SKOGSINDUSTRIELLA PROGRAMMET 947

Demonstration av forskning genom miljöoptimering av panna 12 vid Iggesunds bruk

Lars Wrangensten, Rickard Lundborg, Jürgen Jacoby

värmeforsk
VÄRMETEKNISK FORSKNING OCH UTVECKLING

Demonstration av forskning genom miljöoptimering av panna 12 vid Iggesunds bruk

Environmental optimimization of boiler no 12 at Iggesunds Bruk

Lars Wrangensten, Rickard Lundborg, Jürgen Jacoby
ÅF Process AB

S4-422

VÄRMEFORSK Service AB
101 53 STOCKHOLM · Tel 08-677 25 80
Januari 2006
ISSN 1653-1248

Abstract

Två mätserier genomfördes i panna 12 vid Iggesunds bruk, en före och en efter en ombyggnad av pannans murverk. Vid en jämförelse av CO-halten vid de enskilda lastfallen före och efter ombyggnad kan man konstatera att CO-halten totalt sett har blivit lägre efter ombyggnaden förutom i ett lastfall. Vad det gäller NO-halten i rökgasen efter ombyggnaden av murverket har den ökat. Den högsta möjliga ångproduktionen med acceptabla miljödata har ökat från ca 85 t/h upp till ca 100 t/h vilket är en ökning på nästan 20 %.

Sammanfattning

ÅF Process AB har av Värmeforsks skogsindustriella grupp fått i uppdrag att som ett forskningsprojekt miljöoptimera panna 12 vid Iggesunds bruk. Projektet är också samfinansierat med ÅFORSK som bidragit till projektets murverksdel. Energimyndigheten har bidragit med 20 % av kostnaden för murverket, Iggesund Paperboard och murverksleverantören Plibrico AB har också bidragit med egna värdefulla insatser i projektet. Pannan är en ångpanna med fast och rörlig Kablitz-roster och var innan projektet försedd med relativt lite och nedslitet murverk. Den eldas med en mix av bark, bränsleflis och spån. Blandningen håller normalt en TS-halt på runt 50 %. Målet med projektet har varit att miljöoptimera en skogsindustriell barkpanna med tyngdpunkt på att demonstrera ett nytt sk. aktivt murverk baserat på tidigare forskningsresultat inom området.

Projektets målsättning kan sammanfattas i följande punkter:

- Temperaturstabilisering
- Bränslebäddstabilisering
- Gasströmningsstabilisering

Inom projekts ram har första steget med temperaturstabilisering genomförts i och med att ett nytt murverk har installerats i panna 12 vid Iggesunds bruk.

Det nya murverket som är installerat är av s.k. Compoundtyp i två skikt, ytterst ett isolerskikt för att höja temperaturen i murverket och innerst en hetyta mot eldstaden med ett värmelagrande skikt med hög emissivitet eller utstrålning. Detta ger stabilare förhållanden vid laständringar eller när bränslekvalitén snabbt förändras exempelvis när kallt och fuktigt bränsle kommer in i eldstaden. Linjen på vägg närmast rostern är gjuten för att minska friktionen mot bränslet vid frammatningen.

Vid en jämförelse av CO-halten vid de enskilda lastfallen före och efter ombyggnad kan man konstatera att CO-halten totalt sett har blivit lägre efter ombyggnaden förutom i ett lastfall. Den största effekten på CO-halten har murverksbytet vid lägre laster. Igenom den avsevärt ökade mängden murverk i eldstaden har värmeöverföringen till eldstadsväggarna i bäddregionen minskat avsevärt. Speciellt vid låga laster är det viktigt att bädden inte kyls i för hög omfattning av omgivande ytor.

Vad det gäller NO-halten i rökgasen efter ombyggnaden av murverket har den ökat. Ökningen kan bero på att temperaturen i eldstaden generellt har höjts vilket bidrar till ökad NOx i rökgasen. Ökningen kan även bero på att CO-halterna har gått ner vilket också bidrar till högre NOx i rökgasen.

Målet med att minska andelen oförbränt i askorna har inte riktigt uppfyllts. Totalt sett har andelen oförbränt i bottenaskan minskat. Andelen oförbränt i flygaskan verkar ha ökat efter ombyggnaden.

Den högsta möjliga ångproduktionen med acceptabla miljödata har ökat från ca 85 t/h upp till ca 100 t/h vilket är en ökning på nästan 20 %. Förväntningarna i ökad last har alltså överträffats med råge.

Under mätningarna efter murverksbytet kunde det även konstateras att en av de begränsande faktorerna som hindrade en ytterligare lastökning är bland annat pannans förbränningsluftsystem. Vid laster på 110-120 t/h eller högre räcker bland annat inte fläktkapaciteten för kvartärluften till utan syrehalten sjunker och miljödata blir oacceptabla med pannans nuvarande utformning.

För att ytterligare kunna sänka CO-halten i rökgasen vid samtliga lastsituationer samt för att kunna utnyttja murverksbytet för lastökning av pannan bör gasströmmen stabiliseras ytterligare och omblandningen öka i sekundärnivån. Bytet av murverket har medfört en ökning av NO-halten i rökgasen. Den ökningen bör minska om ett nytt luftregister med bättre omblandning i sekundärnivån nivån och rökgasåterföring införs.

I rapporten finns utarbetat förslag till modifieringar av den befintliga pannan för att uppfylla målsättningarna med bäddstabilsering samt stabilisering av gasströmmen i eldstaden.

För att åstadkomma en stabilare gasströmning i eldstaden bör därför sekundärluftnivån kompletteras med ett modifierat kraftigare luftregister och med rökgasåterföring som säkerställer god omblandning redan i sekundärnivån oavsett vilken last driften sker vid. Det föreslagna nya luftregistret har färre och större portar i front- och bakvägg samt motstående mindre bromsportar.

Fläktkapaciteter bör även gås igenom för att med marginal klara de förbränningsluft- och rökgasmängder som krävs vid lastnivåer över cirka 100 t/h biobränsle.

Utöver åtgärderna på luftsystemen bör även bränsleinmatningssystemet och bränslerosten gås igenom att förbättra statusen. För att minska riskerna för genomblåsningar bör tryckfallet över torkrosten ökas. Genom att säkerställa att tryckfallet över torkrosten och inte över bränslebädden, är det dominerande tryckfallet minskar risken för genomblåsningar.

Summary

ÅF Process AB has on behalf of Värmeforsk skogsindustriella group carried out an environmental optimization of boiler no. 12 at Iggesund Paperboard. The project is co-financed by ÅFORSK who has contributed to the refractory part of the project. The Swedish Energy Agency has contributed 20% of the total cost for the refractory, Iggesund Paperboard as well as Plibrico AB also contributed to the project.

The grate of the furnace consists of a fixed section and a movable Kablitzgrate section. Before this project was done, the boiler did not have much refractory and the one existing was rather worn out. The boiler is fired with a mix bark, chips and sawdust. The fuel mix normally has a dry matter content of about 50%. The aim of the project has been to environmentally optimize a bark furnace and to demonstrate that a so-called active refractory, which is based upon earlier research work.

The aim of the project can be summarized in three items:

- Stabilization of the temperature
- Stabilization of the fuel bed
- Stabilization of the gas flow

The temperature has been stabilized within the furnace by reconstructing the refractory at boiler no. 12 at Iggesund Paperboard.

The refractory which has been installed is a so-called compound-refractory in two layers. On the outside an isolating layer acts to increase the refractory temperature, on the inside towards the furnace, a layer acts as heat storage with high emissivity. This results in more stable conditions while changing the load or during rapid changes in the fuel quality, e.g. when wet and cold fuel is fed to the furnace.

The grate line near the wall is casted to decrease the friction between the fuel and the wall.

When comparing the CO-content at various loads before and after the reconstruction took place, it can be seen that the total CO level has decreased for all loads except one. The difference is the largest at low loads. The new refractory material has strongly decreased the heat transfer to the furnace walls in the lower furnace region. Especially at low loads it is essential to prevent to strong cooling of the bed by its surrounding walls.

Concerning the NO level in the flue gas, it can be concluded that this level has risen. The increase may be caused by an overall temperature increase in the furnace. The increase may also depend on the fact that the CO level has decreased.

The goal of decreasing the content of the unburnt in the ash has not completely been fulfilled. The content of unburnt in the bottom ash has in fact decreased while the content of unburnt in the fly ash has increased after the reconstruction.

The highest steam production with acceptable environmental performance has been increased from 85 ton/h to about 100 ton/h which is an increase of almost 20%. The expectations of increased load have therefore been fulfilled with large marginal.

During the performed measurements after the reconstruction, it could also be concluded that the limiting factor to further increase the load is the combustion air system. It could be observed that the fan capacity for the higher combustion air at a load of 110-120 ton/h is not sufficient. This results in a decrease of the oxygen level and the environmental performance decreases as well.

To further decrease the CO in the flue gases at all loads and to make use of the refractory for load changes, the flue gas flow needs to be stabilized and mixing needs to be improved in the secondary air level. The increased NO level in the flue gases are expected to decrease when mixing is improved and flue gas recirculation is applied.

This report contains a proposal to modify the existing furnace which is expected to stabilize both the fuel bed and the flue gas flow.

The secondary air level should be modified in such a way that stronger air / flue gas recirculation jets improve the mixing. This should be independently of the furnace load. The proposed air system has less air ports but larger areas on the front and rear wall as well as smaller opposing air ports.

Fan capacity should also be adapted in order to be sufficient for load levels above 100 ton/h.

Besides the proposed measures for the air system, the fuel feeding line and the fuel grate should be modified. The pressure drop over the grate should be increased to minimize the risk of free-blows. The dimensioning pressure loss in order to reduce the risk of free-blows must be over the grate and not over the fuel bed.

Innehållsförteckning

1 INLEDNING 1

1.1 BAKGRUND 1
1.2 MÅL 3

2 MÄTNINGAR 4

2.1 MÄTPOSITIONER OCH PANNGEOMETRI 4
2.1.1 Studerade lastfall 6
2.2 DRIFTDATA FRÅN MÄTNINGAR FÖRE OMBYGGNADEN 6
2.2.1 Bränsleanalys och driftdata 7

3 MATEMATISKA SIMULERINGAR 11

3.1 MATEMATISKA SIMULERINGAR - RESULTAT 14
3.1.1 Sekundär- och tertiärluft 14
3.1.2 Kvartärluft 16
3.1.3 Strömningsprofilen i eldstaden 17

4 TEORIER KRING INFÖRANDE AV ETT NYTT MURVERK I P12 18

4.1 LASTFALL 18
4.2 NORMAL LAST - FULLAST 18
4.3 NORMAL LAST - DELLAST 19
4.4 START MED VARM INFODRING 20
4.5 LASTSÄNKNING 20
4.6 LASTÖKNING 20
4.7 STÖRNINGAR 21
4.7.1 Snabba förändringar av bränslets fukthalt 22
4.7.2 Stopp i bränsleinmatningen 22
4.7.3 Bäddras 22
4.7.4 Snabba förändringar av bränslets värmevärde 22
4.7.5 Långsamma förändringar av fukthalten 23
4.8 FÖRDELAR OCH NACKDELAR 23

5 INFÖRANDE AV NYTT AKTIVT MURVERK I P12 24

5.1 FÖRVÄNTADE EFFEKTER AV OMBYGGNADEN 27
5.2 KOSTNADER FÖR NYTT MURVERK 27

6 RESULTAT AV MURVERKSOMBYGGNADEN 28

6.1 UPPFÖLJANDE MILJÖMÄTNINGAR 28
6.2 DRIFTDATA AV MÄTNINGAR EFTER OMBYGGNADEN 28
6.3 JÄMFÖRELSE MELLAN MÄTNINGARNA 32

7 ÖVRIGA FÖRBRÄNNINGSTEKNISKA ÅTGÄRDER 40

7.1 BRÄNSLETILLFÖRSEL 41
7.1.1 Bränsleninmatningen 41
7.1.2 Bränslerostern 42
7.2 MODIFIERINGAR PÅ SEKUNDÄR OCH TERTIÄRLUFT 43
7.2.1 CFD-simulering föreslag till modifieringar på sekundär och tertiärluft 44

8 FÖRSLAG TILL FORTSATTA OMBYGGNADER OCH MODIFIERINGAR 50

9 SLUTSATSER 51

9.1 SLUTSATSER AV MURVERKSBYTE 51

10 LITTERATURREFERENSER 54

FIGURLISTA

Figur 1: Skiss på försöksrigg med utbytbart murverkstak för test av torkförloppet på rörlig bränslebädd. 2
Figur 2: Värmefoto som visar att kiselkarbid har hög temperatur i torkzonen med tidig förbränning i försöksriggen och låga emissioner av CO som följd. 2
Figur 3: Modell av P12 för den matematiska simuleringen. 4
Figur 4: Övre och nedre mätplan på P12, Iggesund 5
Figur 5: Skiss av mätpositionerna sett från ovan. 6
Figur 6: Ångflöde för lastfallen 1 till 4. 8
Figur 7: Rökgastemperatur före överhettare för lastfallen 1 till 4. 9
Figur 8: Syrgas- och kolmonoxidkoncentration i rökgasen för lastfallen 1 till 4. 10
Figur 9: Reaktionsschema för beräkning av förbränningen av metan och koloxid i beräkningen. 11
Figur 10: Modell av pannan. 12
Figur 11: Exempel av indata för CFD beräkning för lastfall 1 13
Figur 12: Strömlinjer från tertiärluften. 14
Figur 13: Strömlinjer från sekundärluften. 15
Figur 14: Hastighetsprofil vid kvartärluft. 16
Figur 15: Hastighetsprofil i tvärsnittet av eldstaden. 17
Figur 16: Värmeöverföring till infodringen av en eldstad vid stationära förhållanden. 19
Figur 17: Värmeutbytet vid start med varm infodring och kall bränslebädd. 20
Figur 18: Värmeöverföring vid lastökning 21
Figur 19: Bild från revision maj 2003. 24
Figur 20: Skiss över nytt installerat murverk. 26
Figur 21: Rökgastemperatur före överhettare för lastfallen 1 till 4. 29
Figur 22: Ångflöde för lastfallen 1 till 4. 30
Figur 23: Syrgas- och kolmonoxidkoncentration i rökgasen för lastfallen 1 till 4. 31
Figur 24: CO-halten i rökgasen för lastfallen 1 till 4 före och efter ombyggnad. 32
Figur 25: CO-halten i rökgasen för lastfall 1 och 2 före och efter ombyggnad. 34
Figur 26: CO-halten i rökgasen för lastfall 3 och 4 före och efter ombyggnad. 35
Figur 27: Ångproduktion vs. rökgastemperatur för maxlast före och efter ombyggnaden. 36
Figur 28: CO-halten i rökgasen vid max ångproduktion vid lastfall 3 före ombyggnad och lastfall 1 efter ombyggnad. 37
Figur 29: NO-halten i rökgasen för lastfallen 1 till 4 före och efter ombyggnad. 38
Figur 30: Strypbrickor på torkrost. 43
Figur 31: Placering av tertiärluftdysorna. 45
Figur 32: Hastighetsprofil vid tertiärluft. 46
Figur 33: Hastighetsprofil i mitten av eldstaden. 48
Figur 34: Hastighetsprofil i mitten av eldstaden. 48
Figur 35: Temperaturprofil i mitten av eldstaden. 49
Figur 36: Temperaturprofil i mitten av eldstaden. 49
Figur 37: Konfigurering av nytt luftregister. 50

Figur 38: CO-halten i rökgasen för lastfallen 1 till 4 före och efter ombyggnad. 52
Figur 39: Ångproduktion vs. rökgastemperatur för maxlast före och efter ombyggnaden. 52

TABELLISTA

Tabell 1: Bränsle- och askanalys för lastfall 1 till 4. 7
Tabell 2: Bränsle- och askanalys för lastfall 1 till 4. 28
Tabell 3: Bränsleanalys för maxlast före och efter ombyggnaden. 37
Tabell 4: Sammanställning över halten oförbränt i askan före ombyggnaden. 39
Tabell 5: Sammanställning över halten oförbränt i askan efter ombyggnaden. 39
Tabell 6: Sammanställning över randvillkoren som användes för CFD analysen. 47

Bilagor

A UTVÄRDERING MÄTDATA FÖRE OMBYGGNAD

B UTVÄRDERING MÄTDATA EFTER OMBYGGNAD

1 Inledning

1.1 Bakgrund

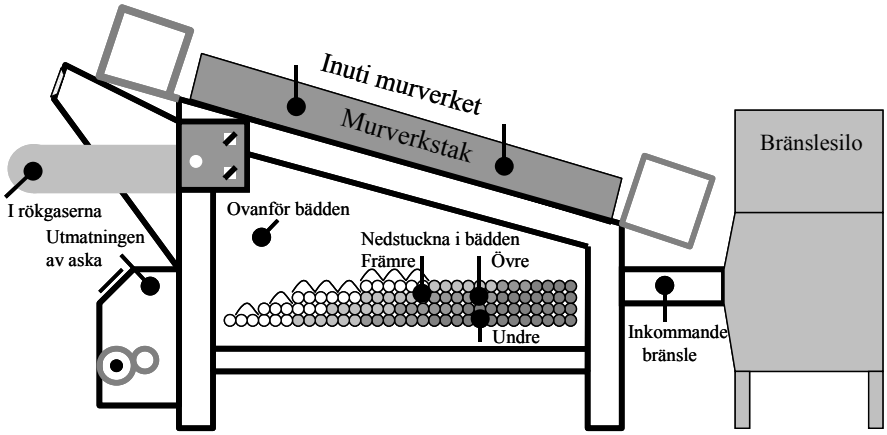
ÅF-Energi & Miljö har sedan 1997 genomfört ett stort forskningsprogram med titeln ”Möjligheter att förbättra driften i skogsindustrins barkpannor genom optimerad förbränningsteknisk styrning”. Iggesund Paperboard i Iggesund har i detta forskningsprojekt (Värmeforskrapport nr 710) deltagit med panna 12 (ca 100 ton ånga/h, 60 bar, 450°C) som en av 4 typpannor för att studera förbättringspotentialen med avseende på strömningsförhållandena i pannorna för att kunna minimera emissionerna av olika ämnen, speciellt under transienta lastförhållanden. Iggesundspannan har efter detta tidigare Värmeforskprojekt i egen regi till viss del modifierats och bl.a. kompletterats med nytt kvartärluftregister men dock ej infört någon rökgasrecirkulation. Efter dessa modifieringar kvarstod fortfarande problem med tidvis höga CO-halter samt också höga halter av oförbränt i flygaskan. NOx-halterna låg normalt kring ca. 55 mg/MJ men tidvis upp emot 75 mg/MJ. Pannan var också känslig för lastvariationer och varierande bränslesammansättning.

I programmet ingick ett utvecklingsprojekt kring hur nya typer av murverksmaterial kan användas i pannor och ugnar för att förbättra förbränningen och därmed minska emissionerna. Tidigare erfarenheter visar dels att olika typer av murverk behövs i olika delar av pannan och dels att fler och mer avancerade murverk med ett avsevärt dyrare inköpspris kan medföra lägre driftskostnader och därmed bättre totalekonomi för pannan.

Murverksprojektet har omfattat en serie projektetapper där olika murverkstyper och även möjligheter att använda stödbrännare studerats. De olika projektetapperna är alla avrapporterade inom Värmeforsks rapportserie;

”Aktiva Murverk – Etapp 1” rapport nr 743 [Ref 1]
”Aktiva Murverk – Etapp 2” rapport nr 780 [Ref 2]
”Bäddbrännare för rosterpannor rapport nr 764 [Ref 3]
”Tester av torkeffekten på rörlig bränsleroster med nya murverk i testrigg - Aktiva murverk och brännare - Etapp 2B” rapport nr 817 [Ref 4]

Den sista projektetappen innebar tester i en för projektet uppbyggd försöksrigg enligt Figur 1.

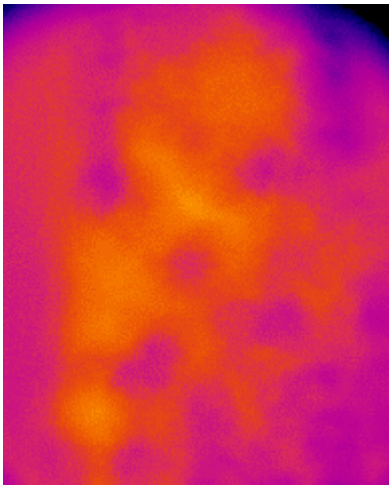


Figur 1: Skiss på försöksrigg med utbytbart murverkstak för test av torkförloppet på rörlig bränslebädd.

Figure 1: Sketch of test facility with movable refractory liner ceiling for study of fuel drying on a moving grate.

Olika typer av murverk i det utbytbara murverkstaket testades under i övrigt konstanta förhållanden vid förbränning av bränsleflis på rörlig rosterbädd.

Projektet visade på en rad intressanta egenskaper för olika murverksmaterial. Exempelvis finns det en koppling mellan förbättrat torkförlopp på förbränningsrostern och lägre emissionsnivåer av kolmonoxid. Värmekamera nyttjades även vid försöken som tydliggör skillnader mellan tork- och förbränningsförloppen för olika murverkstyper.



Figur 2: Värmefoto som visar att kiselkarbid har hög temperatur i torkzonen med tidig förbränning i försöksriggen och låga emissioner av CO som följd.

Figure 2: Infrared photo showing silicon carbide at a high temperature in the drying zone with early combustion in the test facility and low Co emissions as a result.

Värmefotot i Figur 2 visar att kiselkarbid har hög temperatur i torkzonen med tidig förbränning i försöksriggen och låga emissioner av CO som följd.

Mot bakgrund av dessa projektresultat föreslogs föreliggande demonstration och införande av bättre och nya murverkstyper i panna 12 vid Iggesunds Bruk.

1.2 Mål

Målet med projektet är att miljöoptimera en skogsindustriell barkpanna i samband med ordinarie revisionsperiod för att kunna förbränna för skogsindustrin intressanta bränslemixer samt att tillämpa nyvunnen kunskap vid en ombyggnad av en fullstor anläggning med avseende på alla praktiska aspekter vid valet av murverk, både ekonomiska såväl som tekniska egenskaper. Basen för projektet är FoU-resultat inom flera olika Värmeforskprojekt inom området.

För att fastlägga dagens förbränningssituation i eldstaden har en utvärdering gjorts av den komplettering med kvartärluftssystem som är utförd. I denna utvärdering har dels en mätning gjorts för att fastställa temperatur och strömningsförhållanden inne i eldstaden och dels en ny simulering av pannan med dessa mätningarna som grund. Vidare har ytterligare simuleringar gjorts där effekten av införande av rökgasrecirkulation.

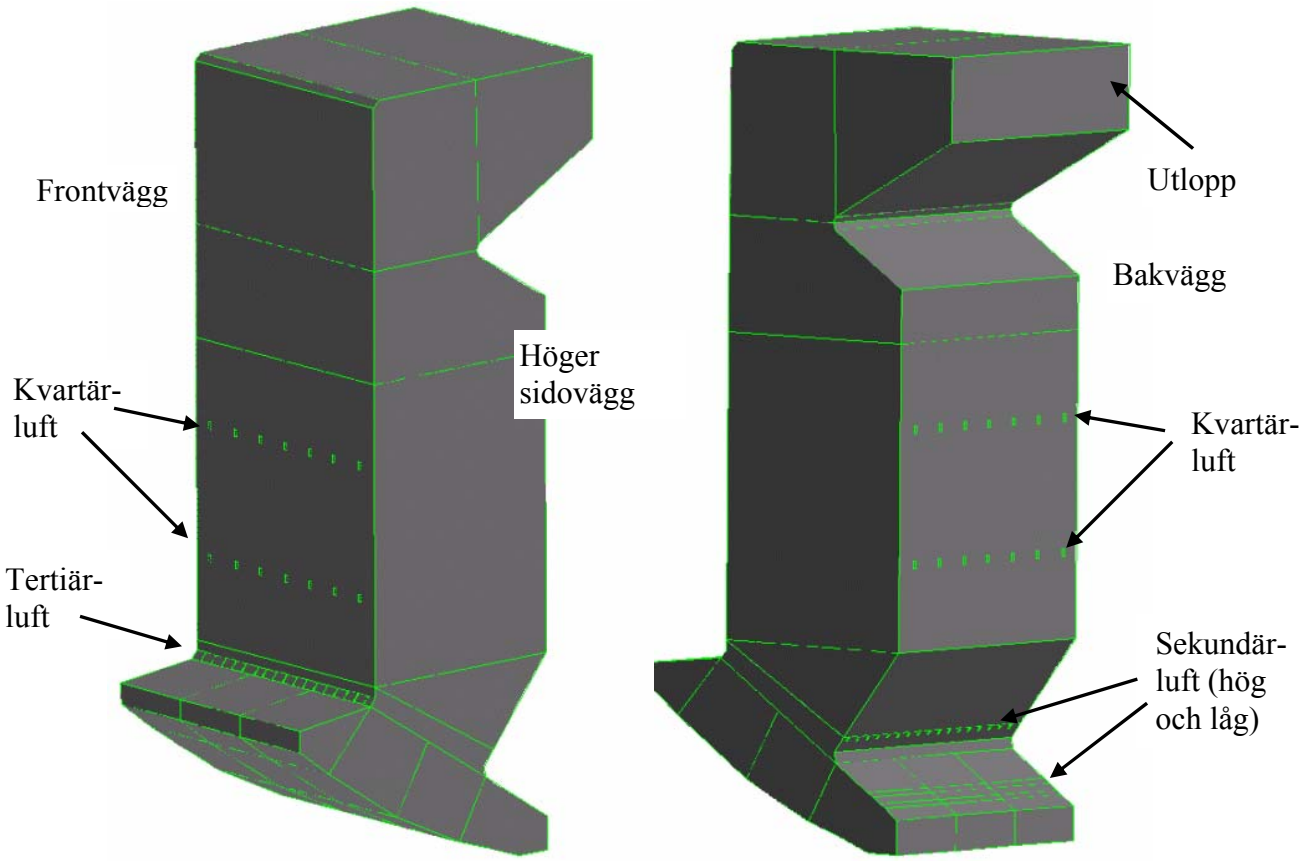
Med simuleringarna som grund utarbetades ombyggnadsförslag för modifiering av pannan. Målsättningen var att förbereda pannan för att kunna elda en stor variation av bränslen med bibehållna goda miljöemissioner. I ombyggnadsförslagen togs hänsyn till yttre förutsättningar och ekonomiska aspekter för att ge ombyggnaden bästa möjliga totalekonomi med avseende på investering och driftekonomi.

2 Mätningar

Inledande genommätning av pannan gjordes innan ombyggnad under vecka 17 2004. Uppföljande mätningar efter ombyggnad och inmurning av pannan gjordes vecka 37 under hösten 2005 och redovisas under resultatavsnittet nedan. Sugpyrometrar används för tagning av gasprov. Termoelement användes för temperaturmätningarna.

2.1 Mätpositioner och panngeometri

Figur 3 beskriver modellen som har används i datorsimuleringarna. Figurerna används här för beskrivning av mätpositionerna och nomenklaturen.

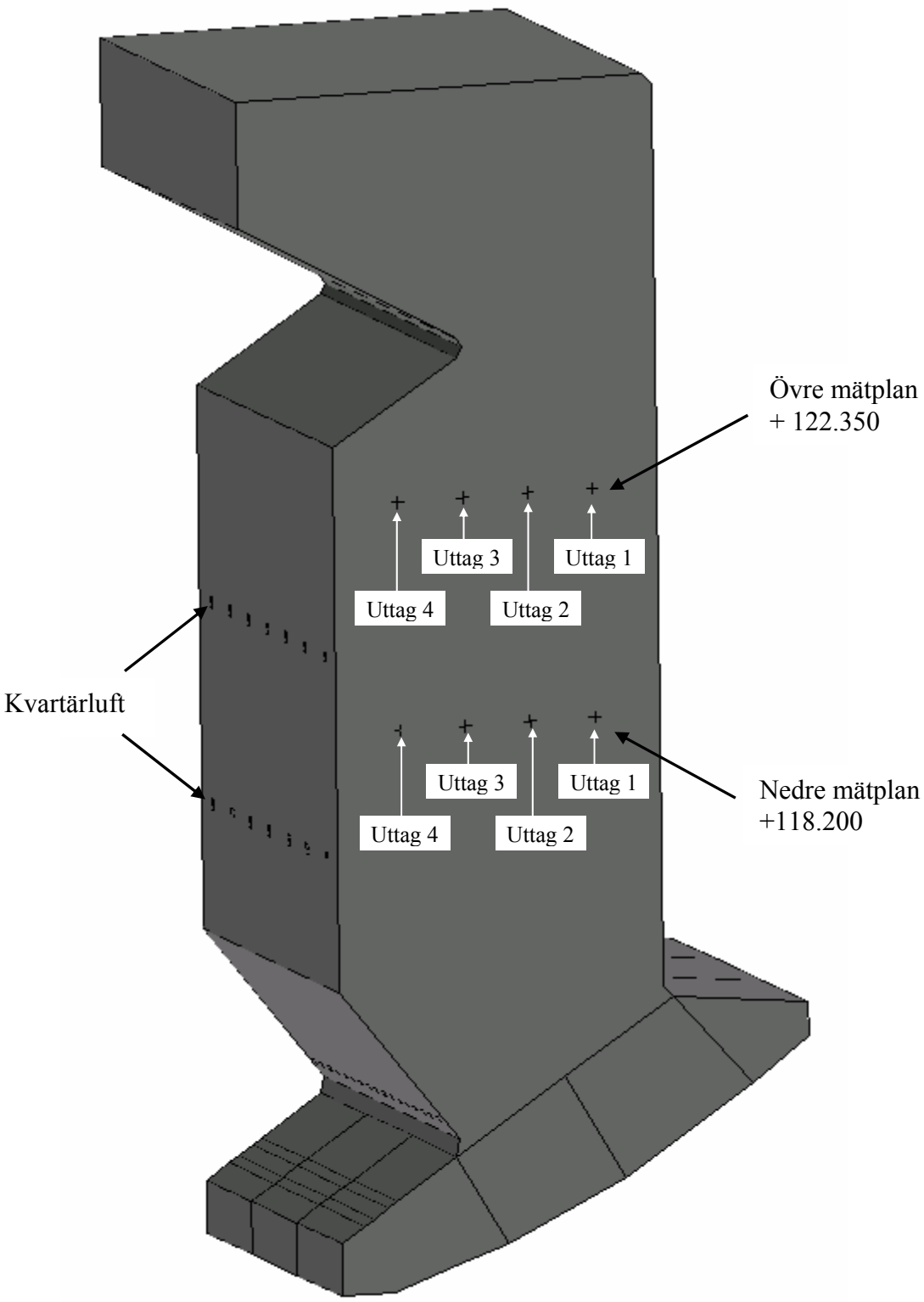


Figur 3: Modell av P12 för den matematiska simuleringen.

Figure 3: Model of P12 for the mathematical simulation.

De nedre regionerna av pannan är uppdelade i tre delar, detta för att kunna modellera effekten av en snedfördelning av bränslet på bädden.

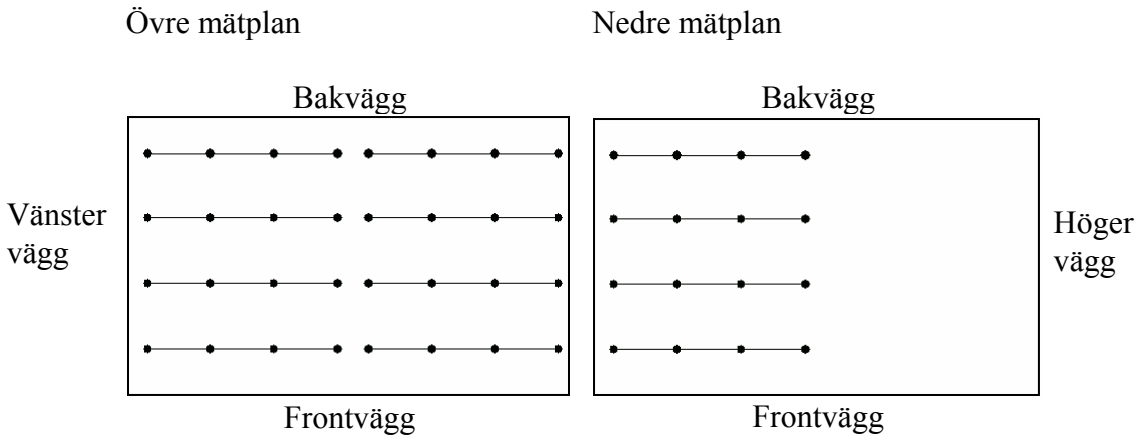
Figur 4 visar båda mätplanerna samt de positioner där mätningarna genomfördes. Sett från ovan kan mätpunkterna illustreras enlig Figur 5.



Nomenklatur: uttag 1-närmast frontväggen; uttag 4-närmast bakväggen

Figur 4: Övre och nedre mätplan på P12, Iggesund

Figure 4: Upper and lower measurement level at P12, Iggesund.



Figur 5: Skiss av mätpositionerna sett från ovan.

Figure 5: Sketch of measurement positions in top view.

2.1.1 Studerade lastfall

Mätningar genomföres våren 2004 samt uppföljande mätningar hösten 2005. Mätningar är genomförda vid fyra olika lastfall. Vid varje mätning av de enskilda lastfallen har pannans last och andra ”yttre förhållanden” försökt hållas så stabila som möjligt.

Lastfall 1 - Normallast med normal bränsleblandning.
Lastfall 2 - Dellast med normal bränsleblandning.
Lastfall 3 - Höglast med bränsleflis i bränsleblandningen.
Lastfall 4 - Lastfall med hög andel barrbark i bränsleblandningen.

För varje lastfall togs bränsle-, bottenask- och flygaskprov som redovisas nedan.

Samtliga mätdata för mätningar med sugpyrometer inne i eldstaden för samtliga lastfall finns sammanställda i bilaga A och bilaga B.

2.2 Driftdata från mätningar före ombyggnaden

Medan mätningarna genomfördes loggades ett stort antal driftdata i kontrollrummet som sedan användes för framtagandet av randvillkorena för de matematiska beräkningarna. Tabell 1 sammanfattar bränsleanalysen och halten oförbränt i botten- och flygaskan. En sammanställning av driftdata under respektive försök visas i Bilaga A.

Figur 6 till Figur 8 visar rökgastemperaturen, ångflödet, O_2- och CO-halten i rökgasen för varje försök i löpande tid.

2.2.1 Bränsleanalys och driftdata

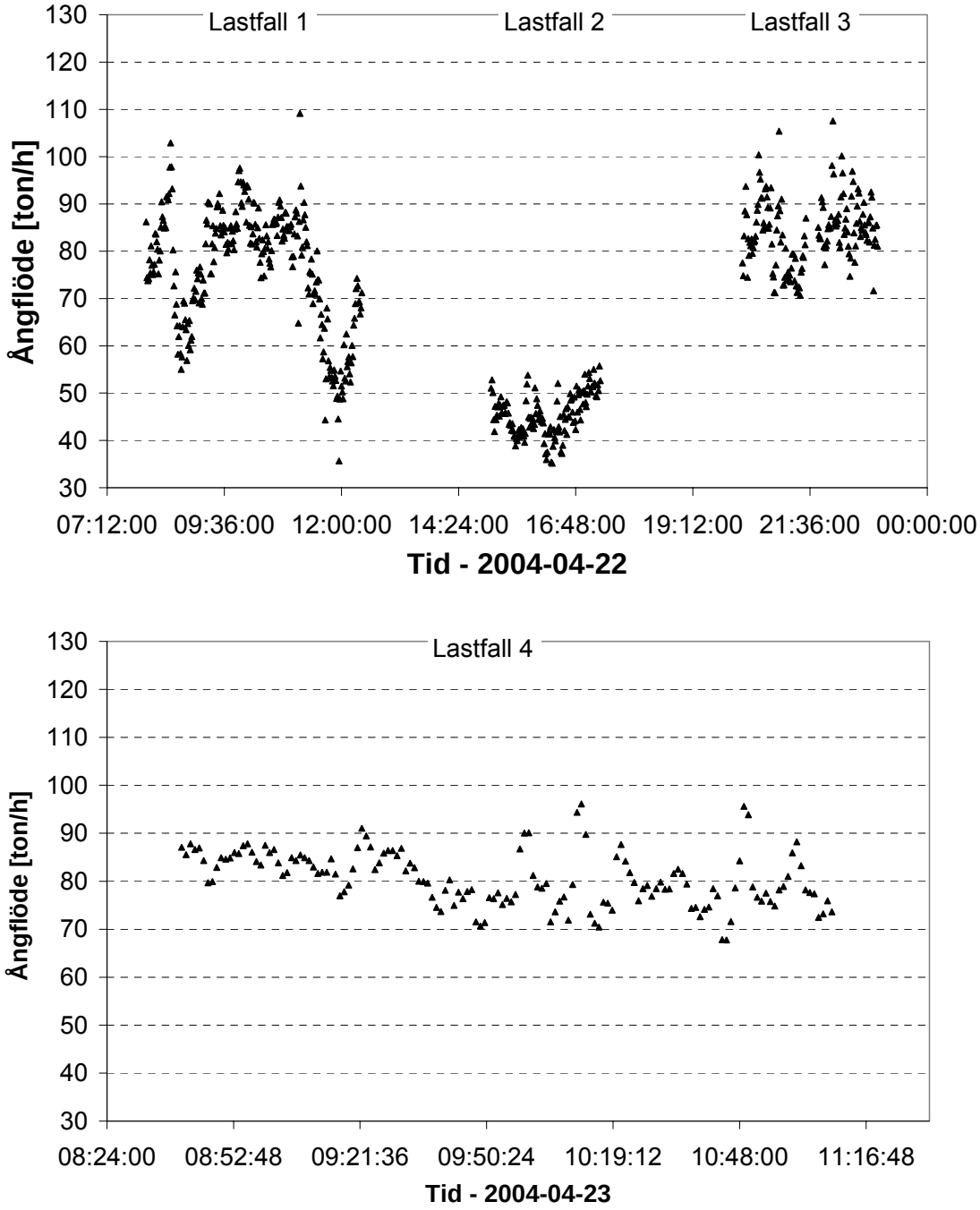
Tabell 1 sammanfattar bränsle- och askanalysen för samtliga lastfallen.

Tabell 1: Bränsle- och askanalys för lastfall 1 till 4.

Table 1: Fuel and ash analysis for load 1 to 4.

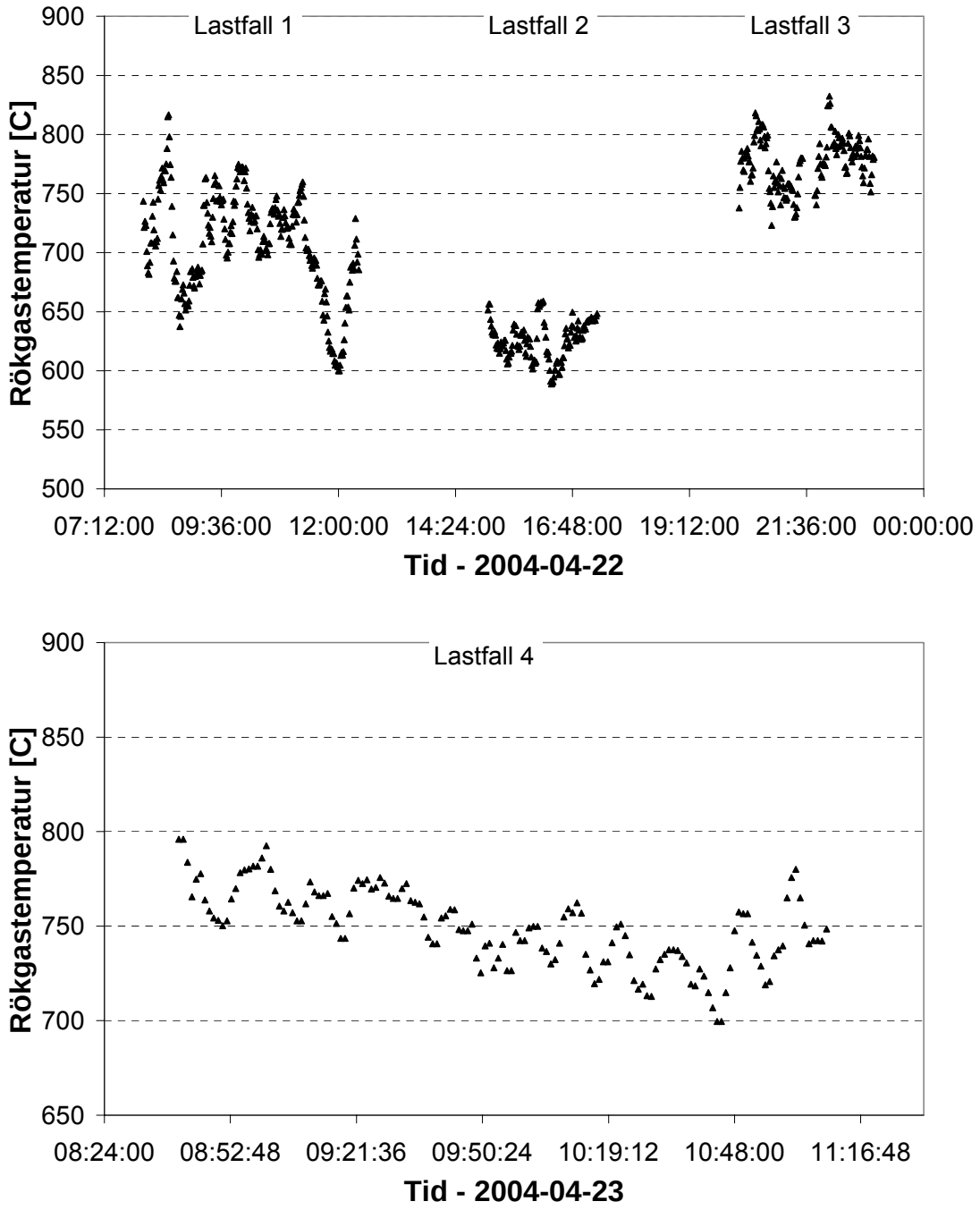
	Lastfall 1	**Lastfall 2**	**Lastfall 3**	**Lastfall 4**
C %	24,5	27,4	26,6	25,7
H %	8,9	8,6	8,7	8,7
N %	0,1	0,1	0,1	0,1
O %	64,72	62,03	63,12	63,85
Total fukt %	54,5	48,7	50	50,9
Askhalt %	1,8	1,8	1,5	1,6
Värmevärde MJ/kg	9,46	10,89	10,395	10,376
Oförbränt i bottenaska % TS	3,2	3,5	5,2	3,2
Oförbränt i flygaska % TS	<0,1*	<0,1*	<0,1*	1,8

* Osäkra mätvärden. På grund av problem på laboratoriet vid analysen av flygaskan bör analysen av andelen oförbränt i flygaskan vid lastfall 1-3 betraktas som högst osäkra mätvärden.



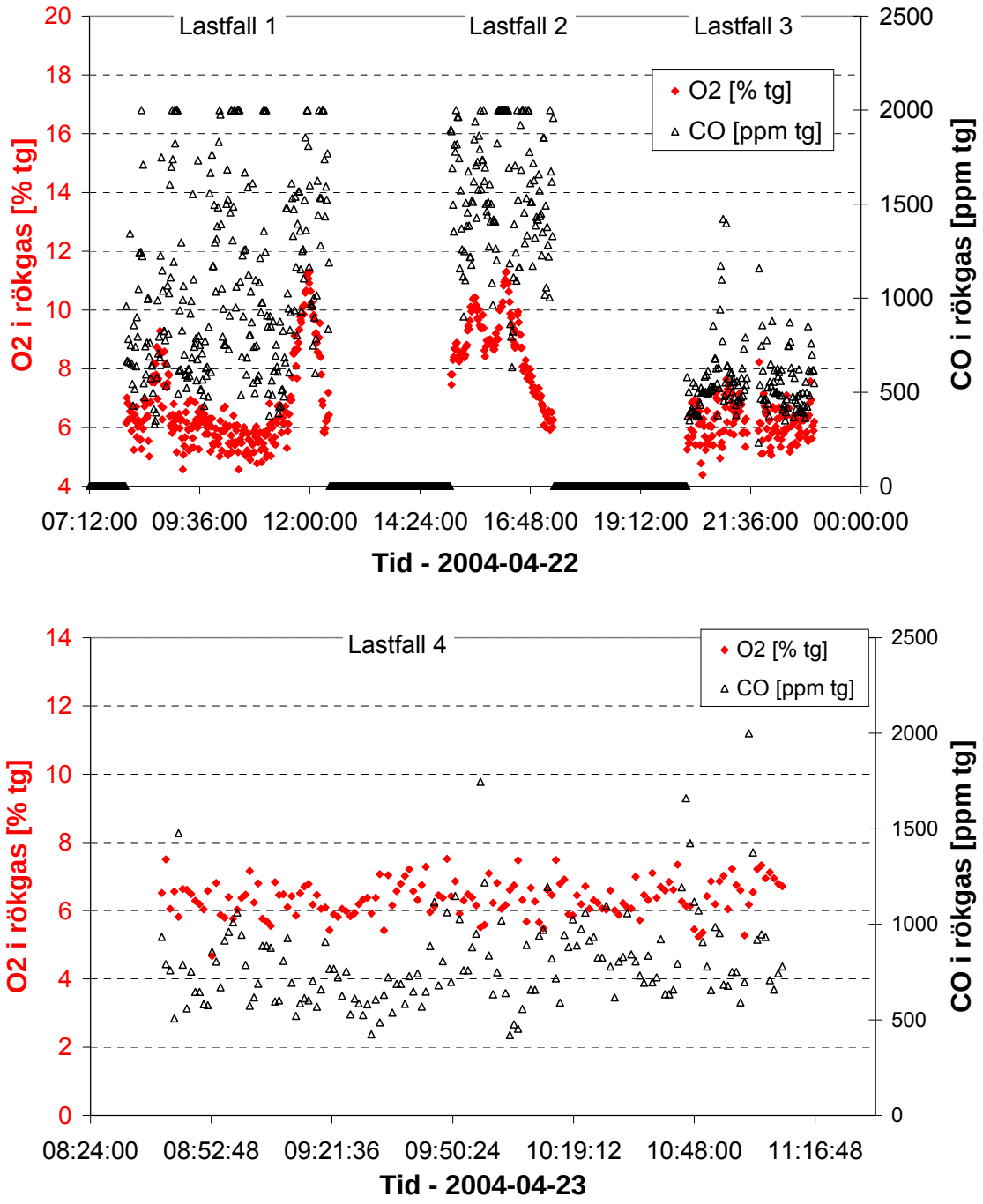
Figur 6: Ångflöde för lastfallen 1 till 4.

Figure 6: Steam production for load 1 to 4.



Figur 7: Rökgastemperatur före överhettare för lastfallen 1 till 4.

Figure 7: Flue gas temperature upstream of superheater for load 1 to 4.



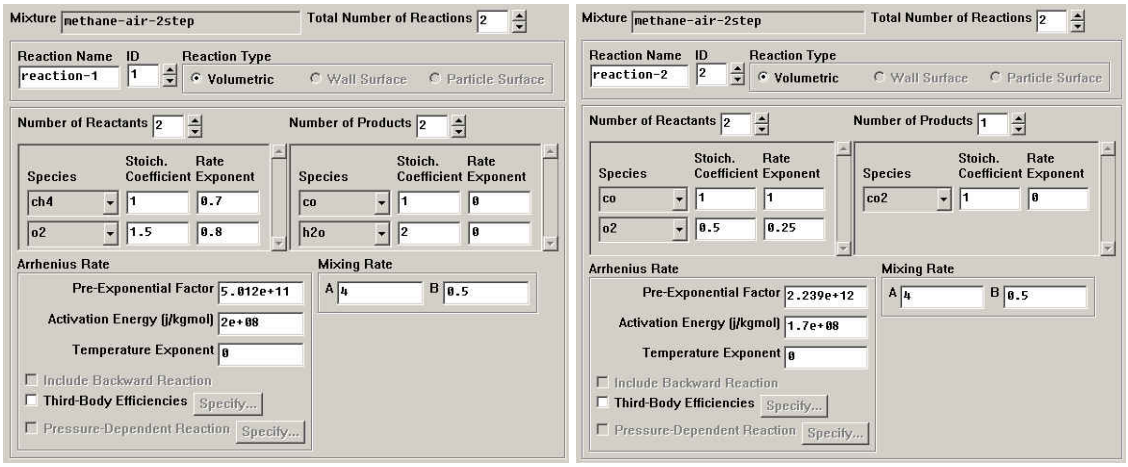
Figur 8: Syrgas- och kolmonoxidkoncentration i rökgasen för lastfallen 1 till 4.

Figure 8: Oxygen and carbon monoxide concentration in flue gas for load 1 to 4.

3 Matematiska simuleringar

För att kunna utföra en CFD-beräkning krävs en geometrisk modell av det man vill studera. Modellen delas in i beräkningsceller som fyller upp hela volymen där strömningsberäkningen skall utföras. I varje beräkningscell löses ekvationerna för massa och energi. Lösningen erhålles genom ett iterativt beräkningsförfarande.

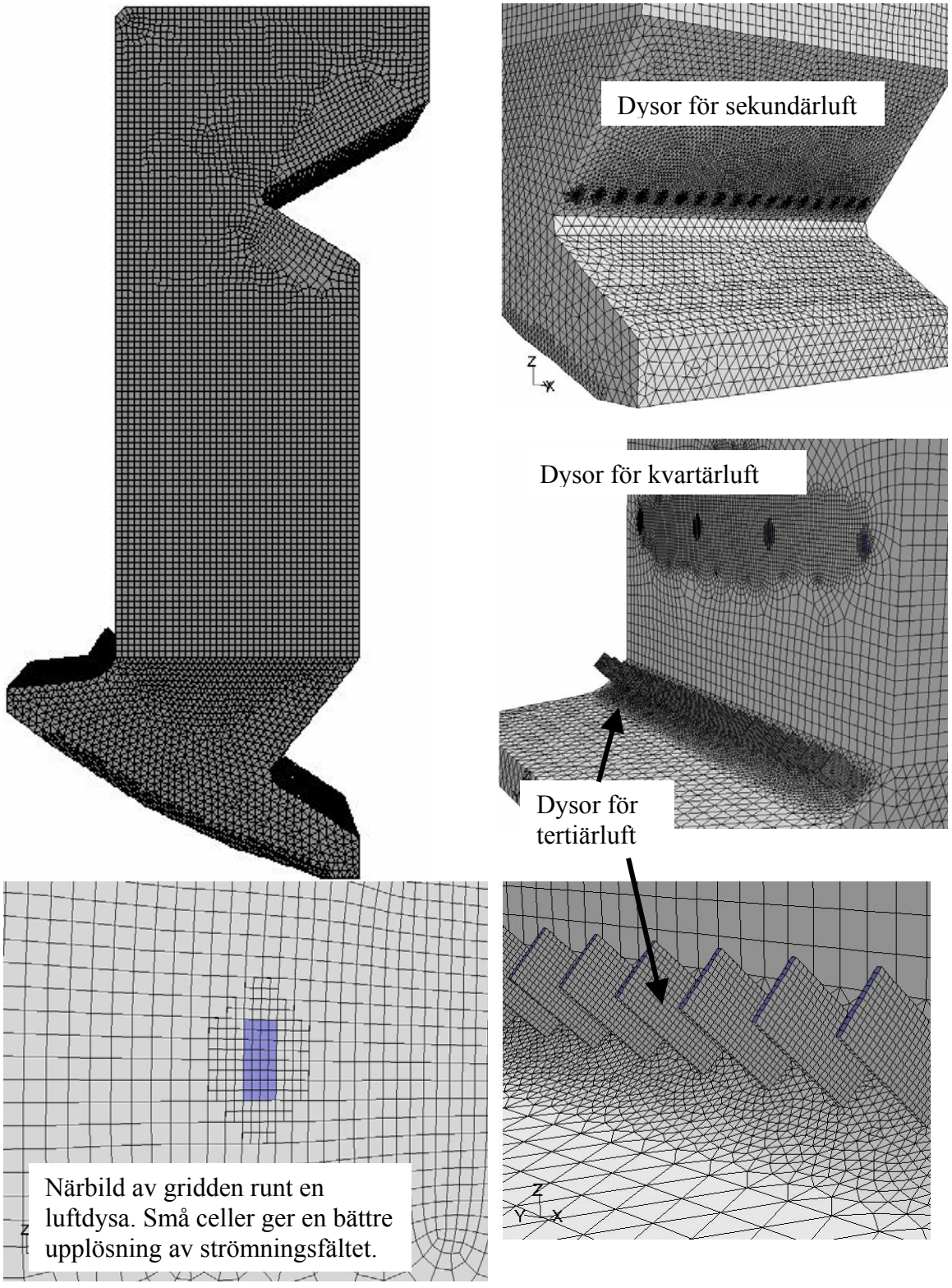
Beräkningarna kräver s.k. randvillkor. Randvillkoren anger tillstånd och massflöde vid in- och utlopp för beräkningsmodellen samt temperatur och egenskaper för modellens väggar. Modellen innehåller även en modell för förbränning med metan och koloxid som bränsle. Figur 9 visar de valda reaktionerna för modellering av förbränningen. Den vänstra bilden beskriver omvandling av metan till koloxid och vatten, den högra bilden visar oxidation av koloxid till koldioxid.



Figur 9: Reaktionsschema för beräkning av förbränningen av metan och koloxid i beräkningen.

Figure 9: Reaction scheme for modeling the combustion of methane och carbon monoxide in the calculations.

I detta fall har modellen av pannan indelats i ca 1 000 000 beräkningsceller. Medan beräkningen pågår kan en beräkningscell delas upp i flera celler av mindre storlek, detta möjliggör att man uppnår en mycket detaljerad bild av strömningsförhållandena i pannan. Denna teknik kallas för dynamisk adaptering och används för samtliga simuleringar som genomförts i detta projekt. Celler av olika storlek används i modellen. Cellerna är mindre vid luftportarna där det ”händer mycket” strömningsmässigt och växer sedan i storlek mot utloppet. Figurerna nedan visar beräkningsceller vid luftportar och på väggar samt modellen som helhet. I figurena framgår hur beräkningscellerna minskar i storlek runt en luftport.



Figur 10: Modell av pannan.

Figure 10: Model of the furnace.

Det är mycket viktigt att man anger korrekta randvillkor och egenskaper för mediet för att man skall få ett tillförlitligt beräkningsresultat. Indata för beräkningarna togs delvis

från data från kontrollrummet under mätperioden samt från bränsleanalysen. Figur 11 nedan visar i ett exempel hur beräkningen gjordes. För varje lastfall måste massandelen metan, syre, koldioxid, koloxid och vatten beräknas. Detta gjordes med hjälp av:

- data från kontrollrummet (luftflöden och temperaturer)
- energibalans för beräkning av bränsleflödet
- bränsleanalys

Från dessa tre utgångspunkter beräknades randvillkoren för varje lastfall.

Lastfall 1, 04-04-22, 08.00-12.25.00

Kontrollrum	Flöde		Flöde		Temperatur	
Övre torkluft	3596	Nm3/h	1,274	kg/s	251,4	C
Nedre torkluft	9256	Nm3/h	3,278	kg/s	251,4	C
Kablitzluft	27356	Nm3/h	9,689	kg/s	175,9	C
Låg sek.luft	20	Nm3/h	0,007	kg/s	15,5	C
Hög sek.luft	1670	Nm3/h	0,591	kg/s	15,5	C
Tert.luft	22	Nm3/h	0,008	kg/s	15,5	C
Kvart.luft	13740	Nm3/h	4,866	kg/s	15,5	C
Oljeluft 1-4	6893	Nm3/h	2,441	kg/s	38,41	C

Bränslesammansättning

	g/kg TS	g /kg tot	%	kg/s	kmol/s
C	245	111,5	11,148	0,985	0,0820
H	89	40,5	4,050	0,358	0,3550
N	0,1	0,0	0,005	0,000	0,0000
S	0	0,0	0,000	0,000	0,0000
O	647,2	294,5	29,448	2,602	0,1626
Aska	18	8,2	0,819		
Fukt	0	545,0	54,500	4,816	0,2673
Summa	999	1000	99,96815	8,761	0,8670

Bränsleflöde	kg/s	8,836
Askhalt	%	1,8
Fukthalt	%	54,5
Total H2O	kg/s	4,82
Värmevärde	MJ/kg	9,46
Askfri bränsle	kg/s	8,677
Energi in	MW	83,59

	Torkzon		Kablitzzon			
	1	2	1	2	3	4
Luft kg/s	1,2736	3,2783	4,1642	1,7756	2,0745	1,6743
Total massflöde kg/s	4,2547	5,1841	6,0706	3,2678	3,0433	1,9675
Temp [C]	251,40	251,40	175,90	175,90	175,90	175,90
Ämnesflöde från bränsle kg/s						
CH4	0,0197	0,1579	0,1382	0,0789	0,0000	0,0000
CO2	0,0722	0,0722	0,2166	0,5053	0,3609	0,2166
CO	0,0000	0,0000	0,1723	0,2412	0,1723	0,1034
O2_bränsle	0,0000	0,0000	-0,0267	-0,0267	-0,0267	-0,0267
H2O_fukt	2,8892	1,4446	0,4815	0,0000	0,0000	0,0000
H2O_förbränning	0,0000	0,2311	0,9245	0,6934	0,4622	0,0000
N2_luft	0,9776	2,5164	3,1965	1,3630	1,5924	1,2852
O2_luft	0,2960	0,7619	0,9678	0,4127	0,4821	0,3891
Mass fraction	T1	T2	K1	K2	K3	K4
CH4	0,005	0,030	0,023	0,024	0,000	0,000
O2	0,070	0,147	0,155	0,118	0,150	0,184
CO2	0,017	0,014	0,036	0,155	0,119	0,110
CO	0,000	0,000	0,028	0,074	0,057	0,053
H2O	0,679	0,323	0,232	0,212	0,152	0,000
N2_luft	**0,230**	**0,485**	**0,527**	**0,417**	**0,523**	**0,653**
Prov	**1,000**	**1,000**	**1,000**	**1,000**	**1,000**	**1,000**
	Torkzon		**Kablitzzon**			
	1	**2**	**1**	**2**	**3**	**4**

Figur 11: Exempel av indata för CFD beräkning för lastfall 1.

