

3FS Förutsättningar för framtidens sodapanna En värmeteknisk studie

Mikael Ahlroth, Lars Andersson, Meeri Puukko och Erik Wallin

3FS Förutsättningar för framtidens sodapanna
En värmeteknisk studie

The opportunities of future recovery boilers
A process study

Mikael Ahlroth
Lars Andersson
Meeri Puukko
Erik Wallin

S5-604

Abstract

3FS projektet uppmätte kvävehalten i bäddsmälta, löpsmälta, och imångor i Skoghalls sodapanna. Dessa användes till att ställa upp en kvävebalans över sodapannan och imångsystemet. Resultaten indikerar en annorlunda fördelning av kvävet än tidigare redovisat. Vidare var kolhalten i bäddsmältan lägre än vid tidigare mätningar. Trots det uppnåddes en hög reduktionsgrad.

Sammanfattning

Sodahuskommittén tog beslut år 2006 att påbörja en stor värmeteknisk studie av sodapannor. Projektet kallades ”Förutsättningar för framtidens sodapanna”, förkortat 3FS. Kommittén har tidigare genomfört liknande studier 1987-1991 och kommittén ansåg att sodapannornas utveckling krävde en ny studie.

Inom ramen för projektet genomfördes en stor mätkampanj i Stora Enso Skoghalls sodapanna i november 2007. Mätkampanjen utföll väl. Ett stort antal prover och stora mängder trendade värden insamlades, sammanställdes och utvärderades.

De viktigaste slutsatserna är:

- Skoghalls sodapanna uppvisar god körbarhet och låga emissioner vid hög och mycket hög torrhalt på brännluten.
- Det finns indikationer på att bädden är hetare i pannor med hög luttorrhalt än bädden i pannor med lägre torrhalt.
- Ammoniakinnehållet i imångorna är betydande och dessa påverkar pannans totala utsläpp av NO_x och gav under dessa försök ökade utsläpp.
- Halten uppmätt kväve i smältan är lägre än vad teorierna visar.
- Mängden kol i smältan är lägre än vad tidigare mätningar indikerat, men reduktionsgraden är fortfarande hög.
- Beläggningarna på överhettarna uppvisar inga extraordinära sammansättningar och det föreligger liten risk för onormala korrosionshastigheter under nuvarande eldningsförhållanden.
- Den matematiska databehandlingen av insamlade värden från STFI-Packforsk uppvisar inga oväntade samband eller trender. Vissa mindre frågetecken finns, men dessa är av underordnad betydelse.
- Energieffektiviseringsberäkningarna visar, att elproduktionen kan ökas betydligt med matarvattenförvärmning/rökgaskylning och mellanöverhettning.

På det stora hela måste 3FS-projektet betraktas som framgångsrikt. Det är ÅF:s förhoppning att resultaten kan utnyttjas av Sodahuskommitténs medlemmar i den dagliga verksamheten.

Key words: sodapanna, smältabädd, kväveföreningar, imångor, kolhalt

Executive Summary

The Swedish-Norwegian Recovery Boiler Committee decided in 2006 to initiate a major three-year study on the process chemistry, material issues, energy efficiency and emissions from modern, state-of-the-art recovery boilers. The project was named “Förutsättningar För Framtidens Sodapanna – 3FS” (The opportunities of future recovery boilers).

The background to the project was the 40th anniversary of the Swedish-Norwegian Recovery Boiler Committee in 2005. At the anniversary, the SNRBC had a workshop on future opportunities and challenges for recovery boilers. The results from the workshop were further discussed during the fall of 2005. The members of the SNRBC agreed that a major process study of modern recovery boiler technology was needed. Similar studies were conducted by the committee in 1987-1991.

A project team was formed within the SNRBC with members from the pulp industry, the boiler manufacturer Metso Power and ÅF, a leading pulp and paper consultant group. The project team approached Stora Enso Skoghall mill in Värmland regarding the possibility to perform a test run at the mill. At that time Skoghall had the newest recovery boiler in Sweden with very advanced steam data (107 bar/500°C) and was firing super heavy black liquor (80% DS content).

Skoghall accepted the invitation and an ambitious test firing plan was set up together with Metso Power and ÅF. First, the boiler would be fired at its normal liquor dryness for 24 h. This period is referred to as the reference run. After this period, Skoghall would temporarily increase the liquor dryness to 83% DS-content. This was deemed to be possible with the present configuration of the evaporation plant. Boosting the evaporation plant was estimated to take 24 h. After this, the boiler would be operated at the higher dryness for 48h. This period is referred to as the 3FS-run.

The trial date was set to the last week in November, 2007. The ÅF-team arrived on Sunday, November 25th to prepare the test runs. During Monday November 26th, the final preparations were made. The reference run was successfully performed on Tuesday the 27th. Wednesday was spent on raising the liquor dryness and the 3FS-run was successfully conducted on Thursday and Friday the 29th and 30th of November. December 1st was spent on dismantling the equipment and packaging all samples to be sent for analysis.

During both the reference and the 3FS-run, large amounts of process data was downloaded from the mill operating system. In total, some 400 instruments were tagged.

Several sampling points in the boiler house and evaporation plant were checked and marked prior to the test runs. Samples of electrostatic precipitator ash, virgin liquor and as-fired liquor were collected. More unusual samples collected were dissolving tank off-gases and the condensate and LCHV gases and condensate. ÅF also took gas samples of the flue gas and gas from inside the boiler at the superheater area.

On top of this, Åbo Akademi University was subcontracted firstly to make fouling measurements in the superheater area with a special fouling probe. Secondly, Åbo Akademi took samples of the smelt in the smelt spouts and analysed the smelt for cyanate.

In the earlier studies from 1987-1991, ÅF took samples of the smelt bed from inside the boiler with a special probe. The same probe was also used in Skoghall to take some twenty samples of the smelt bed.

Most of the analyses were completed by March 2008. One surprising find was that the liquor dryness had been some 82% DS-content during the reference run and about 85% DS-content during the 3FS-run.

ÅF was subcontracted to perform a technical potential study regarding the possibility to improve the energy efficiency of a recovery boiler similar to the one in Skoghall with the use of several new technologies. These were feed water preheating coupled with a flue gas cooler and steam reheating. The results were calculated for 80, 83 and 90% DS-content. STFI-Packforsk was in May subcontracted to perform an in-depth mathematical analysis of the vast amount of data collected to find any unknown or “hidden” correlations.

In all, the test run in Skoghall must be considered a success. The main results from this project are summarized below:

- ❑ Skogahall’s recovery boiler performs well and demonstrates good runability and low emissions at high and very high liquor dryness.
- ❑ There are indications that the smelt bed is hotter than the smelt bed in a recovery boiler with lower liquor dryness.
- ❑ The ammonia content in the dissolver off-gases is high and these affect the total NO_x emission of the boiler. In these specific tests, the dissolver off-gases increased the NO_x emission.
- ❑ The nitrogen (cyanate) content of the smelt bed is lower than the theories indicate.
- ❑ The carbon content of the smelt bed is lower than indicated by earlier measurements, but the reduction degree is still high.
- ❑ The fouling in the superheater area does not exhibit any unusual composition and there seems to be little risk of accelerated corrosion speeds during present firing conditions.
- ❑ The mathematical analysis did not reveal any unknown correlations or trends. There are still some minor questions remaining.
- ❑ The energy efficiency simulations show, that the power production from a recovery boiler can be increased significantly by using feed water preheating coupled with a flue gas cooler and steam reheating.

Key words: recovery boiler, smelt bed, nitrogen compounds, dissolver off-gasses, carbon content

Innehållsförteckning

1	INLEDNING.....	1
1.1	BAKGRUND	1
2	ÄNDAMÅLET MED STUDIEN	1
2.1	MOTIVEN TILL 3FS – VARFÖR FORSKA OM SODAPANNOR NU?.....	1
2.2	SODAHUSKOMMITTÉNS 40-ÅRSJUBILEUM	3
2.3	DIREKTA MÅL FÖR 3FS STUDIEN	4
2.4	INDIREKTA MÅL FÖR 3FS STUDIEN	4
3	PROJEKTGENOMFÖRANDE	6
3.1	ORGANISATION.....	6
3.2	FINANSIERING.....	6
3.3	TIDPLAN	7
3.4	RAPPORTERING.....	7
3.5	DELMOMENTEN I STUDIEN	8
3.6	FÖRBEREDELSE INOM MÄTKAMPANJEN I SKOGHALL	9
3.7	MÄTKAMPANJ I SKOGHALL.....	10
3.8	AVVIKELSER FRÅN PLANEN.....	11
4	RESULTATREDOVISNING.....	12
5	RESULTATANALYS OCH SLUTSATSER.....	13
5.1	PROCESSTEKNIK	13
5.2	MATERIALTEKNIK	23
5.3	NO _x	23
5.4	RÖKGASEMISSIONER TILL SKORSTEN	31
5.5	ENERGIEFFEKTIVISERING	31
5.6	DATABEHANDLING AV INSAMLADE TRENDATA OCH ANALYSER	34
5.7	SLUTKOMMENTAR	35
6	MÅLUPPFÖLJNING MOT UPPSATTA MÅL VID PROJEKTSTART	36
6.1	OBEROENDE DRIFTSPARAMETRAR FÖR ELDNING AV LUT MED HÖG TORRHALT	36
6.2	NY KUNSKAP OM FÖRBRÄNNINGSFÖRHÅLLANDENA I DEN NEDRE ELDSTADEN MED HÖG LUTTORRHALT	36
6.3	NY KUNSKAP OM FÖRBRÄNNINGEN I DEN ÖVRE ELDSTADEN FÖR ATT ERHÅLLA HÖG PANNVERKNINGSGRAD	37
6.4	MÖJLIGHETERNA ATT MINIMERA NO _x – EMISSIONEN FRÅN SODAPANNOR	37
6.5	INDIREKTA MÅL.....	37
7	REKOMMENDATIONER OCH ANVÄNDNING	38
8	FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGSARBETE.....	39
9	LITTERATURREFERENSER	40

Bilagor

BILAGA A PANNLAYOUT MED PROVPUNKTER

BILAGA B VATTEN- OCH ÅNGSIDANS TEMPERATURER, TRYCK OCH FLÖDEN

BILAGA C LUFTSIDANS TEMPERATURER, TRYCK OCH FLÖDEN

BILAGA D RÖKGASSIDANS TEMPERATURER, TRYCK, FLÖDEN OCH HALTER

BILAGA E KRINGUTRUSTNING; TEMPERATURER, TRYCK OCH FLÖDEN

BILAGA F EMISSIONER TILL LUFT

BILAGA G LUTANALYSER, SP

BILAGA H BÄDDSMÄLTA – SAMMANSÄTTNING, SP

BILAGA H2 SMÄLTATEMPERATURER I LÖPRÄNNOR, ÅF

BILAGA I SMÄLTAANALYSER FRÅN BÄDD OCH LÖPRÄNNOR, ÅBO AKADEMI, SE BILAGA DA

BILAGA J GRÖNLUT – KARAKTERISTIKA, SKOGHALL

BILAGA K RÖKGASTEMPERATURER, ÅBO AKADEMI

BILAGA K2 GASTEMPERATURER VID LUTSPRUTENIVÅN, ÅF

BILAGA K3 GASTEMPERATURER I PANNAN, ÅF

BILAGA L STÖFTBELÄGGNINGSMÄTNINGAR OCH –ANALYSER, ÅBO AKADEMI, SE BILAGA DA

BILAGA M ASKANALYSER, SP

BILAGA N GASANALYSER FRÅN PANNTOPP, IMÅNGA OCH SVAGGAS, ÅF

BILAGA O NH₃-HALT I IMÅNGA, OLIKA ANALYSMETODER, ÅF

BILAGA P NH₃- OCH TOTAL S-HALT I IMÅNG- OCH SVAGGASKONDENSAT, SP

BILAGA Q TRS-HALTER I IMÅNGA OCH SVAGGASER, SKOGHALL

BILAGA R EMISSIONER TILL LUFT - TEMPORÄRA GIVARE, ÅF

BILAGA AA LUT-, MATARVATTEN- OCH ÅNGFLÖDEN

BILAGA AB PANNBOTTENTEMPERATUR OCH DOMTRYCK

BILAGA AC ÅNGA FRÅN PANNAN, TRYCK OCH TEMPERATUR

BILAGA AD LUFTFLÖDEN TILL PANNAN

BILAGA AE ELDSTADSTEMPERATUR

BILAGA AF O₂-HALT I RÖKGASER

BILAGA AG O₂- OCH NO-HALTER I RÖKGASER FRÅN SKORSTEN

BILAGA AH O₂- OCH CO-HALTER I RÖKGASER FRÅN SKORSTEN

BILAGA BA NO- OCH NH₃-HALTER I RÖKGASER FRÅN SKORSTEN

BILAGA BB CO- OCH CO₂-HALTER I RÖKGASER FRÅN SKORSTEN

BILAGA CA SAMMANFATTNING AV NOX-STATISTIK

BILAGA CB KVÄVEFLÖDEN RUNT SODAPANNAN

BILAGA DA RÖKGASSIDANS BELÄGGNINGSMÄTNINGAR OCH ANALYSER, SMÄLTA-PROVTAGNING OCH CYANAT (OCN⁻)ANALYSER; RAPPORT FRÅN ÅBO AKADEMI

BILAGA DB FÖRHÖJD LUTTORRHALT TILL SODAPANNAN, ANALYS AV LOGGADE DATA OCH LABORATORIEDATA; RAPPORT FRÅN STFI

BILAGA DC 3FS ENERGIEFFEKTIVITET; RAPPORT FRÅN ÅF

BILAGA EA DESTRUKTIONSUGNEN; FÖRHÅLLANDEN OCH EMISSIONER – TABELL

BILAGA EB ABSORPTIONSTORN TILL DESTRUKTIONSUGNEN; HALTER AV NA OCH TOTALT S – TABELL

BILAGA EC DESTRUKTIONSUGNEN; BRÄNSLEFLÖDEN – TREND

BILAGA ED DESTRUKTIONSUGNEN; LUFT- OCH TEMPERATURDATA – TREND

BILAGA EE DESTRUKTIONSUGNEN; SOX-HALT I RÖKGASER – TREND

BILAGA EF DESTRUKTIONSUGNEN; O₂- OCH NOX-HALTER I RÖKGASER – TREND

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Utmaningen som dagens sodapanneägare och – köpare ställs inför är hur pannornas körbarhet och energieffektivitet skall kunna hållas hög och med låga miljöutsläpp samtidigt som säkerheten vid sodapannornas drift inte får äventyras.

Idag eldas sodapannorna i Sverige med lutar av allt högre torrhalt med ett relativt högt innehåll av PFG (processfrämmande grundämnen).

Denna studie har som mål att ta fram de framgångsfaktorer som kommer att bli avgörande för hur sodapannans drift skall kunna utvecklas inom ramen för kraven på personsäkerhet, miljöprestanda och energieffektivitet.

Sodahuskommittén kommer att tillsätta en separat arbetsgrupp för att styra upp arbetet med studien. Arbetsgruppen kommer att ha en ordförande som rapporterar till SHK: s styrelse.

2 Ändamålet med studien

Studien skall försöka klargöra de nya svårigheter som har uppstått på grund av högre torrhalt på tjocklut, ökad halt PFG i lutarna, nya luftsystem och att pannorna i sig blivit större.

I bästa fall kan nya ”tumregler” fås ur det underlag som studien utgör. Sedan tillkommer det var och en att efter bästa förmåga utnyttja resultatet.

Studien bör vidare resultera i förslag eller idéer till optimering av pannorna med avseende på energieffektivitet, låga emissionsnivåer, hög driftsäkerhet och naturligtvis hög personalsäkerhet.

Nytan för Sodahuskommitténs medlemmar kan sammanfattas på följande sätt: kunskap om de villkor, som måste uppfyllas för att möjliggöra 2 års kontinuerlig pannndrift mellan ut- och invändiga inspektioner (idag 12-18 mån) dels förbränningstekniskt, dels materialmässigt och slutligen tillgänglighetsmässigt.

Detta är resultat som Sodahuskommitténs medlemmar förväntas kunna omsätta direkt i den löpande verksamheten.

2.1 Motiven till 3FS – varför forska om sodapannor nu?

Startskottet till denna studie var när Sodahuskommittén (SHK) anordnade en workshop för sina medlemmar i början av 2005 för att planera kommitténs verksamhet 2006-2008. Ett stort antal förslag framfördes. Det mest högprioriterade området var behovet av en stor förbränningsteknisk studie av sodapannor.

Sodapannetekniken har utvecklats kraftigt under den senaste 10-15 års perioden i Sverige. Luttorrhalterna har ökat till rejält över 70% TS, i vissa fall upp till 80% - 85% TS. Pannorna har blivit väsentligt större än tidigare, med större bottenyta. Luftsystemen har förändrats, idag finns både vertikalluft- och multilevel-luftsystem, som möjliggör en förändrad förbränning i pannorna. Därtill har slutningen av massafabrikerna ökat, vilket ger ökade flöden av olika procesströmmar med PFG till indunstningen och sodapannan jämfört med tidigare. Några bruk har t.o.m. börjat blanda in bioslam från bioreningen i mellanluten, varmed PFG halten i luten ökar ytterligare. Miljökraven har också blivit strängare och särskilt NO_x – villkoren påverkar frihetsgraderna vid lutförbränningen väsentligt.

Dessa processförändringar har lett till att SHK: s medlemmar upplever att pannorna beter sig annorlunda än tidigare. Ett flertal medlemmar uppger att de har problem med att reglera hetsen inne i pannan. Många har tidvis svåra problem med smältaavgången från pannan till lösartanken. Överhuvudtaget upplever medlemmarna att panndriften är svårare idag än tidigare. Gamla tumregler gäller inte nödvändigtvis mer. Sodapannans drift förefaller vara mer känslig efter de processförändringar som skett. Mycket små förändringar i någon processparameter kan ge stora kast i driftsförhållandena. Körbarheten har försämrats.

Idag är Sodahuskommitténs medlemmars pannor i genomsnitt 30 år gamla. Många mindre pannor närmar sig slutet på sin tekniska livslängd. Flertalet bruk har också fler än en sodapanna. Internationellt har trenden gått mot allt större pannor enligt principen ”ett massabruk – en sodapanna”. Sammantaget leder detta till att det i Sverige har investerats (Skoghall, Östrand, Obbola) i ett antal nya sodapannor med höga ångdata och i Skoghalls fall hög luttorrhalt från indunstningsanläggningen. Dessa sodapannor förutsätts vara i drift fram till 2040-talet. Ytterligare investeringar i nya sodapannor är möjliga under den närmaste 5-årsperioden.

I framtiden kan ännu högre luttorrhalter och ångdata i sodapannorna förutses. Torrhalter på 80% - 85% TS eldas idag, enligt uppgift, i den nya pannan på UPM-Kymmene massabruk Wisaforest i Jakobstad i Finland. Indunstningsleverantörerna har börjat skissa på torrhalter kring 90% TS.

På ångsidan ligger dagens bästa pannor på driftstrycknivån 100+ bar med en ångöverhettning på 500+°C (t.ex. Wisaforest 102 bar/505°C, Skoghall 107 bar/500°C, Östrand 106 bar/515°C, Obbola 110 bar/505°C). I Japan finns exempel på en sodapanna med ångdata på 133 bar/515°C.

Den Finska Sodahusföreningens forskningsprogram om framtidens sodapanneteknik, SOTU-2, strävar efter att kartlägga förutsättningarna för att höja sodapannans ångdata till 160 bar/540°C. Detta arbete fortsätter i SKYREC-programmet med en totalbudget på 700000 EUR.

Vad dessa ökade ångdata betyder för en sodapanna kan ses i Tabell 1. Värt att notera är att samtliga sodapannor i Sverige idag, fränsett Skoghall, Östrand och Obbola, har ett driftstryck på ångan på mellan 40 och 65 bar. Värö har ökat panntrycket till 85 bar.

Tabell 1. Effekt av högre ångdata på en sodapannas elgenerering [1]

Table 1. The effect of higher steam data on the power generation from a recovery boiler[1]

Ångdata			
Temperatur (°C)	450	480	510
Tryck (bar(a))	65	80	98
Ångflöde (t/h)	337,1	330,7	324,6
El-generering (MW)	45,1	49,0	52,7
Differens el-generering (MW)	Bas	+3,9	+7,7
Diff.nettovärde (MSEK/år)	el Bas	+9,6	+18,7

Förutsättningar: sodapanna på 2000 t TS/24h, el-certifikat och bark som marginalbränsle

2.2 Sodahuskommitténs 40-årsjubileum

Sodahuskommittén fyllde 40 år 2005. På jubileumsseminariet diskuterades frågan "Sodapannan 2045", dvs. hur sodapannorna kan komma att se ut 40 år in i framtiden. På basis av diskussionen under jubileet och senare meningsutbyte har kommittén utformat en vision för framtiden, kallad *Vision 2045*:

Sodahuskommitténs Vision 2045

Sodapannans roll är att vara en kemisk reaktor för kemikalieåtervinning. År 2045 är sodapannan ett huvudalternativ, vid sidan av förgasning, för återvinning av svavelhaltig eller svavelfri svartlut och ingår som en naturlig del i ett bioraffinaderi för produktion av energi, bränslen och kemikalier.

Sodapannorna har en storlek på 10000 t TS/d med ett ångtryck på över 120 bar och med överhettning till 520-550°C. Lutens torrhalt är 85-90%. Rökgasutsläppen har reducerats till vattenånga och "varm luft".

Besiktningen sker med manuella system och med online instrument. Trots en fantastisk teknikutveckling finns det fortfarande risker kvar som bearbetas av Sodahuskommittén, som fyller 80 år.

Med väsentligt högre torrhalter och högre ångdata kommer sodapannan att bli en stor elproducent. Det kommer att bli möjligt för sulfatmassabruken att bli självförsörjande på el, i vissa fall kommer det att bli ett överskott för försäljning.

Men denna gynnsamma utveckling kommer inte att ske utan problem. Så som SHK: s medlemmar förde fram under workshopen, finns det idag besvärliga driftsförlopp i

sodapannorna. Vidare finns det en *uppenbar risk* att *driften av sodapannorna* blir *svår och oförutsägbar* med dagens bästa teknik (80% - 85% TS, 100 bar/500°C) och än svårare med framtida avancerad teknik.

På basen av medlemmarnas önskemål fattade SHK: s styrelse på föreningens årsstämma 2006 beslut, att **en stor värmeteknisk studie av sodapannor** skulle genomföras 2006-2008. Studien fick namnet "Förutsättningar för framtidens sodapanna", förkortat 3FS.

Två liknade studier har genomförts tidigare, dels 1987-1988 (Förbränningsteknisk undersökning i sodahus) och dels 1989-1991 (Förbränning och korrosion i sodapannor) med finansiering från SHK och med extern finansiering (STU, ÅForsk, Värmeforsk, Stiftelsen Cellulosa- och Pappersforskning).

2.3 Direkta mål för 3FS studien

Sodahuskommittén har definierat följande direkta mål för 3FS-studien:

- ❑ Ta fram oberoende och för samtliga SHK: s medlemmar tillgängliga driftsparametrar för eldning av lut med hög torrhalt. Studien skall skapa förutsättningar för god körbarhet och stabil drift (hög tillgänglighet och hög reduktionsgrad) dels i dagens pannbestånd, dels i de nya pannor som har eller kommer att uppföras inom den närmaste framtiden med tidsperspektivet 40 år framåt i tiden.
- ❑ Ta fram ny kunskap om förbränningen i den nedre eldstaden med hög luttorrhalt. Speciell vikt kommer bl.a. att läggas vid temperaturprofil och gassammansättning i eldstaden, gasformiga emissioner, smältaavgång och smältaegenskaper samt reduktionsgraden i bädden.
- ❑ Ta fram ny kunskap om förbränningen i den övre eldstaden för att erhålla hög pannverkningsgrad (en förutsättning för hög el-generering). Speciell vikt kommer bl.a. att läggas vid stoftegenskaper och – sammansättning samt den totala stoftavgången från pannan.
- ❑ Speciell vikt kommer att fästas vid möjligheterna att minimera NO_x – emissionen från sodapannor med moderna luftsystem och hög luttorrhalt.

2.4 Indirekta mål för 3FS studien

Sodahuskommittén har definierat följande indirekta mål för studien:

- ❑ Genom projektet kommer den svenska skogsindustrins att ha förutsättningar att öka sin konkurrenskraft med en bättre tillgänglighet och mindre driftsproblem i sodapannorna. Miljöutsläppen kan minskas i motsvarande grad.

- Projektet kommer att involvera representanter från massaindustrin, leverantörerna, konsulter och eventuellt högskolor. Detta kommer att skapa nätverk inom branschen och bidra till samtliga deltagares kompetenshöjning.

3 Projektgenomförande

3.1 Organisation

En separat projektorganisation (arbetsgrupp) bildades av SHK: s styrelse med representanter från medlemsbruken, leverantörerna och ÅF-Process. Gruppens ordförande och medlemmar utsågs i samband med kommitténs årsstämma 2006. Arbetsgruppernas sammansättning ses i Tabell 2.

Tabell 2. Projektorganisation

Table 2. Project organisation

Korsnäs Gävle	Per Utterström (ordf)
Stora Enso Skoghalls Bruk	Per-Anders Tauson, 2006-oktober 2007 Hans Holm, oktober 2007-2008
ÅF-Process	Mikael Ahlroth (sekr) Lars Andersson Fredrik Bruno Björn Warnqvist Meeri Puukko, fr.o.m. april 2008
Till projektet anslöts också två referensgrupper	
Sodahuskommittén	Mats Jakobsson, SCA Kari Haaga, Metso
Värmeforsk	Åke Westberg, SCA Mats Backeström, SCA Hans Sjödin, M-Real Kent Sondell, M-Real Staffan Carlsson, Södra Leif Löfgren, Stora Enso

3.2 Finansiering

Sodahuskommittén beräknade kostnaden för 3FS-studien till 2,3 miljoner kr. Av detta totalbelopp tillsköt SHK 1 miljon kr under projektperioden 2006-2008. Resterande 1,3 miljoner äskades hos de externa forskningsfinansiärerna Värmeforsk och Åforsk, 650 000 kr vardera.

Båda instanserna beviljade denna summa, se Tabell 3 nedan. 3FS studien tilldelades projektnumret S5-604 av Värmeforsk.

Tabell 3. Finansieringen för 3FS

Table 3. 3FS budget and contributors

Finansiär	Belopp (kr)	Tidsperiod	Andel
Sodahuskommittén	1 000 000	2006-2008	43%
Värmeforsk	650 000	2006-2008	28,5%
Åforsk	650 000	2006-2008	28,5%
Totalt:	2 300 000		

Utöver detta lade Sodahuskommitténs medlemmar ner en stor mängd ideellt arbete på studien. Därtill har Stora Enso Skoghalls Bruk, där mätningarna gjordes, ställt upp med ansevliga naturaförmåner i form av driftspersonal, ingenjörstid och vissa analyser. Värdet av dessa naturaförmåner beräknades vid utgången av 2008 uppgå till minst flera hundra tusen kr.

3.3 Tidplan

Den egentliga projektiden sträckte sig från april 2006 till och med utgången av 2008. Under den senare delen av 2006 till och med det tredje kvartalet 2007 gjordes detaljplaneringen av försöken. Försöksperioden anpassades efter Stora Enso Skoghalls planerade årsstopp och flyttades från september 2007 till månadsskiftet november-december. Analys och sammanställning av resultat påbörjades efter att laboratorieanalyserna blev klara i februari-mars 2008. Slutrapporten blev klar för godkännande i december 2008.

3.4 Rapportering

Arbetets fortskridande har rapporterats fortlöpande till SHK: s styrelse och medlemmar under projektets gång. En slutrapport med analyser och resultat sammanställs till de externa finansiärerna Värmeforsk (denna skrift) och Åforsk.

Projektet har också avrapporterats på de årliga Sodahuskonferenserna i Stockholm. Vidare avrapporterade SHK projektet vid de internationella konferenser där kommittén är representerad (AF&PA i Atlanta och Finska Sodahusdagen i Finland).

Den finska Sodahusföreningen planerar att fira sitt 45-års jubileum med en internationell, engelskspråkig, konferens den 3-5 juni 2009 i Lahtis i Finland. 3FS-projektet kommer att presenteras på denna konferens i ett föredrag med namnet "Benchmarking a modern recovery boiler".

Det är också tänkbart att hela eller delar av projektet senare kommer att presenteras på internationella konferenser eller i publikationer med granskningssystem (International Chemical Recovery Conference, Pulp & Paper Canada, Nordic Pulp and Paper Research Journal m.fl.)

Av de två tidigare studierna, blev 1987-1988 års studie dels avrapporterad som en rapport från SHK till medlemmarna, dels blev den presenterad vid International Chemical Recovery Conference 1989 [2] och i Pulp&Paper Canada [3].

Den senare studien från 1989-1991 avrapporterades givetvis till Sodahuskommitténs medlemmar och presenterades vid International Chemical Recovery Conference 1992 [4] samt i Pulp&Paper Canada [5]. Den har också genererat specialstudier om korrosionsbetingelserna i sodapannans överhettare med avsikt att öka kunskapen om förhöjd överhettningstemperatur. Resultaten har publicerats i Tyskland och vid konferensen Corrosion 2001 [6].

3.5 Delmomenten i studien

Sodahuskommitténs projektgrupp beslöt att dela in 3FS projektet i fyra separat definierade delmoment. Dessa fyra moment presenteras var för sig nedan.

3.5.1 Delmoment Processteknik

Inom detta delmoment utfördes alla processtekniska mät- och provtagningar i Skoghalls sodapanna. Delmomentet upphandlades av ÅF-Process. Provtagningstillfället var först planerat till september 2007 innan årsstoppet, men flyttades till slutet av november. Orsaken var en planerad kapacitetshöjning i kokeriet, som skulle medföra, att pannan kunde köras med högre lutlast.

Först gjordes en s.k. referenskörning, dvs. en mätning av pannans egenskaper vid körning med normaltorr lut, 80% TS. Detta pågick under ett dygn. Därefter planerades för en successiv höjning av torrhalten under 2 dygns tid, till torrhalten 83+% TS. Denna sluttorrhalt bedömdes av Skoghall som den maximala torrhalten som indunstningen kunde pressas till.

Under de följande två dygnen planerades de egentliga 3FS-mätningarna att utföras. Utöver de sedvanliga proverna och trenddata ur DCS, planerades det för att ta gasprover från eldstaden. Därtill planerades för att ta ut smälta från bädden med en specialkonstruerad ÅF-sond. Andra ovanliga prover som togs var kondensat från imångskrubbern och imångorna. Dessa behövdes för delmoment NO_x , se nedan.

3.5.2 Delmoment Materialteknik

Inom detta delmoment gjordes alla materialtekniska mätningar. Projektet upphandlade detta delmoment av Åbo Akademi. Delmomentet innefattade en mätning med påläggssonder i överhettaren i Skoghalls sodapanna. Dessa mätningar genomfördes samtidigt som mätningarna i delmoment Processteknik.

3.5.3 Delmoment NO_x

Syftet med detta delmoment var att dels kartlägga kväveinnehållet i de processflöden som går in i respektive ut från sodapannan, dels att utreda hur förbränningsförhållandena vid tertiärluftnivån ser ut, där slutförbränningen av gaserna sker. Den bakomliggande idén var att finna sätt på vilket NO_x emissionerna från en sodapanna kunde minskas. Skoghall eldar imångorna i tertiärnivån och 3FS-projektet ville utreda om detta var en bra lösning ur kväveföreningarnas synvinkel.

Projektet upphandlade provtagning av smälta ur löpen samt analys av kväveinnehållet i denna smälta samt smältan från bädden (se ovan) av Åbo Akademi. Skoghall genomförde en kvävekartering av hela bruket under samma tidsperiod som 3FS-projektet löpte. En del av denna information utnyttjades i projektet.

3.5.4 Delmoment Energieffektivisering

Delmomentet hade till syfte att genom avancerad matematisk simulering bedöma hur energieffektiviteten i Skoghalls sodapanna kunde och skulle förbättras på en övergripande nivå, en potentialstudie alltså. En modell av Skoghalls sodapanna byggdes upp i ett vedertaget simuleringsprogram. Med denna modell beräknades pannans funktion vid 80, 83 och 90% TS. Därtill utrustades, på teoretisk väg, pannan med mellanöverhettning, matarvattenförvärmning och rökgaskylare. Från början var det tänkt att även extern ångöverhettning skulle ingå, men detta lades på is. Dessa tekniker simulerades, var för sig och i kombination, för att ge en bild av hur mycket energieffektiviteten teoretiskt skulle kunna förbättras.

3.6 Förberedelser innan mätkampanjen i Skoghall

3FS projektet hade för avsikt att genomföra mätkampanjen i Skoghalls sodapanna innan utgången av 2007. En fabriksmätning av denna dignitet kräver stora förberedelser:

- ❑ Projektgruppen upphandlade delmomenten Processteknik och Energieffektivitet av ÅF-Process (exklusive externöverhettning).
- ❑ Projektgruppen hade ett möte tillsammans med panntillverkaren Metso i Skoghall i juni 2007. På detta möte gick man igenom en lång lista med instrument, vilka skulle trendas inför försöket. Vidare gjordes en genomgång av pannan och samtliga provtagningspunkter markerades.
- ❑ ÅF levererade en uppdaterad trendningslista med önskemål på mätområde och kalibreringsbehov till Skoghall. Skoghall lade, på basen av ÅF:s önskemål, in nya ”taggar” i DCS: n för att möjliggöra trendning av data.
- ❑ Projektet upphandlade en mätning med påläggssonder i sodapannans överhettare under försöken från Åbo Akademi.
- ❑ Projektet upphandlade smältaprovtagning och analys av smältakvävet från Åbo Akademi.
- ❑ Detaljplanering av mätningen med påläggssonder och placeringen av sonda bestämdes i samråd mellan ÅF, Metso och Åbo Akademi. Påläggssonderna placerades ut på 6 ställen i överhettaren. ÅF levererade en ritning för täckplåtar för luckor till Skoghalls verkstad.
- ❑ ÅF förvarnade SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut i Borås om att ett stort antal prover skulle anlända i början av december.

- Projektet hade ett möte med Värmeforsks referensgrupp den 29 augusti 2007 för att stämma av läget.

3.7 Mätkampanj i Skoghall

Mätkampanjen i den nya sodapannan vid Stora Enso Skoghalls Bruk genomfördes under vecka 48 år 2007.

Under måndagen den 26 november genomfördes de sista förberedelserna. ÅF installerade en gasanalysator i Skoghalls sodapanneskorsten för att mäta kväveföreningar i rökgaserna. Svavelföreningar analyserades i ett instrument på Skoghalls laboratorium. Provflaskor och -kärl placerades ut. Försöksplanen gick igenom en sista gång tillsammans med Skoghalls drifts- och laboratoriepersonal.

Under måndagen den 26 november upptäcktes vissa problem med att montera täckplåtarna i inspektionsluckorna i Skoghalls överhettare. Dessa problem löstes under dagen av Skoghalls underhållspersonal. Åbo Akademi genomförde en funktionskontroll av påläggssonderna på måndag eftermiddag.

Referenskörningen, vid en planerad TS-halt på 80% och 1900 tTS/24h brännlut, genomfördes på tisdagen den 27 november. Samtliga provtagningar gick att genomföra, frånsett uttag av gasprover ur den nedre eldstaden. I detta område smälte provtagningssonderna.

Den på förhand osäkra provtagningen av smälta ur sodapannans bädd genomfördes över förväntan. Ett tiotal prover togs.

Under onsdagen den 28 november förberedde Skoghall höjningen av lutens torrhalt till 83+ %. Höjningen påbörjades efter lunch och gick förvånansvärt lätt att genomföra; på torsdag morgon var brännlutens TS-halt 83,5 %. De sista förberedelserna gjordes.

Under torsdagen den 29 och fredagen den 30 november genomfördes den länge förberedda provkörningen i 3FS-projektet. Pannan kördes med en luttorrhalt på omkring 83,5% och 1900 tTS/24h brännlut. Momentant var luttorrhalten närmare 84% TS. Provkörningen genomfördes utan allvarliga problem. Alla prov kunde tas ut (frånsett gasproverna ovan).

Efter mätkampanjen analyserades lutar, smälta, kondensat och elfilterstoft vid SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut i Borås. Åbo Akademi analyserade kväveinnehållet i smältan från löprännorna och bädden samt den kemiska sammansättningen av beläggningarna från överhettaren. Resultaten från analyserna inkom under första kvartalet 2008.

3.8 Avvikelser från planen

Som nämnts ovan, gick det inte att ta ut gasprover i de nedre delarna av ugnen, då glassonderna smälte vid den höga temperaturen. Därtill var avståndet från luftportarnas öppningar till pannkroppen för långt, för att kunna ta ett tillförlitligt gasprov.

Under 2008 framkom det, att det fanns en läcka i ångförvärmaren till primärluften (mellantrycksånga). Detta ångläckage förorsakade ojämn smältaavgång bl.a. Det är i efterhand svår att bedöma hur denna läcka påverkat 3FS-mätningarna. Det är sannolikt att läckan hade initierats innan redan mätperioden, men att läckan var liten under försöksperioden.

4 Resultatredovisning

Sodahuskommittén har sammanställt mät- och analysdata i bilageform, se Bilaga A-EF. En del bilagor innehåller resultat från vidare bearbetning av mät- och analysdata, som exempelvis bestämning av kväveflöden runt sodapannan. Det finns även bilagor som omfattar djupare studier, t ex delmoment energieffektivisering. Dessa bilagor utgör även separata rapporter, men finns givetvis med i bilageförteckningen och utgör en del av denna sammanfattande rapport.

Nedan ges en beskrivning om hur mät- och analysdata sammanställts och bearbetats. I stort sett alla analysdata finns sammanställda i bilagorna. Beträffande mätdata från temporära givare är det mesta inkluderat i bilagorna i form av tabeller, figurer och trender. Temporära givare installerades i specifikt intressanta och viktiga positioner. När det gäller mätdata från stationära givare har ett urval av mätdata sammanställts i tabeller och trender, de som är viktigast för att dokumentera pannans drift och utsläpp under försöket med normal och förhöjd luttorrhalt.

I Bilaga A återges sodapannans layout med provpunkter. Driftdata från brukets DCS-system över sodapannan med kringutrustning är sammanställda i tabeller, se Bilaga B-F. Dessa tabeller (bilagor) är sektionerade efter pannas driftområden, vatten- och ångsidan, luftsidan, rökgassidan, kringutrustning, samt emissioner till luft från skorsten.

Analysdata från punkt-, stick- och samlingsprov, samt loggade data från temporära givare är sammanställda i tabeller och figurer i Bilaga G-R. Sammanställningarna omfattar analyser av och data om lutar, smälta från bädd och löprännor, rökgaser, stoftbeläggningar, askor, gaser, ångor och kondensat i olika positioner och emissioner till luft.

I nästföljande två bilagesektioner återges trender för ett urval av mätdata. Bilaga AA-AH innehåller trender av vissa drift- och utsläppsdata från pannans DCS-system. Bilaga BA-BB i sin tur innehåller trender av några gaskomponenter i rökgaser från skorsten mätta med temporära givare.

Bilaga CA-CB innehåller bearbetade data om kväve (N) och kväveföreningar (NO_x) runt pannan, dels statistik gällande NO-halter loggade med stationära givare i rökgaser från skorsten, dels beräknade kväveflöden vid sodapannans yttre och inre gränser.

De mer omfattande separata studierna som sammanfattats i enskilda rapporter utgör Bilaga DA-DC, Åbo Akademis mätningar och analyser av beläggningar på rökgassidan och analyser av kväve (OCN) i smälta, STFIs omfattande matematiska analys och databehandling av samtliga loggade data och laboratoriedata, och ÅFs studie om energieffektivisering.

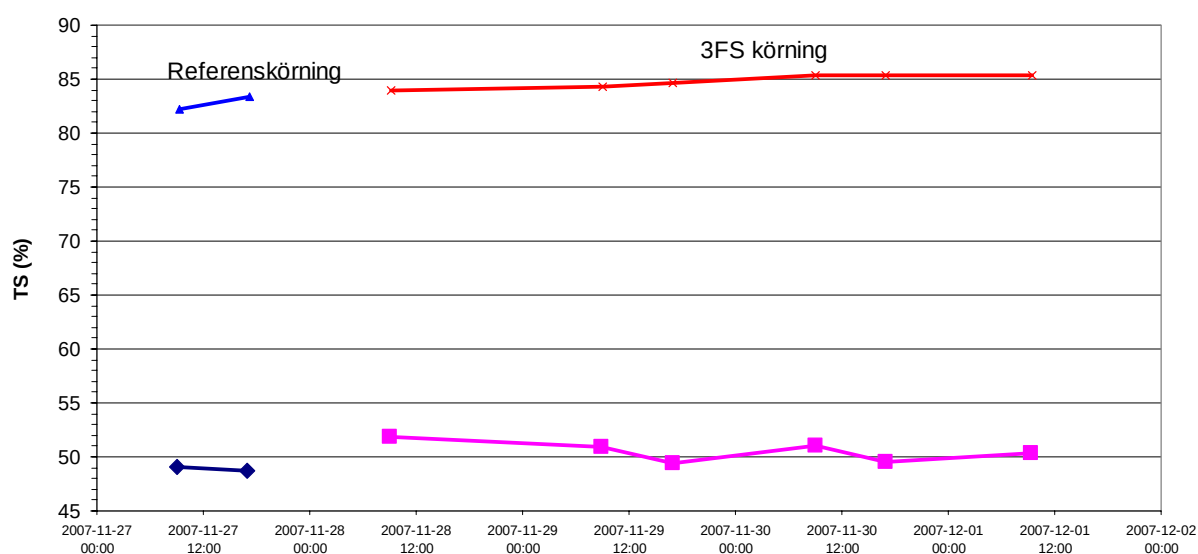
Slutligen har ett urval av data för destruktionsugnen med tillhörande utrustning sammanställts i tabeller och trender i Bilaga EA-EF.

5 Resultatanalys och slutsatser

5.1 Processteknik

5.1.1 Luttorrhalt och sammansättning

Luttorrhaltshöjningen gick utan större bekymmer under onsdagen den 28:e november. Nedan visas resultatet av torrhaltsproverna, analyserade vid SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut i Borås. Notera att det är mycket svårt att korrekt bestämma torrhalten för svartlut med extremt hög torrhalt.



Figur 1. Torrhalten på brännluten under referens- och 3FS-körningen. Den nedre kurvan visar torrhalten på mellantjocklut, innan askinblandning och slutförtjockning.

Figure 1. Dry solids content of as-fired liquor during the reference and 3FS firing. The lower curve indicates the dry solids content of medium heavy liquor prior to the ash mixing and the superconcentrator

Tabell 4 nedan visar brännlutens sammansättning under de tre provdagarna.

Tabell 4. Brännlutens sammansättning, inklusive aska, under försöksperioden (samlingsprov ett dygn, vikt-% på torrt prov)

Table 4. 3FS The composition of as-fired black liquor during the entire period (collected sample during one day, mass-% of dry sample)

		Referenskörning	Provdag 1	Provdag 2
C	%	32	31,7	31,7
H	%	3,1	3,3	3,1
N	%	0,07	0,06	0,06
S	%	6,4	5,9	6,2
Cl	%	0,23	0,21	0,21
Na	%	20,1	20,6	20,8
K	%	1,54	1,56	1,56
Torrhalt (%)	%	82,4	85,5	85
HHV _{TS}	MJ/kg	12,68	12,75	12,83

Förändringarna i brännlutens sammansättning är små under försöksveckan. I genomsnitt höjdes torrhalten på brännlut från ca 82% under referenskörningen till ca 85% under 3FS-provdygnet.

5.1.2 Stoftsammansättning

Ett stort antal stoftprov togs. Resultaten är sammanställda i Tabell 5 nedan.

Tabell 5. Elfilteraskans sammansättning, vikt-%

Table 5. The composition of the electrostatic precipitator ash, mass-%

		Referenskörning	3FS-körning
Konvektionen	Na	34,6	32,4
	K	3,2	3,2
	SO ₄	50,4	49,5
	Cl	0,7	0,7
	CO ₃	14,2	13,5
Eko 1	Na	33,2	34,3
	K	3,6	3,6
	SO ₄	53,1	52
	Cl	1,0	1,0
	CO ₃	10,9	11,7
Eko 2	Na	34,0	32,8
	K	3,6	3,6
	SO ₄	53,3	51,9
	Cl	1,0	1,0
	CO ₃	10,5	11,8
Elfilter	Na	32,7	33,6
	K	3,7	3,7
	SO ₄	53,4	52,5
	Cl	1,1	1,1
	CO ₃	10,4	11,7

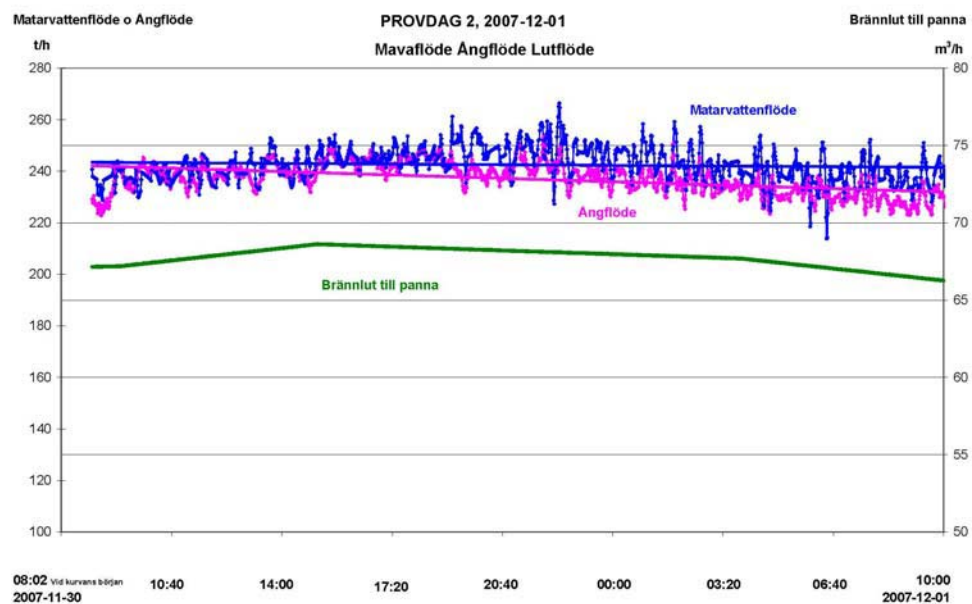
Baserat på analyser från SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

De slutsatser som kan dras är följande:

1. Kloridhalten är förhållandevis låg. Det råder ingen större skillnad mellan normal och hög torrhalt. Detsamma gäller kaliumhalten.
2. Halten karbonat är något högre i stoftet under 3FS-provdygnet än under referenskörningen. Detta är förväntat och pekar på att bädden varit hetare under 3FS provdygnet.

5.1.3 Pannans driftsdata - allmänt

Trendena över matarvattenflöde, ångflöde och brännlutsflöde visade samstämmighet både under referenskörningen och under högtorrhaltsprovet. Detta illustreras för 3FS dag 2 i Figur 2 nedan. Att brännluts- matarvatten- och ångflödet följer varann visar på att pannan haft jämn drift.

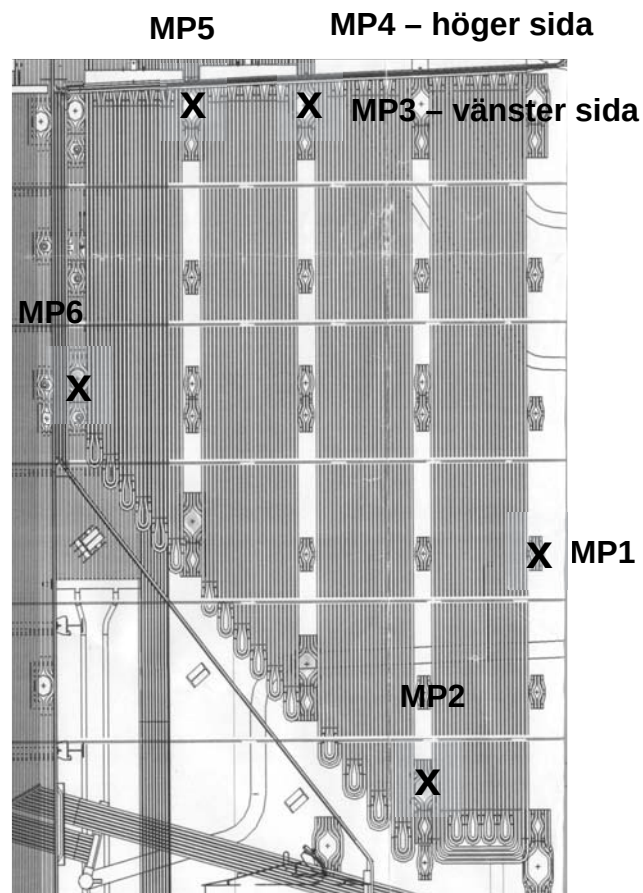


Figur 2. Provdyn 2. Flödet av matarvatten, ånga och brännlut.

Figure 2. Second day of high dry solids firing. Flow of feedwater, steam and as-fired liquor

5.1.4 Beläggningar på tuber, överbäring och ISP

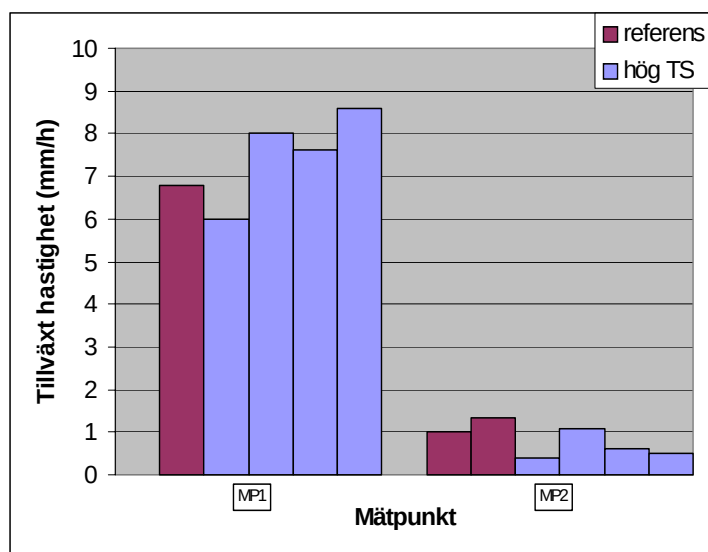
Åbo Akademi mätte beläggningarna på panntuberna med en specialdesignad påslagssond. Figur 3 nedan visar mätpunkternas placering.



Figur 3. Mätpunkter för påslagsmätsonder

Figure 3. Sampling points for the deposit measurement probes

Påslagens tillväxthastighet är högre på sondens vindsida än på läsidan. Följande värden uppmättes för MP1 och MP2 precis ovanför näsan, Figur 4.



Figur 4. Tillväxthastigheten för påslag i mätpunkt MP1 och MP2

Figure 4. Deposit growth rate in sampling points MP1 and MP2

För MP3 till MP6 uppmättes tillväxthastigheter på under 1 mm/h. Vad gäller beläggningarnas sammansättning, så bestod beläggningarna av följande komponenter:

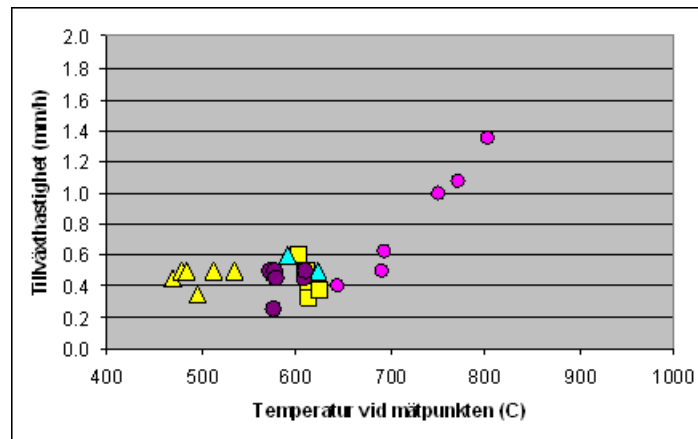
MP1: överbäring och ISP

MP2: i det närmaste enbart ISP

MP3-MP5: ISP och sublimerad aska

MP6: sublimerad aska

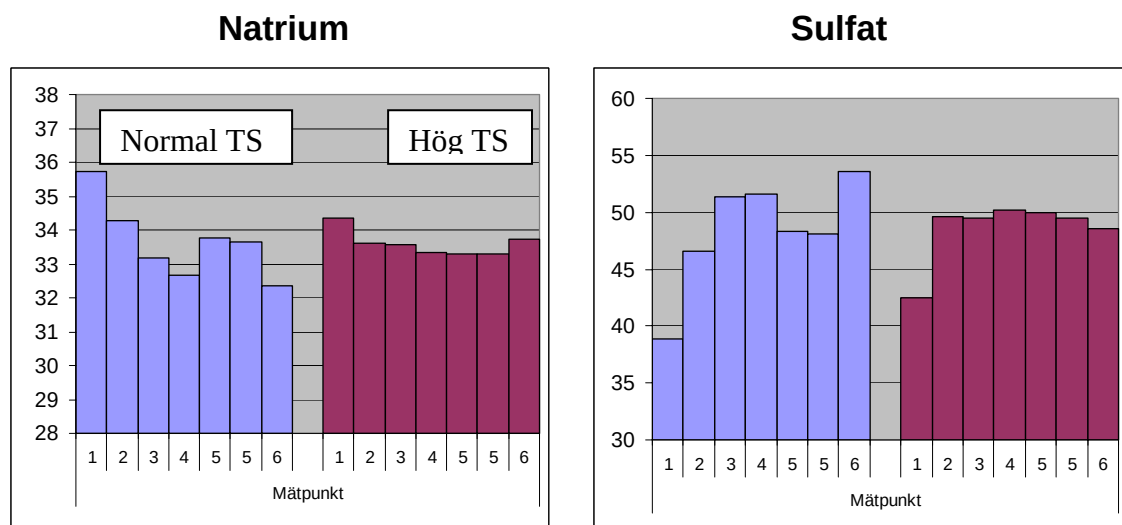
Överbäring består av lutdroppar, vilka rycks med i det uppåtgående gasflödet i pannan. Sublimerad aska består av sublimerade natriumsalter. ISP (Intermediate sized particles =mellanstora partiklar) består av agglomererade askpartiklar och är stoleksmässigt mittemellan överbäring och sublimerad aska. Figur 5 nedan visar tillväxthastigheten i MP2-MP6 som funktion av den lokala temperaturen.



Figur 5. Beläggningarnas tillväxthastighet (MP2-MP6) som en funktion av den lokala temperaturen.

Figure 5. Deposit growth rate in sampling points MP2 to MP6 as a function of the local temperature

Halten natrium och sulfat i beläggningarna från samtliga mätpunkter visas i Figur 6 nedan.



Figur 6. Halten av natrium och sulfat i påslagen i samtliga mätpunkter (vikt-%)

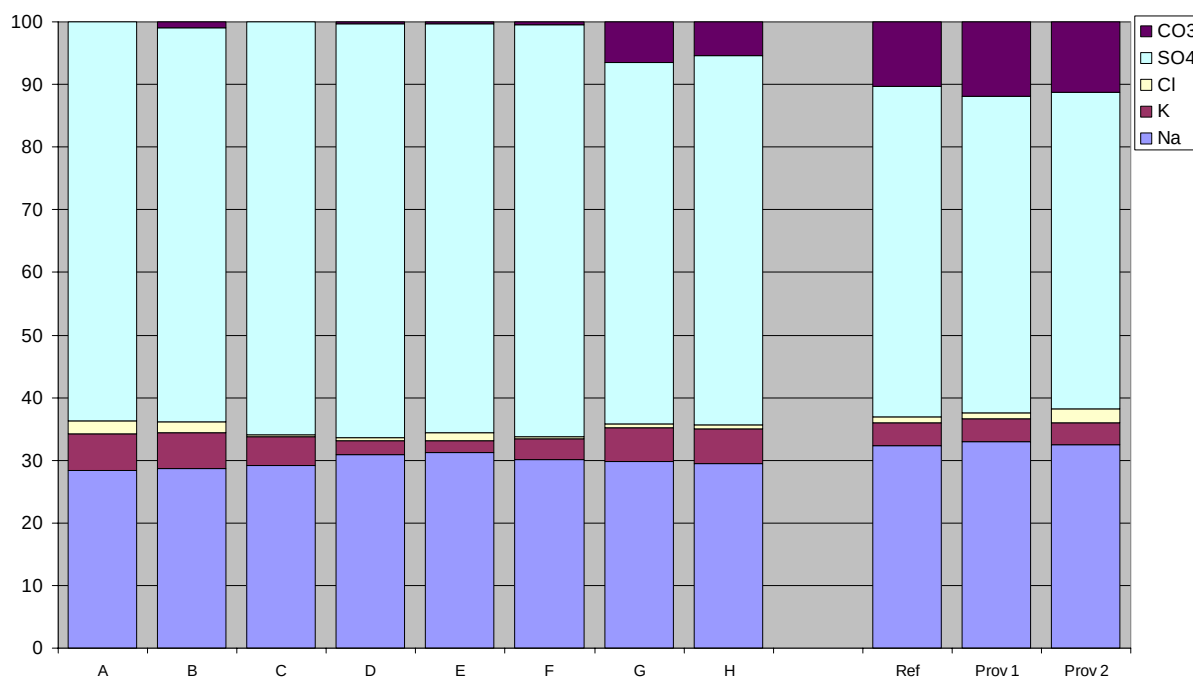
Figure 6. Sodium and sulphate content of the deposits in all sampling points (mass-%)

Sammanfattningsvis kan följande slutsatser dras för beläggningarna i överhettaren:

1. Den högre torrhalten ger ingen större skillnad i pålagsmängden.

2. Påslagens tillväxthastighet i MP2 till MP6 korrelerar med mätpunktens temperatur. Askan har blivit kladdig eller har börjat sintra vid 700-750°C.
3. Överbäringens sulfatering har skett tidigare vid den högre torrhalten. Variationen för Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} och CO_3^{2-} är mindre vid den högre torrhalten. Se även Bilaga L.

I ett tidigare Värmeforsk-uppdrag har Åbo Akademi mätt påslagen i sex andra svenska sodapannor (totalt åtta mätningar), Figur 7. Dessa sodapannor uppvisar normal svensk standard. Ingen ligger på samma tekniska nivå som Skoghall vad gäller ångdata och torrhalt.



Figur 7. Resultat från påslagsmätningar i sex svenska sodapannor och Skoghalls sodapanna (vikt-%)

Figure 7. Deposit measurements in six Swedish recovery boilers and the Skoghall recovery boiler (mass-%)

Skoghalls tre sammanvägda staplar (referens, 3FS dag 1 och 2) är placerade till höger om de åtta tidigare mätningarna.

Slutsatserna för Skoghall är:

1. I Skoghalls påslag finns det mer Na men K-halten ligger på samma nivå som i beläggningarna i de andra pannorna.
2. Kloridhalten är ungefär på samma nivå som i de övriga pannorna under referenskörningen och 3FS provdag 1. Det är tänkbart att den högre kloridhalten för 3FS provdag 2 för Skoghall är en slump, eftersom kloridhalten i luten inte ändrats. Andelen klorid i pannaskan ändrar mycket lite mellan

referenskörningen och högtorrhaltsprovet. I konvektionen uppmättes en rätt stor spridning på andelen klorid (Bilaga M1), men denna spridning är lika stor under båda försöksperioderna. Min och max värdena är näst intill identiska. Skoghalls sulfiditet ligger på 32-33% och borde inte ha påverkat kloridhalten.

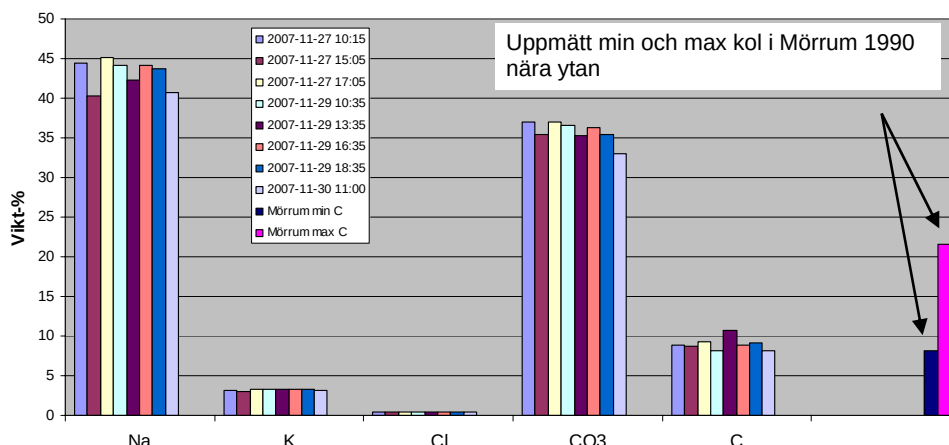
3. Skoghall har väsentligt mera karbonat i sina påslag – vilket styrker tesen om att pannan gick varmare under 3FS-försöken.

Andra faktorer som påverkar påslagen är fabrikernas sulfiditet, vedråvara och processmässiga lösningar (såpaeldning, spjälksyra i luten, eventuell anrikning av klorid). Kontentan är att Skoghalls påslag inte är exceptionella i något avseende, fränsett halten av karbonat, vare sig under normal drift eller under körning med hög torrhalt.

5.1.5 Smältasammansättning

Av de smältaprov som togs ur bädden, skickades hälften till SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut i Borås för analys. Den andra hälften skickades till Åbo Akademi för analys av cyanat och kol.

Resultaten från smältanalyserna kan ses nedan, Figur 8.



Figur 8. Smältanalyser av bäddsmälta

Figure 8. Analysis of smelt from the smelt bed

Halterna av natrium och karbonat uppvisar vissa variationer. Däremot är halterna av kol och framför allt av kalium förhållandevis jämna. Halten av klorid är mycket låg.

Vad som gör bilden extra intressant är de två extra staplarna till höger. Dessa motsvarar min och max kolhalterna i de bäddprov som togs 1990 ur Mörrums då helt nya sodapanna. Med den tidens eldningsteknik uppnåddes en reduktionsgrad på ca 90%. I Skoghall var reduktionsgraden 95% eller mer, trots att kolmängden motsvarade minimumhalten i Mörrum. Halten kol i bädden i Skoghall är lägre men det förefaller

som om reduktionsreaktionens ”verkningsgrad” ändå är högre i Skoghall's panna. Orsakerna till detta kan och kommer säkert att diskuteras i framtiden.

Den lägre kolhalten upptäcktes redan under smältaprovtagningen. I den tidigare studien med smältaprovtagning från 1990 uppmärksammades att smältan flammade upp och brann när den togs ut ur provtagningskärlet. Det totala kolinnehållet i smältan torde därmed ha varit ännu högre än vad som redovisas i staplarna till höger.

Under 3FS-mätningarna togs också smältaprover med samma utrustning som 1989-1991. Vad som skiljde, var att smältan inte flammade upp när den togs ut ur sonden. Snarare kan sägas, att smältan glödde svagt.

Orsaken till den ökade ”verkningsgraden” för reduktionsreaktionen i Skoghall, vilket ger den lägre kolhalten i bäddsmältan, är föremål för diskussion. En möjlig hypotes är, att en del av reduktionsreaktionen sker i suspension, dvs. efter lutdropparnas torkning och pyrolys i flykten, innan koksresten träffar smältabädden.

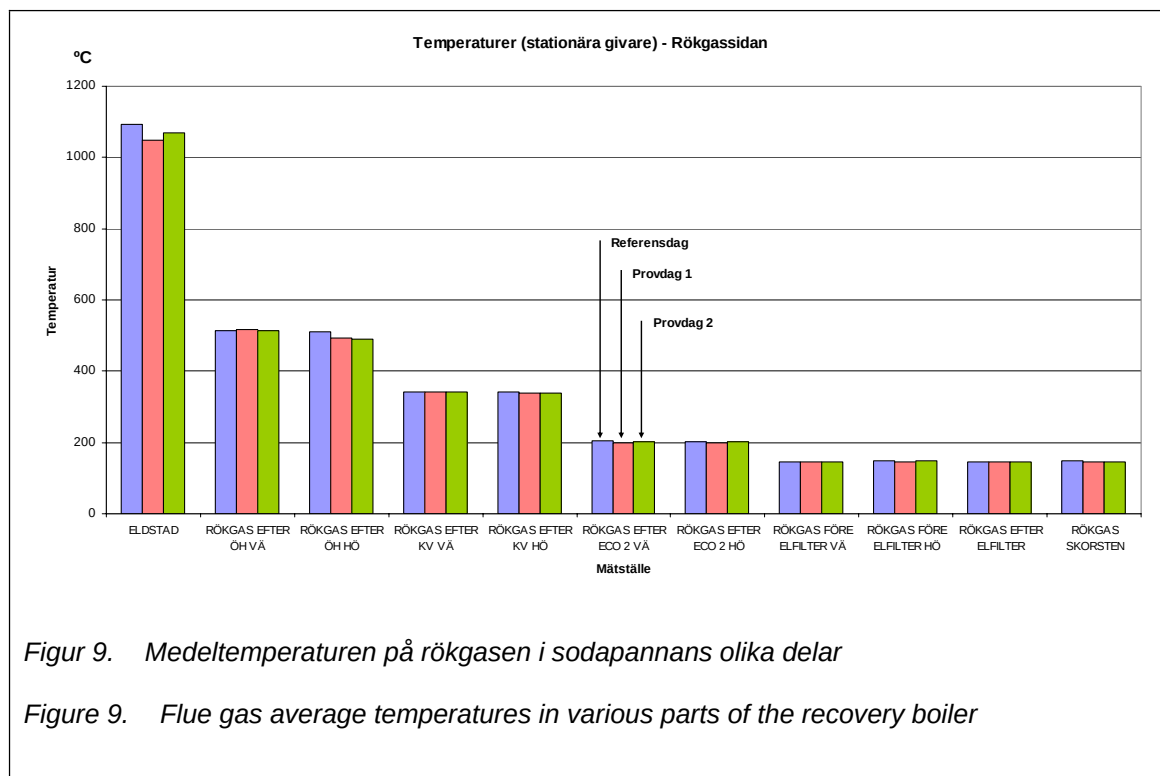
En annan reflexion som gjordes har att gör med pannstorlekens utveckling. På 1980-talet var pannorna mindre (mindre bottenyta) än idag och de flesta hade lutande botten. Det förde med sig, att smältabädden inne på botten var ganska stor och hög. Vid provtagningen 1990 kunde smälta från ytan och upp till 50 cm in i bädden tas.

Under 3FS-försöken, kunde endast smälta från ytan eller direkt under ytan tas (0-20 cm). Detta beror på pannornas större tvärsnitt idag (10 x 10 m) och att bottenkonfigurationen i nya pannor är uteslutande dekanterande, vilket ger en ”plattare” smältabädd.

5.1.6 Rökgasens temperatur från eldstad till skorsten

Medelvärden och trender för rökgasens temperatur från eldstaden till skorstenen i Skoghall finns i Bilaga D, AB, AE och AF. I Figur 9 nedan har medeltemperaturen för olika delar av pannan sammanställts baserat på trenddata från bilagorna.

Eldstadstemperaturen är i detta fall temperaturen i tertiärluftregistret. I Skoghall mäts temperaturen i tertiärregistret med två instrument. Det ena instrumentet registrerade en medeltemperatur på omkring 1100°C, det andra en medeltemperatur på knappt 900°C. Skoghall's driftspersonal har framfört misstankar om att dessa instrument inte är helt tillförlitliga pga. deras placering. ÅF: s manuella mätningar med strålningspyrometer bekräftar den högre temperaturnivån, Bilaga K2 och K3. Av denna orsak har det instrument som registrerar högre tagit med i Figur 9.



Vad som kan ses är att medeltemperaturen i olika positioner i pannan mellan referenskörningen och 3FS dag1 och dag 2 inte visar någon större skillnad. Notera att medeltemperaturen under 3FS-försöket är lika eller i vissa fall t.o.m. lägre än under referenskörningen.

5.2 Materialteknik

Högre ångtemperaturer och panntryck ställer strängare krav på låga halter av Cl och K. Då beläggingsmätningarna och sammansättningen på askan i konvektion, ekobankar och elfilter inte påvisade några alarmerande nivåer av Cl och K samt att kladdningstemperaturen ligger på nivån 700-750°C, gjordes bedömningen att inga ytterligare materialtekniska undersökningar för projektets del var aktuella under nuvarande eldningsförhållanden och förutsättningar.

Vid panninspektionen hösten 2008 hittades inga onormala korrosionshastigheter i Skoghalls överhettare.

5.3 NO_x

Under referenskörningen och under 3FS dag 1 och 2 mättes kväveföreningar i olika positioner i och runt pannan. Tyngdpunkten lades på rökgaserna i skorsten och imångorna till tertiärluftregistret.

Uppmätta kväveföreningar i rökgasen under försöksveckan visas i Tabell 6 nedan.

Tabell 6. Halter av kväveföreningar i rökgasen från Skoghalls sodapanna under försöksveckan (medeltal ppm torr gas).

Table 6. Nitrogen compounds in the flue gas from Skoghall recovery boiler during the entire test firing period (average amount in ppm dry gas)

Förening	Enhet	Referenskörning	3FS dag 1	3FS dag 2
NO	ppm tg	100	104	99
NO ₂	ppm tg	1,4	2,4	3,3
N ₂ O	ppm tg	< 0,1	< 0,1	< 0,1
NH ₃	ppm tg	0,9	0,3	0,3

Skillnaderna i NO- och NO₂-halterna är små mellan referenskörningen och 3FS-försöket. Halthöjningen av N₂O och NH₃ befinner sig på brusnivå.

Dessa resultat avviker från tidigare resultat från 1987, då ett 3FS-liknande försök gjordes i den då nya Sodapanna 5 i Korsnäs. Under detta försök höjdes torrhalten under en dag från 65% TS till ca 76-77% TS. Under försöket noterades en 60%-ig ökning av NO_x i rökgasen (!). Den absoluta förändringen var från 95 ppm tg till 155 ppm tg. Något liknande har inte kunnat detekteras i Skoghall. Dock måste påpekas, att en torrhaltshöjning från 65% TS till 77% TS är mycket mer dramatisk än en höjning från ca 82 till ca 85% TS.

Den stora höjningen av NO_x-halten i Korsnäs Sodapanna 5 och den marginella höjningen av NO_x-halten i Skoghalls sodapanna kan inte tillskrivas termiskt NO_x, eftersom detta inte bildas i signifikanta mängder under temperaturer på 1400°C.

5.3.1 Förbränning av imångorna i tertiärregistret

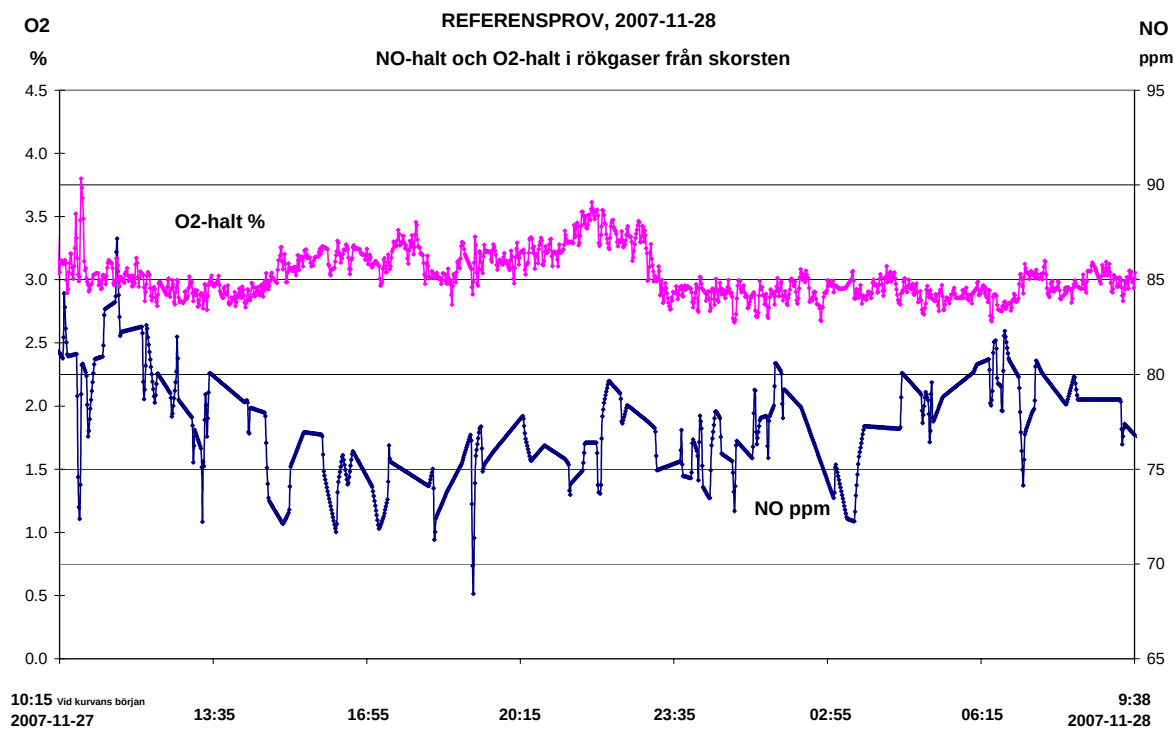
I Skoghall eldas imångorna i tertiärluftregistret. Halten av ammoniak i imångorna uppmättes till 273-331 mg/m³n tg under referenskörningen och till 299-393 mg/m³n tg under 3FS-körningen. Detta motsvarar en halthöjning på 20-60 mg/m³n tg som ett resultat av den högre torrhalten. Det finns få motsvarande mätningar, så det är svårt att bedöma om detta är en hög eller låg halt.

Imångorna tillförs från endast ett håll i tertiärregistret. Medeltemperaturen i detta luftregister finns redovisat i Figur 9 ovan. Med strålningspyrometer uppmättes även temperaturen i lutspruteöppningarna, se Bilaga K2. Medeltemperaturen var 1079°C under referenskörningen och 1091°C under 3FS-försöket. Ur litteraturen är det känt att ammoniak reducerar kväveoxider till kvävgas i temperaturintervallet ca 850-1000°C. Tillförs NH₃ vid högre temperaturer, reagerar det till NO, i stället för att reducera NO till N₂.

Detta fenomen observerades under försöksperioden. Vid totalt fyra tillfällen leddes imångorna över tak i stället för till pannan och ersattes med förbränningsluft. Vid dessa tillfällen kunde en nergång av NO_x-halten i rökgasen i skorstenen observeras. Under

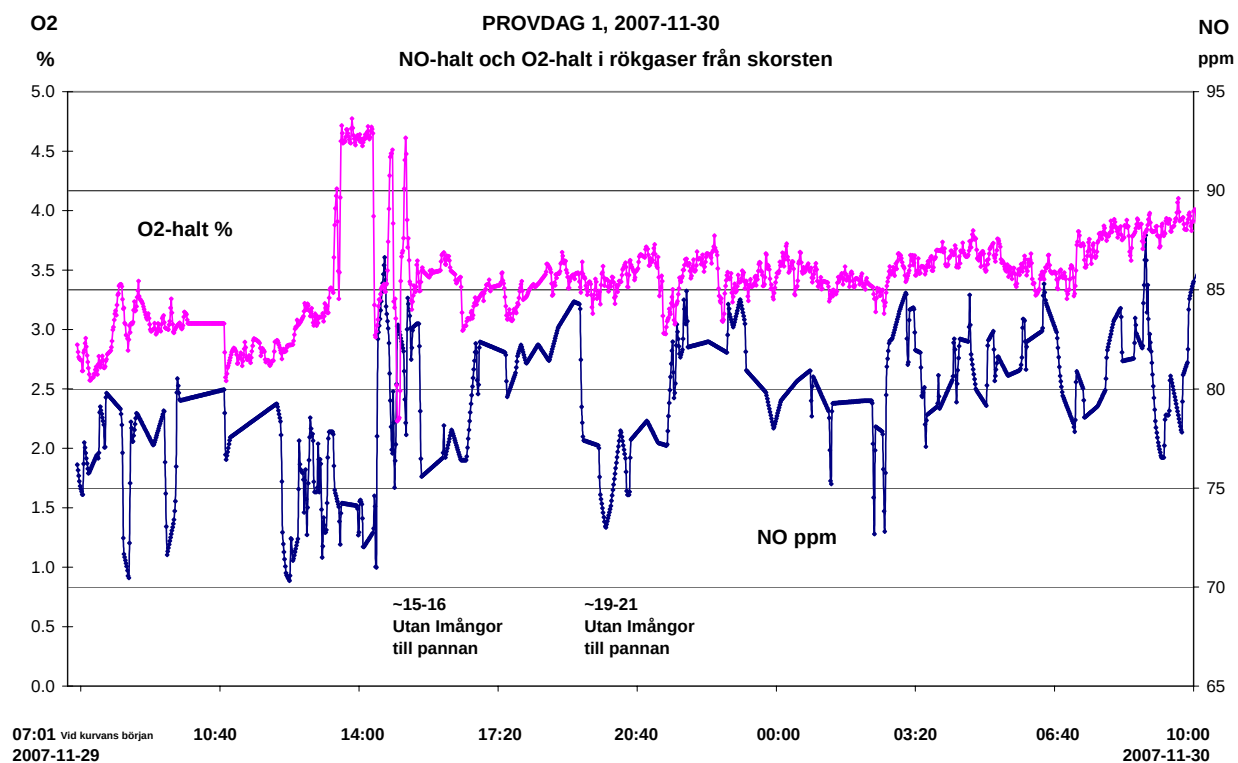
tiden då imångorna kördes över tak fluktuerade NO_x -nivåerna mindre än under tiden då imångorna eldades i pannan.

Figur 10 visar NO -halten och syreöverskottet under referenskörningen. NO -halten fluktuerar, medan halten O_2 ligger periodvis väldigt stabilt på 3%.



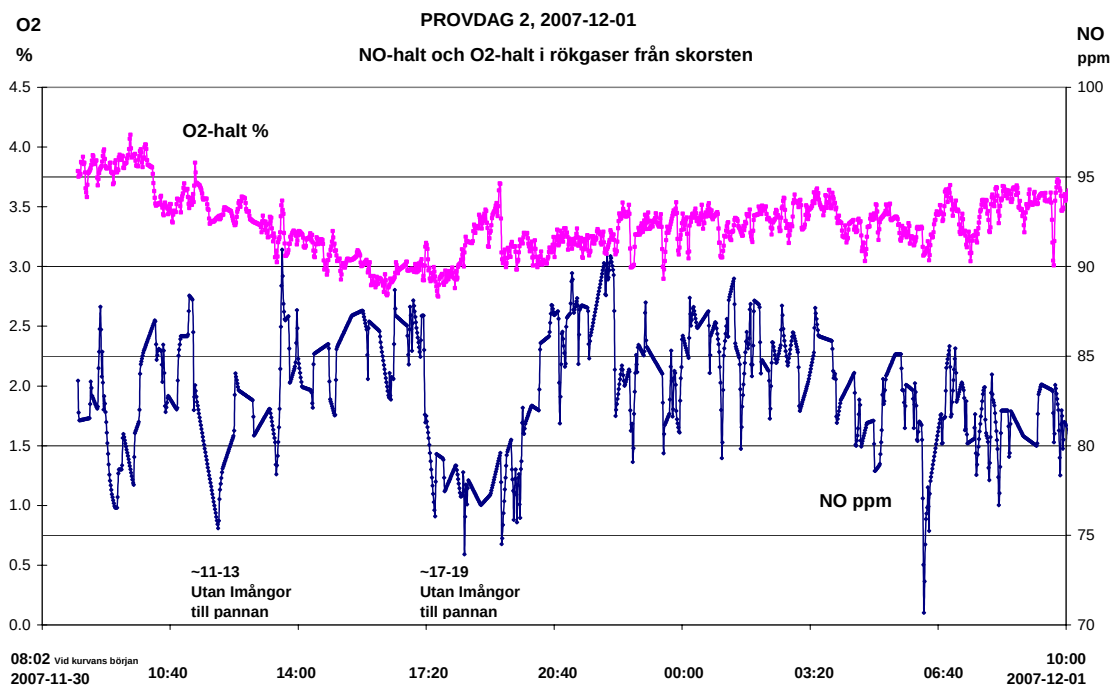
Figur 10. NO - och O_2 -halt i rökgas under referenskörningen, imångor till tertiärregistret. Notera amplituden på svängningarna i NO -halt

Figure 10. NO - and O_2 -content of the flue gas during the reference run. Dissolver off-gases are mixed and burned in the tertiary air level. Note the amplitude of the fluctuations in the NO -content.



Figur 11. NO- och O₂-halt i rökgas under 3FS-körningen dag 1, imångor över tak kl 15-16 och kl 19-21, övriga tider till tertiärregistret

Figure 11. NO- and O₂-content of the flue gas during the first day of the high dry solids run. Dissolver off-gases are vented to the atmosphere between 3-4 pm and 7-9 pm, otherwise these are mixed and burnt in the tertiary air level.



Figur 12. NO- och O₂-halt i rökgas under 3FS-körningen dag 2, imångor över tak kl 11-13 och kl 17-19, övriga tider till tertiärregistret

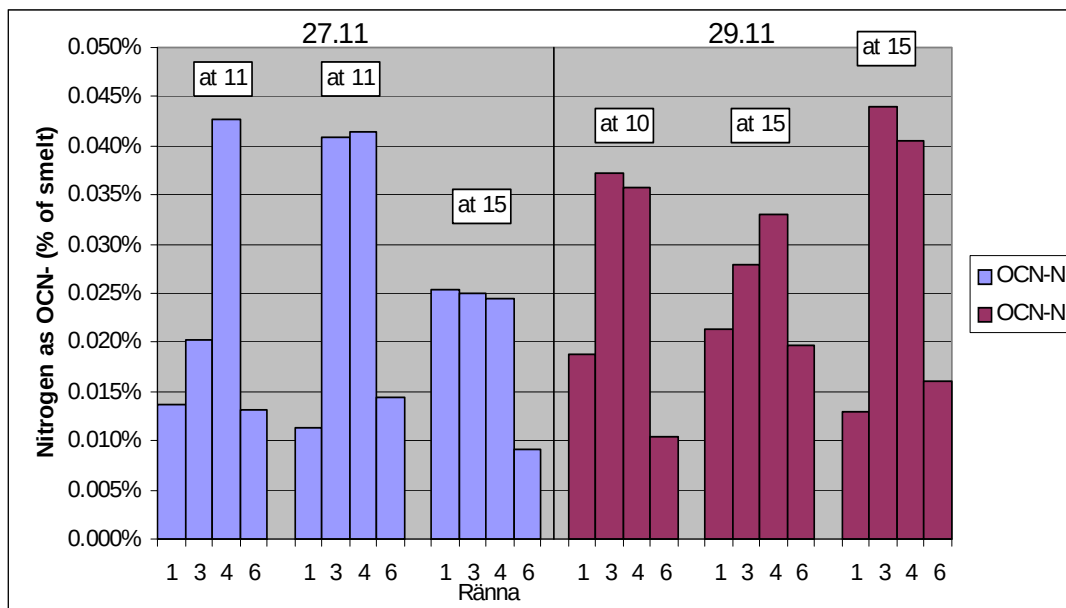
Figure 12. NO- and O₂-content of the flue gas during the second day of the high dry solids run. Dissolver off-gases are vented to the atmosphere between 11 am - 1 pm and 5-7 pm, otherwise these are mixed and burn in the tertiary air level.

Notera effekten på NO-halten då imånga går över tak samt den minskade amplituden på svängningarna i NO-halt vid dessa tillfällen, Figur 11 och Figur 12.

Slutsatsen är, att mängden NH₃ i imångorna ökar pannans NO_x-utsläpp (!). Även om imångor inte kördes över tak under referenskörningen, är det på basen av den uppmätta ammoniakhalten i imångorna och den trendade temperaturen i tertiärluftregistret, sannolikt att en liknande effekt skulle ha uppstått även då.

5.3.2 Smältaprovtagning och kvävemängder

Åbo Akademi tog smältaprover med en sinnrik metod ur de fyra löprännor som var i drift under försöksveckan. I Figur 13 visas uppmätta halter av kväve i form av cyanat (OCN⁻) i smältaprov tagna ut smältalöpena 1, 3, 4 och 6 i Skoghalls sodapanna.



