



# LUND UNIVERSITY

## Tryckfall i trapphus - Modellförsök

Jensen, Lars

2005

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Jensen, L. (2005). *Tryckfall i trapphus - Modellförsök*. (TVIT; Vol. 7001--05/7001). 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

# Tryckfall i trapphus - Modellförsök

*Lars Jensen*

---

Avdelningen för installationsteknik  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet, 2005  
Rapport TVIT--05/7001



## 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 som ger bra inneklimat i samverkan med byggnaden.

Nuvarande forskning innefattar bl a utveckling av metoder för utveckling av beräkningsmetoder för godtyckliga flödessystem, konvertering av direktelvärmade 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 golvvärmesystem, bestämning av luftflöden i byggnader med hjälp av spargasmetod.

# Tryckfall i trapphus - Modellförsök

*Lars Jensen*

© Lars Jensen, 2005

ISRN LUTVDG/TVIT--05/7001--SE(27)

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

# Innehållsförteckning

1	Inledning - problemställning	5
2	Trapphusmodeller	7
3	Mätförsök	9
4	Individuell tryckfallsmodell för trapphus	13
5	Generell tryckfallsmodell för trapphus	21
6	Sammanfattning och slutsatser	25
7	Referenser	27



# 1. Inledning

Syftet med denna rapport är att dokumentera ett antal försök med modelltrapphus och att bestämma hur strömningstryckfallet per våningsplan beror på olika faktorer såsom följande:

- |                                |                              |
|--------------------------------|------------------------------|
| öppet trapphus utan mittvägg   | slutet trapphus med mittvägg |
| trapphus med halvtrappa        | trapphus med heltrappa       |
| trapphus med olika trappbredd  |                              |
| trapphus med olika våningshöjd |                              |

Tryckfallet kan anges som en engångsförlust per våningsplan eller som ett specifikt tryckfall per plan eller per meter för ett flöde om  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ . En fördel med engångsförlusten, är att tryckfallet blir storleksoberoende och därför lätt kan tillämpas på andra fall med andra mått. Det specifika tryckfallet måste däremot skalas om till full skala med en faktor proportionell mot skalan i kvadrat och under förutsättning att tryckfallet är kvadratisk i flödet.

Ett trapphus kan ha heltrappor eller halvtrappor. Det senare innebär ett vändplan halvvägs mellan våningsplanen och ett mera kompakt trapphus. Vilket fall som har störst tryckfall för ett givet flöde är inte självklart. Heltrappor har en längre strömningssväg, men endast en kontraktion och en mindre vinkel (böj) vid övergång från plan till själva trapppassagen och en mindre vinkel (böj) efter. Halvtrappor har två kontraktioner och fyra mindre vinklar (böjar). Båda trapptyperna har givetvis två  $180^\circ$  skarpa vinklar.

Ett trapphus kan vara öppet utan någon mittvägg eller slutet med en mittvägg. Det senare innebär att själva trapporna omges av väggar på båda sidor. Detta ökar tryckfallet något eftersom luftströmningen inte kan ta genvägar.

Själva trapporna kan ha olika bredd. Engångsförlusten bör vara ganska oberoende av storleken, medan det specifika tryckfallet bör vara omvänt proportionellt mot bredden i kvadrat. En dubblad bredd ger en halverad hastighet vid samma flöde och därmed ett dynamisk tryck som endast är en fjärdedel. En dubblad bredd och ett dubblat flöde med samma hastighet innebär att tryckfallet borde vara oförändrat om tryckförlusterna är enbart av engångsförlusttyp.

Våningshöjden bestämmer trapplängden, men om lösningen är den samma med halvtrappa eller heltrappa borde tryckfallet bli snarlikt det för en trapphus med en annan våningshöjd. I byggnader med stora våningshöjder kan en trappa bestå av två eller fler egna våningsplan. Den egentliga våningshöjden är därför ointressant utan det som räknas är trappans våningsplan.

Något som gör det osäkert att beräkna engångsförlusten för ett våningsplan genom att summera engångsförluster för olika detaljer såsom olika vinklar och övergångar är att det saknas raksträckor mellan detaljerna. Hur detaljerna är ihopkopplade har stor betydelse och detta benämns som systemeffekt. Den resulterande engångsförlusten kan därför både bli större eller mindre av summan av de enskilda detaljernas engångsförluster.



