



# LUND UNIVERSITY

## Bestämning av tryckfallsfunktioner för T-stycke i T-system med mätdata

Jensen, Lars

2007

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Jensen, L. (2007). *Bestämning av tryckfallsfunktioner för T-stycke i T-system med mätdata*. (TVIT; Vol. TVIT-7020). Avd Installationsteknik, LTH, Lunds universitet.

*Total number of authors:*

1

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00

# Bestämning av tryckfallsfunktioner för T-stycke i T-system med mätdata

Uppdrag för Lindab Ventilation AB

*Lars Jensen*

---

Avdelningen för installationsteknik  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet, 2007  
Rapport TVIT--07/7020



## Lunds Universitet

Lunds Universitet, med nio fakulteter samt ett antal forskningscentra och specialhögskolor, är Skandinaviens största enhet för forskning och högre utbildning. Huvuddelen av universitetet ligger i Lund, som har 100 400 invånare. En del forsknings- och utbildningsinstitutioner är dock belägna i Malmö, Helsingborg och Ljungbyhed. Lunds Universitet grundades 1666 och har idag totalt 6 000 anställda och 41 000 studerande som deltar i ett 90-tal utbildningsprogram och ca 1000 fristående kurser erbjudna av 88 institutioner.

## Avdelningen för installationsteknik

Avdelningen för Installationsteknik tillhör institutionen för Bygg- och miljöteknologi på Lunds Tekniska Högskola, som utgör den tekniska fakulteten vid Lunds Universitet. Installationsteknik omfattar installationernas funktion vid påverkan av människor, verksamhet, byggnad och klimat. Forskningen har en systemanalytisk och metodutvecklande inriktning med syfte att utforma energieffektiva och funktionssäkra installationssystem och byggnader som ger bra inneklimat.

Nuvarande forskning innefattar bl a utveckling av metoder för utveckling av beräkningsmetoder för godtyckliga flödessystem, konvertering av direktelvärmda hus till alternativa värmesystem, vädring och ventilation i skolor, system för brandsäkerhet, alternativa sätt att förhindra rökspredning vid brand, installationernas belastning på yttre miljön, att betrakta byggnad och installationer som ett byggnadstekniskt system, analysera och beräkna inneklimatet i olika typer av byggnader, effekter av brukarnas beteende för energianvändning, reglering av golvvärmsystem, bestämning av luftflöden i byggnader med hjälp av spårgasmetod. Vi utvecklar även användbara projekteringsverktyg för energi och inomhusklimat, system för individuell energimätning i flerbostadshus samt olika analysverktyg för optimering av ventilationsanläggningar hos industrin.

# Bestämning av tryckfallsfunktioner för T-stycke i T-system med mätdata

Uppdrag för Lindab Ventilation AB

*Lars Jensen*

© Lars Jensen, 2007

ISRN LUTVDG/TVIT--07/7020--SE(16)

Avdelningen för installationsteknik  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
22100 LUND

## Innehållsförteckning

1	Problemställning, modell, metod och slutord	5
2	Kontroll av mätdata och urval	7
3	Bestämning av tryckfallsfunktion för genomlopp	9
4	Bestämning av tryckfallsfunktion för avstick	13



# 1 Problemställning, modell, metod och slutord

Syftet med arbetsrapport är att beskriva bestämning av tryckfallsfunktioner för T-stycke med mätdata för tilluftsfallet med divergerande flöden för fallen med rakt genomlopp och avstick. Det tredje fallet med fördelning ingår inte. Arbetet görs på uppdrag av Lindab Ventilation AB med mätdata framtagna av Lindab Ventilation AB.

Problemställningen är att finna ett beräkningsuttryck för tryckfallet för genomlopp och ett beräkningsuttryck för tryckfallet för avstick, vilka som kan användas för olika huvuddiametrar kombinerat med lika eller mindre grendiametrar och för godtyckliga flöden. Dessa två beräkningsuttryck skall ingå i ett datorprogram för tryckfallsberäkningar ventilationskanalsystem.

Modellen bygger på att beskriva tryckfall för genomlopp och för avstick med enkla linjära kombinationer av diametrar och hastigheter upphöjs till olika gradtal. De beskrivande variablerna, som har använts, anges nedan med en vald numrering och även de ingående sorterna anges. Alla ingående variabler förutsätt att vara positiva.

beteckning	beteckning	variabel	sort
u <sub>1</sub>	konstant	konstant	-
u <sub>2</sub>	diameter 1	diameter efter genomlopp	mm
u <sub>3</sub>	diameter 3	diameter i avstick	mm
u <sub>4</sub>	flöde 1	flöde efter genomlopp	l/s
u <sub>5</sub>	flöde 3	flöde i avstick	l/s
u <sub>6</sub>	hastighet 1	hastighet efter genomlopp	m/s
u <sub>7</sub>	hastighet 2	hastighet före genomlopp	m/s
u <sub>8</sub>	hastighet 3	hastighet i avstick	m/s

En kommentar är att det finns någon anledning att ta med alla de tre flödena, eftersom huvudflödet är lika med summan av de två övriga.

Åtta beskrivande variabler har valts ut enligt ovan och alla kombinationer tas fram med gradtal två. Detta ger total 36 kombinationer, vilka fås som summan av  $8+7+6+5+4+3+2+1$ , där varje siffra anger antalet kombinationer mellan en beskrivande variabel och alla andra med högre nummer. De första åtta kombinationerna är de beskrivande variabler i följd och därefter följer variabel 2 multiplicerad med variabel 2 till 8. Den sista kombinationen är variabel 8 i kvadrat. Modell kan i det aktuella fallet även skrivas som följer:

$$\begin{aligned}
 y = & x_1 u_1 u_1 + x_2 u_1 u_2 + \dots + x_8 u_1 u_8 + \\
 & x_9 u_2 u_2 + x_{10} u_2 u_3 + \dots + x_{15} u_2 u_8 + \\
 & x_{16} u_3 u_3 + x_{17} u_3 u_4 + \dots + x_{21} u_3 u_8 + \\
 & x_{22} u_4 u_4 + x_{23} u_4 u_5 + \dots + x_{26} u_4 u_8 + \\
 & x_{27} u_5 u_5 + x_{28} u_5 u_6 + \dots + x_{30} u_5 u_8 + \\
 & x_{31} u_6 u_6 + x_{32} u_6 u_7 + x_{33} u_6 u_8 + \\
 & x_{34} u_7 u_7 + x_{35} u_7 u_8 + \\
 & x_{36} u_8 u_8
 \end{aligned}
 \tag{Pa} \tag{1.1}$$



Modellen (1.1) används både för att beräkna tryckfall för genomlopp och för avstick.