Figur 13. Uppmätta halter cyanat i smältalöpen under referensdagen och 3FS dag 1.

Figure 13. Measured amounts of cyanate in the smelt spouts during the reference run and the first day of high dry solids firing

Under referenskörningen var cyanathalten i mittenlöpean i medeltal 0.032%, medan halten var 0.014% i medeltal i kanterna. Under den första dagen av 3FS-körningen (då smälta ur löprännorna togs) var cyanathalten i mittenlöpena i medeltal 0.036%. I kanterna var halten i medeltal 0.017%.

Under hela provveckan mätte ÅF temperaturen på smältan i löprännorna ett antal gånger, se Bilaga H2. Medeltemperaturen på smältan var 905°C under referenskörningen och 884°C under 3FS körningens dag 1 och dag 2. Dessa mätningar är svåra att genomföra och det kan finnas stor spridning mellan enskilda uppmätta värden. Dock indikerar den genomsnittliga temperaturnivån på att smältan höll en förhållandevis normal temperatur.

Slutsatserna för smältans cyanatinnehåll är

1. Smältans cyanathalt är lägre i kantrännorna än i mitten.
2. Cyanathalten är ca 10% högre under 3FS-försöket med hög torrhalt, men det finns ingen tydlig skillnad mellan försöket och referensdagen.

Åbo Akademi fick även prover av bäddsmälta av ÅF, vilka analyserades med avseende på cyanat (och kol), Tabell 7.

Tabell 7. Halten cyanat i smälta tagen ur smältabädden i Skoghall (vikt-% av smälta)

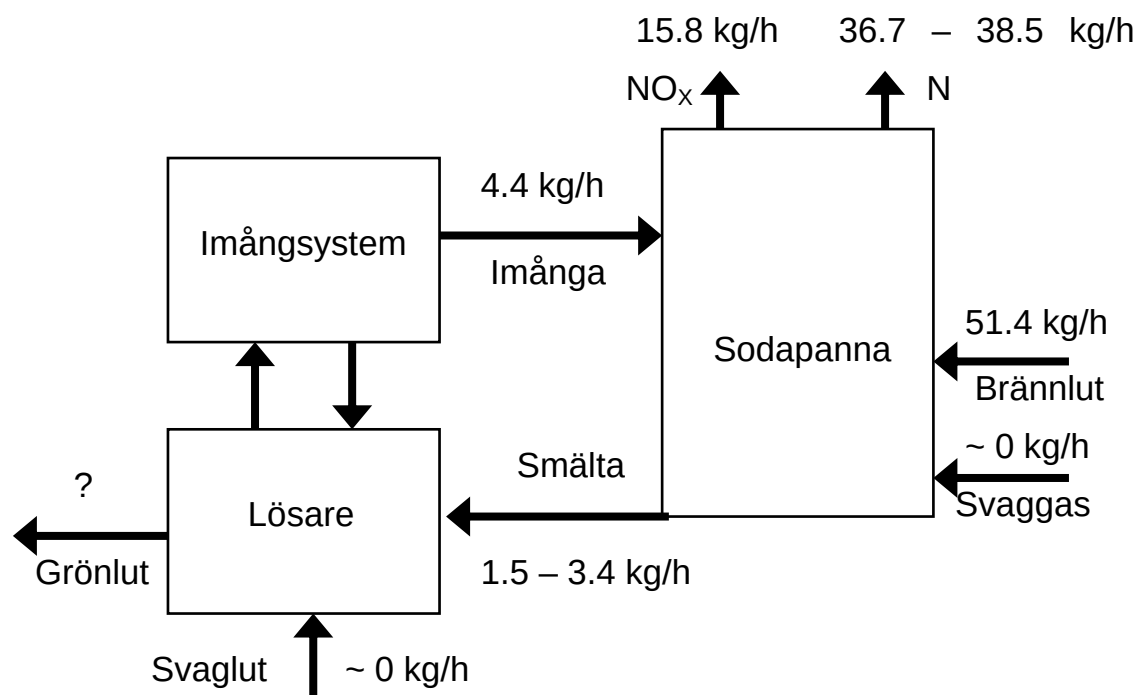
Table 7. Amount of cyanate in samples taken from the smelt bed in Skoghall (mass-% of total smelt)

Provnamn	Cyanat	Total kol
ÅF-BäSm-01	0.006%	2.49 %
ÅF-BäSm-02	0.007%	4.80 %
ÅF-BäSm-03	0.006%	4.50 %
ÅF-BäSm-04	0.021%	5.47 %
ÅF-BäSm-05	0.025%	4.97 %
ÅF-BäSm-06	0.004%	5.11 %
ÅF-BäSm-07	0.008%	5.10 %
ÅF-BäSm-08	-	5.05 %
ÅF-BäSm-09	0.037%	5.28 %

Intressant att notera är att halten i bädden uppvisar en stor spridning och att den absoluta haltnivån ligger närmare halten i kantlöpena.

Baserat på uppmätta halter av kväveföreningar, flöden till pannan och beräknade flöden av smälta i löpen, har en kvävebalans över sodapanna-imångsystem ställts upp.

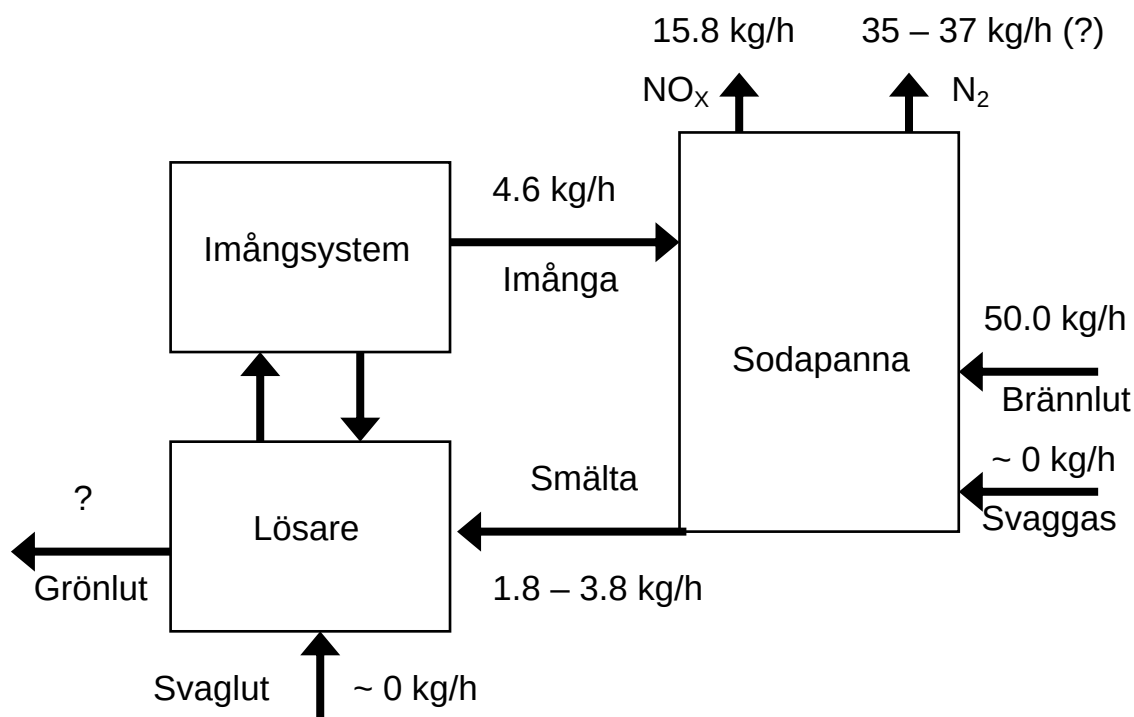
För referenskörningen ser balansen ut på följande sätt, Figur 14.



Figur 14. Kvävebalans över sodapanna-imångsystem under referenskörningen

Figure 14. Nitrogen balance for the recovery boiler and dissolver off-gas system during the reference run

För 3FS-körningen ser motsvarande balans ut på följande sätt, Figur 15 (genomsnitt för båda dagarna)



Figur 15. Kvävebalans för sodapanna-imångssystem under 3FS-körningen

Figure 15. Nitrogen balance for the recovery boiler and dissolver off-gas system during the high dry solids run

Det är uppenbart att totalbalansen inte går ihop. Balansen runt pannan går ihop endast om N₂-halten i rökgasen antas vara den i detta fall *beräknade* mängden på ca 35-38 kg/h. Med detta beräknade kvävgasflöde blir fördelningen mellan kväve i smälta kontra kväve i rökgas (som N₂) inte enligt vedertagna teorier (av lutens kväve borde ca en tredjedel bli N₂). Det beräknade flödet på N₂ är ungefär det dubbla av vad det borde vara enligt teorierna.

För NO_x däremot är fördelningen enligt förväntan. Även kvävemängden i smältan till lösaren är för liten enligt teorierna (en tredjedel av lutens kväve borde enligt teorierna återfinnas som cyanat i smältan).

Enligt Åbo Akademi är de uppmätta halterna av cyanat i smältan låga. Halten kol i bäddsmältan är också låg. Eftersom cyanatet transporteras i koksresten till bädden, kan det diskuteras om den låga kolhalten är förklaringen till den låga cyanathalten i smältan?

Värt att notera är kväveinflöde med imångorna. Imångorna bidrar med en mängd som motsvarar upp till 10% av lutens kväve till det totala kväveinflödet.

I juni 2007 genomförde Stora Enso Skoghall en kvävekartering. Följande värden mättes, Tabell 8.

Tabell 8. Kvävekartering av sodapannan och kausticeringen i Skoghall

Table 8. Nitrogen balance for the recovery boiler and recausticizing in Skoghall

Position	Halt (g/l)	Flöde (kg/h)
N i mellantjocklut, innan askinblandning	0.052 vikt-%	31.8
N som NO _x från sodapannan		11.4
N i grönlut	< 0.02	< 3.3
N i vitlut	< 0.02	< 2.5
N i skrubberavlopp (kausticeringen)	< 0.02	0.7

I denna kartering mättes kväveinnehållet i mellantjocklut, varmed en direkt jämförelse med de värden som redovisas i Figur 14 och Figur 15 inte är rakt jämförbara. Det kväve som går ut som NO_x är lägre än under referensdagen och 3FS-försöket. För grönluten, vitluten och skrubberavloppet är den uppmätta halten på detektionsgränsen för kväve, varför resultatet är osäkert.

Enligt uppgift från Skoghall tas skrubberavloppet från kausticeringen tillbaka till grönluten tillsammans med imångkondensatet. Även om allt detta kväve skulle övergå till imångorna, är det osannolikt att detta skulle kunna förklara obalansen i kväve mellan smälta ur löpena och imånga in till pannan.

5.4 Rökgasemissioner till skorsten

Generellt var emissionerna med rökgaserna till skorsten låga, vid eller nära brusnivån, både under referensdygnet och under provdagarna. Detta gäller för CO, SO₂ och H₂S, se bilagorna F, R, AH och BB. Beträffande NO_x-emissioner, se avsnitt 5.3 ovan.

5.5 Energieffektivisering

Syftet med delmoment Energieffektivisering är att undersöka den tekniska potentialen för att öka elproduktionen från en sodapanna, liknande den nya pannan i Skoghall tillsammans med en barkpanna i ett massabruk. I studiens scope ingår endast sodapanna, barkpanna, turbin och mellanöverhettning samt matarvattenförvärmning/rökgaskylning. Ingen total energibalans över hela bruket görs, eftersom varje bruk har unika förutsättningar och studiens resultat skall vara så generella som möjligt. En stor mängd simuleringar baserade på Skoghalls sodapanna har genomförts. Förutsättningarna och randvillkoren för simuleringarna är följande:

Sodapanna, barkpanna och turbin

- Som bas har en av idag "state of the art" sodapanna valts, vad gäller ångdata, 500°C, 108 Bar(a).
- Sodapannan är utrustad med extern sotånga från turbin.
- Lutlasten är konstant, 2200 tts/d.
- Mottrycksunderlaget är konstant.

- Mottryck 4 Bar(a)
- Mellantrycksånga 12 Bar(a), ångflöde mellantrycksånga 81 ton/h motsvarande 25% av bruttoångflödet i basfallet. Ångflöde mellantrycksånga 81 ton/h är konstant.
- Sotånga avtappas vid 28 Bar(a).
- Oavsett värmetekniska konsekvenser då ovanstående tekniker tillämpas hålls de ursprungliga värmeytorna i sodapannan konstanta.
- Avtappningsstrycket för mellanöverhettning vid 42 Bar(a)
- Tryckfall i tillkommande mellanöverhettare lika per grad Celsius som i befintliga bankar, inklusive cross over piping och ångkylningssteg.
- Domtrycket (konstruktionstrycket) i pannan har låtits stiga för att hålla utgående ångtryck konstant på 108 Bar(a).
- Referenspannan arbetar med en lufttemperatur på 150°C både för primär- och sekundärluft. Det antas då att den första åtgärd som genomförs för att öka energiproduktionen är att höja dessa lufttemperaturer till 190°C. Det är med denna lufttemperatur de andra två teknikerna tillämpas.
- Barkpannan i systemet antas ha samma ångdata som sodapannan.
- Barkpannan antas mata en separat turbin, utan avtappningar och med samma mottryck som sodapannan.
- Barkpannans last justeras för att hålla mottrycksvärmen konstant då ångflödet från sodapannan ändras beroende av tillämpad teknik för energieffektivisering.
- Turbinerna antas ha en isentropverkningsgrad på 88% över hela tryckområdet.

Parametrar

- Torrhalter som studeras är 80%, 83% och 90%.
- Avtappningsånga för matarvattenförvärmning tas vid 4 Bar(a) (mottrycket), 12 Bar(a) (mellanångtrycket) och 28 Bar(a) (sotångtrycket).
- Matarvattenförvärmning med dessa avtappningsångor görs till en minsta temperaturskillnad mot kondensationstemperatur och matarvattentemperatur på 10°C.
- För varje kombination av torrhalter och grad av matarvattenförvärmning maximeras möjlig mellanöverhettning. Gränsen för maximal mellanöverhettning är vald så att ingen ångkylning behövs för att nå utgående ångtemperatur på 500°C i något av fallen.

Diskussion om vissa förutsättningar

Enligt ovan valdes barkpannans ångdata lika som sodapannans och barkpannan matar en separat turbin. Alternativen hade varit följande:

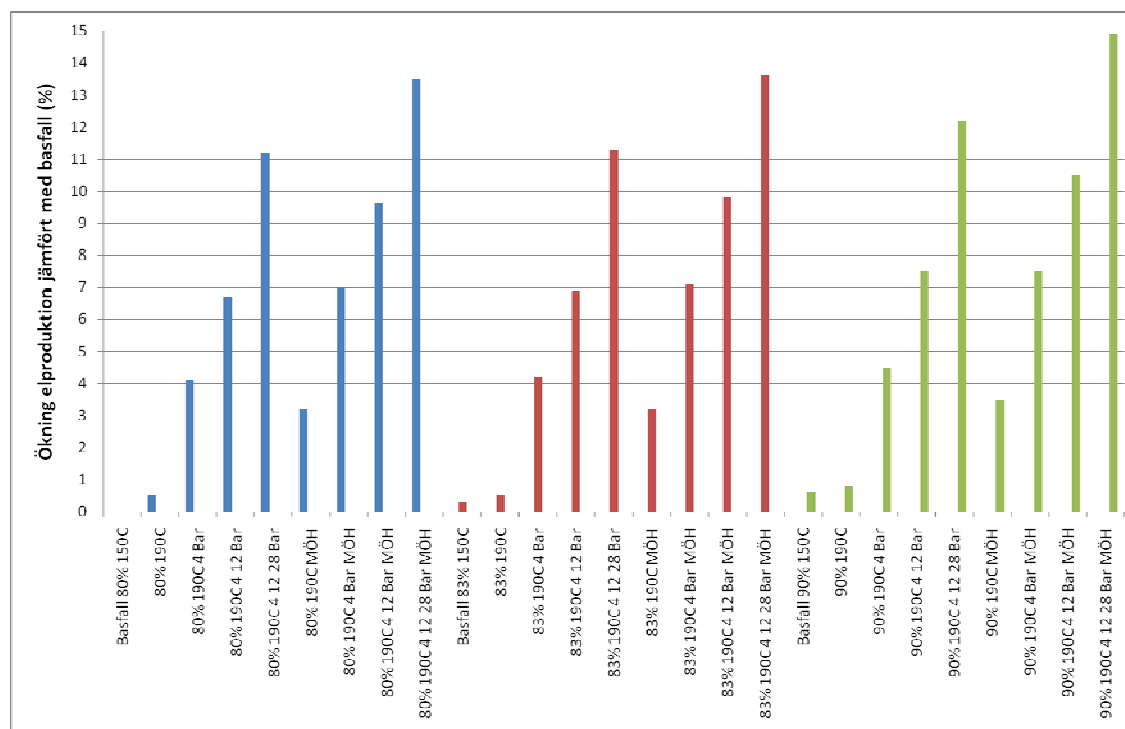
- Barkpannan ges samma ångdata som ångdata från sodapannans mellanöverhettare, dvs betydligt lägre än nu givna data. Samtidigt så skulle barkpannan mata samma turbin som sodapannan, men med inflöde vid ångdata efter mellanöverhettaren. Eftersom målet är att maximera elproduktionen inses att om barkpannan ges dessa ångdata så minskar möjlig elproduktion från barkpannans ånga jämfört med här valda ångdata och alternativet väljs därför ej.

- Barkpannan ges betydligt högre ångdata än ut från sodapannan, vilket kan göras eftersom det i en barkpanna inte finns de korrosions- och materialtekniska problemen som begränsar sodapannans ångdata. Hade högre ångdata valts från barkpannan så hade, oberoende av val, alltid riktigheten av dessa ångdata kunnat diskuteras.
- För att då välja rättfram och enkelt har samma ångdata för barkpannan som för sodapannan valts. Nedan diskuteras däremot överskådligt vad resultaten kunde vara om högre ångdata hade valts.

Fördelningen och storleken på de befintliga värmeytorna i referenspannan har hållits konstanta. Nedan visas att då de studerade teknikerna tillämpas är inte längre storleken och fördelningen av dessa ytor optimal. Att däremot omfördela och ändra storleken på de värmeöverförande ytorna bär för långt då detta innebär en panndesign från grunden i varje nedan enskilt studerat fall. Nedan diskuteras principiellt på vilket sätt ytorna inte är optimala och hur dessa skulle behöva ändras för att bättre passa med de studerade energiteknikerna. Avtappningstrycket för mellanöverhettning, 42 bar(a), har valts som ett rimligt värde. Även andra värden hade kunnat väljas, med till viss del varierande resultat. För optimala val av ett flertal av de använda förutsättningarna och nivåerna av parametrarna är en ekonomisk optimering nödvändig.

5.5.1 Resultat

Resultatet från alla simuleringar visas i Figur 16.



Figur 16. Simuleringsresultaten. Basfallet är Skoghall's sodapanna vid designlast.

Figure 16. Simulation results. The base case is Skoghall's recovery boiler at design load.

De slutsatser som kan dras av ovanstående är följande:

- Det finns en teknisk potential att kraftigt öka elproduktionen ur kombinationen sodapanna och barkpanna med hjälp av matarvattenförvärmning och mellanöverhettning.
- Potentialen bedöms som bra redan med matarvattenförvärmning från normalt använda avtappningsångor upp till sotångans normala avtappningstryck.
- Ökad elproduktion som funktion av ökad torrhalt ger i det studerade spannet mindre bidrag till elproduktionen än vad matarvattenförvärmning och mellanöverhettning ger.
- Möjligheten att fullt ut uppskatta den tekniska potentialen begränsas dock av att då matarvattenförvärmning och mellanöverhettning tillämpas bör sodapannans värmeytor och övrig konstruktion anpassas därefter.
- Vid tillämpning av matarvattenförvärmning och mellanöverhettning bör sodapannans konstruktion ändras enligt följande.
 - Överhettarna ges större ytor.
 - Kokytan görs mindre.
 - Rök-gaskylare bör installeras.
 - Sodapannans cirkulationssystem görs större med större dom och större kapacitet i domen samt utökning av fall- och stigsida i cirkulationssystemet.
- Totalt sett antas därför investeringskostnaden att öka för sodapannan.
- Hur en optimal lösning ser ut i ett verkligt fall kan endast bestämmas med hjälp av en ekonomisk optimering för det specifika fallet.

5.6 Databehandling av insamlade trenddata och analyser

3FS projektgruppen beslöt våren 2008, att upphandla en matematisk databehandling av insamlade trenddata och laboratorieanalyser. Se separat slutrapport i Bilaga DB.

Resultaten från denna bearbetning är följande:

- De skillnader som skulle kunna bero på höjningen av torrhalten är små.
- Det finns indikationer på att O_2 - och CO -halten i rökgasen ökat som en följd av högre TS. Detta är dock föremål för olika tolkningar av STFI-Packforsk och ÅF.
- Även NO -halten har ökat medan NO_2 - och SO_x -halterna har minskat. Att dessa skillnader verkligen är en konsekvens av torrhaltshöjningen kan man inte vara säker på. Variationer i brännlutens kvävehalt skulle kunna påverka resultaten i denna riktning, dock ses ingen sådan tendens i de lutprov som analyserats.
- Stofthalten i rökgaserna efter elfiltren är högre vid den högre torrhalten. Detta skulle kunna vara en konsekvens av en högre panntemperatur, vilket kan förväntas om torrhalten höjs. Det skulle även kunna beror på att pannan sotats intensivare under högtorrhaltsdagarna jämfört med referensdagen; stofthalten ökade 3-5% medan sotångflödet ökade 8-14 %.
- Sammantaget kan man konstatera att de skillnader som kan bero på torrhaltsändringen i allmänhet även kan förklaras som en effekt av andra ändringar på pannan.

5.7 Slutkommentar

På basen av försöket är den slående reflexionen, att skillnaden mellan 82% och 85% TS körningarna inte är större. Personalen upplevde det som att pannan gick väldigt jämnt och fint under försöksperioden. Totalt sett måste försöken betraktas som en stor framgång.

De viktigaste slutsatserna är:

- Skoghalls sodapanna uppvisar god körbarhet och låga emissioner vid hög och mycket hög torrhalt på brännluten.
- Det finns indikationer på att bädden är hetare än bädden i pannor med lägre torrhalt.
- Ammoniakinnehållet i imångorna är betydande och dessa påverkar pannans totala utsläpp av NO_x och gav under dessa försök ökade utsläpp.
- Halten uppmätt kväve i smältan är lägre än vad teorierna visar.
- Mängden kol i smältan är lägre än tidigare mätningar, men reduktionsgraden är fortfarande hög.
- Beläggningarna på överhettarna uppvisar inga extraordinära sammansättningar och det föreligger liten risk för onormala korrosionshastigheter under nuvarande eldningsförhållanden.
- Den matematiska databehandlingen av insamlade värden från STFI-Packforsk uppvisar inga oväntade samband eller trender. Vissa mindre frågetecken finns, men dessa är av underordnad betydelse.
- Energieffektiviseringsberäkningarna visar, att elproduktionen kan ökas betydligt med matarvattenförvärmning/rökgaskylning och mellanöverhettning.

6 Måluppföljning mot uppsatta mål vid projektstart

Sodahuskommittén ställde upp ett antal direkta och indirekta mål, se under avsnitt 2.3 och 2.4. Måluppföljningen för varje enskilt mål kommenteras nedan.

6.1 Oberoende driftsparametrar för eldning av lut med hög torrhalt

Mål:

Studien skall skapa förutsättningar för god körbarhet och stabil drift (hög tillgänglighet och hög reduktionsgrad) dels i dagens pannbestånd, dels i de nya pannor som har eller kommer att uppföras inom den närmaste framtiden med tidsperspektivet 40 år framåt i tiden.

Utfall:

På denna punkt uppnåddes det uppsatta målet. Försöken i Skoghall lyckades över förväntan. Ett mycket omfattande material samlades in, som nu har analyserats för denna rapport. Det är projektgruppens förhoppning, att varje medlem i Sodahuskommittén kan ta till sig dessa resultat och tillgodogöra sig dem på bästa sätt.

6.2 Ny kunskap om förbränningsförhållandena i den nedre eldstaden med högt luttorrhalt

Mål:

Speciell vikt kommer bl.a. att läggas vid temperaturprofil och gassammansättning i eldstaden, gasformiga emissioner, smältaavgång och smältaegenskaper samt reduktionsgraden i bädden.

Utfall:

Gassammansättningen kunde, pga. mätutrustningen, inte mätas i den nedre eldstaden.

En oväntad upptäckt var, att temperaturprofilen i den nedre eldstaden uppvisade ett varmt område vid lutsprutorna och tertiärluftenivån i Skoghalls sodapanna. Ett temperaturmaximum kan anas vid lutsprutenivån. Tidigare tumregler har indikerat ett erfarenhetsmässigt temperaturmaximum vid sekundärluftenivån. Med nya luftsystem finns det alltså indikationer på att merparten av gasförbränningen flyttas högre upp i pannan med efterföljande temperaturstegring.

Dock skall det hållas i minnet att moderna luftsystem medger stor flexibilitet vad gäller luftsatsning. Var temperaturmaximumet inställer sig i varje enskild sodapanna är beroende av ett antal faktorer, av vilka luftsatsningen är en del.

Prover på både smälta ur lög och ur bädden togs, vilket ger en inblick i kemin i bädden. Jämförelsen med 1987-års studie visar på en effektivare kolanvändning i bädden än tidigare. Vidare erhöles en högre reduktionsgrad och ett mindre kolöverskott i bädden.

6.3 Ny kunskap om förbränningen i den övre eldstaden för att erhålla hög pannverkningsgrad

Mål:

Ta fram ny kunskap om förbränningen i den övre eldstaden för att erhålla hög pannverkningsgrad (en förutsättning för hög el-generering). Speciell vikt kommer bl.a. att läggas vid stoftegenskaper och – sammansättning samt den totala stoftavgången från pannan.

Utfall:

Stoftprover kunde tas ut i stor mängd från konvektionen, eko-bankarna och elfiltret. Därtill finns stoftprov från överhettaren och frontväggen. Under nuvarande eldningsförhållanden finns inga belägg för onormala korrosionshastigheter.

6.4 Möjligheterna att minimera NO_x – emissionen från sodapannor

Mål:

Speciell vikt kommer att fästas vid möjligheterna att minimera NO_x – emissionen från sodapannor med moderna luftsystem och hög luttorrhalt.

Utfall:

För detta mål har nya och delvis okända processamband uppdagats. I denna studie har imångornas ammoniakinhåll kartlagts på ett systematiskt sätt. Halten NH₃ har visat sig vara hög, både vid referenskörningen och under 3FS-provet.

Den andra upptäckten var, så som redogjordes under avsnitt 6.2, att temperaturen i tertiärregistret var hög. Detta ledde till att ammoniaken i imångorna oxiderades och gav upphov till en mätbar ökning av NO_x-halten i rökgasen.

6.5 Indirekta mål

Mål:

Genom projektet kommer den svenska skogsindustrins att ha förutsättningar att öka sin konkurrenskraft med en bättre tillgänglighet och mindre driftsproblem i sodapannorna. Miljöutsläppen kan minskas i motsvarande grad.

Projektet kommer att involvera representanter från massaindustrin, leverantörerna, konsulter och eventuellt högskolor. Detta kommer att skapa nätverk inom branschen och bidra till samtliga deltagares kompetenshöjning.

Utfall:

De indirekta målen är svårare att kvantifiera, men det andra delmålet har uppnåtts. I 3FS-projektet har följande parter varit involverade: ÅF, Sodahuskommittén, Stora Enso, Metso Power, Åbo Akademi, STFI-Packforsk, Värmeforsk samt SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

7 Rekommendationer och användning

För sodapannor kan följande rekommendationer göras:

- Om imångor eldas i sodapannan, skall dessa tillföras sodapannan i ett temperaturområde som understiger 1000°C. Eventuellt NH₃-innehåll i imångorna kommer att reducera närvarande NO_x. Lämpliga positioner är sekundär-, tertiär- eller kvartärregistren (om sådana finns) i sodapannan, beroende på luttorrhalt, luftsystem och eldningssätt.

8 Förslag till fortsatt forskningsarbete

- ❑ Fördjupade studier av ammoniakhalten i imångorna på samtliga sodapannor i Sverige.
- ❑ Fördjupade studier av NO_x-halten i rökgaserna i de sodapannor, vilka eldar imångor i pannan (Gruvön, Värö, Skoghall, Östrand, Obbola).
- ❑ Ytterligare provtagning av smälta ur sodapannors bäddar, för att bygga upp kompetensen om bäddars kemi och kolhalt i nya sodapannor med hög luttorrhalt.
- ❑ Fördjupade studier kring frågan om reduktionsreaktionen kan ske i suspension, innan den utbrända koksresten når bädden.

9 Litteraturreferenser

- [1] Johansson, U; "Kalium- och kloridutblödning kan vara en förutsättning för maximerad elgenerering från en sodapanna", Sodahuskonferensen 2005, AB Ångpanneföreningen, Stockholm november 2005
- [2] Björklund, H, Warnqvist, B, Pettersson, B; "Inside a kraft recovery boiler: Combustion of (high-sulphidity) black liquor at high dry solids", TAPPI 1989 International Chemical Recovery Conference, pp 177-182, ISBN-0-919893-68-6, Montreal Canada 1989
- [3] Björklund, H, Warnqvist, B, Pettersson, B; "Inside a kraft recovery boiler: Combustion of high-sulphidity black liquor at high dry solids", Pulp&Paper Canada, Vol 92, T206, Toronto Canada 1991
- [4] Warnqvist, B; "Char bed and smelt properties – mill studies", TAPPI 1992 International Chemical Recovery Conference, pp 551-556, ISBN-0-89852-849-6, Seattle USA 1994
- [5] Warnqvist, B; "Char bed and smelt properties – mill studies", Pulp&Paper Canada, Vol 95, T313, Toronto Canada 1994
- [6] Bruno, F; "Thermo chemical aspects on chloride corrosion in kraft recovery boilers", NACE Corrosion 2001 Conference, Houston Texas USA 2001

Bilagor

Bilaga A Pannlayout med provpunkter

Driftdata ur DCS – Tabeller, Bilaga B – F

Bilaga B Vatten- och ångsidans temperaturer, tryck och flöden

Bilaga C Luftsidans temperaturer, tryck och flöden

Bilaga D Rökgassidans temperaturer, tryck, flöden och halter

Bilaga E Kringutrustning; temperaturer, tryck och flöden

Bilaga F Emissioner till luft

Analysdata från punkt-, stick- och samlingsprov, samt loggade data från temporära givare – Tabeller och figurer, Bilaga G - R

Bilaga G Lutanalyser, SP

Bilaga H Bäddsmälta – sammansättning, SP

Bilaga H2 Smältatemperaturer i löprännor, ÅF

Bilaga I Smältaanalyser från bädd och löprännor, Åbo Akademi, se Bilaga DA

Bilaga J Grönlut – Karakteristika, Skoghall

Bilaga K Rökgastemperaturer, Åbo Akademi

Bilaga K2 Gastemperaturer vid lutsprutenivån, ÅF

Bilaga K3 Gastemperaturer i pannan, ÅF

Bilaga L Stoftbeläggningsmätningar och –analyser, Åbo Akademi, se Bilaga DA

Bilaga M Askanalyser, SP

Bilaga N Gasanalyser från panntopp, imånga och svaggas, ÅF

Bilaga O NH₃-halt i imånga, olika analysmetoder, ÅF

Bilaga P NH₃- och total S-halt i imång- och svaggaskondensat, SP

Bilaga Q TRS-halter i imånga och svaggaser, Skoghall

Bilaga R Emissioner till luft - temporära givare, ÅF

Driftdata ur DCS – Trender, Bilaga AA – AH

Bilaga AA Lut-, matarvatten- och ångflöden

Bilaga AB Pannbottentemperatur och domtryck

Bilaga AC Ånga från pannan, tryck och temperatur

Bilaga AD Luftflöden till pannan

Bilaga AE Eldstadstemperatur

Bilaga AF O₂-halt i rökgaser

Bilaga AG O₂- och NO-halter i rökgaser från skorsten

Bilaga AH O₂- och CO-halter i rökgaser från skorsten

Loggade data från temporära givare – Trender, Bilaga BA – BB

Bilaga BA NO- och NH₃-halter i rökgaser från skorsten

Bilaga BB CO- och CO₂-halter i rökgaser från skorsten

NO_x / N, Bilaga CA –CB

Bilaga CA Sammanfattning av NO_x-statistik

Bilaga CB Kväveflöden runt sodapannan

Rapporter, Bilaga DA – DC

Bilaga DA Rökgassidans beläggingsmätningar och analyser, smälta-provtagning och cyanat (OCN⁻)analyser; Rapport från Åbo Akademi

Bilaga DB Förhöjd luttorrhalt till sodapannan, analys av loggade data och laboratedata; Rapport från STFI

Bilaga DC 3FS energieffektivitet; Rapport från ÅF

Destruktionsugnen, Bilaga EA – EF

Bilaga EA Destruktionsugnen; förhållanden och emissioner – Tabell

Bilaga EB Absorptionstorn till destruktionsugnen; halter av Na och totalt S – Tabell

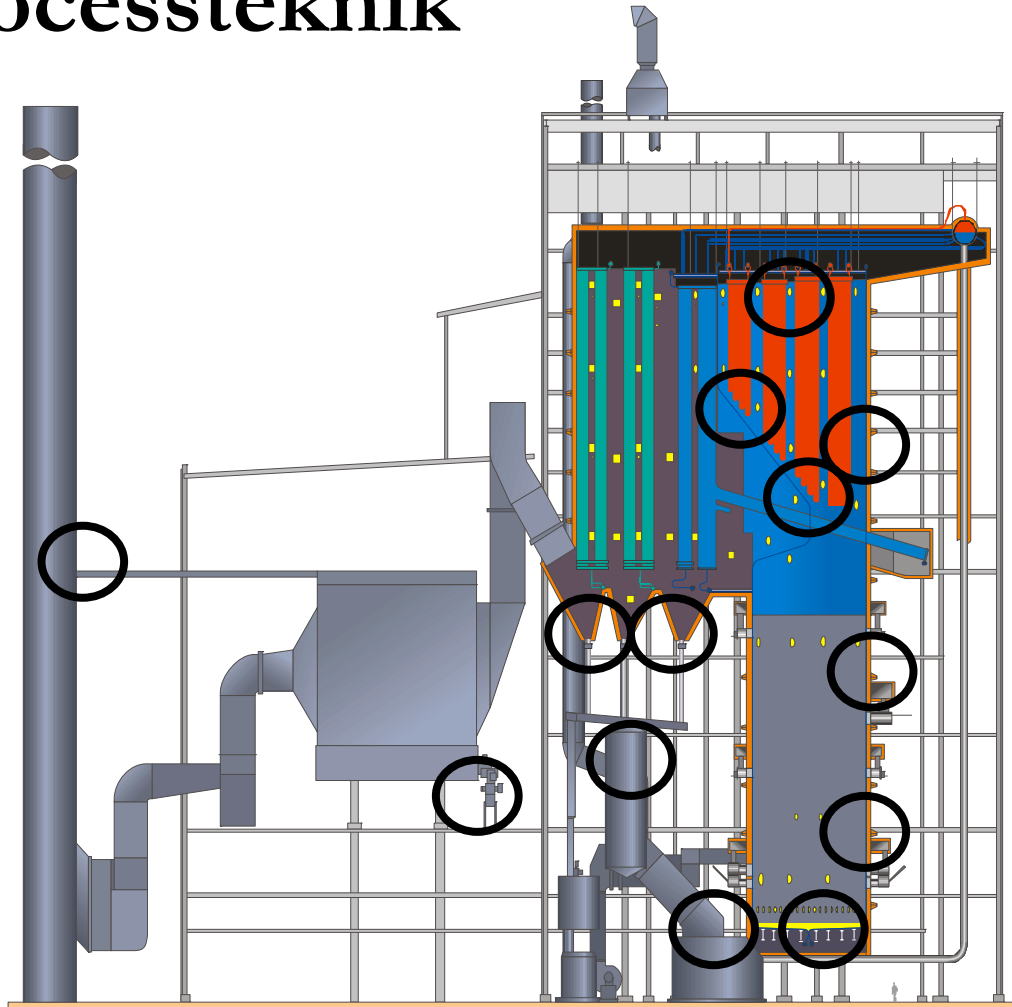
Bilaga EC Destruktionsugnen; bränsleflöden – Trend

Bilaga ED Destruktionsugnen; luft- och temperaturdata – Trend

Bilaga EE Destruktionsugnen; SOX-halt i rökgaser – Trend

Bilaga EF Destruktionsugnen; O2- och NOX-halter i rökgaser – Trend

Provtagningspunkter i delmomentet Processteknik



Sodapannan Mikaela
Stora Enso, Skoghalls Bruk

Provtagningspunkterna
är markerade med svarta cirklar.
Provpunkter för lut och
kondensat, ej i bild

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Driftdata ur DCS - Tabeller

Bilaga B - F

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Vatten/långsidans temperaturer, tryck och flöden

			Referens 20071128	Provdag 1 20071130	Provdag 2 20071201
321PI7064					
MAVA FÖRE ECO		Tryck			
	Max	MPa	11.49	11.42	11.22
	Min	MPa	11.17	10.94	11.06
	Medel	MPa	11.28	11.19	11.15
321PI7055					
MAVA TILL PANNA		Tryck			
	Max	MPa	12.31	12.35	12.04
	Min	MPa	11.98	11.77	11.88
	Medel	MPa	12.12	12.02	11.99
321TI7063					
MAVA FÖRE ECO		Temp			
	Max	°C	117.94	117.17	117.87
	Min	°C	117.60	116.93	116.96
	Medel	°C	117.62	117.03	117.11
321FC7056					
MAVA TILL PANNA		Flöde			
	Max	t/h	270.56	261.32	266.42
	Min	t/h	218.20	208.28	213.85
	Medel	t/h	240.77	238.39	242.53
321TI7065					
MAVA EFTER ECO 1 VÄ		Temp			
	Max	°C	146.46	147.44	146.89
	Min	°C	140.27	138.55	141.98
	Medel	°C	143.36	142.23	143.77
321TI7066					
MAVA EFTER ECO 1 HÖ		Temp			
	Max	°C	148.40	144.85	144.66
	Min	°C	140.11	139.58	142.21
	Medel	°C	144.21	142.00	143.28
321TI7067					
MAVA EFTER ECO 2 VÄ		Temp			
	Max	°C	219.82	223.12	221.6
	Min	°C	202.46	199.93	203.1
	Medel	°C	209.57	206.98	209.0
321TI7068					
MAVA EFTER ECO 2 HÖ		Temp			
	Max	°C	217.46	216.69	212.67
	Min	°C	201.06	199.05	200.62
	Medel	°C	207.27	206.54	206.45
321TI7069					
MAVA EFTER ECO 3 VÄ		Temp			
	Max	°C	256.94	255.98	253.75
	Min	°C	245.01	242.23	241.98
	Medel	°C	249.48	248.51	248.71

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Vatten/ångsidans temperaturer, tryck och flöden

			Referens 20071128	Provdag 1 20071130	Provdag 2 20071201
321TI7070					
MAVA EFTER ECO 3 HÖ		Temp			
	Max	°C	256.62	260.39	255.39
	Min	°C	244.50	242.06	242.63
	Medel	°C	251.36	248.45	250.03
321TI7126					
ÅNGA FÖRE PRIM ÖH 2 VÄ		Temp			
	Max	°C	334.29	336.96	336.30
	Min	°C	333.95	329.75	333.54
	Medel	°C	334.12	332.78	334.92
321TI7127					
ÅNGA FÖRE PRIM ÖH 2 HÖ		Temp			
	Max	°C	335.84	334.86	334.56
	Min	°C	331.13	330.77	330.28
	Medel	°C	333.53	333.09	332.13
321TI7130					
ÅNGA EFTER PRIM ÖH 2 före ångkyl VÄ		Temp			
	Max	°C	391.30	385.96	380.63
	Min	°C	356.41	350.48	353.38
	Medel	°C	363.19	358.57	359.51
321TI7129					
ÅNGA EFTER PRIM ÖH 2 före ångkyl HÖ		Temp			
	Max	°C	389.60	394.48	389.67
	Min	°C	356.52	354.08	353.36
	Medel	°C	362.23	362.55	361.17
321TI7135					
ÅNGA FÖRE SEK ÖH efter ångkyl VÄ		Temp			
	Max	°C	371.72	360.88	361.02
	Min	°C	353.99	348.31	349.38
	Medel	°C	359.66	352.90	353.84
321TI7136					
ÅNGA FÖRE SEK ÖH efter ångkyl VÄ		Temp			
	Max	°C	371.56	363.07	361.04
	Min	°C	356.32	348.49	348.47
	Medel	°C	359.75	353.58	353.36
321TI7132					
ÅNGA FÖRE SEK ÖH efter ångkyl HÖ		Temp			
	Max	°C	377.81	377.4	379.85
	Min	°C	356.02	353.6	353.73
	Medel	°C	360.01	360.4	360.37
321TI7133					
ÅNGA FÖRE SEK ÖH efter ångkyl HÖ		Temp			
	Max	°C	378.40	377.85	379.51
	Min	°C	356.64	354.09	353.26
	Medel	°C	360.58	360.90	360.17

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Vatten/ångsidans temperaturer, tryck och flöden

			Referens 20071128	Provdag 1 20071130	Provdag 2 20071201
321FI7137					
MAVA TILL ÅNGKYL efter PRIM ÖH					
	Max	Flöde t/h	16.66	13.45	11.73
	Min	t/h	0.01	0.00	0.00
	Medel	t/h	0.22	0.23	0.18
321TI7150					
ÅNGA EFTER SEK ÖH före ångkyl VÄ					
	Max	Temp °C	453.03	465.95	463.50
	Min	°C	441.39	440.51	446.39
	Medel	°C	448.18	453.36	453.71
321TI7151					
ÅNGA EFTER SEK ÖH före ångkyl VÄ					
	Max	Temp °C	455.53	463.61	463.62
	Min	°C	443.09	440.19	446.39
	Medel	°C	449.25	453.48	454.69
321TI7147					
ÅNGA EFTER SEK ÖH före ångkyl HÖ					
	Max	Temp °C	454.52	453.89	450.91
	Min	°C	437.57	428.61	429.17
	Medel	°C	444.04	438.91	440.17
321TI7148					
ÅNGA EFTER SEK ÖH före ångkyl HÖ					
	Max	Temp °C	451.01	451.93	447.24
	Min	°C	436.51	430.06	428.32
	Medel	°C	444.49	438.37	439.10
321TI7154					
ÅNGA FÖRE TERT ÖH efter ångkyl VÄ					
	Max	Temp °C	445.35	442.48	440.59
	Min	°C	400.68	391.53	390.43
	Medel	°C	438.74	434.52	433.64
321TI7155					
ÅNGA FÖRE TERT ÖH efter ångkyl VÄ					
	Max	Temp °C	445.73	442.27	441.60
	Min	°C	401.41	391.61	390.63
	Medel	°C	438.49	434.46	433.71
321TI7160					
ÅNGA FÖRE TERT ÖH efter ångkyl HÖ					
	Max	Temp °C	446.52	457.76	457.76
	Min	°C	395.31	403.17	393.12
	Medel	°C	439.94	444.50	443.52
321TI7161					
ÅNGA FÖRE TERT ÖH efter ångkyl HÖ					
	Max	Temp °C	446.74	457.85	457.85
	Min	°C	395.31	403.41	393.39
	Medel	°C	440.10	444.84	443.14

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Vatten/ångsidans temperaturer, tryck och flöden

			Referens 20071128	Provdag 1 20071130	Provdag 2 20071201
321FI7138					
MAVA TILL ÅNGKYL efter SEK ÖH					
	Max	Flöde t/h	14.15	15.26	15.63
	Min	t/h	0.00	0.00	0.00
	Medel	t/h	1.39	1.11	1.29
321TI7157					
ÅNGA EFTER TERT ÖH VÄ					
	Max	Temp °C	508.31	518.16	508.30
	Min	°C	479.99	462.30	471.27
	Medel	°C	492.73	492.12	490.31
321TI7158					
ÅNGA EFTER TERT ÖH VÄ					
	Max	Temp °C	505.80	513.75	506.04
	Min	°C	482.53	463.80	472.94
	Medel	°C	493.17	491.85	490.42
321TI7163					
ÅNGA EFTER TERT ÖH HÖ					
	Max	Temp °C	509.49	514.40	514.26
	Min	°C	484.43	465.65	480.48
	Medel	°C	494.99	493.64	496.98
321TI7164					
ÅNGA EFTER TERT ÖH HÖ					
	Max	Temp °C	509.18	511.61	509.14
	Min	°C	488.83	466.15	480.27
	Medel	°C	494.87	493.65	496.69
321TI7170					
ÅNGA FRÅN PANNA					
	Max	Temp °C	506.78	511.50	507.86
	Min	°C	486.04	464.85	480.33
	Medel	°C	493.92	492.90	493.58
321PC7176					
ÅNGA FRÅN PANNA					
	Max	Tryck MPa	10.39	10.35	10.07
	Min	MPa	10.03	9.88	9.97
	Medel	MPa	10.18	10.09	10.02
321PZ7183					
UTGÅENDE ÅNGA					
	Max	Tryck MPa	10.29	10.29	10.07
	Min	MPa	9.88	9.67	9.84
	Medel	MPa	10.06	9.98	9.97
321FZ7184					
UTGÅENDE ÅNGA					
	Max	Flöde t/h	255.10	258.00	253.59
	Min	t/h	219.54	218.04	222.88
	Medel	t/h	235.21	233.14	237.01

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Vatten/långsidans temperaturer, tryck och flöden

			Referens 20071128	Provdag 1 20071130	Provdag 2 20071201
321FC7509					
MELLANTJOCKLUT			Flöde		
TILL MIXTANK	Max	m ³ /h	40.32	40.13	39.87
	Min	m ³ /h	40.22	40.08	39.87
	Medel	m ³ /h	40.27	40.11	39.87
321TI7501					
MELLANTJOCKLUT			Temp		
TILL MIXTANK	Max	°C	101.97	100.27	101.23
	Min	°C	101.88	97.31	98.27
	Medel	°C	101.92	99.10	100.07
321FC7500					
TJOCKLUT TILL MIXTANK			Flöde		
	Max	m ³ /h	0.02	0.02	0.02
	Min	m ³ /h	0.02	0.02	0.02
	Medel	m ³ /h	0.02	0.02	0.02
321FZ7551					
BRÄNNLUT TILL ELDSTAD			Flöde		
	Max	m ³ /h	70.20	70.40	68.63
	Min	m ³ /h	69.83	65.10	66.21
	Medel	m ³ /h	70.01	66.77	67.78

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Luftsidans temperaturer, tryck och flöden

			Referens 20071128	Provdag 1 20071130	Provdag 2 20071201
321FC7241					
FLÖDE PRIMÄRLUFT		Flöde			
	Max	Nm ³ /h	55551	56155	55521
	Min	Nm ³ /h	55151	53964	54227
	Medel	Nm ³ /h	55351	55300	54895
321FZ7231					
FLÖDE SEKUNDÄRLUFT		Flöde			
	Max	Nm ³ /h	68102	68635	68424
	Min	Nm ³ /h	67165	66551	66523
	Medel	Nm ³ /h	67665	67147	67673
321TI7250					
SVAGGAS		Temp			
	Max	°C	41.09	40.91	40.70
	Min	°C	38.40	37.78	39.02
	Medel	°C	39.76	39.88	39.62
321TC7258					
SVAGGAS		Temp			
	Max	°C	111.04	111.35	110.29
	Min	°C	98.11	98.46	99.97
	Medel	°C	105.99	105.99	105.97
321FI7254					
FLÖDE SVAGGAS		Flöde			
	Max	Nm ³ /h	567.9	621.6	655.5
	Min	Nm ³ /h	563.1	611.0	642.7
	Medel	Nm ³ /h	565.5	616.3	649.1
321FC7285					
FLÖDE TERTIÄRLUFT		Flöde			
	Max	Nm ³ /h	35472	41770	50783
	Min	Nm ³ /h	14736	16875	21515
	Medel	Nm ³ /h	19352	25887	30130
	Stdev	Nm ³ /h	2128	5793	5620
321FC7300					
FLÖDE KVARTÄRLUFT		Flöde			
	Max	Nm ³ /h	21235	50797	22970
	Min	Nm ³ /h	20883	261	19096
	Medel	Nm ³ /h	20964	23335	20739
	Stdev	Nm ³ /h	79.5	5255	980

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Rökgassidans temperaturer, tryck, flöden och halter

			Referens 20071128	Provdag 1 20071130	Provdag 2 20071201
321TI7329					
ELDSTAD		Temp			
	Max	°C	1200	1169	1154
	Min	°C	996	949	973
	Medel	°C	1094	1047	1069
321TI7330					
ELDSTAD		Temp			
	Max	°C	855	864	853
	Min	°C	717	717	779
	Medel	°C	749	822	830
	Stdev	°C	46	34	8.6
321PZ7311					
ELDSTAD VÄ		Tryck			
	Max	kPa	0.01	0.01	0.02
	Min	kPa	-0.14	-0.17	-0.12
	Medel	kPa	-0.04	-0.06	-0.06
321PZ7312					
ELDSTAD MITTEN		Tryck			
	Max	kPa	0.05	0.09	0.12
	Min	kPa	-0.10	-0.18	-0.11
	Medel	kPa	-0.01	-0.03	-0.03
321PZ7313					
ELDSTAD HÖ		Tryck			
	Max	kPa	0.10	0.10	0.10
	Min	kPa	-0.05	-0.07	-0.08
	Medel	kPa	0.05	0.03	0.03
321TI7320					
RÖKGAS EFTER ÖH VÄ		Temp			
	Max	°C	532.5	545.1	549.7
	Min	°C	486.7	487.7	490.1
	Medel	°C	513.6	515.9	515.3
321TI7319					
RÖKGAS EFTER ÖH HÖ		Temp			
	Max	°C	534.4	530.4	519.2
	Min	°C	472.7	447.4	454.2
	Medel	°C	511.7	493.6	490.4
321TI7321					
RÖKGAS EFTER KONVEKTION VÄ		Temp			
	Max	°C	361.9	367.7	367.6
	Min	°C	325.3	322.7	322.7
	Medel	°C	342.3	341.3	341.7
321TI7322					
RÖKGAS EFTER KONVEKTION HÖ		Temp			
	Max	°C	358.4	363.2	364.8
	Min	°C	322.8	318.0	320.0
	Medel	°C	342.4	337.3	339.7

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Rökgassidans temperaturer, tryck, flöden och halter

			Referens 20071128	Provdag 1 20071130	Provdag 2 20071201
321TI7323					
RÖKGAS EFTER					
ECO 2 VÄNSTER					
	Max	Temp °C	216.0	215.0	215.6
	Min	°C	194.3	191.0	192.8
	Medel	°C	204.0	199.9	201.1
321TI7324					
RÖKGAS EFTER					
ECO 2 HÖGER					
	Max	Temp °C	216.6	216.0	216.5
	Min	°C	193.3	191.8	191.2
	Medel	°C	203.2	199.7	201.0
321AI7325					
RÖKGAS O2					
EFTER KONV VÄ					
	Max	O2-halt %	3.14	3.93	3.11
	Min	%	1.55	1.38	1.72
	Medel	%	2.40	2.43	2.32
	Stdev	%	0.198	0.333	0.210
321AI7326					
RÖKGAS O2					
EFTER KONV HÖ					
	Max	O2-halt %	3.19	4.91	4.23
	Min	%	1.70	1.81	2.45
	Medel	%	2.47	3.11	3.08
	Stdev	%	0.275	0.430	0.310
321TI7335					
RÖKGAS EFTER ECO/					
FÖRE ELFILTER VÄ					
	Max	Temp °C	155.2	153.4	156.2
	Min	°C	141.3	140.6	141.1
	Medel	°C	146.9	145.5	146.1
321TI7360					
RÖKGAS EFTER ECO/					
FÖRE ELFILTER HÖ					
	Max	Temp °C	155.6	155.1	155.8
	Min	°C	141.3	140.9	141.0
	Medel	°C	147.9	146.6	147.1
321AI7336					
RÖKGAS O2					
FÖRE ELFILTER 1470					
	Max	O2-halt %	2.86	3.75	2.89
	Min	%	1.29	1.14	1.48
	Medel	%	2.16	2.23	2.13
	Stdev	%	0.201	0.333	0.208
321AI7361					
RÖKGAS O2					
FÖRE ELFILTER 1480					
	Max	O2-halt %	2.87	4.10	3.59
	Min	%	1.74	1.60	2.29
	Medel	%	2.32	2.80	2.76
	Stdev	%	0.202	0.365	0.239

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Rökgassidans temperaturer, tryck, flöden och halter

			Referens 20071128	Provdag 1 20071130	Provdag 2 20071201
321AI7337					
RÖKGAS CO					
FÖRE ELFILTER 1470		CO-halt			
	Max	ppm	3087.9	3497.1	1871.7
	Min	ppm	0.0	1.5	0.3
	Medel	ppm	148.8	214.8	164.0
	Stdev	ppm	287.1	336.8	170.5
321AI7362					
RÖKGAS CO					
FÖRE ELFILTER 1480		CO-halt			
	Max	ppm	306.5	425.3	406.2
	Min	ppm	0.0	0.0	0.1
	Medel	ppm	58.0	67.0	61.6
	Stdev	ppm	40.9	39.0	33.5
321TI7355					
RÖKGAS					
EFTER ELFILTER 1470		Temp			
	Max	°C	148.8	149.4	149.5
	Min	°C	141.2	140.3	141.6
	Medel	°C	145.6	144.0	144.6
321TI7378					
RÖKGAS					
EFTER ELFILTER 1480		Temp			
	Max	°C	149.4	148.5	153.0
	Min	°C	142.8	139.1	141.0
	Medel	°C	146.7	144.6	145.9
321TI7385					
RÖKGAS SKORSTEN					
		Temp			
	Max	°C	153.4	152.4	153.9
	Min	°C	144.0	140.2	143.0
	Medel	°C	147.5	145.7	146.8
321AI7399					
RÖKGAS SKORSTEN					
		NO-halt			
	Max	ppm	87.2	87.8	91.0
	Min	ppm	68.4	70.3	70.7
	Medel	ppm	77.2	79.5	83.0
	Stdev	ppm	2.53	3.13	3.31
321AI7400					
RÖKGAS SKORSTEN					
		NO2-halt			
	Max	ppm	4.28	3.51	3.42
	Min	ppm	0.44	0.65	0.00
	Medel	ppm	2.48	1.77	0.99
	Stdev	ppm	0.49	0.44	0.47
321AI7388					
RÖKGAS SKORSTEN					
		SOX-halt			
	Max	ppm	2.93	0.00	2.05
	Min	ppm	0.00	0.00	0.00
	Medel	ppm	1.24	0.00	0.12
	Stdev	ppm	0.54	0.00	0.28

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Rökgassidans temperaturer, tryck, flöden och halter

			Referens 20071128	Provdag 1 20071130	Provdag 2 20071201
321AI7389					
RÖKGAS SKORSTEN		O2-halt			
	Max	%	4.75	4.77	4.10
	Min	%	2.66	2.23	2.75
	Medel	%	3.04	3.42	3.35
	Stdev	%	0.20	0.38	0.25
321AI7390					
RÖKGAS SKORSTEN		CO-halt			
	Max	ppm	500	500	500
	Min	ppm	3.07	6.21	5.57
	Medel	ppm	70.8	105.0	90.8
	Stdev	ppm	84.4	104.5	73.3
321AI7391					
RÖKGAS SKORSTEN		H2S-halt			
	Max	ppm	0.26	0.29	0.35
	Min	ppm	0.00	0.00	0.00
	Medel	ppm	0.05	0.05	0.04
	Stdev	ppm	0.045	0.048	0.048

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Kringutrustning; tryck, temperaturer och flöden

			Referens 20071128	Provdag 1 20071130	Provdag 2 20071201
321PI7192					
SOTÅNGA		Tryck			
	Max	MPa	10.79	10.83	10.53
	Min	MPa	10.37	10.25	10.38
	Medel	MPa	10.58	10.49	10.46
321TI7190					
SOTÅNGA		Temp			
	Max	°C	315	318	321
	Min	°C	268	267	268
	Medel	°C	278	279	279
321FI7204					
SOTÅNGA TILL ECONOMISER		Flöde			
	Max	t/h	18.15	20.95	14.56
	Min	t/h	0.01	0.00	0.00
	Medel	t/h	1.78	1.74	1.79
	Stdev	t/h	3.96	3.93	3.86
321FI7200					
SOTÅNGA TILL KONVEKTIONSTUBER		Flöde			
	Max	t/h	15.14	14.76	14.54
	Min	t/h	0.00	0.00	0.00
	Medel	t/h	3.39	3.78	4.49
	Stdev	t/h	5.26	5.41	5.77
321FI7196					
SOTÅNGA TILL ÖH		Flöde			
	Max	t/h	15.57	15.31	15.67
	Min	t/h	0.00	0.00	0.00
	Medel	t/h	1.66	1.77	1.87
	Stdev	t/h	3.89	3.97	4.08
321FI7608					
SVAGLUT TILL SODALÖSARE		Flöde			
	Max	m³/h	270.4	141.6	143.6
	Min	m³/h	67.5	51.6	92.6
	Medel	m³/h	93.5	94.9	118.6
321FI7599					
GRÖNLUT FRÅN LÖSARE PUMP P1671		Flöde			
	Max	m³/h	179.9	240.7	238.1
	Min	m³/h	17.1	11.2	11.2
	Medel	m³/h	129.7	140.5	32.3
321TI7600					
GRÖNLUT FRÅN LÖSARE		Temp			
	Max	°C	101.8	101.2	101.65
	Min	°C	52.0	54.6	51.54
	Medel	°C	97.8	99.1	67.18

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Kringutrustning; tryck, temperaturer och flöden

			Referens 20071128	Provdag 1 20071130	Provdag 2 20071201
321DC7601					
GRÖNLUT		Densitet			
FRÅN LÖSARE	Max	kg/m ³	1241	1221	1216
	Min	kg/m ³	1149	1120	1102
	Medel	kg/m ³	1215	1210	1209
321FI7605					
GRÖNLUT		Flöde			
FRÅN LÖSARE	Max	m ³ /h	293.7	269.6	270
PUMP P1672	Min	m ³ /h	43.3	14.3	21
	Medel	m ³ /h	64.2	51.0	140
321TI7606					
GRÖNLUT		Temp			
FRÅN LÖSARE	Max	°C	99.4	100.8	100.8
	Min	°C	50.3	47.5	54.1
	Medel	°C	65.1	65.4	96.4
321DC7607					
GRÖNLUT		Densitet			
FRÅN LÖSARE	Max	kg/m ³	1241	1215	1217
	Min	kg/m ³	1068	1042	1057
	Medel	kg/m ³	1106	1085	1198
321FC7880					
IMÅNGA TILL		Flöde			
TERTIÄRLUFT	Max	Nm ³ /h	24105	19806	20881
	Min	Nm ³ /h	14	5567	915
	Medel	Nm ³ /h	19096	17632	18401
	Stdev		1770	1568	1345
				Exkl data då imånga togs över tak med avsikt	Exkl data då imånga togs över tak med avsikt
				ca 15 - 16 ca 19 - 21	ca 11 - 13 ca 17 - 19

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Emissioner till luft

			Referens 20071128	Provdag 1 20071130	Provdag 2 20071201
321AI7336					
RÖKGAS O2			O2-halt		
FÖRE ELFILTER 1470	Max	%	2.86	3.75	2.89
	Min	%	1.29	1.14	1.48
	Medel	%	2.16	2.23	2.13
	Stdev	%	0.201	0.333	0.208
321AI7361					
RÖKGAS O2			O2-halt		
FÖRE ELFILTER 1480	Max	%	2.87	4.10	3.59
	Min	%	1.74	1.60	2.29
	Medel	%	2.32	2.80	2.76
	Stdev	%	0.202	0.365	0.239
321AI7337					
RÖKGAS CO			CO-halt		
FÖRE ELFILTER 1470	Max	ppm	3087.9	3497.1	1871.7
	Min	ppm	0.0	1.5	0.3
	Medel	ppm	148.8	214.8	164.0
	Stdev	ppm	287.1	336.8	170.5
321AI7362					
RÖKGAS CO			CO-halt		
FÖRE ELFILTER 1480	Max	ppm	306.5	425.3	406.2
	Min	ppm	0.0	0.0	0.1
	Medel	ppm	58.0	67.0	61.6
	Stdev	ppm	40.9	39.0	33.5
321AI7399					
RÖKGAS SKORSTEN			NO-halt		
	Max	ppm	87.2	87.8	91.0
	Min	ppm	68.4	70.3	70.7
	Medel	ppm	77.2	79.5	83.0
	Stdev	ppm	2.53	3.13	3.31
321AI7400					
RÖKGAS SKORSTEN			NO2-halt		
	Max	ppm	4.28	3.51	3.42
	Min	ppm	0.44	0.65	0.00
	Medel	ppm	2.48	1.77	0.99
	Stdev	ppm	0.49	0.44	0.47
321AI7388					
RÖKGAS SKORSTEN			SOX-halt		
	Max	ppm	2.93	0.00	2.05
	Min	ppm	0.00	0.00	0.00
	Medel	ppm	1.24	0.00	0.12
	Stdev	ppm	0.54	0.00	0.28
321AI7389					
RÖKGAS SKORSTEN			O2-halt		
	Max	%	4.75	4.77	4.10
	Min	%	2.66	2.23	2.75
	Medel	%	3.04	3.42	3.35
	Stdev	%	0.20	0.38	0.25

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Emissioner till luft

			Referens 20071128	Provdag 1 20071130	Provdag 2 20071201
321AI7390					
RÖKGAS SKORSTEN		CO-halt			
	Max	ppm	500	500	500
	Min	ppm	3.07	6.21	5.57
	Medel	ppm	70.8	105.0	90.8
	Stdev	ppm	84.4	104.5	73.3
321AI7391					
RÖKGAS SKORSTEN		H2S-halt			
	Max	ppm	0.26	0.29	0.35
	Min	ppm	0.00	0.00	0.00
	Medel	ppm	0.05	0.05	0.04
	Stdev	ppm	0.045	0.048	0.048

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

**Analysdata från punkt-, stick- och samlingsprov,
samt loggade data från temporära givare**

Tabeller och Figurer

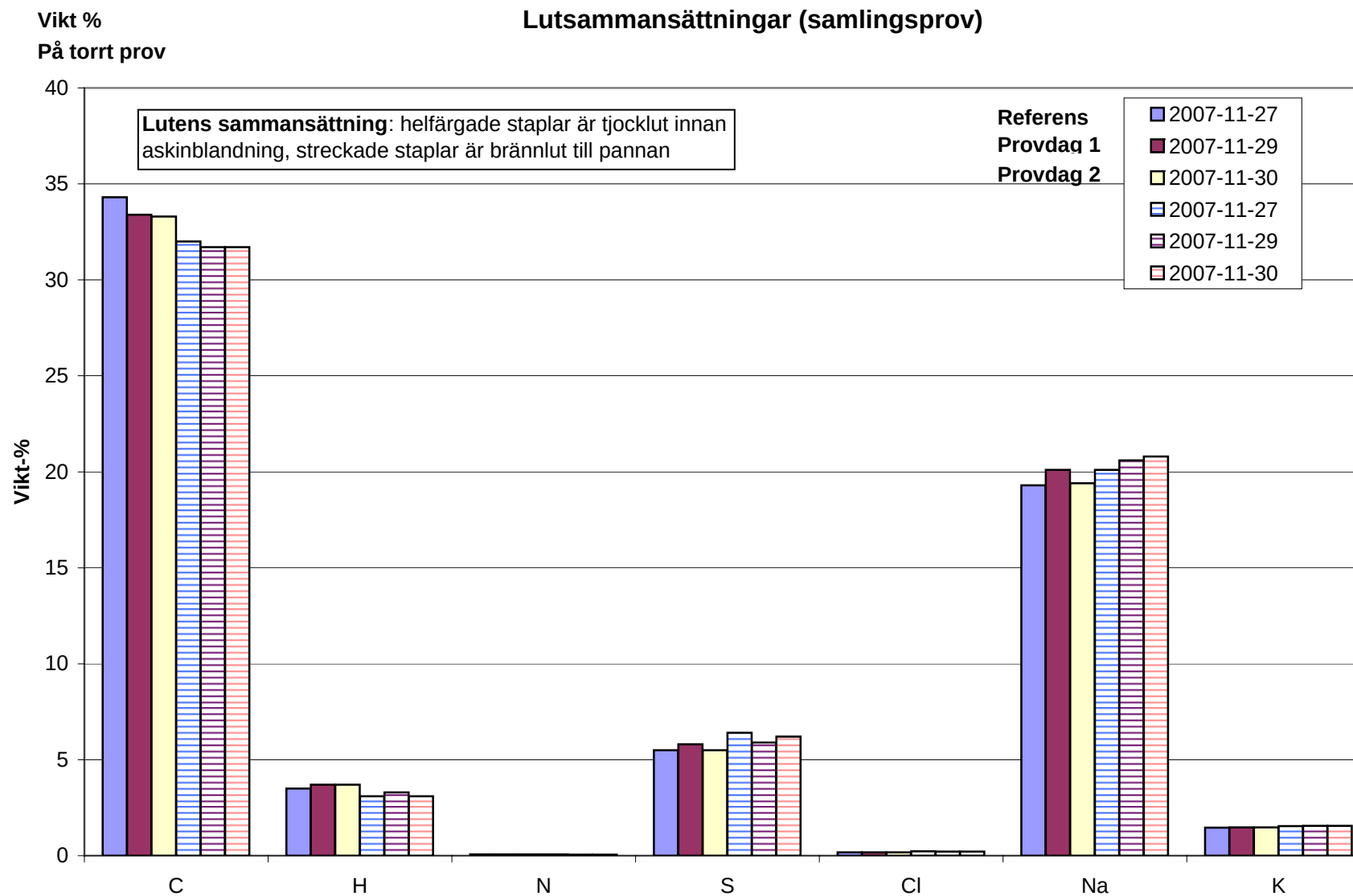
Bilaga G - R

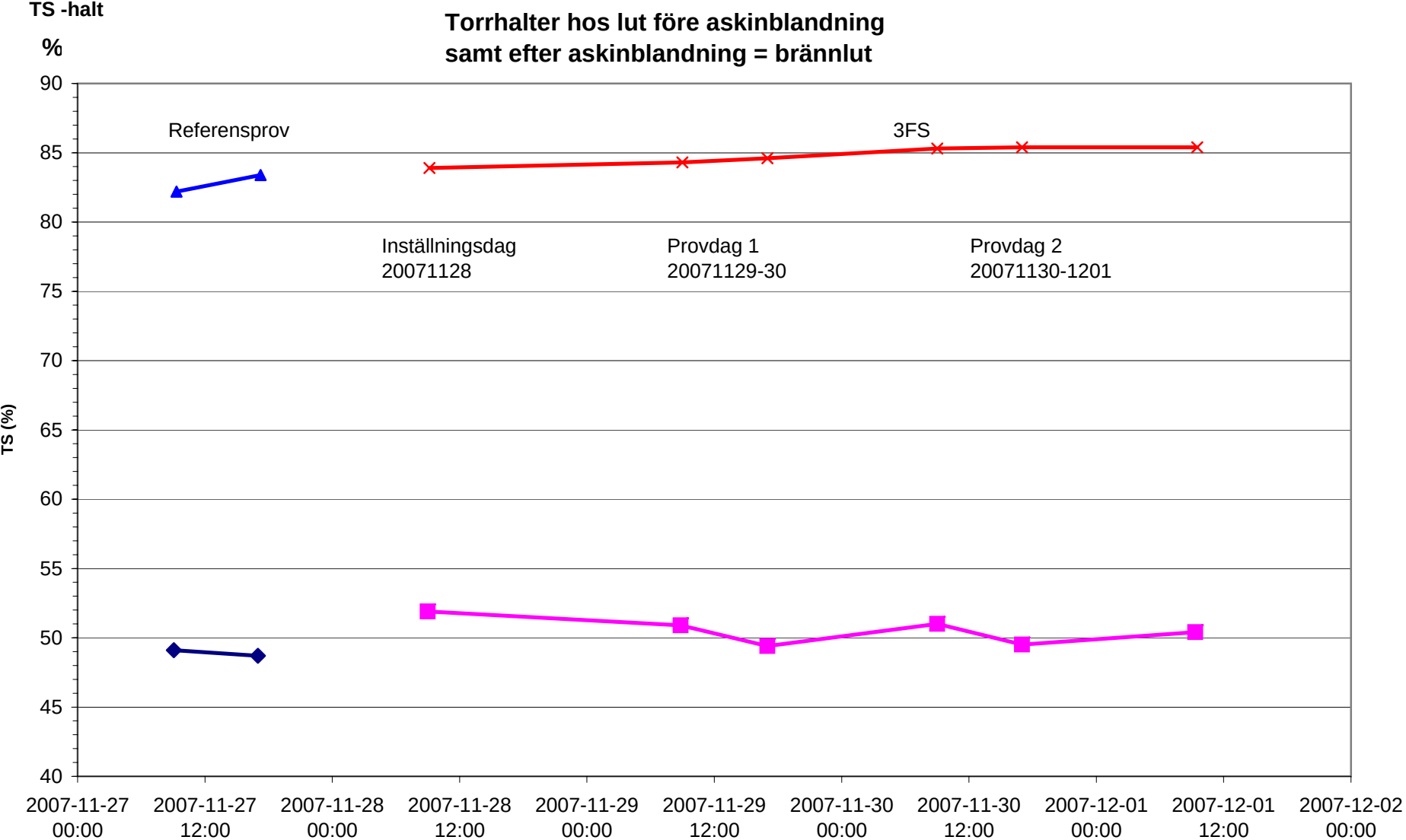
Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Tjocklut och brännlut - sammansättning samt torrhalter
Skoghall - provuttag; SP (Statens provningsanstalt) - analyser

		Tjocklut samlingsprov			Brännlut samlingsprov		
		Referens 2007-11-27	Provdag 1 2007-11-29	Provdag 2 2007-11-30	Referens 2007-11-27	Provdag 1 2007-11-29	Provdag 2 2007-11-30
Grundämne	På torrt prov						
C	vikt %	34.3	33.4	33.3	32	31.7	31.7
H	vikt %	3.5	3.7	3.7	3.1	3.3	3.1
N	vikt %	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06
S	vikt %	5.5	5.8	5.5	6.4	5.9	6.2
Cl	vikt %	0.18	0.18	0.17	0.23	0.21	0.21
Na	vikt %	19.3	20.1	19.4	20.1	20.6	20.8
K	vikt %	1.46	1.47	1.47	1.54	1.56	1.56
Torrhalt	%	49.3	48.2	49	82.4	85.5	85
HHV	MJ/kg	13.14	13.31	13.47	12.68	12.75	12.83
LHV	MJ/kg	12.39	12.53	12.69	12.02	12.07	12.07

	Tjocklut före askinblandning Torrhalter %		Brännlut Torrhalter %	
Referens	2007-11-27 09:04	49.1	2007-11-27 09:20	82.2
	2007-11-27 17:00	48.7	2007-11-27 17:15	83.4
Inställningsdag	2007-11-28 09:00	51.9	2007-11-28 09:10	83.9
Provdag 1	2007-11-29 08:50	50.9	2007-11-29 09:00	84.3
	2007-11-29 17:00	49.4	2007-11-29 17:00	84.6
Provdag 2	2007-11-30 09:00	51	2007-11-30 09:00	85.3
	2007-11-30 17:00	49.5	2007-11-30 17:00	85.4
	2007-12-01 09:20	50.4	2007-12-01 09:30	85.4





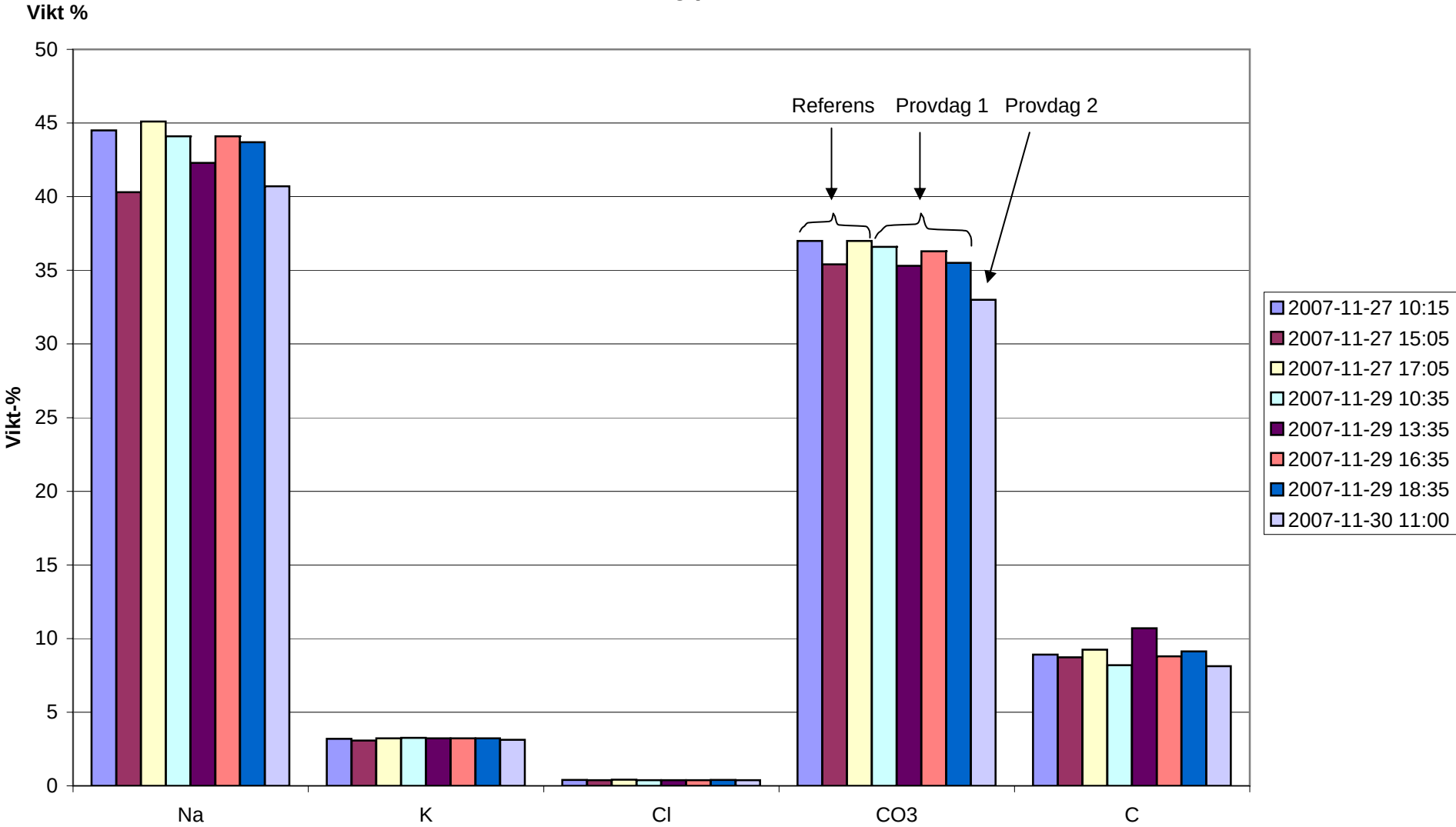
Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Bäddsmälta - sammansättning

Skoghall - provuttag; SP (Statens provningsanstalt) - analyser

	Referens			Provdag 1				Provdag 2
	2007-11-27 10:15	2007-11-27 15:05	2007-11-27 17:05	2007-11-29 10:35	2007-11-29 13:35	2007-11-29 16:35	2007-11-29 18:35	2007-11-30 11:00
Grundämne	vikt %	vikt %	vikt %	vikt %	vikt %	vikt %	vikt %	vikt %
Na	44.5	40.3	45.1	44.1	42.3	44.1	43.7	40.7
K	3.2	3.07	3.23	3.26	3.22	3.22	3.22	3.13
Cl	0.4	0.38	0.41	0.38	0.38	0.38	0.4	0.38
CO3	37	35.4	37	36.6	35.3	36.3	35.5	33
C	8.91	8.73	9.24	8.19	10.7	8.8	9.13	8.13
Kommentar	ytan	20 cm under ytan	20 cm under ytan	ytan	10 cm under ytan	ytan	10 cm under ytan	10 cm under ytan

Sammansättning på bäddsmälta



Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

SMÄLTA temperatur i löprännorna
Skoghall - Temperaturmätningar på smältan i löpen med strålningspyrometer ÅF

	Referens							Provdag 1						Provdag 2						
Löpränna	1	2	3	4	5	6	Medelvärde	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	Medelvärde
Max	932	----	959	951	----	909	938	899	----	911	1018	----	852	885	----	933	907	----	981	923
Min	887	----	858	905	----	841	873	831	----	855	845	----	824	848	----	826	893	----	836	845
Medel*	910	----	909	928	----	875	905	865	----	883	932	----	838	867	----	880	900	----	909	884
	OBS Löprännorna 2 och 5 var pluggade.																			
	*) 3- 6 enskilda mätningar per löpränna																			

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Smältaanalyser från bädd och löprännor, se rapport från Åbo Akademi, **Bilaga DA**

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghall's sodapanna SP5 Mikaela

Grönlut - karakteristika

Skoghall - provuttag och analyser

Referensprov

20071127-28

Datum / tid	Grönlut		
	Red.grad	Slamhalt	C
	%	mg/l	mg/l
2007-11-27 09:00	95.7	903	780
2007-11-27 17:00	97.4		740
2007-11-28 09:00	95.6	1244	760

Medel 96 1074 760

Provdag 1

20071129-30

Datum / tid	Grönlut		
	Red.grad	Slamhalt	C
	%	mg/l	mg/l
2007-11-29 09:00	93.7		840
2007-11-29 15:00	95.5	1065	720
2007-11-29 17:00		871	640

Medel 95 968 733

Provdag 2

200711230-1201

Datum	Grönlut		
	Red.grad	Slamhalt	C
	%	mg/l	mg/l
2007-11-30 09:00	95.8	900	720
2007-11-30 15:00	95.6	723	540 ← **)

Medel 96 812 630

**) Liten mängd prov

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Åbo Akademi - loggade rökgastemperaturer i pannan med temporära givare

Referensprov

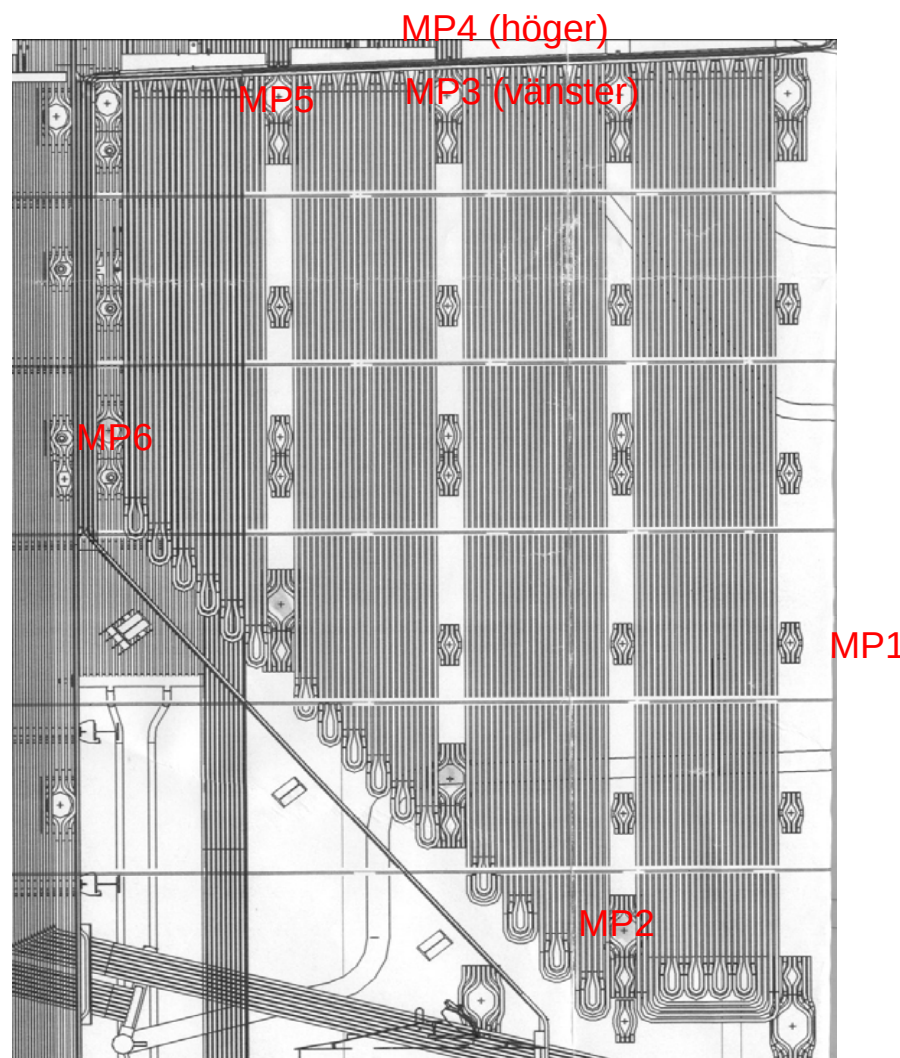
20071127_28

Mätdata dagtid 20071127

ca 10:15-17:00

MP5 °C
Max 607
Min 549
Medel 577

MP6 °C
Max 543
Min 480
Medel 513



MP3 °C
Max 651
Min 591
Medel 613

MP4 °C
Max 631
Min 616
Medel 623

MP1 °C
Max 894
Min 856
Medel 869

MP2 °C
Max 862
Min 663
Medel 774

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Åbo Akademi - loggade rökgastemperaturer i pannan med temporära givare

Provdag 1

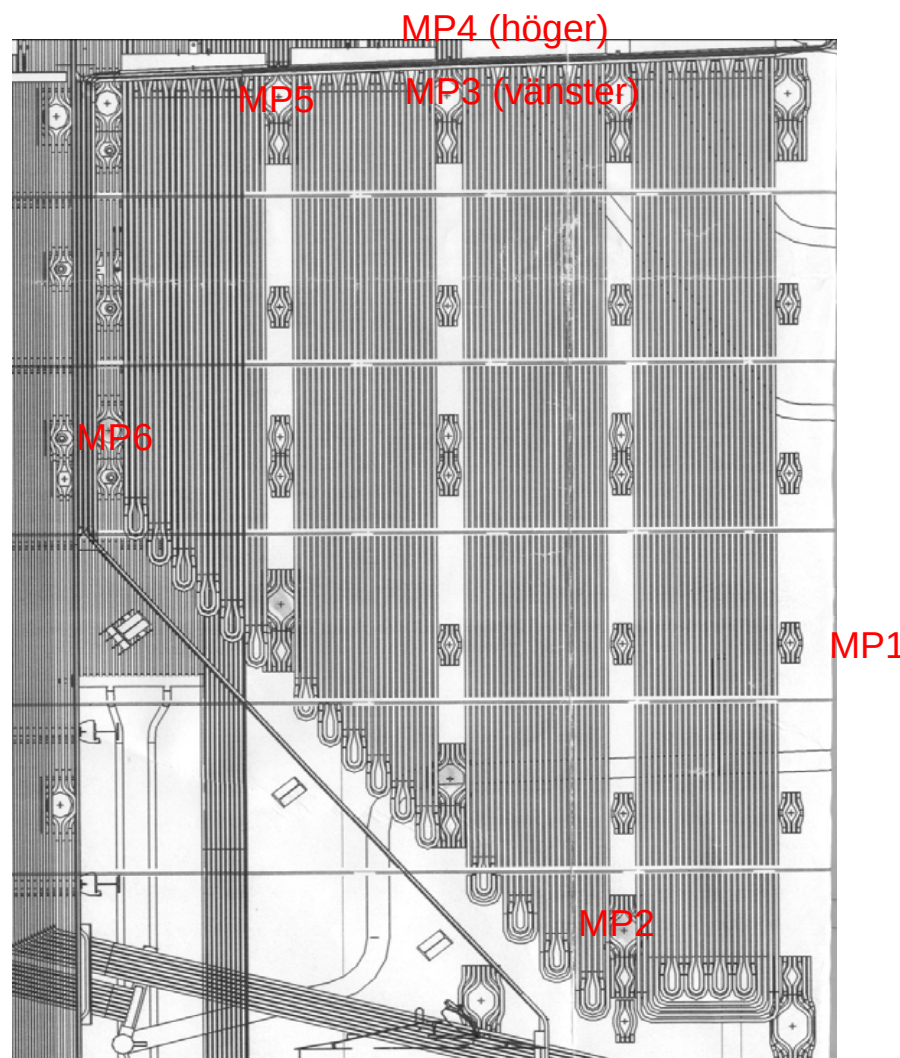
20071129_30

Mätdata dagtid 20071129

ca 08:00-18:00

MP5 °C
Max 618
Min 509
Medel 591

MP6 °C
Max 529
Min 445
Medel 483



MP3 °C
Max 649
Min 573
Medel 620

MP4 °C
Max 632
Min 563
Medel 605

MP1 °C
Max 873
Min 804
Medel 850

MP2 °C
Max 882
Min 578
Medel 741

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Åbo Akademi - loggade rökgastemperaturer i pannan med temporära givare

Provdag 2

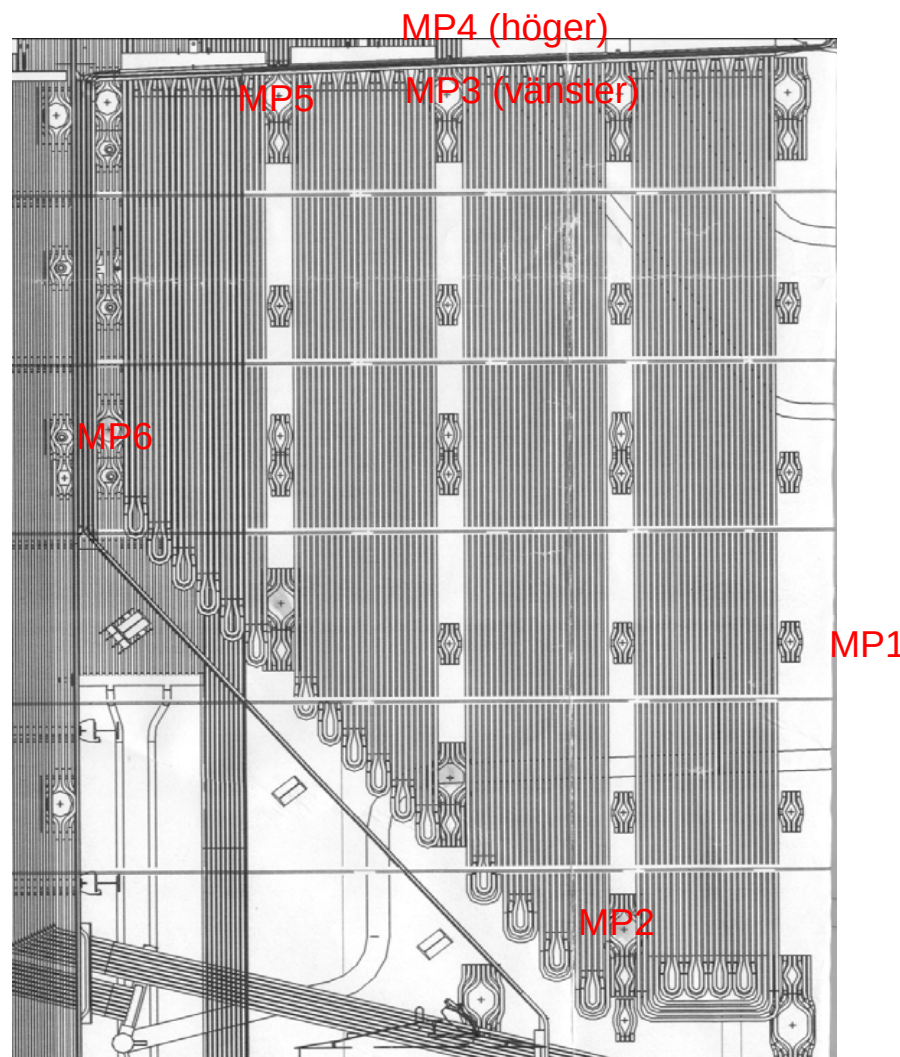
20071130_1201

Mätdata dagtid 20071130

ca 08:30-16:00

MP5 °C
Max 596
Min 500
Medel 562

MP6 °C
Max 545
Min 457
Medel 474



MP3 °C
Max 653
Min 566
Medel 611

MP4 °C
Max 610
Min 517
Medel 584

MP1 °C
Max 853
Min 782
Medel 818

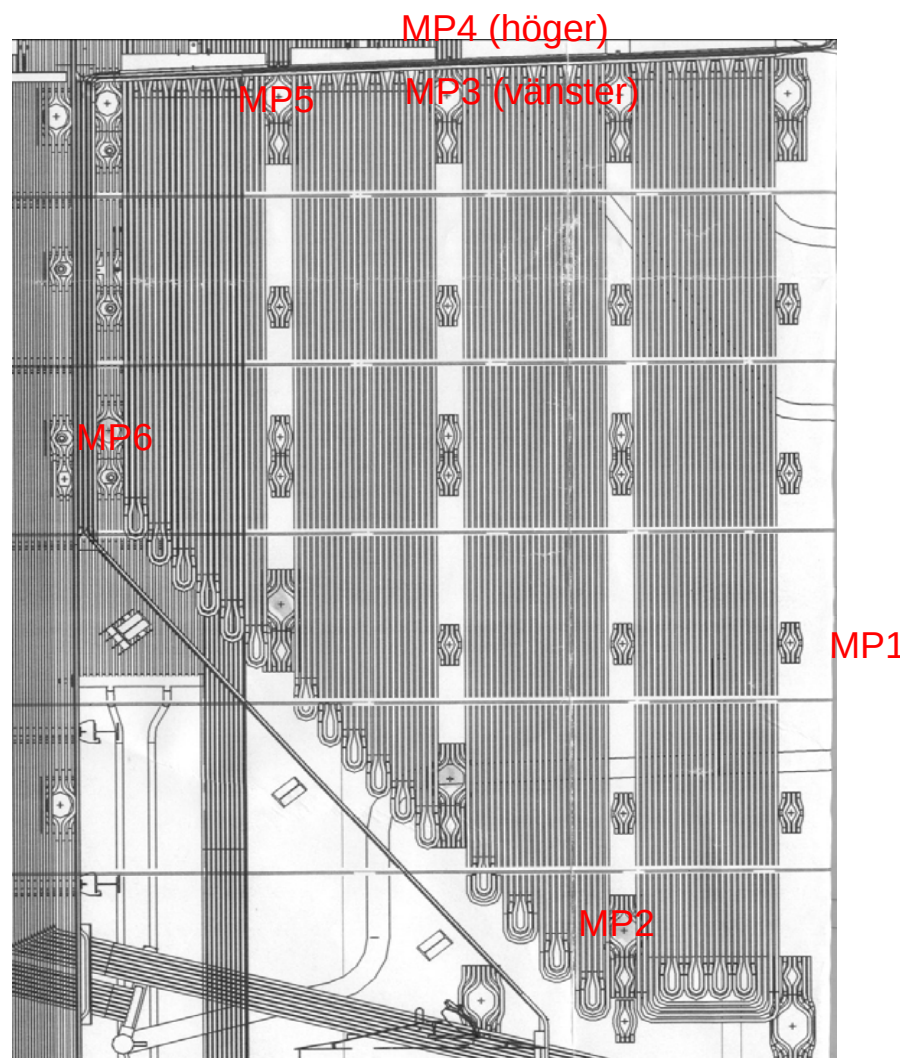
MP2 °C
Max 833
Min 607
Medel 692

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghall's sodapanna SP5 Mikaela

Åbo Akademi - loggade rökgastemperaturer i pannan med temporära givare

	MV
MP5	°C
Refdag	577
Provdag 1	591
Provdag 2	562

	MV
MP6	°C
Refdag	513
Provdag 1	483
Provdag 2	474



	MV
MP3	°C
Refdag	613
Provdag 1	620
Provdag 2	611

	MV
MP4	°C
Refdag	623
Provdag 1	605
Provdag 2	584

	MV
MP1	°C
Refdag	869
Provdag 1	850
Provdag 2	818

	MV
MP2	°C
Refdag	774
Provdag 1	741
Provdag 2	692

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghall's sodapanna SP5 Mikaela

Gastemperaturer Lutsprutenivån
Skoghall - Temperaturmätningar på gaserna genom lutspruteöppningarna ÅF

		Referens				Provdag 1				Provdag 2		
	Lutspruta	09:00-10:00	11:30-12:30	16:15-17:15	Medelvärde	10:00-11:00	14:00-15:00	17:00-18:00	19:30-20:30	11:30-14:30	17:00-18:00	Medelvärde
	1	1140	1129	1129		1157	1101	1098	1093	1136	1116	
	2	1042	1109	1070		1114	1083	1118	1092	1106	1112	
	3	1045	1033	1080		1073	1097	1043	1107	1077	1146	
	4	1110	1055	1136		1163	1141	1115	1134	1119	1170	
	6	1035	952	1033		1033	1044	1032	1075	1024	1108	
	7	1108	1048	1087		1082	1052	1098	1105	1065	1109	
	8	1120	1117	1076		1098	1069	1118	1109	1076	1102	
	10	1070	1071	1089		1130	1122	1134	1113	1065	1067	
	9	----	----	----		1064	1097	1124	1109	1108	1107	
	Max	1140	1129	1136		1163	1141	1134	1134	1136	1170	
	Min	1035	952	1033		1033	1044	1032	1075	1024	1067	
	Medel*	1084	1064	1088	1079	1102	1090	1098	1104	1086	1115	1091

The diagram illustrates a complex industrial machine, possibly a paper mill component, shown in a cross-sectional view. The machine is housed within a large, rectangular frame. Key features include:

- Internal Structure:** The machine is divided into several vertical sections. The leftmost section is a large, dark grey cylindrical component. The middle section contains a series of vertical, colored bands (green, blue, and red) that appear to be part of a conveyor or processing system. The rightmost section is a large, blue, rectangular component.
- Pipes and Ducts:** Numerous pipes and ducts are visible, connecting different parts of the machine. A large, curved duct is prominent on the left side, leading from a large, grey, box-like structure.
- Mechanical Components:** The machine features various mechanical parts, including a large, grey, cylindrical component at the bottom left, a series of vertical rods or supports in the center, and a large, blue, rectangular component on the right.
- Labels:** The text "Manue" and "M" is visible at the top right of the image, likely indicating a manual or machine component.