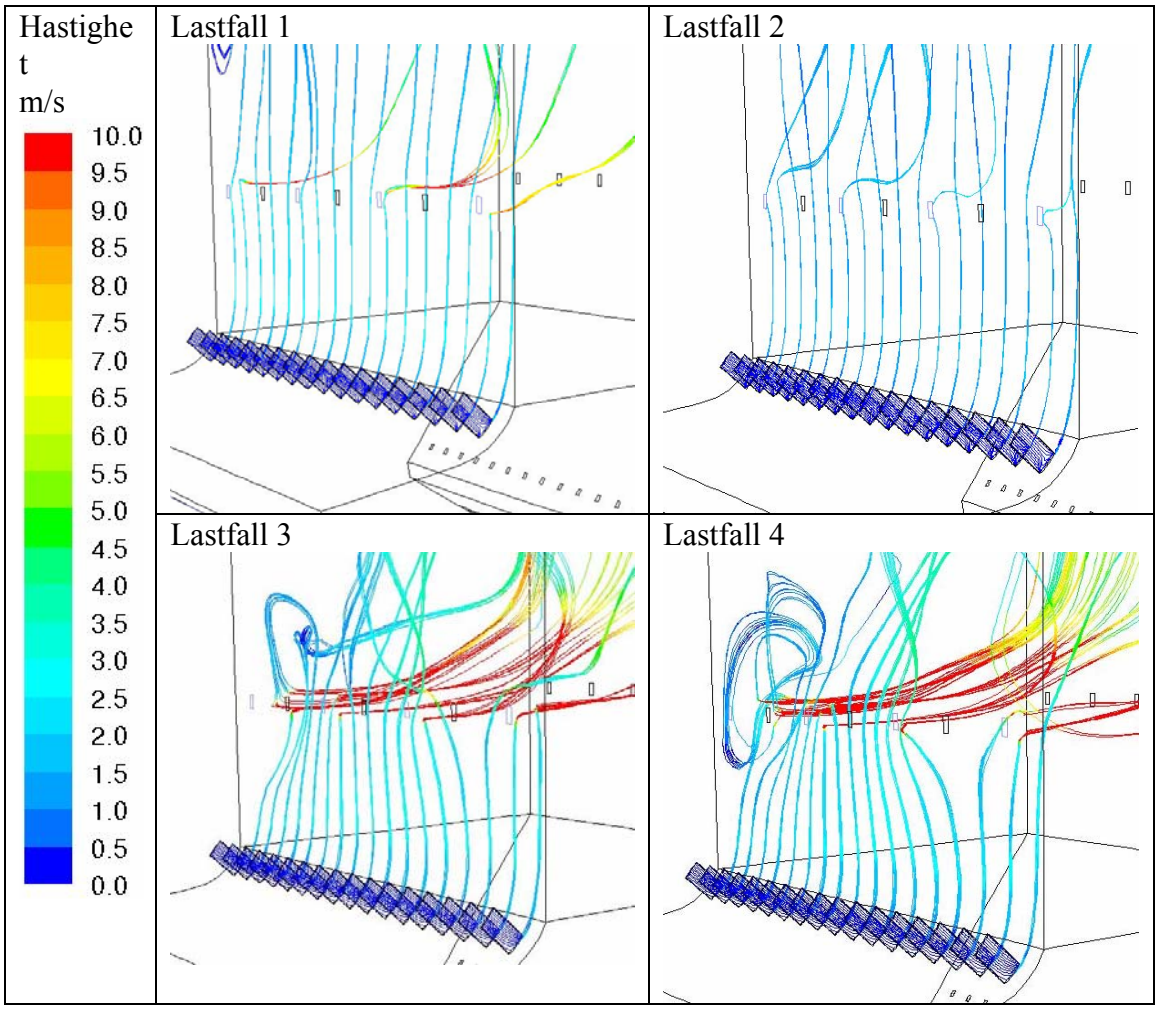
Figure 11: Example of boundary conditions for CFD analysis for load 1.

3.1 Matematiska simuleringar - resultat

För varje lastfall genomfördes en CFD analys enligt den metoden som finns beskriven i föregående stycke. Ett stort antal simuleringar har genomförts och utvalda resultat redovisas här.

3.1.1 Sekundär- och tertiärluft

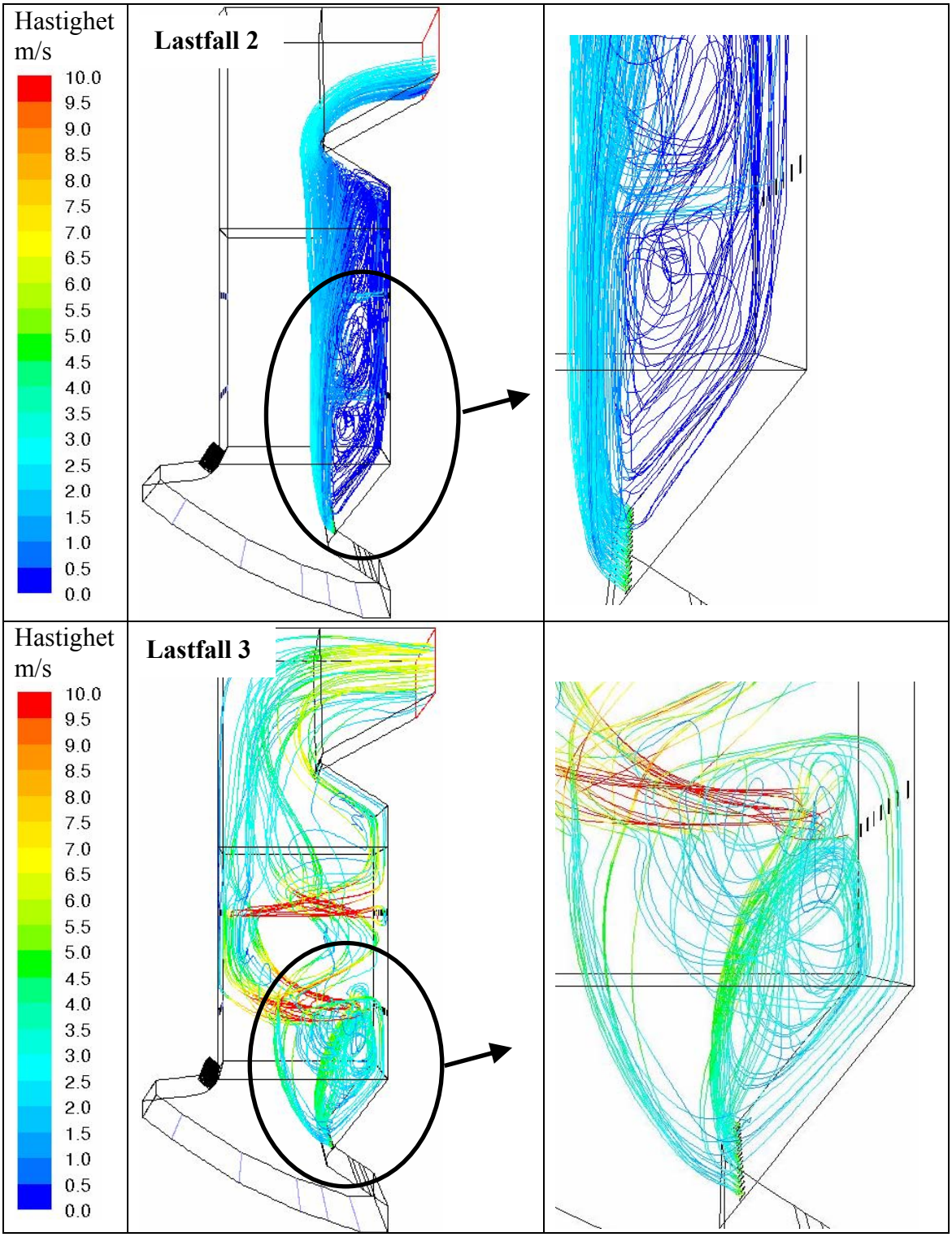
Figur 12 visar strömlinjerna från tertiärluften för fyra beräknade lastfall. För samtliga driftförhållanden kan konstateras att inträngningsdjupet av luftstrålen in i eldstaden är lågt. Det betyder att omblandningen av den tillsatta tertiärluften och rökgasen är mycket svag. Tertiärluften följer strömningsfältet upp längs väggen, en del av luften medryckt sedan av kvartärluften. Detta varierar dock förstås med mängden kvartärluft som tillsätts.



Figur 12: Strömlinjer från tertiärluften.

Figure 12: Path lines from the tertiary air level.

Figur 13 visar en motsvarande bild för strömlinjerna från den höga sekundärluften för lastfall 2 och 3. För båda lastfallen kan en recirkulation ovanför halsen identifieras.



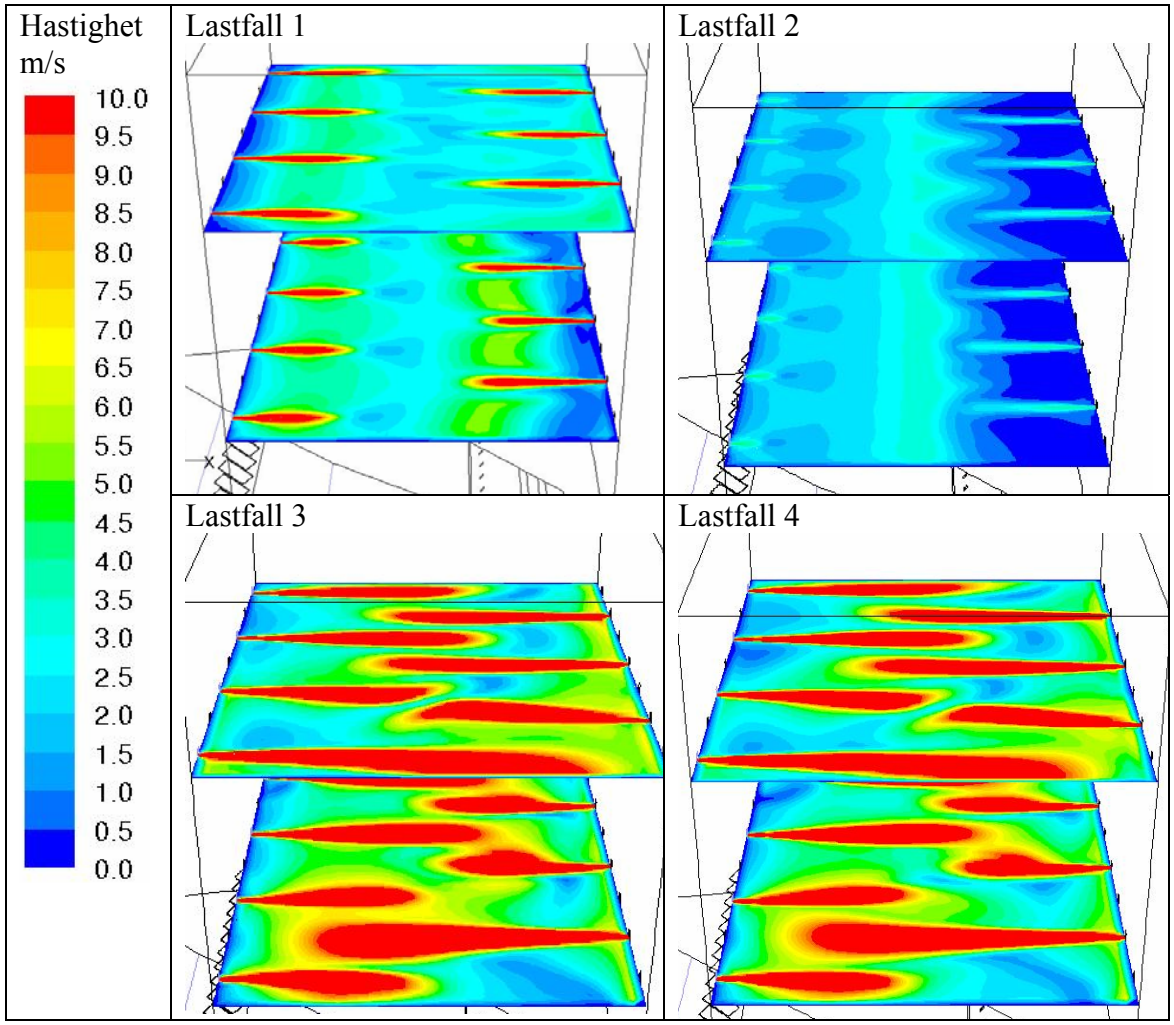
Figur 13: Strömlinjer från sekundärluften.

Figure 13: Path lines from the secondary air level.

Kvartärluften i lastfall 3 är dock såpass starka att dessa luftstrålar begränsar recirkulationen i sin vertikala utsträckning.

3.1.2 Kvartärluft

Figur 14 visar hastighetsprofilen i två snitt som ligger på samma höjd som det nedre och övre kvartärluftregistret. Bilderna visar att inträngningsdjupet varierar kraftig med respektive massflöde genom dysorna. Ändå kan konstateras att registren fungerar väl och bra omblandning av rökgasen med kvartärluften sker. För lastfall 2 kan dock sägas att strålarna är något för svaga för att åstadkomma en bra inträngning. Detta resulterar i en stråkbildning i mitten av eldstaden som syns över hel tvärsnittet.

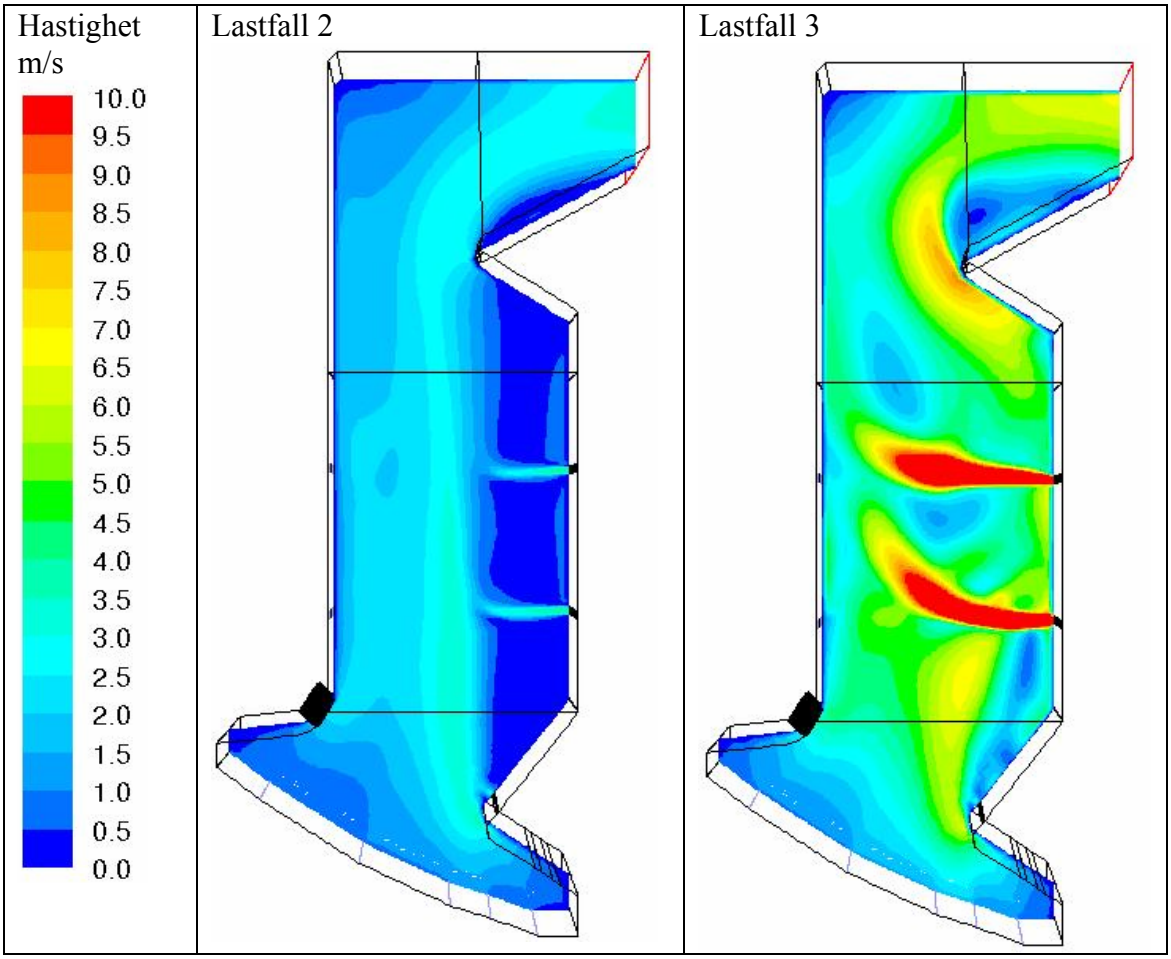


Figur 14: Hastighetsprofil vid kvartärluft.

Figure 14: Velocity profile at quarter air level.

3.1.3 Strömningsprofilen i eldstaden

Figur 15 visar hastighetsprofilen i mitten av eldstaden för lastfall 2 och 3. Dessa två lastfall har valts ut eftersom dessa representerar väl strömningsfältet i pannan. En bra inträngning av kvartärluften kan konstateras för lastfall 3. Samma slutsats kan dras för lastfall 1 och 4. För lastfall 2 är penetrationen för kvartärluftstrålarna inte perfekt, detta beror på att luftflödet i kvartärluften för lastfall 2 inte räcker till för att skapa samma goda penetration som i övriga lastfall.



Figur 15: Hastighetsprofil i tvärsnittet av eldstaden.

Figure 15: Velocity profile at middle section of the furnace.

Däremot kan konstateras att strömningsfälten vid den bakre väggen samt efter pannans näsa inte är optimalt.

4 Teorier kring införande av ett nytt murverk i P12

I detta kapitel behandlas de egenskaper hos keramiska infodringar som är önskvärda i en pannanläggning med utgångspunkt från lastfall och störningsfall, för att förbättra förbränningen och minska emissionerna.

4.1 Lastfall

Genom att välja keramiska material med olika egenskaper, för pannor som körs olika och utsätts för olika typer av störningar, kan miljöprestanda för pannorna påverkas såväl i positiv som negativ riktning. Det är därför av stor vikt att identifiera de last- och störfall som är aktuella vid val av infodring av ugnar och eldstäder. Beroende på typ av anläggning kan olika lastfall och störningar identifieras.

Infodringen i en eldstad kan byggas upp på olika sätt för att påverka pannans prestanda. Genom att bygga upp infodringen med allt för stora mängder material kommer det att krävas stora mängder värmeenergi vid uppeldningen av pannan för att kunna värma infodringen. Detta kan leda till att miljöprestanda under uppstarter försämras genom att bränslebädden och rökgaserna strålar mot infodringen alternativt att uppeldningstiden utan biobränsle i pannan förlängs. I vissa fall, till exempel vid en lasttransient, kan det vara önskvärt med stora mängder lagrad värme i infodringen. Detta medför i sin tur en tröghet som påverkar eldstaden negativt under den tid då infodringen värms upp och till dess den intar ett jämviktsläge. Vid det slutliga valet av infodring måste även hänsyn tas till andra egenskaper såsom komponenter i rökgasstråket, mekaniska egenskaper, mm.

4.2 Normal last - fullast

Normal fullast kännetecknas av att lasten är konstant, bränslets egenskaper inte förändras, och att bränsletillförseln är stabil. I detta fall är strålningen till de omgivande väggarna den viktigaste faktorn som påverkar bränslebädden. En allt för stor kylning medför en försämrad förbränning. Vid detta lastfall är också strålningen mot bränsleinloppet viktigt för att torka det inkommande bränslet.

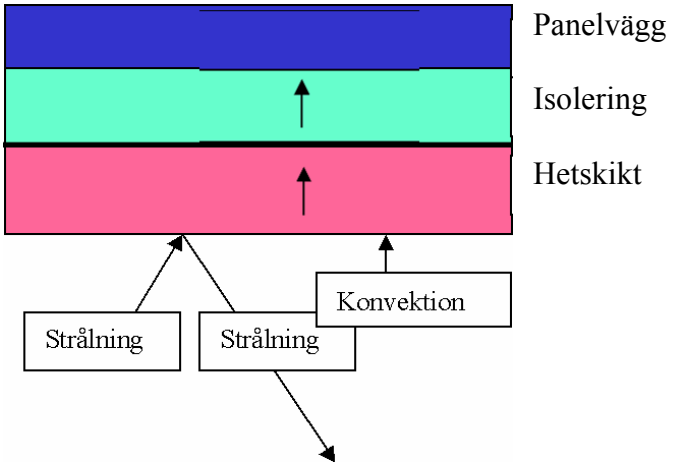
I normalfallet kan man anta att konvektionen och ledningen genom inmurningen är av samma storleksordning. Som en god approximation kan det också antas att i princip all strålning reflekteras mot inmurningen tillbaka till bränslebädden. Under alla omständigheter är strålningen och reflektionen betydligt större än konvektionen. Detta medför en förenkling av analysen av murverket och dess inverkan på processen i ”steady state”-tillstånd, det vill säga konvektionen har en marginell betydelse.

I det fall då en panna oftast går under fullast är det alltid av godo att de ytor som omger rostern är väl isolerade. Genom en god isolering av de omgivande ytorna kyls såväl gaser som bränslebädd endast i en begränsad omfattning.

I den mån det är möjligt, är det fördelaktigt att strålning tillförs torkzonen på rostern. Genom att bränslet torkas tidigt säkerställs en god efterföljande förbränning. Då ett

"steady state" tillstånd råder, det vill säga då anläggningen är uppeldad, kommer i princip all strålning från förbränningen att reflekteras tillbaka mot infodringen.
Teoretiskt skulle det ideala materialet i detta fall vara ett isolerande material med låg värmeledning och låg värmekapacitet. Då det gäller emissivitet och reflektion har dessa egenskaper en underordnad betydelse. Då ett "steady state" tillstånd råder är den egenskap som styr avkylningen av bränslebädden och rökgaserna *värmeledningen genom* infodringen.

Då en panna eller eldstad körs under stationära förhållanden kan värmetransporterna i eldstaden förenklat beskrivas enligt Figur 16 nedan. Pilarna representerar mängden värme som strålar in mot ytan och som strålar ut från ytan. Då pannan är i stationär drift är instrålningen lika stor eller i samma storleksordning som strålningen ut från ytan.



Figur 16: Värmeöverföring till infodringen av en eldstad vid stationära förhållanden.

Figure 16: Heat transfer to ceramic surface in a furnace at steady state condition.

I detta fall är alltså instrålningen ungefär lika stor som utstrålningen från väggen.

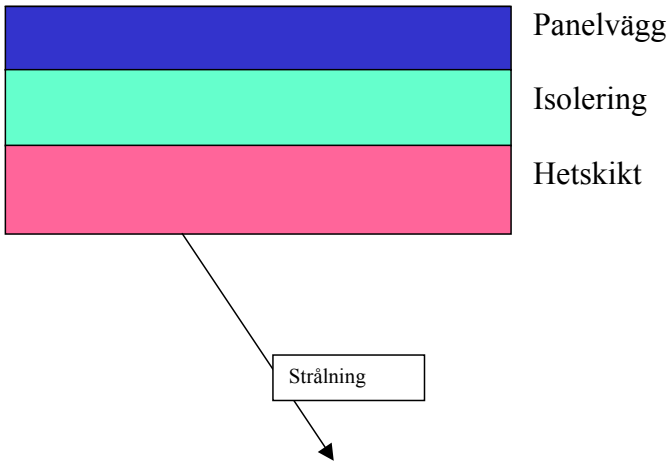
4.3 Normal last - dellast

Vid dellast gäller samma som för fullast. Här är det ännu viktigare att bädden inte kyls i för hög omfattning. Orsaken till detta är att den omgivande ytan är relativt sett större i relation till lasten än i fullastfallet. Detta leder till att väggen kan uppta relativt sett större mängd värme om den inte är rätt dimensionerad.

För stationär dellast gäller samma förhållanden vad avser strålningen som redovisas i Figur 16 ovan.

4.4 Start med varm infodring

Vid start av en panna skulle det vara fördelaktigt om infodringen var varm för att hjälpa till att torka bränslet och för att minska behovet av att värma infodringen. I Figur 17 visas värmeutbytet vid infodringen.



Figur 17: Värmeutbytet vid start med varm infodring och kall bränslebädd.

Figure 17: Heat exchange when starting up with warm ceramic wall and cold fuel bed.

4.5 Lastsänkning

Vid lastsänkningar är det fördelaktigt om en begränsad mängd värme förs bort från rökgaserna. Detta för att säkerställa slutförbränning. Detta görs genom att en god isolerande massa läggs på de ytor som omger rostern. Samtidigt är det önskvärt att ”släcka” förbränningen på rostern för att minska produktionen av oförbrända gaser såsom CO, THC och PAH. För att minska produktionen av oförbrända gaser på rostern skulle de omgivande ytorna därmed behöva kunna uppta och bortföra värme snabbt. Detta skulle kunna göras genom att infodringen kyls med exempelvis luft och därmed upptar värme från rostern.

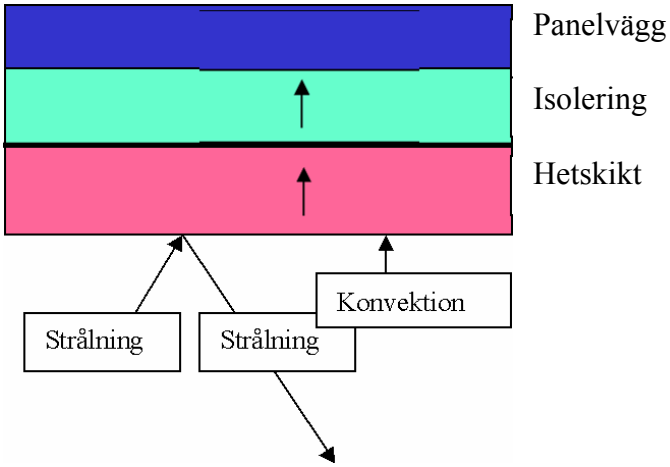
Dessa två mekanismer, isolerande massa för att säkerställa slutförbränningen respektive kylning av murverket för att minska gasproduktionen, är oförenliga, varför studier måste göras för att utröna vilken mekanism som påverkar förbränningen mest ur ett miljöperspektiv.

4.6 Lastökning

Vid lastökningar kommer en större bränslemängd in i eldstaden. Genom att lagrad värme från omgivande infodringar strålar mot bränsleinmatningen torkar bränslet snabbare. En snabb torkning medför, enligt ovan, att bränslet hinner brinna ut och att mindre oförbränt lämnar eldstaden.

Ett alternativ till lagrad värme i torkzonens infodring är, att tillbakastrålning av värme sker från senare sektioner av rostern, där förbränning sker, till bränsleinloppet via reflektion i väggar och tak. Detta förutsätter naturligtvis att förbränning förekommer på rostern. I princip är då strålning från omgivande ytor en fördel om osäkerhet finns att förbränning fortgår. Intensiteten i strålningen från förbränningen, då sådan förekommer, är förmodligen större än den strålning som de omgivande väggarna avger. I Figur 18 redovisas principerna för strålningen vid en lastökning. Strålning faller in mot infodringen från de delar av bränslebädden där förbränning sker. Strålningen reflekteras och emitteras från den varma infodringen till bränslebädden i torkzonen om den är kall och ingen förbränning sker där. Utstrålningen från murverket kan således bli större än instrålningen.

Då pannan är i kontinuerlig drift så är alltid de murade väggarna uppvärmda. Teoretiskt skall det ideala materialet i detta fall ha egenskaper som hög emissivitet, högt specifikt värme, hög densitet och god isolering mot bakomliggande kylande ytor såsom panelväggar. Detta betyder att infodringen lämpligen byggs upp av två lager. Hetskiktet som är närmast rostern skall då ha hög emissivitet, högt specifikt värme och hög densitet. Det inre lagret skall ha egenskaper som låg värmeledning och lågt specifikt värme och låg densitet.



Figur 18: Värmeöverföring vid lastökning

Figure 18: Heat transfer during increasing load.

4.7 Störningar

Alla anläggningar utsätts för någon typ störningar i större eller mindre omfattning. I många fall är det störningar som medför den största miljöpåverkan. Att bygga bort orsakerna till störningar är naturligtvis den bästa åtgärden då så är möjligt. Alla störningar går dock inte att förebygga. Alternativet är att på något sätt påverka processen; i detta fall med murverk med olika egenskaper.

Förutsättningarna för att effekterna av de flesta störningarna skall kunna minskas är att murverket är ”laddat” med värme som kan stråla mot bränslebädden för att torka denna.

4.7.1 Snabba förändringar av bränslets fukthalt

Vid snabba förändringar av bränslets fukthalten behövs främst mer värme i torkzonen för att torka det inkommande bränslet. Genom en sämre torkning föreligger risker för att bränslet inte bränns ut. Värme för detta skulle kunna tas från de ytor som omger rostern det vill säga de murade valven. För att kunna göra detta krävs en hög emissivitet hos murmassan samt en ”tillräckligt” stor lagrad värmemängd vid så hög temperatur som möjligt. Därför bör dessa ytor utformas med en het yta med hög emissivitet och stor förmåga att lagra värme, det vill säga hög densitet kombinerat med hög c_p. Innanför detta bör det finnas en isolering. Frågan är då hur tjockt och hur mycket murmassa som skall appliceras. I princip sker värmetransporterna enligt Figur 18 ovan.

4.7.2 Stopp i bränsleinmatningen

Vid stopp i bränsleinmatningen kommer torkzonen efter en tid att tömmas på bränsle. Då nytt bränsle kommer in på rostern så är det fördelaktigt att det torkar snabbt. Det är då fördelaktigt om väggarna kan lagra värme tills det att stoppet i bränsleinmatningen avhjälpts. Detta för att kunna återstråla värme till bädden då bränslet tillförs igen. I detta fall föreligger det en svårighet då det i princip inte är önskvärt att någon energi strålar ut från det att stoppet uppstått tills det att bränsleinmatningen kommit igång igen. Detta är en fysisk orimlighet varför detta fall bäst hanteras med samma typ av massa som i fallet med förändringar i fukthalt.

4.7.3 Bäddras

Bäddras är ett vanligt förekommande störningsfall som är svårhanterat oavsett utformning av de väggar som omger rosten. Orsakerna är att stora mängder bränsle lägger sig i slutet av rostern. Det bränsle som ligger i slutet på rostern brinner dåligt som följd av att det råder syreunderskott och betingelserna i övrigt är mindre goda för att uppnå en god förbränning. Att påverka detta genom en förändring av inmurningen är förmodligen svårt då det blir stora bränslemängder som ligger där. Detta bränsle bör förmodligen kylas snabbt för att inte ligga och pyra vilket leder till bildning av stora mängder oförbränt.

I den övre delen av rostern finns inget bränsle och stora luftmängder går genom rostern, samtidigt som det inte finns något bränsle på rostern. Detta kyler övre delen av rostern och murverket. Samtidigt kommer det fuktigt kallt bränsle in på rostern. Detta bränsle behöver torkas och antändas, varför det är önskvärt att murverket har samma egenskaper som önskas för murverket vid förändringar av fukthalten i bränslet.

4.7.4 Snabba förändringar av bränslets värmevärde

Snabba förändringar i värmevärdet kan vara förändringar i fukt eller askhalt. För fukthalt är detta beskrivet ovan i kapitel 4.7.1. Då det gäller askhalten så har omgivande ytor något mindre betydelse. Askhalten kan dock ha betydelse för flammans emissivitet

(mer stoft i flammans ökar flammans emissivitet vilket ökar värmeutbytet med murverket och sänker rökgastemperaturen). Rökgasen kan även återabsorbera mer om det är stora mängder aska i rökgasen.

4.7.5 Långsamma förändringar av fukthalten

I detta fall gäller samma som i fallet ovan med snabba förändringar det vill säga att det är en fördel med lagrad värme som kan stråla mot bädden. Tjockleken hos skikten går att optimera med hänsyn till variation i fukthalt och perioden i variationerna som förväntas.

4.8 Fördelar och nackdelar

Att påverka förbränningsförloppet genom att använda bättre anpassade infodringar skulle vara fördelaktigt. Det krävs dock en god uppfattning om anläggningens driftsförhållanden för att kunna optimera infodringen.

En optimering av murverk med utgångspunkt från tänkta förutsättningar kan också leda till ett negativt resultat om antagandena inte är de rätta.

5 Införande av nytt aktivt murverk i P12

Panna 12 vid Iggesunds bruk har tidigare varit försedd med relativt lite murrverk, dels i torkzonen i pannans inloppsdel och dels i valvet över slutförbränningszonen. Det gamla murverket är förslitet och har till stora delar fallit bort, se Figur 19.



Figur 19: Bild från revision maj 2003.

Figure 19: Photo during maintenance in May 2003.

Målsättningen med den nya inmurningen av pannan är att skapa bättre och stabilare förhållanden i pannans torkzon genom att installera ett murverk som är både isolerande och värmelagrande. Murverket är därför av sk. Compoundtyp i två skikt, ytterst ett isolerskikt för att höja temperaturen i murverket och innerst en hetyta mot eldstaden med ett värmelagrande skikt med hög emissivitet eller utstrålning. Detta ger stabilare förhållanden vid laständringar eller när bränslekvalitén snabbt förändras exempelvis när kallt och fuktigt bränsle kommer in i eldstaden. Linjen på vägg närmast rostern gjuts för att minska friktionen mot bränslet vid frammatningen.

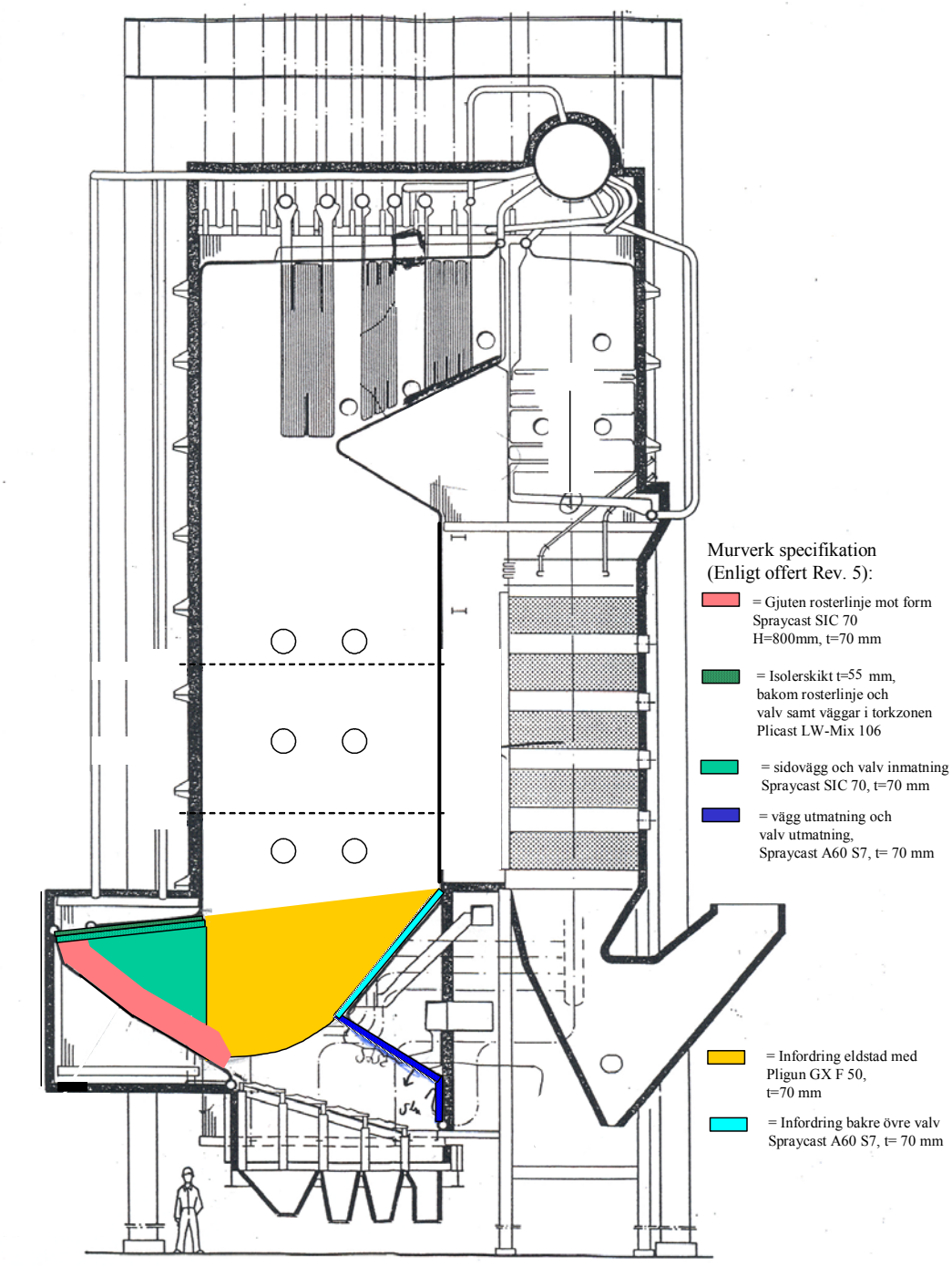
Slutförbränningszonen är försedd med ett murverk som har hög reflexion och med målsättningen att reflektera tillbaka värmestrålning mot bränslerostern vilket borgar för en högre utbränningsgrad.

Eldstaden över förbränningsrostern är infodrade i konventionell murmassa för att stabilisera och höja temperaturen i denna del. Detta för att öka utbränningen av oförbrända ämnen och CO i rökgaserna.

Förbättring av omblandningen av rökgaserna dvs. att få kontakt mellan syret i förbränningsluften och kolväten i rökgaserna på ett optimalt sätt ligger inom ramen för nästa etapp av ombyggnad av pannan.

Plibrico har valt, förutom för ytor som skall gjutas för att skapa en särskilt slät yta enligt ovan, den sk. Spraycast-metoden som möjliggör en snabbare installation jämfört med konventionella metoder och med redan optimalt färdigblandat material som med tryckluft sprutas direkt mot pannväggarna. För att uppnå samma hållfasthet med tidigare konventionella metoder krävs längre installationstider.

Det nya murverkets infodring av väggar och valv i inmatningsdel har huvudsakligen skett med Spraycast®, en lågcementmassa huvudsakligen baserad på kiselkarbid som hetyta. Som isolering under denna sprutas ett skikt med eldfast isolermassa. Ytan närmast rosten gjuts bakom form för att få en slät yta mot bränslebädden. Även vägg, valv och slänt på utmatningssidan installeras genom Spraycast®. Dessa delar isoleras inte utan hetytan gjuts direkt mot tuberna. Sidoväggarna mellan in- utmatning sprutas med en eldfast sprutmassa av hög kvalitet.



Figur 20: Skiss över nytt installerat murverk.

Figure 20: Refractory lay-out.

5.1 Förväntade effekter av ombyggnaden

Grunden för god förbränning med minimala emissioner är jämn bränsletillförsel av torrt bränsle till förbränningszonen, lagom tillförsel av syre med förbrännningsluften på olika nivåer samt god omblandning av gaserna. Uppnår man ej en tidig och jämn torkning av bränslet i pannan förskjuts förbränningen längre ner på rostern med sänkta temperaturer och mer utmatning av oförbränt material i askan som följd. Sänkt förbränningstemperatur i eldstaden minskar även reaktions- eller omvandlingstiden för CO och gasformiga kolväten till CO_2. Varierar bränslekvalitén i tiden är det viktigt att pannan har värmelagringskapacitet för kommande perioder med kallare och fuktigare bränsle. Även vid snabba lastförändringar är det bra med ett termostabilt och trögt murverk i pannans torkzon.

Målsättningen med den nya infordringen av pannan med ett mer värmetekniskt optimalt murverk kan sammanfattas enligt följande:

1. Jämnare förbränning förväntas med bättre utbränning av CO och oförbrända kolväten med lägre emissioner av CO och oförbränt kol i aska och rökgas som följd. Minskad oförbränthalt av kol i askan med minst 10 % bedöms som möjlig som medelvärde över året.

2. Lägre CO-halter enligt punkt 1 möjliggör att de framtida miljökraven på begränsning av CO-emissionerna troligen kan innehållas utan att behöva ändra driften så att NO_X-emissionerna höjs.

3. Bättre torkning på övre delen av rostern vilket gör att kapaciteten på pannan bör kunna höjas utan negativa miljöeffekter från förbränningsprocessen. + 5 % eller ca 5 t ånga/h bedöms vara en möjlig lastökningspotential förutsatt att inga andra praktiska ej studerade begränsningar finns på pannan med kringsystem.

5.2 Kostnader för nytt murverk

Totala kostnaden för installationen av murverket är ca 1 000 000 kr var av Energimyndigheten har bidragit med 20 % av kostnaden för murverket. Utöver material och installationskostnader tillkommer kostnader för ökad stilleståndstid i samband med installationen.

I och med införandet av den nya infodringen av pannan förväntas bättre torkning på övre delen av rostern vilket i sin tur gör att kapaciteten på pannan bör kunna höjas utan negativa miljöeffekter från förbränningsprocessen. En årlig besparing i form av inbesparat bränsle erhålls för eldningsolja, praktiskt möjligt att utnyttja motsvarar en besparing på ca 2000 m3 olja per år.

6 Resultat av murverksombyggnaden

6.1 Uppföljande miljömätningar

Uppföljande mätningar genomföres hösten 2005 under vecka 37. Fyra olika lastfall skulle mätas:

Lastfall 1 - Normallast med normal bränsleblandning.
Lastfall 2 - Dellast med normal bränsleblandning.
Lastfall 3 - Höglast med bränsleflis i bränsleblandningen.
Lastfall 4 - Lastfall med hög andel barrbark i bränsleblandningen.

För varje lastfall togs bränsle-, bottenask- och flygaskprov som redovisas nedan.

6.2 Driftdata av mätningar efter ombyggnaden

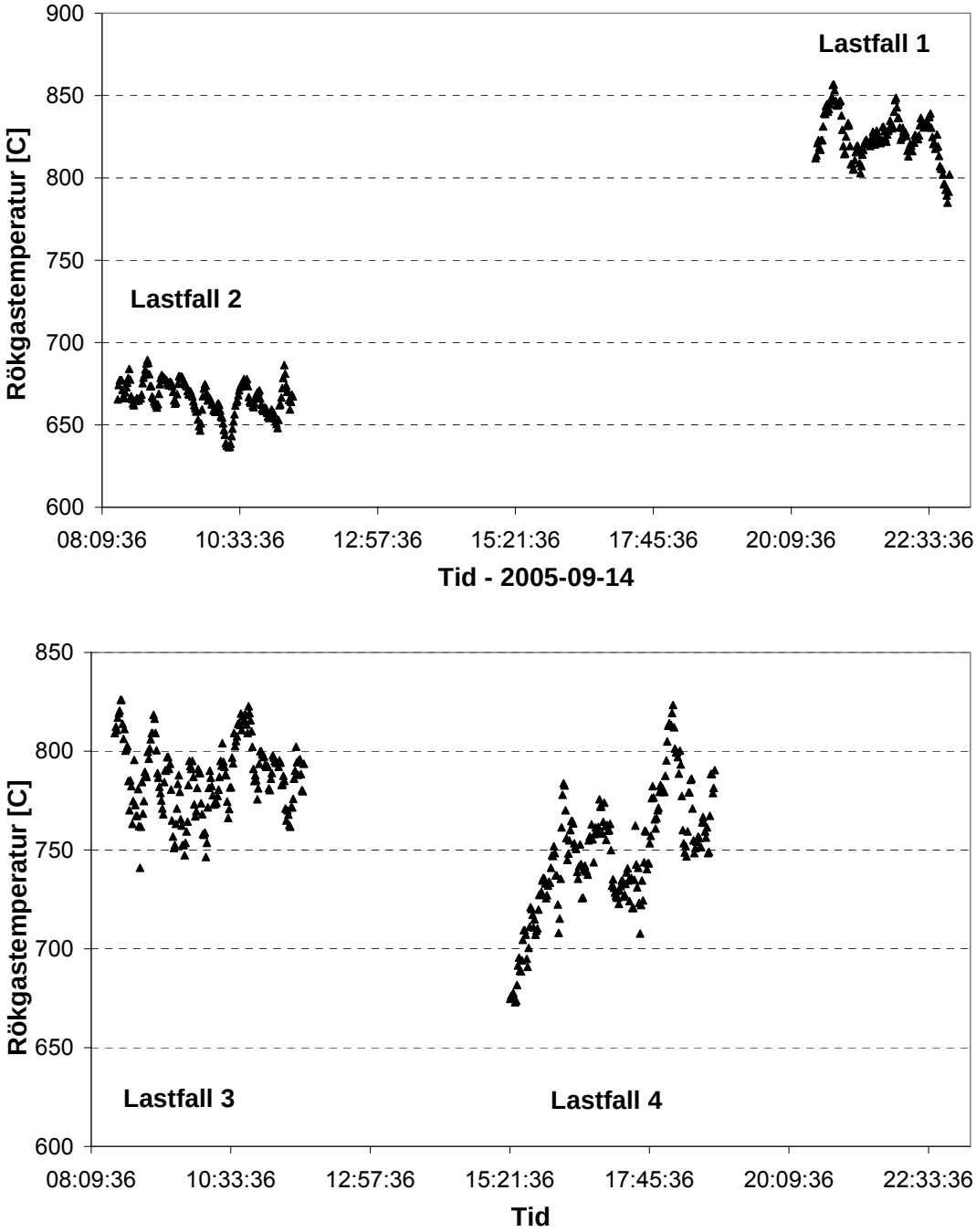
Tabell 2 sammanfattar bränsleanalysen och halten oförbränt i botten- och flygaskan. En sammanställning av driftdata under respektive försök visas i Bilaga B.

Figur 21 till Figur 23 visar rökgastemperaturen, ångflödet, O_2- och CO-halten i rökgasen för varje försök i löpande tid.

Tabell 2: Bränsle- och askanalys för lastfall 1 till 4.

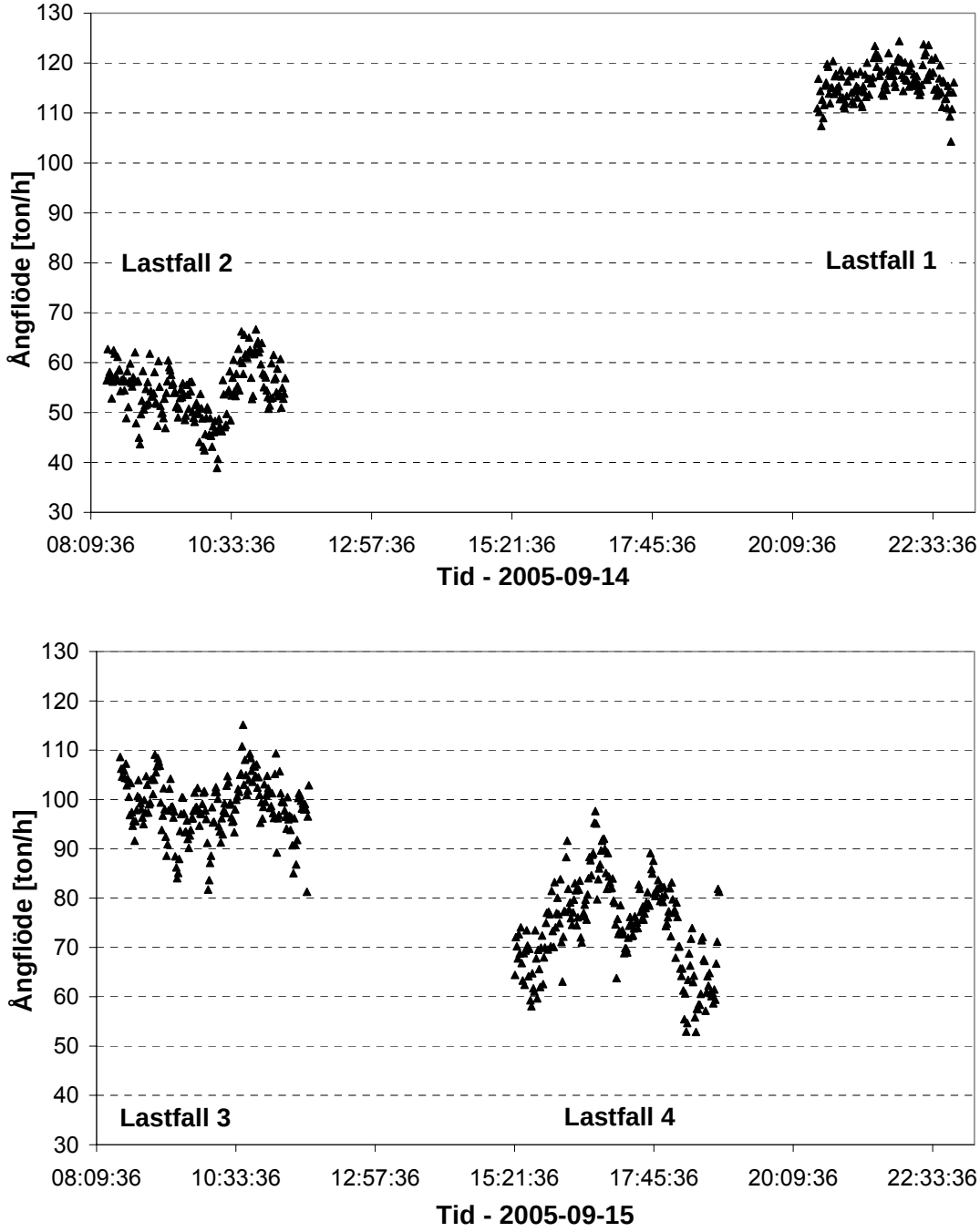
Table 2: Fuel and ash analysis for load 1 to 4.

	Lastfall 1	**Lastfall 2**	**Lastfall 3**	**Lastfall 4**
C %	26,3	26,5	34,7	31,5
H %	8,6	8,5	8	8,5
N %	0,2	0,2	0,2	0,2
O %	63,2	63,4	55,4	58,3
Total fukt %	50,4	48,9	35,8	42,5
Askhalt %	1,7	1,4	1,7	1,5
Värmevärde MJ/kg	8,811	8,907	12,764	11,276
Oförbränt i bottenaska % TS	3,2	2,5	2,9	4,1
Oförbränt i flygaska % TS	30,2	1,7	9,7	1,3



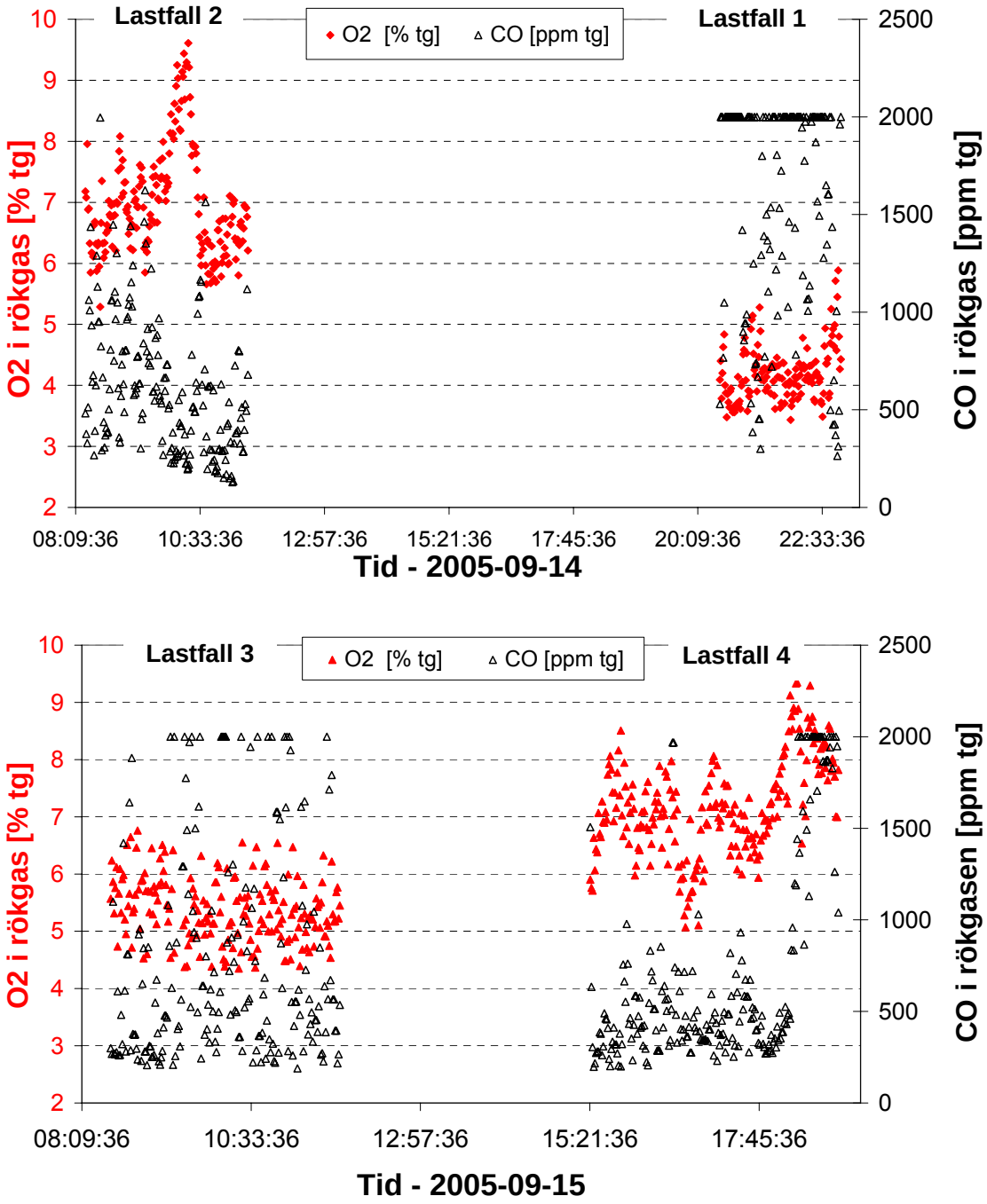
Figur 21: Rökgastemperatur före överhettare för lastfallen 1 till 4.

Figure 21: Flue gas temperature upstream of superheater for load 1 to 4.



Figur 22: Ångflöde för lastfallen 1 till 4.

Figure 22: Steam production for load 1 to 4.



Figur 23: Syrgas- och kolmonoxidkoncentration i rökgasen för lastfallen 1 till 4.

Figure 23: Oxygen and carbon monoxide concentration in flue gas for load 1 to 4.

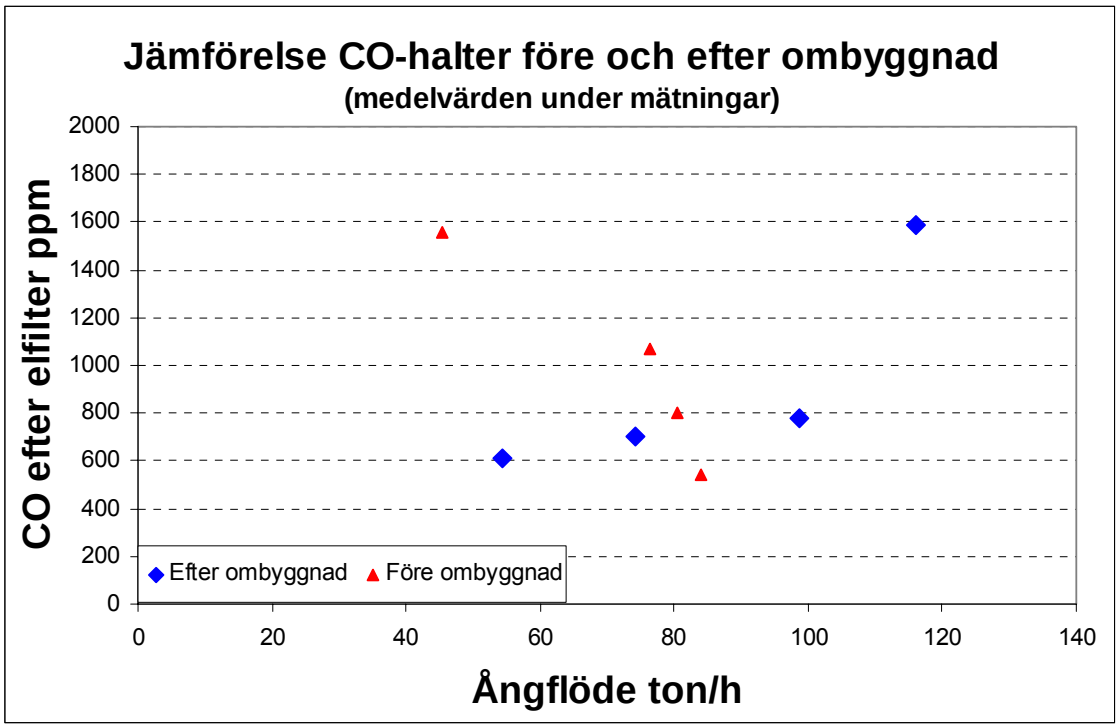
6.3 Jämförelse mellan mätningarna

Införandet av ett värmetekniskt optimerat murverk förväntas framför allt ge följande resultat:

- Bättre torkning på övre delen av rostern vilket gör att kapaciteten på pannan bör kunna höjas utan negativa miljöeffekter från förbränningsprocessen. + 5 % eller ca 5 t ånga/h bedöms vara en möjlig lastökningspotential.
- Jämnare förbränning med bättre utbränning av CO och oförbrända kolväten med lägre emissioner av CO och oförbränt kol i aska och rökgas som följd.

För att kunna uppfylla dessa två förväntningar krävs att förbränningen i eldstaden förbättras eftersom att dessa två målsättningar ofta står i motsats till varandra. Ökad last ger ökad andel CO och oförbränt kol i flygaskan som följd.

För att få en rättvisare bild av hur murverksbytet påverkar CO-halten i rökgasen måste man jämföra den vid ungefär samma lastnivåer. I Figur 24 syns CO-halten som funktion av medellasten för samtliga genomförda mätningar. Där kan man konstatera att för samtliga mätningar, förutom lastfall 1, efter ombyggnaden av murverket ligger CO-halten på en lägre nivå än före ombyggnaden. Lastfall 1 är ett extremfall där bland annat fläktkapaciteten inte räcker till och för kontinuerlig drift på denna last med bibehållna goda miljöprestanda krävs ytterligare åtgärder på pannan som diskuteras i kapitel 7.

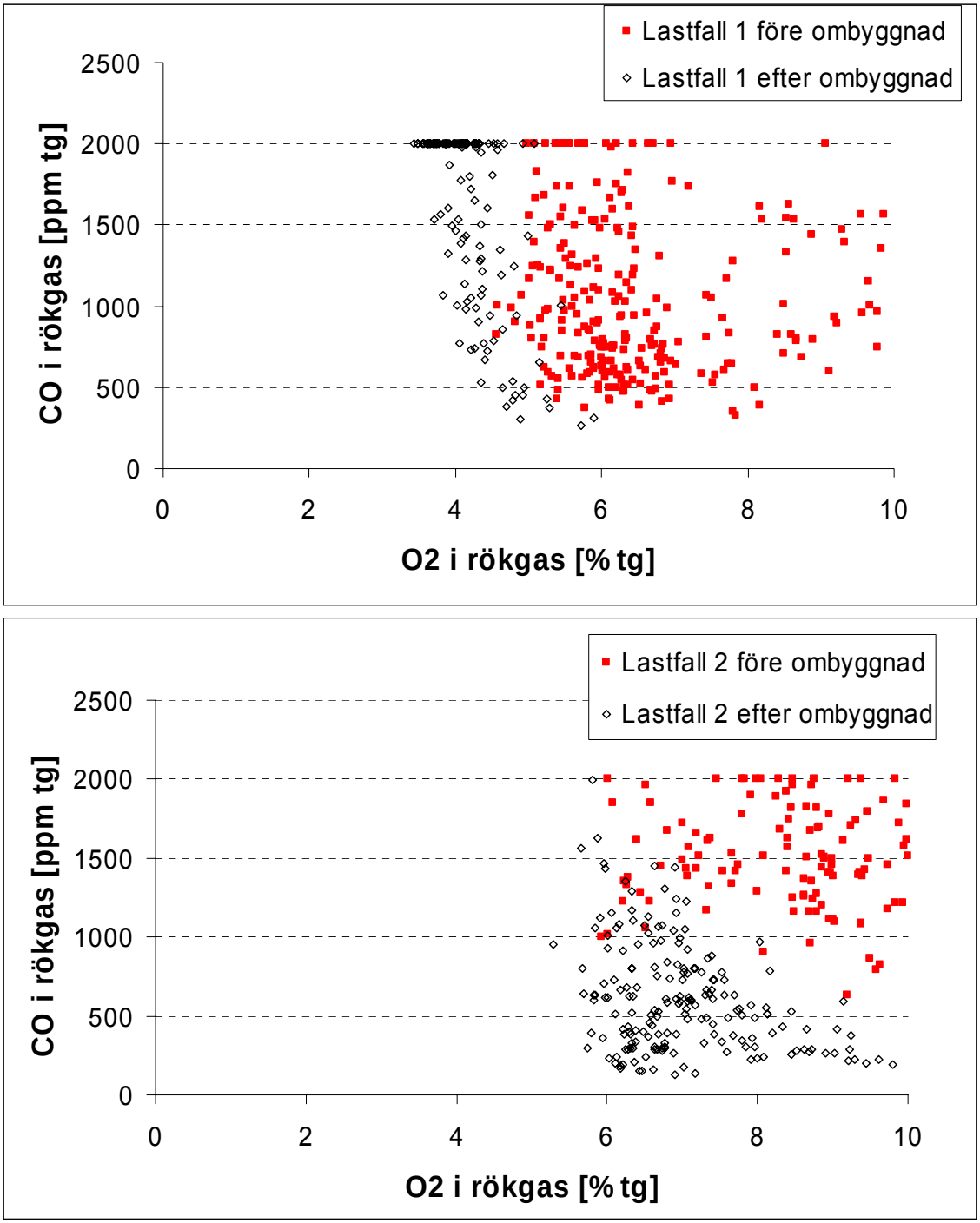


Figur 24: CO-halten i rökgasen för lastfallen 1 till 4 före och efter ombyggnad.