Mätdata kontrolleras först med enkla gränser och redovisas i avsnitt 2. Mer urval sker vid själva anpassning genom att ta bort det mätdata som har det största felet i anpassningen. Detta upprepas tjugo gånger och antalet data blir därför 594.

Fallet med genomlopp redovisas i avsnitt 3. Modellparametrarna redovisas inte här utan översänds separat med en excel-fil.

Fallet med avstick redovisas i avsnitt 4. Modellparametrarna redovisas inte här utan översänds separat med en excel-fil.

Andra modeller med högre gradtal än två har testats, men modellen enligt (1.1) ger ett bättre resultat när modellfelet ställs mot antalet modellparametrar.

Stegvis reduktion av modeller med högre gradtal har också testats. Metoden innebär att den variabelkombination eller modellterm som påverkar modellfelet minst utesluts och motsvarande modellparameter sätts lika med noll. En ny sökning upprepas med de återstående variabelkombinationerna och så vidare. Denna uteslutningsmetod behöver inte leda till det rätt resultat utan egentligen bör alla möjliga kombinationer med olika variabelkombinationer beräknas och därefter jämföras inbördes. Detta är praktiskt sett omöjligt och med  $n$  variabelkombinationer skall  $2^n$  kombinationer räknas igenom.

Denna rapport har en nästan identisk tvilling TVIT—7011 som behandlar fallet med T-stycke i F-system. Det enda som skiljer är mätdata och bearbetningen och redovisningen är den samma.

Det finns en tredje rapport TVIT—7019 som också behandlar T-stycken och äldre tryckfallsfunktioner. Rapporten redovisar brister för övergångar mellan olika strömningssätt för ett T-stycke. Ett T-stycke kan ha fyra olika strömningssätt och de är samling, påstick, fördelning och avstick. Tryckfall vid övergångar mellan dessa fyra strömningssätt bör vara utan någon diskontinuitet i tryckfall.

Beräkning av flöden för ventilationssystem med godtyckliga kanalsystem med ett flertal T-stycken kan fallera, eftersom de numeriska lösningsmetoderna störs av diskontinuiteter i tryckfall vid övergång mellan olika strömningssätt.

Det finns därför ett behov för nya tryckfallsfunktioner som även beskriver övergångar mellan olika strömningssätt på rätt sätt utan diskontinuiteter i tryckfall.

Det som också saknas är mätdata för det två fallen fördelning och samling.

De här framtagna tryckfallsfunktionerna med 36 anpassade parametrar har ingen fysikalisk tolkning, vilket är en brist. Det vore därför önskvärt att kunna ta fram tryckfallsfunktioner som bygger på hur själva strömningen genom ett T-stycke är.

## 2 Kontroll av mätdata och urval

Det totala antalet data var 734 med samtidig mätning av tryckfall för genomlopp och avstick.

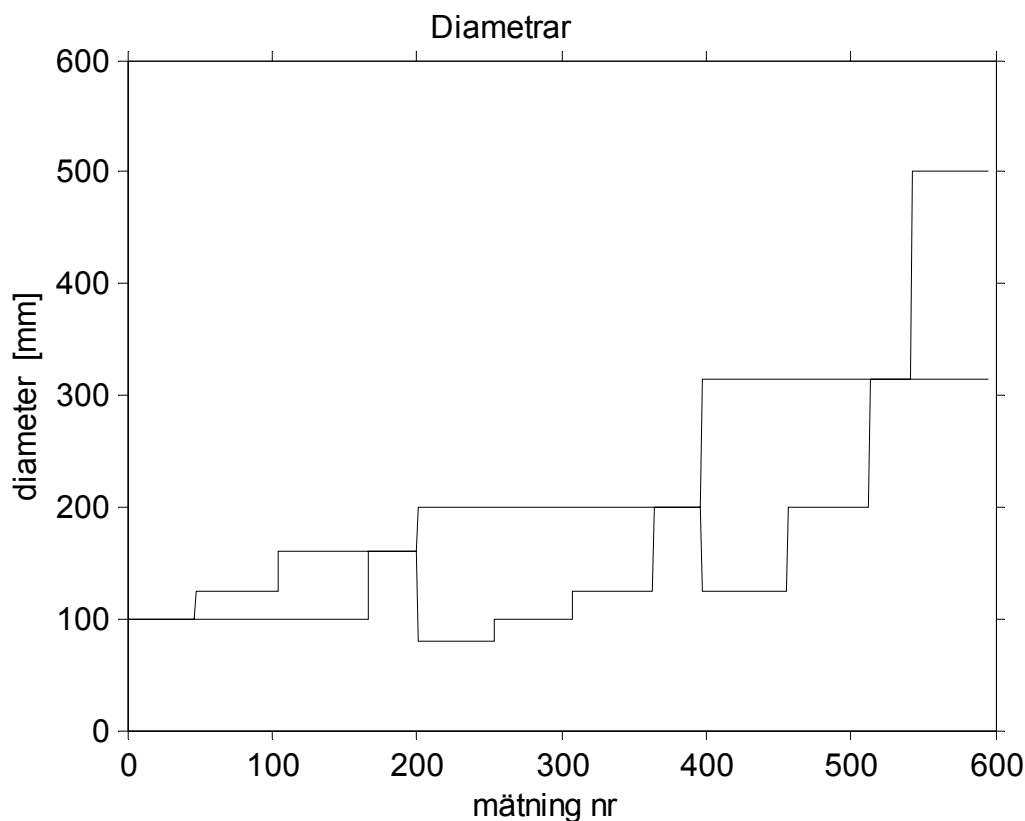
Negativa flöden förekommer och mot lägsta flödesgräns -10, -5, -2, -1 och 0 l/s blir antalet data 732, 728, 724, 720 respektive 714.

Höga hastigheter finns med, men de kan vara orimliga för praktisk dimensionering för de aktuella dimensionerna och mot en högsta hastighetsgräns 25, 20, 15 och 10 m/s blir antalet data 696, 679, 646 respektive 278.