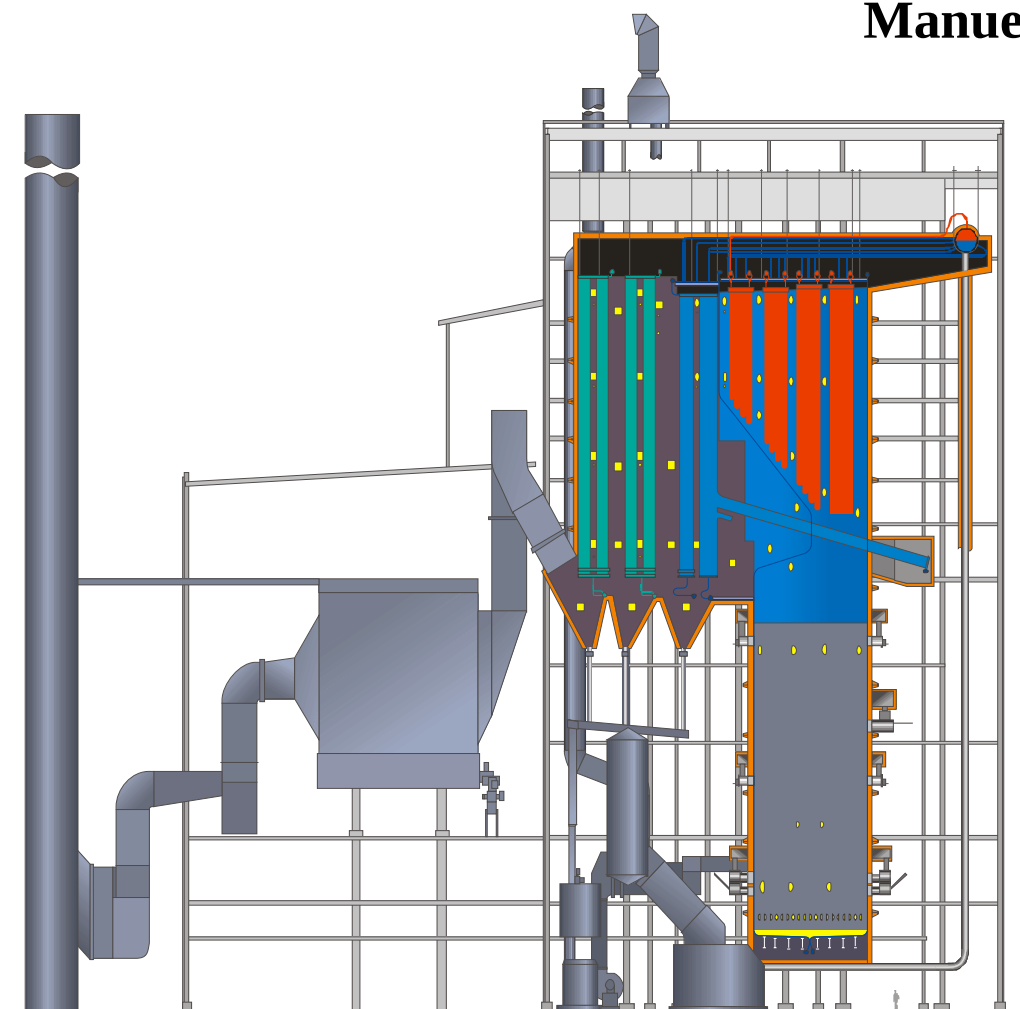
Prim luft **MV 982 °C** Max 1116 °C Min 891 °C

Sodahuskommittén

The Swedish Norwegian Recovery Boiler Committee

Gastemperaturer i pannan ÅF

Manuellt mätta temperaturer i pannan Medelvärden 3FS Dag 1



Plan 14 **MV 654 °C** Max 673 °C Min 614 °C

Plan 11 **MV 733 °C** Max 788 °C Min 696 °C

Plan 9 **MV 775 °C** Max 800 °C Min 746 °C

Kvart luft **MV 870 °C** Max 929 °C Min 777 °C

Tert luft **MV 1009 °C** Max 1077 °C Min 815 °C

Lutsprutor **MV 1098 °C** Max 1163 °C Min 1032 °C

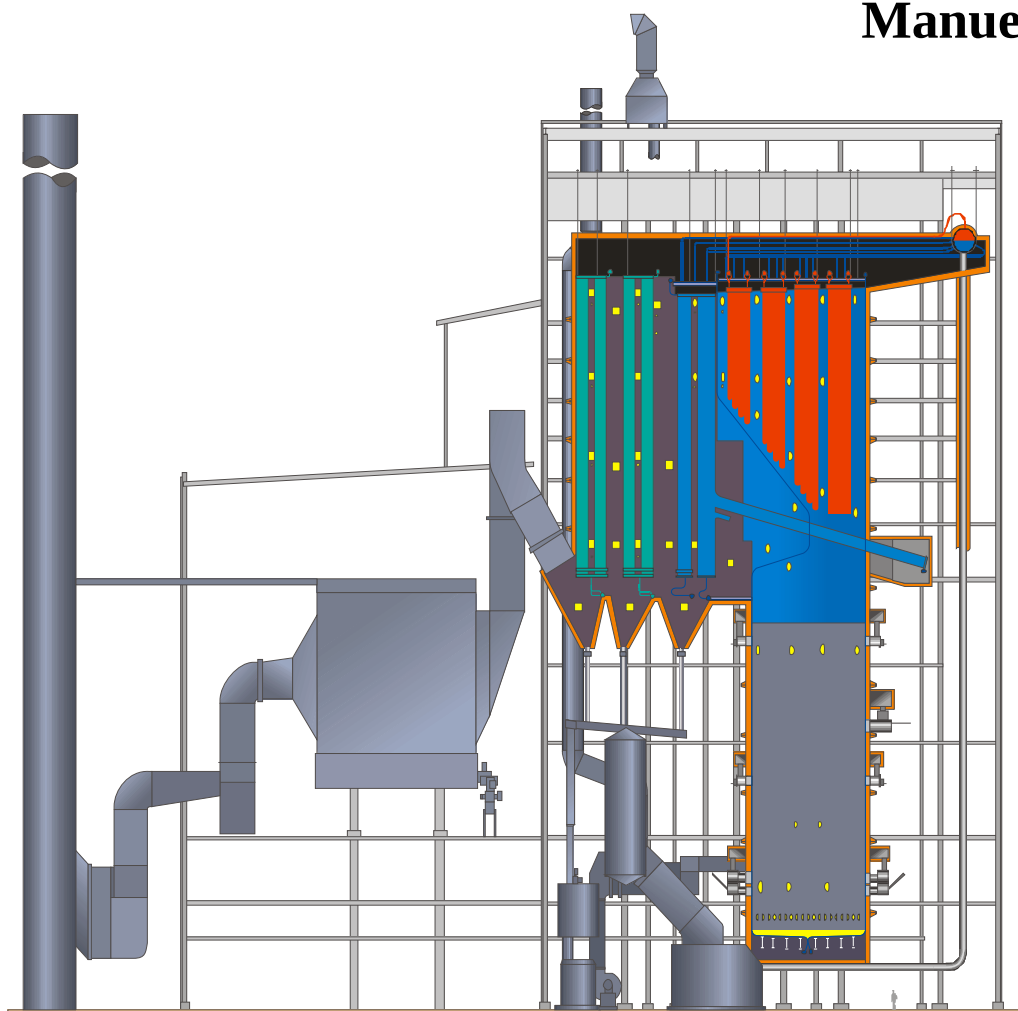
Sek luft **MV 1044 °C** Max 1174 °C Min 949 °C

Prim luft **MV 1030 °C** Max 1154 °C Min 898 °C

(Temperaturerna mätta med strålningspyrometer)

Gastemperaturer i pannan ÅF

Manuellt mätta temperaturer i pannan Medelvärden 3FS Dag 2



Plan 14 **MV 632 °C** Max 662 °C Min 603 °C

Plan 11 **MV 715 °C** Max 733 °C Min 695 °C

Plan 9 **MV 776 °C** Max 798 °C Min 745 °C

Kvart luft **MV 864 °C** Max 920 °C Min 780 °C

Tert luft **MV 1054 °C** Max 1103 °C Min 992 °C

Lutsprutor **MV 1101 °C** Max 1170 °C Min 1024 °C

Sek luft **MV 1037 °C** Max 1137 °C Min 978 °C

Prim luft **MV 1047 °C** Max 1128 °C Min 983 °C

(Temperaturerna mätta med strålningspyrometer)

Gastemperaturer i pannan ÅF och Åbo Akademi

Alla värden är medelvärden av ett antal mätvärden, ÅF strålningspyrometer; Åbo Akademi PT 100 givare

Provpunkt	Sort	Referensdag	3FS Dag 1	3FS Dag2
Plan 14	°C	547	654	632
Plan 11	°C	745	733	715
MP1 (Plan 11)	°C	869	850	818
Plan 9	°C	778	775	776
Kvartärluft	°C	833	870	864
Tertiärluft	°C	998	1009	1054
Lutsprutor	°C	1080	1098	1101
Sekundärluft	°C	1043	1044	1037
Primärluft	°C	982	1030	1047

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Stoftbeläggningsmätningar och -analyser,

se rapport från Åbo Akademi, **Bilaga DA**

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

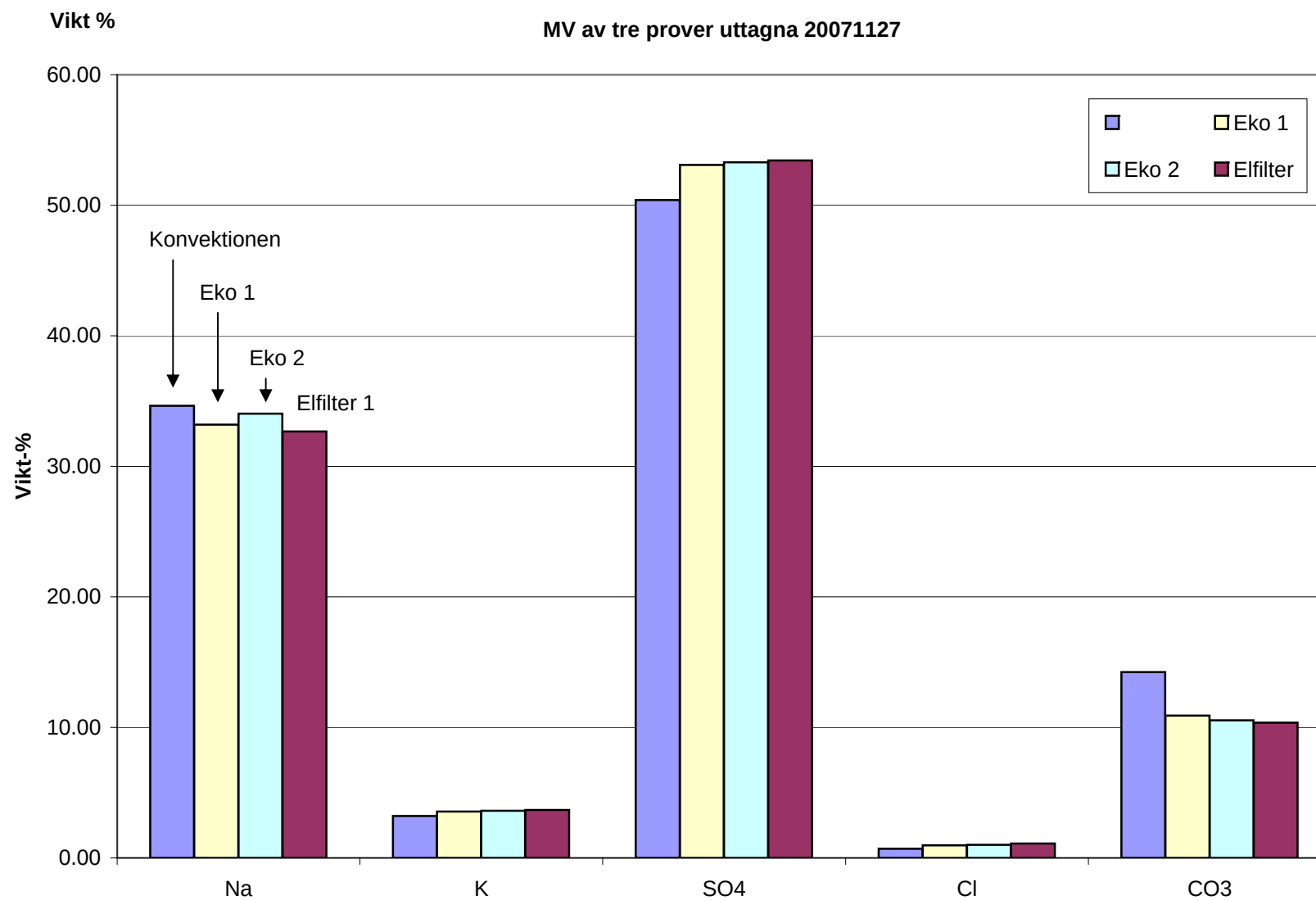
Askor - sammansättning

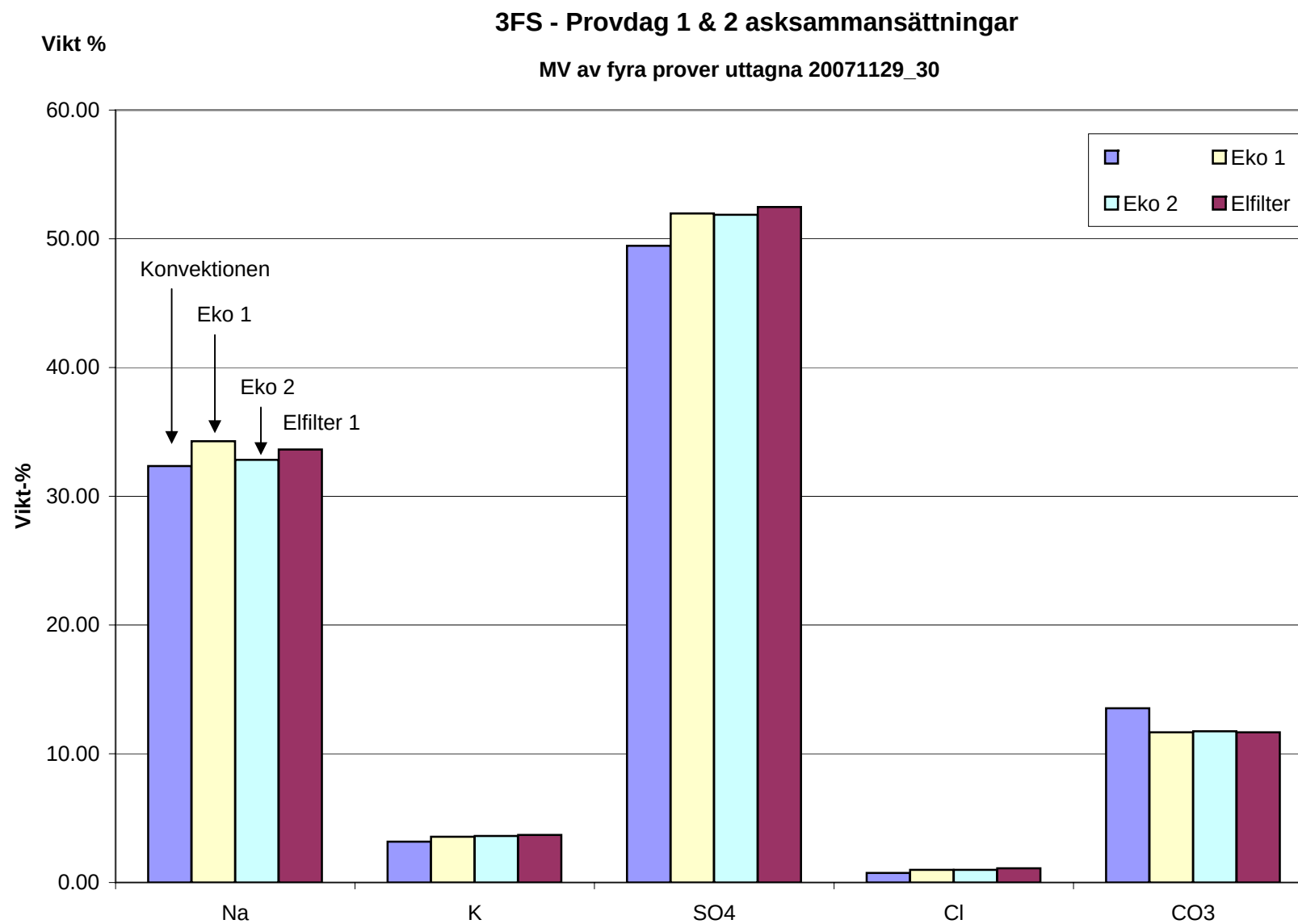
Skoghall - provuttag; SP (Statens provningsanstalt) - analyser

		Referens			Medelvärde	Provdag 1		Provdag 2		Medelvärde
<i>pH/Grundämne</i>		2007-11-27 11:10	2007-11-27 13:10	2007-11-27 19:00		2007-11-29 13:00	2007-11-29 19:00	2007-11-30 13:00	2007-11-30 19:00	
Konvektionen										
pH		11.8	11.7	11.5		11.7	11.7	11.9	11.6	
Na	vikt %	35.5	35.1	33.3	34.63	32.5	31.6	33.3	32	32.35
K	vikt %	2.89	3.34	3.41	3.21	3.44	3.05	2.7	3.49	3.17
SO4	vikt %	47.9	50.1	53.2	50.40	51	48.5	46.1	52.2	49.45
Cl	vikt %	0.54	0.67	0.91	0.71	0.89	0.65	0.48	0.93	0.74
CO3	vikt %	16.3	14.1	12.3	14.23	12.7	13.8	16.4	11.2	13.53
Eko 1										
2007-11-27 11:30 2007-11-27 13:20 2007-11-27 19:20						2007-11-29 13:00 2007-11-29 19:00		2007-11-30 13:00 2007-11-30 19:00		
pH		11.5	11.5	11.5		11.4	11.6	11.6	11.4	
Na	vikt %	32.4	31.9	35.3	33.20	34.1	33.3	35.4	34.3	34.28
K	vikt %	3.52	3.58	3.58	3.56	3.48	3.51	3.51	3.69	3.55
SO4	vikt %	52.9	53.4	53	53.10	51.8	50.7	53.3	52.1	51.98
Cl	vikt %	0.97	0.94	0.97	0.96	0.95	0.97	0.97	1.04	0.98
CO3	vikt %	10.7	10.9	11.1	10.90	12	12.4	11.1	11.2	11.68
Eko 2										
2007-11-27 11:15 2007-11-27 13:00 2007-11-27 19:10						2007-11-29 13:00 2007-11-29 19:00		2007-11-30 13:00 2007-11-30 19:00		
pH		11.5	11.5	11.5		11.5	11.6	11.6	11.5	
Na	vikt %	34.4	33.4	34.3	34.03	33.6	34	31.8	31.9	32.83
K	vikt %	3.62	3.64	3.58	3.61	3.62	3.66	3.58	3.57	3.61
SO4	vikt %	53.3	53.3	53.3	53.30	51.6	50.8	52.9	52.2	51.88
Cl	vikt %	1.02	1	1.01	1.01	0.95	0.96	1	1.06	0.99
CO3	vikt %	10	10.6	11	10.53	12	12.6	11.2	11.2	11.75
Elfilter										
2007-11-27 11:00 2007-11-27 13:00 2007-11-27 19:20						2007-11-29 13:00 2007-11-29 19:00		2007-11-30 13:00 2007-11-30 19:00		
pH		11.4	11.4	11.4		11.4	11.4	11.4	11.4	
Na	vikt %	31	34.2	32.8	32.67	33.9	32.5	33.5	34.6	33.63
K	vikt %	3.57	3.72	3.75	3.68	3.75	3.69	3.7	3.66	3.70
SO4	vikt %	53.3	53.7	53.3	53.43	51.9	52.6	52.2	53.2	52.48
Cl	vikt %	1.1	1.09	1.14	1.11	1.07	1.07	1.12	1.14	1.10
CO3	vikt %	10.4	10.3	10.4	10.37	11.9	12.3	11.4	11.1	11.68

Referensprov asksammansättningar

MV av tre prover uttagna 20071127





Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Halter av gaser från sodapannan, plan 14 (precis under taket)

ÅF - Data från manuella stickprov - gas uppsamlat i påse under någon minut ett antal gånger /dygn

			H2O %	CO2 % tg	CO ppm tg	NO ppm tg	NO2 ppm tg	SO2 ppm tg	CH4 ppm tg	N2O ppm tg	NH3 ppm tg
Referens 20071127-28	3 påsprover 27/11	Max	1.2	16.1	17.4	68.7	3.9	10.3	1.1	1.2	2.8
	12:19-12:21	Min	0.8	12.3	0.0	43.3	0.0	6.0	0.2	0.0	0.3
	14:35-14:37	Medel	1.1	14.6	3.5	58.5	2.3	7.2	0.8	0.2	1.0
	17:22-17:25	Stdev	0.1	1.3	5.8	6.8	1.0	1.3	0.2	0.5	0.9
Inställningsdag 20071128-29	1 påsprov 28/11	Max	1.4	14.4	45.8	68.9	2.6	5.0	0.6	0.3	0.6
	08:13-08:16	Min	0.7	12.3	14.8	56.8	1.0	2.2	0.1	0.0	0.0
		Medel	0.9	13.9	27.0	65.0	1.9	3.9	0.4	0.1	0.2
		Stdev	0.2	0.7	13.5	3.6	0.6	0.9	0.2	0.1	0.2
Provdag 1 20071129-30	2 påsprover 29/11	Max	1.4	15.3	249	77.0	4.5	2.7	0.8	0.0	0.4
	09:51-09:53	Min	1.0	12.3	22.5	62.3	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	12:06-12:08	Medel	1.2	14.1	144	70.4	3.6	0.9	0.5	0.0	0.1
		Stdev	0.1	1.0	114	5.4	0.8	1.0	0.3	0.0	0.2
Provdag 2 20071130-1201	Inga prov togs denna dag, då halterna av olika gaskomponenter från föregående dagar höll förväntade nivåer.										

Notera att vattenhalten i gasblandningen i påsen är låg, då vattnet kondenserar vid transport av provpåsen till analysinstrumentet.
Notera vidare att instrumentet mätte/gav signaler under någon eller några minuter, varför även ett påsprov ger flera mätsignaler att bilda medelvärden, etc, över.

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Halter av gaser i imånga

ÅF - Data från manuella stickprov - gas uppsamlat i påse under någon minut ett antal gånger /dygn

			H2O %	CO2 % tg	CO ppm tg	NO ppm tg	NO2 ppm tg	SO2 ppm tg	CH4 ppm tg	N2O ppm tg	NH3 ppm tg
Referens 20071127-28	<i>Påsprov 1, 27/11</i> <i>12:33-12:34</i>	Max	1.2	0.8	0.0	0.0	14.0	0.0	8.1	0.0	351
		Min	1.1	0.6	0.0	0.0	8.6	0.0	6.3	0.0	250
		Medel	1.1	0.7	0.0	0.0	12.5	0.0	7.1	0.0	292
		Stdev	0.1	0.1	0.0	0.0	2.2	0.0	0.7	0.0	38.1
	<i>Påsprov 2, 27/11</i> <i>14:43-14:46</i>	Max	1.3	0.9	13.0	0.0	13.2	0.0	7.7	0.2	372
		Min	1.1	0.8	6.3	0.0	5.4	0.0	6.9	0.2	238
		Medel	1.2	0.8	9.5	0.0	8.8	0.0	7.3	0.2	331
		Stdev	0.1	0.0	2.8	0.0	2.3	0.0	0.3	0.0	41.6
	<i>Påsprov 3, 27/11</i> <i>17:10-17:15</i>	Max	1.1	0.8	13.4	0.0	11.1	0.0	5.7	0.4	223
		Min	1.0	0.7	6.3	0.0	6.8	0.0	4.5	0.2	166
		Medel	1.0	0.7	9.6	0.0	9.4	0.0	5.2	0.3	203
		Stdev	0.0	0.1	2.4	0.0	1.2	0.0	0.4	0.0	16.9
Inställningsdag 20071128-29	<i>1 påsprov 28/11</i> <i>08:18-08:23</i>	Max	0.7	1.0	1.5	1.5	7.3	0.0	5.9	0.2	252
		Min	0.6	0.8	0.0	0.0	3.3	0.0	4.7	0.0	169
		Medel	0.6	0.9	0.3	0.3	5.6	0.0	5.3	0.1	210
		Stdev	0.0	0.1	0.6	0.6	1.1	0.0	0.4	0.1	25.8

Notera att vattenhalten i gasblandningen i påsen är låg, då vattnet kondenserar vid transport av provpåsen till analysinstrumentet.
Notera vidare att instrumentet mätte/gav signaler under någon eller några minuter, varför även **ett** påsprov ger flera mätsignaler att bilda medelvärden, etc, över.

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Halter av gaser i imånga

ÅF - Data från manuella stickprov - gas uppsamlat i påse under någon minut ett antal gånger /dygn

			H2O %	CO2 % tg	CO ppm tg	NO ppm tg	NO2 ppm tg	SO2 ppm tg	CH4 ppm tg	N2O ppm tg	NH3 ppm tg
Provdag 1 20071129-30	Påsprov 1, 29/11 10:03-10:05	Max	1.0	0.5	1.2	0.0	12.8	0.0	5.5	0.1	208
		Min	0.9	0.4	0.0	0.0	9.7	0.0	4.9	0.0	167
		Medel	0.9	0.4	0.5	0.0	11.7	0.0	5.1	0.1	193
		Stdev	0.0	0.0	0.5	0.0	1.0	0.0	0.2	0.0	13.5
	Påsprov 2, 29/11 12:10-12:13	Max	1.1	0.4	0.4	0.0	11.7	0.0	5.0	0.2	307
		Min	0.9	0.3	0.0	0.0	7.9	0.0	4.2	0.0	224
		Medel	1.0	0.4	0.1	0.0	10.1	0.0	4.7	0.1	268
		Stdev	0.0	0.0	0.2	0.0	1.5	0.0	0.2	0.0	22.9
	Påsprov 3, 29/11 14:21-14:24	Max	1.2	0.4	1.7	0.6	16.0	0.0	5.8	0.2	255
		Min	1.0	0.3	0.2	0.0	7.2	0.0	3.7	0.0	156
		Medel	1.1	0.4	1.2	0.2	14.3	0.0	5.3	0.1	214
		Stdev	0.1	0.0	0.5	0.2	2.5	0.0	0.6	0.0	26.3
	Påsprov 4, 29/11 18:41-18:48	Max	1.9	0.5	3.4	0.0	15.6	0.0	5.6	0.4	277
		Min	1.2	0.3	0.8	0.0	11.7	0.0	4.6	0.3	193
		Medel	1.4	0.3	1.8	0.0	14.0	0.0	5.2	0.3	235
		Stdev	0.2	0.1	0.9	0.0	1.0	0.0	0.3	0.0	22.3

Notera att vattenhalten i gasblandningen i påsen är låg, då vattnet kondenserar vid transport av provpåsen till analysinstrumentet.
Notera vidare att instrumentet mätte/gav signaler under någon eller några minuter, varför även **ett** påsprov ger flera mätsignaler att bilda medelvärden, etc, över.

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Halter av gaser i imånga

ÅF - Data från manuella stickprov - gas uppsamlat i påse under någon minut ett antal gånger /dygn

			H2O %	CO2 % tg	CO ppm tg	NO ppm tg	NO2 ppm tg	SO2 ppm tg	CH4 ppm tg	N2O ppm tg	NH3 ppm tg
Provdag 2 20071130-1201	<i>Påsprov 1, 30/11</i> <i>08:55-08:59</i>	Max	1.0	0.7	8.2	0.0	7.3	0.0	8.3	0.2	514
		Min	0.9	0.3	0.0	0.0	0.9	0.0	6.2	0.0	308
		Medel	1.0	0.5	3.9	0.0	4.2	0.0	7.1	0.1	401
		Stdev	0.0	0.1	3.8	0.0	1.9	0.0	0.8	0.1	87.1
	<i>Påsprov 2, 30/11</i> <i>10:49-10:53</i>	Max	1.2	0.4	10.6	0.2	14.0	0.0	5.6	0.3	276
		Min	0.7	0.2	0.8	0.0	5.6	0.0	4.3	0.1	110
		Medel	1.0	0.4	5.3	0.0	12.1	0.0	5.1	0.2	225
		Stdev	0.1	0.1	4.6	0.1	2.6	0.0	0.4	0.1	47.0
	<i>Påsprov 3, 30/11</i> <i>13:56-13:59</i>	Max	1.1	0.5	2.1	0.0	12.0	0.0	5.5	0.2	176
		Min	1.0	0.3	0.7	0.0	5.5	0.0	4.5	0.0	125
		Medel	1.1	0.4	1.3	0.0	9.7	0.0	5.0	0.1	147
		Stdev	0.0	0.1	0.6	0.0	2.2	0.0	0.3	0.1	16.2

Notera att vattenhalten i gasblandningen i påsen är låg, då vattnet kondenserar vid transport av provpåsen till analysinstrumentet.
Notera vidare att instrumentet mätte/gav signaler under någon eller några minuter, varför även **ett** påsprov ger flera mätsignaler att bilda medelvärden, etc, över.

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Halter av komponenter i svaggaser

ÅF - Data från manuella stickprov - gas uppsamlat i påse under någon minut ett antal gånger /dygn

			H2O %	CO2 % tg	CO ppm tg	NO ppm tg	NO2 ppm tg	SO2 ppm tg	CH4 ppm tg	N2O ppm tg	NH3 ppm tg
Referens 20071127-28	2 påsprover, 27/11	Max	1.2	1.9	0.0	0.0	Något stör	0.0	158	0.0	0.0
	12:26-12:27	Min	1.0	1.0	0.0	0.0	analysen	0.0	113	0.0	0.0
	14:39-14:40	Medel	1.1	1.4	0.0	0.0	(a)	0.0	146	0.0	0.0
		Stdev	0.1	0.4	0.0	0.0		0.0	14.6	0.0	0.0
Inställningsdag 20071128-29	1 påsprov 28/11	Max	0.6	1.7	0.0	0.0	Något stör	0.0	154	0.0	0.0
	08:31-08:32	Min	0.6	1.5	0.0	0.0	analysen	0.0	147	0.0	0.0
		Medel	0.6	1.6	0.0	0.0	(a)	0.0	150	0.0	0.0
		Stdev	0.0	0.1	0.0	0.0		0.0	2.9	0.0	0.0
Provdag 1 20071129-30	2 påsprover 29/11	Max	1.1	0.8	0.0	0.0	Något stör	0.0	188	0.0	1.5
	09:54-09:55	Min	0.9	0.6	0.0	0.0	analysen	0.0	83	0.0	0.0
	12:20-12:22	Medel	0.9	0.7	0.0	0.0	(a)	0.0	140	0.0	0.4
		Stdev	0.1	0.1	0.0	0.0		0.0	30.0	0.0	0.5
Provdag 2 20071130-1201	3 påsprover, 30/11	Max	2.0	0.7	0.0	0.8	Något stör	0.0	214	0.3	0.0
	08:48-08:49	Min	0.9	0.1	0.0	0.0	analysen	0.0	141	0.0	0.0
	10:42-10:43	Medel	1.2	0.5	0.0	0.1	(a)	0.0	186	0.1	0.0
	13:52-13:53	Stdev	0.3	0.2	0.0	0.2		0.0	23.0	0.1	0.0

(a) Värdet bör/skall vara noll (0). Dock angav instrumentet värden på tusentals ppm. Något annat störde.

Notera att vattenhalten i gasblandningen i påsen är låg, då vattnet kondenserar vid transport av provpåsen till analysinstrumentet.

Notera vidare att instrumentet mätte/gav signaler under någon eller några minuter, varför även **ett** påsprov ger flera mätsignaler att bilda medelvärden, etc, över.

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghall's sodapanna SP5 Mikaela

Ammoniakhalt i imånga - olika analysmetoder

ÅF - Provuttag & analyser

Varje prov - gasuppsamling i 2 h
Våtkemisk analysmetod

Imånga
NH₃
mg/nm³tg

Referensprov

20071127-28

2007-11-27 11:27 331

2007-11-27 13:43 315

2007-11-27 15:44 273

2007-11-27 17:15 304

Inställningsdag

20071128-29

2007-11-28 09:42 175

2007-11-28 11:30 257

2007-11-28 13:35 245

2007-11-28 16:53 410

Provdag 1

20071129-30

2007-11-29 08:19 299

2007-11-29 10:11 313

2007-11-29 13:37 393

Provdag 2

20071130-1201

Denna typ av

prov togs ej

ÅF - Provuttag & analyser - manuella stickprov

Gas uppsamlat i påse under någon minut ett antal
gångar /dygn

Imånga
NH₃
mg/nm³tg

Referens

20071127-28

Påspröv 1, 27/11 12:33-12:34 292

Påspröv 2, 27/11 14:43-14:46 331

Påspröv 3, 27/11 17:10-17:15 203

Inställningsdag

20071128-29

1 påspröv 28/11 08:18-08:23 210

Provdag 1

20071129-30

Påspröv 1, 29/11 10:03-10:05 193

Påspröv 2, 29/11 12:10-12:13 268

Påspröv 3, 29/11 14:21-14:24 214

Påspröv 4, 29/11 18:41-18:48 235

Provdag 2

20071130-1201

Påspröv 1, 30/11 08:55-08:59 401

Påspröv 2, 30/11 10:49-10:53 225

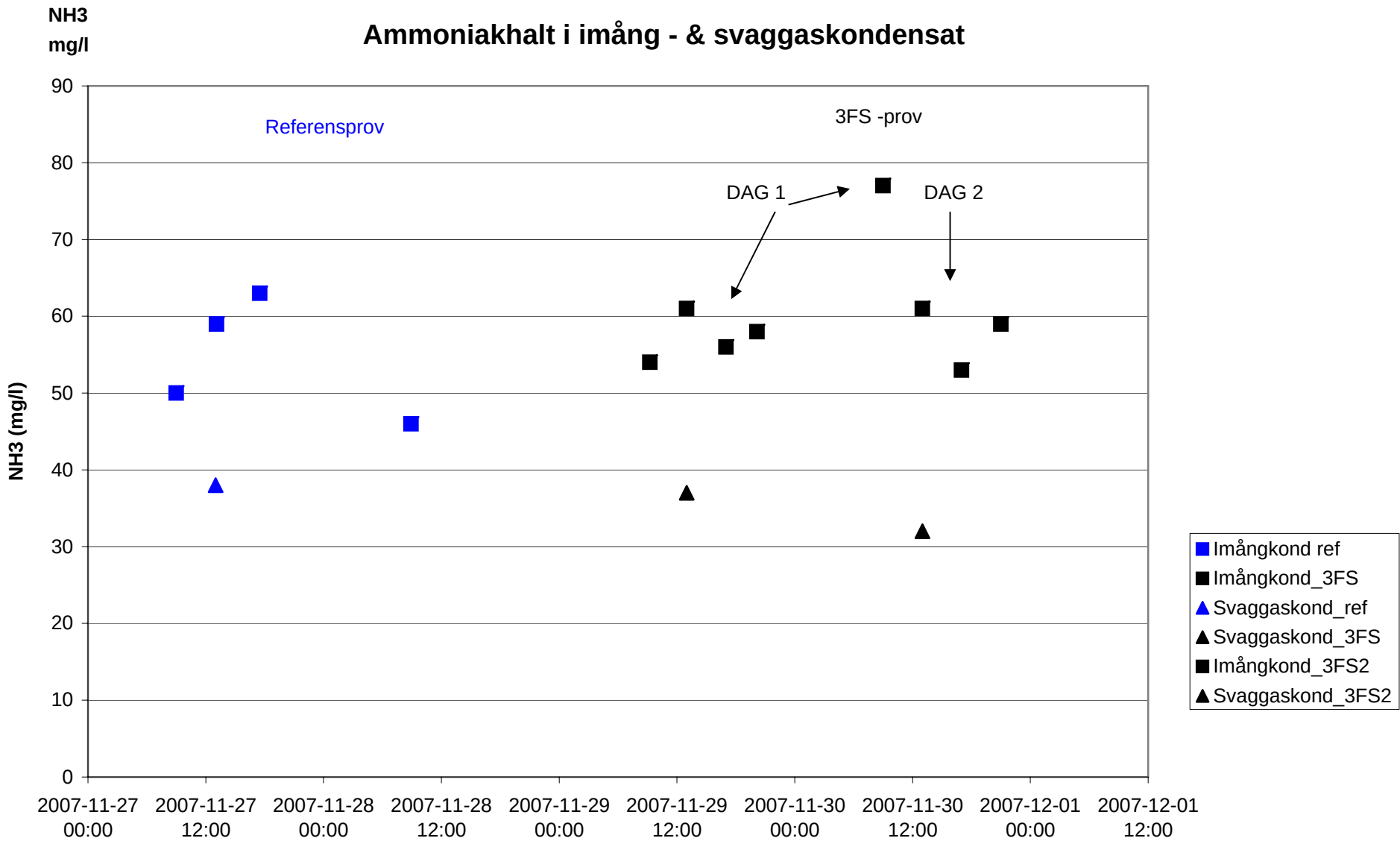
Påspröv 3, 30/11 13:56-13:59 147

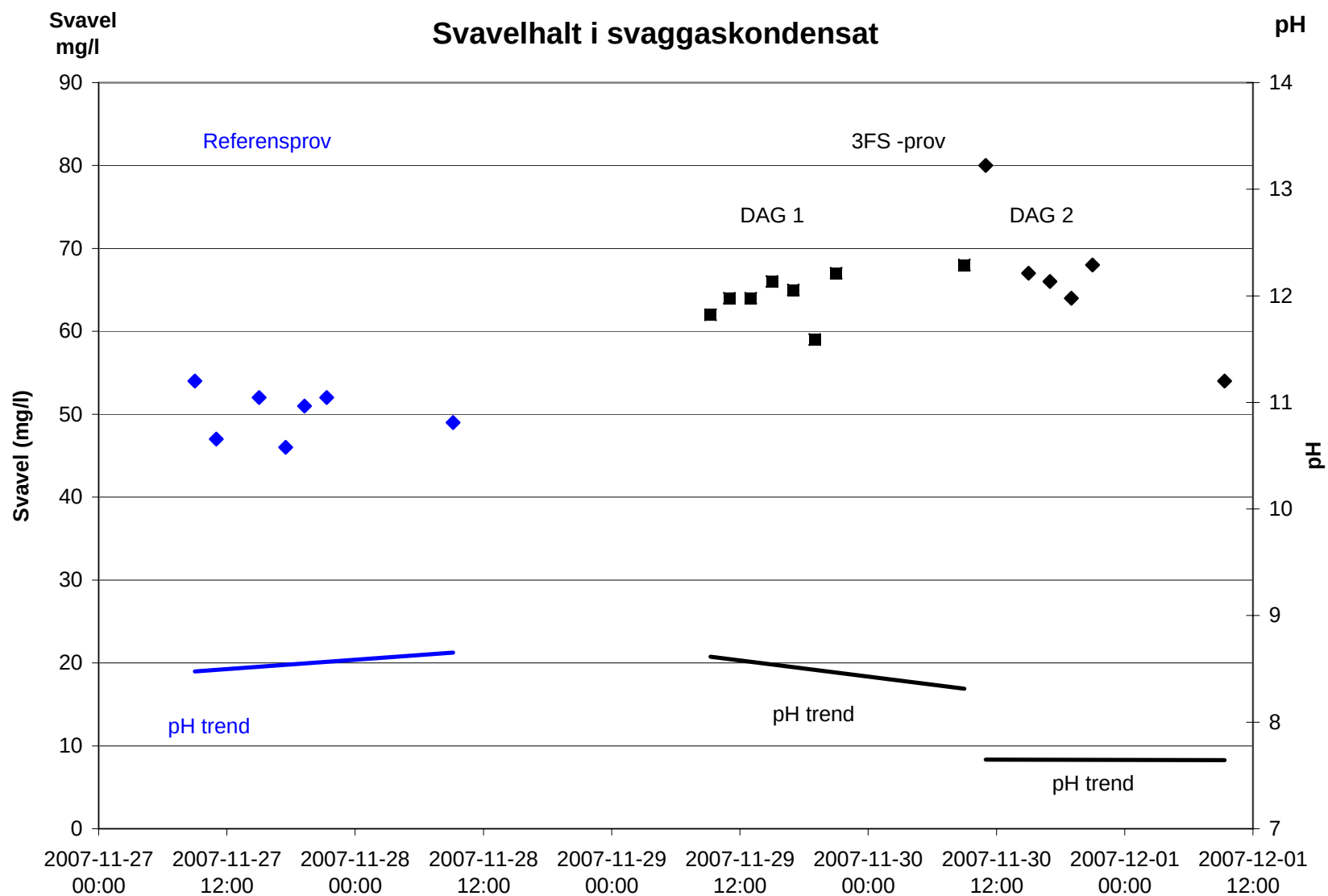
Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Ammoniak- och total svavelhalt i imång- och svaggaskondensat

Analysen gjorda på SP (Statens provningsanstalt)

	Imångkondensat			Svaggaskondensat		
	NH3 mg/l	S mg/l	pH	NH3 mg/l	S mg/l	pH
Referens						
20071127-28						
2007-11-27 09:00	50		10.2		54	8.9
2007-11-27 11:00					47	9.1
2007-11-27 13:00				38		7.6
2007-11-27 13:06	59		10.5			
2007-11-27 15:00					52	8.7
2007-11-27 17:30	63		10.4		46	8
2007-11-27 19:15					51	8.5
2007-11-27 21:20					52	8.6
2007-11-28 08:55	46		10.2			
2007-11-28 09:10					49	8.9
Samplingsprov 20071127-28		193	10.3			
Provdag 1						
20071129-30						
2007-11-29 09:15	54		9.8		62	8.8
2007-11-29 11:00					64	8.7
2007-11-29 13:00	61		10.1	37	64	8.2
2007-11-29 15:00					66	8.6
2007-11-29 17:00	56		10.5		65	8.5
2007-11-29 19:00					59	8.7
2007-11-29 20:10	58		10.6			
2007-11-29 21:00					67	8.2
2007-11-30 09:00	77		10		68	8.4
Samplingsprov 20071129		170	10.3			
Provdag 2						
20071130-1201						
2007-11-30 11:00					80	8.2
2007-11-30 13:00	61		10.5	32		8.3
2007-11-30 15:00					67	8.4
2007-11-30 17:00	53		10.5		66	8.3
2007-11-30 19:00					64	8.4
2007-11-30 21:00	59		10.5		68	8.4
2007-12-01 09:20					54	8.2
Samplingsprov 20071130		172	10.4			





Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Svavelföreningar i imånga och i svaggas - punktprov/analyser

ÅF - provuttag, Skoghall - analyser

Referensprov

20071127-28

Datum / tid	Imånga				Svaggaser			
	MM	DMS	DMDS	H2S	MM	DMS	DMDS	H2S
	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
2007-11-27 10:00	26	60	0	3	41	165	65	12
2007-11-27 15:00	30	0	0					
2007-11-27 16:00	14	30	0	3	33	155	61	17
2007-11-27 17:00	9	0	0					

Max	30	60	0	3	41	165	65	17
Min	9	0	0	3	33	155	61	12
Medel	20	23	0	3	37	160	63	15

Provdag 1

20071129-30

Datum / tid	Imånga				Svaggaser			
	MM	DMS	DMDS	H2S	MM	DMS	DMDS	H2S
	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
2007-11-29 10:00	26	0	0	15	23	128	60	7
2007-11-29 11:00	10	0	0		18	111	32	8
2007-11-29 12:00	7	0	0	2				
2007-11-29 15:00	14	0	0	0	30	141	60	19
2007-11-29 16:00								20
2007-11-29 19:00	25	0	0	1	24	42	60	9
2007-11-29 20:00	8	0	0					

Max	26	0	0	15	30	141	60	20
Min	7	0	0	0	18	42	32	7
Medel	15	0	0	5	24	106	53	13

Provdag 2

20071130-1201

Datum / tid	Imånga				Svaggaser			
	MM	DMS	DMDS	H2S	MM	DMS	DMDS	H2S
	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
2007-11-30 10:00	0	51	0	0	32	139	60	15
2007-11-30 14:00	15	0	0	0	310	697	104	20
2007-11-30 15:00					299	673	92	
2007-11-30 16:00					238	522	61	
2007-11-30 19:00	0	0	0	2	39	240	67	18
2007-11-30 20:00					35	223	65	
2007-11-30 21:00					27	192	35	

Max	15	51	0	2	310	697	104	20
Min	0	0	0	0	27	139	35	15
Medel	5	17	0	1	140	384	69	18

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Emissioner till luft - data från temporära givare

			Referens 20071128	Provdag 1 20071130	Provdag 2 20071201
ÅF - loggade emissioner från skorsten med temporära givare					
RÖKGAS H2O SKORSTEN		H2O-halt			
	Max	%	26.78	24.00	23.38
	Min	%	14.98	16.04	16.32
	Medel	%	20.89	19.93	20.18
	Stdev	%	1.84	2.04	2.11
RÖKGAS CO2 SKORSTEN		CO2-halt			
	Max	% tg	17.05	16.48	16.60
	Min	% tg	13.45	14.01	13.10
	Medel	% tg	16.11	15.36	15.62
	Stdev	% tg	0.51	0.33	0.27
RÖKGAS CO SKORSTEN		CO-halt			
	Max	ppm tg	812	828	552
	Min	ppm tg	0.00	0.00	0.00
	Medel	ppm tg	54.8	92.2	80.5
	Stdev	ppm tg	87.0	112.2	75.2
RÖKGAS NO SKORSTEN		NO-halt			
	Max	ppm tg	128	121	124
	Min	ppm tg	65.1	88.2	79.1
	Medel	ppm tg	99.9	103.5	98.8
	Stdev	ppm tg	15.9	5.1	8.2
RÖKGAS NO2 SKORSTEN		NO2-halt			
	Max	ppm tg	4.73	4.83	5.97
	Min	ppm tg	0.00	0.56	1.10
	Medel	ppm tg	1.44	2.38	3.32
	Stdev	ppm tg	0.93	0.63	0.64
RÖKGAS N2O SKORSTEN		N2O-halt			
	Max	ppm tg	1.62	1.52	1.21
	Min	ppm tg	0.00	0.00	0.00
	Medel	ppm tg	0.07	0.05	0.01
	Stdev	ppm tg	0.22	0.19	0.07
RÖKGAS NH3 SKORSTEN		NH3-halt			
	Max	ppm tg	9.40	13.38	12.88
	Min	ppm tg	0.00	0.00	0.00
	Medel	ppm tg	0.85	0.34	0.25
	Stdev	ppm tg	0.82	0.73	0.84

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Emissioner till luft - data från temporära givare

			Referens 20071128	Provdag 1 20071130	Provdag 2 20071201
RÖKGAS SO2 SKORSTEN		SO2-halt			
	Max	ppm tg	19.90	7.13	8.48
	Min	ppm tg	0.00	0.00	0.00
	Medel	ppm tg	6.09	1.34	3.35
	Stdev	ppm tg	5.76	1.42	2.21
RÖKGAS CH4 SKORSTEN		CH4-halt			
	Max	ppm tg	8.46	5.40	3.04
	Min	ppm tg	0.43	0.31	0.25
	Medel	ppm tg	1.48	1.50	1.42
	Stdev	ppm tg	0.73	0.69	0.37