Figure 24: CO concentration in flue gas for load 1 to 4 before and after reconstruction.

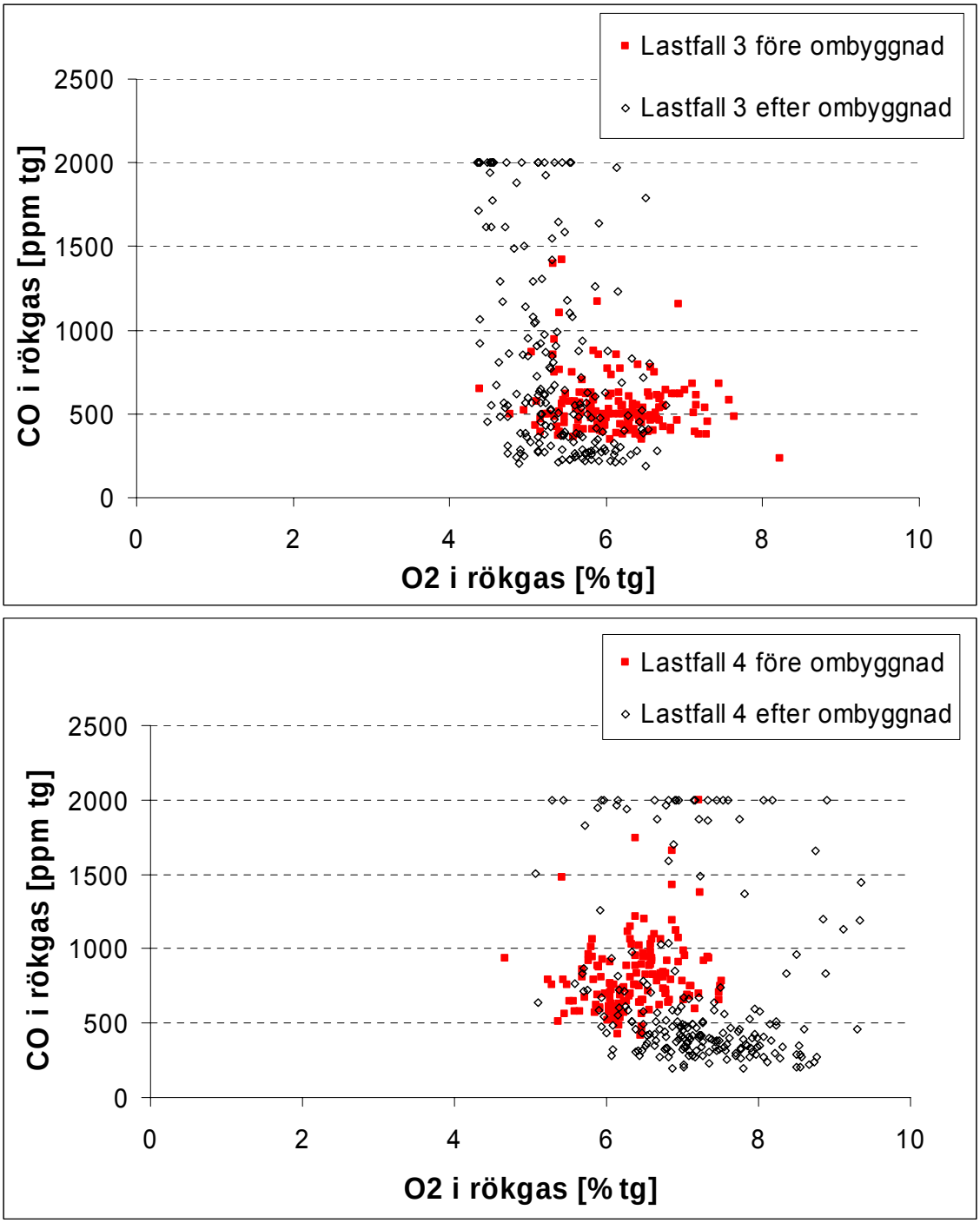
Den största effekten på CO-halten har murverksbytet vid lägre laster. Genom den ökade mängden murverk i eldstaden har värmeöverföringen till eldstadsväggarna i bäddregionen minskat avsevärt. Speciellt vid låga laster är det viktigt att bädden inte kyls i för hög omfattning av omgivande ytor. Orsaken till detta är att den omgivande ytan är relativt sett större i relation till lasten än i fullastfallet. Man kan även se att CO-halten i pannan efter ombyggnad har en tendens att bli högre med minskad O_2-halt. Vid O_2-halter under 6 % tenderar CO-halten att vara hög för att sedan avta med ökad O_2-halt. Detta beror på stråkbildning och ej tillräcklig omblandning i eldstaden som gör att CO-rika stråk inte blandas med tillräcklig mängd syre för att kunna slutförbrännas. Exempel på detta finns i Bilaga B mätningar i eldstaden lastfall 1 efter ombyggnad.

Figur 25 och Figur 26 visar en jämförelse av CO-halten plottat mot aktuell syrehalt vid de enskilda lastfallen före och efter ombyggnad. Även i dessa figurer kan man konstatera att CO-halten totalt sett har blivit lägre efter ombyggnaden.



Figur 25: CO-halten i rökgasen för lastfall 1 och 2 före och efter ombyggnad.

Figure 25: CO concentration in flue gas for load 1 and 2 before and after reconstruction.

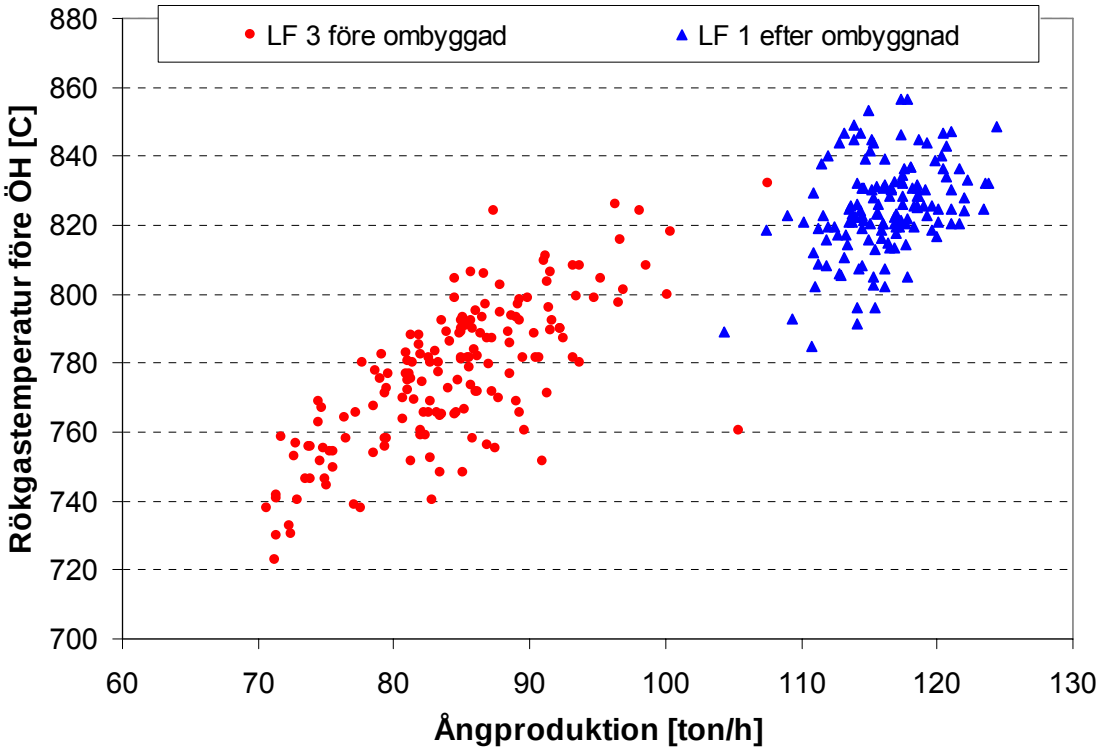


Figur 26: CO-halten i rökgasen för lastfall 3 och 4 före och efter ombyggnad.

Figure 26: CO concentration in flue gas for load 3 and 4 before and after reconstruction.

Lastfall 3 före ombyggnaden av murverket och lastfall 1 efter ombyggnaden är de två lastfall som högsta ångproduktionen vid respektive mättillfälle. Som det framgår av Figur 27 har den högsta teoretiskt möjliga ångproduktionen ökat från ca 85 t/h upp till ca 115 t/h vilket är en ökning på ungefär 35 %. Den praktiskt möjliga ökningen i ångproduktion med acceptabla miljövärden ligger i dagsläget snarare omkring 100 t/h (cirka 20 %) utan ytterligare modifikationer av pannan. I Tabell 3 framgår det av bränsleanalysen för det bränsle som användes vid dessa två mätningar att värmevärdet även var något lägre vid mätningen som genomfördes efter ombyggnaden. Lasten 115 t/h är den genomsnittliga lasten vid mätningen av lastfall 1 efter ombyggnaden.

Figur 27 visar en jämförelse mellan de två högsta lastfallen före och efter murverksombyggnaden. Tabell 3 visar respektive bränslesammansättning för dessa två lastfall.



Figur 27: Ångproduktion vs. rökgastemperatur för maxlast före och efter ombyggnaden.

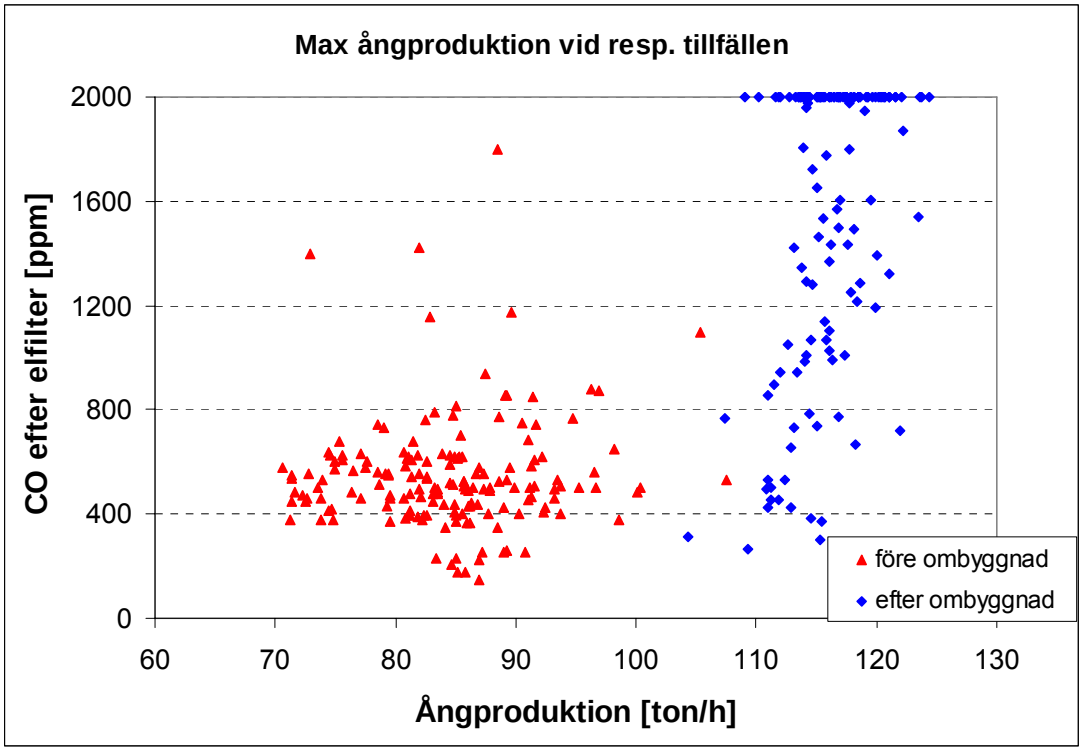
Figure 27: Steam production vs. flue gas temperature before and after reconstruction for full load case.

Tabell 3: Bränsleanalys för maxlast före och efter ombyggnaden.

Table 3: Fuel analysis before and after reconstruction for full load case.

	Före ombyggnad	Efter ombyggnad
C %	26,6	26,3
H %	8,7	8,6
N %	0,1	0,2
O %	63,1	63,2
Total fukt %	50,0	50,4
Askhalt %	1,5	1,7
Värmevärde MJ/kg	10,395	8,811

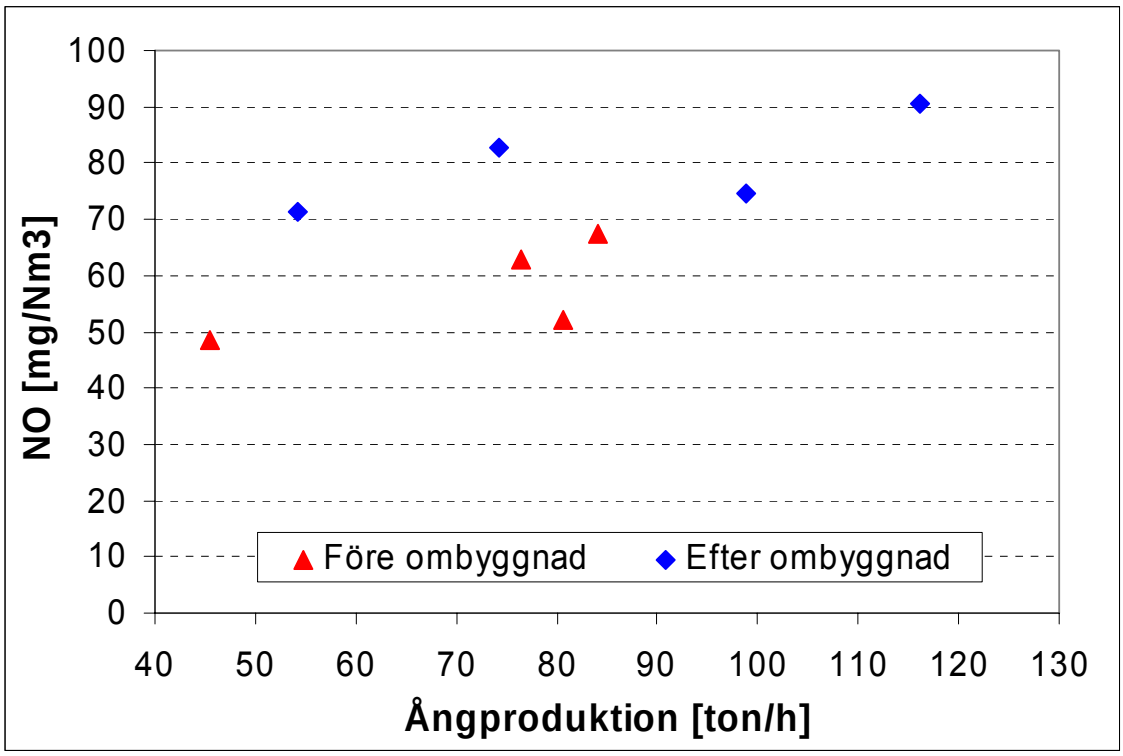
Vid en jämförelse av CO-halten mellan dessa två mätningar kan det konstateras att den är betydligt högre i mätningen efter murverksbytet. Orsaken till detta är flera. Den betydligt högre lasten på pannan i kombination med den bristande fläktkapaciteten gör att syrehalten är ett par procent läge vid denna mätning, se Figur 8 och Figur 23. Att CO-halten i rökgasen stiger är ett förväntat resultat när lasten ökar med hela 35 % samtidigt som syrehalten i rökgasen minskar. Figur 28 visar CO-halterna i rökgasen vid de två mättillfällena.



Figur 28: CO-halten i rökgasen vid max ångproduktion vid lastfall 3 före ombyggnad och lastfall 1 efter ombyggnad.

Figure 28: CO concentration in flue gas for maximum steam production for load 3 before reconstruction and load 1 after reconstruction.

NO-halten i rökgasen har efter ombyggnaden av murverket ökat. Ökningen kan bero på att temperaturen i eldstaden generellt har höjts vilket bidrar till ökad NOx i rökgasen. Ökningen kan även bero på att CO-halterna har gått ner vilket också bidrar till högre NOx i rökgasen. Figur 29 visar en jämförelse av NO-halten vid de enskilda lastfallen före och efter ombyggnad. I figuren kan man konstatera att NO-halten totalt sett har blivit högre efter ombyggnaden. Varje punkt i Figur 29 är beräknad som medelvärde ur data som erhållits från Iggesund Paperboard för respektive mätning.



Figur 29: NO-halten i rökgasen för lastfallen 1 till 4 före och efter ombyggnad.

Figure 29: NO concentration in flue gas for load 1 to 4 before and after reconstruction.

I och med att temperaturerna i eldstaden ökat, torkningen på rosten sker tidigare och att en bättre förbränning på rosten antas borde också andelen oförbränt kol minskas i askorna. Detta har inte riktigt uppfyllts. Totalt sett har andelen oförbränt i bottenaskan minskat något. Andelen oförbränt i flygaskan verkar ha ökat efter ombyggnaden. För lastfall 1 med extremt hög last för denna panna beror det på att rosterbelastningen närmar sig ett maximum. Detta medför ofta att en stor andel av oförbrända partiklar rycks med från bädden och hamnar i rökgasen.

Tabell 4: Sammanställning över halten oförbränt i askan före ombyggnaden.

Table 4: Summary of coal in the ashes before reconstruction.

Före ombyggnaden	**Lastfall 1**	**Lastfall 2**	**Lastfall 3**	**Lastfall 4**
Oförbränt i bottenaska % TS	3,2	3,5	5,2	3,2
Oförbränt i flygaska % TS	<0,1*	<0,1*	<0,1*	1,8

** Osäkra mätvärden (se kapitel 2.2)*

Tabell 5: Sammanställning över halten oförbränt i askan efter ombyggnaden.

Table 5: Summary of coal in the ashes after reconstruction.

Efter ombyggnaden	**Lastfall 1**	**Lastfall 2**	**Lastfall 3**	**Lastfall 4**
Oförbränt i bottenaska % TS	3,2	2,5	2,9	4,1
Oförbränt i flygaska % TS	30,2	1,7	9,7	1,3

7 Övriga förbränningstekniska åtgärder

Projektets målsättning kan sammanfattas i följande punkter:

- Temperaturstabilisering
- Bränslebäddstabilisering.
- Gasströmningsstabilisering

I och med installationen av det nya murverket anses målsättningen att stabilisera temperaturen vara uppnådd. Vid mätningarna har en högre och stabilare eldstads-temperatur kunnat noteras. För att ytterligare utnyttja fördelarna med ett bättre murverk bör även övriga identifierade begränsningar i pannan åtgärdas.

När man studerar resultaten från de genomförda mätningarna och simuleringarna kan man konstatera att bytet av murverket har gett flera positiva resultat. Den maximala lasten under långvarig drift har ökat med minst 20 % och även driften vid höga laster har blivit mer stabil. Men den ökade lasten har visat på andra brister i pannan.

Under mätningarna kunde det konstateras brister i fläktkapaciteten både för överluften och för rökgasfläkten. När lasten överstiger drygt 110 t/h går kvartärluftfläkten på maximal kapacitet och rökgasfläkten i det närmaste på full kapacitet. Det medför att syrehalten i pannan inte kan regleras upp till rätt nivå. Simuleringarna av det befintliga luftsystemet visar även på att det finns brister i omblandningen av gasmassan innan den når upp till kvartärluftnivån kombinerat med bristande fläktkapacitet i den nivån gör att höga CO-halten noteras i rökgasen vid drift på denna höga lastnivå.

För att åstadkomma en stabilare gasströmning i eldstaden bör därför dels sekundärluftnivån kompletteras med ett kraftigare luftregister som säkerställer god omblandning redan i sekundärnivån och oavsett vilken last driften sker vid. Fläktkapaciteter bör även gås igenom för att med marginal klara de förbränningsluft- och rökgasmängder som krävs vid lastnivåer över 110 t/h biobränsle.

Utöver åtgärderna på luftsystemen bör även bränsleinmatningssystemet och bränsle-rosten gås igenom för att förbättra statusen.

Med dessa föreslagna åtgärder bör den framtida lastnivån som pannan kan opereras under kontinuerligt stabil drift ligga på cirka 115 t/h och med CO-halter som är acceptabla.

Föreslagna modifieringar på sekundär- och tertiärluft, bränsleinmatning och tubrost beskrivs i följande kapitel.

7.1 Bränsletillförsel

För att uppnå ett bra förbränningsresultat är det väldigt viktigt att bränslehanterings- och bränsleinmatningssystemen fungerar på ett bra sätt.

Bränslet är, tillsammans med laständringar, den största källan till instationära förlopp i en panna. Det finns egentligen två huvudkategorier av störningar att ta hänsyn till, nämligen avvikelser i energiinnehåll och avvikelser i tryckfall lokalt över bädden. I det första fallet med energiinnehåll är fukthalten den helt dominerande parametern, övriga kan i praktiken försummas. I det senare fallet med tryckfall över bädden är dock läget mer komplext. Hur dessa parametrar påverkar stabiliteten hos pannan diskuteras nedan.

Bäddens rörelse och utbredning kan primärt och aktivt påverkas av många olika parametrar varav lufttillförsel och luftfördelning är den viktigaste, men även luftförvärmning, hastighet hos ev. slutroster och askutmatningsskruv har också inflytande. Förloppen är dock relativt långsamma: det kan noteras att i allmänhet tar det ca 20 – 30 minuter för en bränslebit att ta sig från bränsleinmatning till askutmatning.

Bäddens flamfront och utbränning påverkas även den av många olika parametrar varav lufttillförsel och luftfördelning är de viktigaste aktiva styrbara parametrarna, men även luftförvärmning är en faktor av betydelse. Det finns dock även mer sekundära faktorer som har stort inflytande och där är murverkets placering och förutsättningarna för värmning och kylning av murverket från förbränningszoner och luft viktiga. Förloppen är snabba i bädden, förutsatt att luften och murverket har en snabb ändring och långsamma om luft och/eller murverk är långsamma.

I korthet kan dock konstateras att ett ändrat tryckfall genom hela eller delar av inkommande bränsle i allmänhet inte utjämnats helt förrän bädden transporterats över hela rosten, dvs. en tidsrymd av 15 –30 minuter. En ändrad bränslefukthalt kommer på samma sätt ha ungefär samma tidskonstant. Den är de facto något kortare, eftersom pannan till viss del kan kompensera för förändringen och när slutförbränningsdelen nås har den ursprungliga inkommande bränslefukthalten en mindre betydelse.

Transienter förorsakade av ändringar i bränslesammansättning är en annan yttre faktorn förutom bränslets fukthalt som drastiskt kan förändra förbränningen i eldstadsrummet.

7.1.1 Bränsleninmatningen

Bränslet matas med roterande skruvutmatning från en barrbark- och en lövbarkhög på gårdsplanen samt från en tippficka för ved, flis och spån till en dagficka på 110 m^3, där det blandas väl med fiber från en separat ficka. Sex stycken separat varvtalsreglerade skruvar matar tre störtrör med vippspjäll som vardera ger ca 0.22 m^3/sats. Bränsleflödet ställs in manuellt med hjälp av TV-kamera. Bränslet fördelas jämnt över rosten och det blidas inga åsar i bädden längsriktning.

De problem som kan uppstå härrör från bränslefickan. Skruvarna i fickan klarar inte av att hålla en konstant matning av bränsle när bränslefickan är helt eller nästa helt fylld. Belastningen på skruvarna blir för hög och bränslet kan hänga sig i fickan. Resultatet

blir att inmatningen av bränslet i pannan kan bli svår att hålla konstant. För att kunna hålla en konstant stabil drift under alla möjliga driftförhållanden bör problemen i bränslefickan åtgärdas.

7.1.2 Bränslerostern

Panna 12 är nominellt på 116 MW. Den fasta snedrosten på 34 m^2 och den rörliga Kablitzrosten på 28 m^2 ger nominellt 51 t/h vid barkeldning och med olja 99 t/h (totalt 150t/h). Anläggningen körs på ca 200 % barklast, d.v.s. cirka 100 t/h. Rosten är lågt belastad vid nominell last och men närmar sig sin begränsning vid de höga lastnivåerna.

Rosten har två torkzoner (lufttemp. 250 – 260ºC) och fyra Kablitzzoner i längsled och tre i djupled (lufttemp. 180 – 190ºC), alla med separata differenstryckgivare.

Primärluftflödet regleras från kontrollrummet och fördelningen under rosten ställs in genom att ändra flödet till torkzonerna.

Hur mycket luft som skall passera bädden och var den kommer att passera styrs av det sammanlagda tryckfallen över spjäll, rost och bädd, där bädden istället för rosten tyvärr i allmänhet svarar för en för stor andel av det totala tryckfallet. Detta innebär att en zon med en tät kompakt bädd, som egentligen skulle behöva mycket luft automatiskt styr över luft till en annan zon med ett mindre kompakt bränsle, som egentligen behöver mindre luft.

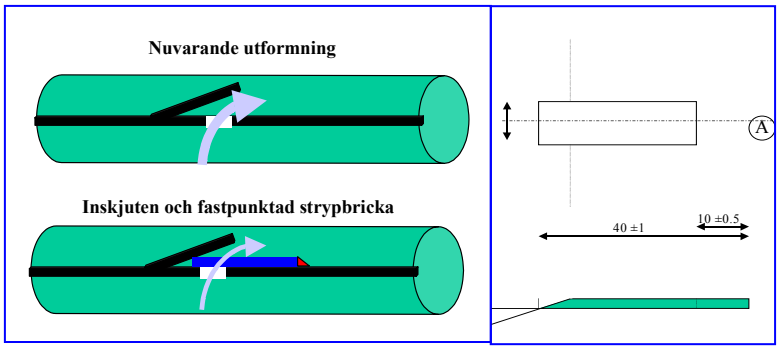
Risken med en kompakt bränslebädd med högt tryckfall, relativt rostens tryckfall, är genomblåsningar på vissa delar, vilket producerar höga NO_x-halter och ger överbärning medan andra delar ger höga halter oförbrända gaser och slutligen även höga andelar oförbränt i bottenaska. Rostbelastningen blir således mycket varierande och förutsättningarna för stråkbildning gynnsamma.

En ytterligare effekt som bör uppmärksammas är att en tät bädd, vid ett kraftigt primärluftpådrag, kan släppa kontakten med underlaget och flyta ned på en luftkudde till lägre delar på rosten, dvs att fuktigt eller inte avgasat bränsle hamnar på slutrosten.

För att minska riskerna för genomblåsningar bör tryckfallet över torkrosten ökas. Genom att säkerställa att tryckfallet över torkrosten och inte över bränslebädden är det dominerande tryckfallet minskar risken för genomblåsningar.

Denna önskade tryckfallsökning kan rent praktiskt utformas på flera olika sätt. De kriterier som gäller är dock att modifieringen inte får bromsa bränslets transport på rosten och att monteringsarbetet måste kräva ett minimum av precision och arbetsinsats i övrigt, eftersom det i allmänhet är ett mycket stort antal hål som skall åtgärdas.

I Stora Ensos anläggning i Kvarnsveden utfördes reduktionen av hålarean genom att en ca 4 mm tjock fyrkantig plåtbit sköts in under de ”ögonlock” som delvis täcker rosthålen, se Figur 30.



Figur 30: Strypbrickor på torkrost.

Figure 30: Pressure increasing washer.

En lösning för att öka tryckfallet i P12 i Iggesund får arbetas fram efter de individuell förutsättningarna som råder på denna anläggning.

7.2 Modifieringar på sekundär och tertiärluft

Av simuleringarna av den nuvarande konfigurationen av luftsystem i pannan kan följande slutsatser dras.

För samtliga driftförhållanden kan konstateras att inträngningsdjupet in i eldstaden av luftstrålarna i sekundär och tertiärnivån är lågt. Det betyder att omblandningen av den tillsatta tertiärluften och rökgasen är mycket svag. Tertiärluften följer strömningsfältet upp längs pannväggen, en del av tertiärluften rycks sedan med av kvartärluften. Problemen med sekundär- kvartärluftens inträngning och omblandning minskas genom att kvartärluften fungerar på ett bra sätt. Kvartärluften är såpass stark att dessa luftstrålar begränsar recirkulationen inne i eldstaden.

För att få ett bättre fungerande sekundär- och tertiärluftsystem bör detta modifieras. Sekundär och tertiärluften bör anpassas till att kontinuerligt ge en jämn strömnings- och syretillförselprofil till eldstaden redan innan rökgaserna når kvartärluftnivån.

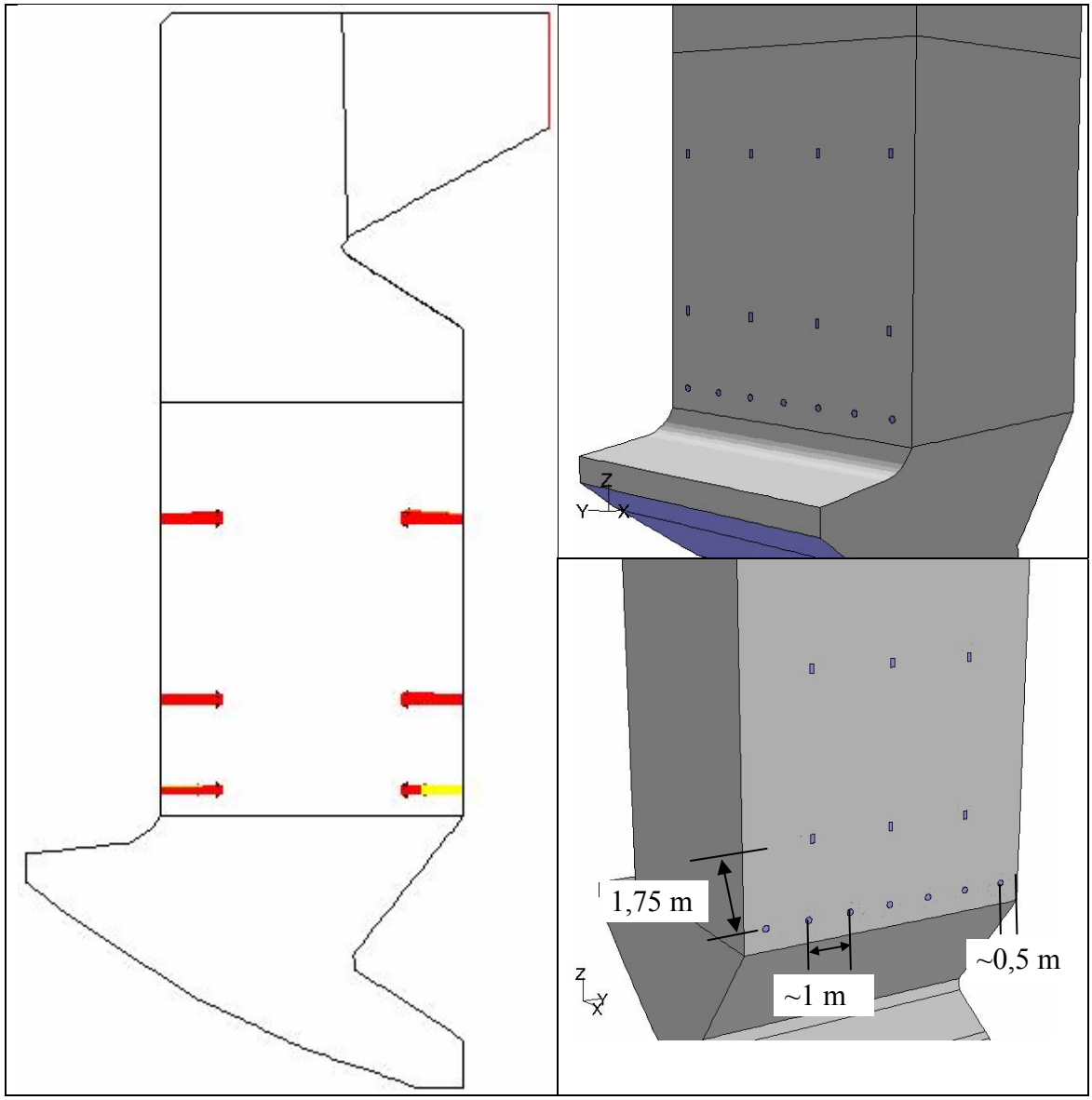
Slutsatsen av detta resonemang är att vid **stationär drift** dimensionera fläktar och dysor så att gasstrålen når till en önskad valfri punkt i eldstaden i en tvärgasströmmen. Men i en panna finns det ingen naturlig koppling mellan penetrationsdjup och totalt syrebehov, varför en avvägning mellan penetrationsdjup och pannans syrebehov måste göras.

Ovanstående resonemang om penetrationsdjup och syretillförsel baseras delvis på att antalet använda dysor och dysans geometri är konstanta. Likaså gäller det tillförsel av gas till en tvärström, vilket inte nödvändigtvis är ett villkor.

7.2.1 CFD-simulering föreslag till modifieringar på sekundär och tertiärluft

För att åstadkomma en konstant penetration av luftstrålarna från dysorna och samtidigt kunna variera den tillförda mängden syre blandas ren förbränningsluft med återförd rökgas i sekundärdysorna. På detta sätt kan syrahalten i den tillförda sekundärluften varieras mellan ett fåtal procent upp till ren luft. Med denna lösning är penetrationen av luftstrålarna oberoende av vilken syrehalt som krävs i panna. Penetrationen styrs genom tillför gasmängd och syrehalten styrs av blandningsförhållandet mellan förbrännigsluft och rökgas.

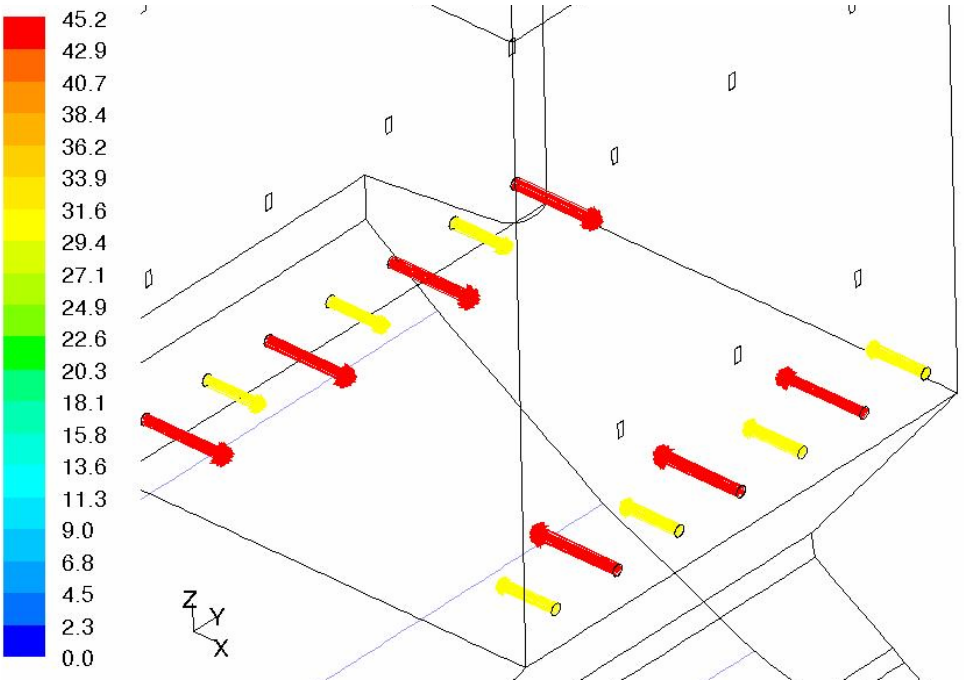
Baserad på simuleringar samt mätningarna före och efter murverksombygganden har ett förslag till förändrat luftsystem tagits fram. Det nya systemet baseras på en tertiärluftregister 1,75 m nedanför den lägre kvartärluften. Dysorna är placerade på front- och bakväggen med en delning på 1 m. Samtliga portar är lika stora med en diameter av 14,7 cm vilket motsvarar ungefär samma area som kvartärluftporten. Figur 31 visar placeringen av luftdysorna.



Figur 31: Placering av tertiärluftdysorna.

Figure 31: Tertiary air nozzles.

Vi har valt att utvärdera en saxad anordning av luftdysorna, se Figur 32. En kraftig luftstråle möts av en svagare port på motsatta sidan. Dessa bromsstrålar har funktionen att bromsa upp den motsatta strålen och förhindrar på det sättet en överpenetration samt säkerställer god omblandning i hela planet.



Figur 32: Hastighetsprofil vid tertiärluft.

Figure 32: Velocity profile at tertiary air level.

Randvillkoren valdes för ett lastfall med hög ångproduktion. Värdena är tagna för lastfall 1, dvs. mätningen den 14:e september mellan kl. 20.33 och kl. 22.55.

Rökgasrecirkulation simulerades i beräkningen med en O_2-halt av 10 vol%.

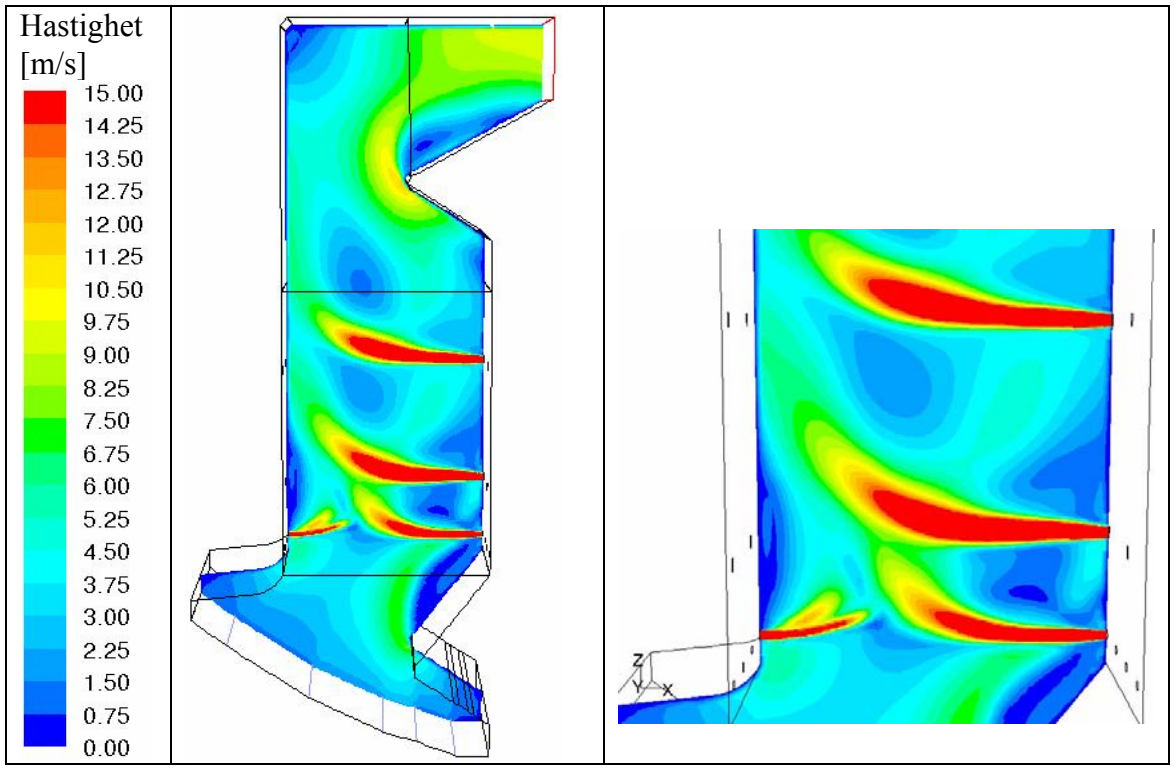
Figur 33 till Figur 36 visar resultaten från CFD beräkningen. Hastighetsprofilen visar ett bra inträngningsdjup av luftstrålen i tertiärnivån.

Tabell 6: Sammanställning över randvillkoren som användes för CFD analysen.

Table 6: Summary of boundary condition used fort he CFD analysis.

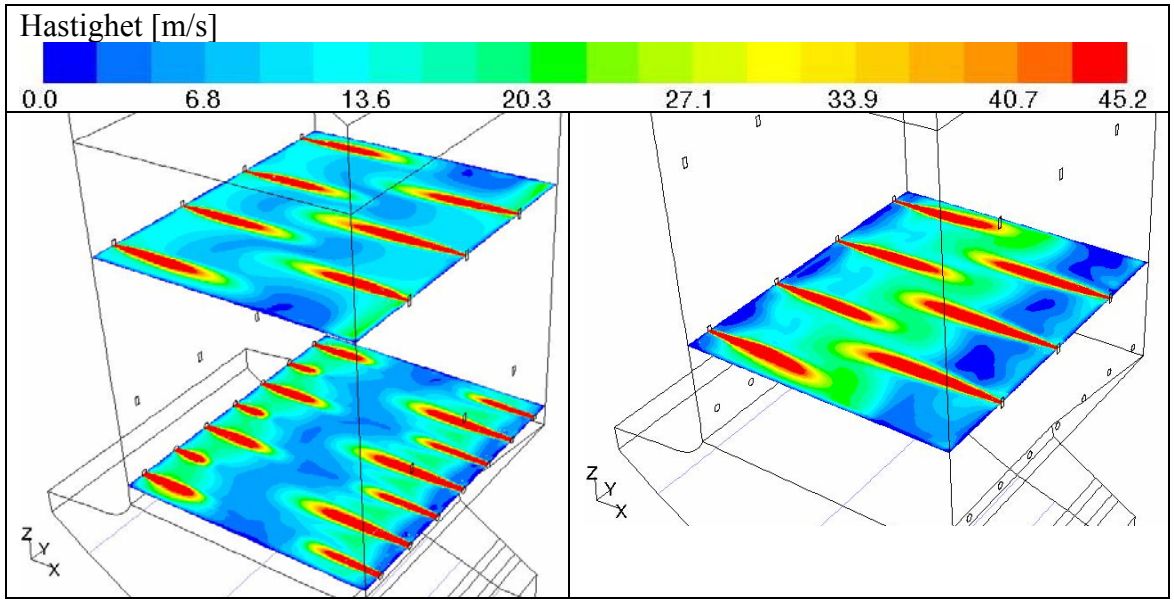
	Flöde		Flöde		Temperatur	
Övre torkluft	1152	Nm3/h	0,408	kg/s	251,4	C
Nedre torkluft	10791	Nm3/h	3,822	kg/s	251,4	C
Kablitzluft	27770	Nm3/h	9,835	kg/s	175,9	C
Kvart.luft	35441	Nm3/h	12,552	kg/s	15,5	C
Oljeluft 1-4	0	Nm3/h	0,00	kg/s	38,41	C
Tertiärluftflöde						
Kraftig stråle	9797	Nm3/h	3,47	kg/s		
Bromsstråle	6522	Nm3/h	2,31	kg/s		
Dyshastighet						
Kraftig stråle	45	m/s				
Bromsstråle	30	m/s				
Temperatur	200	ºC				
O_2-halt	10	vol %				

	Torkzon		Kablitzzon			
	1	2	1	2	3	4
Luft kg/s	0,4080	3,8217	4,2272	1,8025	2,1059	1,6996
Total massflöde	4,9683	6,7298	7,1072	4,1102	3,6084	2,2000
Temp [C]	251,40	251,40	175,90	175,90	175,90	175,90
Ämnesflöde från bränsle kg/s						
CH4	0,0323	0,2587	0,2263	0,1293	0,0000	0,0000
CO2	0,1183	0,1183	0,3548	0,8279	0,5914	0,3548
CO	0,0000	0,0000	0,2823	0,3952	0,2823	0,1694
O2_bränsle	0,0000	0,0000	-0,0238	-0,0238	-0,0238	-0,0238
H2O_fukt	4,4096	2,2048	0,7349	0,0000	0,0000	0,0000
H2O_förbränning	0,0000	0,3264	1,3054	0,9791	0,6527	0,0000
N2_luft	0,3132	2,9335	3,2448	1,3836	1,6165	1,3046
O2_luft	0,0948	0,8882	0,9824	0,4189	0,4894	0,3950
Mass fraction	T1	T2	K1	K2	K3	K4
CH4	0,007	0,038	0,032	0,031	0,000	0,000
O2	0,019	0,132	0,135	0,096	0,129	0,169
CO2	0,024	0,018	0,050	0,201	0,164	0,161
CO	0,000	0,000	0,040	0,096	0,078	0,077
H2O	0,888	0,376	0,287	0,238	0,181	0,000
N2_luft	0,063	0,436	0,457	0,337	0,448	0,593



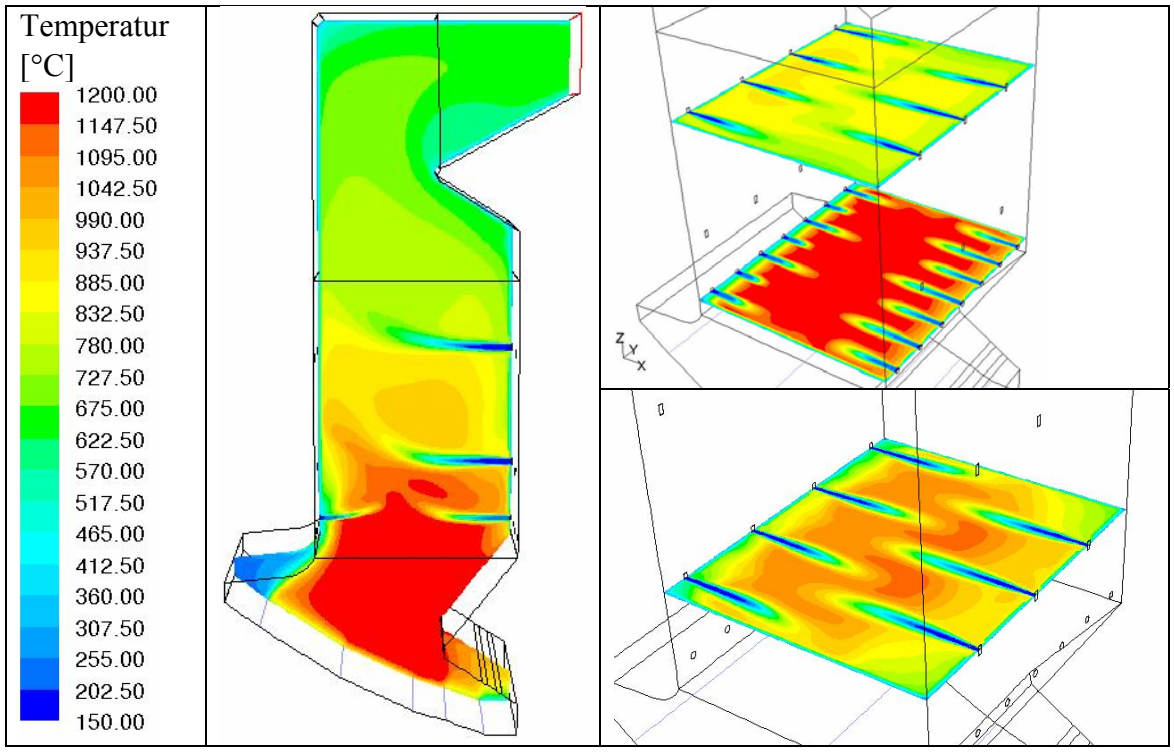
Figur 33: Hastighetsprofil i mitten av eldstaden.

Figure 33: Velocity profile in the center plane of the furnace.



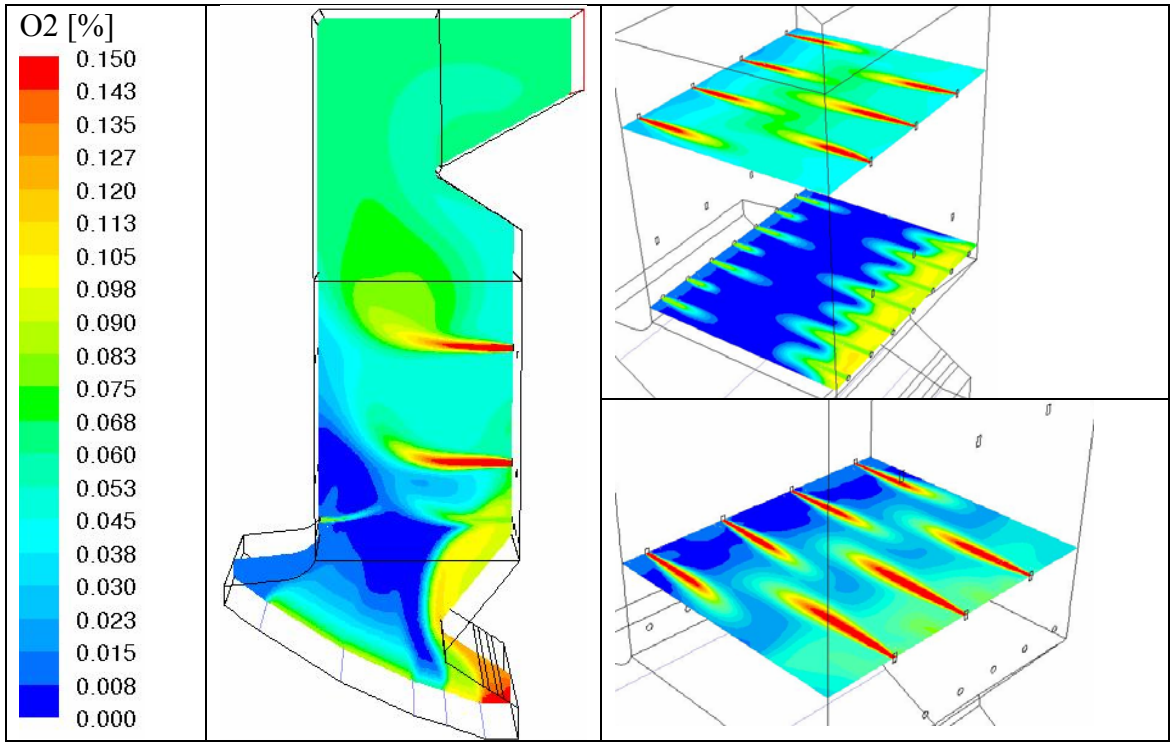
Figur 34: Hastighetsprofil i mitten av eldstaden.

Figure 34: Velocity profile in the center plane of the furnace.



Figur 35: Temperaturprofil i mitten av eldstaden.

Figure 35: Temperature profile in the center plane of the furnace.



Figur 36: Temperaturprofil i mitten av eldstaden.

Figure 36: Temperature profile in the center plane of the furnace.

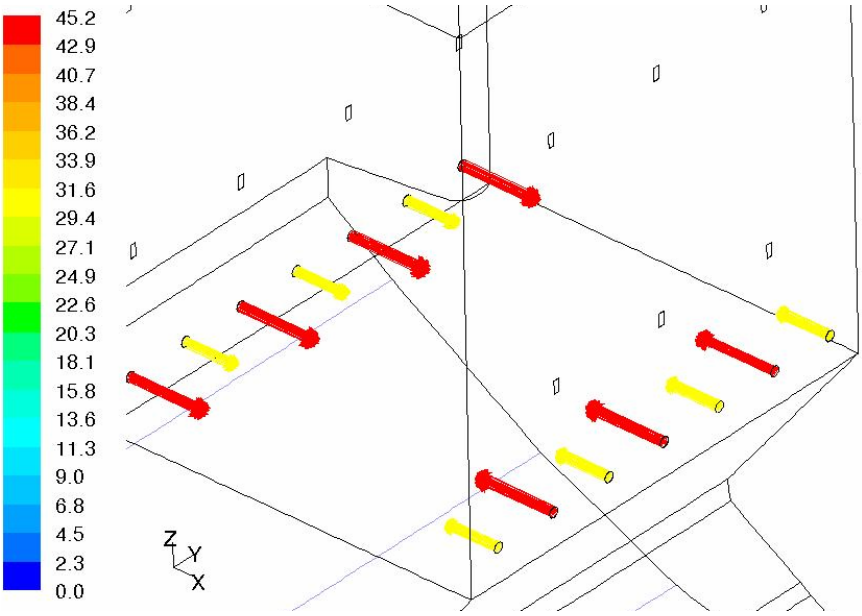
8 Förslag till fortsatta ombyggnader och modifieringar

För att kunna utnyttja de positiva resultat som uppnåtts med murverksbytet fullt ut bör ytterligare några modifieringar på pannan utföras.

De mest framträdande åtgärderna kvarstår att åtgärda är:

- **Modifiering av sekundär- och tertiärluftregistret** samt komplettering av detta med rökgasrecirkulation.
- **Genomgång av fläktkapaciteter för både förbränningsluft och rökgaser.** Under mätningarna efter murverksbytet kunde det konstateras att en begränsande faktor som hindrade en ytterligare lastökning är pannans förbränningsluftsystem. Vid laster på cirka 110 t/h eller högre räcker inte fläktkapaciteten för kvartärluften till utan syrehalten sjunker ner mot 0 %.
- Genomgång av statusen på förbränningsrosten och tryckfallet över torkrosten.

För att få ett bättre fungerande sekundär- och tertiärluftsystem bör detta modifieras. Sekundär- och tertiärluften bör anpassas till att kontinuerligt ge en jämn strömningsprofil och syretillförsel till eldstaden redan innan rökgaserna når kvartärluftnivån enligt Figur 37.



Figur 37: Konfigurering av nytt luftregister.

Figure 37: Configuration of new air nozzles arrangement.

9 Slutsatser

Målet med projektet var att miljöoptimera en skogsindustriell barkpanna i samband med ordinarie revisionsperiod för att kunna förbränna för skogsindustrin intressanta bränslemixer samt att tillämpa nyvunnen kunskap vid en ombyggnad av en fullstor anläggning med avseende på alla praktiska aspekter vid valet av murverk, både ekonomiska såväl som tekniska egenskaper. Basen för projektet är FoU-resultat inom flera olika Värmeforsk-projekt inom området.

För att uppnå projektets målsättning har arbetet koncentrerats på följande tre huvuddelar:

- Temperaturstabilisering
- Bränslebäddstabilisering
- Gasströmningsstabilisering

Av dessa åtgärder är temperaturstabiliseringen genomförd i och med att ett nytt murverk är installerat i pannan under driftstoppet i maj 2005. Övriga föreslagna åtgärder kvarstår att genomföra.

9.1 Slutsatser av murverksbyte

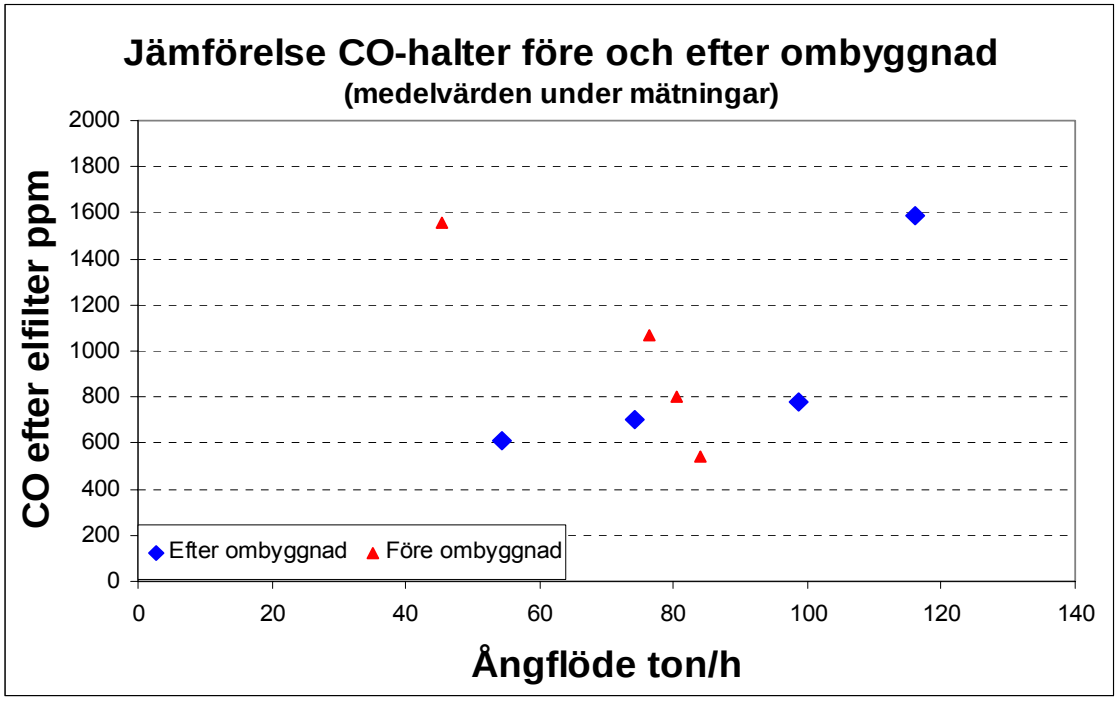
När man studerar resultaten från de genom förda mätningarna och simuleringarna kan man konstatera att bytet av murverket har gett flera positiva resultat.

Bytet av murverk i pannan förväntades att ge en jämnare förbränning och bättre utbränning av CO och oförbrända kolväten och med lägre emissioner av CO och oförbränt kol i aska och rökgas som följd.

Figur 38 visar CO-halten som funktion av lasten i mätningarna både före och efter murverksbytet.

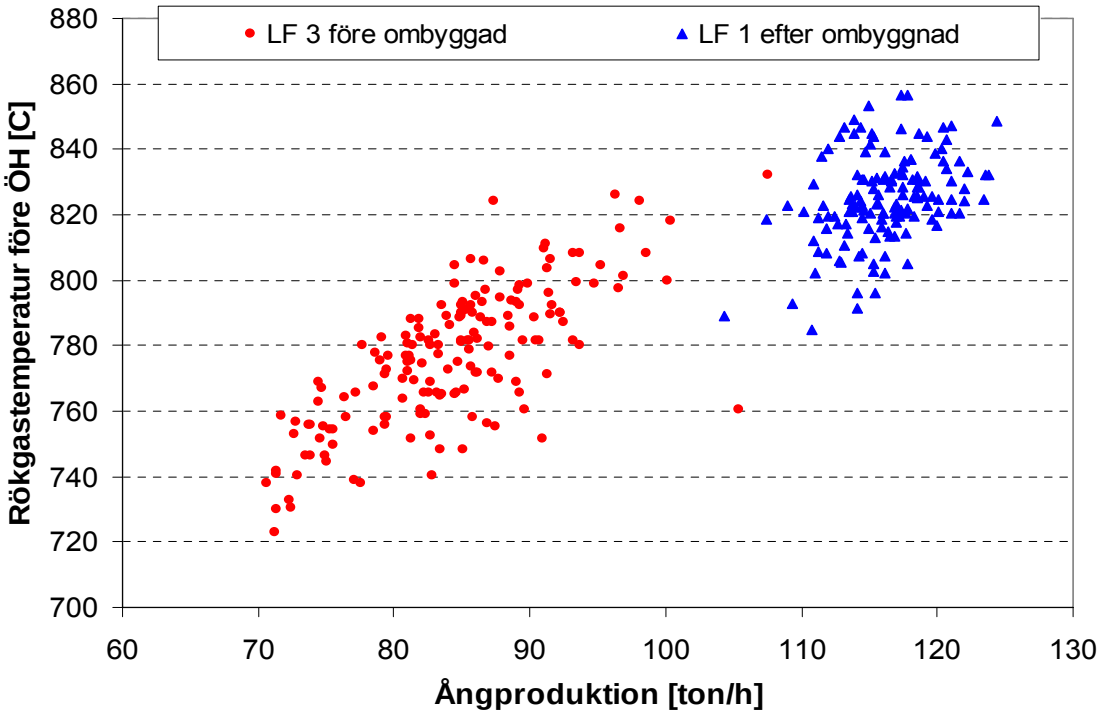
CO-halterna i rökgaserna har sjunkit i samtliga lastfall utom i last fall 1 i mätningen efter murverksbytet. Orsaken till att CO-halten inte sjönk under det lastfallet är många men den största orsaken är att övriga komponenter i pannan inte är dimensionerade för att klara den höga lastnivån. Under mätningarna kunde det konstateras brister i fläktkapaciteten både för överluften och för rökgasfläkten. När lasten överstiger drygt 110 t/h går kvartärluftfläkten på maximal kapacitet och rökgasfläkten i det närmaste på full kapacitet. Det medför att syrehalten i pannan inte kan regleras upp till rätt nivå. Den låga syrehalten resulterar i att CO-halterna inte kan hållas nere på samma nivå som i övriga lastfall.