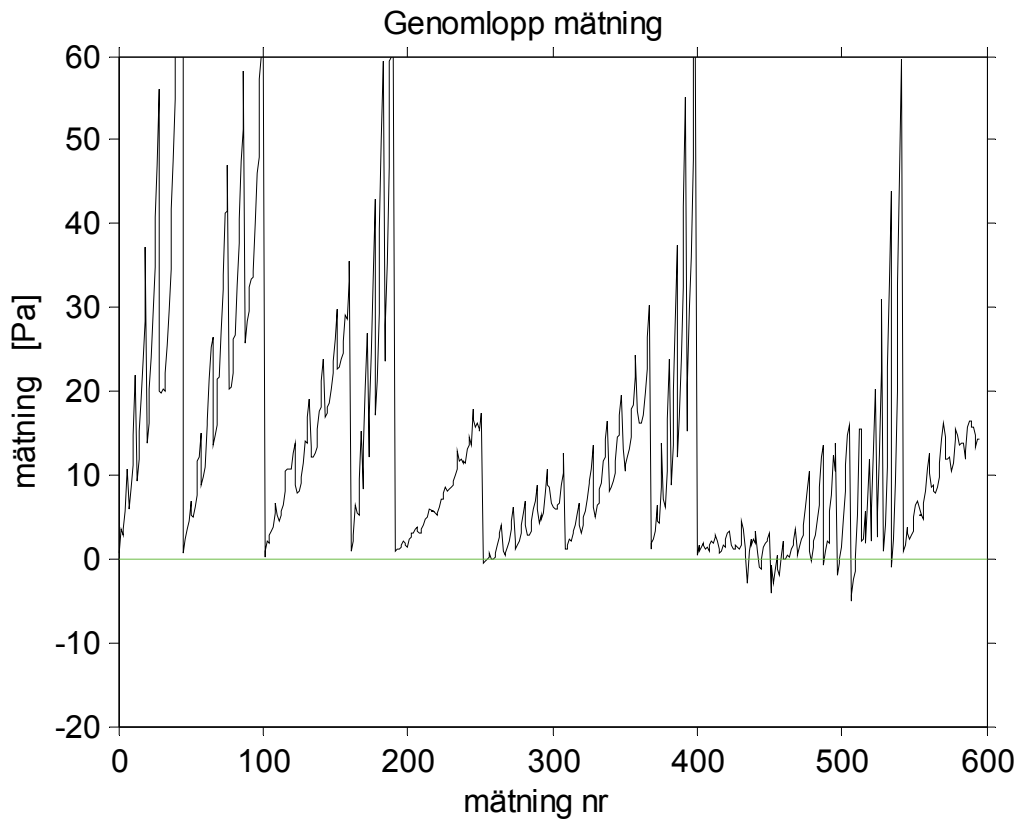
Det urval av mätdata som kommer att användas i fortsättningen har positiva flöden, positiva hastigheter mindre än 15 m/s och fallet 500-500 ingår inte, vilket ger 614 mätdata för både genomlopp och avstick.

Modellanpassning sker tjugo gånger genom att förkasta det mätdata som ger det största felet. Antalet data blir därför 594.

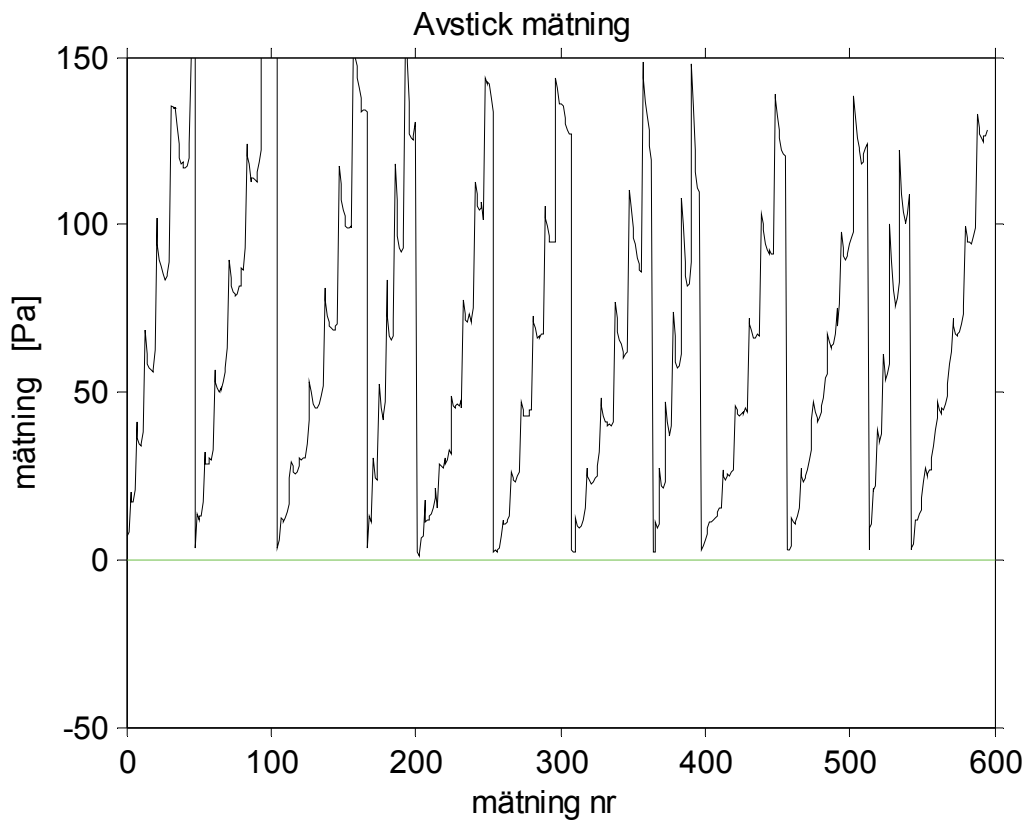
Diameterfallen redovisas i Figur 2.1 som funktion av mätdata nr och motsvarande tryckfall för genomlopp och avstick redovisas i Figur 2.2 respektive 2.3 på samma sätt.



Figur 2.1 Diameterfallen som funktion av mätdata nr.



Figur 2.2 Mätt tryckfall för genomlopp som funktion av mätdata nr.



Figur 2.3 Mätt tryckfall för avstick som funktion av mätdata nr.

