

Hur multivariat processövervakning kan genomföras

Presentation vid SIK's seminarium "Effektivare processekonomi och jämnare kvalitet med kemometri", onsdag den 13 mars 1996.

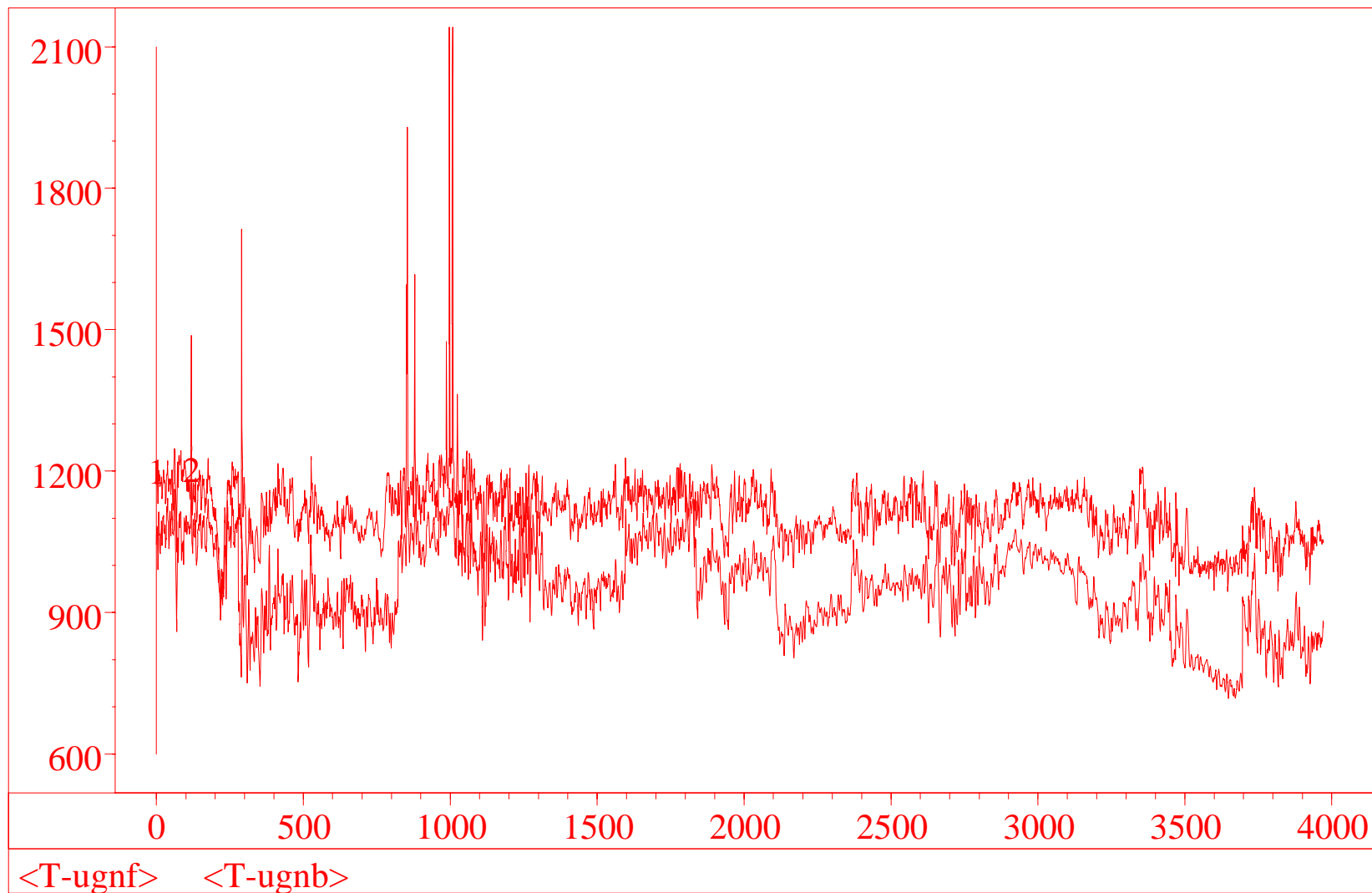
Tomas Öberg

www.tomasoberg.com

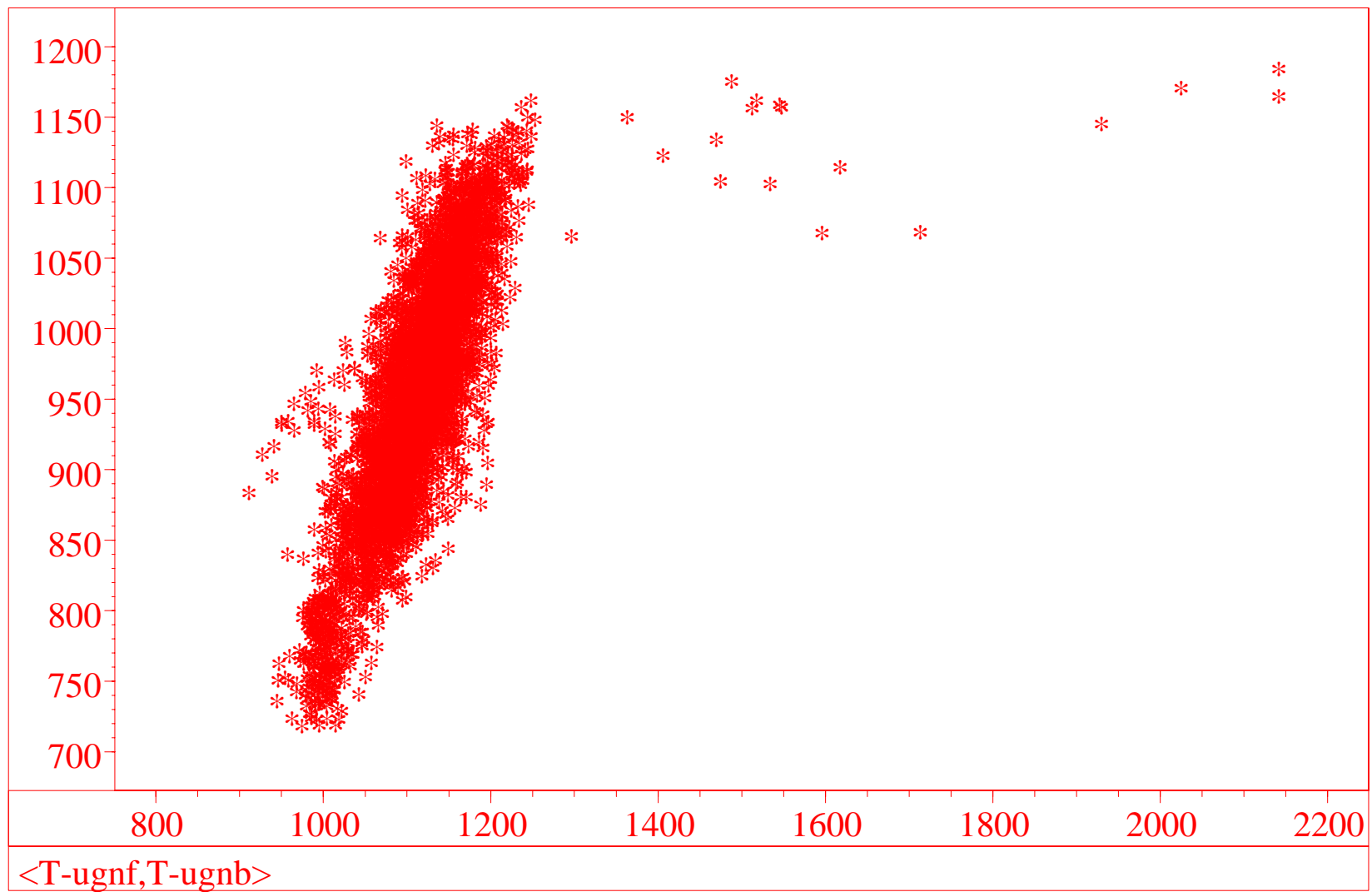
Innehåll

- *Multivariat modellering av processer.*
- *On-line tillämpning - fördelar och möjligheter.*
- *Problem och lösningar - en förstudie.*
- *Att kommunicera resultat - några idéer.*
- *Utvecklingsprojekt och applikationer i fullskala.*
- *MULTICON-projektet.*
- *Praktisk demonstration*

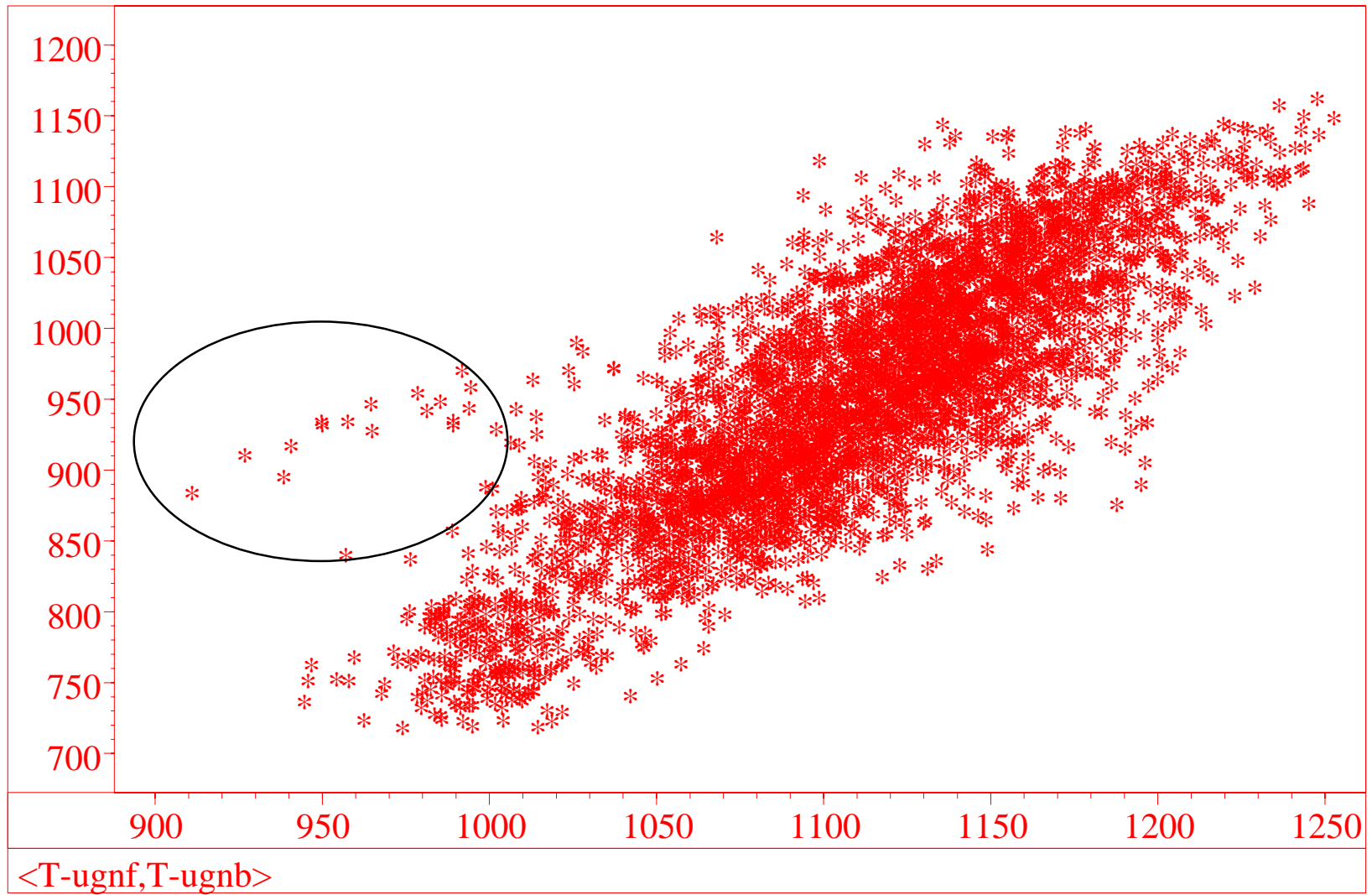
Bergström & Öberg



Bergström & Öberg



Bergström & Öberg



Exempel på multivariata tekniker som kan tillämpas

- *Linjär regressionsanalys (MLR) - regressionsstyrdiagram.*
- *Hotelling's T^2 -diagram (1947).*
- *PCA, PLS.*
- *Neurala nät.*

Fördelar och möjligheter

- *Få informationsrik överblick.*
- *Kunna identifiera olika processtillstånd.*
- *Tidigt kunna upptäcka processstörningar och fel på utrustningar (t.ex. mätinstrument).*
- *Förutsäga/beräkna kvalitetsegenskaper som är svåra och/eller dyra att mäta.*
- *Förutsäga/beräkna processutfall.*

Svårigheter vid process- tillämpningar

- *Drift i processen, förändringar av process-tillstånd.*
- *Enkla och multipla givar- och instrumentfel.*
- *Tidssamband. Icke-linjära samband.*

Åtgärder

- *Fortlöpande rekalkibrering.*
- *Rekalkibrering mot lagrad matris när en givare "faller ur".*
- *Robust modell, som tål störningar (till en viss gräns)*

Förstudien

- *Målsättning att ta fram metodik för övervakning av funktion hos givare och instrument.*
- *Litteraturoversikt och beräkningar på mätdata från förbränningsanläggningar med olika fasta bränslen.*
- *Finansierad av Svenska Renhållningsverks-Föreningen.*

Värderade metoder

- PCA: "Gammal" teknik för processövervakning (exempelvis Kodak på 50-talet). Ny aktualitet under senare år genom olika studier av Kowalski, MacGregor, m.fl.
- PLS: "Ny", men med PCA närbesläktad teknik. Instrumentkontroll har provats i pilotskala.
- Neurala nät: Flera tillämpningar för detektion av givarfel har redovisats.

