LUND UNIVERSITY

Enkel metod för debitering av varmvatten

Jensen, Lars

2010

Link to publication

Citation for published version (APA):
Jensen, L. (2010). *Enkel metod för debitering av varmvatten*. (TVIT; Vol. TVIT-7045). 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

Enkel metod för debitering av varmvatten

Lars Jensen

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2010
Rapport TVIT--10/7045

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 rökspridning 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 golvvärmesystem, 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.

Enkel metod för debitering av varmvatten

Lars Jensen

© Lars Jensen, 2010
ISRN LUTVDG/TVIT--10/7045--SE(29)

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND

Innehållsförteckning

1	Inledning och problemställning	5
2	Tre mätmetoder	7
	Volymmetoden	7
	Flödesmetoden	7
	Modellmetoden	8
3	Undersökning av olika slumpmodeller	9
	Kommentarer	10
4	Undersökning med olika antal tappställen	15
	Kommentarer	
5	Undersökning med kända nominella flöden	19
	Kommentarer	19
6	Undersökning av termisk tidsfördröjning	23
	Kommentarer	24
7	Sammanfattning och slutsatser	29

1 Inledning och problemställning

Syftet med denna arbetsrapport är att undersöka och dokumentera enkla mätmetoder för att debitera varmvattenförbrukning genom simulering med slumptal.

Direkt individuell mätning av varmvattenförbrukning är kostsam, eftersom den kräver en flödesmätare och i princip även en temperaturgivare. Flödesmätning kan ske med direkta eller indirekta mätmetoder.

Direkta mätmetoder kräver någon form av volymmätare, vilken måste monteras in i den aktuella ledningen. Detta kan vara kostsamt och svårt av utrymmesskäl i befintliga installationer. Det kan också kräva flera volymmätare för en lägenhet, eftersom rördragningen oftast är förlagd i vertikala schakt i ett flerbostadshus. En lägenhet betjänas av flera schakt. Vid nyproduktion kan rördragningen utformas för varmvattenmätning med en volymmätare per lägenhet.

Indirekta mätmetoder innebär ett utvändigt montage av en flödesmätare som använder ultraljud för att bestämma strömningshastigheten och därmed flödet.

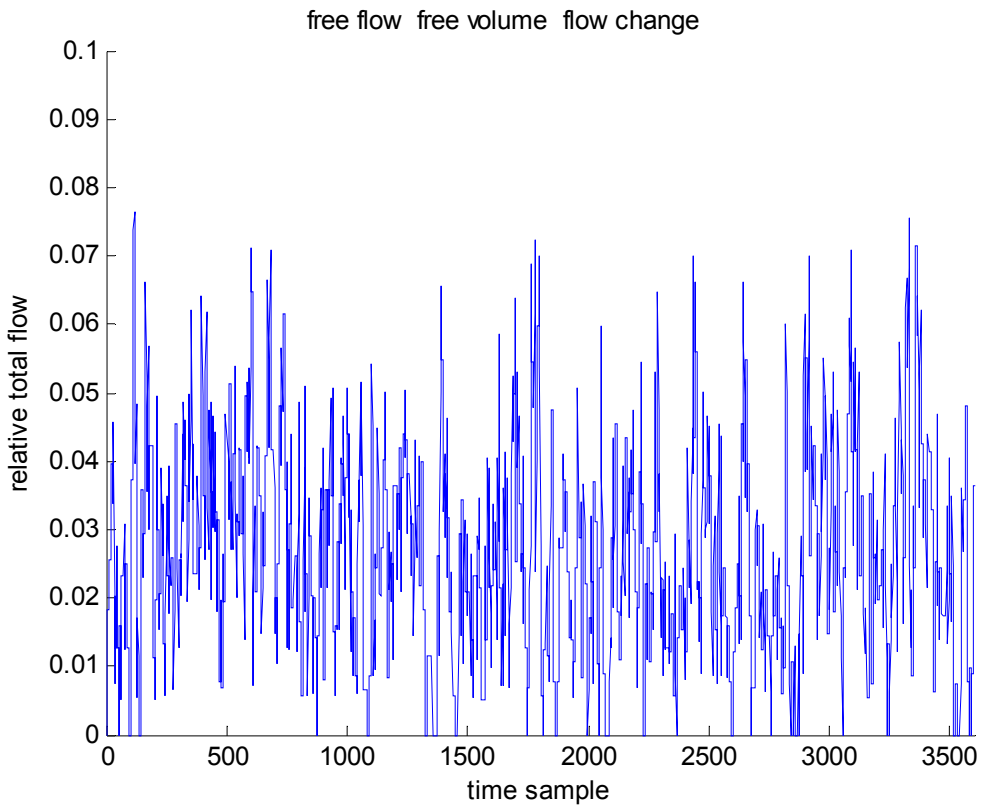
Den här förslagna mätmetoden bygger på att mäta temperaturen på kopplingsledningen till ett varmvattentappställe. En stigande temperatur indikerar att det strömmar varmvatten i kopplingsledningen. En avtagande temperatur fås när tappningen har upphört under förutsättning att varmvattentemperaturen är stabil. Mätmetoden kan tillämpas i både befintliga och i nya byggnader.

I avsnitt 2 beskrivs först tre sätt hur metoden kan tillämpas och i de följande fyra avsnitten undersöks i avsnitt 3 inverkan av olika slumpmodeller, i avsnitt 4 inverkan av antalet tappställen, i avsnitt 5 inverkan av information om tappställens nominella flöde och sist i avsnitt 6 inverkan av tidsfördröjning för detektering när tappning påbörjas och avslutas.

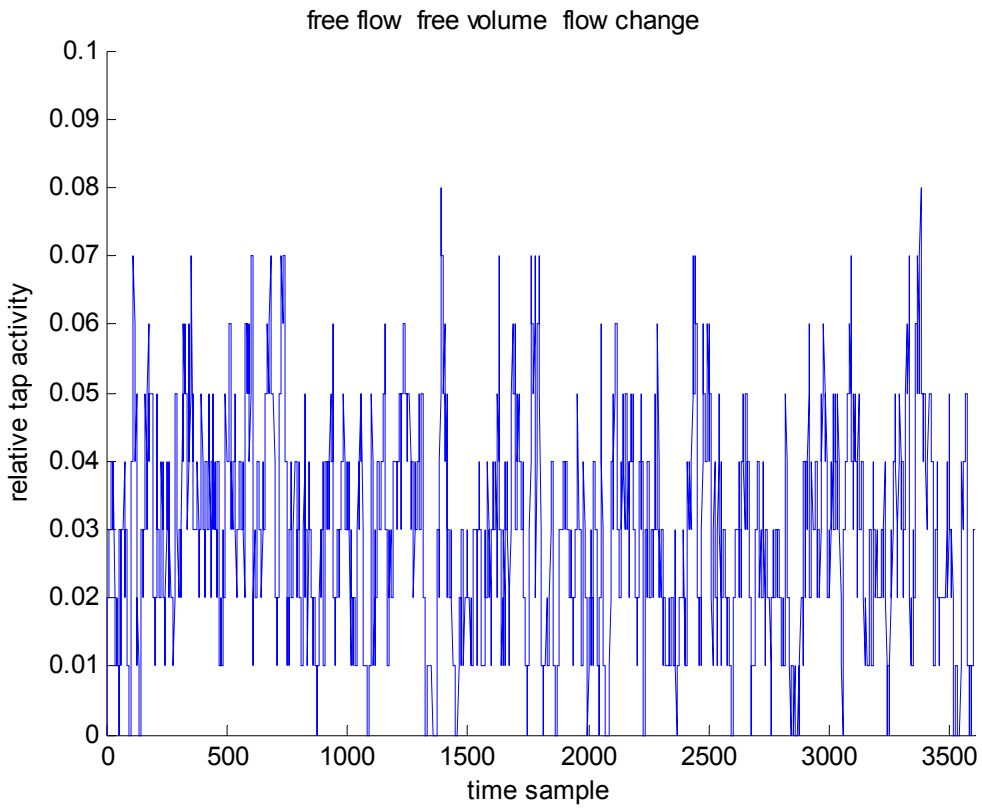
Undersökning har skett med simulering av tappvattenflödet med rektangelfördelat flöde och tappningsvolym under genomgående 3600 tidsintervall om 10 s. Sannolikheten för att ett tappställe är aktiv har varit 0.002. Exempel på totalflödet relativt det nominella totalflödet och relativ aktivitet (andel aktiva tappställen) redovisas i Figur 1.1 respektive 1.2 för ett fall med 100 tappställen och flödesintervallet (0.1,0.3) l/s och volymintervallet (5,50) l.

Kurvorna visar att det finns vissa likheter mellan totalflödet och antalet aktiva tappställen, vilket visar på att det finns möjligheter att debitera varmvattenförbrukningen efter tappningsaktivitet.

Medelflödet kan skattas med sannolikheten 0.002 för 100 tappställen som innebär en sannolikhet om 0.2 för en tappning med en medelvolym om 27.5 l fördelat övertidsintervallet 10 s, vilket blir 0.55 l/s. Det nominella totalflödet är 20 l/s (100 tappställen om 0.2 l/s). Det relativa medeltotalflödet blir därför 0.0275. Den relativa aktiviteten kan beräknas på liknande sätt. Sannolikheten för ett en tappning sker är 0.2 och en tappning varar i medeltal 137.5 s (27.5 l/0.2 l/s) eller under 13.75 tidsintervall. Sannolikheten och tappningslängden ger att 2.75 tappställen är aktiva samtidigt och relativt 0.0275.



Figur 1.1 Relativt flöde för 100 tappställen med 0.1-0.3 l/s, 5-50 l och sannolikhet 0.002.



Figur 1.2 Relativt antal aktiva tappställen som för i Figur 1.1.

2 Tre mätmetoder

Debiteringen bygger på att tiden för alla varmvattentappningar kan bestämmas med rimlig noggrannhet och samtidigt mäts det totala varmvattenflödet. Det finns flera sätt att fördela kostnaderna. Tre mätmetoder kommer att undersökas och de är momentan fördelning av rådande varmvattenflöde, total fördelning av varmvattenvolym efter tappningstid och fördelning efter modellering av tappställens flöde med minsta kvadratmetoden.

Denna analys genomförs som om alla tappställen är lika, men i praktiken finns tre storlekar av tappställen med de nominella flöden 0.1, 0.2 och 0.3 l/s för tvättställ, disklåda och dusch respektive badkar. Det går också att ta hänsyn till att tappställen har olika nominella flöden genom att införa viktfaktorer beroende på nominellt flöde. Tappställens viktfaktorer betecknas v_i och kan vara 1, 2 och 3 för de tre typflödena. Detta fall med viktning testas i avsnitt 5.

Volymmetoden

Denna metod bygger på att alla tappställen delar på den totala varmvattenvolymen V_t efter relativ tappningstid. Detta kräver att alla tappställens tappningstid summeras under ett godtyckligt tidsintervall allt från en timme och upp till ett dygn för att spara batteridriften.

$$V_i = V_t \, v_i \, t_i \, / \, \Sigma \, v_i \, t_i \qquad (\mathrm{m}^3) \qquad (2.1)$$

Uppdelningen enligt (2.1) kan ske för ett långt tidsintervall genom att ackumulera varje tappställes tappningstid t_i och den förbrukade totalvolymen V_t. Detta är den enklaste metoden.

Volymmetoden är robust för fel och kan alltid fördela den uppmätta volymen till de aktiva tappställena. Ett problem är att totalflödet är noll, men några tappställen är aktiva enligt temperaturmätningen. Ett annat problem är att totalflödet är skilt från noll samtidigt som inget tappställen är aktivt enligt temperaturmätningen. Beräkningen enligt (2.1) spårar inte ur för dessa två delfall.

Flödesmetoden

Denna metod bygger på att alla aktiva tappställen delar på det rådande totalflödet q_t. Detta kräver att alla tappställens tappningstider sammanställs gentemot totalflödet q_t under samma tidsintervall t. Detta kan ske med godtyckliga tidsintervall allt från en minut och upp till ett dygn för att spara batteridriften. Metoden kan formuleras som följer:

$$V_i = q_t \, t \, v_i \, / \, \Sigma \, v_i \qquad (\mathrm{m}^3) \qquad (2.2)$$

Uppdelningen enligt (2.2) kräver dessutom en ständig uppsummering av alla delvolymer V_i. Flödesmetoden kan ses som en volymmetod om tidsintervallet t görs kortare än vad tappningarna är.

Flödesmetoden är mindre robust för fel. Det ena fallet går bra när totalflödet är noll och några tappställen är aktiva enligt temperaturmätningen. Det andra fallet fungerar inte där totalflödet är skilt från noll samtidigt som inget tappställen är aktivt enligt temperaturmätningen. Dessa volymer utan aktiva tappställen enligt temperaturmätningen måste fördelas på något sätt.

Modellmetoden

Denna metod bygger på att varje tappställe har ett unikt flöde som kan bestämmas med minsta kvadratmetoden. Denna metod kräver samma mätdata som för flödesmetoden. Metoden kräver mycket datakraft dels för att spara all nödvändig information och för att genomföra beräkningarna enligt minsta kvadratmetoden. En beräkning kan genomföras för varje dygn. Kravet är att det finns betydligt fler tidsintervall än det finns aktiva tappställen.

