_FLUX', IOR= 2, ID='RF Wall 3-1' /
&DEVC XYZ=1.70,2.60, 0.70, QUANTITY='RADIATIVE_FLUX', IOR= 2, ID='RF Wall 3-2' /
```

```
&TAIL /
```

B.2 FDS indata känslighetsanalys meshindelning

Skillnaden mellan de seriella och de parallella beräkningarna var använd meshindelning. Istället för en uniform mesh användes i de parallella beräkningarna flera uniforma mesher. I kommande avsnitt redovisas de meshindelningar som användes i projektet.

B.2.1 Scenario A

A_N2_X

```
&MESH IJK=90,108,90, XB=0.0,2.5,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=90,108,90, XB=2.5,5.0,0.0,3.0,0.0,2.4 /
```

A_N2_Y

```
&MESH IJK=180,54,90, XB=0.0,5.0,0.0,1.5,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,54,90, XB=0.0,5.0,1.5,3.0,0.0,2.4 /
```

A_N2_Z

```
&MESH IJK=180,108,45, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,0.0,1.2 /
&MESH IJK=180,108,45, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,1.2,2.4 /
```

A_N4_X2_Y2

```
&MESH IJK=90,54,90, XB=0.0,2.5,0.0,1.5,0.0,2.4 /
&MESH IJK=90,54,90, XB=0.0,2.5,1.5,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=90,54,90, XB=2.5,5.0,0.0,1.5,0.0,2.4 /
&MESH IJK=90,54,90, XB=2.5,5.0,1.5,3.0,0.0,2.4 /
```

A_N4_X2_Z2

```
&MESH IJK=180,54,45, XB=0.0,5.0,0.0,1.5,0.0,1.2 /
&MESH IJK=180,54,45, XB=0.0,5.0,0.0,1.5,1.2,2.4 /
&MESH IJK=180,54,45, XB=0.0,5.0,1.5,3.0,0.0,1.2 /
&MESH IJK=180,54,45, XB=0.0,5.0,1.5,3.0,1.2,2.4 /
```

A_N6_X

```
&MESH IJK=30,108,90, XB=0.00,0.83,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=30,108,90, XB=0.83,1.66,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=30,108,90, XB=1.66,2.49,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=30,108,90, XB=2.49,3.32,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=30,108,90, XB=3.32,4.16,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=30,108,90, XB=4.16,5.00,0.0,3.0,0.0,2.4 /
```

A_N6_Y

```
&MESH IJK=180,18,90, XB=0.0,5.0,0.0,0.5,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,18,90, XB=0.0,5.0,0.5,1.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,18,90, XB=0.0,5.0,1.0,1.5,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,18,90, XB=0.0,5.0,1.5,2.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,18,90, XB=0.0,5.0,2.0,2.5,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,18,90, XB=0.0,5.0,2.5,3.0,0.0,2.4 /
```

A_N6_Z

```
&MESH IJK=180,108,15, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,0.0,0.4 /
&MESH IJK=180,108,15, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,0.4,0.8 /
&MESH IJK=180,108,15, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,0.8,1.2 /
&MESH IJK=180,108,15, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,1.2,1.6 /
&MESH IJK=180,108,15, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,1.6,2.0 /
&MESH IJK=180,108,15, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,2.0,2.4 /
```

A_N6_X3_Y2

```
&MESH IJK=60,54,90, XB=0.00,1.67,0.0,1.5,0.0,2.4 /
&MESH IJK=60,54,90, XB=1.67,3.33,0.0,1.5,0.0,2.4 /
```

```
&MESH IJK=60,54,90, XB=3.33,5.00,0.0,1.5,0.0,2.4 /
&MESH IJK=60,54,90, XB=0.00,1.67,1.5,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=60,54,90, XB=1.67,3.33,1.5,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=60,54,90, XB=3.33,5.00,1.5,3.0,0.0,2.4 /
```

A_N6_X2_Z3

```
&MESH IJK=60,108,45, XB=0.00,1.67,0.0,3.0,0.0,1.2 /
&MESH IJK=60,108,45, XB=1.67,3.33,0.0,3.0,0.0,1.2 /
&MESH IJK=60,108,45, XB=3.33,5.00,0.0,3.0,0.0,1.2 /
&MESH IJK=60,108,45, XB=0.00,1.67,0.0,3.0,1.2,2.4 /
&MESH IJK=60,108,45, XB=1.67,3.33,0.0,3.0,1.2,2.4 /
&MESH IJK=60,108,45, XB=3.33,5.00,0.0,3.0,1.2,2.4 /
```

A_N18_X

```
&MESH IJK=10,108,90, XB=0.00,0.28,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=10,108,90, XB=0.28,0.56,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=10,108,90, XB=0.56,0.84,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=10,108,90, XB=0.84,1.12,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=10,108,90, XB=1.12,1.40,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=10,108,90, XB=1.40,1.68,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=10,108,90, XB=1.68,1.96,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=10,108,90, XB=1.96,2.24,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=10,108,90, XB=2.24,2.52,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=10,108,90, XB=2.52,2.80,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=10,108,90, XB=2.80,3.08,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=10,108,90, XB=3.08,3.36,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=10,108,90, XB=3.36,3.64,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=10,108,90, XB=3.64,3.92,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=10,108,90, XB=3.92,4.19,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=10,108,90, XB=4.19,4.46,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=10,108,90, XB=4.46,4.73,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=10,108,90, XB=4.73,5.00,0.0,3.0,0.0,2.4 /
```

A_N18_Y

```
&MESH IJK=180,6,90, XB=0.0,5.0,0.00,0.17,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,6,90, XB=0.0,5.0,0.17,0.34,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,6,90, XB=0.0,5.0,0.34,0.50,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,6,90, XB=0.0,5.0,0.50,0.66,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,6,90, XB=0.0,5.0,0.66,0.82,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,6,90, XB=0.0,5.0,0.82,0.99,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,6,90, XB=0.0,5.0,0.99,1.16,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,6,90, XB=0.0,5.0,1.16,1.33,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,6,90, XB=0.0,5.0,1.33,1.50,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,6,90, XB=0.0,5.0,1.50,1.67,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,6,90, XB=0.0,5.0,1.67,1.84,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,6,90, XB=0.0,5.0,1.84,2.01,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,6,90, XB=0.0,5.0,2.01,2.18,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,6,90, XB=0.0,5.0,2.18,2.34,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,6,90, XB=0.0,5.0,2.34,2.50,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,6,90, XB=0.0,5.0,2.50,2.66,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,6,90, XB=0.0,5.0,2.66,2.83,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,6,90, XB=0.0,5.0,2.83,3.00,0.0,2.4 /
```

A_N18_Z

```
&MESH IJK=180,108,5, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,0.00,0.13 /
&MESH IJK=180,108,5, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,0.13,0.26 /
&MESH IJK=180,108,5, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,0.26,0.39 /
&MESH IJK=180,108,5, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,0.39,0.52 /
&MESH IJK=180,108,5, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,0.52,0.65 /
&MESH IJK=180,108,5, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,0.65,0.78 /
&MESH IJK=180,108,5, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,0.78,0.91 /
&MESH IJK=180,108,5, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,0.91,1.04 /
&MESH IJK=180,108,5, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,1.04,1.17 /
&MESH IJK=180,108,5, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,1.17,1.30 /
&MESH IJK=180,108,5, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,1.30,1.43 /
&MESH IJK=180,108,5, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,1.43,1.56 /
&MESH IJK=180,108,5, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,1.56,1.70 /
&MESH IJK=180,108,5, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,1.70,1.84 /
&MESH IJK=180,108,5, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,1.84,1.98 /
&MESH IJK=180,108,5, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,1.98,2.12 /
&MESH IJK=180,108,5, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,2.12,2.26 /
&MESH IJK=180,108,5, XB=0.0,5.0,0.0,3.0,2.26,2.40 /
```

A_N18_X3_Y2_Z3

```

&MESH IJK=60,54,30, XB=0.00,1.67,0.0,1.5,0.0,0.8 /
&MESH IJK=60,54,30, XB=1.67,3.33,0.0,1.5,0.0,0.8 /
&MESH IJK=60,54,30, XB=3.33,5.00,0.0,1.5,0.0,0.8 /
&MESH IJK=60,54,30, XB=0.00,1.67,1.5,3.0,0.0,0.8 /
&MESH IJK=60,54,30, XB=1.67,3.33,1.5,3.0,0.0,0.8 /
&MESH IJK=60,54,30, XB=3.33,5.00,1.5,3.0,0.0,0.8 /
&MESH IJK=60,54,30, XB=0.00,1.67,0.0,1.5,0.8,1.6 /
&MESH IJK=60,54,30, XB=1.67,3.33,0.0,1.5,0.8,1.6 /
&MESH IJK=60,54,30, XB=3.33,5.00,0.0,1.5,0.8,1.6 /
&MESH IJK=60,54,30, XB=0.00,1.67,1.5,3.0,0.8,1.6 /
&MESH IJK=60,54,30, XB=1.67,3.33,1.5,3.0,0.8,1.6 /
&MESH IJK=60,54,30, XB=3.33,5.00,1.5,3.0,0.8,1.6 /
&MESH IJK=60,54,30, XB=0.00,1.67,0.0,1.5,1.6,2.4 /
&MESH IJK=60,54,30, XB=1.67,3.33,0.0,1.5,1.6,2.4 /
&MESH IJK=60,54,30, XB=3.33,5.00,0.0,1.5,1.6,2.4 /
&MESH IJK=60,54,30, XB=0.00,1.67,1.5,3.0,1.6,2.4 /
&MESH IJK=60,54,30, XB=1.67,3.33,1.5,3.0,1.6,2.4 /
&MESH IJK=60,54,30, XB=3.33,5.00,1.5,3.0,1.6,2.4 /

```

A_N36_X

```

&MESH IJK=5,108,90, XB=0.00,0.14,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=0.14,0.28,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=0.28,0.42,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=0.42,0.56,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=0.56,0.70,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=0.70,0.84,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=0.84,0.98,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=0.98,1.12,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=1.12,1.26,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=1.26,1.40,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=1.40,1.54,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=1.54,1.68,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=1.68,1.82,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=1.82,1.96,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=1.96,2.10,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=2.10,2.24,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=2.24,2.38,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=2.38,2.52,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=2.52,2.66,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=2.66,2.80,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=2.80,2.94,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=2.94,3.08,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=3.08,3.22,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=3.22,3.36,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=3.36,3.50,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=3.50,3.64,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=3.64,3.78,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=3.78,3.92,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=3.92,4.06,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=4.06,4.20,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=4.20,4.34,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=4.34,4.48,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=4.48,4.61,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=4.61,4.74,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=4.74,4.87,0.0,3.0,0.0,2.4 /
&MESH IJK=5,108,90, XB=4.87,5.00,0.0,3.0,0.0,2.4 /

```

A_N36_Y

```

&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,0.000,0.085,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,0.085,0.170,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,0.170,0.255,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,0.255,0.340,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,0.340,0.420,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,0.420,0.500,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,0.500,0.580,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,0.580,0.660,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,0.660,0.740,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,0.740,0.820,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,0.820,0.905,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,0.905,0.990,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,0.990,1.075,0.0,2.4 /

```



```

&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,1.075,1.160,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,1.160,1.245,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,1.245,1.330,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,1.330,1.415,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,1.415,1.500,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,1.500,1.585,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,1.585,1.670,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,1.670,1.755,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,1.755,1.840,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,1.840,1.925,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,1.925,2.010,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,2.010,2.095,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,2.095,2.180,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,2.180,2.260,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,2.260,2.340,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,2.340,2.420,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,2.420,2.500,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,2.500,2.580,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,2.580,2.660,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,2.660,2.745,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,2.745,2.830,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,2.830,2.915,0.0,2.4 /
&MESH IJK=180,3,90, XB=0.0,5.0,2.915,3.000,0.0,2.4 /

```

A_N36_X4_Y3_Z3

```

&MESH IJK=45,36,30, XB=0.0,1.25,0.0,1.0,0.0,0.8 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=1.25,2.5,0.0,1.0,0.0,0.8 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=2.5,3.75,0.0,1.0,0.0,0.8 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=3.75,5.0,0.0,1.0,0.0,0.8 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=0.0,1.25,1.0,2.0,0.0,0.8 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=1.25,2.5,1.0,2.0,0.0,0.8 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=2.5,3.75,1.0,2.0,0.0,0.8 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=3.75,5.0,1.0,2.0,0.0,0.8 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=0.0,1.25,2.0,3.0,0.0,0.8 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=1.25,2.5,2.0,3.0,0.0,0.8 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=2.5,3.75,2.0,3.0,0.0,0.8 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=3.75,5.0,2.0,3.0,0.0,0.8 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=0.0,1.25,0.0,1.0,0.8,1.6 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=1.25,2.5,0.0,1.0,0.8,1.6 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=2.5,3.75,0.0,1.0,0.8,1.6 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=3.75,5.0,0.0,1.0,0.8,1.6 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=0.0,1.25,1.0,2.0,0.8,1.6 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=1.25,2.5,1.0,2.0,0.8,1.6 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=2.5,3.75,1.0,2.0,0.8,1.6 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=3.75,5.0,1.0,2.0,0.8,1.6 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=0.0,1.25,2.0,3.0,0.8,1.6 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=1.25,2.5,2.0,3.0,0.8,1.6 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=2.5,3.75,2.0,3.0,0.8,1.6 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=3.75,5.0,2.0,3.0,0.8,1.6 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=0.0,1.25,0.0,1.0,1.6,2.4 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=1.25,2.5,0.0,1.0,1.6,2.4 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=2.5,3.75,0.0,1.0,1.6,2.4 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=3.75,5.0,0.0,1.0,1.6,2.4 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=0.0,1.25,1.0,2.0,1.6,2.4 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=1.25,2.5,1.0,2.0,1.6,2.4 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=2.5,3.75,1.0,2.0,1.6,2.4 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=3.75,5.0,1.0,2.0,1.6,2.4 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=0.0,1.25,2.0,3.0,1.6,2.4 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=1.25,2.5,2.0,3.0,1.6,2.4 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=2.5,3.75,2.0,3.0,1.6,2.4 /
&MESH IJK=45,36,30, XB=3.75,5.0,2.0,3.0,1.6,2.4 /

```

B.2.2 Scenario B

B_N2_X

```

&MESH IJK=54,108,162, XB=0.000,4.005,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=54,108,162, XB=4.005,8.010,0.0,8.01,0.0,12.0 /

```

B_N2_Y

```

&MESH IJK=108,54,162, XB=0.0,8.01,0.000,4.005,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,54,162, XB=0.0,8.01,4.005,8.010,0.0,12.0 /

```

B_N2_Z

&MESH IJK=108,108,81, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,0.0, 6.0 /
&MESH IJK=108,108,81, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,6.0,12.0 /

B_N4_X2_Y2

&MESH IJK=54,54,162, XB=0.0,4.005,0.000,4.005,0.0,12.0 /
&MESH IJK=54,54,162, XB=0.0,4.005,4.005,8.010,0.0,12.0 /
&MESH IJK=54,54,162, XB=4.005,8.01,0.000,4.005,0.0,12.0 /
&MESH IJK=54,54,162, XB=4.005,8.01,4.005,8.010,0.0,12.0 /

B_N4_X2_Z2

&MESH IJK=54,108,81, XB=0.000,4.005,0.0,8.01,0.0, 6.0 /
&MESH IJK=54,108,81, XB=0.000,4.005,0.0,8.01,6.0,12.0 /
&MESH IJK=54,108,81, XB=4.005,8.010,0.0,8.01,0.0, 6.0 /
&MESH IJK=54,108,81, XB=4.005,8.010,0.0,8.01,6.0,12.0 /

B_N6_X

&MESH IJK=18,108,162, XB=0.000,1.335,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=18,108,162, XB=1.335,2.670,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=18,108,162, XB=2.670,4.005,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=18,108,162, XB=4.005,5.340,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=18,108,162, XB=5.340,6.675,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=18,108,162, XB=6.675,8.010,0.0,8.01,0.0,12.0 /

B_N6_Y

&MESH IJK=108,18,162, XB=0.0,8.01,0.000,1.335,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,18,162, XB=0.0,8.01,1.335,2.670,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,18,162, XB=0.0,8.01,2.670,4.005,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,18,162, XB=0.0,8.01,4.005,5.340,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,18,162, XB=0.0,8.01,5.340,6.675,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,18,162, XB=0.0,8.01,6.675,8.010,0.0,12.0 /

B_N6_Z

&MESH IJK=108,108,27, XB=0.0,8.01,0.0,8.01, 0.0, 2.0 /
&MESH IJK=108,108,27, XB=0.0,8.01,0.0,8.01, 2.0, 4.0 /
&MESH IJK=108,108,27, XB=0.0,8.01,0.0,8.01, 4.0, 6.0 /
&MESH IJK=108,108,27, XB=0.0,8.01,0.0,8.01, 6.0, 8.0 /
&MESH IJK=108,108,27, XB=0.0,8.01,0.0,8.01, 8.0,10.0 /
&MESH IJK=108,108,27, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,10.0,12.0 /

B_N6_X2_Y3

&MESH IJK=54,36,162, XB=0.000,4.005,0.00,2.67,0.0,12.0 /
&MESH IJK=54,36,162, XB=0.000,4.005,2.67,5.34,0.0,12.0 /
&MESH IJK=54,36,162, XB=0.000,4.005,5.34,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=54,36,162, XB=4.005,8.010,0.00,2.67,0.0,12.0 /
&MESH IJK=54,36,162, XB=4.005,8.010,2.67,5.34,0.0,12.0 /
&MESH IJK=54,36,162, XB=4.005,8.010,5.34,8.01,0.0,12.0 /

B_N6_X2_Z3

&MESH IJK=54,108,54, XB=0.0,4.005,0.0,8.01,0.0, 4.0 /
&MESH IJK=54,108,54, XB=0.0,4.005,0.0,8.01,4.0, 8.0 /
&MESH IJK=54,108,54, XB=0.0,4.005,0.0,8.01,8.0,12.0 /
&MESH IJK=54,108,54, XB=4.005,8.01,0.0,8.01,0.0, 4.0 /
&MESH IJK=54,108,54, XB=4.005,8.01,0.0,8.01,4.0, 8.0 /
&MESH IJK=54,108,54, XB=4.005,8.01,0.0,8.01,8.0,12.0 /

B_N18_X

&MESH IJK=6,108,162, XB=0.000,0.445,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=6,108,162, XB=0.445,0.890,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=6,108,162, XB=0.890,1.335,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=6,108,162, XB=1.335,1.780,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=6,108,162, XB=1.780,2.225,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=6,108,162, XB=2.225,2.670,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=6,108,162, XB=2.670,3.115,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=6,108,162, XB=3.115,3.560,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=6,108,162, XB=3.560,4.005,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=6,108,162, XB=4.005,4.450,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=6,108,162, XB=4.450,4.895,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=6,108,162, XB=4.895,5.340,0.0,8.01,0.0,12.0 /

```

&MESH IJK=6,108,162, XB=5.340,5.785,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=6,108,162, XB=5.785,6.230,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=6,108,162, XB=6.230,6.675,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=6,108,162, XB=6.675,7.120,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=6,108,162, XB=7.120,7.565,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=6,108,162, XB=7.565,8.010,0.0,8.01,0.0,12.0 /

```

B_N18_Y

```

&MESH IJK=108,6,162, XB=0.0,8.01,0.000,0.445,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,6,162, XB=0.0,8.01,0.445,0.890,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,6,162, XB=0.0,8.01,0.890,1.335,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,6,162, XB=0.0,8.01,1.335,1.780,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,6,162, XB=0.0,8.01,1.780,2.225,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,6,162, XB=0.0,8.01,2.225,2.670,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,6,162, XB=0.0,8.01,2.670,3.115,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,6,162, XB=0.0,8.01,3.115,3.560,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,6,162, XB=0.0,8.01,3.560,4.005,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,6,162, XB=0.0,8.01,4.005,4.450,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,6,162, XB=0.0,8.01,4.450,4.895,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,6,162, XB=0.0,8.01,4.895,5.340,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,6,162, XB=0.0,8.01,5.340,5.785,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,6,162, XB=0.0,8.01,5.785,6.230,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,6,162, XB=0.0,8.01,6.230,6.675,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,6,162, XB=0.0,8.01,6.675,7.120,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,6,162, XB=0.0,8.01,7.120,7.565,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,6,162, XB=0.0,8.01,7.565,8.010,0.0,12.0 /

```

B_N18_Z

```

&MESH IJK=108,108,9, XB=0.0,8.01,0.0,8.01, 0.00, 0.67 /
&MESH IJK=108,108,9, XB=0.0,8.01,0.0,8.01, 0.67, 1.34 /
&MESH IJK=108,108,9, XB=0.0,8.01,0.0,8.01, 1.34, 2.00 /
&MESH IJK=108,108,9, XB=0.0,8.01,0.0,8.01, 2.00, 2.67 /
&MESH IJK=108,108,9, XB=0.0,8.01,0.0,8.01, 2.67, 3.34 /
&MESH IJK=108,108,9, XB=0.0,8.01,0.0,8.01, 3.34, 4.00 /
&MESH IJK=108,108,9, XB=0.0,8.01,0.0,8.01, 4.00, 4.67 /
&MESH IJK=108,108,9, XB=0.0,8.01,0.0,8.01, 4.67, 5.34 /
&MESH IJK=108,108,9, XB=0.0,8.01,0.0,8.01, 5.34, 6.00 /
&MESH IJK=108,108,9, XB=0.0,8.01,0.0,8.01, 6.00, 6.67 /
&MESH IJK=108,108,9, XB=0.0,8.01,0.0,8.01, 6.67, 7.34 /
&MESH IJK=108,108,9, XB=0.0,8.01,0.0,8.01, 7.34, 8.00 /
&MESH IJK=108,108,9, XB=0.0,8.01,0.0,8.01, 8.00, 8.67 /
&MESH IJK=108,108,9, XB=0.0,8.01,0.0,8.01, 8.67, 9.34 /
&MESH IJK=108,108,9, XB=0.0,8.01,0.0,8.01, 9.34,10.00 /
&MESH IJK=108,108,9, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,10.00,10.67 /
&MESH IJK=108,108,9, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,10.67,11.34 /
&MESH IJK=108,108,9, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,11.34,12.00 /

```

B_N18_X2_Y3_Z3

```

&MESH IJK=54,36,54, XB=0.000,4.005,0.00,2.67,0.0, 4.0 /
&MESH IJK=54,36,54, XB=0.000,4.005,2.67,5.34,0.0, 4.0 /
&MESH IJK=54,36,54, XB=0.000,4.005,5.34,8.01,0.0, 4.0 /
&MESH IJK=54,36,54, XB=4.005,8.010,0.00,2.67,0.0, 4.0 /
&MESH IJK=54,36,54, XB=4.005,8.010,2.67,5.34,0.0, 4.0 /
&MESH IJK=54,36,54, XB=4.005,8.010,5.34,8.01,0.0, 4.0 /
&MESH IJK=54,36,54, XB=0.000,4.005,0.00,2.67,4.0, 8.0 /
&MESH IJK=54,36,54, XB=0.000,4.005,2.67,5.34,4.0, 8.0 /
&MESH IJK=54,36,54, XB=0.000,4.005,5.34,8.01,4.0, 8.0 /
&MESH IJK=54,36,54, XB=4.005,8.010,0.00,2.67,4.0, 8.0 /
&MESH IJK=54,36,54, XB=4.005,8.010,2.67,5.34,4.0, 8.0 /
&MESH IJK=54,36,54, XB=4.005,8.010,5.34,8.01,4.0, 8.0 /
&MESH IJK=54,36,54, XB=0.000,4.005,0.00,2.67,8.0,12.0 /
&MESH IJK=54,36,54, XB=0.000,4.005,2.67,5.34,8.0,12.0 /
&MESH IJK=54,36,54, XB=0.000,4.005,5.34,8.01,8.0,12.0 /
&MESH IJK=54,36,54, XB=4.005,8.010,0.00,2.67,8.0,12.0 /
&MESH IJK=54,36,54, XB=4.005,8.010,2.67,5.34,8.0,12.0 /
&MESH IJK=54,36,54, XB=4.005,8.010,5.34,8.01,8.0,12.0 /

```

B_N27_X

```

&MESH IJK=4,108,162, XB=0.000,0.297,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=0.297,0.594,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=0.594,0.890,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=0.890,1.187,0.0,8.01,0.0,12.0 /

```

```

&MESH IJK=4,108,162, XB=1.187,1.484,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=1.484,1.780,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=1.780,2.077,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=2.077,2.374,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=2.374,2.670,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=2.670,2.967,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=2.967,3.264,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=3.264,3.560,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=3.560,3.857,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=3.857,4.154,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=4.154,4.450,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=4.450,4.747,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=4.747,5.044,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=5.044,5.340,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=5.340,5.637,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=5.637,5.934,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=5.934,6.230,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=6.230,6.527,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=6.527,6.824,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=6.824,7.120,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=7.120,7.417,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=7.417,7.714,0.0,8.01,0.0,12.0 /
&MESH IJK=4,108,162, XB=7.714,8.010,0.0,8.01,0.0,12.0 /

```

B_N27_Y

```

&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,0.000,0.297,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,0.297,0.594,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,0.594,0.890,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,0.890,1.187,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,1.187,1.484,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,1.484,1.780,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,1.780,2.077,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,2.077,2.374,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,2.374,2.670,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,2.670,2.967,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,2.967,3.264,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,3.264,3.560,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,3.560,3.857,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,3.857,4.154,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,4.154,4.450,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,4.450,4.747,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,4.747,5.044,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,5.044,5.340,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,5.340,5.637,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,5.637,5.934,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,5.934,6.230,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,6.230,6.527,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,6.527,6.824,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,6.824,7.120,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,7.120,7.417,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,7.417,7.714,0.0,12.0 /
&MESH IJK=108,4,162, XB=0.0,8.01,7.714,8.010,0.0,12.0 /

```

B_N27_Z

```

&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,0.00,0.45 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,0.45,0.90 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,0.90,1.35 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,1.35,1.80 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,1.80,2.24 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,2.24,2.68 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,2.68,3.12 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,3.12,3.56 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,3.56,4.00 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,4.00,4.45 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,4.45,4.90 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,4.90,5.35 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,5.35,5.80 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,5.80,6.24 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,6.24,6.68 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,6.68,7.12 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,7.12,7.56 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,7.56,8.00 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,8.00,8.45 /

```

```

&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,8.45,8.90 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,8.90,9.35 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,9.35,9.80 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,9.80,10.24 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,10.24,10.68 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,10.68,11.12 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,11.12,11.56 /
&MESH IJK=108,108,6, XB=0.0,8.01,0.0,8.01,11.56,12.00 /

```

B_N27_X3_Y3_Z3