Vid mätningarna har som förväntat en högre och stabilare eldstadstemperatur noterats. Figur 39 visar på ökningen i eldstadstemperatur efter murverksbytet.



Figur 38: CO-halten i rökgasen för lastfallen 1 till 4 före och efter ombyggnad.

Figure 38: CO concentration in flue gas for load 1 to 4 before and after reconstruction.



Figur 39: Ångproduktion vs. rökgastemperatur för maxlast före och efter ombyggnaden.

Figure 39: Steam production vs. flue gas temperature before and after reconstruction for full load case.

För att dels kunna sänka CO-halterna ytterligare vid samtliga lastsituationer och dels för att kunna operera pannan stabilt på lastnivåer över drygt 100 t/h bör övriga föreslagna modifieringar för att stabilisera gasströmmen och bädden genomföras.

För att åstadkomma en stabilare gasströmning och tidigare omblandning i eldstaden bör därför sekundärluftnivån kompletteras med ett kraftigare luftregister kombinerat med rökgasåterföring som säkerställer god omblandning redan i sekundärnivån. Denna modifiering kommer att ytterligare sänka CO-halterna och oavsett vilken last driften sker vid.

Fläktkapaciteter bör även gås igenom för att med marginal klara de förbränningsluft- och rökgasmängder som krävs vid lastnivåer över 100 t/h biobränsle.

Utöver åtgärderna på luftsystemen bör även bränsleinmatningssystemet och bränslerosten gås igenom att förbättra statusen.

Bytet av murverket har medfört en ökning av NO-halten i rökgasen. Den ökningen bör minska om det nya luftregistret med bättre omblandning i den nivån och rökgasåterföring införs.

Målet med att minska andelen oförbränt i askorna har inte riktigt uppfyllts. Totalt sett har andelen oförbränt i bottenaskan minskats något. Andelen oförbränt i flygaskan verkar ha ökat efter ombyggnaden. Tyvärr råder det viss osäkerhet i mätvärdena för flygaskan vid mätningarna innan ombyggnaden av murverket. Men det verkar dock troligt att pannan vid extremt hög last närmar sig ett maximum. Detta medför ofta att en stor andel av oförbrända partiklar rycks med från bädden och hamnar i rökgasen. Detta kan åtgärdas med bättre stoftavskiljning av stora partiklar efter pannan samt återföring av dessa oförbrända partiklar till eldstaden. Dessa möjligheter behandlas dock ej i denna rapport.

10 Litteraturreferenser

[1] Wrangensten L, Schuster R, Ingman R et al; ”Aktiva Murverk – Etapp 1” rapport nr 743 Värmeforsk, Stockholm oktober 2001

[2] Ehleskog R, Eklund A; ”Aktiva Murverk – Etapp 2” rapport nr 780 Värmeforsk, Stockholm juni 2002

[3] Sendelius M, Schuster R; ”Bäddbrännare för rosterpannor” rapport nr 764 Värmeforsk, Stockholm februari 2002

[4] Eklund A; ”Tester av torkeffekten på rörlig bränsleroster med nya murverk i testrigg - Aktiva murverk och brännare - Etapp 2B” rapport nr 817 Värmeforsk, Stockholm juli 2003

Bilagor

A Utvärdering mätdata före ombyggnad

Denna bilaga redovisar mätresultat från den första mätserien före ombyggnationen som genomfördes i april 2004.

A.1 Driftdata

Lastfall 1. Normallast med normal bränsleblandning.
Lastfall 2. Dellast med normal bränsleblandning.
Lastfall 3. Höglast med bränsleflis i bränsleblandningen.
Lastfall 4. Lastfall med hög andel barrbark i bränsleblandningen.

	Ångflöde ton/h	NO mg/Nm3	O2 %	SO2 mg/Nm3	CO efter elfilter ppm	Rökgastemp förre ÖH	förre elfilter
Lastfall 1	76,41	63,02	6,63	7,425	1064,77	707,02	139,27
Lastfall 2	45,51	48,57	8,64	7,077	1557,92	626,20	123,75
Lastfall 3	84,13	67,56	6,10	0,615	544,79	776,72	143,13
Lastfall 4	80,58	52,05	6,37	0,966	805,04	749,38	141,49

Bränsle- och askanalys

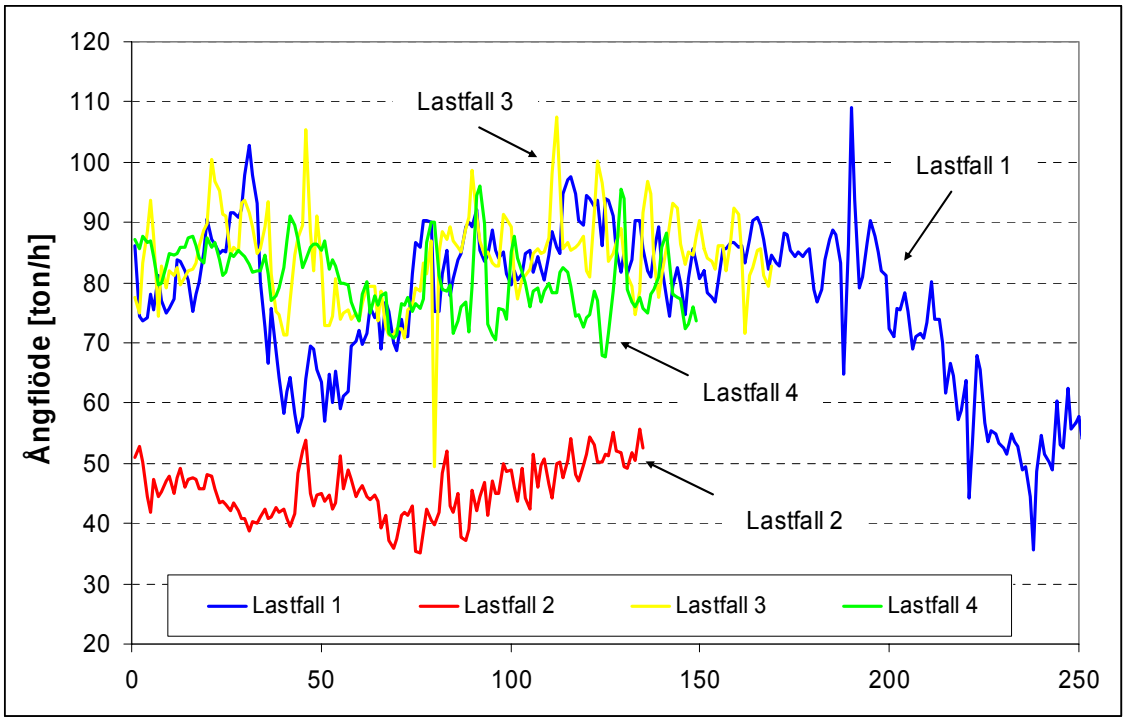
	Lastfall 1	Lastfall 2	Lastfall 3	Lastfall 4
C %	24,5	27,4	26,6	25,7
H %	8,9	8,6	8,7	8,7
N %	0,1	0,1	0,1	0,1
O %	64,72	62,03	63,12	63,85
Total fukt %	54,5	48,7	50	50,9
Askhalt %	1,8	1,8	1,5	1,6
Värmevärde MJ/kg	9,46	10,89	10,395	10,376
Oförbränt i bottenaska % TS	3,2	3,5	5,2	3,2
Oförbränt i flygaska % TS	<0,1	<0,1	<0,1	1,8

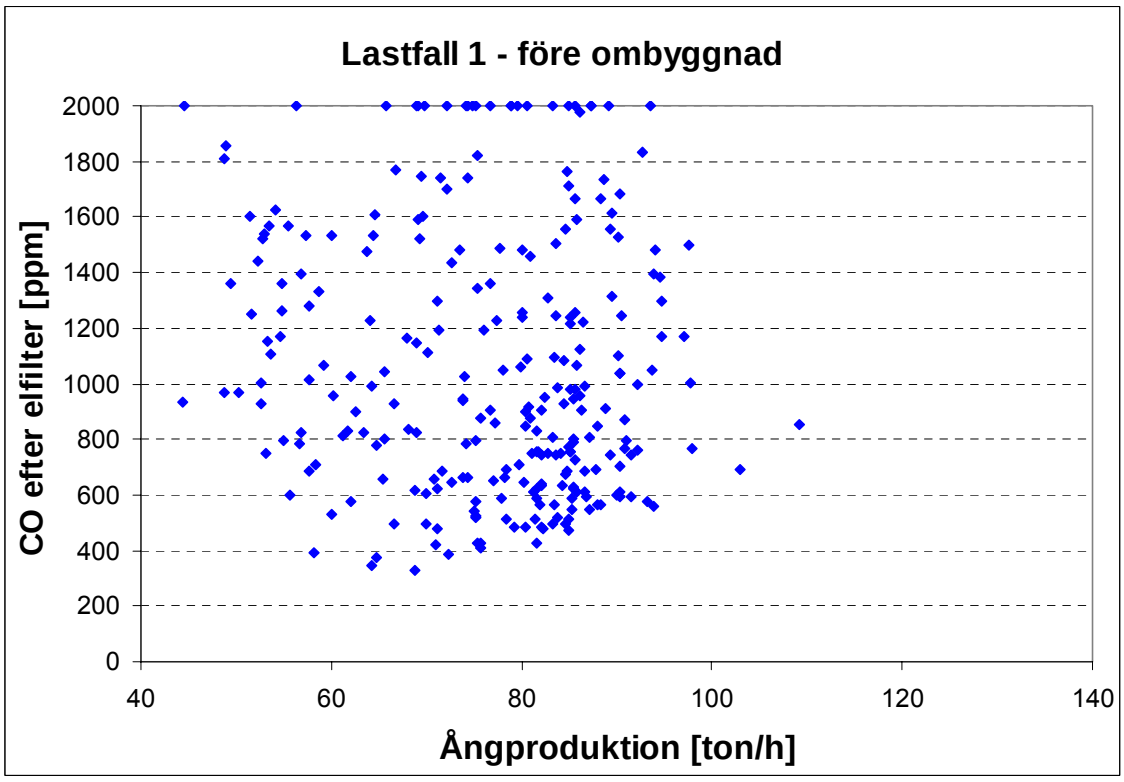
Sammanställning av driftdata från kontrollrummet.

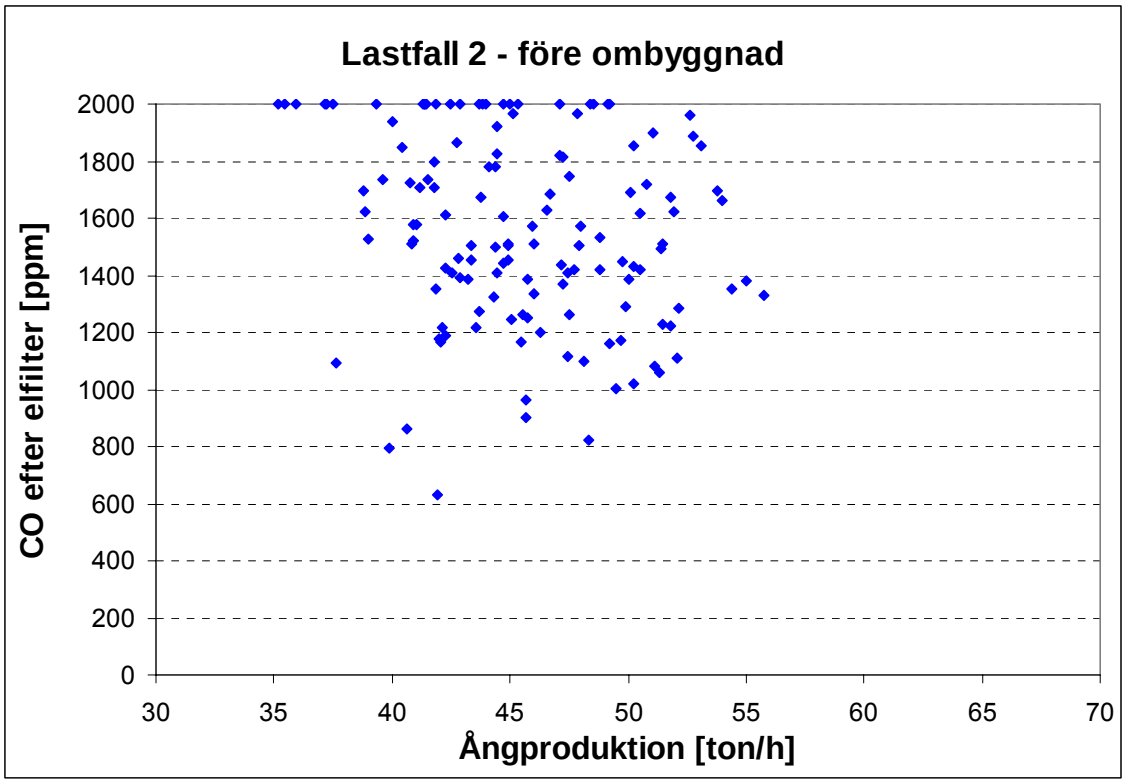
Lastfall 1 - 2004-04-22 kl 8.00 - kl. 12.25			**Lastfall 2 - 2004-04-22 kl. 15:04:00 - kl. 17:18:00**		
Barkmängd till P12	98,64	m3/h	Barkmängd till P12	65,31	m3/h
Ångmängd	76,41	ton/h	Ångmängd	45,51	ton/h
Tillförd effekt bark	235,79	GJ/h	Tillförd effekt bark	140,94	GJ/h
Temp utgående ånga	460,01	C	Temp utgående ånga	460,06	C
MAVA förre eco	141,62	C	MAVA förre eco	134,72	C
Matarvatten	73,27	m3/h	Matarvatten	40,53	m3/h
Matarvatten	18,72	kg/s	Matarvatten	10,36	kg/s
Primärluft	40238,44	m3/h	Primärluft	28859,23	m3/h
Primärluft	11,18	m3/s	Primärluft	8,02	m3/s
Primärluft	14,25	kg/s	Primärluft	6,21	kg/s
Temperatur	175,97	C	Temperatur	176,01	C
Tubrosterluft	12855,75	Nm3/h	Tubrosterluft	9333,15	Nm3/h
Tubrosterluft	4,55	kg/s	Tubrosterluft	3,31	kg/s
Torkluft övre	3596,42	Nm3/h	Torkluft övre	2955,74	Nm3/h
Torkluft nedre	9256,27	Nm3/h	Torkluft nedre	6383,32	Nm3/h
Torkluft övre	1,27	kg/s	Torkluft övre	1,05	kg/s
Torkluft nedre	3,28	kg/s	Torkluft nedre	2,26	kg/s
Temperatur	251,40	C	Temperatur	251,23	C
Kablitzluft	27356,18	Nm3/h	Kablitzluft	19516,01	Nm3/h
Kablitzluft	9,69	kg/s	Kablitzluft	6,91	kg/s
Temperatur	175,97	C	Temperatur	176,01	C
Hög sekundärluft	1672,81	Nm3/h	Hög sekundärluft	1637,16	Nm3/h
Hög sekundärluft	0,59	kg/s	Hög sekundärluft	0,58	kg/s
Temperatur	15,60	C	Temperatur	17,62	C
Låg sekundärluft	20,31	Nm3/h	Låg sekundärluft	7,11	Nm3/h
Låg sekundärluft	0,01	kg/s	Låg sekundärluft	0,00	kg/s
Tertiärluftflöde	21,58	Nm3/h	Tertiärluftflöde	6,58	Nm3/h
Tertiärluftflöde	0,01	kg/s	Tertiärluftflöde	0,00	kg/s
Kvartärluft	13735,36	Nm3/h	Kvartärluft	3126,38	Nm3/h
Kvartärluft	4,87	kg/s	Kvartärluft	1,11	kg/s
Temperatur	149,97	C	Temperatur	150,00	C
Oljeluft, brännare 1-4	6881,16	Nm3/h	Oljeluft, brännare 1-4	0,00	Nm3/h
Oljeluft, brännare 1-4	2,44	kg/s	Oljeluft, brännare 1-4	0,00	kg/s
Temperatur	38,41	C	Temperatur	56,13	C
Torr rökgasflöde	94055,06	Nm3/h	Torr rökgasflöde	65876,30	Nm3/h
Torr rökgasflöde	33,32	kg/s	Torr rökgasflöde	23,34	kg/s
O2 från P12	6,63	%	O2 från P12	8,64	%

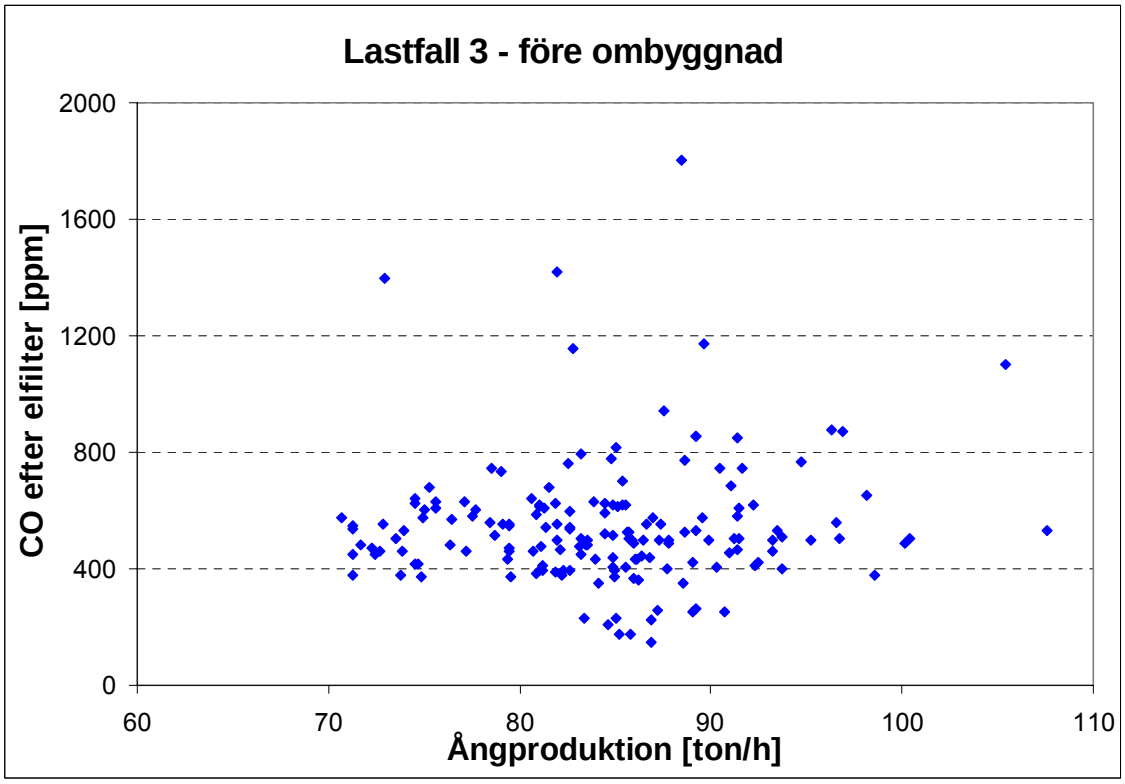
Sammanställning av driftdata från kontrollrummet.

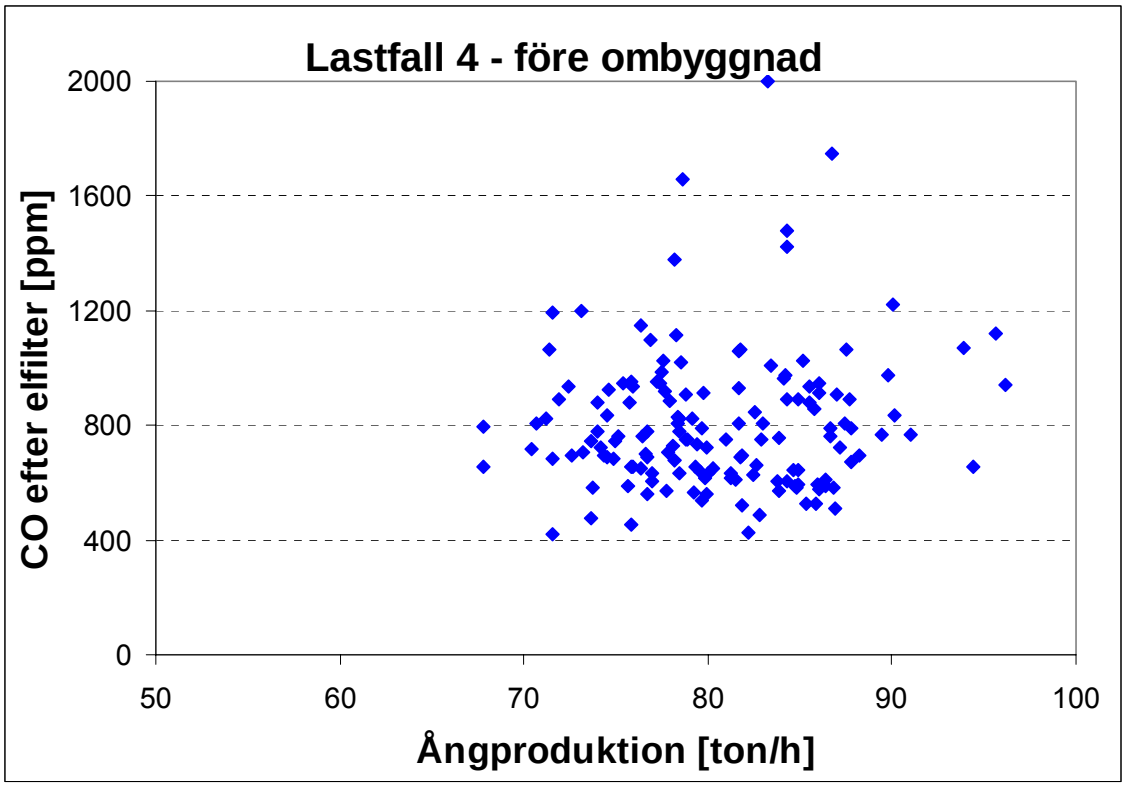
Lastfall 3 - 2004-04-22 kl. 20:13:00 - kl. 23:01:00			**Lastfall 4 - 2004-04-23 kl. 08:41:00 - kl. 11:09:00**		
Barkmängd till P12	107,49	m3/h	Barkmängd till P12	104,28	m3/h
Ångmängd	84,00	ton/h	Ångmängd	80,58	ton/h
Tillförd effekt bark	258,84	GJ/h	Tillförd effekt bark	248,64	GJ/h
Temp utgående ånga	460,11	C	Temp utgående ånga	460,06	C
MAVA förre eco	141,95	C	MAVA förre eco	142,24	C
Matarvatten	81,36	m3/h	Matarvatten	78,55	m3/h
Matarvatten	20,79	kg/s	Matarvatten	20,07	kg/s
Primärluft	39521,31	m3/h	Primärluft	39841,98	m3/h
Primärluft	10,98	m3/s	Primärluft	11,07	m3/s
Primärluft	8,50	kg/s	Primärluft	8,57	kg/s
Temperatur	175,95	C	Temperatur	175,98	C
Tubrosterluft	12752,22	Nm3/h	Tubrosterluft	12587,54	Nm3/h
Tubrosterluft	4,52	kg/s	Tubrosterluft	4,46	kg/s
Torkluft övre	3899,15	Nm3/h	Torkluft övre	3690,41	Nm3/h
Torkluft nedre	8840,50	Nm3/h	Torkluft nedre	8895,18	Nm3/h
Torkluft övre	1,38	kg/s	Torkluft övre	1,31	kg/s
Torkluft nedre	3,13	kg/s	Torkluft nedre	3,15	kg/s
Temperatur	251,47	C	Temperatur	251,75	C
Kablitzluft	26752,66	Nm3/h	Kablitzluft	27248,28	Nm3/h
Kablitzluft	9,48	kg/s	Kablitzluft	9,65	kg/s
Temperatur	175,95	C	Kablitzluft temp	175,98	C
Hög sekundärluft	1770,10	Nm3/h	Hög sekundärluft	1665,11	Nm3/h
Hög sekundärluft	0,63	kg/s	Hög sekundärluft	0,59	kg/s
Temperatur	16,71	C	Temperatur	15,57	C
Låg sekundärluft	20,16	Nm3/h	Låg sekundärluft	17,25	Nm3/h
Låg sekundärluft	0,01	kg/s	Låg sekundärluft	0,01	kg/s
Tertiärluftflöde	71,12	Nm3/h	Tertiärluftflöde	111,46	Nm3/h
Tertiärluftflöde	0,03	kg/s	Tertiärluftflöde	0,04	kg/s
Kvartärluft	29706,31	Nm3/h	Kvartärluft	28142,91	Nm3/h
Kvartärluft	10,52	kg/s	Kvartärluft	9,97	kg/s
Temperatur	150,00	C	Temperatur	150,00	C
Oljeluft, brännare 1-4	21,11	Nm3/h	Oljeluft, brännare 1-4	0,00	Nm3/h
Oljeluft, brännare 1-4	0,01	kg/s	Oljeluft, brännare 1-4	0,00	kg/s
Temperatur	63,88	C	Temperatur	72,33	C
Torr rökgasflöde	100164,50	Nm3/h	Torr rökgasflöde	97681,59	Nm3/h
Torr rökgasflöde	35,49	kg/s	Torr rökgasflöde	34,61	kg/s
O2 från P12	6,14	%	O2 från P12	6,37	%


Ångflöde [ton/h]
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
0
50
100
150
200
250
Lastfall 3
Lastfall 1
Lastfall 4
Lastfall 2
Lastfall 1
Lastfall 2
Lastfall 3
Lastfall 4


Lastfall 1 - före ombyggnad
CO efter elfilter [ppm]
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
40
60
80
100
120
140
Ångproduktion [ton/h]

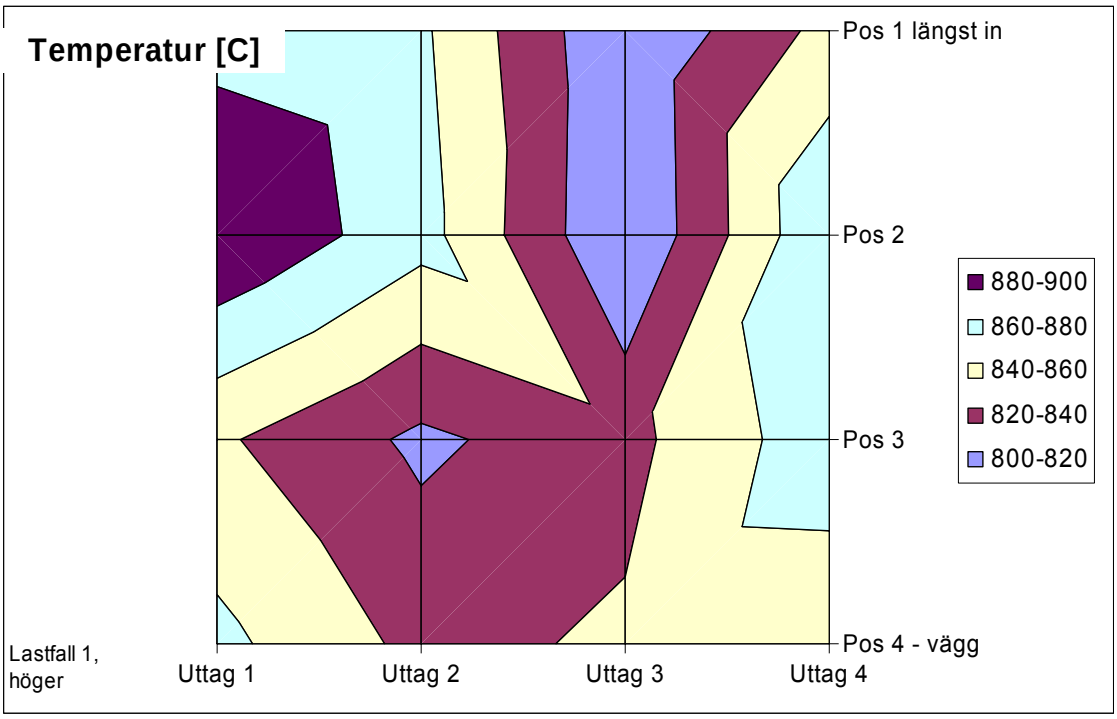

Lastfall 2 - före ombyggnad
CO efter elfilter [ppm]
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
30
35
40
45
50
55
60
65
70
Ångproduktion [ton/h]

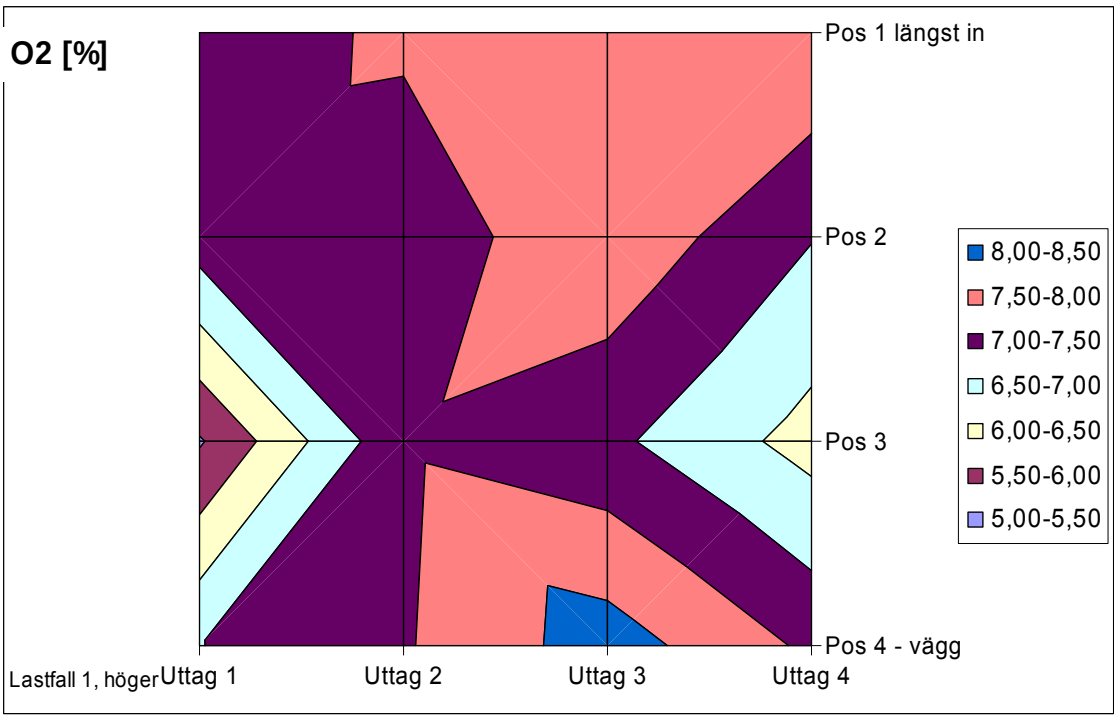

Lastfall 3 - före ombyggnad
CO efter elfilter [ppm]
2000
1600
1200
800
400
0
60
70
80
90
100
110
Ångproduktion [ton/h]

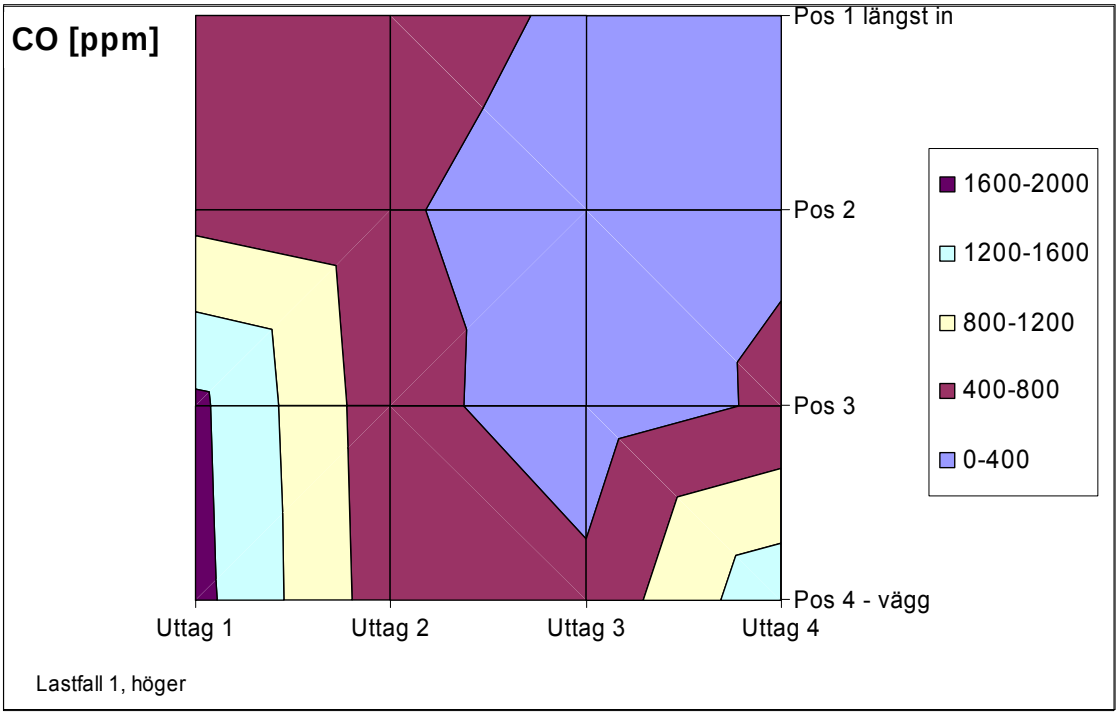

Lastfall 4 - före ombyggnad
CO efter elfilter [ppm]
2000
1600
1200
800
400
0
50
60
70
80
90
100
Ångproduktion [ton/h]

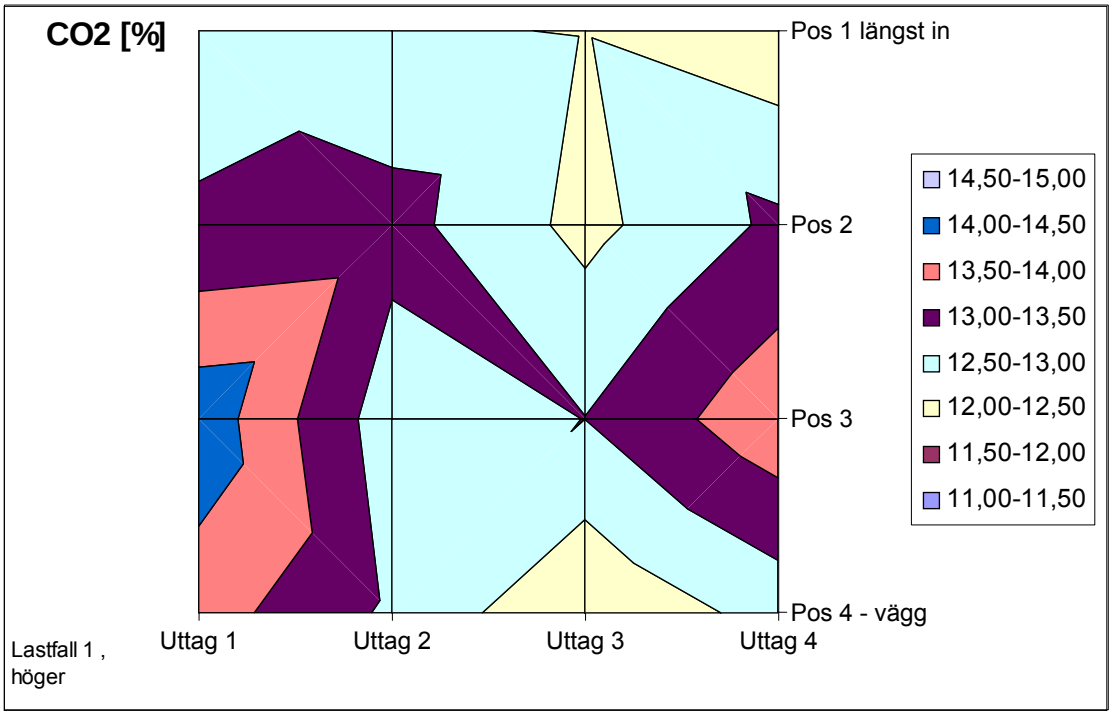
A.2 Lastfall 1

Högre mätplan






CO [ppm]
Pos 1 längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4 - vägg
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4
1600-2000
1200-1600
800-1200
400-800
0-400
Lastfall 1, höger


CO2 [%]
Pos 1 längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4 - vägg
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4
14,50-15,00
14,00-14,50
13,50-14,00
13,00-13,50
12,50-13,00
12,00-12,50
11,50-12,00
11,00-11,50
Lastfall 1 , höger

Temperatur [C]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	872,56	863,3	801,3	846,23
Pos 2	899,51	867,7	800,0	879,13
Pos 3	843,17	815,7	834,1	872,76
Pos 4	865,24	834,5	842,9	844,18

O2 [%]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	7,25	7,58	7,73	7,97
Pos 2	7,27	7,20	7,88	7,02
Pos 3	5,45	7,41	7,12	6,31
Pos 4	6,99	7,45	8,25	7,40

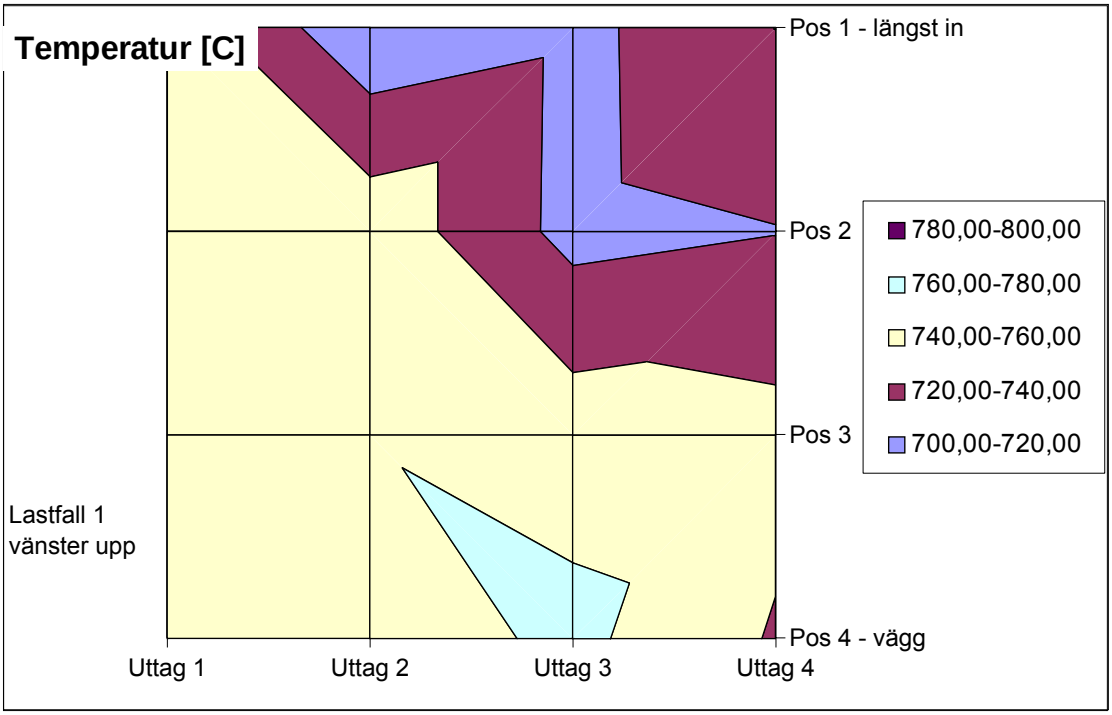
CO [ppm]

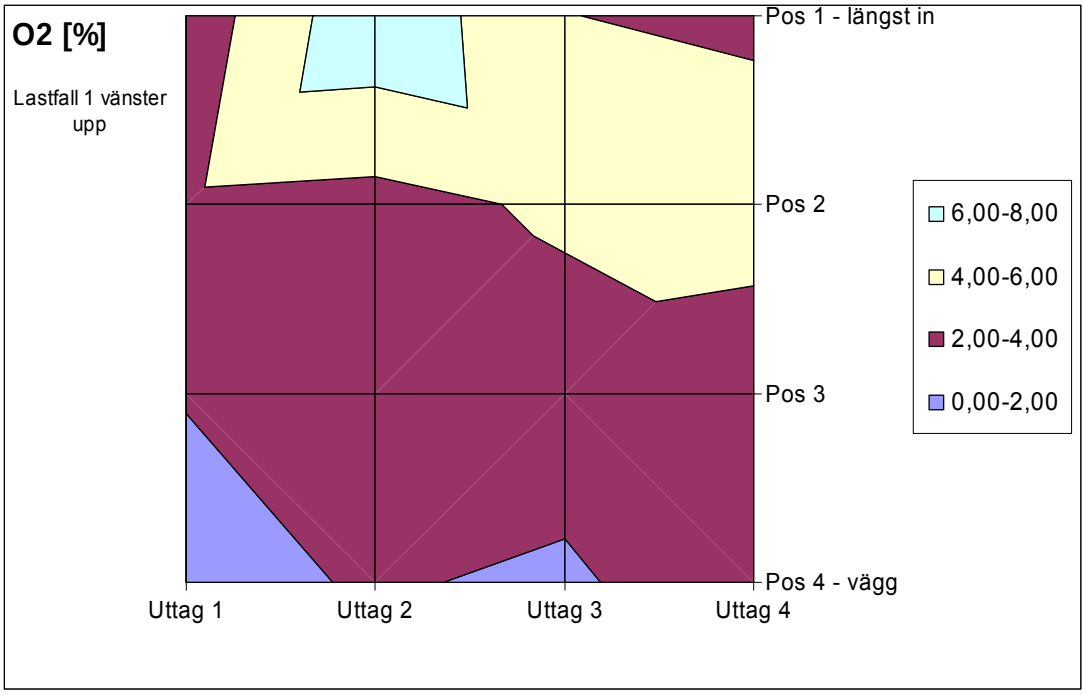
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	622	595	324	125
Pos 2	670	448	181	345
Pos 3	1684	539	171	463
Pos 4	1728	567	504	1509

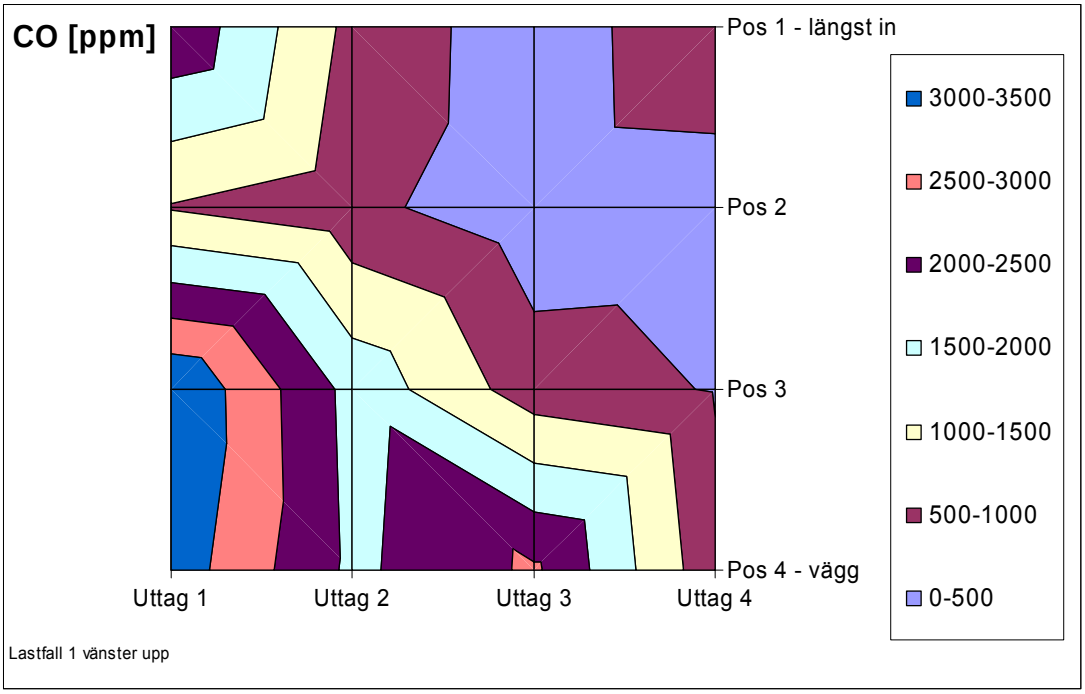
CO2 [%]

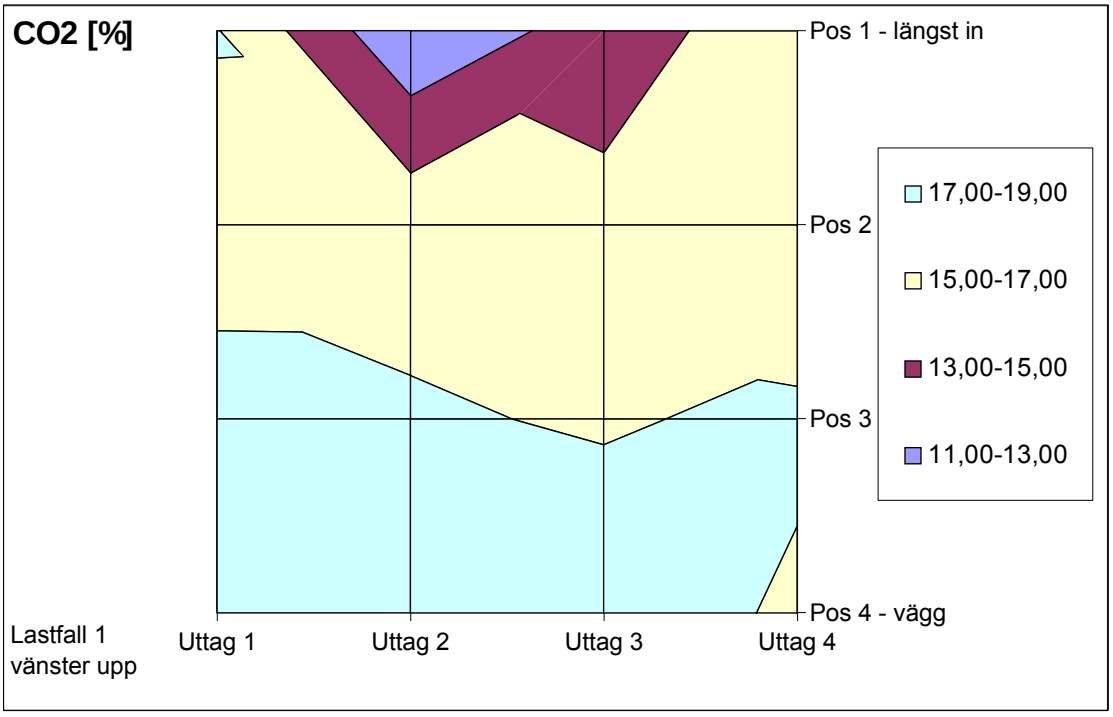
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	12,8	12,56	12,48	12,12
Pos 2	13,06	13,18	12,35	13,10
Pos 3	14,33	12,72	13,01	13,85
Pos 4	13,73	12,92	12,03	12,69

Övre mätplan vänster






CO [ppm]
Pos 1 - längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4 - vägg
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4
3000-3500
2500-3000
2000-2500
1500-2000
1000-1500
500-1000
0-500
Lastfall 1 vänster upp


CO2 [%]
Pos 1 - längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4 - vägg
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4
17,00-19,00
15,00-17,00
13,00-15,00
11,00-13,00
Lastfall 1
vänster upp

Temperatur

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	752	703,67	714,21	740,21
Pos 2	742,96	753,09	713,71	719,39
Pos 3	752,03	759,04	751,69	746,87
Pos 4	743,74	746,53	765,01	738,18

O2 [%]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	2,76	7,61	4,03	3,69
Pos 2	3,62	3,36	4,32	4,99
Pos 3	2,07	2,38	3,07	2,68
Pos 4	1,38	2,18	1,68	3,38

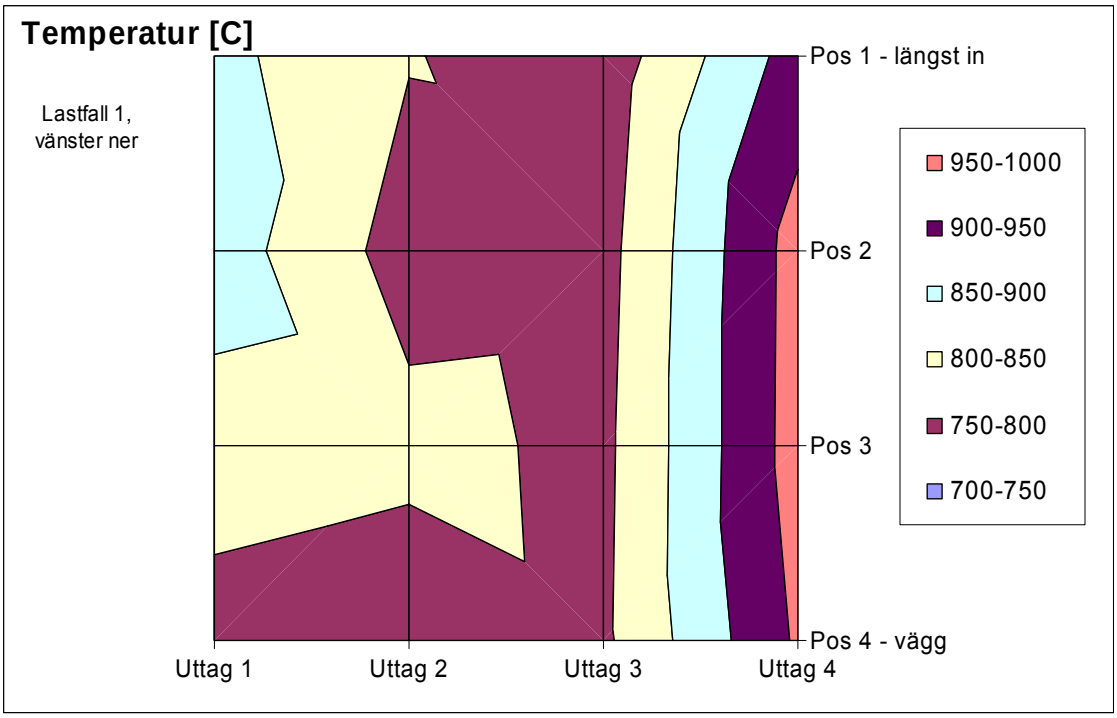
CO [ppm]

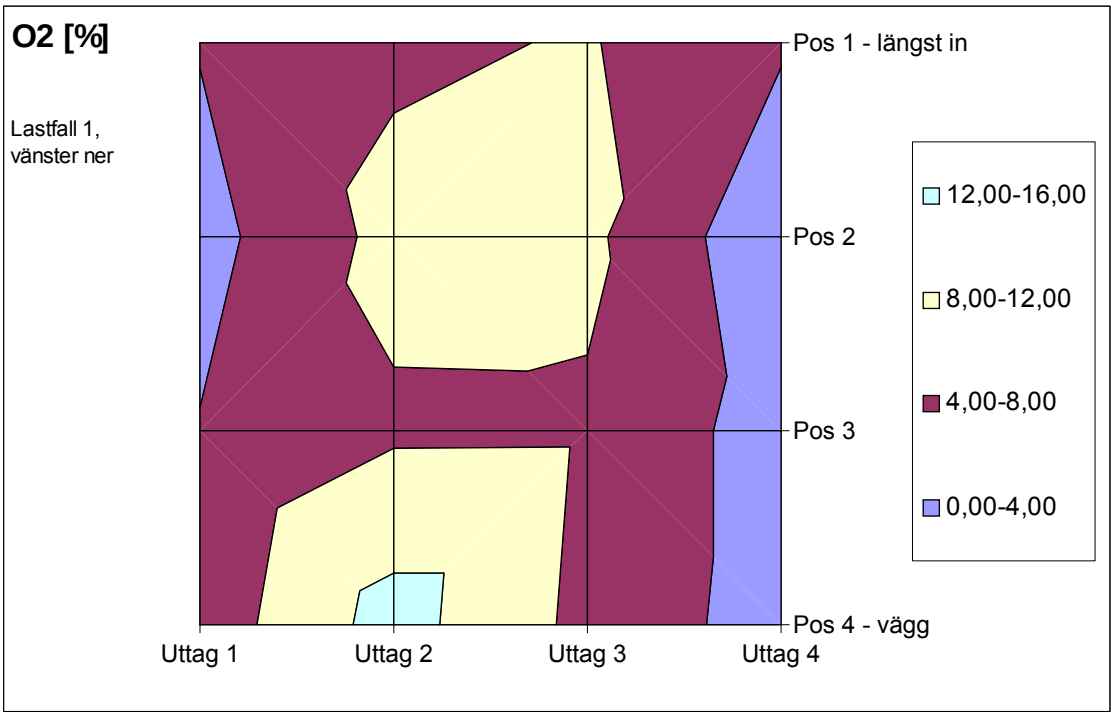
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	2416	864	194	901
Pos 2	965	630	179	224
Pos 3	3485	1846	739	471
Pos 4	3298	1892	2586	662

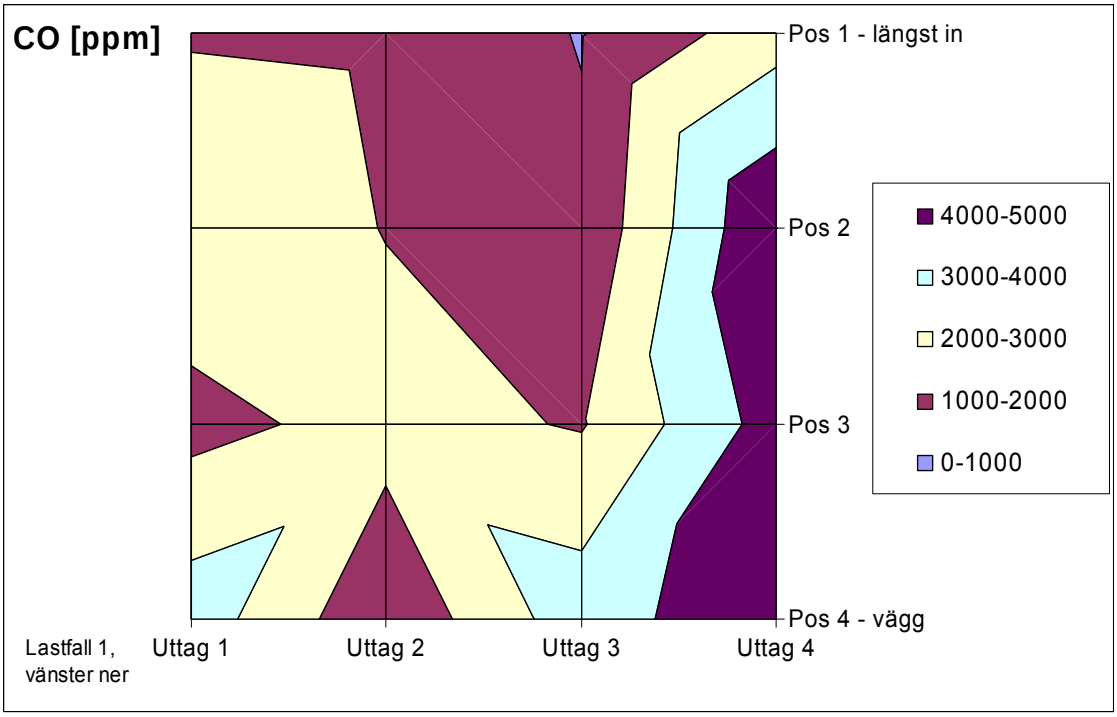
CO2 [%]

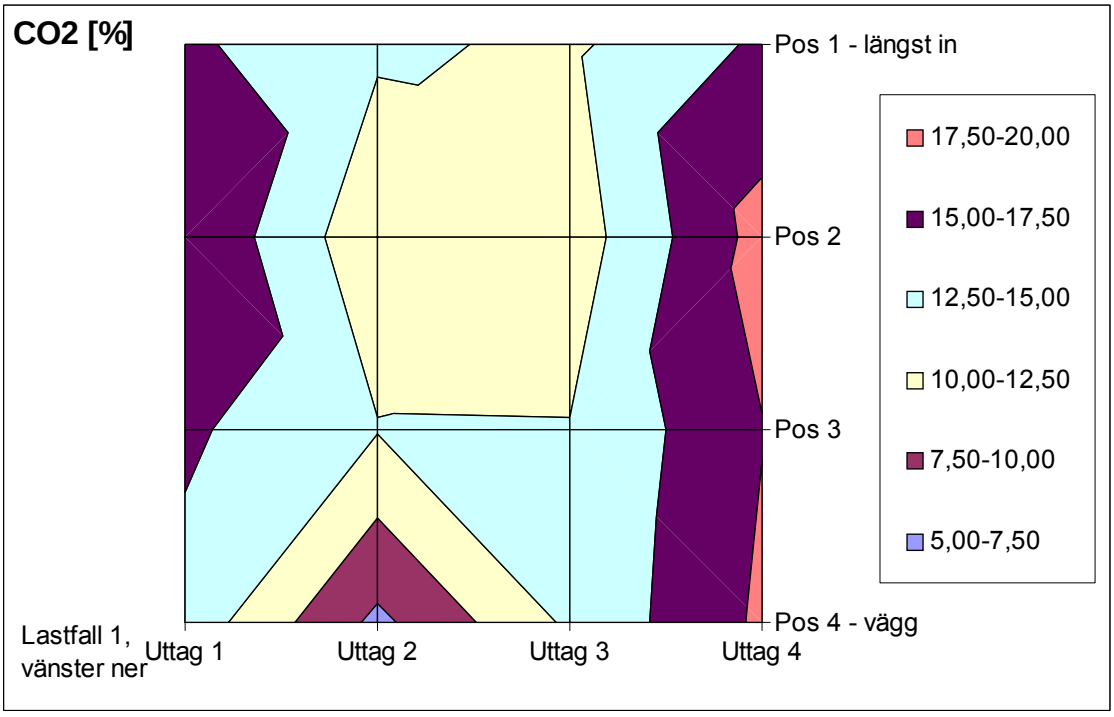
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	17,11	11,27	14,01	16,25
Pos 2	16,36	16,33	15,58	15,23
Pos 3	17,53	17,19	16,83	17,35
Pos 4	18,34	17,63	18,1	16,72