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Driftdata ur DCS - Trender

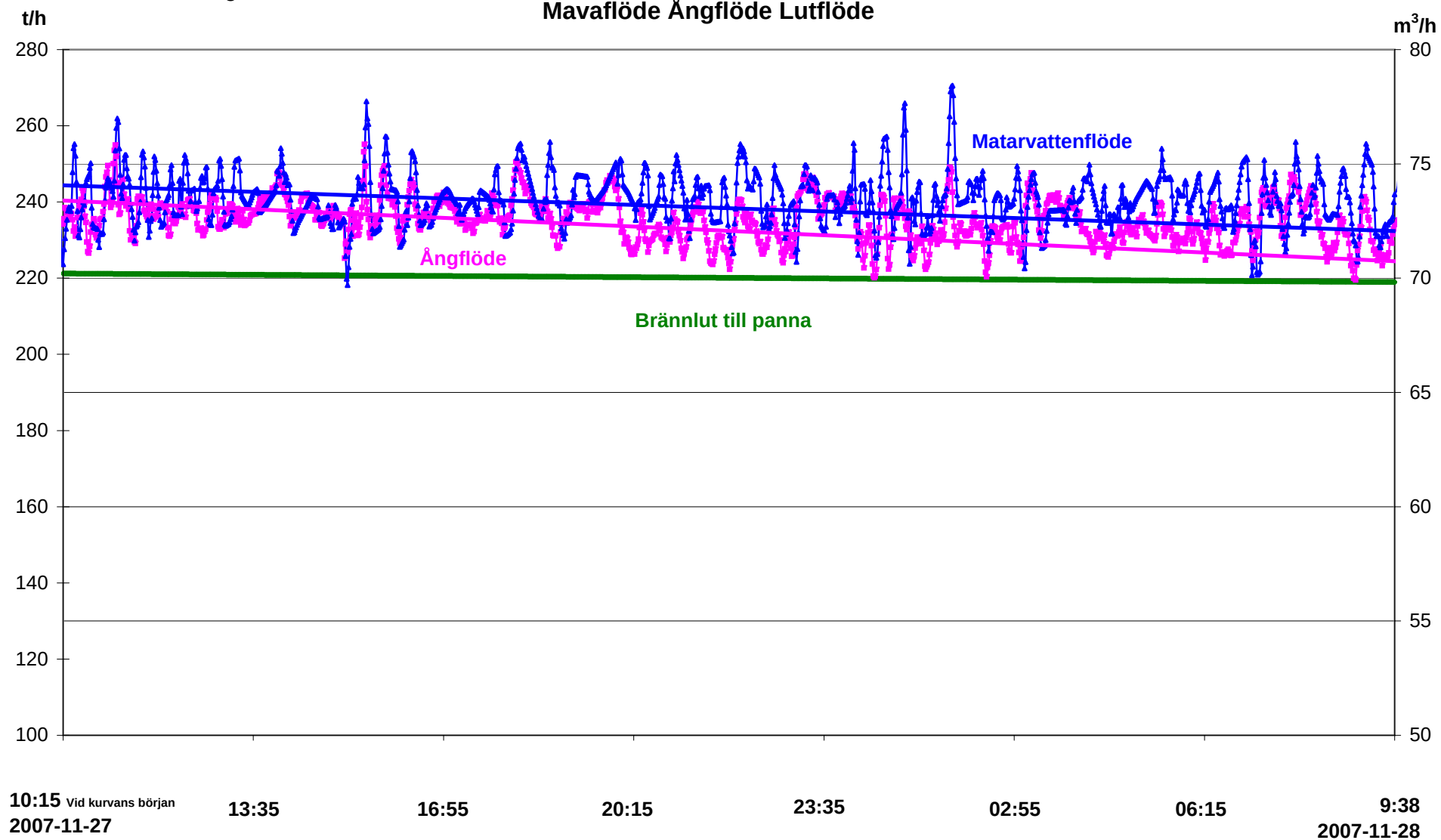
Bilaga AA - HH

REFERENSPROV, 2007-11-28

Matarvattenflöde o Ångflöde

Brännlut till panna

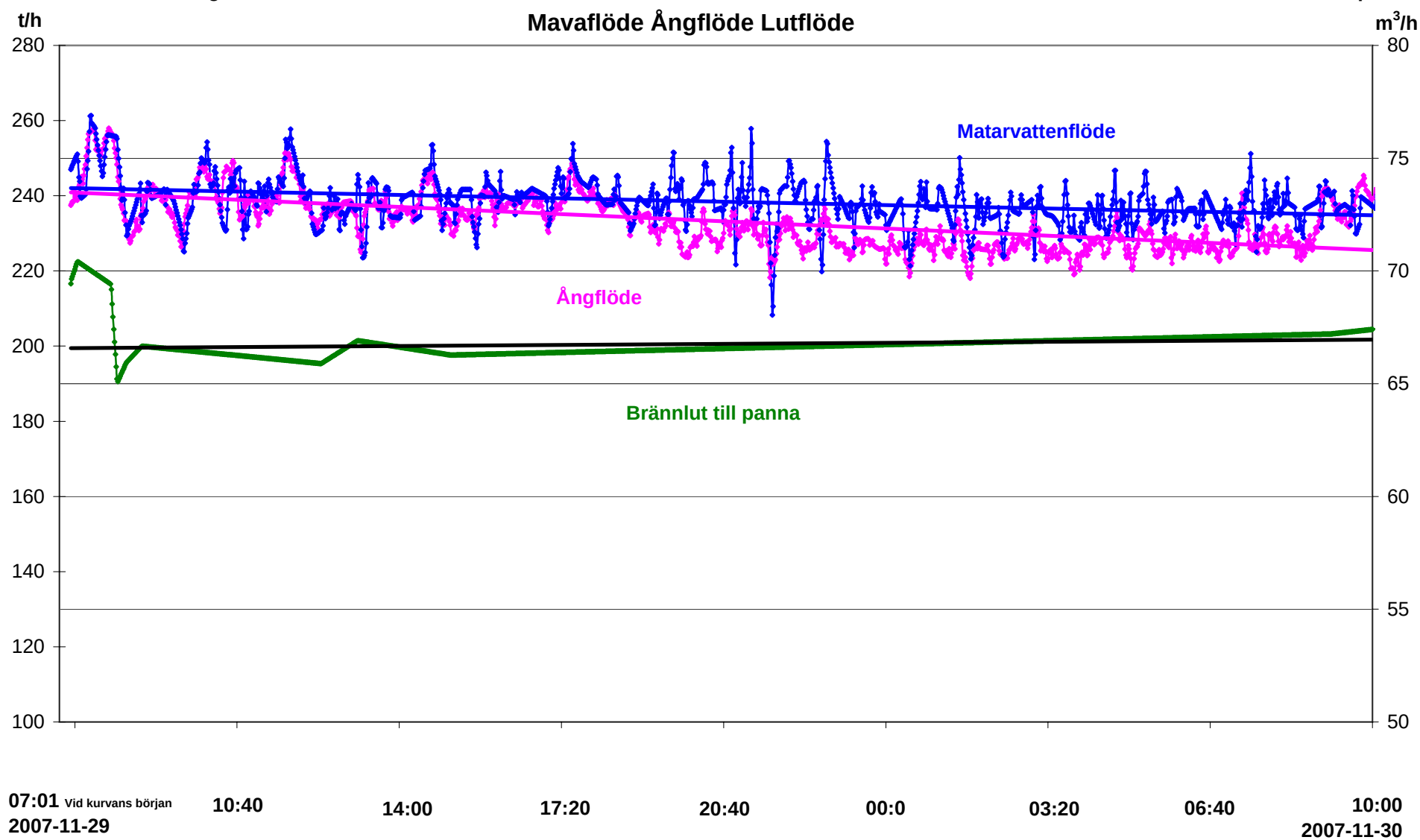
Mavaflöde Ångflöde Lutflöde



PROVDAG 1, 2007-11-30

Matarvattenflöde o Ångflöde

Brännlut till panna

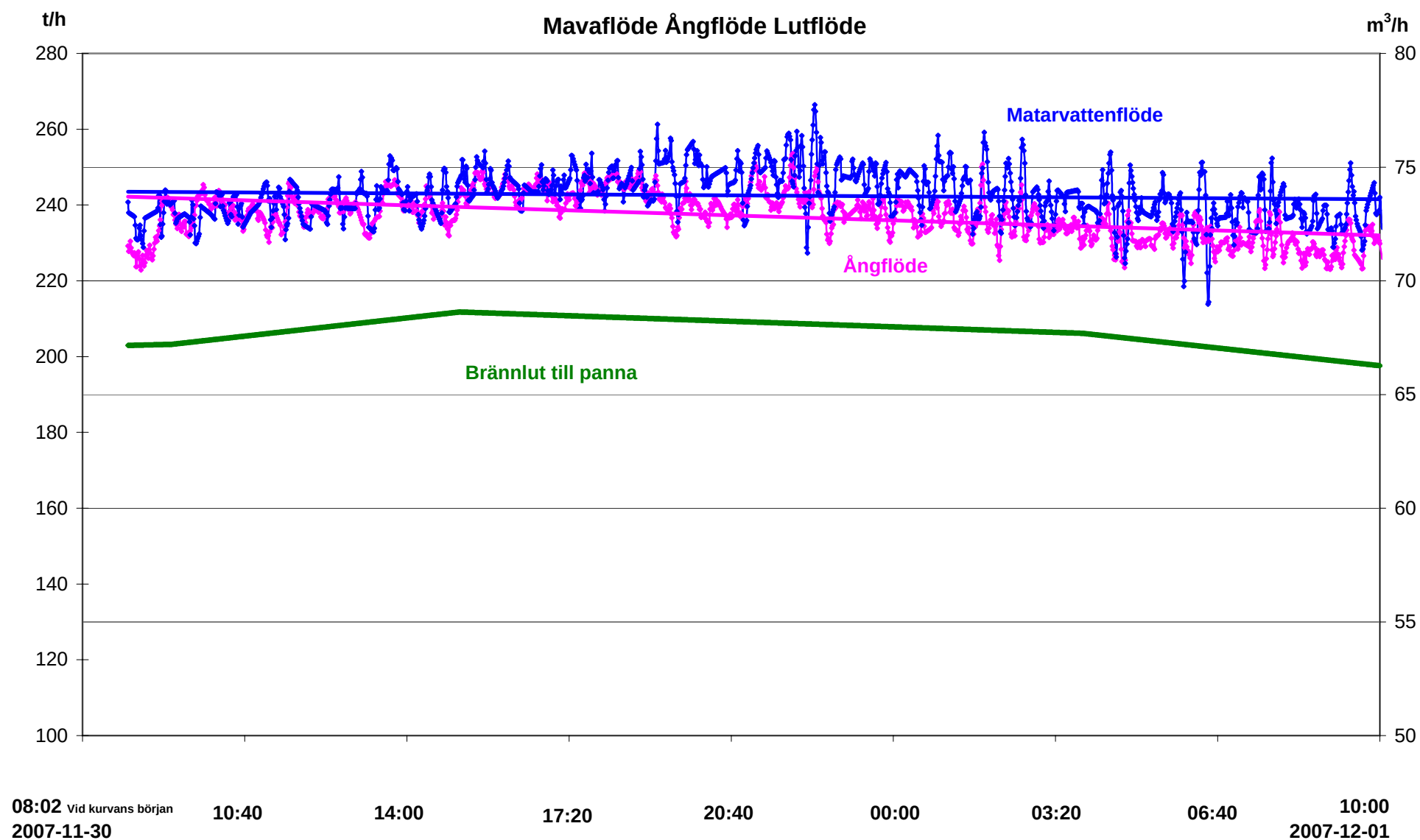


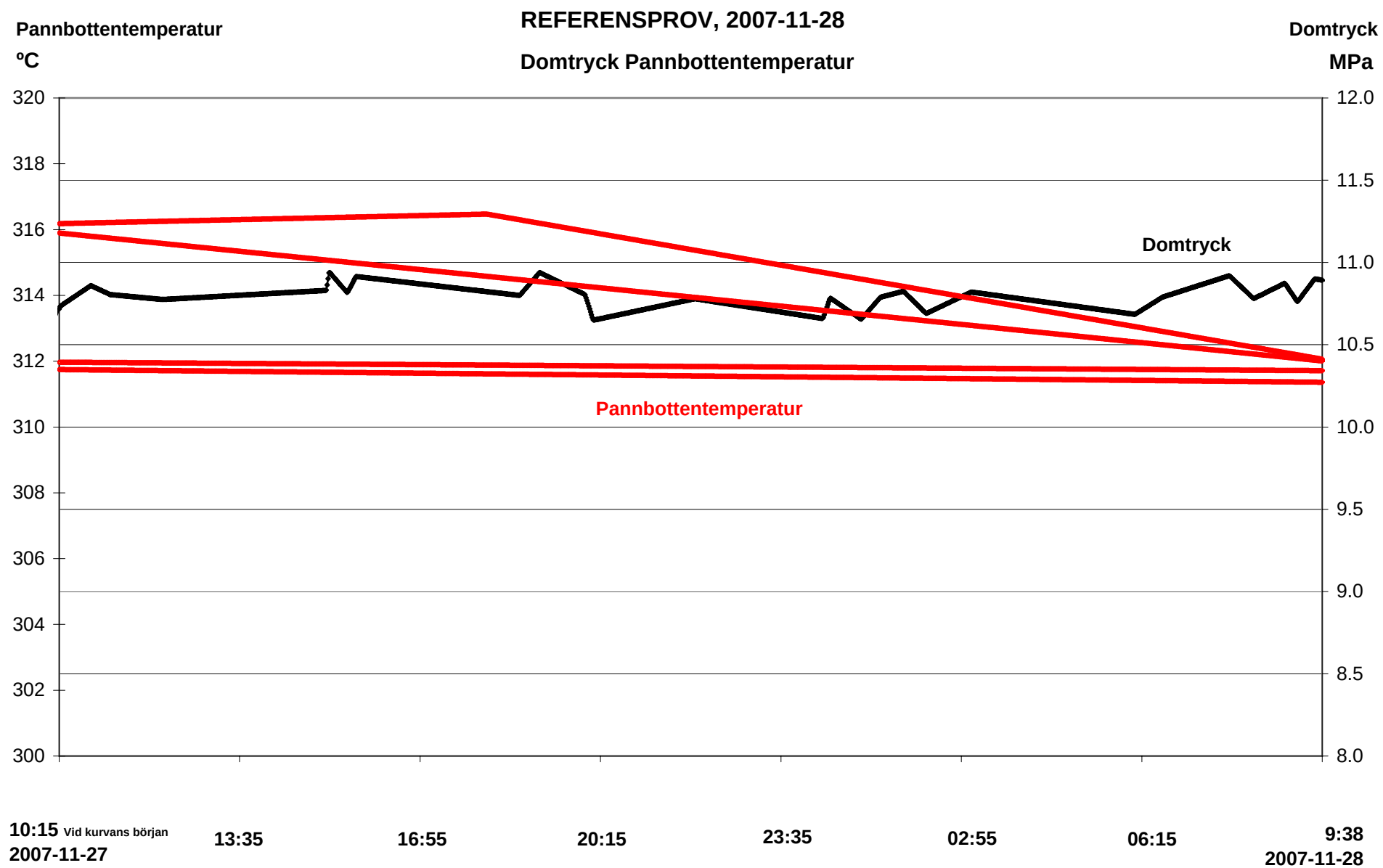
Matarvattenflöde o Ångflöde

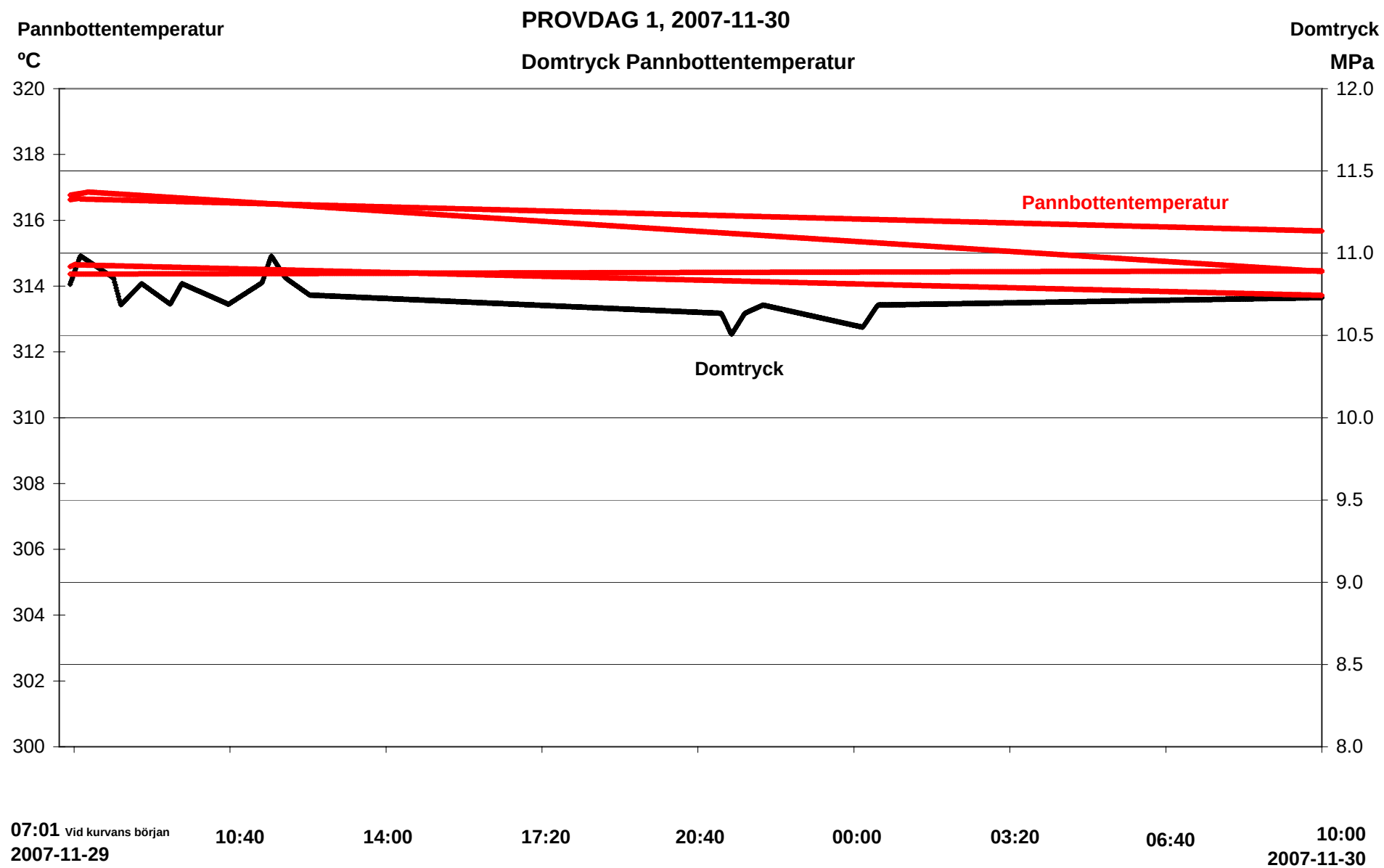
PROVDAG 2, 2007-12-01

Brännlut till panna

Mavaflöde Ångflöde Lutflöde







Pannbottentemperatur

PROVDAG 2, 2007-12-01

Domtryck

°C

Domtryck Pannbottentemperatur

MPa



08:02 Vid kurvans början
2007-11-30

10:40

14:00

17:20

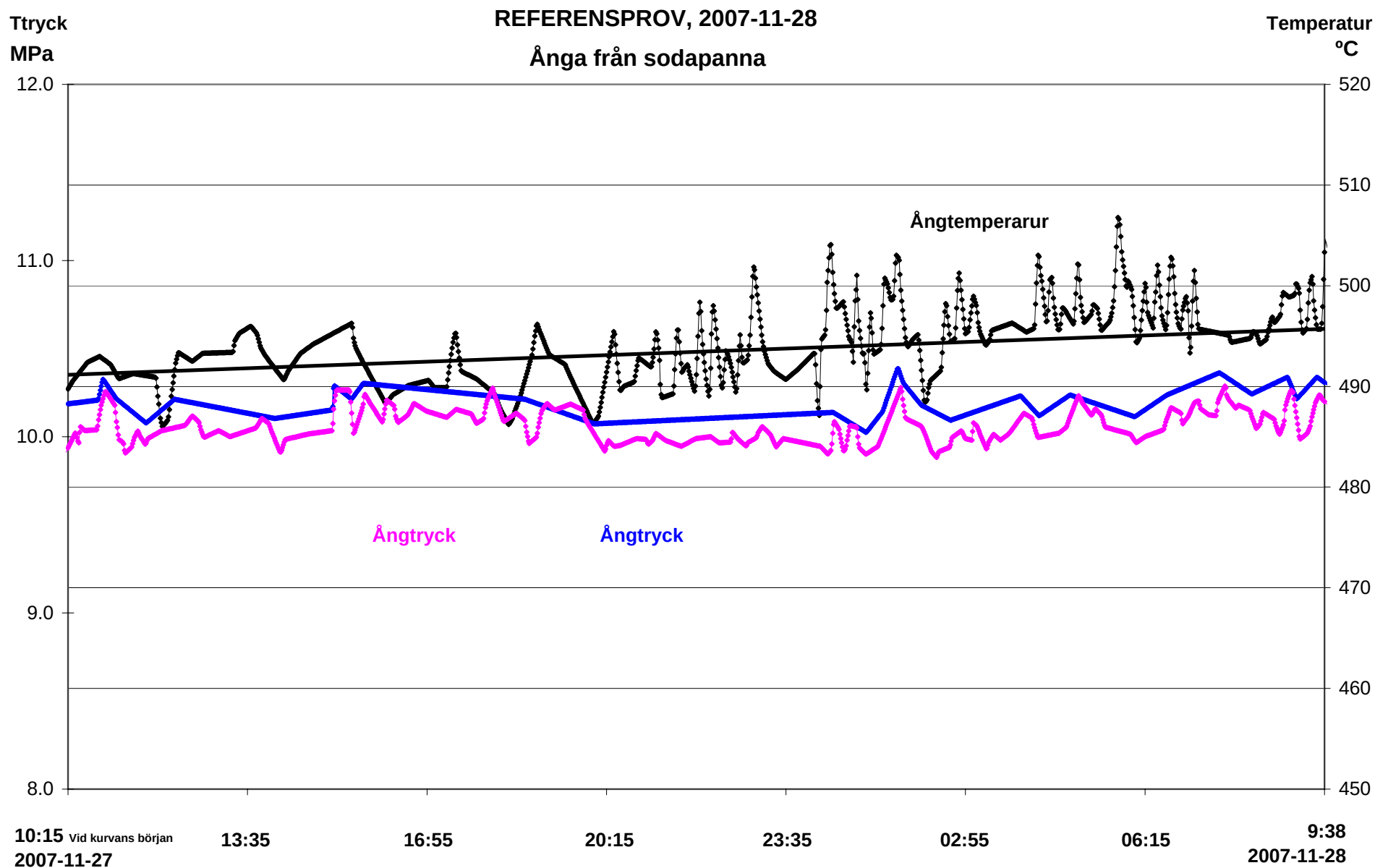
20:40

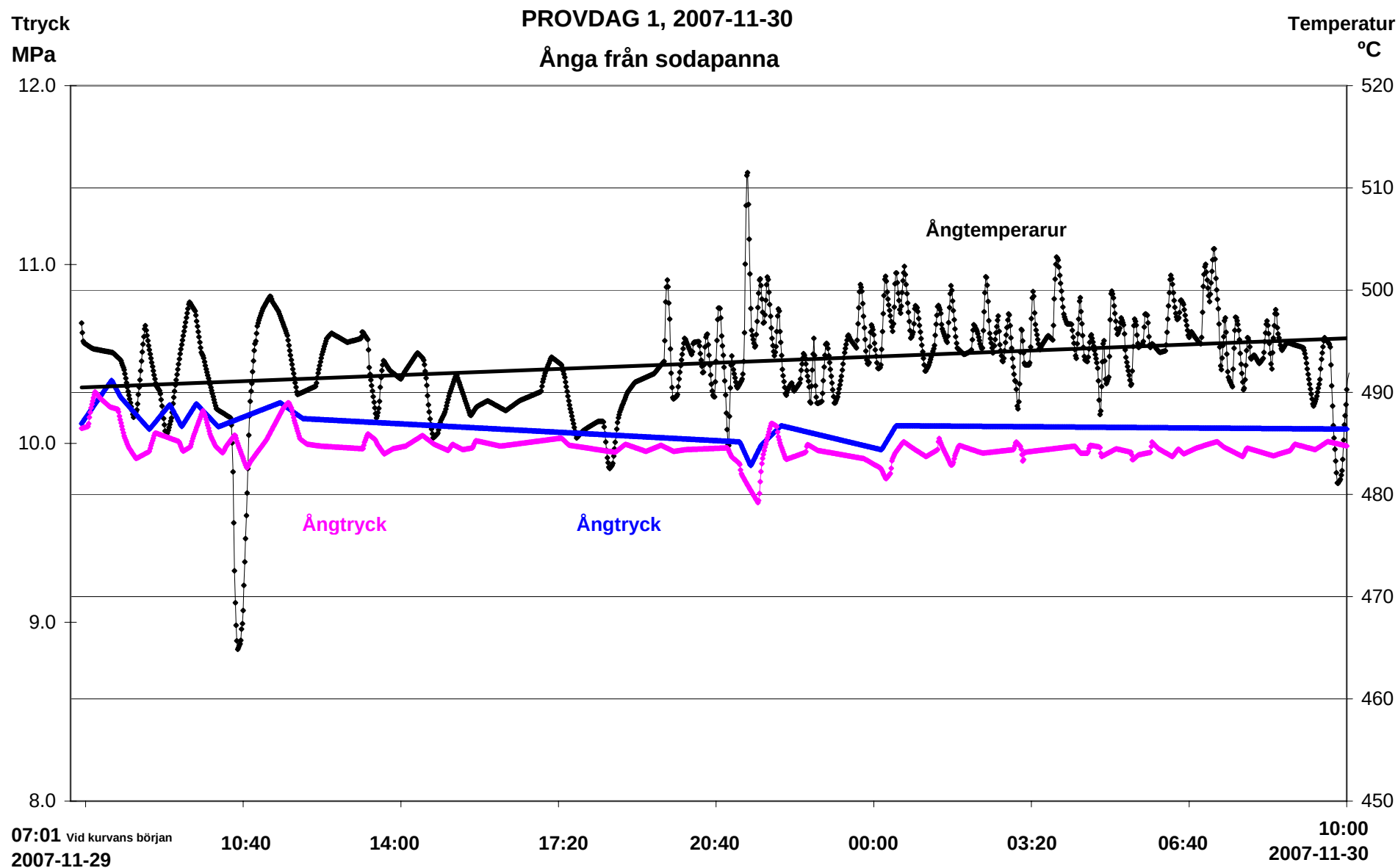
00:00

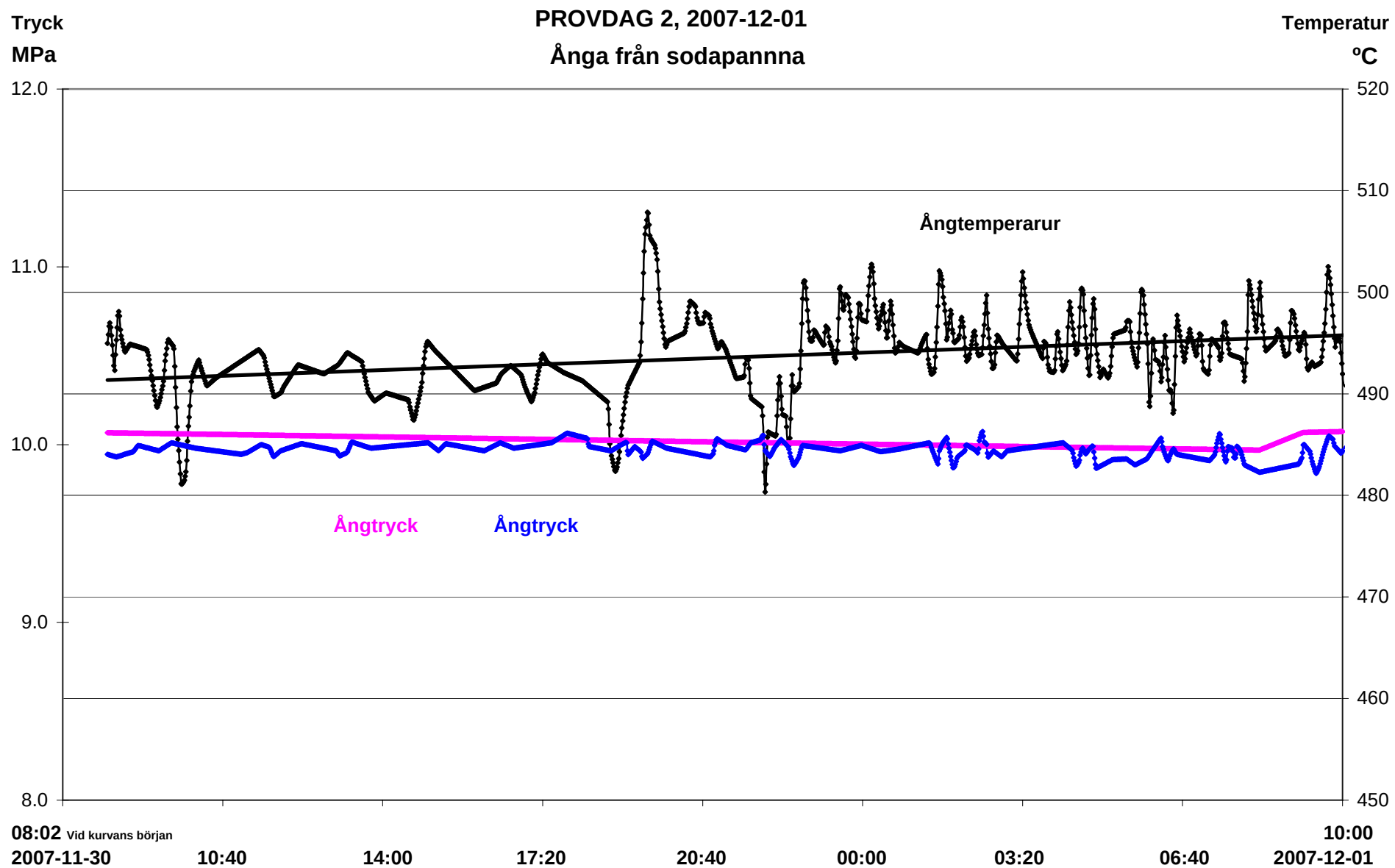
03:20

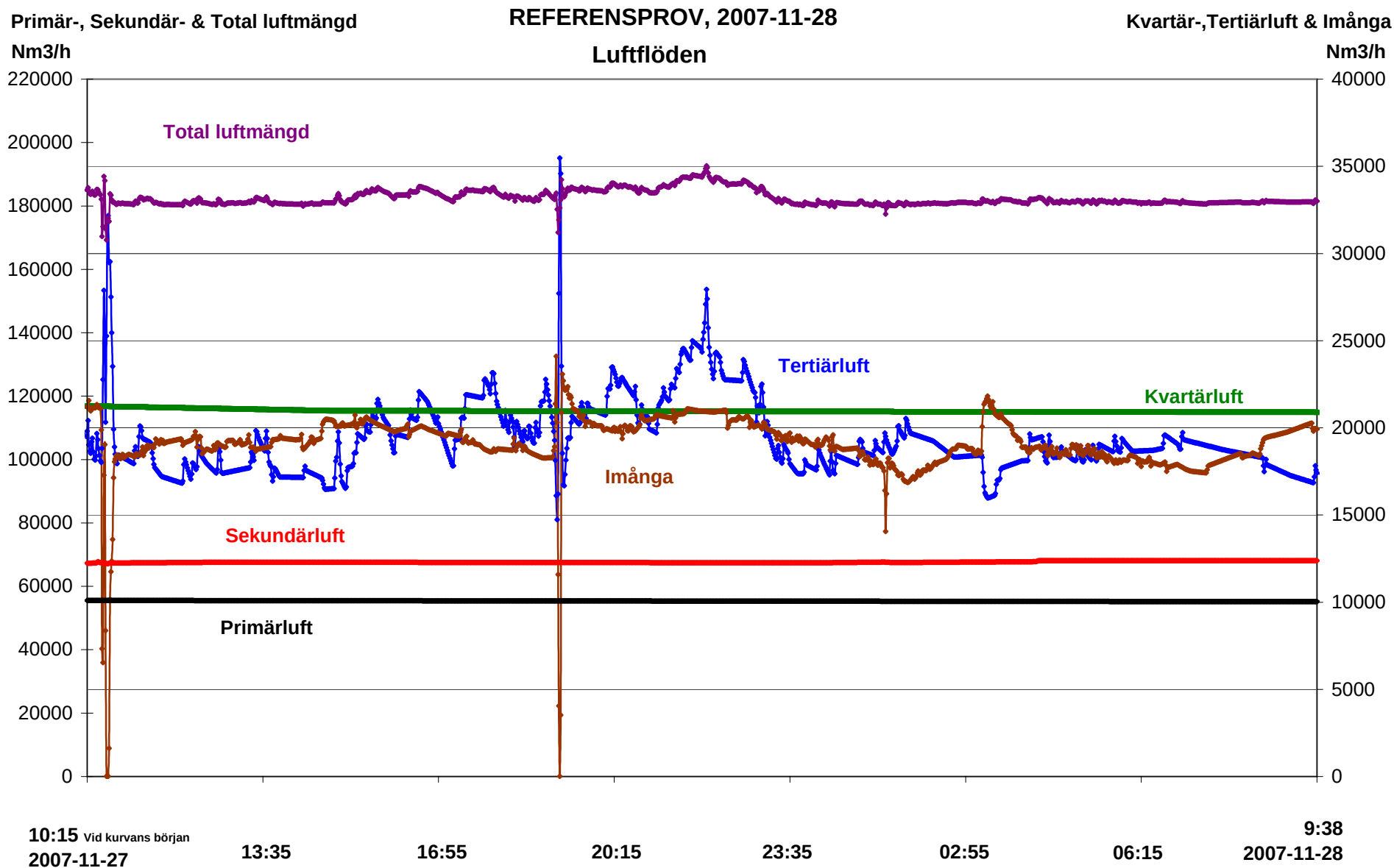
06:40

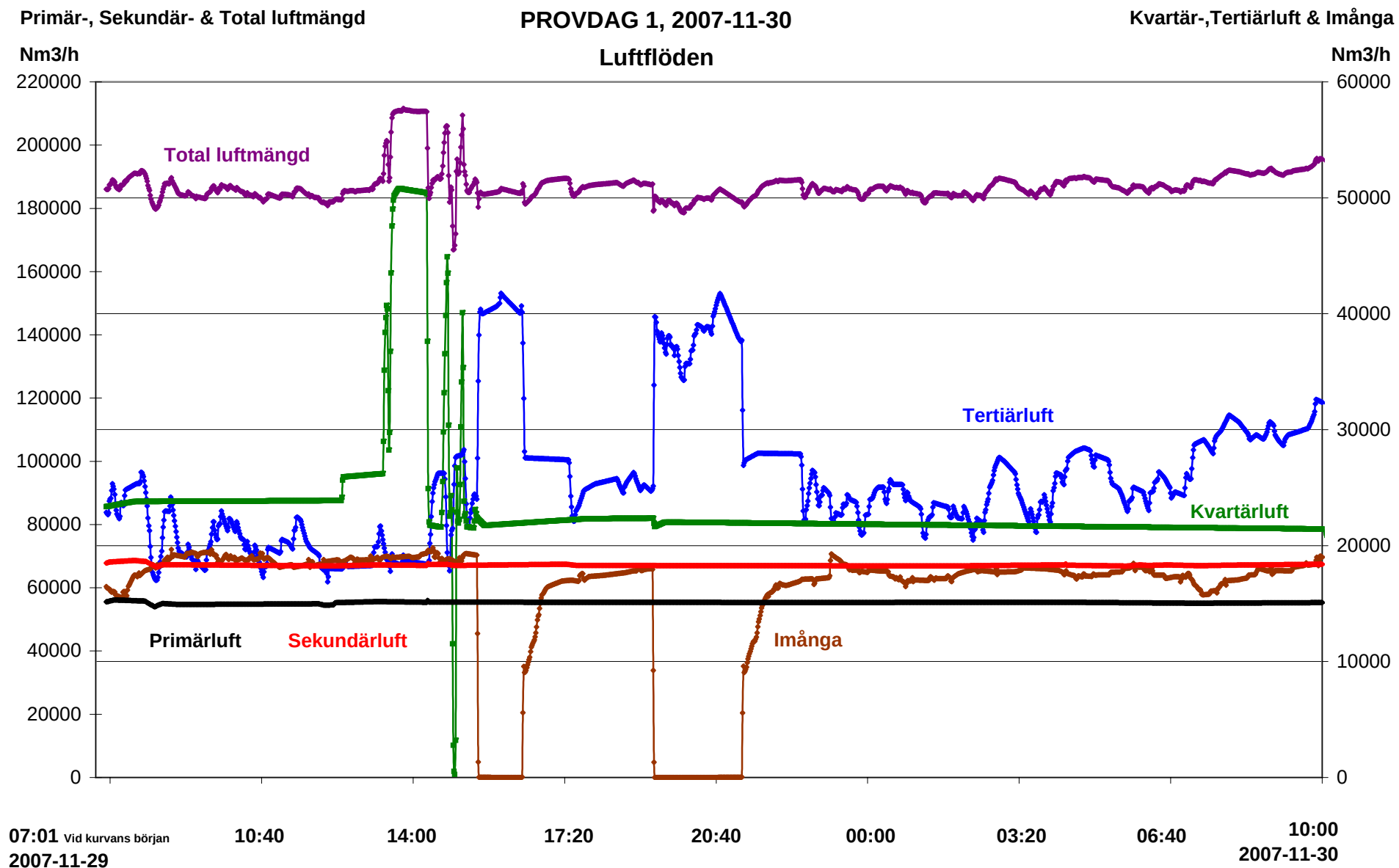
10:00
2007-12-01

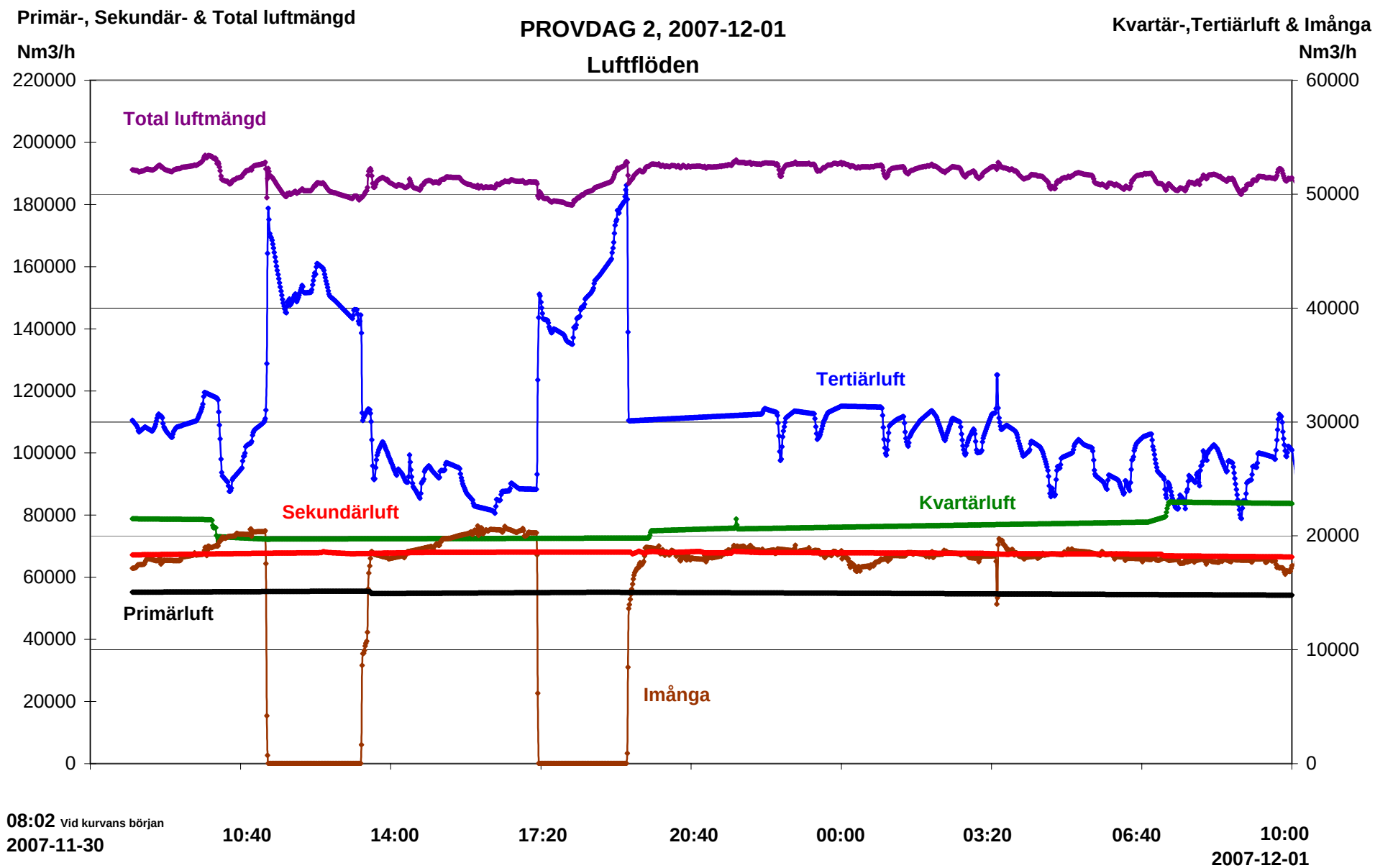


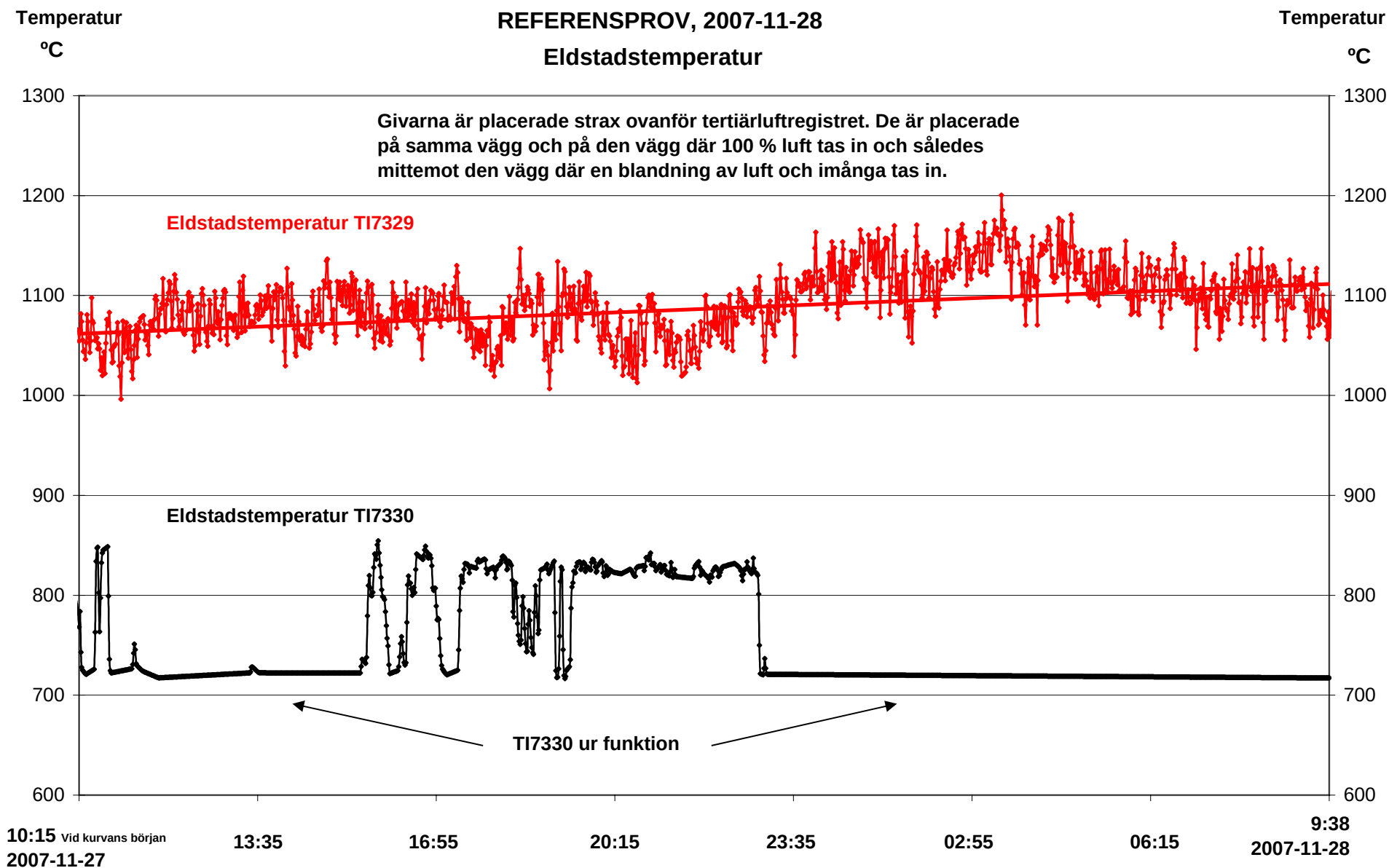


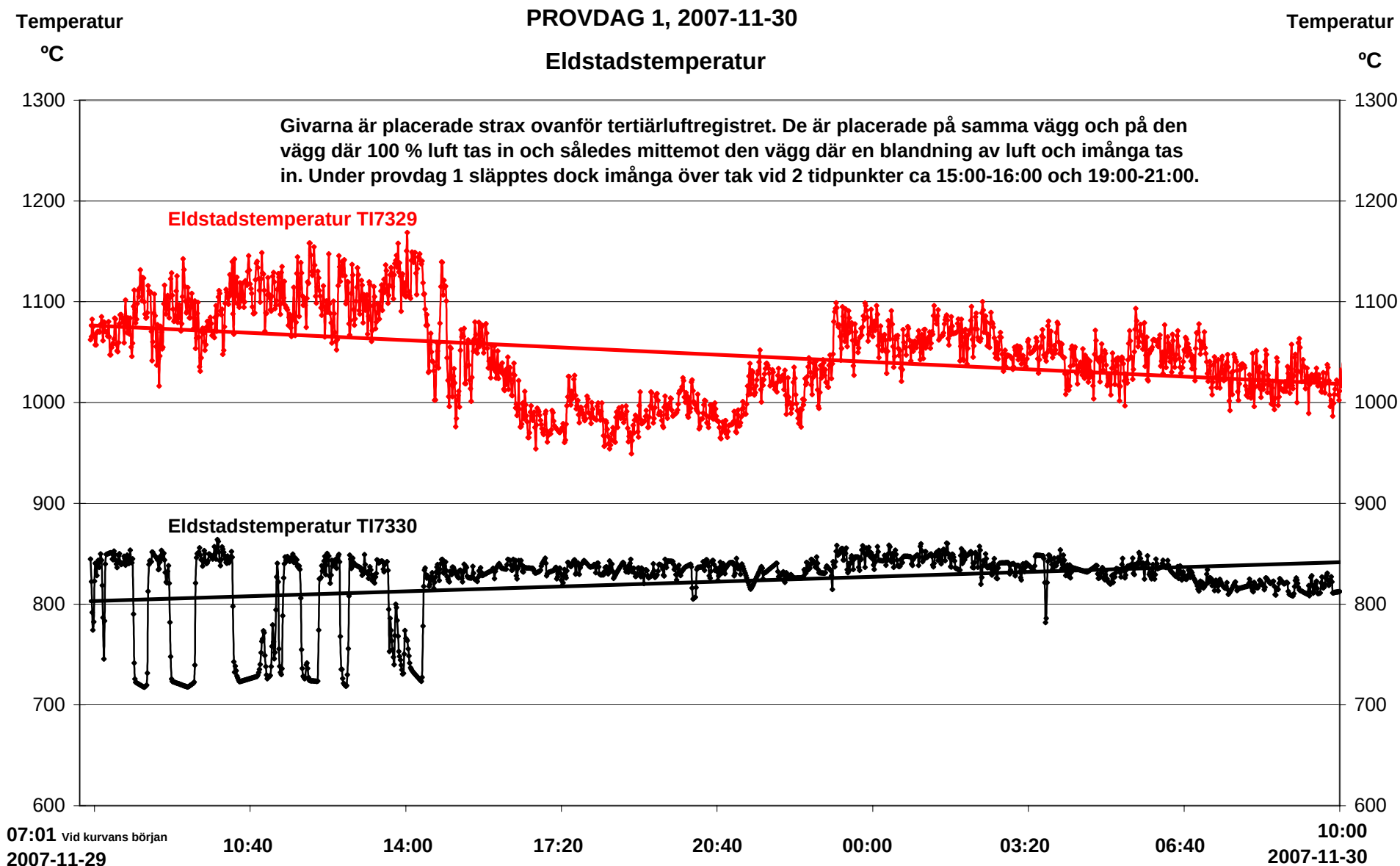


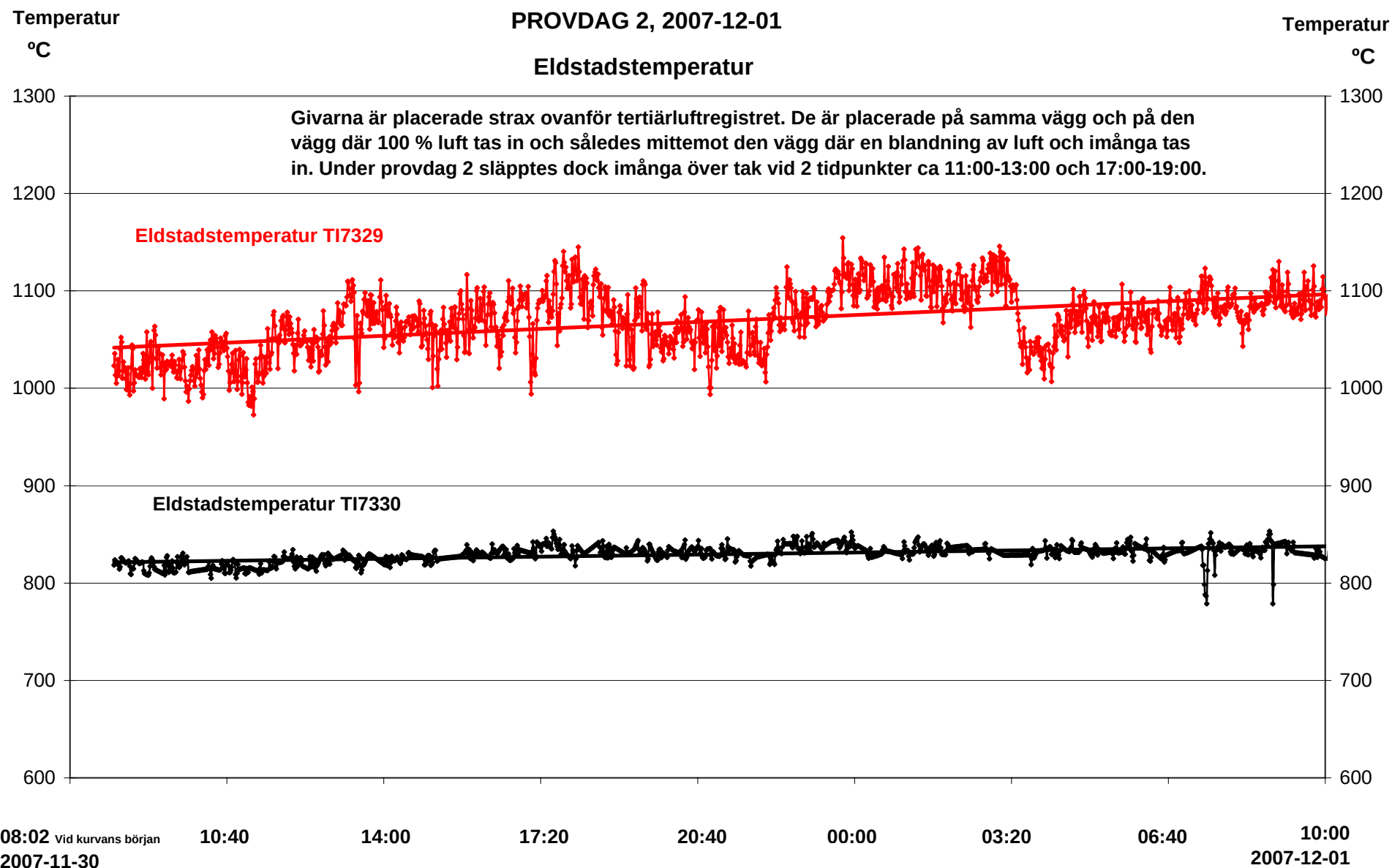


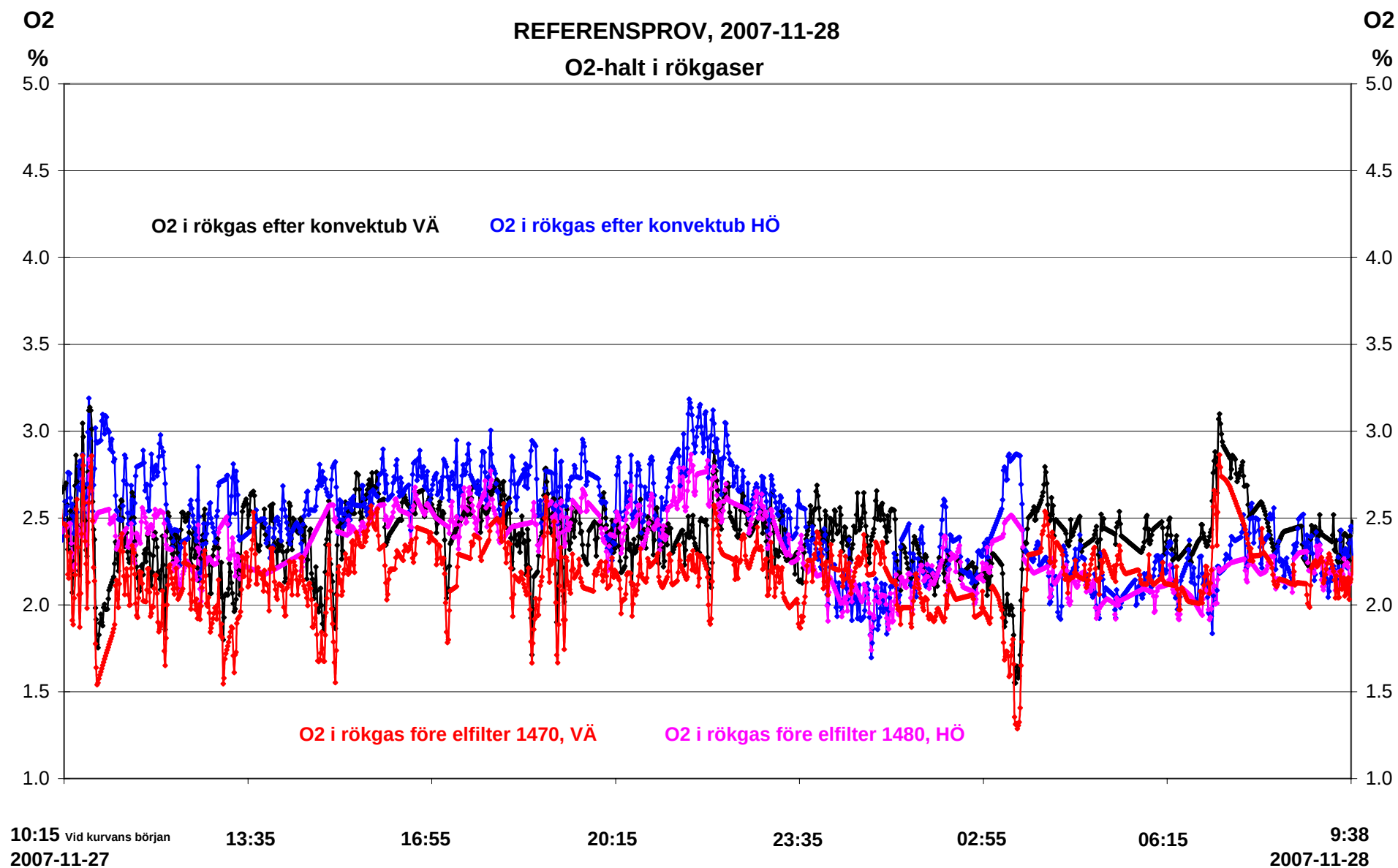


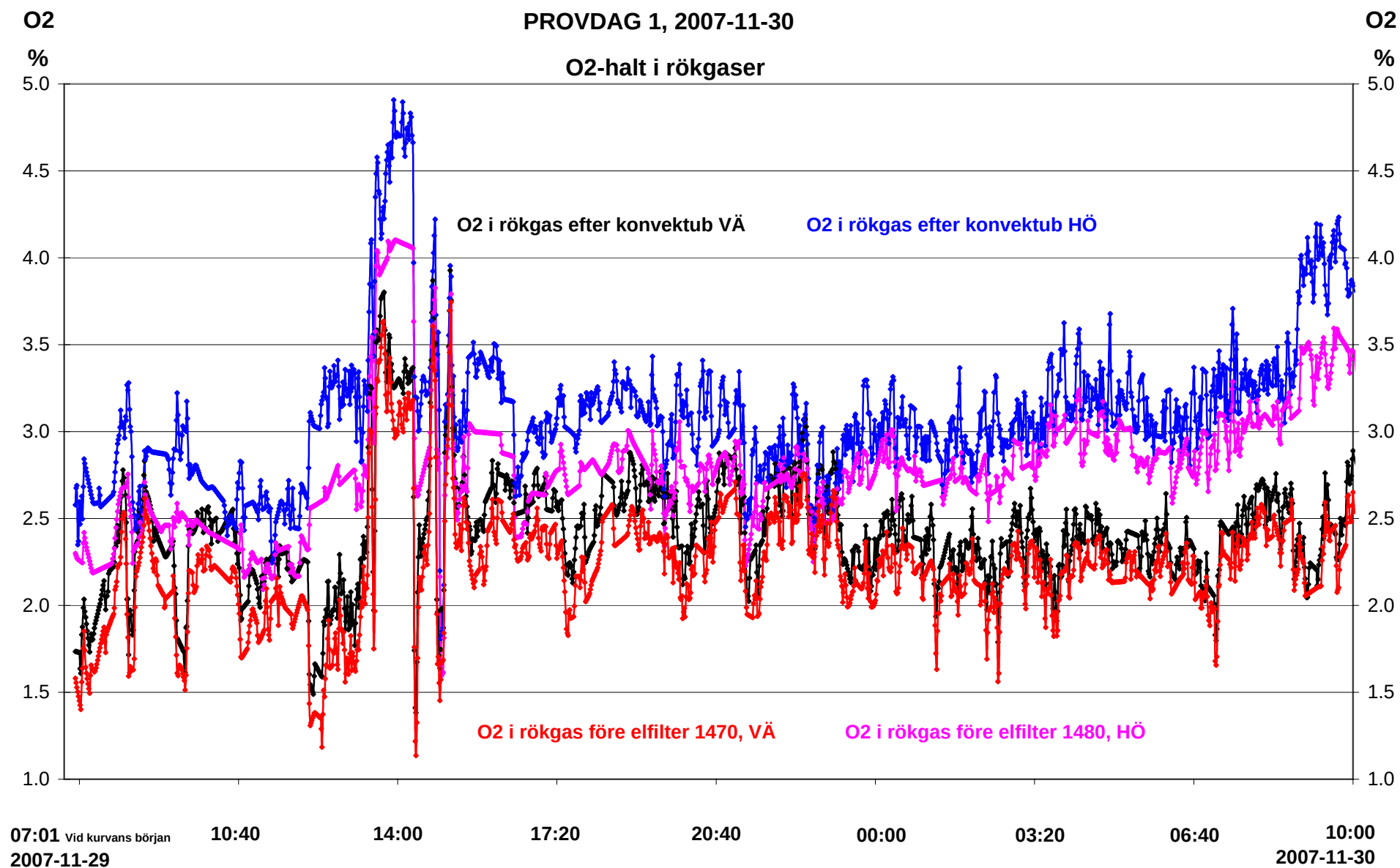


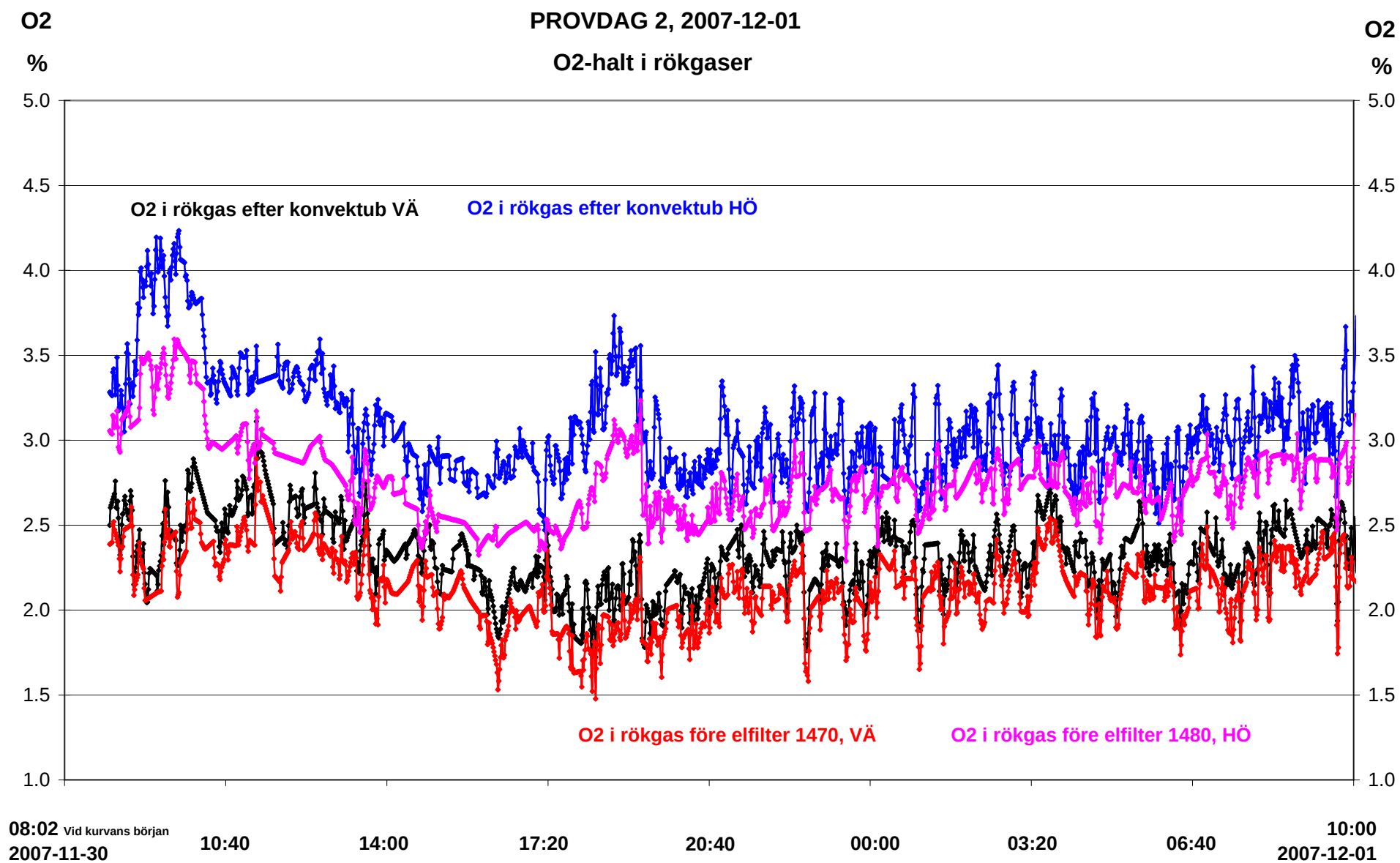


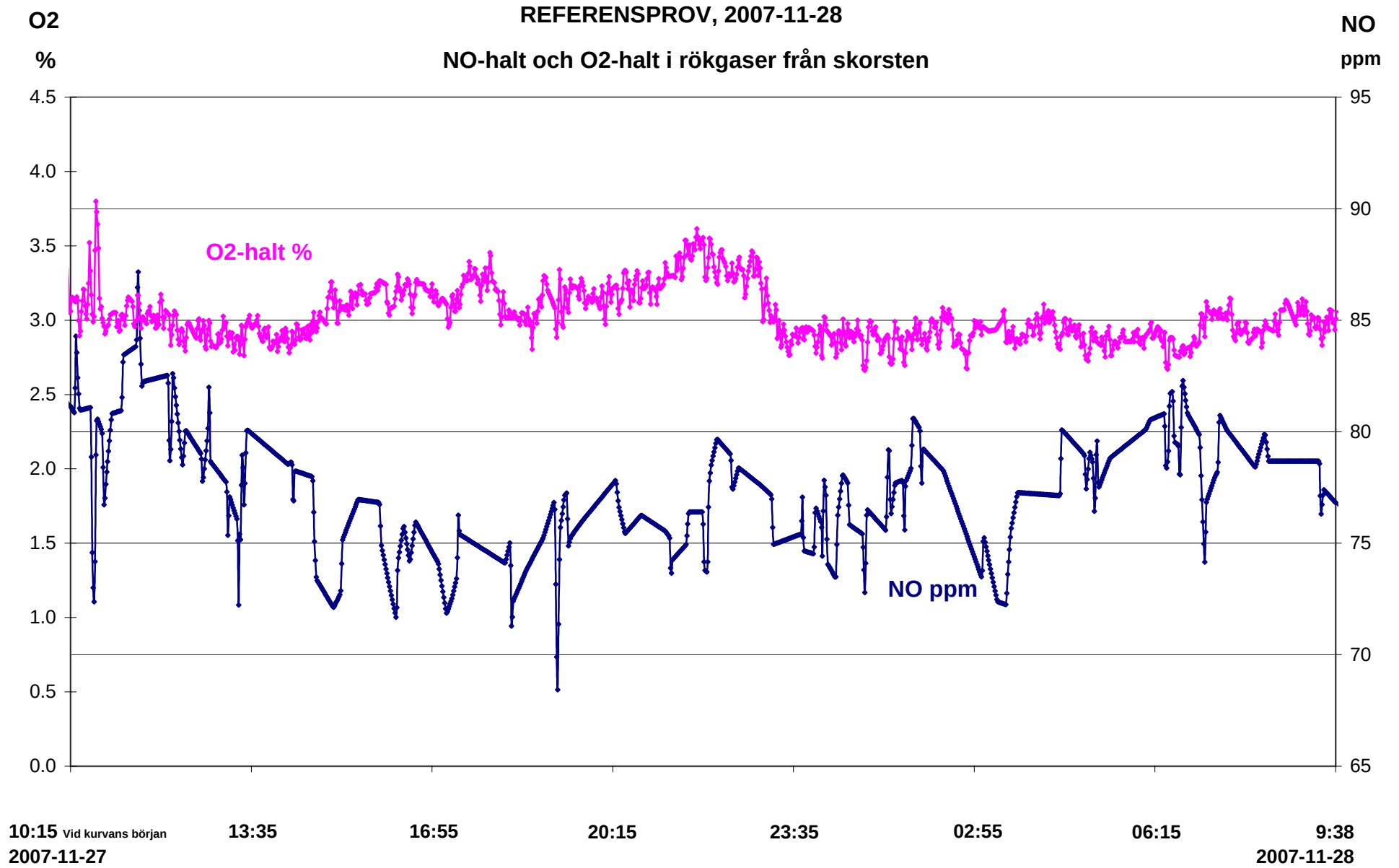


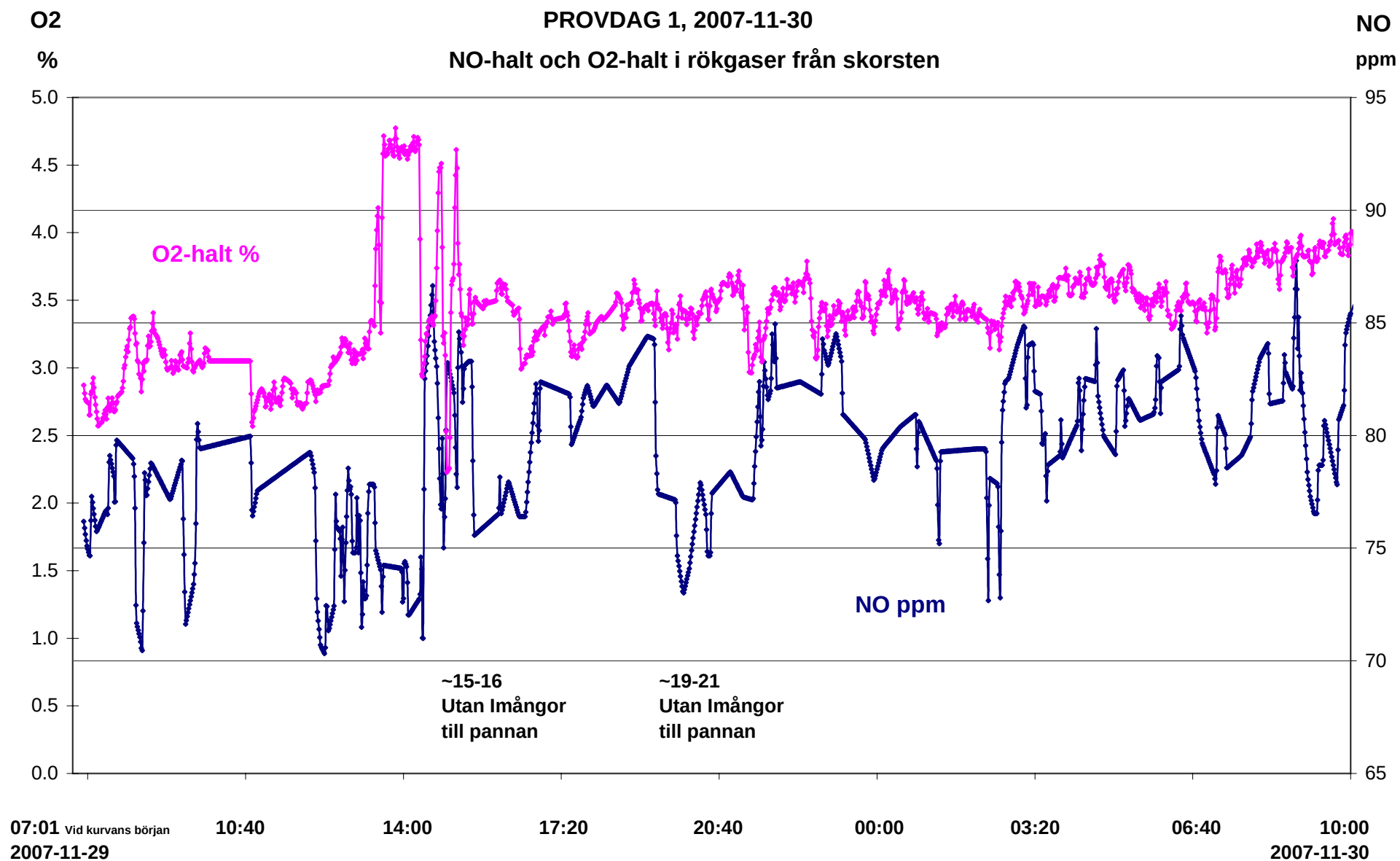


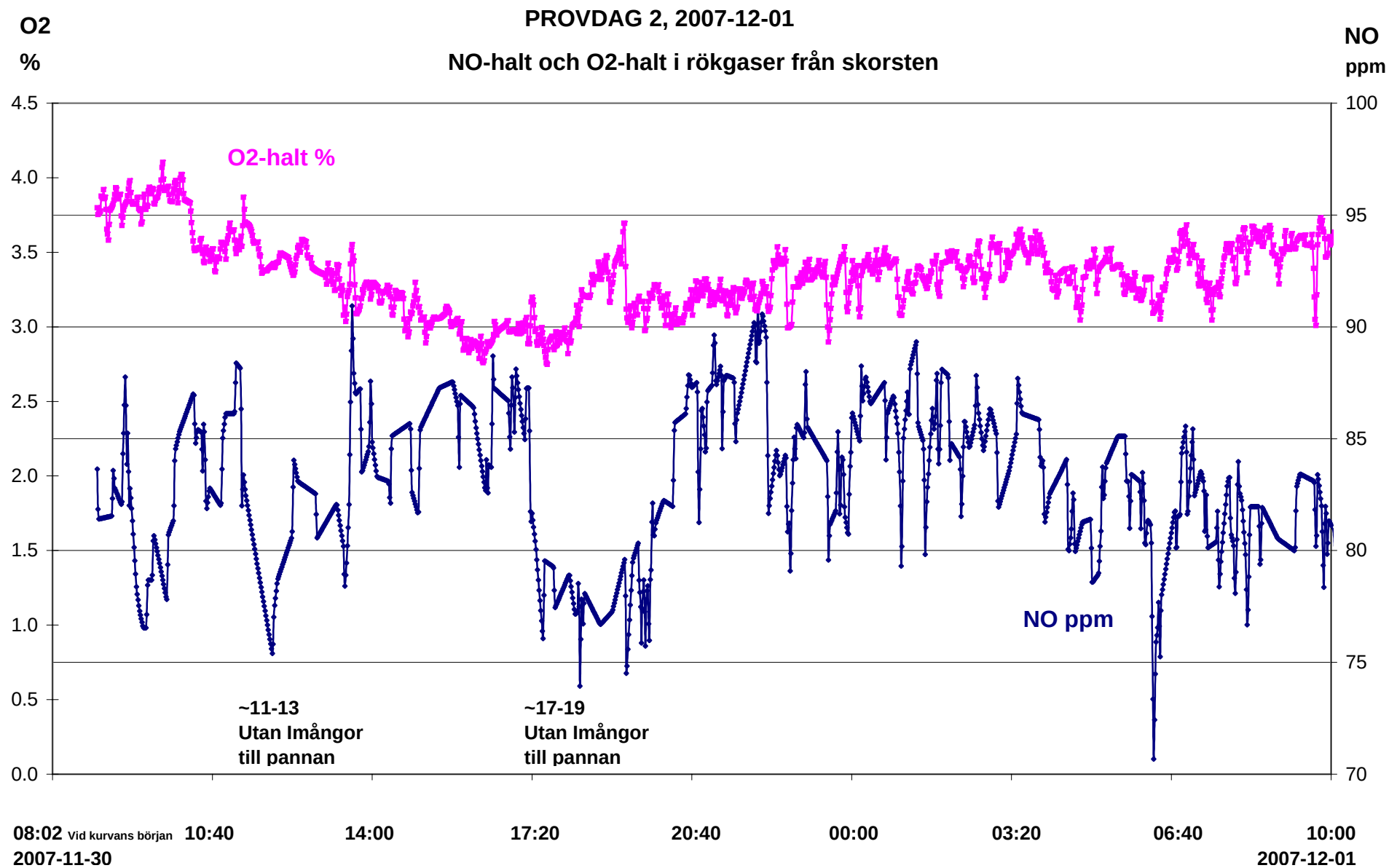


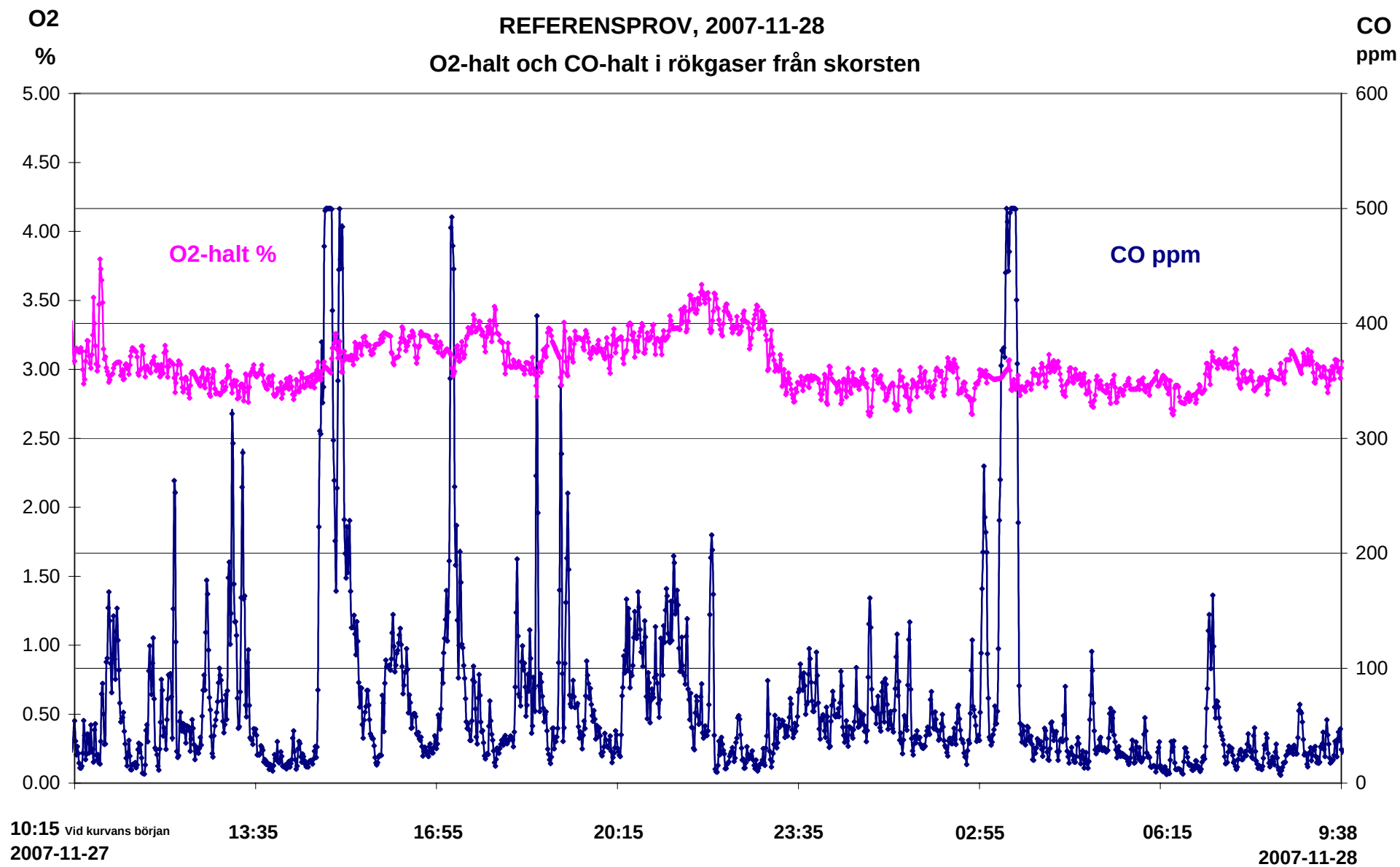


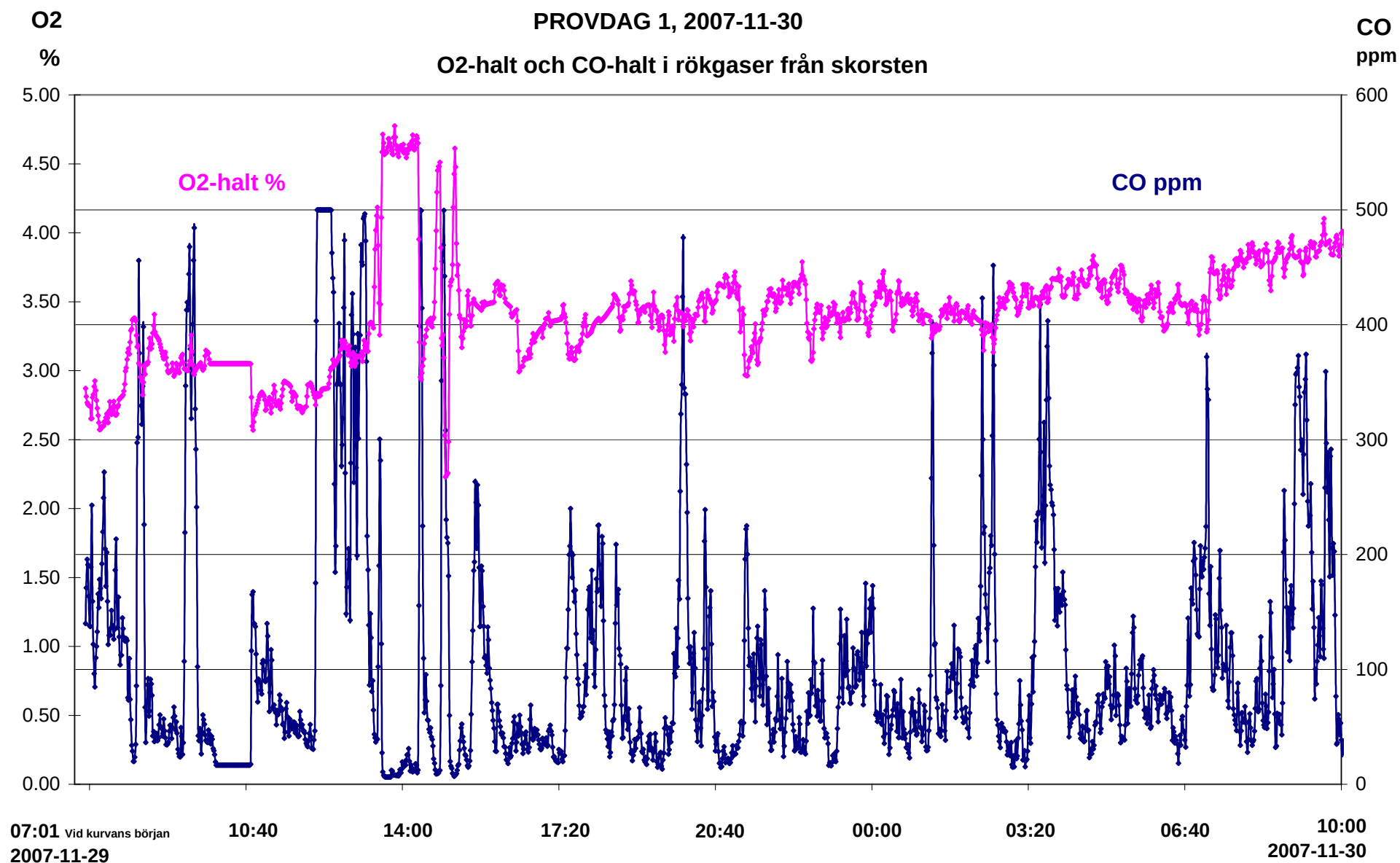


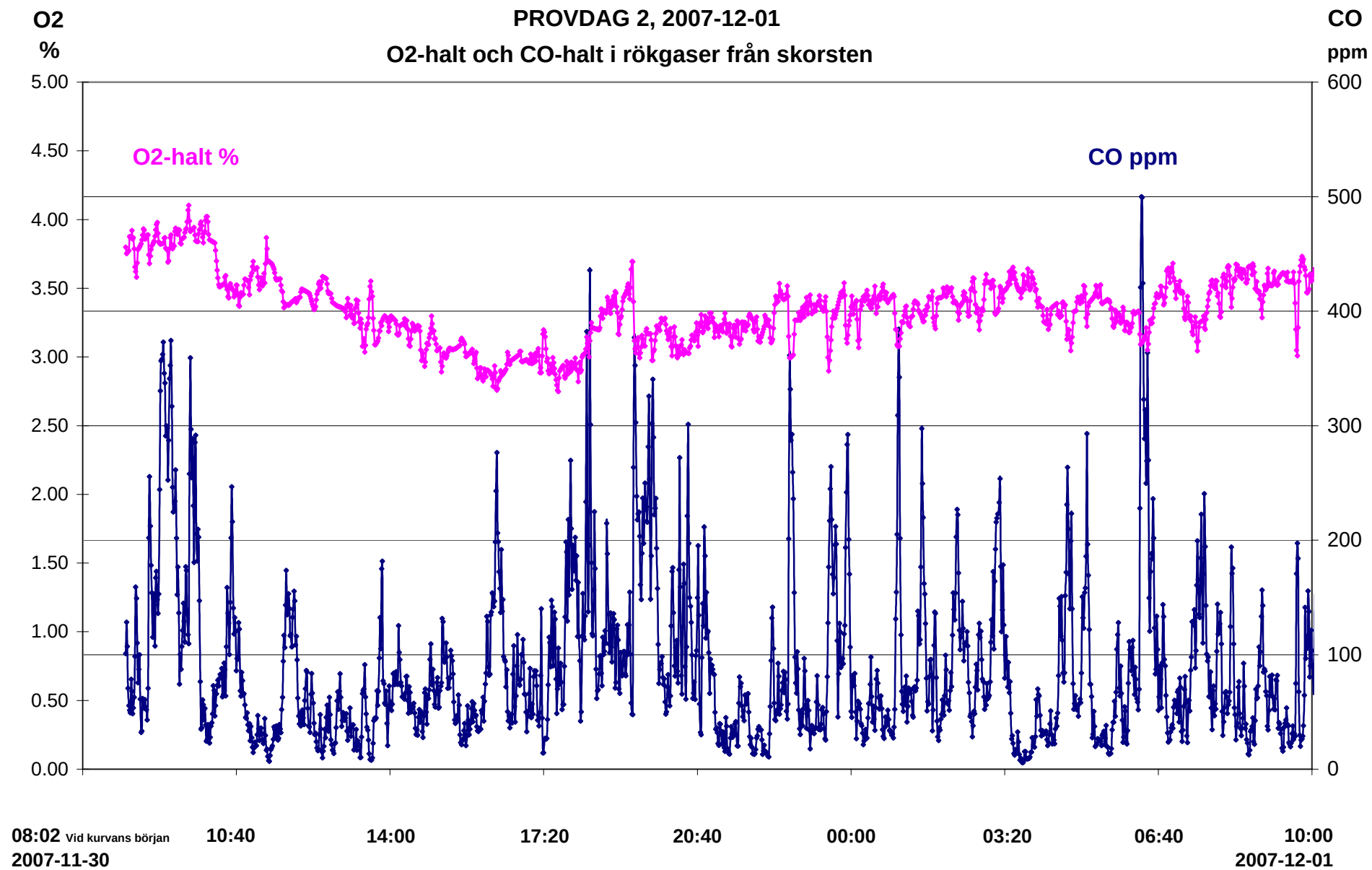








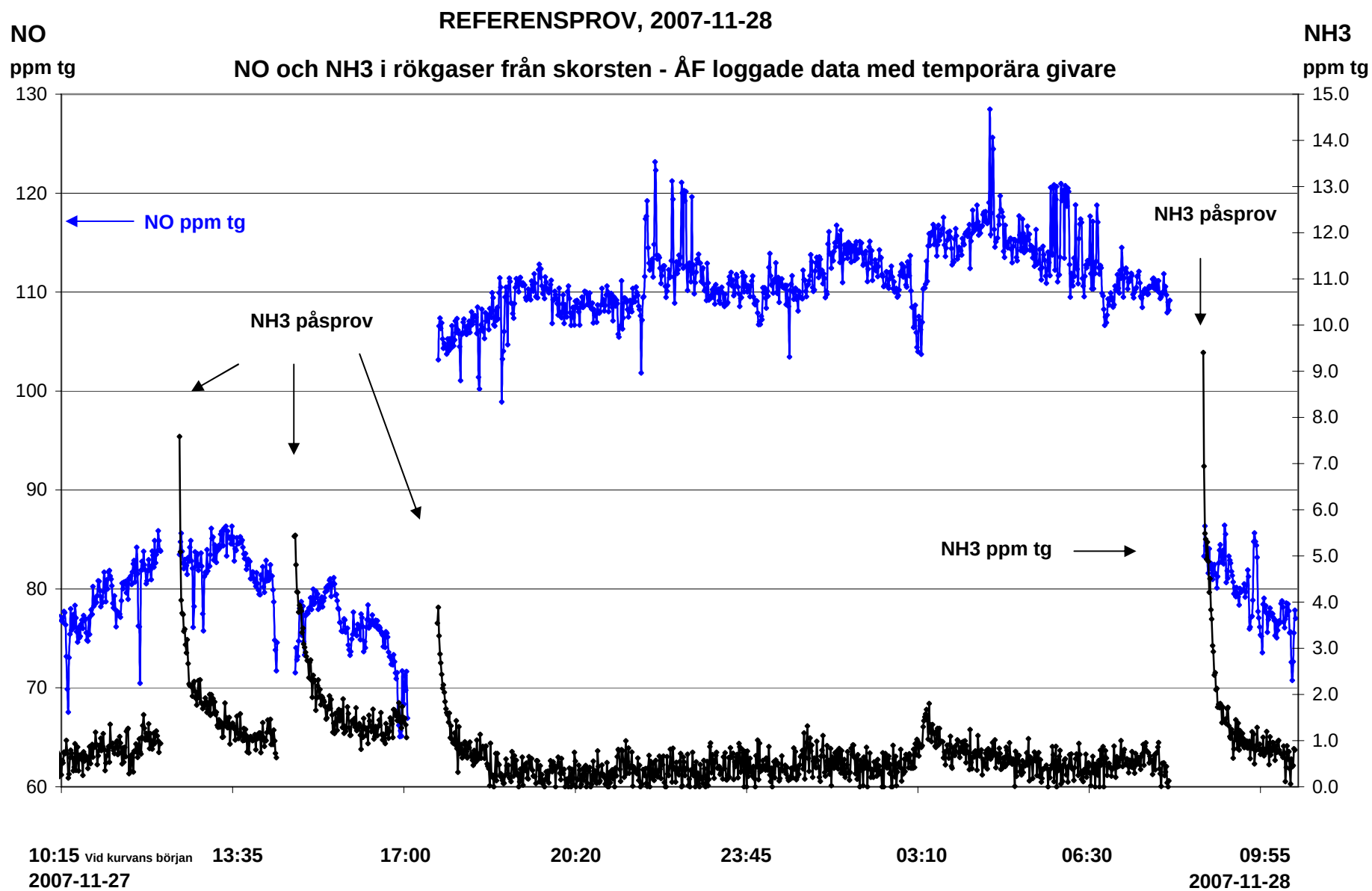


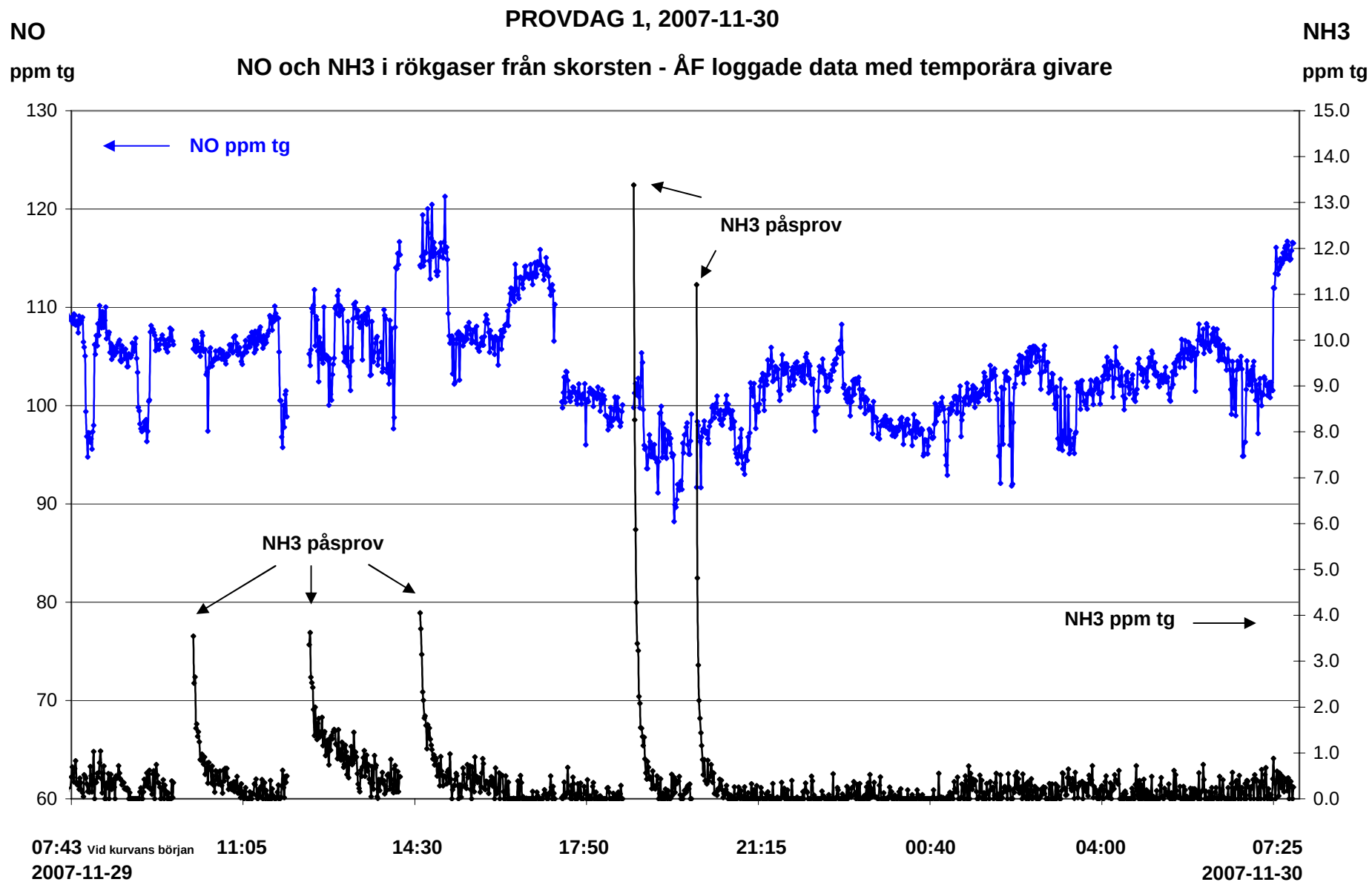


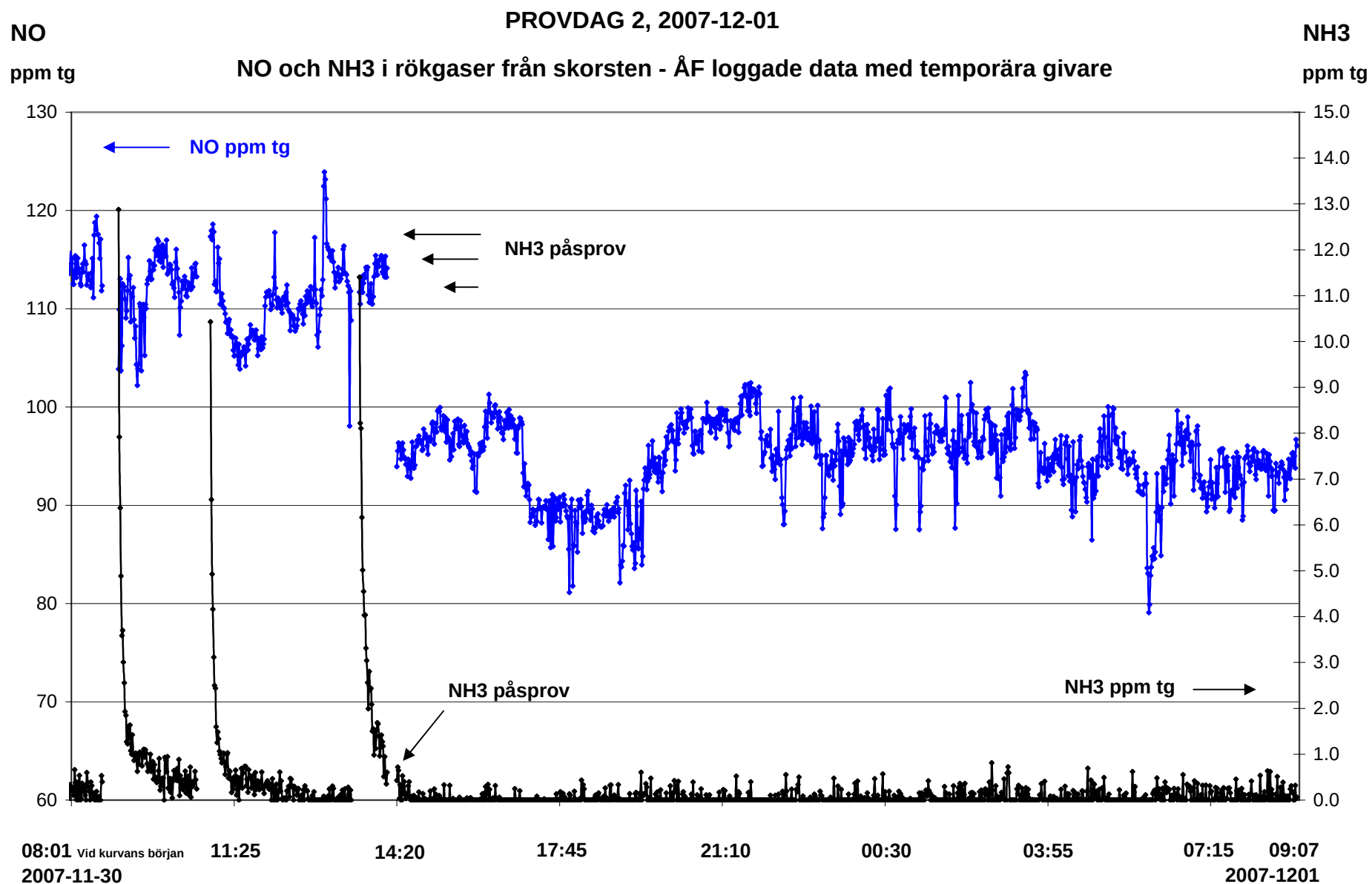
Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

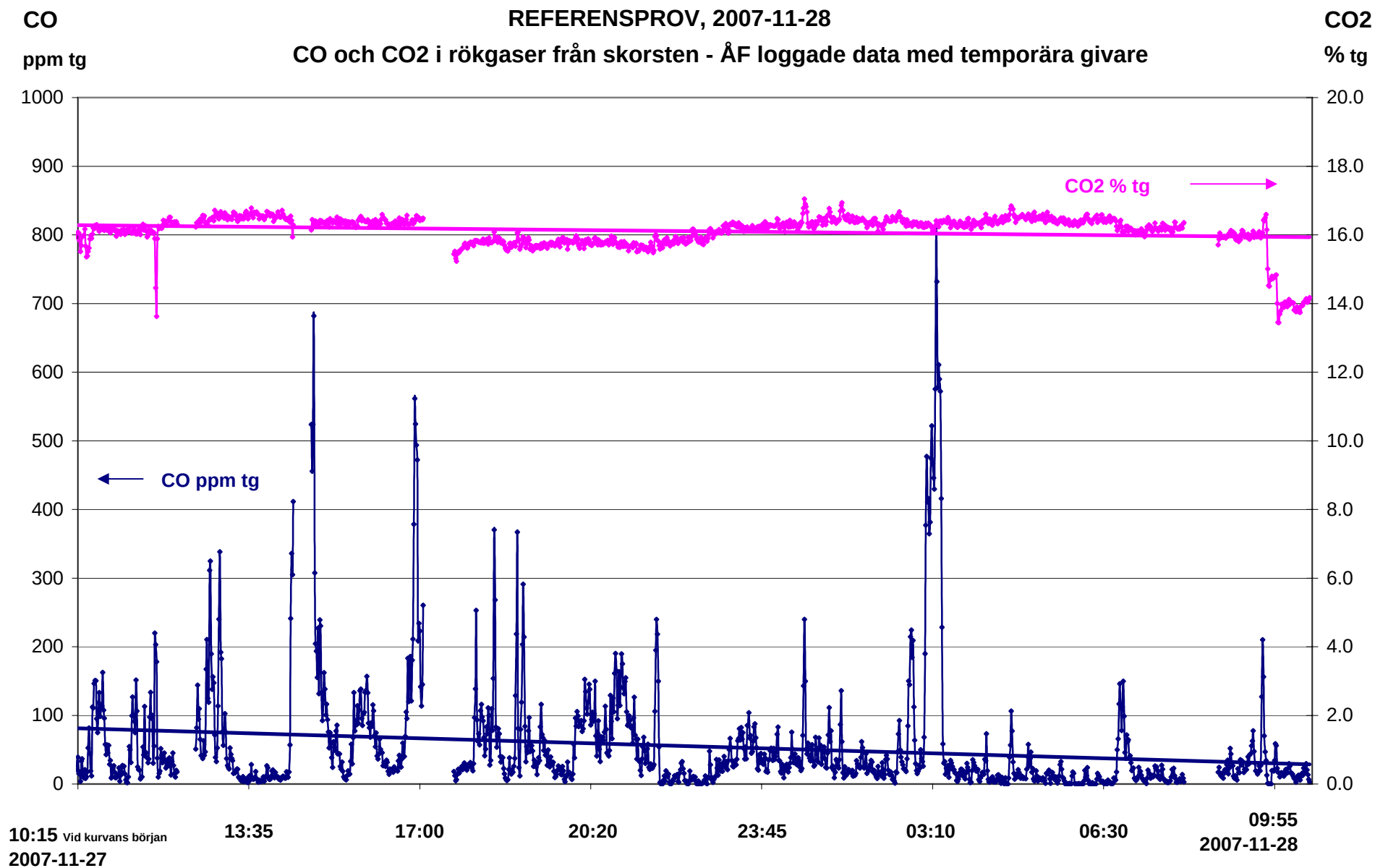
Loggade data från temporära givare - Trender

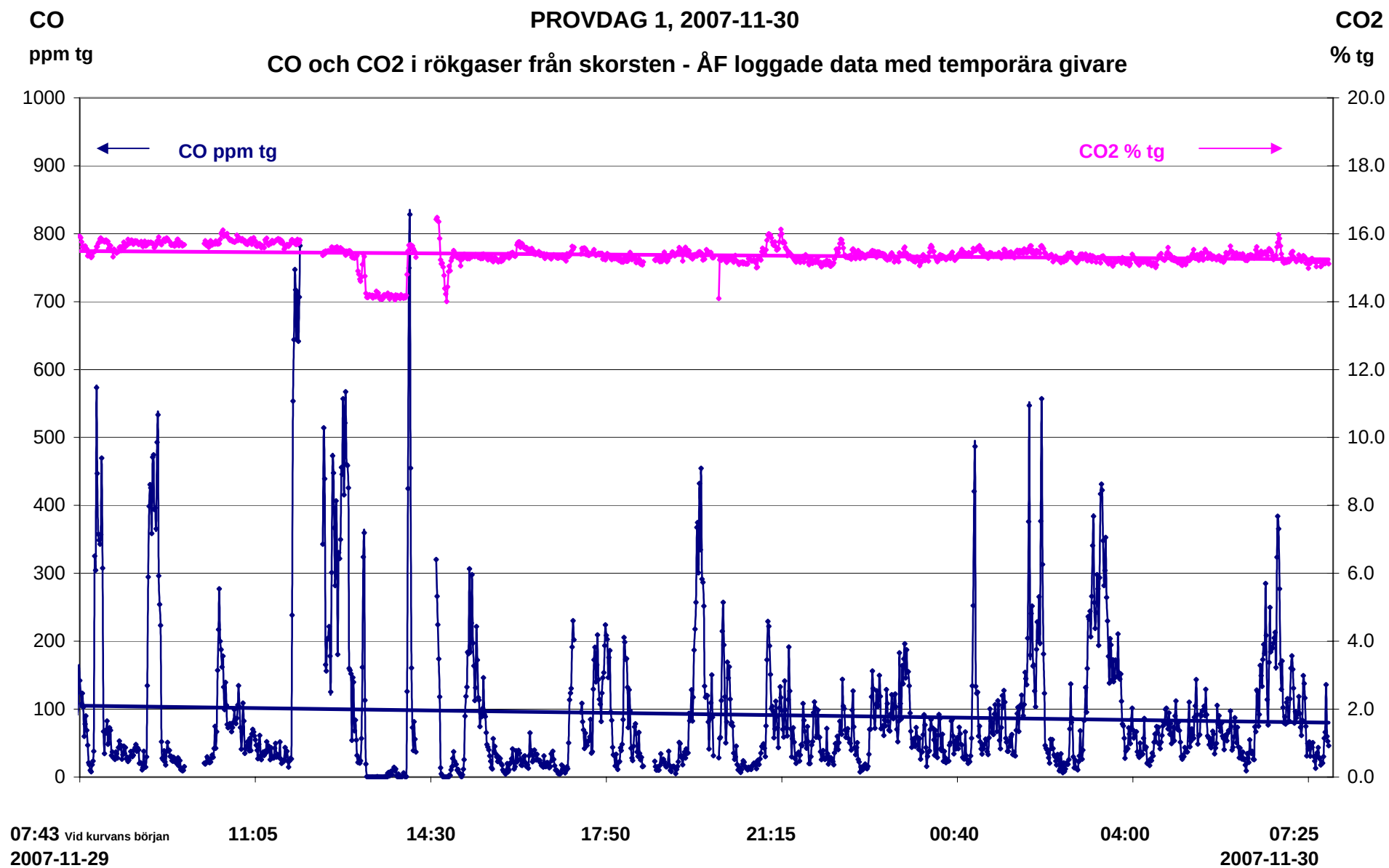
Bilaga BA - BB

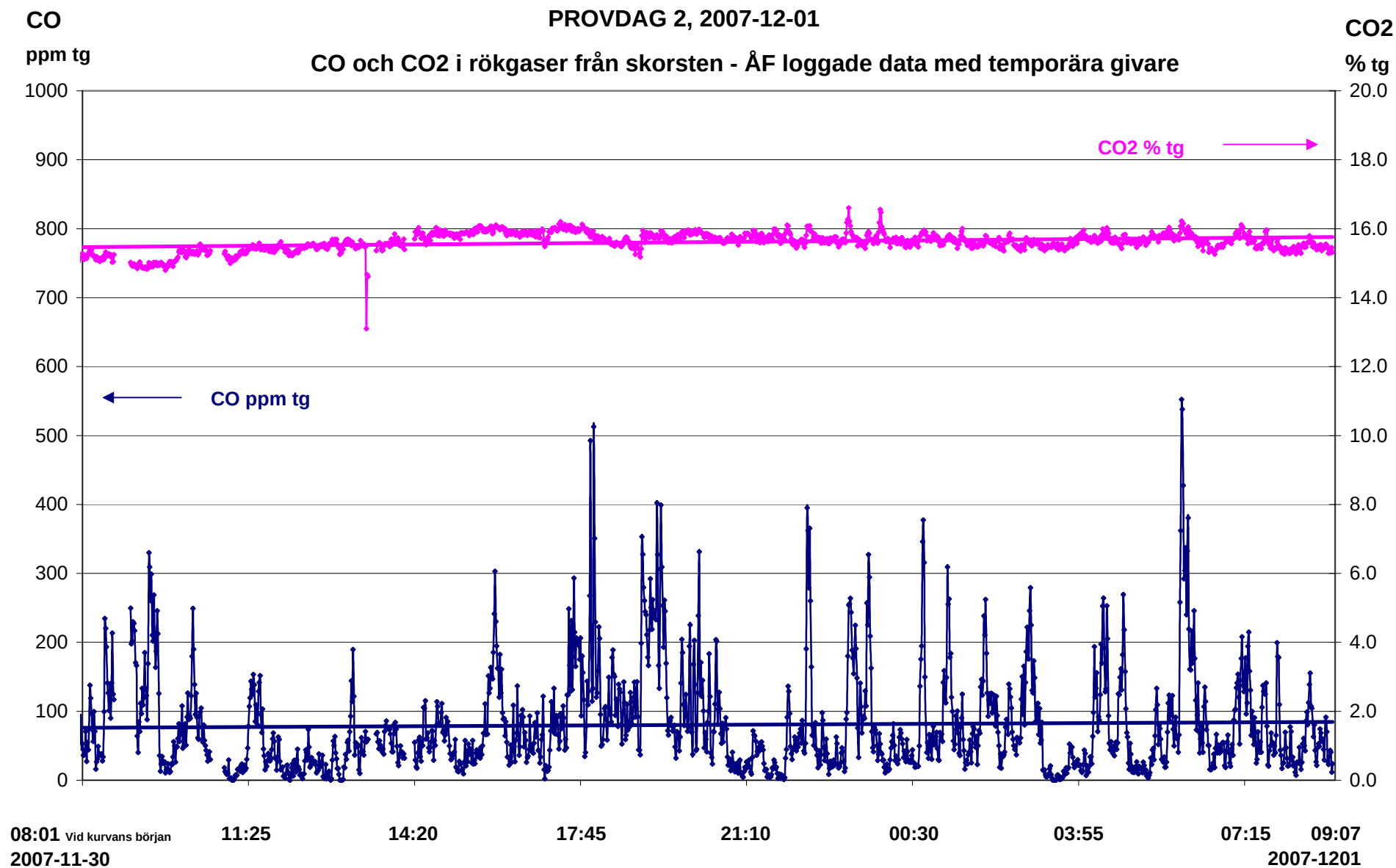












Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

NOX / N

Bilaga CA - CB

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Sammanfattning av statistik gällande NO-halter loggade med stationära givare i rökgas i skorsten

0) Provdryg 1 och 2 med förhöjd torrhalt
Samtliga loggade NO-halter från skorsten

Max	91
Min	70
Medel	81.21
Antal	3060
Stdev	3.71
Varians	13.77

1) Provdryg 1 och 2 med förhöjd torrhalt
Loggade NO-halter från skorsten, **exklusive** tidpunkter med imånga över tak

Max	91
Min	70.32
Medel	81.66
Antal	2631
Stdev	3.68
Varians	13.55

2) Provdryg 1 och 2 med förhöjd torrhalt
Loggade NO-halter från skorsten, **med endast** punkter då imånga går över tak

Max	88
Min	73.01
Medel	78.44
Antal	429
Stdev	2.48
Varians	6.14

Signifikant skillnad mellan 1) Imånga till tertärluft och 2) Imånga över tak?