Metoden kan beskrivas som följer givet en följd av volymer V för N tidsintervall med längden t samt en matris T som med elementen t_{ij} 0 eller 1 anger om ett tappställe är passivt respektive aktivt. Varje rad i matrisen T motsvarar en tidpunkt. Varje kolonn i matrisen T anger ett visst tappställes aktivitet. Minsta kvadratbestämningen av varje tappställes typflöde beskrivs med flödesvektorn q och bestäms genom att lösa det överbestämda ekvationssystemet enligt nedan.

$$V / t = T q \qquad (\mathrm{m}^3) \qquad (2.3)$$

Någon viktning av olika tappställen behövs inte, eftersom typflödet bestäms.

Debitering sker som följer genom att multiplicera typflödet med summan av antalet aktiva tidsintervall t för varje tappställe:

$$V_i = q_i \, t \, \Sigma_k \, t_{ki} \qquad (\mathrm{m}^3) \qquad (2.4)$$

Modellmetoden är robust mot fel genom att typflödena bestäms med ett stort antal mätningar av tappningar fördelat på ett stort antal tidsintervall. Tidsintervall utan ett totalflöde med uppmätta tappningar eller tidsintervall med ett totalflöde utan några uppmätta tappningar påverkar givetvis bestämningen av olika tappställens typflöden något, men fördelning blir den bästa möjliga.

Antagandet att varje tappställe har samma flöde vid alla tappningar håller inte. eftersom en badkarsblandare ofta kan användas för att fylla ett badkar eller ställas om till en handdusch med helt skilda flöden. Samma resonemang kan även tillämpas på en disklåda med olika flöden vid olika göromål.

3 Undersökning med olika slumpmodeller

I detta avsnitt redovisas en serie av simuleringar, som visar hur de tre mätmetoderna fungerar för olika slumpmässigt utformade varmvattentappningar. Tillämpning sker här med ett mätställe till varje tappställe, men i praktiken kan finnas ett mätställe för en lägenhet med flera tappställen för att förenkla och för att minska kostnaden.

Varmvattentappningar har simulerats för ett fall med 100 tappställen och för 3600 tidsintervall om 10 s, vilket motsvarar 10 h. Sannolikheten för att ett tappställe är aktivt är 0.002. Flödena är rektangelför-delade i intervallet (0.1,0.3) l/s och volymerna i intervallet (5,50) l/s. En anmärkning är att 50 l/s nog inte är tillräckligt för en badkarstappning.

Åtta olika typer av tappningar har testats enligt Tabell 3.1 nedan. Med fritt menas helt slumpmässigt från gång till gång. Med givet menas att alla tappningar för ett visst tappställe har samma flöde och/eller volym. Med flödesändring menas att en pågående tappning kan ändras. Det finns därför åtta olika kombinationer enligt nedan.

Tabell 3.1 Sammanställning av åtta testade slumpfall

slumpfall	Figur	volym	flöde	flödesändring
1	3.1	fritt	fritt	nej
2	3.2	fritt	fritt	ja
3	3.3	fritt	givet	nej
4	3.4	fritt	givet	ja
5	3.5	givet	fritt	nej
6	3.6	givet	fritt	ja
7	3.7	givet	givet	nej
8	3.8	givet	givet	ja

I Figur 3.1-8 redovisas för tre mätmetoder med mätning av tappningstid och totalflöde med kvoten mellan debiterat volymvärde och verkligt volymvärde för varje tappställe sorterat i storleksordning. Denna kvot benämns i fortsättningen volymkvot. En snarlik redovisning hade varit att använda sig av det relativa felet, vilket är volymkvoten minskad med ett.

- Volymmetoden redovisas med heldragen röd linje som fördelar den totala vattenvolymen efter öppningstiden för ett tappställe relativt den sammanlagda öppningstiden för alla tappställen. Viktning efter nominellt flöde kan ske.

- Flödesmetoden med heldragen med heldragen blå linje som fördelar rådande totalflöde mellan de tappställen som är aktiva samtidigt. Viktning efter nominellt flöde kan ske.

- Modellmetoden med punktmarkerad röd linje som antar att varje tappställe har ett unikt flöde som alltid återkommer. Volymen och tappningstiden kan variera däremot.

Parametrarna överst i Figur 3.1-8 anger följande:

q	flödesintervall, l/s
V	volymintervall, l
n	antal tappställen
p	sannolikhet för tappning
cf	flödesändring 0 nej 1 ja
ns	antal tidsintervall
Ts	tidsintervall, s

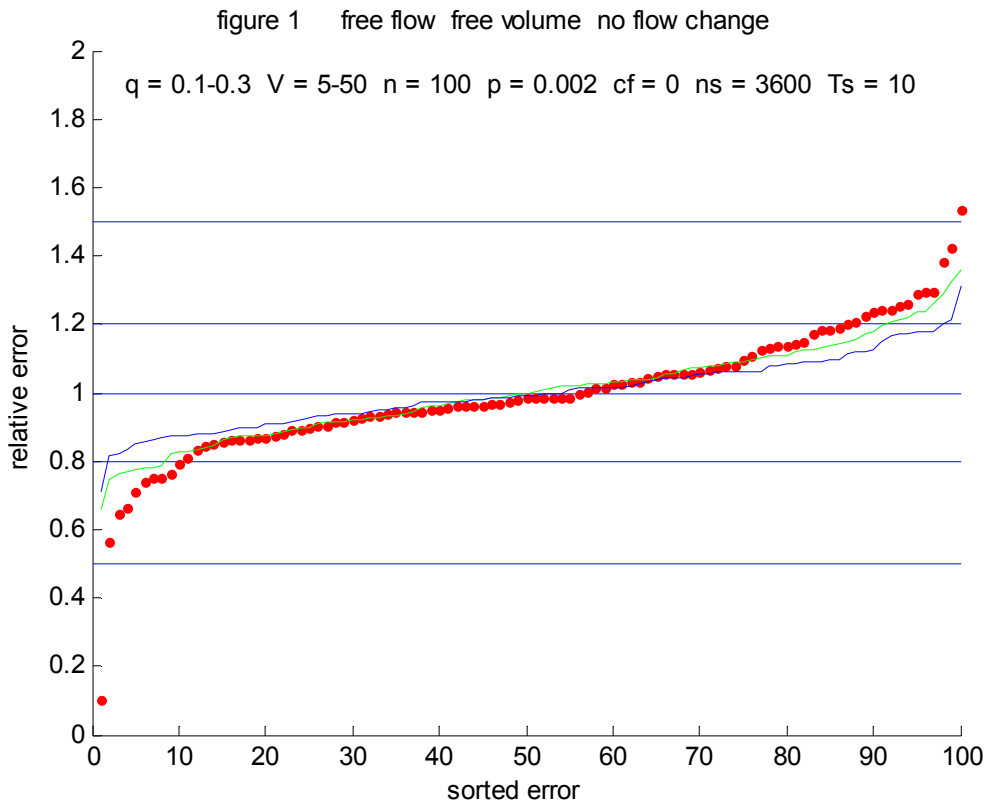
Kommentarer

Flödesmetoden är bäst för alla fall med fritt flöde, fall 1, 2, 5 och 6, och därefter kommer volymmetoden. Modellmetoden är sämst, vilket förklaras med att den bygger på att varje tappställe alltid har ett och samma flöde.

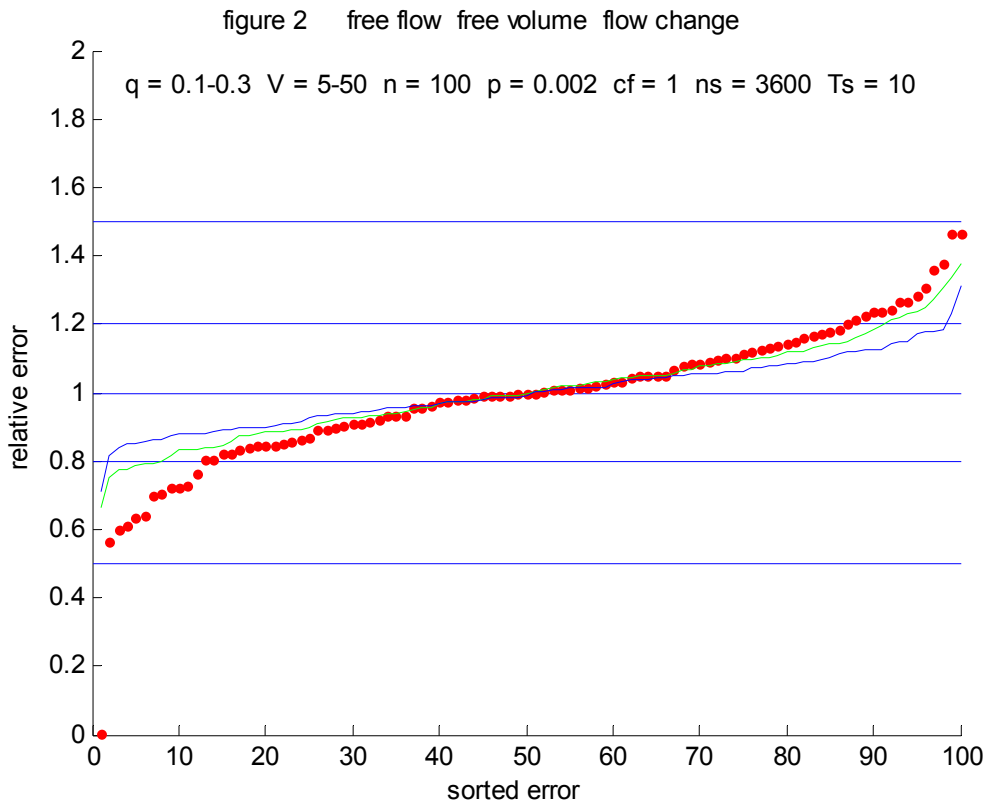
Modellmetoden med minsta kvadratanpassning har inget fel när flödet är fixt för alla tappningar för samma tappställe för fall 3 och 7. Fall 4 och 8 har mindre fel, eftersom flödesändring är tillåten.

Det enda rimliga fallet av de åtta är att allt är fritt, vilket motsvaras av fall 2.

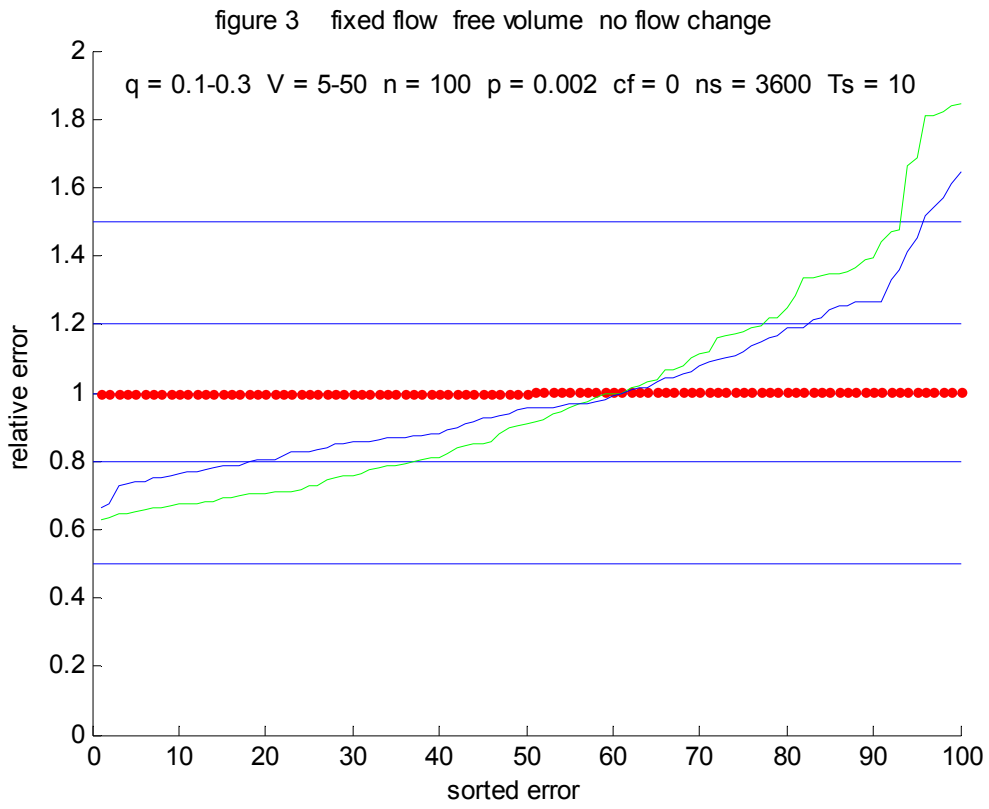
Mätfelen är måttliga och endast ett fåtal volymkvoter är mindre än 0.8 eller större än 1.2.