Beräkningsarbetet

- Programvara: ***The Unscrambler™*** från CAMO A/S och *NeuroShell 2* från Ward Systems Group, Inc.
- Hårdvara: PC, utrustad med acceleratorkort (DSP-RISC-processor) för beräkning av neural nätmodellerna.
- Mätdata: Från några avfallspannor och ett koleldat värmeverk.

Resultat

- *Av tidsskäl redovisas bara en begränsad del av projektet, vad avser panna 2 vid Gärstadverket i Linköping.*
- *15 dygns mätning som 5-minutersmedelvärden.*
- *3897 registreringar för 23 direktmätta driftsvariabler (när avvikare har plockats bort, ca 7% av provtiden)*

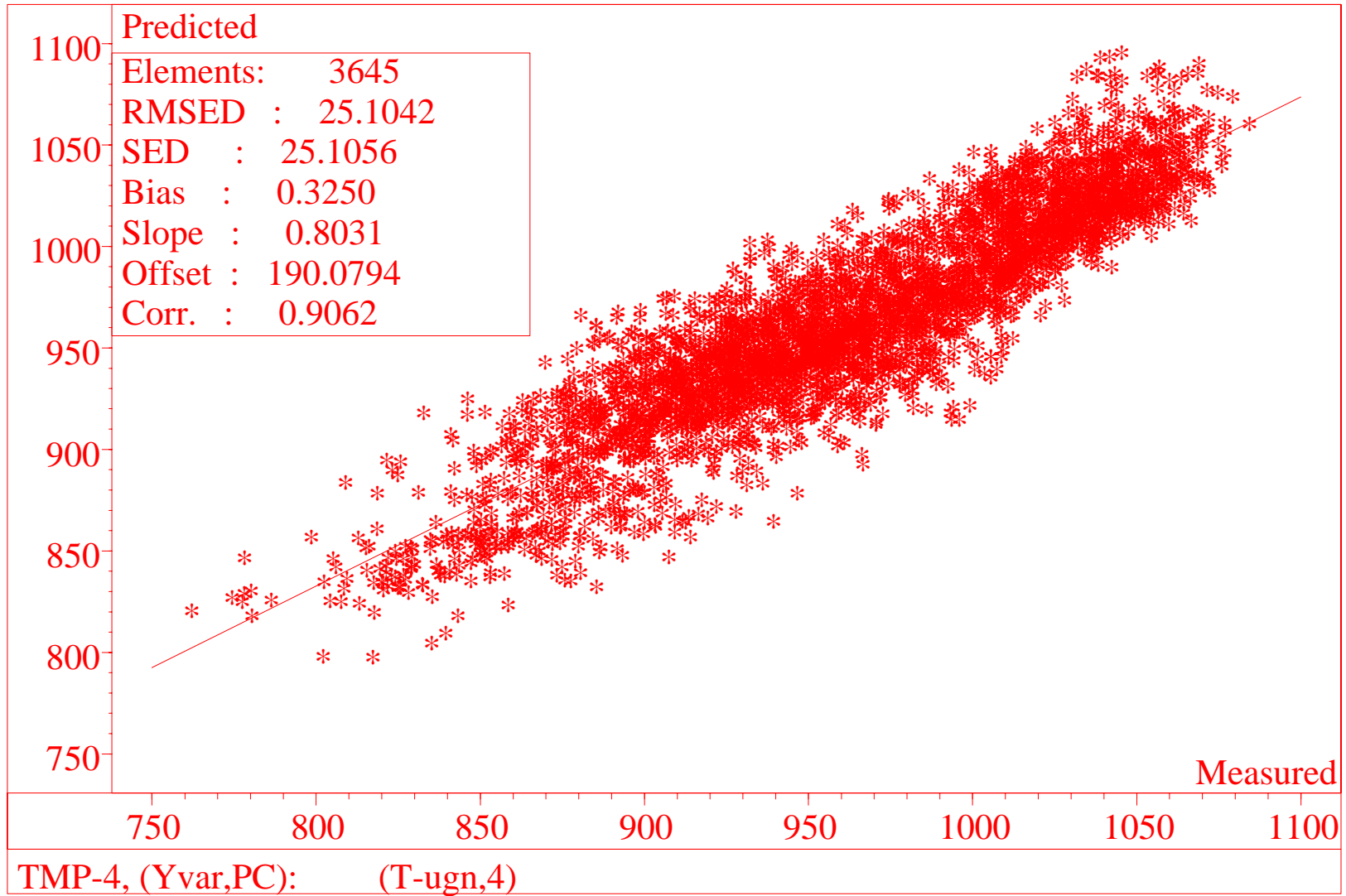
Testvariabler

- *Ugnstemperatur.*
- *O₂-halt.*
- *NO_x-halt.*

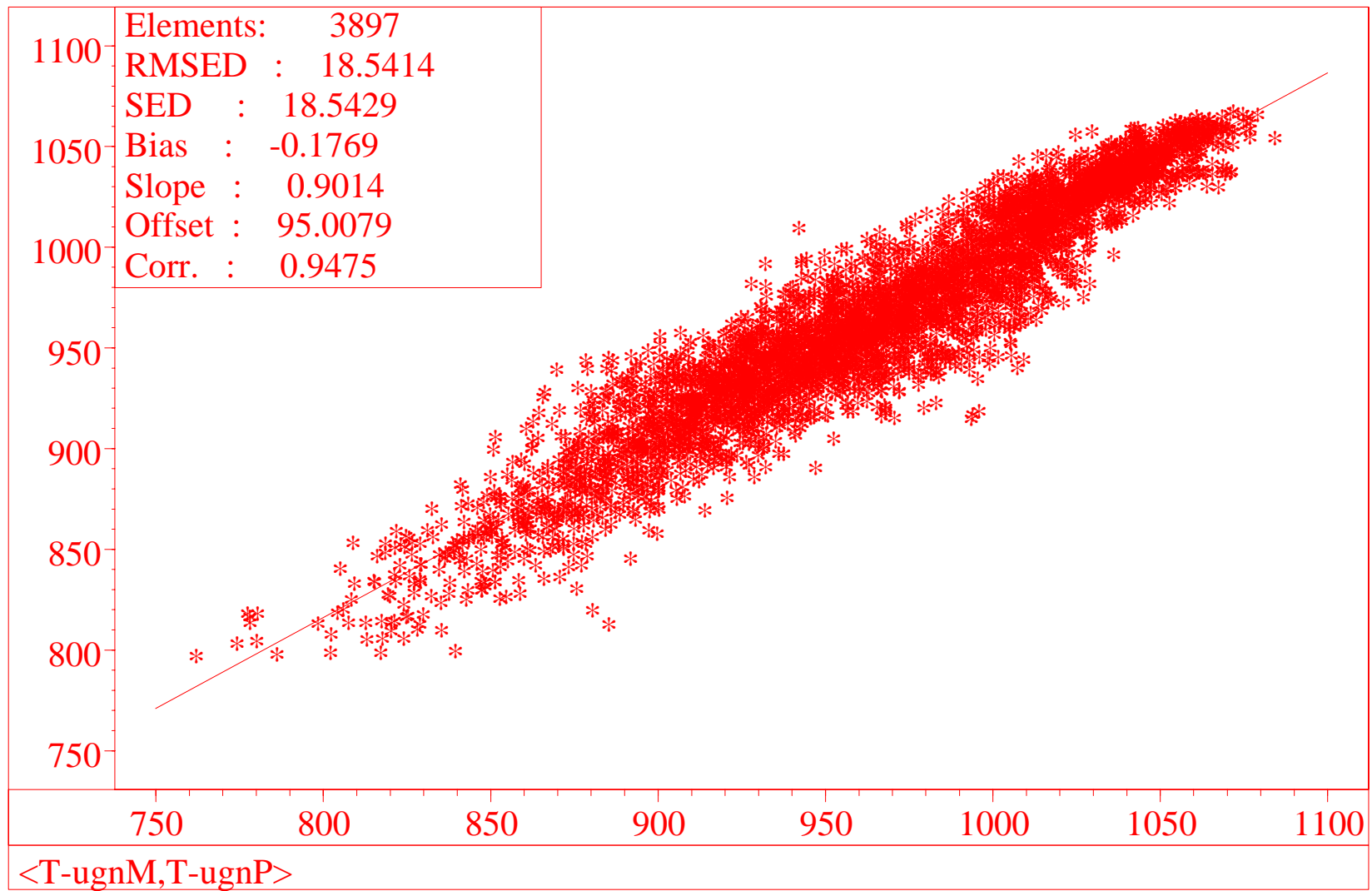
Ugnstemperatur

- *PLSR1-modell, med 4 latent variabler, förklarar 81% av variansen.*
- *Neurala nätverksmodell (feed-forward), med 5 noder i det dolda lagret, förklarar 90% av variansen.*

Bergström & Öberg



Bergström & Öberg



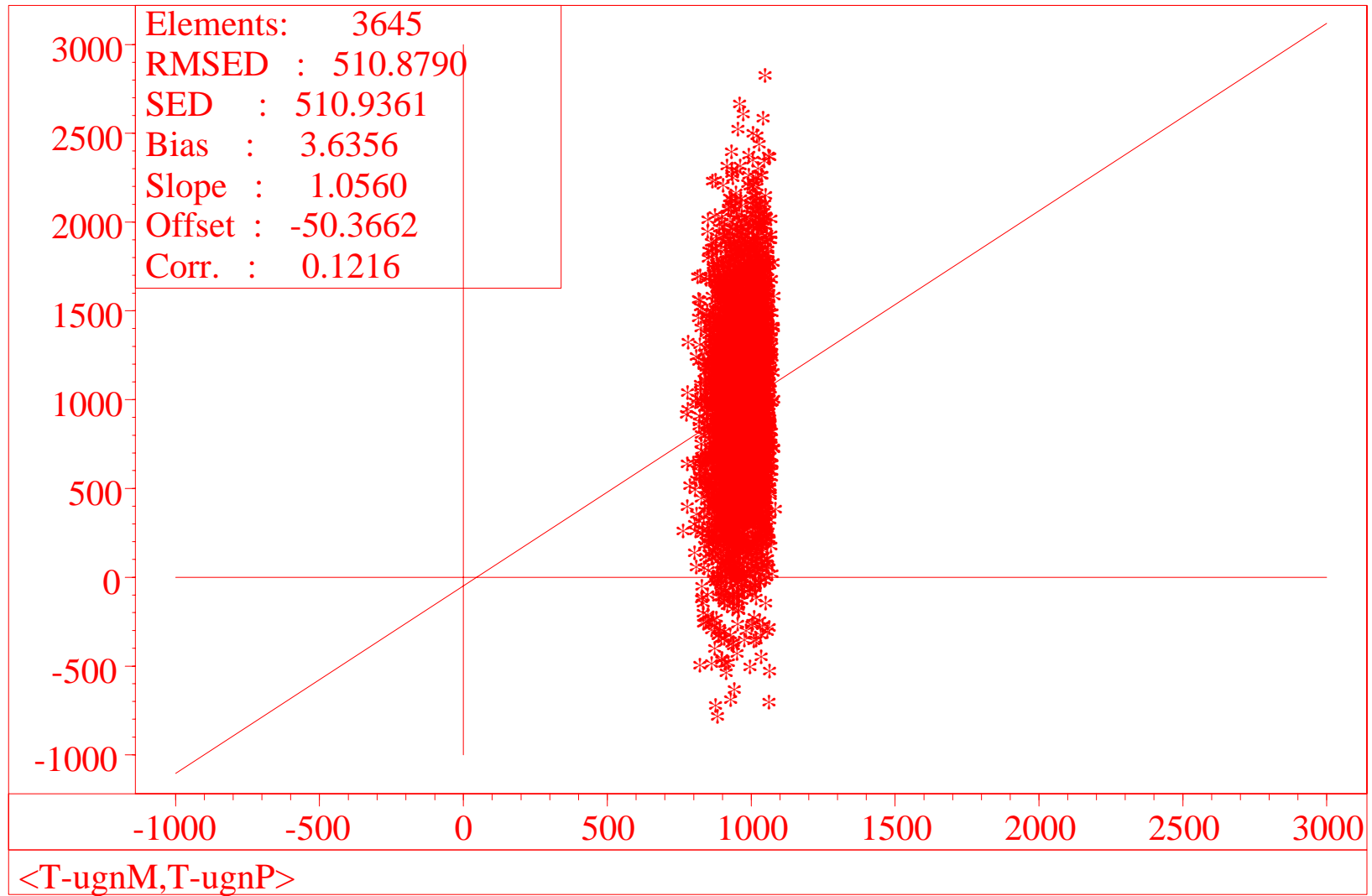
Multivariat kontroll av temperaturgivaren