A) Bestämning av konfidensintervall m h a t-fördelningen för differensen mellan två normalfördelade stokastiska variablers väntevärden, μ_1 och μ_2 . Vi antar alltså att NO-halten i mätserie 1) resp 2) är normalfördelad. Vi bestämmer vidare ett 2-sidigt 95 % konfidensintervall:

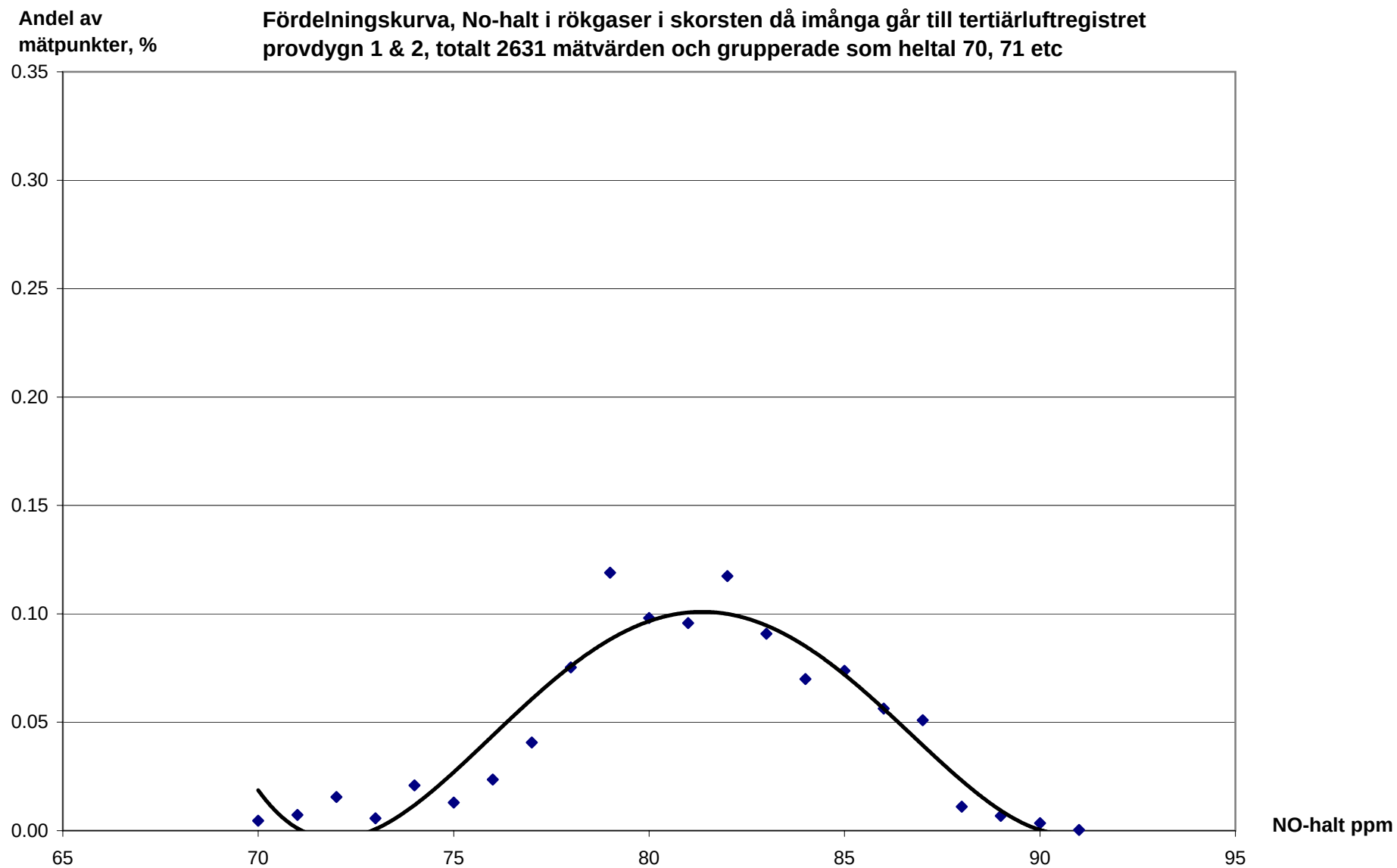
$$\mu_1 - \mu_2 = (81.66 - 78.44) \pm 0.36 = 3.22 \pm 0.36$$

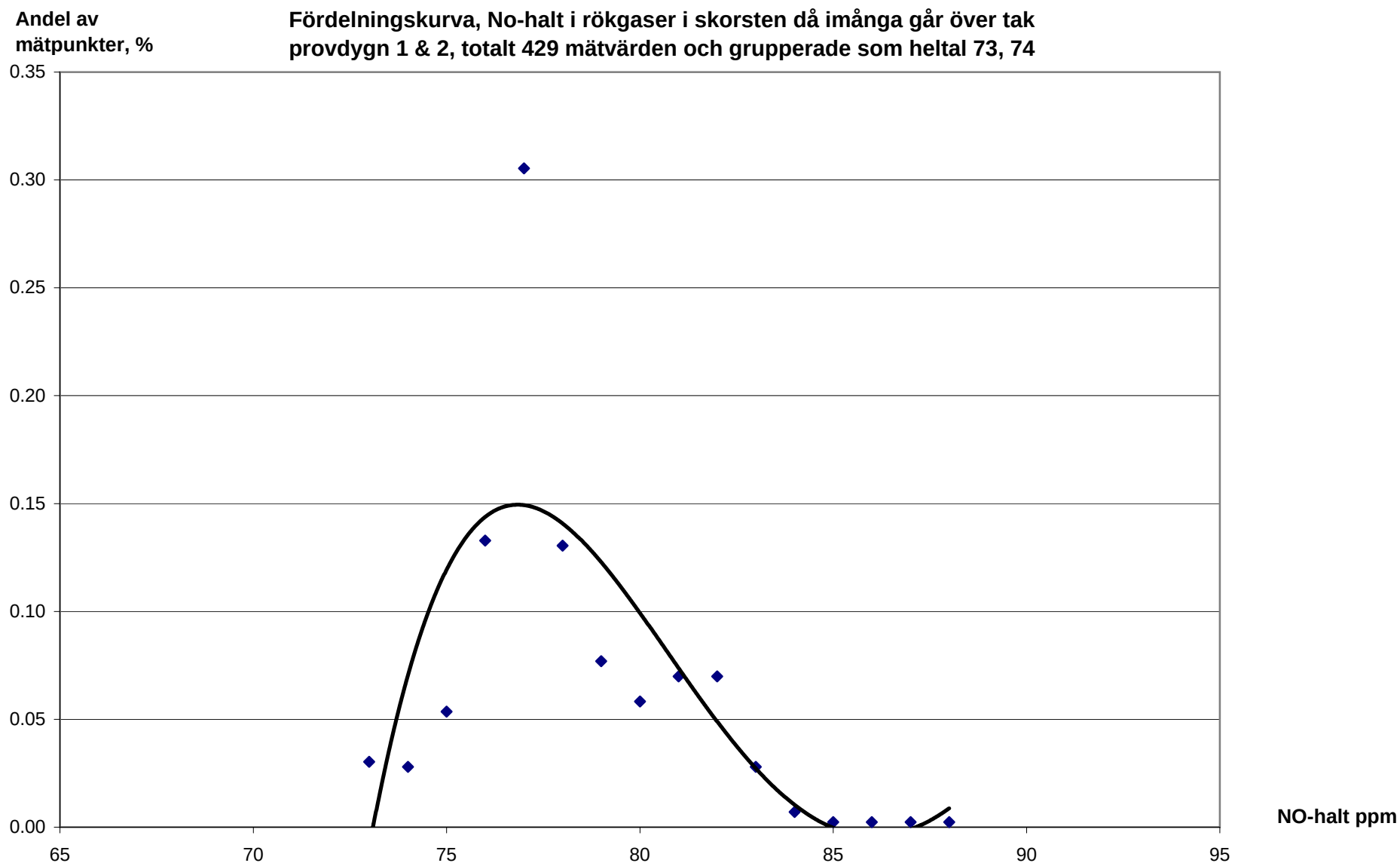
Då talet noll ej ingår i intervallet kan man sluta sig till att det föreligger signifikant skillnad mellan mätserierna.

B) A ej lämplig om olika varianser och stor skillnad i antalet "stickprov". Därför testas även Welch-Aspins metod, som rekommenderas om olika varians samt skillnad i "stickprovsstorlek". I övrigt samma antaganden som i A):

$$\mu_1 - \mu_2 = (81.66 - 78.44) \pm 0.27 = 3.22 \pm 0.27$$

Då talet noll ej ingår i intervallet kan man sluta sig till att det föreligger signifikant skillnad mellan mätserierna.





Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Kväve (N)- flöden vid sodapannans yttre gränser- Referensdag

In till pannan

	Total TS t/d	Total TS t/h	N i TS vikt % i torrt prov	N kg/h
Tjocklut	1763	73.5	0.07	51.4

TS mängd bestämd utifrån lutens sammansättning,
dess kalorimetriska värmevärde och beräknad värmebalans

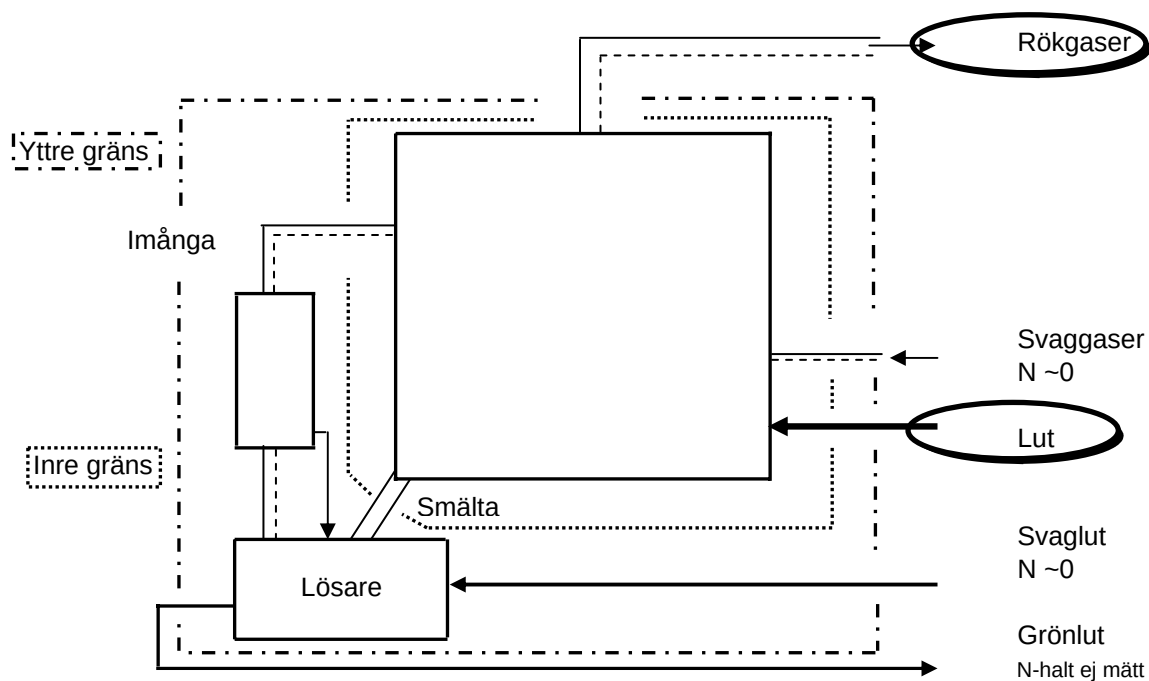
Ut ur pannan

	Rökgasflöde Nm3 tg/h	NO ppm tg	NO2 ppm tg	N2O ppm tg	NH3 ppm tg	N kg/h
Rökgaser från skorsten	248 900	97.6	3.13	"0"	0.85	15.8

Rökgasflöde bestämd utifrån luftflöden och mavaflöde
till pannan (stationära givare) samt lutens sammansättning,
dess kalorimetriska värmevärde och beräknad värmebalans

NO, NO2 & N2O, halter från stationära givare, omräknat till torr gas med
H2O-halt från temporära givare. NH3 halt från temporära givare

Drygt 30 % av kvävet (N) som fördes in med tjockluten
mättes upp i rökgaserna i skorstenen, vilket är
en förväntad och rimlig fördelning



Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Kväve (N)- flöden vid sodapannans yttre gränser- Provdag 1 & 2

In till pannan

	Total TS t/d	Total TS t/h	N i TS vikt % i torrt prov	N kg/h
Tjocklut	1715	71.5	0.07	50.0

TS mängd bestämd utifrån lutens sammansättning,
dess kalorimetriska värmevärde och beräknad värmebalans

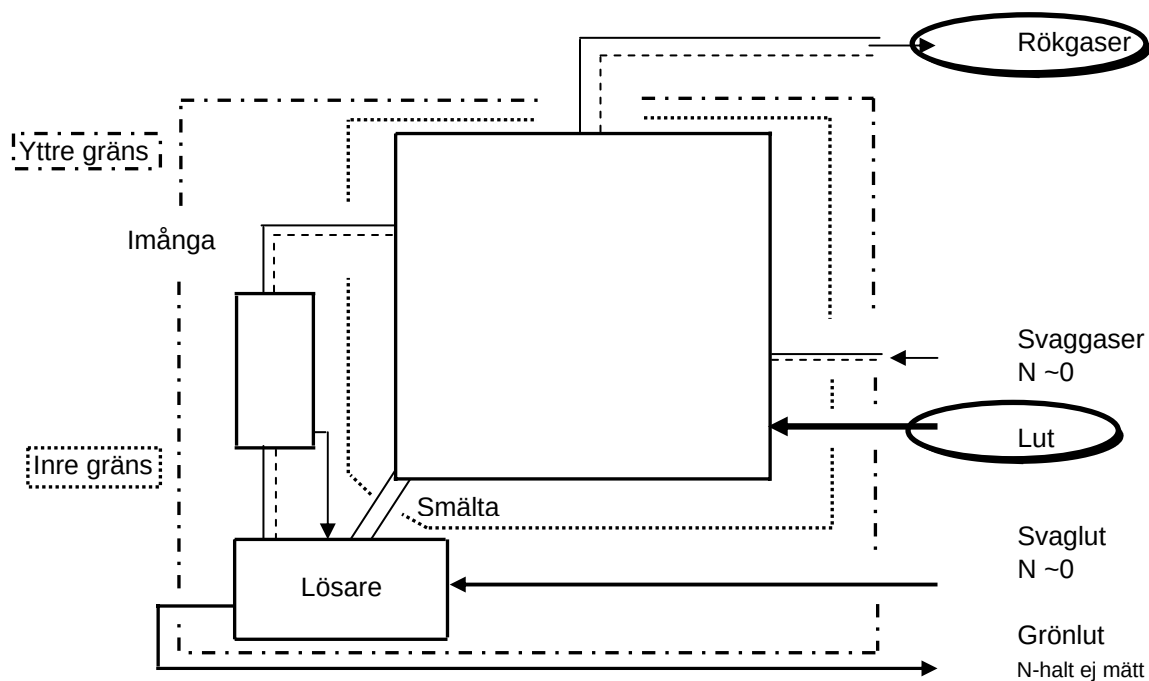
Ut ur pannan

	Rökgasflöde Nm3 tg/h	NO ppm tg	NO2 ppm tg	N2O ppm tg	NH3 ppm tg	N kg/h
Rökgaser från skorsten	243 200	101.6	1.73	"0"	0.30	15.8

Rökgasflöde bestämd utifrån luftflöden och mavaflöde
till pannan (stationära givare) samt lutens sammansättning,
dess kalorimetriska värmevärde och beräknad värmebalans

NO, NO2 & N2O, halter från stationära givare, omräknat till torr gas med
H2O-halt från temporära givare. NH3 halt från temporära givare

Drygt 30 % av kvävet (N) som fördes in med tjockluten
mättes upp i rökgaserna i skorstenen, vilket är
en förväntad och rimlig fördelning



Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Kväve (N)- flöden vid sodapannans inre gränser- Referensdag

In till pannan

	Total TS t/d	Total TS t/h	N i TS vikt % i torrt prov	N kg/h
Tjocklut	1763	73.5	0.07	51.4

TS- samt smältamängd bestämd utifrån lutens sammansättning, dess kalorimetriska värmevärde och beräknad värmebalans

	Imångflöde Nm3 tg/h	NH3 våtkemiskt mg/Nm3 tg	N kg/h
Imånga till tertiärluftregister	17 500	306	4.41

Ut ur pannan

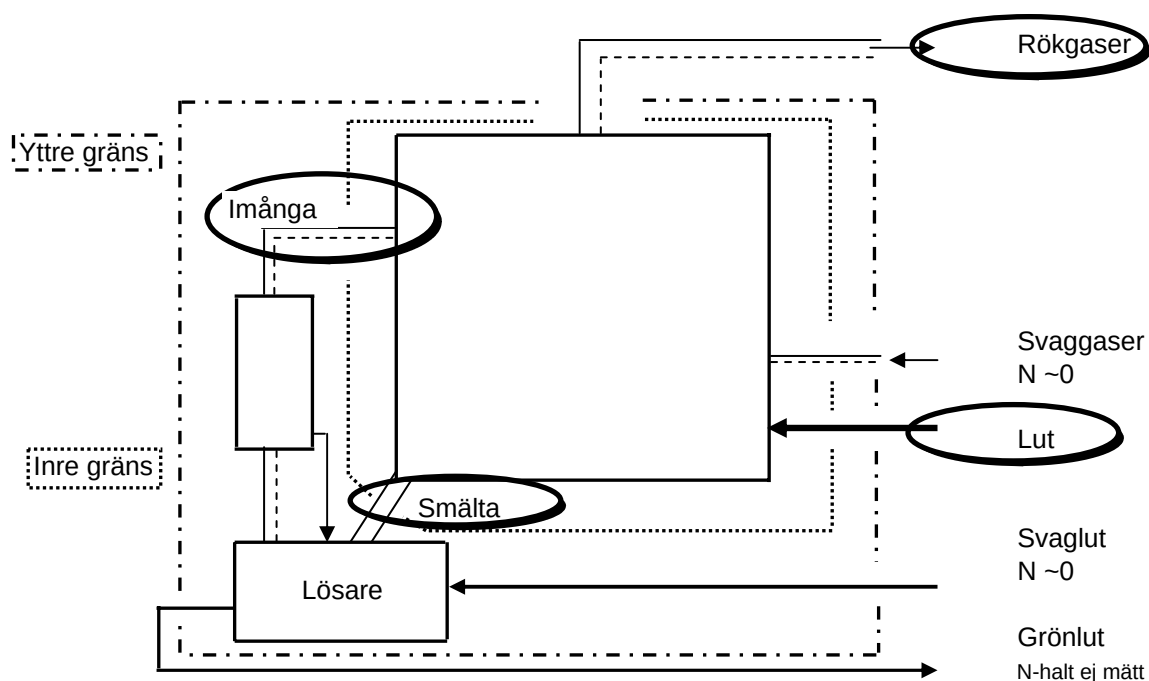
	Rökgasflöde Nm3 tg/h	NO ppm tg	NO2 ppm tg	N2O ppm tg	NH3 ppm tg	N kg/h
Rökgaser från skorsten	248 900	97.6	3.13	"0"	0.85	15.8

Rökgasflöde bestämd utifrån luftflöden och mavaflöde till pannan (stationära givare) samt lutens sammansättning, dess kalorimetriska värmevärde och beräknad värmebalans

NO, NO2 & N2O, halter från stationära givare, omräknat till torr gas med H2O-halt från temporära givare. NH3 halt från temporära givare

	Smälta kg/t TS	OCN i mittrännor vikt % av smälta	OCN i kantrännor vikt % av smälta	Mitten N kg/h	Kanter N kg/h
Smälta från pannan	428	0.032	0.014	3.35	1.47

Stor obalans N: '51.4 + 4.41 - 15.8 - (3.35 eller 1.47) = 36.7 - 38.5 kg/h i överskott Oväntat lite N i smältan? och därmed oväntat/orimligt mycket N2 i rökgaser ?
--



Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Kväve (N)- flöden vid sodapannans inre gränser - Provdag 1 & 2

In till pannan

	Total TS t/d	Total TS t/h	N i TS vikt % i torrt prov	N kg/h
Tjocklut	1715	71.5	0.07	50.0

TS- samt smältamängd bestämd utifrån lutens sammansättning, dess kalorimetriska värmevärde och beräknad värmebalans

	Imångflöde Nm3 tg/h	NH3 våtkemiskt mg/Nm3 tg	N kg/h
Imånga till tertiärluftregister	16 500	335	4.55

Ut ur pannan

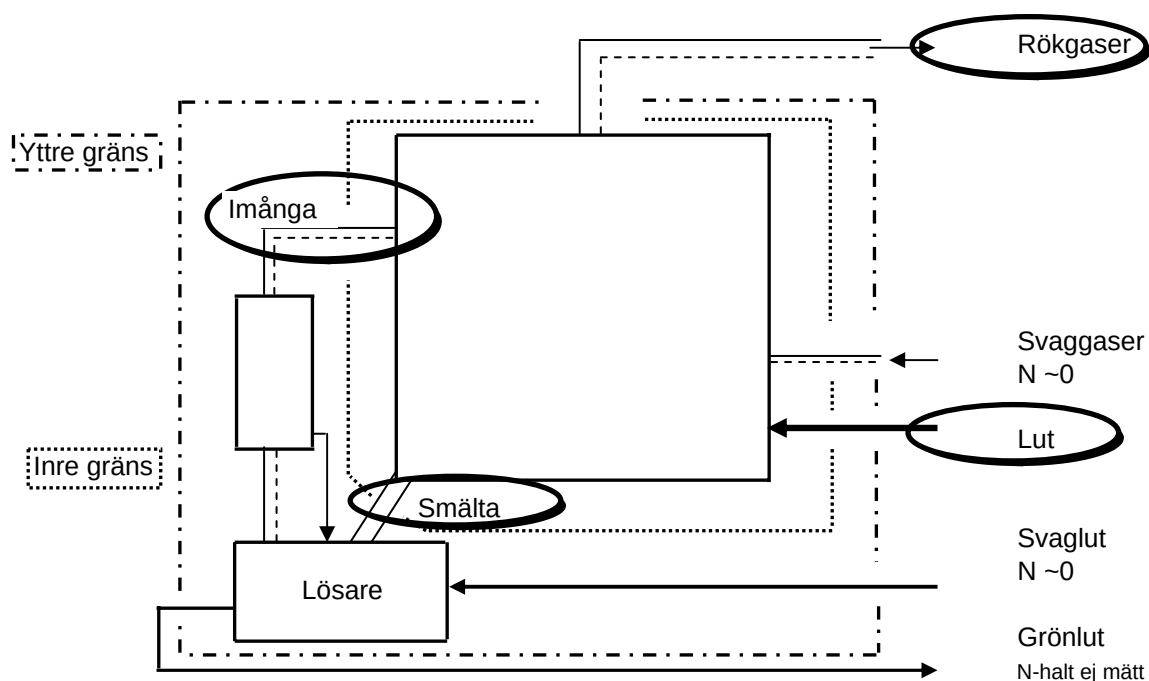
	Rökgasflöde Nm3 tg/h	NO ppm tg	NO2 ppm tg	N2O ppm tg	NH3 ppm tg	N kg/h
Rökgaser från skorsten	243 200	101.6	1.73	"0"	0.30	15.8

Rökgasflöde bestämd utifrån luftflöden och mavaflöde till pannan (stationära givare) samt lutens sammansättning, dess kalorimetriska värmevärde och beräknad värmebalans

NO, NO2 & N2O, halter från stationära givare, omräknat till torr gas med H2O-halt från temporära givare. NH3 halt från temporära givare

	Smälta kg/t TS	OCN i mittrännor vikt % av smälta	OCN i kantrännor vikt % av smälta	Mitten N kg/h	Kanter N kg/h
Smälta från pannan	438	0.036	0.017	3.75	1.77

Stor obalans	N: '50 + 4.55 -15.8 -(3.75 eller 1.77) = 35 - 37	kg/h i överskott
	Oväntat lite N i smältan? och därmed oväntat/orimligt mycket N2 i rökgaser ?	



Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Rapporter

Bilaga DA - DC



PROCESS CHEMISTRY CENTRE



Rökgassidans beläggningsmätningar och analyser

-

Smältaprovtagning och cyanat (OCN⁻) analyser

Skoghalls sodapanna

Mätningar utförda av Åbo Akademi
M.Forssén, T.Laurén, M.Hupa

Teknisk rapport åt ÅF-Process
10.3.2008

1. Rökgassidans beläggningar

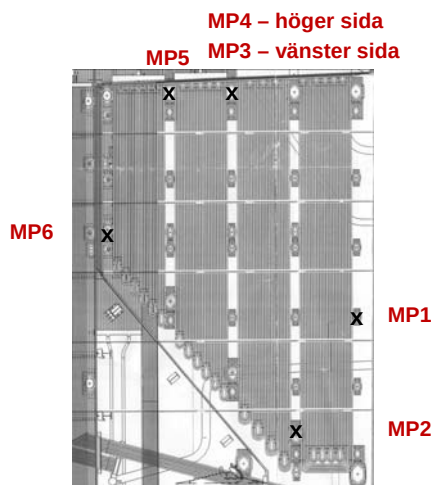
- provtagning av beläggningar i överhettarområdet
- tillväxthastighet
- struktur och kemisk sammansättning med SEM

2. Kväve i smältaprover

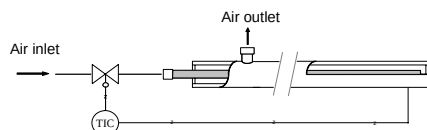
- provtagning av smälta
- jonkromatografisk bestämning av OCN⁻ i smältan



Beläggningssbildning- provtagningsställen



- påslagssond
 - luftkyld till 450 eller 400 °C
 - motsvarar överhettartubernas temperaturer
- typ av beläggning
 - vindsidans prov
 - carry-over och mellanstora partiklar samt lite kondenserad aska
 - läsida
 - kondenserad aska



Tabell över mätresultaten

Normal fall, 27.11.2007

Datum	Tid in	exp [h]	MP	mm/h	Tfg avg
27.11.2007	10:49	0.5	1	6.8	878
27.11.2007	9:21	2	2	1.0	751
27.11.2007	14:23	2	2	1.4	804
27.11.2007	9:11	4	3	0.4	613
27.11.2007	14:14	2	3	0.5	612
27.11.2007	14:50	2	4	0.5	623
27.11.2007	9:10	4	5	0.3	576
27.11.2007	14:13	2	5	0.5	578
27.11.2007	9:15	4	6	0.4	496
27.11.2007	14:20	2	6	0.5	534

Förkortningar

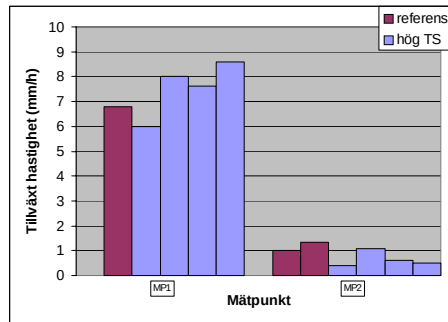
Exp = exponeringstid
 MP = mätpunkt
 mm/h = beläggningens tillväxthastighet
 Tfg avg = rökgasernas medeltemperatur under exponeringstiden

Hög torrhalt, 29-30.11.2007

Datum	Tid in	exp [h]	MP	mm/h	Tfg avg
29.11.2007	13:44	0.5	1	6.0	828
29.11.2007	15:06	0.5	1	8.0	855
30.11.2007	8:43	0.5	1	7.6	797
30.11.2007	9:55	0.5	1	8.6	813
29.11.2007	9:03	2	2	0.4	644
29.11.2007	13:46	4	2	1.1	772
30.11.2007	8:44	4	2	0.6	694
30.11.2007	13:48	2	2	0.5	691
29.11.2007	8:56	2	3	0.6	603
29.11.2007	13:41	4	3	0.4	626
30.11.2007	8:39	4	3	0.3	615
30.11.2007	13:44	2	3	0.5	611
29.11.2007	8:58	2	4	0.5	576
30.11.2007	13:45	2	4	0.6	591
29.11.2007	8:55	2	5	0.5	610
29.11.2007	13:40	4	5	0.5	609
30.11.2007	8:38	4	5	0.5	579
30.11.2007	13:43	2	5	0.5	573
29.11.2007	9:01	2	6	0.5	513
29.11.2007	13:42	4	6	0.5	478
30.11.2007	8:41	4	6	0.5	469
30.11.2007	13:47	2	6	0.5	484

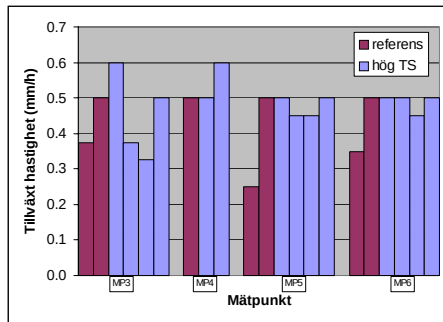
Tillväxthastighet på sondens vindsida

Överhettarnas nedre del



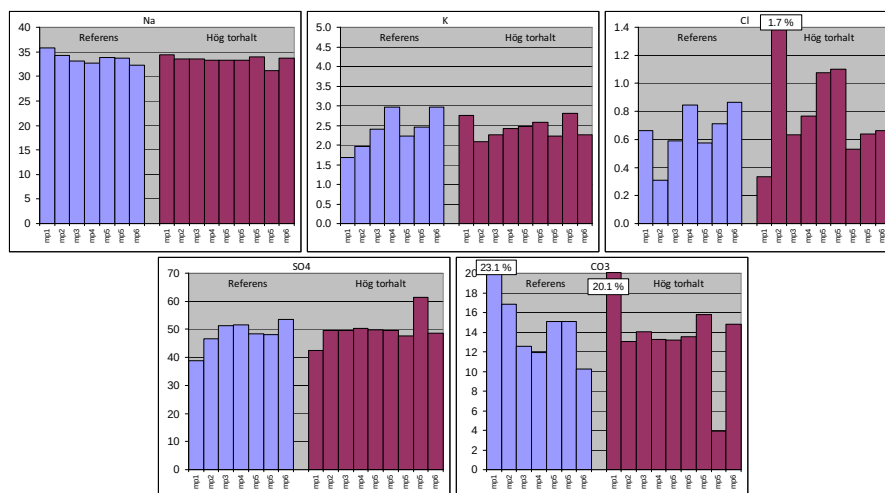
Beläggningarna består av
MP1 - carry-over partiklar
MP2 - närmast av ISP

Överhettarnas utlopp

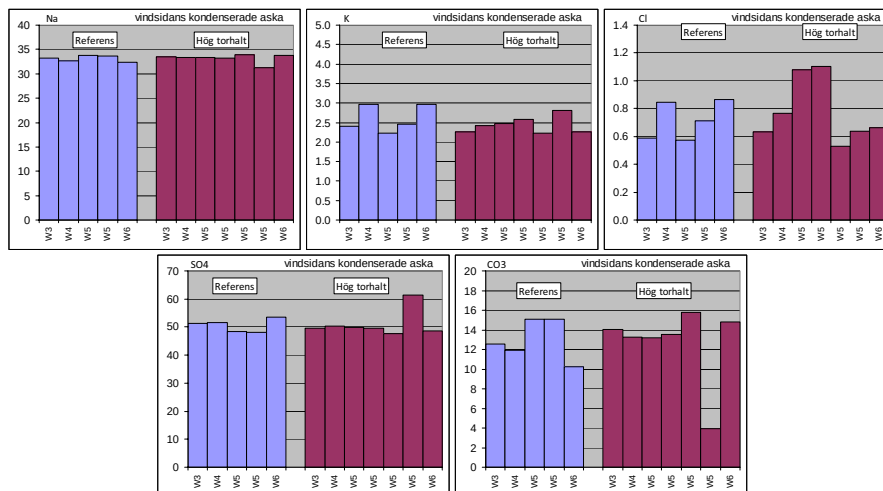


Beläggningarna består av
ISP partiklar

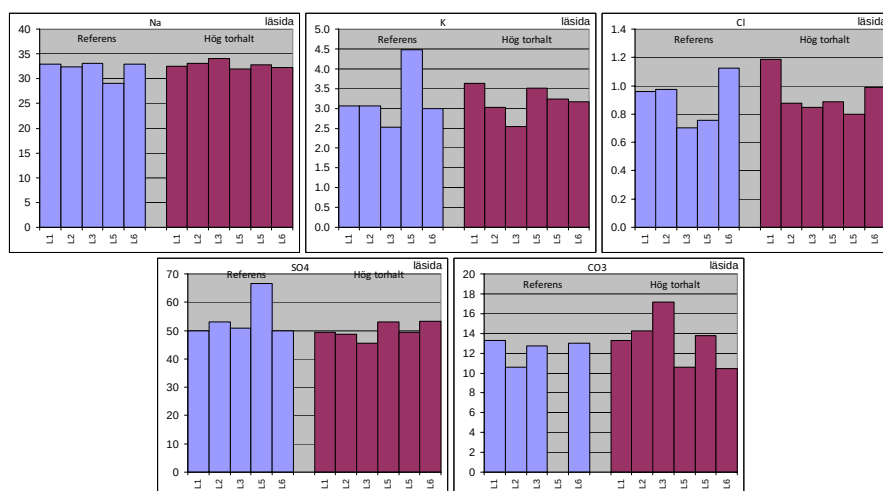
Sammansättningar för påslagen: vindsidan – SEM analys



Sammansättningar för påslagen: kondenserade salter på vindsidan – SEM analys



Sammansättningar för påslagen: kondenserade salter på läsidan – SEM analys



Slutsatser - beläggningarna

- Hög torrhalt verkar inte orsaka någon större skillnad i påslagsbildningen
- Övrigt
 - Påslagen i mätpunkterna 1-6 har rätt samma sammansättning oberoende av körförhållande
 - Vindsidans påslag vid mätpunkt 2 och vid mätpunkt 1 har dock lite annorlunda sammansättning
 - Påslagen i mätpunkt 1 är carry-over och i mätpunkt 2 mellanstora partiklar
 - Vid mätpunkt 2 korrelerar påslagsbildningshastigheten med uppmätta medelrökgasttemperaturen
 - Aningen mer påslag vid mätpunkt 3 och 4 än vid mätpunkt 5 och 6
 - Påslagen i mätpunkterna 3-6 är mellanstora partiklar och kondenserade salter

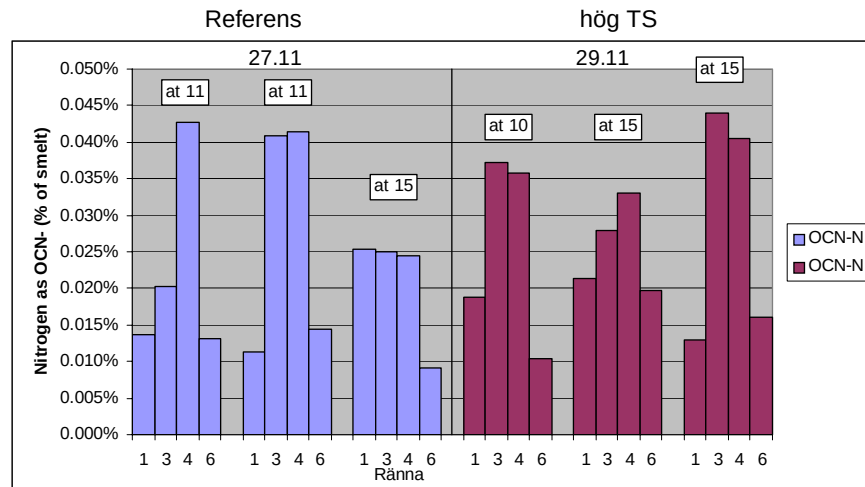


Smältaprovtagning och analyser

- Smältaprover togs direkt från löparännorna
- Rännorna 1, 3, 4 och 6 i användning
 - rännorna 2 och 5 stängda
- Provtagningen
 - skedde genom att suga upp smälta i ett smalt glaströr
 - ändorna på glaströret förslöts med Parafilm®
 - provet hålls intakt i månader
- Analyser
 - Upplösning av provet i buffrad lösning samt analysering av OCN⁻ med jonkromatograf



Smältans cyanat-kväve för referens och hög TS fallen



Slutsatser - Smältans cyanat-kväve

- Cyanathalten ungefär 10% högre för "hög TS" fallet
- Cyanathalten vid varje provtagningstillfälle
 - Högre OCN-i mittrännorna än på kanterna
 - Referens :mitten 0.032%, kanterna 0.014%
 - Hög TS :mitten 0.036%, kanterna 0.017%

Namngivning av ÅF:s prover från bädden

27.11.2007

ÅF-BäSm-01 10:20 BÄDDSmälta 071127 kl 10:20, 10cm under ytan
 ÅF-BäSm-02 15:00 Bädsmälta 071127 kl 15, Ytan
 ÅF-BäSm-03 17:00 Bädsmälta 2007-11-27 kl 17, 20cm under ytan

29.11.2007

ÅF-BäSm-04 10:30 Smälta ur Bädd, Ytan, 2007-11-29 kl 10:30
 ÅF-BäSm-05 13:30 Bädsmälta, 10cm under ytan, 2007-11-29, kl 13:30
 ÅF-BäSm-06 16:30 Bädsmälta 2007-11-29, kl 16:30
 ÅF-BäSm-07 18:30 smälta ur bädd 2007-11-29-18:30, 10cm under ytan

30.11.2007

ÅF-BäSm-08 18:35 Bädsmälta, 2007-11-30 kl 18:35 ytan
 ÅF-BäSm-09 ? Bädsmälta 2007-11-30, 10cm under ytan



Kol- och cyanathalten i ÅF:s bäddprover

Provnamn	Cyanat	Total kol
ÅF-BäSm-01	0.006%	2.49 %
ÅF-BäSm-02	0.007%	4.80 %
ÅF-BäSm-03	0.006%*	4.50 %
ÅF-BäSm-04	0.021%	5.47 %
ÅF-BäSm-05	0.025%	4.97 %
ÅF-BäSm-06	0.004%	5.11 %
ÅF-BäSm-07	0.008%	5.10 %
ÅF-BäSm-08**	-	5.05 %
ÅF-BäSm-09	0.037%	5.28 %

* icke reproducerbart, varierade från 3.76-5.41%

** icke analyserat



Kol med LECO CHN-1000 –analysator vid Metla, Helsingfors

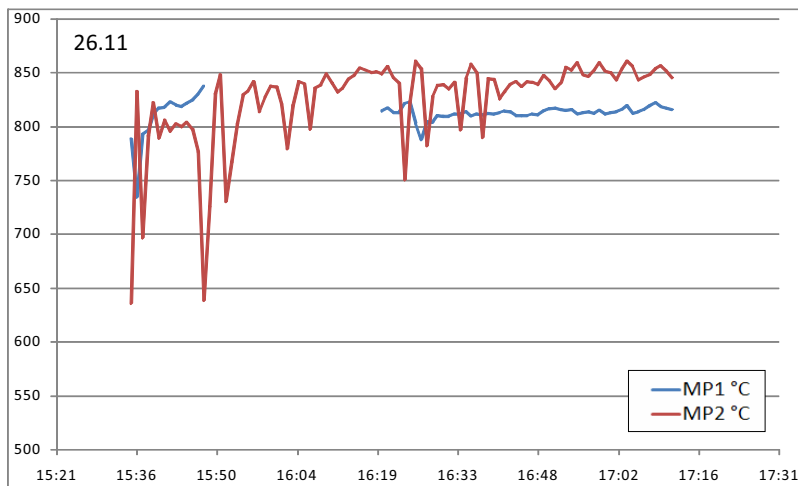
APPENDIX - Temperaturer

Rökgstemperaturer vid de olika mätpunkterna

- Temperaturen mätt vid de olika mätpunkterna
- Skilt termoelement med datalogger
- Sondtemperaturen reglerad till 450 eller 400 °C

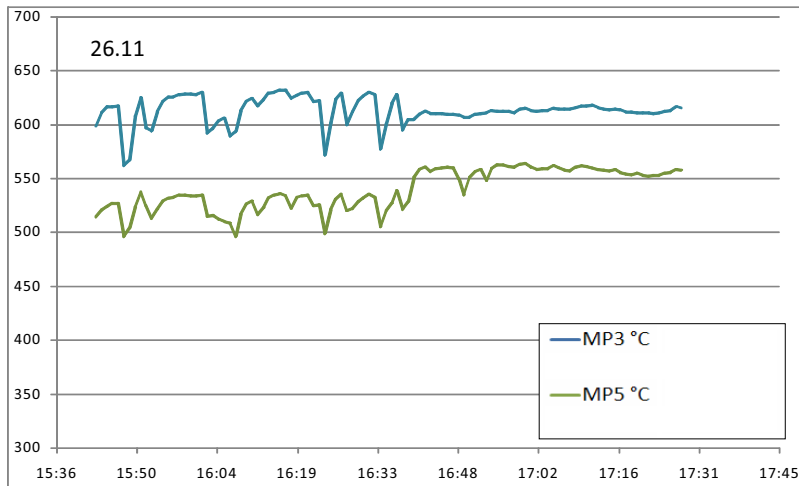


Temperaturen vid de olika mätpunkterna



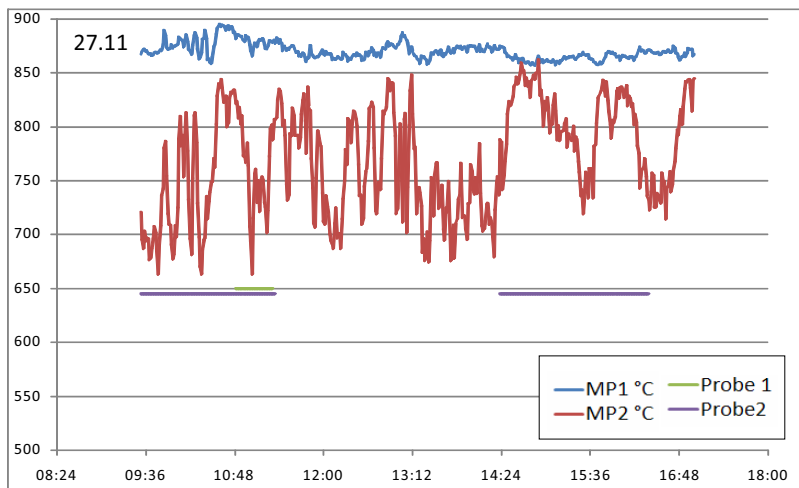
APPENDIX - Temperaturer

Temperaturen vid de olika mätpunkterna



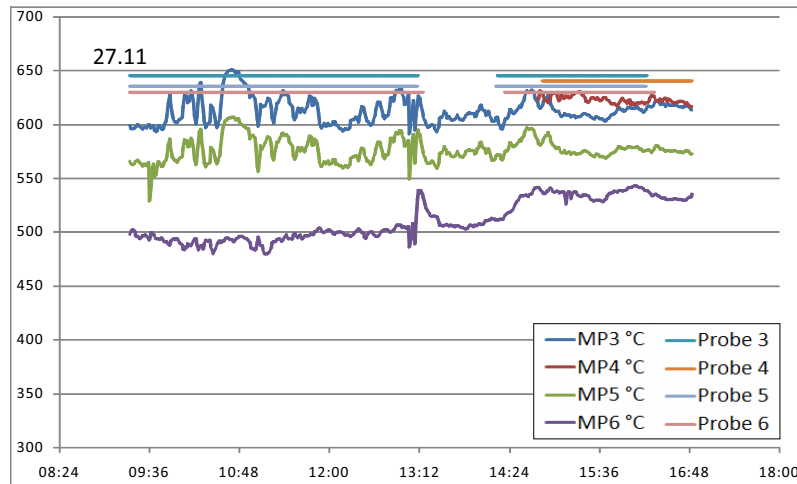
APPENDIX - Temperaturer

Temperaturen vid de olika mätpunkterna



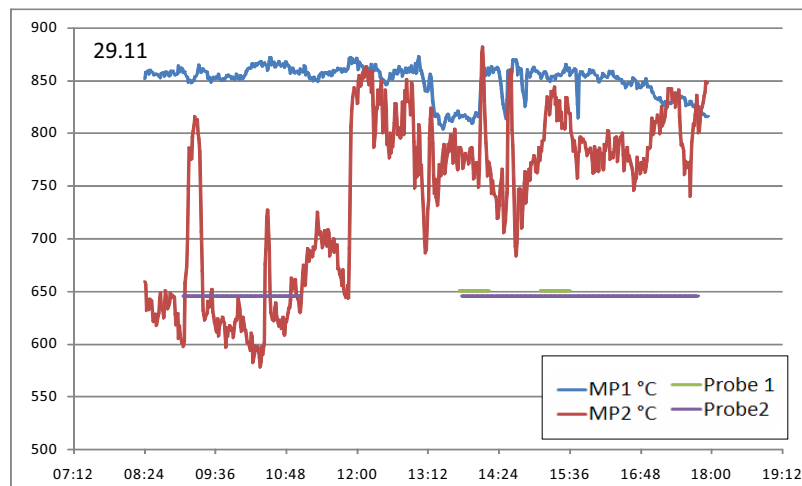
APPENDIX - Temperaturer

Temperaturen vid de olika mätpunkterna



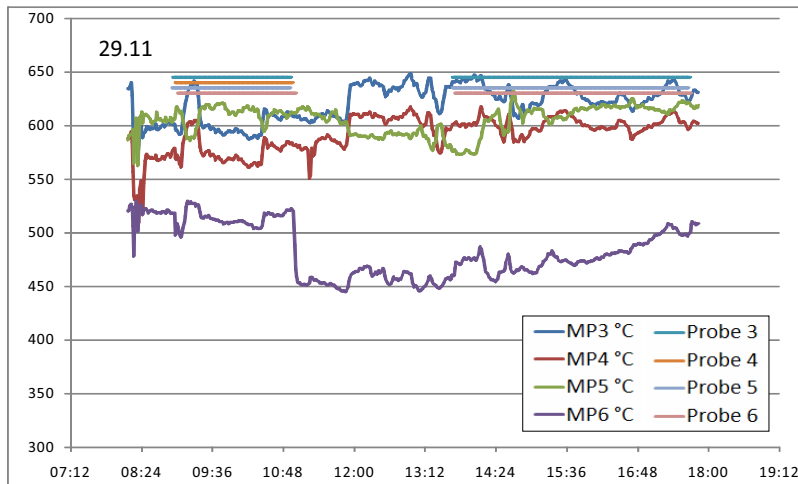
APPENDIX - Temperaturer

Temperaturen vid de olika mätpunkterna



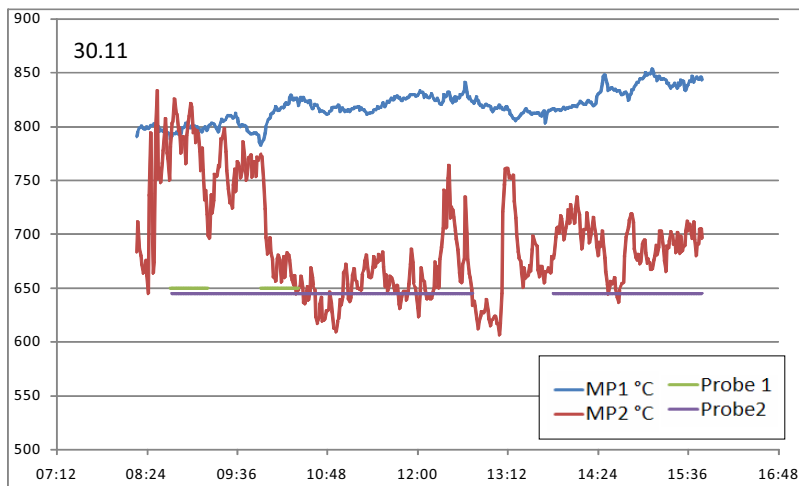
APPENDIX - Temperaturer

Temperaturen vid de olika mätpunkterna



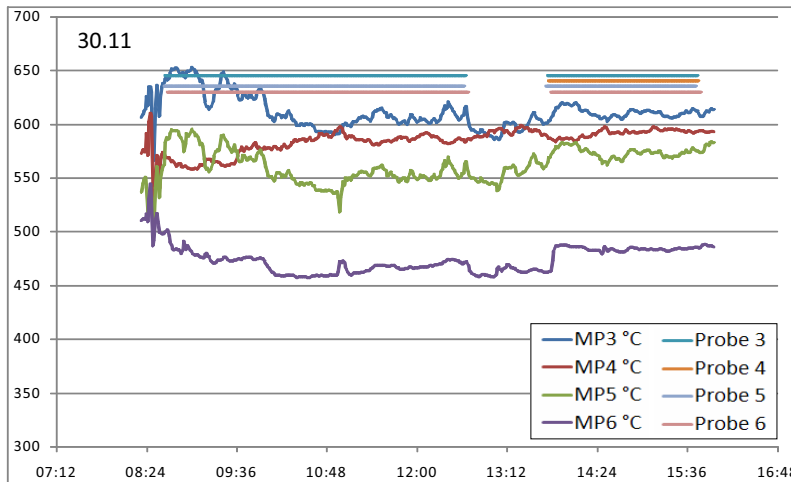
APPENDIX - Temperaturer

Temperaturen vid de olika mätpunkterna



APPENDIX - Temperaturer

Temperaturen vid de olika mätpunkterna

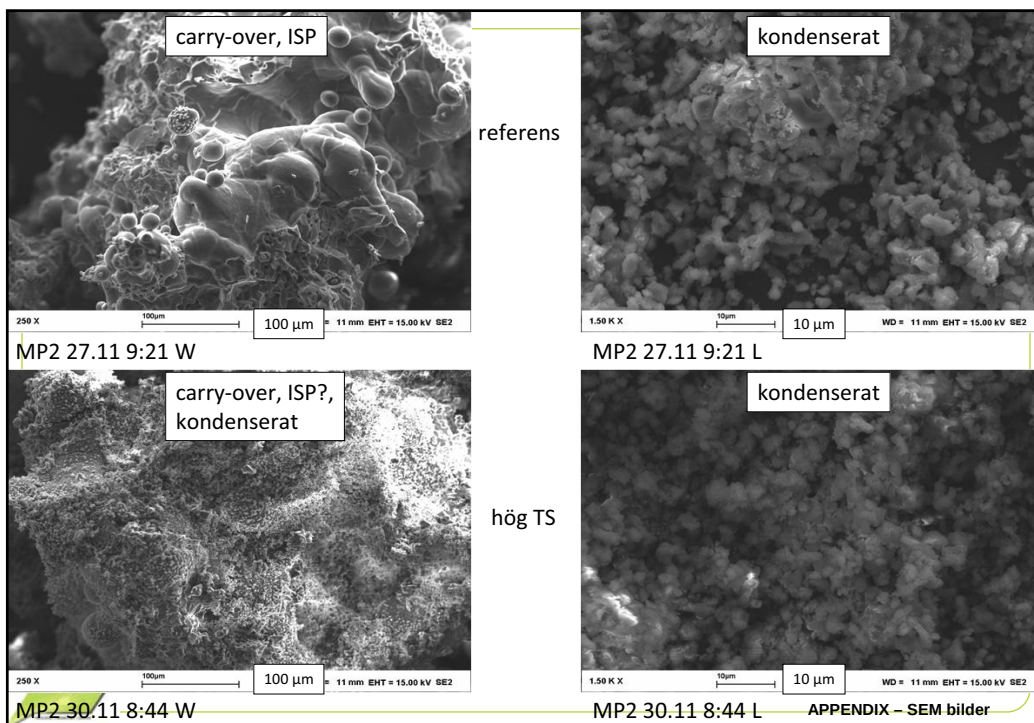
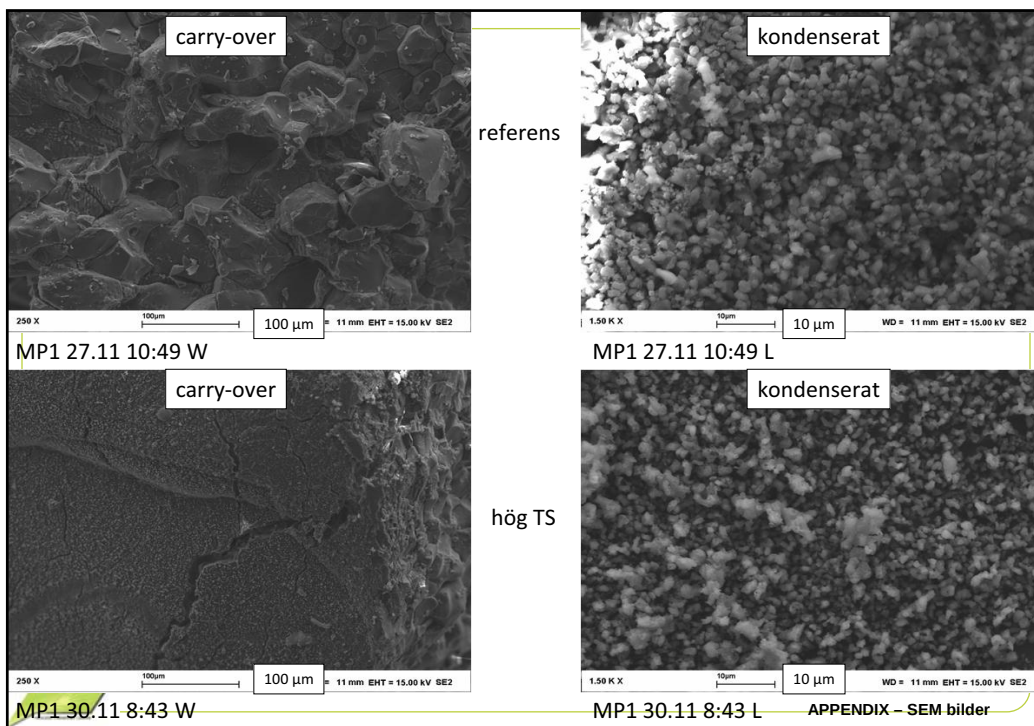


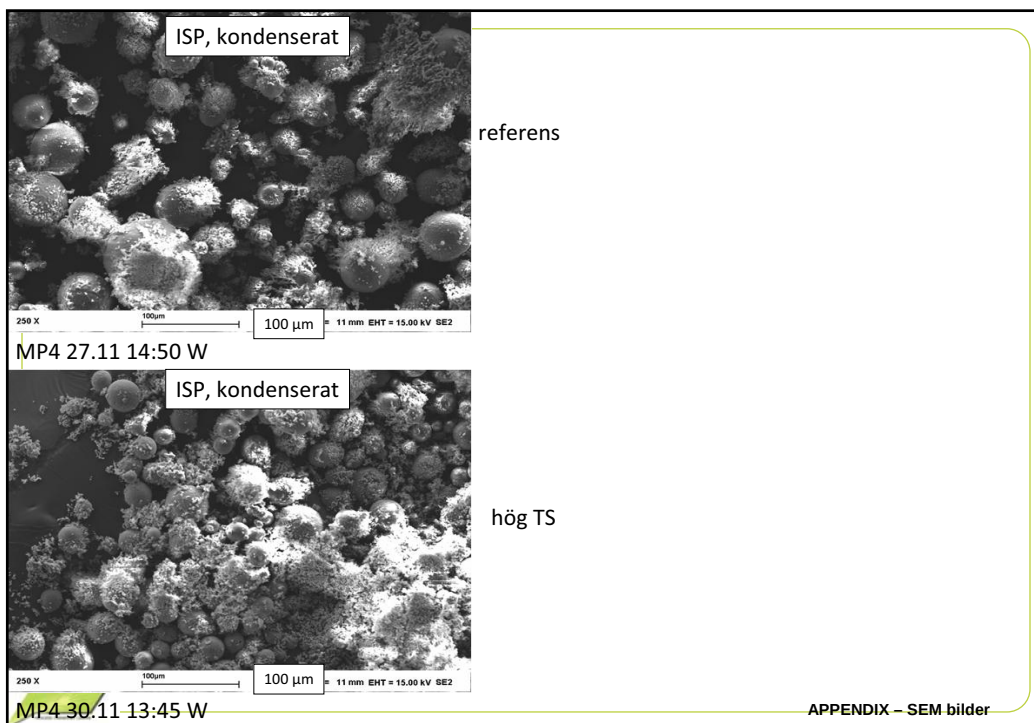
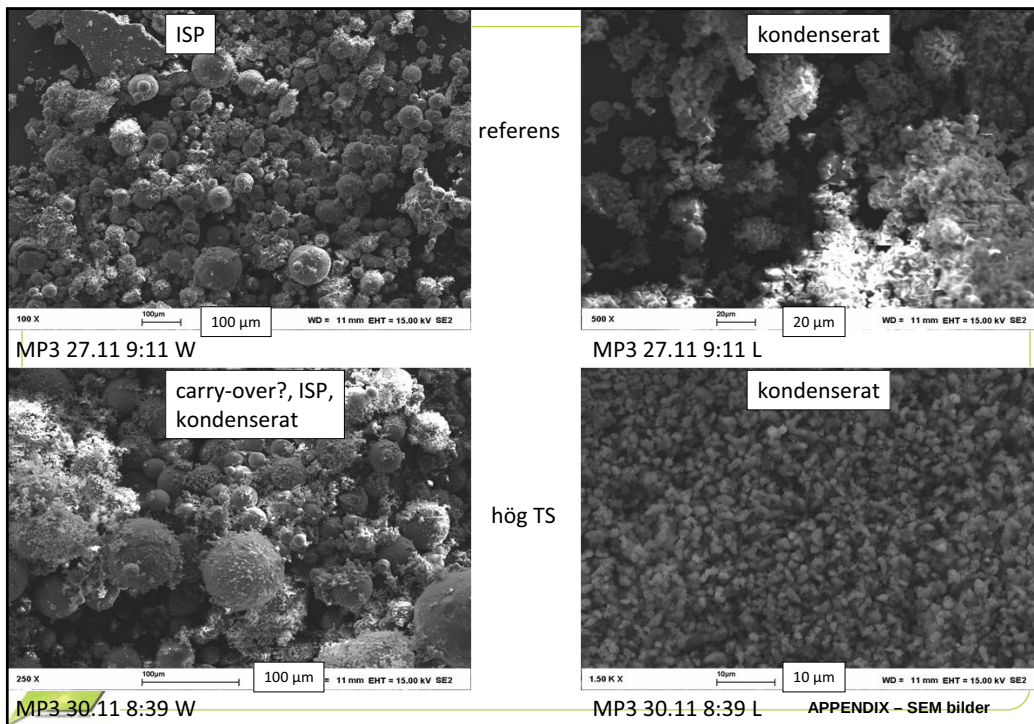
APPENDIX - Temperaturer

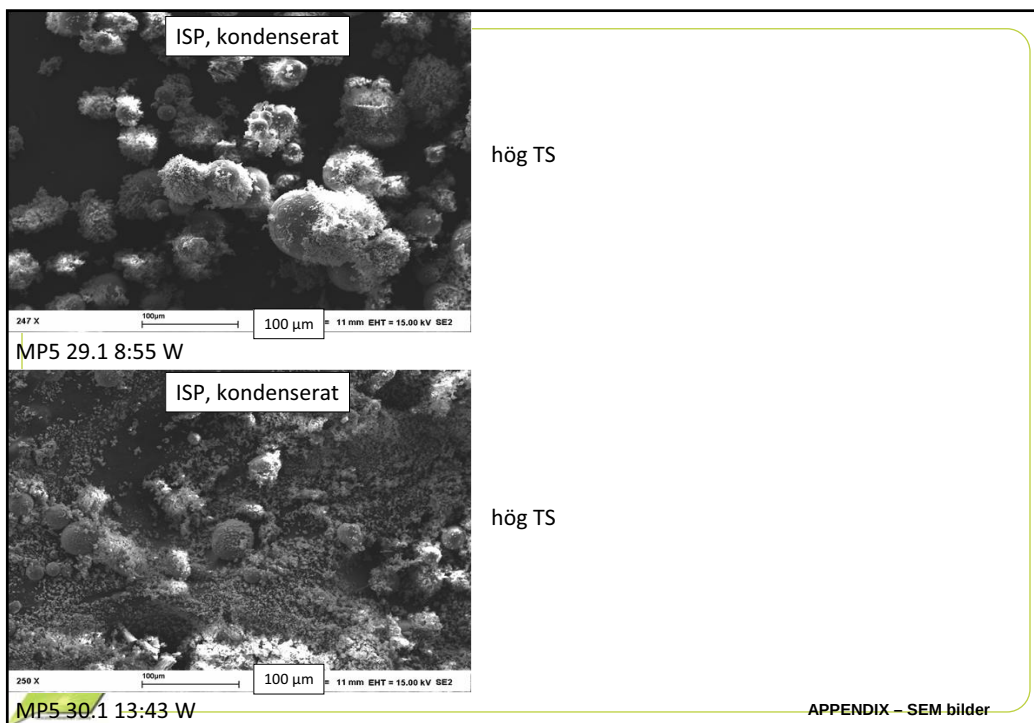
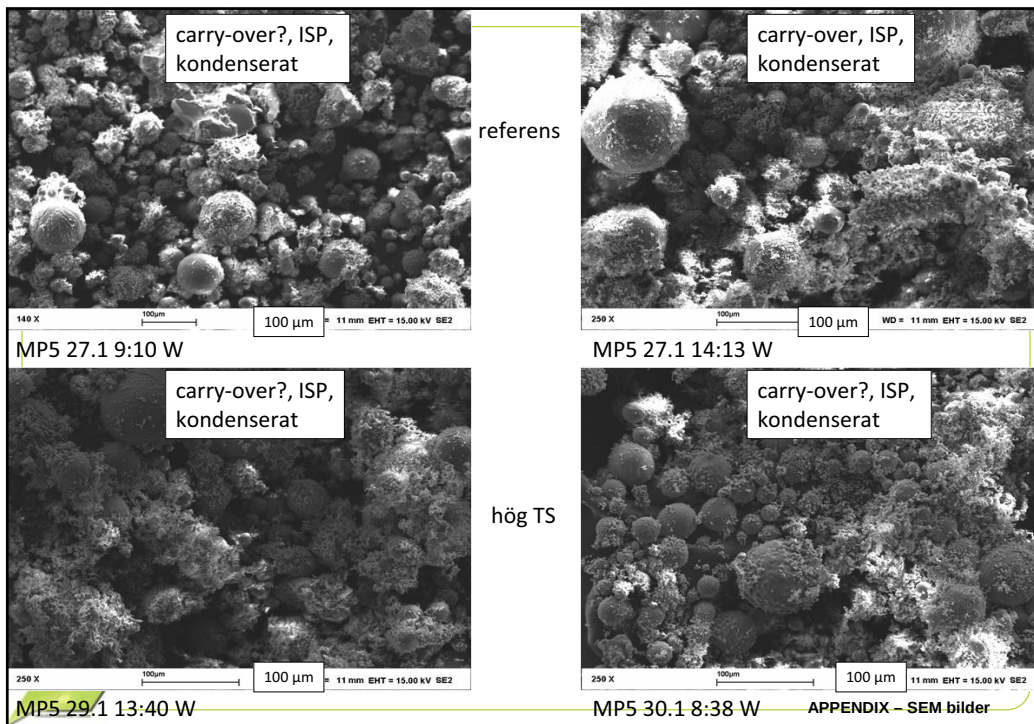
APPENDIX SEM-bilder SEM bilder av sondproverna

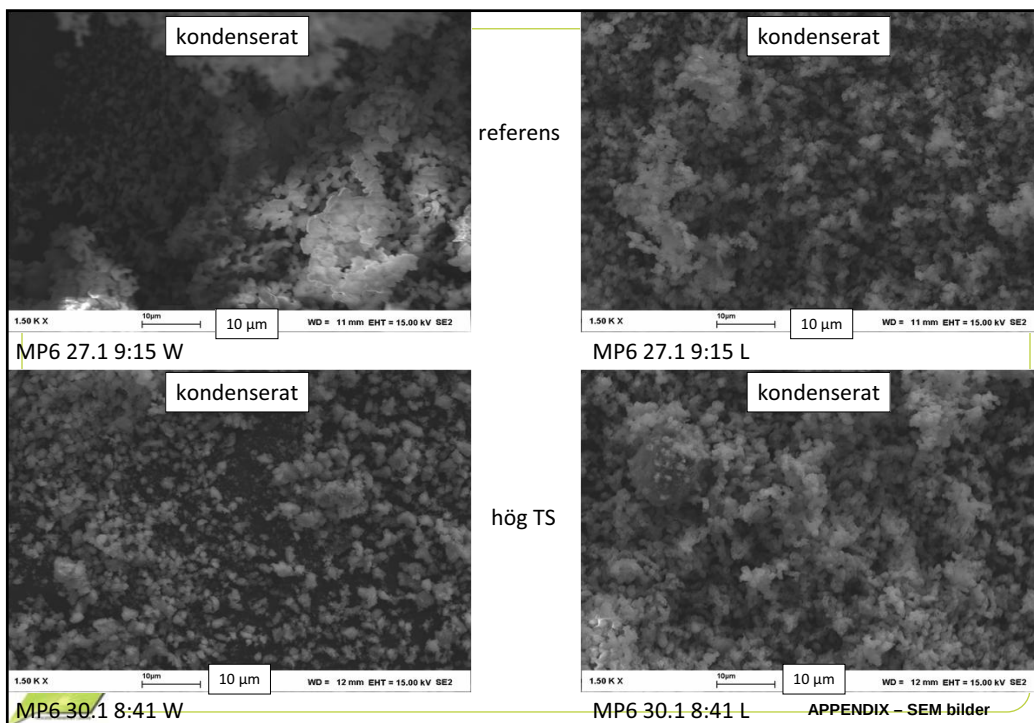
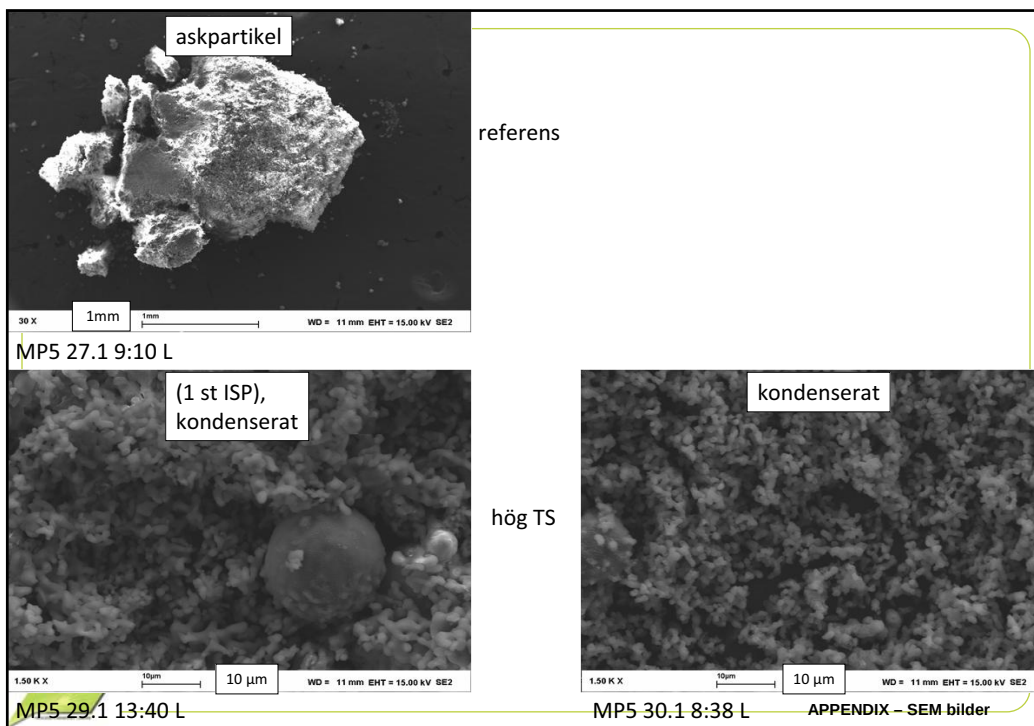
- Carry-over partiklar
 - rester av utbrunna lutdroppar
 - storleksordning 100-1000 μm
- Mellanstora partiklar (intermediate size particles, ISP)
 - utbrunna fragment av lutdroppar
 - storleksordning 10-100 μm
- Kondenserad aska
 - kondenserat från natrium ångor
 - storleksordning 0.1 - 1 μm

APPENDIX – SEM bilder





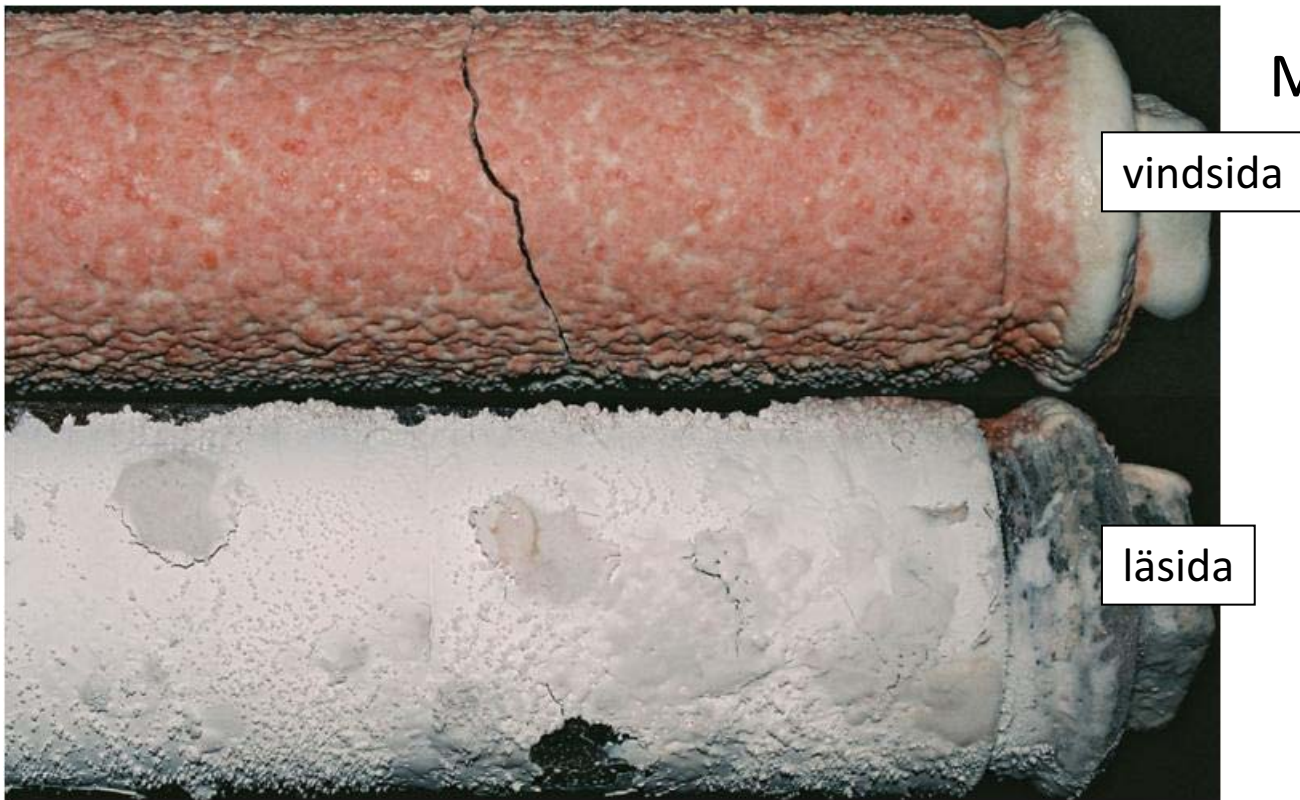




APPENDIX - Fotografier

Fotografier av sondbeläggningarna





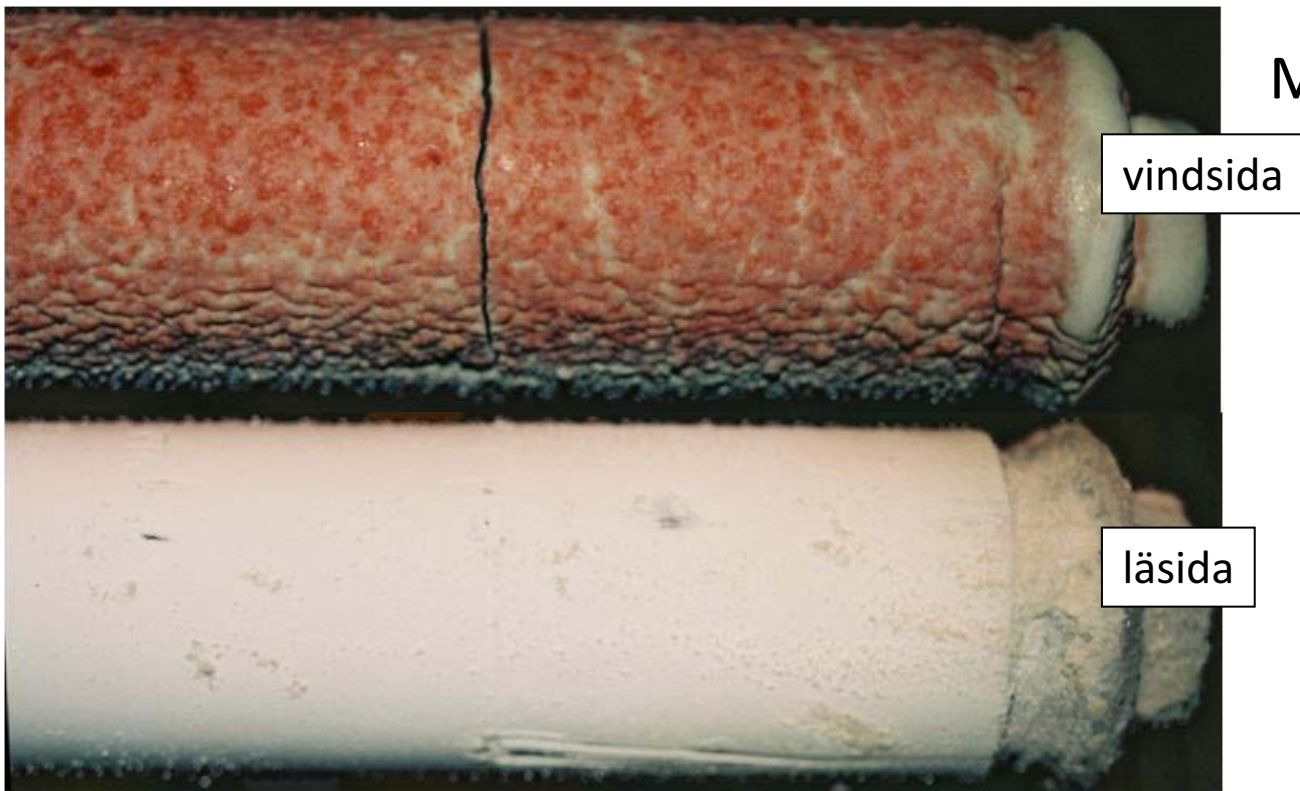
27.11.07 10:49 Exp 0.5h Rate 6.8 mm/h

referens



29.11.07 13:44 Exp 0.5h Rate 6.0 mm/h

hög TS



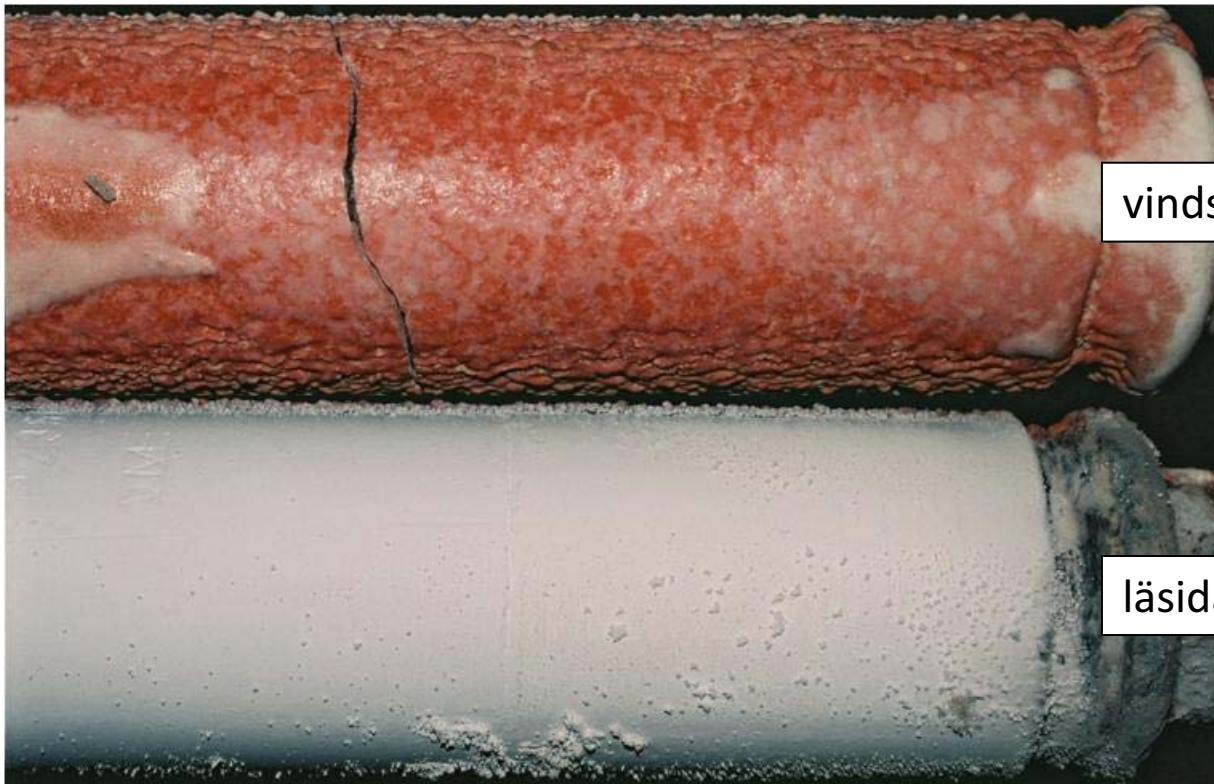
29.11.07 15:06 Exp 0.5h Rate 8.0 mm/h

hög TS



30.11.07 8:43 Exp 0.5h Rate 7.6 mm/h

hög TS



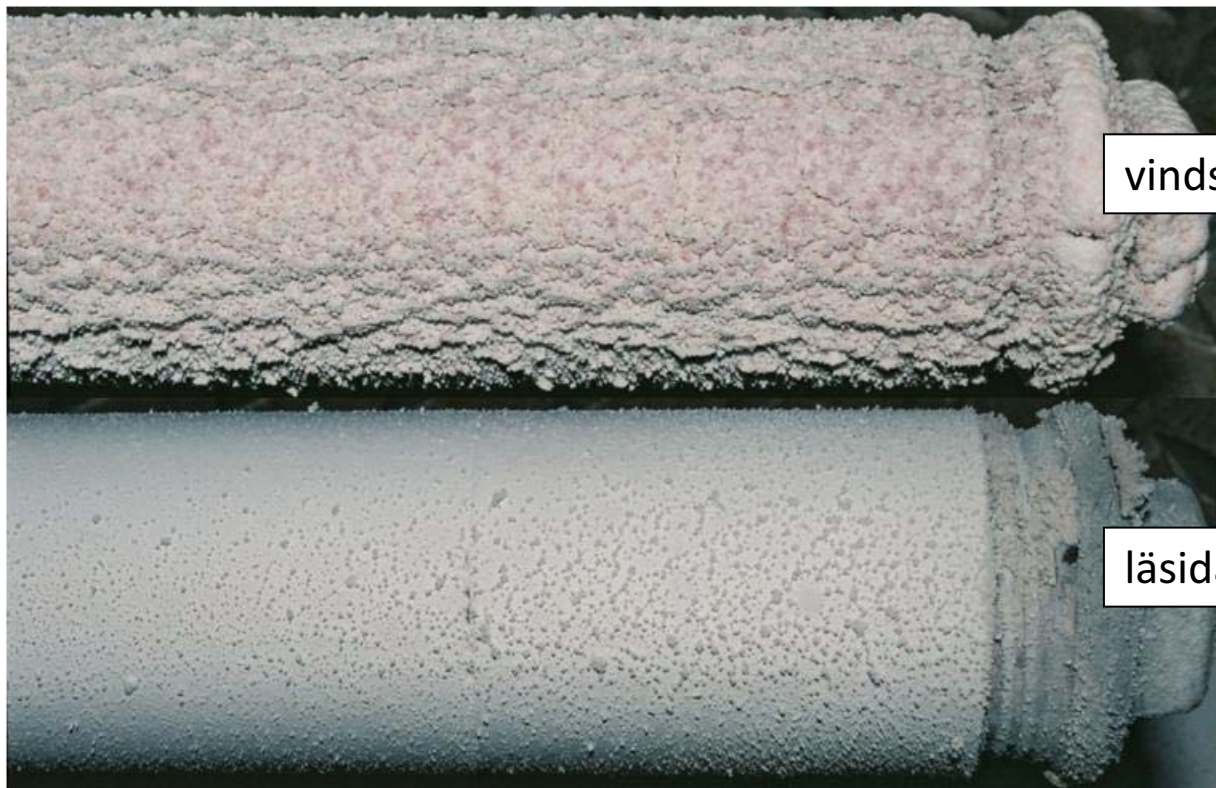
MP 1

vindsida

läsida

30.11.07 9:55 Exp 0.5h Rate 8.6 mm/h

hög TS



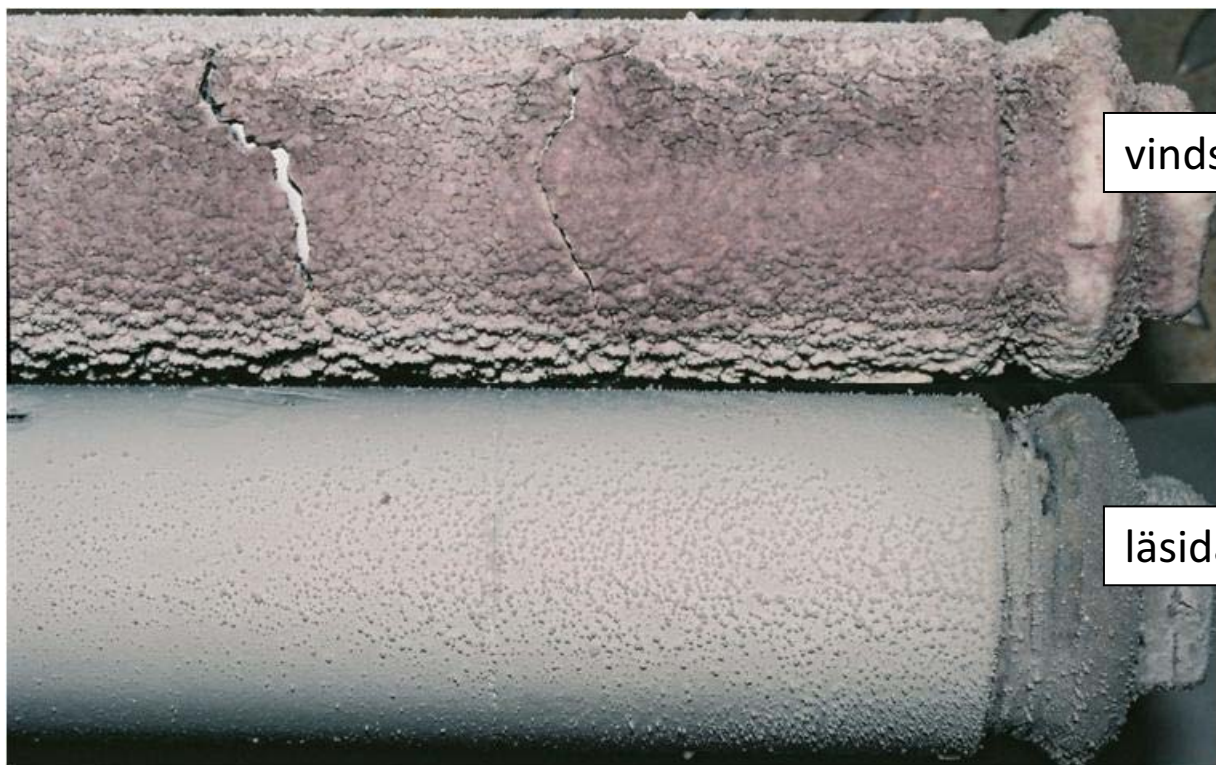
MP 2

vindsida

läsida

27.11.07 9:21 Exp 2h Rate 1.0 mm/h

referens



MP 2

vindsida

läsida

27.11.07 14:23 Exp 2h Rate 1.4 mm/h

referens



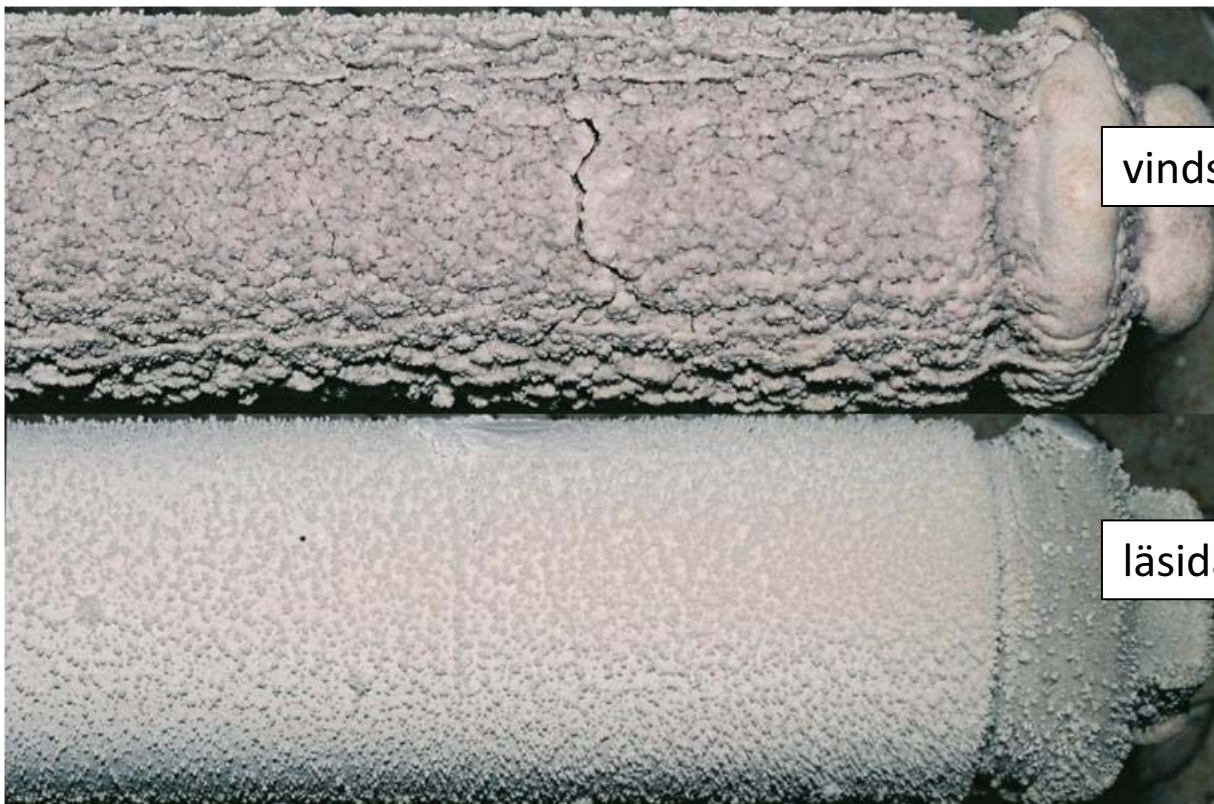
MP 2

vindsida

läsida

29.11.07 9:03 Exp 2h Rate 0.4 mm/h

hög TS



MP 2

vindsida

läsida

29.11.07 13:46 Exp 4h Rate 1.1 mm/h

hög TS



MP 2

vindsida

läsida

30.11.07 8:44 Exp 4h Rate 0.6 mm/h

hög TS



MP 2

vindsida

läsida

30.11.07 13:48 Exp 2h Rate 0.5 mm/h

hög TS



MP 3

vindsida

läsida

27.11.07 9:11 Exp 4h Rate 0.5 mm/h

referens



MP 3

vindsida

läsida

27.11.07 14:14 Exp 2h Rate 0.5 mm/h

referens



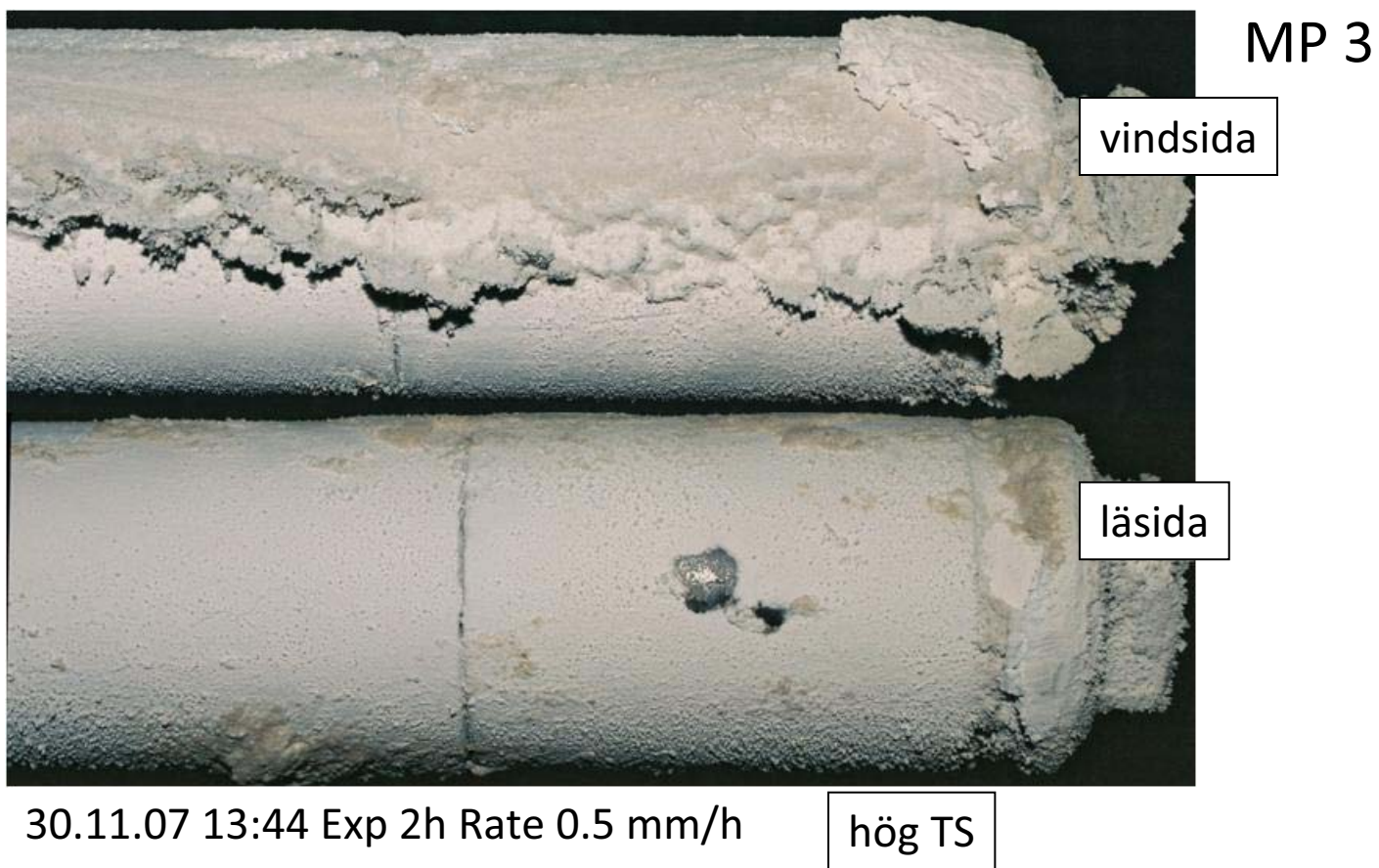
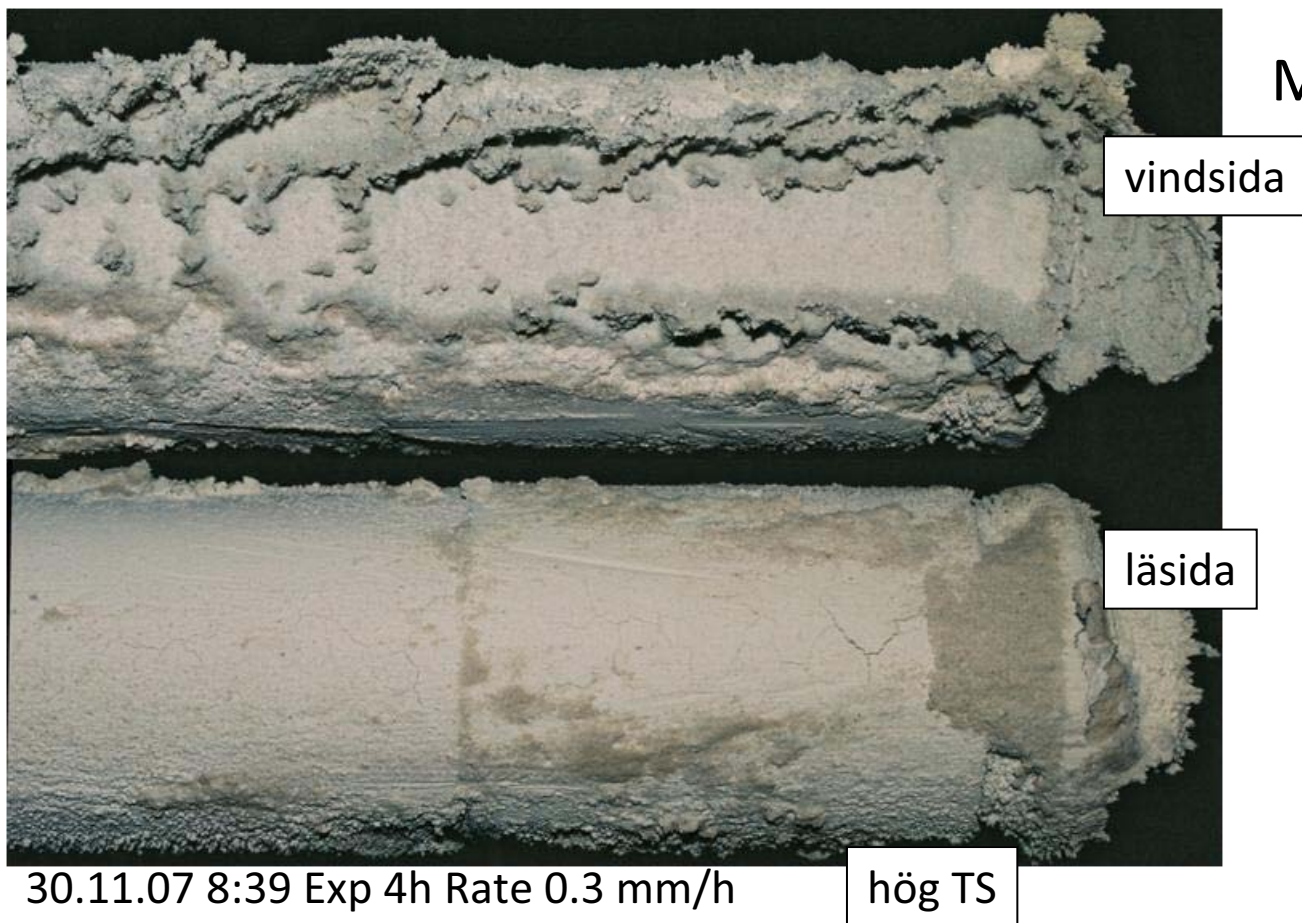
29.11.07 8:56 Exp 2h Rate 0.6 mm/h