Nedre mätplan vänster






CO [ppm]
Pos 1 - längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4 - vägg
4000-5000
3000-4000
2000-3000
1000-2000
0-1000
Lastfall 1, vänster ner
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4


CO2 [%]
Pos 1 - längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4 - vägg
17,50-20,00
15,00-17,50
12,50-15,00
10,00-12,50
7,50-10,00
5,00-7,50
Lastfall 1, vänster ner
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4

Temperatur [C]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	863,6	802,9	770,26	921,68
Pos 2	879,51	778,51	782,83	970,32
Pos 3	826,87	814,96	788,41	970,97
Pos 4	779,01	765,67	790,02	956,74

O2 [%]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	4,22	7,3	8,28	4,45
Pos 2	2,61	9,21	8,84	0,9
Pos 3	4,18	7,41	7,46	2,15
Pos 4	5,65	13,62	6,94	2,18

CO [ppm]

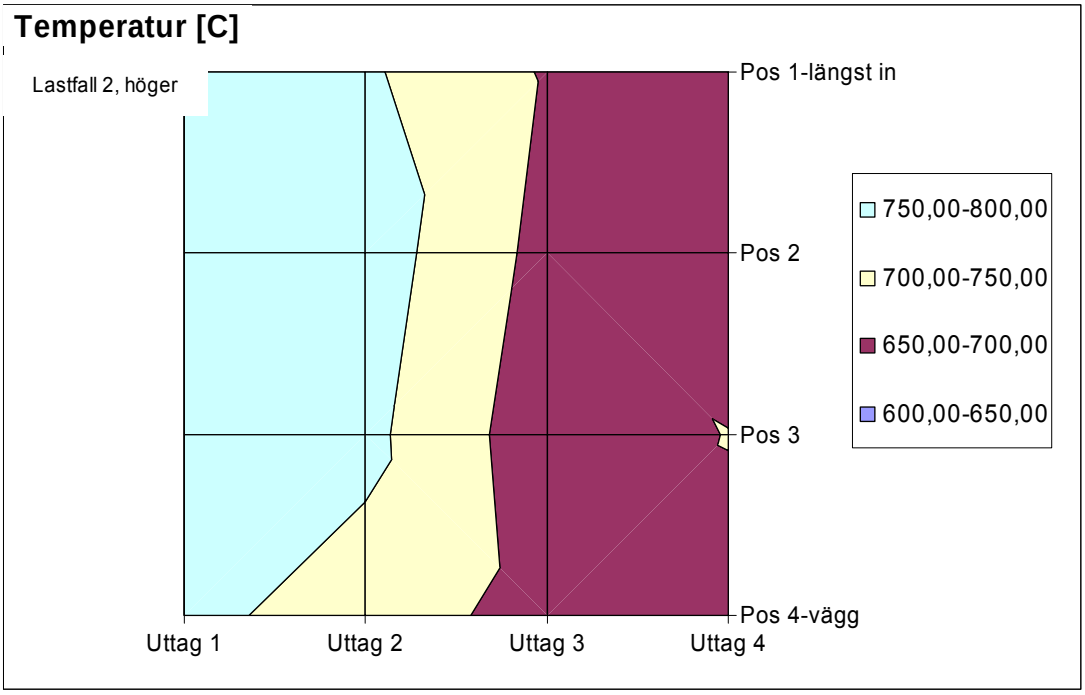
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	1921	1824	949	2573
Pos 2	2746	1968	1209	> 5000
Pos 3	1680	2371	1922	4434
Pos 4	3573	1187	3580	4697

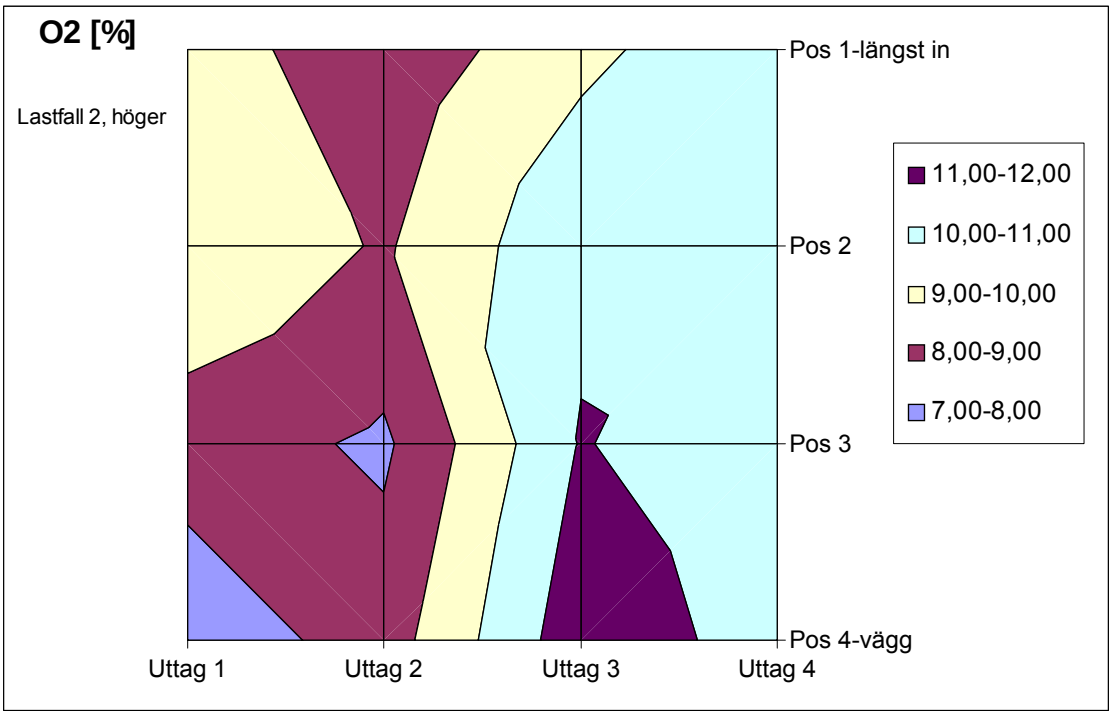
CO2 [%]

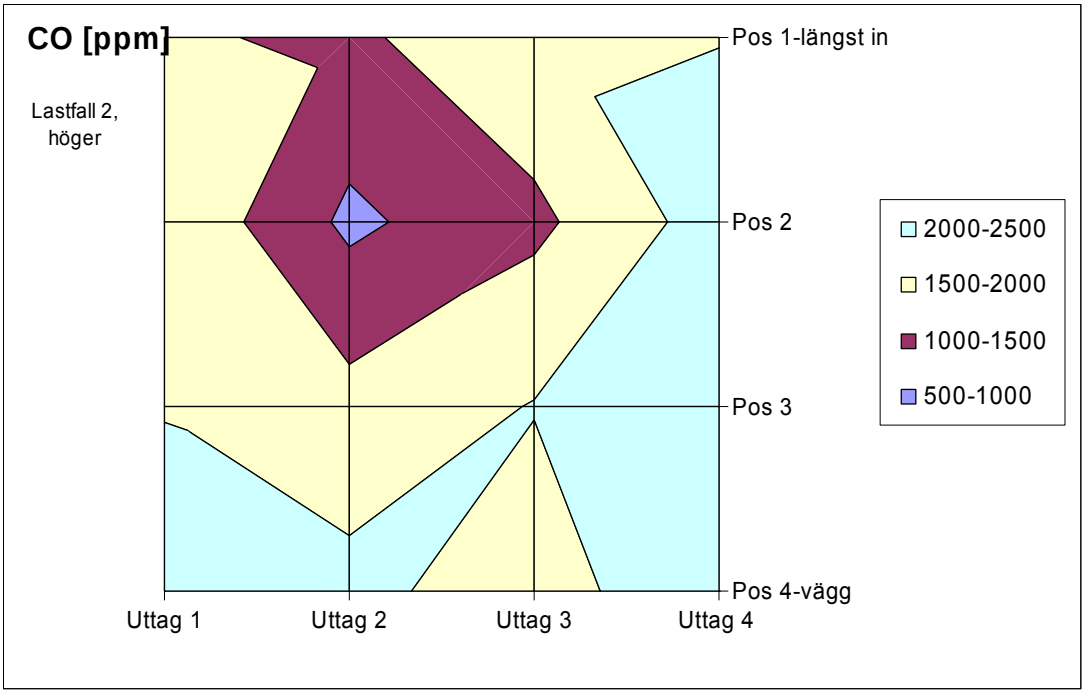
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	15,44	12,88	12,09	15,41
Pos 2	17,47	10,65	11,12	18,45
Pos 3	15,4	12,63	12,60	17,41
Pos 4	14,17	6,9	12,91	17,95

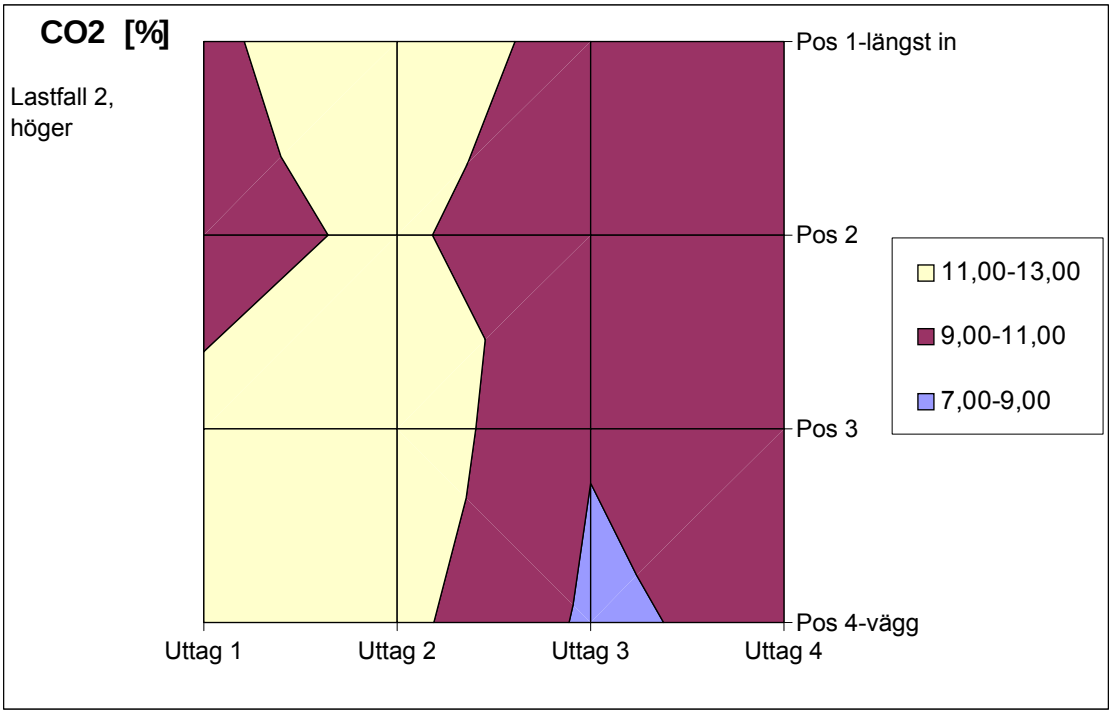
A.3 Lastfall 2

Högre mätplan






CO [ppm]
Lastfall 2, höger
Pos 1-längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4-vägg
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4
2000-2500
1500-2000
1000-1500
500-1000


CO2 [%]
Lastfall 2, höger
Pos 1-längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4-vägg
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4
11,00-13,00
9,00-11,00
7,00-9,00

Temperatur [C]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	779,8	756,4	695,9	667,1
Pos 2	766,7	775,7	685,1	664,8
Pos 3	755,4	762,1	671,2	701,4
Pos 4	761,1	729,8	678,2	686,5

O2 [%]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	9,53	8,3	8,75	10,84
Pos 2	9,93	8,89	10,79	10,63
Pos 3	8,50	7,83	11,06	10,23
Pos 4	7,31	8,50	11,65	10,56

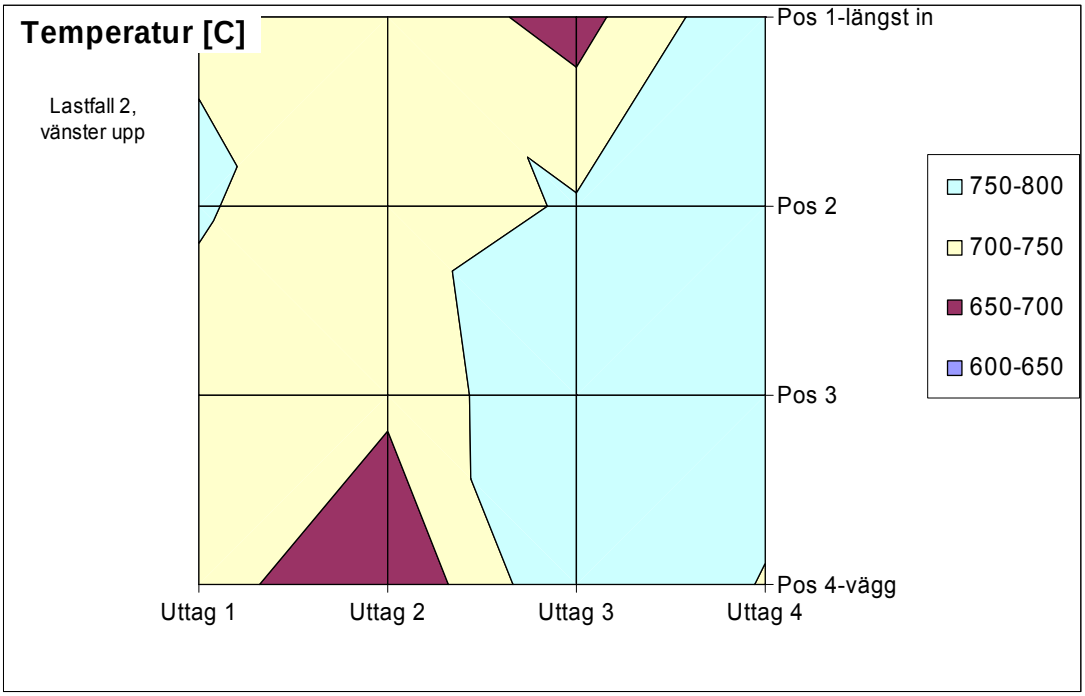
CO [ppm]

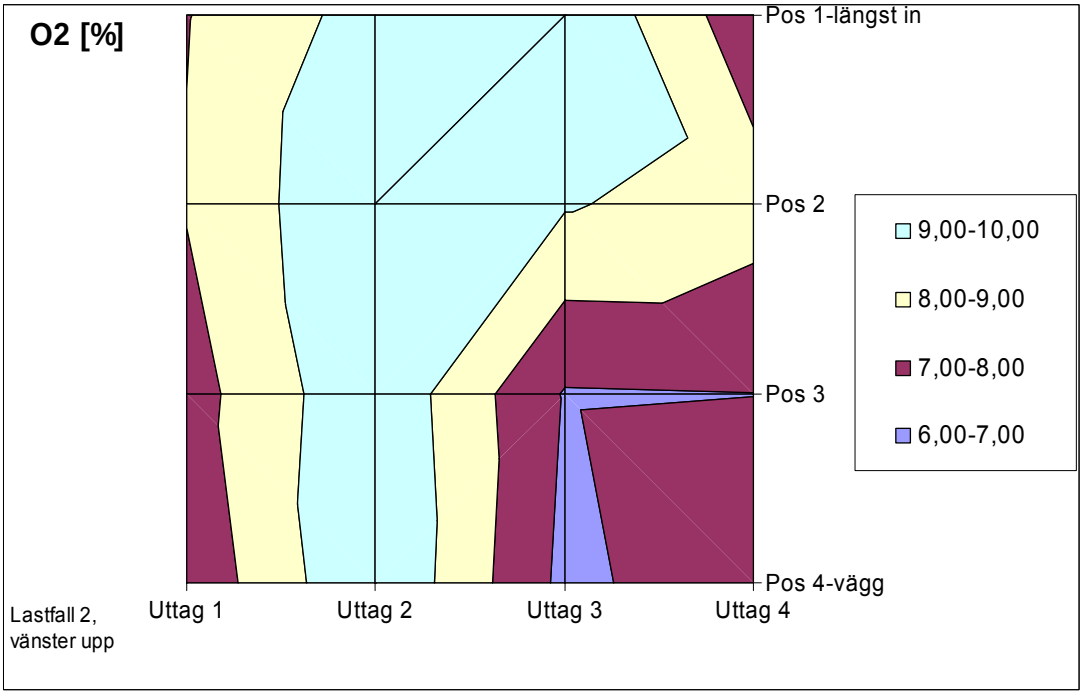
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	1564	1407	1884	1984
Pos 2	1960	895	1389	2242
Pos 3	1979	1678	2021	2194
Pos 4	2228	2140	1728	2894

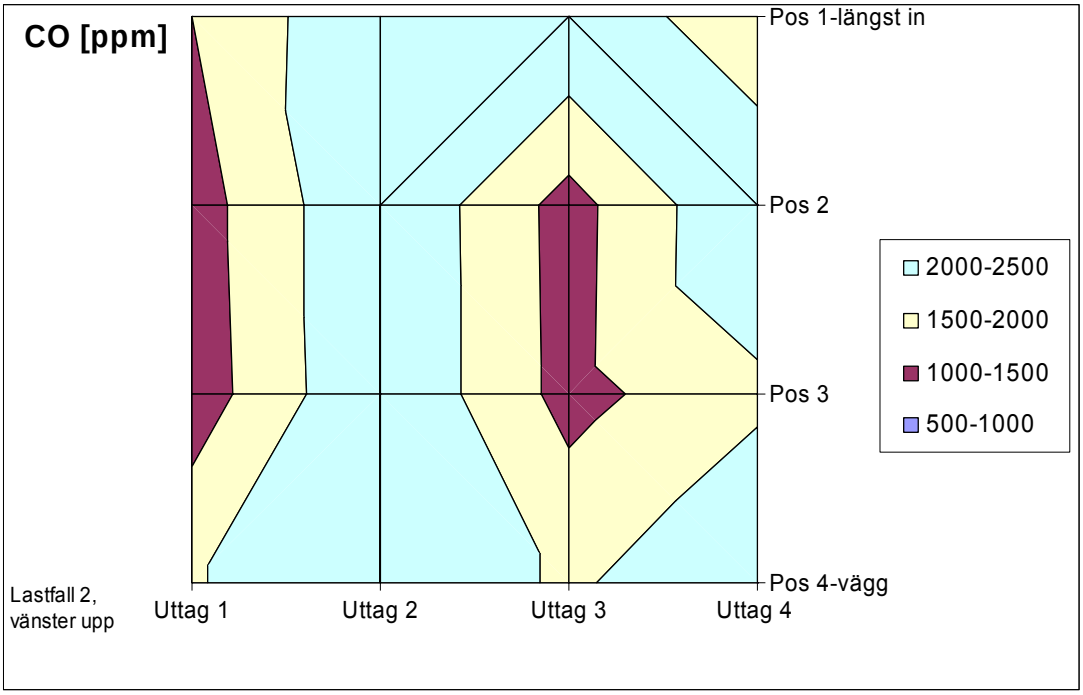
CO2 [%]

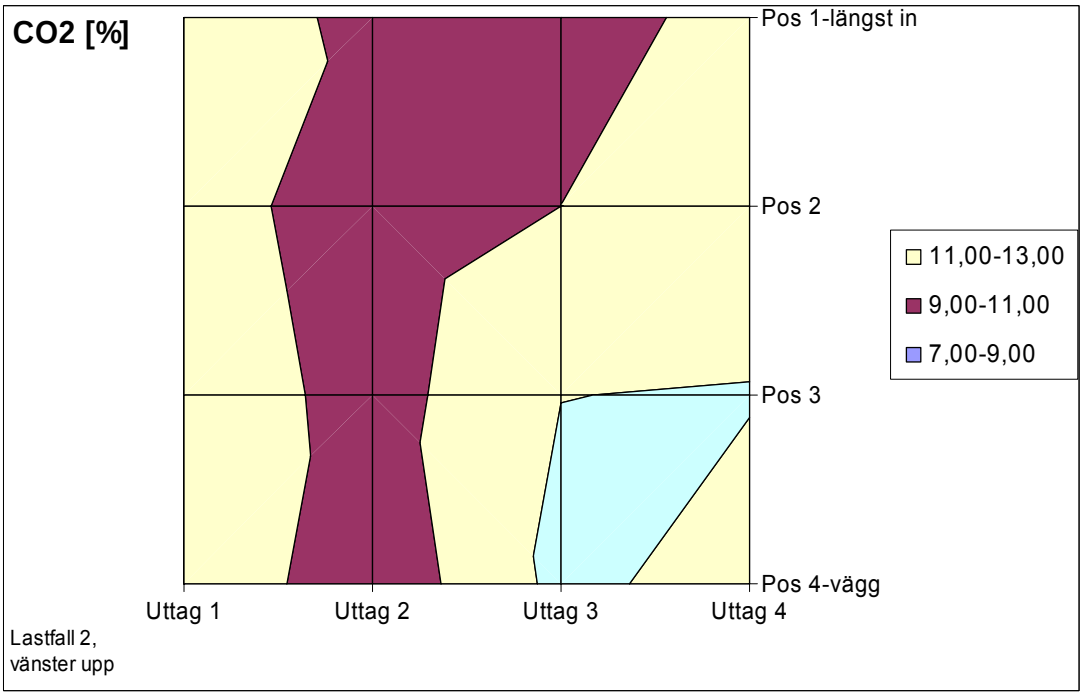
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	12,64	11,94	10,40	9,37
Pos 2	11,41	11,35	9,46	9,50
Pos 3	10,37	12,29	9,12	9,99
Pos 4	12,64	11,56	8,69	9,49

Övre mätplan vänster






CO [ppm]
Pos 1-längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4-vägg
2000-2500
1500-2000
1000-1500
500-1000
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4
Lastfall 2,
vänster upp


CO2 [%]
Pos 1-längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4-vägg
11,00-13,00
9,00-11,00
7,00-9,00
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4
Lastfall 2,
vänster upp

Temperatur [C]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	747,3	736,4	680,2	805,2
Pos 2	753,3	723,9	754,8	777,8
Pos 3	736,2	711,3	806,9	771,7
Pos 4	722,7	652,81	798,9	747,3

O2 koncentration

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	7,96	9,41	11,06	7,32
Pos 2	8,06	10,37	9,09	8,46
Pos 3	7,6	9,85	6,93	6,99
Pos 4	7,25	10,67	6,76	7,68

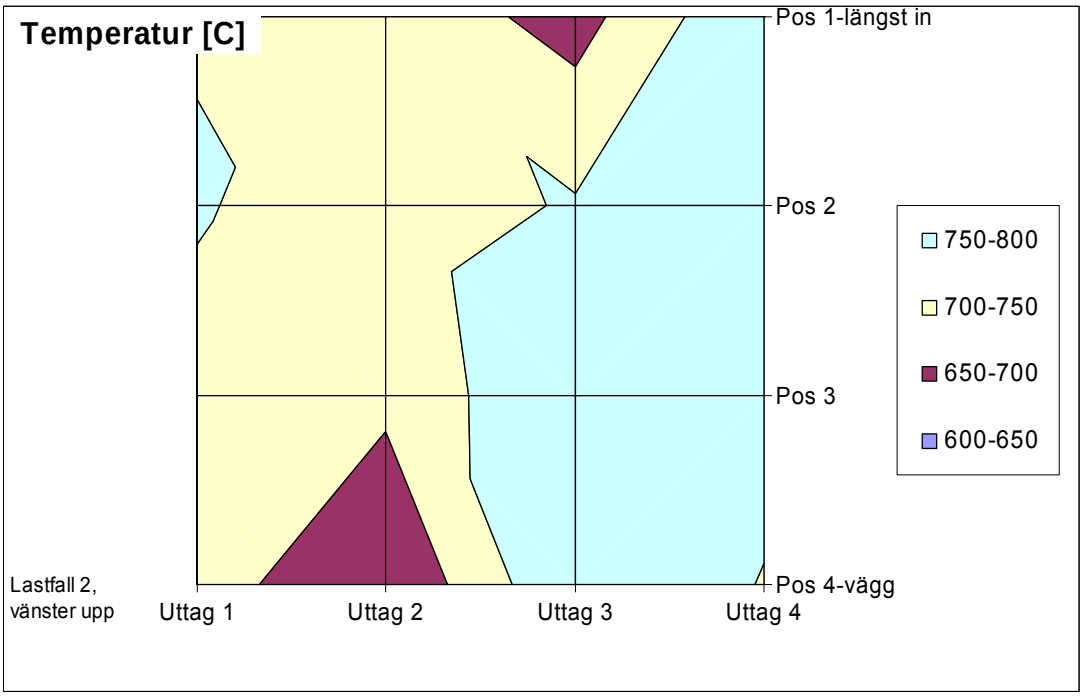
CO koncentration

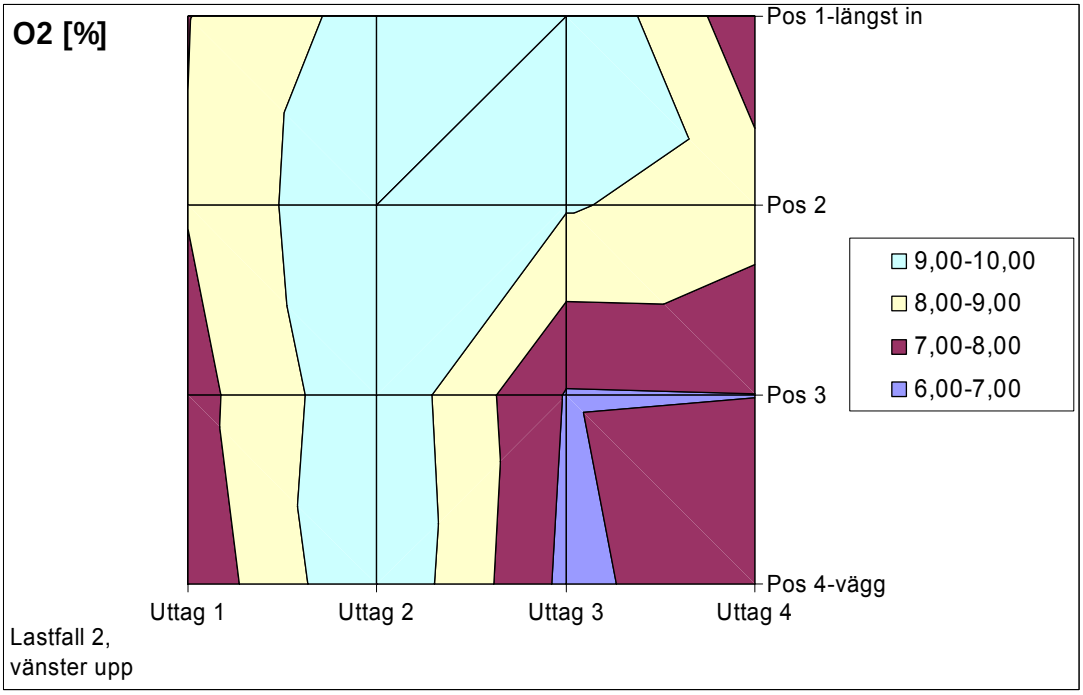
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	1496	2477	2975	1534
Pos 2	1257	2831	1316	4539
Pos 3	1215	2890	1331	1890
Pos 4	1952	2936	1910	3435

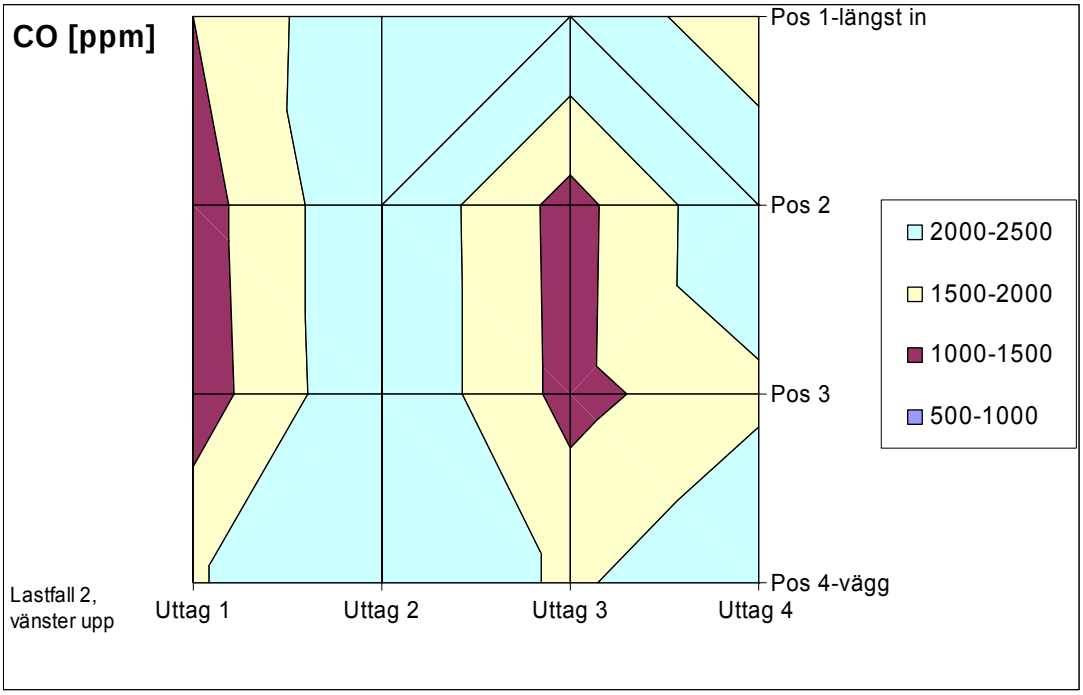
CO2 koncentration

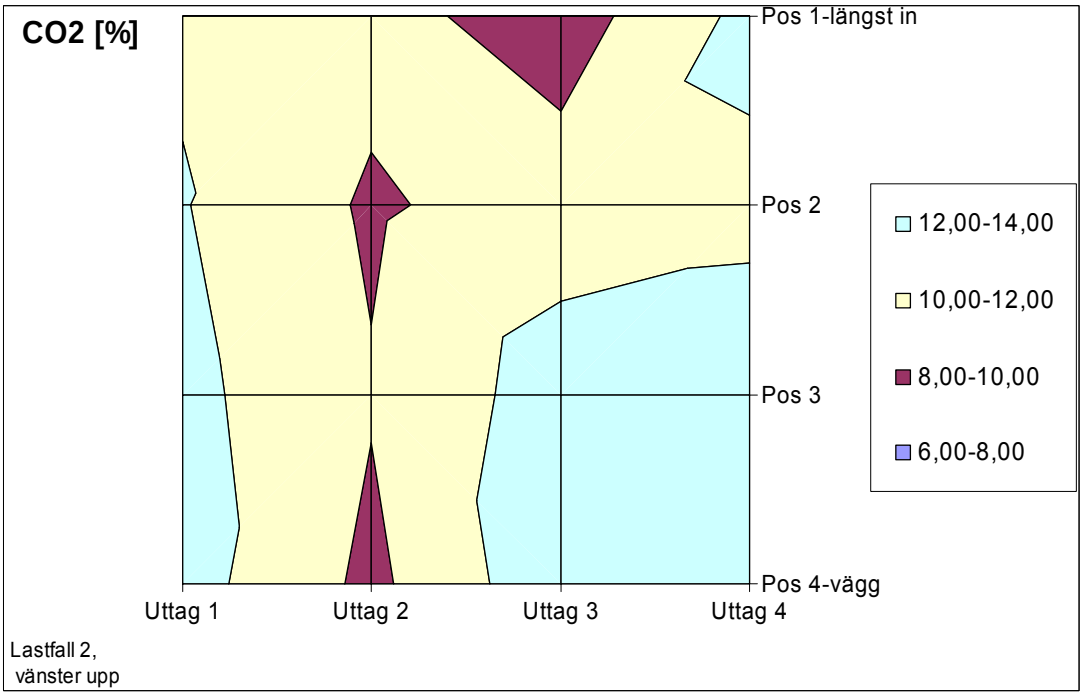
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	11,81	10,67	9,01	12,53
Pos 2	12,1	9,74	10,99	11,52
Pos 3	12,54	10,15	12,98	13,11
Pos 4	12,78	9,55	13,47	12,20

Nedre mätplan vänster






CO [ppm]
Pos 1-längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4-vägg
2000-2500
1500-2000
1000-1500
500-1000
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4
Lastfall 2,
vänster upp


CO2 [%]
Pos 1-längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4-vägg
12,00-14,00
10,00-12,00
8,00-10,00
6,00-8,00
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4
Lastfall 2,
vänster upp

Temperatur [C]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	747,3	736,4	680,2	805,2
Pos 2	753,3	723,9	754,8	777,8
Pos 3	736,2	711,3	806,9	771,7
Pos 4	722,7	652,81	798,9	747,3

O2 [%]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	7,96	9,41	11,06	7,32
Pos 2	8,06	10,37	9,09	8,46
Pos 3	7,6	9,85	6,93	6,99
Pos 4	7,25	10,67	6,76	7,68

CO [ppm]

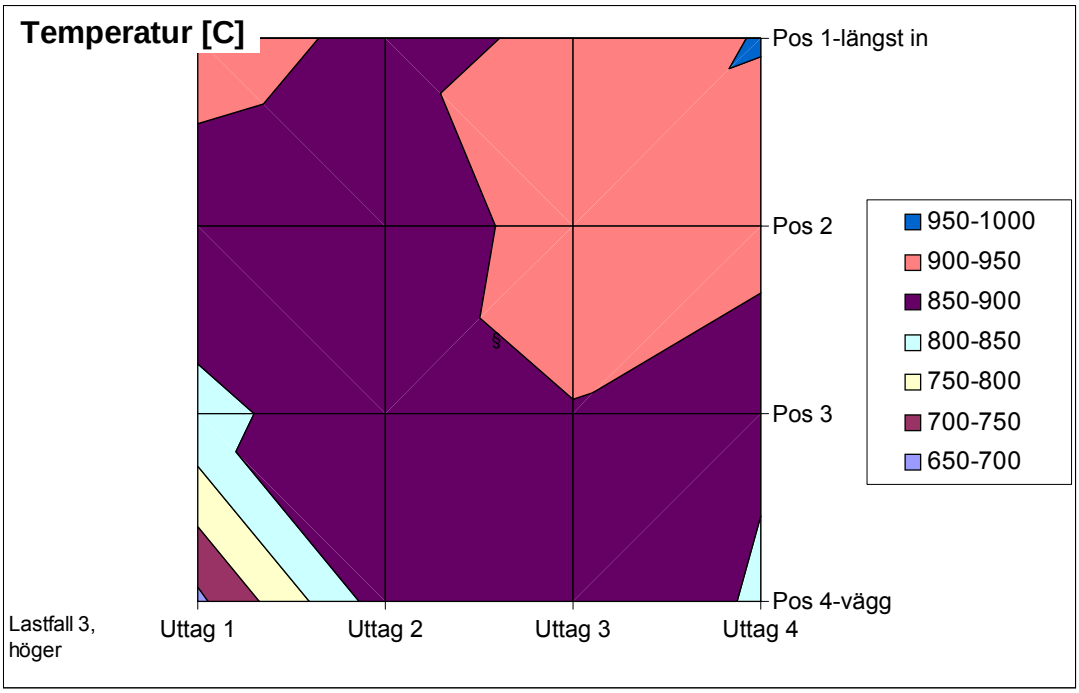
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	1496	2477	2975	1534
Pos 2	1257	2831	1316	4539
Pos 3	1215	2890	1331	1890
Pos 4	1952	2936	1910	3435

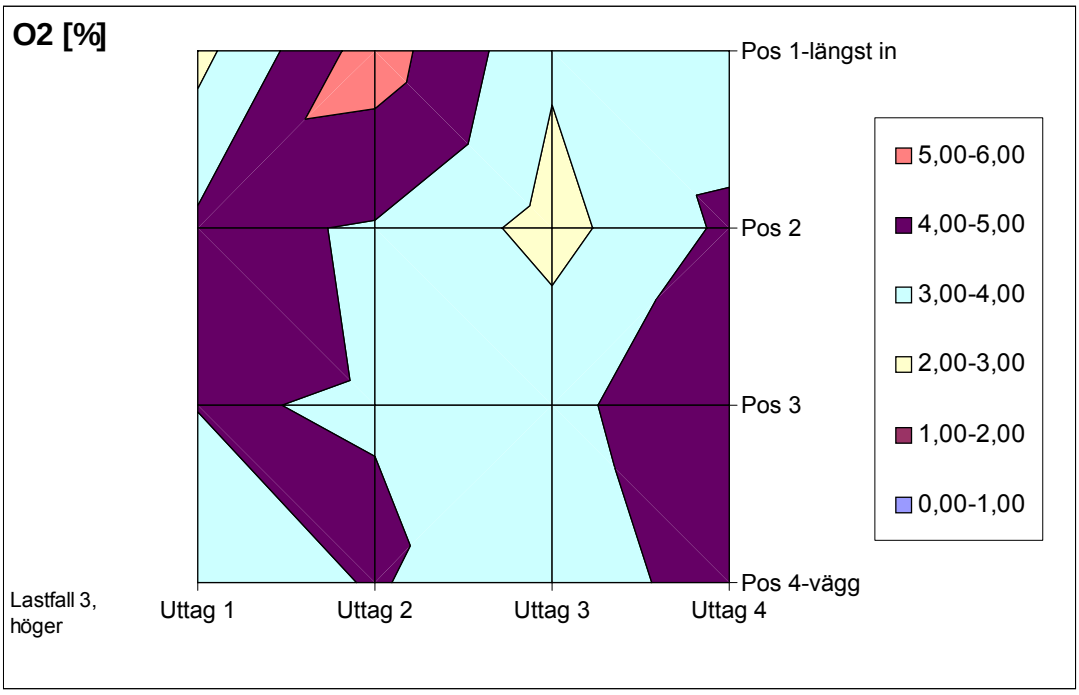
CO2 [%]

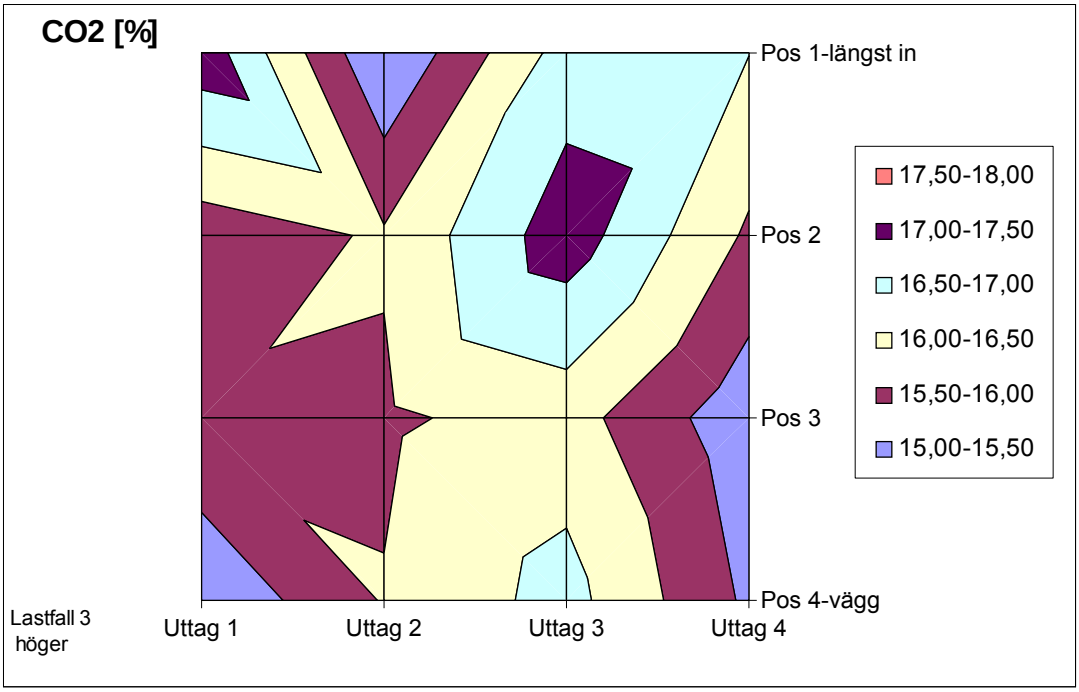
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	11,81	10,67	9,01	12,53
Pos 2	12,1	9,74	10,99	11,52
Pos 3	12,54	10,15	12,98	13,11
Pos 4	12,78	9,55	13,47	12,20

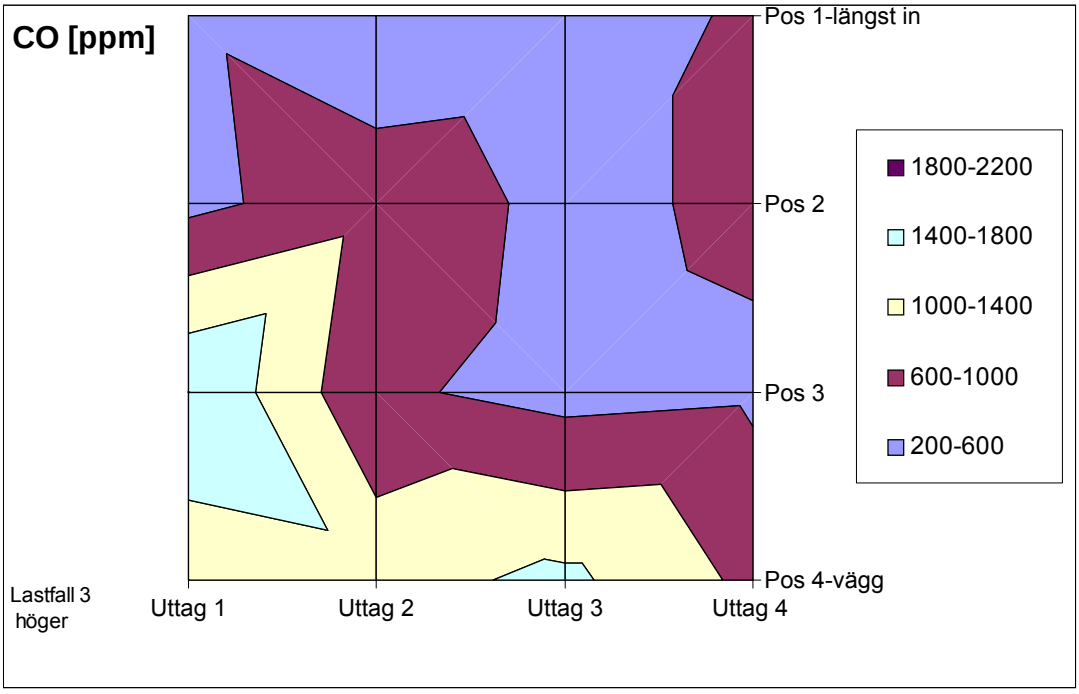
A.4 Lastfall 3

Högre mätplan






CO2 [%]
Pos 1-längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4-vägg
17,50-18,00
17,00-17,50
16,50-17,00
16,00-16,50
15,50-16,00
15,00-15,50
Lastfall 3
höger
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4


CO [ppm]
Pos 1-längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4-vägg
1800-2200
1400-1800
1000-1400
600-1000
200-600
Lastfall 3
höger
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4

Temperatur [C]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	926,8	885,3	909,4	953,1
Pos 2	868,1	850,7	934,4	823,3
Pos 3	843,6	864,4	897,2	858,4
Pos 4	688,7	874,9	899,7	843,0

O2 [%]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	2,67	5,52	3,16	3,35
Pos 2	4,19	3,93	2,64	4,19
Pos 3	4,03	3,97	3,73	4,76
Pos 4	3,37	4,07	3,38	4,48

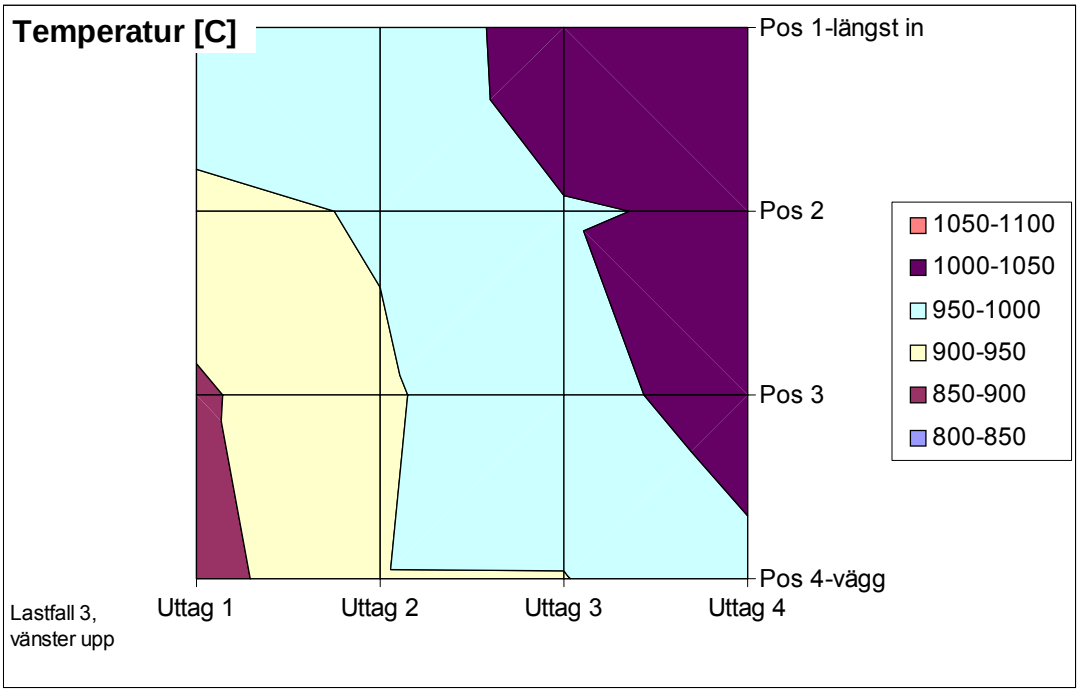
CO [ppm]

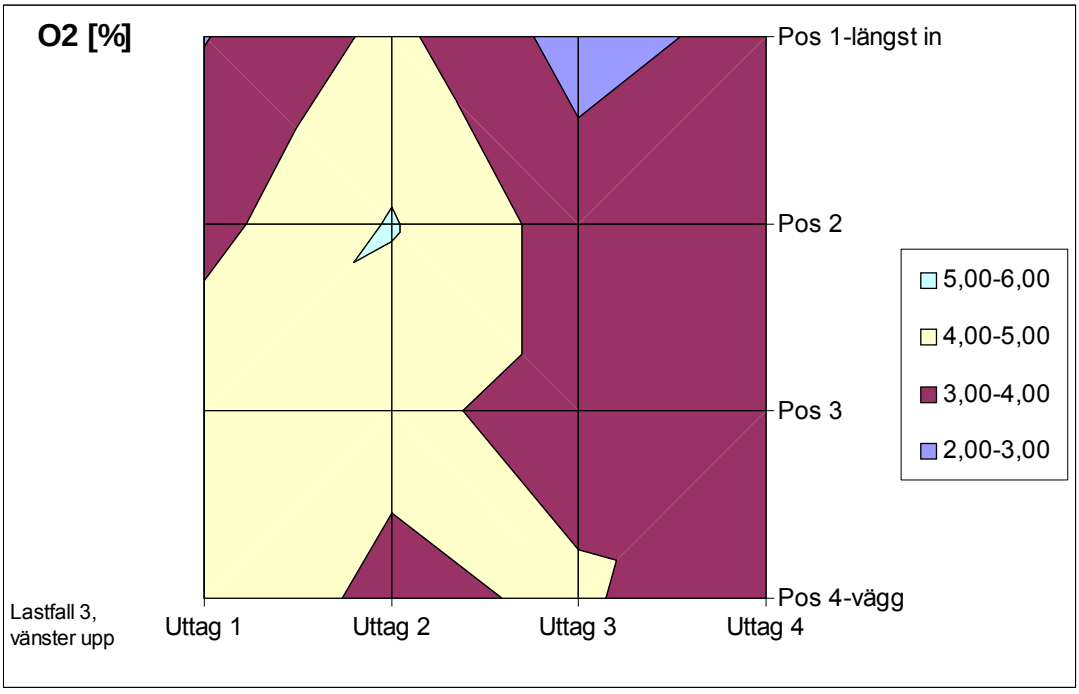
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	542	250	332	675
Pos 2	504	832	500	675
Pos 3	1803	669	464	530
Pos 4	1100	1257	1490	908

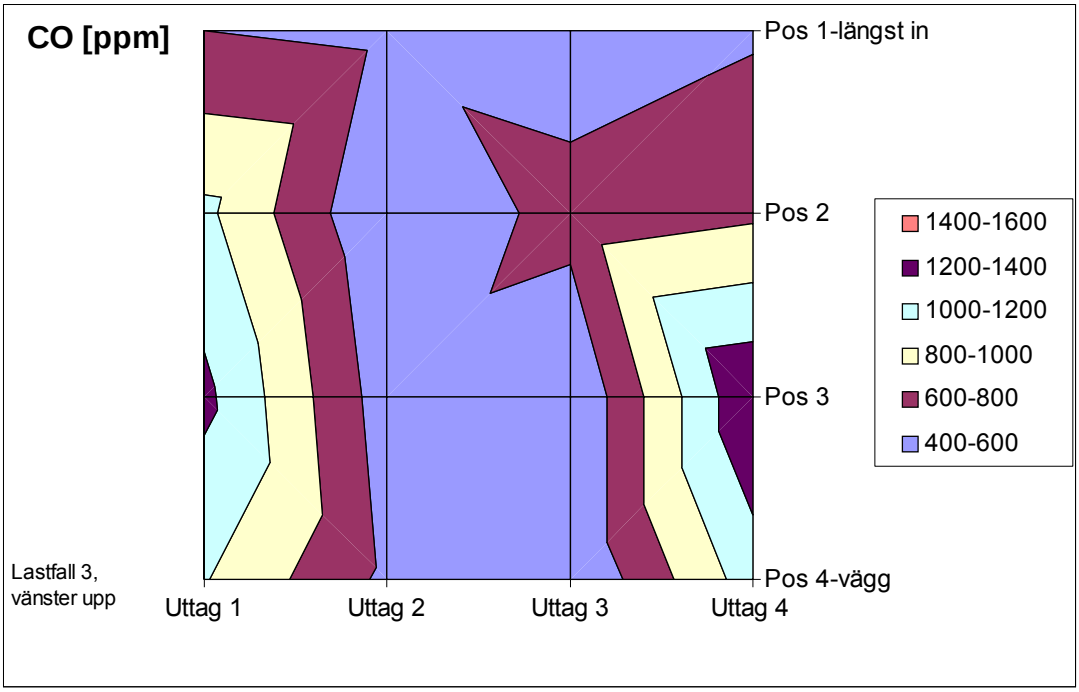
CO2 [%]

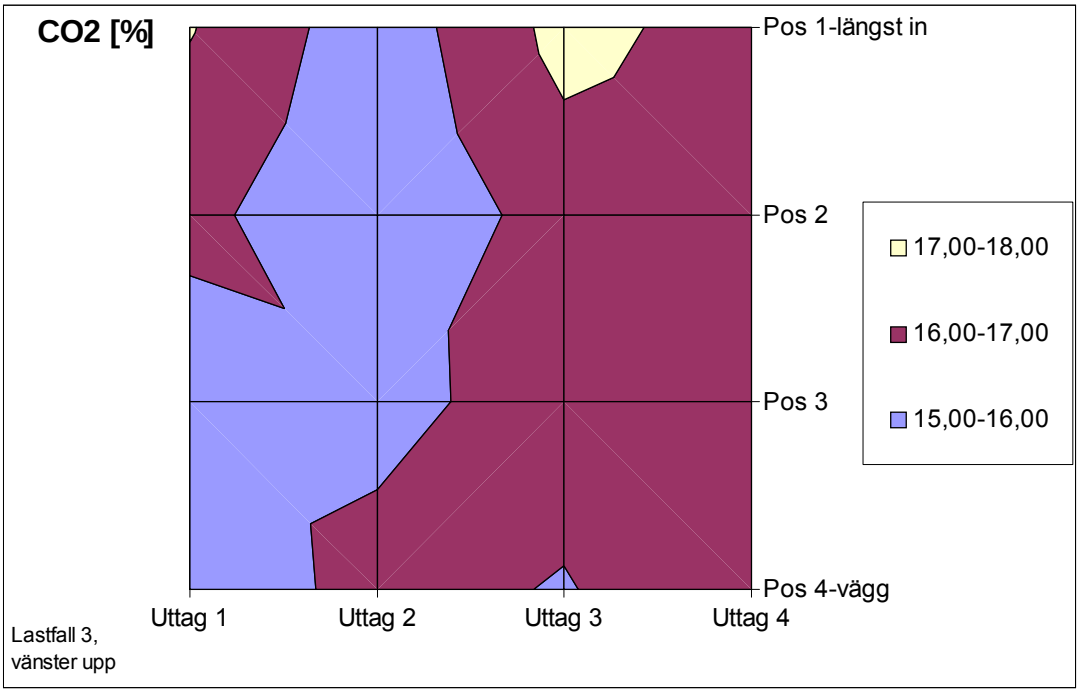
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	17,34	14,62	16,72	16,51
Pos 2	15,70	16,06	17,28	15,92
Pos 3	15,96	15,92	16,22	15,16
Pos 4	15,07	16,03	16,68	15,41

Övre mätplan vänster






CO [ppm]
Pos 1-längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4-vägg
1400-1600
1200-1400
1000-1200
800-1000
600-800
400-600
Lastfall 3,
vänster upp
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4


CO2 [%]
Pos 1-längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4-vägg
17,00-18,00
16,00-17,00
15,00-16,00
Lastfall 3,
vänster upp
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4

Temperatur [C]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	747,3	736,4	680,2	805,2
Pos 2	753,3	723,9	754,8	777,8
Pos 3	736,2	711,3	806,9	771,7
Pos 4	722,7	652,81	798,9	747,3

O2 [%]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	7,96	9,41	11,06	7,32
Pos 2	8,06	10,37	9,09	8,46
Pos 3	7,6	9,85	6,93	6,99
Pos 4	7,25	10,67	6,76	7,68

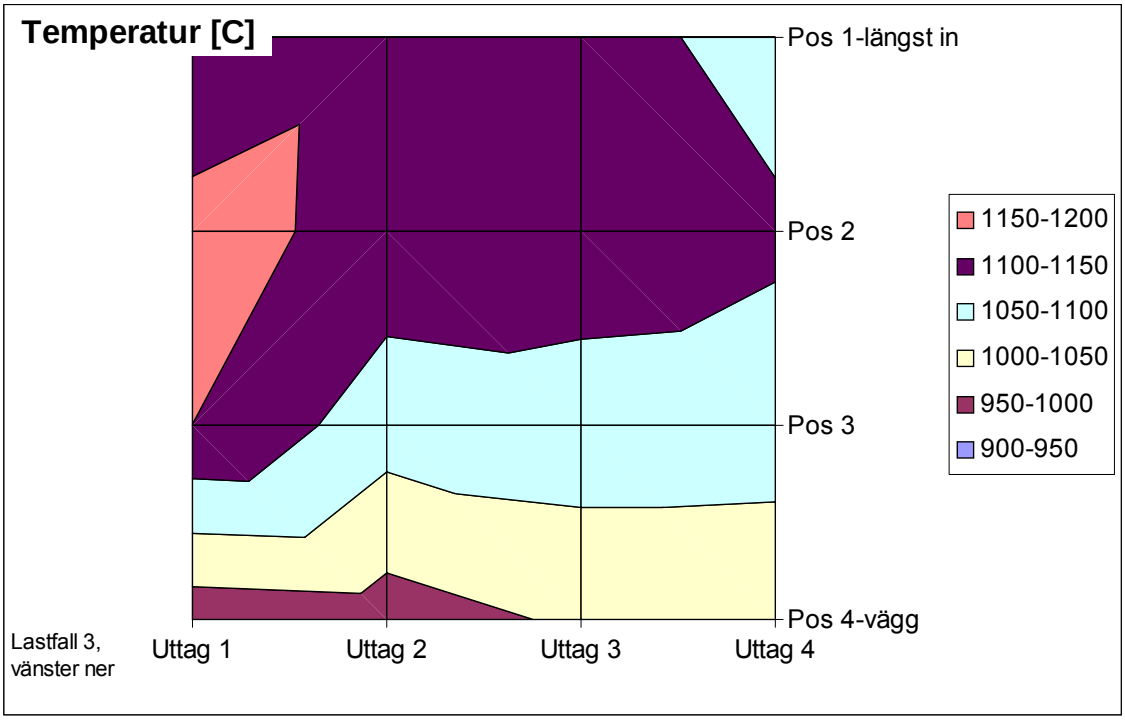
CO [ppm]

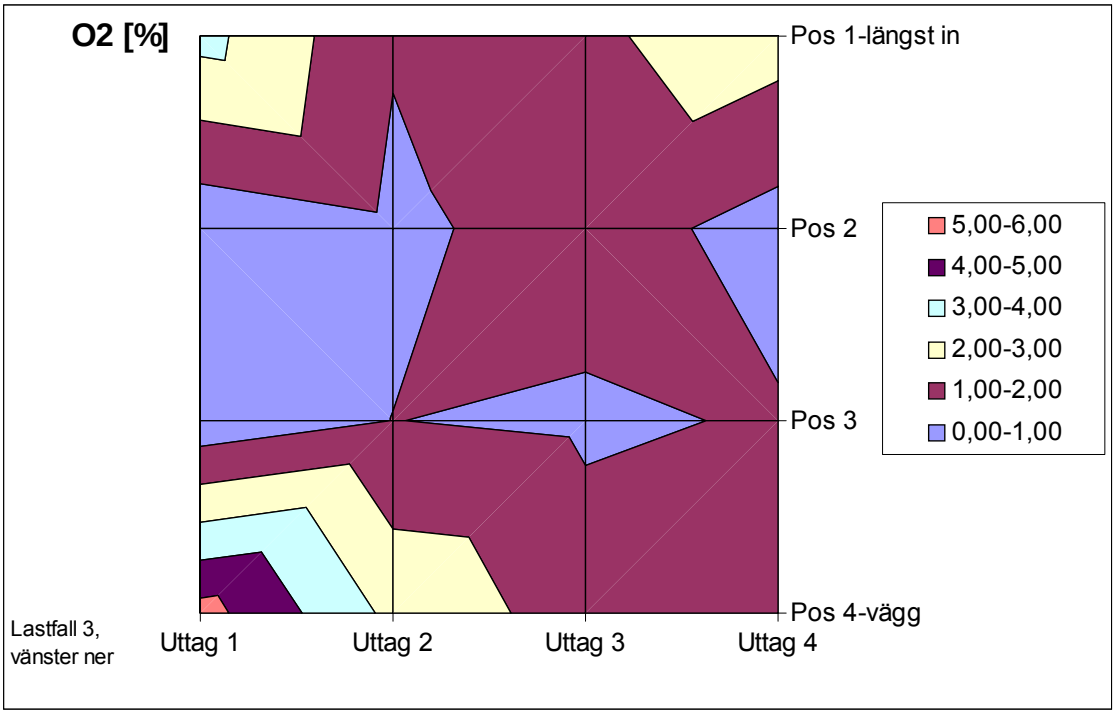
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	1496	2477	2975	1534
Pos 2	1257	2831	1316	4539
Pos 3	1215	2890	1331	1890
Pos 4	1952	2936	1910	3435