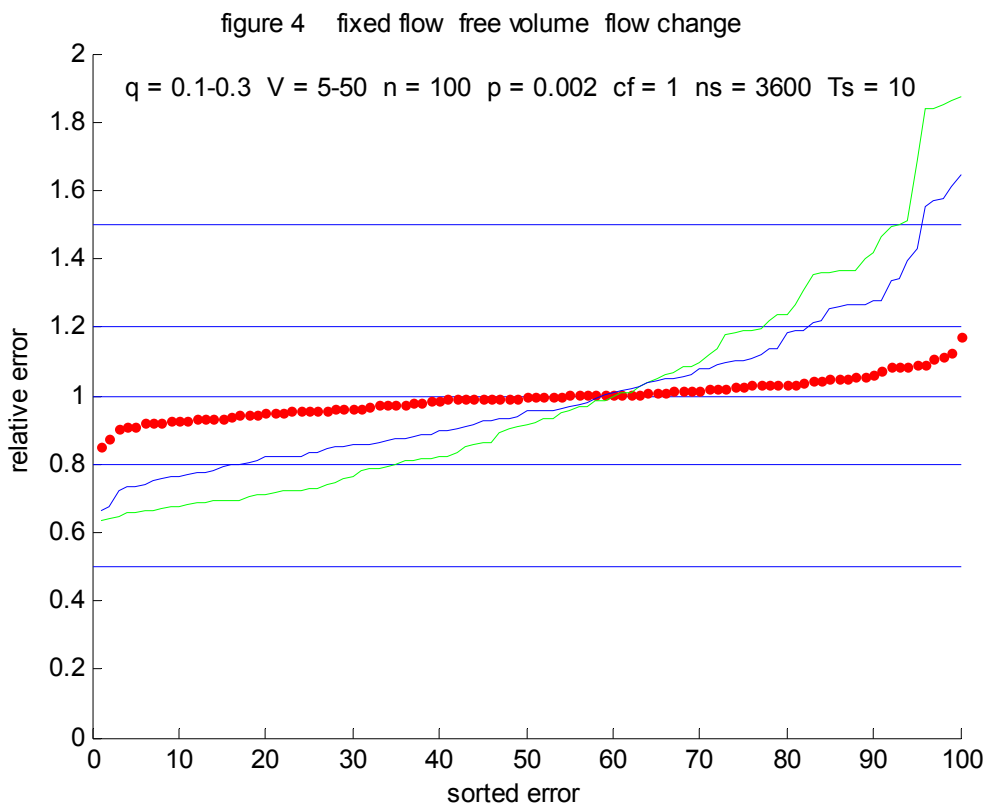
Figur 3.1 Relativt fel för tre debiteringsmetoder för slumpfall 1.



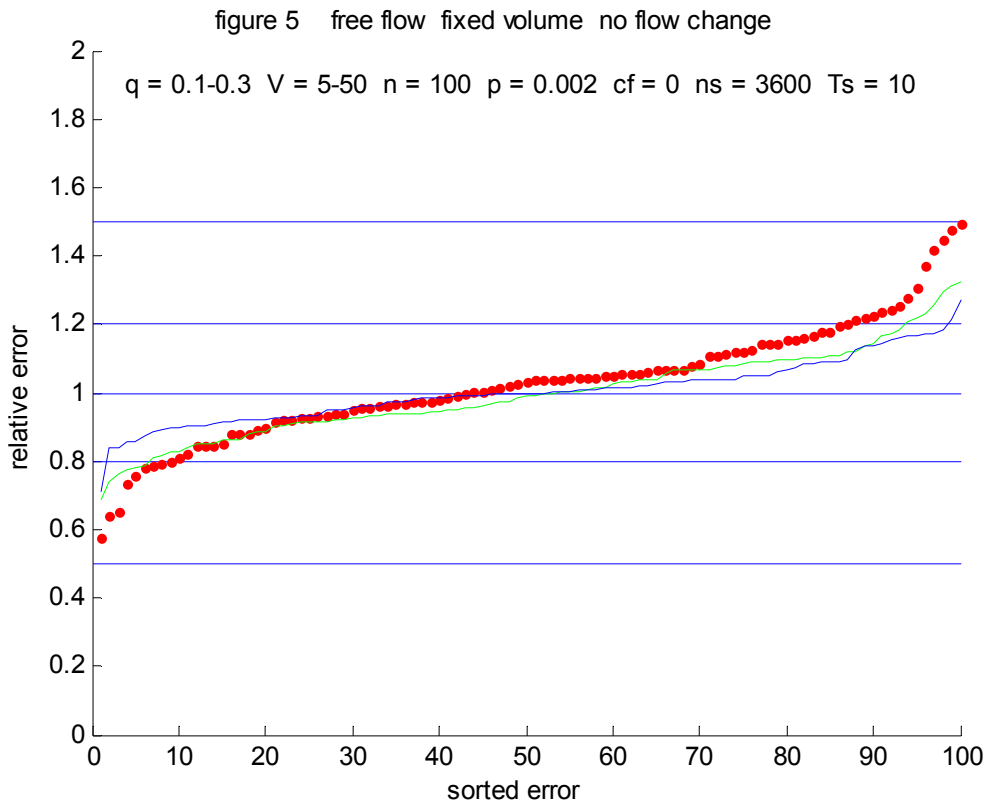
Figur 3.2 Relativt fel för tre debiteringsmetoder för slumpfall 2.



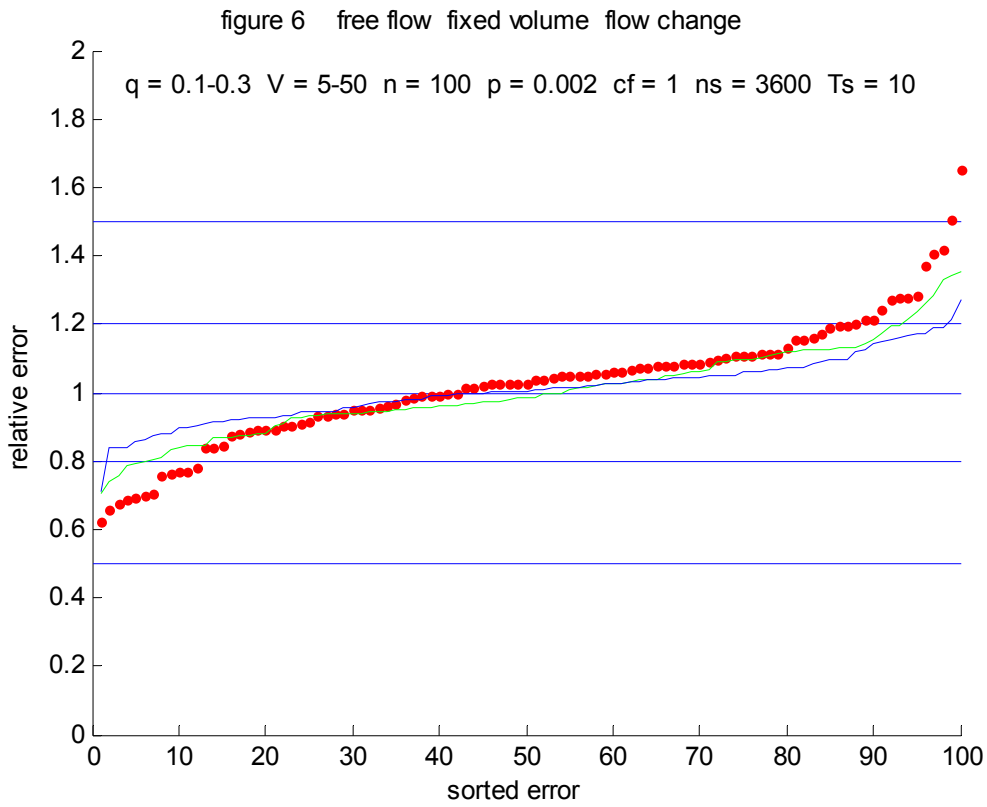
Figur 3.3 Relativt fel för tre debiteringsmetoder för slumpfall 3.



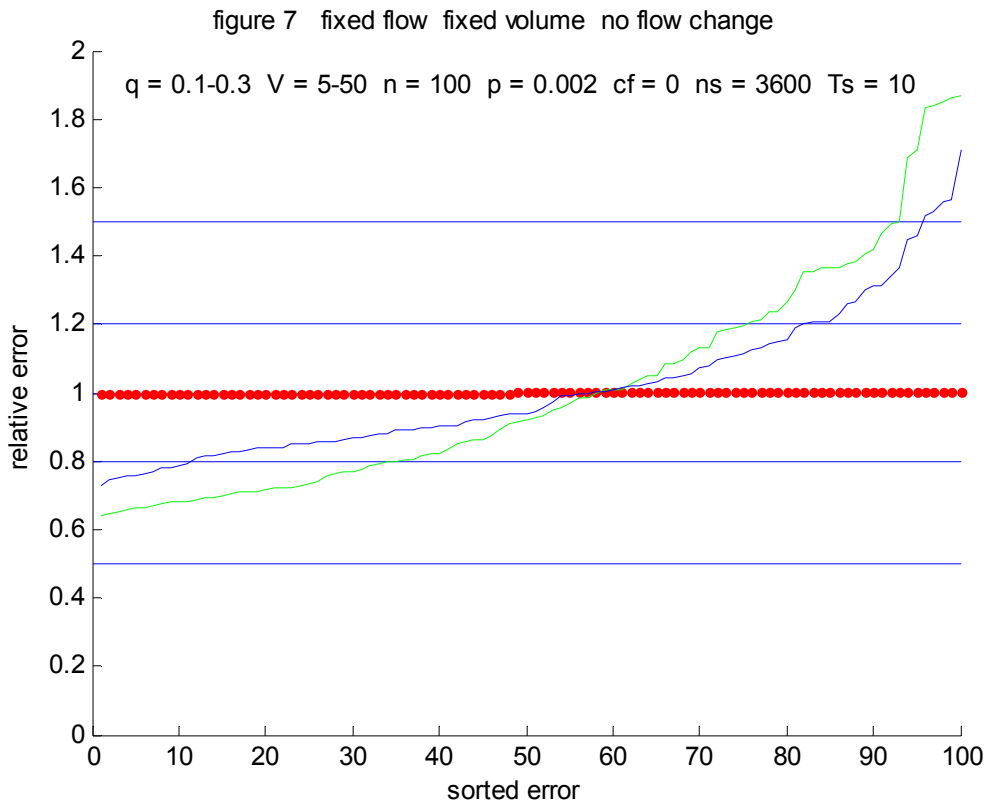
Figur 3.4 Relativt fel för tre debiteringsmetoder för slumpfall 4.



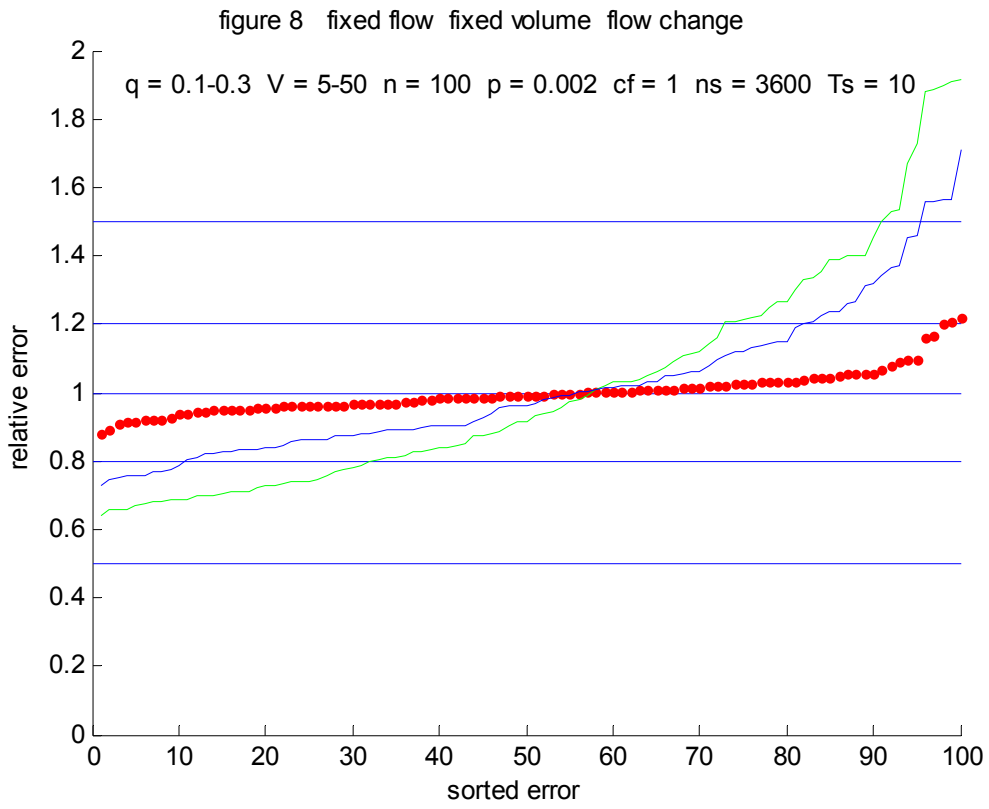
Figur 3.5 Relativt fel för tre debiteringsmetoder för slumpfall 5.



Figur 3.6 Relativt fel för tre debiteringsmetoder för slumpfall 6.



Figur 3.7 Relativt fel för tre debiteringsmetoder för slumpfall 7.



Figur 3.8 Relativt fel för tre debiteringsmetoder för slumpfall 8.

4 Undersökning med olika antal tappställen

I detta avsnitt redovisas en serie av simuleringar, som visar hur de tre metoderna fungerar för olika slumpmässigt utformade varmvattentappningar enligt slumpfall 2 med fritt flöde, fri volym och fri flödesändring. Antalet tappställen var 100 i avsnitt 3. I detta avsnitt görs beräkningar för 10, 20, 50, 200, 500 och 1000 med redovisning i Figur 4.1-6. Fallet med 100 tappställen har tidigare redovisats i Figur 3.2.

Kommentarer

Flödesmetoden och modellmetoden har små fel för fall med 10 och 20 tappställen. Flödesmetoden är bättre än modellmetoden för övrigt. Både flödesmetoden och volymmetoden är bättre än modellmetoden för 100 eller fler tappställen.