- *Möjlig med både PLSR1- och neural nätmodeller. Standardavvikelsen för residualerna är på nivån 20-25 grader, d v s ung. 10% av variationsområdet för kalibreringsdata.*
- *Både ökad brusnivå och systematiska fel kan detekteras.*

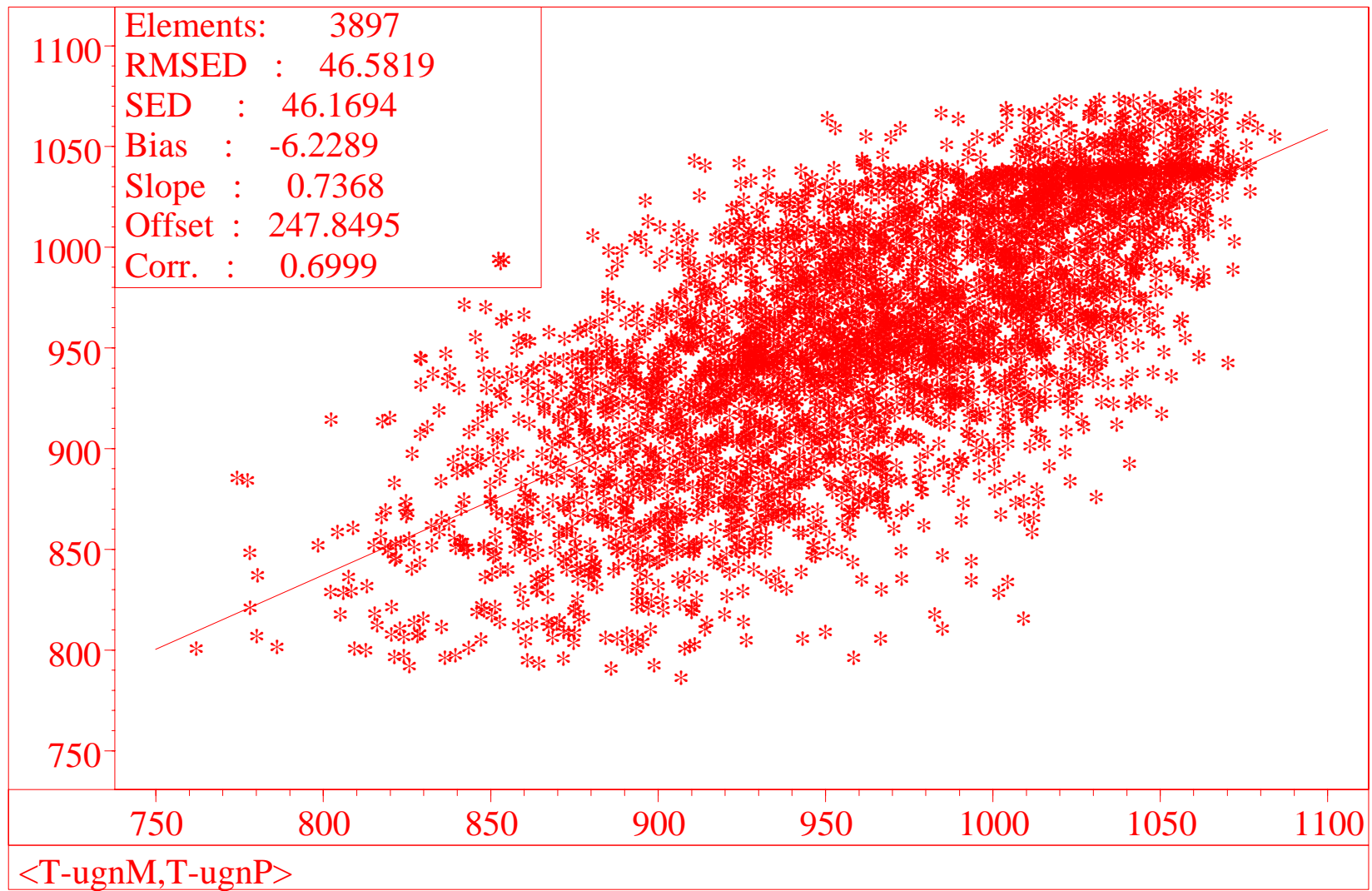
Känslighet

- *Ska prediktionsmodellerna kunna användas praktiskt utan alltför frekvent rekalibrering är tålighet för störningar väsentlig.*
- *Känsligheten undersöktes med olika simuleringar, dels med ett kraftigt brus över alla ingångsvariablerna (5% proportionellt) dels med en kraftig systematisk avvikelse i en annan temperaturmätning (200 grader).*

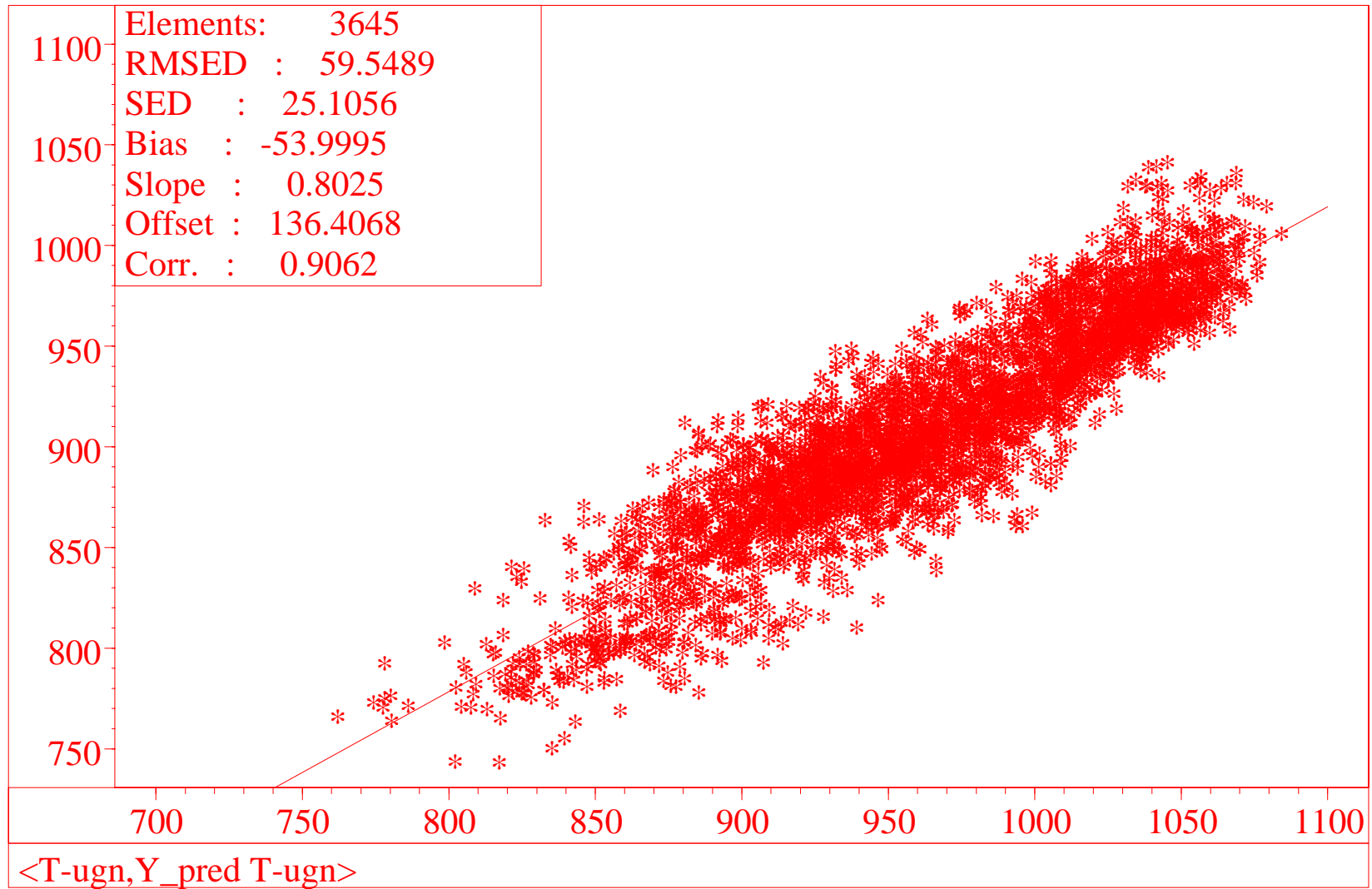
Bergström & Öberg



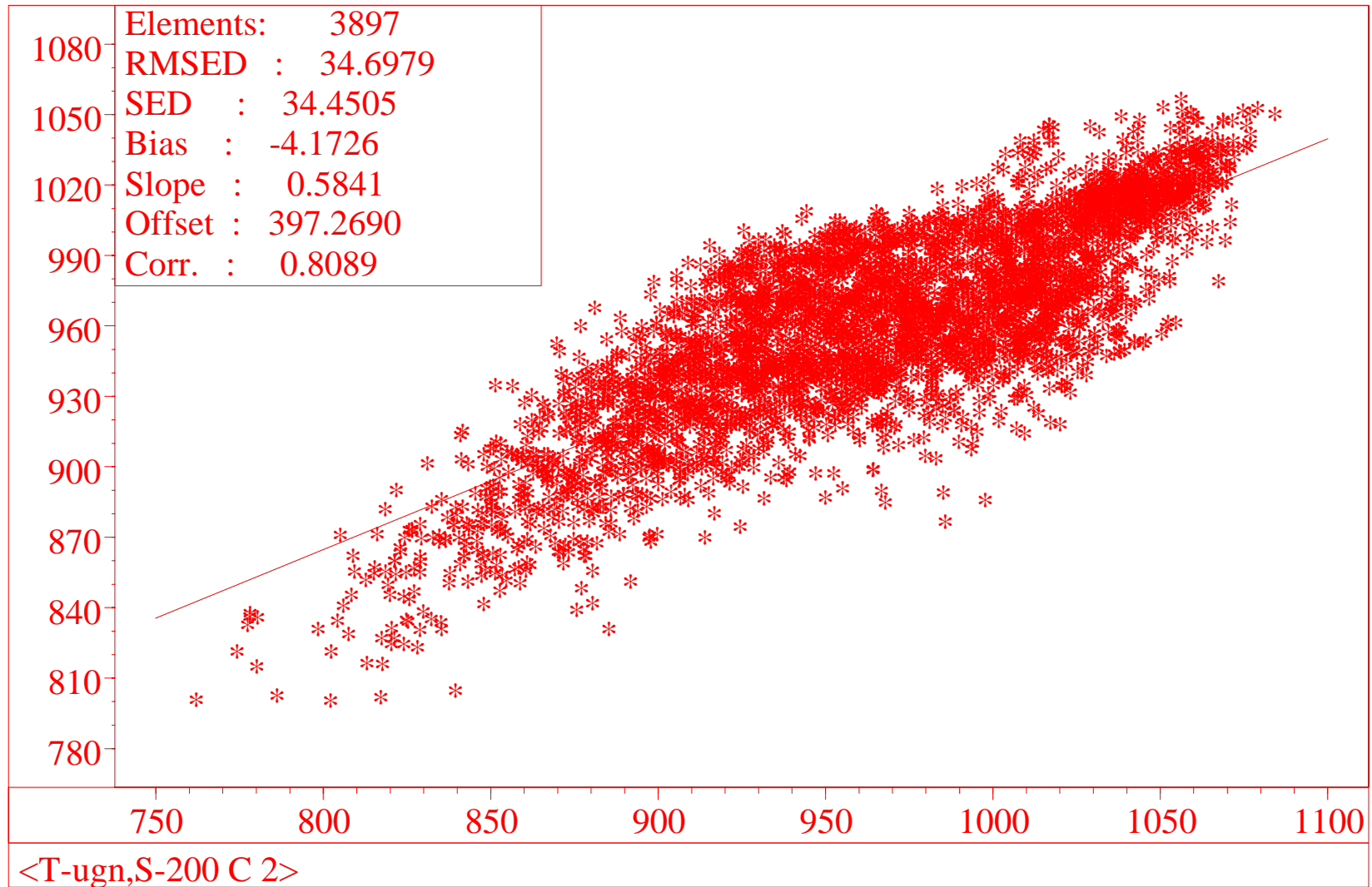
Bergström & Öberg



Bergström & Öberg



Bergström & Öberg



Praktisk tillämpbarhet

- *En PLSR1-modell riskerar alltså att bli obrukbar vid både slumpmässiga och systematiska störningar i mätningen av ingående variabler.*
- *Neurala nät är lika robusta som de beskrivs i litteraturen. Är då dessa det enda alternativet?*