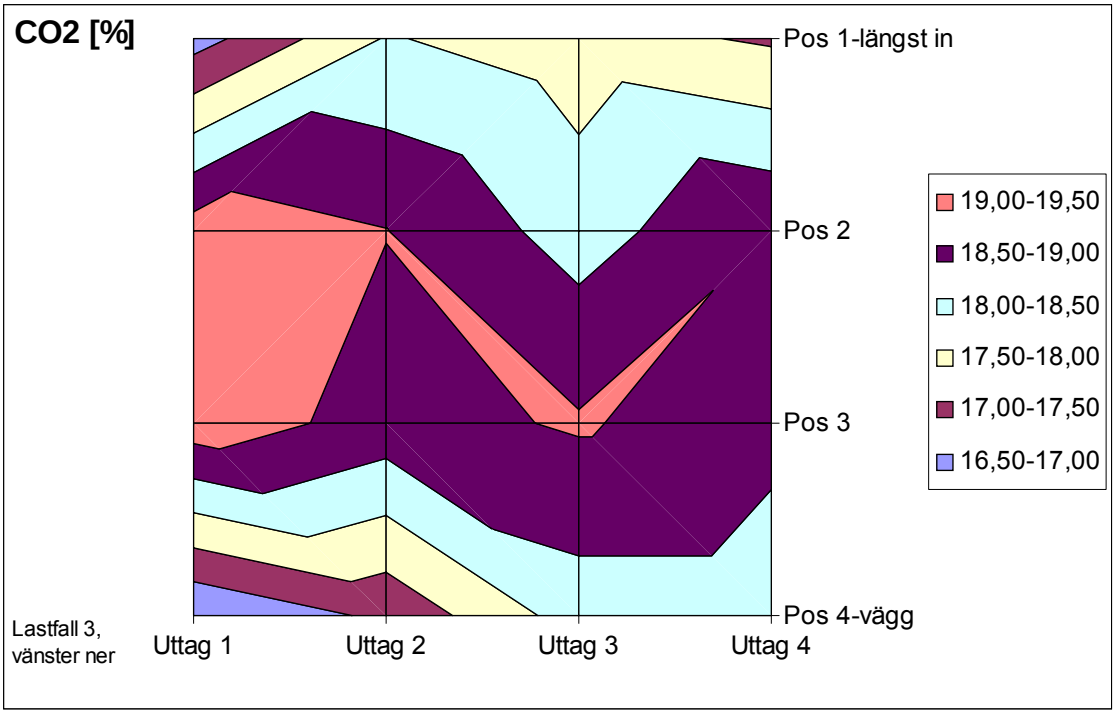
CO2 [%]

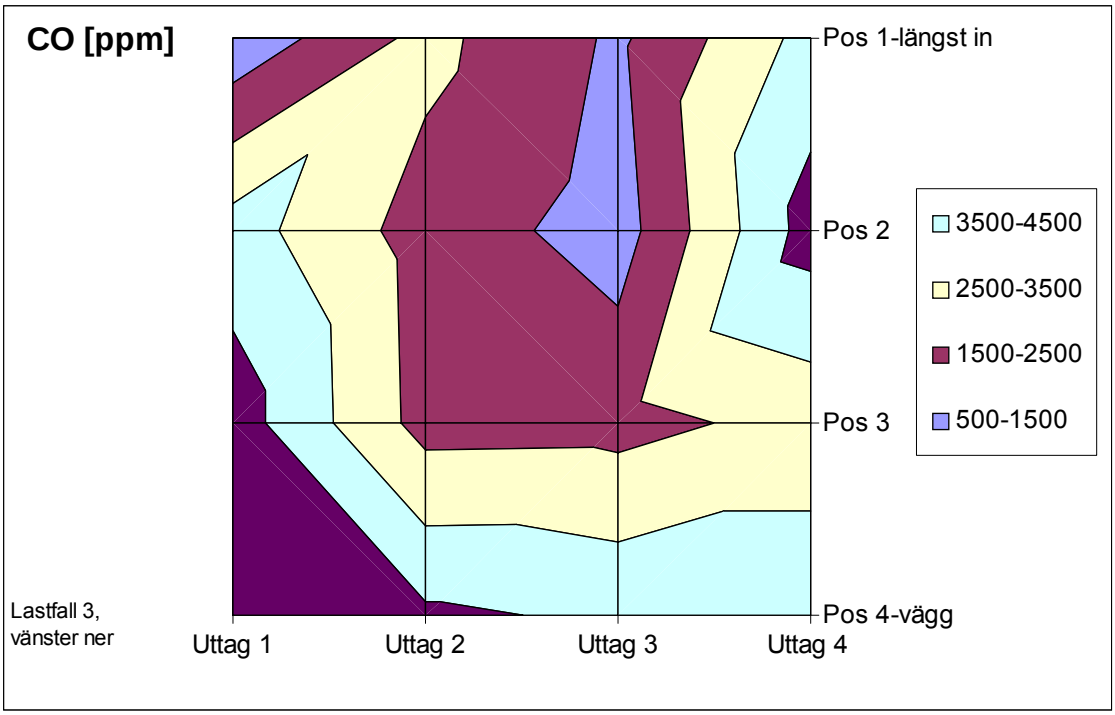
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	11,81	10,67	9,01	12,53
Pos 2	12,1	9,74	10,99	11,52
Pos 3	12,54	10,15	12,98	13,11
Pos 4	12,78	9,55	13,47	12,20

Nedre mätplan vänster






CO2 [%]
Pos 1-längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4-vägg
19,00-19,50
18,50-19,00
18,00-18,50
17,50-18,00
17,00-17,50
16,50-17,00
Lastfall 3,
vänster ner
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4


CO [ppm]
Pos 1-längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4-vägg
3500-4500
2500-3500
1500-2500
500-1500
Lastfall 3,
vänster ner
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4

Temperatur [C]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	1097,2	1133,4	1122,2	1078,8
Pos 2	1170,5	1131,7	1123,7	1108,1
Pos 3	1149,8	1073,0	1080,9	1077,5
Pos 4	970,1	977,4	1007,3	1007,3

O2 [%]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	3,33	1,09	1,88	2,42
Pos 2	0,29	0,78	1,47	0,61
Pos 3	0,3	1,01	0,84	1,09
Pos 4	5,4	2,76	1,52	1,52

CO [ppm]

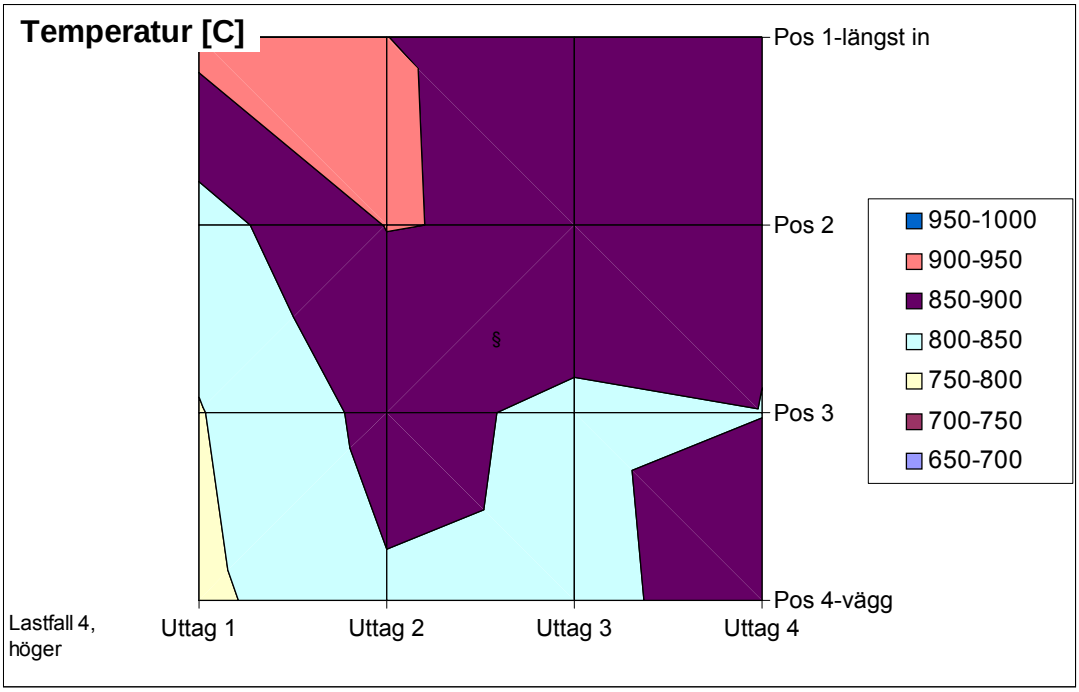
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	756	2795	1329	3864
Pos 2	3950	2072	1052	4942
Pos 3	5000	2147	2180	2824
Pos 4	5000	4693	4313	4313

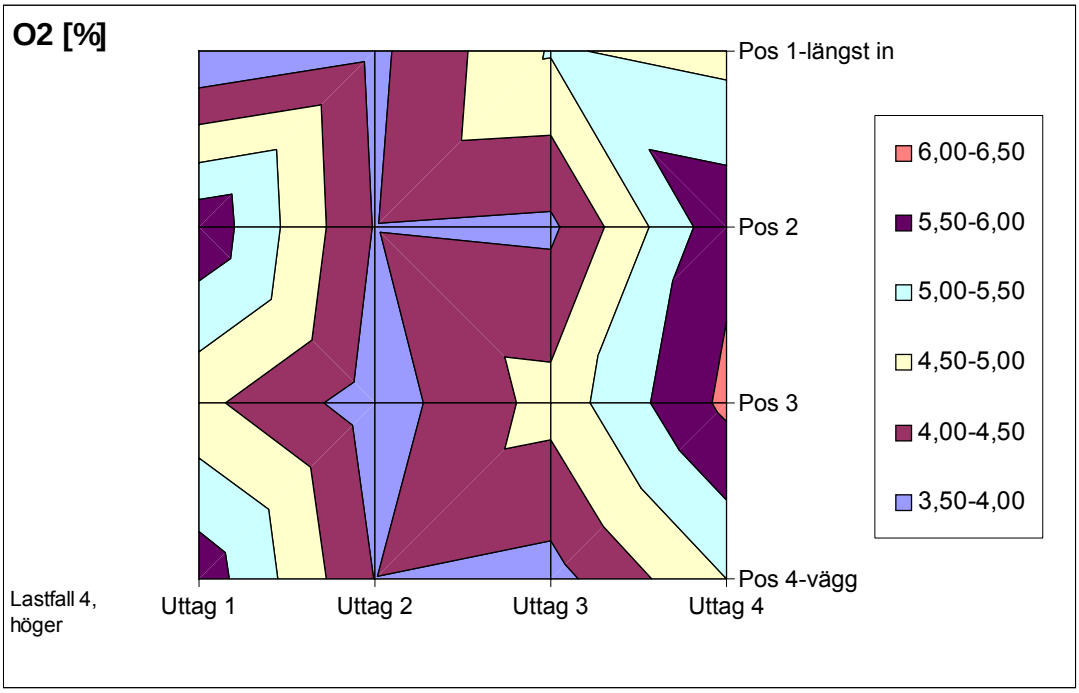
CO2 [%]

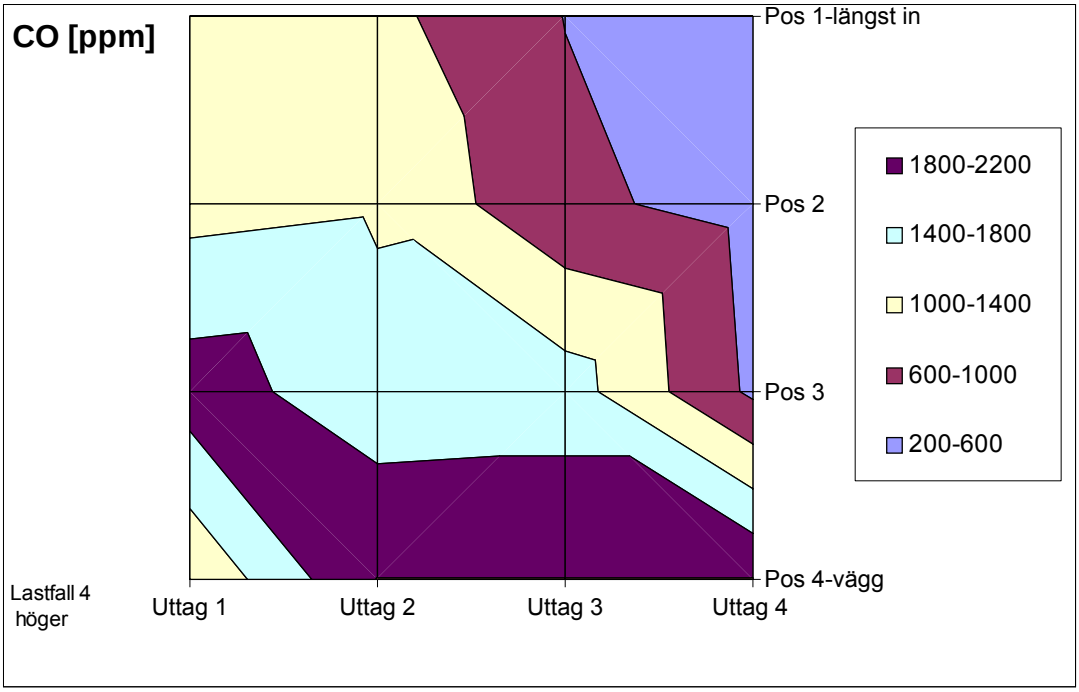
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	16,78	118,05	17,71	17,42
Pos 2	19,25	19,01	18,28	18,98
Pos 3	19,29	18,81	19,06	18,63
Pos 4	14,33	17,11	18,24	18,24

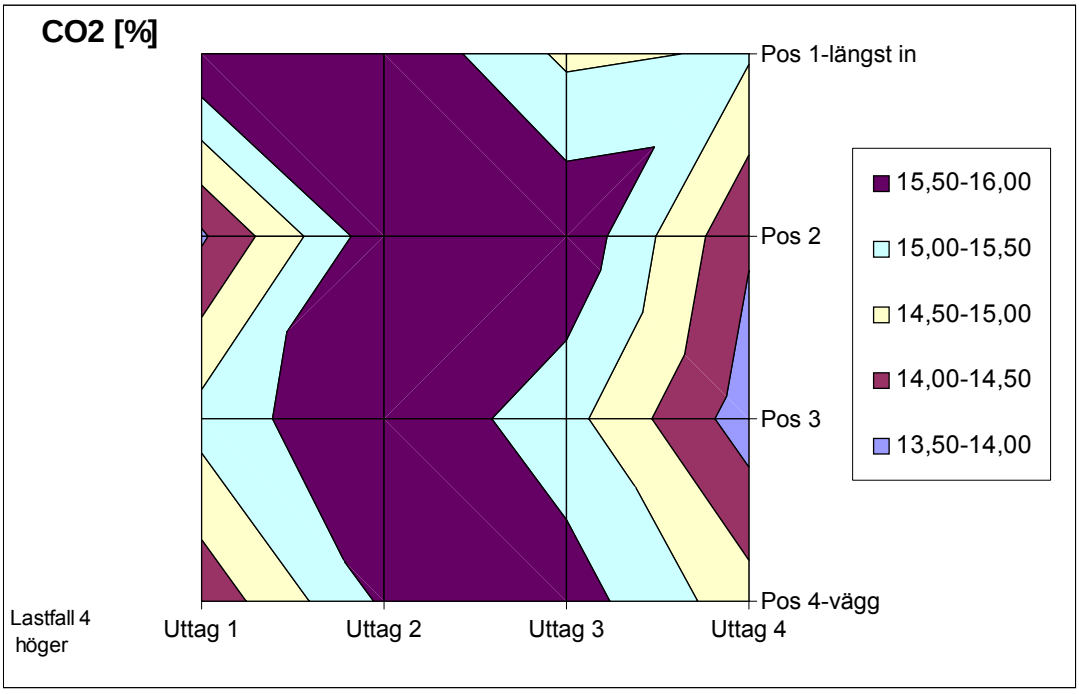
A.5 Lastfall 4

Högre mätplan






CO [ppm]
Pos 1-längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4-vägg
1800-2200
1400-1800
1000-1400
600-1000
200-600
Lastfall 4
höger
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4


CO2 [%]
Pos 1-längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4-vägg
15,50-16,00
15,00-15,50
14,50-15,00
14,00-14,50
13,50-14,00
Lastfall 4
höger
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4

Temperatur [C]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	917	901	852	874
Pos 2	830	901	895	855
Pos 3	797	865	840	849
Pos 4	788	844	836	873

O2 [%]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	3,46	3,89	5,04	4,83
Pos 2	5,88	3,98	3,9	5,86
Pos 3	4,63	3,74	4,68	6,12
Pos 4	5,82	3,99	3,81	5,0

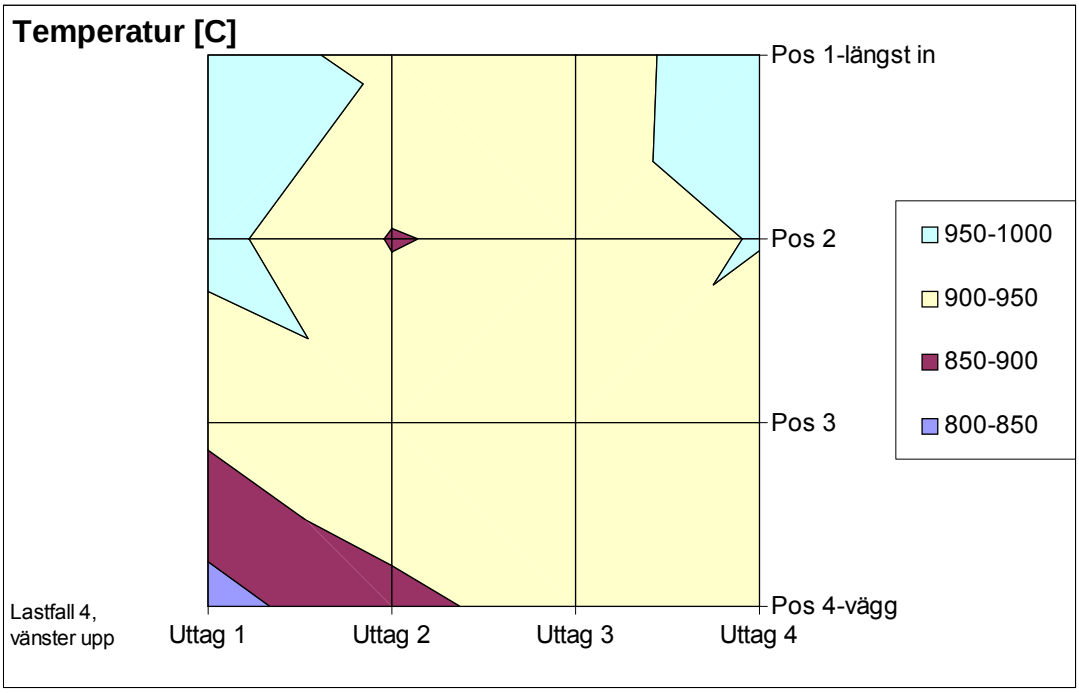
CO [ppm]

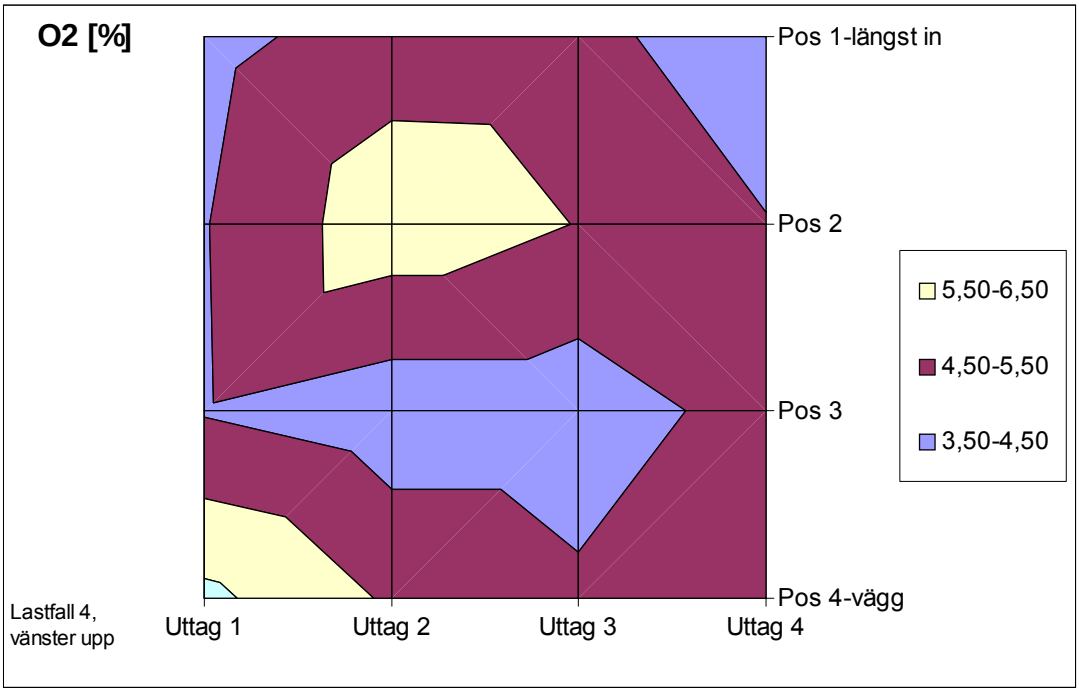
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	1330	1110	591	336
Pos 2	1261	1354	688	451
Pos 3	2003	1545	1591	528
Pos 4	1036	2601	2598	2992

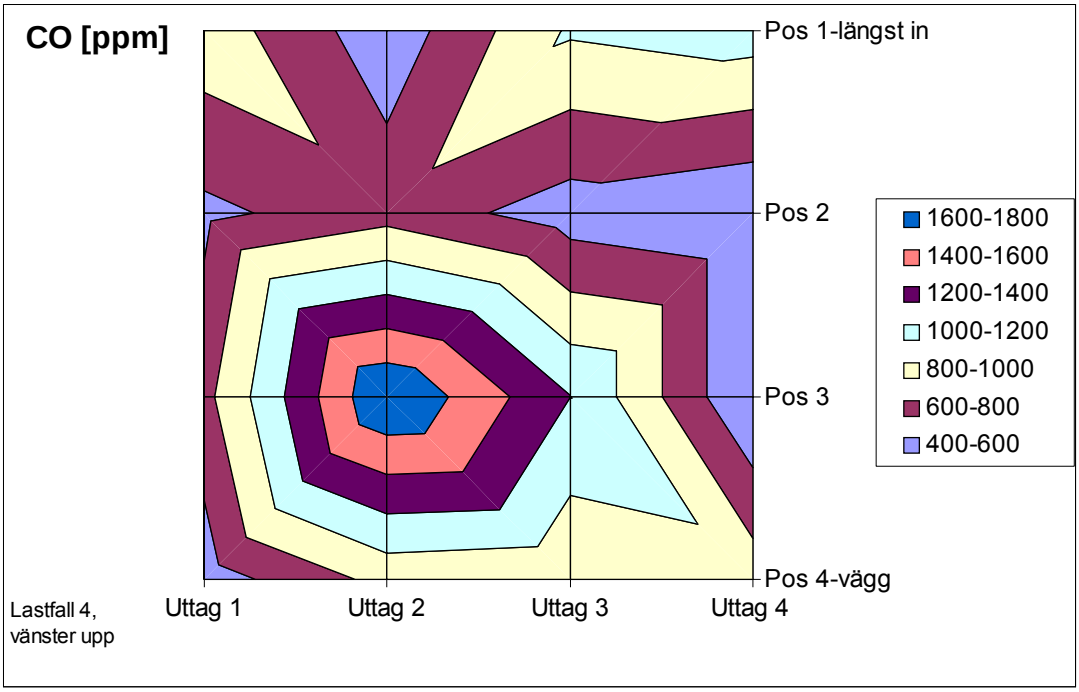
CO2 [%]

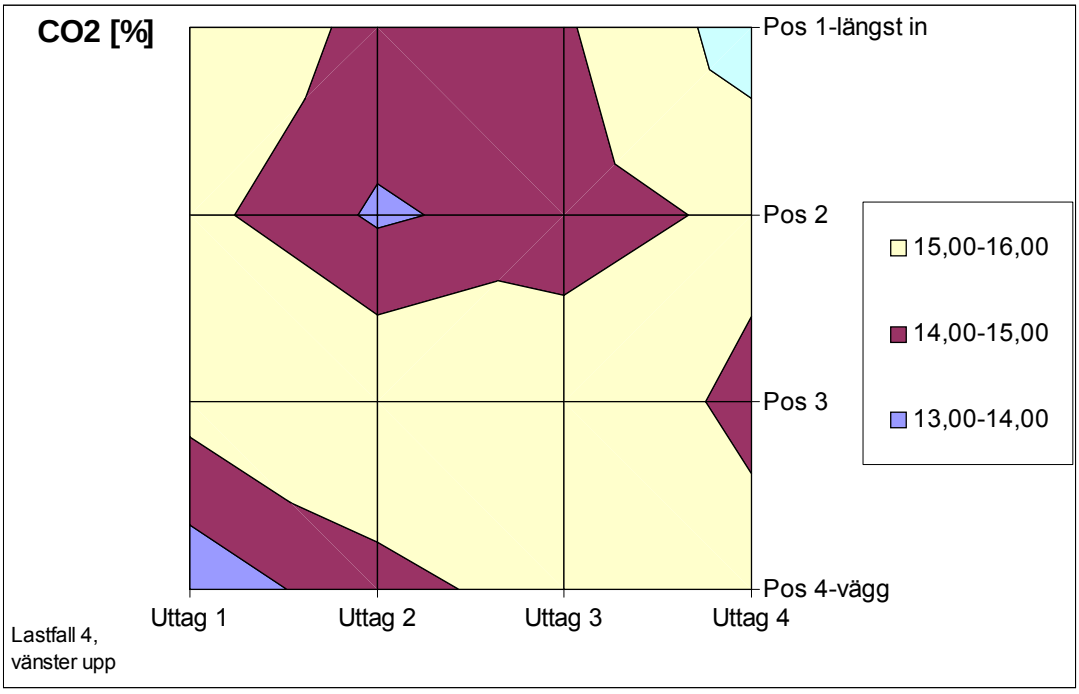
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	16,07	15,97	14,89	15,06
Pos 2	13,93	15,84	15,92	14,06
Pos 3	15,2	15,97	15,18	13,74
Pos 4	14,14	15,58	15,75	14,71

Övre mätplan vänster






CO [ppm]
Pos 1-längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4-vägg
1600-1800
1400-1600
1200-1400
1000-1200
800-1000
600-800
400-600
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4
Lastfall 4, vänster upp


CO2 [%]
Pos 1-längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4-vägg
15,00-16,00
14,00-15,00
13,00-14,00
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4
Lastfall 4, vänster upp

Temperatur [C]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	955	947	914	995
Pos 2	965	897	917	954
Pos 3	912	937	940	902
Pos 4	830	889	918	917

O2 [%]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	4,18	5,0	4,95	3,31
Pos 2	4,45	6,12	5,47	4,57
Pos 3	4,42	3,88	3,88	4,96
Pos 4	6,74	5,37	4,7	4,65

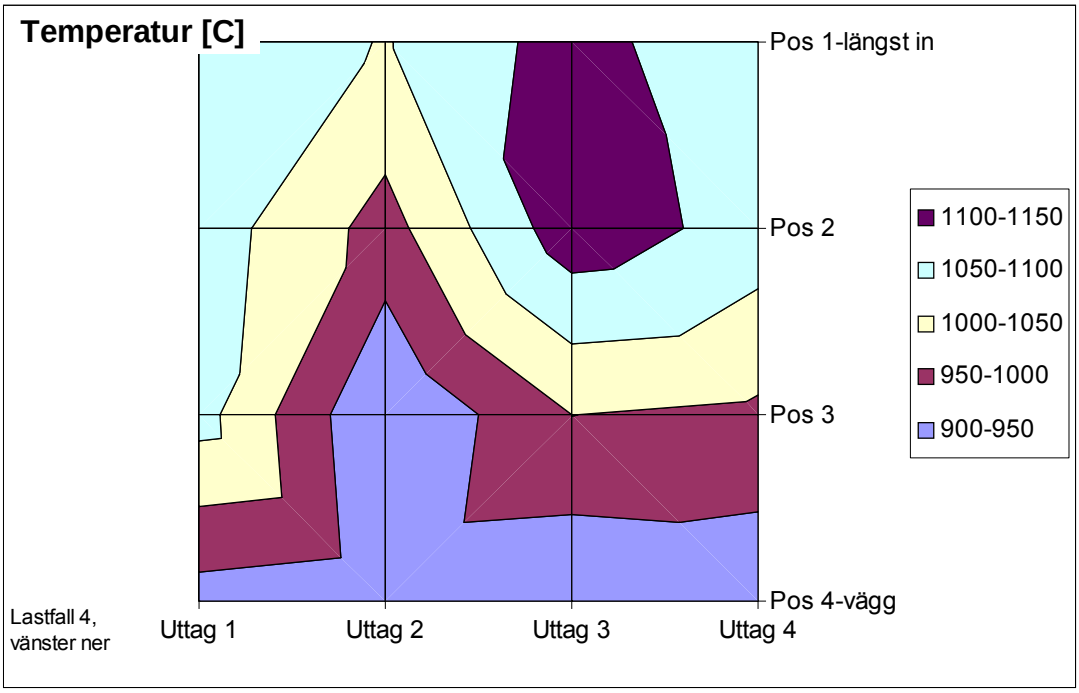
CO [ppm]

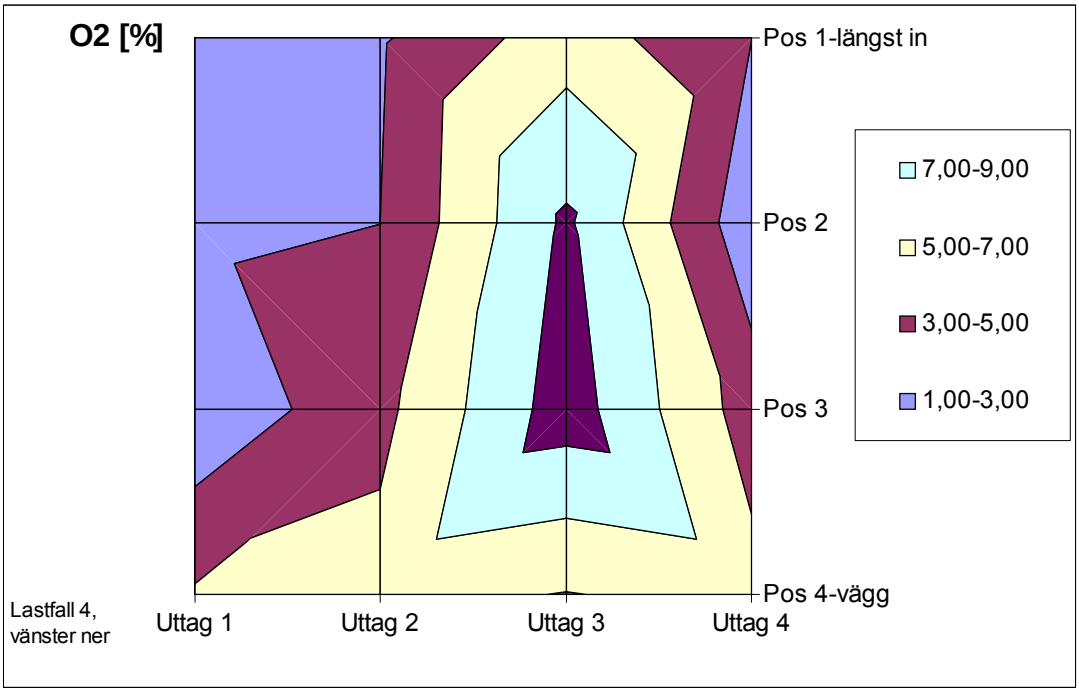
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	924	471	1027	1101
Pos 2	554	725	499	376
Pos 3	735	1822	1202	367
Pos 4	489	864	826	912

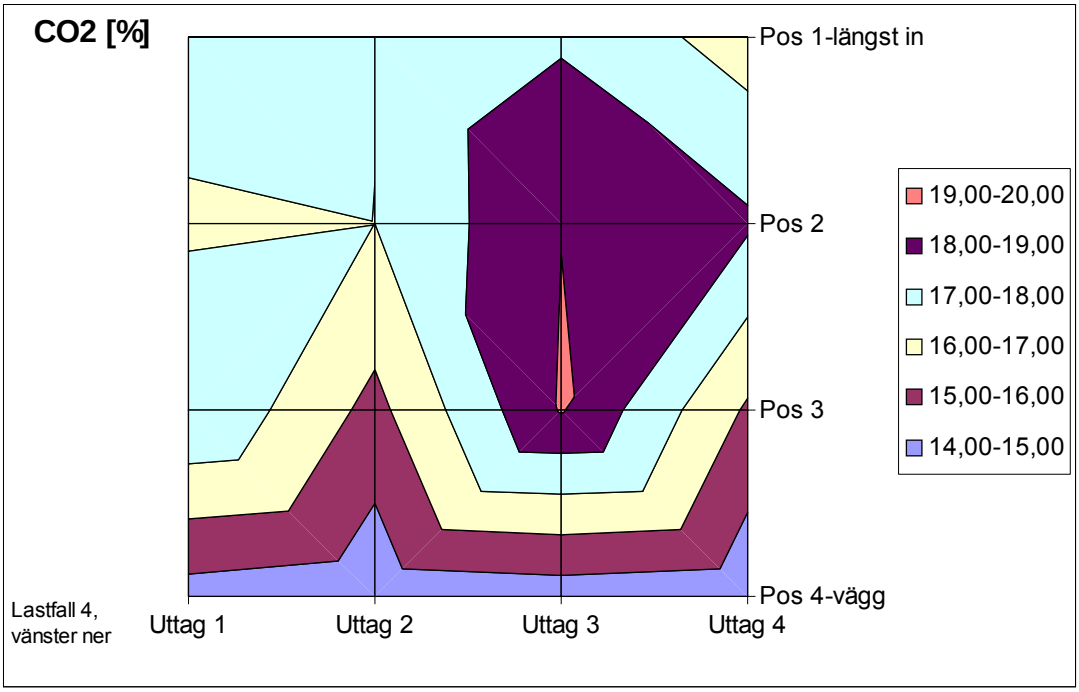
CO2 [%]

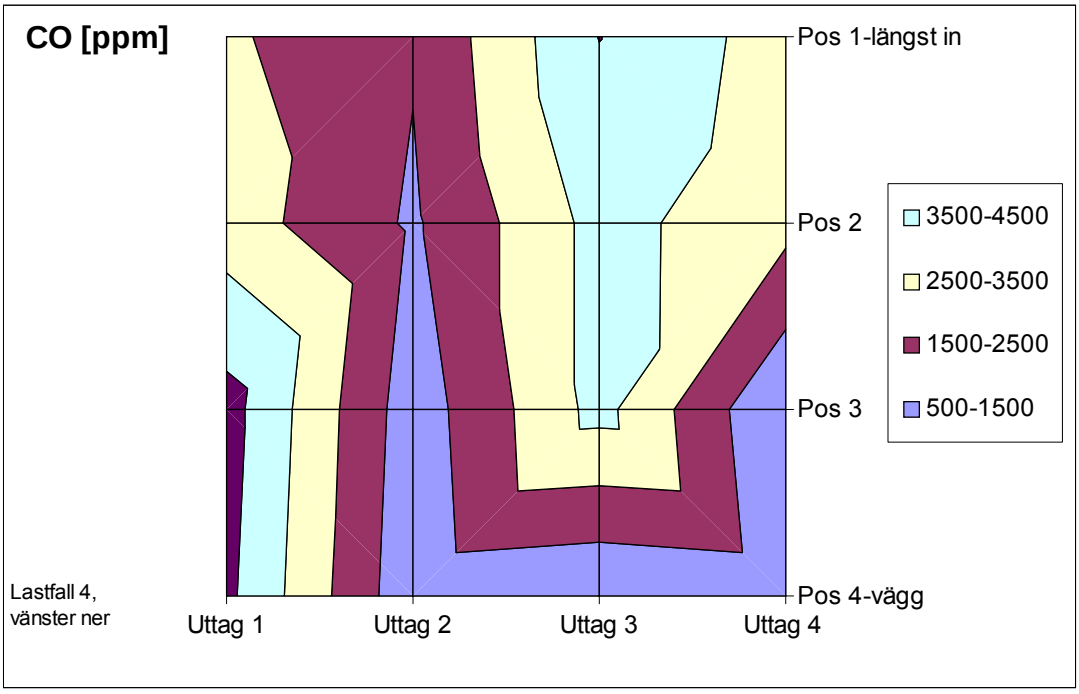
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	15,68	14,78	14,9	16,44
Pos 2	15,36	13,84	14,46	15,27
Pos 3	15,39	16,00	15,72	14,77
Pos 4	13,28	14,67	15,43	15,38

Nedre mätplan vänster






CO2 [%]
Pos 1-längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4-vägg
19,00-20,00
18,00-19,00
17,00-18,00
16,00-17,00
15,00-16,00
14,00-15,00
Lastfall 4,
vänster ner
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4


CO [ppm]
Pos 1-längst in
Pos 2
Pos 3
Pos 4-vägg
3500-4500
2500-3500
1500-2500
500-1500
Lastfall 4,
vänster ner
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4

Temperatur [C]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	1095	1047	1121	1055
Pos 2	1077	981	1131	1079
Pos 3	1069	878	1000	990
Pos 4	928	913	905	913

O2 [%]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	2,1	2,78	6,11	3,03
Pos 2	2,59	3,0	9,35	1,58
Pos 3	1,38	4,46	10,10	4,07
Pos 4	5,24	5,72	4,91	5,72

CO [ppm]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	2648	1590	4520	3028
Pos 2	2996	1356	3834	2817
Pos 3	4892	943	3827	500
Pos 4	4782	792	554	792

CO2 [%]

	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4
Pos 1	17,54	17,02	17,87	16,52
Pos 2	16,82	16,99	18,99	18,15
Pos 3	17,99	15,72	19,06	15,86
Pos 4	14,57	14,28	14,47	16,52

B Utvärdering mätdata efter ombyggnad

Denna bilaga redovisar mätresultat från den andra mätserien efter ombyggnationen som genomfördes i september 2005.

B.1 Driftdata

Lastfall 1. Höglast
Lastfall 2. Låglast
Lastfall 3. Höglast
Lastfall 4. Normallast

	Ångflöde ton/h	NO mg/Nm3	O2 %	SO2 mg/Nm3	CO efter elfilter ppm	Rökgastemp förre ÖH	förre elfilter
Lastfall 1	116,17	90,46	4,19	32,26	1584	824,96	156,98
Lastfall 2	54,27	71,32	7,00	16,86	611	665,95	132,38
Lastfall 3	98,8	74,44	5,93	28,33	777	787,36	151,66
Lastfall 4	74,22	82,89	7,17	12,52	702	747,61	144,47

Bränsle- och askanalys

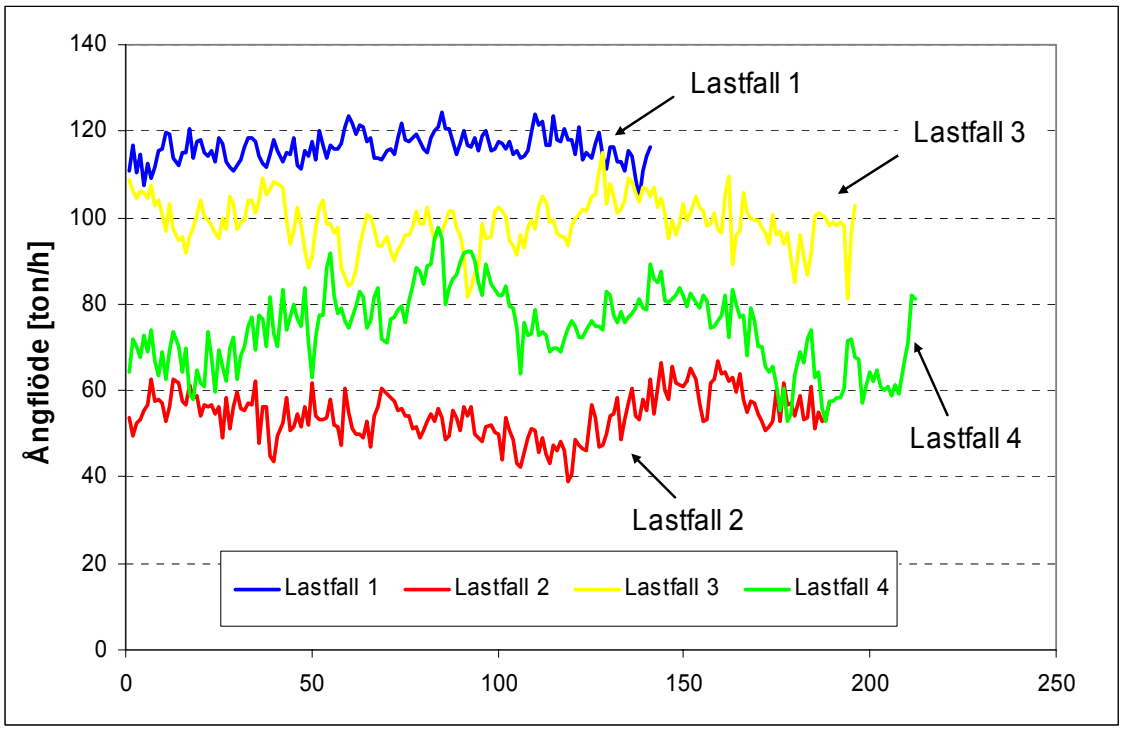
	Lastfall 1	Lastfall 2	Lastfall 3	Lastfall 4
C %	26,3	26,5	34,7	31,5
H %	8,6	8,5	8	8,5
N %	0,2	0,2	0,2	0,2
O %	63,2	63,4	55,4	58,3
Total fukt %	50,4	48,9	35,8	42,5
Askhalt %	1,7	1,4	1,7	1,5
Värmevärde MJ/kg	8,811	8,907	12,764	11,276
Oförbränt i bottenaska % TS	3,2	2,5	2,9	4,1
Oförbränt i flygaska % TS	30,2	1,7	9,7	1,3

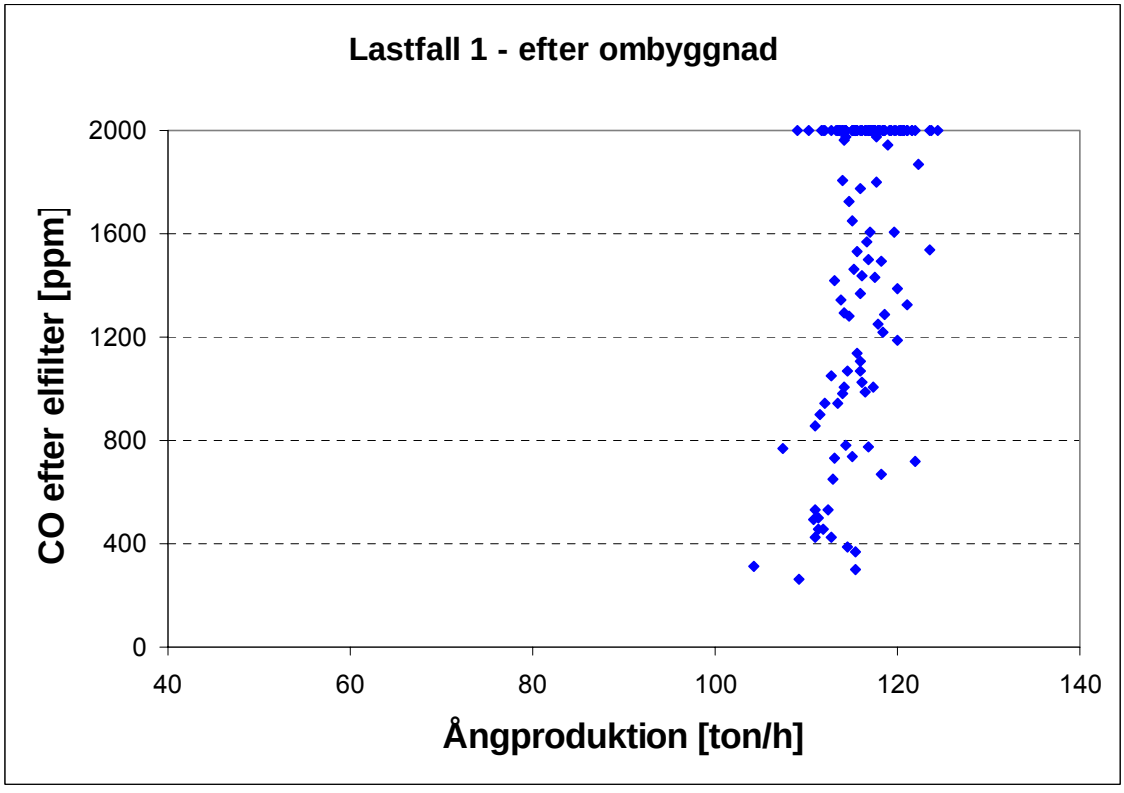
Sammanställning av driftdata från kontrollrummet.

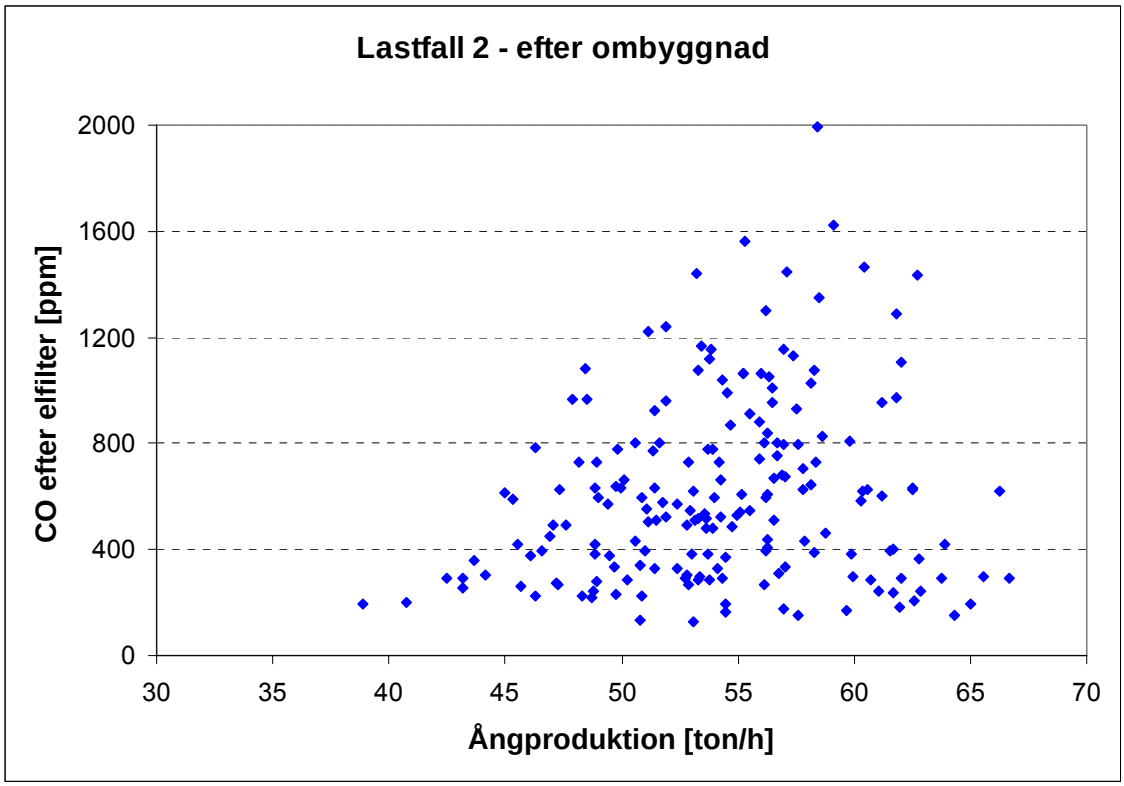
Lastfall 1 - 2005-09-14 kl. 20.33 - kl. 22.55			**Lastfall 2 - 2005-09-14 kl. 08:24 - kl. 11.23**		
Barkmängd till P12	142,18	m3/h	Barkmängd till P12	71,69	m3/h
Ångmängd	116,17	ton/h	Ångmängd	54,27	ton/h
Tillförd effekt bark	358,38	GJ/h	Tillförd effekt bark	166,55	GJ/h
Temp utgående ånga	459,92	C	Temp utgående ånga	460,07	C
MAVA förre eco	150,51	C	MAVA förre eco	141,76	C
Matarvatten	112,68	m3/h	Matarvatten	48,43	m3/h
Matarvatten	28,80	kg/s	Matarvatten	12,38	kg/s
Primärluft	39825,25	m3/h	Primärluft	31467,17	m3/h
Primärluft	14,10	kg/s	Primärluft	11,14	kg/s
Temperatur	179,93	C	Temperatur	180,05	C
Tubrosterluft	11961,53	Nm3/h	Tubrosterluft	9440,94	Nm3/h
Tubrosterluft	4,24	kg/s	Tubrosterluft	3,34	kg/s
Torkluft övre	1152,09	Nm3/h	Torkluft övre	885,83	Nm3/h
Torkluft nedre	10790,55	Nm3/h	Torkluft nedre	8552,08	Nm3/h
Torkluft övre	0,41	kg/s	Torkluft övre	0,31	kg/s
Torkluft nedre	3,82	kg/s	Torkluft nedre	3,03	kg/s
Temperatur	259,08	C	Temperatur	256,76	C
Kablitzluft	27770,21	Nm3/h	Kablitzluft	21726,56	Nm3/h
Kablitzluft	9,84	kg/s	Kablitzluft	7,70	kg/s
Temperatur	179,93	C	Temperatur	180,05	C
Hög sekundärluft	9994,79	Nm3/h	Hög sekundärluft	1178,32	Nm3/h
Hög sekundärluft	3,54	kg/s	Hög sekundärluft	0,42	kg/s
Temperatur	22,59	C	Temperatur	20,97	C
Låg sekundärluft	84,95	Nm3/h	Låg sekundärluft	321,61	Nm3/h
Låg sekundärluft	0,03	kg/s	Låg sekundärluft	0,11	kg/s
Tertiärluftflöde	signalfel	Nm3/h	Tertiärluftflöde	1414,22	Nm3/h
Tertiärluftflöde	-	kg/s	Tertiärluftflöde	0,50	kg/s
Temperatur	150,38	C	Temperatur	215,07	C
Kvartärluft	35441,13	Nm3/h	Kvartärluft	7084,87	Nm3/h
Kvartärluft	12,56	kg/s	Kvartärluft	2,51	kg/s
Temperatur	150,00	C	Temperatur	150,00	C
Oljeluft, brännare 1-4	0,00	Nm3/h	Oljeluft, brännare 1-4	0,00	Nm3/h
Oljeluft, brännare 1-4	0,00	kg/s	Oljeluft, brännare 1-4	0,00	kg/s
Temperatur	-	C	Temperatur	-	C
Torr rökgasflöde	122,43	Nm3/h	Torr rökgasflöde	68555,35	Nm3/h
Torr rökgasflöde	43,37	kg/s	Torr rökgasflöde	24,29	kg/s
O2 från P12	4,19	%	O2 från P12	7,00	%

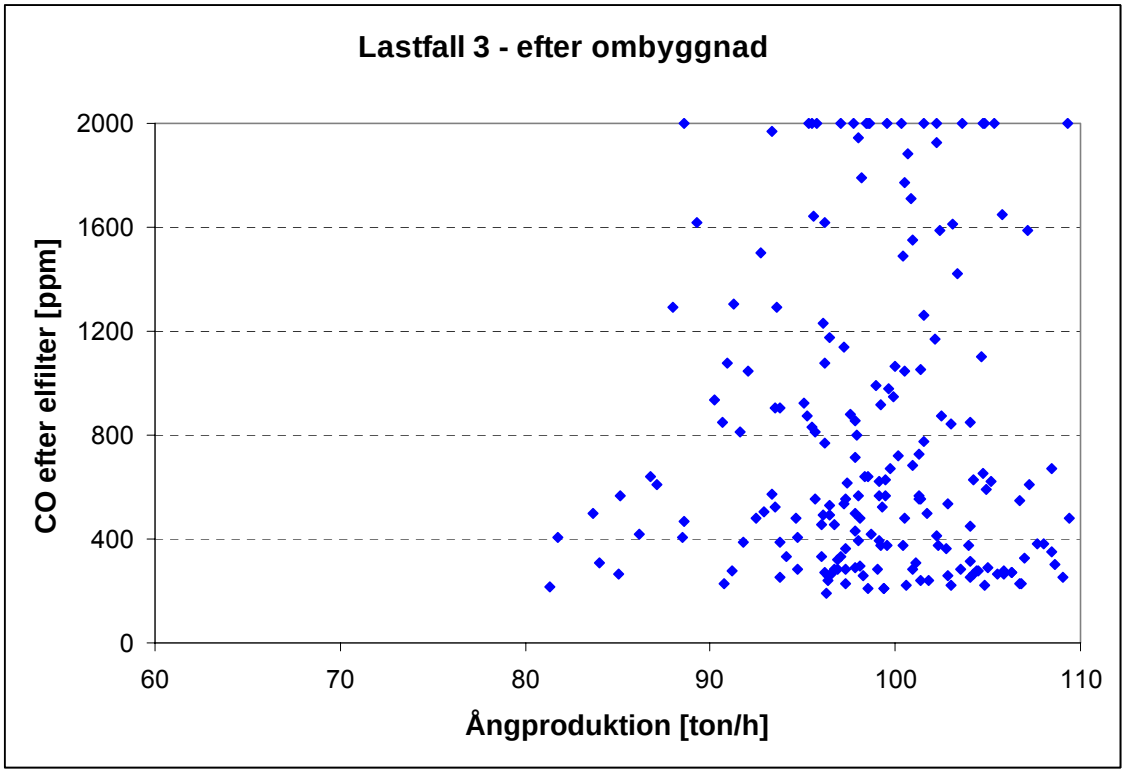
Sammanställning av driftdata från kontrollrummet.