En viktig förutsättning för att ett trapphus skall ha ett påtagligt tryckfall är att själva trapporna och gångplanen täcker hela trapphusets bottenyta. Trapphuset får inte innehålla stora volymer där fritt fall i hela trapphusets höjd är möjligt.

## 2. Trapphusmodeller

Modellförsök har genomförts med modeller i skala 1:50. Fullskalemått kommer att användas i den följande texten. Fyra modeller har byggts med kombinationer av två utföranden, halv- och heltrappa, och två trappbredder, 1 och 2 m. Plan och sektion redovisas i Figur 2.1 och 2.2 för halv- respektive heltrappa. En tredje kombinationsmöjlighet finns genom att mittväggen kan tas bort.

Antalet olika trapphus är därför totalt sett åtta och har getts numreringen 1-8. Två äldre modeller i skala 1:100, tidigare redovisade i Jensen (1999), har åter genommätts och de numreras 9-10.

Den valda skalan 1:50 är egentligen godtycklig och behöver inte avse en byggnad med våningshöjden 3 m utan kan med en annan skala avse en annan våningshöjd t ex skala 1:60 och våningshöjden 3.6 m.

Modellerna har byggts i 6 mm masonite utom den borttagbara mittväggen som är endast 2 mm masonite.

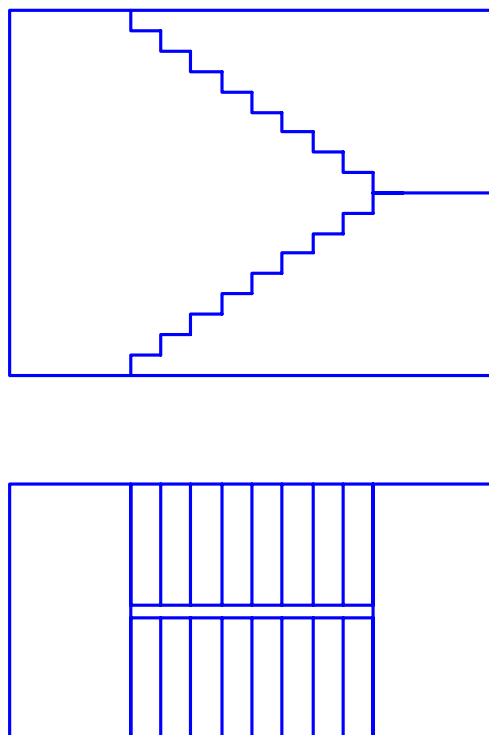
Våningshöjden har satts till 3 m och med den aktuella skalan blir bjälklags- och trapptjocklek 300 mm och mellanväggstjockleken endast 100 mm. Antalet våningsplan i modellerna är tjugo med nitton mellanliggande trappor.

Själva trapplöpen har byggts med en standardlutning 3:4 och släta utan individuella trappsteg med 6 mm masonite. Detta motsvarar en trapptjocklek på 300 mm, vilket är betydligt mer än vad själva trapplöpets steg och bärning kräver. Stegprofilens djup för standardlutning 3:4 är 0.6 av steglängden och för en steglängd på 240 mm blir profildjupet 144 mm. Den bärande delen av trappan bygger ofta mindre än 100 mm för rimliga trapplängder. Modelltrappans tjocklek på 300 mm är därför i överkant rent utrymmesmässigt. Det kan också tilläggas att trappprofilen endast finns på en mindre del av trappans ytor.