Robust PLS-modell

- *Makro-systemet i **The Unscrambler**TM (DOS-versionen) i kombination med de mångsidiga beräkningsfunktionerna ger goda möjligheter att utveckla egna kalibreringsrutiner, med standardmetoderna som bas.*
- *Genom en kombination av olika transformationer och signalfiltrering går det att åstadkomma robusta PLS-modeller.*

Jämförelse

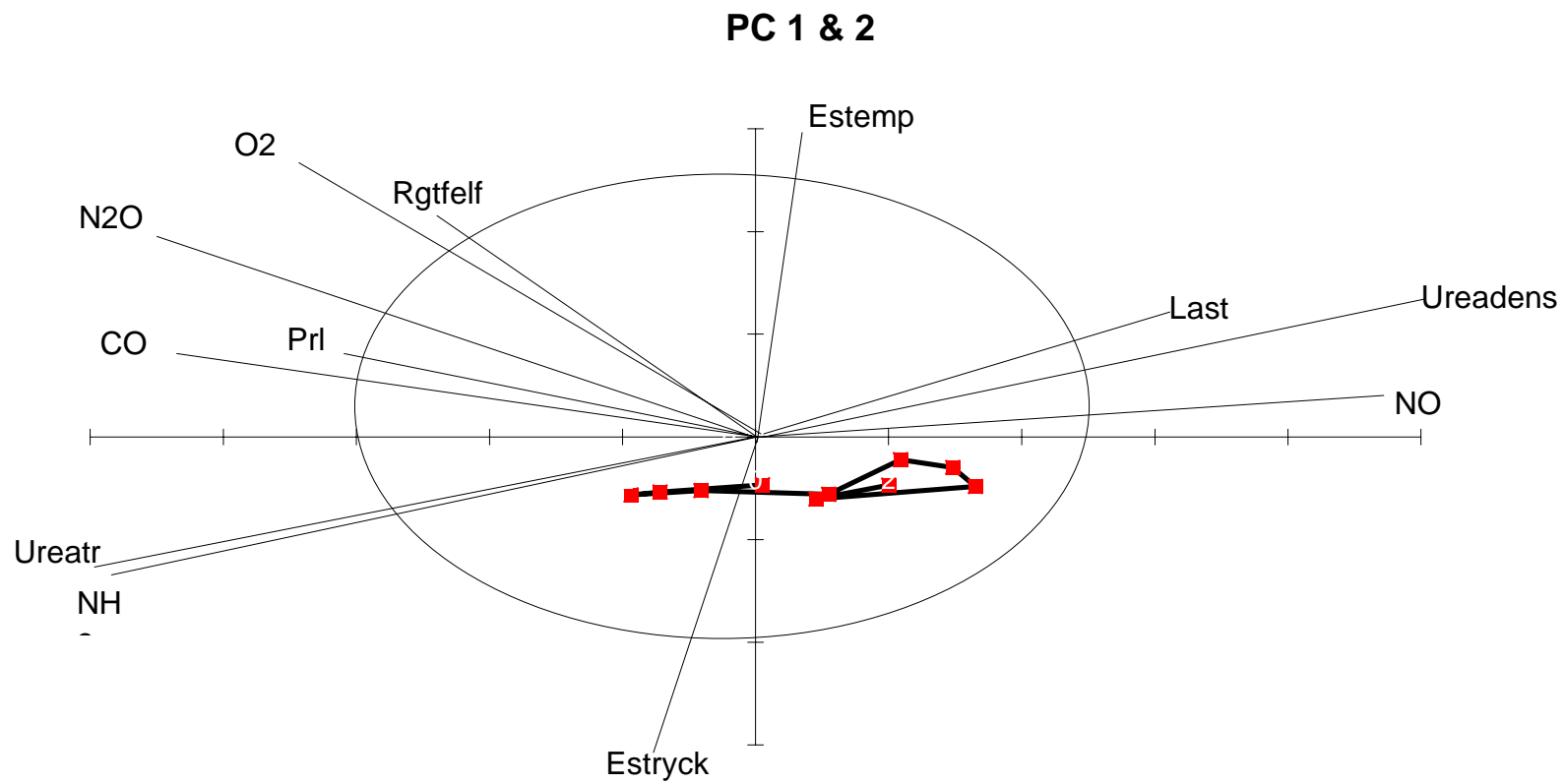
- Vanlig PLS-modell: $SED_{norm}=25.1$,
 $SED_{brus}=511$ och $SED_{syst}=25.1$ samt
 $Bias_{syst}=-54.0$.
- NN-modell: $SED_{norm}=18.5$, $SED_{brus}=46.2$ och
 $SED_{syst}=34.4$ samt $Bias_{syst}=-4.17$.
- R-PLS-modell: $SED_{norm}=21.0$, $SED_{brus}=33.5$
och $SED_{syst}=31.7$ samt $Bias_{syst}=-8.05$.

Att kommunicera resultat

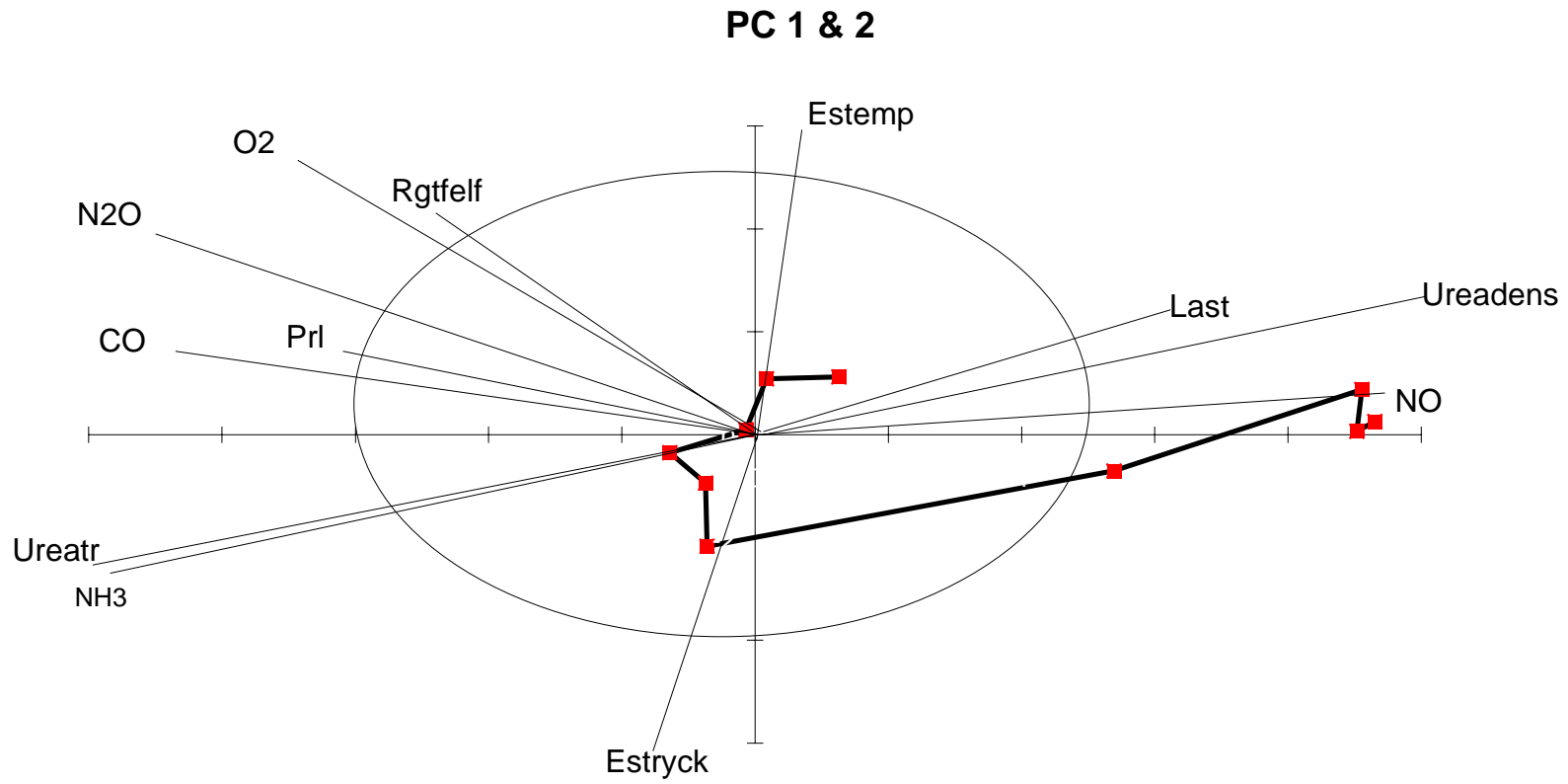
- grafisk presentation

- *Finns många alternativ, alltifrån de som inspireras av traditionella styrdiagram till de som baseras på olika modellparametrar.*
- *Några exempel!*