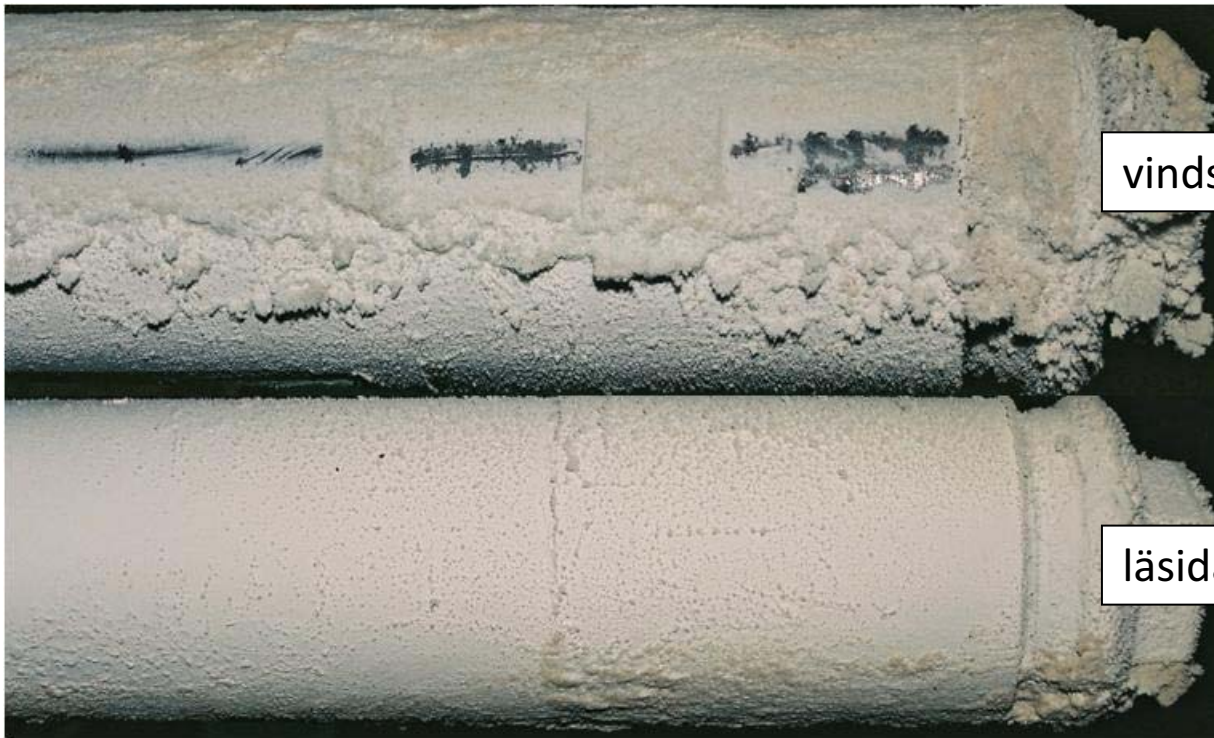
hög TS



29.11.07 13:41 Exp 4h Rate 0.4 mm/h

hög TS





MP 4

vindsida

läsida

27.11.07 14:50 Exp 2h Rate 0.5 mm/h

referens



MP 4

vindsida

läsida

29.11.07 8:58 Exp 2h Rate 0.5 mm/h

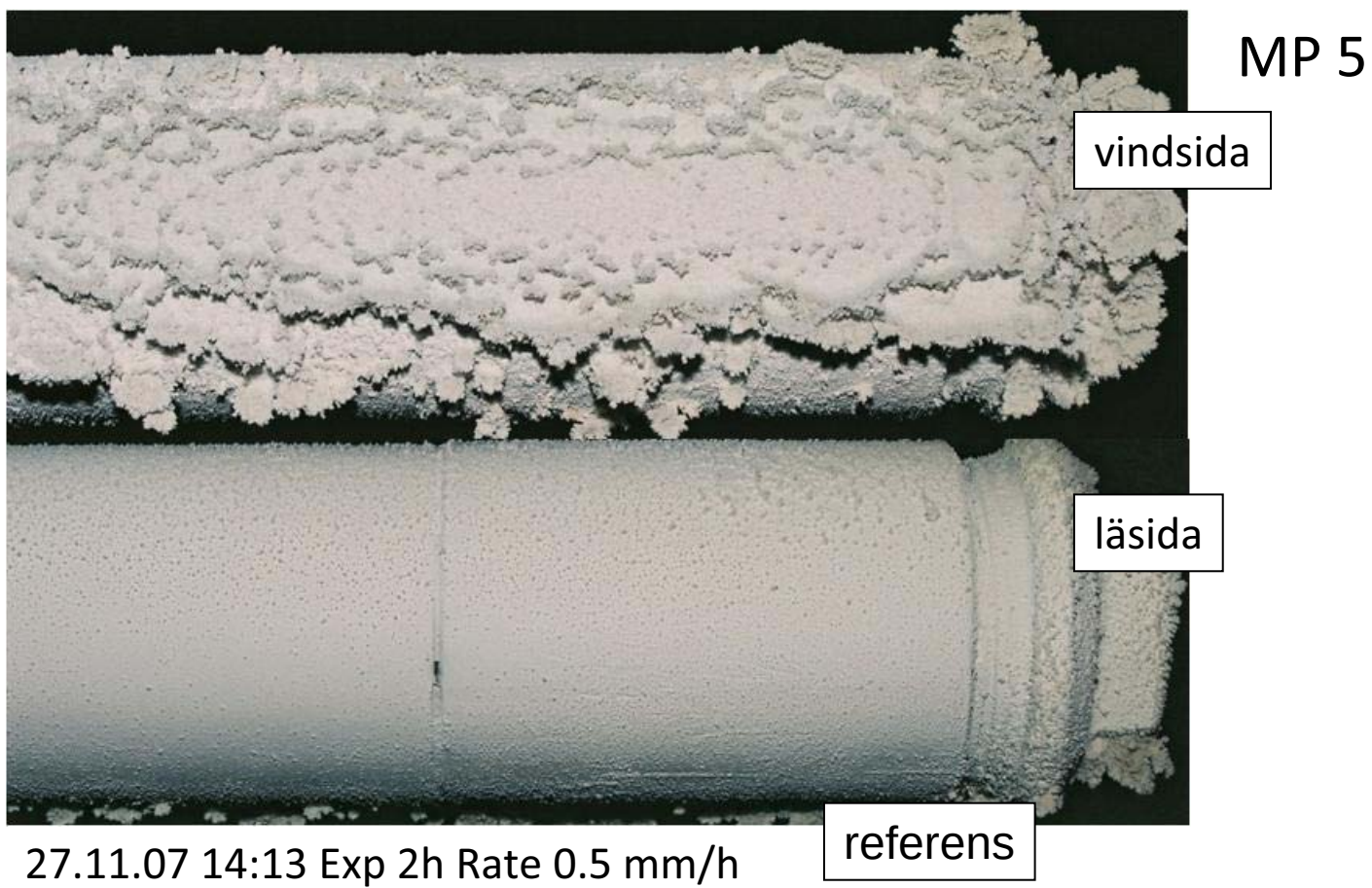
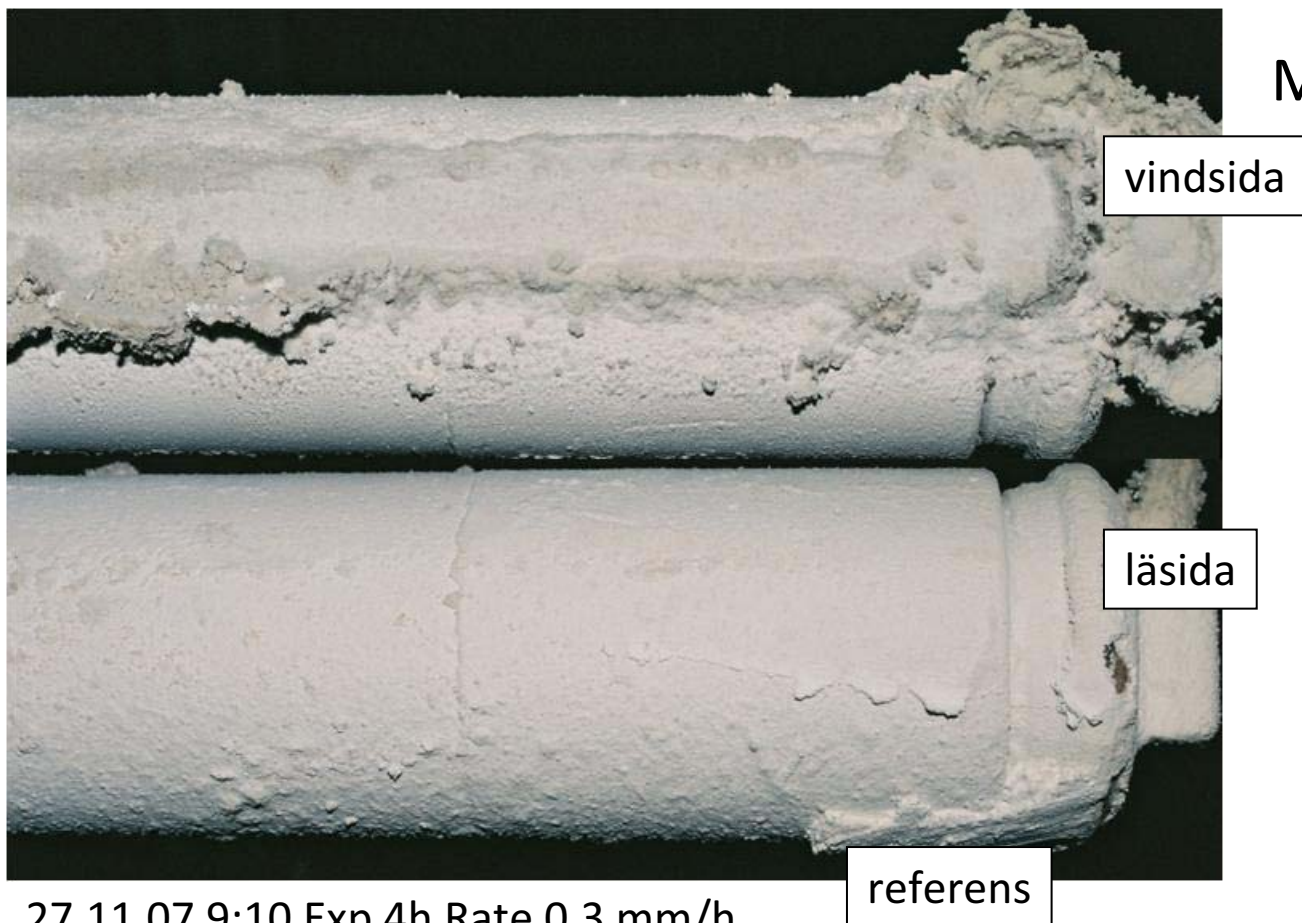
hög TS

MP 4



30.11.07 13:45 Exp 2h Rate 0.6 mm/h

hög TS





MP 5

vindsida

läsida

27.11.07 9:10 Exp 4h Rate 0.3 mm/h

referens



MP 5

vindsida

läsida

27.11.07 14:13 Exp 2h Rate 0.5 mm/h

referens



MP 5

vindsida

läsida

29.11.07 8:55 Exp 2h Rate 0.5 mm/h

hög TS



MP 5

vindsida

läsida

29.11.07 13:40 Exp 4h Rate 0.5 mm/h

hög TS



MP 6

vindsida

läsida

27.11.07 9:15 Exp 4h Rate 0.4 mm/h

referens



MP 6

vindsida

läsida

27.11.07 14:20 Exp 2h Rate 0.5 mm/h

referens



MP 6

vindsida

läsida

29.11.07 9:01 Exp 2h Rate 0.5 mm/h

hög TS



MP 6

vindsida

läsida

29.11.07 13:42 Exp 4h Rate 0.5 mm/h

hög TS



MP 6

vindsida

läsida

30.11.07 8:41 Exp 4h Rate 0.5 mm/h

hög TS



MP 6

vindsida

läsida

30.11.07 13:47 Exp 2h Rate 0.5 mm/h

hög TS

Förhöjd luttorrhalt till sodapannan

Analys av loggade data och laboratoriedata

Åke Hansson , Jan-Erik Gustafsson

STFI-Packforsk rapport nr: 416
Sept 2008

Spridning begränsad till: Svensk-Norska Sodahuskommitten

Förord

Föreliggande analys är baserad på ett försök designat och utfört av Svensk-Norska Sodahuskommittén på en modern sodapanna i Skandinavien.

Vid huvudförsöket har data i huvudsak samlats in under ett "Referensdygn" med "normal drift" och under två "Provdygner" när pannan matats med "lut med förhöjd torrhalt" (vissa data finns även under "övergångsdygnet" och dygnet efter de bägge provdyggen).

Under försöksperioden har även flera försök utförts med att leda imånga ut över taket i stället för genom pannan.

Vid analysen har i huvudsak använts loggade data från fabriken informationssystem, samt ett antal variabler som tidvis loggats med andra system och dessutom ett stort antal labdata på prov uttagna på olika ställen i fabriken.

Data har analyserats med multivariata metoder samt med Excelbaserade verktyg utvecklade inom STFI-Packforsk.

Föreliggande rapport summerar några av de viktigaste erfarenheterna.

I den löpande texten betecknar ett fyrställt tal av typen 7400 ett taggnummer (i detta fall taggnumret "321AI7400"), ett tal inom hakparenteser [237] anger variabelns "löpnummer" (i själva verket, i vilken kolumn i Exceldatabasen som variabelns loggade eller laboratoriemätta värden lagras). Ett tal inom krullparenteser {7} hänvisar till numret på den plastmapp som data ursprungligen levererats i (det avser antingen laboratorieprovade värden, eller data som loggats med temporära givare utanför det vanliga loggningssystemet på pannan).

Innehållsförteckning

1	Sammanfattning	1
2	Inledning	2
2.1	Bakgrund	2
2.2	Data, och dess konsolidering	2
2.3	Selektering av data.....	3
2.4	Statistik	4
2.5	Diagram	4
2.6	Flikar för sammanställning av specifika variabler	4
2.7	Förutsättningar för analysen.....	5
3	Förhållanden i pannan.....	6
3.1	Produktion och luttryck	6
3.2	Verkningsgrad	6
3.3	Lutens torrhalt.....	7
3.4	Växling av grönlutsledningar	9
3.5	Grönlutsdensitet och svaglut	10
3.6	Luftflöden och temperaturer i eldstaden	10
3.6.1	Kvartärluft.....	11
3.6.2	Tertiärluft.....	13
3.6.3	Tertiärluft, Imånga.....	13
3.7	Loggade temperaturer	17
3.8	Kemi	18
3.9	Sotning	20
3.10	Rökgaser	22
4	Multivariat analys	27
5	Mest signifikanta variabler (map luttorrhaltsförändringen)	28
6	Några synpunkter att beakta vid kommande försök.....	33
6.1	Störningars inverkan på försöket.....	33
6.2	Åtgärder och händelser loggas.....	33
6.3	Kritiskt <i>när</i> labprover tas ut.....	33
6.4	Enkel uppställning av indata.....	33
6.5	Benämningar	34
6.6	Felaktigheter i trendningslistor.....	34
6.7	Hur behandlas loggade data i databasen, egentligen.	34
7	Uppgifter för STFI-Packforsks databas.....	37

1 Sammanfattning

De skillnader man kan se i loggade driftdata och i labdata som skulle kunna hänföras till höjningen av luttorrhalten är små. Tydligast är skillnaderna i rökgaserna där både O₂- och CO-halterna har ökat vilket är anmärkningsvärt eftersom de rent förbränningstekniskt bör gå mot varandra. Även NO-halten har ökat medan NO₂- och SO_x-halterna har minskat. Att dessa skillnader verkligen är en konsekvens av torrhaltshöjningen kan man inte vara säker på eftersom den torrsubstansspecifika totalluften till pannan ökat och perioder med dumpning av imånga på taket förekommit under försöksdagarna. Exempelvis skulle variationer i den inkommande lutens kvävehalt påverka resultaten i denna riktning (dock syns ingen sådan tendens i de tre laboratorieprov som uppmätts (i ”plastmapp {1}”, [Excel-variabel 320])).

Även stofthalten i rökgaserna efter elfiltren är högre. Detta skulle kunna vara en konsekvens av en högre ugnstemperatur vilket man kan förvänta sig om man höjer torrhalten men håller torrsubstansflödet till pannan konstant. Det skulle även kunna beror på att pannans sotats intensivare under högtorrhaltsdagarna jämfört med referensdagen. Stofthalten har ökat 3-5% medan sotångflödet ökat 8-14 %. Sammantaget kan man konstatera att de skillnader som kan bero på torrhaltsändringen i allmänhet även kan förklaras som en effekt av andra ändringar på pannan.

Data har varit svåranalyserade. Det har varit ett visst besvär med att konsolidera in labdata i den stora bilden, (beroende på att labdata levererats i många olika format). Mer problematiskt har varit att ”de stabila driftförhållanden” man gärna vill ha vid en analys av detta slag, störs av ändringar som i en del fall kan förklaras, men som i andra fall adderar en viss osäkerhet i tolkningen.

I idealfallet skulle man ”lätt” kunna jämföra referensdygnets medelvärden med de bägge provdygnen. En första tanke att använda en begränsad del, med särskilt stabil drift, av referensdygnet som ”standard” visade sig svår att genomföra konsekvent och kunde leda till slutsatser som i alltför hög grad påverkas av exakt vilken jämförelseperiod som valts. Excelfilen medger att medelvärden enkelt kan bildas över önskade perioder. I denna sammanställning är alla jämförelser mellan referensdygnet och de bägge provdygnen baserade på dygnsmedelvärden från kl 07.00 till klockan 07.00 respektive dygn.

För övergångsdagen, den 28/11, upphör loggade data vid lunchtiden, och för den 1/12 upphör loggdatafilen vid tiotiden. Dessa ”dygnsmedelvärden” representerar alltså bara ett begränsat antal timmar och finns med bara som stöd vid den övriga analysen.

Genom att använda dygnsmedelvärden kommer effekten av dygnsvariationer (främst sotning) under referens- och provdagarna att på ett naturligt sätt jämnas ut. Ett antal variationer in som bara förekommer under en del av referensdygnet, eller under en del av provdygnen, kommer ändå att på olika sätt försvåra tolkningen. Förhoppningen är att de olika variationer som skett ändå varat så kort tid att dygnsmedelvärdet kan användas som en relativt god skattning av processens ”medeltillstånd” under det aktuella dygnet.

2 Inledning

2.1 Bakgrund

ÅF har på uppdrag av Sodahuskommittén gjort ett fyradagars försök på en sodapanna.

Dag ett är "normal drift", dag tre och fyra är "drift med förhöjd torrhalt". Däremellan en "övergångsdag", vissa data finns även från dagen efter provdagarna. Inalles finns data från (delar av) fem olika kalenderdagar.

Till de två provdagarna har en stegändring i lutens torrhalt gjorts för att ge bättre möjligheter att besvara de frågor som Sodahuskommittén ställer sig. I huvudsak, vilka blir de förväntade förändringarna när driften ställs om på detta sätt?

Lasten på pannan (som inmatad lut och producerad ånga) har varit i stort sett konstant under försöket. Data har loggats på alla tillgängliga punkter i systemet varje minut under de tre dagarna. Under försökets gång har även en hel del manuella prov tagits ut (bl.a. på smälta, askor och rökgaser). Det finns således c:a 250 (Excel-)kolumner med cirka 4000 datapunkter vardera, plus de manuella proven. Sodahuskommittén har sökt hjälp att analysera dessa data med avsikten att kunna dra ut så mycket kunskap som möjligt om försöket, som sedan kan tjäna som stöd för fabriker som vill förändra processen i den riktningen.

2.2 Data, och dess konsolidering

Ingångsdata utgörs av 286 data från fabriken's infosystem som loggats var minut under de fem dagarna. Data har dumpats från systemet vid tre olika tillfällen. Första datamängden startar kl 7.00 den 27 november (referensdagen) och fortsätter över midnatt fram till kl 10.00 övergångsdagen.

Den andra och tredje datamängden är delvis överlappande och startar den första provdagen, den 29 november, vid 7-tiden, går över resten av provdag 1, samt över hela provdag 2, den 30 november, och fram till 10.00 den 1 december. Under den överlappande tiden (ungefär mellan klockan 8.00 och 9.15 den första provdagen) har bägge värden fått stå kvar i tabellen. De borde ju ha varit identiska men kan ibland tydligt skilja sig åt. (se exempelvis signal [187], 321PC7260)

Därutöver har Åbo akademi tidvis under referensdagen, samt under de två provdagarna, loggat data med c:a en minuts intervall under dagtid (c:a 9-16). (Under en kortare period loggades data var 20 sekund.) Dessa data har konsoliderats in med övriga loggade data genom att de värden som loggats med temporära givare manuellt "synkroniserats in" till närmaste minut i info-datafilen.

Slutligen har 106 labdata lagts in i samma datafil. Det är de råa data som lagts in vid det klockslag som angivits i resultatfilen. I det fall det uttagna provet uppfattats som ett dygnssamlingsprov har mätvärdet lagts in kl 12.00, eller kl 13.00 respektive dygn. Det

är värt att notera att värdet vid det angivna klockslaget kan vara såväl avsevärt högre, som avsevärt lägre, än det angivna - det enda vi med någon grad av säkerhet vet, är ju att det angivna värdet mätts upp som ett medelvärde för mätdygnet. I de fall rådata representerar ett kortare tidsintervall (typiskt c:a 10 minuter) har data lagts in vid lämpligt klockslag i mitten av intervallet.

Utöver variabeldata finns ett antal "informationskolumner" med textinformation i datafilen. Dessa har inte utnyttjats vid de numeriska beräkningarna och skulle kanske kunnat elimineras ur den slutliga filen, men de finns där som en kontroll och av historiska skäl (att eliminera dem skulle stöka till variabelernas löpnummer-numrering som bl.a. används vid diagramritning).

Alla ovanstående data finns som datakolumner i en enda dataflik i en Excel 2007 arbetsbok. Tidskolumnen är i huvudsak en löpande kolumn med tider med c:a 1 minuts intervall, men vissa tider är "dubblade", exempelvis vid det tidigare nämnda överlappet mellan loggade data, samt vid de tider lab-prov tagits ut, i vilket fall flera datarader i följd kan bära samma klockslag. Detta utgör ingen komplikation i analysen eftersom alla mätdata är kopplade till sitt eget klockslag och alla diagram ritas med tiden som x-axel.

2.3 Selektion av data

Excelfilens statistiksida (se nedan) beräknar medelvärden för önskade perioder. Det är möjligt att testa olika perioder under referensdygnet och de bägge provdygnet.

Med hänsyn till huvuduppgiften, att analysera förändringar i pannans drift mellan ett referensdygn och två på varandra följande provdygn, bedömdes det vara en fördel om dygnsvariationer kunde avföras ur tolkningarna genom att referensdygnets data, och de bägge provdygnens data bringades att omfatta samma tider. Ett referens-"dygn" som definierades som tiden mellan 07.00 till 07.00 nästa dag föreföll slutligen vara det mest logiska valet och det som efter en del inledande försök använts i denna rapport för såväl referensdygnet som för provdygnet. Det är även i huvudsak så som data levererats (och tagits ut ur brukets informationssystem).

En annan filosofi kan vara att välja tidsperioderna så att man söker undvika att "extraordinära händelser" påverkar analysen.

Några sådana händelser under referensdygnet är exempelvis att tertiärluftflödet inledningsvis minskats c:a 30% (räknat från loggningens start, fram till c:a 10.20). Eftersom loggningen startar mitt i händelsen går det inte att från data att avgöra om det är hela effekten, eller om minskningen från händelsens start varit ännu större).

Effekterna, som de syns i exempelvis olika O2-signaler verkar ha avklingat ungefär till klockan 12 (men 7361 förefaller inte nått stabilitet förrän vid 14-tiden). En liknande händelse har registrerats det andra provdygnet mellan 9 och 15 c:a.

Andra driftförändringar synes ha skett vid 10.30, 19.00 och 20.30 under referensdygnet vilket satt spår i vissa signaler. Lutväxlingar och sotning av överhettarna är exempel på

händelser som i huvudsak (inom ett par timmar) påverkat driften vid samma tidpunkter varje dygn. ÅF har i sin analys startat referensdygnet ungefär klockan 10.

Genom att statistikfunktionen gjorts flexibel är det möjligt att detaljstudera effekterna av andra medelvärdesbildningsperioder än ”dygn 07-07”.

2.4 Statistik

För varje kolumn beräknas i en särskild flik statistiska data per dygn (07-07) för alla de olika variablerna. En särskild tabell gör det möjligt att även beräkna statistik för vilka godtyckliga rader som helst på datafliken. (I skrivande stund beräknas denna statistik över referensdygnet 07-07).

Baserat på statistiken har den procentuella förändringen mellan referensdygnets medelvärden och de bägge provdygnens medelvärden beräknats. Alla variabler har sedan rankats om på fliken SIGNIFIKANS så att de mest signifikanta variablerna (de med mer än tre procents förändring mellan referensdygnet och provdygnet) placerats i en klass för sig, de med mer än tre procents förändring till ena provdygnet, men med motsatt tecken det andra, har sorterats i en annan klass, och variabler med mindre än tre procents förändring har sorterats till en tredje klass.

Inom varje klass finns möjlighet att sortera variablerna beroende på förändringens storlek, och/eller typ av variabel (eldstad, lut, kemi t.ex.)

2.5 Diagram

Ett antal diagram har lagts in i Excelfilen. På grund av att diagram snabbt ökar Excelfilens storlek utöver vad som är praktiskt lämpligt att hantera har ett system av fasta diagram skapats där den bärande principen är densamma.

I diagrammen väljs kolumn(er) baserat på variabelns löp-nummer på datafliken. På ”Diagram”-fliken är det även möjligt att söka på godtycklig del av beskrivning eller taggnummer. Upprepad sökning hittar ”nästa”. Med en öka/minska-knapp går det snabbt att sedan även studera närliggande variabler. Det finns flikar för enkelt diagram (en variabel på en tidsaxel), dubbelt diagram, X-Y-diagram, samt ett diagram där det är möjligt att välja upp till 6 olika variabler i diagrammet. Naturligtvis finns alla Excels diagramfaciliteter tillgängliga dessutom.

Det enkla och dubbla diagrammet finns även i en variant där öka/minska-knappen stegar till närliggande diagram i signifikansordning (enligt fliken ”SIGNIFIKANS”).

2.6 Flikar för sammanställning av specifika variabler

För ett antal variabler har ”samlingsflikar” skapats, där samhörande variabler samlats. Flikarna behandlar, Lut, Ånga, Luft, Rökgaser och Grönlut.

På respektive flik har sammanställts variablernas dygnsmedelvärden för referensdygnet och de bägge provdygnet (enligt fliken "LoggStatistik"). I några fall har även ett antal beräknade variabler skapats för att komplettera bilden.

Från respektive flik finns även möjlighet att snabbt kalla upp ett tidsdiagram med loggade data för de på fliken listade variablerna,.

2.7 Förutsättningar för analysen

Vid analysen har använts tillgängliga data samt generell kunskap om sodapannor och deras funktion. Hur just denna sodapanna har instrumenterats och styrts i detalj har inte tillhört den information som lämnats för analysen.

En del data kan ifrågasättas med avseende på givarens funktion eller relevansen hos uppmätta data. I några fall kommenteras detta i texten, i andra fall krävs mer information för att kunna kommentera signalerna med större säkerhet.

Där data rankats med avseende på "förändringsprocenten" bör noteras att rankningen baseras på en rent matematisk procentberäkning med referensdagens dygnsmedelvärde som utgångspunkt. Det leder exempelvis till att signaler som ligger nära noll, eller som är exakt noll under referensdagen, eller under provdagarna, kommer att få mycket stora värden på den procentuella förändringen och således kommer att rankas högt i listan.

Tolkningen av förändringsvärden bör således ske med försiktighet, höga värden är en indikation på att variabeln *kan* ha hög relevans, men är ingen garanti för detta. På samma sätt kan låga förändringsvärden i själva verket innebära att två, i sig relevanta förändringar, med två olika orsaker, gått åt olika håll, så att den synliga nettoeffekten blivit liten.

3 Förhållanden i pannan

3.1 Produktion och luttryck

Under försöket förefaller luttrycken ha ställts in så att torrsubstansflödet till pannan är konstant vilket är rimligt om man beaktar att pannan ska producera viss mängd kemikalier i förhållande till massaproduktionen i fabriken. Om enbart lutens vatteninnehåll ändrats är detta vad som krävs för att bibehålla en viss produktion av effektivt alkali. Luttrycken har höjts c:a 20% vid den högre torrhalten, sannolikt nödvändigt för att få igenom tillräcklig mängd lut när viskositeten ökat. Luttemperaturen har ökat men det verkar inte ha varit tillräckligt för att hålla en konstant viskositet.

3.2 Verkningsgrad

Utifrån det producerade ångflödet, och med hänsyn till ångans entalpi vid rådande tryck och temperatur har den totalt producerade ångeffekten, och därefter verkningsgraden, beräknats på nedanstående sätt. (Talen 7184 etc. är taggnummer)

Producerad ånga [t/h] = 7184 + 7204 + 7200 + 7196

Specifik entalpi [MJ/kg] = $h_{pT}(7176;7170)/1000 - \text{Vattnets_entalpi_vid_100_grader}$

Effekt ånga [MW] = Producerad ånga * Specifik entalpi

Lutmängden [t/h] = Summa lutföde * Lutdensitet

Lutens ts-flöde [tts/h] = Lutmängden * den laboratoriebestämda ts-halten

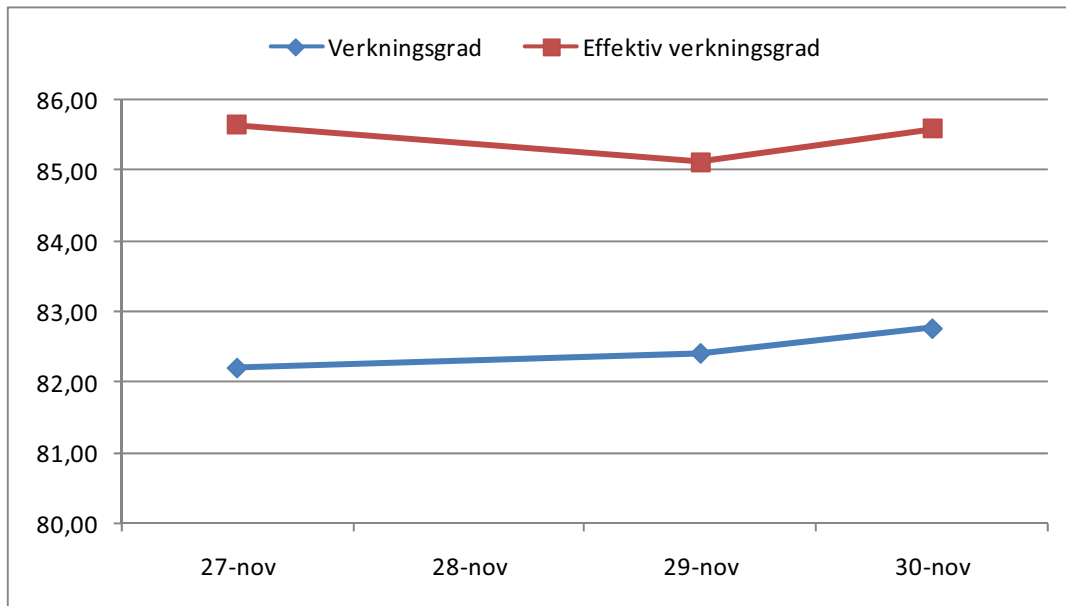
Den ts-specifika ångeffekten [MJ/kg] = $3,6 * \text{Effekt ånga} / \text{Lutens ts-flöde}$

Lutens effektiva värmevärde [MJ/Kg] = LHV enligt labdata - $-2,257 * \text{LutFuktkvot}$

Verkningsgrad = $\text{TS-specifik ångeffekt} / \text{LHV} * 100$

Effektiv verkningsgrad = $\text{TS-specifik ångeffekt} / \text{Lutens effektiva värmevärde} * 100$

Den på detta sätt beräknade torrsubstansnormerade verkningsgraden har ökat något, men när hänsyn tas även till lutens vatteninnehåll (den effektiva verkningsgraden) visar data ingen tydlig tendens.



3.3 Lutens torrhalt

I det kontrollerade huvudförsöket ser vi genom labproven att brännlutens torrhalt **ökat från 82,4% till 85,5 respektive 85,0% under de bägge provdagarna** (en drygt treprocentig ökning, räknat som dygnsmedelvärden [löpnummer 336]). Ändringen, räknat som fuktkvot i luten är å andra sidan en minskning på över 20%.

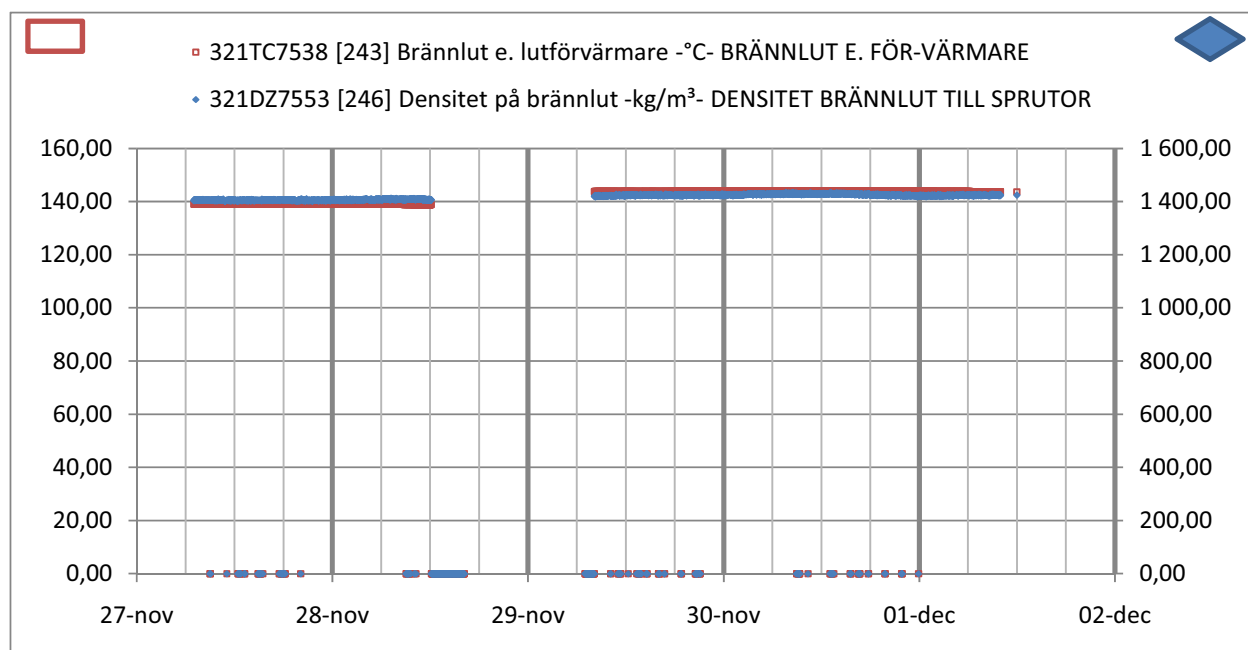
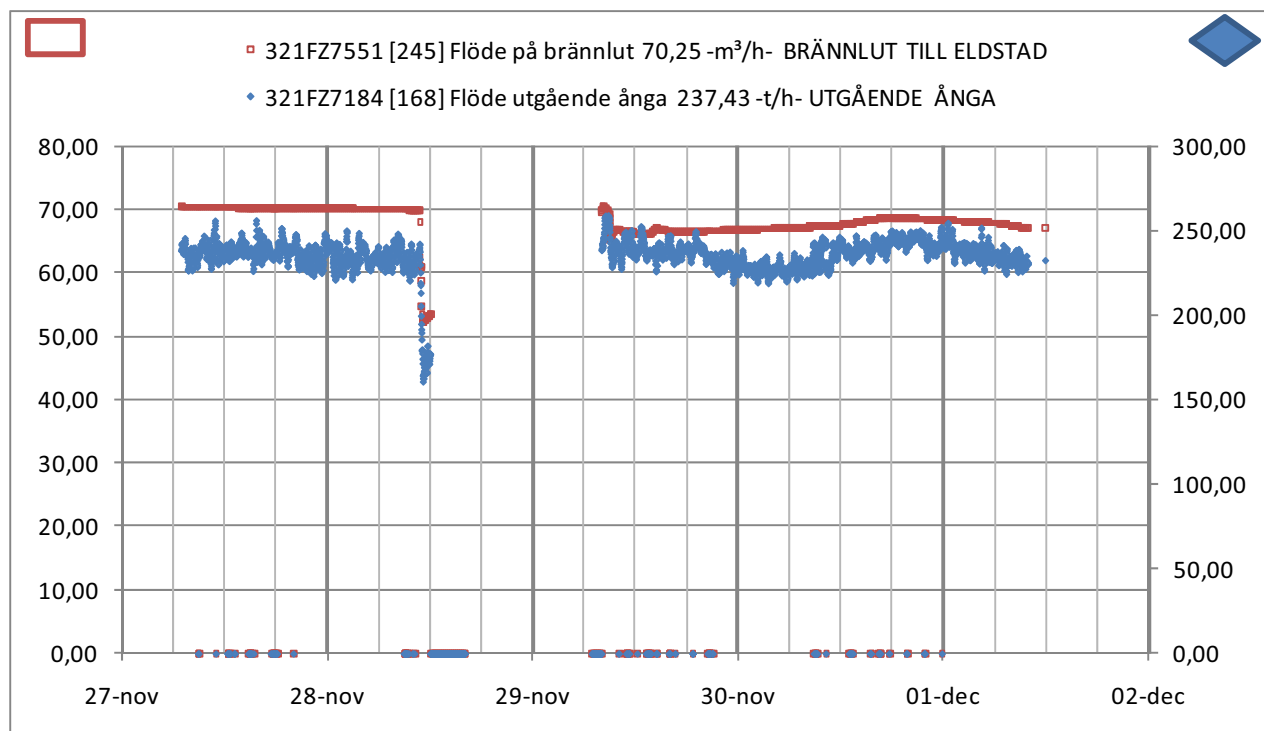
Torrhaltsökningen har lett till en densitetsökning och en viskositetsökning som delvis kompenseras med en temperaturhöjning av brännluten.

Genom att välja rätt nivå på luttrycken har man lyckats hålla ett konstant torrsubstansflöde till pannan och därmed en i det närmaste konstant ångproduktion.

Förhöjd luttorrhalt till sodapannan

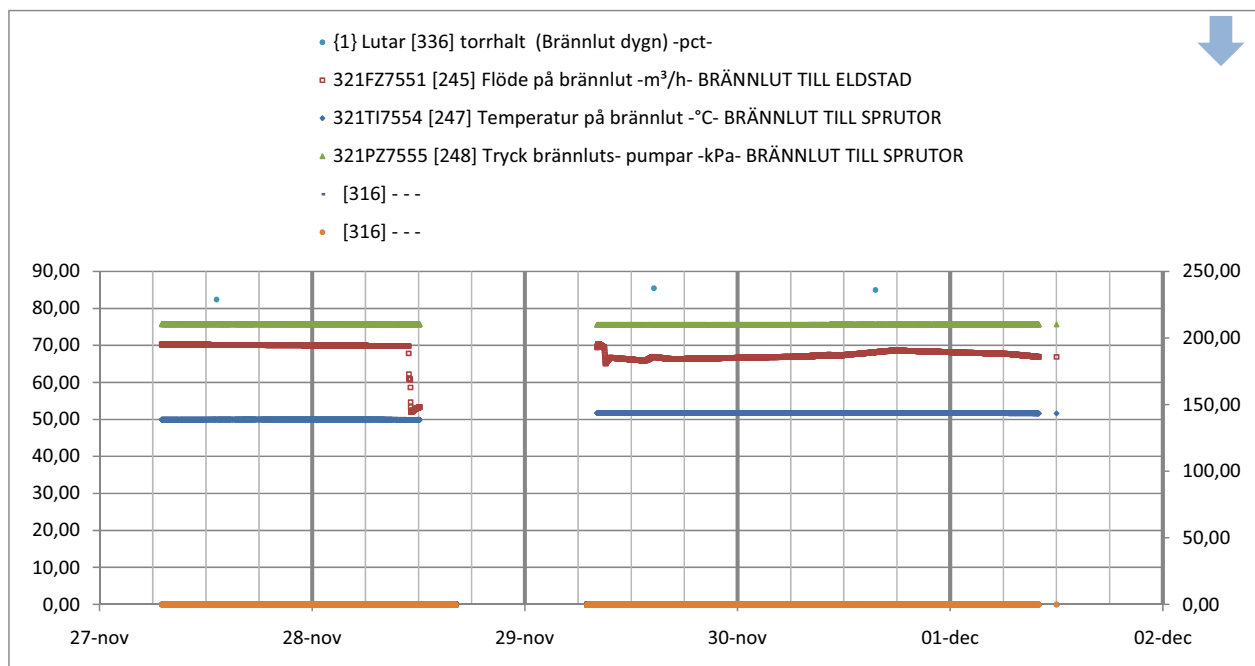
STFI-Packforsk rapport nr 416

Sid 8 – BILAGA DB



321PZ7555 Tryck brännlutspumpar, (Löpnnummer [248]) är konstant drygt 210 kPa under försöket. Temperaturen 7554 [247] har höjts c:a 4 grader, möjligen för att kompensera för en viskositetsökning.

Även densiteten 7553 [246] har som väntat ökat någon procent, från 1406 till 1426 kg/m³ och brännlutsflödet 7551 [245] minskat 4%. (Flödet i returledningen 7571 [258] minskar 23%, trycket 7578 [259] ökar 17% (som medelvärde av de två provdagarna), men visar en stadigt nedåtgående tendens under de två provdagarna).



Under försöket minskar lutflödena till fram/bak/vänster vägg (7566 [254]/7560 [250]/7569 [256]) c:a 9-14%, men lutflödet till högerväggen (7563 [252]) ökar 36%. Trycken ökar på motsvarande sätt från runt 128 kPa till runt 155 kPa (c:a 20%), utom för högerväggen där ökningen stannar vid 16%, (till 148 kPa).

Enligt uppgift har inga sprutor bytts (varken antal eller storlek) under perioden.

Beräkning av lutens upplevda flödesmotstånd (tryck/flöde) för de olika lutflödena ger att lutens motstånd generellt ökat en 30-40%, utom till högerväggen, där *flödesmotståndet i stället minskat* 15% mellan referens- och provdygnet. Det är svårt att tänka sig hur detta kan hänga ihop utan att några sprutor bytts, kopplats in eller stängts av. Det totala flödesmotståndet ökar bara marginellt (4%).

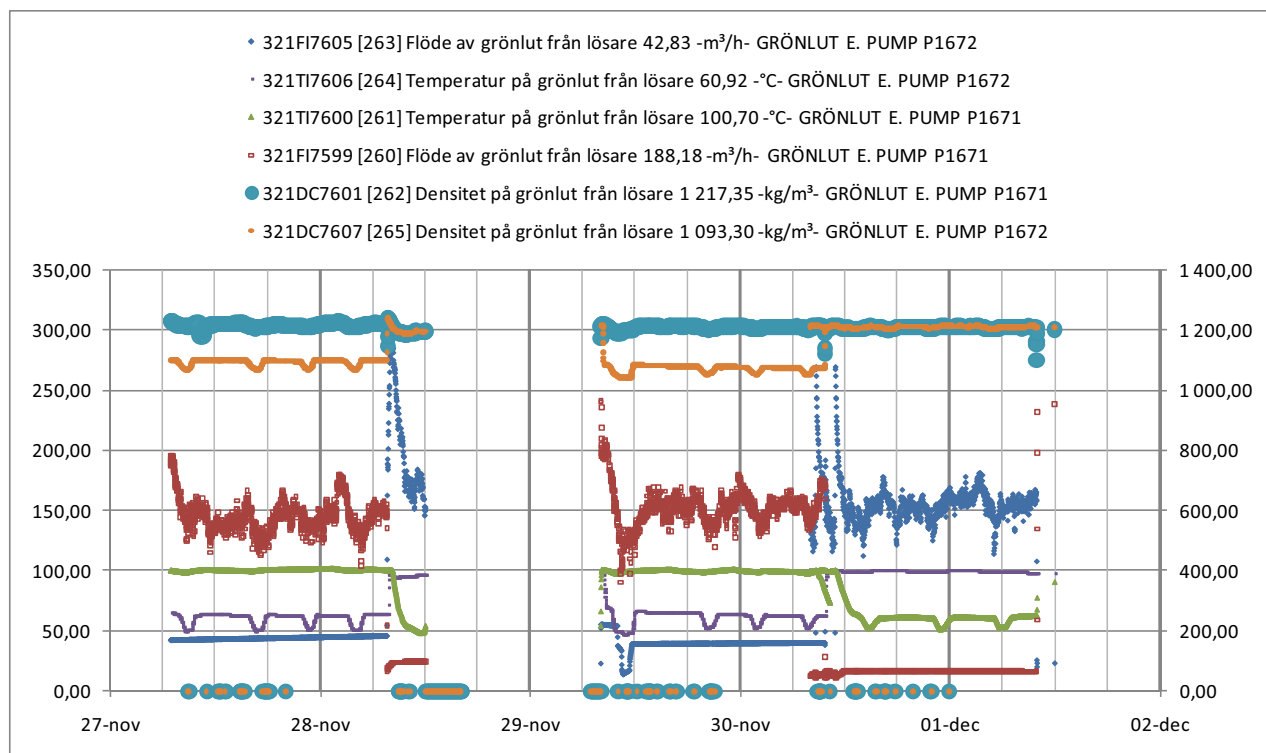
3.4 Växling av grönlutsledningar

I diagrammet nedan visas flöde, temperatur och densitet för grönluten genom de bägge pumparna 1671 och 1672. Alla signaler reagerar som väntat vid ledningsväxling och tvättning, utom grönlutsdensiteten efter pump 1671 (DC7601) [262] som visar i stort sett ett konstant värde under hela försöksperioden. Det kan vara idé att jämföra densitetsmätarna och verifiera att de fungerar som de skall. Nu kan vi konstatera att de reagerar olika på ledningsväxlingarna.

Förhöjd luttorrhalt till sodapannan

STFI-Packforsk rapport nr 416

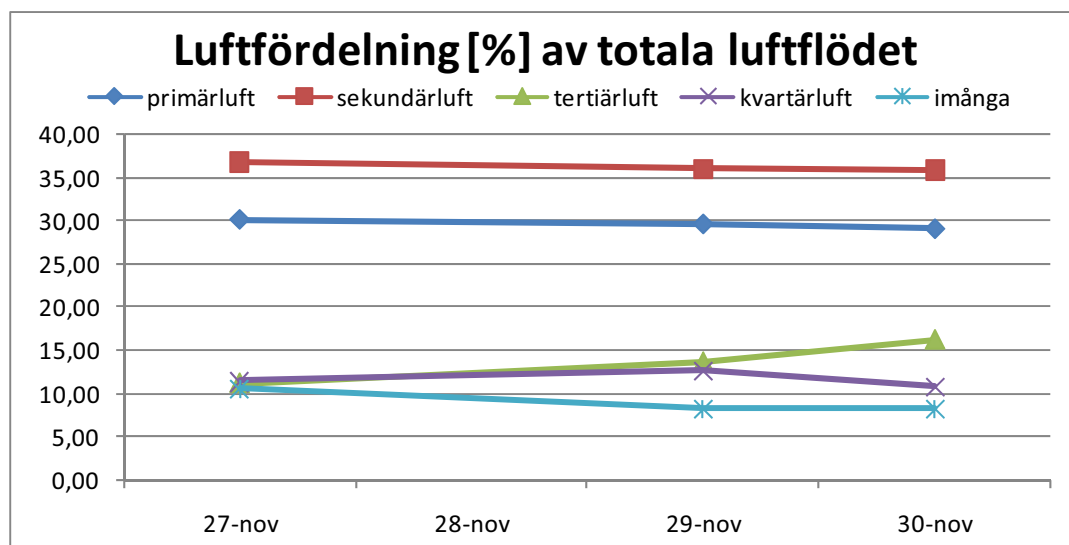
Sid 10 – BILAGA DB



3.5 Grönlutsdensitet och svaglut

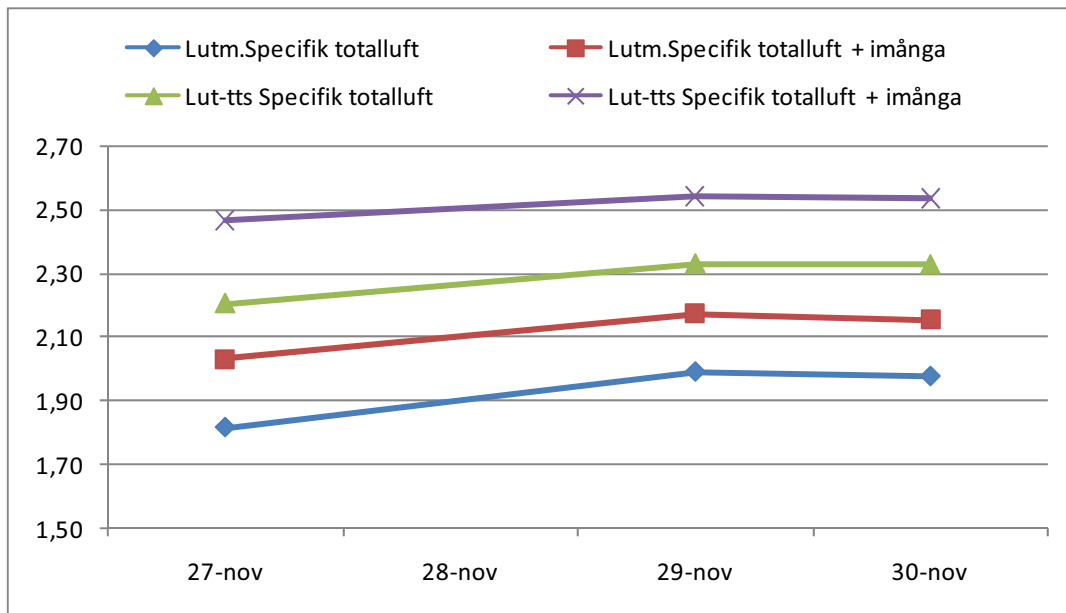
Under försöksperioden har grönlutens densitet minskat något vilket även medfört en ökning av svaglutsflödet och grönlutsflödet. Grönlutens torrsbstansflöde har inte visat några större variationer.

3.6 Luftflöden och temperaturer i eldstaden



Under försöket har mängden primär- och sekundärluft varit nästan konstant. Däremot har mängden tertiärluft ökat från 20 kNm³/h till bortåt 30 kNm³ under provdag 2. Mängden imånga till tertiärluften har minskats mellan referens- och provdagarna (även bortsett från de perioder när imånga letts ut över taket).

Totalt har såväl det totala luftflödet liksom det normerade totala luftflödet ökat lite (3-9%) mellan referensdagen och de två provdagarna.



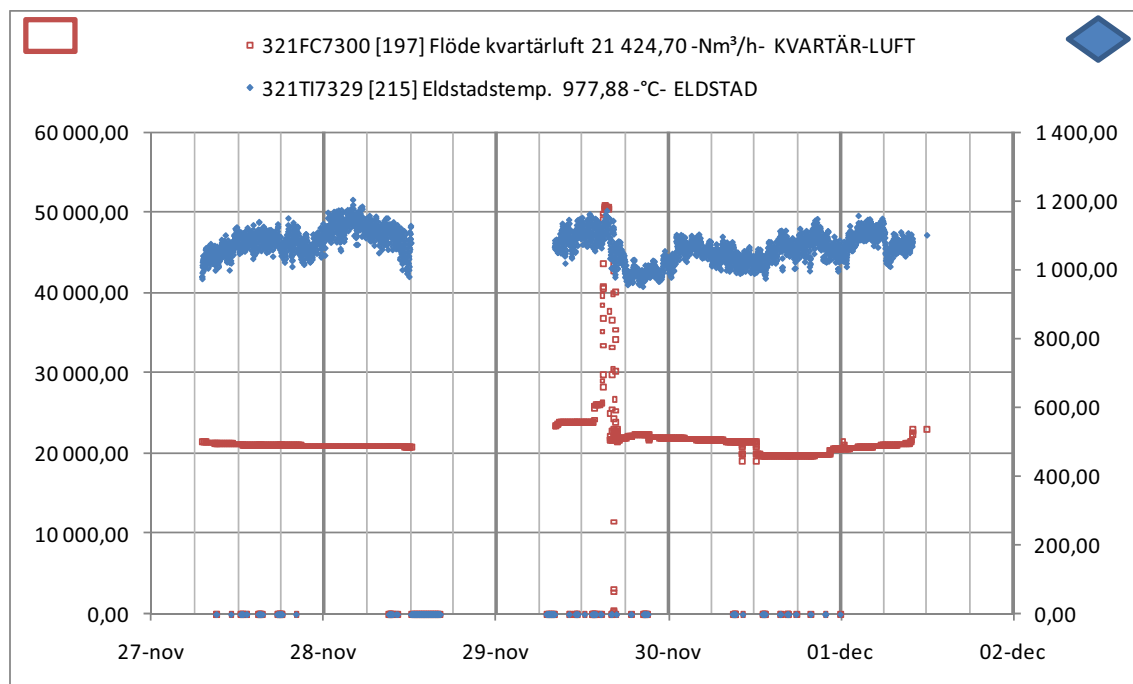
3.6.1 Kvartärluft

Kvartärluftflödet, FC7300 [197], ökade kraftigt, från 22 000-50 000 Nm³/h, ungefär mellan klockan 12 och klockan 14.30 det första provdygnet. Det ledde till ökade tryckdifferenser i ÖH och kraftigt ökad O₂-halt, (AI7325/26/AI7336/AI7361) [213]/[214]/[218]/[222], under en period, (varefter eldstadstemperaturen 7329 [215] sjönk).

Förhöjd luttorrhalt till sodapannan

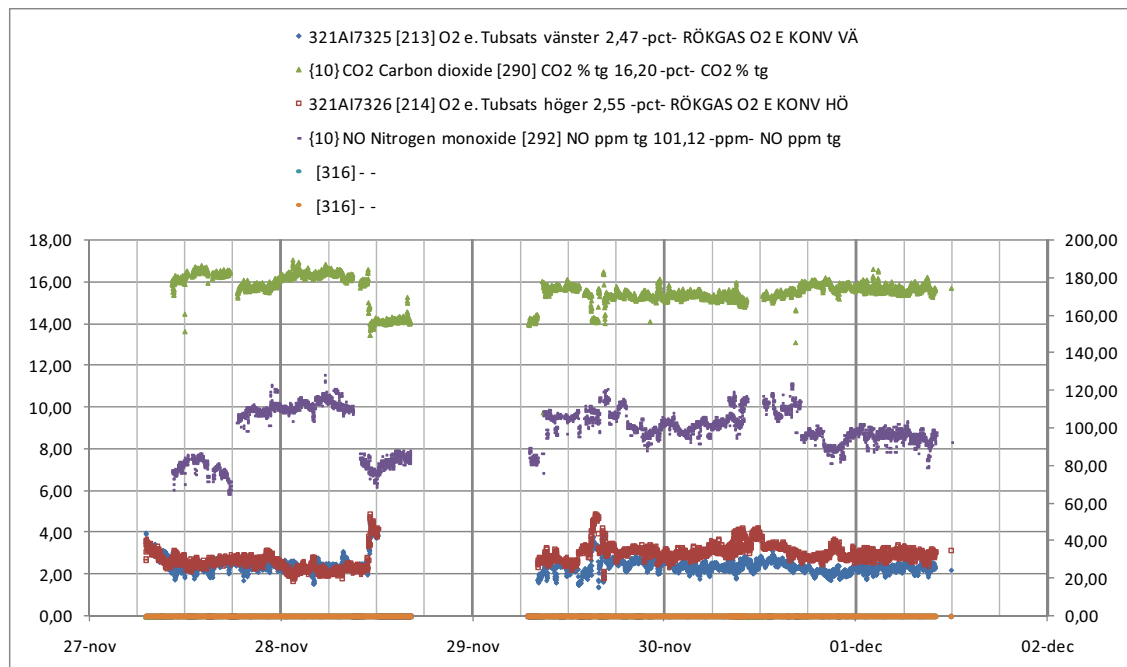
STFI-Packforsk rapport nr 416

Sid 12 – **BILAGA DB**



Även O₂ signalerna svarar tydligt på det ökade kvartärluftflödet som nedanstående bild visar. O₂-mätarna syns ha en samstämmig bild av utvecklingen och verkar fungera bra.

Även den tillfälliga CO₂-givaren (och möjligen även NO) i rökgaserna {plastmapp 10} reagerar på förändringen.

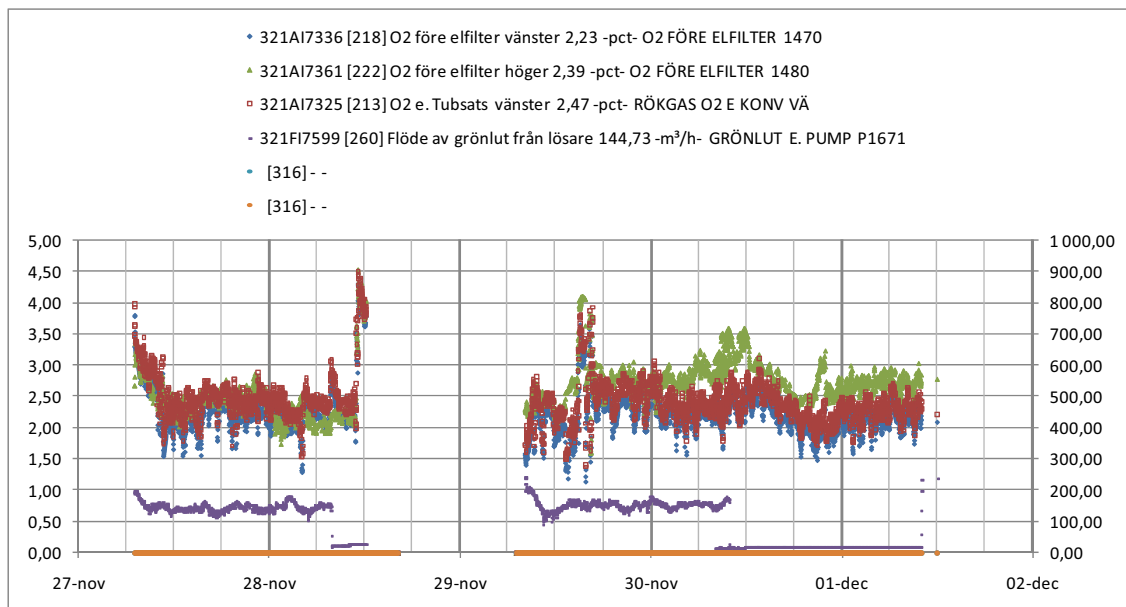


I diagrammet syns att nivån på CO₂ i rökgaserna under provdygn 1 är lägre än under det andra provdygnet respektive under referensdygnet (15,4 v.s. 15,6 respektive 16,2 %tg).

Det speglar lutens lägre torrsubstansflöde under det första provdygnet (73,6 v.s.74,7 respektive 74,6 tts/h)

3.6.2 Tertiärluft

Under de första timmarna av referensdygnet minskas tertiärluftflödet med c:a 30%, från 30 000 Nm³/h klockan 7 till 19 000 Nm³/h klockan 10. Det samvarierar bl.a. med de variabler som illustreras i nedanstående diagram.



3.6.3 Tertiärluft, Imånga

Under försöket genomfördes flera försöksperioder där imånga, i stället för att återföras till tertiärluften, fördes ut över taket [281]. Imånga styrdes över tak under provdygn ett kl 15-16 samt kl 19-21, samt under provdygn två under tiderna 11-13 samt 17-19.

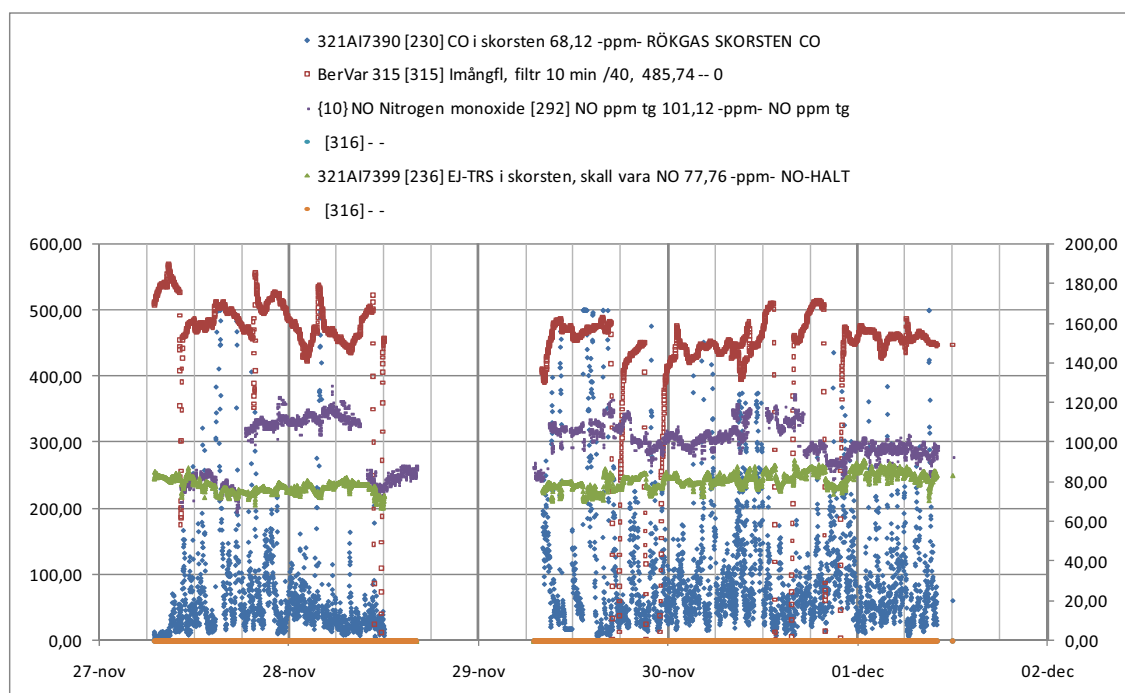
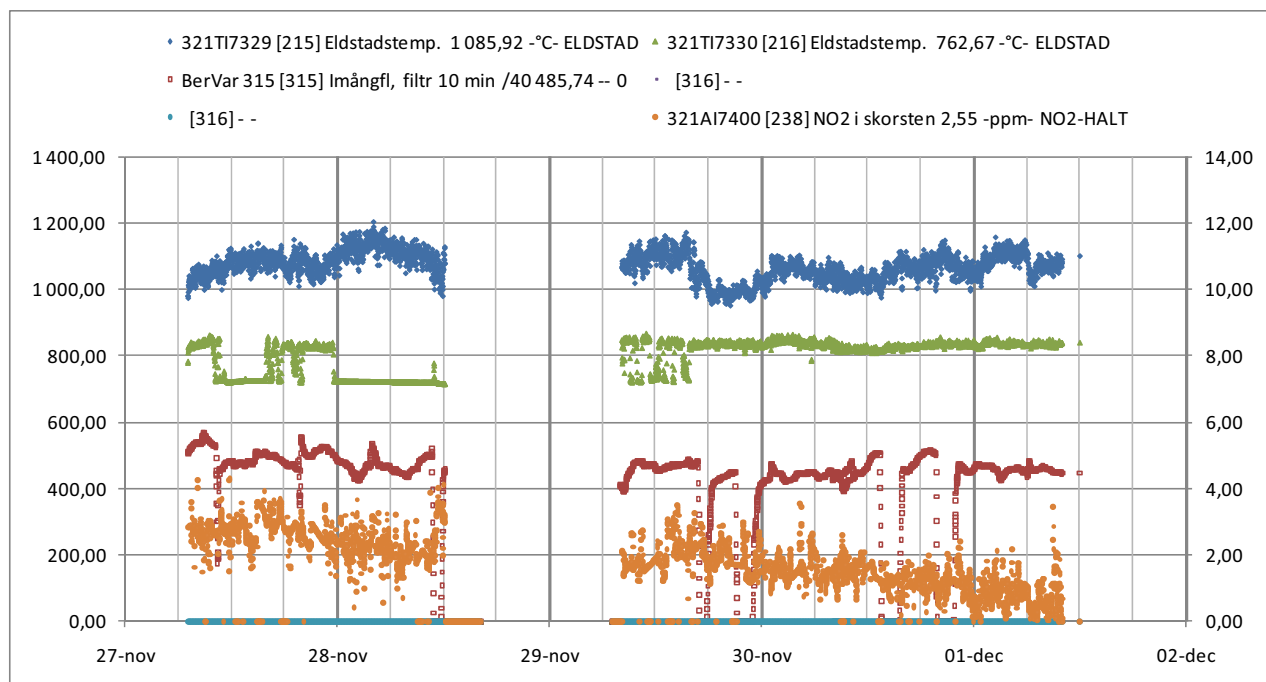
Imångflödet till pannan upphörde således under totalt tre timmar under dag 1 och under fyra timmar under dag 2 (12,5% resp 16,7% av tiden), vilket innebär att provdagarnas dygnsmedelvärden kan påverkas, inte bara av lutens torrhalt, utan även av hur imånga körts, samt, naturligtvis, av alla andra eventuella skillnader mellan referensdygnet och de bägge provdygnen, exempelvis förändringar i lutens kemiska sammansättning mellan dygnen.

Nedanstående diagram illustrerar några variabler vid tiden för dessa omställningar.

Förhöjd luttorrhalt till sodapannan

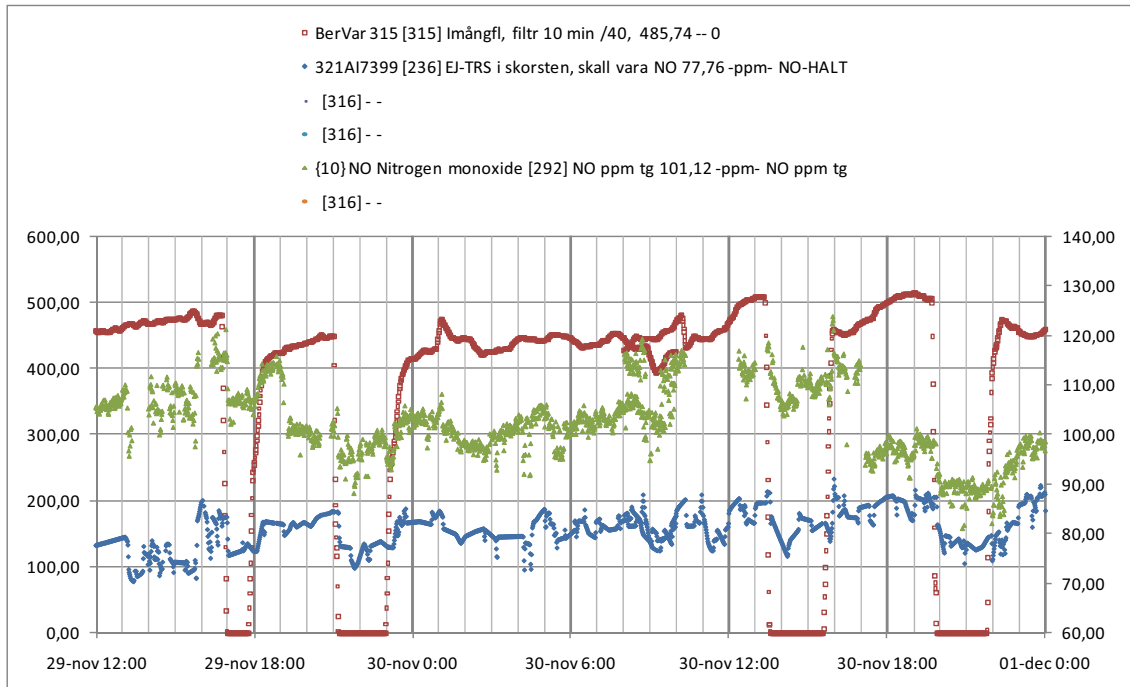
STFI-Packforsk rapport nr 416

Sid 14 – **BILAGA DB**



Det framgår att varje period när imången skickats över taket, så har NO i skorsten (7399) minskat med c:a 5 enheter (på nivån 82 ppm). Dock kom tillbakagången efter sista steget med flera timmars fördröjning. Man ser även att denna variabel gjort steg av samma storleksordning vid minst lika många tillfällen utanför det styrda försöket. Trots detta kan man konstatera att både medelvärde och spridning i NO är lägre när imången skickas över taket. Förutom en kort period vid första imångexperimentet 30/11 så är NO alltid lägre än 80 ppm när imången skickas till taket. På samma sätt registrerar den

tillfälligt loggade variabeln [292] att NO-halten i rökgaserna sjunker i ungefär samma storleksordning (c:a 7 enheter på nivån 100).



Statistisk analys av Imångförsöket

Den loggade variabeln 7399 uppvisar steg i samband med att imånga leds till taket respektive in till pannan igen. Men den loggade signalen uppvisar även likartade steg när ingenting förändras i imången.

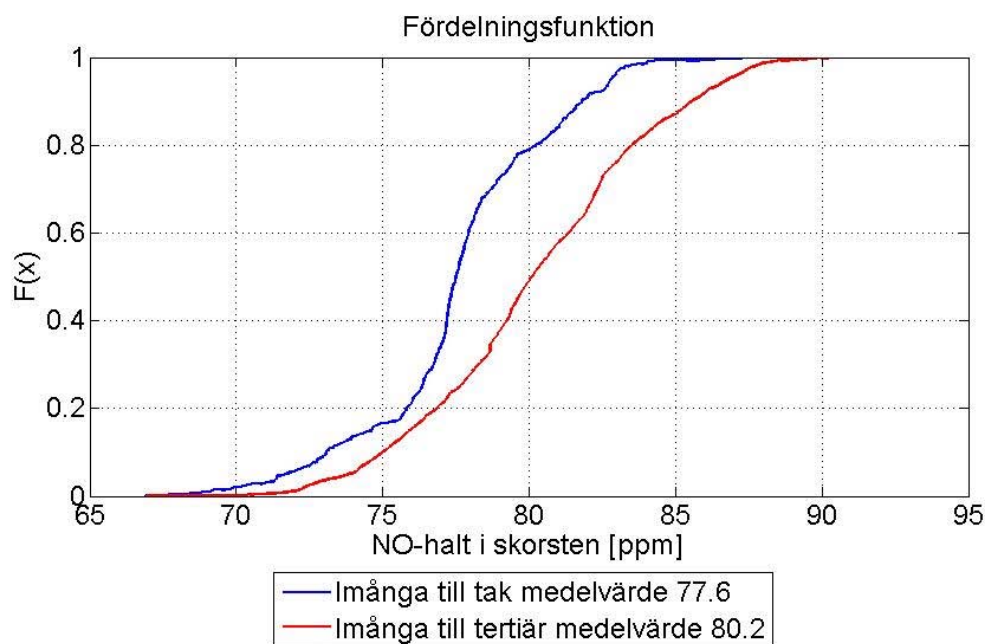
För att testa signifikansen i de observerade variationerna har medelvärdena för när imången leds till tak, respektive när den leds till tertiärluften, jämförts med varandra. För hela provperioden gäller att sannolikheten att medelvärdena ska vara lika är ca 10^{-47} (och alltså att de skillnader som synes finnas i så fall skulle vara orsakade av de naturliga variationerna i signalen). Det är så osannolikt att det inte kan hända!

Det finns emellertid ett litet aber. När man testar fördelningarna så är de inte "normala" vilket är en förutsättning för denna typ av analys (de flesta vanliga statistiska metoder förutsätter att signalerna är normalfördelade). När man gräver lite djupare i teorierna så kan man ändå räddas av centrala gränsvärdessatsen, om man har tillräckligt många observationer. 40 observationer brukar vanligen betraktas som "många" och vi har betydligt fler. Och när man plottar fördelningsfunktionerna så ser de hyfsat normala ut.