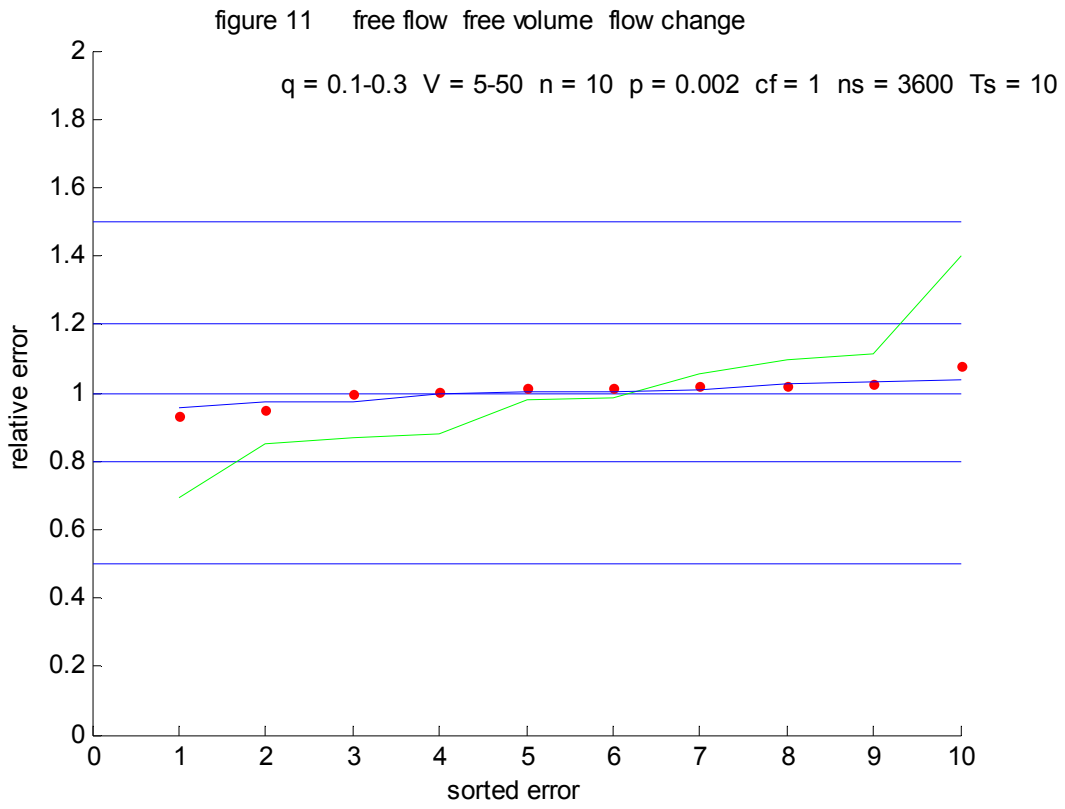
Flödesmetoden och volymmetoden blir mer och mer lika med ökande antal tappställen och skillnaden är försumbar för 500 eller fler tappställen.

Felet eller avvikelsen från volymkvoten 1 ökar med antalet tappställen, vilket är naturligt. Sannolikheten att ett tappställe är aktivt är endast 0.002. Detta innebär att för ett fall med ett litet antal tappställen är sannolikheten stor att endast ett tappställe är aktivt, vilket kan mätas helt utan fel.

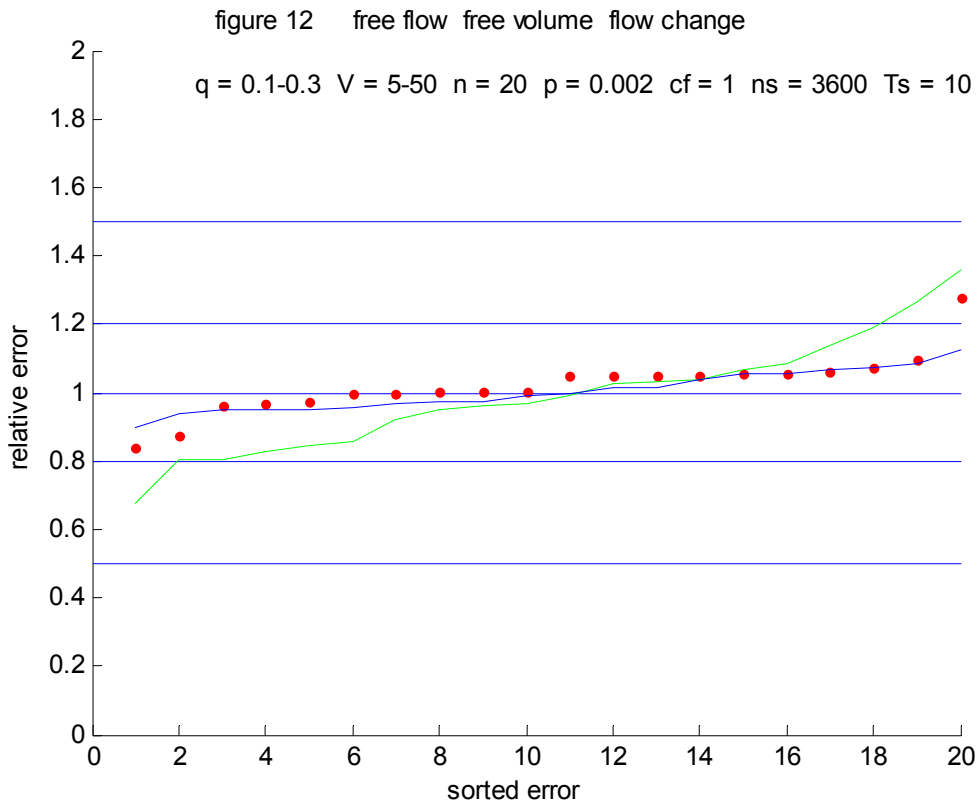
Volymkvoten för fallet med 1000 tappställen är mindre än 0.8 för omkring 50 tappställen och större än 1.2 för omkring 100 tappställen. Detta kan jämföras med fallet med 100 tappställen i Figur 3.2 och en grov avläsning ger 1 av 100 under 0.8 och 2 av 100 över 1.2, vilket kan skalas upp till 10 respektive 20 tappställen för fallet med 1000 tappställen.

En slutsats av att felet ökar med antalet tappställen är att dela upp flödesmätningen i flera undermätningar. Ett större bostadsområde uppdelat i flera huskroppar med en gemensam tappvarmvattenberedning kan vara ett bra exempel.

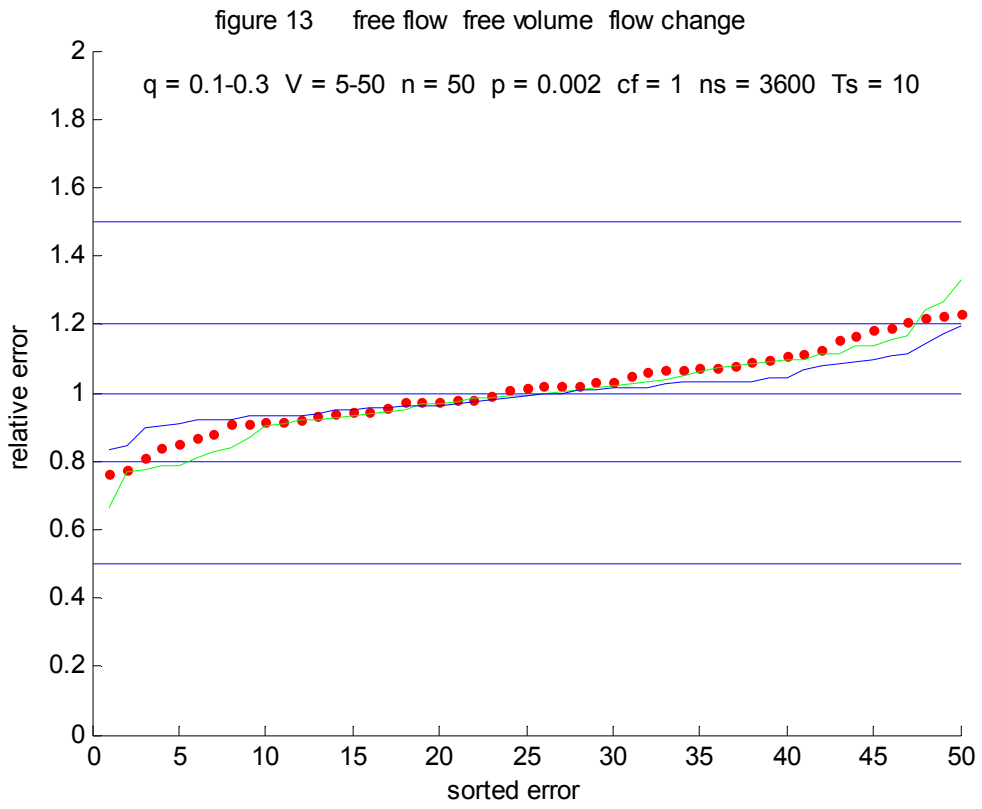
Mätning i varje huskropp är tyvärr inte enkel, eftersom varmvattnet ständigt cirkulerar för att undvika långa väntetider. Detta innebär att delmätningar av olika huskroppar alltid har ett grundflöde som måste räknas bort. Detta grundflöde eller egentligen varmvattencirkulationsflöde är inte heller konstant över dygnet utan det minskar troligen vid höga varmvattenuttag. Själva huvudmätningen sker lämpligen på inkommande kallvatten till varmvattenberedningen och på detta vis undviks det ständigt cirkulerande varmhållningsflödet.



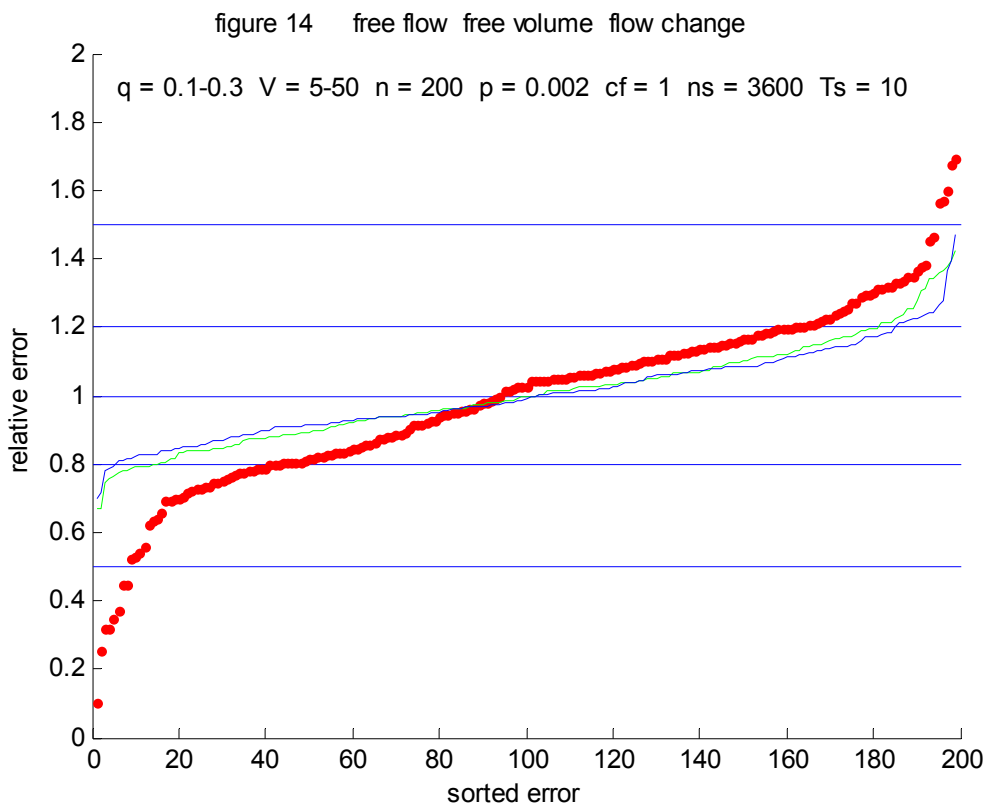
Figur 4.1 Relativt fel för tre debiteringsmetoder för slumpfall 2 och 10 tappställen.



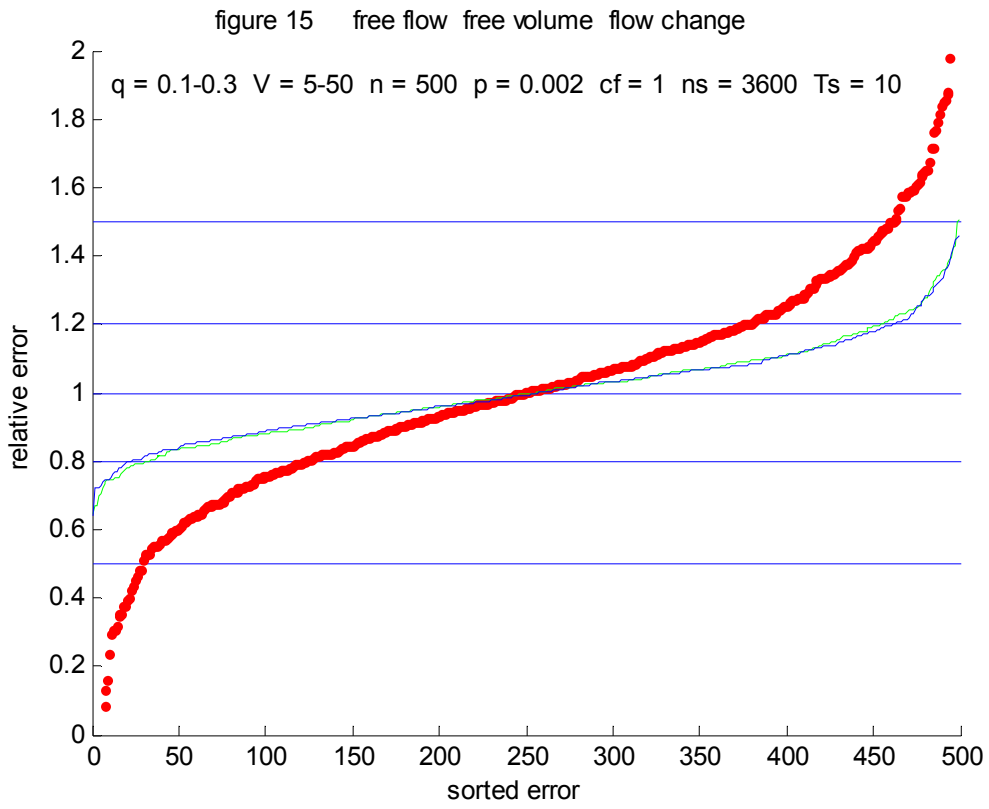
Figur 4.2 Relativt fel för tre debiteringsmetoder för slumpfall 2 och 20 tappställen.