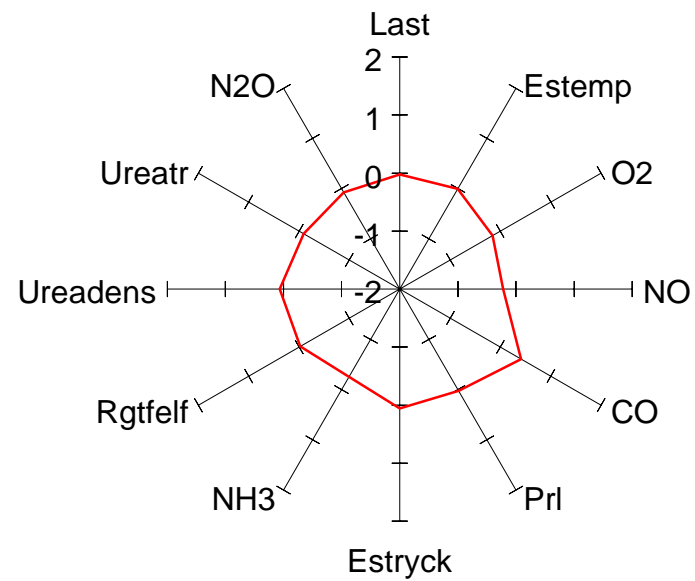
Bergström & Öberg



Bergström & Öberg

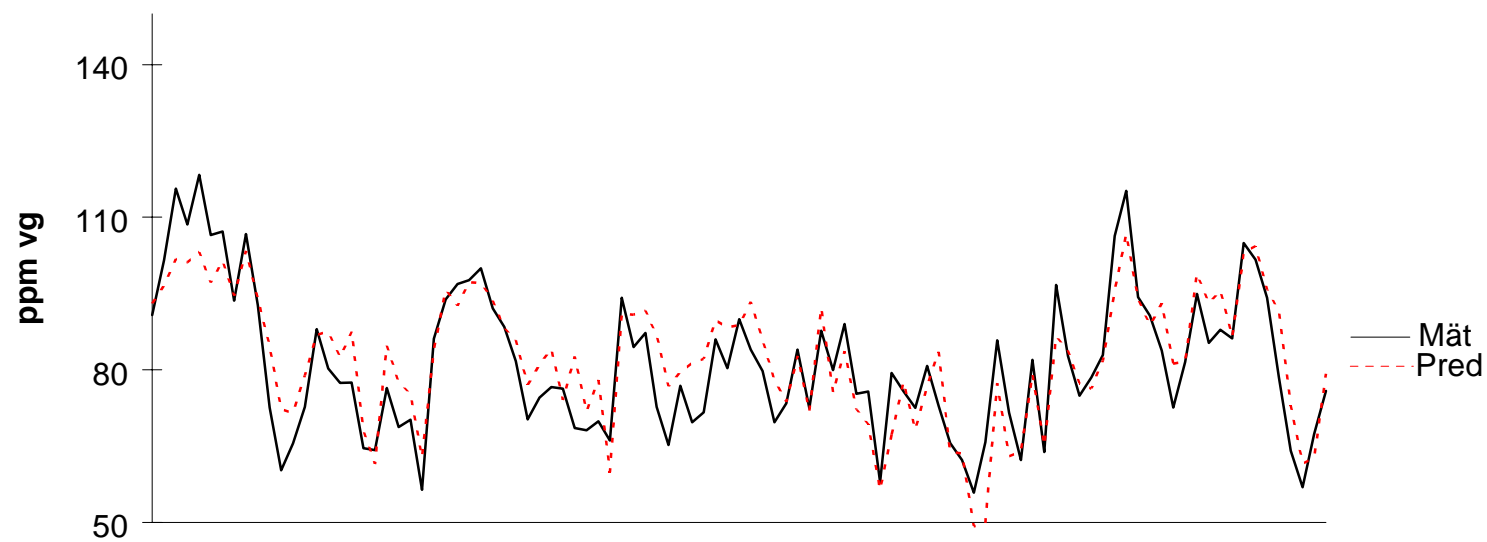


Std. residualer



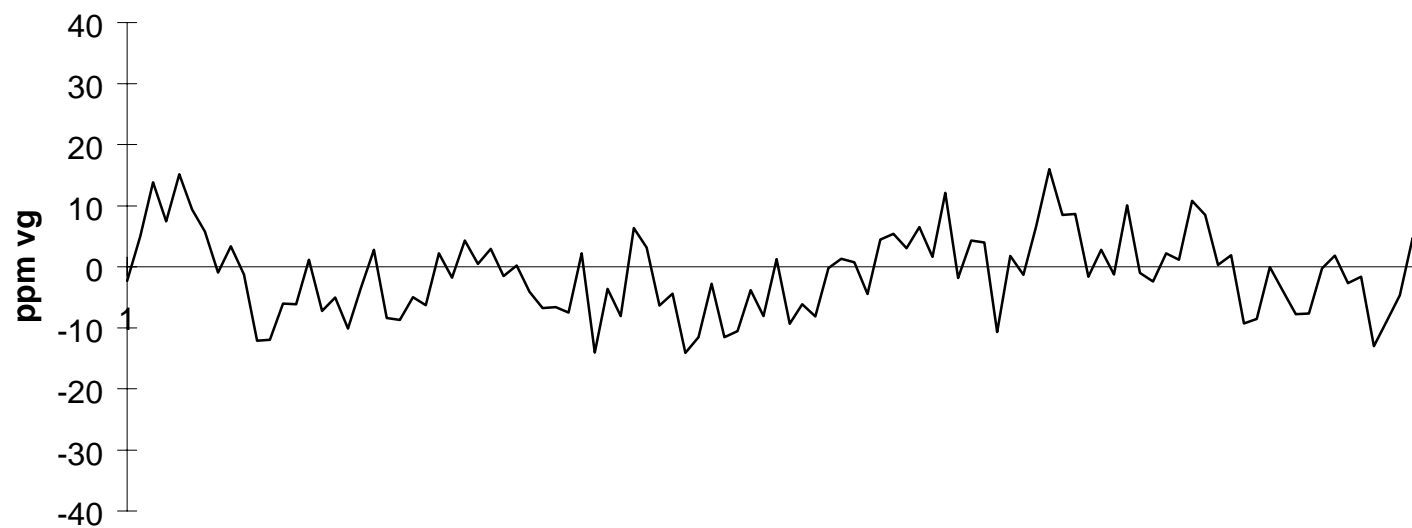
Bergström & Öberg

Pred. & mät



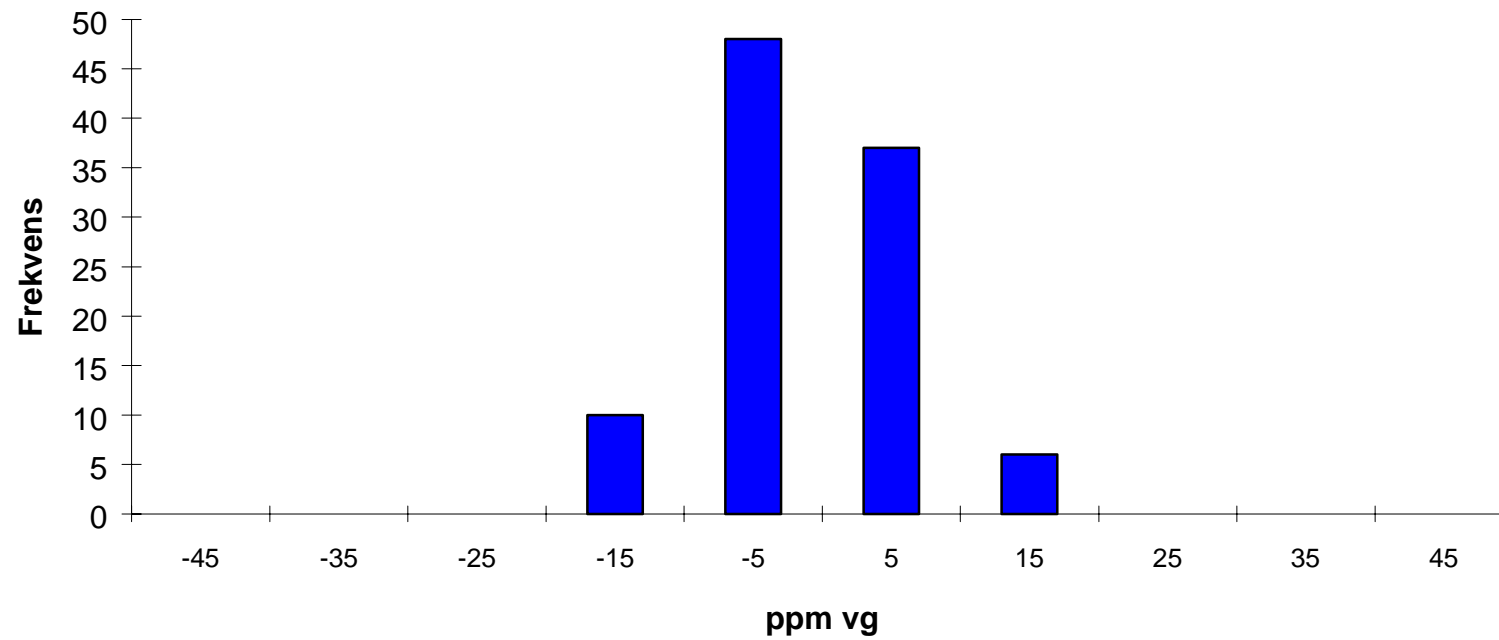
Reg.

Residualer NO



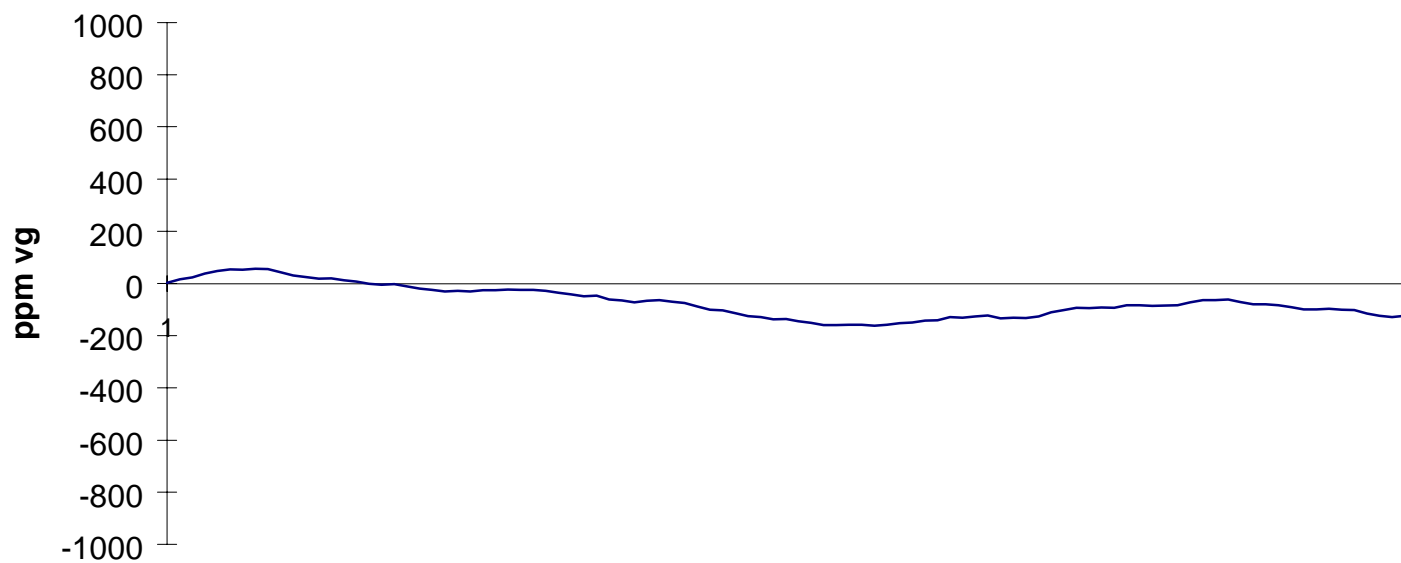
Reg.

Frekvenshistogram. Residualer NO



Bergström & Öberg

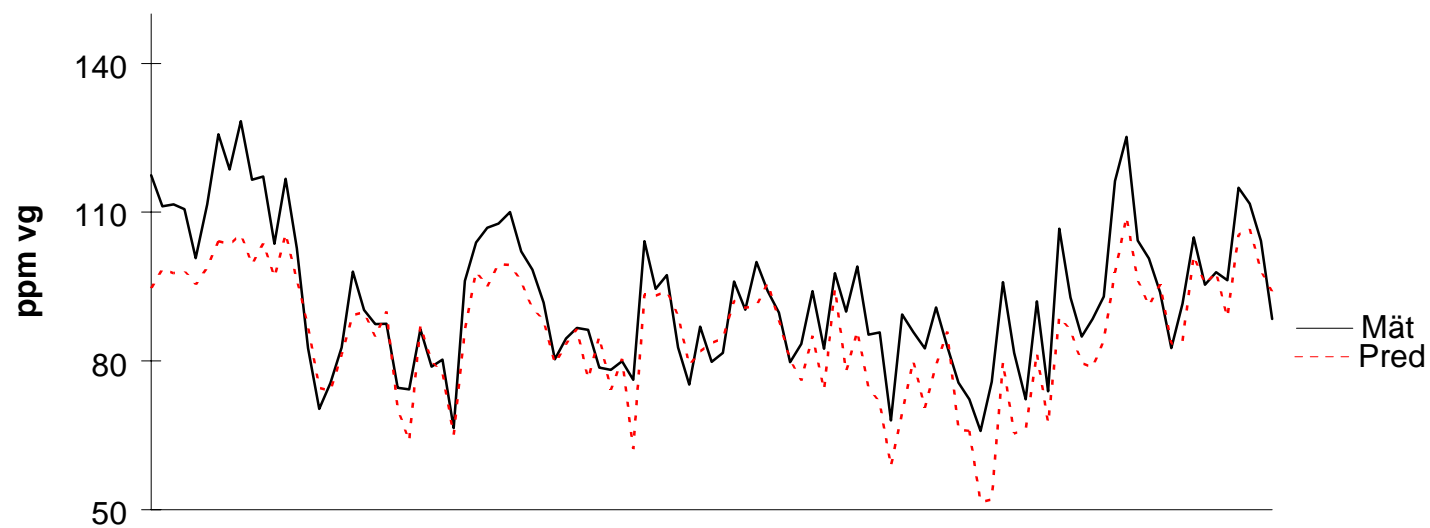
CUSUM NO



Reg.