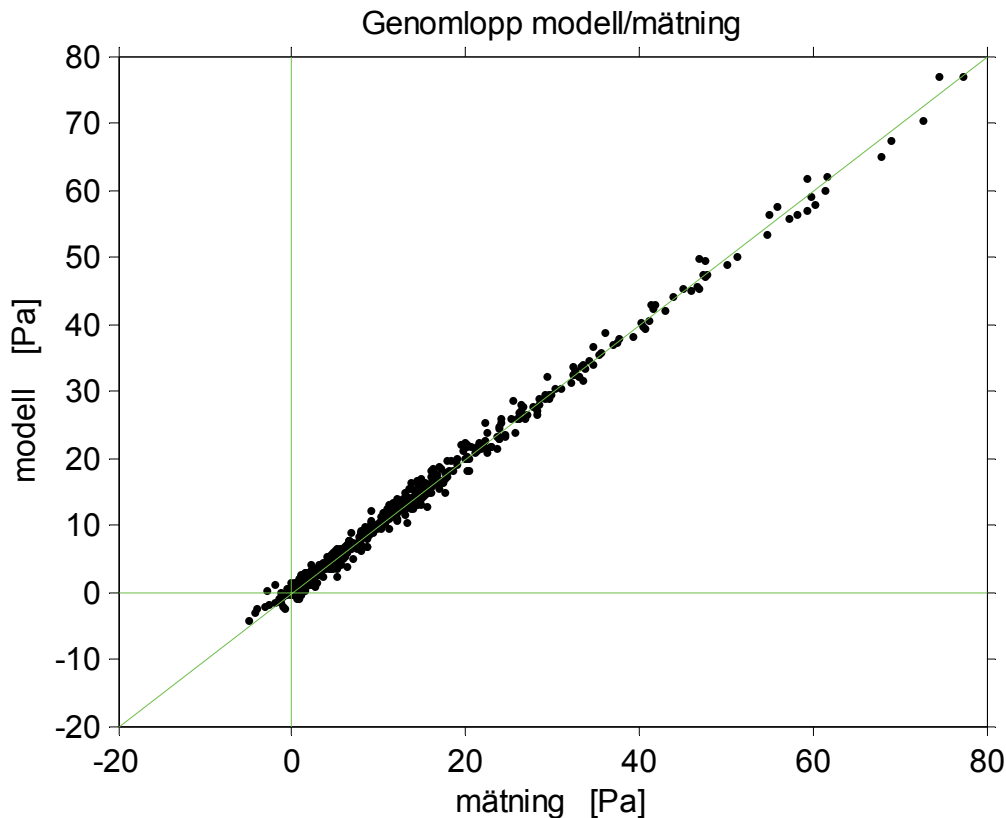
### 3 Bestämning av tryckfallsfunktion för genomlopp

Modell (1.1) har anpassats till de i avsnitt 2 utvalda mätdata och tjugo mätdata med det största absoluta felet har tagits bort en och en. Totalt har tjugo anpassningar gjorts. Hur väl modellen beskriver mätdata redovisas med modellen tryckfall som funktion av uppmätt tryckfall i Figur 3.1. Rotmedelkvadratfelet är 0.99 Pa.

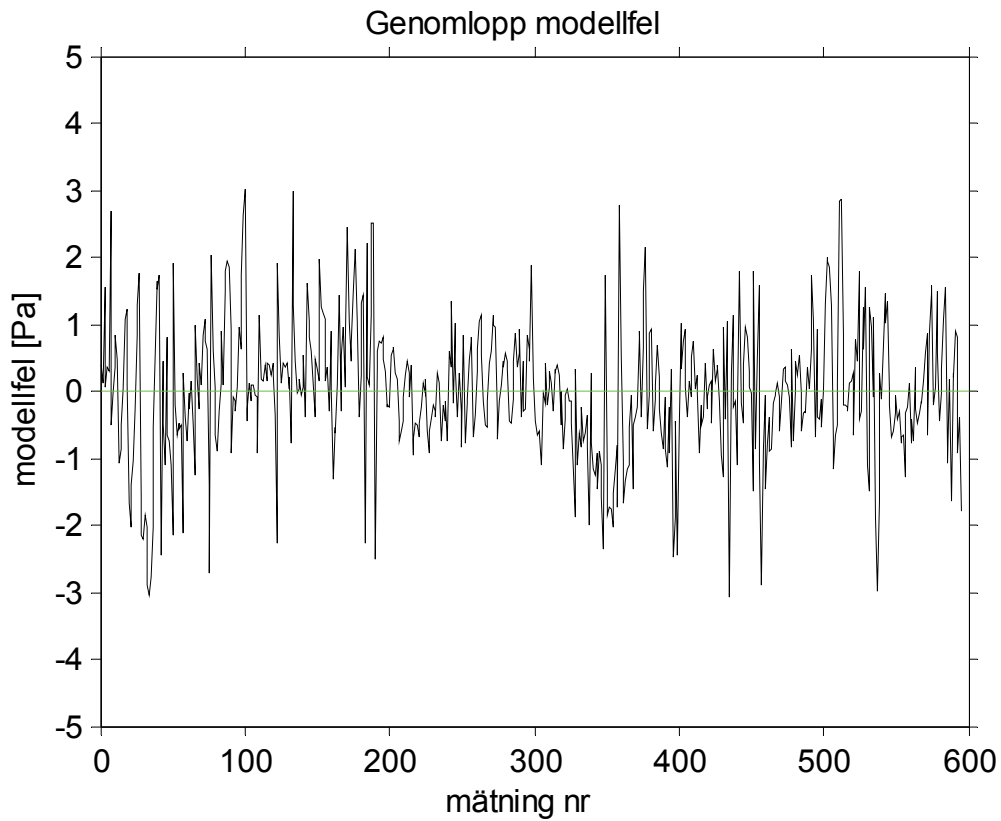
Modellfel redovisas i Figur 3.2 som funktion av mätdata.

Modellens beräknade tryckfall redovisas i Figur 3.3 som funktion av mätdata, vilket även kan jämföras med Mätdata i Figur 2.2.

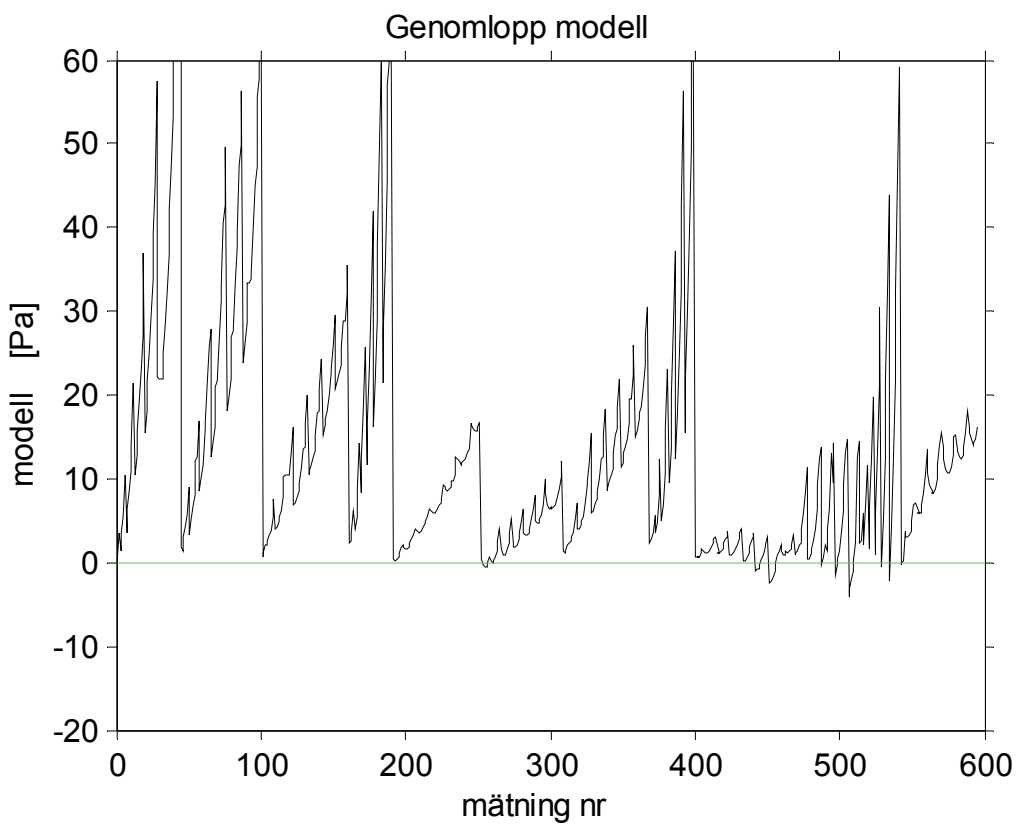
Hur rotmedelkvadratfelet och största och minsta fel avtar är tjugo data efterhand tas bort från anpassningen redovisas i Figur 3.4 respektive 3.5. Kurvorna visar rotmedelkvadratfelet avtar från värdet 1.2 Pa till 1.0 Pa, vilket är en viss förbättring. Skillnaden mellan största och minsta fel i Figur 3.5 minskar också något.