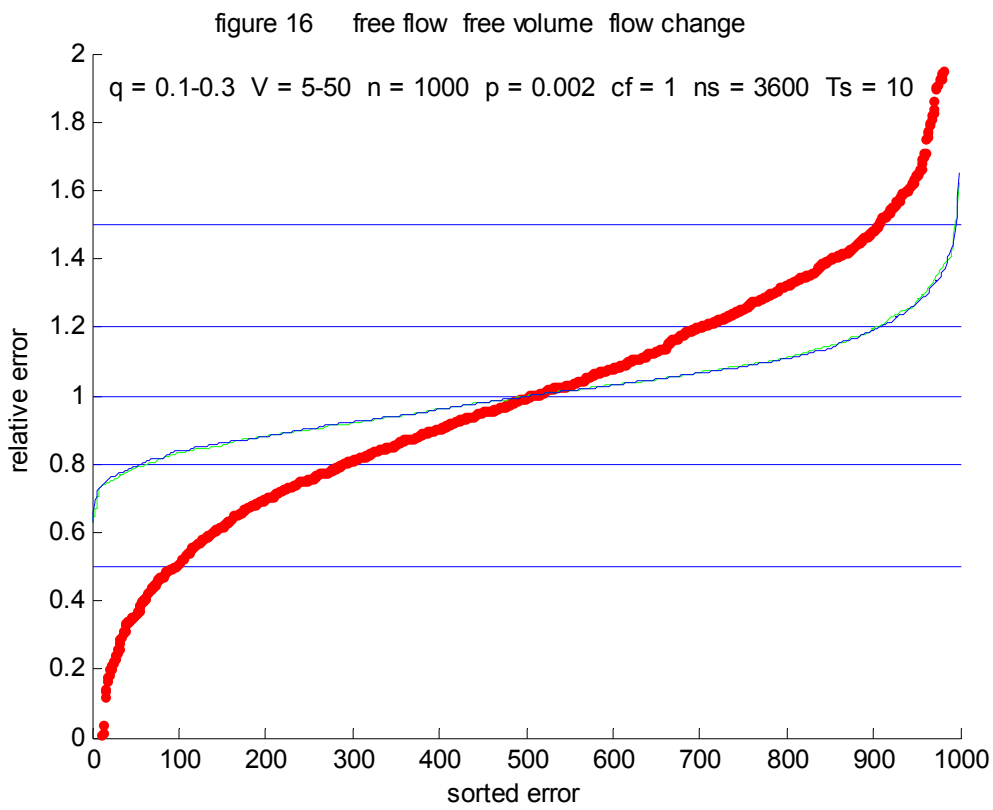
Figur 4.3 Relativt fel för tre debiteringsmetoder för slumpfall 2 och 50 tappställen.



Figur 4.4 Relativt fel för tre debiteringsmetoder för slumpfall 2 och 200 tappställen.



Figur 4.5 Relativt fel för tre debiteringsmetoder för slumpfall 2 och 500 tappställen.



Figur 4.6 Relativt fel för tre debiteringsmetoder för slumpfall 2 och 1000 tappställen.

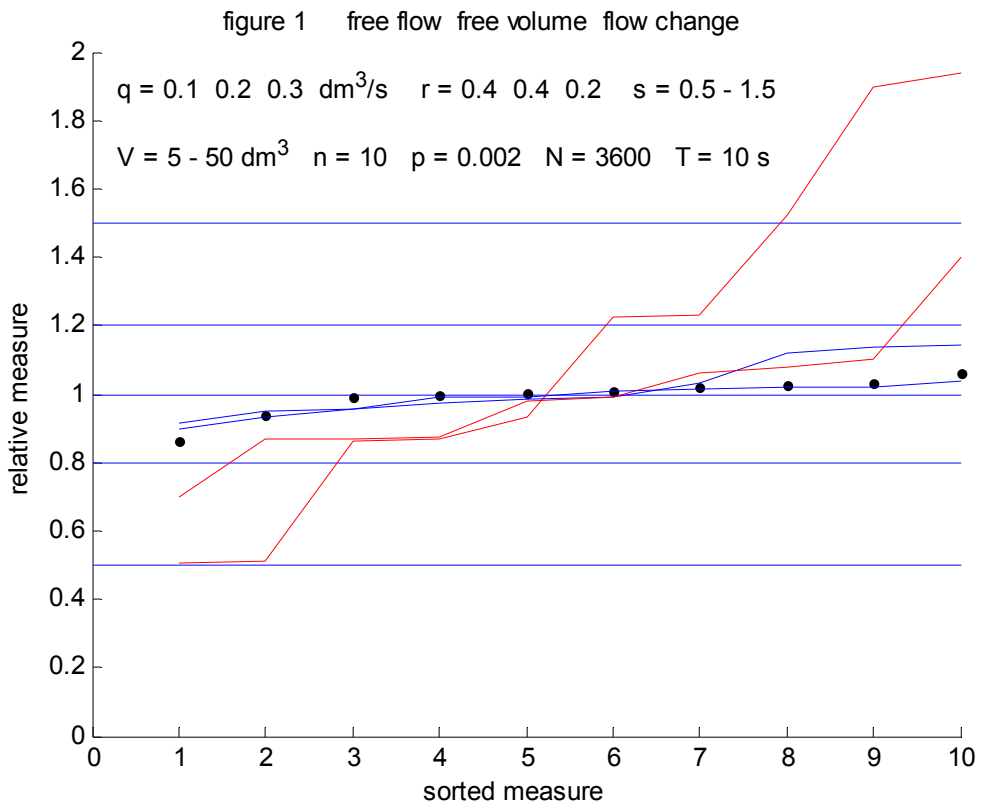
5 Undersökning med kända nominella flöden

I detta avsnitt undersöks om flödesmetoden och volymmetoden kan förbättras genom att utnyttja information om olika tappställens nominella flöden genom viktning. Modellmetoden bestämmer ett flöde för varje tappställe och är inte hjälpt av mer information.

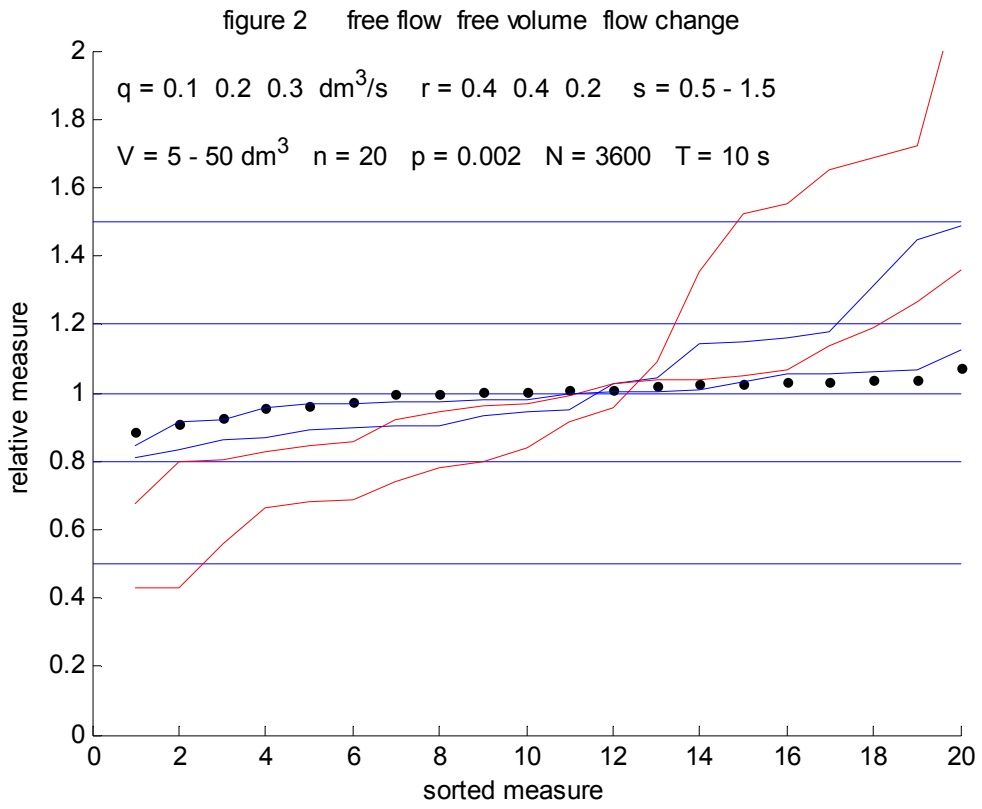
Alla tappställen har delats upp i tre klasser med de nominella flödena 0.1, 0.2 och 0.3 l/s med andelarna 0.4, 0.4 respektive 0.2. Simulering har skett för slumpfall 2 med fritt flöde, fri volym och fri flödesändring. Resultatet utan och med viktning redovisas i Figur 5.1-7 för 10, 20, 50, 100, 200, 500 och 1000 tappställen.

Kommentarer

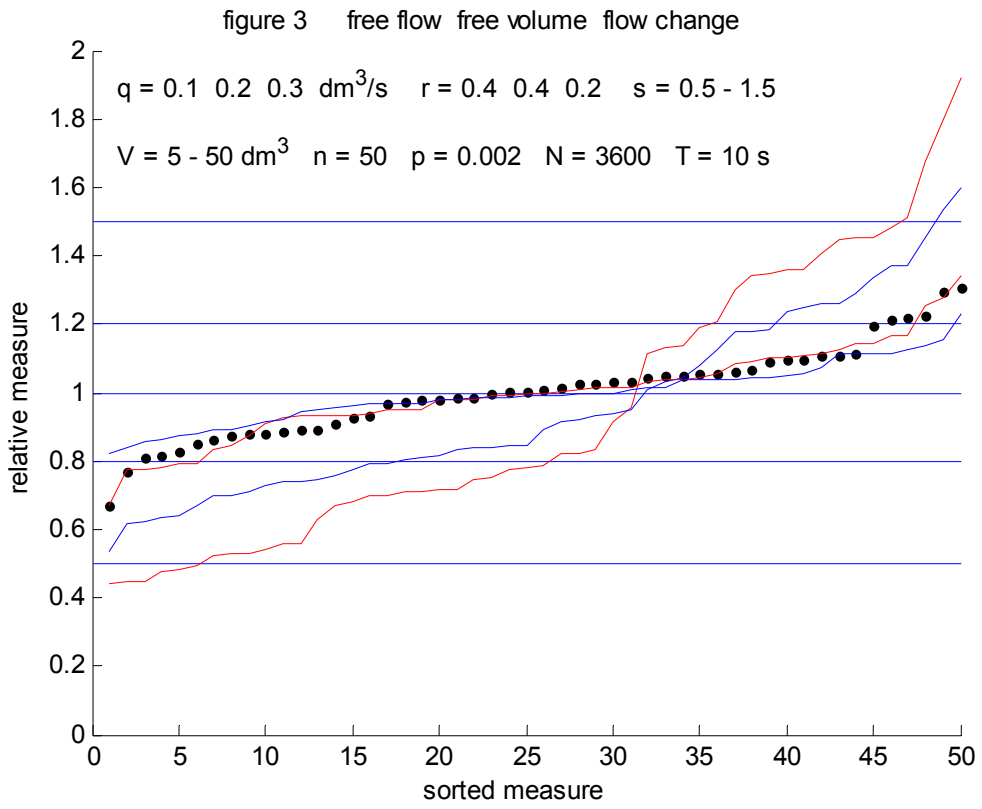
Volym- och flödesmetoden med viktning är bäst när antalet tappställen är större än 50. Flödeskvoten är sällan mindre än 0.8 eller sällan större än 1.2 oberoende av antalet tappställen. Modellmetoden är jämförbar med volym- och flödesmetoden för 10, 20 och 50 tappställen. Volym- och flödesmetoden utan viktning har ett klart sämre resultat än fallet med viktning oberoende av antalet tappställen.