```

&MESH IJK=36,36,54, XB=0.00,2.67,0.00,2.67,0.0,4.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=0.00,2.67,2.67,5.34,0.0,4.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=0.00,2.67,5.34,8.01,0.0,4.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=2.67,5.34,0.00,2.67,0.0,4.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=2.67,5.34,2.67,5.34,0.0,4.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=2.67,5.34,5.34,8.01,0.0,4.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=5.34,8.01,0.00,2.67,0.0,4.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=5.34,8.01,2.67,5.34,0.0,4.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=5.34,8.01,5.34,8.01,0.0,4.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=0.00,2.67,0.00,2.67,4.0,8.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=0.00,2.67,2.67,5.34,4.0,8.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=0.00,2.67,5.34,8.01,4.0,8.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=2.67,5.34,0.00,2.67,4.0,8.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=2.67,5.34,2.67,5.34,4.0,8.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=2.67,5.34,5.34,8.01,4.0,8.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=5.34,8.01,0.00,2.67,4.0,8.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=5.34,8.01,2.67,5.34,4.0,8.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=5.34,8.01,5.34,8.01,4.0,8.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=0.00,2.67,0.00,2.67,8.0,12.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=0.00,2.67,2.67,5.34,8.0,12.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=0.00,2.67,5.34,8.01,8.0,12.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=2.67,5.34,0.00,2.67,8.0,12.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=2.67,5.34,2.67,5.34,8.0,12.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=2.67,5.34,5.34,8.01,8.0,12.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=5.34,8.01,0.00,2.67,8.0,12.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=5.34,8.01,2.67,5.34,8.0,12.0 /
&MESH IJK=36,36,54, XB=5.34,8.01,5.34,8.01,8.0,12.0 /

```

B.3 Lunarc och Milleotto

Lunarc [1] är ett center för vetenskapliga och tekniska beräkningar i Lund som tillhandahåller resurser för beräkningar med hjälp av kraftfulla datorsystem i form av kluster. I skrivande stund finns två homogena kluster tillgängliga för användare (vissa krav för behörighet finns dock), Docenten och Milleotto. Milleotto, det nyare systemet av de två med en högre kapacitet och prestanda, fick stå som utgångspunkt för detta projekt.

Milleotto består av 252 noder med två stycken Dual-Core processorer i varje nod, vilket resulterar i 1008 processorer totalt. Systemet är sammankopplat via två oberoende Gigabit-nätverk, ett som hanterar MPI-kommunikationen och ett som hanterar datatrafik för lagring och övrig kommunikation. Lagring sker på fyra stycken filservrar som totalt tillhandahåller 7,3 TB delat diskutrymme. En mer specifik nodkonfiguration [1] för Milleotto återges som:

- CPU: 2 st Xeon 5160 (3.0 Ghz, Dual-Core) 64-bitars processorer
- Ramminne: 4 Gb (1 Gb per processor)
- Linux distribution: CentOS 4.4 x86_64 (RHEL4 kompatibel)
- Lokal hårddisk: 93 Gb

Lunarc-systemen kräver en del inläsning av användaren för att underlätta handhavandet av dessa. Detta avsnitt behandlar endast Lunarc och användandet av detta ytligt. För mer information hänvisas till Lunarcs hemsida [1] där mer utförligare vägledningar finns. För att starta ett enklare arbete krävs åtminstone ett par steg:

1. **Skapa ett konto.** Ett användarnamn och ett lösenord krävs för att kunna använda Lunarc-systemen. Behöriga är anställda eller studenter vid Lunds universitet samt vissa användare som är medlemmar i Swedish National Infrastructure for Computing (SNIC).
2. **Logga in.** Inloggning sker i ett terminalfönster i Linux via ssh eller via programmet PuTTY [2] (Windows). Efter godkänd inloggning arbetar användaren mot en Linux-baserad frontend för att exempelvis kompilera körbara filer samt skapa och administrera jobb.
3. **Skapa ett jobb.** Jobb skapas med så kallade script-filer. Typiska script för de genomförda FDS-beräkningarna återfinns i avsnitt B.3.3. Vanligt är att antalet processorer som önskas användas, bedömd tidsåtgång, bibliotek och program som kommer att behövas, samt specifika kommandon för programmet som skall användas specificeras.
4. **Starta ett jobb.** Efter att script-filen för önskat jobb skapats kan denna skickas för bearbetning via ett kösystem. Kösystemet tillämpas för att kunna fördela resurserna jämnt mellan användarna. Kösystemet reglerar den totala tid och resurser som användarna får nyttja samtidigt.
5. **Visa resultat.** När ett jobb avslutats skapas som standard två filer i mappen från vilket jobbet påbörjades. Dessa filer innehåller eventuella fel som uppstått samt standard-output, det vill säga vanlig information från programmet eller systemet. Utöver detta skrivs filer skapade av beräkningen vilka senare kan hämtas med en SFTP-klient som exempelvis WinSCP [3].

Lunarc är en relativt allmän resurs med möjlighet för många olika beräkningsområden. En del vanligt använda mjukvaror finns tillgängliga för användare från första inloggningstillfället och underhålls ofta av en supportgrupp. Mindre vanlig förekommande mjukvaror måste implementeras separat. För genomförandet av detta projekt krävdes det att FDS introducerades på systemen. Då Lunarc-systemen är linuxbaserade krävdes att en exekverbar fil anpassad för systemen kompilerades. Vid kompilering används en kompilator, en slags översättare som omvandlar källkod skriven i ett programmeringsspråk, med hjälp av ett eller flera mjukvarubibliotek (så som Mpich), för att skapa binär kod som datorer kan jobba med. Kompilatorn kräver viss indata för behandling av källkoden.

NIST har publicerat en rad så kallade makefiler [4] för att underlätta för sina användare vid kompilering av FDS. Användaren väljer kommandon för önskad kompilator, processorarkitektur och operativsystem som den exekverbara filen ska kompileras för. Nackdelen med att använda NISTs makefil är att eventuell optimering för det tänkta systemet kan gå förlorat. En utförligare beskrivning av genomförd kompilering på Lunarc-systemen återfinns i avsnitt B.3.1.

B.3.1 Kompilering av FDS på Lunarc

Denna bilaga återger det tillvägagångssätt som nyttjades för att kompilera en fungerande seriell och parallell version av FDS5 till Lunarc-systemen. Bilagan är anpassad för användare i Windows-miljö och den vid kompileringstillfället använda makefilen, vilken återfinns i avsnitt B.3.2.

Förutsättningar: Användarbehörighet och kontouppgifter för tillträde till Lunarc-systemen krävs. Dessutom förutsätts grundläggande användarkunskaper om inloggning och filhantering för Lunarc-systemen [5].

1. Ta hem de senaste revisionerna av FDS5 källkod och FDS makefile. Detta görs enklast med ett program motsvarande SmartSVN [6] som sedan med viss automatik tar hem de senaste revisionerna när dessa släpps av FDS utvecklare. För utförligare instruktioner vad avser att ta hem de senaste revisionerna av FDS5 källkod och makefile med SmartSVN hänvisas till referens [7].
2. Ladda upp källkod och makefile till katalogen *home/xxuserxx/FDS_Source* på Lunarc-systemen. Detta görs enklast med ett FTP-program som exempelvis WinSCP och beskrivs mer detaljerat i referens [5].
3. Logga in på systemet med PuTTY, vilket beskrivs mer detaljerat i referens [5]. För kompileringen behövs en kompilator och bibliotek. Intel-kompilatorn rekommenderas av Lunarcs support [8]. Ladda därför in de senaste versionerna av modulerna för Intel-kompilatorn och mpich-biblioteket med kommandona


```
module add intel
module add mpich-intel10
```
4. Gå till katalogen med källkoden och makefile


```
cd /home/xxuserxx/FDS_Source
```
5. Skriv


```
make intel_linux
```

 vilket ger en körbar seriell version av FDS5 anpassad för ett Linux-system.
6. Avvakta till kompilering är klar.
7. Skriv


```
make clean
```

 Detta steg tar bort .o-, .obj- och .mod-filer som skapades under kompileringen. Detta måste göras, annars återanvänds dessa filer till nästa kompilering.
8. Skriv


```
make intel_linux_mpi
```

 vilket ger en körbar parallell version av FDS5 anpassad för ett Linux-system.
9. Avvakta till kompilering är klar.
10. Skriv


```
make clean
```

 Detta steg tar bort .o, .obj och .mod filer.

Observera att separata exekverbara filer måste kompileras för vardera kluster (Docenten och Milleotto) eftersom mpich-konfigurationerna mellan de två inte är kompatibla.

Om de exekverbara filerna läggs i $\$HOME/bin$, dvs $/home/xxuserxx/bin$ efter kompilering finns de automatiskt i sökvägen och kan anropas direkt med bara namnet (utan sökväg), t.ex $fds5_mpi_intel$. Hemkatalogen är densamma för Docenten och Milleotto, så om båda systemen skall användas måste unika namn skapas (se stycket ovan om inkompatibla mpich-konfigurationer).

B.3.2 Makefil för kompilering

Nedan visas den makefile som användes för kompilering på Milleotto. Kommandon som inte är relevanta för Linux-system eller den rekommenderade Intel-kompilatorn har redigerats bort från originalfilen [4].

```

*** Begin User Defined Variables Section ***
VPATH = ../../FDS_Source
*** End User Defined Variables Section***
*** Serial or MPI object variables ***
obj_serial = isob.o prec.o smvv.o cons.o devc.o type.o mesh.o func.o irad.o \
ieva.o pois.o radi.o evac.o part.o vege.o ctrl.o dump.o read.o mass.o \
wall.o fire.o pres.o divg.o init.o velo.o main.o
obj_mpi = isob.o prec.o smvv.o cons.o devc.o type.o mesh.o func.o irad.o \
ieva.o pois.o radi.o evac.o part.o vege.o ctrl.o dump.o read.o mass.o \
wall.o fire.o pres.o divg.o init.o velo.o main_mpi.o
*** General Purpose Rules ***
no_target:
@echo \***** You did not specify a make target \*****
@echo Please read the comments at the top of the makefile

setup:
%.o : %.mod
.SUFFIXES: .c .f90 .o
.f90.o:
$(FCOMPL) -c $(FFLAGS) $<
.c.o:
$(CCOMPL) -c $(CFLAGS) $<
*** Begin Compiler Specific Rules ***
*** Intel Compiler ***
# Linux
intel_linux : FFLAGS = -O3 -axP -ip -static -vec_report0
intel_linux : CFLAGS = -O -Dpp_noappend
intel_linux : FCOMPL = ifort
intel_linux : CCOMPL = icc
intel_linux : obj = fds5_intel
intel_linux : setup $(obj_serial)
$(FCOMPL) $(FFLAGS) -o $(obj) $(obj_serial)
intel_linux_mpi : FFLAGS = -O3 -axP -ip -vec_report0
intel_linux_mpi : CFLAGS = -O -Dpp_noappend
intel_linux_mpi : FCOMPL = mpif77
intel_linux_mpi : CCOMPL = icc
intel_linux_mpi : obj = fds5_mpi_intel
intel_linux_mpi : setup $(obj_mpi)
$(FCOMPL) $(FFLAGS) -o $(obj) $(obj_mpi)
*** End Compiler Specific Rules ***
# *** Object Dependencies ***
isob.o : isob.c
smvv.o : smvv.f90 isob.c
prec.o : prec.f90
cons.o : cons.f90 prec.f90
type.o : type.f90 prec.f90 cons.f90
devc.o : devc.f90 prec.f90
pois.o : pois.f90 prec.f90
mesh.o : mesh.f90 prec.f90 type.f90
func.o : func.f90 prec.f90 cons.f90 type.f90 mesh.f90
ctrl.o : ctrl.f90 prec.f90 cons.f90 type.f90 mesh.f90 func.f90
irad.o : irad.f90 func.f90 prec.f90 cons.f90 type.f90 mesh.f90
ieva.o : ieva.f90 func.f90 prec.f90 cons.f90 type.f90 mesh.f90
fire.o : fire.f90 func.f90 prec.f90 cons.f90 type.f90 mesh.f90
wall.o : wall.f90 func.f90 prec.f90 cons.f90 type.f90 mesh.f90
velo.o : velo.f90 func.f90 prec.f90 cons.f90 type.f90 mesh.f90
divg.o : divg.f90 func.f90 prec.f90 cons.f90 type.f90 mesh.f90

```



```

mass.o : mass.f90 func.f90 prec.f90 cons.f90 type.f90 mesh.f90
radi.o : radi.f90 func.f90 prec.f90 cons.f90 type.f90 mesh.f90 irad.f90
evac.o : evac.f90 func.f90 prec.f90 cons.f90 type.f90 mesh.f90 ieva.f90
pres.o : pres.f90 func.f90 prec.f90 cons.f90 type.f90 mesh.f90 pois.f90
part.o : part.f90 func.f90 prec.f90 cons.f90 type.f90 mesh.f90 devc.f90
vege.o : vege.f90 func.f90 prec.f90 cons.f90 type.f90 mesh.f90 devc.f90
read.o : read.f90 func.f90 prec.f90 cons.f90 type.f90 mesh.f90 devc.f90 irad.f90
init.o : init.f90 func.f90 prec.f90 cons.f90 type.f90 mesh.f90 devc.f90 irad.f90
pois.f90
dump.o : dump.f90 func.f90 prec.f90 cons.f90 type.f90 mesh.f90 devc.f90 smvv.f90 isob.c
main.o : main.f90 func.f90 prec.f90 cons.f90 type.f90 mesh.f90 devc.f90 smvv.f90 isob.c
mass.f90 divg.f90 velo.f90 wall.f90 fire.f90 irad.f90 ieva.f90 radi.f90 evac.f90
part.f90 vege.f90 dump.f90 read.f90 init.f90 pres.f90 pois.f90 ctrl.f90
main_mpi.o : main_mpi.f90 func.f90 prec.f90 cons.f90 type.f90 mesh.f90 devc.f90 smvv.f90
isob.c mass.f90 divg.f90 velo.f90 wall.f90 fire.f90 irad.f90 ieva.f90 radi.f90 evac.f90
part.f90 vege.f90 dump.f90 read.f90 init.f90 pres.f90 pois.f90 ctrl.f90
*** Clean Target to remove Object and Module files ***
.PHONY : clean
clean:
-rm -f *.o *.mod *.obj

```

B.3.3 Scriptfiler

Nedan återges två typiska scriptfiler för de seriella och parallella beräkningar som genomfördes.

Seriell

```

#!/bin/sh
# Request number of nodes
#PBS -l nodes=1
#PBS -l pmem=1920mb
# Request of wall-clock time
#PBS -l walltime=168:00:00
# regular output (stdout) and terminal output (stderr)
#PBS -o stdout.txt
#PBS -e stderr.txt
# Send notification when job starts, finishes and aborts.
#PBS -m bea
# Mail address
#PBS -M bi04.gunnar.ve@student.lth.se

# Enable modules and add software
. use_modules
module add intel/10.1
module add mpich-intel10/1.2.7p1

# Go to the submit directory
cd $PBS_O_WORKDIR

#Copy all files and subdirectories to the local directory
cp -pr * $PBS_O_LOCAL

#Go to the local directory
cd $PBS_O_LOCAL

# Execute rendering and report progress
fds5_intel_mil_A_S_N1_0.fds >$PBS_O_WORKDIR/regout.out 2>$PBS_O_WORKDIR/termout.err

#Copy any new files and directories to the submission directory
cp -pur * $PBS_O_WORKDIR

```

Parallell

```

#!/bin/sh
# Request number of nodes
#PBS -l nodes=36
# Request of wall-clock time
#PBS -l walltime=60:00:00
# regular output (stdout) and terminal output (stderr)
#PBS -o stdout.txt
#PBS -e stderr.txt
# Send notification when job starts, finishes and aborts.

```