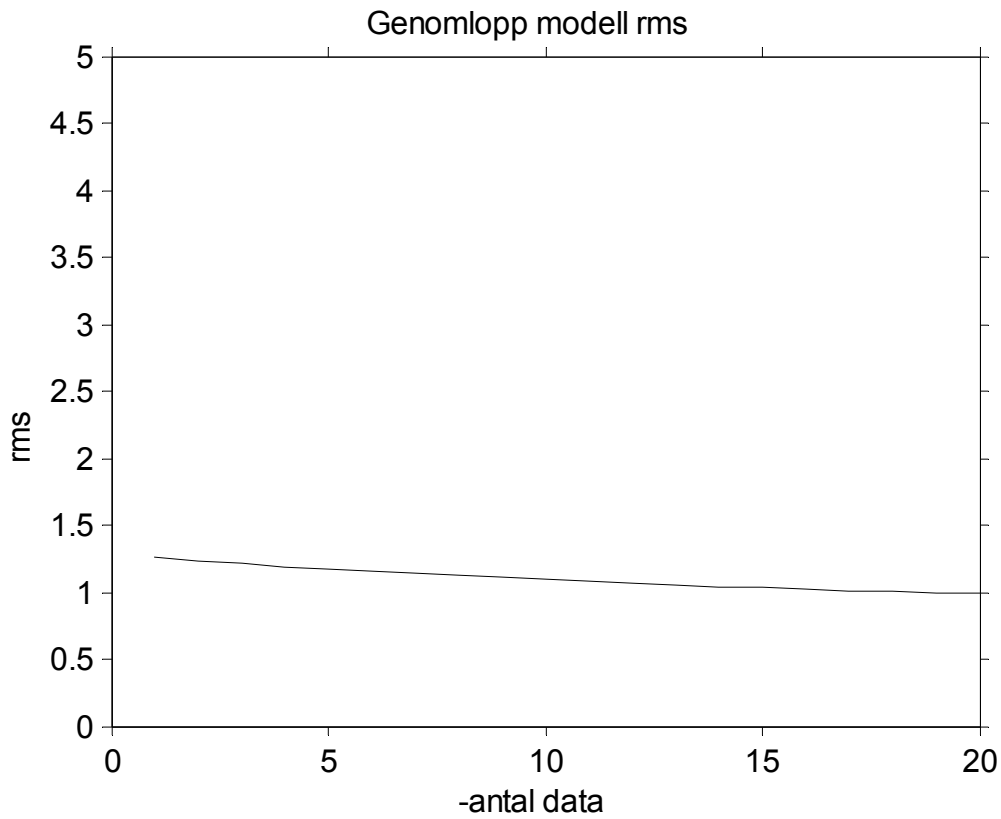
Figur 3.1 Beräknat tryckfall enligt modell (1.1) som funktion av uppmätt tryckfall.



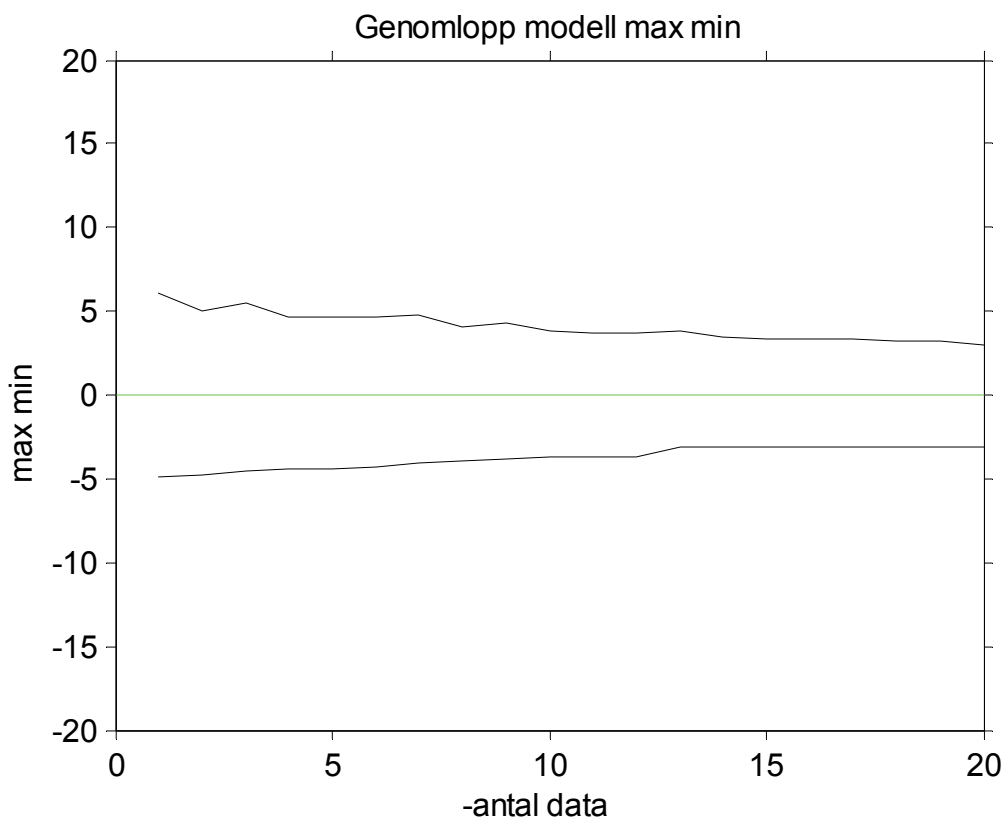
Figur 3.2 Modellfel enligt (1.1) som funktion mätdata nr.