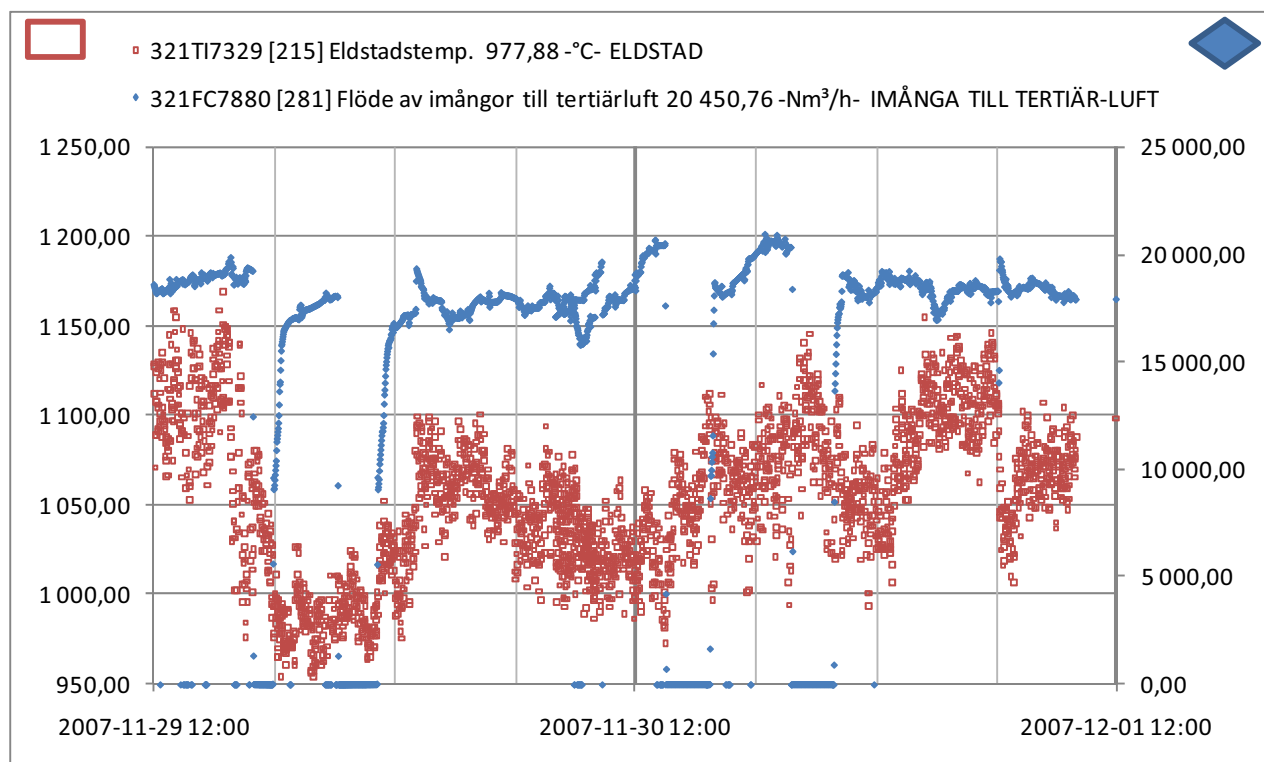
Förhöjd luttorrhalt till sodapannan

STFI-Packforsk rapport nr 416

Sid 16 – **BILAGA DB**



Eldstadstemperaturen varierar, men förefaller inte kopplad till det aktuella försöket. Inte heller övriga temperaturer uppåt i pannan har visat någon korrelation med imångförsöket.



3.7 Loggade temperaturer

Åbo Akademi har loggat temperaturerna i diverse olika positioner i överhettarna. Åbo mätte med ca 4 meter långa, luftkylda kombinerade påslagssonder/temperaturgivare. Dessa var inne i pannan någon timme, inte mer. Dessa påverkades inte av stofthalten.

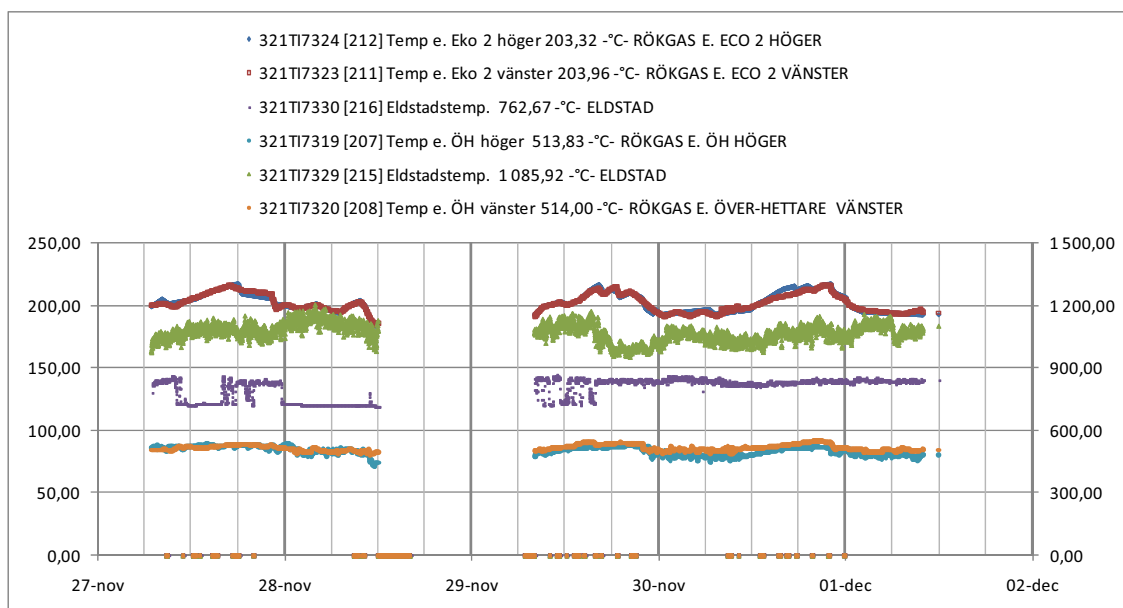
De uppmätta värdena visar att temperaturen i pannans topp varit i stort sett konstant under försöket (med undantag, faktiskt, av MP3 på höger sida som sjunkit).

Temperaturen i de lägre delarna har sjunkit under försöket. Följande temperaturer har uppmätts.

Var	MP1 °C	MP2 °C	MP3 °C	MP4 °C	MP5 °C	MP6 °C
Pos	Topp	ToppV	ToppH	Bak	Näsa	Fram
RefD	575,96	612,40	622,70	510,41	769,02	869,73
Provd1	591,46	620,23	605,41	483,13	740,51	849,57
Provd2	561,29	610,86	584,11	473,71	690,89	818,07

Övriga loggade temperaturer, från pannbotten och uppåt har nästan alla hållit sig inom någon % avvikelse (celciusgrader) mellan referensdygnet och de bägge provdagarna (i sekundäröverhettarna inom ett par procent). Några temperaturer med en mer spännande utveckling redovisas nedan.

Enligt uppgift sitter temperaturmätningen i tertiärlufts-nivån (TI7329 och TI7330). på pannans framsida, alltså inte på den sida som imångorna kommer in. Bruket har också uttryckt farhågor om att dessa två instrument inte är helt tillförlitliga, då dessa kan utsättas för strålningsvärme.



Eldstadstemperaturen 7330 [216] växlar mellan två huvudnivåer, 720 grader och 830 grader. Denna givare verkar leva sitt eget liv och kan misstänkas vara felaktig, eller olämpligt monterad (men under andra provdygnet följer den rätt väl variationerna som den andra givaren anger).

Eldstadstemperaturen 7329 [215] har minskat c:a 3% (celciusgrader) mellan referensdygnet och de bägge provdygnen.

3.8 Kemi

Prover har under perioden tagits ut från ett flertal provpunkter för senare analys i lab. Flera prover har varit samlingsprover, dessa redovisas separat i tabellen.

I denna sammanställning ingår alla levererade rådatamät punkter, utom de som ÅF uttryckligen strukit med hänvisning till att mätningarna varit orimliga (ej hunnit stabilisera sig). Med i materialet kan alltså fortfarande finnas data som inte är ”relevanta” i ett eller annat avseende. Provtagningstillfällena har delvis sammanfallit med de tidigare nämnda förändringarna i tertiärluft/imånga och kvartärluft, vilket bör hållas i minnet vid tolkningen av data.

Den största procentuella förändringen har (naturligtvis) registrerats för ett antal variabler som under referensdygnet var noll, men som under provdagarna ökat till mätbara nivåer (dock fortfarande delar av ppm).

Det gäller NO i imånga [382] som ökat från noll under referensdygnet till 0,27 ppm i genomsnitt för de bägge provdygnen (under övergångsdygnet registrerades halter runt 1 ppm), samt NO, N₂O och NH₃ i Svaggaserna [400], [404] och [405]. Men för de senare variablerna har det ena av provdygnen registrerat ingen eller ringa ökning varför man kan ifrågasätta validiteten i mätningen (med avseende på lutens torrhaltförändring).

De mest signifikanta ändringarna avser rökgaserna på Plan 14 samt de ”manuellt” loggade variablerna i rökgaserna (från mapp {10}), där följande förändringar är mest uttalade (Notera att för ”plan 14”, ”inga prov togs ut provdag 2 eftersom halterna dag 1 höll förväntade nivåer”) Registrerade förändringar avser den procentuella förändringen från referensdygnet till medelvärdet av de bägge provdygnen (där data finns för bägge dygnen).¹

¹ I ett tidigare utkast av denna tabell saknades variablerna från mapp {10} (violetta).

Förhöjd luttorrhalt till sodapannan

STFI-Packforsk rapport nr 416

BILAGA DB – Sid 19

Löp	Pos	Variabel	Enh	REF	28-nov	P1	P2	01-dec	Förändr
390	{6}Plan14	CO tg	ppm	8,42	27,02	143,59			16,06
293	{10} NO2 Nitrogen dioxide	NO2 ppm tg	ppm	1,28	2,99	2,35	3,28	3,79	1,20
395	{6}Plan14	N2O tg	ppm	0,68	0,16	0,00			-1,00
396	{6}Plan14	NH3 tg	ppm	1,70	0,28	0,29			-0,83
393	{6}Plan14	SO2 tg	ppm	7,97	3,92	1,37			-0,83
294	{10} SO2 Sulfur dioxide	SO2 ppm tg	ppm	6,86	1,81	1,31	3,34	3,43	-0,66
297	{10} NH3 Ammonia	NH3 ppm tg	ppm	0,82	0,76	0,34	0,23	0,10	-0,65
392	{6}Plan14	NO2 tg	ppm	2,18	1,92	3,56			0,63
296	{10} N2O Nitrous oxide	N2O ppm tg	ppm	0,07	0,05	0,05	0,01	0,00	-0,55
291	{10} CO Carbon monoxide	CO ppm tg	ppm	59,94	13,28	93,00	81,35	72,63	0,45
394	{6}Plan14	CH4 tg	ppm	0,64	0,41	0,46			-0,29
391	{6}Plan14	NO tg	ppm	56,75	64,97	70,40			0,24
388	{6}Plan14	H2O	pct	1,03	0,94	1,16			0,13
389	{6}Plan14	CO2 tg	pct	14,94	13,86	14,13			-0,05
290	{10} CO2 Carbon dioxide	CO2 % tg	pct	16,20	14,64	15,37	15,61	15,55	-0,04
289	{10} H2O Water vapor	H2O % vg	pct	20,85	20,77	19,87	20,10	21,81	-0,04
295	{10} CH4 Methane	CH4 ppm tg	ppm	1,51	1,36	1,50	1,41	1,62	-0,04

Man kan konstatera att CO har ökat på bägge mätpositionerna, samt att CO₂ har minskat. Variabel [290] (CO₂ i rökgaserna) uppvisar ett lägsta värde under provdag 1, vilket korrelerar med att lutens torrsustansflöde var som lägst just den dagen.

Därnäst i "signifikans" finns labprover som avser imånga och svaggas (och svavel i kondensat).

Löp	Pos	Variabel	Enh	REF	28-nov	P1	P2	01-dec	Förändr
382	{6}Imånga	NO tg	ppm	0,00	1,14	0,33	0,22		++
400	{6}Svaggas	NO tg	ppm	0,00	0,00	0,00	0,84		++
404	{6}Svaggas	N2O tg	ppm	0,00	0,02	0,03	0,19		++
405	{6}Svaggas	NH3 tg	ppm	0,00	0,00	0,73	0,00		++
381	{6}Imånga	CO tg	ppm	9,55	1,17	1,36	4,33		-0,70
398	{6}Svaggas	CO2 tg	pct	1,39	1,62	0,70	0,47		-0,58
380	{6}Imånga	CO2 tg	pct	0,76	0,91	0,36	0,41		-0,49
386	{6}Imånga	N2O tg	ppm	0,24	0,11	0,19	0,13		-0,32
414	{8}Kondensat	S SvaggKond	mg/l	50,33	49,00	63,86	68,83	54,00	0,32
416	{9} Svavel- föreningar	Imånga MM	mg/m ³	19,75		15,00	15,00		-0,24
385	{6}Imånga	CH4 tg	ppm	6,22	5,31	5,10	5,81		-0,12
411	{8}Kondensat	S Imång- Kond	mg/l	193		170	172		-0,11
407	{7}Imånga	NH3-halt (vid ...	mg/nm ³	306	271	335			0,10
413	{8}Kondensat	NH3 SvaggKond	mg/l	38,00		37,00	32,00		-0,09

De fyra första variablerna har ökat från noll till delar av ppm. Även om halterna är låga, så blir ökningen i procent stor då den sker från nivån noll. Svavel i svaggaskondensatet har ökat 32%, och NH₃ i imångan har ökat 10%. Övriga signifikanta förändringar är minskningar på mellan 9 och 70%

Tabellen i avsnitt 5 sammanfattar alla de mest signifikanta förändringarna uppdelade på område/funktion. Observera att signifikanta förändringar av en variabel från en mätare

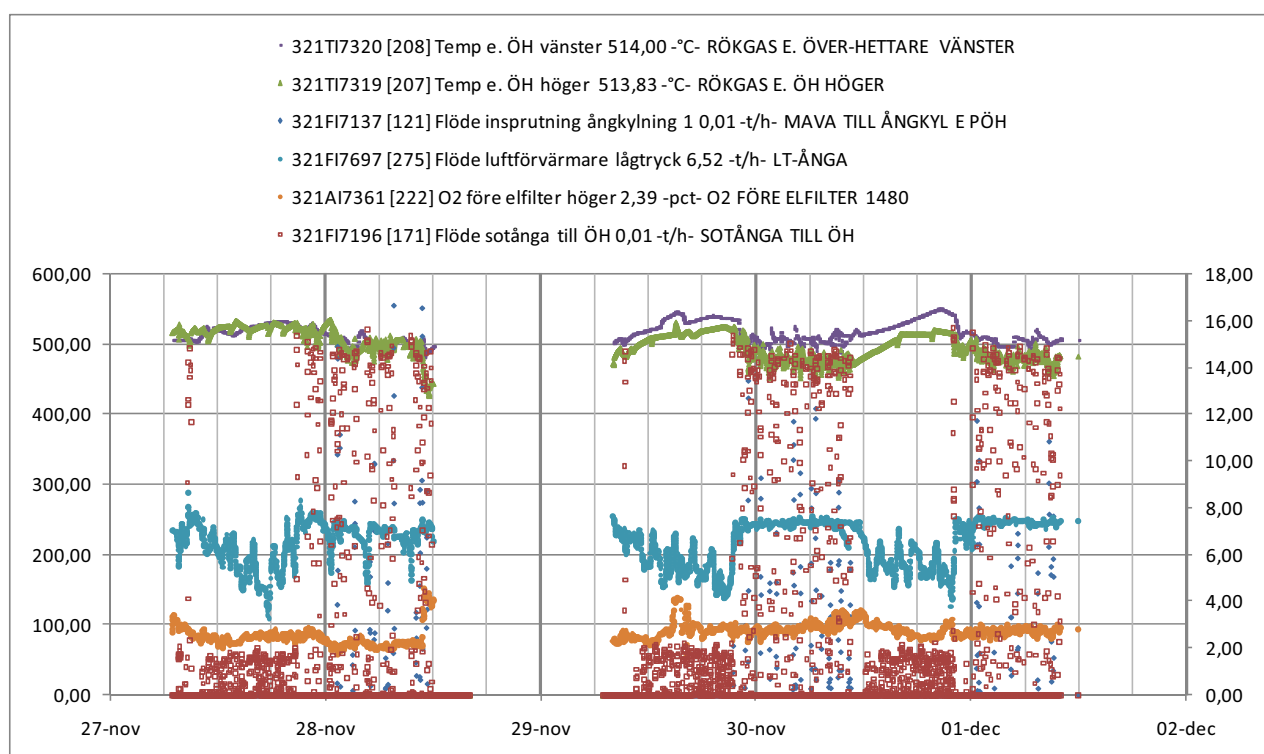
med otillfredsställande funktion, eller som arbetar utanför sitt specificerade mätområde, inte nödvändigtvis behöver vara relevanta.

3.9 Sotning

Enligt uppgift är pannan är så "ren", att den inte behöver sotas i någon större omfattning. Bruket har t.o.m. haft problem med för hög ångtemperatur p.g.a. för tunna beläggningar på överhettarna. Under perioderna med beläggningsmätningar i pannan sotades det inte. När askprover ur konvektionen och econa skulle tas ut, måste sotapparaterna köras en kort stund, för att få aska överhuvudtaget.

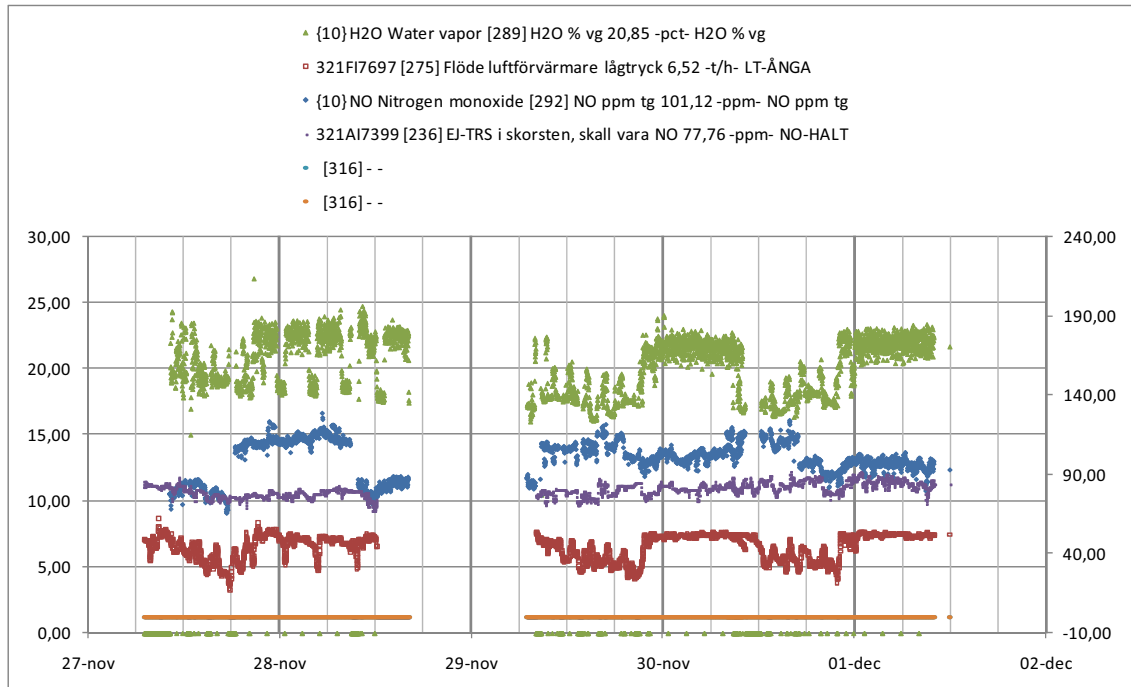
Av sotångflödet till överhettarna, 7196, [171] framgår att en speciell sotningsprocedur startas varje (observerat) dygn vid 19-tiden, samt avslutas påföljande dag runt 9-10-tiden.

Även rökgastemperaturerna, 7319-7324, [207] – [212], speglar effekten av sotningen, mer accentuerat under provdygnet än under referensdygnet. Av rökgastemperaturerna att döma tycks sotningen ha nått full effekt vid midnatt eller något senare, medan sotningen fortsätter fram till 10 eller 12 på förmiddagen (vad avgör när sotningen avbryts? Skulle det fungera att sota kortare, men oftare?)

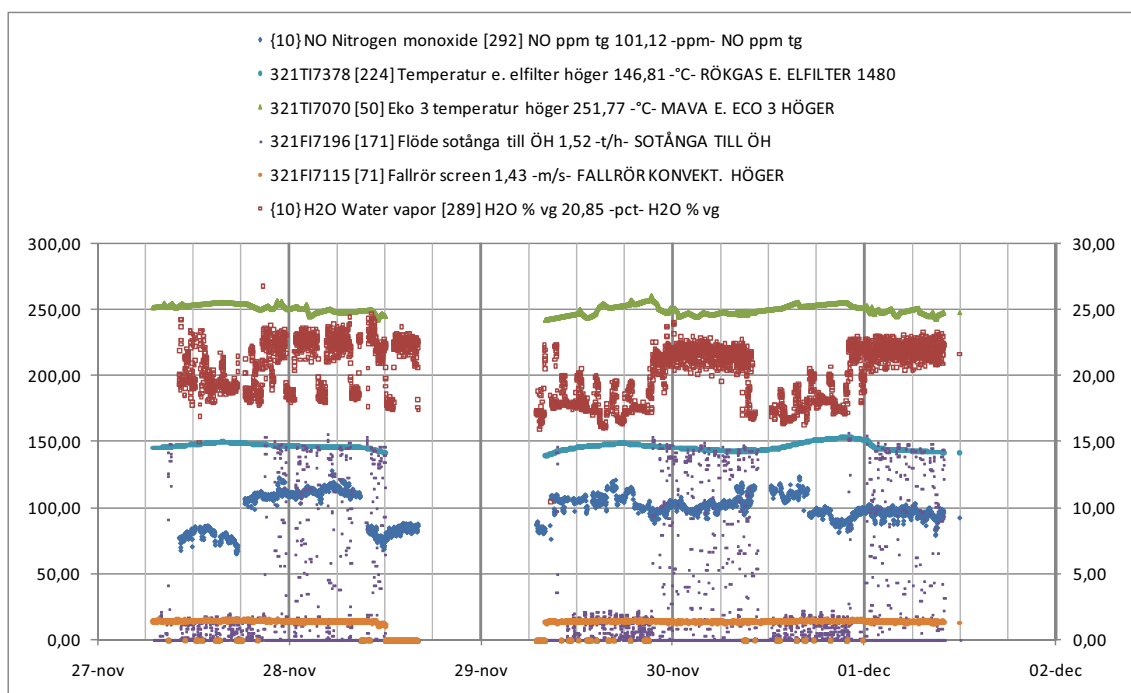


Temperaturen på höger sida efter överhettaren har minskat 4% till provdygnet (på vänster sida är den närmare oförändrad). Även variabeln FI7697 "Flöde luftförvärmare lågtryck" [275] förefaller kopplad till sotningscykeln, liksom i viss mån NO i rökgaserna, [292] (? , Se bild nästa sida). Det kan vara värt att notera att Mava till

ångkylning [121] även den har en liknande dygnsvariation, men under detta försök med en något senare starttid.

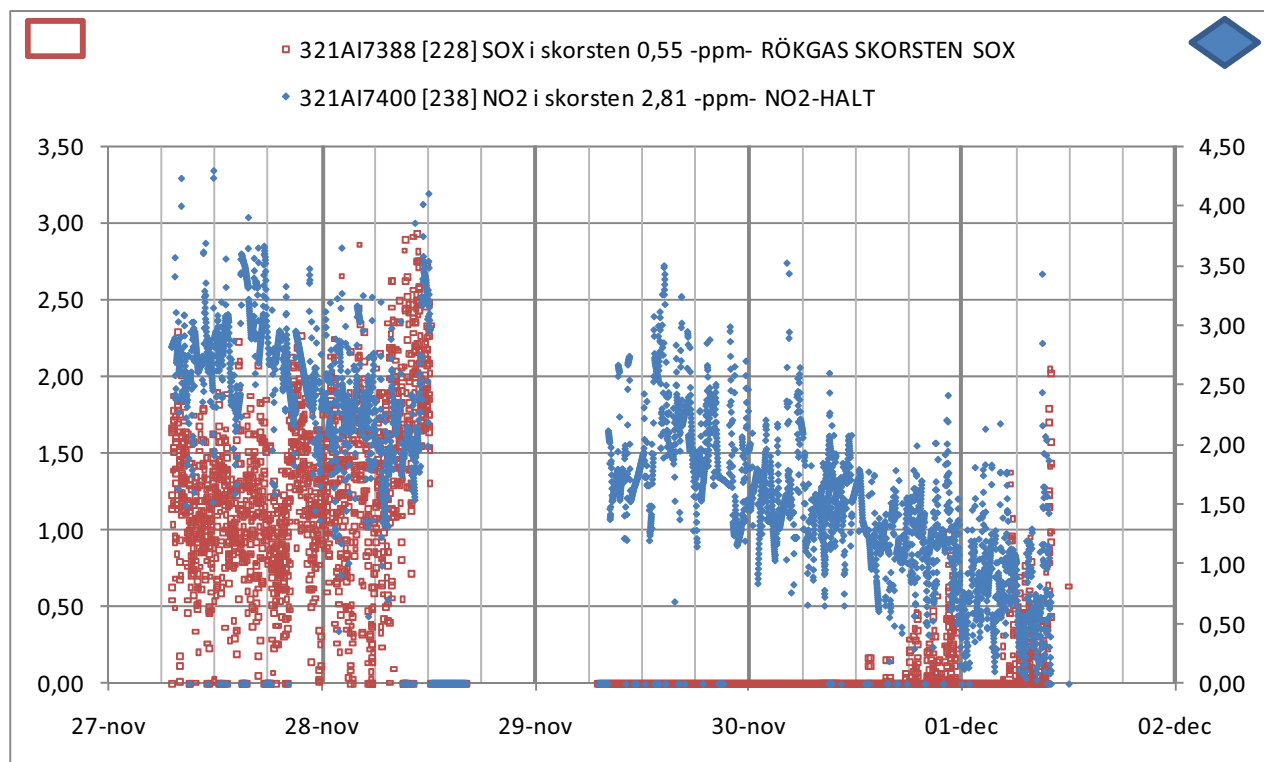


I nedanstående diagram illustreras att av de loggade rökgasvariablerna så följer H2O-halten tydligt sotningscykeln. Många temperaturer, liksom några fallrör tycks även de, åtminstone tidvis, kunna vara påverkade av sotningsaktiviteterna.



3.10 Rökgaser

Några signaler med en säregen utveckling under försöket är illustrerade nedan. Variabeln AI7388 [228] (SO_x i skorsten) ligger över en ppm under referensdygnet, med en ökande trend. Men under första provdagen ligger den "klart under noll" för att sedan, i slutet av den andra provdagen långsamt öka till en halv ppm. Den närliggande signalen AI7400 [238], NO_2 i skorsten ligger på nivån 2,8 ppm under referensdygnet och sjunker sedan, i stort sett lineärt, till nivån en halv ppm i slutet av datainsamlingen. Bägge nivåerna är låga, så även om signalerna är entydiga så kan nivåerna ligga under den gräns där givarna inte längre ger relevanta signaler.



Under försöket har CO OCH O_2 ökat i rökgaserna. CO har ökat c:a 45% och O_2 har ökat c:a 8% räknat som dygnsmedelvärde (07-07). Som framgår av diagrammet nedan så går dessa trender ofta åt samma håll. (Utom under andra halvan av provdag 1, när de tydligt går åt olika håll.

Detta skulle kunna förklaras av att "stråkigheten" i pannan ökat under försöket (vilket då ger att vi har en helt omänt "driftvariabel" som gör att rökgashalter mm kan variera på ett "godtyckligt" sätt under försöket, beroende på hur kraftiga stråken är och vilka vägar de tar och hur/när/om de blandas).

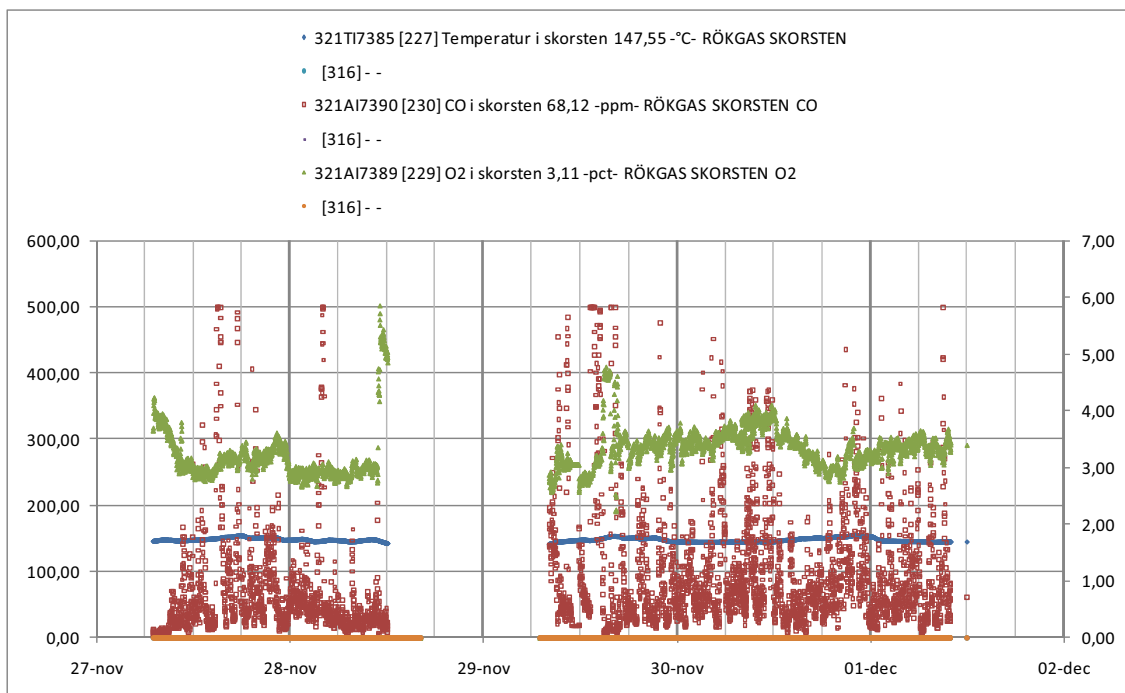
Genom att analysera sambandet mellan filtrerade CO - och O_2 -halter kan man konstatera att de snabba variationerna (på minutnivå) i signalerna som väntat går åt motsatta håll. Det är först när signalerna filtreras hårt (timmar) som de går åt samma håll. I de

ofiltrerade kurvorna upplevs detta som att de långsamma trenderna följer varandra. Vad som orsakar denna långsamma följsamhet är oklart.

En möjlig hypotes är att en långsam variation i förbränningen eller i lutens sammansättning påverkar sambandet mellan CO och O₂. Man kan se det som att sambandet mellan CO och O₂ hela tiden momentant följer samma "1/x-liknande" kurva, men att hela kurvan från timme till timme förskjuts mot allt högre O₂-halter. Om då "kvoten" CO/O₂ ligger någorlunda konstant så leder till att såväl CO som O₂ ökar när processen förskjuts mot den nya arbetspunkten, och vice versa.

En annan hypotes kan vara att regleringen av O₂-halten orsakar den positiva kopplingen mellan O₂- och CO-signalerna. För att detta skall vara möjligt krävs det att någon av de processmässiga kopplingarna mellan tertiärluft och O₂-halt resp. CO-halt är flera timmar långsammare än den andra. Det är svårt att se hur man kan få en tröghet på timmar när transporttiden från tertiärluften genom rökgaskanalen till O₂-givaren ligger på minutnivå.

Den aktuella pannan körs underlastad. I dagens konfiguration kan den enligt uppgift elda 2200 tts/d, men maxlast ligger på 1900 tts/d varför stråkpöblem inte förväntas.

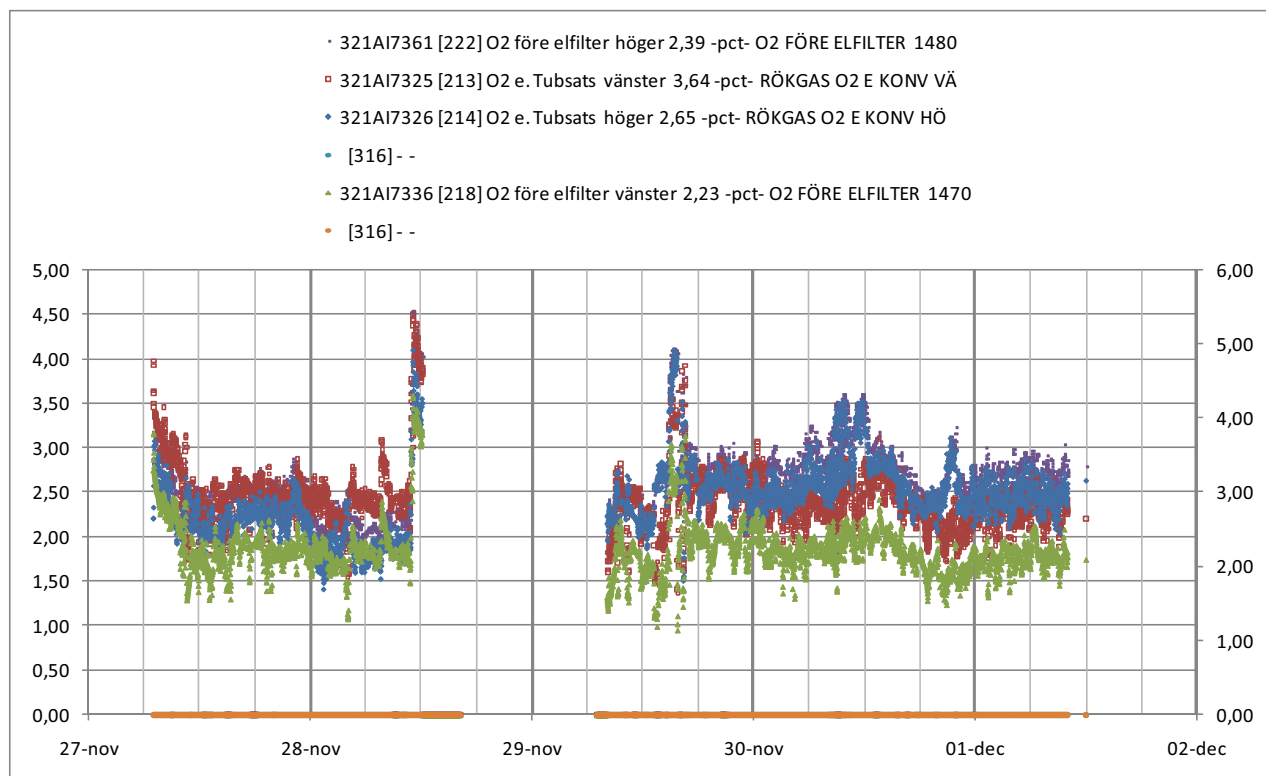


Loggade O₂-halter illustreras i följande diagram. De följer varandra väl.

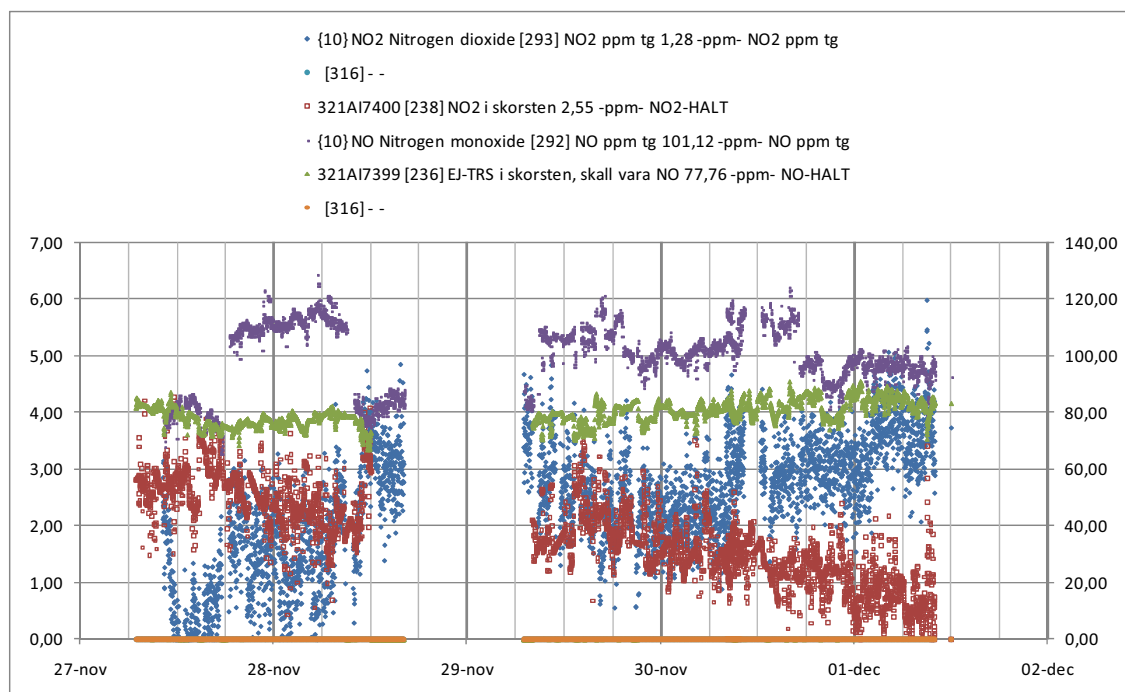
Förhöjd luttorrhalt till sodapannan

STFI-Packforsk rapport nr 416

Sid 24 – **BILAGA DB**



NO i skorsten, 7399 [236], ökar tämligen kontinuerligt c:a 5% från klockan 16 referensdagen till midnatt den andra provdagen. Den separat loggade NO-halten följer delvis samma trend, men uppvisar också flera plötsliga steg. De bägge loggade signalerna för NO2 uppvisar dock motriktade trender.



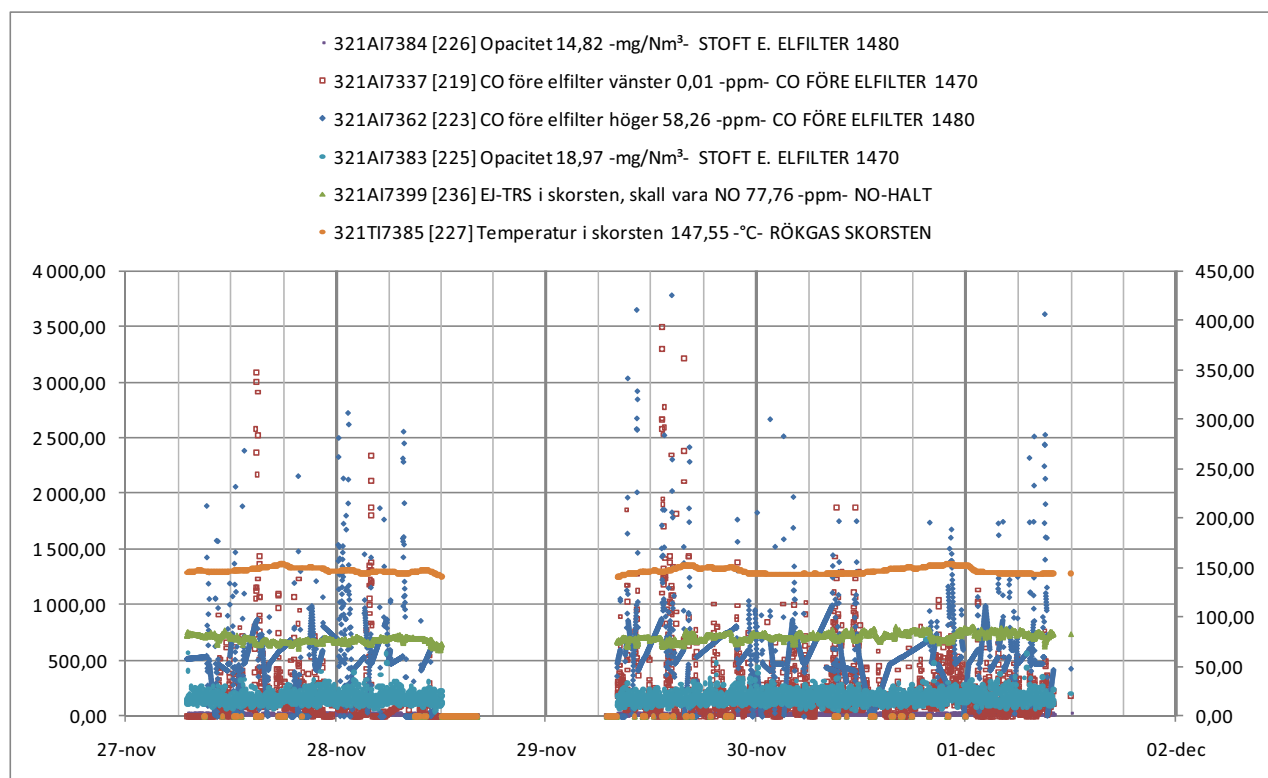
Som vanligt är CO-signalerna mycket brusiga. CO före elfilter vänster, 7337 [219] har enstaka värden på flera tusen ppm, den ökar 38% , från 140 ppm till 190 ppm som dygnsmedelvärde mellan referensdygnet och provdygnet.

CO före elfilter höger, 7362 [223] är en nästan lika brusig signal, men den ökar bara 5%, från 61 ppm till 64 ppm. Enstaka värden ligger närmare 300 ppm (en tiondedel av den andra mätaren).

Det kan vara ide att kontrollera funktion/montering på dessa mätare. En första tanke är ju att de borde ha en likartad karakteristik och att skillnaden dem emellan nu beror av, exempelvis, stråk eller läckluft.

Även stofthalterna efter elfiltren är tämligen brusiga signaler, efter elfilter 1480, 7384 [226] registreras en 9% ökning, medan stofthalten efter elfilter 1470, 7383 [225] bara ökar någon procent.

Rökgastemperaturen i skorstenen, 7385 [227], visar, utöver sotningsvariationer, bara på en minskning med någon grad mellan referensdagen och de två provdagarna.

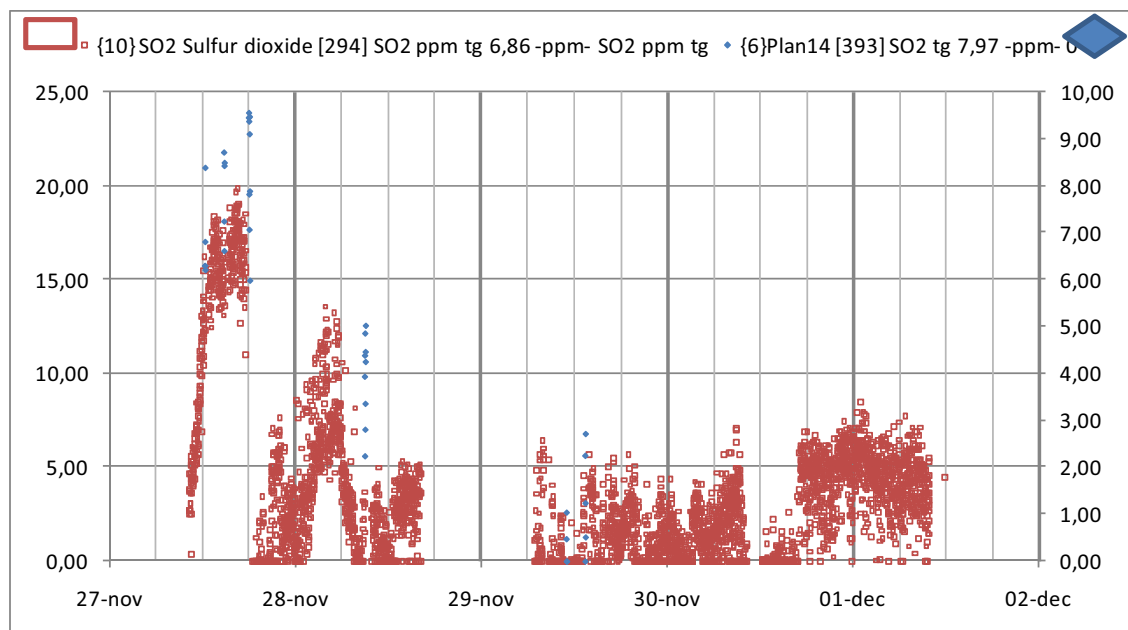


Såväl den loggade SO₂-halten i rökgaserna [294], som de prov som uttagits på plan 14 [393] indikerar att halten varit högre under ett par perioder under referensdygnet än under de följande provdygnet. (figur nedan)

Förhöjd luttorrhalt till sodapannan

STFI-Packforsk rapport nr 416

Sid 26 – **BILAGA DB**



4 Multivariat analys

Ett antal olika försök har gjorts att vaska fram ledtrådar ur levererade data. Det är generellt svårt att applicera multivariat analys på denna typ av data som samlats in under en relativt begränsad tid och med endast en relevant driftomställning. Som multivariat försök betraktat är det två tillstånd, låg och hög torrhalt, som studeras med hjälp av multipla observationer.

Det är i en första ansats svårt att se annat än det som är trivialt: Exempelvis att ånga och matarvatten hänger ihop, eller att O₂ och tertiärluft gör det.

- Principalkomponentanalys (PCA) på de råa loggade data ger en första principalkomponent som är svårtolkad. Den är ett smörgåsbord med en stor mängd variabler som kommer in ungefär lika starkt. Det brukar betyda att man försöker anpassa modellen till "brus".
- PLS ger ungefär samma bild.
- Stepwise regression vaskar fram de triviala sambanden. När dessa kopplingar utesluts återstår svaga modeller.
- Korrelationsanalys ger väldigt många starka korrelationer som beror på att data innehåller stora deterministiska variationer (ramper och steg som _kan_ vara korrelerade, men som också kan vara "slumpmässiga" och därvid dölja/störa andra betydelsefulla samband)

Som sammanfattning kan sägas att de multivariata övningarna inte har gett några ledtrådar som vi bedömt möjliga/lämpliga att utforska vidare.

Förhöjd luttorrhalt till sodapannan

STFI-Packforsk rapport nr 416

Sid 28 – BILAGA DB

5 Mest signifikanta variabler (map luttorrhaltsförändringen)

Alla dygnsmedelvärden i "signifikansordning"												
Löp	Tagg Nr	Taggnamn	Reviderad beskr.	Enh	LogRad, alt (labdata)	Typ	Medelvärde 07:00 - 07:00					MV P1P2
							27-nov	28-nov	29-nov	30-nov	01-dec	
201	7312	321PZ7312	Eldstadstryck mitten	kPa	ELDSTAD MITT	Eldst	-0,01	0,02	-0,03	-0,02	-0,05	1,83
195	7287	321PI7287	Tryck tertiärluft frontvägg	kPa	TERTIÄR-LUFT FRAMVÄGG	Eldst	1,94	1,53	2,68	3,35	2,14	0,56
196	7288	321PI7288	Tryck tertiärluft bakvägg	kPa	TERTIÄR-LUFT BAKVÄGG	Eldst	1,93	1,50	2,65	3,33	2,14	0,55
194	7285	321FC7285	Flöde tertiärluft	Nm³/h	TERTIÄR-LUFT	Eldst	20 481	18 775	25 371	30 606	25 903	0,37
200	7311	321PZ7311	Eldstadstryck vänster	kPa	ELDSTAD VÄNSTER	Eldst	-0,05	-0,03	-0,07	-0,06	-0,08	0,30
202	7313	321PZ7313	Eldstadstryck höger	kPa	ELDSTAD HÖGER	Eldst	0,04	0,06	0,03	0,03	-0,01	-0,28
282	7885	321PI7885	Tryck på imångor till tert.luft e. förv	kPa	IMÅNGA TILL PANNAN	Eldst	2,77	2,05	2,09	2,27	2,03	-0,21
281	7880	321FC7880	Flöde av imångor till tertiärluft	Nm³/h	IMÅNGA TILL TERTIÄR-LUFT	Eldst	19 431	13 970	15 486	15 504	17 754	-0,20
185	7254	321FI7254	Flöde högsekundärluft och svaggas	Nm³/h	SVAGGAS	Eldst	564,87	567,92	615,72	645,22	654,76	0,12
232	7392	321PI7392	Tryckdiff ÖH höger	kPa	DIFF RÖKGAS ÖH HÖGER	Eldst	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,10
233	7393	321PZ7393	Tryckdiff Tubsats höger	kPa	DIFF RÖKGAS KONVEKT. HÖGER	Eldst	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	-0,10
283	7886	321TI7886	Temperatur cirk.vatten imångkond.	°C	IM-KONDENSOR ÖVRE CIRK.	Eldst	33,40	39,35	36,87	35,92	36,87	0,09
216	7330	321TI7330	Eldstads-temp.	°C	ELDSTAD	Eldst	762,67	717,99	823,06	827,83	832,77	0,08
304	{4}	MP5	MP5 °C	°C	MP5 °C	Eldst	769,02		740,51	690,89		-0,07
303	{4}	MP4	MP4 °C	°C	MP4 °C	Eldst	510,41		483,13	473,71		-0,06
280	7878	321TC7878	Temperatur på imångor till tert.luft e. förv	°C	IMÅNGA	Eldst	84,40	72,85	79,72	80,07	80,94	-0,05
278	7871	321PC7871	Tryck före imångkondensor	kPa	IM-KONDENSOR	Eldst	-0,08	-0,09	-0,08	-0,09	-0,09	0,05
302	{4}	MP3	MP3 °C	°C	MP3 °C	Eldst	622,70		605,41	584,11		-0,04
305	{4}	MP6	MP6 °C	°C	MP6 °C	Eldst	869,73		849,57	818,07		-0,04
207	7319	321TI7319	Temp e. ÖH höger	°C	RÖKGAS E. ÖH HÖGER	Eldst	513,83	482,15	495,97	490,21	475,70	-0,04

Förhöjd luttorrhalt till sodapannan

STFI-Packforsk rapport nr 416

BILAGA DB – Sid 29

Löp	Tagg Nr	Taggnamn	Reviderad beskr.	Enh	LogRad, alt (labdata)	Typ	Medelvärde 07:00 - 07:00					MV P1P2
							27-nov	28-nov	29-nov	30-nov	01-dec	
382	L1013	{6}Imånga	NO tg	ppm		Kemi	0,00	1,14	0,33	0,22		++
400	L1022	{6}Svaggas	NO tg	ppm		Kemi	0,00	0,00	0,00	0,84		++
404	L1026	{6}Svaggas	N2O tg	ppm		Kemi	0,00	0,02	0,03	0,19		++
405	L1027	{6}Svaggas	NH3 tg	ppm		Kemi	0,00	0,00	0,73	0,00		++
390	L1003	{6}Plan14	CO tg	ppm		Kemi	8,42	27,02	143,59			16,06
293		{10} NO2 Nitrc	NO2 ppm tg	ppm	NO2 ppm tg	Kemi	1,28	2,99	2,35	3,28	3,79	1,20
395	L1008	{6}Plan14	N2O tg	ppm		Kemi	0,68	0,16	0,00			-1,00
228	7388	321AI7388	SOX i skorsten	ppm	RÖKGAS SKORSTEN SOX	Kemi	1,16	1,90	0,00	0,07	0,49	-0,97
396	L1009	{6}Plan14	NH3 tg	ppm		Kemi	1,70	0,28	0,29			-0,83
393	L1006	{6}Plan14	SO2 tg	ppm		Kemi	7,97	3,92	1,37			-0,83
381	L1012	{6}Imånga	CO tg	ppm		Kemi	9,55	1,17	1,36	4,33		-0,70
294		{10} SO2 Sulfi	SO2 ppm tg	ppm	SO2 ppm tg	Kemi	6,86	1,81	1,31	3,34	3,43	-0,66
297		{10} NH3 Amr	NH3 ppm tg	ppm	NH3 ppm tg	Kemi	0,82	0,76	0,34	0,23	0,10	-0,65
392	L1005	{6}Plan14	NO2 tg	ppm		Kemi	2,18	1,92	3,56			0,63
398	L1020	{6}Svaggas	CO2 tg	pct		Kemi	1,39	1,62	0,70	0,47		-0,58
296		{10} N2O Nitrc	N2O ppm tg	ppm	N2O ppm tg	Kemi	0,07	0,05	0,05	0,01	0,00	-0,55
380	L1011	{6}Imånga	CO2 tg	pct		Kemi	0,76	0,91	0,36	0,41		-0,49
341	L1097	{11}Abstorn->Destugn	Starkgas-Skrubbersyra (Bisulfit) Tot S	g/l		Kemi	73,55	101,00	109,00	110,00		0,49
291		{10} CO Carbc	CO ppm tg	ppm	CO ppm tg	Kemi	59,94	13,28	93,00	81,35	72,63	0,45
230	7390	321AI7390	CO i skorsten	ppm	RÖKGAS SKORSTEN CO	Kemi	68,12	30,09	102,19	95,61	85,55	0,45
238	7400	321AI7400	NO2 i skorsten	ppm	NO2-HALT	Kemi	2,55	2,39	1,79	1,11	0,53	-0,43
219	7337	321AI7337	CO före elfilter vänster	ppm	CO FÖRE ELFILTER 1470	Kemi	139,35	41,76	209,10	176,37	153,53	0,38
340	L1096	{11}Abstorn->Destugn	Starkgas-Skrubbersyra (Bisulfit) Na	g/l		Kemi	82,50	114,00	111,00	111,00		0,35
386	L1017	{6}Imånga	N2O tg	ppm		Kemi	0,24	0,11	0,19	0,13		-0,32
414	L1089	{8}Kondensat	S SvaggKond	mg/l		Kemi	50,33	49,00	63,86	68,83	54,00	0,32
394	L1007	{6}Plan14	CH4 tg	ppm		Kemi	0,64	0,41	0,46			-0,29
391	L1004	{6}Plan14	NO tg	ppm		Kemi	56,75	64,97	70,40			0,24
416	L1100	{9} Svavel-föreningar	Imånga MM	mg/m3		Kemi	19,75		15,00	15,00		-0,24
214	7326	321AI7326	O2 e. Tubsats höger	pct	RÖKGAS O2 E KONV HÖ	Kemi	2,55	2,86	3,05	3,13	3,13	0,21
231	7391	321AI7391	H2S i skorsten	ppm	RÖKGAS SKORSTEN H2S	Kemi	0,06	0,04	0,05	0,04	0,06	-0,20
222	7361	321AI7361	O2 före elfilter höger	pct	O2 FÖRE ELFILTER 1480	Kemi	2,39	2,72	2,74	2,80	2,83	0,16

Förhöjd luttorrhalt till sodapannan

STFI-Packforsk rapport nr 416

Sid 30 – BILAGA DB

Löp	Tagg Nr	Taggnamn	Reviderad beskr.	Enh	LogRad, alt (labdata)	Typ	Medelvärde 07:00 - 07:00					MV P1P2
							27-nov	28-nov	29-nov	30-nov	01-dec	
331	L1045 {1}	Lutar	N (Brännlut dygn)	pct		Kemi	0,07		0,06	0,06		-0,14
388	L1001 {6}	Plan14	H2O	pct		Kemi	1,03	0,94	1,16			0,13
378	L1077 {5}	Askor	CO3 ElFiltr	pct		Kemi	10,37		12,10	11,25		0,13
385	L1016 {6}	Imånga	CH4 tg	ppm		Kemi	6,22	5,31	5,10	5,81		-0,12
372	L1071 {5}	Askor	CO3 Eko2	pct		Kemi	10,53		12,30	11,20		0,12
411	L1086 {8}	Kondensat	S Imång- Kond	mg/l		Kemi	193,00		170,00	172,00		-0,11
350	L1091	{3}C i grönlutsslam	C i grönluts- slam	p??		Kemi	0,77	0,76	0,73	0,63		-0,11
354	L1095	{3}FörbrännD ata	C i Grönlut	mg/l		Kemi	760,00	760,00	733,33	630,00		-0,10
407	L1029 {7}	Imånga	NH3-halt (vid ...	mg/nm3 tg		Kemi	305,63	271,49	335,08			0,10
413	L1088 {8}	Kondensat	NH3 SvaggKond	mg/l		Kemi	38,00		37,00	32,00		-0,09
226	7384	321AI7384	Opacitet	mg/Nm ³	STOFT E. ELFILTER 1480	Kemi	14,82	13,73	15,97	16,36	17,14	0,09
333	L1047 {1}	Lutar	Cl (Brännlut dygn)	pct		Kemi	0,23		0,21	0,21		-0,09
229	7389	321AI7389	O2 i skorsten	pct	RÖKGAS SKORSTEN O2	Kemi	3,11	3,61	3,37	3,39	3,49	0,08
366	L1065 {5}	Askor	CO3 Eko1	pct		Kemi	10,90		12,20	11,15		0,07
356	L1055 {5}	Askor	Na Konv.	pct		Kemi	34,63		32,05	32,65		-0,07
319	L1033 {1}	Lutar	H (Tjllut dygn)	%		Kemi	3,50		3,70	3,70		0,06
348	L1082	{2} Badd- smälta	CO3	pct		Kemi	36,47		35,93	33,00		-0,05
332	L1046 {1}	Lutar	S (Brännlut dygn)	pct		Kemi	6,40		5,90	6,20		-0,05
389	L1002 {6}	Plan14	CO2 tg	pct		Kemi	14,94	13,86	14,13			-0,05
360	L1059 {5}	Askor	CO3 Konv.	pct		Kemi	14,23		13,25	13,80		-0,05
290	{10}	CO2 Carl	CO2 % tg	pct	CO2 % tg	Kemi	16,20	14,64	15,37	15,61	15,55	-0,04
236	7399	321AI7399	TRS i skorsten	ppm	NO-HALT	Kemi	77,76	76,21	79,25	83,06	81,10	0,04
237	7399	321AI7399	TRS i skorsten	ppm	NO-HALT	Kemi	77,76	76,21	79,25	83,06	81,10	0,04
289	{10}	H2O Wat	H2O % vg	pct	H2O % vg	Kemi	20,85	20,77	19,87	20,10	21,81	-0,04
295	{10}	CH4 Metf	CH4 ppm tg	ppm	CH4 ppm tg	Kemi	1,51	1,36	1,50	1,41	1,62	-0,04
347	L1081	{2} Badd- smälta	Cl	pct		Kemi	0,40		0,39	0,38		-0,04
368	L1067 {5}	Askor	Na Eko2	pct		Kemi	34,03		33,80	31,85		-0,04
213	7325	321AI7325	O2 e. Tubsats vänster	pct	RÖKGAS O2 E KONV VÅ	Kemi	2,47	2,92	2,42	2,34	2,37	-0,04
336	L1050 {1}	Lutar	torrhalt (Brännlut dygn)	pct		Kemi	82,40		85,50	85,00		0,03

Förhöjd luttorrhalt till sodapannan

STFI-Packforsk rapport nr 416

BILAGA DB – Sid 31

Löp	Tagg Nr	Taggnamn	Reviderad beskr.	Enh	LogRad, alt (labdata)	Typ	Medelvärde 07:00 - 07:00					MV P1P2
							27-nov	28-nov	29-nov	30-nov	01-dec	
252	7563	321FC7563	Flöde lut höger vägg	m³/h	BRÄNNLUT HÖGER-VÄGG	Lutar	9,33	9,21	12,40	12,98	12,58	0,36
264	7606	321TI7606	Temperatur på grönlut från lösare	°C	GRÖNLUT E. PUMP P1672	Lutar	60,92	96,03	62,11	98,96	69,54	0,32
266	7608	321FI7608	Flöde av svaglut till lösare	m³/h	SVAGLUT TILL SODA- LÖSARE	Lutar	85,23	153,71	93,13	118,96	105,83	0,24
258	7571	321FZ7571	Flöde i returledning	m³/h	BRÄNNLUT RETUR	Lutar	29,07	28,91	22,09	22,71	23,09	-0,23
257	7570	321PC7570	Tryck lut vänster vägg	kPa	BRÄNNLUT VÄNSTER- VÄGG	Lutar	127,93	127,50	156,32	155,18	154,50	0,22
251	7561	321PC7561	Tryck lut bakvägg	kPa	BRÄNNLUT BAKVÄGG	Lutar	127,62	126,32	155,43	153,60	152,76	0,21
255	7567	321PC7567	Tryck lut frontväg	kPa	BRÄNNLUT FRAMVÄGG	Lutar	128,82	127,19	155,44	153,57	152,75	0,20
310	Ber 3	BerVar 310	LutFlöde Fram- Bak	m3/h	LutBal FB	Lutar	9,01	2,34	11,14	10,32	14,44	0,19
261	7600	321TI7600	Temperatur på grönlut från lösare	°C	GRÖNLUT E. PUMP P1671	Lutar	100,70	64,96	99,72	66,61	99,25	-0,17
259	7578	321PI7578	Tryck i returledning	kPa	DIFF RETURPUMP P1615	Lutar	6,67	6,67	8,05	7,57	7,27	0,17
253	7564	321PC7564	Tryck lut höger vägg	kPa	BRÄNNLUT HÖGER-VÄGG	Lutar	128,37	125,92	149,96	148,15	147,32	0,16
276	7726	321FI7726	Oljeflöde tjockolja lastbrännare	t/h	FLÖDE OLJA TILL START- BRÄNNARE	Lutar	0,06	0,05	0,06	0,07	0,07	0,16
254	7566	321FC7566	Flöde lut frontvägg	m³/h	BRÄNNLUT FRAMVÄGG	Lutar	23,49	20,98	20,05	20,27	19,73	-0,14
250	7560	321FC7560	Flöde lut bakvägg	m³/h	BRÄNNLUT BAKVÄGG	Lutar	23,90	21,59	20,99	21,28	20,81	-0,12
309	Ber 2	BerVar 309	LutFlöde Hö-Vä	m3/h	LutBal HV	Lutar	74,16	34,83	78,94	85,49	86,01	0,11
256	7569	321FC7569	Flöde lut vänster vägg	m³/h	BRÄNNLUT VÄNSTER- VÄGG	Lutar	7,68	7,64	6,92	7,13	7,24	-0,09
245	7551	321FZ7551	Flöde på brännlut	m³/h	BRÄNNLUT TILL ELDSTAD	Lutar	70,06	65,04	66,71	67,85	66,56	-0,04
247	7554	321TI7554	Temperatur på brännlut	°C	BRÄNNLUT TILL SPRUTOR	Lutar	138,81	138,65	143,67	143,62	143,37	0,03
243	7538	321TC7538	Brännlut e. lutfövärmare	°C	BRÄNNLUT E. FÖR- VÄRMARE	Lutar	139,14	138,97	143,95	143,94	143,69	0,03

Förhöjd luttorrhalt till sodapannan

STFI-Packforsk rapport nr 416

Sid 32 – **BILAGA DB**

Löp	Tagg Nr	Taggnamn	Reviderad beskr.	Enh	LogRad, alt (labdata)	Typ	Medelvärde 07:00 - 07:00					MV P1P2
							27-nov	28-nov	29-nov	30-nov	01-dec	
37	7016	321FI7016	Flöde till turbindriven mavapump	t/h	ÅNGA TILL MAVAPUMP TURBIN	Mava	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	-0,49
79	7116	321FI7116_8	Flöde i bottentuber, 8	m/s	BOTTEN- TUBER	Mava	0,96	0,90	1,07	1,05	1,03	0,11
121	7137	321FI7137	Flöde insprutning ångkyling 1	t/h	MAVA TILL ÅNGKYL E PÖH	Mava	0,19	0,60	0,20	0,20	0,24	0,07
57	7098	321FI7098	Fallrör botten	m/s	FALLRÖR BOTTEN HÖGER	Mava	1,13	1,02	1,05	1,08	1,03	-0,06
35	7004	321PC7004	Tryckreglering mavatank	kPa	MAVATANK	Mava	78,42	78,45	74,56	75,85	74,18	-0,04
172	7200	321FI7200	Flöde sotånga till tubsats	t/h	SOTÅNGA TILL KONVEK- TION	Sot	3,14	5,32	3,74	4,22	6,38	0,27
173	7204	321FI7204	Flöde sotånga till ekonomisers	t/h	SOTÅNGA TILL ECONO- MISER	Sot	2,06	1,46	1,70	1,73	2,53	-0,17
171	7196	321FI7196	Flöde sotånga till ÖH	t/h	SOTÅNGA TILL ÖH	Sot	1,52	2,46	1,79	1,70	3,11	0,15

Not:

Rubriken "Löp" anger det sekvensiella löpnummer under vilket insamlade data lagrats och med vilket ett diagram över variabeln kan kallas fram i Excel-filen.

Rubriken "TaggNr" är det unika fyrställiga tal som ingår i taggnamnet.

Rubriken "Typ" är en rätt grov gruppering av variablerna i olika "funktioner".

Rubriken "MV P1P2" visar den procentuella förändringen mellan referensdygnet och medelvärdet av de bägge provdygnen (om det finns data från bägge dygnen, annars till det dygn det finns data från).

Övriga rubriker torde vara självförklarande.

6 Några synpunkter att beakta vid kommande försök.

I arbetet med att konsolidera och analysera data har noteringar gjorts som skulle kunna effektivisera kommande försök av liknande natur. De återges nedan helt utan prioritetsordning.

6.1 Störningars inverkan på försöket

Det är naturligtvis svårt att genomföra helt ”ideala” försök i en löpande process. I detta fall noteras att de loggade perioderna är relativt korta i förhållande till de störningar som uppstått under försöket. Även under referensdagen noteras avsevärda processförändringar. Det är önskvärt att ”störningar” (ur försökets aspekt) så mycket som möjligt kan minimeras, samt att den totala försökstiden är lång i förhållande till de störningar som ändå måste finnas.

6.2 Åtgärder och händelser loggas

När data analyseras syns ofta vad som synes vara signifikanta men oförklarliga variationer i loggade data. I en del fall kan misstänkas att det faktiskt kan kopplas till någon åtgärd som vidtagits. För att underlätta tolkningen av data bör under försökets gång endast planerade, eller absolut nödvändiga åtgärder vidtas- och de bör noggrant loggas så att det efteråt blir lättare att förklara detekterade förändringar i signalerna.

6.3 Kritiskt *när* labprover tas ut

När man botaniserar bland labdata ser man att antalet data, i förhållande till loggade variabler är otroligt få. Ett dygnsmedelvärde av loggade data är baserat på 1440 mätvärden, medan ett dygnsmedelvärde baserat på utvärdering av labprover kan baseras sig på någon procent av detta antal mätningar, uttagna vid en handfull olika tillfällen (i bästa fall). Man inser då att det är mycket viktigt i vilket tillstånd processen befann sig just när (och där) lab-provet togs ut. Man noterar att en del lab-prover råkat tas ut vid tidpunkter som senare visar sig sammanfalla med stegförändringar i någon processvariabel. I fallet lab-prover måste alltid vägas in möjligheten att mätvärdena kanske inte är helt representativa för processens tillstånd under den aktuella perioden och att en eventuell brusighet i signalen faktiskt kan härhöra från lokala variationer i det samplade mediet.

6.4 Enkel uppställning av indata

Loggade data har levererats som minutvärden i tidsordning efter hur de dumpats ut ur info-systemets databas. I det fall dumparna gått ”om lott” så har således flera värden åsatts samma klockslag. Det utgör ingen komplikation vid analysen. (det oväntade här är att värdena i vissa kolumner inte är identiska för samma klockslag, se nedan).

Separat (av Åbo Akademi) loggade data har loggats med något avvikande loggningsintervall, och under en kortare period med ett ännu kortare loggningsintervall (c:a tre värden per minut). Det är en fördel om alla data kan loggas med samma tidsintervall, så att de enklare kan konsolideras in i samma databas.

Labdata har separatbehandlats enligt mycket varierande principer. I en del fall har data levererats i kolumnform, i andra i radform. Statistiska värden har ofta beräknats med olika layout och olika uppställningar för olika provningar.

För vidare analyser är det enklare om alla data läggs in som värden i en matris bestående av alla loggade minuter som rader, och alla råa labdata-värden som kolumner. Dygnsmedelvärden kan då automatiskt beräknas utifrån dessa data precis på samma sätt som för de loggade data (inga speciella beräkningar behöver göras för labdata).

6.5 Benämningar

Loggade data har sina "taggnummer", dessa består i detta fall av ett "objekt-id" (typ 321), en funktionsbeskrivande del (typ FC för "Flow Controller") samt ett unikt ID.

Variablerna som loggats har levererats i en "slumpmässig" ordning (kanske den ordning de definierats för dataloggning). I Excelfilen har data sorterats om till objekt- och ID-ordning (vilket leder till att variabler från samma processavsnitt grupperas samman på ett positivt sätt).

Emellertid skulle det vara fördelaktigt om även labdata kunde åsättas ett genomtänkt ID-nummer redan från början. (I nuvarande datafil är labdata väsentligen insorterade efter processordning. Baserat på denna ordning har de sedan åsatts ett "löp-nummer".

6.6 Felaktigheter i trendningslistor

I de trendningslistor som medföljde data har två mindre felaktigheter noterats. (Om felen finns redan i infodatabasen kan de ju rättas vid lämpligt tillfälle)

- 321AI7399 kallas dels TRS i Skorsten (fel), dels NO-HALT (rätt)
- För 321FI7726/7745 så är Start- respektive Last-beteckningarna förväxlade i den ena listan (oklart vilken. En av taggarna kallas "Start" i en lista och "Last-" i den andra, och tvärtom för den andra taggen)

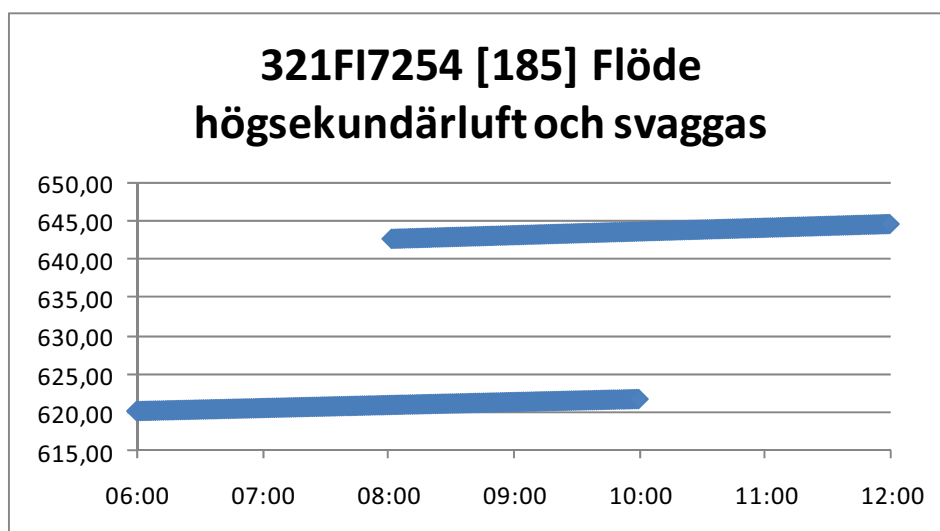
6.7 Hur behandlas loggade data i databasen, egentligen.

Under en period (provdag 2, från c:a kl. 8 till kl. 10) finns data som dumpats vid olika tillfällen. Flera variabler (men inte alla) har olika värden från de olika dumparna. Det bör bero hos någon egenhet hos den använda databasen (WinMOPS?). Gissningsvis har det att göra med hur variabiliteten i data varit, jämfört med det "dödband för loggning" som används av dataloggningssystemet.

(När loggningssystemet installerades var säkert både internminne och externminne/hårddisk en trång resurs. Med tanke på de senaste årens pris- och

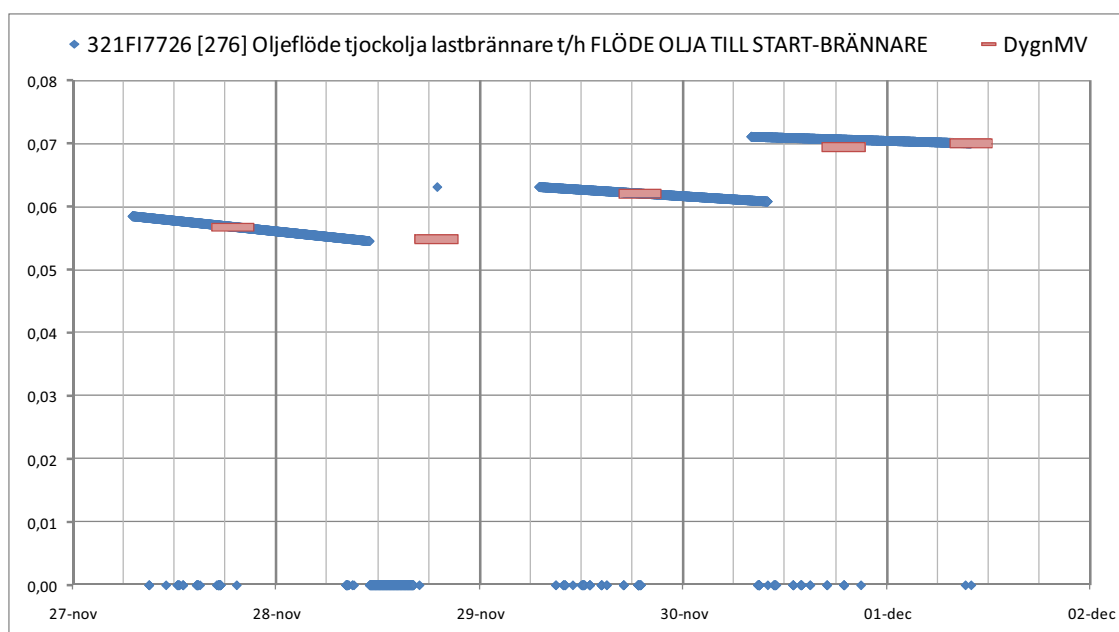
prestandautveckling skulle en genomgång kunna göras av valda mätområden och valda dödband för de loggade variablerna för att säkerställa att informationen som presenteras har tillräcklig validitet kunna ge bättre data.)

Nedanstående diagram illustrerar hur det kan se ut. ([185] är variabelns löpnummer med vilket den enkelt kan kallas fram i Excelfilen).



Ett annat exempel är variabeln [35] (321PC7004), tryckreglering i MAVA-tank.

Det finns även exempel på att data rampat inom dumpningsperioderna, när vi kanske förväntat att de skulle varit konstanta. Även detta kan tyda på att loggade data kan förändras ”i databasen” över tiden. Gissningsvis är orsaken liknande som tidigare. Det finns fler exempel på signaler som varit nära konstanta under loggperioderna och där liknande fenomen kan observeras (ofta, men inte alltid, på signaler som legat nära noll).



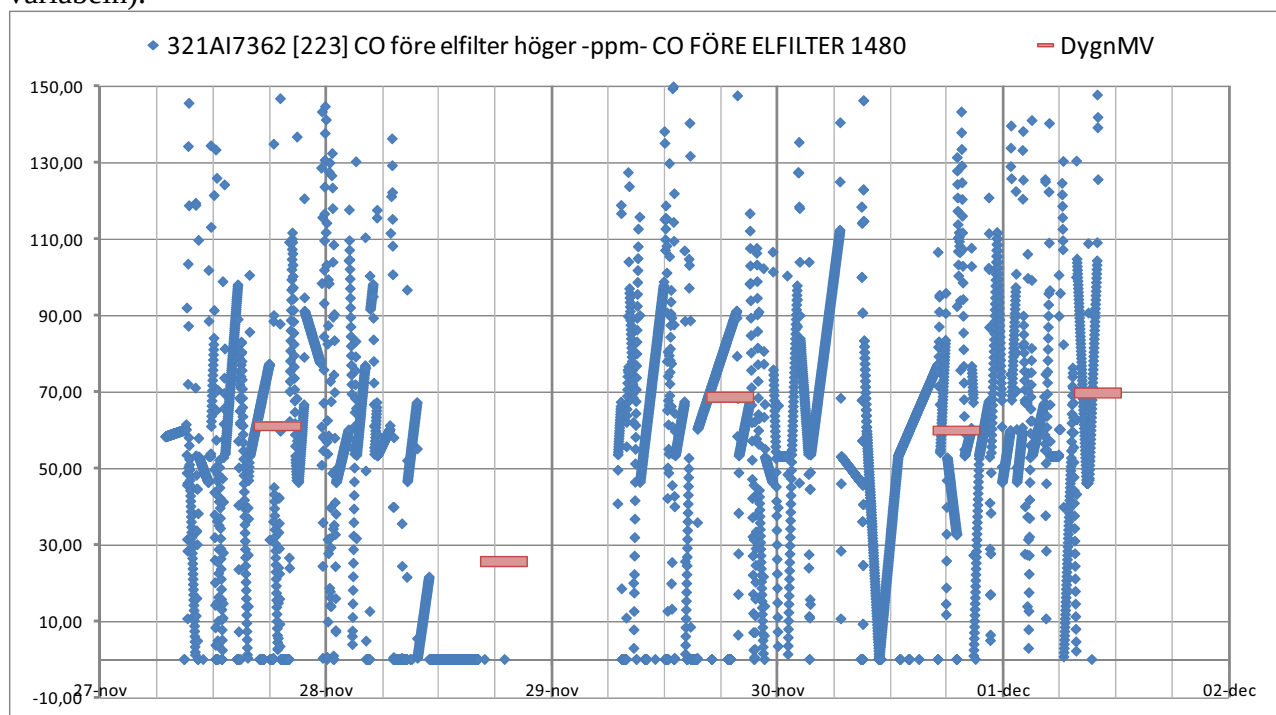
Förhöjd luttorrhalt till sodapannan

STFI-Packforsk rapport nr 416

Sid 36 – **BILAGA DB**

Här skulle det kunna vara så att signalen som den återges från databasen förefaller göra ett steg uppåt på grund av att data dumpas, och under den dumpade perioden bringas att långsamt klinga av på grund av någon mekanism i databasen (men signalen *kan* ju också ha varierat som kurvan visar).

En signal som den nedanstående väcker även den en del frågor om loggningssystemets integritet. Har verkligen givaren i sig, dels levererat spridda mätvärden ibland, och dels perfekta lineära ramper dessemellan. Det skulle kunna röra sig om en artefakt som faktiskt skapas när kontinuerliga kurvor skall levereras ut från ett system som lagrat data sporadiskt (baserat på de loggningsdödband som angivits för variabeln).



7 Uppgifter för STFI-Packforsks databas

Titel

Förhöjd luttorrhalt till sodapannan – en analys av loggade data

Författare

Åke Hansson, Jan-Erik Gustafsson

Referat

I samband med ett kontrollerat försök där en sodapanna matats med lut av olika torrhalt har samtliga processdata från pannans informationssystem samlats in, samt därutöver ett stort antal prover uttagits från smälta, rökgaser etcetera. Rapporten sammanfattar de resultat som erhållits efter analys av dessa data, med speciell fokus på de kontrollerade förändringar som gjorts under försöksperioden.

Nyckelord

Recovery furnace, Process analysis, Black liquor, Solids content, Smelt dissolving tank, Vapour, Emissions

Klassifikation

1156 PRODUCTION AND RECOVERY OF COOKING CHEMICALS, PULP INDUSTRY BYPRODUCTS

Rapportslag

Uppdragsrapport

Rapportnummer

416

Publikationsår

Sept 2008

Språk

Svenska

STFI-Packforsk is one of the world's leading R&D companies in the fields of pulp, paper, graphics media, packaging and logistics. The activities range from basic research to direct assignments along three value chains: packaging, graphics media, and bio-based energy and chemicals. The combined competence, from material science to consumer value, is utilised to find solutions applicable at the customers. STFI-Packforsk is located in Stockholm and in Trondheim, Norway through its subsidiary PFI AS.



Handläggare

Erik Wallin

Tel +46 (0)31-743 12 89

Mobil +46 (0)10 505 32 89

erik.wallin@afconsult.com

RAPPORT, BILAGA DC

Datum

2009-01-12

Uppdragsnr

315093

Rev 2

1 (18)

3FS energieffektivitet

Uppdragsnamn:
Skapat datum:
Sparat datum: 2009-01-12

Umr:
Version:
Dokument id:

ÅF-Consult AB

Kvarnbergsgatan 2, Box 1551, 401 51 Göteborg. Telefon 010-505 00 00. Fax 010-505 31 91. www.afconsult.com
Org nr 556101-7384. Säte i Stockholm. Certifierat enligt SS-EN ISO 9001 och ISO 14001

U-Rapport GE.dot-9



Innehåll

1	BAKGRUND OCH MÅLSÄTTNING	4
2	FÖRUTSÄTTNINGAR	4
3	MELLANÖVERHETTNING OCH MATARVATTENFÖRVÄRMNING, HUR FUNGERAR DET?	7
3.1	Mellanöverhettning	7
3.2	Matarvattenförvärmning	9
4	BERÄKNINGSEXEMPEL	10
5	RESULTAT	12
6	SLUTSATSER	18



Sammanfattning

De idag allt ökande elpriserna och möjligheten till gröna el-certifikat ökar intresset för att öka elproduktionen från sodapannor. En teknisk potentialstudie har därför genomförts för att studera potentialen för att integrera matarvattenförvärmning och mellanöverhettning på en sodapanna. Som bas har en modern "state of the art" sodapanna valts på vilken mellanöverhettning och matarvattenförvärmning har integrerats. I systemet ingår också en barkpanna. De viktigaste förutsättningarna är:

- Inga ändringar i ursprungspannans värmeytor görs för att anpassa den till den ökade energiintegrationen. I verkligheten anpassas alla ytor efter den faktiska mängden energiintegration, men det bär för långt i detta arbete att optimera ytorna för varje grad av ökad energiintegration. Istället förs en diskussion om hur värmeytorna borde ändras.
- I systemet ingår också en barkpanna, arbetande med samma ångdata som sodapannan.
- Sodapannan har en konstant lutlast.
- Mottrycksbehovet är konstant.
- 3 torrhalter studeras: 80%, 83% och 90%
- Avtappningsånga för matarvattenförvärmning tas från befintliga nivåer, 4 Bar(a), 12 bar(a) och 28 Bar(a).
- Mellanöverhettning utnyttjas så långt som att utgående ångtemperatur kan hållas.

De slutsatser som kan dras av ovanstående är följande:

- Det finns en teknisk potential att kraftigt öka elproduktionen ur kombinationen sodapanna och barkpanna med hjälp av matarvattenförvärmning och mellanöverhettning.
- Potentialen bedöms som bra redan med matarvattenförvärmning från normalt använda avtappningsångor upp till sotångans normala avtappningstryck.
- Möjligheten att fullt ut uppskatta den tekniska potentialen begränsas dock av att då matarvattenförvärmning och mellanöverhettning tillämpas bör sodapannans värmeytor och övrig konstruktion anpassas därefter.
- Vid tillämpning av matarvattenförvärmning och mellanöverhettning bör sodapannans konstruktion ändras enligt följande.
 - Överhettarna ges större ytor.
 - Kokytan görs mindre.
 - Rök-gaskylare installeras.
 - Sodapannans cirkulationssystem görs större med större dom och större kapacitet i domen samt utökning av fall- och stigsida i cirkulationssystemet.



- Totalt sett antas därför investeringskostnaden öka för sodapannan.
- Hur en i ett verkligt fall optimal lösning ser kan endast bestämmas med hjälp av en ekonomisk optimering för det specifika fallet.

1 Bakgrund och målsättning

Med de senare årens ökande och i dag höga elpriser samt gröna certifikat på el producerad från förnyelsebara energikällor har intresset kraftigt ökat för ökad elproduktionen från sodapannor. En väg som öppnats för ökad elproduktion är användningen av nya tubmaterial i sodapannan, vilket har möjliggjort högre utgående ångtryck och ångtemperatur och därmed en ökad elproduktion.

Elproduktionen kan utöver högre ångdata också ökas genom att tillämpa andra tekniker, normalt använda på större kraftpannor, som matarvattenförvärmning och mellanöverhettning av ångan och även högre lufttemperaturer till pannan.

I en del nypanneprojekt har redan dessa tekniker tillämpats i olika grad.

Målsättningen med detta arbete är att tekniskt studera potentialen för ökad elproduktion med mellanöverhettning och matarvattenförvärmning. Som bas används en idag "state of the art" sodapanna på vilken dessa tekniker integreras.

2 Förutsättningar

Nedan redovisas de förutsättningar som använts. En del av dessa kan diskuteras i termer av att andra värden kunde lika gärna ha valts. Vissa av förutsättningarna diskuteras vidare i termer av konsekvenser om andra värden valts på dessa.

- Målet är, enligt ovan, att maximera elproduktionen.
- Studien är en teknisk potentialstudie, inga ekonomiska överväganden görs, då dessa varierar från fall till fall.
- I studien studeras teknikerna matarvattenförvärmning och mellanöverhettning, både var för sig och i kombination med varandra.