```
#PBS -m bea
# Mail address
#PBS -M bi04.gunnar.ve@student.lth.se

cd $PBS_O_WORKDIR

# Enable modules and add software
. use_modules
module add intel/10.1
module add mpich-intel10/1.2.7p1

# Run on all nodes
mpiexec fds5_mpi_intel_mil A_M_N36_X4_Y3_Z3.fds >mpi.out 2>mpi.err
```

Referenser

- [1] Lunarc. (2008, Augusti 1). *Center for Scientific and Technical computing LUNARC Lund University* [www dokument]. URL <http://www.lunarc.lu.se/>
- [2] Tatham, S. (2008, Augusti 5). *PuTTY: a free telnet/ssh client* [www dokument]. URL <http://www.chiark.greenend.org.uk/~sgtatham/putty/>
- [3] WinSCP. (2008, Augusti 5). *WinSCP :: Free SFTP and FTP client for windows* [www dokument]. URL <http://winscp.net/>
- [4] McGrattan, K. (2008, Augusti 1, Rev 2089). *fds-smv* [www dokument]. URL <http://code.google.com/p/fds-smv/source/browse/trunk/FDS/trunk/Utilities/Makefile/makefile>
- [5] Lunarc. (2008, Augusti 5). *User's Guide* [www dokument]. URL <http://www.lunarc.lu.se/Support/UsersGuide>
- [6] syntevo. (2008, Augusti 5). *SmartSVN - Subversion/SVN Client* [www dokument]. URL <http://www.syntevo.com/smartsvn/index.html>
- [7] Klein, B. [a.k.a. BKlein] (2008, Augusti 5). *Accessing Subversion Repository* [www dokument]. URL <http://code.google.com/p/fds-smv/wiki/AccessingSubversionRepository>
- [8] Magnus Ullner (support@lunarc.lu.se). (2008, Juli 3). Uppdatering - Klustersimuleringar med FDS version 5. *Personlig e-post*. Gunnar Vestin (bi04.gunnar.ve@student.lth.se).

BILAGA C

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

I denna bilaga ges en översiktlig introduktion till området *Computational Fluid Dynamics*. Innehållet skall ses som mycket grundläggande och är främst avsett för läsare utan någon teoretisk bakgrund till CFD.

Computational Fluid Dynamics (CFD) är ett område inom strömningsmekaniken som använder numeriska metoder och algoritmer för att lösa och analysera problem med strömmande fluider. Med hjälp av datorer utförs de miljontals beräkningar som krävs för att modellera gaser och vätskors interaktioner med ytor. Trots dagens superdatorer kan, i de allra flesta fallen, endast approximativa lösningar eller enklare laminära problem lösas [1].

C.1 Angreppssätt

Till grund för alla strömningsproblem ligger Navier-Stokes-ekvationerna. Dessa definierar alla fluida flöden förutsatt ett homogent aggregationstillstånd inom fluiden. Den mest grundläggande principen för CFD är hur man approximerar dessa kontinuerliga ekvationer till diskret form och det finns ett par olika angreppssätt.

Finite volume method (FVM) är den "klassiska" metod som oftast används i kommersiella programvaror. De styrande ekvationerna löses genom att bilda diskreta kontrollvolym, så kallade gridnät eller mesher. Metoden förenklar Navier-Stokes partiella differentialekvationer och diskretiserar sedan dessa ekvationer vilket gör det möjligt att bevara flöden genom en särskild kontrollvolym. [2] Det är möjligt att direkt lösa Navier-Stokes ekvationer för laminära och turbulenta flöden när alla berörda längdskalor kan modelleras av gridnätet, så kallad *Direct Numerical Simulation* (DNS). I allmänhet gäller dock att längdskalorna, där de intressanta fenomenen uppstår vid en brand, är så pass små att problemet blir för stort för att ens kunna lösas av dagens superdatorer. För att hantera detta krävs införandet av en turbulensmodell. *Large Eddy Simulations* (LES) och *Reynolds Averaged Navier-Stokes* (RANS) är två angreppssätt för att hantera dessa subgridskalor. [1] LES och RANS behandlas närmare i avsnitt C.2.

Finite element method och *Finite difference method* är andra exempel på metoder som används vid omvandling av Navier-Stokes ekvationerna till diskret form. Dessa metoder behandlas ej i denna rapport och den intresserade läsaren hänvisas exempelvis till referenserna [1-3] för djupare förståelse.

För att kunna modellera ett brandförlopp krävs i huvudsak tre komponenter; CFD-koden, mer specifika koder relaterade till brandfenomen och en användare med förståelse för CFD och brandmodellering. CFD-koden är kärnan och förser modellen med de grundläggande transportmekanismerna för energi, rörelse och massa. Den specifika koden för brand innehåller en närmare beskrivning av fenomen specifika för brand som exempelvis ämneskoncentrationer (masstransport), kemiska reaktioner, värmeöverföring och kemiskt reagerande flöden så som förbränning. Den specifika koden för brand bygger ofta på empiriska modeller. [4]

C.2 Turbulensmodellering

Turbulenta flöden genererar fluidsamverkan inom ett stort intervall av längdskalor. Turbulens genereras ofta i storleksordningen av ett par meter men denna längdskala blir allt mindre allt eftersom den turbulenta energin avtar. När längdskalorna är tillräckligt små skingras energin utav de viskösa krafterna och det är på dessa minsta längdskalor som bränsle och syre blandas och kemiska reaktioner uppstår [5]. En följd av det stora intervallet av längdskalor medför att en turbulensmodell måste försöka ta hänsyn till detta då förenklingen av Navier-Stokes-ekvationerna görs [1]. Modellering leder därmed ofta till kompromisser och därför har en rad metoder tagits fram för att kunna passa fler tillämpningar. De två mest använda turbulensmodellerna för brandmodellering är LES och RANS.

Med LES filtreras mindre längdskalor bort och modelleras inom varje cell i gridnätet med hjälp av en subgridskalemmodell. De större energibärande längdskalorna modelleras direkt av gridnätet. Denna metod fordrar allmänt en mindre gridstorlek än en RANS-modell, men samtidigt en mycket större sådan jämfört med om en DNS lösning ska erhållas. [1]

RANS är det äldsta förhållningssättet till turbulensmodellering. Metoden bygger på att flödesvariablerna delas upp i en fluktuerande del och en genomsnittlig del. De styrande ekvationerna löses sedan för medelvärdet vilket är det mest intressanta för ingenjörstillämpningar. [1]

En relativt enkel men mer detaljerad genomgång av LES och RANS ges i referens [5].

C.3 Fel och osäkerhet i CFD-modellering

CFD-modellering överrensstämmer sällan exakt med fysikaliska observationer. Avvikelser uppstår som en följd av fel och osäkerheter. Fel kan ses som en igenkännlig brist i någon fas eller aktivitet av modelleringen som inte beror på kunskapsbrist. Vidkända fel (exempelvis avrundnings-, trunkerings- och konvergensfel) är lätta att hantera och kvantifiera, medan ej erkända fel (exempelvis programmerings och användarfel) är svårare att hantera och kvantifiera. Osäkerhet kan ses som en potentiell brist i någon fas eller aktivitet av modelleringen som beror på kunskapsbrist. Bristen kanske existerar, kanske inte, och är generellt relaterad till någon aspekt av modelleringen (exempelvis en förenklad fysikalisk modell) snarare än diskretiseringen. [6]

Verifiering och validering är den viktigaste delen i modelleringsprocessen med CFD. Att verifiera och validera en modellering ger trovärdighet och förtroende till såväl det använda verktyget som användaren. Verifiering ger användaren även en möjlighet att kvantifiera fel och osäkerheter. Verifieringen kontrollerar att ekvationerna löses rätt medan valideringen kontrollerar att rätt ekvationer löses. [6]

Referenser

- [1] Blazek, J. (2001). *Computational Fluid Dynamics : Principles and Applications*. Oxford: Elsevier Science.
- [2] Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (1995). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics : The Finite Volume Method*. Harlow: Longman Scientific & Technical.

- [3] Lewis, R. W., Nithiarasu, P., & Seetharamu, K. N. (2004). *Fundamentals of the Finite Element Method for Heat and Fluid Flow*. Chichester: John Wiley & Sons.
- [4] Grandison, A. J., Galea, E. R., & Patel, M. K. (2008, Juli 3). *CFD Fire Field Modelling Standards* [www dokument]. URL http://fseg.gre.ac.uk/fire/standards_for_fire_field_models_proj.html
- [5] Cox, G., & Kumar, S. (2002). Modeling Enclosure Fires Using CFD. I P. J. DiNenno (Red.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (3rd ed.) (pp. 3:194-3:218). Quincy, MA: National Fire Protection Association.
- [6] Rubini, P. A. (2008). *Simulation of Room Fires*. Föreläsningsanteckningar från kursen Simulering av rumsbrand (CFD) – VBR200. (Lunds Tekniska Högskola, Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, 221 00 Lund).

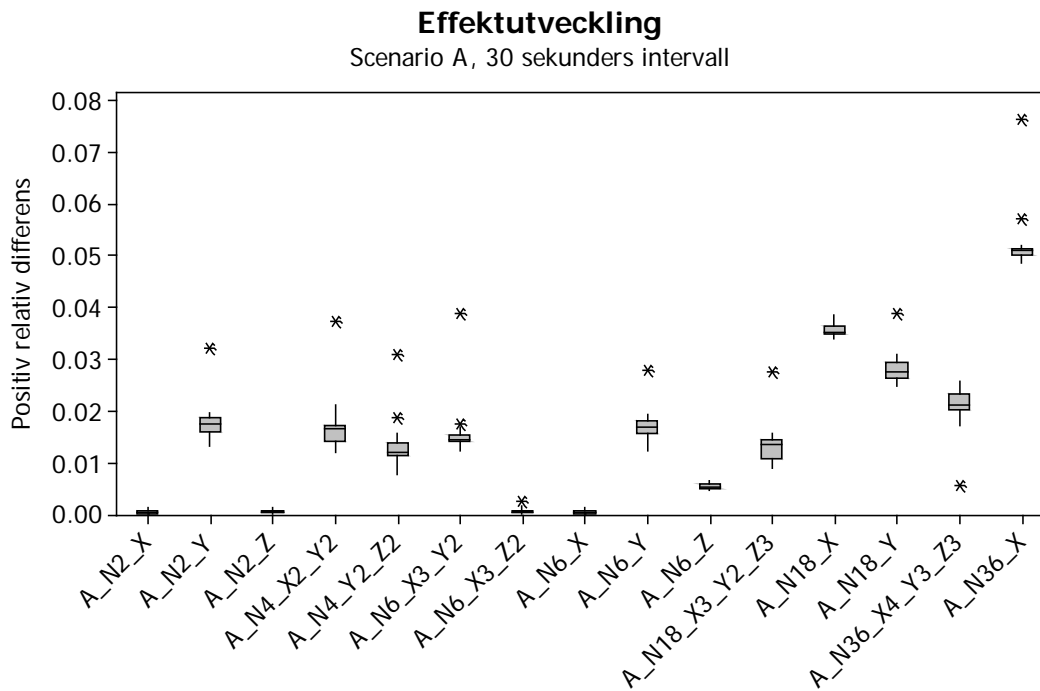
BILAGA D

KÄNSLIGHETSANALYS TIDSINTERVALL

Denna bilaga återger de kompletterande resultat som erhöles av känslighetsanalysen med avseende på det tidsintervall som data medelvärdesbildades över.

D.1 30 sekunder

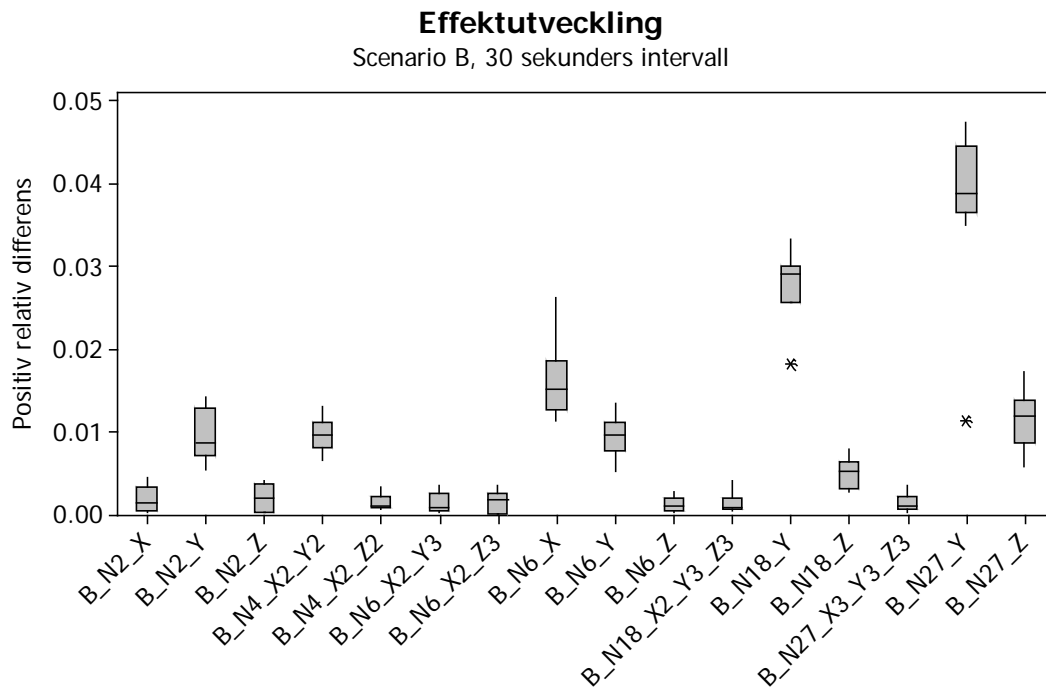
I Figur D:1 till Figur D:22 och i Tabell D:1 till Tabell D:22 återges erhållna resultat som den positiva relativa differensen, $\epsilon_{\Delta t}$, dels grafiskt med boxplots dels med beskrivande statistik då undersökt tidsintervall valdes till 30 sekunder.



Figur D:1 Boxplot med positiv relativ differens för effektutveckling, scenario A, 30 sekunders intervall.

Tabell D:1 Beskrivande statistik för dataunderlaget till effektutveckling, scenario A, 30 sekunders intervall

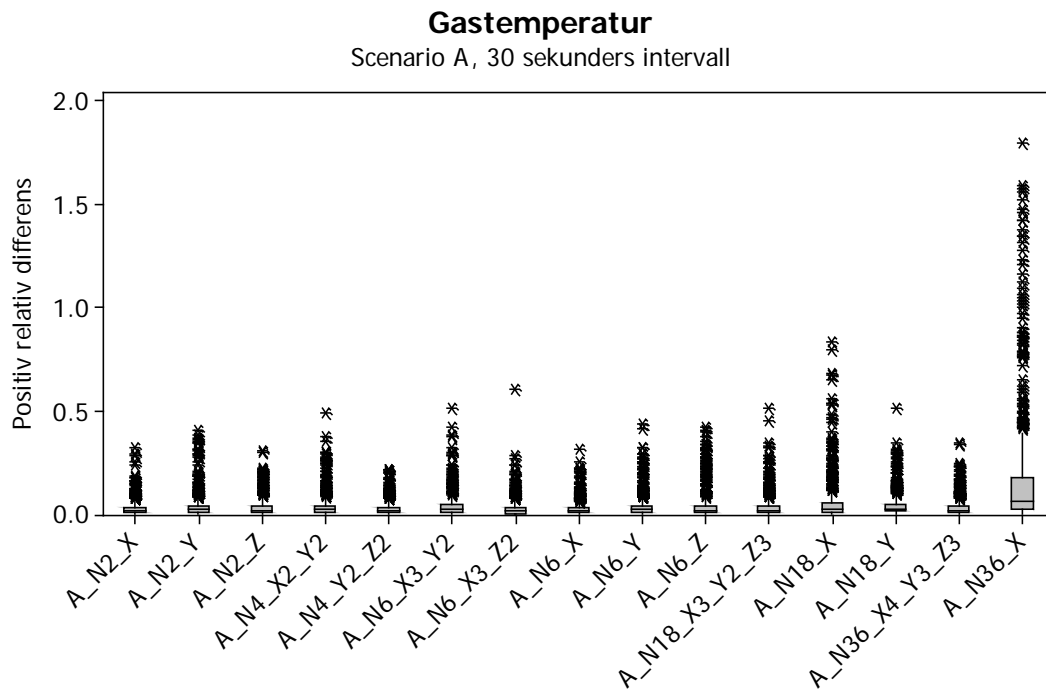
Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
A_N2_X	20	0,0004	0,0003	<0,0000	0,0001	0,0004	0,0006	0,0011	0
A_N2_Y	20	0,0177	0,0038	0,0131	0,0159	0,0173	0,0187	0,0320	1
A_N2_Z	20	0,0004	0,0003	0,0001	0,0002	0,0004	0,0007	0,0011	0
A_N4_X2_Y2	20	0,0169	0,0052	0,0118	0,0142	0,0164	0,0171	0,0372	1
A_N4_Y2_Z2	20	0,0132	0,0048	0,0077	0,0112	0,0120	0,0137	0,0307	2
A_N6_X3_Y2	20	0,0157	0,0056	0,0121	0,0139	0,0144	0,0152	0,0387	2
A_N6_X3_Z2	20	0,0006	0,0006	0,0001	0,0002	0,0005	0,0007	0,0023	1
A_N6_X	20	0,0004	0,0004	0,0001	0,0001	0,0004	0,0006	0,0013	0
A_N6_Y	20	0,0170	0,0031	0,0123	0,0156	0,0169	0,0181	0,0279	1
A_N6_Z	20	0,0054	0,0005	0,0045	0,0049	0,0053	0,0058	0,0065	0
A_N18_X3_Y2_Z3	20	0,0133	0,0039	0,0088	0,0107	0,0133	0,0142	0,0275	1
A_N18_X	20	0,0356	0,0012	0,0339	0,0347	0,0353	0,0363	0,0384	0
A_N18_Y	20	0,0282	0,0030	0,0247	0,0262	0,0275	0,0294	0,0387	1
A_N36_X4_Y3_Z3	20	0,0207	0,0042	0,0054	0,0203	0,0211	0,0234	0,0257	1
A_N36_X	20	0,0521	0,0060	0,0485	0,0500	0,0509	0,0513	0,0764	2



Figur D:2 Boxplot med positiv relativ differens för effektutveckling, scenario B, 30 sekunders intervall.

Tabell D:2 Beskrivande statistik för dataunderlaget till effektutveckling, scenario B, 30 sekunders intervall

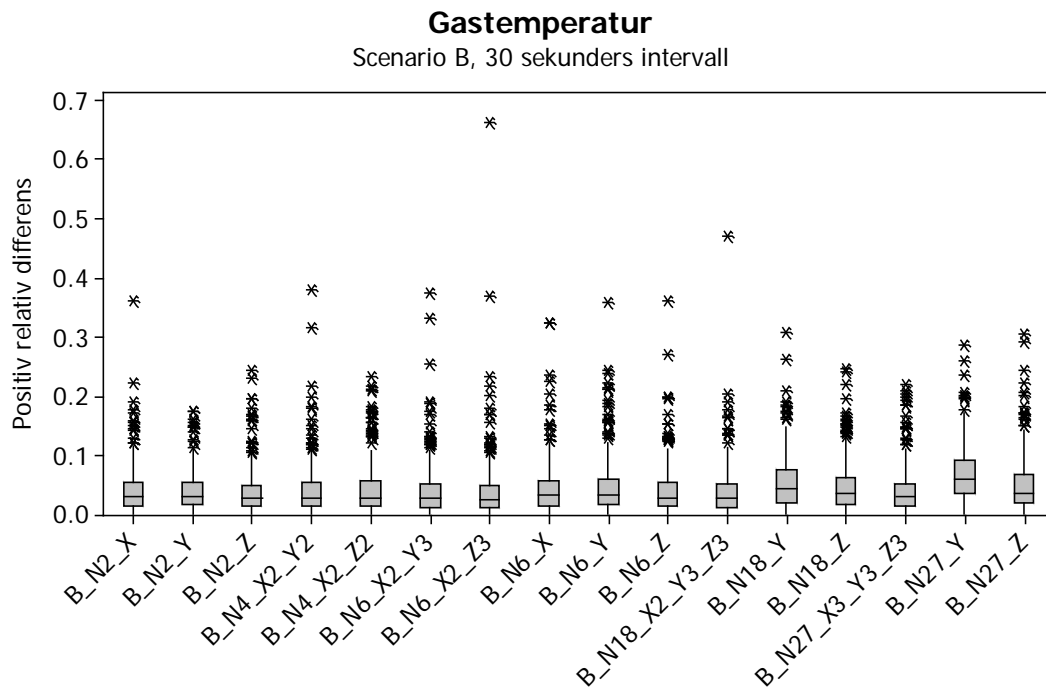
Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
B_N2_X	10	0,0018	0,0015	0,0002	0,0005	0,0013	0,0033	0,0044	0
B_N2_Y	10	0,0094	0,0030	0,0054	0,0072	0,0085	0,0128	0,0142	0
B_N2_Z	10	0,0018	0,0016	0,0001	0,0002	0,0020	0,0037	0,0041	0
B_N4_X2_Y2	10	0,0096	0,0019	0,0065	0,0081	0,0096	0,0110	0,0130	0
B_N4_X2_Z2	10	0,0014	0,0009	0,0005	0,0008	0,0009	0,0022	0,0032	0
B_N6_X2_Y3	10	0,0014	0,0011	0,0002	0,0004	0,0008	0,0026	0,0034	0
B_N6_X2_Z3	10	0,0015	0,0013	<0,0000	<0,0000	0,0018	0,0025	0,0034	0
B_N6_X	10	0,0162	0,0048	0,0113	0,0126	0,0151	0,0185	0,0262	0
B_N6_Y	10	0,0095	0,0024	0,0052	0,0077	0,0096	0,0111	0,0134	0
B_N6_Z	10	0,0012	0,0009	0,0001	0,0005	0,0009	0,0020	0,0026	0
B_N18_X2_Y3_Z3	10	0,0013	0,0012	0,0003	0,0005	0,0007	0,0020	0,0041	0