Figur 3.3 Modellens tryckfall enligt (1.1) som funktion mätdata nr.



Figur 3.4 Rotmedelkvadrat som funktion av antal uteslutna mätdata.



Figur 3.5 Största och minsta fel som funktion av antalet uteslutna mätdata.

Ett enkelt korstest har genomförts genom att anpassa modell till udda data och testa mot jämna data och tvärtom. Detta gav rms-värdena 1.09 respektive 1.10. Modellanpassning på samtliga värden ger rms-värdet 0.99. Korstest bör ge något sämre värden.

Nedan redovisas arton kontrollvärden för beräkningsuttrycket med 36 parametrar beskrivet enligt (1.1). Modellparametrarna finns angivna i Excel-filen T\_genomlopp\_m36\_071210.

Tabell 3.1 Kontrollfall för tryckfall för genomlopp

mm	mm	mm	l/s	l/s	l/s	m/s	m/s	m/s	Pa
100	100	100	7,853982	0	7,853982	1	0	1	0,668526
100	100	100	15,70796	7,853982	7,853982	2	1	1	0,61508
100	100	100	7,853982	7,853982	0	1	1	0	0,440666
200	200	200	31,41593	0	31,41593	1	0	1	2,139253
200	200	200	62,83185	31,41593	31,41593	2	1	1	2,257888
200	200	200	31,41593	31,41593	0	1	1	0	2,620489
400	400	400	125,6637	0	125,6637	1	0	1	0,391929
400	400	400	251,3274	125,6637	125,6637	2	1	1	0,989962
400	400	400	125,6637	125,6637	0	1	1	0	-1,97498
100	100	100	78,53982	0	78,53982	10	0	10	47,00373
100	100	100	157,0796	78,53982	78,53982	20	10	10	99,71493
100	100	100	78,53982	78,53982	0	10	10	0	8,911507
200	200	200	314,1593	0	314,1593	10	0	10	37,54157
200	200	200	628,3185	314,1593	314,1593	20	10	10	71,77236
200	200	200	314,1593	314,1593	0	10	10	0	6,532991
400	400	400	1256,637	0	1256,637	10	0	10	41,15124
400	400	400	2513,274	1256,637	1256,637	20	10	10	24,06216
400	400	400	1256,637	1256,637	0	10	10	0	-2,84482

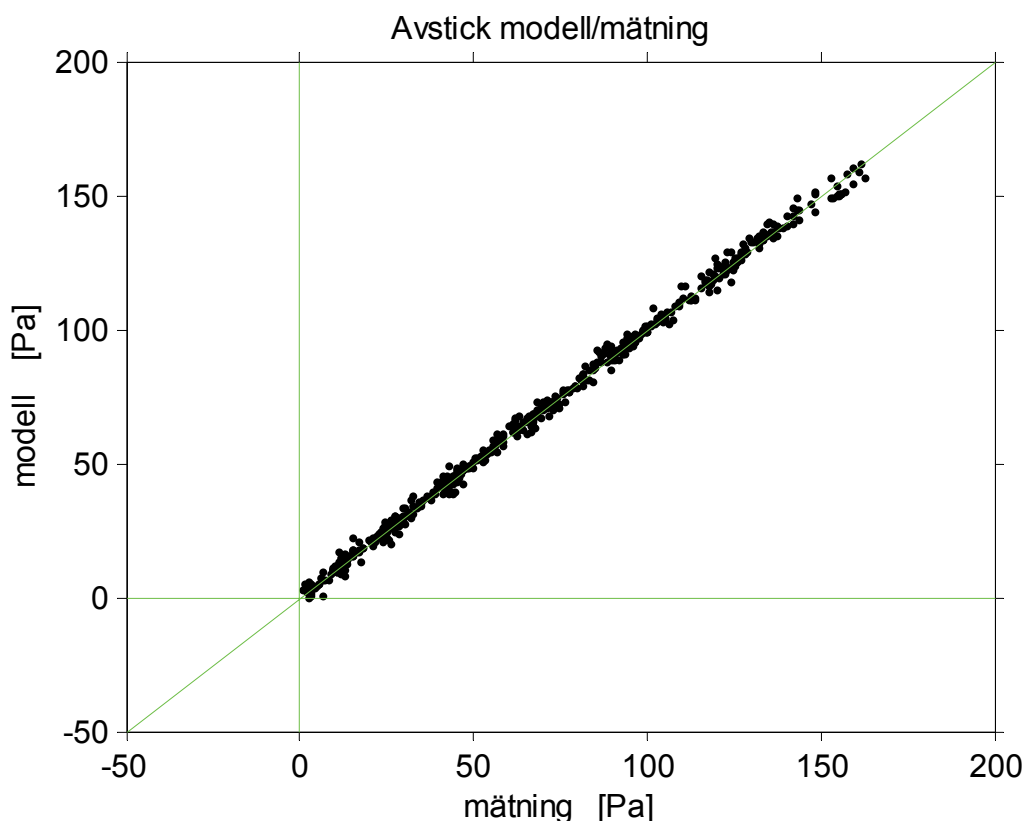
## 4 Bestämning av tryckfallsfunktion för avstick

Modell (1.1) har anpassats till de i avsnitt 2 utvalda mätdata och tjugo mätdata med det största absoluta felet har tagits bort en och en. Totalt har tjugo Anpassningar gjorts. Hur väl modellen beskriver mätdata redovisas med modellen tryckfall som funktion av uppmätt tryckfall i Figur 4.1. Rotmedelkvadratfelet är 2.2 Pa.

Modellfel redovisas i Figur 4.2 som funktion av mätdata.