Sodapannan, barkpanna och turbin

- Som bas har en av idag "state of the art" sodapanna valts, vad gäller ångdata, 500°C, 108 Bar(a).
- Sodapannan är utrustad med extern sotånga från turbin.
- Lutlasten är konstant, 2200 tts/d.
- Mottrycksunderlaget är konstant.
- Mottryck 4 Bar(a)
- Mellantrycksånga 12 Bar(a), ångflöde mellantrycksånga 81 ton/h motsvarande 25% av bruttoångflödet i basfallet. Ångflöde mellantrycksånga 81 ton/h är konstant.
- Sotånga avtappas vid 28 Bar(a).
- Oavsett värmetekniska konsekvenser då ovanstående tekniker tillämpas hålls de ursprungliga värmeytorna i sodapannan konstanta.
- Avtappningstrycket för mellanöverhettning vid 42 Bar(a)
- Tryckfall i tillkommande mellanöverhettare lika per grad Celsius som i befintliga bankar, inklusive cross over piping och ångkylningssteg.
- Domtrycket (konstruktionstrycket) i pannan har låtits stiga för att hålla utgående ångtryck konstant på 108 Bar(a).
- Referenspannan arbetar med en lufttemperatur på 150°C både för primär- och sekundärluft. Det antas då att den första åtgärd som genomförs för att öka energiproduktionen är att höja dessa lufttemperaturer till 190°C. Det är med denna lufttemperatur de andra två teknikerna tillämpas.
- Barkpannan i systemet antas ha samma ångdata som sodapannan.
- Barkpannan antas mata en separat turbin, utan avtappningar och med samma mottryck som sodapannan.
- Barkpannans last justeras för att hålla mottrycksvärmen konstant då ångflödet från sodapannan ändras beroende av tillämpad teknik för energieffektivisering.
- Turbinerna antas ha en isentropverkningsgrad på 88% över hela tryckområdet.



Parametrar

- Torrhalter som studeras är 80%, 83% och 90%.
- Avtappningsånga för matarvattenförvärmning tas vid 4 Bar(a) (mottrycket), 12 Bar(a) (mellanångstrycket) och 28 Bar(a) (sotångstrycket).
- Matavattenförvärmning med dessa avtappningsångor görs till en minsta temperaturskillnad mot kondensationstemperatur och matarvattentemperatur på 10°C.
- För varje kombination av torrhalter och grad av matarvattenförvärmning maximeras möjlig mellanöverhettning. Gränsen för maximal mellanöverhettning är vald så att ingen ångkylning behövs för att nå utgående ångtemperatur på 500°C i något av fallen.

Diskussion om vissa förutsättningar

Enligt ovan valdes barkpannans ångdata lika som sodapannans och barkpannan matar en separat turbin. Alternativen hade varit följande:

- Barkpannan ges samma ångdata som ångdata från sodapannans mellanöverhettare, dvs betydligt lägre än nu givna data. Samtidigt så skulle barkpannan mata samma turbin om sodapannan, men med inflöde vid ångdata efter mellanöverhettaren. Eftersom målet är att maximera elproduktionen inses att om barkpannan ges dessa ångdata så minskar möjlig elproduktion från barkpannans ånga jämfört med här valda ångdata och alternativet väljs därför ej.
- Barkpannan ges betydligt högre ångdata än ut från sodapannan, vilket kan göras eftersom det i en barkpanna inte finns de korrosions- och materialtekniska problemen som begränsar sodapannans ångdata. Hade högre ångdata valts från barkpannan så hade, oberoende av val, alltid riktigheten av dessa ångdata kunnat diskuteras.
- För att då välja rättframt och enkelt har samma ångdata för barkpannan som för sodapannan valts. Nedan diskuteras däremot överskådligt vad resultaten kunde vara om högre ångdata hade valts.

Fördelningen och storleken på de befintliga värmeytorna i referenspannan har hållits konstanta. Nedan visas att då de studerade teknikerna tillämpas är inte längre storleken och fördelningen av dessa ytor optimal. Att däremot omfördela och ändra storleken på de värmeöverförande ytor bär för långt då detta innebär en panndesign från grunden i varje nedan enskilt studerat fall. Nedan diskuteras principiellt på vilket sätt ytor inte är optimala och hur dessa skulle behöva ändras för att bättre passa med de studerade energiteknikerna. Avtappningstrycket för mellanöverhettning, 42 bar(a), har valts som ett rimligt värde. Även andra värden hade kunnat väljas, med till viss del varierande resultat. För optimala val av ett flertal av de använda förutsättningarna och nivåerna av parametrarna är en ekonomisk optimering nödvändig.

3 Mellanöverhettning och matarvattenförvärmning, hur fungerar det?

3.1 Mellanöverhettning

Mellanöverhettning är en teknik som är etablerad sedan länge och som normalt använts på större kraftpannor.

En idag normal uppställning av sodapanna och turbin är att utgående ånga matas in i turbinen och får expandera med vissa avtappningar ner till mottrycket. Över en sådan turbin får man entalpifallet

$$\Delta h_{\text{turbin ej MÖH}} = h_{\text{utgående ånga}} - h_{\text{mottryck}}$$

Principen för mellanöverhettning (MÖH) går ut på att efter högtrycksdelen i turbinen leda ångan tillbaka till pannan och där överhetta den på nytt, för att därefter leda ångan tillbaka till turbinen för vidare expansion. Över en sådan turbin får man entalpifallet

$$\Delta h_{\text{turbin MÖH}} = h_{\text{utgående ånga}} - h_{\text{ut ur högtryckssteg}} + h_{\text{ut ur mellanöverhettare}} - h_{\text{mottryck}}$$

vilket kan skrivas som

$$\Delta h_{\text{turbin MÖH}} = h_{\text{utgående ånga}} - h_{\text{mottryck}} + h_{\text{ut ur mellanöverhettare}} - h_{\text{ut ur högtryckssteg}}$$

Där

$$h_{\text{ut ur mellanöverhettare}} - h_{\text{ut ur högtryckssteg}}$$

motsvarar det ökade entalpifallet i turbinen som erhålls med mellanöverhettaren. Det ses då att det möjliga entalpifallet över turbinen ökar med mellanöverhettning. I en kraftpanna i vilken ett konstant ångflöde kan tas ut, oberoende av om man använder mellanöverhettningen eller inte, så ökar turbinarbetet ut med mellanöverhettning vid samma bortkylda effekt i kondensorn. På så sätt ökas elproduktionen i en kraftpanna m h a mellanöverhettning. Av den utvecklade värmemängden ökas andelen som kan tas ut som turbinarbete jämfört med värmemängden som kylv bort i kondensorn.

Observera att termen h_{mottryck} är något större i fallet med mellanöverhettning p.g.a. den längre expansionen i turbinen, men det förändrar inte det principiella resonemanget. Orsaken till den högre entalpin vid ett visst mottryck då man använder mellanöverhettning är att expansionen sker till en högre entropi, d v s, man rör sig åt höger i TS-diagrammet, och vid det aktuella mottrycket har ångan då en högre temperatur ut. En konsekvens av det är att ångan vid



mottrycket oftast behöver kylas innan den kan levereras ut på mottrycksnätet. Det flöde av insprutningsvatten som åtgår att kyla denna ånga till rätt temperatur ges symbolen $m_{\text{ångkyl}}$, se vidare nedan.

I fallet med en sodapanna får resonemanget ändras till viss del eftersom lutlasten är konstant och därmed den tillgängliga värmemängden, Q . (En mellanöverhettare påverkar inte røkgastemperaturen efter ekon, då mellanöverhettaren sitter långt fram i pannan och temperaturprofilen på røkgaserna hinner jämnas ut sig innan utloppet i ekon.)

För ångflöden (m) i de båda möjliga fallen fås då:

$$m_{\text{ej MÖH}} = Q / \Delta h_{\text{turbin ej MÖH}}$$

$$m_{\text{MÖH}} = Q / \Delta h_{\text{turbin MÖH}}$$

Enligt ovan gäller att

$$\Delta h_{\text{turbin MÖH}} > \Delta h_{\text{turbin ej MÖH}}$$

Eftersom Q är konstant fås att:

$$m_{\text{MÖH}} < m_{\text{ej MÖH}}$$

Alltså, med given konstant lutlast så minskar ångflödet genom turbinen i proportion till den ytterligare mängden entalpi som tas ut $m \cdot h$ av mellanöverhettaren. Eftersom enligt ovan entalpin vid mottrycket blir något högre med mellanöverhettning är utan, så blir slutresultatet en svagt minskad elproduktion i turbinen.

Med ett minskat ångflöde från sodapannan kan inte mottrycksbehoven uppfyllas. Först ökas dock ångflödet med mängden insprutningsvatten, $m_{\text{ångkyl}}$, för att temperera ångan, se ovan. Om detta inte är tillräckligt för att fylla mottrycksbehovet måste ångflödet från barkpannan ökas, vilket i sin tur leder till ökad elproduktion i turbinen.

Den ångmängd på marginalen som från barkpannan skall fylla mottrycksbehovet expanderas, i detta fall i egen turbin, som

$$\Delta h_{\text{turbin barkpanna}} = h_{\text{utgående ånga}} - h_{\text{mottryck}}$$

Ovanstående entalpiskillnad är den faktiska ökningen av elproduktionen sammantaget för soda- och barkpanna.



Slutsatsen som dras är att för att maximera ökningen av elproduktionen med endast mellanöverhettning i sodapannan så skall barkpannan:

- Expandera sin ånga i egen turbin.
- Ångdata skall vara så höga som möjligt.

3.2 Matarvattenförvärmning

Matarvattenförvärmning är också en teknik som är tagen från större kraftpannor.

Principen går ut på att med hjälp av avtappningsånga från turbinen, ofta vid flera olika tryck, kondensera ångan mot matarvattnet och därmed värma detta. På så sätt tar man lågvärdigt värme från ånga som redan passerat turbinen och genererat el och för den värmen till matarvattnet och får sedan tillbaka värmen som högvärdig högtrycksånga. Praktiskt sett så innebär det att högtrycksångflödet från sodapannan ökar med ökande grad av matarvattenförvärmning trots konstant mängd värme från eldandet i pannan. Man så att säga cirkulerar värmnet runt panna och turbin.

Med det ökade ångflödet genom sodapannan ökas elproduktionen, men eftersom ingående värmemängd till sodapannan är konstant och andelen producerad el ökar, så måste barkpannans last ökas då mottrycksunderlaget är konstant.



4 Beräkningsexempel

Som basfall har valts den ovan kortfattat beskrivna sodapannan med följande data;

last	2200 tts/d
torrhalt	80% ts utan aska
Lufttemperatur	150°C på primär- och sekundärluft
Utgående ångtemperatur	500°C
Utgående ångtryck	108 Bar(a)
Flöde utgående HT-ånga	325.8 t/h
Matarvattentemperatur	115°C
Rökgastemperatur	153°C

I analysen ingår också en barkpanna med samma ångdata som sodapannan. Se vidare under ”2 Förutsättningar” för mer om förutsättningar. Enligt tidigare så analyseras:

- Förhöjd lufttemperatur till 190°C
- Matarvattenförvärmning i 3 olika steg, gräns enligt ovan
- Mellanöverhettning, gräns enligt ovan

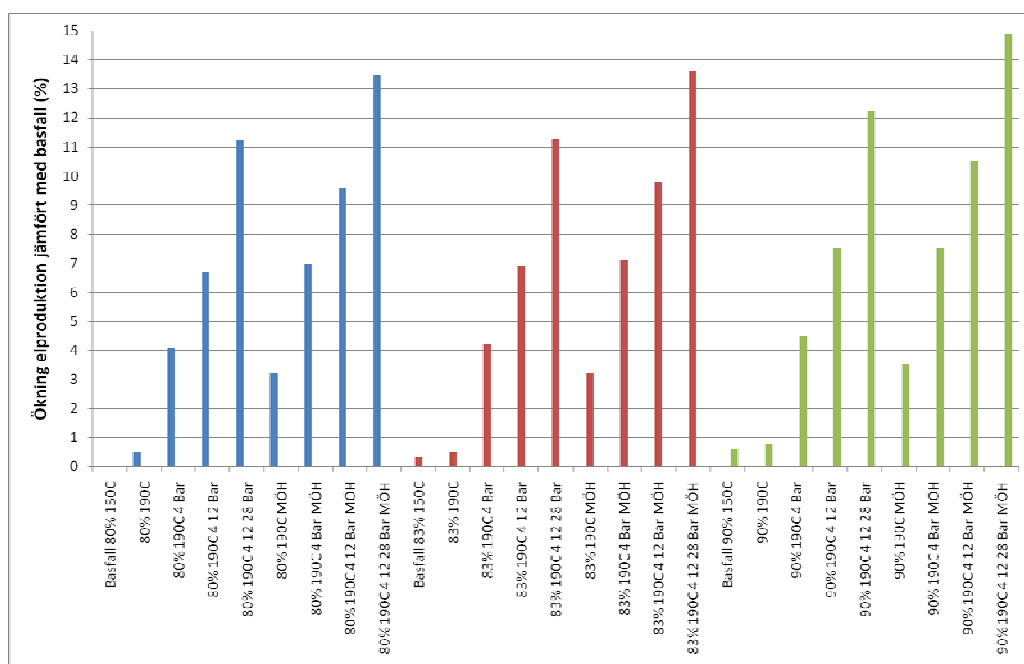
Simuleringar har körts med variation i ovanstående parametrar i följande kombinationer och följande beteckningar:



Fall	Torhalt (%)	Lufttemp (°C)	Mavaförv ånga 4 Bar(a)	Mavaförv ånga 12 Bar(a)	Mavaförv ånga 28 Bar(a)	Mellanöverhetning
BAS 80% 150	80	150	-	-	-	-
80% 190	80	190	-	-	-	-
80% 190 4 Bar	80	190	JA	-	-	-
80% 190 4 12 Bar	80	190	JA	JA	-	-
80% 190 4 12 28 Bar	80	190	JA	JA	JA	-
80% 190 MÖH	80	190	-	-	-	JA
80% 190 4 Bar MÖH	80	190	JA	-	-	JA
80% 190 4 12 Bar MÖH	80	190	JA	JA	-	JA
80% 190 4 12 28 Bar MÖH	80	190	JA	JA	JA	JA
BAS 83% 150	83	150	-	-	-	-
83% 190	83	190	-	-	-	-
83% 190 4 Bar	83	190	JA	-	-	-
83% 190 4 12 Bar	83	190	JA	JA	-	-
83% 190 4 12 28 Bar	83	190	JA	JA	JA	-
83% 190 MÖH	83	190	-	-	-	JA
83% 190 4 Bar MÖH	83	190	JA	-	-	JA
83% 190 4 12 Bar MÖH	83	190	JA	JA	-	JA
83% 190 4 12 28 Bar MÖH	83	190	JA	JA	JA	JA
BAS 90% 150	90	150	-	-	-	-
90% 190	90	190	-	-	-	-
90% 190 4 Bar	90	190	JA	-	-	-
90% 190 4 12 Bar	90	190	JA	JA	-	-
90% 190 4 12 28 Bar	90	190	JA	JA	JA	-
90% 190 MÖH	90	190	-	-	-	JA
90% 190 4 Bar MÖH	90	190	JA	-	-	JA
90% 190 4 12 Bar MÖH	90	190	JA	JA	-	JA
90% 190 4 12 28 Bar MÖH	90	190	JA	JA	JA	JA

5 Resultat

Som sammanfattande resultat visas i figur 1 nettoökningen av elproduktionen.

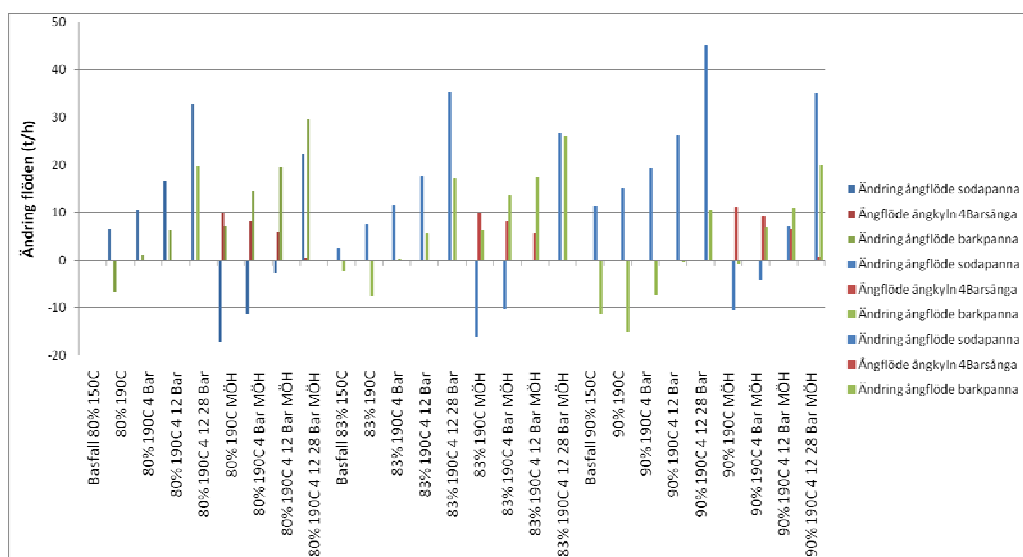


Figur 1. Nettoökning av elproduktionen

I figur 1 kan ses att:

- Med ökande mängd matarvattenförvärmning ökar elproduktionen.
- Med mellanöverhettning ökar elproduktionen ytterligare.
- Ökad elproduktion som funktion av ökad torrhalt ger i det studerade spannet mindre bidrag till elproduktionen än vad matarvattenförvärmning och mellanöverhettning ger.

I figur 2 visas hur utgående ångflöde från soda- och barkpannan samt insprutningsflödet för att kyla mottrycksångan varierar.



Figur 2. Variation i ång- och insprutningsflöden

I figur 2 kan ses att med ökad grad av matarvattenförvärmning så ökar bruttoångflödet från sodapannan. Vid ökad matarvattenförvärmning ökar även ångflödet från barkpannan, då utgående mottrycksångflöde från sodapannan minskar. Orsaken är att av tillförd mängd värme till sodapannan används en större del till elproduktion.

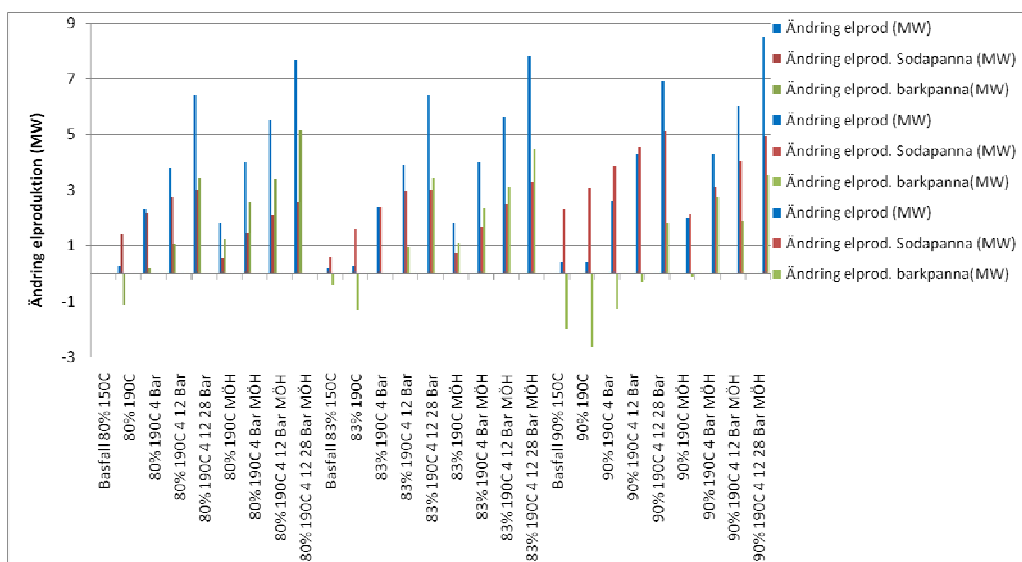
Vidare ses att då mellanöverhettning integreras uppstår ett kylbehov av mottrycksånga för att sänka temperaturen på denna.

Det kan också ses att en ökning av torrhalten från 80 % till 90 % medför den förväntade ökningen av ångproduktionen i sodapannan. För att fylla mottrycksbehovet behövs däremot inte längre samma mängd ånga från barkpannan, och det kan ses att ångflödet från denna minskar vid ökande torrhalt.

I detta arbete har inte andra ångnivåer än normalt, förväntat tillgängliga använts för matarvattenförvärmning. Maxtrycket utgörs av sotångens 28 Bar(a). Jämfört med ursprungsflödet av högttrycksånga i pannan om 325.9 t/h, ses att vid 90 % torrhalt och upp till 28 Bar(a) matarvattenförvärmning och med mellanöverhettning, så har flödet ökat med 35 t/h. Dito, utan mellanöverhettning, så har flödet ökat med 45 t/h. I sin tur innebär detta en ökning av ångflödet genom pannan på 10.7 % respektive 13.8 %, vilket pannan måste vara dimensionerad för på vatten- och ångsidan, se vidare nedan gällande överhettare.

Det kan också ses att ökad energiintegration slår uppenbart på förbrukningen av bark/träbränslet eller annat använt marginalbränsle.

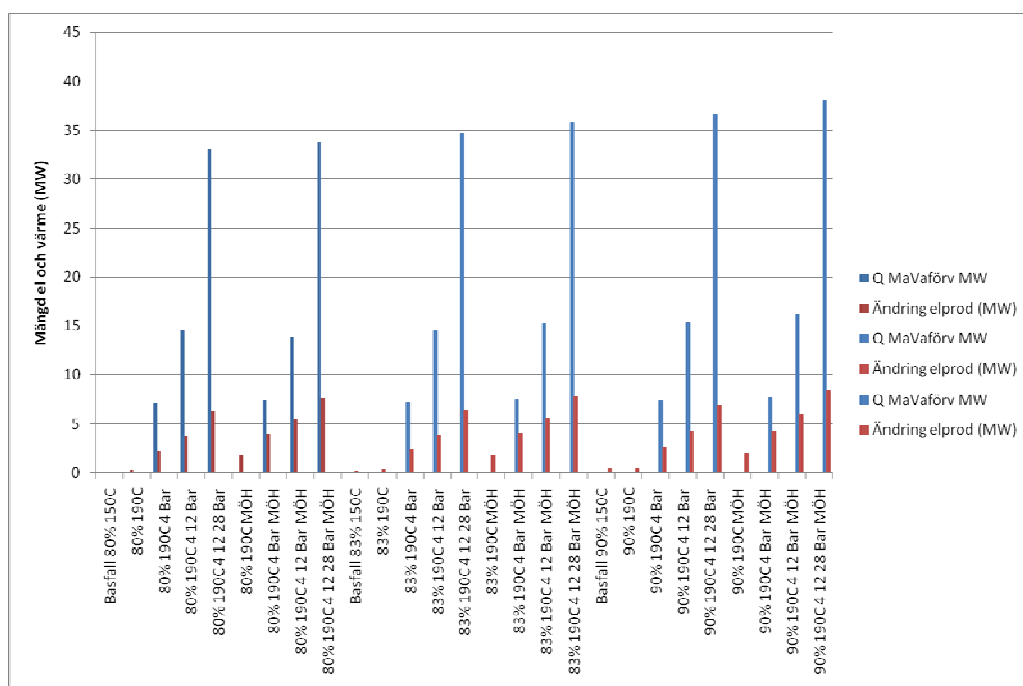
I figur 3 visas hur elproduktionen ändras i soda- respektive barkpanna.



Figur 3. Ändring i elproduktion i soda- respektive barkpanna

I figur 3 kan ses att elproduktionen från soda- och barkpannor reflekteras i de i figur 2 ovan visade ångflödena.

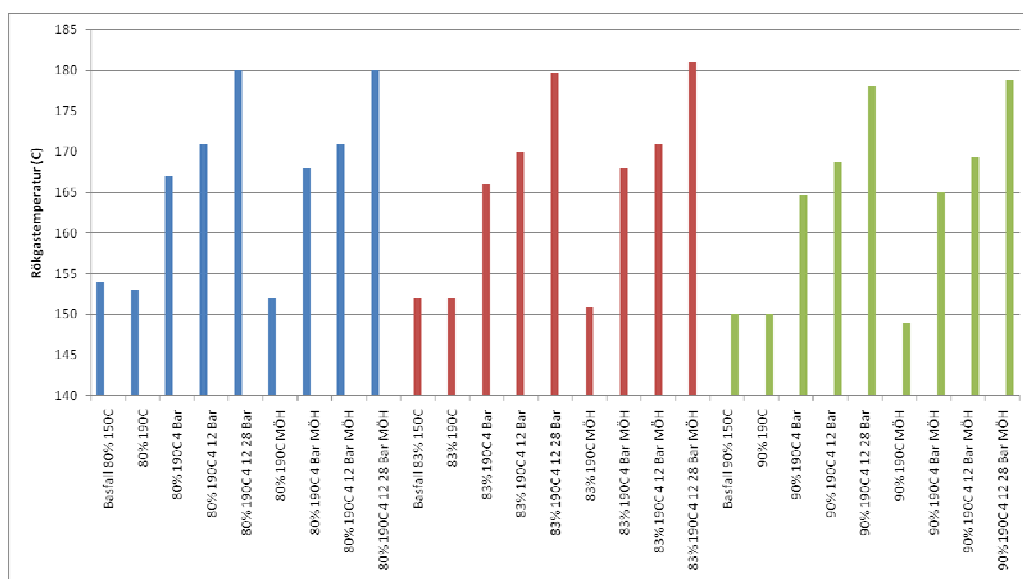
I figur 4 visas mängden värme använd till matarvattenförvärmning och totalt ökad elproduktion.



Figur 4. Värmemängd för matarvattenförvärmning och totalt ökad elproduktion

Det som kan ses i figuren är att ökningen i elproduktion inte är proportionell mot använd värmemängd för matarvattenförvärmning. Orsaken är att då använd värmemängd ökar, så innebär det att en allt ökande mängd värme är taget vid ett högre tryck och alltså passerat en mindre del av turbinen med en svagare ökning i elproduktion som resultat.

I figur 5 visas hur rökgastemperaturerna förändras vid integration av studerade tekniker.

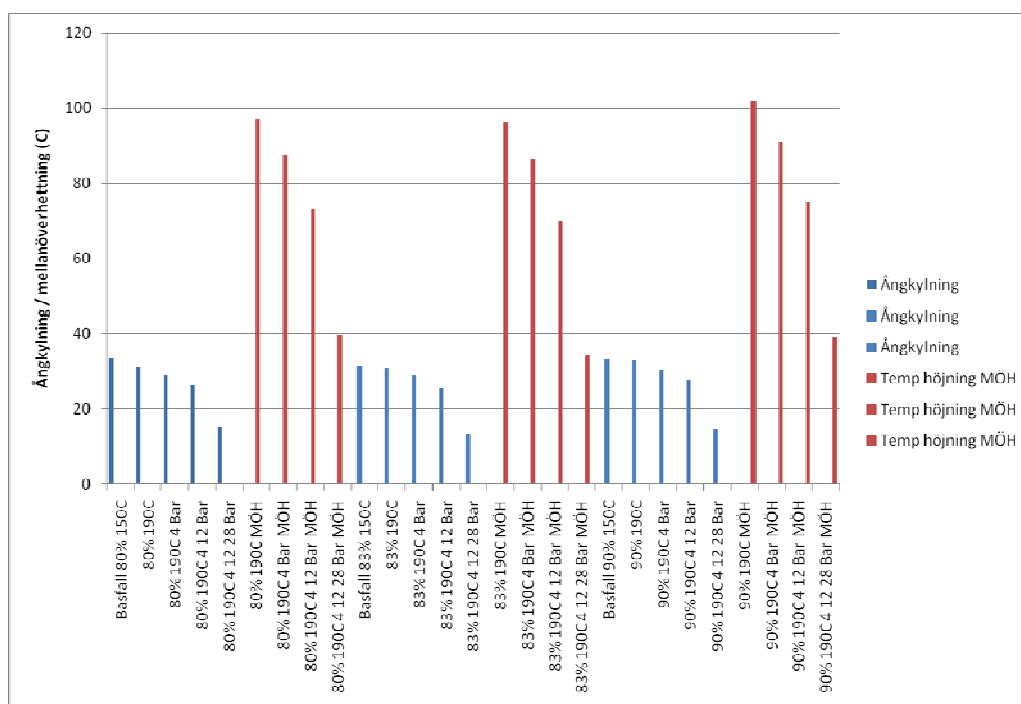


Figur 5. Resultande rökgastemperaturer efter ekon

I figuren kan ses att med installation av mellanöverhettare påverkas inte rökgastemperaturen nämnvärt, eftersom denna sitter så långt fram i pannan att temperaturprofilerna hinner jämnas ut sig till utloppet av ekon. Däremot, vid installation av matarvattenförvärmning ökar rökgastemperaturerna snabbt. Givetvis kan man inte låta rökgastemperaturen öka på ett sådant sätt, då en väsentlig förutsättning är att befintliga värmeytor hålls konstanta. Orsaken till ökningen i rökgastemperatur är att med hjälp av matarvattenförvärmning så bryter man upp temperaturprofilen på matarvattnet med följd att rökgaserna möter varmare matarvatten. Följden blir sämre värmeupptag i vattnet och därmed ökar rökgastemperaturen.

Slutsatsen blir givetvis att ekoytorna inte är optimala då matarvattenförvärmning installeras. Med tanke på erhållna rökgastemperaturer, max ~180°C, är det svårt att använda denna värme för förvärmning av luften. Men rökgaskylare måste användas och sannolikt bör också ekoytorna ändras.

I figur 6 visas den resulterande mängden nödvändig ångkylning för att upprätthålla utgående ångtemperatur på 500°C samt också möjlig grad av mellanöverhettning.



Figur 6. Resultande mängd ångkylning respektive mängd mellanöverhettning

Graden av mellanöverhettning sätts av att, enligt ovan, fortfarande nå 500°C på utgående ånga utan någon ångkylning. Därför finns det inte någon kombination med både mellanöverhettning och ångkylning. I praktiken är detta inte fungerande då man inte kan hålla en jämn utgående ångtemperatur utan styrning av denna. Istället skall både den med ökande ångflöde (p.g.a. ökad torrhalt och ökad matarvattenförvärmning) sjunkande ångkylningen och avsaknaden av ångkylning vid mellanöverhettning ses som att överhettartyorna inte är fullt lämpade för mellanöverhettning och matarvattenförvärmning.

För att överhettarmässigt balansera ut det ökade ångflödet vid matarvattenförvärmning bör överhettaren byggas ut för att kunna upprätthålla nödvändiga marginaler på ångkylningen. Ökningen i nödvändig överhettararea antas bli ännu större då mellanöverhettning tillämpas, vilket ses av att all ångkylning har tagits i anspråk för mellanöverhettning och att de i detta arbete uppnådda temperaturerna efter mellanöverhettning i praktiken anses som för låga.

En kostnadsreducerande effekt blir dock att p.g.a. större överhettare så kan den efterföljande kokyta minskas i samma proportion, men eftersom övrhettaryta är dyrare än kokyta antas det dock att totalkostnaden ökar.



6 Slutsatser

De slutsatser som kan dras av ovanstående är följande:

- Det finns en teknisk potential att kraftigt öka elproduktionen ur kombinationen sodapanna och barkpanna med hjälp av matarvattenförvärmning och mellanöverhettning.
- Potentialen bedöms som bra redan med matarvattenförvärmning från normalt använda avtappningsångor upp till sotångans normala avtappningstryck.
- Möjligheten att fullt ut uppskatta den tekniska potentialen begränsas dock av att då matarvattenförvärmning och mellanöverhettning tillämpas bör sodapannans värmeytor och övrig konstruktion anpassas därefter.
- Vid tillämpning av matarvattenförvärmning och mellanöverhettning bör sodapannans konstruktion ändras enligt följande.
 - Överhettarna ges större ytor.
 - Kokytan görs mindre.
 - Rökgaskylare bör installeras.
 - Sodapannans cirkulationssystem görs större med större dom och större kapacitet i domen samt utökning av fall- och stigsida i cirkulationssystemet.
- Totalt sett antas därför investeringskostnaden att öka för sodapannan.
- Hur en optimal lösning ser ut i ett verkligt fall kan endast bestämmas med hjälp av en ekonomisk optimering för det specifika fallet.

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Destruktionsugnen

Bilaga EA - EF

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Destruktionsugn; förhållanden och emissioner

			Referens 20071128	Provdag 1 20071130	Provdag 2 20071201
Förhållanden					
391FI6502					
STARKGAS FRÅN DROPPAVSKILJARE		Flöde			
	Max	Nm ³ /h	266.6	143.3	186.2
	Min	Nm ³ /h	9.7	78.8	78.8
	Medel	Nm ³ /h	88.7	104.2	117.8
	Stdev	Nm ³ /h	17.5	6.3	10.3
391PI6507					
STARKGAS TILL BRÄNNARE		Tryck			
	Max	kPa(e)	13.73	6.35	6.71
	Min	kPa(e)	2.27	3.98	3.01
	Medel	kPa(e)	4.66	4.83	4.83
	Stdev	kPa(e)	0.69	0.21	0.21
391FC6518					
METANOL TILL BRÄNNARE		Flöde			
	Max	kg/h	709	672	644
	Min	kg/h	597	570	552
	Medel	kg/h	654	634	602
391FC6522					
OLJA TILL BRÄNNARE		Flöde			
	Max	kg/h	5.64	3.34	3.41
	Min	kg/h	0.00	0.00	0.00
	Medel	kg/h	2.06	0.00	0.01
391FI6533					
LUFT FLÖDE L2105		Flöde			
	Max	Nm ³ /h	626	603	609
	Min	Nm ³ /h	580	564	566
	Medel	Nm ³ /h	608	584	588
391FC6534					
PRIMÄRLUFT FLÖDE L2104		Flöde			
	Max	Nm ³ /h	2521	2437	2184
	Min	Nm ³ /h	1855	1752	1653
	Medel	Nm ³ /h	2101	2151	1955
391FC6535					
SEKUNDÄRLUFT FLÖDE L2104		Flöde			
	Max	Nm ³ /h	11882	10910	10901
	Min	Nm ³ /h	5949	8640	8564
	Medel	Nm ³ /h	8469	9732	9597
	Stdev	Nm ³ /h	1186	473	397
391TI6530					
BRÄNNARMANTEL		Temp			
	Max	°C	191	197	197
	Min	°C	184	196	197
	Medel	°C	189	197	197

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Destruktionsugn; förhållanden och emissioner

			Referens 20071128	Provdag 1 20071130	Provdag 2 20071201
391TC6531					
BRÄNNARE ZON 2		Temp			
	Max	°C	1458	1321	1313
	Min	°C	1312	1319	1308
	Medel	°C	1353	1320	1310
391TI6532					
BRÄNNARE ZON 2		Temp			
	Max	°C	1384	1278	1269
	Min	°C	1277	1277	1265
	Medel	°C	1303	1277	1267
391FI6537					
ÅNGA FRÅN PANNA A2101		Flöde			
	Max	kg/h	10240	6484	6179
	Min	kg/h	5418	5269	5369
	Medel	kg/h	5796	5863	5672
391AC6542					
O2 I RÖKGAS		O2-halt			
	Max	%	8.7	8.3	8.4
	Min	%	2.3	7.8	7.5
	Medel	%	8.0	8.0	7.9
391TI6541					
RÖKGAS FRÅN PANNA A2101		Temp			
	Max	°C	308	285	285
	Min	°C	244	272	273
	Medel	°C	268	278	278
391FI6545					
MATARVATTEN TILL PANNA A2101		Flöde			
	Max	m³/h	10.7	7.8	7.1
	Min	m³/h	3.8	5.3	5.5
	Medel	m³/h	6.2	6.3	6.2
391FC6556					
BISULFIT FRÅN ABS.TORN		Flöde			
	Max	m³/h	1.95	1.83	1.74
	Min	m³/h	1.19	1.33	1.20
	Medel	m³/h	1.51	1.53	1.58
391FI6557					
OX.VITLUT TILL ABS.TORN		Flöde			
	Max	m³/h	1.35	1.50	1.25
	Min	m³/h	0.84	0.74	0.88
	Medel	m³/h	1.12	1.05	1.07
391FI6560					
LUT TILL ABS.TORN		Flöde			
	Max	m³/h	2.11	2.08	1.83
	Min	m³/h	1.34	1.11	1.46
	Medel	m³/h	1.67	1.62	1.65

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghalls sodapanna SP5 Mikaela

Destruktionsugn; förhållanden och emissioner

			Referens 20071128	Provdag 1 20071130	Provdag 2 20071201
Emissioner					
391AI6561					
SO ₂ I RÖKGAS		SO₂-halt			
	Max	ppm	110.8	200.0	200.0
	Min	ppm	10.8	22.1	126.7
	Medel	ppm	23.3	133.3	166.5
	Stdev	ppm	10.8	45.7	20.6
391AI6562					
H ₂ S I RÖKGAS		H₂S-halt			
	Max	ppm	0.43	0.26	0.32
	Min	ppm	0.00	0.00	0.00
	Medel	ppm	0.04	0.04	0.04
	Stdev	ppm	0.04	0.04	0.04
391AI6563					
NO _x I RÖKGAS		NO_x-halt			
	Max	ppm	83.42	355.73	26.83
	Min	ppm	22.00	1.71	24.97
	Medel	ppm	23.83	26.00	25.59
	Stdev	ppm	3.99	14.13 a)	0.51
391AI6564					
CO I RÖKGAS		CO-halt			
	Max	ppm	4.78	0.47	0.68
	Min	ppm	0.00	0.01	0.55
	Medel	ppm	0.34	0.24	0.62
	Stdev	ppm	0.46	0.13	0.04
391AI6565					
O ₂ I RÖKGAS		O₂-halt			
	Max	%	10.16	9.65	10.06
	Min	%	2.94	8.97	8.76
	Medel	%	9.20	9.24	9.22
	Stdev	%	0.39	0.07	0.09

a) Det är 0,5-1,0 h mätdata som orsakar detta. Verkar som om den gått av/på

Sodahuskommittén - Projekt 3FS - Delmoment Processteknik
Försök på Skoghall's sodapanna SP5 Mikaela

Absorptionstorn till destruktionsugn; halter av Na och totalt S
i oxiderad vitlut till och i skrubbersyra (bisulfit) från absorptionstorn
Skoghall - normala driftdata

Referensprov

20071127-28

Datum / tid	Starkgas-Skrubbersyra(Bisulfit)		Ox. Vitlut	
	Na	Tot S	Na	Tot S
	g/l	g/l	g/l	g/l
2007-11-27 09:00	53	43.1		
2007-11-27 16:00			142	27.4
2007-11-27 17:00	112	104		
2007-11-28 09:00	114	101		

Medel 93 83 142 27

Provdag 1

20071129-30

Datum / tid	Starkgas-Skrubbersyra(Bisulfit)		Ox. Vitlut	
	Na	Tot S	Na	Tot S
	g/l	g/l	g/l	g/l
2007-11-29 09:00	115	115	126	25.3
2007-11-29 17:00	109	108	136	23.7
2007-11-29 19:00	109	104		

Medel 111 109 131 25

Provdag 2

200711230-1201

Datum / tid	Starkgas-Skrubbersyra(Bisulfit)		Ox. Vitlut	
	Na	Tot S	Na	Tot S
	g/l	g/l	g/l	g/l
2007-11-30 09:00	111	114	144	27.4
2007-11-30 15:00	111	109		
2007-11-30 17:00	111	107	147	27.6

Medel 111 110 146 28

Starkgas

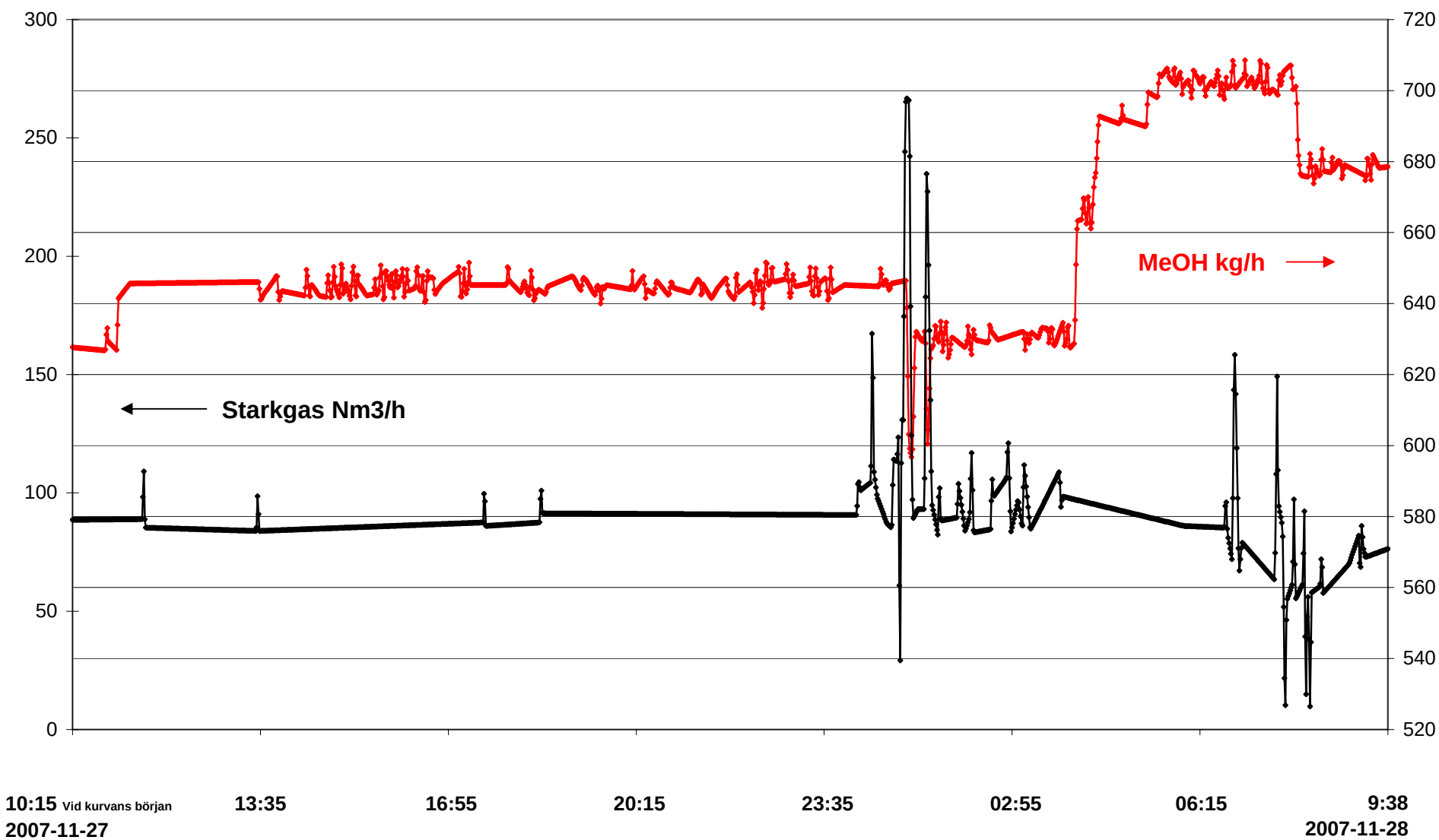
REFERENSPROV, 2007-11-28

MeOH

Nm3/h

Bränsle, starkgas & MeOH, till destruktionsugn

kg/h



Starkgas

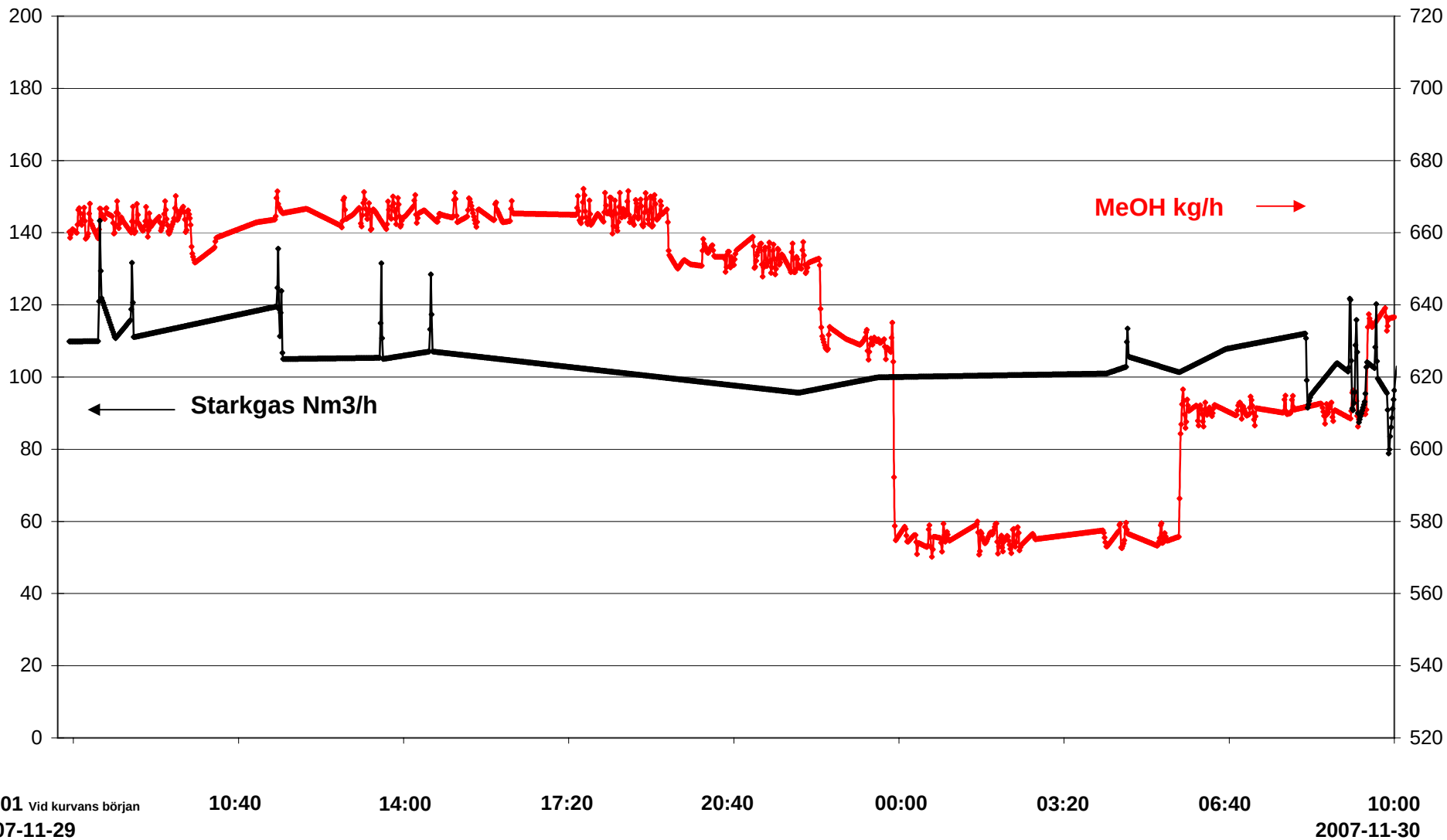
PROVDAG 1, 2007-11-30

MeOH

Nm³/h

Bränsle, starkgas & MeOH, till destruktionsugn

kg/h



Starkgas

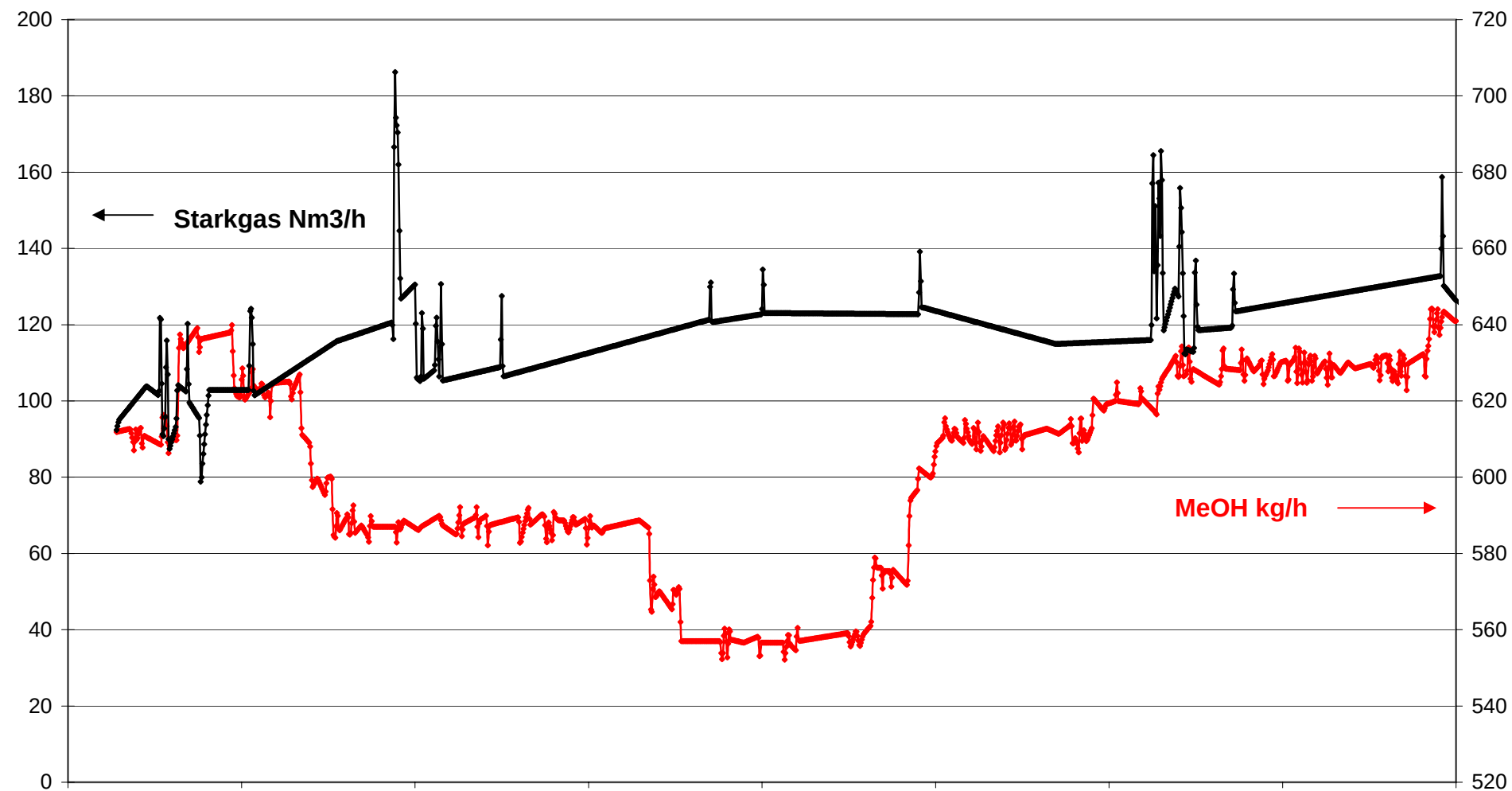
PROVDAG 2, 2007-12-01

MeOH

Nm³/h

Bränsle, starkgas & MeOH, till destruktionsugn

kg/h

08:02 Vid kurvans början
2007-11-30

10:40

14:00

17:20

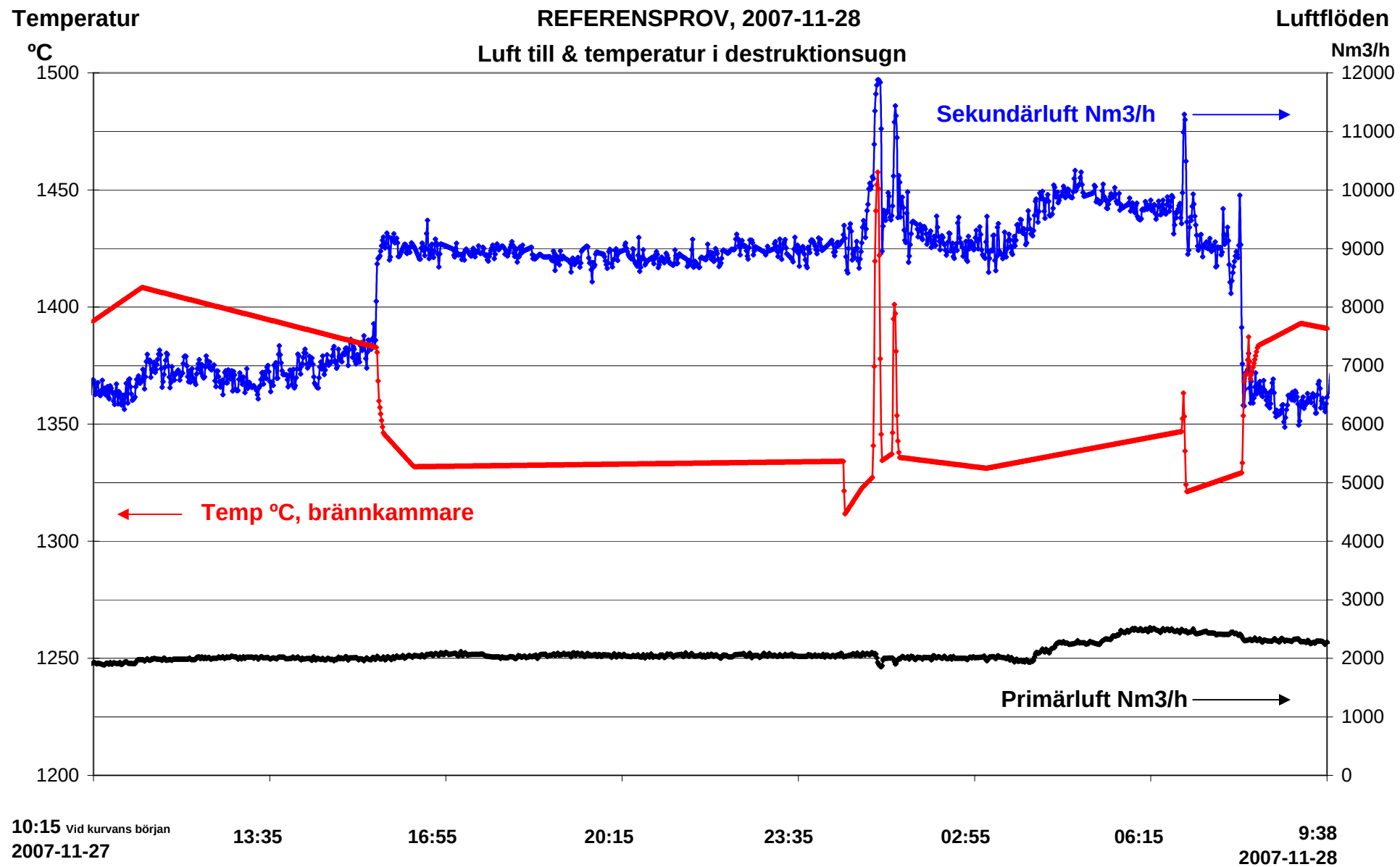
20:40

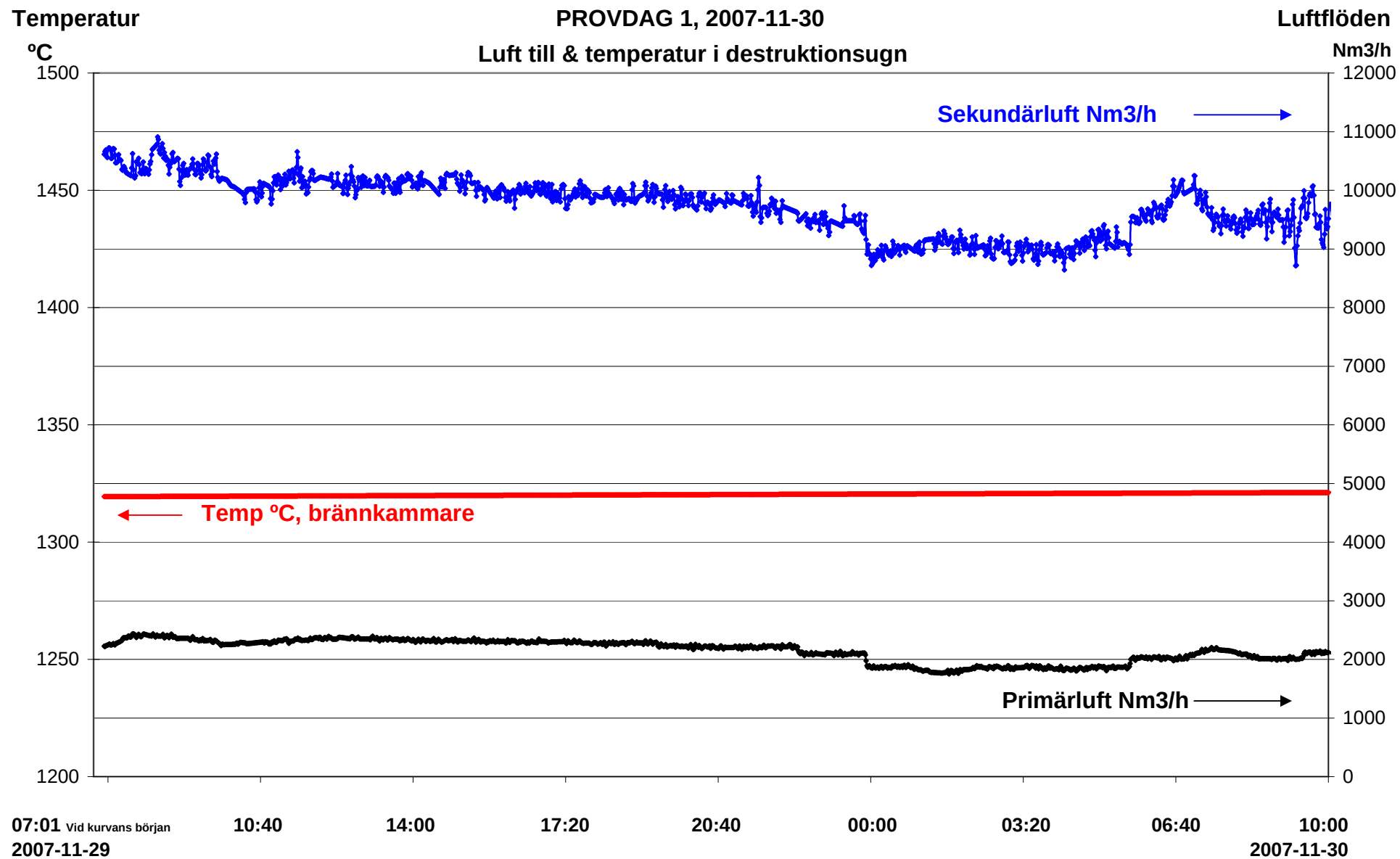
00:00

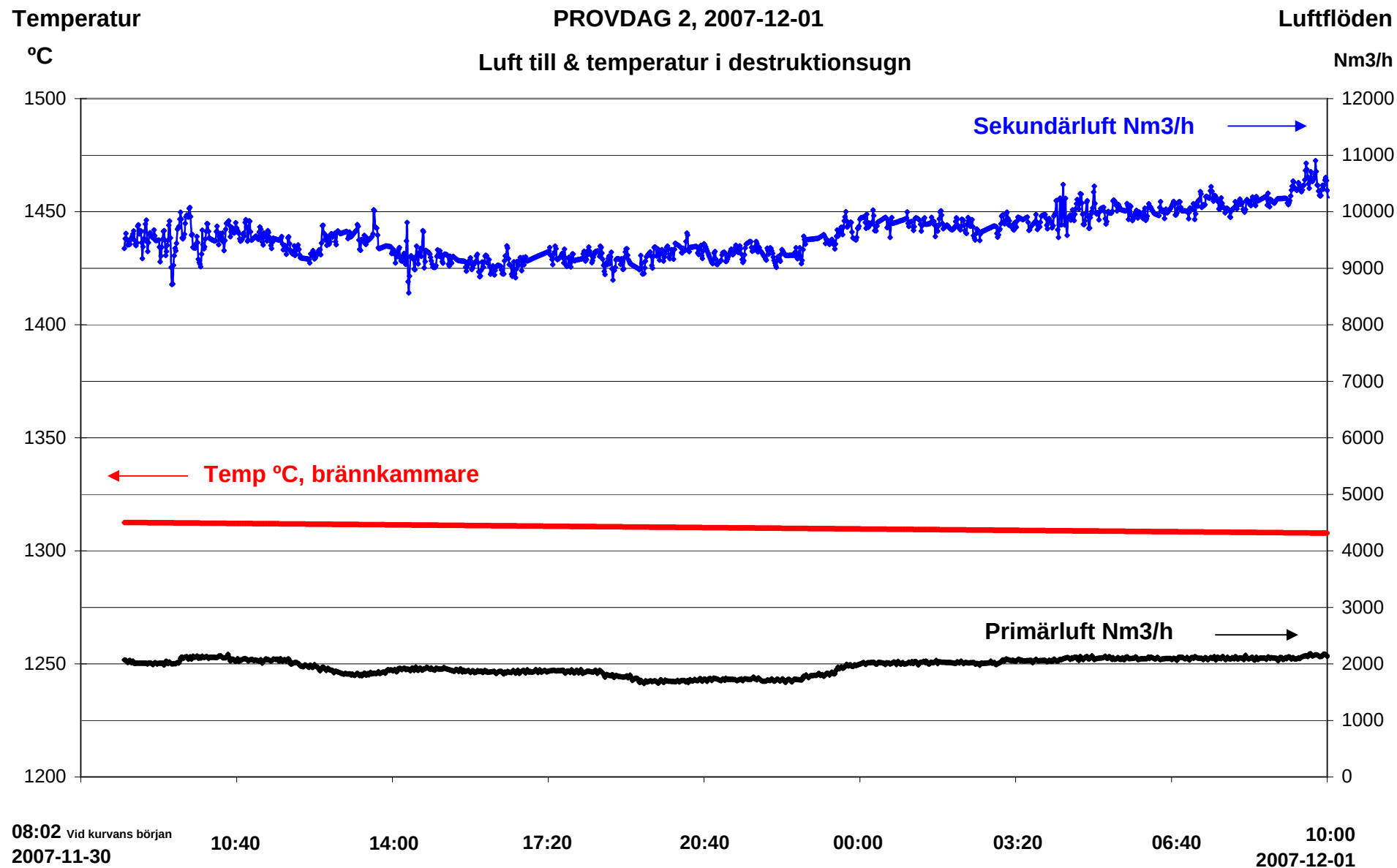
03:20

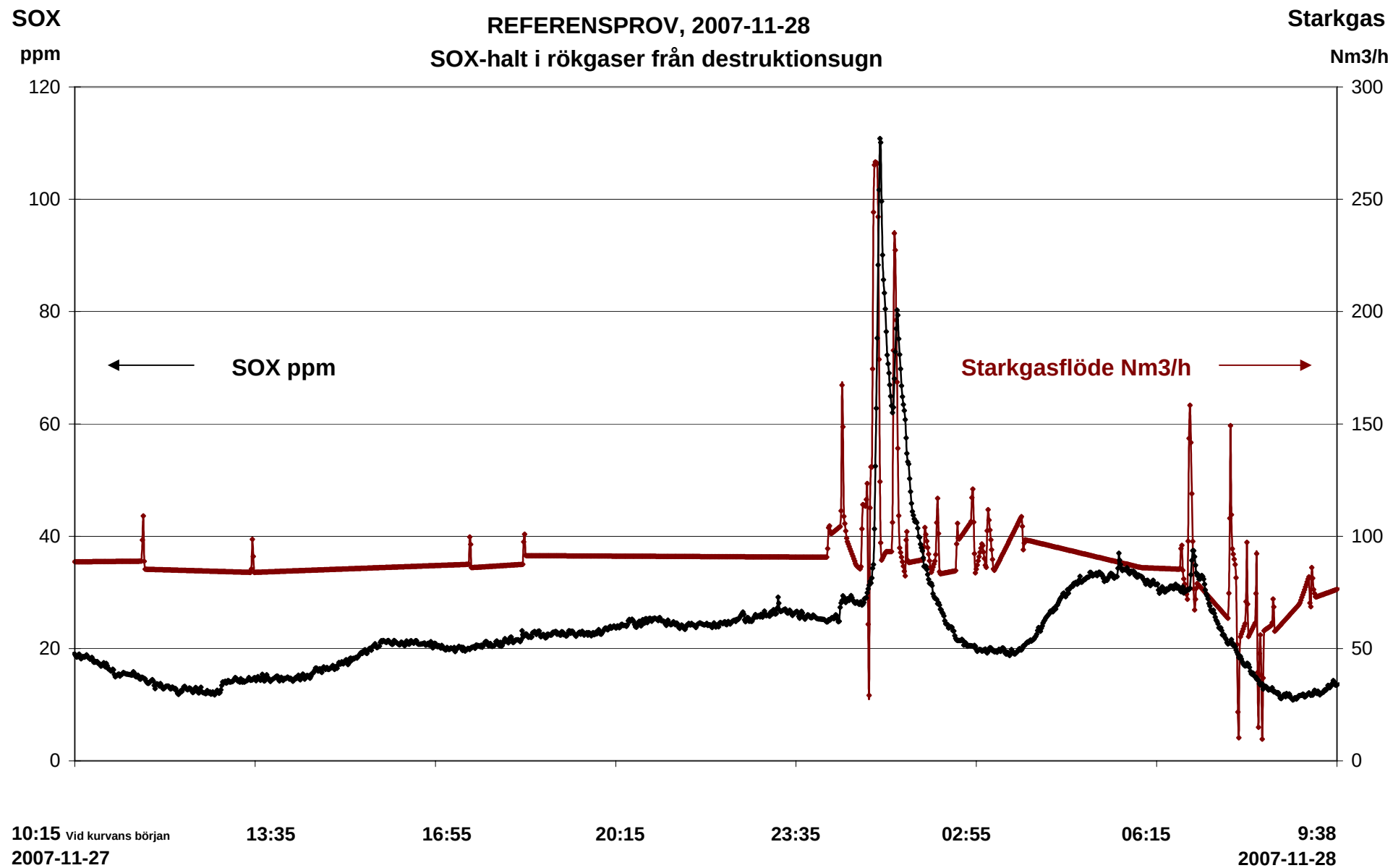
06:40

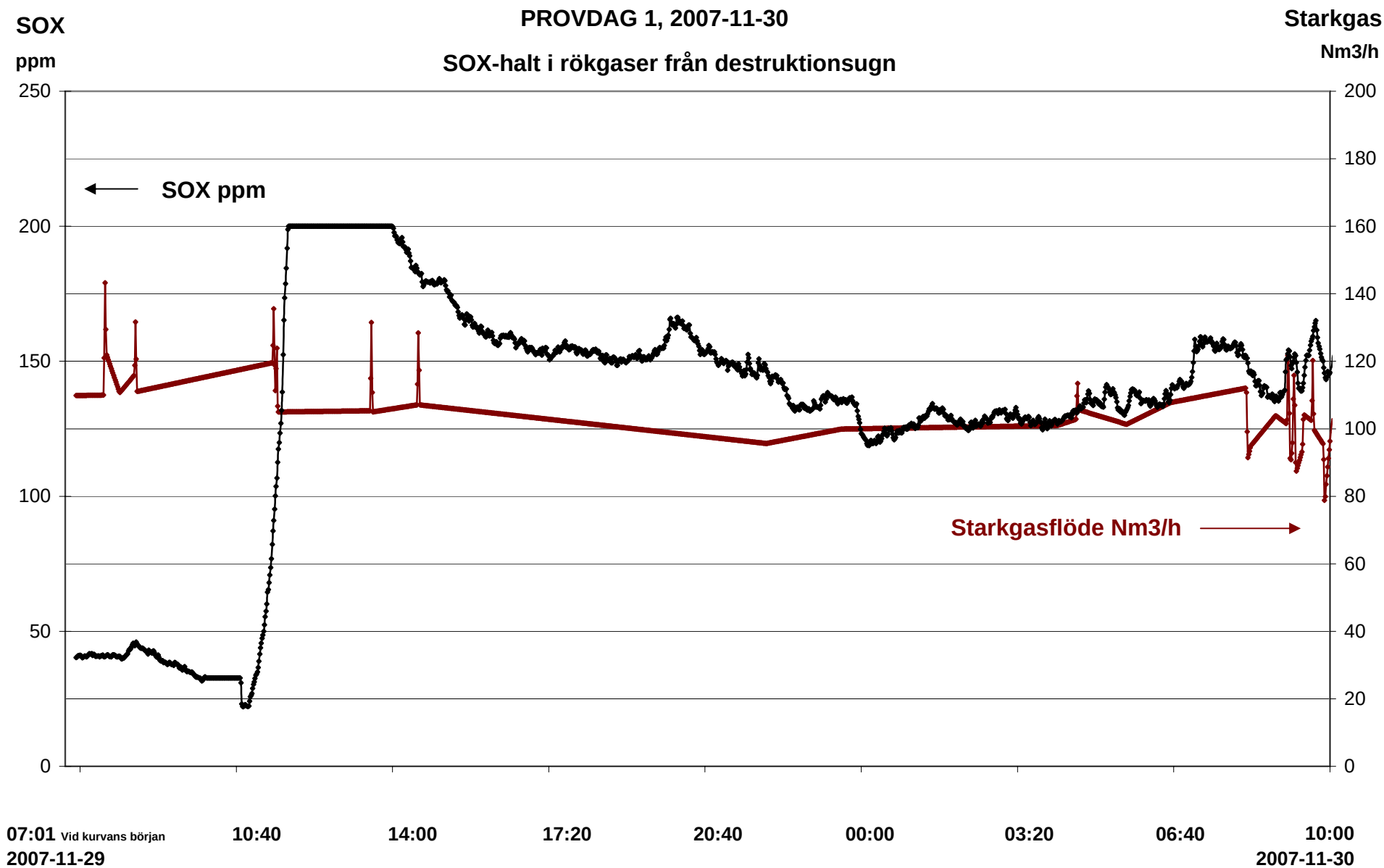
10:00
2007-12-01

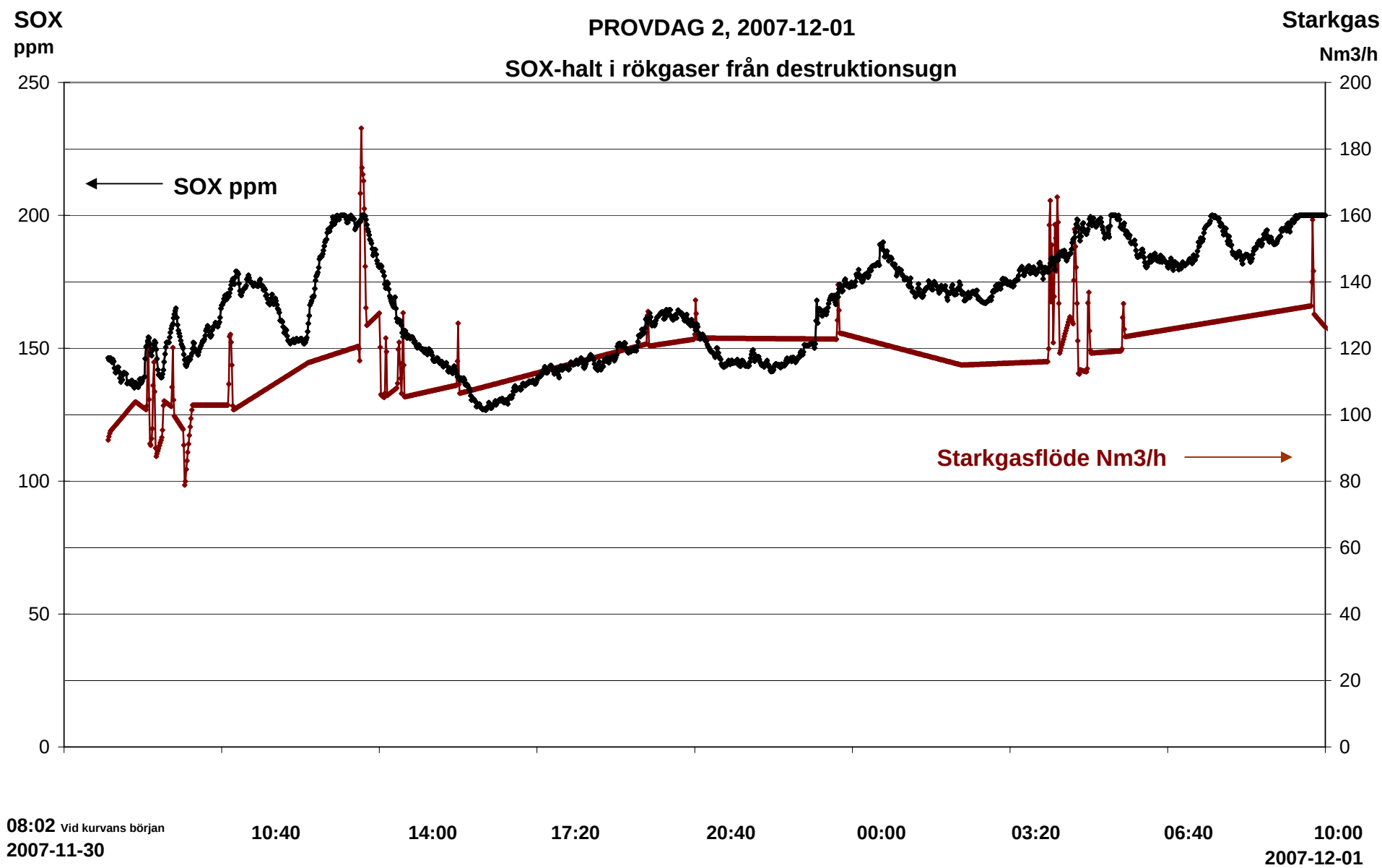


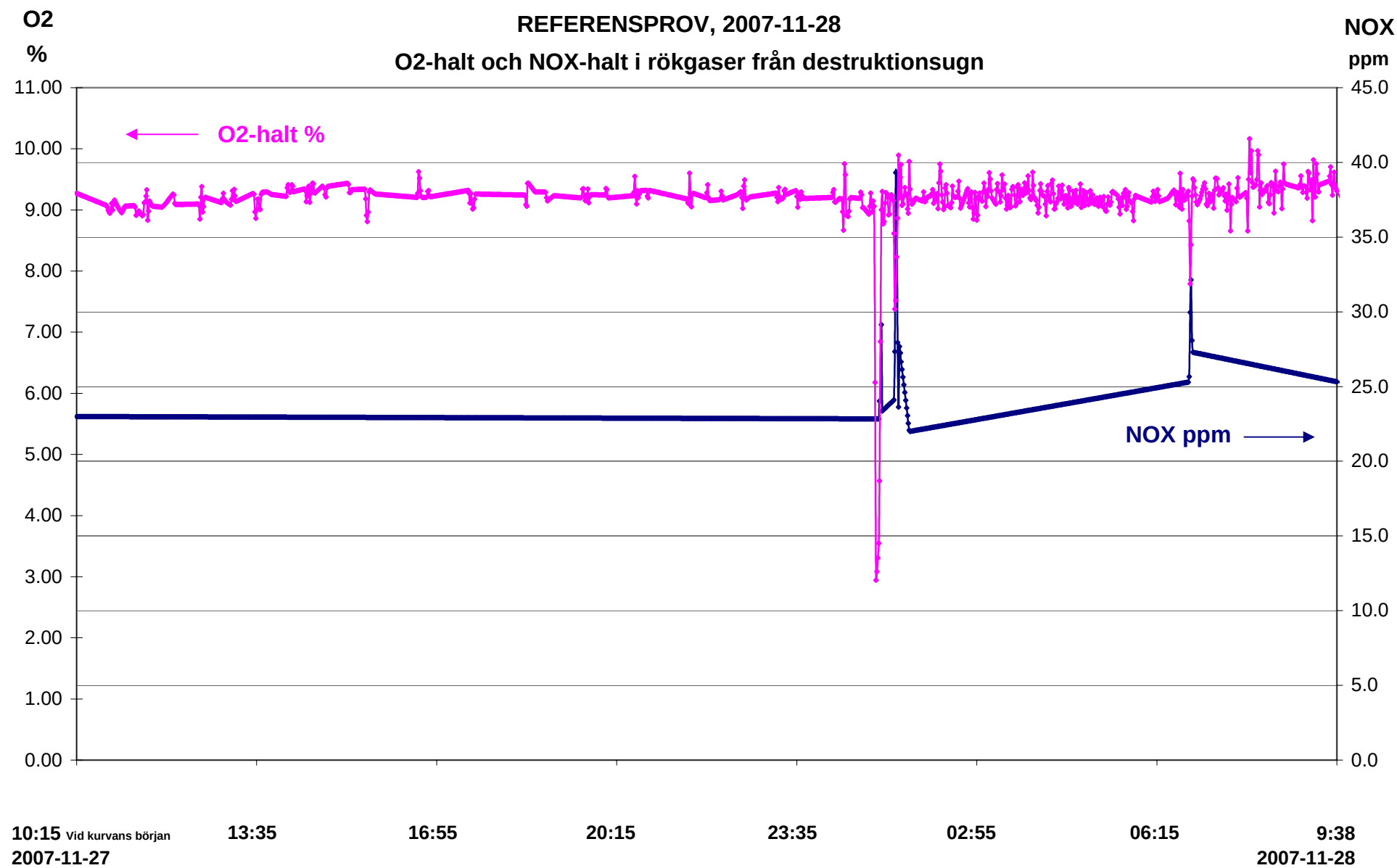


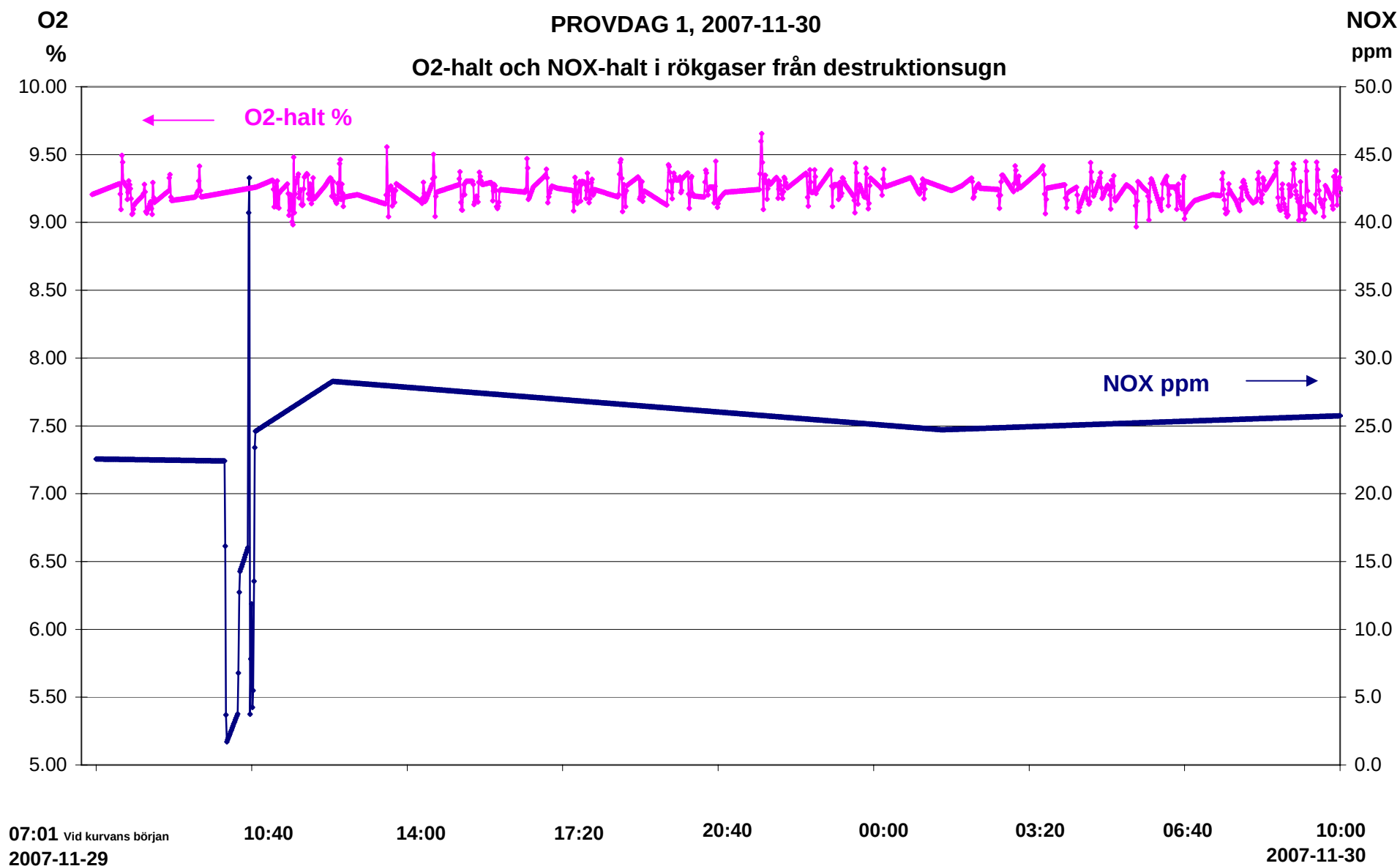


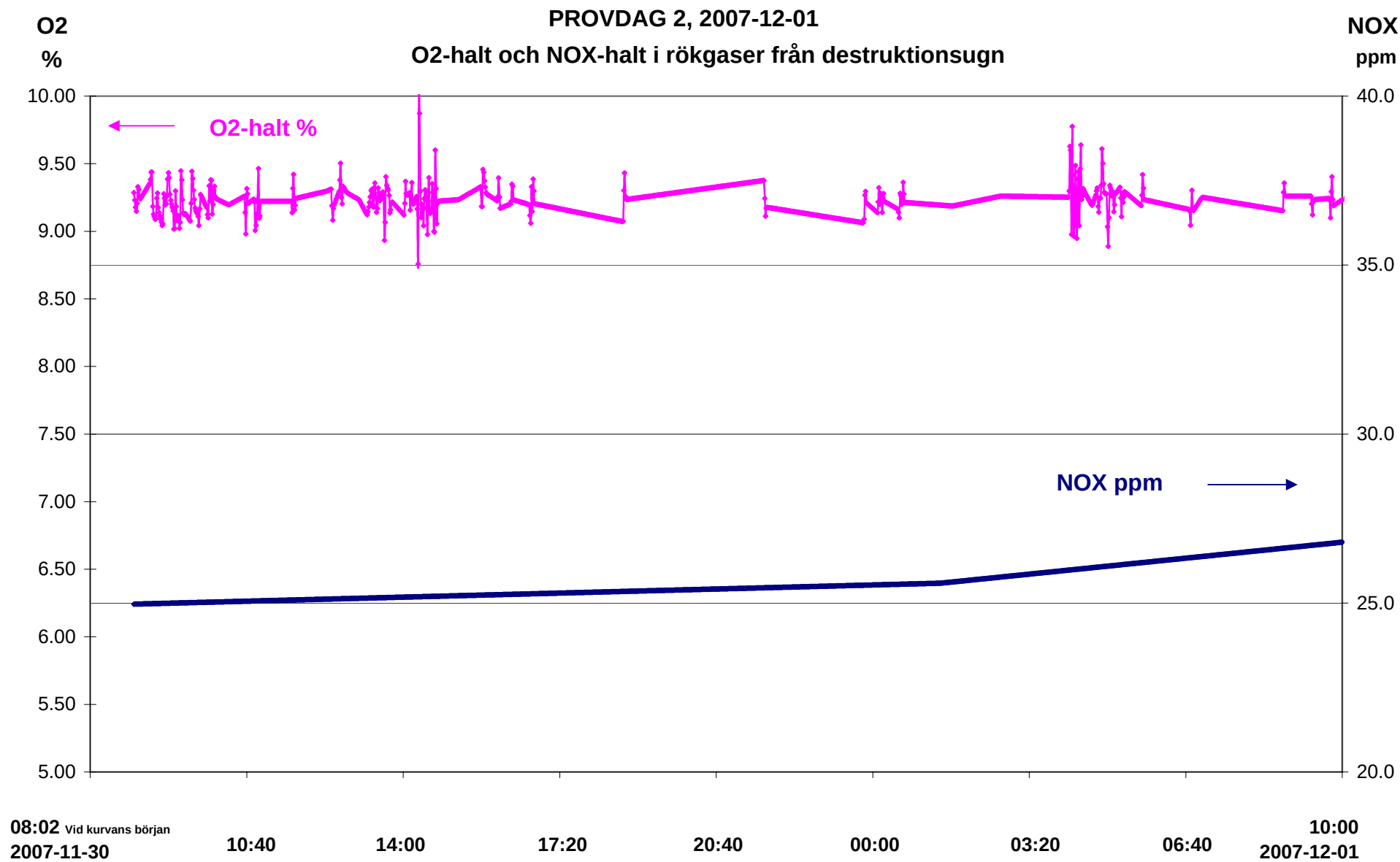












Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk forskning och utveckling. Forskningsprogrammet är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem.

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