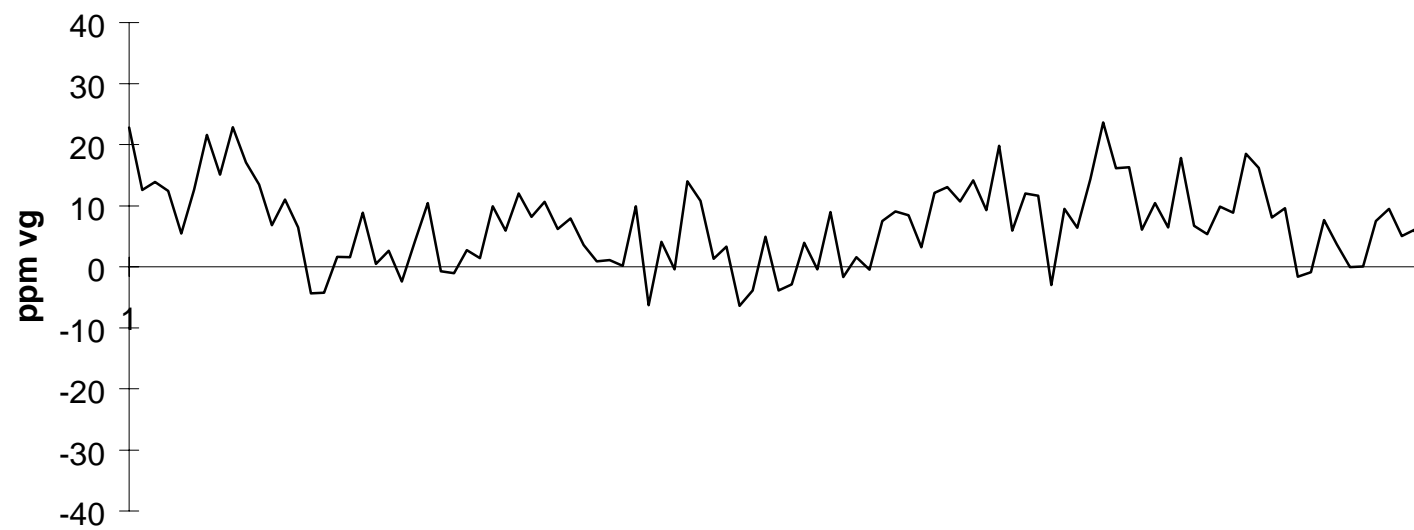
Bergström & Öberg

Pred. & mät



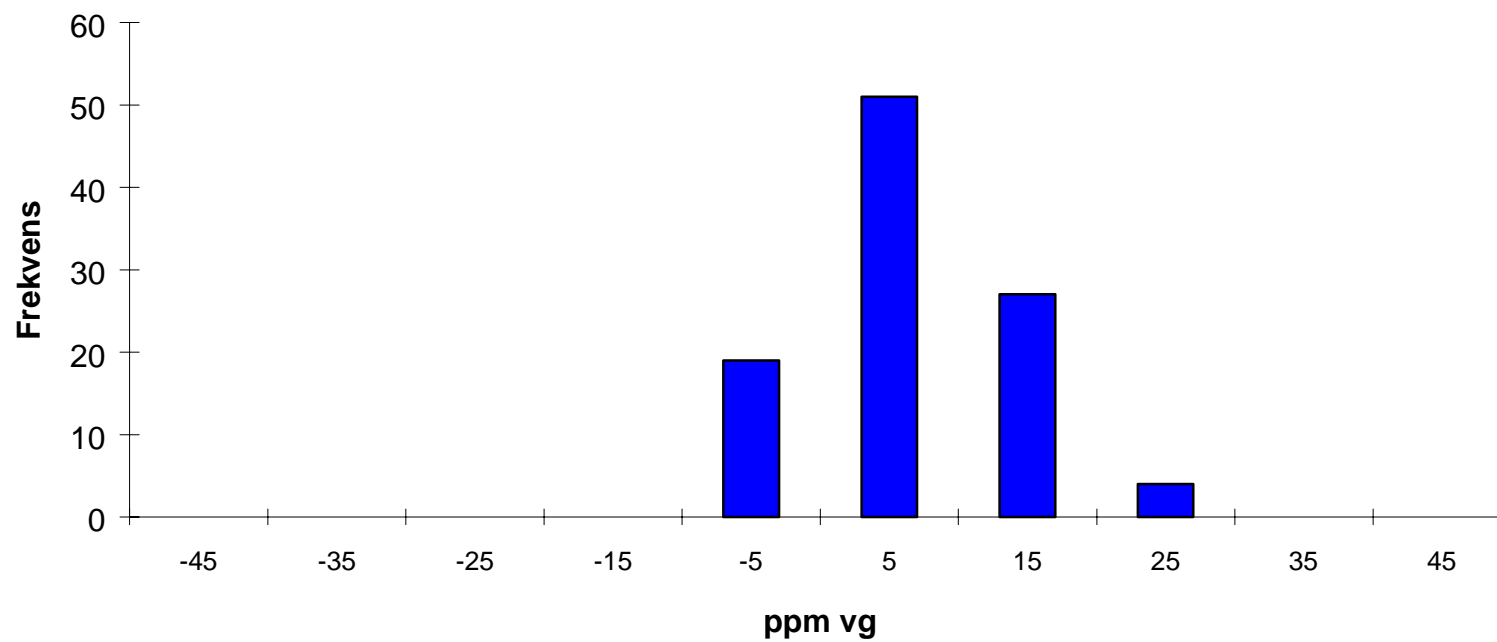
Reg.

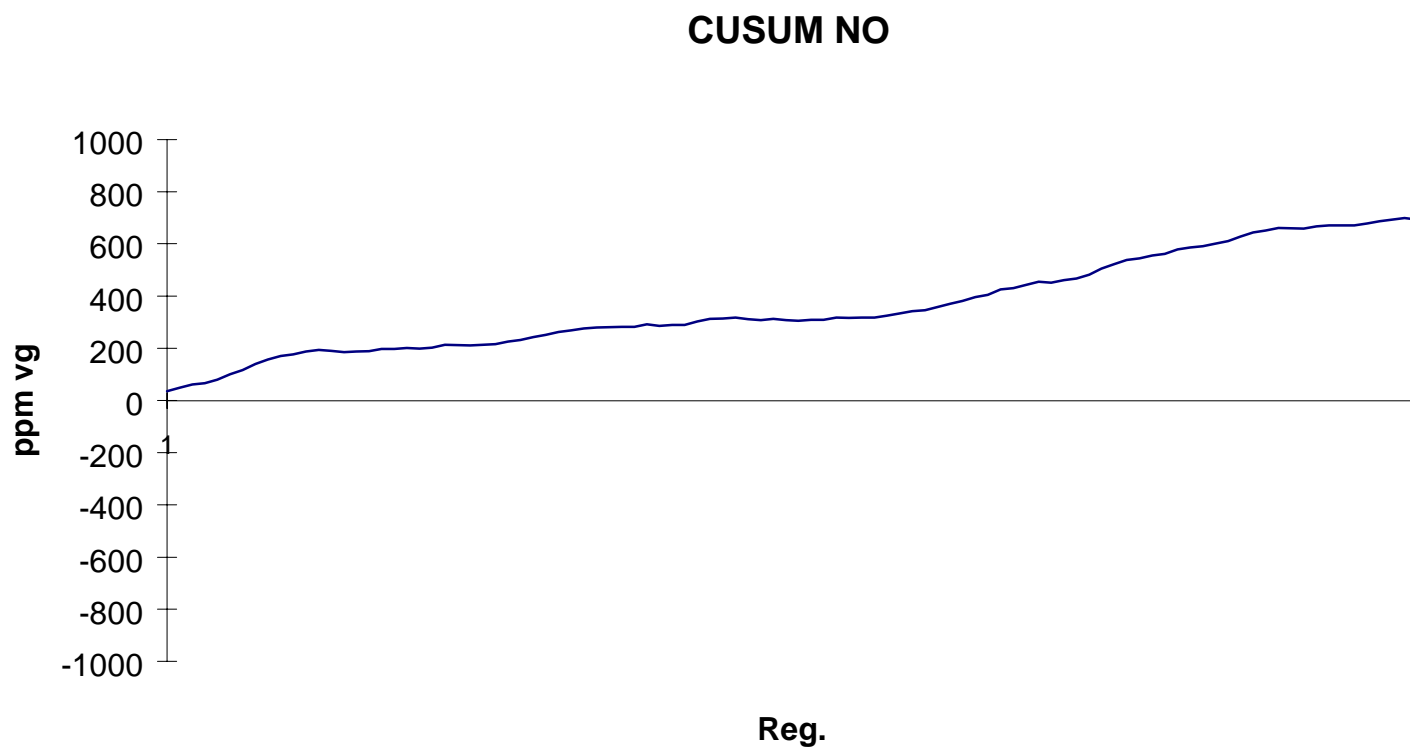
Residualer NO



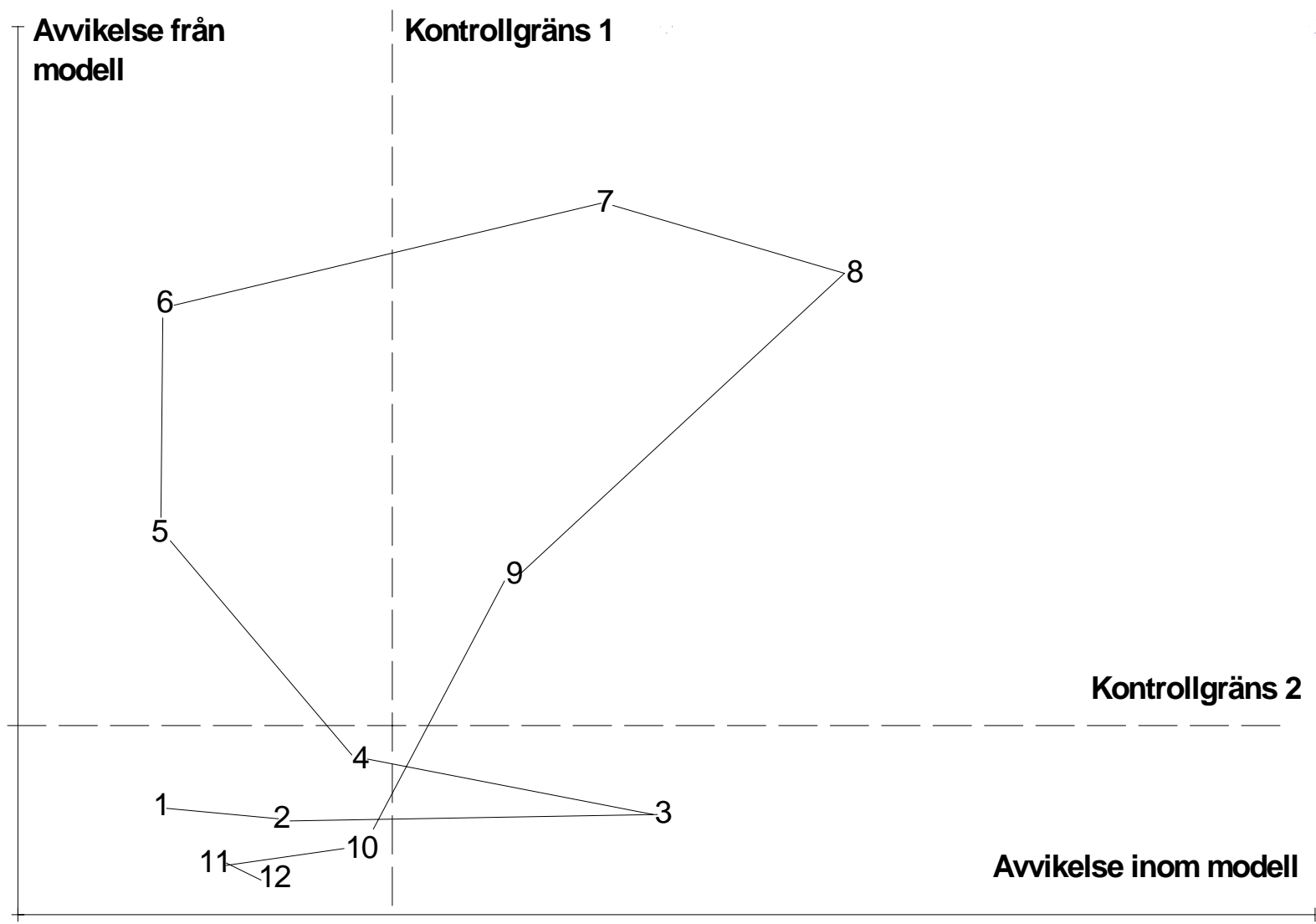
Reg.