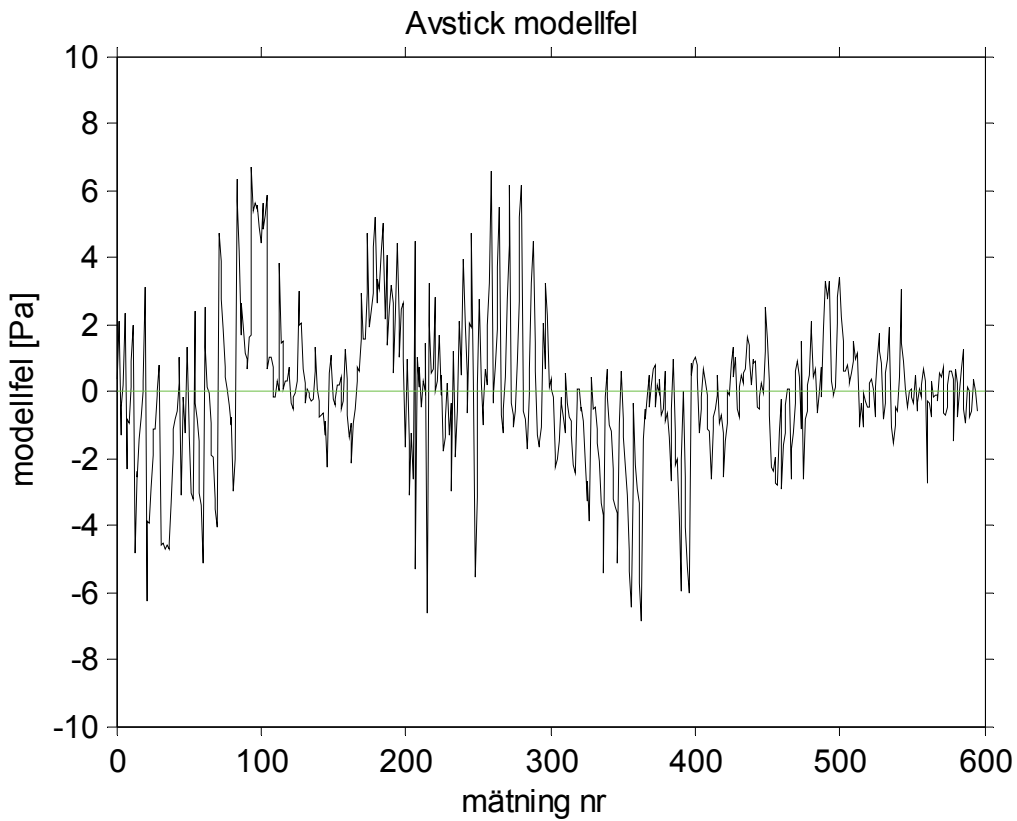
Modellens beräknade tryckfall redovisas i Figur 4.3 som funktion av mätdata, vilket även kan jämföras med Mätdata i Figur 2.3.

Hur rotmedelkvadratfelet och största och minsta fel avtar är tjugo data efterhand tas bort från anpassningen redovisas i Figur 4.4 respektive 4.5. Kurvorna visar rotmedelkvadratfelet avtar från värdet över 4.5 Pa till 2.2 Pa, vilket är en påtaglig förbättring. Skillnaden mellan största och minsta fel i Figur 3.5 minskar från över 20 Pa till mindre än 7 Pa. Slutsatsen är att det efter grovsortering finns en del mätdata som är felaktiga, eftersom modellen förbättras betydligt genom att utesluta ett antal data och redan fem mätdata färre förbättrar modellens anpassning betydligt.

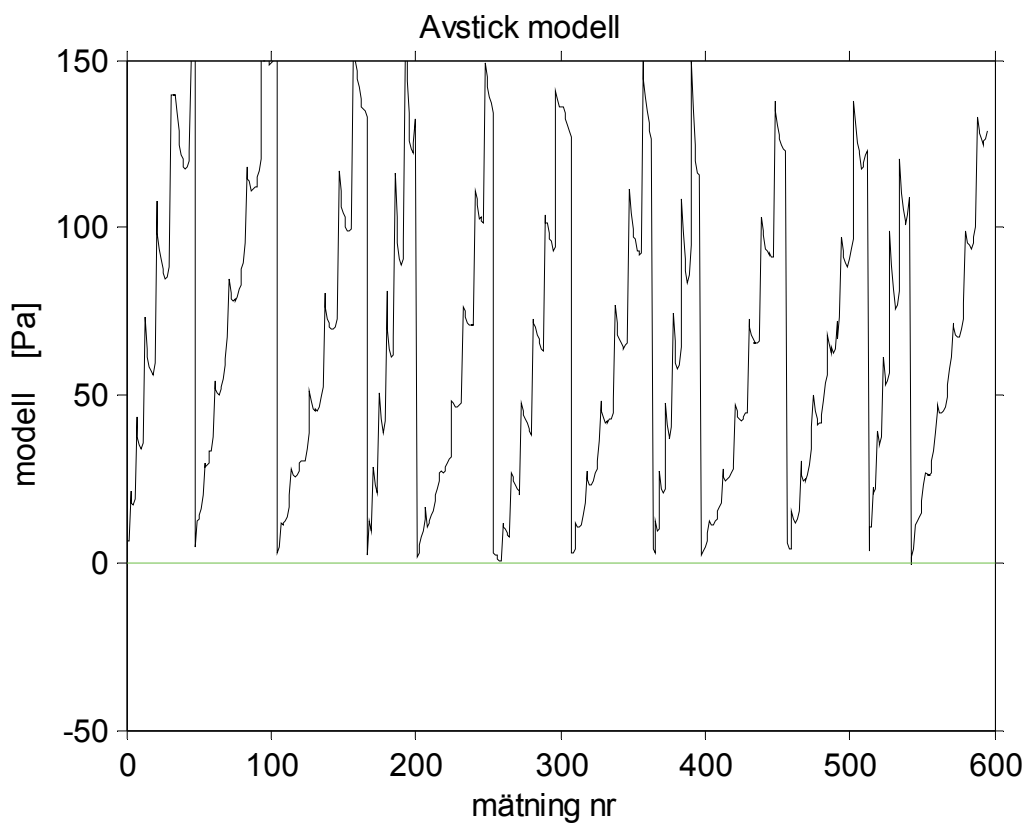


Figur 4.1 Beräknat tryckfall enligt modell (1.1) som funktion av uppmätt tryckfall.