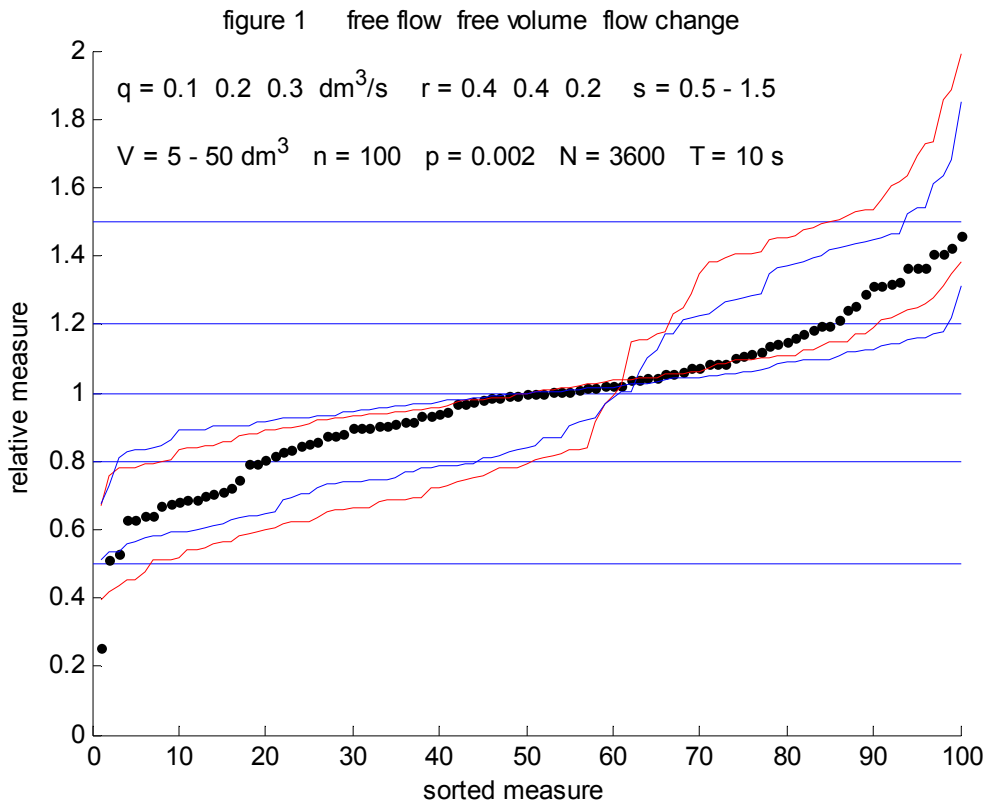
Figur 5.1 Relativt fel för fem debiteringsmetoder för slumpfall 2 och 10 tappställen.



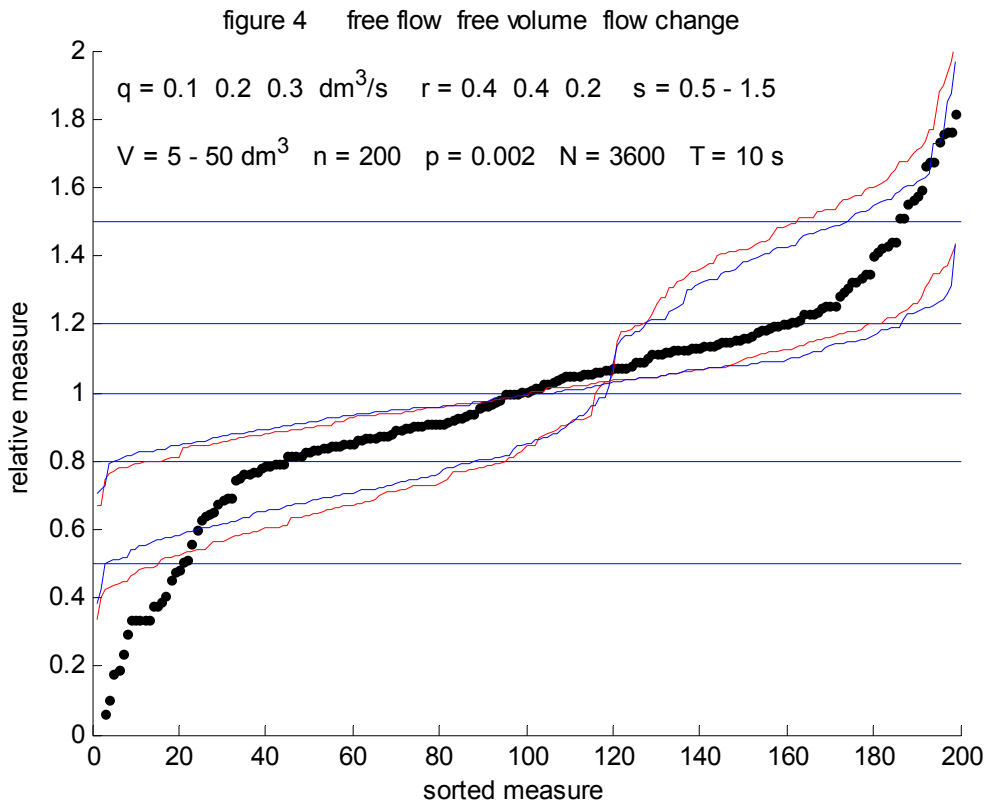
Figur 5.2 Relativt fel för fem debiteringsmetoder för slumpfall 2 och 20 tappställen.



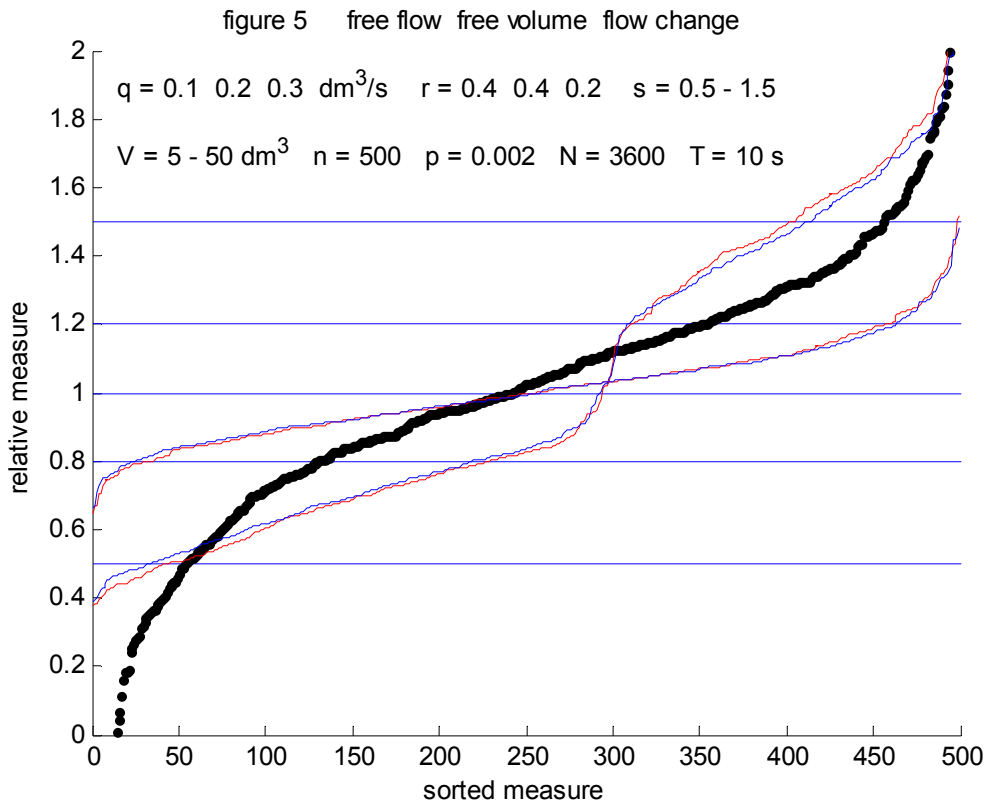
Figur 5.3 Relativt fel för fem debiteringsmetoder för slumpfall 2 och 50 tappställen.



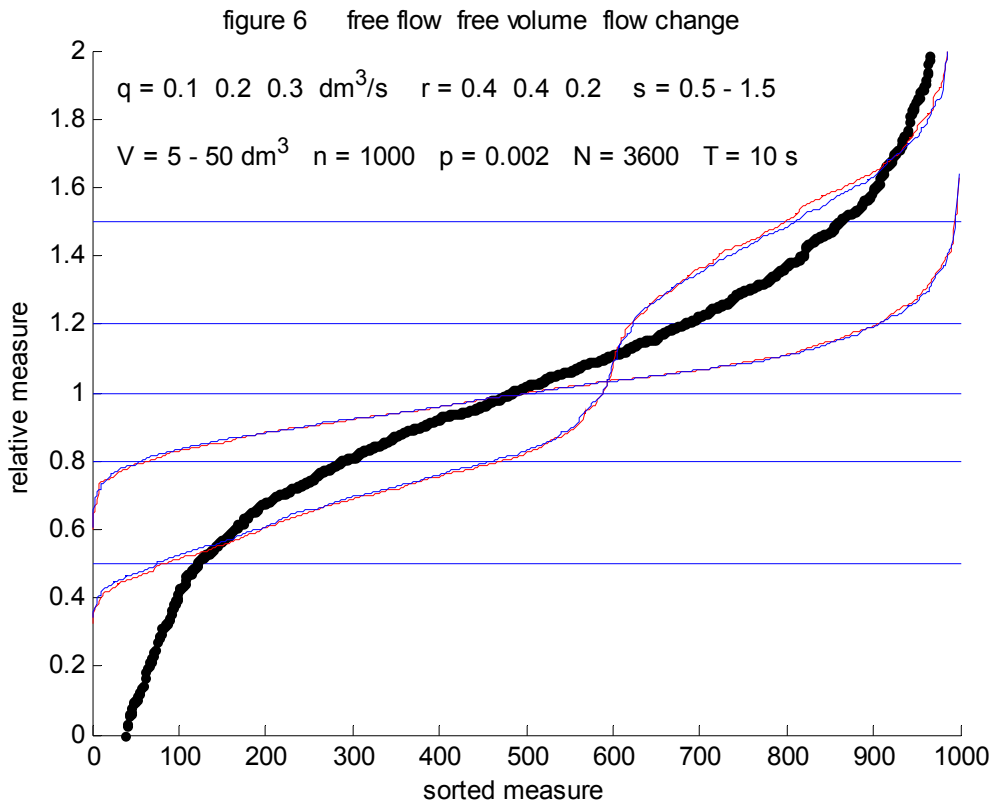
Figur 5.4 Relativt fel för fem debiteringsmetoder för slumpfall 2 och 100 tappställen.



Figur 5.5 Relativkvot för fem debiteringsmetoder för slumpfall 2 och 200 tappställen.



Figur 5.6 Relativkvot för fem debiteringsmetoder för slumpfall 2 och 500 tappställen.



Figur 5.7 Relativkvot för fem debiteringsmetoder för slumpfall 2 och 1000 tappställen.

6 Undersökning av termisk tidsfördröjning

En utvändigt monterad temperaturgivare har en viss termisk tröghet. Detektering av en påbörjad varmvattentappning fördröjs obetydligt när väl varmvattentemperaturen är tillräckligt hög. Detektering av en avslutad varmvattentappning är osäker, eftersom både rör och vatten i röret skall kylas av till en given temperaturgräns under normalt förekommande varmvattentemperaturer.

Hur stor fördröjningen är för en påbörjad och en avslutad varmvattentappning kan undersökas med en enkel modell. Fördröjningen kan uppskattas genom att beräkna den termiska trögheten för fallet med strömmande vatten och stillastående vatten i röret, vilket motsvarar påbörjad tappning respektive avslutad tappning. Den termiska trögheten kan räknas om till en tidkonstant som anger kvoten med värmelagringsförmåga J/K och värmeöverföringsförmåga W/K.

Trögheten vid påbörjad tappning antas endast bero på rörets värmelagringsförmåga och givarens tröghet, vilken kan beskrivas som en ökad godstjocklek för röret. Värmeupptagninig sker med det inre värmeövergångstalet om 1000 W/Km^2. Den yttre värmeförlusten försummas.

Trögheten vid avslutad tappning beror på rörets och givares värmelagringsförmåga samt det stillastående vattnet. Värmeavgivningen till omgivningen sker med ett yttre värmeövergångstal om 10 W/Km^2. Värmeöverföringen mellan rör och vatten antas vara oändlig utan någon temperaturskillnad mellan rör och vatten.

De två fallens tidkonstanter räknas för vattenfyllda kopparrör med fem olika innerdiametrar *d*, tre olika godstjocklekar *t* samt med ett yttre och inre värmeövergångstal på 10 respektive 1000 W/Km^2 redovisas i Tabell 6.1. Värmelagringsförmåga för rör och vatten, värmeöverföringsförmåga och tidkonstanter beräknas som följer för 1 m rör:

$$C_r = \rho_r \, c_r \, \pi \, ((d+2t)^2 - d^2)/4 \qquad \text{(J/K)} \qquad (6.1)$$

$$C_v = \rho_v \, c_v \, \pi \, d^2/4 \qquad \text{(J/K)} \qquad (6.2)$$

$$Ah_{start} = \pi \, d \, h_{start} \qquad \text{(W/K)} \qquad (6.3)$$

$$Ah_{stopp} = \pi \, (d+2t) \, h_{stopp} \qquad \text{(W/K)} \qquad (6.4)$$

$$T_{start} = C_r \, / \, Ah_{start} \qquad \text{(s)} \qquad (6.5)$$

$$T_{stopp} = (C_r + C_v) \, / \, Ah_{stopp} \qquad \text{(s)} \qquad (6.6)$$

Siffrorna i Tabell 6.1 visar att tidkonstanten vid start är mindre än 10 s för godstjocklekar upptill 2 mm. Denna ger en termisk fördröjning, som är försumbar.