Frekvenshistogram. Residualer NO

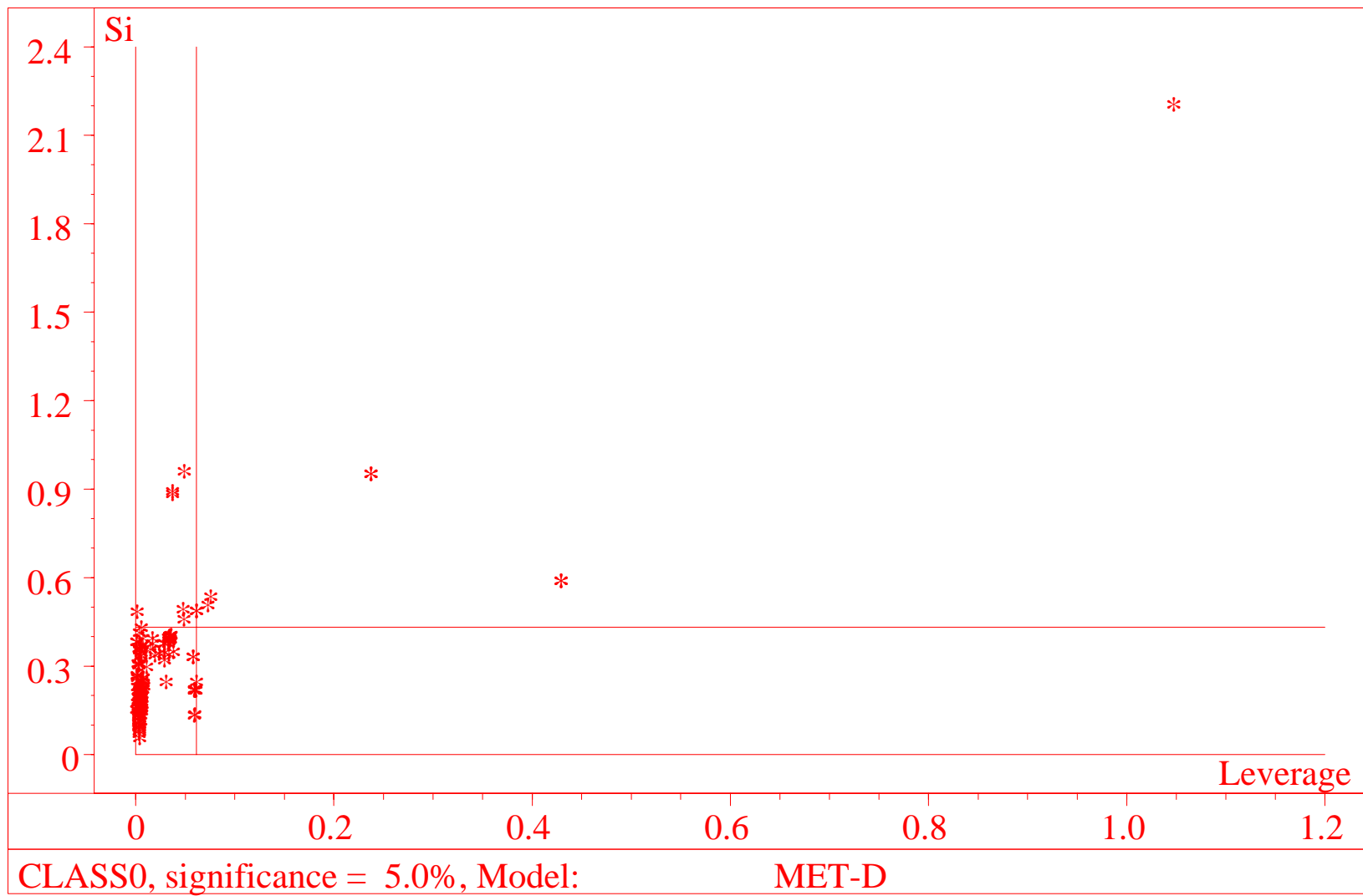




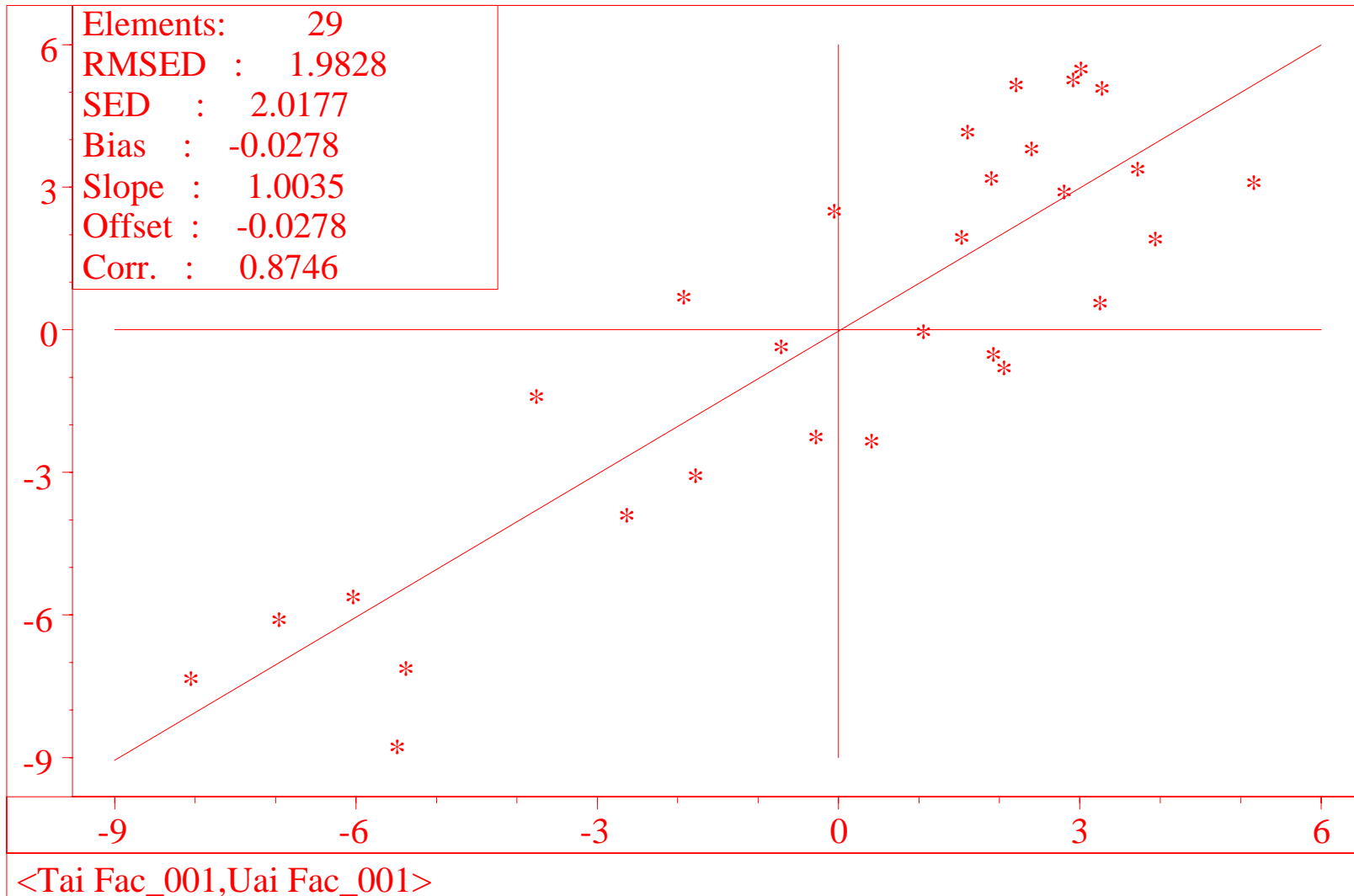
Bergström & Öberg



Bergström & Öberg



Bergström & Öberg



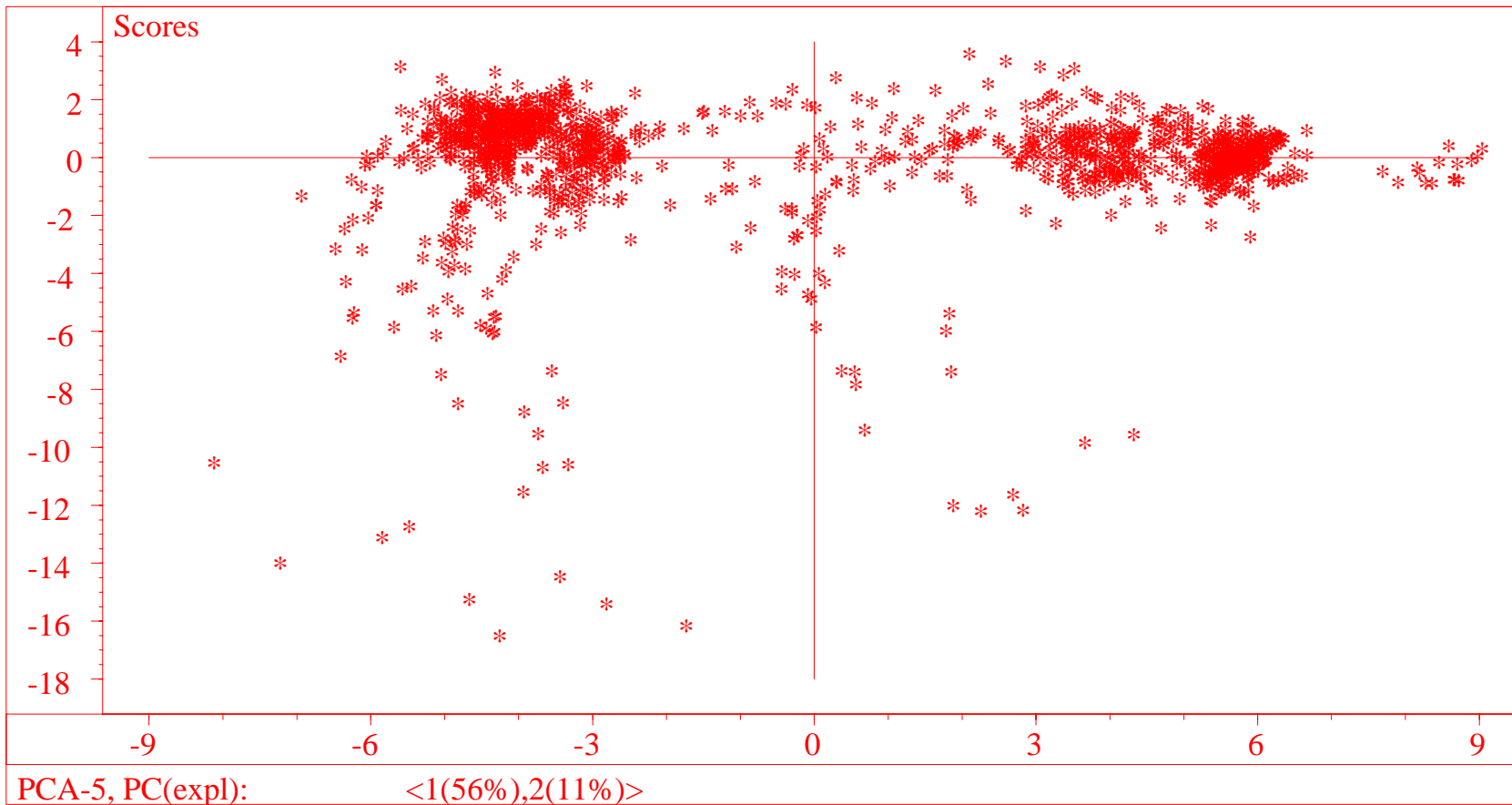
Utvecklingsprojekt och applikationer i full-skala

- *Processövervakning och instrumentkontroll i en verkstadsteknisk applikation.*
- *Detektion av givarfel i en destillationskolonn.*
- *Prediktion av utsläpp av kväveoxider (NO_x) från förbränningsanläggningar (PEMS).*
- *Processtyrning av en NO_x -reduktionsanläggning.*