B_N18_Y	10	0,0278	0,0041	0,0182	0,0256	0,0290	0,0301	0,0332	1
B_N18_Z	10	0,0050	0,0017	0,0026	0,0031	0,0052	0,0063	0,0078	0
B_N27_X3_Y3_Z3	10	0,0013	0,0010	0,0001	0,0006	0,0010	0,0021	0,0034	0
B_N27_Y	10	0,0375	0,0101	0,0113	0,0364	0,0388	0,0445	0,0473	1
B_N27_Z	10	0,0114	0,0034	0,0058	0,0085	0,0118	0,0137	0,0171	0



Figur D:3 Boxplot med positiv relativ differens för gastemperatur, scenario A, 30 sekunders intervall.

Tabell D:3 Beskrivande statistik för dataunderlaget till gastemperatur, scenario A, 30 sekunders intervall

Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
A_N2_X	720	0,0265	0,0367	<0,0000	0,0052	0,0143	0,0327	0,3214	55
A_N2_Y	720	0,0363	0,0541	0,0001	0,0099	0,0197	0,0390	0,4030	66
A_N2_Z	720	0,0303	0,0387	<0,0000	0,0055	0,0184	0,0396	0,3067	43
A_N4_X2_Y2	720	0,0368	0,0517	<0,0000	0,0105	0,0215	0,0407	0,4903	62
A_N4_Y2_Z2	720	0,0278	0,0327	<0,0000	0,0071	0,0175	0,0344	0,2154	54
A_N6_X3_Y2	720	0,0351	0,0513	<0,0000	0,0086	0,0201	0,0421	0,5115	50
A_N6_X3_Z2	720	0,0257	0,0415	<0,0000	0,0037	0,0120	0,0326	0,6018	48
A_N6_X	720	0,0237	0,0348	<0,0000	0,0047	0,0127	0,0280	0,3136	56
A_N6_Y	720	0,0350	0,0497	0,0001	0,0102	0,0197	0,0380	0,4360	71
A_N6_Z	720	0,0380	0,0637	<0,0000	0,0066	0,0177	0,0385	0,4229	63
A_N18_X3_Y2_Z3	720	0,0321	0,0516	<0,0000	0,0052	0,0170	0,0353	0,5118	58
A_N18_X	720	0,0532	0,0962	<0,0000	0,0104	0,0238	0,0514	0,8355	69
A_N18_Y	720	0,0404	0,0523	<0,0000	0,0116	0,0244	0,0473	0,5142	59
A_N36_X4_Y3_Z3	720	0,0309	0,0411	0,0001	0,0071	0,0171	0,0361	0,3450	64
A_N36_X	720	0,1609	0,2741	0,0002	0,0204	0,0647	0,1725	1,7990	72



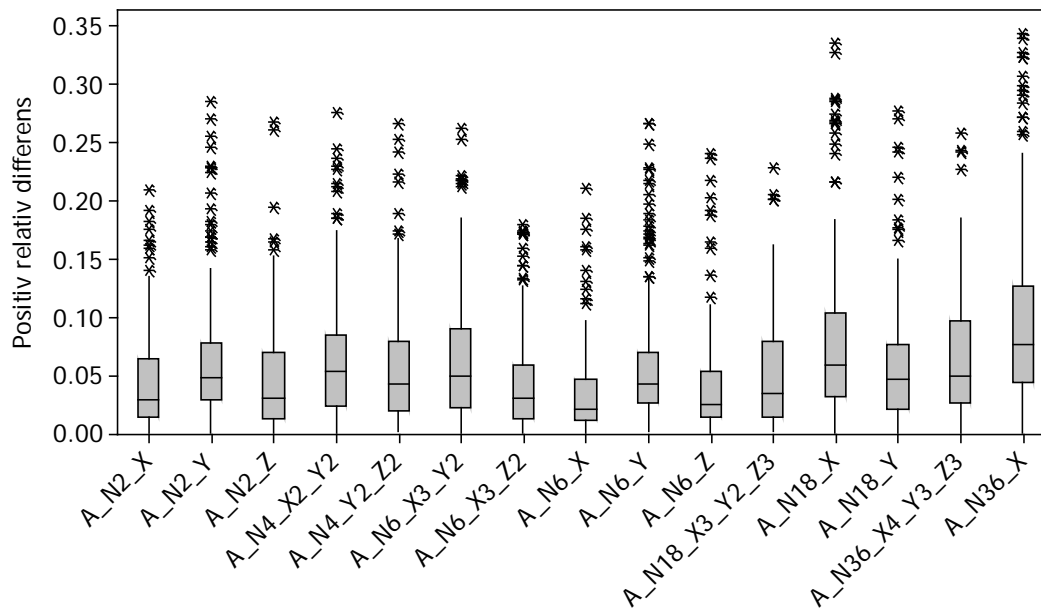
Figur D:4 Boxplot med positiv relativ differens för gastemperatur, scenario B, 30 sekunders intervall.

Tabell D:4 Beskrivande statistik för dataunderlaget till gastemperatur, scenario B, 30 sekunders intervall

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
B_N2_X	330	0,0402	0,0388	0,0001	0,0146	0,0307	0,0547	0,3604	13
B_N2_Y	330	0,0387	0,0324	0,0002	0,0151	0,0307	0,0532	0,1738	11
B_N2_Z	330	0,0368	0,0364	0,0009	0,0128	0,0275	0,0484	0,2434	16
B_N4_X2_Y2	330	0,0397	0,0423	0,0001	0,0138	0,0280	0,0525	0,3780	17
B_N4_X2_Z2	330	0,0411	0,0415	0,0001	0,0124	0,0278	0,0548	0,2324	21
B_N6_X2_Y3	330	0,0400	0,0445	0,0001	0,0118	0,0272	0,0516	0,3743	18
B_N6_X2_Z3	330	0,0384	0,0529	0,0003	0,0117	0,0250	0,0489	0,6616	18
B_N6_X	330	0,0419	0,0432	0,0002	0,0132	0,0309	0,0566	0,3233	13
B_N6_Y	330	0,0455	0,0466	0,0001	0,0152	0,0323	0,0581	0,3575	21
B_N6_Z	330	0,0391	0,0412	0,0001	0,0132	0,0274	0,0529	0,3596	18
B_N18_X2_Y3_Z3	330	0,0369	0,0422	0,0001	0,0103	0,0259	0,0515	0,4689	12
B_N18_Y	330	0,0526	0,0436	<0,0000	0,0199	0,0421	0,0744	0,3085	10
B_N18_Z	330	0,0452	0,0414	0,0003	0,0156	0,0341	0,0612	0,2451	18
B_N27_X3_Y3_Z3	330	0,0401	0,0391	0,0001	0,0122	0,0304	0,0520	0,2180	17
B_N27_Y	330	0,0664	0,0456	0,0009	0,0335	0,0576	0,0899	0,2849	8
B_N27_Z	330	0,0490	0,0471	<0,0000	0,0174	0,0339	0,0673	0,3049	14

Värmeöverföring (qc+qr)

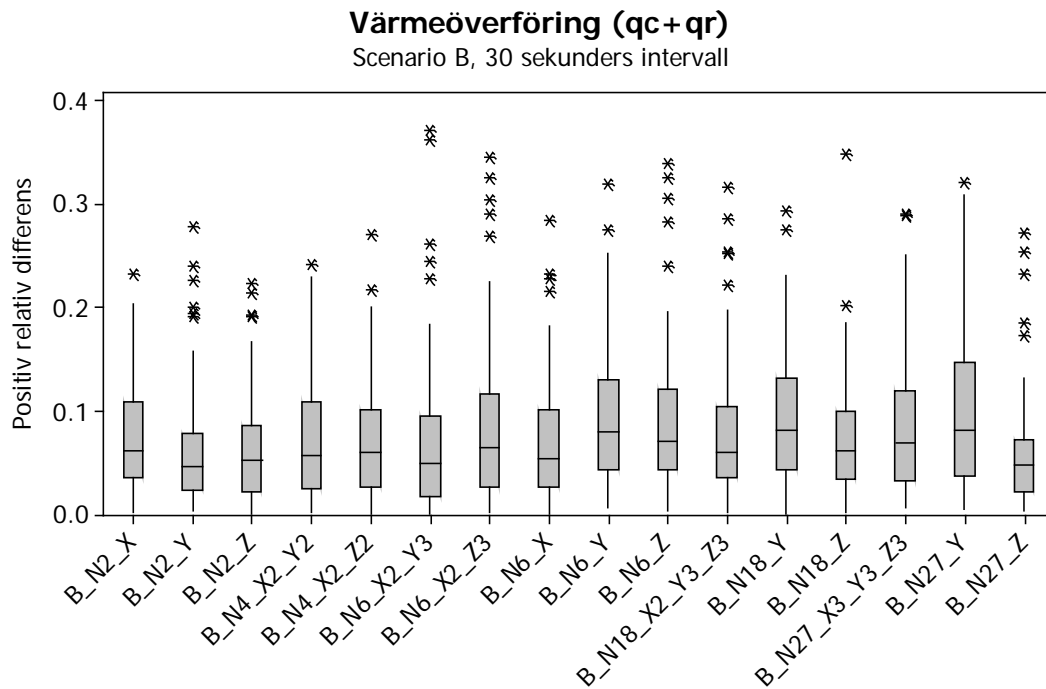
Scenario A, 30 sekunders intervall



Figur D:5 Boxplot med positiv relativ differens för värmeöverföring ($\dot{q}_r'' + \dot{q}_c''$), scenario A, 30 sekunders intervall.

Tabell D:5 Beskrivande statistik för dataunderlaget till värmeöverföring ($\dot{q}_r'' + \dot{q}_c''$), scenario A, 30 sekunders intervall

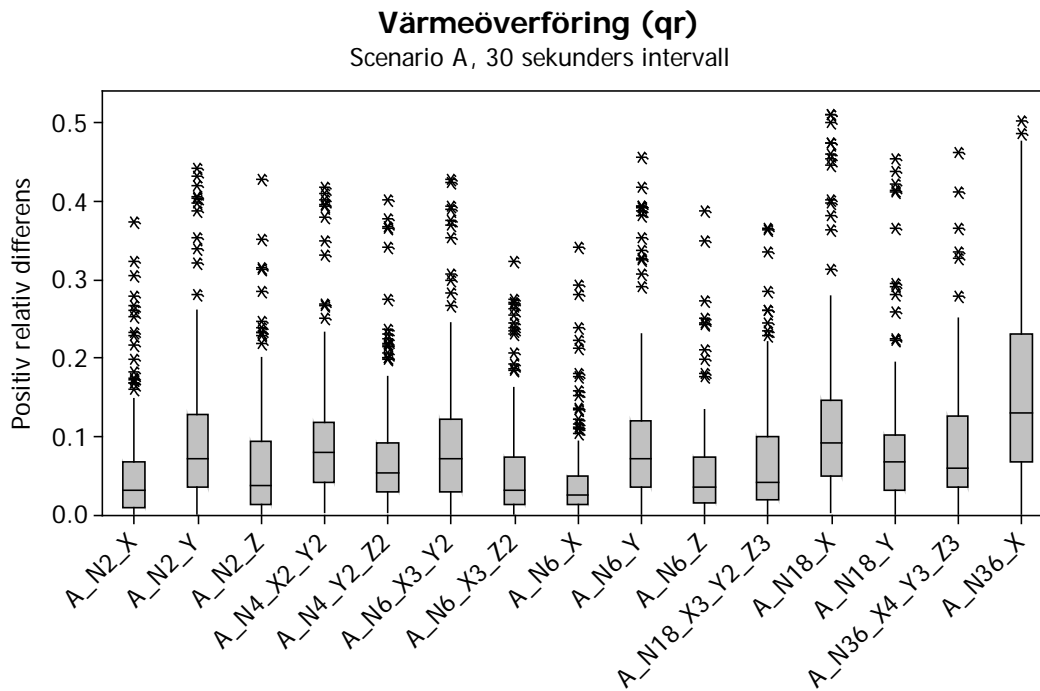
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
A_N2_X	160	0,0452	0,0451	<0,0000	0,0139	0,0288	0,0639	0,2093	9
A_N2_Y	160	0,0655	0,0580	0,0005	0,0281	0,0482	0,0779	0,2863	18
A_N2_Z	160	0,0485	0,0500	<0,0000	0,0124	0,0295	0,0697	0,2677	6
A_N4_X2_Y2	160	0,0650	0,0565	0,0005	0,0238	0,0525	0,0847	0,2758	11
A_N4_Y2_Z2	160	0,0571	0,0524	0,0007	0,0194	0,0423	0,0791	0,2664	8
A_N6_X3_Y2	160	0,0654	0,0577	0,0001	0,0223	0,0492	0,0897	0,2624	8
A_N6_X3_Z2	160	0,0439	0,0437	0,0001	0,0116	0,0302	0,0579	0,1802	12
A_N6_X	160	0,0360	0,0385	0,0002	0,0115	0,0210	0,0466	0,2102	10
A_N6_Y	160	0,0622	0,0587	0,0008	0,0255	0,0428	0,0689	0,2671	22
A_N6_Z	160	0,0411	0,0458	0,0006	0,0132	0,0251	0,0534	0,2407	10
A_N18_X3_Y2_Z3	160	0,0521	0,0487	0,0007	0,0133	0,0346	0,0788	0,2288	4
A_N18_X	160	0,0805	0,0727	0,0002	0,0317	0,0591	0,1032	0,3353	14
A_N18_Y	160	0,0589	0,0541	0,0002	0,0206	0,0466	0,0758	0,2771	10
A_N36_X4_Y3_Z3	160	0,0638	0,0514	0,0003	0,0259	0,0484	0,0972	0,2588	4
A_N36_X	160	0,0960	0,0800	0,0003	0,0436	0,0767	0,1264	0,3439	14



Figur D:6 Boxplot med positiv relativ differens för värmeöverföring ($\dot{q}_r'' + \dot{q}_c''$), scenario B, 30 sekunders intervall.

Tabell D:6 Beskrivande statistik för dataunderlaget till värmeöverföring ($\dot{q}_r'' + \dot{q}_c''$), scenario B, 30 sekunders intervall

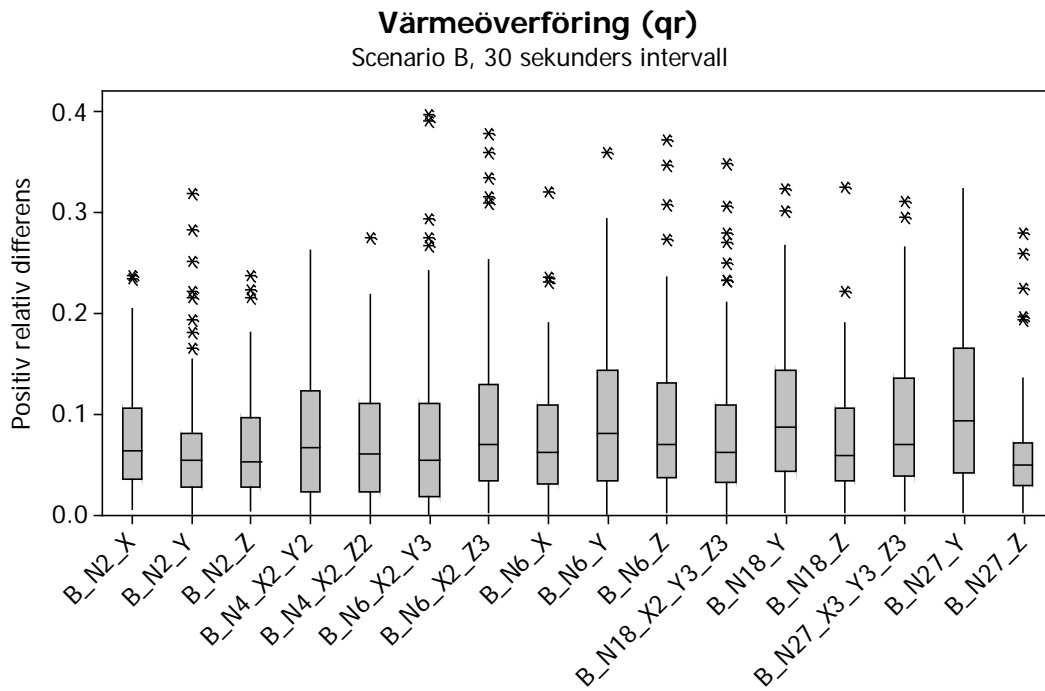
Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
B_N2_X	80	0,0746	0,0526	0,0014	0,0344	0,0617	0,1076	0,2315	1
B_N2_Y	80	0,0633	0,0594	0,0038	0,0229	0,0455	0,0776	0,2771	6
B_N2_Z	80	0,0636	0,0514	0,0003	0,0218	0,0522	0,0853	0,2230	4
B_N4_X2_Y2	80	0,0756	0,0629	0,0015	0,0237	0,0571	0,1090	0,2408	1
B_N4_X2_Z2	80	0,0718	0,0581	0,0006	0,0256	0,0603	0,1005	0,2697	2
B_N6_X2_Y3	80	0,0715	0,0756	0,0002	0,0172	0,0493	0,0952	0,3703	5
B_N6_X2_Z3	80	0,0847	0,0814	0,0020	0,0258	0,0642	0,1157	0,3446	5
B_N6_X	80	0,0728	0,0601	0,0003	0,0263	0,0540	0,1013	0,2838	4
B_N6_Y	80	0,0949	0,0689	0,0064	0,0432	0,0798	0,1299	0,3195	2
B_N6_Z	80	0,0881	0,0727	0,0024	0,0421	0,0697	0,1204	0,3384	5
B_N18_X2_Y3_Z3	80	0,0795	0,0671	0,0016	0,0353	0,0592	0,1032	0,3161	5
B_N18_Y	80	0,0916	0,0699	0,0001	0,0422	0,0812	0,1317	0,2924	2
B_N18_Z	80	0,0714	0,0574	0,0014	0,0339	0,0605	0,0990	0,3480	2
B_N27_X3_Y3_Z3	80	0,0824	0,0663	0,0054	0,0316	0,0692	0,1197	0,2904	2
B_N27_Y	80	0,1043	0,0799	0,0045	0,0371	0,0802	0,1465	0,3204	1
B_N27_Z	80	0,0580	0,0527	0,0025	0,0220	0,0472	0,0716	0,2722	5



Figur D:7 Boxplot med positiv relativ differens för värmeöverföring (\dot{q}_r''), scenario A, 30 sekunders intervall.

Tabell D:7 Beskrivande statistik för dataunderlaget till värmeöverföring (\dot{q}_r''), scenario A, 30 sekunders intervall

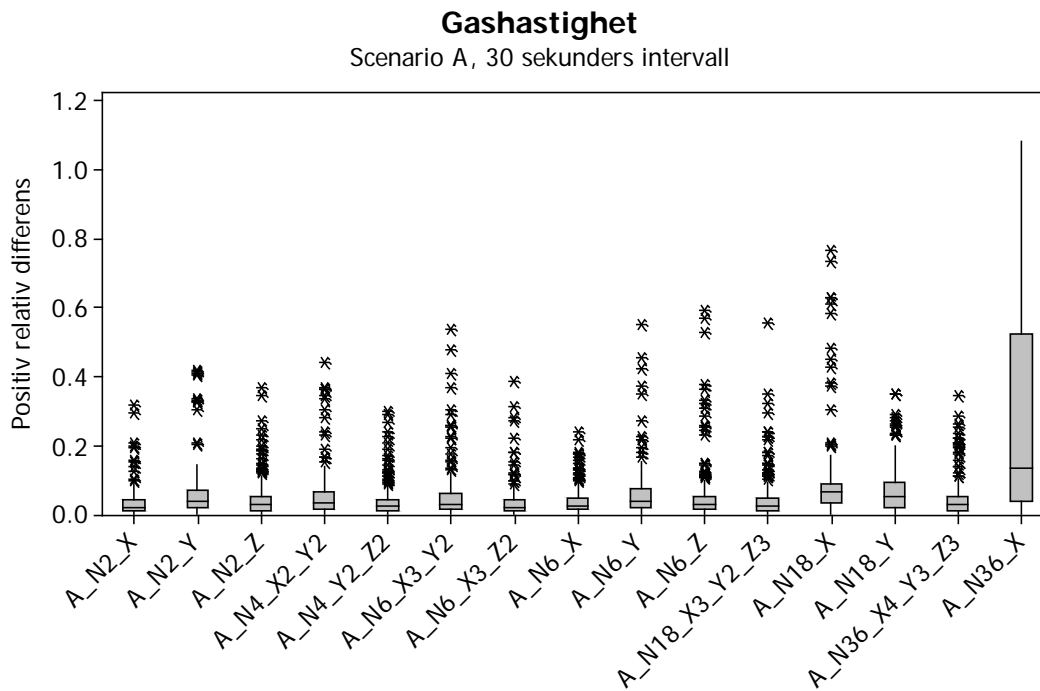
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
A_N2_X	160	0,0567	0,0727	0,0002	0,0090	0,0294	0,0657	0,3736	17
A_N2_Y	160	0,0997	0,0967	0,0003	0,0335	0,0707	0,1272	0,4420	11
A_N2_Z	160	0,0668	0,0777	0,0002	0,0114	0,0373	0,0923	0,4274	11
A_N4_X2_Y2	160	0,0970	0,0873	0,0013	0,0399	0,0781	0,1180	0,4185	11
A_N4_Y2_Z2	160	0,0744	0,0769	0,0015	0,0274	0,0526	0,0916	0,4025	16
A_N6_X3_Y2	160	0,0940	0,0908	0,0007	0,0289	0,0705	0,1218	0,4284	11
A_N6_X3_Z2	160	0,0565	0,0691	<0,0000	0,0125	0,0295	0,0736	0,3231	14
A_N6_X	160	0,0435	0,0568	0,0003	0,0119	0,0239	0,0480	0,3406	17
A_N6_Y	160	0,0971	0,0969	0,0004	0,0348	0,0702	0,1187	0,4558	13
A_N6_Z	160	0,0539	0,0631	0,0004	0,0137	0,0349	0,0732	0,3873	10
A_N18_X3_Y2_Z3	160	0,0713	0,0775	0,0008	0,0186	0,0410	0,0995	0,3662	9
A_N18_X	160	0,1216	0,1122	0,0017	0,0487	0,0906	0,1461	0,5109	13
A_N18_Y	160	0,0852	0,0884	<0,0000	0,0310	0,0657	0,1012	0,4549	12
A_N36_X4_Y3_Z3	160	0,0888	0,0825	0,0007	0,0337	0,0590	0,1253	0,4626	6
A_N36_X	160	0,1577	0,1182	0,0007	0,0665	0,1296	0,2309	0,5041	2



Figur D:8 Boxplot med positiv relativ differens för värmeöverföring (\dot{q}_r''), scenario B, 30 sekunders intervall.

Tabell D:8 Beskrivande statistik för dataunderlaget till värmeöverföring (\dot{q}_r''), scenario B, 30 sekunders intervall

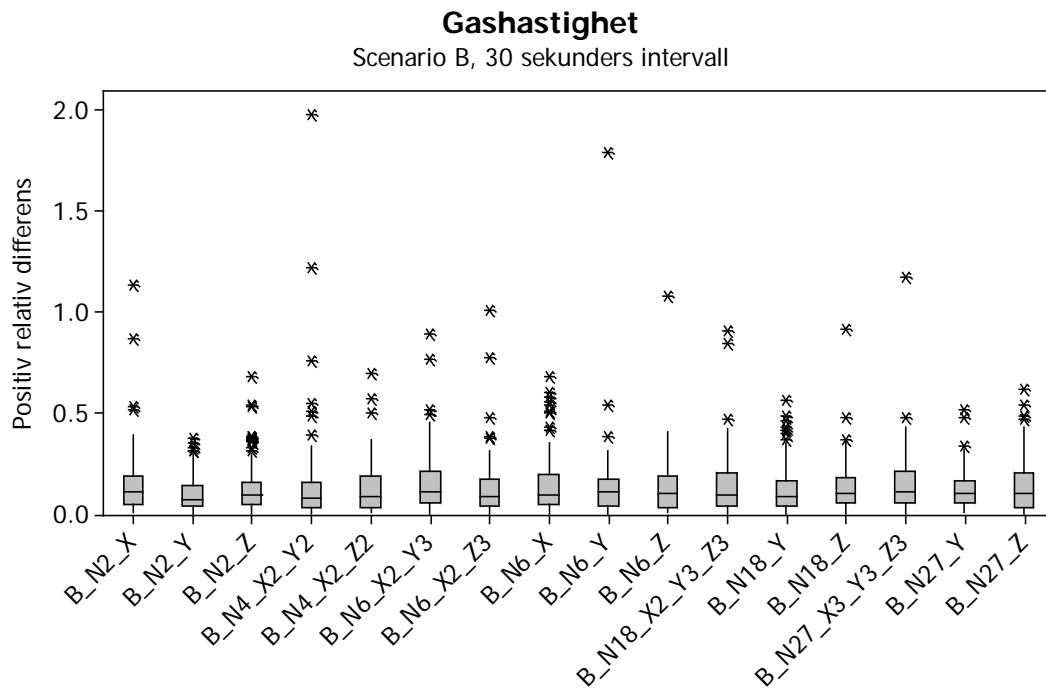
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
B_N2_X	80	0,0770	0,0561	0,0050	0,0339	0,0625	0,1046	0,2369	2
B_N2_Y	80	0,0690	0,0646	0,0004	0,0264	0,0530	0,0793	0,3183	8
B_N2_Z	80	0,0664	0,0541	0,0024	0,0263	0,0520	0,0963	0,2367	3
B_N4_X2_Y2	80	0,0788	0,0663	0,0007	0,0216	0,0658	0,1216	0,2622	0
B_N4_X2_Z2	80	0,0729	0,0598	0,0002	0,0214	0,0602	0,1097	0,2745	1
B_N6_X2_Y3	80	0,0772	0,0834	0,0004	0,0170	0,0540	0,1102	0,3964	5
B_N6_X2_Z3	80	0,0939	0,0888	0,0011	0,0325	0,0690	0,1284	0,3776	5
B_N6_X	80	0,0750	0,0610	0,0002	0,0299	0,0606	0,1076	0,3193	3
B_N6_Y	80	0,0982	0,0786	<0,0000	0,0327	0,0798	0,1432	0,3598	1
B_N6_Z	80	0,0915	0,0775	0,0010	0,0361	0,0686	0,1297	0,3722	4
B_N18_X2_Y3_Z3	80	0,0841	0,0753	0,0001	0,0313	0,0607	0,1087	0,3481	7
B_N18_Y	80	0,0992	0,0749	0,0009	0,0418	0,0861	0,1422	0,3231	2
B_N18_Z	80	0,0745	0,0579	0,0011	0,0326	0,0576	0,1052	0,3246	2
B_N27_X3_Y3_Z3	80	0,0898	0,0698	0,0031	0,0379	0,0687	0,1345	0,3107	2
B_N27_Y	80	0,1097	0,0873	0,0023	0,0411	0,0930	0,1645	0,3231	0
B_N27_Z	80	0,0597	0,0534	0,0020	0,0277	0,0483	0,0709	0,2785	5



Figur D:9 Boxplot med positiv relativ differens för gashastighet, scenario A, 30 sekunders intervall.

Tabell D:9 Beskrivande statistik för dataunderlaget till gashastighet, scenario A, 30 sekunders intervall

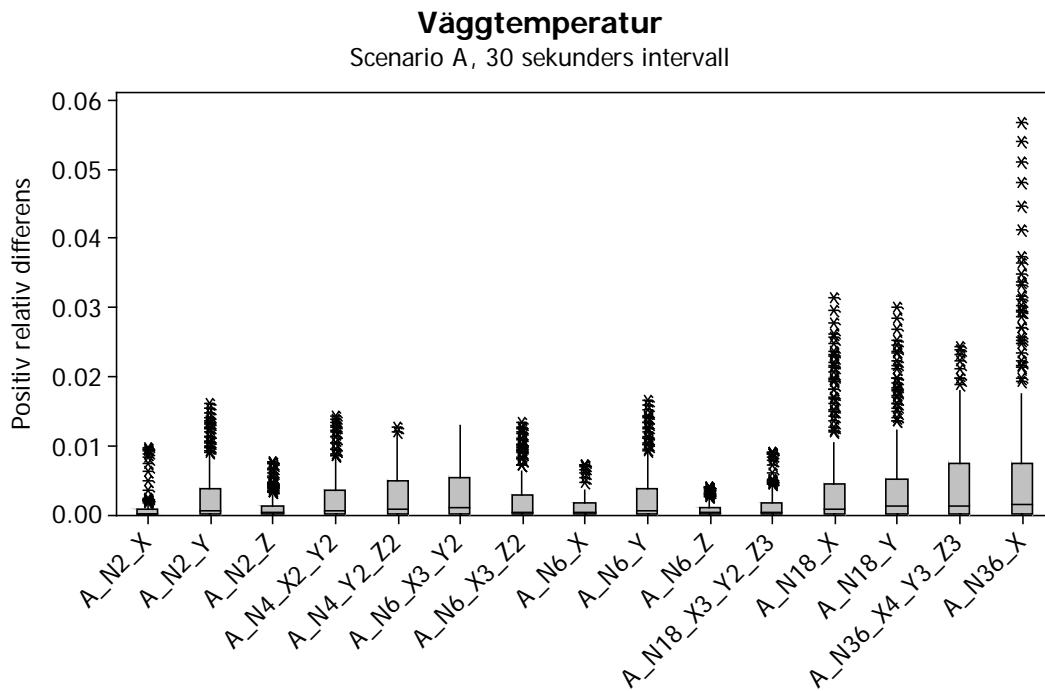
Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
A_N2_X	320	0,0308	0,0376	0,0002	0,0089	0,0197	0,0435	0,3168	11
A_N2_Y	320	0,0551	0,0635	0,0003	0,0191	0,0384	0,0703	0,4188	11
A_N2_Z	320	0,0396	0,0476	0,0001	0,0099	0,0277	0,0516	0,3660	19
A_N4_X2_Y2	320	0,0495	0,0603	0,0002	0,0155	0,0341	0,0654	0,4426	14
A_N4_Y2_Z2	320	0,0339	0,0421	0,0003	0,0105	0,0234	0,0408	0,2967	21
A_N6_X3_Y2	320	0,0485	0,0645	<0,0000	0,0148	0,0293	0,0603	0,5363	17
A_N6_X3_Z2	320	0,0310	0,0439	<0,0000	0,0073	0,0181	0,0396	0,3873	15
A_N6_X	320	0,0359	0,0363	0,0002	0,0128	0,0241	0,0463	0,2380	20
A_N6_Y	320	0,0541	0,0635	<0,0000	0,0168	0,0369	0,0743	0,5526	12
A_N6_Z	320	0,0460	0,0744	0,0003	0,0129	0,0255	0,0495	0,5942	24
A_N18_X3_Y2_Z3	320	0,0389	0,0564	0,0002	0,0112	0,0213	0,0452	0,5564	23
A_N18_X	320	0,0795	0,1006	0,0003	0,0333	0,0633	0,0892	0,7660	15
A_N18_Y	320	0,0648	0,0599	0,0003	0,0191	0,0486	0,0911	0,3495	11
A_N36_X4_Y3_Z3	320	0,0400	0,0483	0,0002	0,0113	0,0262	0,0504	0,3426	20
A_N36_X	320	0,2884	0,3033	0,0012	0,0367	0,1353	0,5238	1,0859	0



Figur D:10 Boxplot med positiv relativ differens för gashastighet, scenario B, 30 sekunders intervall.

Tabell D:10 Beskrivande statistik för dataunderlaget till gashastighet, scenario B, 30 sekunders intervall

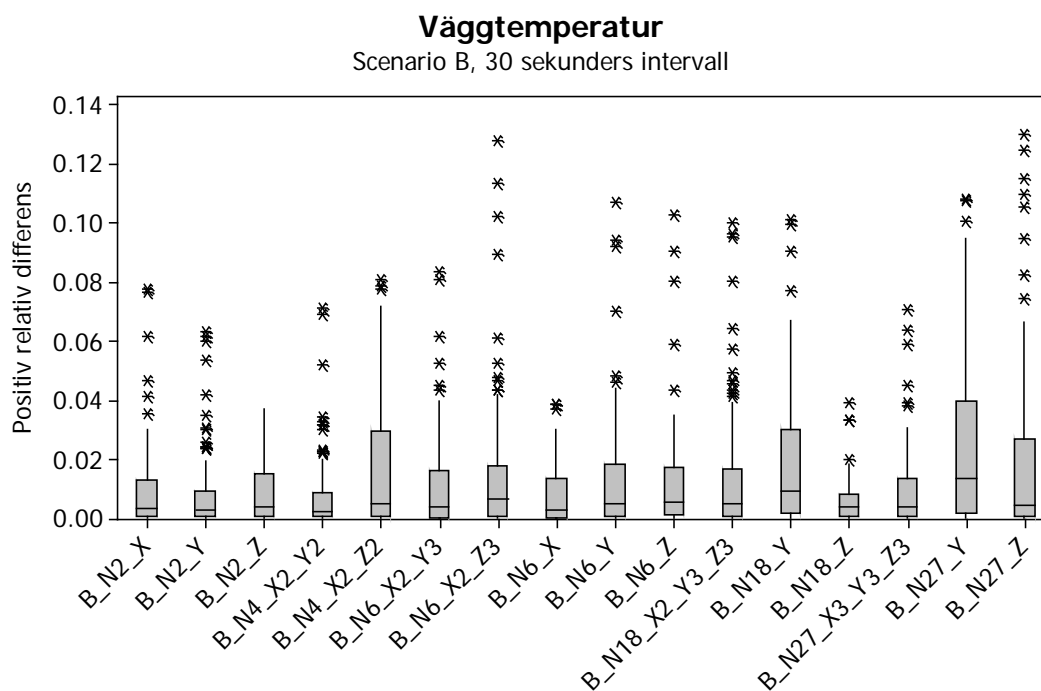
Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
B_N2_X	120	0,1444	0,1564	0,0041	0,0464	0,1098	0,1897	1,1325	4
B_N2_Y	120	0,1008	0,0882	0,0009	0,0354	0,0695	0,1411	0,3739	5
B_N2_Z	120	0,1304	0,1214	0,0013	0,0502	0,0973	0,1557	0,6823	13
B_N4_X2_Y2	120	0,1403	0,2306	0,0007	0,0343	0,0821	0,1581	1,9778	7
B_N4_X2_Z2	120	0,1274	0,1245	0,0041	0,0332	0,0846	0,1865	0,6987	3
B_N6_X2_Y3	120	0,1529	0,1499	0,0004	0,0548	0,1067	0,2151	0,8932	4
B_N6_X2_Z3	120	0,1257	0,1367	0,0007	0,0412	0,0893	0,1701	1,0106	5
B_N6_X	120	0,1408	0,1418	0,0003	0,0492	0,0967	0,1945	0,6813	9
B_N6_Y	120	0,1322	0,1794	0,0008	0,0410	0,1070	0,1755	1,7948	3
B_N6_Z	120	0,1257	0,1313	0,0045	0,0315	0,1027	0,1903	1,0801	1
B_N18_X2_Y3_Z3	120	0,1351	0,1413	0,0008	0,0414	0,0974	0,2025	0,9098	3
B_N18_Y	120	0,1265	0,1155	0,0008	0,0424	0,0889	0,1667	0,5638	7
B_N18_Z	120	0,1292	0,1199	0,0004	0,0516	0,1004	0,1784	0,9119	3
B_N27_X3_Y3_Z3	120	0,1493	0,1476	0,0034	0,0579	0,1073	0,2125	1,1697	2
B_N27_Y	120	0,1205	0,0884	0,0040	0,0540	0,1005	0,1641	0,5202	3
B_N27_Z	120	0,1310	0,1213	0,0001	0,0296	0,1022	0,2030	0,6189	4



Figur D:11 Boxplot med positiv relativ differens för väggtemperatur, scenario A, 30 sekunders intervall.