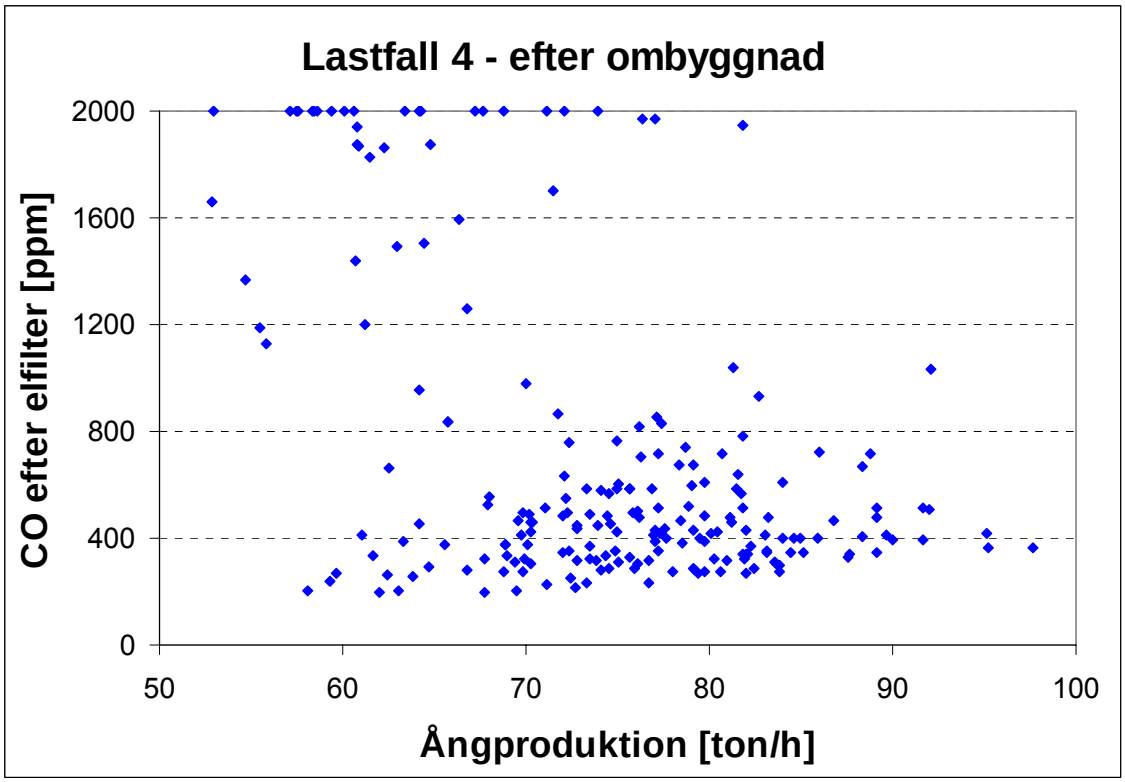
Lastfall 3 - 2005-09-15 kl. 08:34 - kl. 11.49			**Lastfall 4 - 2005-09-15 kl. 08:34 - kl. 11.49**		
Barkmängd till P12	123,96	m3/h	Barkmängd till P12	95,30	m3/h
Ångmängd	98,80	ton/h	Ångmängd	74,22	ton/h
Tillförd effekt bark	313,87	GJ/h	Tillförd effekt bark	229,16	GJ/h
Temp utgående ånga	460,05	C	Temp utgående ånga	459,91	C
MAVA förre eco	148,68	C	MAVA förre eco	147,80	C
Matarvatten	96,13	m3/h	Matarvatten	70,55	m3/h
Matarvatten	24,57	kg/s	Matarvatten	18,03	kg/s
Primärluft	38934,40	m3/h	Primärluft	40339,63	m3/h
Primärluft	13,79	kg/s	Primärluft	14,29	kg/s
Temperatur	180,08	C	Temperatur	180,07	C
Tubrosterluft	383,72	Nm3/h	Tubrosterluft	299,71	Nm3/h
Tubrosterluft	0,14	kg/s	Tubrosterluft	0,11	kg/s
Torkluft övre	1089,61	Nm3/h	Torkluft övre	1108,44	Nm3/h
Torkluft nedre	10572,66	Nm3/h	Torkluft nedre	10988,30	Nm3/h
Torkluft övre	0,39	kg/s	Torkluft övre	0,39	kg/s
Torkluft nedre	3,75	kg/s	Torkluft nedre	3,89	kg/s
Temperatur	258,17	C	Temperatur	256,98	C
Kablitzluft	26882,14	Nm3/h	Kablitzluft	27931,07	Nm3/h
Kablitzluft	9,52	kg/s	Kablitzluft	9,90	kg/s
Temperatur	180,08	C	Temperatur	180,07	C
Hög sekundärluft	3389,30	Nm3/h	Hög sekundärluft	1238,22	Nm3/h
Hög sekundärluft	1,20	kg/s	Hög sekundärluft	0,44	kg/s
Temperatur	19,09	C	Temperatur	22,34	C
Låg sekundärluft	383,72	Nm3/h	Låg sekundärluft	299,71	Nm3/h
Låg sekundärluft	0,14	kg/s	Låg sekundärluft	0,11	kg/s
Tertiärluftflöde	2347,09	Nm3/h	Tertiärluftflöde	1402,58	Nm3/h
Tertiärluftflöde	0,83	kg/s	Tertiärluftflöde	0,50	kg/s
Temperatur	184,40	C	Temperatur	217,50	C
Kvartärluft	36417,72	Nm3/h	Kvartärluft	16904,19	Nm3/h
Kvartärluft	12,90	kg/s	Kvartärluft	5,99	kg/s
Temperatur	150,00	C	Temperatur	150,00	C
Oljeluft, brännare 1-4	0,00	Nm3/h	Oljeluft, brännare 1-4	0,00	Nm3/h
Oljeluft, brännare 1-4	0,00	kg/s	Oljeluft, brännare 1-4	0,00	kg/s
Temperatur	-	C	Temperatur	-	C
Torr rökgasflöde	112656,57	Nm3/h	Torr rökgasflöde	95292,60	Nm3/h
Torr rökgasflöde	39,91	kg/s	Torr rökgasflöde	33,76	kg/s
O2 från P12	5,93	%	O2 från P12	7,17	%


Ångflöde [ton/h]
140
120
100
80
60
40
20
0
0
50
100
150
200
250
Lastfall 1
Lastfall 3
Lastfall 4
Lastfall 2
Lastfall 1
Lastfall 2
Lastfall 3
Lastfall 4


Lastfall 1 - efter ombyggnad
CO efter elfilter [ppm]
2000
1600
1200
800
400
0
40
60
80
100
120
140
Ångproduktion [ton/h]

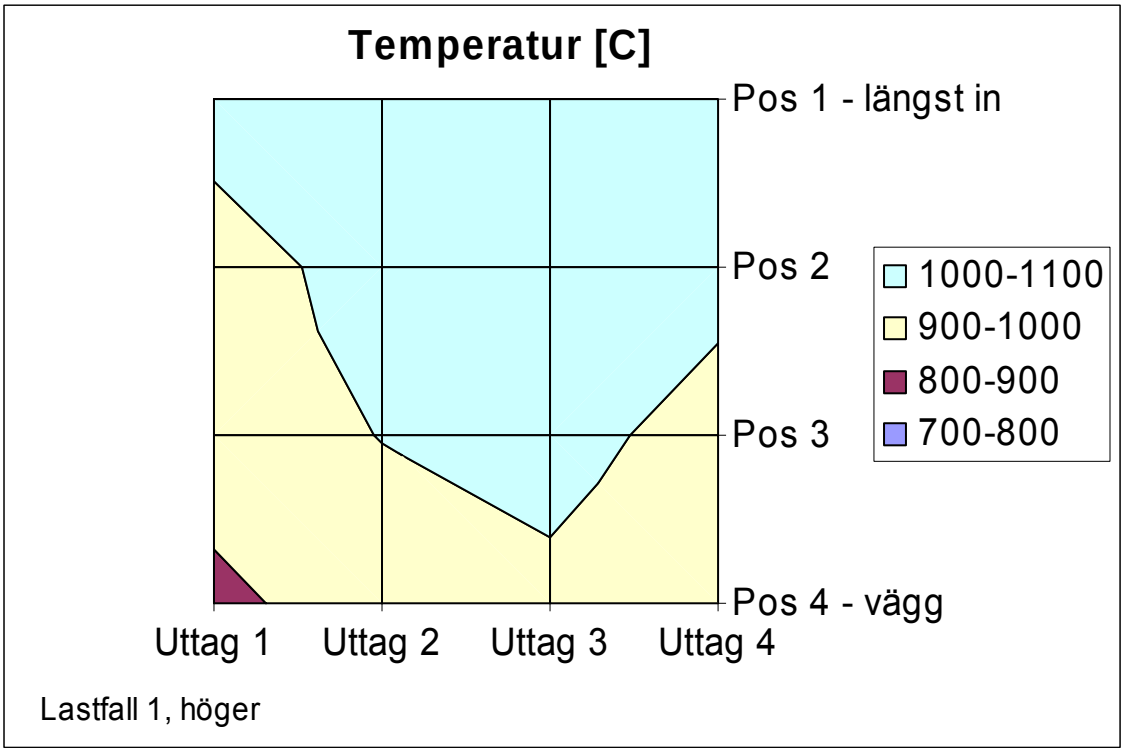

Lastfall 2 - efter ombyggnad
CO efter elfilter [ppm]
2000
1600
1200
800
400
0
30
35
40
45
50
55
60
65
70
Ångproduktion [ton/h]


Lastfall 3 - efter ombyggnad
CO efter elfilter [ppm]
2000
1600
1200
800
400
0
60
70
80
90
100
110
Ångproduktion [ton/h]

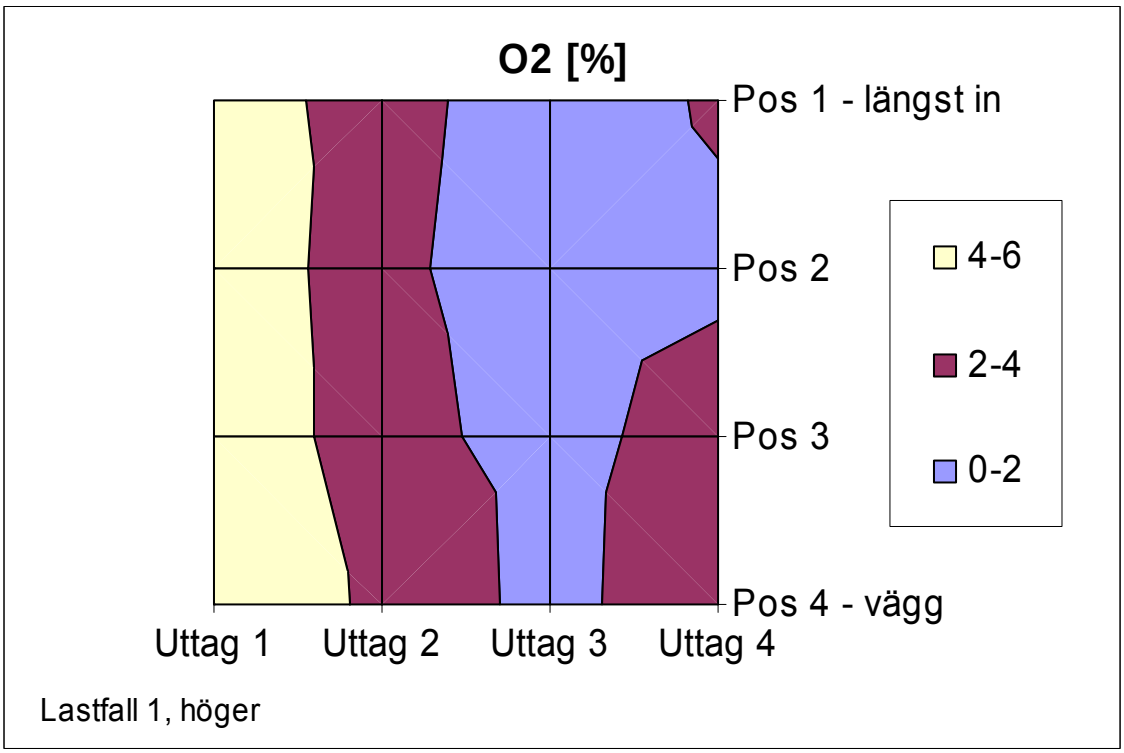

Lastfall 4 - efter ombyggnad
CO efter elfilter [ppm]
2000
1600
1200
800
400
0
50
60
70
80
90
100
Ångproduktion [ton/h]

B.2 Lastfall 1

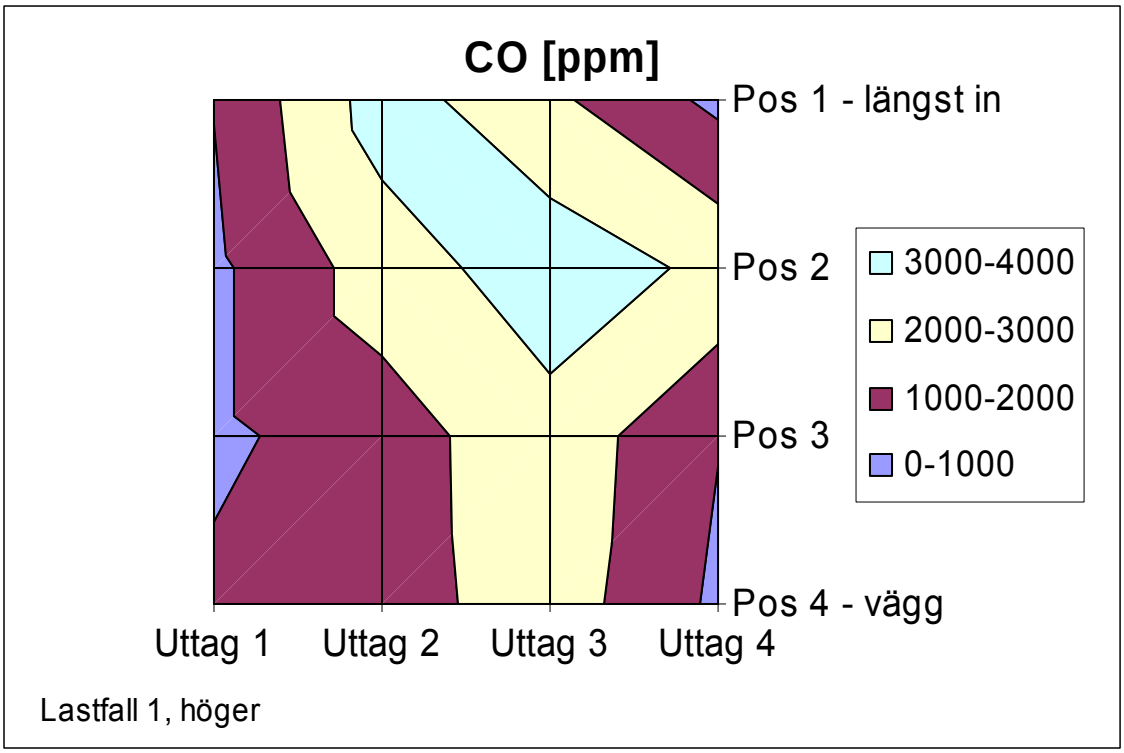
Högre mätplan



Lastfall 1, höger



Lastfall 1, höger



Lastfall 1, höger

Temperatur [C]

Pos 1	1033	1067	1074	1025
Pos 2	966	1029	1066	1024
Pos 3	951	1002	1026	971
Pos 4	875	955	983	933

Uttag 1 **Uttag 2** **Uttag 3** **Uttag 4**

O2 [%]

Pos 1	5,66	2,66	1	2,23
Pos 2	6,47	2,48	0,82	1,57
Pos 3	5,97	2,66	1,27	2,97
Pos 4	6,25	3,52	1,35	3,47

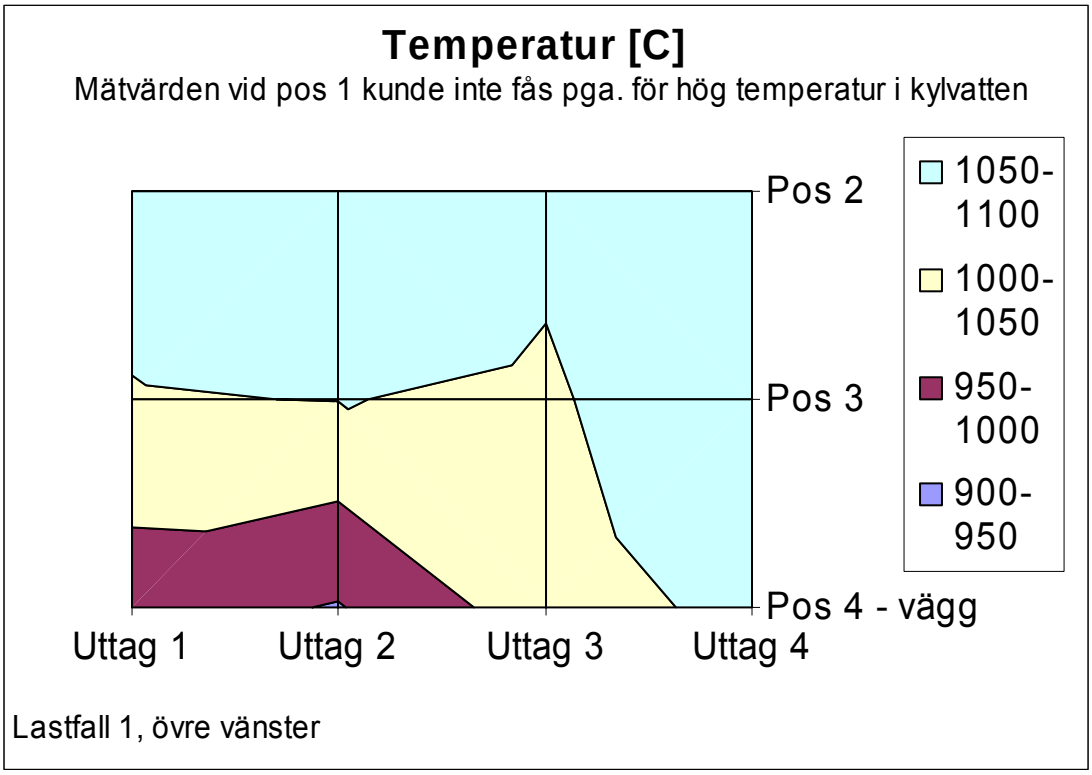
Uttag 1 **Uttag 2** **Uttag 3** **Uttag 4**

CO [ppm]

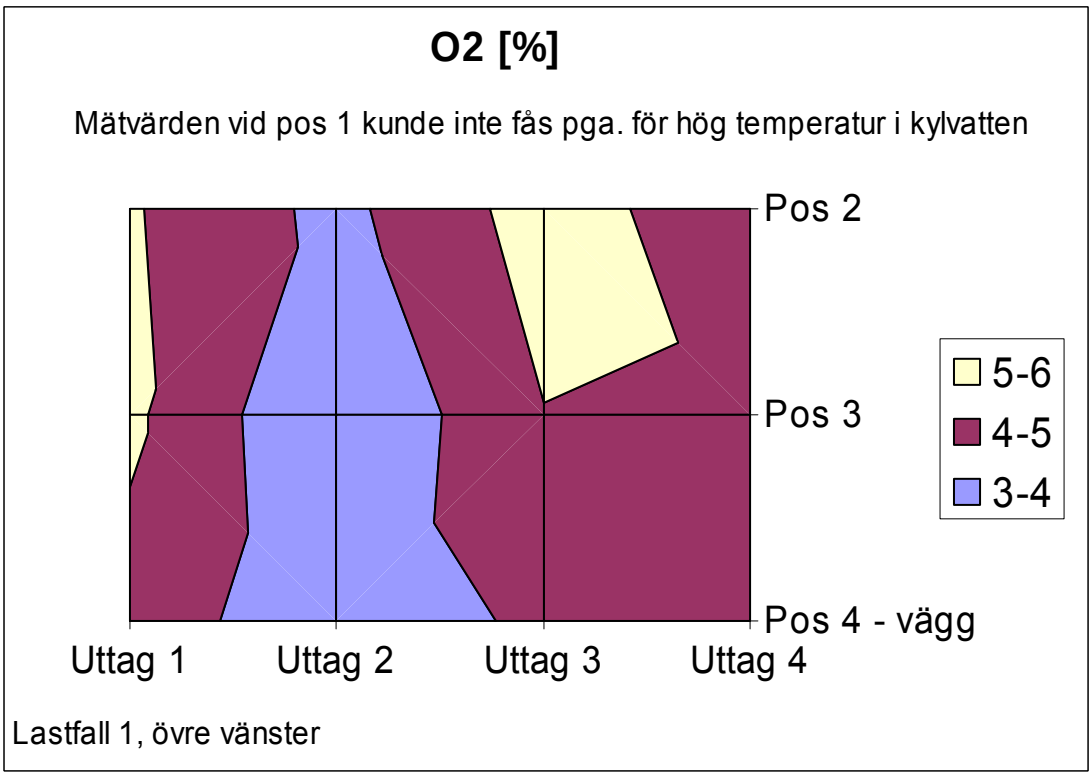
Pos 1	1033	3469	2208	764
Pos 2	900	2491	3571	2776
Pos 3	791	1560	2658	1038
Pos 4	1198	1529	2558	824

Uttag 1 **Uttag 2** **Uttag 3** **Uttag 4**

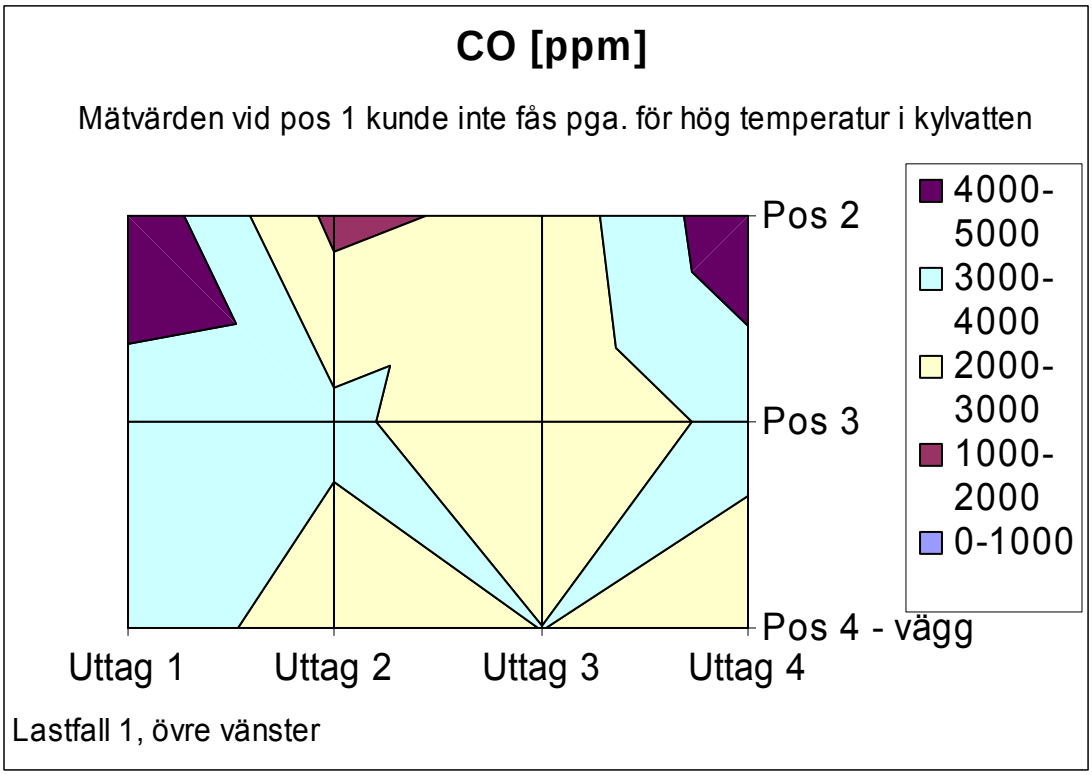
Övre mätplan vänster



Lastfall 1, övre vänster



Lastfall 1, övre vänster



Lastfall 1, övre vänster

Temperatur [C]

Pos 1	ingen mätn.	ingen mätn.	ingen mätn.	ingen mätn.
Pos 2	1070	1084	1062	1094
Pos 3	1047	1051	1043	1094
Pos 4	970	947	1028	1063

Uttag 1 **Uttag 2** **Uttag 3** **Uttag 4**

O2 [%]

Pos 1	ingen mätn.	ingen mätn.	ingen mätn.	ingen mätn.
Pos 2	5,09	3,72	5,45	4,37
Pos 3	5,18	2,19	4,97	4,76
Pos 4	4,67	3,13	4,26	4,75

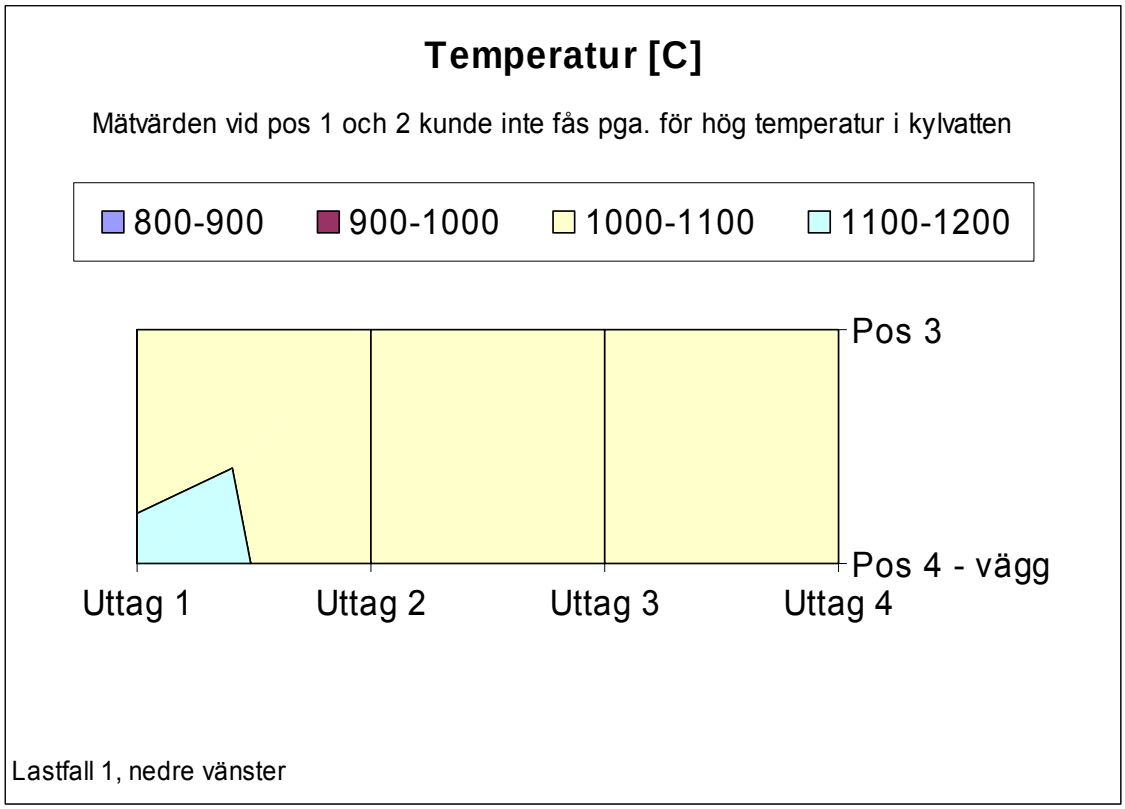
Uttag 1 **Uttag 2** **Uttag 3** **Uttag 4**

CO [ppm]

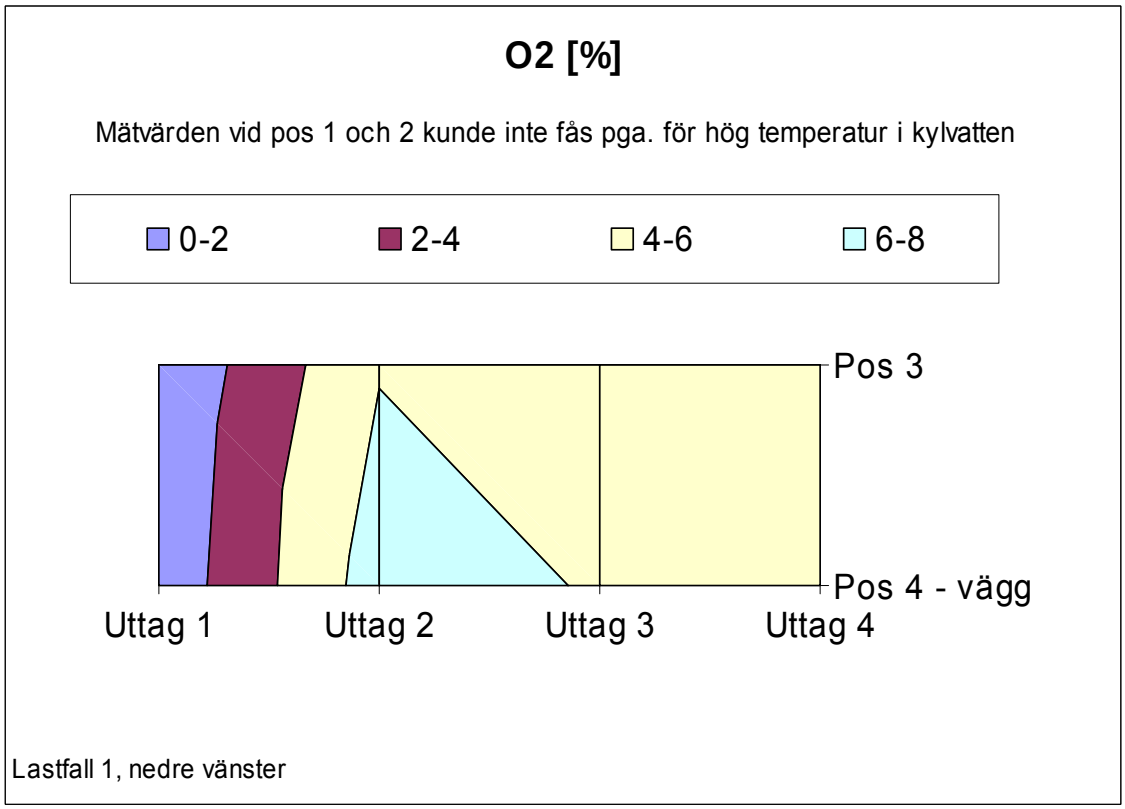
Pos 1	ingen mätn.	ingen mätn.	ingen mätn.	ingen mätn.
Pos 2	4827	1740	2327	4734
Pos 3	3497	3245	2025	3361
Pos 4	3685	2403	3013	2341

Uttag 1 **Uttag 2** **Uttag 3** **Uttag 4**

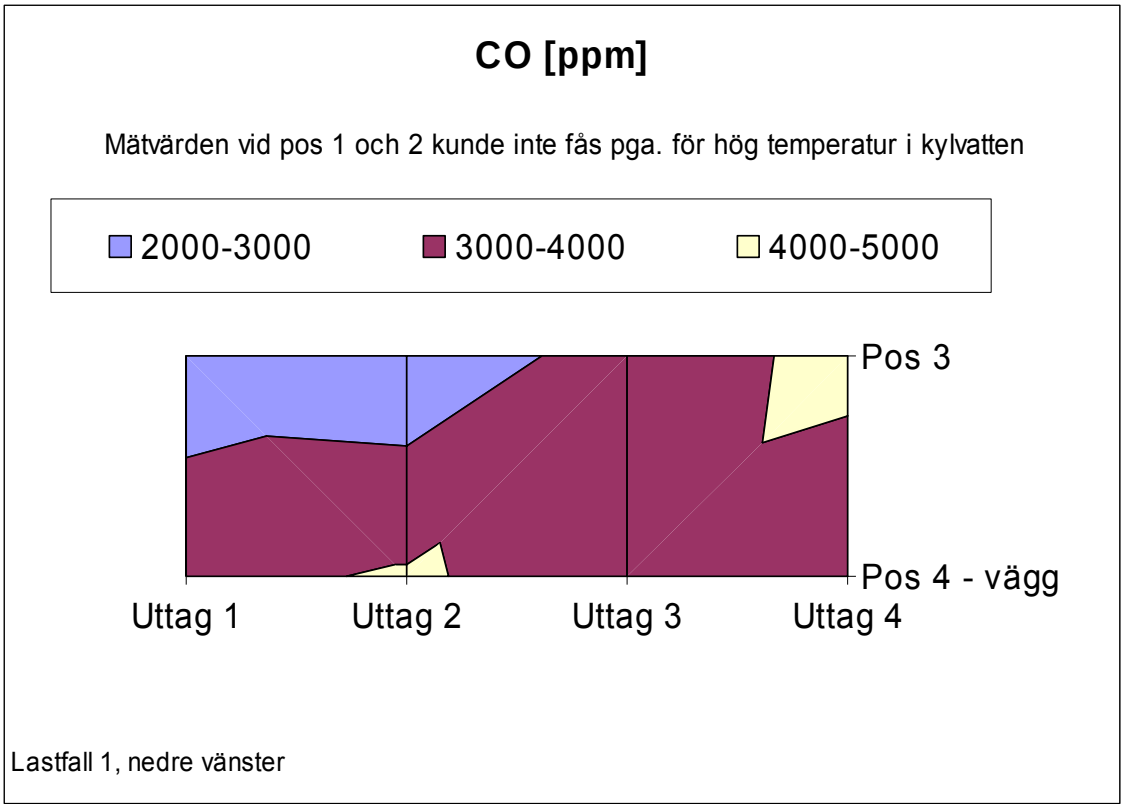
Nedre mätplan vänster



Lastfall 1, nedre vänster



Lastfall 1, nedre vänster



Lastfall 1, nedre vänster

Temperatur [C]

Pos 1	ingen mätn.	ingen mätn.	ingen mätn.	ingen mätn.
Pos 2	ingen mätn.	ingen mätn.	ingen mätn.	1074
Pos 3	1017	1067	1062	1093
Pos 4	1122	1076	1035	1064

Uttag 1 **Uttag 2** **Uttag 3** **Uttag 4**

O2 [%]

Pos 1	ingen mätn.	ingen mätn.	ingen mätn.	ingen mätn.
Pos 2	ingen mätn.	ingen mätn.	ingen mätn.	2,24
Pos 3	0,23	5,89	4,44	5,13
Pos 4	0,62	6,94	5,84	5,22

Uttag 1 **Uttag 2** **Uttag 3** **Uttag 4**

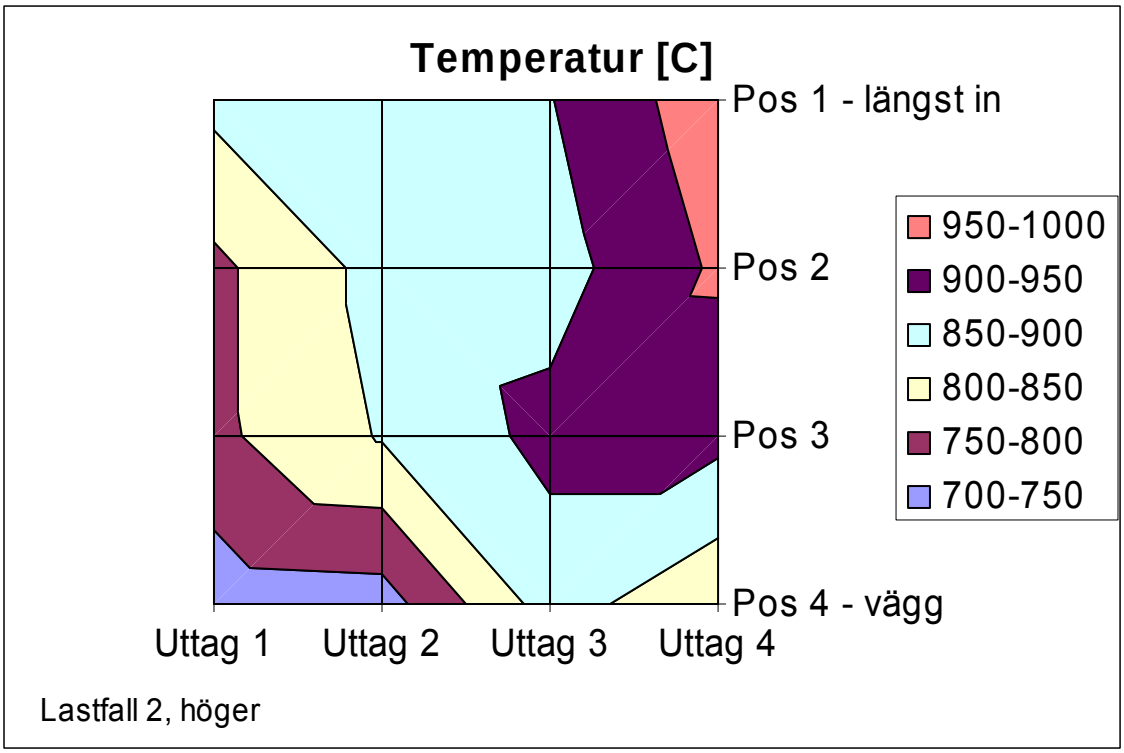
CO [ppm]

Pos 1	ingen mätn.	ingen mätn.	ingen mätn.	ingen mätn.
Pos 2	ingen mätn.	ingen mätn.	ingen mätn.	3015
Pos 3	2364	2235	3482	4260
Pos 4	3740	4095	3594	3302

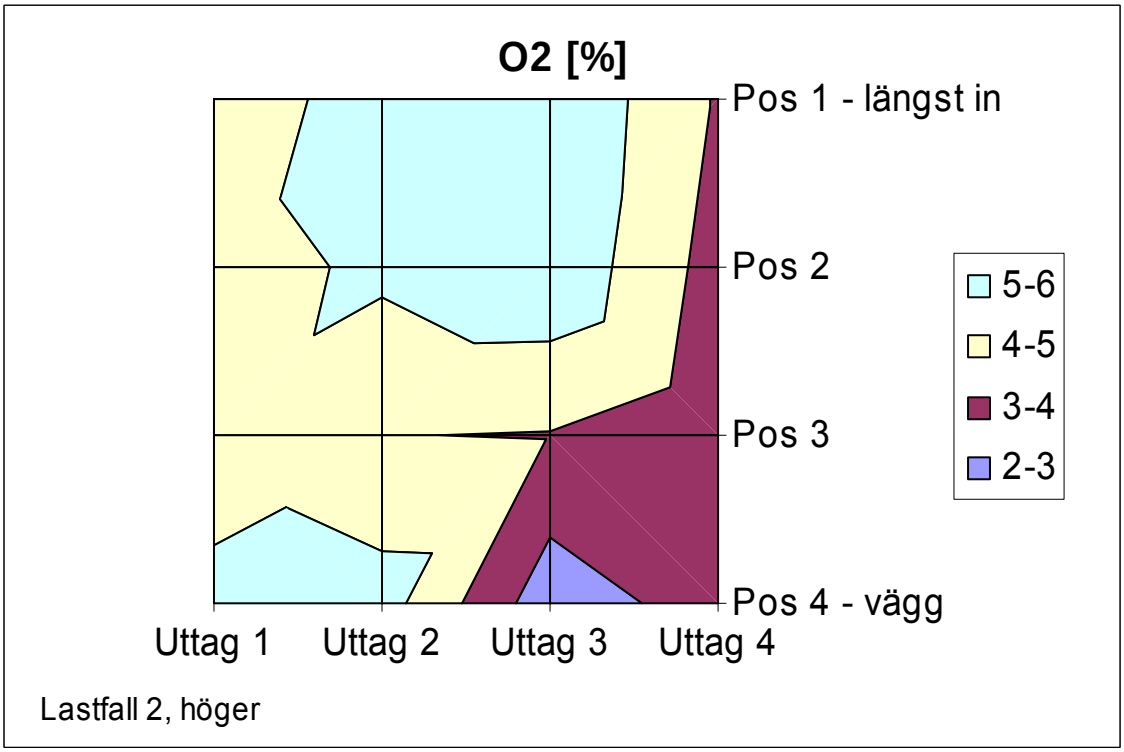
Uttag 1 **Uttag 2** **Uttag 3** **Uttag 4**

B.3 Lastfall 2

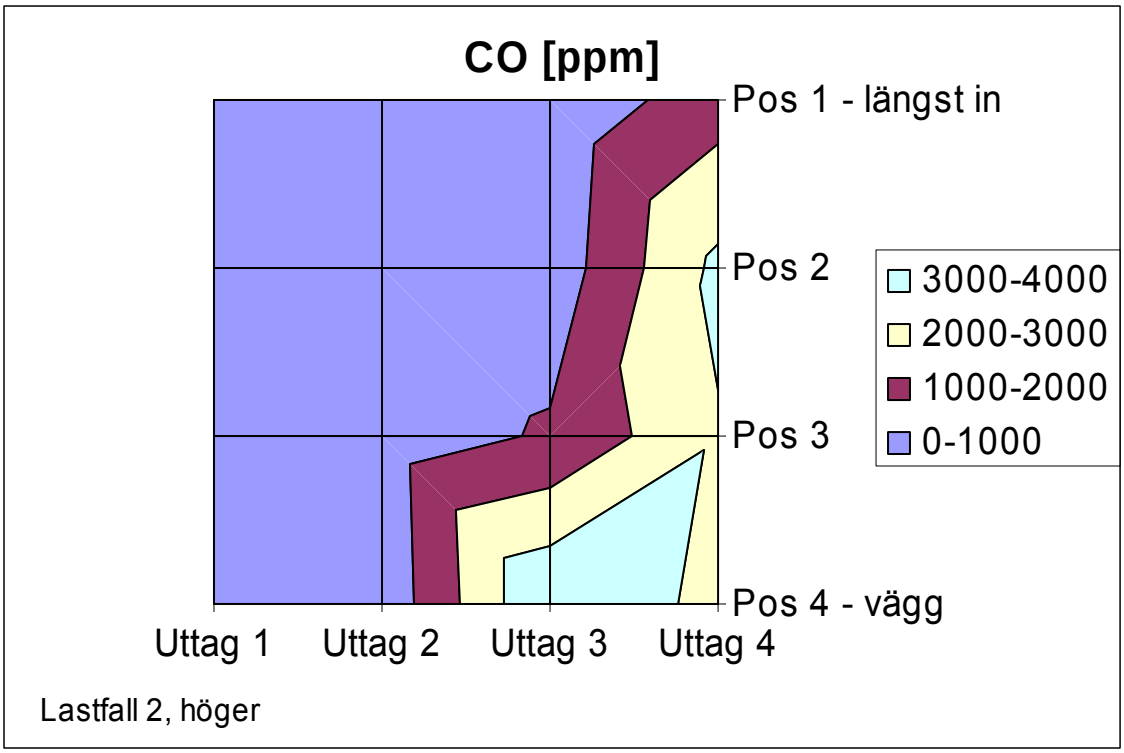
Högre mätplan



Lastfall 2, höger



Lastfall 2, höger



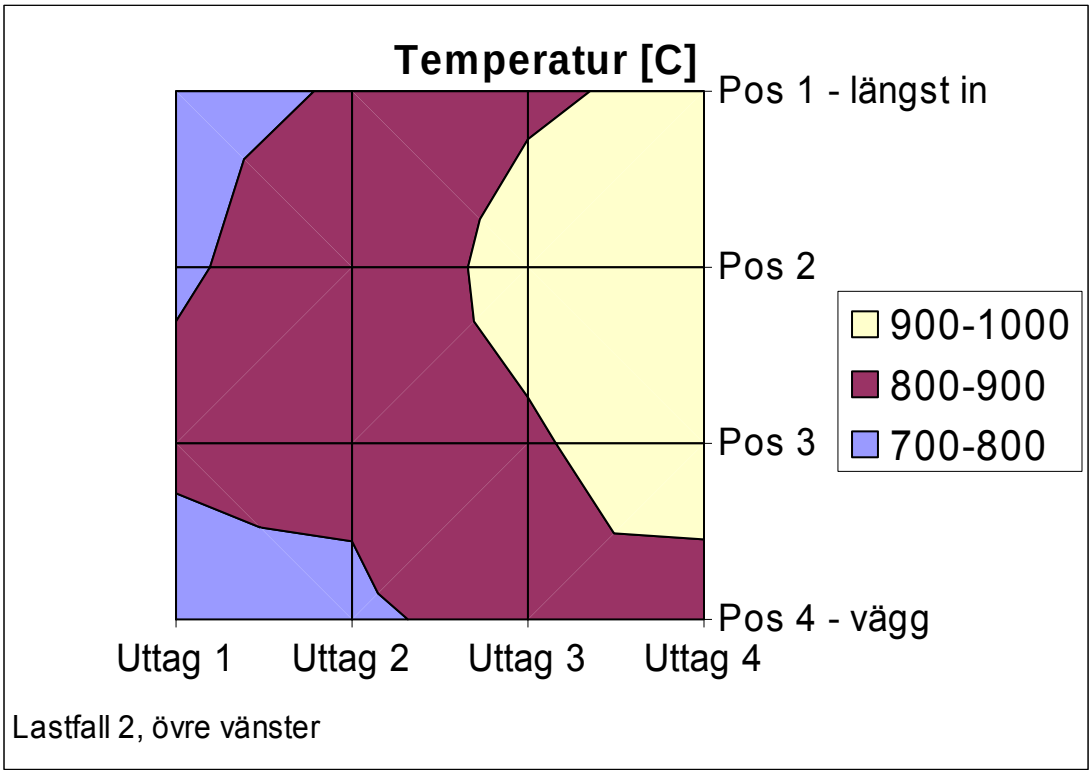
Lastfall 2, höger

Temperatur [C]				
Pos 1	864	872	898	980
Pos 2	788	866	880	958
Pos 3	789	854	914	914
Pos 4	720	727	873	807
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4

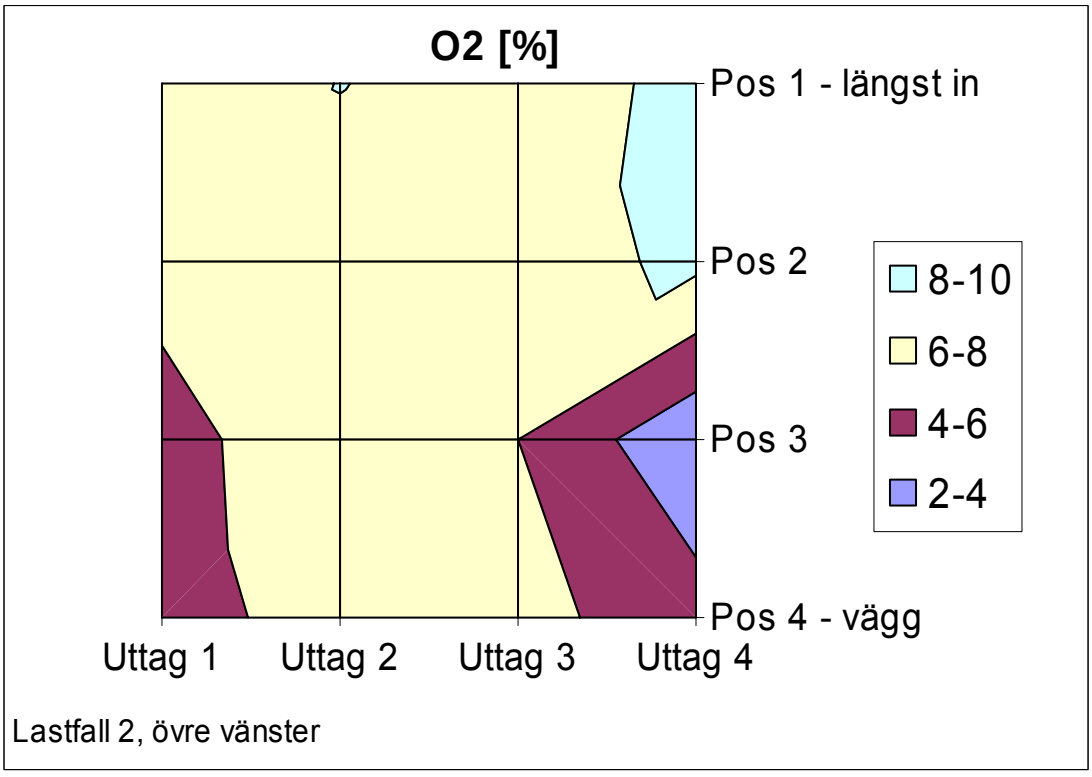
O2 [%]				
Pos 1	4,05	5,75	5,96	3,89
Pos 2	4,50	5,22	5,82	3,60
Pos 3	4,67	4,02	3,96	3,26
Pos 4	5,18	5,44	2,38	3,52
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4

CO [ppm]				
Pos 1	864	201	190	1569
Pos 2	374	97	404	3229
Pos 3	277	402	1124	2914
Pos 4	362	280	4313	2687
	Uttag 1	Uttag 2	Uttag 3	Uttag 4

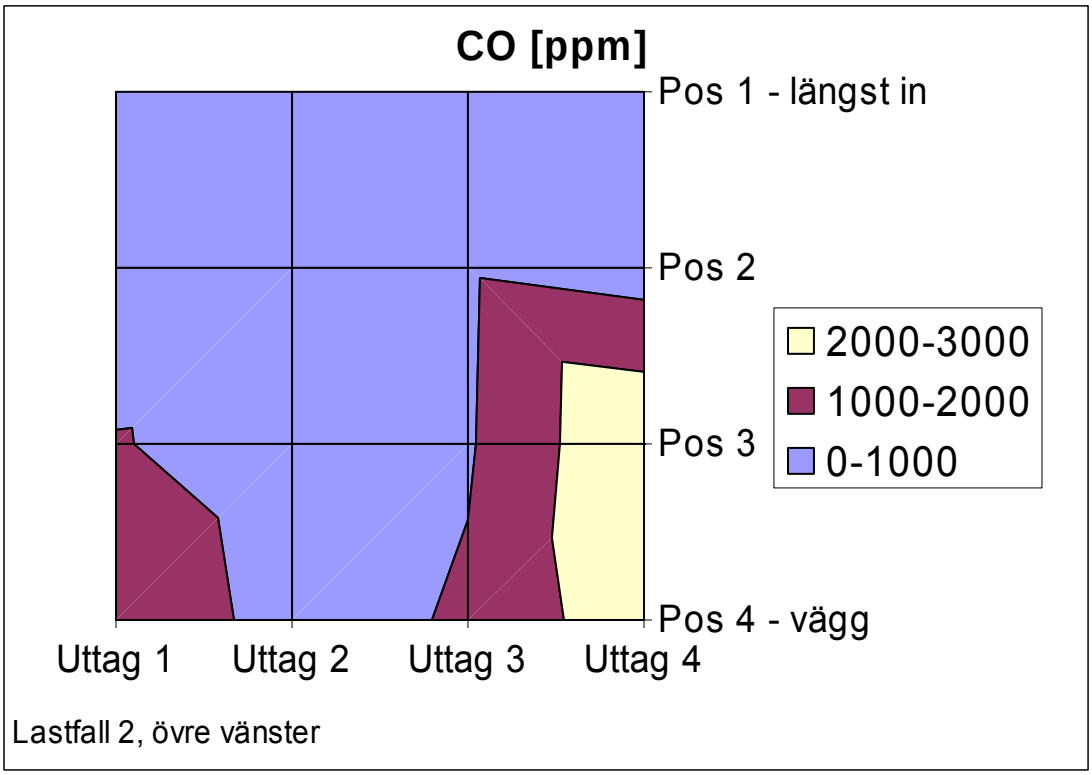
Övre mätplan vänster



Lastfall 2, övre vänster



Lastfall 2, övre vänster



Lastfall 2, övre vänster

Temperatur [C]

Pos 1	783	805	886	926
Pos 2	794	827	937	955
Pos 3	914	819	887	970
Pos 4	764	784	833	841
	Uttag 1	**Uttag 2**	**Uttag 3**	**Uttag 4**

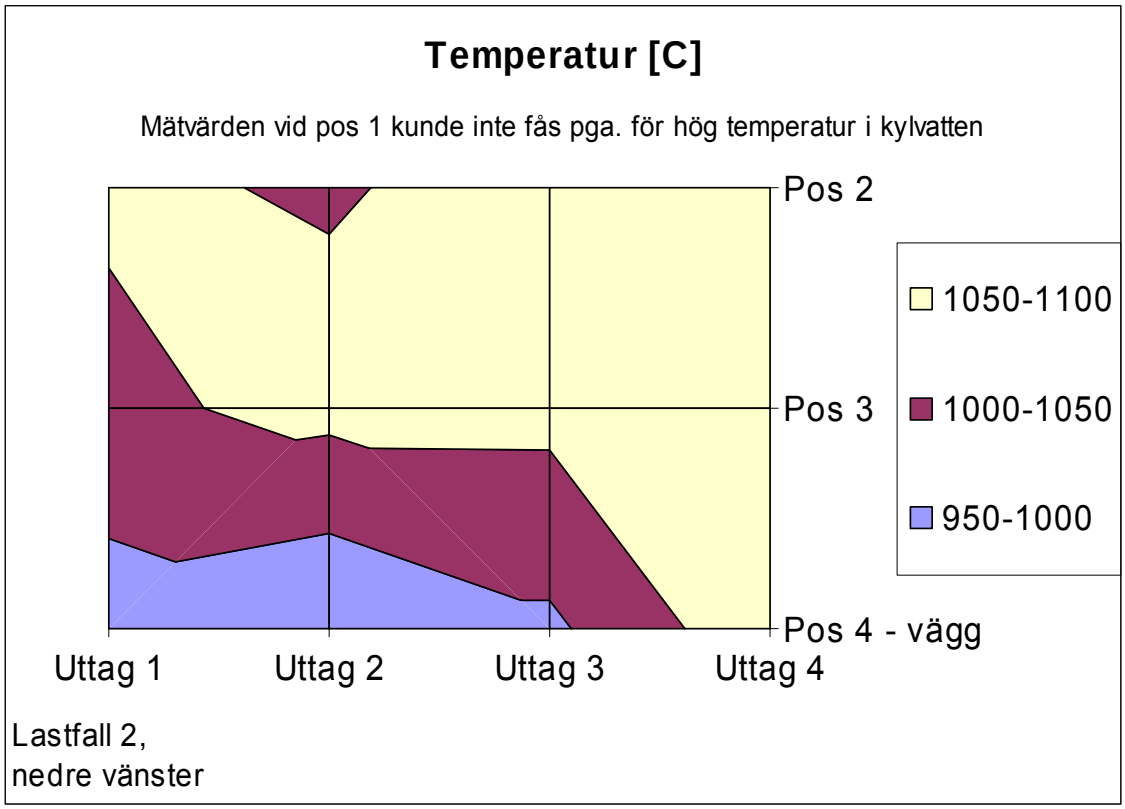
O2 [%]

Pos 1	6,33	8,05	7,24	8,39
Pos 2	6,62	7,21	6,78	8,55
Pos 3	5,31	7,34	6,01	2,41
Pos 4	5,2	6,83	6,66	4,77
	Uttag 1	**Uttag 2**	**Uttag 3**	**Uttag 4**

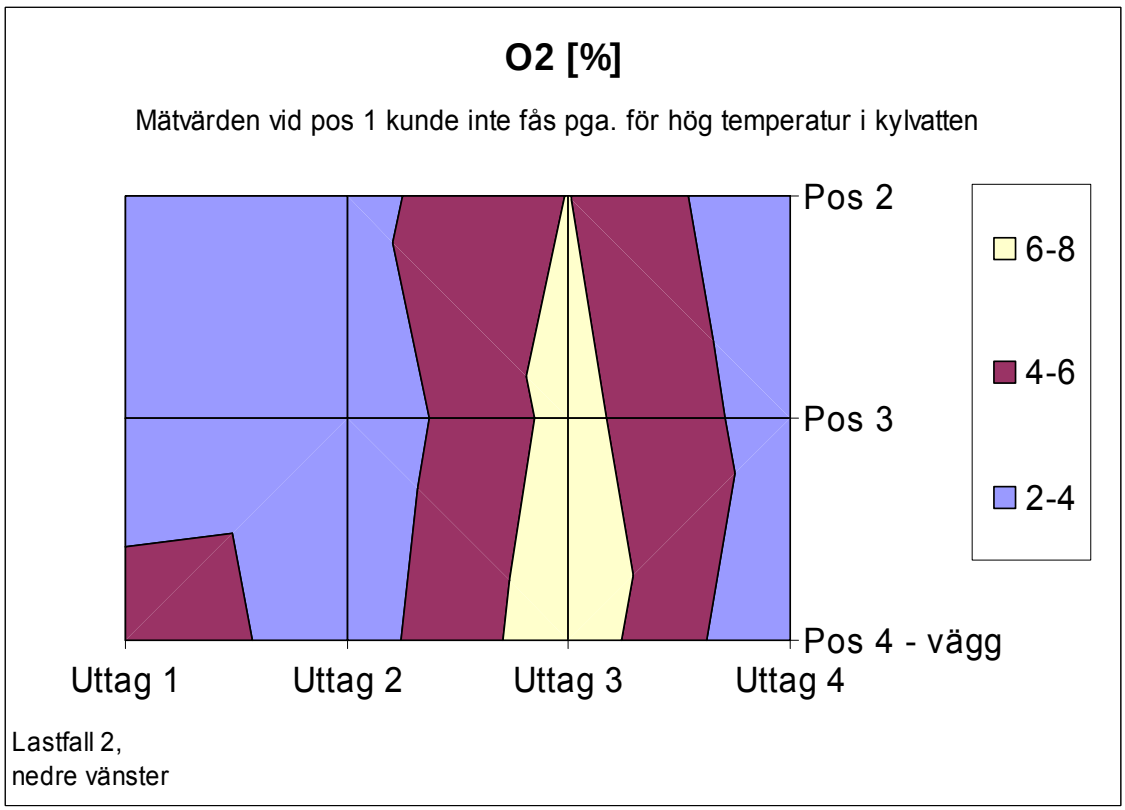
CO [ppm]

Pos 1	227	166	190	358
Pos 2	146	242	867	543
Pos 3	1080	347	915	3734
Pos 4	1896	564	1115	2739
	Uttag 1	**Uttag 2**	**Uttag 3**	**Uttag 4**

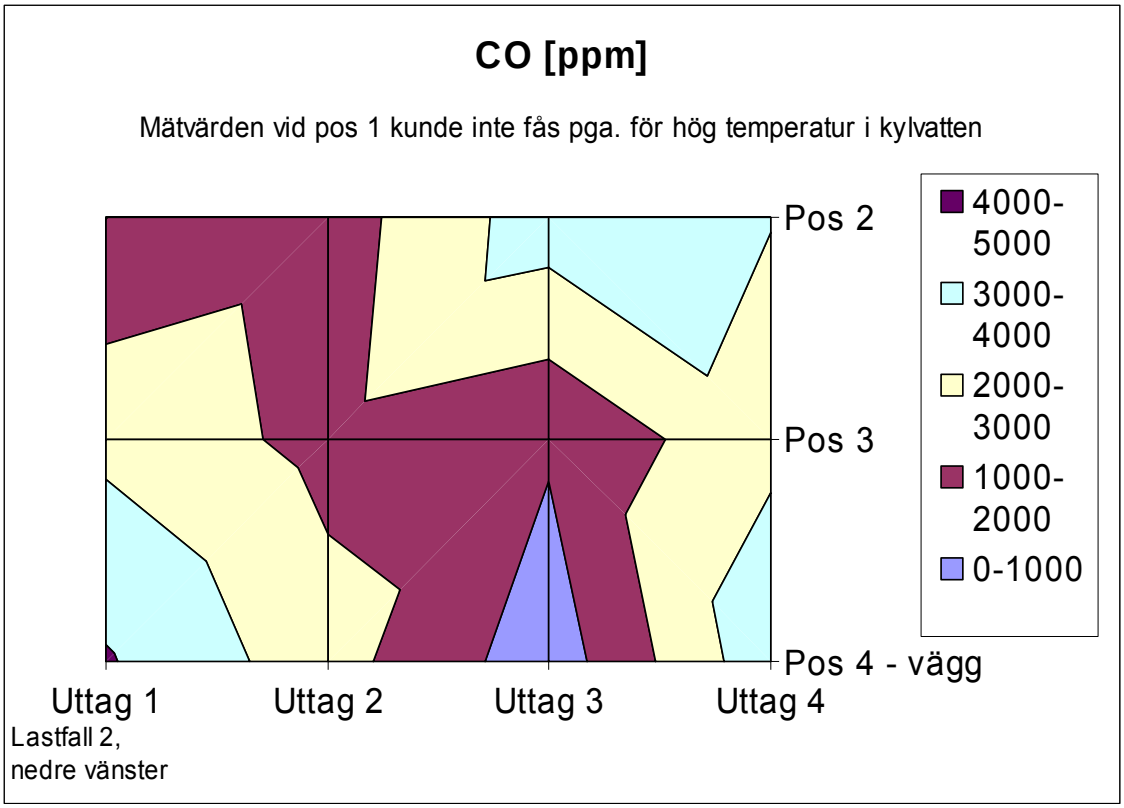
Nedre mätplan vänster



Lastfall 2,
nedre vänster



Lastfall 2,
nedre vänster


CO [ppm]
Mätvärden vid pos 1 kunde inte fås pga. för hög temperatur i kylvatten
Pos 2
Pos 3
Pos 4 - vägg
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4
4000-5000
3000-4000
2000-3000
1000-2000
0-1000
Lastfall 2,
nedre vänster

Temperatur [C]

Pos 1	1030	ingen mätn.	ingen mätn.	ingen mätn.
Pos 2	1056	1046	1065	1074
Pos 3	1039	1063	1063	1071
Pos 4	972	952	990	1088

Uttag 1 **Uttag 2** **Uttag 3** **Uttag 4**

O2 [%]

Pos 1	5,15	ingen mätn.	ingen mätn.	ingen mätn.
Pos 2	3,18	3,31	6,05	2,24
Pos 3	1,84	2,46	6,63	2,9
Pos 4	5,43	2,93	7,28	1,39

Uttag 1 **Uttag 2** **Uttag 3** **Uttag 4**

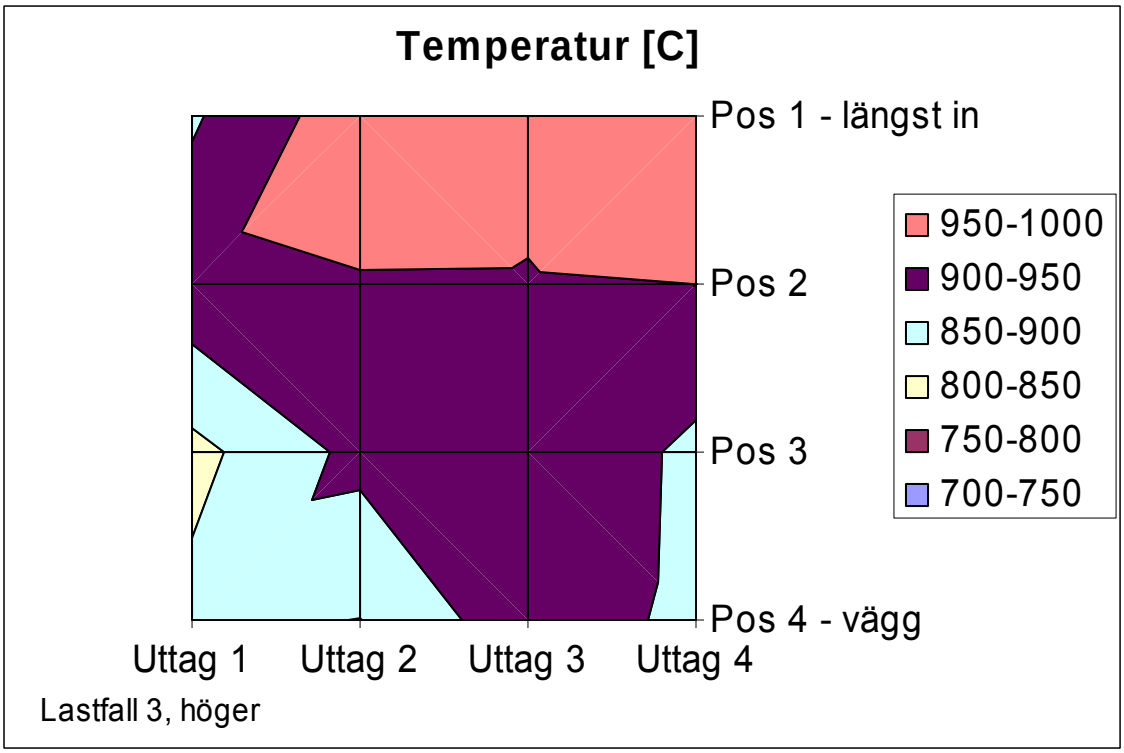
CO [ppm]

Pos 1	319	ingen mätn.	ingen mätn.	ingen mätn.
Pos 2	996	1515	3531	3015
Pos 3	2761	1683	1132	2784
Pos 4	4092	2414	435	3677