Tabell 6.1 Tidkonstanter för start- och stoppförlopp
för olika innerdiameter och godstjocklek

t	1 mm		2 mm		3 mm	
d	T_{start}	T_{stopp}	T_{start}	T_{stopp}	T_{start}	T_{stopp}
mm	s	min	s	min	s	min
8	4	17	9	19	15	22
10	4	20	9	23	14	25
12	4	23	8	26	13	29
15	4	29	8	31	13	34
20	4	37	8	40	12	43

Siffrorna i Tabell 6.1 visar att tidkonstanten vid stopp är minst 15 min (notera olika tidsorter). Denna ger en fördröjning, som är betydande. Enda sättet att minska fördröjningen är att detektera en mindre sänkt temperatur som en avslutad tappning och inte använda en fast temperaturgräns under vilken debitering avbryts. Detta kan fungera om varmvattentemperaturen är stabil utan stora pendlingar. En enkel undersökning görs som följer.

Antag att följande data gäller 30 min tidkonstant, 2 °C mätt temperatursänkning för avslutad tappning, 55 °C tappvattentemperatur och 25 °C omgivningstemperatur. Den totala avkylningen är 30 °C. Avkylningen i början ser ut att ta 30 min för 30 °C. Detta ger en hastighet av 1 °C/min. Fördröjningen blir därför 2 min.

Vad olika fördröjningar betyder redovisas i Figur 6.1-5 utan och med fyra startfördröjningar 10, 20, 30 och 60 s (1, 2, 3 och 6 mätintervall) och i Figur 6.6-8 för tre längre stoppfördröjningar 60, 120 och 180 s (6, 12 och 18 mätintervall). Simuleringsfallet är det samma redovisats i avsnitt 5 med fritt flöde, fri volym och fri flödesändring och samma fem mätmetoder provas.

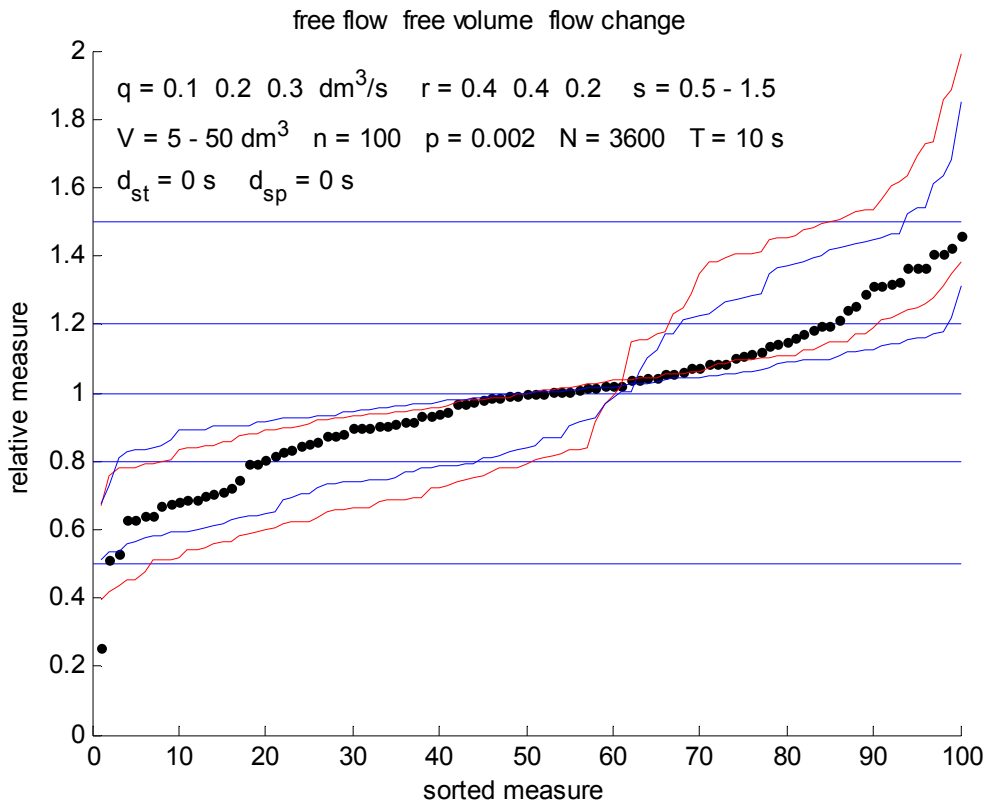
Kommentarer

En anmärkning är att en startfördröjning inte ger samma resultat som en lika stor stoppfördröjning, eftersom startfördröjningar minskar tappningstiden och stoppfördröjningar ökar tappningstiden. En jämförelse mellan 60 s startfördröjning i Figur 6.5 och 60 s stoppfördröjning i Figur 6.6 visar att start fördröjningen ger mer avvikande volymkvoter.

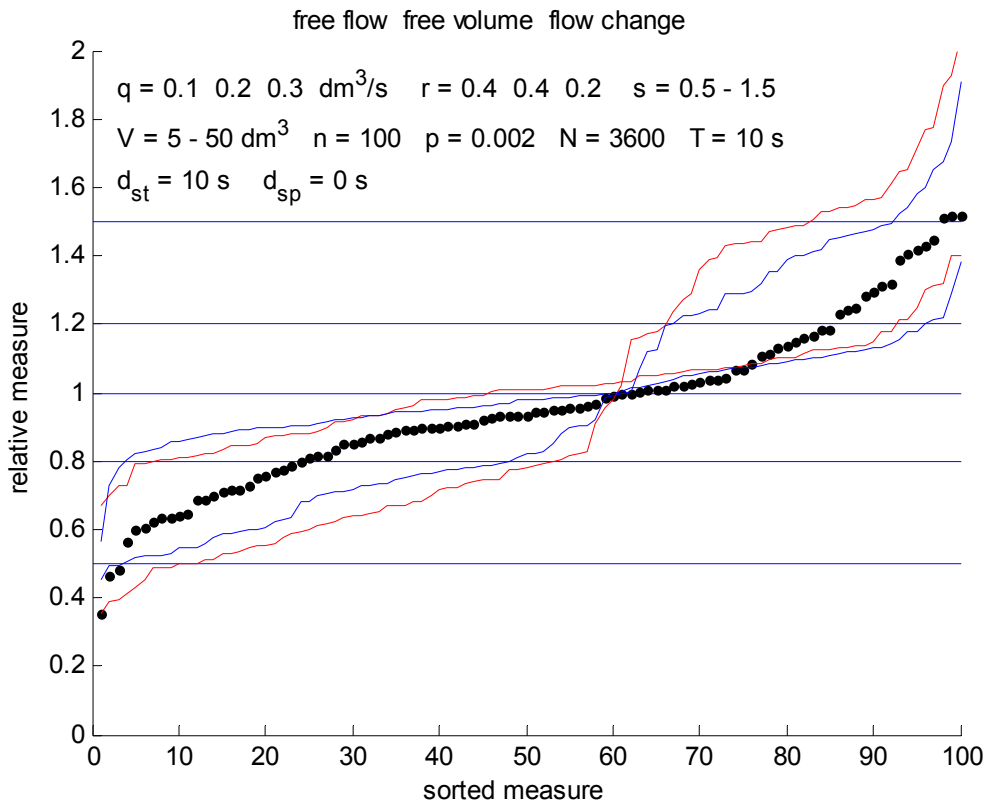
Modellmetoden ger dåligt resultat och mycket stora fel för långa stoppfördröjningar.

Flödes- och volymmetoden med viktning är bäst och felet ökar med både start- och stoppfördröjningstid. En startfördröjning på 20 s har volymkvoter under 0.8 för omkring 10 tappställen och över 1.2 för omkring likaså 10 tappställen av totalt 100 tappställen.

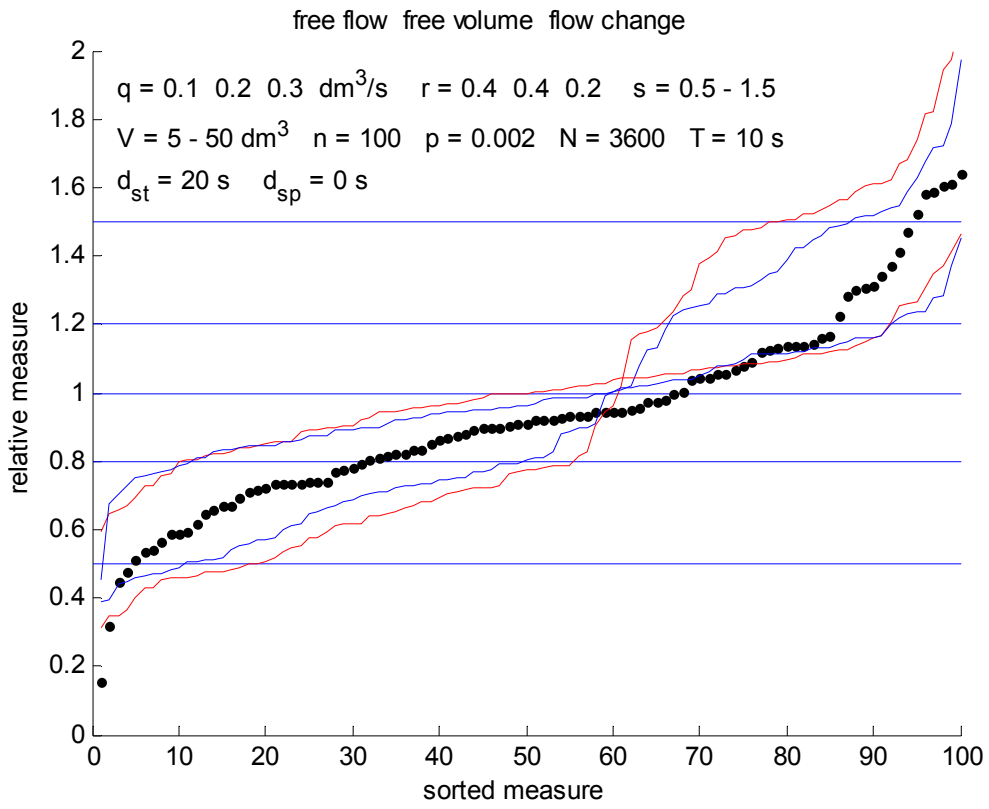
Resultatet för olika stoppfördröjningar i Figur 6.4-6 visar att skillnaden mellan utan och med viktning minskar till ingen alls med ökande stoppfördröjningstid. Volymkvoterna för stoppfördröjningstid 180 s är under 0.8 för omkring 20 tappställen och över 1.2 för omkring 25 tappställen.



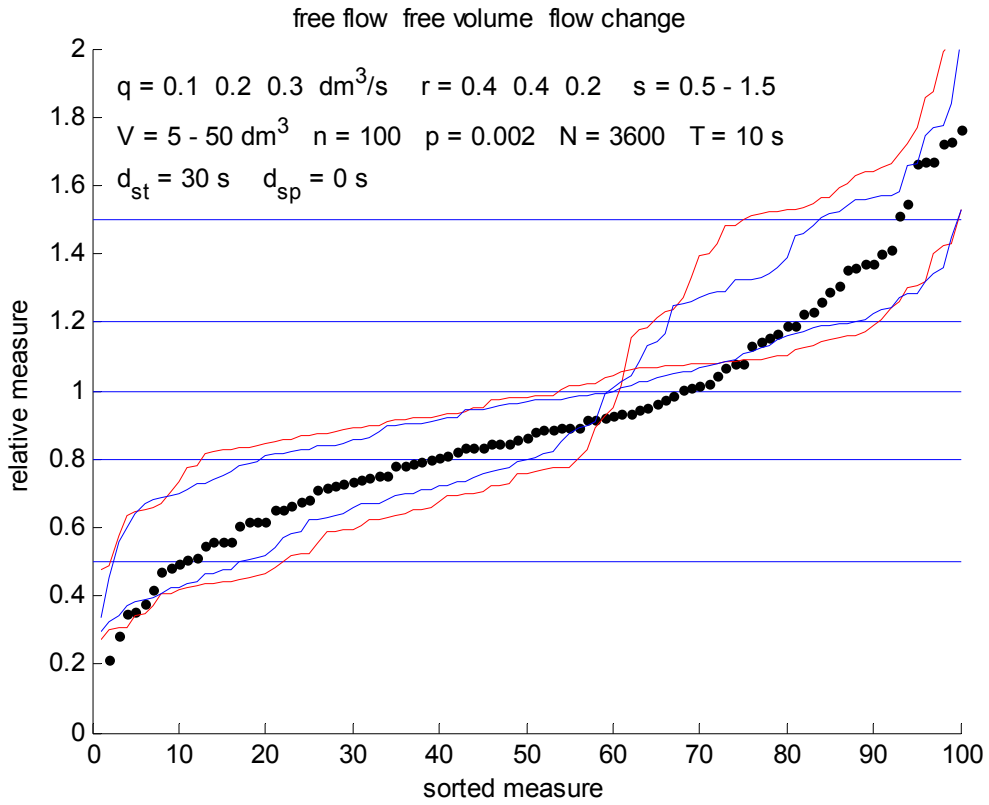
Figur 6.1 Relativt mått för fem debiteringsmetoder utan fördröjning.