Tabell D:11 Beskrivande statistik för dataunderlaget till väggtemperatur, scenario A, 30 sekunders intervall

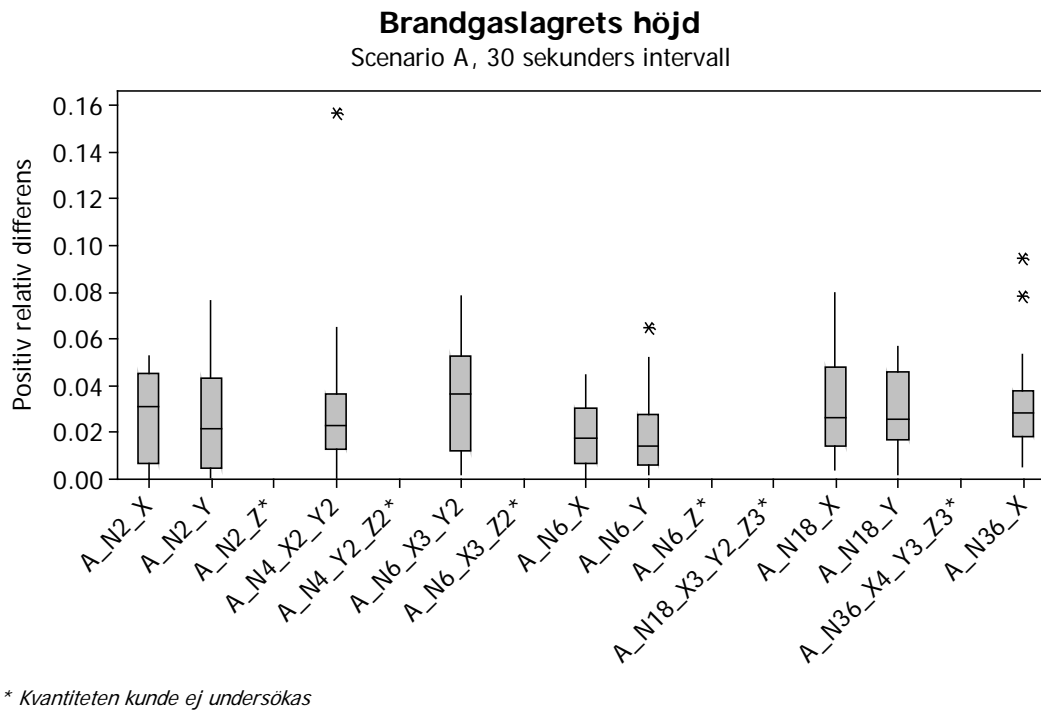
Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
A_N2_X	160	0,0008	0,0019	<0,0000	<0,0000	0,0001	0,0006	0,0096	20
A_N2_Y	160	0,0027	0,0041	<0,0000	<0,0000	0,0005	0,0036	0,0161	20
A_N2_Z	160	0,0011	0,0018	<0,0000	<0,0000	0,0003	0,0012	0,0076	26
A_N4_X2_Y2	160	0,0023	0,0035	<0,0000	<0,0000	0,0005	0,0034	0,0143	16
A_N4_Y2_Z2	160	0,0026	0,0035	<0,0000	0,0001	0,0006	0,0048	0,0125	2
A_N6_X3_Y2	160	0,0029	0,0038	<0,0000	0,0001	0,0009	0,0054	0,0128	0
A_N6_X3_Z2	160	0,0021	0,0034	<0,0000	<0,0000	0,0003	0,0027	0,0132	22
A_N6_X	160	0,0010	0,0015	<0,0000	<0,0000	0,0002	0,0017	0,0071	8
A_N6_Y	160	0,0026	0,0042	<0,0000	<0,0000	0,0004	0,0037	0,0164	19
A_N6_Z	160	0,0007	0,0010	<0,0000	<0,0000	0,0002	0,0010	0,0039	15
A_N18_X3_Y2_Z3	160	0,0013	0,0022	<0,0000	<0,0000	0,0003	0,0017	0,0089	17
A_N18_X	160	0,0046	0,0077	<0,0000	0,0001	0,0008	0,0043	0,0314	28
A_N18_Y	160	0,0048	0,0074	<0,0000	0,0001	0,0013	0,0050	0,0299	26
A_N36_X4_Y3_Z3	160	0,0045	0,0065	<0,0000	0,0001	0,0011	0,0073	0,0243	8
A_N36_X	160	0,0076	0,0128	<0,0000	0,0001	0,0014	0,0074	0,0567	28



Figur D:12 Boxplot med positiv relativ differens för väggtemperatur, scenario B, 30 sekunders intervall.

Tabell D:12 Beskrivande statistik för dataunderlaget till väggtemperatur, scenario B, 30 sekunders intervall

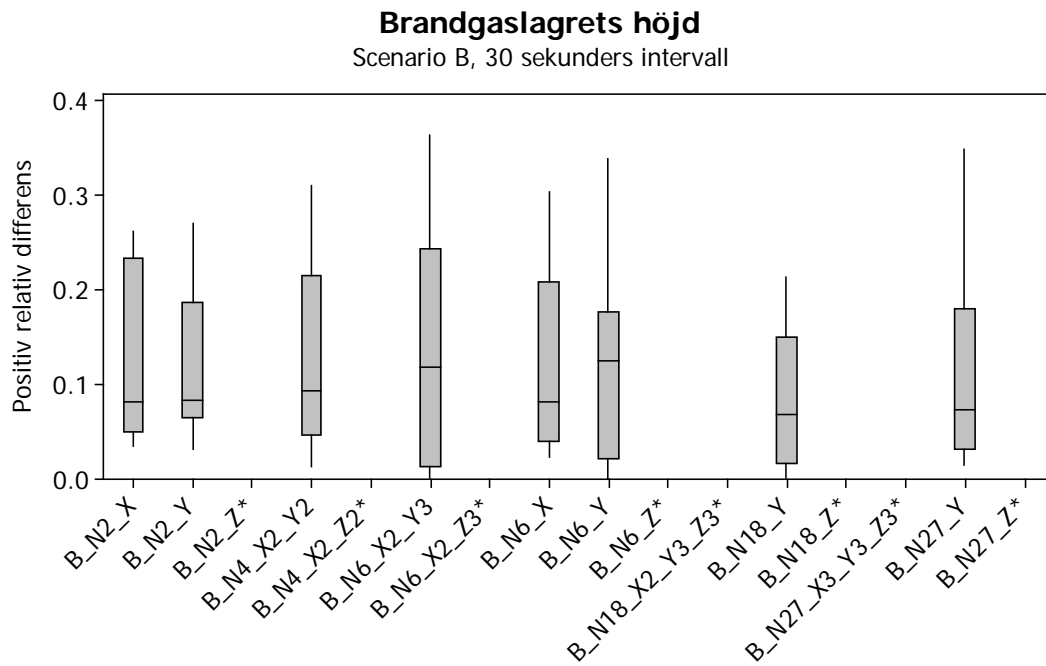
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
B_N2_X	100	0,0095	0,0149	<0,0000	0,0006	0,0031	0,0130	0,0777	6
B_N2_Y	100	0,0085	0,0136	<0,0000	0,0004	0,0029	0,0093	0,0632	13
B_N2_Z	100	0,0090	0,0107	<0,0000	0,0003	0,0037	0,0150	0,0366	0
B_N4_X2_Y2	100	0,0077	0,0131	<0,0000	0,0003	0,0020	0,0085	0,0710	12
B_N4_X2_Z2	100	0,0160	0,0215	<0,0000	0,0005	0,0046	0,0296	0,0806	3
B_N6_X2_Y3	100	0,0114	0,0167	<0,0000	0,0002	0,0036	0,0160	0,0835	6
B_N6_X2_Z3	100	0,0151	0,0240	<0,0000	0,0007	0,0064	0,0174	0,1275	10
B_N6_X	100	0,0073	0,0096	<0,0000	0,0002	0,0028	0,0132	0,0384	3
B_N6_Y	100	0,0137	0,0204	<0,0000	0,0004	0,0046	0,0181	0,1066	6
B_N6_Z	100	0,0125	0,0185	<0,0000	0,0009	0,0051	0,0172	0,1025	5
B_N18_X2_Y3_Z3	100	0,0139	0,0217	<0,0000	0,0004	0,0047	0,0165	0,0998	12
B_N18_Y	100	0,0192	0,0241	<0,0000	0,0015	0,0093	0,0299	0,1010	4
B_N18_Z	100	0,0058	0,0071	<0,0000	0,0007	0,0036	0,0082	0,0388	4
B_N27_X3_Y3_Z3	100	0,0091	0,0137	<0,0000	0,0005	0,0039	0,0133	0,0705	6
B_N27_Y	100	0,0244	0,0289	<0,0000	0,0017	0,0134	0,0396	0,1078	3
B_N27_Z	100	0,0195	0,0305	<0,0000	0,0004	0,0045	0,0268	0,1298	8



Figur D:13 Boxplot med positiv relativ differens för brandgaslagrets höjd, scenario A, 30 sekunders intervall.

Tabell D:13 Beskrivande statistik för dataunderlaget till brandgaslagrets höjd, scenario A, 30 sekunders intervall

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
A_N2_X	20	0,0278	0,0188	0,0002	0,0065	0,0311	0,0456	0,0524	0
A_N2_Y	20	0,0271	0,0237	0,0004	0,0045	0,0215	0,0431	0,0766	0
A_N2_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N4_X2_Y2	20	0,0321	0,0334	0,0004	0,0129	0,0227	0,0362	0,1569	1
A_N4_Y2_Z2	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N6_X3_Y2	20	0,0347	0,0239	0,0022	0,0119	0,0368	0,0527	0,0782	0
A_N6_X3_Z2	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N6_X	20	0,0192	0,0134	0,0002	0,0071	0,0179	0,0303	0,0443	0
A_N6_Y	20	0,0207	0,0183	0,0021	0,0060	0,0141	0,0276	0,0649	1
A_N6_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N18_X3_Y2_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N18_X	20	0,0307	0,0217	0,0038	0,0142	0,0263	0,0477	0,0800	0
A_N18_Y	20	0,0293	0,0180	0,0021	0,0172	0,0257	0,0461	0,0570	0
A_N36_X4_Y3_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N36_X	20	0,0325	0,0224	0,0054	0,0184	0,0282	0,0378	0,0947	2



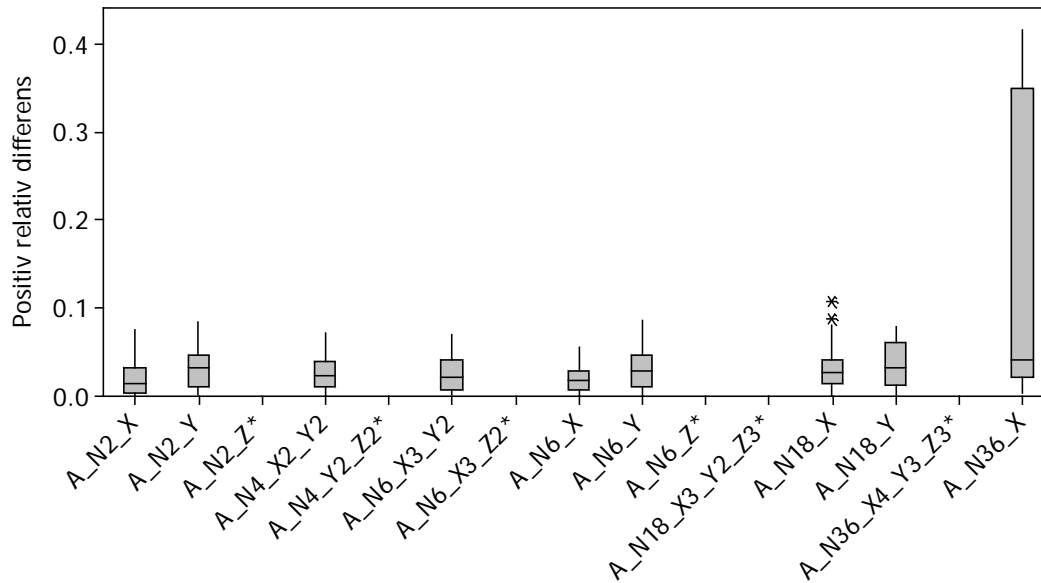
Figur D:14 Boxplot med positiv relativ differens för brandgaslagrets höjd, scenario B, 30 sekunders intervall.

Tabell D:14 Beskrivande statistik för dataunderlaget till brandgaslagrets höjd, scenario B, 30 sekunders intervall

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
B_N2_X	10	0,1240	0,0931	0,0347	0,0502	0,0812	0,2334	0,2628	0
B_N2_Y	10	0,1225	0,0809	0,0323	0,0648	0,0827	0,1877	0,2704	0
B_N2_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N4_X2_Y2	10	0,1239	0,0977	0,0141	0,0474	0,0938	0,2161	0,3112	0
B_N4_X2_Z2	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N6_X2_Y3	10	0,1382	0,1375	0,0016	0,0129	0,1189	0,2438	0,3636	0
B_N6_X2_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N6_X	10	0,1239	0,1007	0,0239	0,0396	0,0821	0,2081	0,3030	0
B_N6_Y	10	0,1171	0,1060	0,0005	0,0209	0,1248	0,1767	0,3392	0
B_N6_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N18_X2_Y3_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N18_Y	10	0,0840	0,0747	0,0024	0,0172	0,0688	0,1504	0,2132	0
B_N18_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N27_X3_Y3_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N27_Y	10	0,1130	0,1097	0,0153	0,0322	0,0733	0,1807	0,3482	0
B_N27_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0

Brandgaslagrets temperatur

Scenario A, 30 sekunders intervall

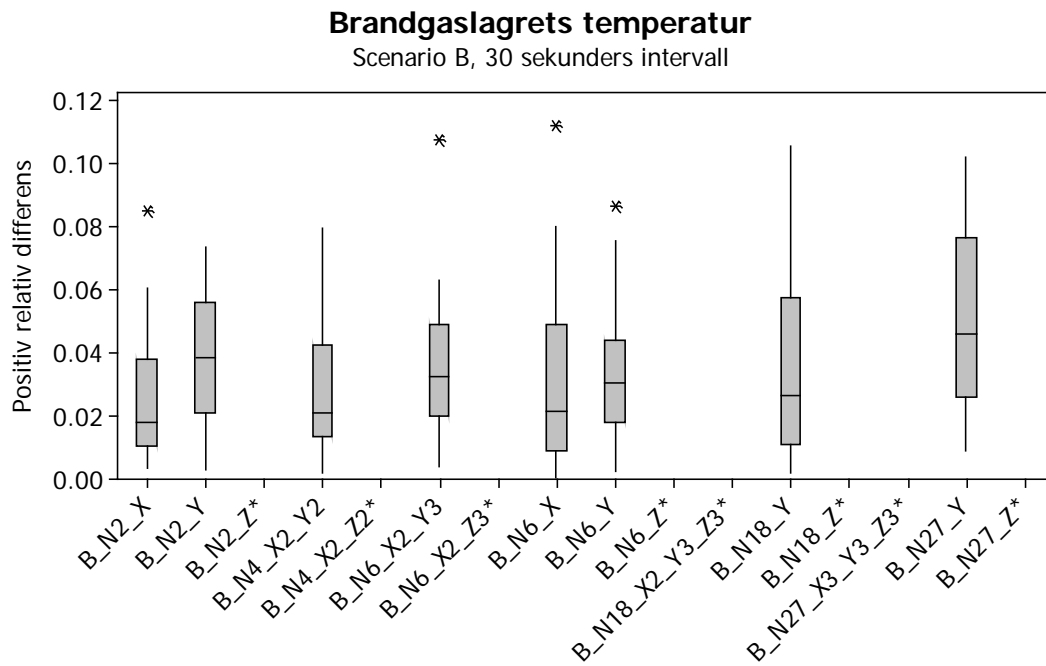


* Kvantiteten kunde ej undersökas

Figur D:15 Boxplot med positiv relativ differens för brandgaslagrets temperatur, scenario A, 30 sekunders intervall.

Tabell D:15 Beskrivande statistik för dataunderlaget till brandgaslagrets temperatur, scenario A, 30 sekunders intervall

Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
A_N2_X	40	0,0191	0,0191	0,0001	0,0029	0,0141	0,0327	0,0747	0
A_N2_Y	40	0,0319	0,0213	0,0020	0,0107	0,0318	0,0466	0,0841	0
A_N2_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N4_X2_Y2	40	0,0271	0,0178	0,0002	0,0115	0,0240	0,0399	0,0720	0
A_N4_Y2_Z2	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N6_X3_Y2	40	0,0250	0,0188	0,0011	0,0067	0,0221	0,0416	0,0704	0
A_N6_X3_Z2	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N6_X	40	0,0197	0,0151	<0,0000	0,0073	0,0182	0,0296	0,0551	0
A_N6_Y	40	0,0291	0,0208	0,0003	0,0113	0,0292	0,0467	0,0865	0
A_N6_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N18_X3_Y2_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N18_X	40	0,0328	0,0253	0,0001	0,0141	0,0276	0,0409	0,1071	2
A_N18_Y	40	0,0354	0,0250	0,0006	0,0122	0,0327	0,0618	0,0781	0
A_N36_X4_Y3_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N36_X	40	0,1792	0,1674	0,0036	0,0222	0,0414	0,3492	0,4162	0

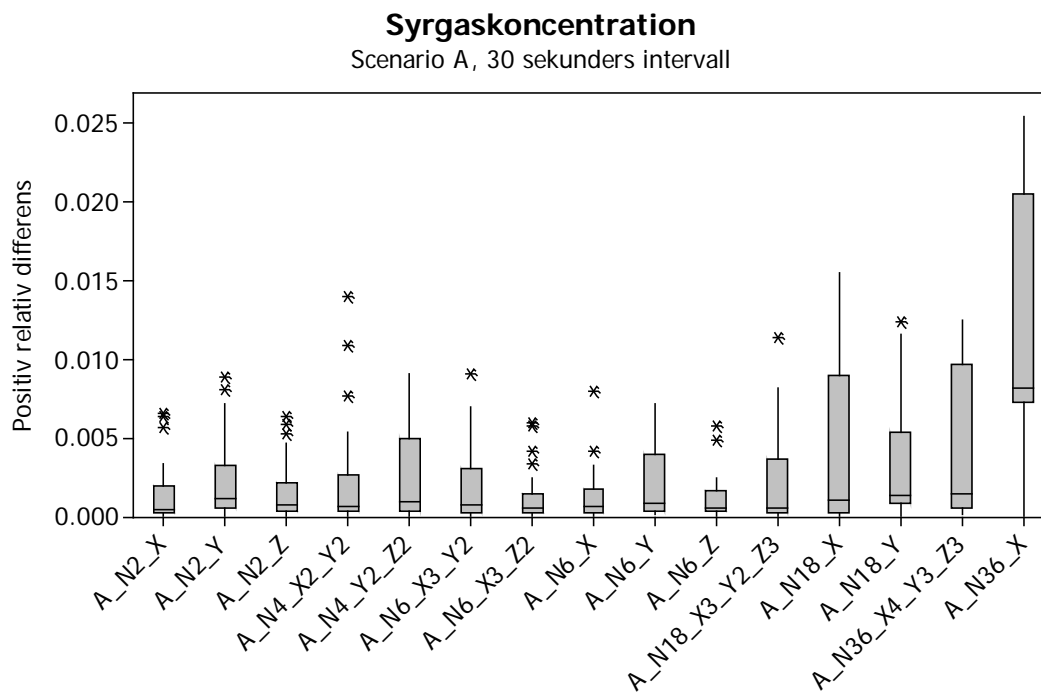


* Kvantiteten kunde ej undersökas

Figur D:16 Boxplot med positiv relativ differens för brandgaslagrets temperatur, scenario B, 30 sekunders intervall.

Tabell D:16 Beskrivande statistik för dataunderlaget till brandgaslagrets temperatur, scenario B, 30 sekunders intervall

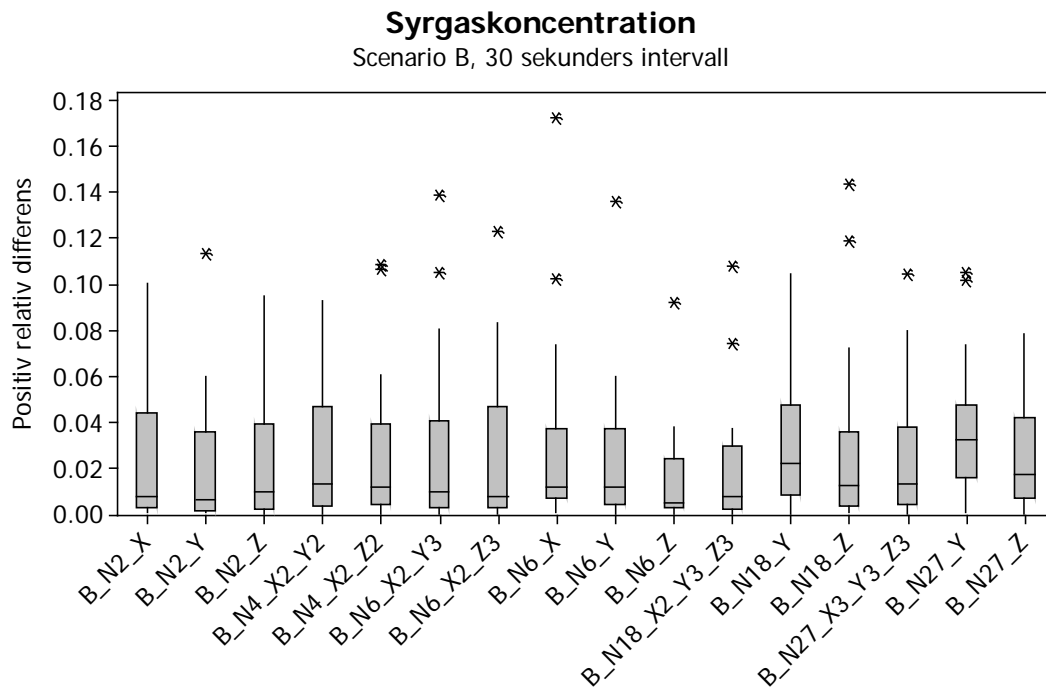
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
B_N2_X	20	0,0269	0,0218	0,0035	0,0104	0,0181	0,0380	0,0853	1
B_N2_Y	20	0,0381	0,0218	0,0029	0,0212	0,0387	0,0561	0,0737	0
B_N2_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N4_X2_Y2	20	0,0306	0,0255	0,0020	0,0137	0,0212	0,0425	0,0798	0
B_N4_X2_Z2	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N6_X2_Y3	20	0,0365	0,0243	0,0042	0,0202	0,0328	0,0492	0,1077	1
B_N6_X2_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N6_X	20	0,0297	0,0296	0,0004	0,0093	0,0214	0,0489	0,1121	1
B_N6_Y	20	0,0329	0,0213	0,0026	0,0181	0,0306	0,0442	0,0866	1
B_N6_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N18_X2_Y3_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N18_Y	20	0,0341	0,0276	0,0022	0,0108	0,0264	0,0574	0,1056	0
B_N18_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N27_X3_Y3_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N27_Y	20	0,0514	0,0296	0,0092	0,0261	0,0462	0,0767	0,1023	0
B_N27_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0



Figur D:17 Boxplot med positiv relativ differens för syrgaskoncentration, scenario A, 30 sekunders intervall.

Tabell D:17 Beskrivande statistik för dataunderlaget till syrgaskoncentration, scenario A, 30 sekunders intervall

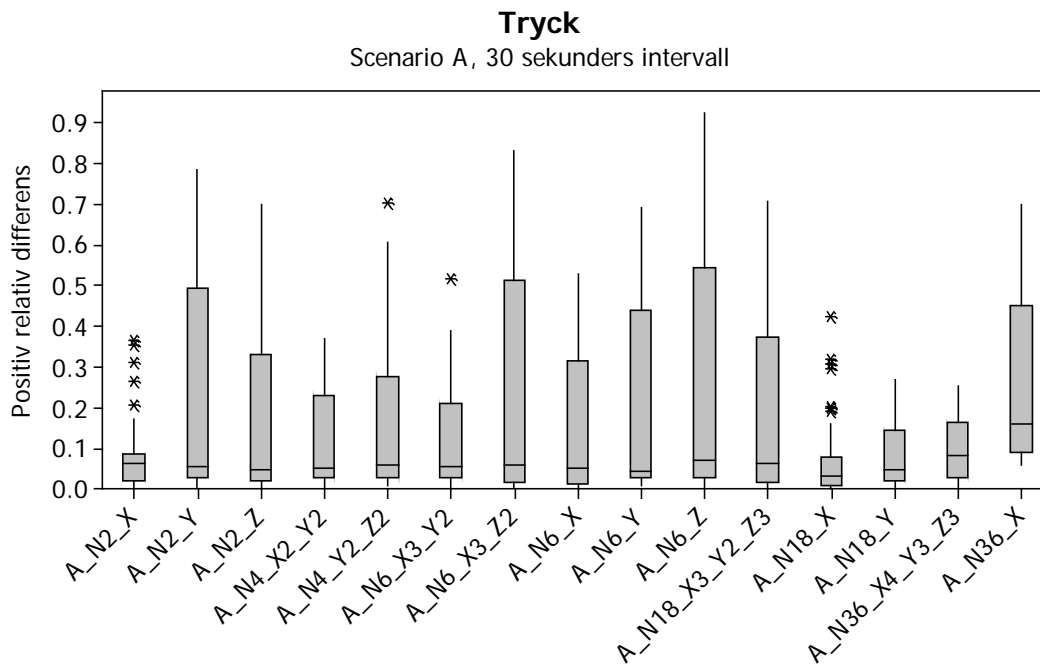
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
A_N2_X	40	0,0012	0,0017	<0,0000	0,0002	0,0004	0,0019	0,0065	3
A_N2_Y	40	0,0022	0,0023	<0,0000	0,0005	0,0011	0,0032	0,0088	2
A_N2_Z	40	0,0014	0,0017	<0,0000	0,0003	0,0007	0,0022	0,0063	3
A_N4_X2_Y2	40	0,0020	0,0029	<0,0000	0,0003	0,0006	0,0027	0,0140	3
A_N4_Y2_Z2	40	0,0024	0,0026	<0,0000	0,0003	0,0009	0,0049	0,0090	0
A_N6_X3_Y2	40	0,0018	0,0022	<0,0000	0,0002	0,0007	0,0030	0,0090	1
A_N6_X3_Z2	40	0,0011	0,0014	<0,0000	0,0002	0,0005	0,0014	0,0059	4
A_N6_X	40	0,0012	0,0015	<0,0000	0,0002	0,0007	0,0017	0,0079	2
A_N6_Y	40	0,0020	0,0021	0,0001	0,0003	0,0009	0,0039	0,0071	0
A_N6_Z	40	0,0010	0,0012	<0,0000	0,0003	0,0006	0,0016	0,0057	2
A_N18_X3_Y2_Z3	40	0,0021	0,0028	<0,0000	0,0002	0,0005	0,0036	0,0114	1
A_N18_X	40	0,0043	0,0046	<0,0000	0,0002	0,0011	0,0089	0,0155	0
A_N18_Y	40	0,0034	0,0034	<0,0000	0,0008	0,0013	0,0053	0,0124	1
A_N36_X4_Y3_Z3	40	0,0048	0,0048	0,0001	0,0005	0,0015	0,0097	0,0125	0
A_N36_X	40	0,0131	0,0072	<0,0000	0,0072	0,0081	0,0205	0,0254	0



Figur D:18 Boxplot med positiv relativ differens för syrgaskoncentration, scenario B, 30 sekunders intervall.

Tabell D:18 Beskrivande statistik för dataunderlaget till syrgaskoncentration, scenario B, 30 sekunders intervall

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
B_N2_X	20	0,0260	0,0310	0,0004	0,0028	0,0075	0,0440	0,1006	0
B_N2_Y	20	0,0201	0,0284	0,0006	0,0013	0,0062	0,0360	0,1137	1
B_N2_Z	20	0,0251	0,0299	0,0001	0,0021	0,0098	0,0394	0,0951	0
B_N4_X2_Y2	20	0,0262	0,0298	0,0001	0,0031	0,0134	0,0465	0,0927	0
B_N4_X2_Z2	20	0,0254	0,0331	0,0002	0,0044	0,0118	0,0394	0,1088	2
B_N6_X2_Y3	20	0,0276	0,0388	<0,0000	0,0026	0,0097	0,0405	0,1391	2
B_N6_X2_Z3	20	0,0281	0,0349	0,0002	0,0027	0,0074	0,0469	0,1233	1
B_N6_X	20	0,0302	0,0423	0,0008	0,0069	0,0116	0,0370	0,1723	2
B_N6_Y	20	0,0259	0,0325	0,0002	0,0041	0,0120	0,0373	0,1363	1
B_N6_Z	20	0,0153	0,0215	0,0001	0,0029	0,0052	0,0243	0,0919	1
B_N18_X2_Y3_Z3	20	0,0188	0,0279	0,0002	0,0021	0,0073	0,0298	0,1078	2
B_N18_Y	20	0,0283	0,0256	0,0003	0,0080	0,0218	0,0474	0,1046	0
B_N18_Z	20	0,0293	0,0408	0,0006	0,0031	0,0126	0,0356	0,1437	2
B_N27_X3_Y3_Z3	20	0,0260	0,0296	0,0003	0,0044	0,0128	0,0378	0,1046	1
B_N27_Y	20	0,0374	0,0294	0,0009	0,0159	0,0325	0,0478	0,1054	2
B_N27_Z	20	0,0262	0,0247	0,0001	0,0068	0,0173	0,0419	0,0783	0

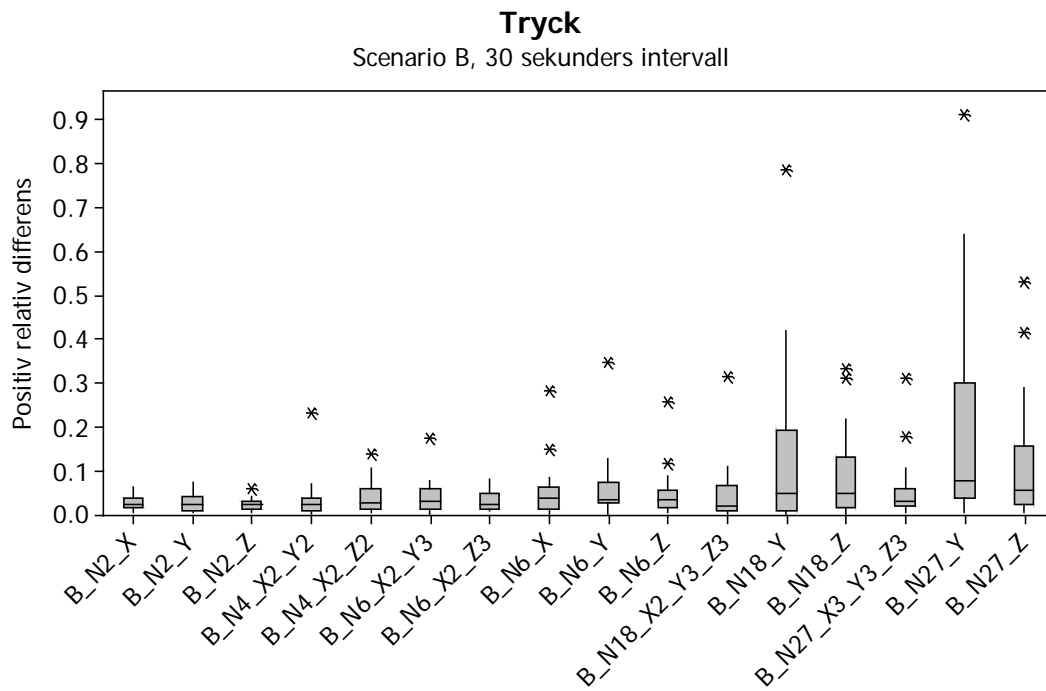


Det initiala intervallet i respektive scenario har utelämnats i jämförelsen

Figur D:19 Boxplot med positiv relativ differens för tryck, scenario A, 30 sekunders intervall.

Tabell D:19 Beskrivande statistik för dataunderlaget till tryck, scenario A, 30 sekunders intervall

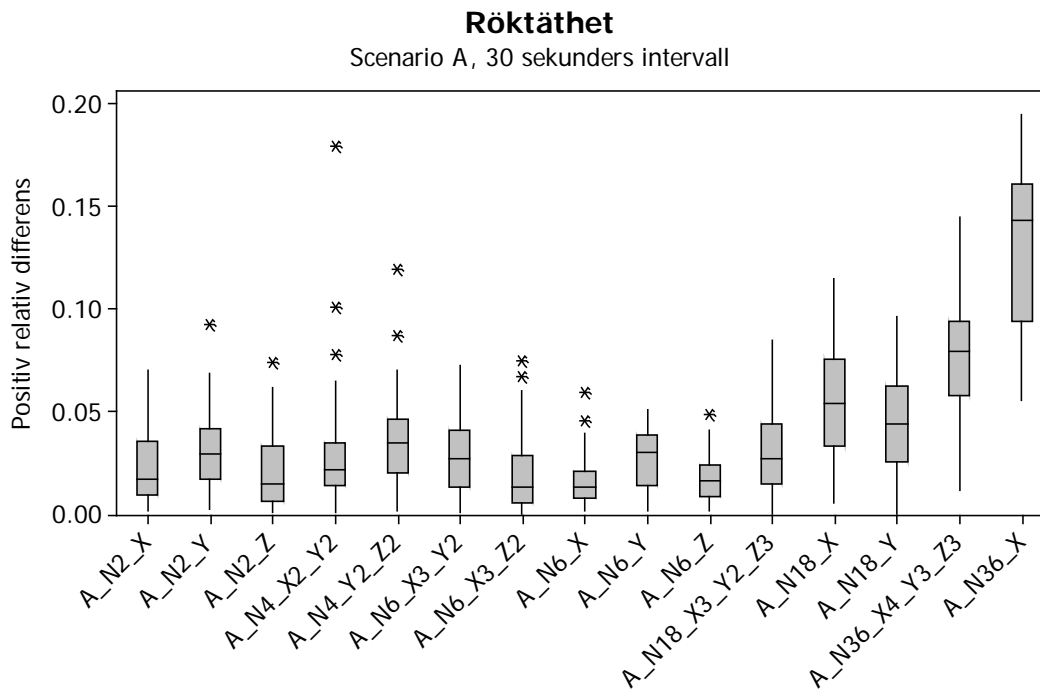
Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
A_N2_X	39	0,0821	0,0963	0,0002	0,0180	0,0621	0,0841	0,3639	5
A_N2_Y	39	0,2302	0,2570	0,0046	0,0271	0,0531	0,4941	0,7839	0
A_N2_Z	39	0,1658	0,2093	0,0003	0,0186	0,0475	0,3305	0,7009	0
A_N4_X2_Y2	39	0,1238	0,1244	0,0027	0,0262	0,0512	0,2295	0,3709	0
A_N4_Y2_Z2	39	0,1747	0,2074	0,0073	0,0268	0,0598	0,2770	0,7035	1
A_N6_X3_Y2	39	0,1214	0,1282	0,0011	0,0267	0,0529	0,2085	0,5178	1