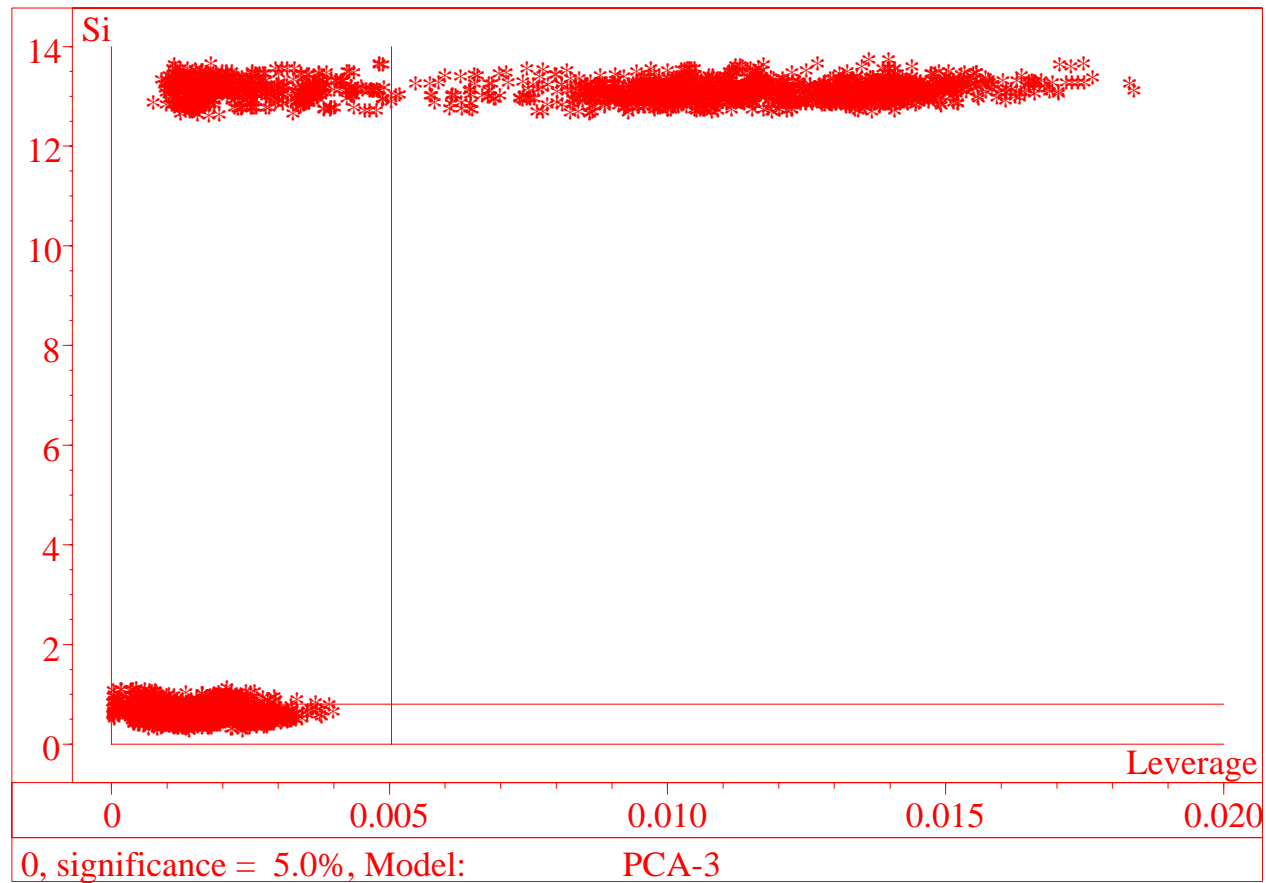
Verkstadsteknisk tillämpning

- *34 variabler, fysiskt relaterade till varandra.*
- *2200 registreringar, 255 timmars normaldrift.*

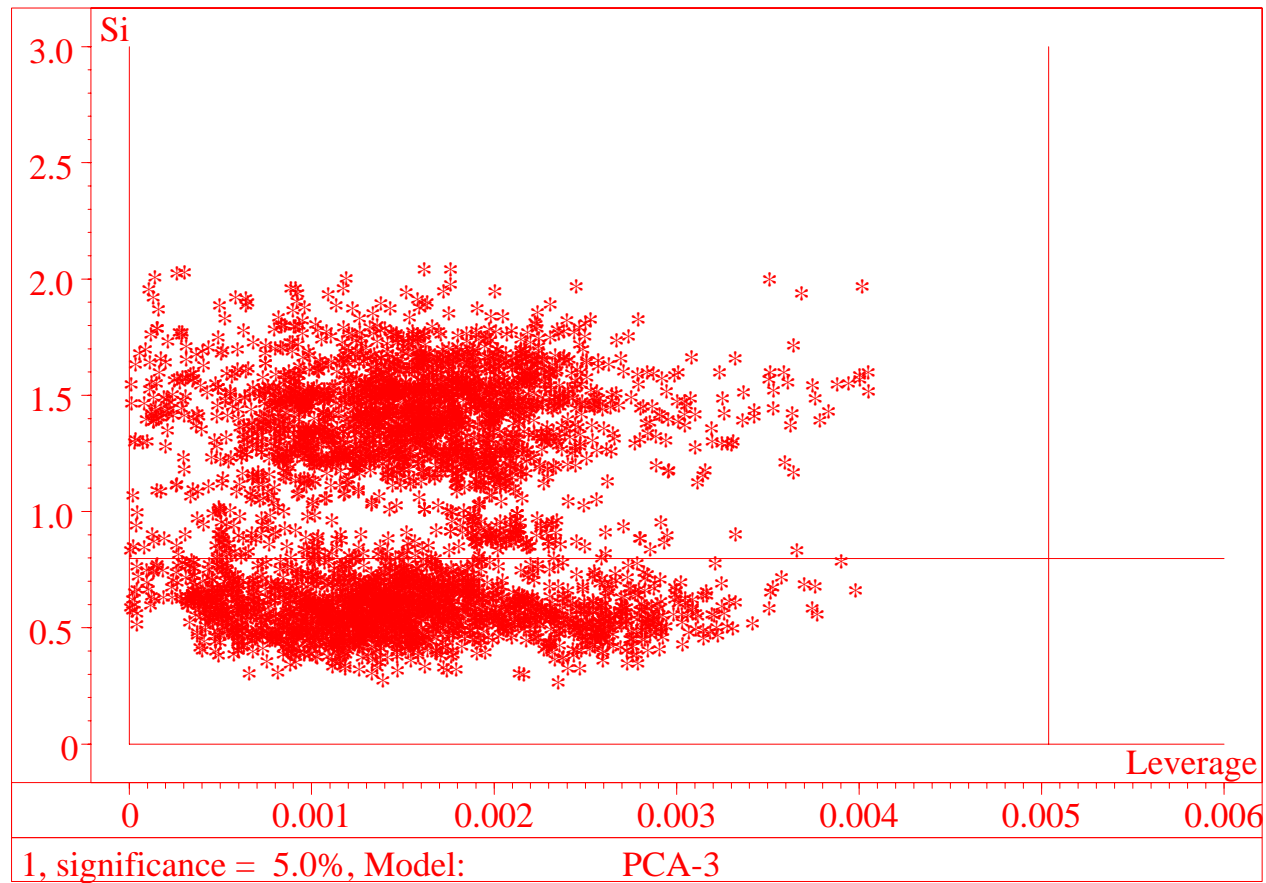
Två processtillstånd



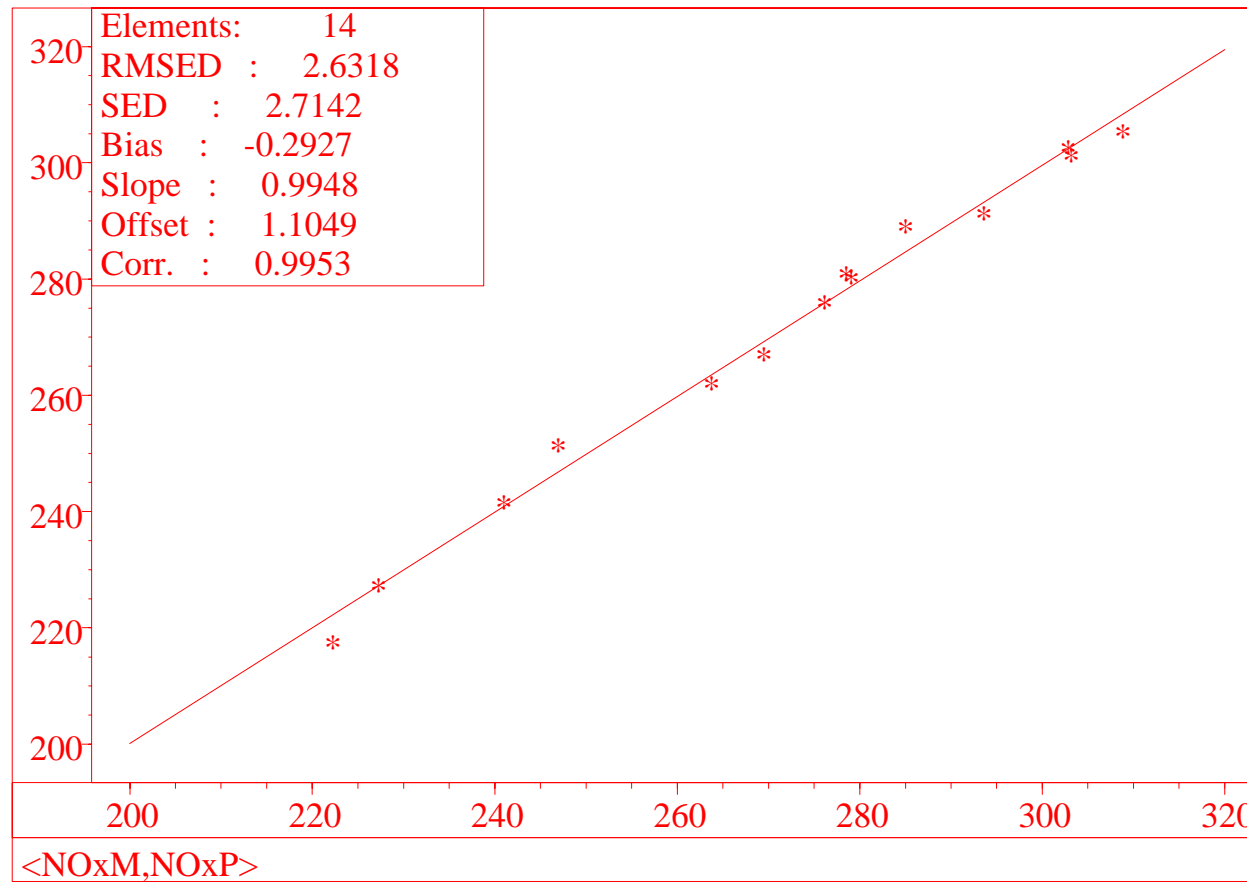
Simulerad störning



Simulerad störning 10%



Beräkning av utsläpp av kväveoxider (NO_x) med PLS-modell



PEMS-modeller - kvalitetskrav

- *Föreslagna föreskrifter från Naturvårdsverket öppnar för möjligheten att indirekt bestämma NO_x-utsläpp genom modellberäkningar.*
- *Bergström & Öberg arbetar på uppdrag av Värmeforsk och Naturvårdsverket med utformningen av kvalitetskraven.*

Direkt processtyrning med en multivariat modell

- *Uppsala Energi AB. SNCR-deNO_x-anläggning i avfallsförbränningsanläggningen, block 4.*
- *Full-skale prov med urea injektion styrd med en robust PCA-modell (baserad på 10000 registreringar av 19 driftsvariabler).*

MULTICON

- *Utvecklingsprojekt i samarbete mellan CAMO A/S och Bergström & Öberg.*
- *EUREKA-status i slutet av september 1995.*
- *Definitionsfasen delfinansieras av NUTEK och Norges Forskningsråd.*

Målsättning

- *Att utveckla metodik och mjukvara för användning av multivariata tekniker online i processer och för kvalitetsstyrning.*
- *Ett PC-baserat system som förser operatören med innehållsrik grafisk överblick av processen.*

Definitionsfasen (dec 95 - juni 96)

- *Utgår från tidigare genomförda utvecklingsprojekt.*
- *"Method development prestudies":*
 - *Metodik för grafisk presentation (ev. fältprov).*
 - *Förbättrad/utvecklad beräkningsmetodik (icke-linjära samband, brus och multipla givarfel).*
- *"Functional requirement specification".*
- *"Business plan", "project plan".*

Slutsatser

- *Antalet multivariata on-line- och kvalitets-tillämpningar ökar snabbt.*
- *Fördelar och möjligheter är uppenbara.*
- *Om vi ska lyckas beror på hur väl vi kan hantera de tekniska problem som jag beskrev.*

***Själv är jag
optimist!!***