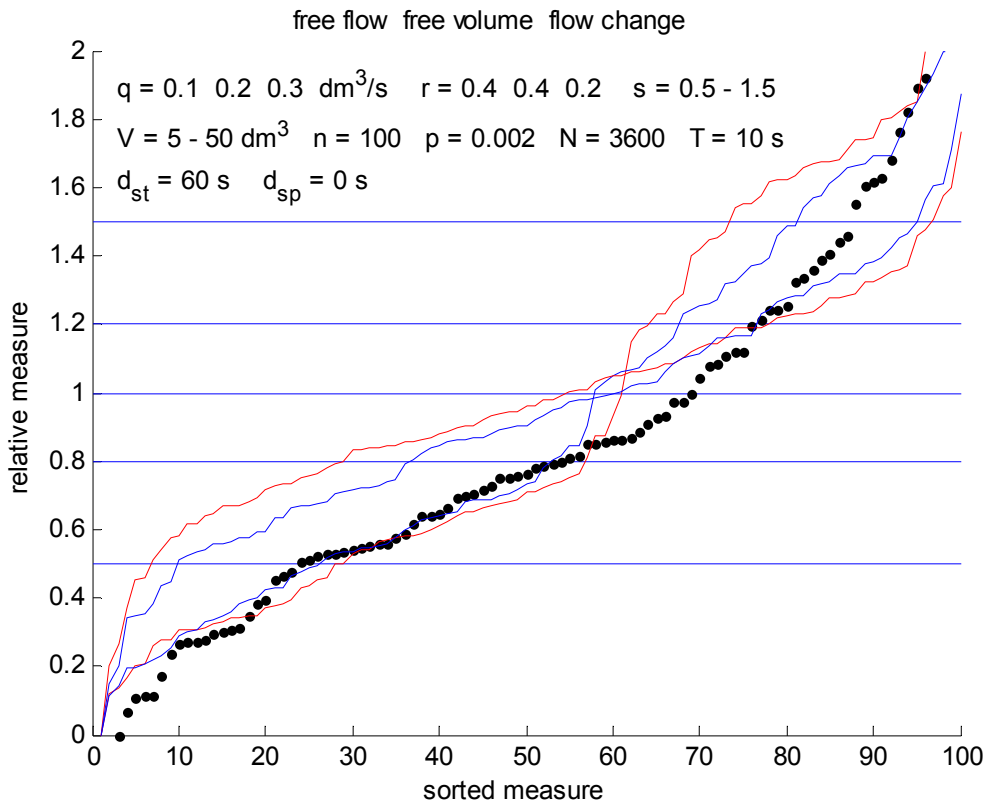
Figur 6.2 Relativt mått för fem debiteringsmetoder med fördröjning 10 s och 0 s.



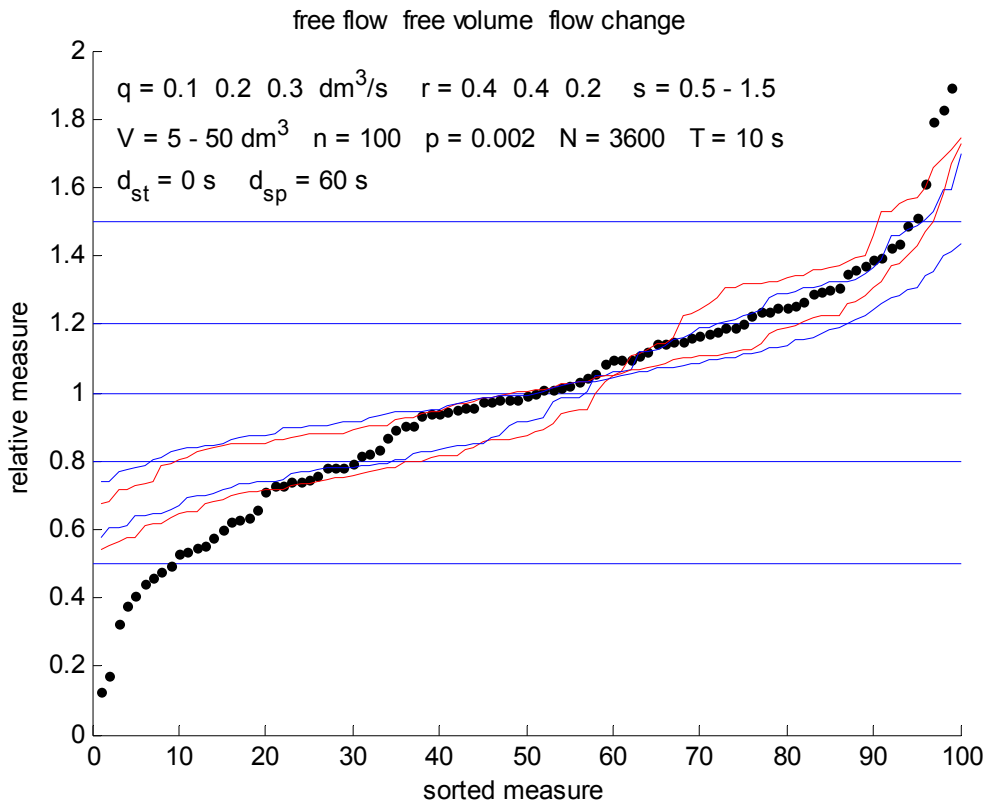
Figur 6.3 Relativt mått för fem debiteringsmetoder med fördröjning 20 s och 0 s.



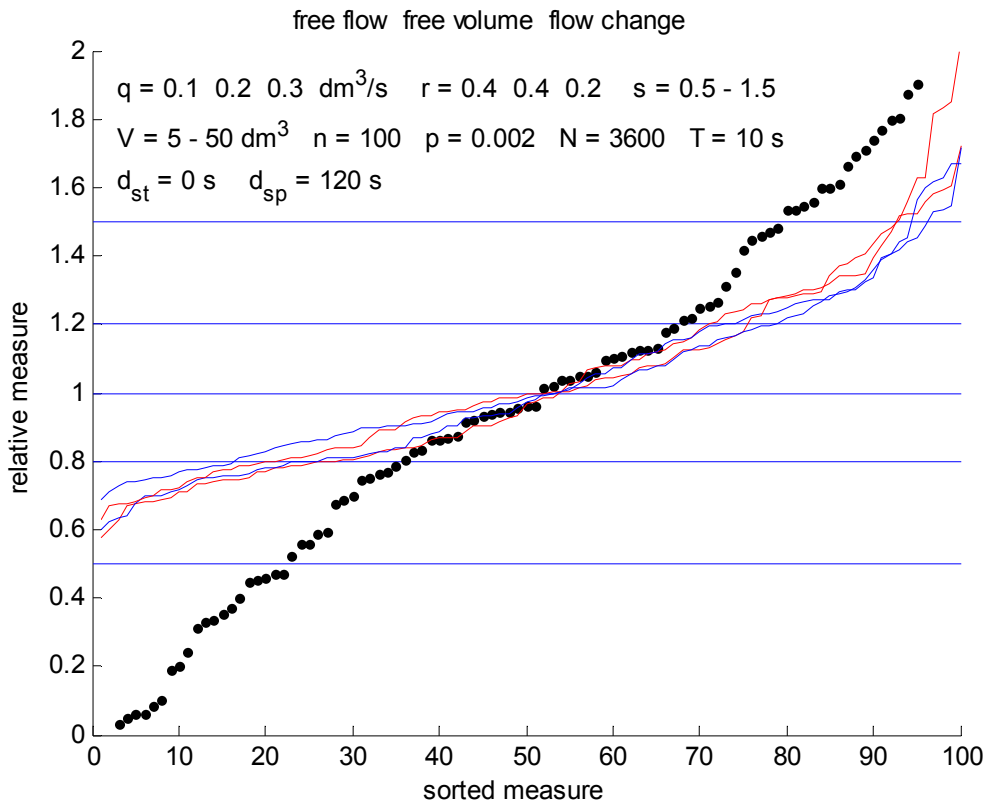
Figur 6.4 Relativt mått för fem debiteringsmetoder med fördröjning 30 s och 0 s.



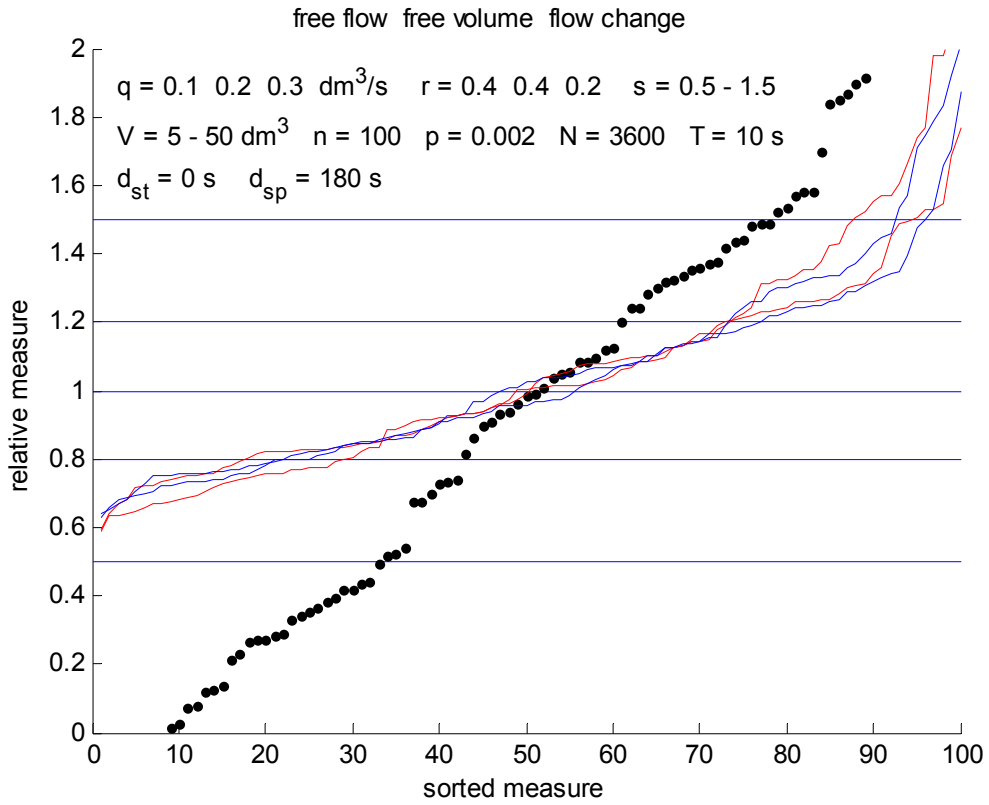
Figur 6.5 Relativt mått för fem debiteringsmetoder med fördröjning 60 s och 0 s.



Figur 6.6 Relativt mått för fem debiteringsmetoder med fördröjning 0 s och 60 s.



Figur 6.7 Relativt mått för fem debiteringsmetoder med fördröjning 0 s och 120 s.



Figur 6.8 Relativt mått för fem debiteringsmetoder med fördröjning 0 s och 180 s.

7 Sammanfattning och slutsatser

En enkel mätmetod för att debitera varmvatten har undersökts genom simulering med slumptal. Mätprincipen bygger på att mäta totalflödet och när enskilda tappställen tappar varmvatten genom att mäta temperaturen på röret till tappstället. Den termiska trögheten fördröjer både att en tappning har startat och att en tappning har slutat. Start och stoppfördröjningar skiljer sig åt betydligt, eftersom i det första fallet strömmar varmt vatten och i det andra faller står varmt vatten kvar och svalnar av. Stoppfördröjning kan göras liten om det går att använda en liten temperatursänkning för att avgöra om att tappningen har upphört.

Tre olika mätmetoder har undersökts. Totalflödet kan fördelas momentant, vilket betecknas som flödesmetoden, eller över längre tid, vilket betecknas som volymmetoden. Den tredje mätmetoden betecknas som modellmetoden, vilken bestämmer ett flöde för varje tappställe enligt minsta kvadratmetoden. Flödes- och volymmetoden har även utökats med viktning efter tappställets nominella flöde, vilket förbättrar funktionen.

Simulering har inledningsvis skett med åtta olika slumpfall och av dessa har det mest rimliga slumpfallet med fritt flöde, fri volym och fri flödesändring använts i fortsättningen. Slutsatserna från simuleringarna kan summeras med följande för volymkvoten mellan debiterad volym och verklig volym:

- Modellmetoden har genomgående mycket sämre resultat än de två enklare metoderna. Det är endast för fallet med få tappställen som skillnaden till övriga metoder är liten.
- Viktning efter tappställes nominella flöde ger en klar förbättring.
- Felet ökar med ökande antal tappställen. Förklaringen är att ju fler tappställen desto fler tappar samtidigt och delar på totalflödet med eller utan viktning.
- Flödes- och volymmetoden skiljer sig knappast åt för ett stort antal tappställen.
- Volymkvoten är under 0.8 eller över 1.2 för ett litet antal tappställen för fall utan termisk fördröjning.
- Startfördröjning är måttlig och försämrar resultatet något.
- Stoppfördröjningen är betydande och försämrar resultatet betydligt.

Huvudslutsatsen är mätmetoden kan användas om stoppfördröjningen kan minskas till under 60 s. Felet med att debitera felaktigt kan alltid jämföras med att inte alls debitera efter förbrukning. En kompromisslösning är att debitera efter den beräknade lägenhetsvolym V_i och lägenhetens ytandel a_i. Om det största felet eller volymkvoten högst är k, då kan debitering ske efter $V_i/k+(1-1/k)a_iV$ där V är totalvolymen och summan av alla V_i. Detta innebär dock att om alla lägenheter har lika V_i och a_i att den med det största felet likväl debiteras för felmätt volym V_i och inte för V_i/k, eftersom den gemensamt fördelade volymen är $(1-1/k)V_i$.