A_N6_X3_Z2	39	0,2205	0,2608	0,0031	0,0155	0,0566	0,5123	0,8303	0
A_N6_X	39	0,1489	0,1750	0,0003	0,0132	0,0501	0,3131	0,5291	0
A_N6_Y	39	0,2045	0,2354	0,0071	0,0285	0,0410	0,4406	0,6905	0
A_N6_Z	39	0,2518	0,2758	0,0039	0,0276	0,0705	0,5447	0,9239	0
A_N18_X3_Y2_Z3	39	0,1825	0,2139	0,0019	0,0163	0,0623	0,3716	0,7061	0
A_N18_X	39	0,0765	0,1058	0,0006	0,0085	0,0314	0,0768	0,4244	7
A_N18_Y	39	0,0817	0,0746	0,0021	0,0175	0,0471	0,1452	0,2681	0
A_N36_X4_Y3_Z3	39	0,0925	0,0744	0,0051	0,0276	0,0803	0,1645	0,2512	0
A_N36_X	39	0,2844	0,2115	0,0602	0,0895	0,1595	0,4525	0,6993	0



Figur D:20 Boxplot med positiv relativ differens för tryck, scenario B, 30 sekunders intervall.

Tabell D:20 Beskrivande statistik för dataunderlaget till tryck, scenario B, 30 sekunders intervall

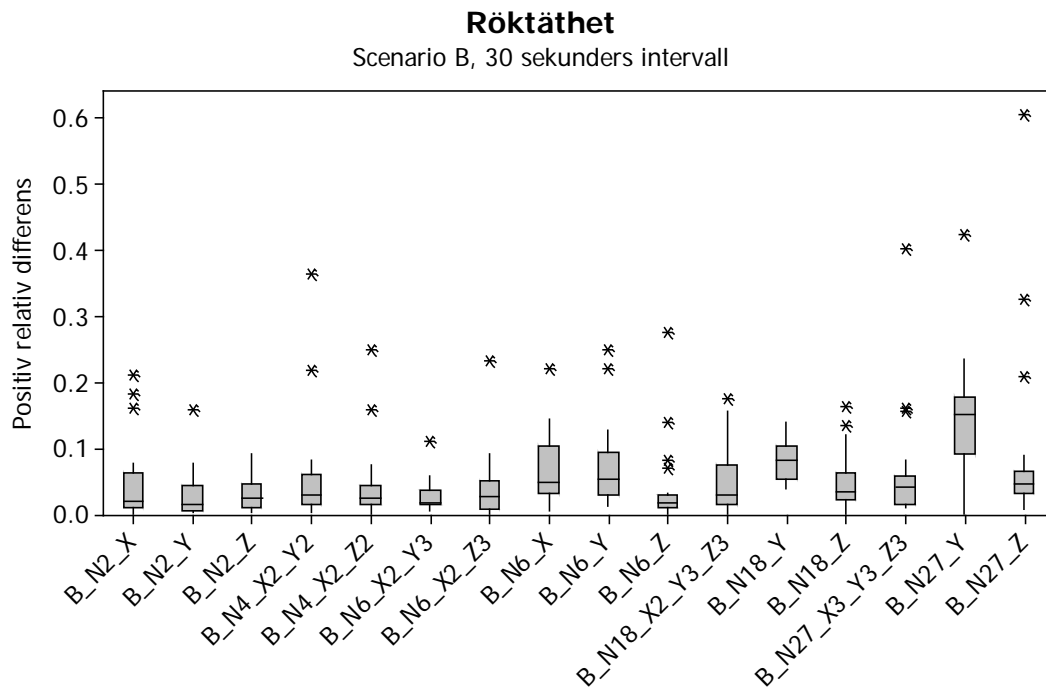
Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
B_N2_X	20	0,0230	0,0147	0,0026	0,0127	0,0221	0,0352	0,0597	0
B_N2_Y	20	0,0256	0,0203	0,0019	0,0087	0,0199	0,0411	0,0735	0
B_N2_Z	20	0,0227	0,0148	0,0020	0,0110	0,0224	0,0301	0,0588	1
B_N4_X2_Y2	20	0,0343	0,0498	0,0002	0,0088	0,0214	0,0345	0,2306	1
B_N4_X2_Z2	20	0,0368	0,0363	0,0023	0,0101	0,0263	0,0595	0,1366	1
B_N6_X2_Y3	20	0,0404	0,0398	0,0004	0,0123	0,0300	0,0583	0,1739	1
B_N6_X2_Z3	20	0,0299	0,0231	0,0063	0,0106	0,0214	0,0460	0,0802	0
B_N6_X	20	0,0524	0,0648	0,0005	0,0106	0,0377	0,0619	0,2826	2
B_N6_Y	20	0,0596	0,0753	0,0015	0,0256	0,0338	0,0737	0,3454	1
B_N6_Z	20	0,0477	0,0569	0,0052	0,0161	0,0331	0,0535	0,2546	2
B_N18_X2_Y3_Z3	20	0,0448	0,0702	0,0013	0,0076	0,0190	0,0642	0,3136	1
B_N18_Y	20	0,1307	0,2017	0,0004	0,0063	0,0486	0,1925	0,7858	1
B_N18_Z	20	0,0900	0,0996	0,0010	0,0141	0,0466	0,1296	0,3330	2
B_N27_X3_Y3_Z3	20	0,0547	0,0724	0,0031	0,0167	0,0300	0,0572	0,3109	2
B_N27_Y	20	0,1881	0,2469	0,0042	0,0356	0,0750	0,2991	0,9120	1
B_N27_Z	20	0,1174	0,1473	0,0030	0,0213	0,0533	0,1567	0,5302	2



Figur D:21 Boxplot med positiv relativ differens för röktätthet, scenario A, 30 sekunders intervall.

Tabell D:21 Beskrivande statistik för dataunderlaget till röktätthet, scenario A, 30 sekunders intervall

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# out-liers
A_N2_X	40	0,0225	0,0178	0,0012	0,0094	0,0172	0,0353	0,0703	0
A_N2_Y	40	0,0306	0,0192	0,0022	0,0166	0,0292	0,0412	0,0922	1
A_N2_Z	40	0,0209	0,0183	0,0004	0,0062	0,0150	0,0329	0,0740	1
A_N4_X2_Y2	40	0,0311	0,0313	0,0008	0,0141	0,0218	0,0347	0,1794	3
A_N4_Y2_Z2	40	0,0361	0,0239	0,0017	0,0199	0,0350	0,0458	0,1195	2
A_N6_X3_Y2	40	0,0285	0,0187	0,0010	0,0130	0,0269	0,0406	0,0725	0
A_N6_X3_Z2	40	0,0189	0,0190	0,0003	0,0051	0,0127	0,0288	0,0747	2
A_N6_X	40	0,0161	0,0127	0,0013	0,0077	0,0131	0,0211	0,0593	2
A_N6_Y	40	0,0271	0,0147	0,0014	0,0137	0,0302	0,0388	0,0509	0
A_N6_Z	40	0,0176	0,0118	0,0016	0,0085	0,0160	0,0236	0,0486	1
A_N18_X3_Y2_Z3	40	0,0309	0,0217	<0,0000	0,0147	0,0272	0,0436	0,0846	0
A_N18_X	40	0,0539	0,0266	0,0055	0,0332	0,0540	0,0751	0,1146	0
A_N18_Y	40	0,0446	0,0250	0,0002	0,0250	0,0438	0,0626	0,0962	0
A_N36_X4_Y3_Z3	40	0,0778	0,0288	0,0119	0,0581	0,0796	0,0939	0,1445	0
A_N36_X	40	0,1310	0,0363	0,0555	0,0937	0,1435	0,1611	0,1945	0



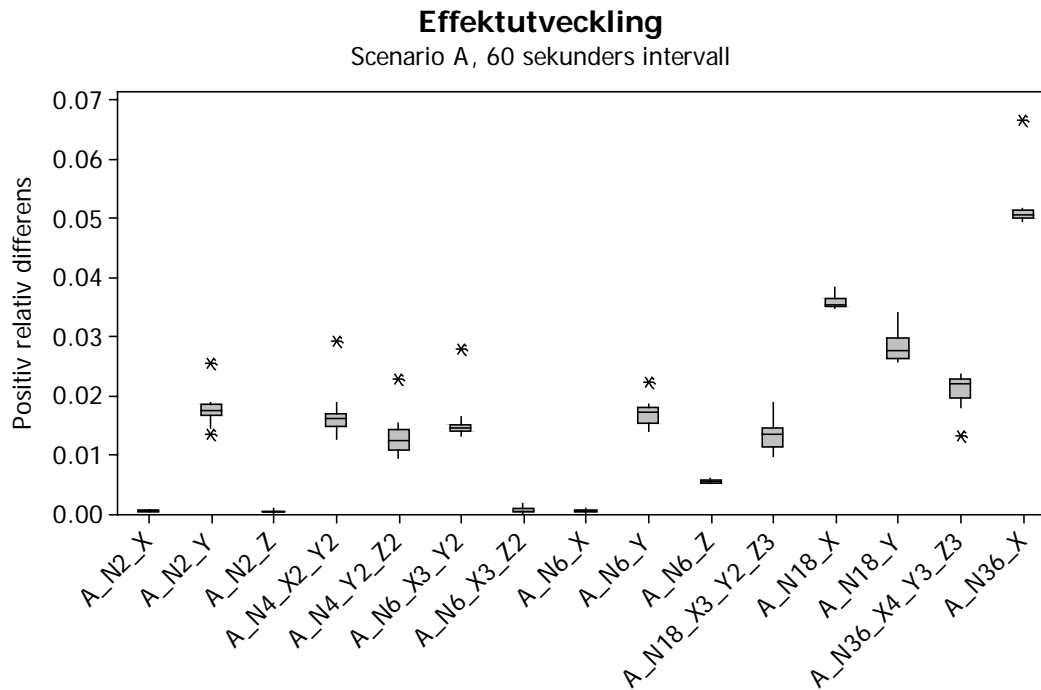
Figur D:22 Boxplot med positiv relativ differens för röktätthet, scenario B, 30 sekunders intervall.

Tabell D:22 Beskrivande statistik för dataunderlaget till röktätthet, scenario B, 30 sekunders intervall

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
B_N2_X	20	0,0487	0,0622	0,0011	0,0099	0,0200	0,0618	0,2097	3
B_N2_Y	20	0,0313	0,0378	0,0014	0,0058	0,0155	0,0424	0,1575	1
B_N2_Z	20	0,0303	0,0257	0,0020	0,0091	0,0247	0,0445	0,0917	0
B_N4_X2_Y2	20	0,0587	0,0861	0,0023	0,0137	0,0285	0,0603	0,3645	2
B_N4_X2_Z2	20	0,0445	0,0594	0,0007	0,0134	0,0236	0,0441	0,2492	2
B_N6_X2_Y3	20	0,0264	0,0243	0,0037	0,0136	0,0175	0,0360	0,1095	1
B_N6_X2_Z3	20	0,0413	0,0514	0,0002	0,0071	0,0275	0,0507	0,2326	1
B_N6_X	20	0,0677	0,0547	0,0039	0,0302	0,0486	0,1032	0,2206	1
B_N6_Y	20	0,0705	0,0650	0,0115	0,0291	0,0524	0,0940	0,2504	2
B_N6_Z	20	0,0395	0,0647	0,0004	0,0090	0,0179	0,0298	0,2754	4
B_N18_X2_Y3_Z3	20	0,0473	0,0506	0,0001	0,0149	0,0280	0,0754	0,1748	1
B_N18_Y	20	0,0816	0,0301	0,0379	0,0539	0,0804	0,1037	0,1390	0
B_N18_Z	20	0,0484	0,0434	0,0008	0,0224	0,0325	0,0621	0,1635	2
B_N27_X3_Y3_Z3	20	0,0641	0,0908	0,0084	0,0139	0,0412	0,0585	0,4025	3
B_N27_Y	20	0,1506	0,0886	0,0005	0,0910	0,1501	0,1771	0,4242	1
B_N27_Z	20	0,0927	0,1417	0,0077	0,0317	0,0446	0,0653	0,6059	3

D.2 60 sekunder

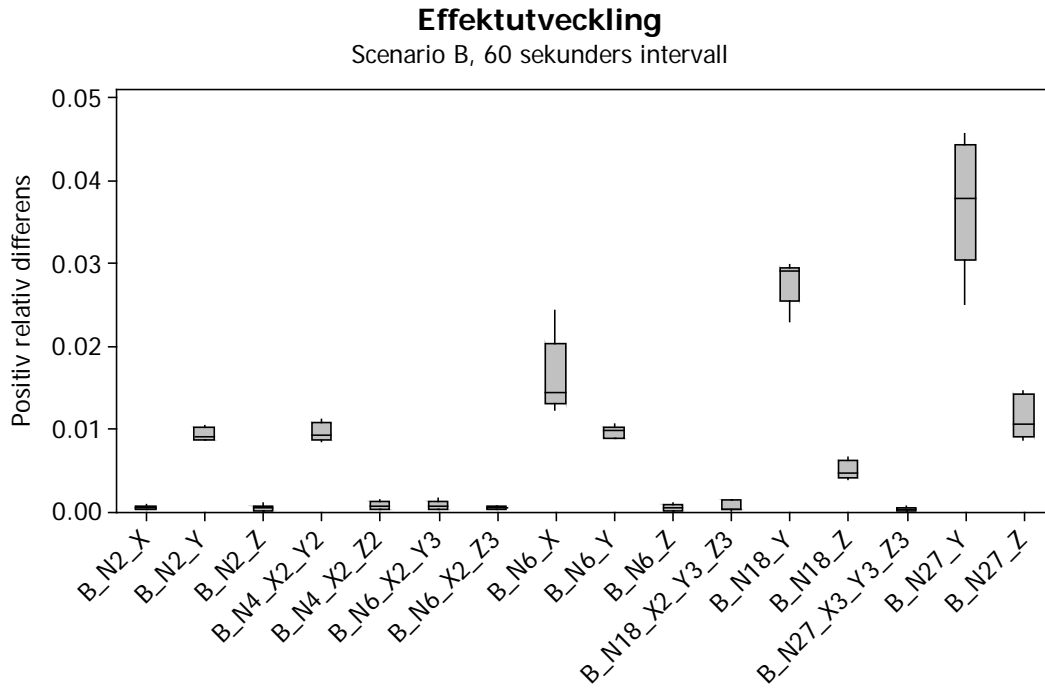
I Figur D:23 till Figur D:44 och i Tabell D:23 till Tabell D:44 återges erhållna resultat som den positiva relativa differensen, $\epsilon_{\Delta t}$, dels grafiskt med boxplots dels med beskrivande statistik då undersökt tidsintervall valdes till 60 sekunder.



Figur D:23 Boxplot med positiv relativ differens för effektutveckling, scenario A, 60 sekunders intervall.

Tabell D:23 Beskrivande statistik för dataunderlaget till effektutveckling, scenario A, 60 sekunders intervall

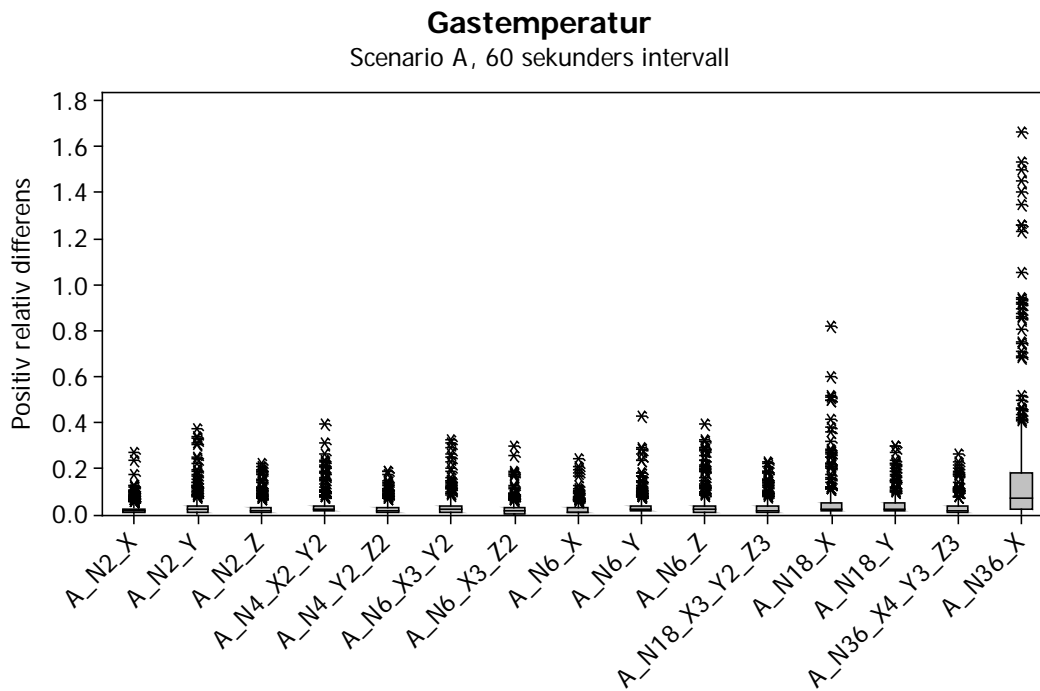
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
A_N2_X	10	0,0004	0,0001	0,0002	0,0003	0,0004	0,0005	0,0006	0
A_N2_Y	10	0,0177	0,0032	0,0133	0,0165	0,0173	0,0183	0,0253	2
A_N2_Z	10	0,0003	0,0002	<0,0000	0,0002	0,0004	0,0004	0,0007	0
A_N4_X2_Y2	10	0,0169	0,0046	0,0126	0,0147	0,0160	0,0169	0,0290	1
A_N4_Y2_Z2	10	0,0131	0,0039	0,0093	0,0107	0,0124	0,0141	0,0227	1
A_N6_X3_Y2	10	0,0157	0,0043	0,0131	0,0139	0,0146	0,0150	0,0278	1
A_N6_X3_Z2	10	0,0005	0,0004	0,0001	0,0003	0,0004	0,0009	0,0015	0
A_N6_X	10	0,0004	0,0002	<0,0000	0,0002	0,0004	0,0005	0,0008	0
A_N6_Y	10	0,0170	0,0024	0,0140	0,0153	0,0171	0,0180	0,0221	1
A_N6_Z	10	0,0054	0,0002	0,0050	0,0052	0,0055	0,0055	0,0058	0
A_N18_X3_Y2_Z3	10	0,0133	0,0025	0,0096	0,0113	0,0135	0,0144	0,0187	0
A_N18_X	10	0,0357	0,0010	0,0348	0,0350	0,0354	0,0363	0,0382	0
A_N18_Y	10	0,0282	0,0025	0,0256	0,0261	0,0276	0,0297	0,0339	0
A_N36_X4_Y3_Z3	10	0,0207	0,0031	0,0132	0,0195	0,0220	0,0228	0,0234	1
A_N36_X	10	0,0521	0,0051	0,0493	0,0500	0,0505	0,0514	0,0664	1



Figur D:24 Boxplot med positiv relativ differens för effektutveckling, scenario B, 60 sekunders intervall.

Tabell D:24 Beskrivande statistik för dataunderlaget till effektutveckling, scenario B, 60 sekunders intervall

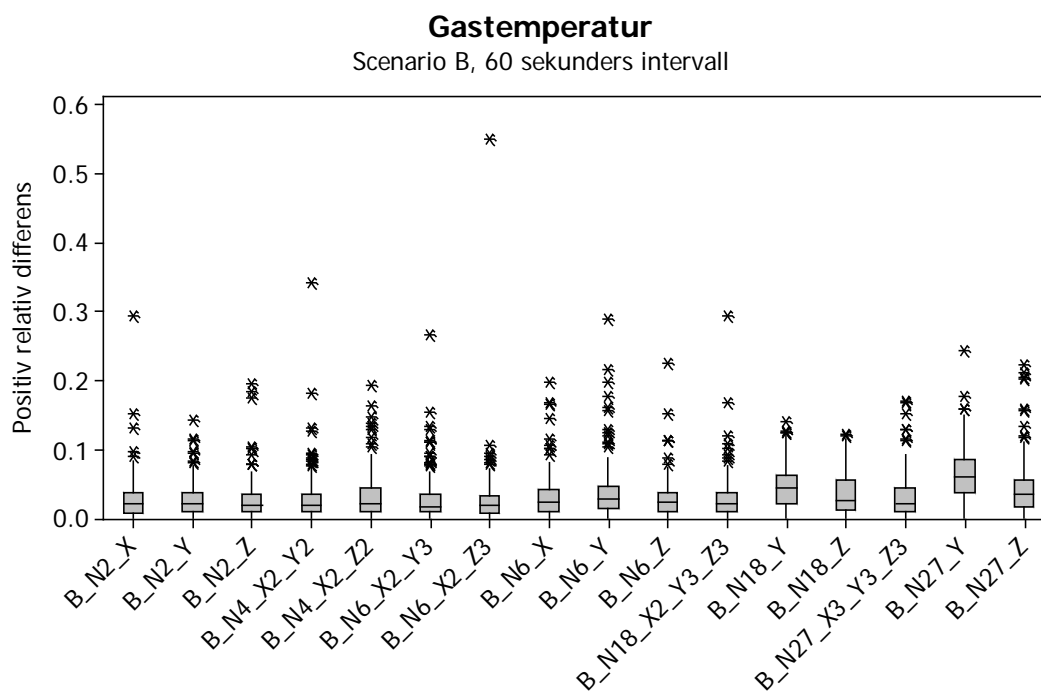
Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
B_N2_X	5	0,0004	0,0002	0,0001	0,0002	0,0004	0,0006	0,0007	0
B_N2_Y	5	0,0093	0,0007	0,0085	0,0087	0,0090	0,0101	0,0103	0
B_N2_Z	5	0,0003	0,0004	<0,0000	<0,0000	0,0003	0,0006	0,0009	0
B_N4_X2_Y2	5	0,0095	0,0011	0,0083	0,0086	0,0092	0,0106	0,0111	0
B_N4_X2_Z2	5	0,0006	0,0005	0,0001	0,0002	0,0006	0,0011	0,0013	0
B_N6_X2_Y3	5	0,0007	0,0005	0,0001	0,0002	0,0006	0,0012	0,0015	0
B_N6_X2_Z3	5	0,0003	0,0002	0,0001	0,0002	0,0003	0,0006	0,0006	0
B_N6_X	5	0,0161	0,0047	0,0122	0,0130	0,0143	0,0202	0,0242	0
B_N6_Y	5	0,0095	0,0008	0,0087	0,0088	0,0098	0,0102	0,0104	0
B_N6_Z	5	0,0004	0,0004	<0,0000	0,0001	0,0004	0,0008	0,0010	0
B_N18_X2_Y3_Z3	5	0,0006	0,0006	<0,0000	0,0001	0,0002	0,0013	0,0014	0
B_N18_Y	5	0,0278	0,0028	0,0228	0,0255	0,0290	0,0295	0,0297	0
B_N18_Z	5	0,0050	0,0011	0,0038	0,0041	0,0046	0,0062	0,0065	0
B_N27_X3_Y3_Z3	5	0,0002	0,0002	<0,0000	<0,0000	0,0001	0,0005	0,0005	0
B_N27_Y	5	0,0374	0,0080	0,0249	0,0303	0,0378	0,0442	0,0456	0
B_N27_Z	5	0,0113	0,0027	0,0085	0,0089	0,0105	0,0142	0,0145	0



Figur D:25 Boxplot med positiv relativ differens för gastemperatur, scenario A, 60 sekunders intervall.

Tabell D:25 Beskrivande statistik för dataunderlaget till gastemperatur, scenario A, 60 sekunders intervall

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
A_N2_X	360	0,0221	0,0309	0,0002	0,0048	0,0106	0,0240	0,2697	47
A_N2_Y	360	0,0344	0,0502	0,0001	0,0098	0,0202	0,0359	0,3728	32
A_N2_Z	360	0,0257	0,0338	<0,0000	0,0064	0,0156	0,0298	0,2187	29
A_N4_X2_Y2	360	0,0336	0,0467	<0,0000	0,0104	0,0185	0,0364	0,3889	33
A_N4_Y2_Z2	360	0,0251	0,0285	<0,0000	0,0067	0,0170	0,0309	0,1845	25
A_N6_X3_Y2	360	0,0313	0,0439	0,0001	0,0071	0,0180	0,0376	0,3222	23
A_N6_X3_Z2	360	0,0218	0,0330	<0,0000	0,0034	0,0114	0,0258	0,2921	29
A_N6_X	360	0,0201	0,0294	<0,0000	0,0038	0,0096	0,0242	0,2383	29
A_N6_Y	360	0,0332	0,0460	<0,0000	0,0107	0,0182	0,0364	0,4243	38
A_N6_Z	360	0,0351	0,0553	0,0002	0,0089	0,0183	0,0361	0,3880	32
A_N18_X3_Y2_Z3	360	0,0261	0,0368	0,0002	0,0042	0,0137	0,0321	0,2245	28
A_N18_X	360	0,0509	0,0912	0,0001	0,0112	0,0239	0,0489	0,8141	35
A_N18_Y	360	0,0368	0,0448	<0,0000	0,0112	0,0221	0,0458	0,2969	24
A_N36_X4_Y3_Z3	360	0,0283	0,0370	<0,0000	0,0066	0,0162	0,0340	0,2605	27
A_N36_X	360	0,1593	0,2707	0,0005	0,0231	0,0656	0,1755	1,6599	33



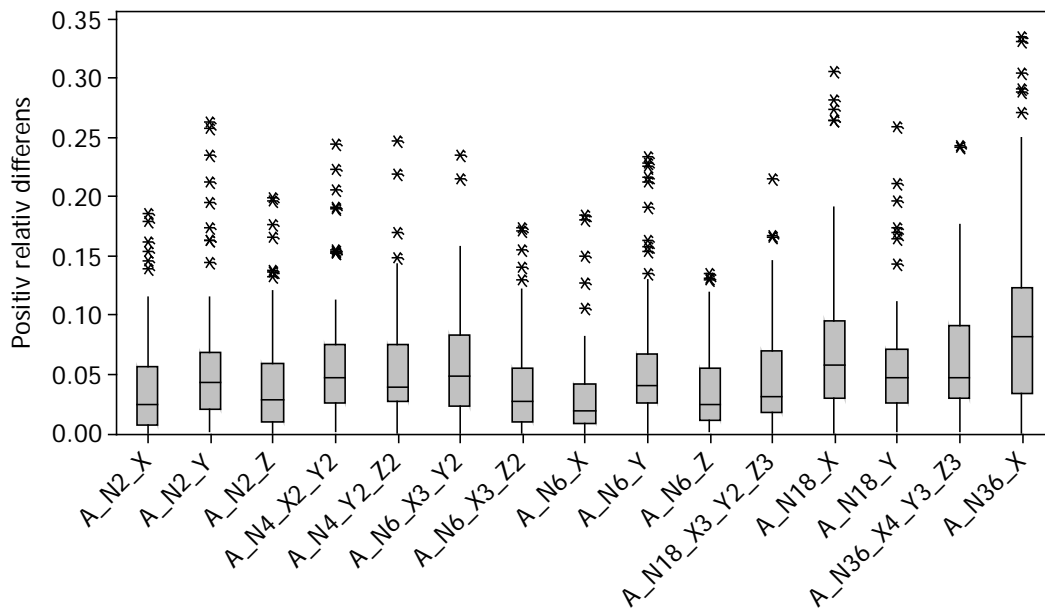
Figur D:26 Boxplot med positiv relativ differens för gastemperatur, scenario B, 60 sekunders intervall.

Tabell D:26 Beskrivande statistik för dataunderlaget till gastemperatur, scenario B, 60 sekunders intervall

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
B_N2_X	165	0,0275	0,0323	<0,0000	0,0074	0,0201	0,0376	0,2940	5
B_N2_Y	165	0,0268	0,0242	0,0001	0,0092	0,0202	0,0376	0,1413	7
B_N2_Z	165	0,0267	0,0297	0,0002	0,0087	0,0190	0,0355	0,1951	9
B_N4_X2_Y2	165	0,0284	0,0362	0,0001	0,0087	0,0185	0,0353	0,3403	11
B_N4_X2_Z2	165	0,0319	0,0346	0,0002	0,0092	0,0207	0,0426	0,1923	9
B_N6_X2_Y3	165	0,0282	0,0336	0,0001	0,0091	0,0165	0,0349	0,2649	15
B_N6_X2_Z3	165	0,0264	0,0458	0,0001	0,0079	0,0172	0,0329	0,5484	7
B_N6_X	165	0,0304	0,0316	0,0003	0,0095	0,0235	0,0404	0,1976	9
B_N6_Y	165	0,0376	0,0405	0,0002	0,0140	0,0276	0,0463	0,2879	12
B_N6_Z	165	0,0280	0,0288	0,0001	0,0094	0,0228	0,0356	0,2236	7
B_N18_X2_Y3_Z3	165	0,0279	0,0328	0,0001	0,0083	0,0200	0,0368	0,2918	8
B_N18_Y	165	0,0460	0,0299	0,0009	0,0217	0,0434	0,0625	0,1393	4
B_N18_Z	165	0,0346	0,0295	0,0001	0,0125	0,0244	0,0545	0,1216	2
B_N27_X3_Y3_Z3	165	0,0316	0,0322	0,0002	0,0100	0,0197	0,0424	0,1690	7
B_N27_Y	165	0,0632	0,0363	0,0001	0,0374	0,0592	0,0846	0,2431	4
B_N27_Z	165	0,0424	0,0408	0,0001	0,0159	0,0336	0,0557	0,2228	9

Värmeöverföring (qc+qr)

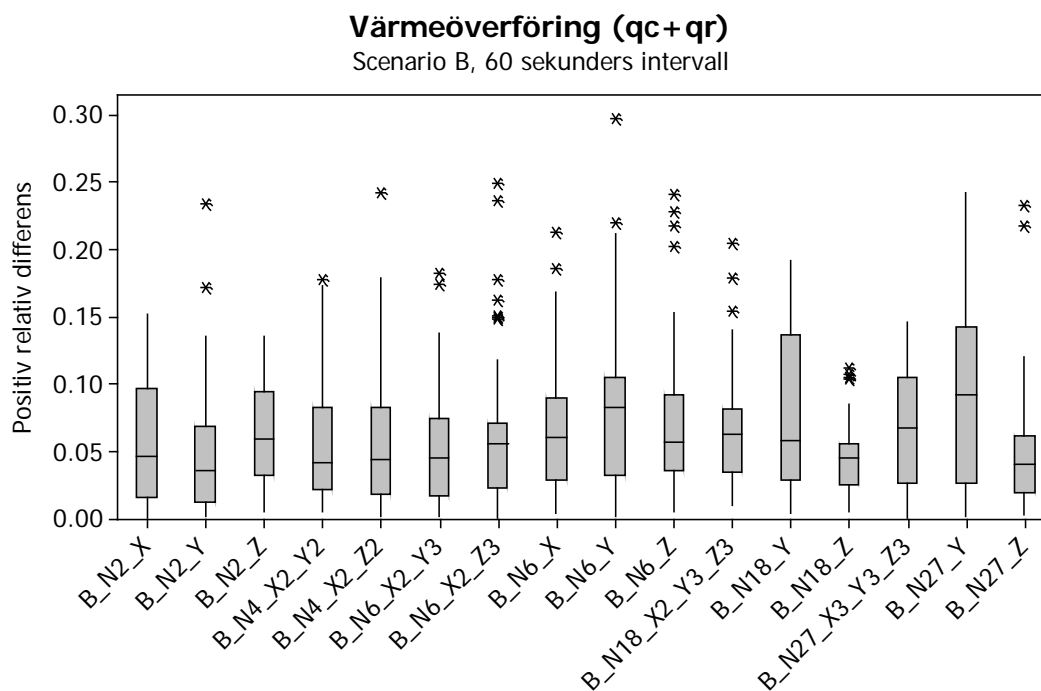
Scenario A, 60 sekunders intervall



Figur D:27 Boxplot med positiv relativ differens för värmeöverföring ($\dot{q}_r'' + \dot{q}_c''$), scenario A, 60 sekunders intervall.

Tabell D:27 Beskrivande statistik för dataunderlaget till värmeöverföring ($\dot{q}_r'' + \dot{q}_c''$), scenario A, 60 sekunders intervall

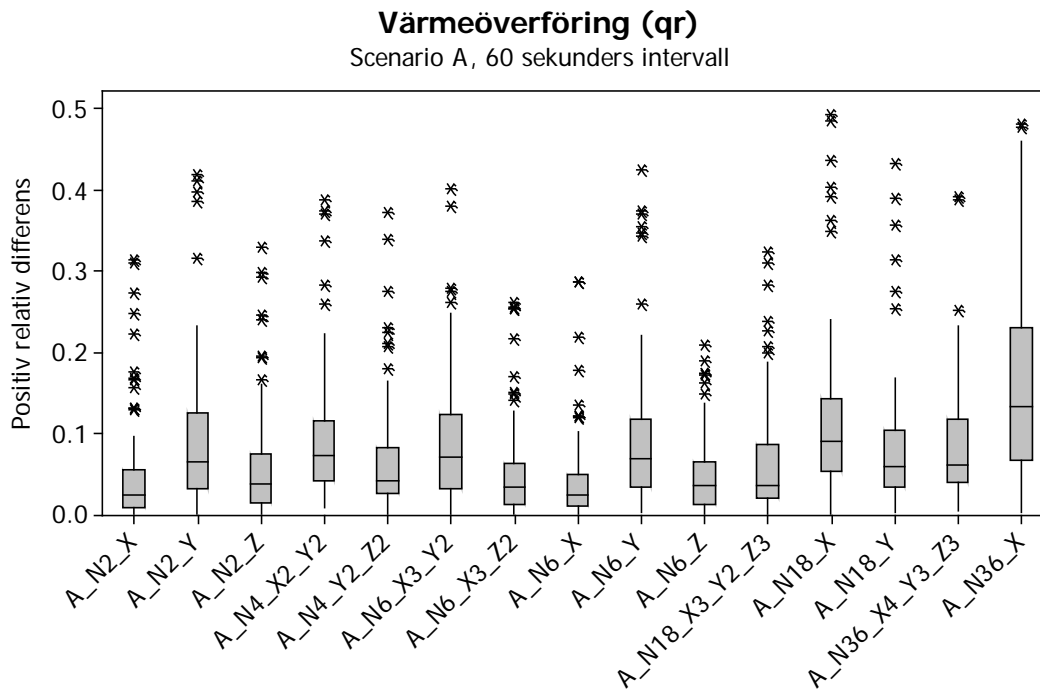
Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
A_N2_X	80	0,0396	0,0450	0,0004	0,0069	0,0243	0,0561	0,1857	6
A_N2_Y	80	0,0586	0,0586	0,0007	0,0202	0,0426	0,0685	0,2629	9
A_N2_Z	80	0,0438	0,0474	0,0003	0,0099	0,0274	0,0585	0,1985	7
A_N4_X2_Y2	80	0,0608	0,0520	0,0007	0,0258	0,0469	0,0749	0,2442	9
A_N4_Y2_Z2	80	0,0540	0,0469	0,0001	0,0262	0,0390	0,0742	0,2470	4
A_N6_X3_Y2	80	0,0590	0,0490	0,0005	0,0230	0,0485	0,0823	0,2356	2
A_N6_X3_Z2	80	0,0394	0,0406	0,0002	0,0096	0,0267	0,0551	0,1736	5
A_N6_X	80	0,0315	0,0379	0,0001	0,0079	0,0182	0,0414	0,1842	5
A_N6_Y	80	0,0599	0,0576	<0,0000	0,0257	0,0404	0,0673	0,2339	10
A_N6_Z	80	0,0363	0,0350	0,0007	0,0114	0,0241	0,0549	0,1354	3
A_N18_X3_Y2_Z3	80	0,0482	0,0459	0,0002	0,0170	0,0307	0,0692	0,2145	3
A_N18_X	80	0,0750	0,0695	0,0004	0,0293	0,0570	0,0954	0,3062	5