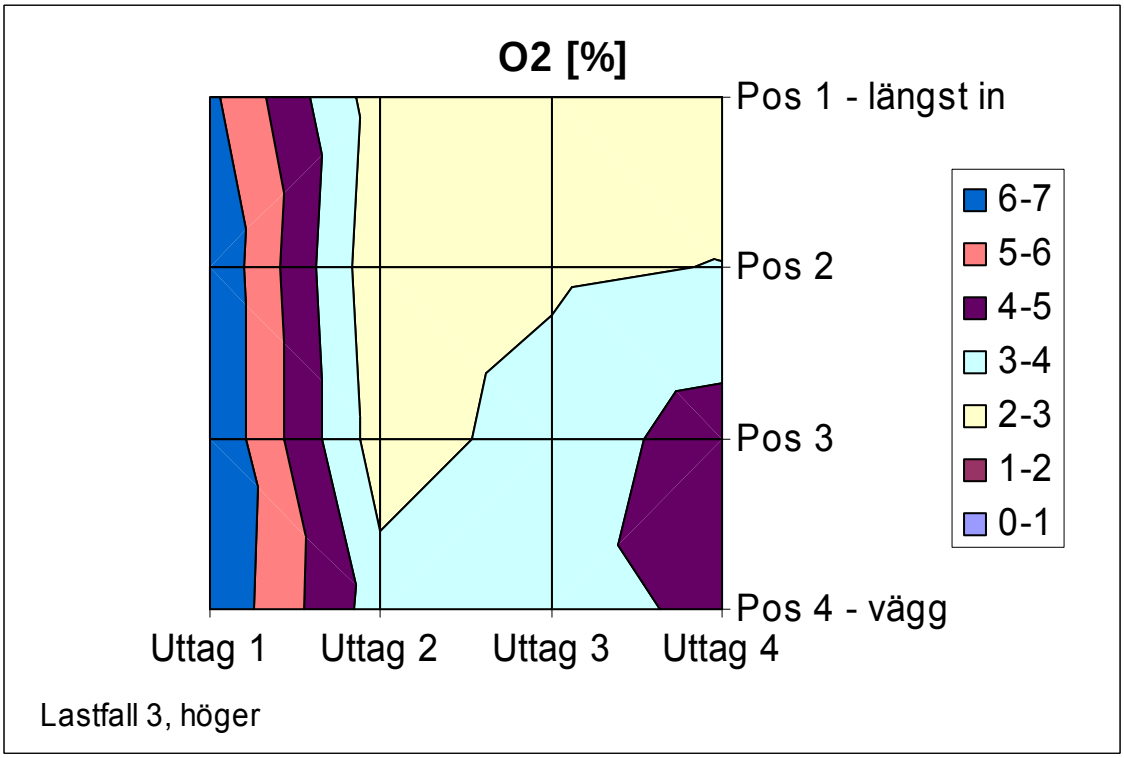
Uttag 1 **Uttag 2** **Uttag 3** **Uttag 4**

B.4 Lastfall 3

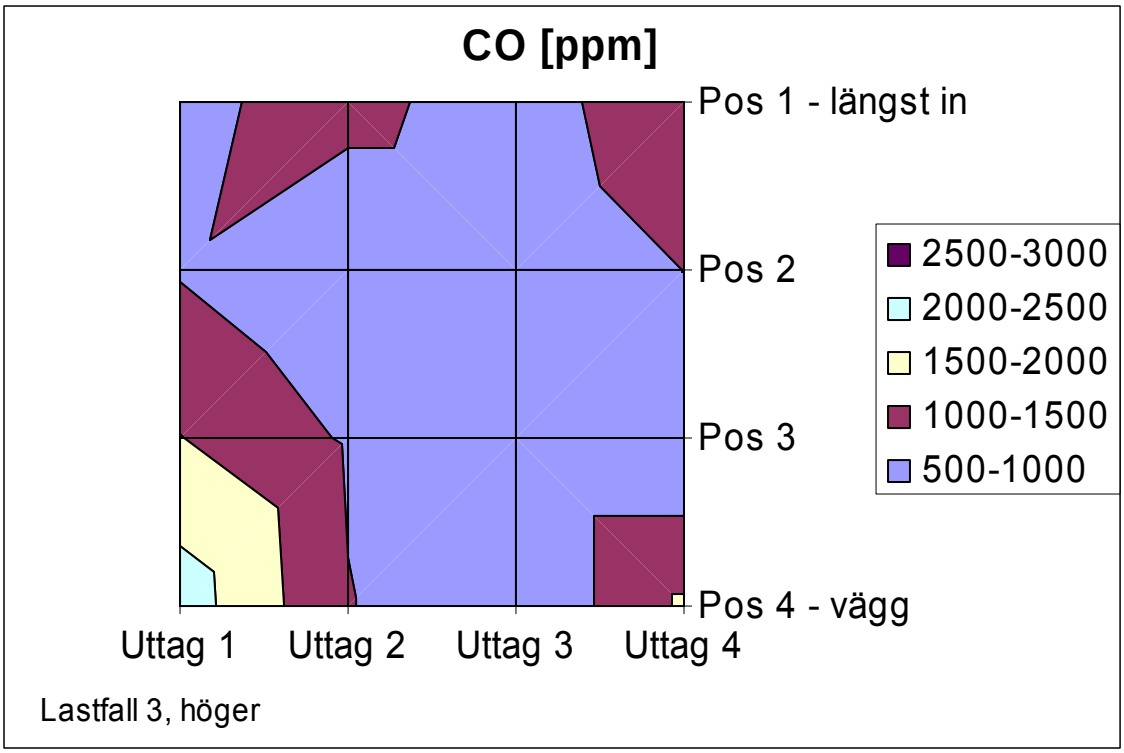
Högre mätplan



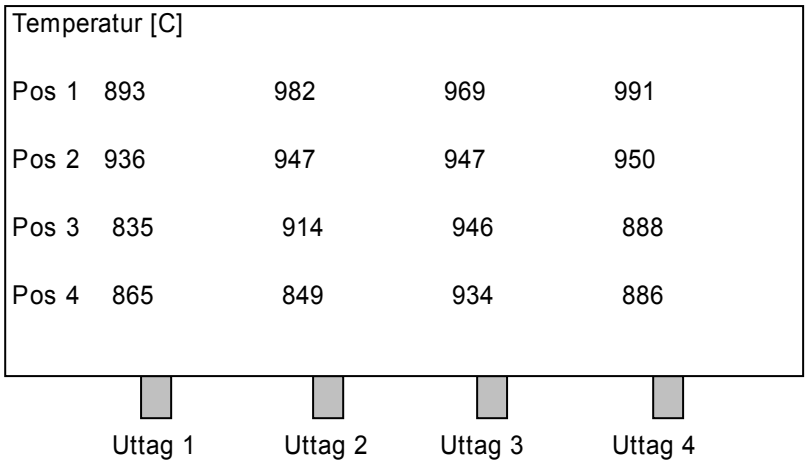
Lastfall 3, höger

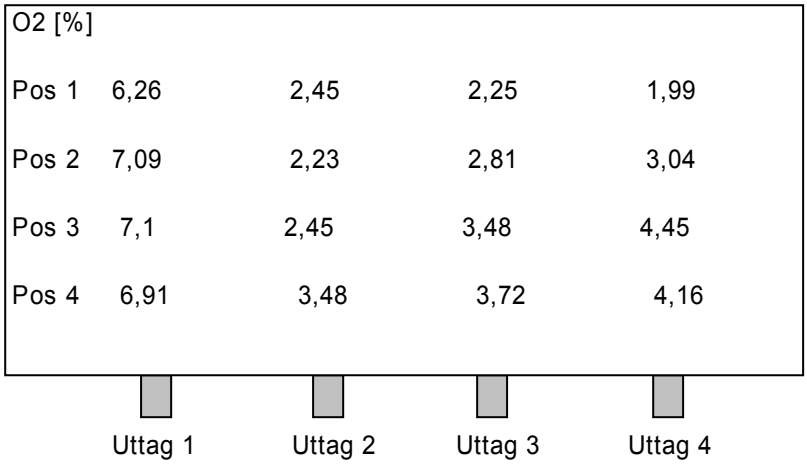


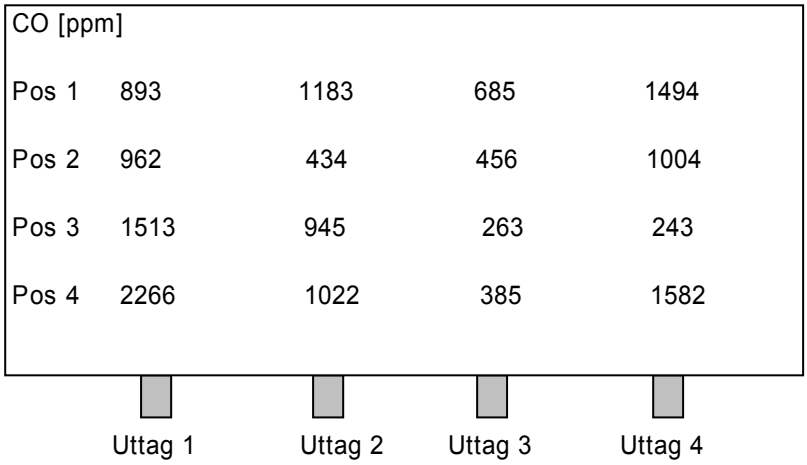
Lastfall 3, höger



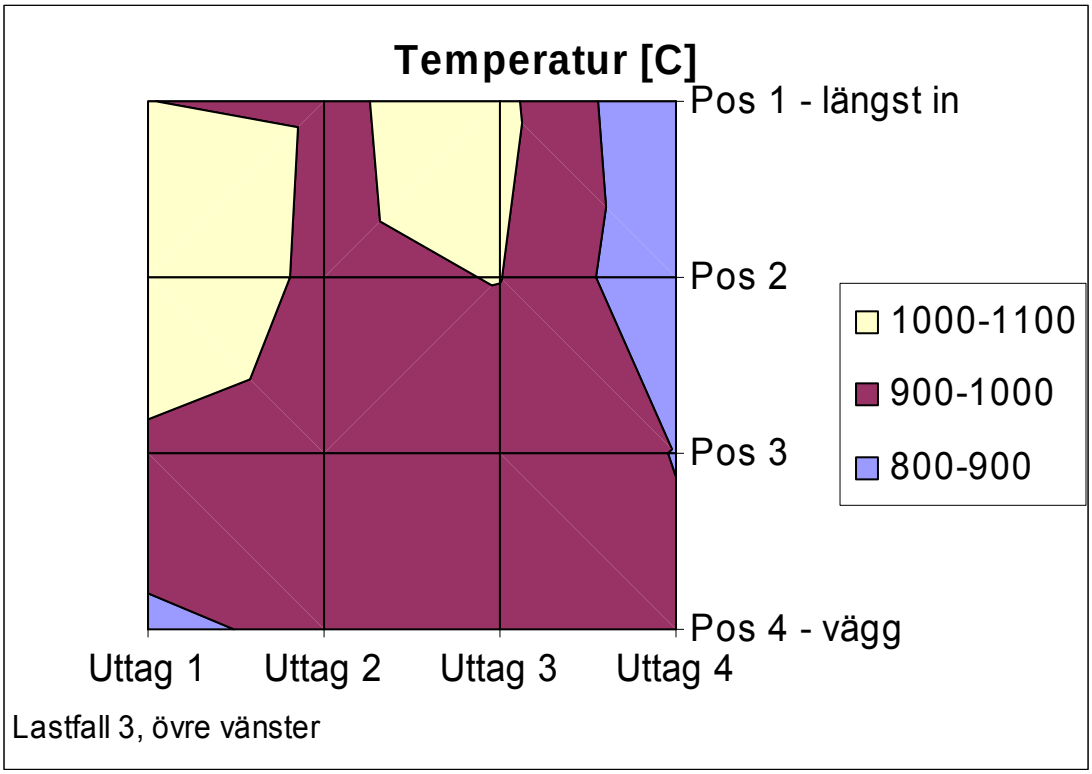
Lastfall 3, höger


Temperatur [C]
Pos 1 893 982 969 991
Pos 2 936 947 947 950
Pos 3 835 914 946 888
Pos 4 865 849 934 886
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4

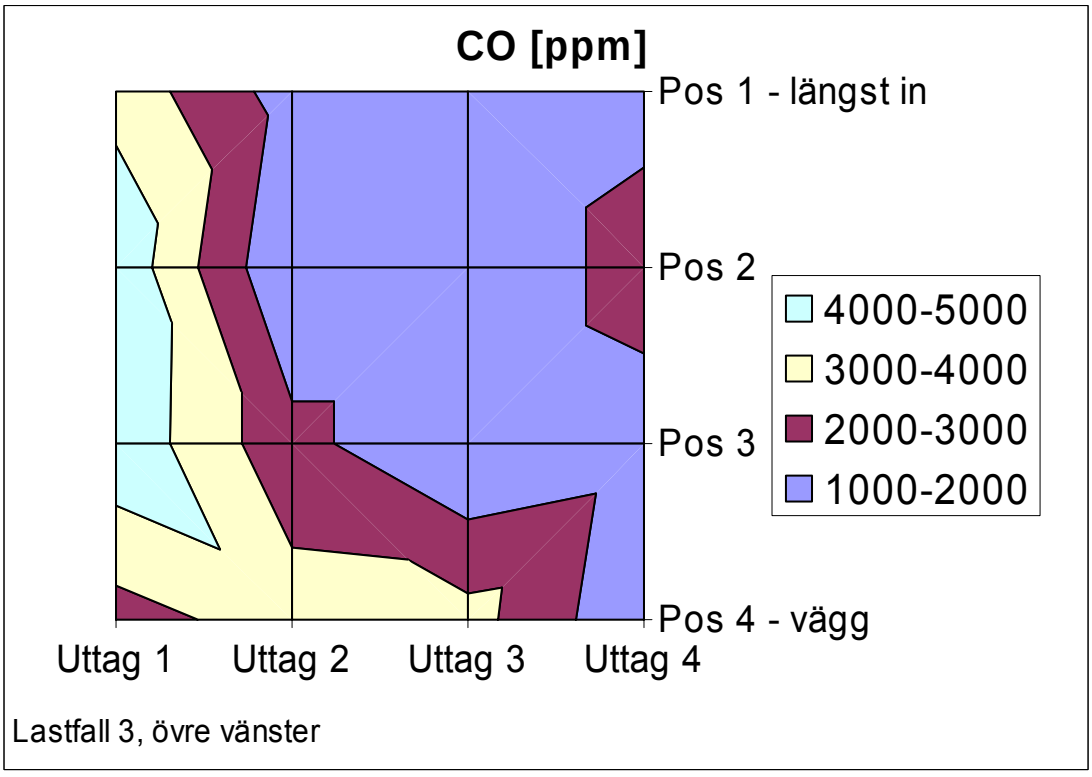

O2 [%]
Pos 1 6,26 2,45 2,25 1,99
Pos 2 7,09 2,23 2,81 3,04
Pos 3 7,1 2,45 3,48 4,45
Pos 4 6,91 3,48 3,72 4,16
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4


CO [ppm]
Pos 1 893 1183 685 1494
Pos 2 962 434 456 1004
Pos 3 1513 945 263 243
Pos 4 2266 1022 385 1582
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4

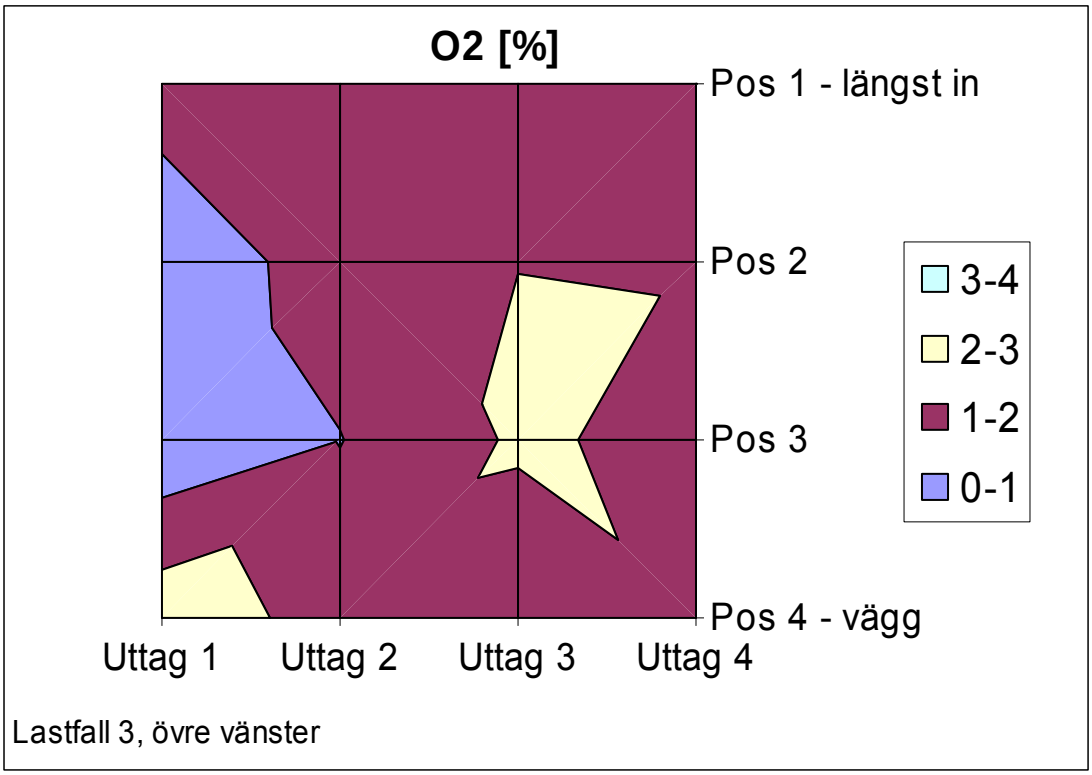
Övre mätplan vänster



Lastfall 3, övre vänster



Lastfall 3, övre vänster



Lastfall 3, övre vänster

Temperatur [C]

Pos 1	1000	991	1026	745
Pos 2	1050	988	1002	816
Pos 3	988	964	955	897
Pos 4	878	923	946	917

Uttag 1 Uttag 2 Uttag 3 Uttag 4

O2 [%]

Pos 1	1,53	1,39	1,92	2,0
Pos 2	0,21	1,52	1,99	1,97
Pos 3	0,15	0,97	2,12	1,77
Pos 4	2,68	1,56	1,4	1,91

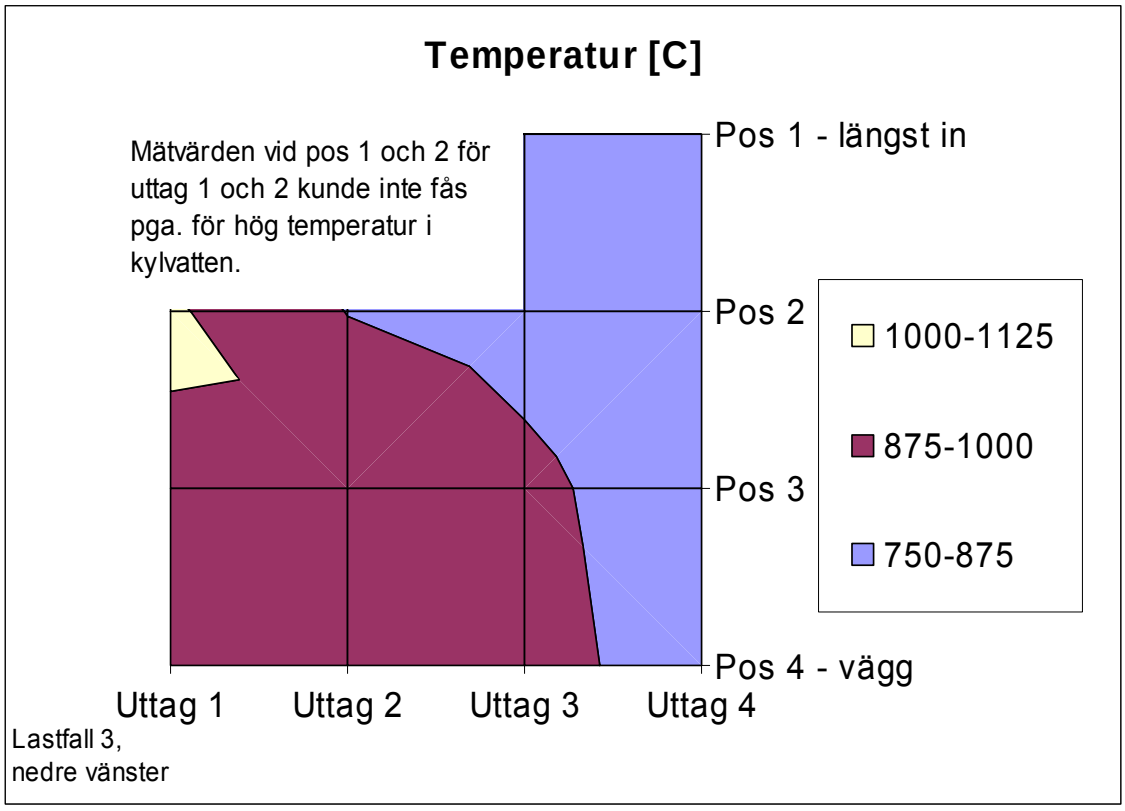
Uttag 1 Uttag 2 Uttag 3 Uttag 4

CO [ppm]

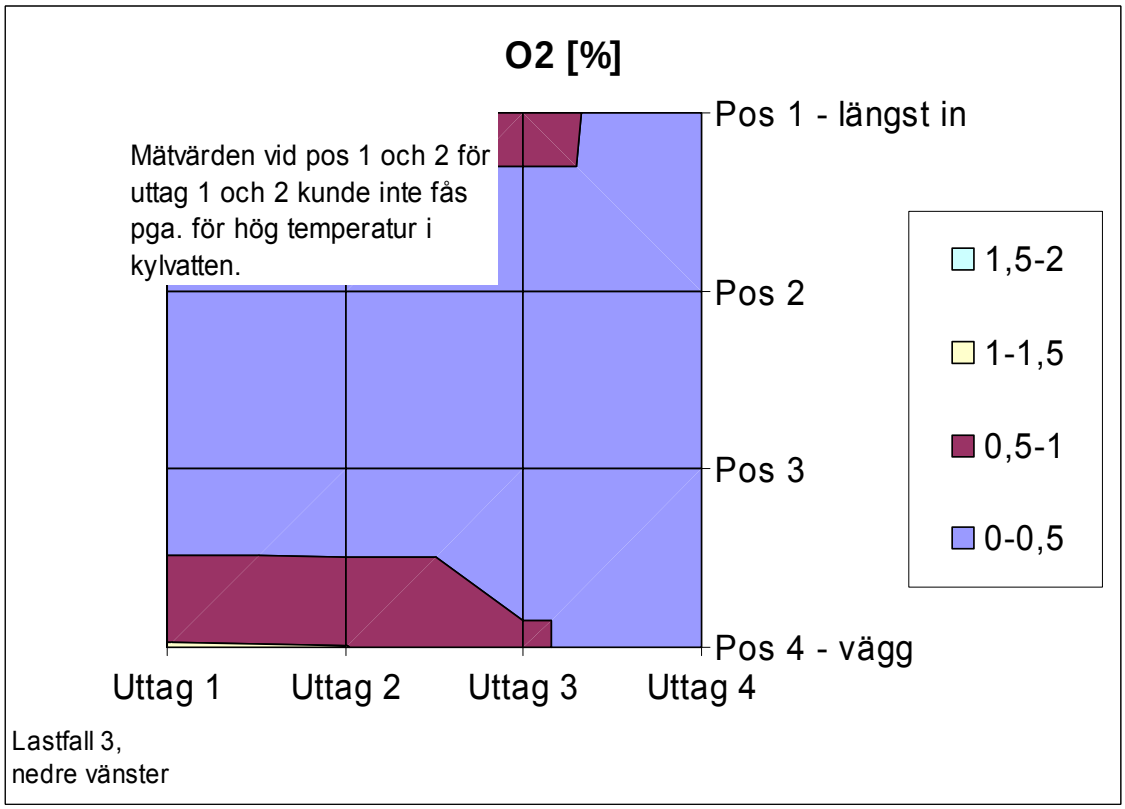
Pos 1	3647	1553	523	1618
Pos 2	4789	789	942	2499
Pos 3	4771	2306	463	1473
Pos 4	2573	3479	3362	1143

Uttag 1 Uttag 2 Uttag 3 Uttag 4

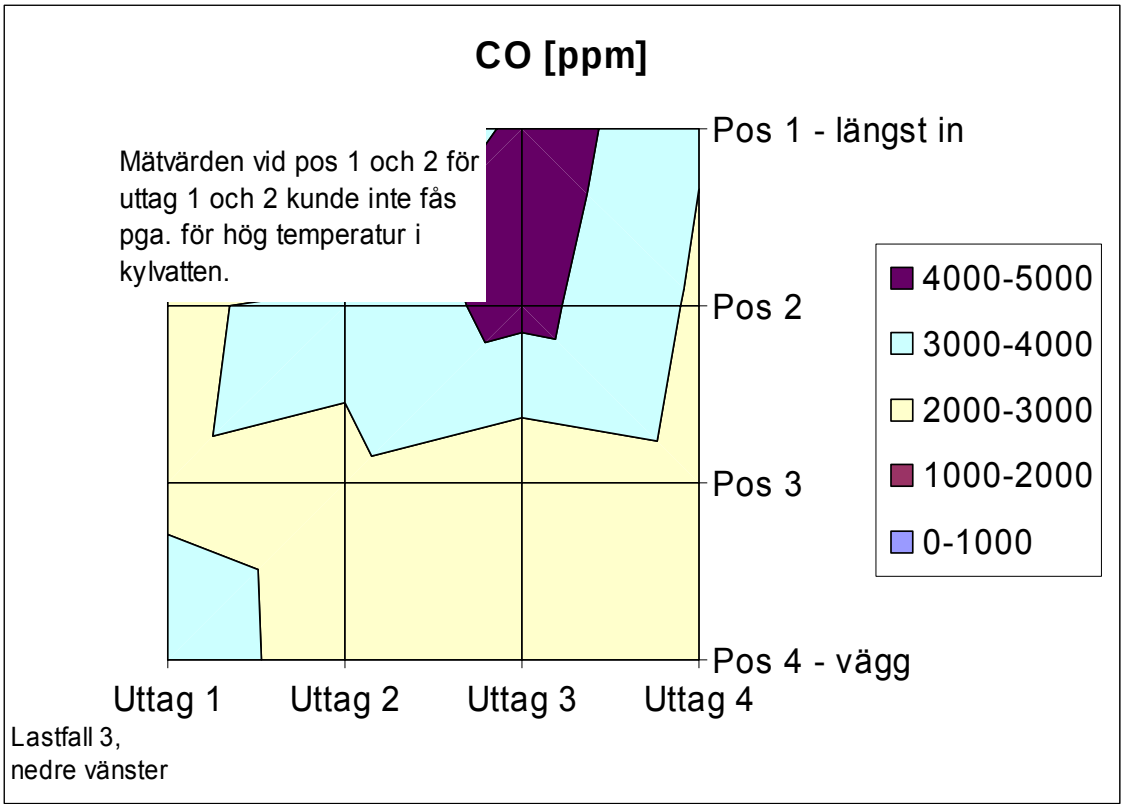
Nedre mätplan vänster



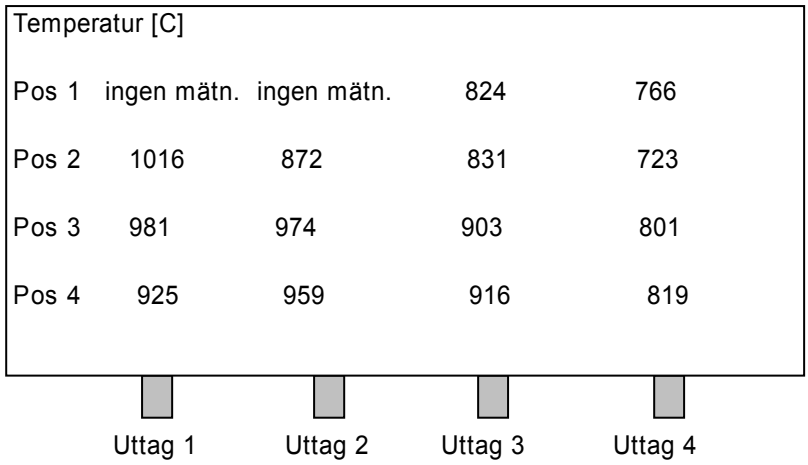
Lastfall 3,
nedre vänster

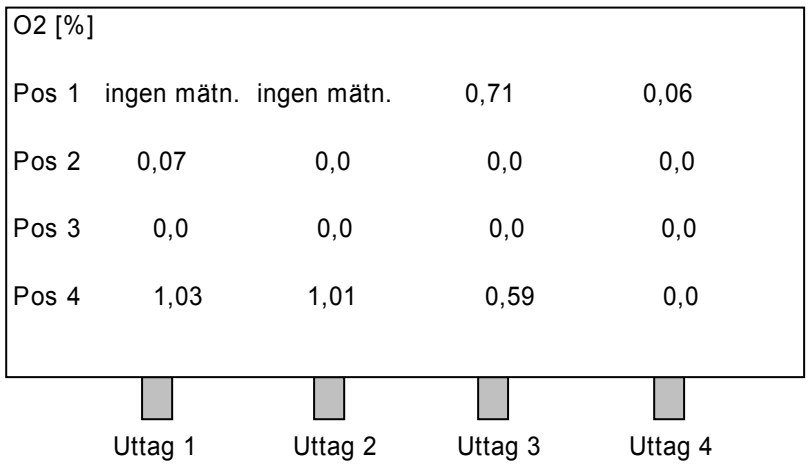


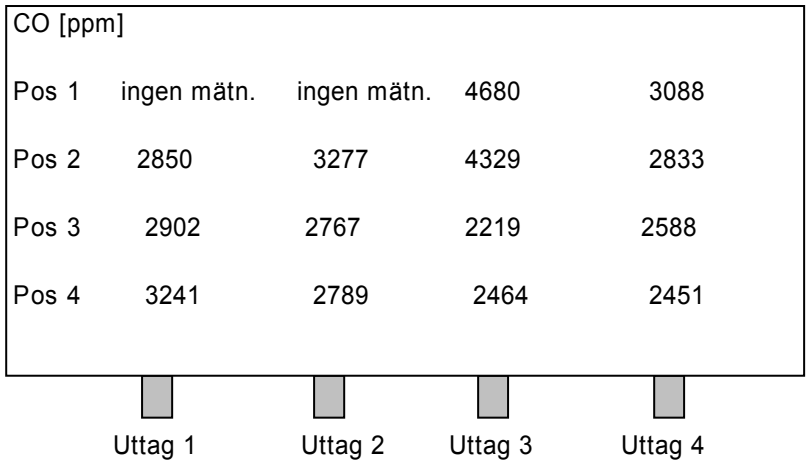
Lastfall 3,
nedre vänster



Lastfall 3,
nedre vänster

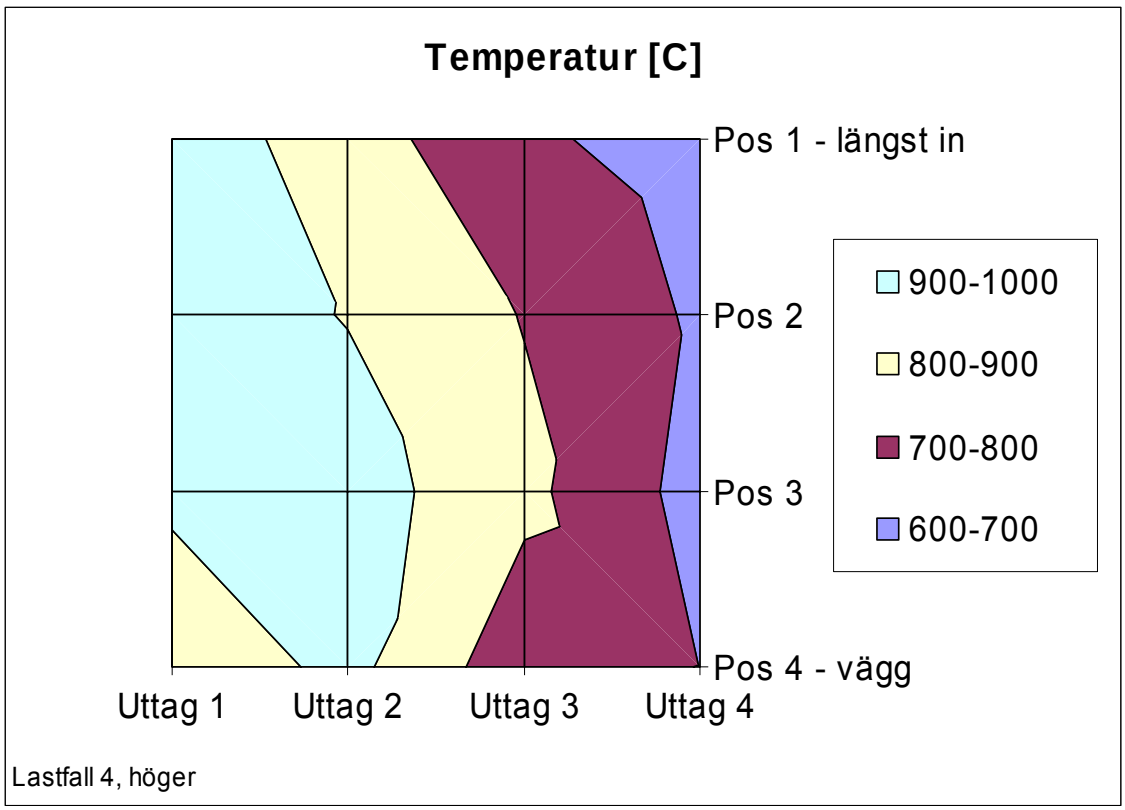

Temperatur [C]
Pos 1 ingen mätn. ingen mätn. 824 766
Pos 2 1016 872 831 723
Pos 3 981 974 903 801
Pos 4 925 959 916 819
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4


O2 [%]
Pos 1 ingen mätn. ingen mätn. 0,71 0,06
Pos 2 0,07 0,0 0,0 0,0
Pos 3 0,0 0,0 0,0 0,0
Pos 4 1,03 1,01 0,59 0,0
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4

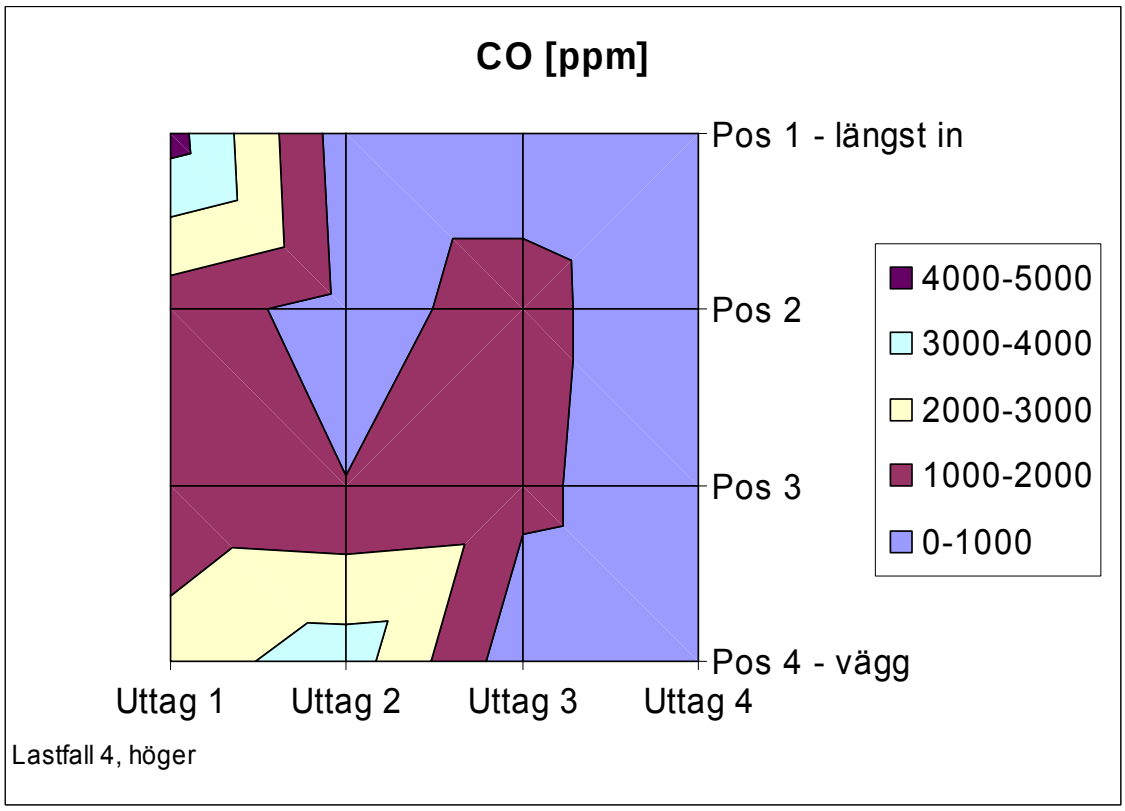

CO [ppm]
Pos 1 ingen mätn. ingen mätn. 4680 3088
Pos 2 2850 3277 4329 2833
Pos 3 2902 2767 2219 2588
Pos 4 3241 2789 2464 2451
Uttag 1
Uttag 2
Uttag 3
Uttag 4

B.5 Lastfall 4

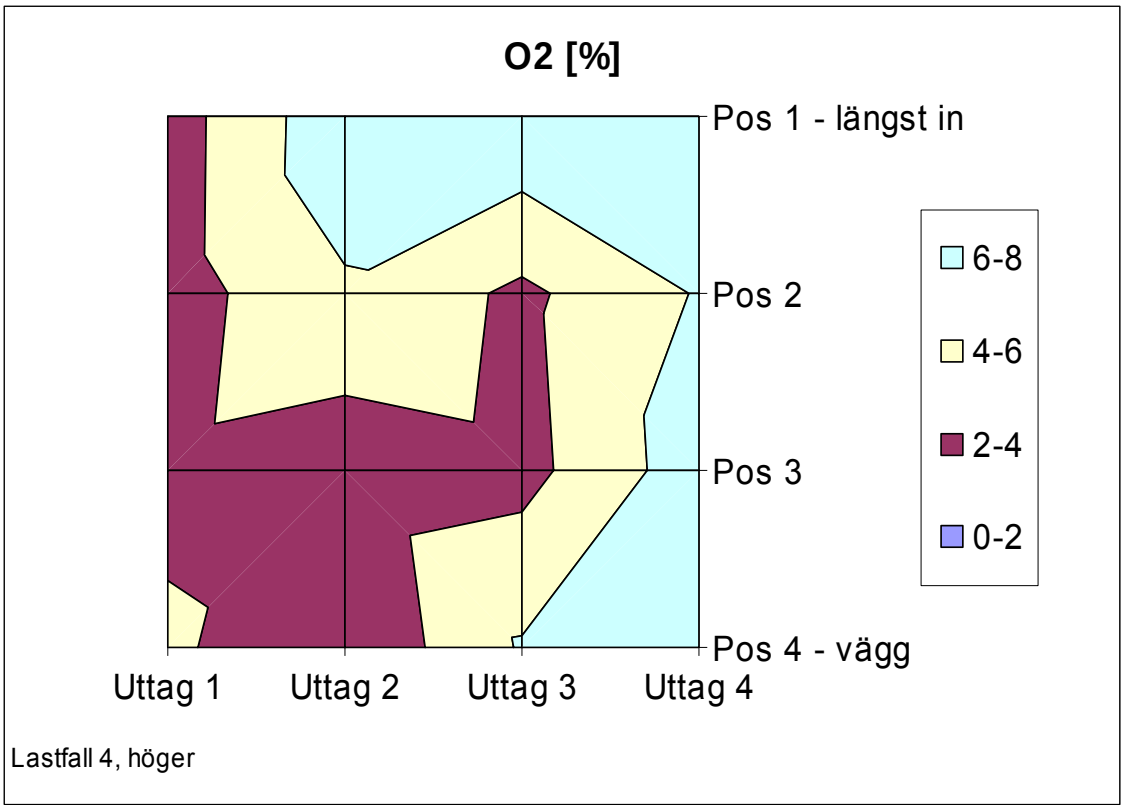
Högre mätplan



Lastfall 4, höger



Lastfall 4, höger



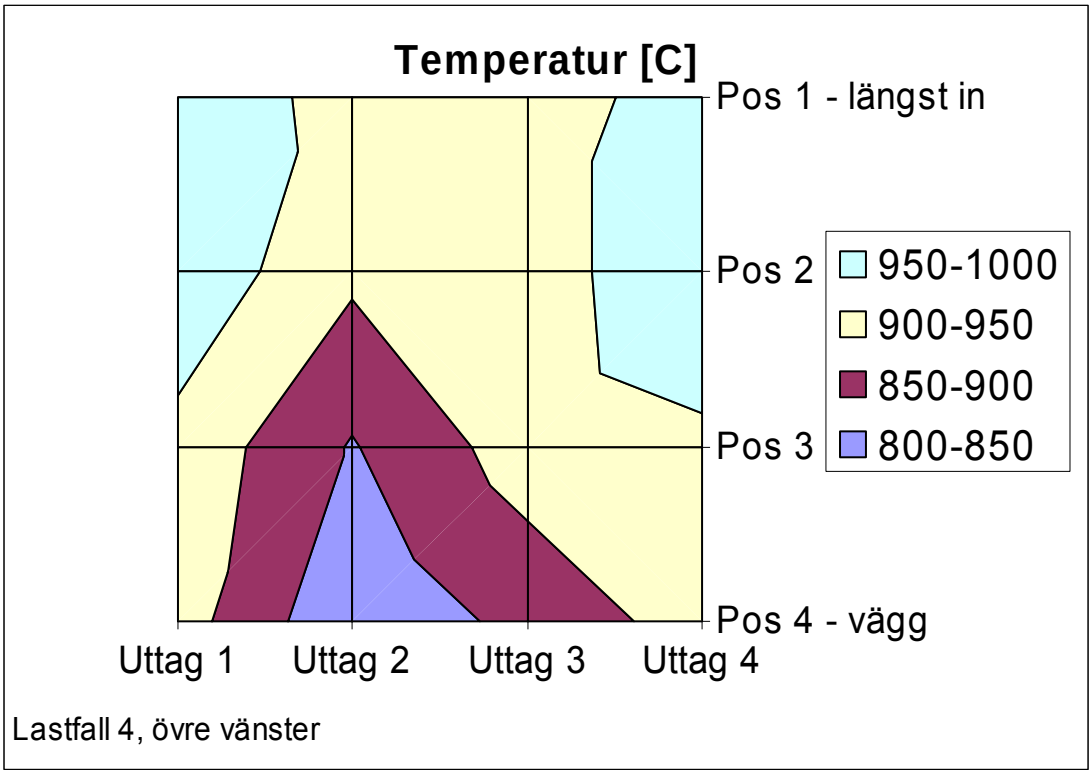
Lastfall 4, höger

Temperatur [C]				
Pos 1	962	845	719	651
Pos 2	953	896	795	684
Pos 3	922	946	825	662
Pos 4	820	929	736	699
	Uttag 1	**Uttag 2**	**Uttag 3**	**Uttag 4**

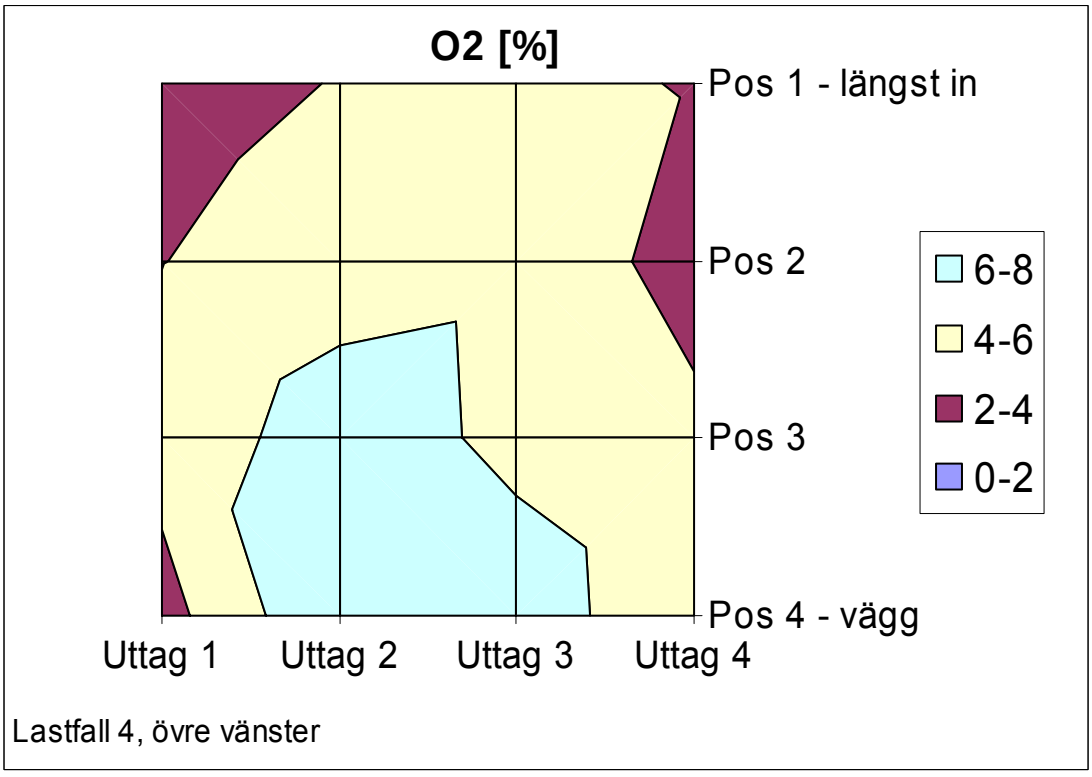
O2 [%]				
Pos 1	3,01	7,46	7,82	7,93
Pos 2	3,08	5,73	3,59	6,16
Pos 3	3,37	2,73	3,34	7,10
Pos 4	4,38	2,14	6,21	6,41
	Uttag 1	**Uttag 2**	**Uttag 3**	**Uttag 4**

CO [ppm]				
Pos 1	4452	468	483	107
Pos 2	1423	662	1348	114
Pos 3	1163	1018	1249	139
Pos 4	2493	3524	336	156
	Uttag 1	**Uttag 2**	**Uttag 3**	**Uttag 4**

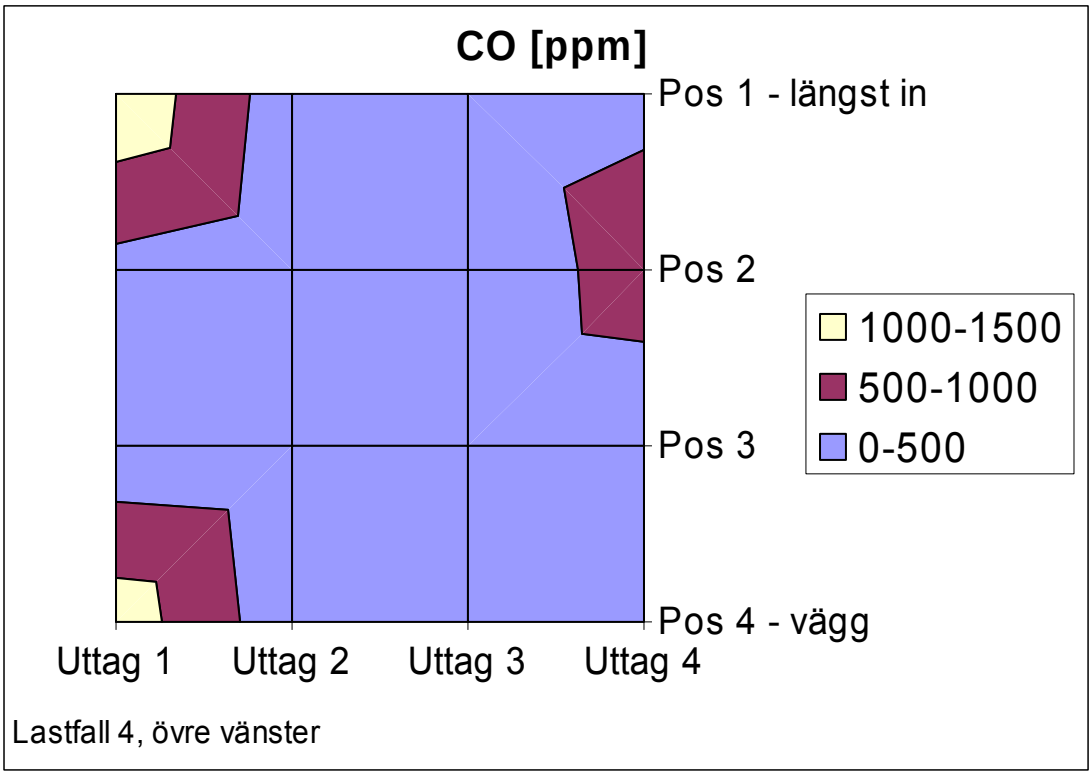
Övre mätplan vänster



Lastfall 4, övre vänster



Lastfall 4, övre vänster



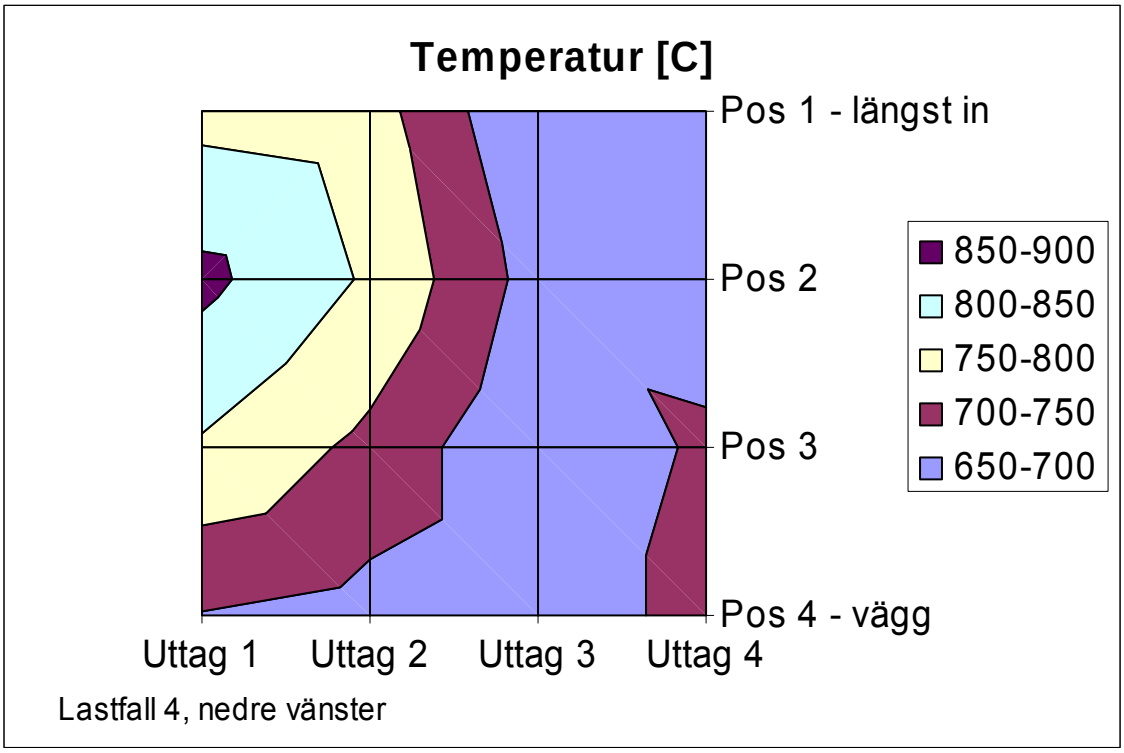
Lastfall 4, övre vänster

Temperatur [C]				
Pos 1	982	933	930	922
Pos 2	986	910	930	984
Pos 3	935	846	925	942
Pos 4	922	808	866	922
	Uttag 1	**Uttag 2**	**Uttag 3**	**Uttag 4**

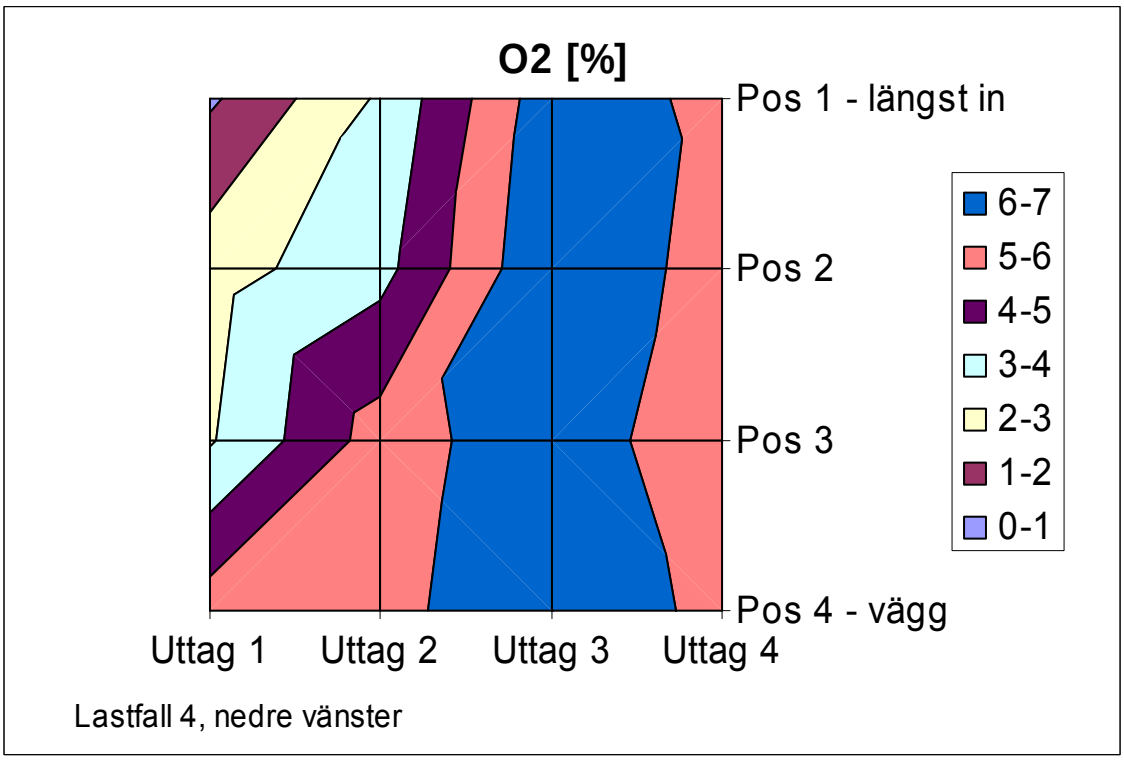
O2 [%]				
Pos 1	3,20	4,09	4,61	3,87
Pos 2	3,96	5,08	5,48	3,21
Pos 3	4,75	7,00	5,55	4,48
Pos 4	3,28	7,90	6,96	4,65
	Uttag 1	**Uttag 2**	**Uttag 3**	**Uttag 4**

CO [ppm]				
Pos 1	1410	220	215	384
Pos 2	351	93	100	746
Pos 3	126	49	64	152
Pos 4	1294	167	102	461
	Uttag 1	**Uttag 2**	**Uttag 3**	**Uttag 4**

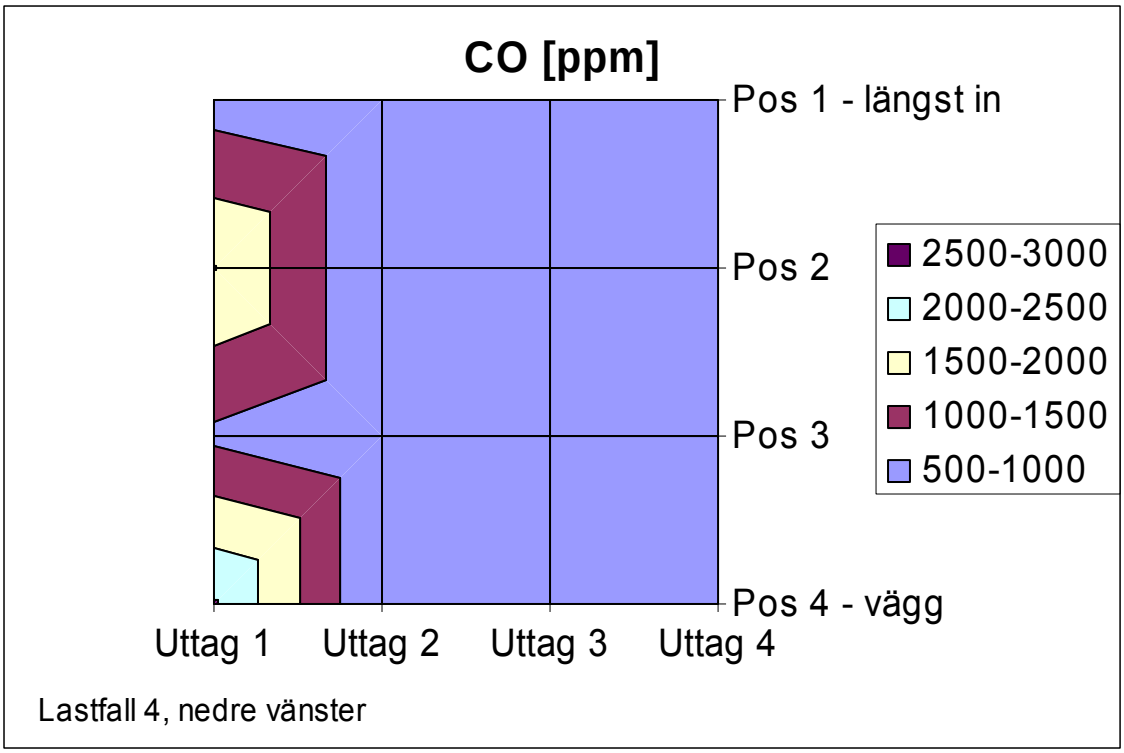
Nedre mätplan vänster



Lastfall 4, nedre vänster



Lastfall 4, nedre vänster



Lastfall 4, nedre vänster

Temperatur [C]				
Pos 1	784	771	632	610
Pos 2	863	793	680	666
Pos 3	863	737	608	711
Pos 4	697	681	647	728
	Uttag 1	**Uttag 2**	**Uttag 3**	**Uttag 4**

O2 [%]				
Pos 1	0,85	3,13	6,66	5,71
Pos 2	2,58	3,67	6,96	5,53
Pos 3	2,90	5,45	6,76	5,12
Pos 4	5,51	5,62	7,13	5,62
	Uttag 1	**Uttag 2**	**Uttag 3**	**Uttag 4**

CO [ppm]				
Pos 1	784	359	271	574
Pos 2	2010	214	109	308
Pos 3	909	143	83	152
Pos 4	2549	228	168	373
	Uttag 1	**Uttag 2**	**Uttag 3**	**Uttag 4**

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk forskning och utveckling. Forskningsprogrammet är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem.

Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrin
- Övrig industri

VÄRMEFORSK SAMARBETAR MED STATENS ENERGIMYNDIGHET



VÄRMEFORSK SERVICE AB
101 53 Stockholm
Tel 08-677 25 80
Fax 08-677 25 35
www.varmeforsk.se

Beställning av trycksaker
Fax 08-677 25 35

M6-635

Nr

Rubrik