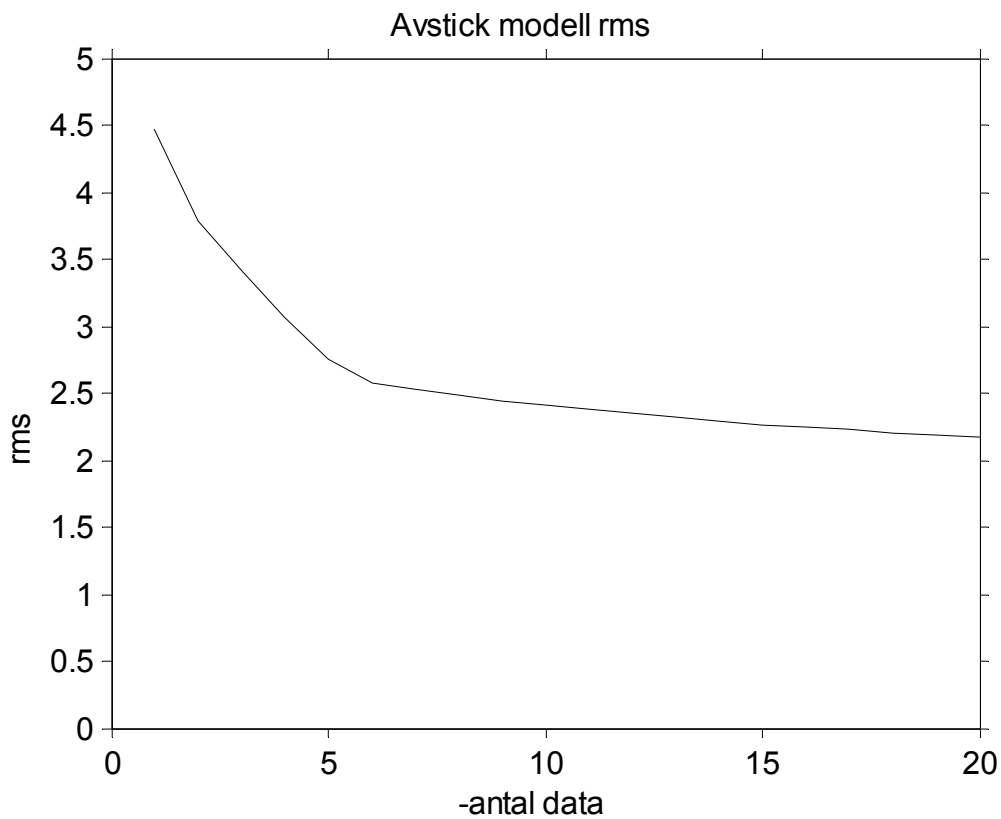




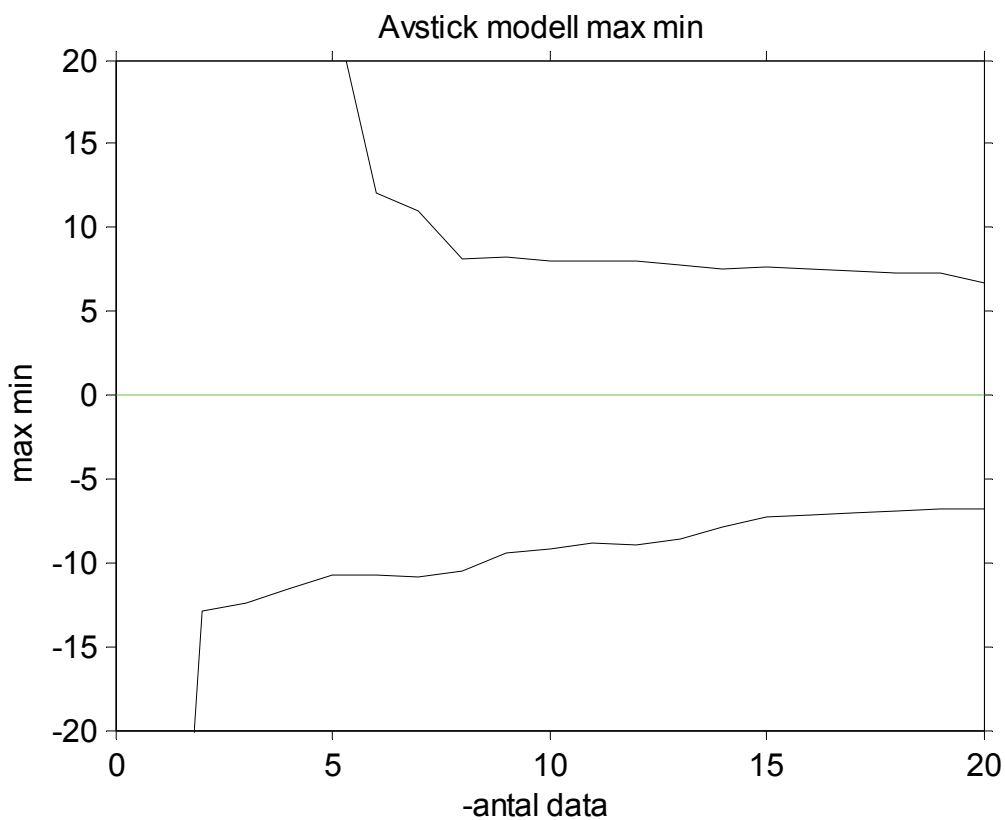
Figur 4.2 Modelfel enligt (1.1) som funktion mätdata nr.



Figur 4.3 Modellens tryckfall enligt (1.1) som funktion mätdata nr.



Figur 4.4 Rotmedelkvadrat som funktion av antal uteslutna mätdata.



Figur 4.5 Största och minsta fel som funktion av antalet uteslutna mätdata.

Ett enkelt korstest har genomförts genom att anpassa modell till udda data och testa mot jämna data och tvärtom. Detta gav rms-värdena 2.24 respektive 2.27. Modellanpassning på samtliga värden ger rms-värdet 2.16. Korstest bör ge något sämre värden.

Nedan redovisas arton kontrollvärden för beräkningsuttrycket med 36 parametrar beskrivet enligt (1.1). Modellparametrarna finns angivna i Excel-filen T\_avstick\_m36\_071206.

Tabell 4.1 Kontrollfall för tryckfall för avstick

mm	mm	mm	l/s	l/s	l/s	m/s	m/s	m/s	Pa
100	100	100	7,853982	0	7,853982	1	0	1	-0,79859
100	100	100	15,70796	7,853982	7,853982	2	1	1	1,51619
100	100	100	7,853982	7,853982	0	1	1	0	-0,86065
200	200	200	31,41593	0	31,41593	1	0	1	1,638436
200	200	200	62,83185	31,41593	31,41593	2	1	1	2,99694
200	200	200	31,41593	31,41593	0	1	1	0	2,069784
400	400	400	125,6637	0	125,6637	1	0	1	-1,79432
400	400	400	251,3274	125,6637	125,6637	2	1	1	1,012795
400	400	400	125,6637	125,6637	0	1	1	0	-2,09432
100	100	100	78,53982	0	78,53982	10	0	10	72,82807
100	100	100	157,0796	78,53982	78,53982	20	10	10	285,6283
100	100	100	78,53982	78,53982	0	10	10	0	89,48716
200	200	200	314,1593	0	314,1593	10	0	10	64,18677
200	200	200	628,3185	314,1593	314,1593	20	10	10	242,5468
200	200	200	314,1593	314,1593	0	10	10	0	75,38914
400	400	400	1256,637	0	1256,637	10	0	10	28,51466
400	400	400	2513,274	1256,637	1256,637	20	10	10	158,8354
400	400	400	1256,637	1256,637	0	10	10	0	68,15602