A_N18_Y	80	0,0568	0,0498	0,0020	0,0257	0,0462	0,0705	0,2595	7
A_N36_X4_Y3_Z3	80	0,0617	0,0496	0,0009	0,0300	0,0469	0,0912	0,2426	2
A_N36_X	80	0,0931	0,0772	0,0004	0,0337	0,0821	0,1223	0,3354	6



Figur D:28 Boxplot med positiv relativ differens för värmeöverföring ($\dot{q}_r'' + \dot{q}_c''$), scenario B, 60 sekunders intervall.

Tabell D:28 Beskrivande statistik för dataunderlaget till värmeöverföring ($\dot{q}_r'' + \dot{q}_c''$), scenario B, 60 sekunders intervall

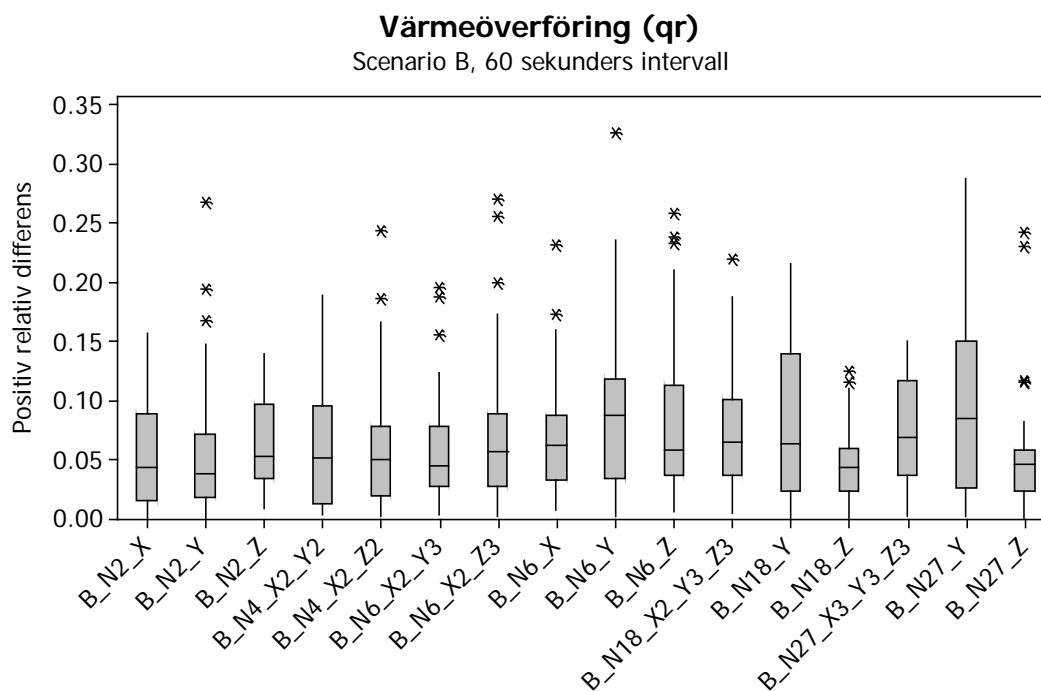
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
B_N2_X	40	0,0533	0,0430	0,0005	0,0148	0,0455	0,0963	0,1517	0
B_N2_Y	40	0,0495	0,0504	0,0014	0,0119	0,0354	0,0686	0,2343	2
B_N2_Z	40	0,0600	0,0353	0,0043	0,0313	0,0588	0,0944	0,1354	0
B_N4_X2_Y2	40	0,0622	0,0551	0,0049	0,0208	0,0407	0,0828	0,1777	1
B_N4_X2_Z2	40	0,0589	0,0539	0,0014	0,0176	0,0432	0,0822	0,2416	1
B_N6_X2_Y3	40	0,0515	0,0432	0,0011	0,0165	0,0443	0,0741	0,1823	2
B_N6_X2_Z3	40	0,0673	0,0612	<0,0000	0,0220	0,0549	0,0706	0,2488	7
B_N6_X	40	0,0669	0,0480	0,0033	0,0286	0,0599	0,0888	0,2124	2
B_N6_Y	40	0,0848	0,0652	0,0009	0,0320	0,0828	0,1050	0,2972	2
B_N6_Z	40	0,0766	0,0621	0,0050	0,0355	0,0561	0,0913	0,2413	4
B_N18_X2_Y3_Z3	40	0,0685	0,0454	0,0098	0,0342	0,0623	0,0810	0,2051	3
B_N18_Y	40	0,0776	0,0569	0,0033	0,0285	0,0575	0,1369	0,1911	0
B_N18_Z	40	0,0458	0,0291	0,0050	0,0241	0,0446	0,0552	0,1120	4
B_N27_X3_Y3_Z3	40	0,0669	0,0431	0,0003	0,0259	0,0669	0,1043	0,1457	0
B_N27_Y	40	0,0936	0,0763	0,0010	0,0258	0,0915	0,1419	0,2425	0
B_N27_Z	40	0,0500	0,0491	0,0025	0,0193	0,0400	0,0615	0,2331	2



Figur D:29 Boxplot med positiv relativ differens för värmeöverföring (\dot{q}_r''), scenario A, 60 sekunders intervall.

Tabell D:29 Beskrivande statistik för dataunderlaget till värmeöverföring (\dot{q}_r''), scenario A, 60 sekunders intervall

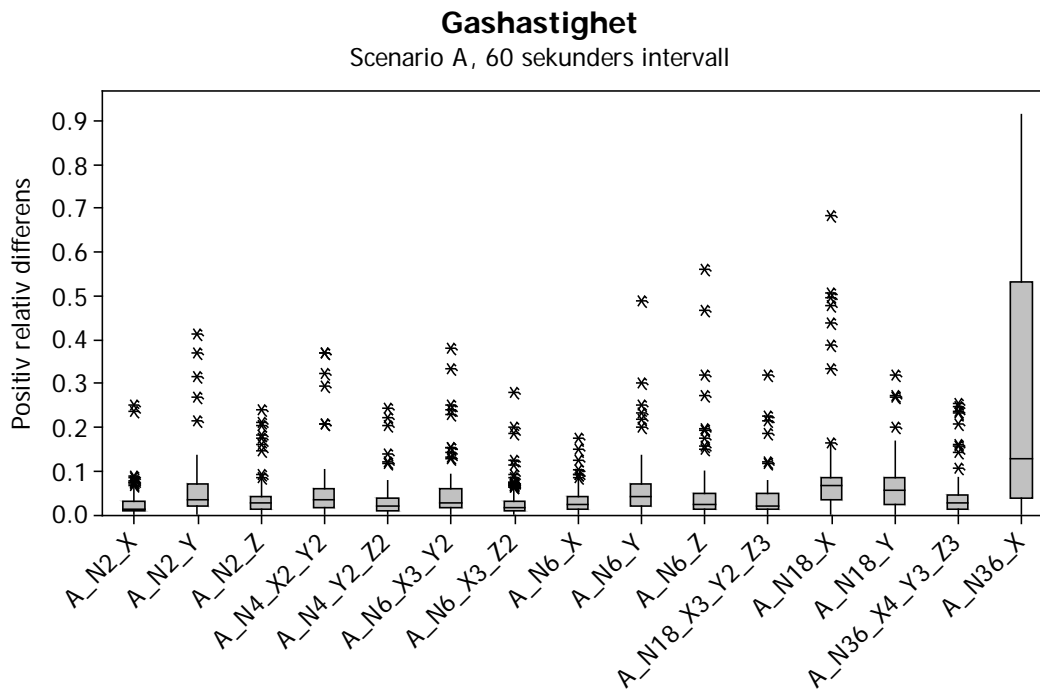
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
A_N2_X	80	0,0521	0,0712	0,0003	0,0087	0,0242	0,0551	0,3148	12
A_N2_Y	80	0,0952	0,0959	0,0001	0,0312	0,0640	0,1253	0,4196	5
A_N2_Z	80	0,0610	0,0740	0,0009	0,0140	0,0365	0,0735	0,3301	8
A_N4_X2_Y2	80	0,0934	0,0829	0,0080	0,0414	0,0729	0,1150	0,3877	6
A_N4_Y2_Z2	80	0,0694	0,0728	0,0009	0,0254	0,0418	0,0821	0,3714	8
A_N6_X3_Y2	80	0,0893	0,0814	0,0008	0,0306	0,0695	0,1219	0,4016	5
A_N6_X3_Z2	80	0,0524	0,0637	0,0001	0,0122	0,0326	0,0616	0,2613	9
A_N6_X	80	0,0402	0,0560	0,0005	0,0096	0,0235	0,0480	0,2872	8
A_N6_Y	80	0,0958	0,0953	0,0027	0,0329	0,0689	0,1172	0,4254	7
A_N6_Z	80	0,0489	0,0501	0,0005	0,0110	0,0344	0,0650	0,2087	7
A_N18_X3_Y2_Z3	80	0,0669	0,0748	0,0004	0,0186	0,0357	0,0866	0,3242	7
A_N18_X	80	0,1195	0,1070	0,0002	0,0526	0,0889	0,1426	0,4929	7
A_N18_Y	80	0,0841	0,0848	0,0012	0,0339	0,0576	0,1026	0,4331	6
A_N36_X4_Y3_Z3	80	0,0868	0,0773	0,0043	0,0383	0,0596	0,1165	0,3912	3
A_N36_X	80	0,1569	0,1174	0,0028	0,0668	0,1317	0,2293	0,4810	2



Figur D:30 Boxplot med positiv relativ differens för värmeöverföring (\dot{q}_r''), scenario B, 60 sekunders intervall.

Tabell D:30 Beskrivande statistik för dataunderlaget till värmeöverföring (\dot{q}_r''), scenario B, 60 sekunders intervall

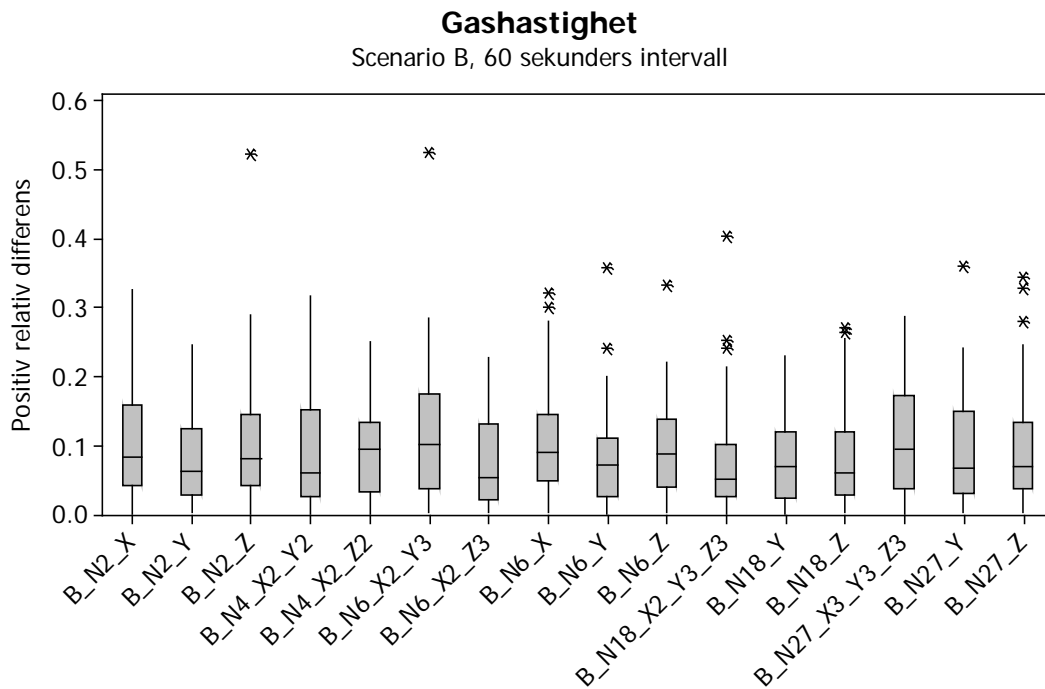
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
B_N2_X	40	0,0530	0,0454	0,0002	0,0142	0,0430	0,0876	0,1567	0
B_N2_Y	40	0,0533	0,0571	0,0001	0,0173	0,0381	0,0714	0,2667	3
B_N2_Z	40	0,0630	0,0372	0,0084	0,0331	0,0525	0,0963	0,1394	0
B_N4_X2_Y2	40	0,0655	0,0598	0,0027	0,0124	0,0513	0,0954	0,1884	0
B_N4_X2_Z2	40	0,0600	0,0552	0,0020	0,0183	0,0489	0,0777	0,2436	2
B_N6_X2_Y3	40	0,0561	0,0458	0,0029	0,0272	0,0437	0,0780	0,1956	3
B_N6_X2_Z3	40	0,0742	0,0659	0,0009	0,0264	0,0559	0,0880	0,2697	3
B_N6_X	40	0,0674	0,0487	0,0072	0,0318	0,0615	0,0866	0,2315	2
B_N6_Y	40	0,0890	0,0701	0,0012	0,0333	0,0875	0,1177	0,3260	1
B_N6_Z	40	0,0804	0,0676	0,0055	0,0362	0,0570	0,1119	0,2579	3
B_N18_X2_Y3_Z3	40	0,0731	0,0492	0,0043	0,0358	0,0635	0,1005	0,2195	1
B_N18_Y	40	0,0825	0,0628	0,0005	0,0224	0,0629	0,1394	0,2146	0
B_N18_Z	40	0,0464	0,0325	0,0005	0,0224	0,0428	0,0592	0,1239	2
B_N27_X3_Y3_Z3	40	0,0732	0,0464	0,0008	0,0367	0,0683	0,1163	0,1492	0
B_N27_Y	40	0,1000	0,0840	0,0015	0,0253	0,0843	0,1498	0,2866	0
B_N27_Z	40	0,0514	0,0512	0,0006	0,0223	0,0458	0,0579	0,2416	4



Figur D:31 Boxplot med positiv relativ differens för gashastighet, scenario A, 60 sekunders intervall.

Tabell D:31 Beskrivande statistik för dataunderlaget till gashastighet, scenario A, 60 sekunders intervall

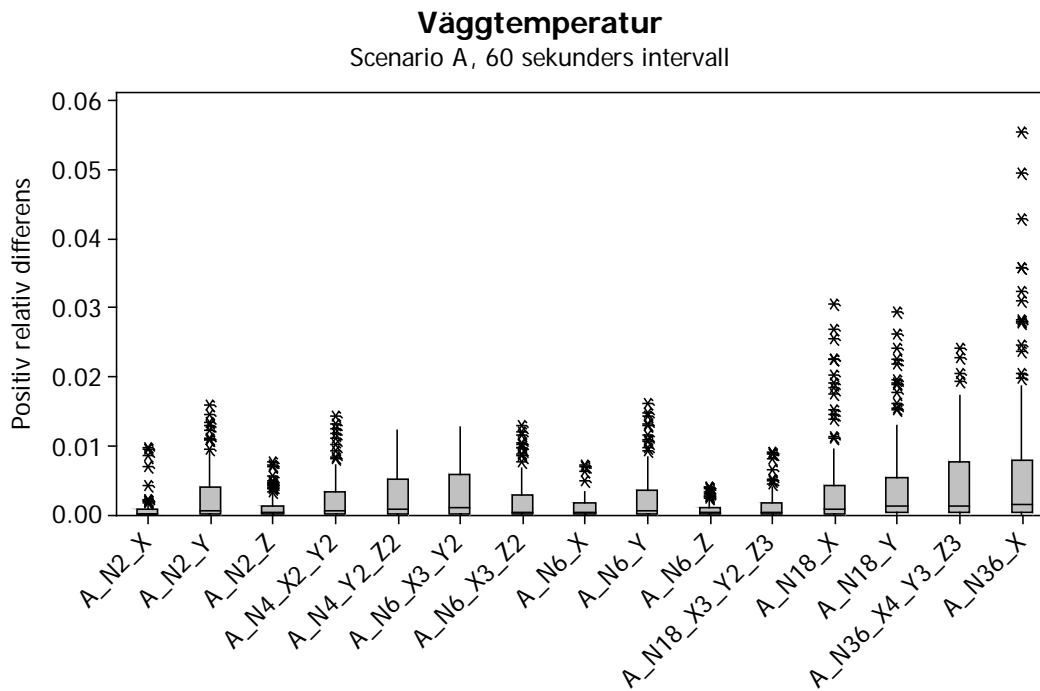
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
A_N2_X	160	0,0236	0,0320	0,0001	0,0068	0,0123	0,0303	0,2511	9
A_N2_Y	160	0,0518	0,0583	0,0003	0,0192	0,0339	0,0693	0,4120	5
A_N2_Z	160	0,0335	0,0390	0,0010	0,0116	0,0236	0,0390	0,2381	9
A_N4_X2_Y2	160	0,0458	0,0569	0,0018	0,0146	0,0318	0,0566	0,3707	6
A_N4_Y2_Z2	160	0,0281	0,0349	0,0004	0,0076	0,0188	0,0370	0,2426	6
A_N6_X3_Y2	160	0,0435	0,0543	0,0015	0,0133	0,0260	0,0584	0,3800	10
A_N6_X3_Z2	160	0,0262	0,0355	0,0001	0,0067	0,0160	0,0283	0,2768	18
A_N6_X	160	0,0304	0,0279	0,0007	0,0108	0,0231	0,0393	0,1736	7
A_N6_Y	160	0,0519	0,0573	0,0004	0,0187	0,0393	0,0672	0,4878	6
A_N6_Z	160	0,0415	0,0698	<0,0000	0,0093	0,0230	0,0453	0,5615	9
A_N18_X3_Y2_Z3	160	0,0314	0,0407	0,0003	0,0093	0,0183	0,0456	0,3187	6
A_N18_X	160	0,0769	0,0936	0,0003	0,0326	0,0643	0,0842	0,6825	8
A_N18_Y	160	0,0615	0,0507	0,0002	0,0235	0,0541	0,0848	0,3187	4
A_N36_X4_Y3_Z3	160	0,0358	0,0449	0,0001	0,0094	0,0236	0,0437	0,2545	9
A_N36_X	160	0,2838	0,3010	0,0001	0,0358	0,1260	0,5308	0,9146	0



Figur D:32 Boxplot med positiv relativ differens för gashastighet, scenario B, 60 sekunders intervall.

Tabell D:32 Beskrivande statistik för dataunderlaget till gashastighet, scenario B, 60 sekunders intervall

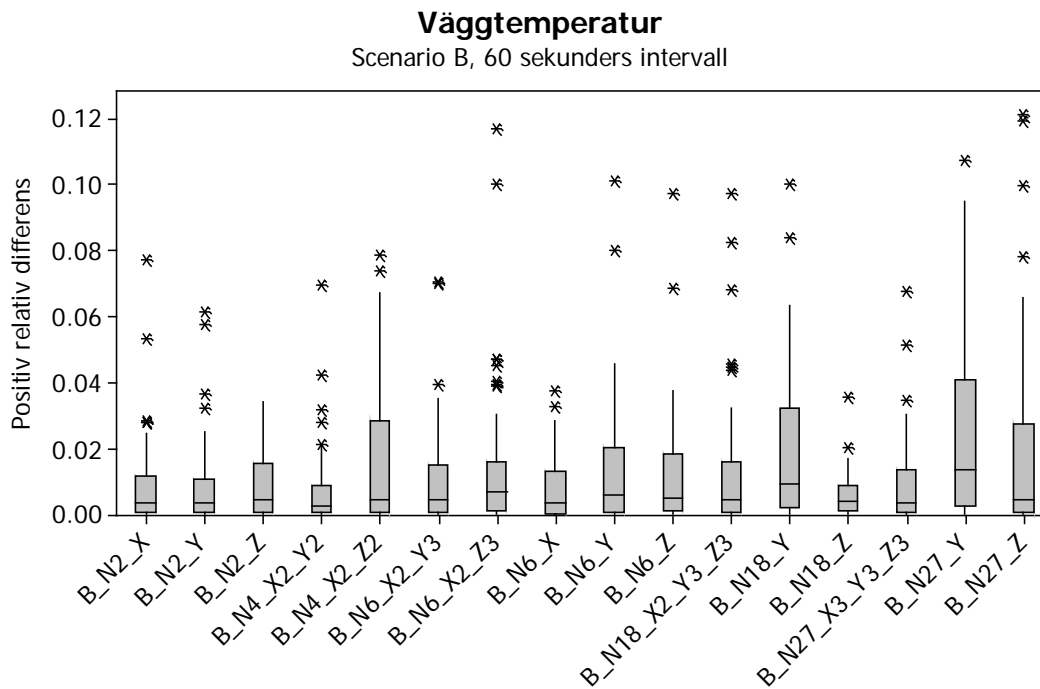
Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
B_N2_X	60	0,1021	0,0787	0,0002	0,0418	0,0825	0,1581	0,3248	0
B_N2_Y	60	0,0821	0,0656	0,0022	0,0264	0,0628	0,1228	0,2458	0
B_N2_Z	60	0,1045	0,0878	0,0001	0,0413	0,0809	0,1436	0,5234	1
B_N4_X2_Y2	60	0,0936	0,0800	0,0005	0,0250	0,0600	0,1516	0,3172	0
B_N4_X2_Z2	60	0,0931	0,0645	0,0004	0,0314	0,0943	0,1338	0,2497	0
B_N6_X2_Y3	60	0,1142	0,0960	0,0015	0,0367	0,1012	0,1740	0,5257	1
B_N6_X2_Z3	60	0,0772	0,0635	0,0018	0,0197	0,0536	0,1317	0,2265	0
B_N6_X	60	0,1069	0,0809	0,0030	0,0475	0,0893	0,1438	0,3215	2
B_N6_Y	60	0,0803	0,0673	0,0002	0,0254	0,0704	0,1096	0,3582	2
B_N6_Z	60	0,0950	0,0660	0,0022	0,0397	0,0873	0,1373	0,3317	1
B_N18_X2_Y3_Z3	60	0,0780	0,0770	<0,0000	0,0257	0,0510	0,1015	0,4030	3
B_N18_Y	60	0,0784	0,0600	0,0006	0,0231	0,0689	0,1201	0,2294	0
B_N18_Z	60	0,0823	0,0716	0,0023	0,0268	0,0596	0,1190	0,2697	2
B_N27_X3_Y3_Z3	60	0,1082	0,0769	0,0005	0,0365	0,0938	0,1730	0,2867	0
B_N27_Y	60	0,0914	0,0767	0,0028	0,0303	0,0666	0,1496	0,3608	1
B_N27_Z	60	0,0945	0,0807	0,0013	0,0377	0,0689	0,1333	0,3437	3



Figur D:33 Boxplot med positiv relativ differens för väggtemperatur, scenario A, 60 sekunders intervall.

Tabell D:33 Beskrivande statistik för dataunderlaget till väggtemperatur, scenario A, 60 sekunders intervall

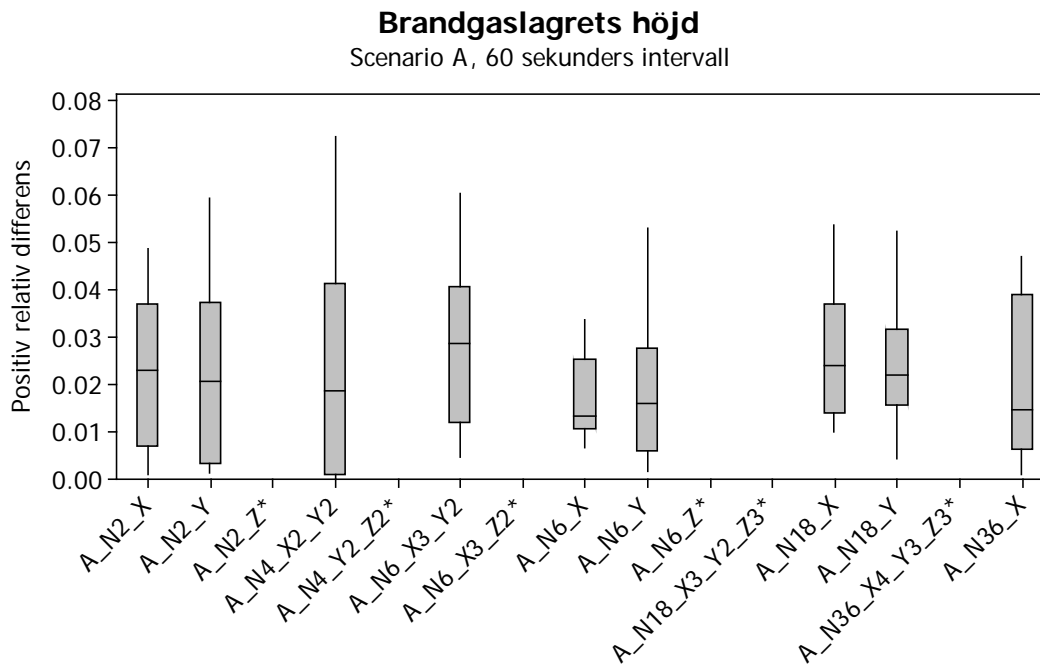
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
A_N2_X	80	0,0008	0,0019	<0,0000	<0,0000	0,0001	0,0006	0,0096	10
A_N2_Y	80	0,0027	0,0041	<0,0000	0,0001	0,0006	0,0038	0,0157	9
A_N2_Z	80	0,0011	0,0018	<0,0000	<0,0000	0,0003	0,0013	0,0076	12
A_N4_X2_Y2	80	0,0023	0,0036	<0,0000	0,0001	0,0005	0,0032	0,0141	9
A_N4_Y2_Z2	80	0,0026	0,0035	<0,0000	0,0001	0,0006	0,0050	0,0122	0
A_N6_X3_Y2	80	0,0029	0,0038	<0,0000	0,0001	0,0009	0,0057	0,0126	0
A_N6_X3_Z2	80	0,0021	0,0034	<0,0000	<0,0000	0,0003	0,0028	0,0129	10
A_N6_X	80	0,0010	0,0015	<0,0000	<0,0000	0,0003	0,0017	0,0071	4
A_N6_Y	80	0,0026	0,0042	<0,0000	<0,0000	0,0004	0,0035	0,0161	10
A_N6_Z	80	0,0007	0,0010	<0,0000	<0,0000	0,0002	0,0010	0,0039	9
A_N18_X3_Y2_Z3	80	0,0013	0,0022	<0,0000	<0,0000	0,0003	0,0017	0,0089	8
A_N18_X	80	0,0046	0,0077	<0,0000	0,0001	0,0008	0,0042	0,0305	15
A_N18_Y	80	0,0048	0,0074	<0,0000	0,0001	0,0012	0,0054	0,0292	12
A_N36_X4_Y3_Z3	80	0,0045	0,0065	<0,0000	0,0001	0,0013	0,0076	0,0241	4
A_N36_X	80	0,0076	0,0128	<0,0000	0,0001	0,0013	0,0077	0,0553	14



Figur D:34 Boxplot med positiv relativ differens för väggtemperatur, scenario B, 60 sekunders intervall.

Tabell D:34 Beskrivande statistik för dataunderlaget till väggtemperatur, scenario B, 60 sekunders intervall

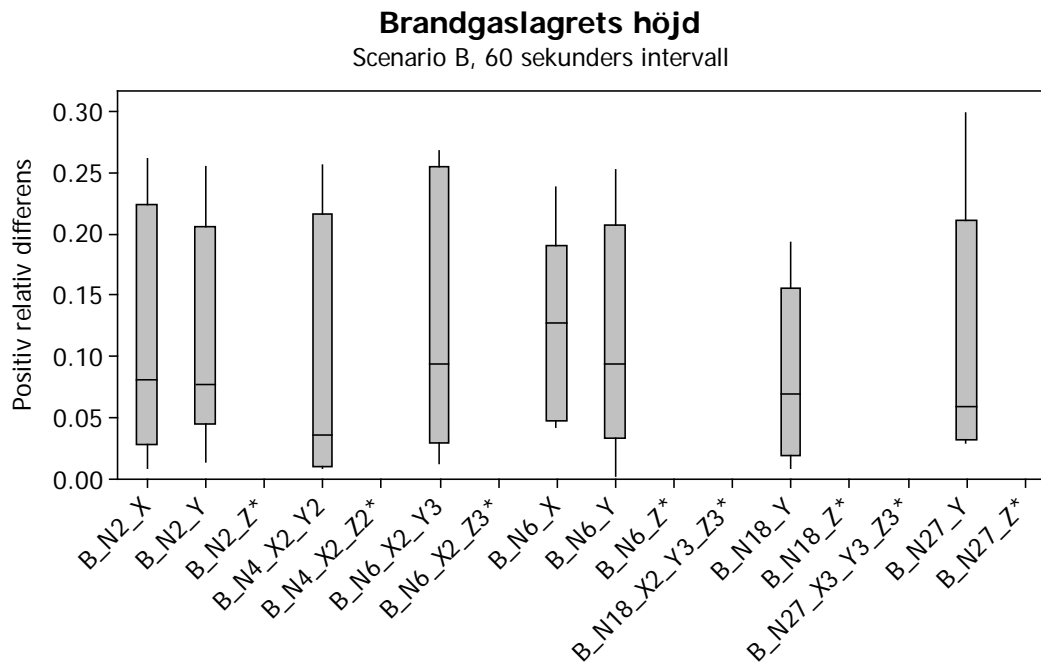
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
B_N2_X	50	0,0095	0,0146	<0,0000	0,0007	0,0032	0,0114	0,0770	5
B_N2_Y	50	0,0086	0,0135	<0,0000	0,0005	0,0034	0,0105	0,0614	4
B_N2_Z	50	0,0091	0,0107	<0,0000	0,0003	0,0042	0,0153	0,0342	0
B_N4_X2_Y2	50	0,0075	0,0128	<0,0000	0,0004	0,0023	0,0085	0,0697	5
B_N4_X2_Z2	50	0,0161	0,0215	<0,0000	0,0007	0,0045	0,0282	0,0788	2
B_N6_X2_Y3	50	0,0115	0,0165	<0,0000	0,0003	0,0042	0,0149	0,0704	3
B_N6_X2_Z3	50	0,0152	0,0237	<0,0000	0,0010	0,0065	0,0158	0,1168	8
B_N6_X	50	0,0074	0,0095	<0,0000	0,0002	0,0033	0,0129	0,0375	2
B_N6_Y	50	0,0138	0,0201	<0,0000	0,0004	0,0058	0,0200	0,1013	2
B_N6_Z	50	0,0124	0,0183	<0,0000	0,0012	0,0049	0,0180	0,0973	2
B_N18_X2_Y3_Z3	50	0,0140	0,0216	<0,0000	0,0006	0,0046	0,0161	0,0973	6
B_N18_Y	50	0,0193	0,0241	<0,0000	0,0018	0,0090	0,0323	0,1001	2
B_N18_Z	50	0,0058	0,0066	<0,0000	0,0010	0,0037	0,0085	0,0354	2
B_N27_X3_Y3_Z3	50	0,0091	0,0134	<0,0000	0,0006	0,0034	0,0134	0,0675	3
B_N27_Y	50	0,0245	0,0288	<0,0000	0,0026	0,0136	0,0408	0,1075	1
B_N27_Z	50	0,0196	0,0304	<0,0000	0,0006	0,0044	0,0272	0,1212	4



Figur D:35 Boxplot med positiv relativ differens för brandgaslagrets höjd, scenario A, 60 sekunders intervall.

Tabell D:35 Beskrivande statistik för dataunderlaget till brandgaslagrets höjd, scenario A, 60 sekunders intervall

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
A_N2_X	10	0,0233	0,0154	0,0009	0,0069	0,0231	0,0369	0,0486	0
A_N2_Y	10	0,0223	0,0200	0,0012	0,0032	0,0208	0,0375	0,0595	0
A_N2_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N4_X2_Y2	10	0,0232	0,0233	0,0001	0,0011	0,0188	0,0415	0,0726	0
A_N4_Y2_Z2	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N6_X3_Y2	10	0,0294	0,0188	0,0046	0,0121	0,0288	0,0408	0,0603	0
A_N6_X3_Z2	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N6_X	10	0,0175	0,0096	0,0066	0,0108	0,0134	0,0254	0,0337	0
A_N6_Y	10	0,0195	0,0160	0,0017	0,0061	0,0161	0,0277	0,0530	0
A_N6_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N18_X3_Y2_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N18_X	10	0,0267	0,0141	0,0101	0,0140	0,0240	0,0370	0,0539	0
A_N18_Y	10	0,0235	0,0138	0,0044	0,0156	0,0220	0,0318	0,0523	0
A_N36_X4_Y3_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N36_X	10	0,0213	0,0175	0,0011	0,0063	0,0149	0,0390	0,0472	0



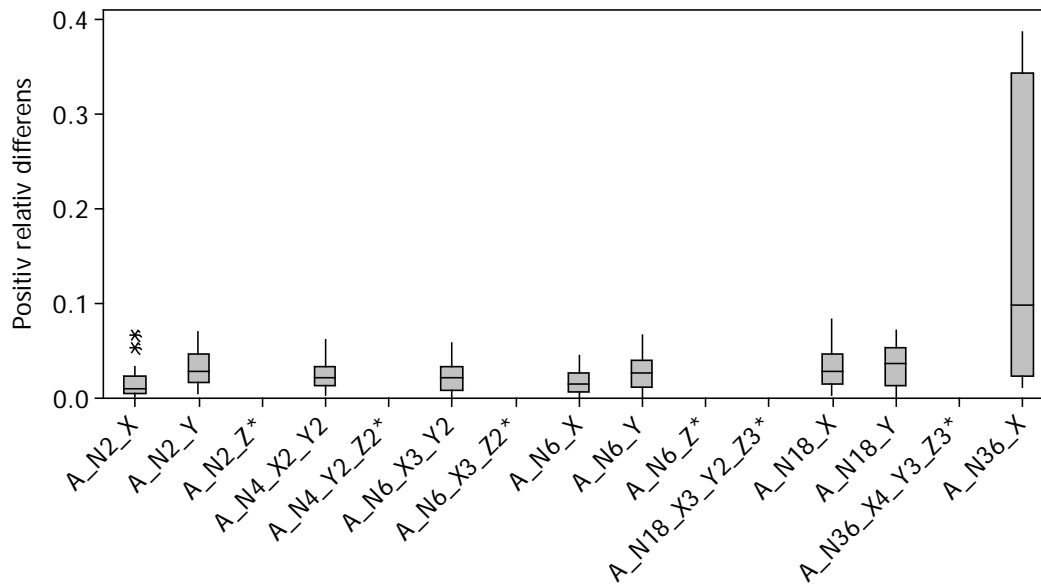
Figur D:36 Boxplot med positiv relativ differens för brandgaslagrets höjd, scenario B, 60 sekunders intervall.

Tabell D:36 Beskrivande statistik för dataunderlaget till brandgaslagrets höjd, scenario B, 60 sekunders intervall

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
B_N2_X	5	0,1172	0,1039	0,0096	0,0288	0,0811	0,2236	0,2614	0
B_N2_Y	5	0,1163	0,0930	0,0139	0,0453	0,0777	0,2067	0,2550	0
B_N2_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N4_X2_Y2	5	0,0980	0,1122	0,0091	0,0108	0,0356	0,2166	0,2561	0
B_N4_X2_Z2	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N6_X2_Y3	5	0,1326	0,1159	0,0127	0,0295	0,0936	0,2553	0,2675	0
B_N6_X2_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N6_X	5	0,1209	0,0789	0,0431	0,0482	0,1278	0,1902	0,2381	0
B_N6_Y	5	0,1148	0,0960	0,0020	0,0331	0,0934	0,2073	0,2521	0
B_N6_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N18_X2_Y3_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N18_Y	5	0,0837	0,0740	0,0092	0,0188	0,0701	0,1555	0,1930	0
B_N18_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N27_X3_Y3_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N27_Y	5	0,1090	0,1126	0,0302	0,0316	0,0591	0,2113	0,2989	0
B_N27_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0

Brandgaslagrets temperatur

Scenario A, 60 sekunders intervall

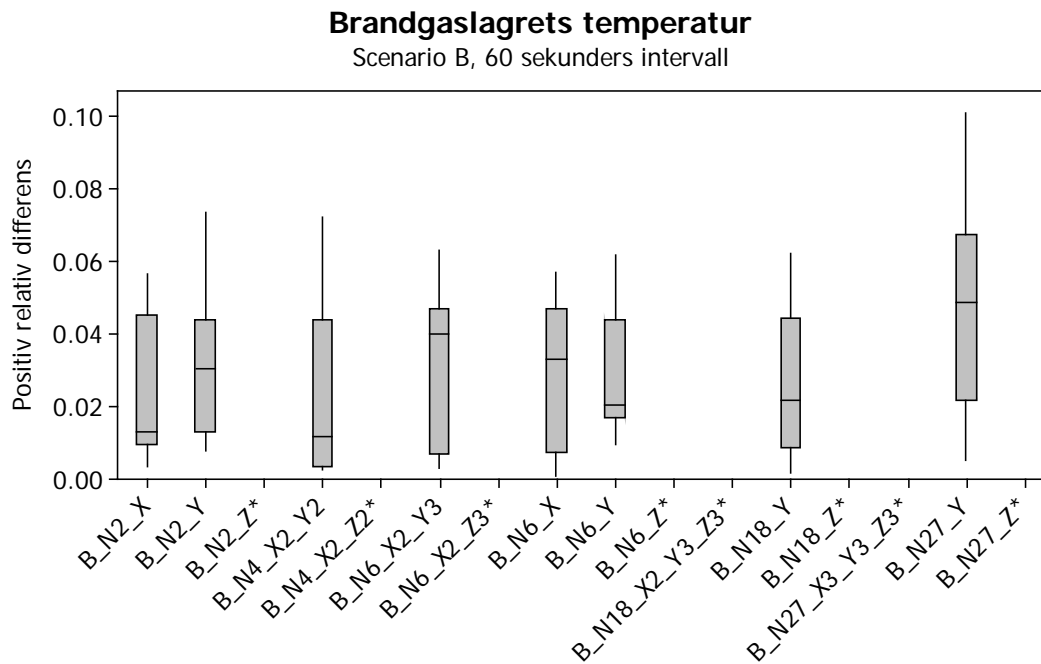


* Kvantiteten kunde ej undersökas

Figur D:37 Boxplot med positiv relativ differens för brandgaslagrets temperatur, scenario A, 60 sekunders intervall.

Tabell D:37 Beskrivande statistik för dataunderlaget till brandgaslagrets temperatur, scenario A, 60 sekunders intervall

Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
A_N2_X	20	0,0159	0,0176	0,0013	0,0047	0,0102	0,0226	0,0666	2
A_N2_Y	20	0,0317	0,0178	0,0055	0,0171	0,0277	0,0465	0,0700	0
A_N2_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N4_X2_Y2	20	0,0240	0,0158	0,0027	0,0134	0,0213	0,0333	0,0611	0
A_N4_Y2_Z2	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N6_X3_Y2	20	0,0217	0,0164	0,0010	0,0084	0,0213	0,0336	0,0590	0
A_N6_X3_Z2	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N6_X	20	0,0168	0,0132	0,0001	0,0060	0,0148	0,0266	0,0456	0
A_N6_Y	20	0,0278	0,0182	0,0006	0,0125	0,0273	0,0398	0,0673	0
A_N6_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N18_X3_Y2_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N18_X	20	0,0319	0,0218	0,0041	0,0144	0,0285	0,0474	0,0843	0
A_N18_Y	20	0,0345	0,0233	0,0022	0,0141	0,0361	0,0537	0,0722	0
A_N36_X4_Y3_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
A_N36_X	20	0,1788	0,1664	0,0114	0,0226	0,0993	0,3438	0,3877	0

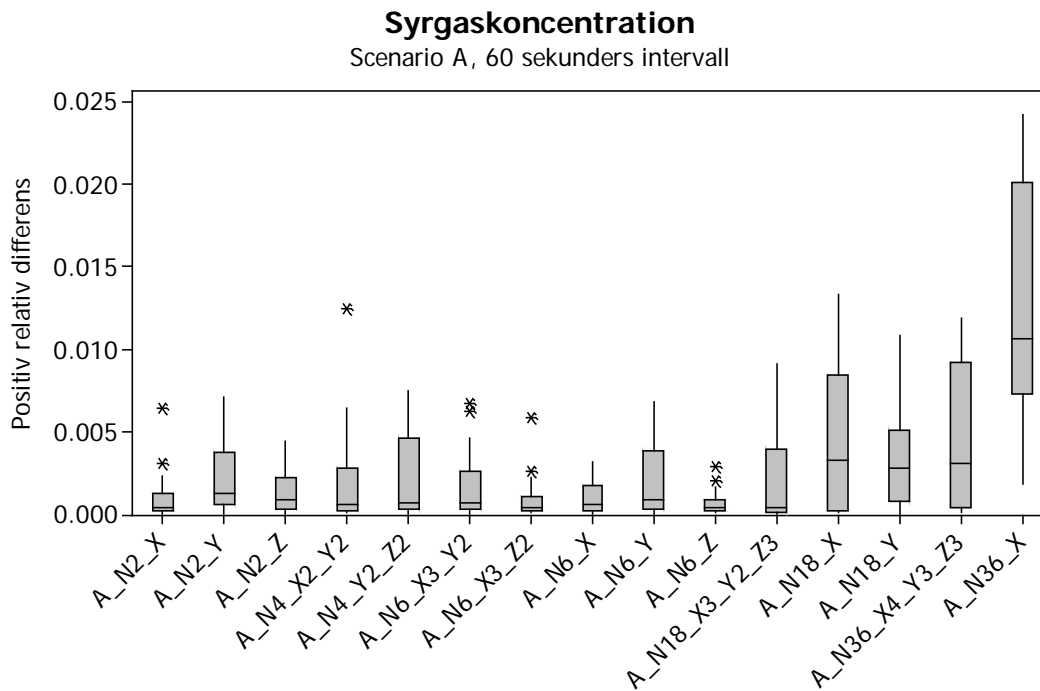


* Kvantiteten kunde ej undersökas

Figur D:38 Boxplot med positiv relativ differens för brandgaslagrets temperatur, scenario B, 60 sekunders intervall.

Tabell D:38 Beskrivande statistik för dataunderlaget till brandgaslagrets temperatur, scenario B, 60 sekunders intervall

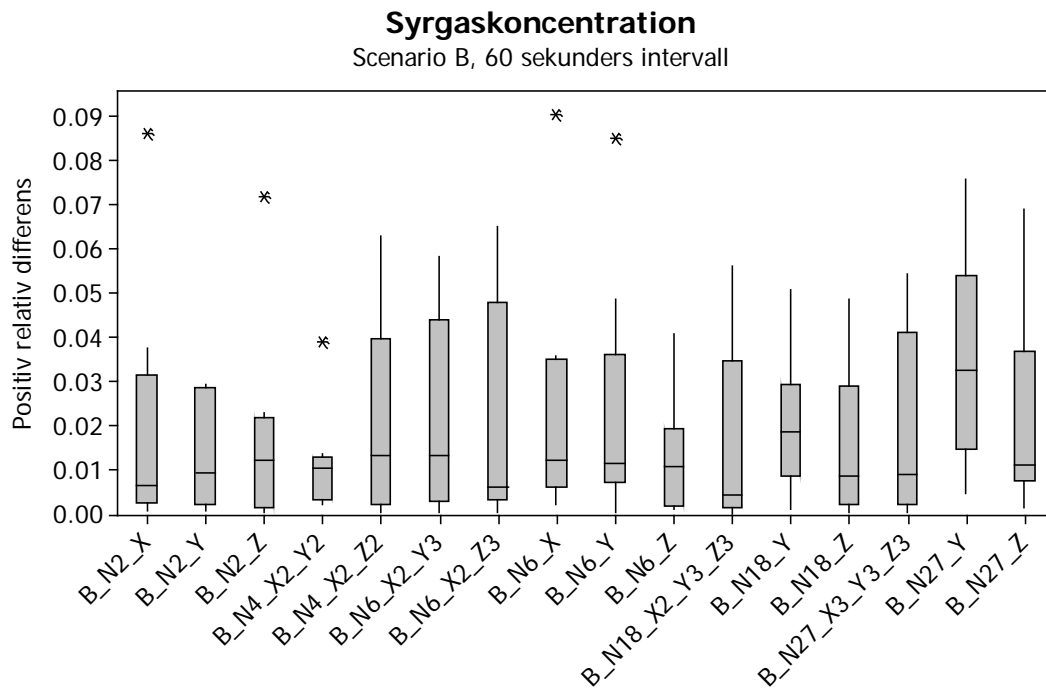
Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
B_N2_X	10	0,0224	0,0195	0,0035	0,0095	0,0132	0,0452	0,0564	0
B_N2_Y	10	0,0313	0,0212	0,0077	0,0130	0,0306	0,0441	0,0735	0
B_N2_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N4_X2_Y2	10	0,0233	0,0247	0,0027	0,0036	0,0119	0,0438	0,0721	0
B_N4_X2_Z2	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N6_X2_Y3	10	0,0314	0,0218	0,0032	0,0069	0,0401	0,0470	0,0631	0
B_N6_X2_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N6_X	10	0,0294	0,0204	0,0008	0,0075	0,0331	0,0472	0,0570	0
B_N6_Y	10	0,0299	0,0186	0,0096	0,0172	0,0206	0,0441	0,0620	0
B_N6_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N18_X2_Y3_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N18_Y	10	0,0255	0,0202	0,0016	0,0085	0,0219	0,0446	0,0623	0
B_N18_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N27_X3_Y3_Z3	0	*	*	*	*	*	*	*	0
B_N27_Y	10	0,0483	0,0289	0,0054	0,0217	0,0489	0,0677	0,1010	0
B_N27_Z	0	*	*	*	*	*	*	*	0



Figur D:39 Boxplot med positiv relativ differens för syrgaskoncentration, scenario A, 60 sekunders intervall.

Tabell D:39 Beskrivande statistik för dataunderlaget till syrgaskoncentration, scenario A, 60 sekunders intervall

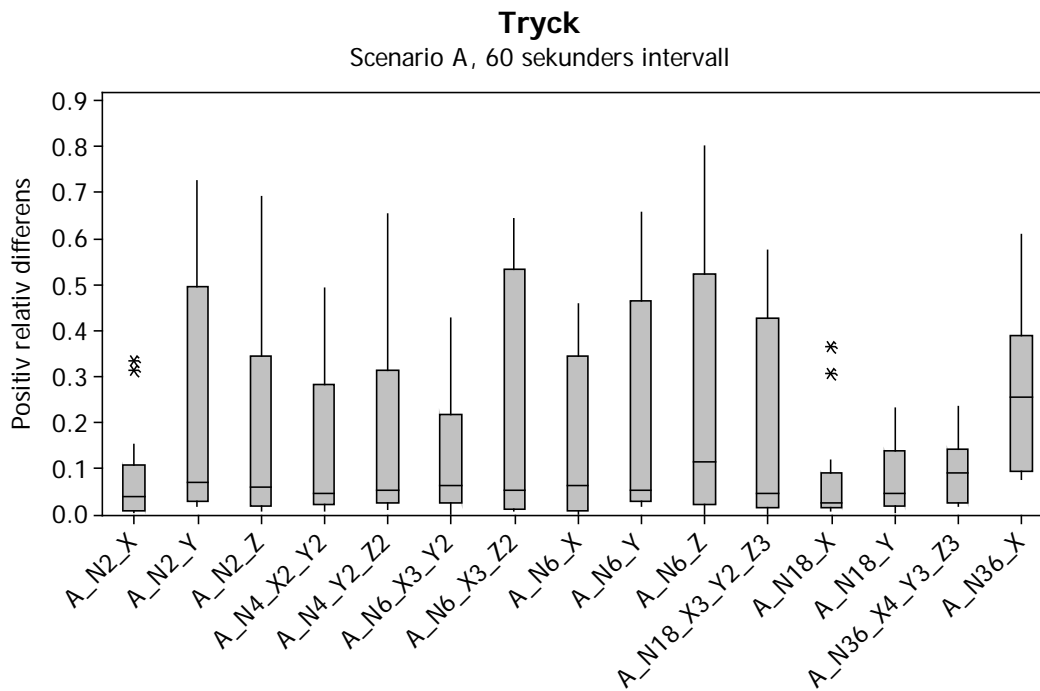
Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
A_N2_X	20	0,0010	0,0015	<0,0000	0,0002	0,0004	0,0013	0,0064	2
A_N2_Y	20	0,0022	0,0021	<0,0000	0,0006	0,0013	0,0037	0,0071	0
A_N2_Z	20	0,0013	0,0013	<0,0000	0,0003	0,0009	0,0022	0,0044	0
A_N4_X2_Y2	20	0,0018	0,0030	0,0001	0,0002	0,0006	0,0028	0,0124	1
A_N4_Y2_Z2	20	0,0023	0,0024	<0,0000	0,0003	0,0007	0,0046	0,0075	0
A_N6_X3_Y2	20	0,0017	0,0021	<0,0000	0,0003	0,0007	0,0026	0,0067	2
A_N6_X3_Z2	20	0,0009	0,0014	0,0001	0,0002	0,0004	0,0011	0,0058	2
A_N6_X	20	0,0010	0,0010	<0,0000	0,0002	0,0006	0,0017	0,0032	0
A_N6_Y	20	0,0019	0,0021	<0,0000	0,0003	0,0009	0,0038	0,0068	0
A_N6_Z	20	0,0007	0,0007	0,0001	0,0002	0,0004	0,0009	0,0029	2
A_N18_X3_Y2_Z3	20	0,0019	0,0026	<0,0000	0,0001	0,0004	0,0040	0,0091	0
A_N18_X	20	0,0043	0,0044	0,0001	0,0002	0,0033	0,0085	0,0133	0
A_N18_Y	20	0,0034	0,0032	<0,0000	0,0007	0,0028	0,0051	0,0108	0
A_N36_X4_Y3_Z3	20	0,0047	0,0045	0,0001	0,0004	0,0031	0,0092	0,0119	0
A_N36_X	20	0,0131	0,0070	0,0018	0,0073	0,0106	0,0201	0,0242	0



Figur D:40 Boxplot med positiv relativ differens för syrgaskoncentration, scenario B, 60 sekunders intervall.

Tabell D:40 Beskrivande statistik för dataunderlaget till syrgaskoncentration, scenario B, 60 sekunders intervall

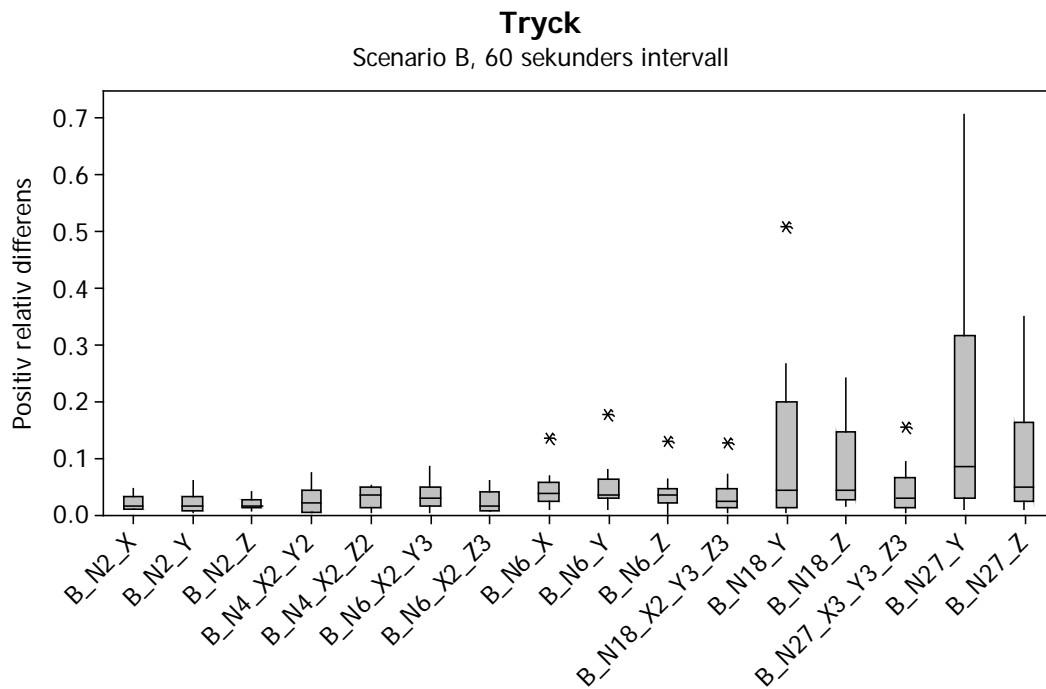
Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
B_N2_X	10	0,0185	0,0268	0,0006	0,0025	0,0065	0,0313	0,0859	1
B_N2_Y	10	0,0128	0,0119	0,0006	0,0020	0,0093	0,0285	0,0293	0
B_N2_Z	10	0,0164	0,0212	0,0003	0,0014	0,0121	0,0219	0,0719	1
B_N4_X2_Y2	10	0,0114	0,0107	0,0022	0,0034	0,0105	0,0129	0,0390	1
B_N4_X2_Z2	10	0,0209	0,0221	0,0004	0,0021	0,0132	0,0396	0,0630	0
B_N6_X2_Y3	10	0,0219	0,0225	0,0003	0,0028	0,0133	0,0439	0,0583	0
B_N6_X2_Z3	10	0,0221	0,0250	0,0002	0,0033	0,0061	0,0478	0,0649	0
B_N6_X	10	0,0242	0,0267	0,0023	0,0060	0,0122	0,0349	0,0903	1
B_N6_Y	10	0,0229	0,0260	0,0005	0,0073	0,0115	0,0361	0,0850	1
B_N6_Z	10	0,0129	0,0126	0,0011	0,0018	0,0108	0,0192	0,0408	0
B_N18_X2_Y3_Z3	10	0,0162	0,0213	0,0001	0,0015	0,0045	0,0347	0,0559	0
B_N18_Y	10	0,0202	0,0155	0,0012	0,0084	0,0184	0,0294	0,0506	0
B_N18_Z	10	0,0167	0,0179	0,0003	0,0020	0,0084	0,0290	0,0484	0
B_N27_X3_Y3_Z3	10	0,0188	0,0208	0,0003	0,0022	0,0088	0,0412	0,0542	0
B_N27_Y	10	0,0357	0,0232	0,0047	0,0148	0,0324	0,0541	0,0757	0
B_N27_Z	10	0,0219	0,0212	0,0015	0,0076	0,0112	0,0369	0,0690	0



Figur D:41 Boxplot med positiv relativ differens för trycke, scenario A, 60 sekunders intervall.

Tabell D:41 Beskrivande statistik för dataunderlaget till tryck, scenario A, 60 sekunders intervall

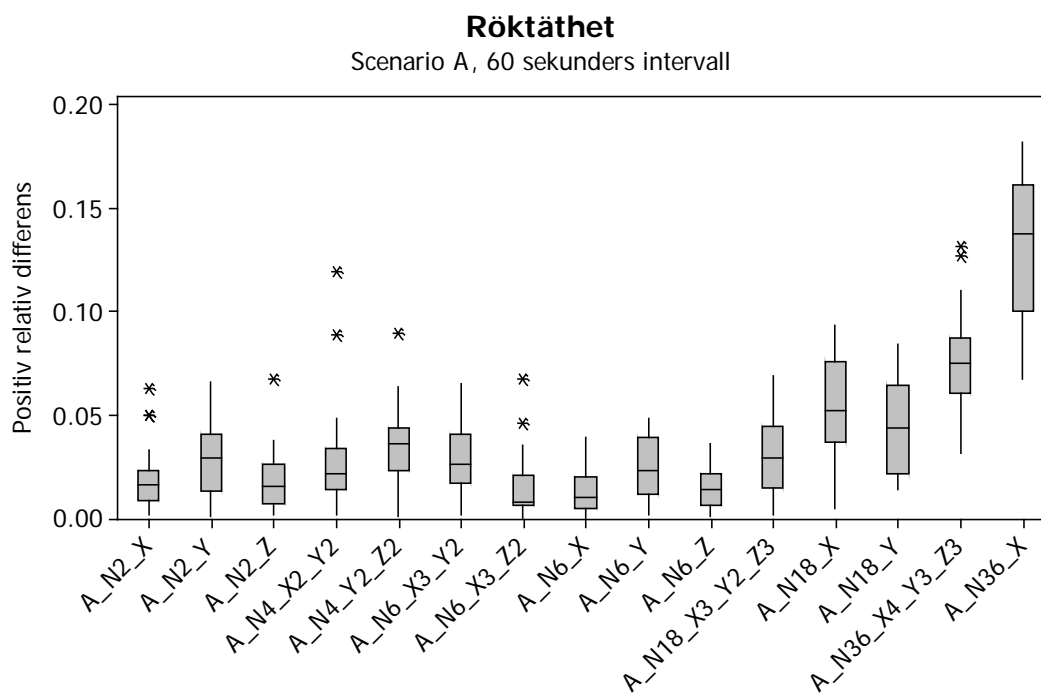
Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
A_N2_X	20	0,0742	0,0965	0,0030	0,0083	0,0396	0,1079	0,3337	2
A_N2_Y	20	0,2256	0,2524	0,0158	0,0259	0,0682	0,4965	0,7256	0
A_N2_Z	20	0,1663	0,1975	0,0071	0,0165	0,0569	0,3445	0,6919	0
A_N4_X2_Y2	20	0,1302	0,1479	0,0085	0,0202	0,0447	0,2809	0,4910	0
A_N4_Y2_Z2	20	0,1764	0,2036	0,0094	0,0241	0,0514	0,3123	0,6535	0
A_N6_X3_Y2	20	0,1276	0,1299	0,0005	0,0229	0,0606	0,2187	0,4270	0
A_N6_X3_Z2	20	0,2358	0,2655	0,0074	0,0119	0,0527	0,5353	0,6437	0
A_N6_X	20	0,1590	0,1767	0,0004	0,0070	0,0608	0,3455	0,4589	0
A_N6_Y	20	0,2032	0,2287	0,0179	0,0268	0,0521	0,4656	0,6565	0
A_N6_Z	20	0,2615	0,2734	0,0005	0,0218	0,1134	0,5218	0,8024	0
A_N18_X3_Y2_Z3	20	0,1897	0,2207	0,0012	0,0127	0,0455	0,4259	0,5767	0
A_N18_X	20	0,0695	0,0975	0,0062	0,0150	0,0240	0,0881	0,3646	2
A_N18_Y	20	0,0724	0,0672	0,0045	0,0171	0,0453	0,1381	0,2300	0
A_N36_X4_Y3_Z3	20	0,0887	0,0679	0,0155	0,0253	0,0885	0,1402	0,2326	0
A_N36_X	20	0,2787	0,1958	0,0772	0,0936	0,2538	0,3898	0,6088	0



Figur D:42 Boxplot med positiv relativ differens för trycke, scenario B, 60 sekunders intervall.

Tabell D:42 Beskrivande statistik för dataunderlaget till tryck, scenario B, 60 sekunders intervall

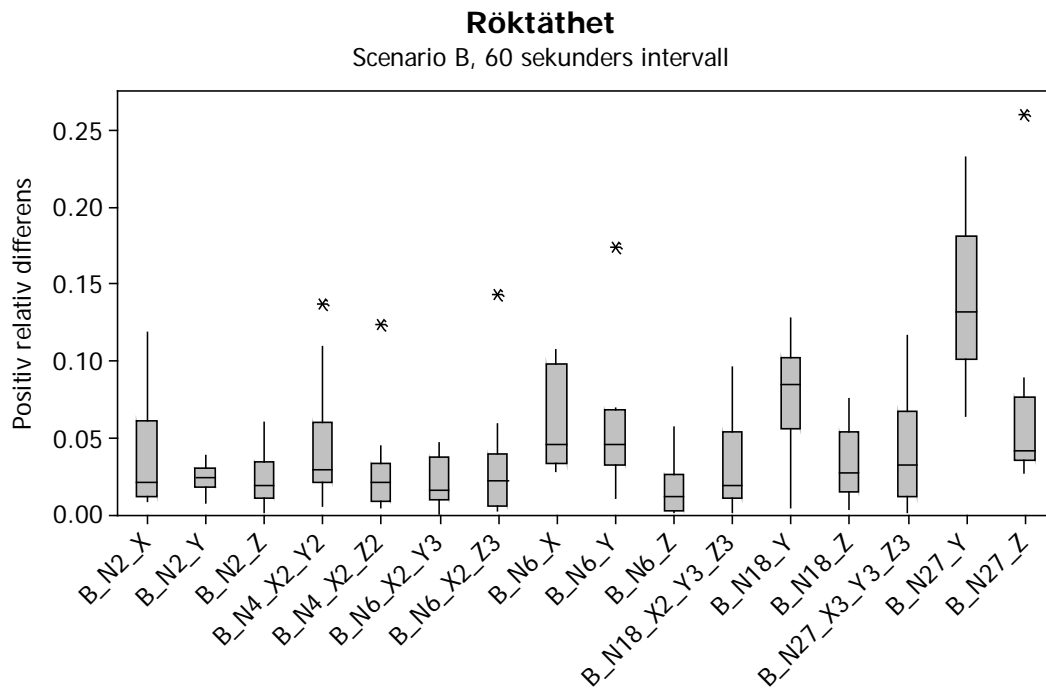
Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	# outliers
B_N2_X	10	0,0194	0,0129	0,0076	0,0086	0,0151	0,0321	0,0435	0
B_N2_Y	10	0,0188	0,0178	0,0014	0,0055	0,0136	0,0309	0,0582	0
B_N2_Z	10	0,0182	0,0108	0,0066	0,0111	0,0148	0,0251	0,0396	0
B_N4_X2_Y2	10	0,0256	0,0235	0,0020	0,0042	0,0206	0,0410	0,0739	0
B_N4_X2_Z2	10	0,0293	0,0180	0,0015	0,0119	0,0323	0,0471	0,0505	0
B_N6_X2_Y3	10	0,0323	0,0242	0,0019	0,0130	0,0279	0,0482	0,0831	0
B_N6_X2_Z3	10	0,0211	0,0193	0,0042	0,0055	0,0136	0,0400	0,0591	0
B_N6_X	10	0,0447	0,0353	0,0080	0,0220	0,0355	0,0546	0,1332	1
B_N6_Y	10	0,0508	0,0481	0,0070	0,0272	0,0333	0,0614	0,1756	1
B_N6_Z	10	0,0382	0,0357	0,0010	0,0185	0,0330	0,0455	0,1280	1
B_N18_X2_Y3_Z3	10	0,0340	0,0382	0,0024	0,0105	0,0212	0,0455	0,1267	1
B_N18_Y	10	0,1133	0,1630	0,0019	0,0112	0,0407	0,1993	0,5085	1
B_N18_Z	10	0,0812	0,0845	0,0134	0,0259	0,0430	0,1448	0,2396	0
B_N27_X3_Y3_Z3	10	0,0437	0,0472	0,0036	0,0114	0,0274	0,0653	0,1541	1
B_N27_Y	10	0,1751	0,2217	0,0070	0,0282	0,0835	0,3163	0,7053	0
B_N27_Z	10	0,1068	0,1219	0,0094	0,0214	0,0476	0,1623	0,3493	0



Figur D:43 Boxplot med positiv relativ differens för röktäthet, scenario A, 60 sekunders intervall.

Tabell D:43 Beskrivande statistik för dataunderlaget till röktäthet, scenario A, 60 sekunders intervall

Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
A_N2_X	20	0,0201	0,0165	0,0015	0,0085	0,0162	0,0230	0,0625	3
A_N2_Y	20	0,0289	0,0179	0,0011	0,0127	0,0292	0,0401	0,0658	0
A_N2_Z	20	0,0183	0,0158	0,0016	0,0069	0,0154	0,0258	0,0672	1
A_N4_X2_Y2	20	0,0289	0,0286	0,0013	0,0140	0,0216	0,0339	0,1193	2
A_N4_Y2_Z2	20	0,0353	0,0208	0,0004	0,0228	0,0361	0,0432	0,0895	1
A_N6_X3_Y2	20	0,0278	0,0173	0,0014	0,0164	0,0260	0,0401	0,0651	0
A_N6_X3_Z2	20	0,0158	0,0170	0,0003	0,0058	0,0080	0,0208	0,0674	2
A_N6_X	20	0,0129	0,0103	<0,0000	0,0045	0,0098	0,0195	0,0387	0
A_N6_Y	20	0,0251	0,0150	0,0013	0,0113	0,0228	0,0388	0,0480	0
A_N6_Z	20	0,0141	0,0098	0,0007	0,0059	0,0138	0,0213	0,0358	0
A_N18_X3_Y2_Z3	20	0,0299	0,0199	0,0016	0,0142	0,0287	0,0440	0,0687	0
A_N18_X	20	0,0536	0,0239	0,0042	0,0368	0,0522	0,0755	0,0931	0
A_N18_Y	20	0,0446	0,0223	0,0135	0,0214	0,0438	0,0641	0,0836	0
A_N36_X4_Y3_Z3	20	0,0773	0,0255	0,0311	0,0605	0,0749	0,0866	0,1315	2
A_N36_X	20	0,1311	0,0328	0,0670	0,0998	0,1371	0,1606	0,1815	0



Figur D:44 Boxplot med positiv relativ differens för röktätet, scenario B, 60 sekunders intervall.

Tabell D:44 Beskrivande statistik för dataunderlaget till röktätet, scenario B, 60 sekunders intervall

Variable	N	Mean	StDev	Mini- mum	Q1	Median	Q3	Maxi- mum	# outliers
B_N2_X	10	0,0360	0,0359	0,0084	0,0109	0,0209	0,0603	0,1181	0
B_N2_Y	10	0,0228	0,0093	0,0067	0,0174	0,0236	0,0294	0,0377	0
B_N2_Z	10	0,0225	0,0185	0,0012	0,0098	0,0185	0,0340	0,0597	0
B_N4_X2_Y2	10	0,0446	0,0432	0,0050	0,0202	0,0289	0,0593	0,1366	1
B_N4_X2_Z2	10	0,0294	0,0351	0,0036	0,0078	0,0203	0,0331	0,1230	1
B_N6_X2_Y3	10	0,0213	0,0165	0,0005	0,0091	0,0151	0,0369	0,0464	0
B_N6_X2_Z3	10	0,0320	0,0425	0,0021	0,0056	0,0214	0,0393	0,1426	1
B_N6_X	10	0,0583	0,0319	0,0275	0,0325	0,0451	0,0980	0,1074	0
B_N6_Y	10	0,0565	0,0448	0,0098	0,0319	0,0456	0,0675	0,1736	1
B_N6_Z	10	0,0163	0,0195	0,0014	0,0017	0,0112	0,0254	0,0569	0
B_N18_X2_Y3_Z3	10	0,0340	0,0332	0,0014	0,0108	0,0188	0,0537	0,0952	0
B_N18_Y	10	0,0783	0,0344	0,0039	0,0552	0,0848	0,1022	0,1273	0
B_N18_Z	10	0,0330	0,0253	0,0031	0,0146	0,0272	0,0532	0,0750	0
B_N27_X3_Y3_Z3	10	0,0408	0,0389	0,0011	0,0118	0,0323	0,0670	0,1163	0
B_N27_Y	10	0,1404	0,0532	0,0639	0,1011	0,1321	0,1813	0,2323	0
B_N27_Z	10	0,0686	0,0700	0,0264	0,0346	0,0407	0,0762	0,2601	1