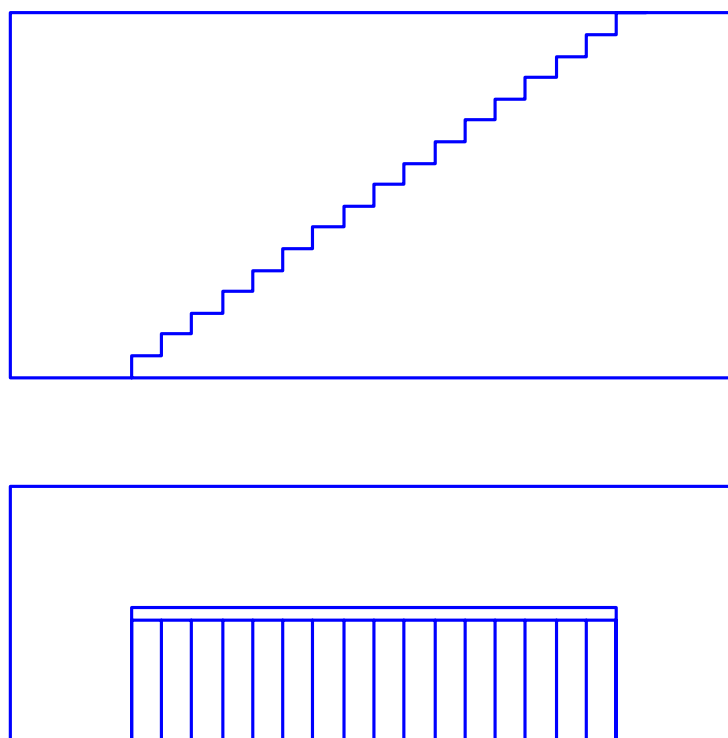
Tabell 2.1 Sammanställning över modelltrappornas utförande och mått i fullskala

modell	typ	typ	skala	trapp- bredd	trapphus längd	trapphus bredd	trapphus yta per plan	löplängd per plan
				m	m	m	m <sup>2</sup>	m
1	slutet	halv	1:50	1	4	2	66	9
2	öppet	halv	1:50	1	4	2	54	9
3	slutet	hel	1:50	1	6	2	98	13
4	öppet	hel	1:50	1	6	2	74	13
5	slutet	halv	1:50	2	6	4	124	13
6	öppet	halv	1:50	2	6	4	112	13
7	slutet	hel	1:50	2	8	4	164	17
8	öppet	hel	1:50	2	8	4	140	17
9	öppet	halv	1:100	1	4	2	54	9
10	öppet	hel	1:100	1	6	2	74	13

Mittväggen har försumrats. Trappbredden borde vara 0.95 m och 1.95 m för slutna trappor. Felet är dock litet.



Figur 2.1 Sektion och plan för halvtrappa våningshöjd 3 m och trappbredd 1 m.



Figur 2.2 Sektion och plan för heltrappa med våningshöjd 3 m och trappbredd 1 m.

### 3. Mätförsök

Tryckmätningssuttag har placerats i samma punkt på plan 3 och plan 18 räknat i strömningsriktningen. Trapphustryckfallet har mätts med U-rörsmanometer.

Trapphusflödet har mätts med en anpassad mätfläns med diameter 100 mm som för ett flöde på 4 l/s skall ge ett mättryckfall på omkring 60 Pa. Den skarpkantade mätflänsens diameter var 9 mm för modeller i skala 1:100 eller 32 mm för modeller i skala 1:50 och kontraktionen har antagits vara 0.6. Trapphusflödet har varierats genom att strypa fläkten.

Från mätningarna redovisas följande:

tryckfall per plan, Pa	Figur 3.1	
trapphus hastighet, m/s	Figur 3.2	(för gångtvärsnitt)
Reynolds tal, -	Figur 3.3	(för gångtvärsnitt)
engångsförlust per plan, -	Figur 3.4	(för gångtvärsnitt)
specifikt tryckfall per plan, Pa/(m <sup>3</sup> /s) <sup>2</sup>	Figur 3.5	

Gångtvärsnittet är trappbredden gånger den fria våningshöjden (våningshöjden minus bjälklagstjockleken). Arean är 2.7 och 5.4 m<sup>2</sup> för de två trappfallen med en trappbredd på 1 och 2 m och en fri trapphöjd på 2.7 m.

Ett krav för att modellförsök skall kunna översättas till fullskala är att strömningen är likartad. Detta kan kontrolleras med Reynolds tal för både modellskala och fullskala. Reynolds tal beräknas som följer:

$$Re = v d / \nu \quad (-) \quad (3.1)$$

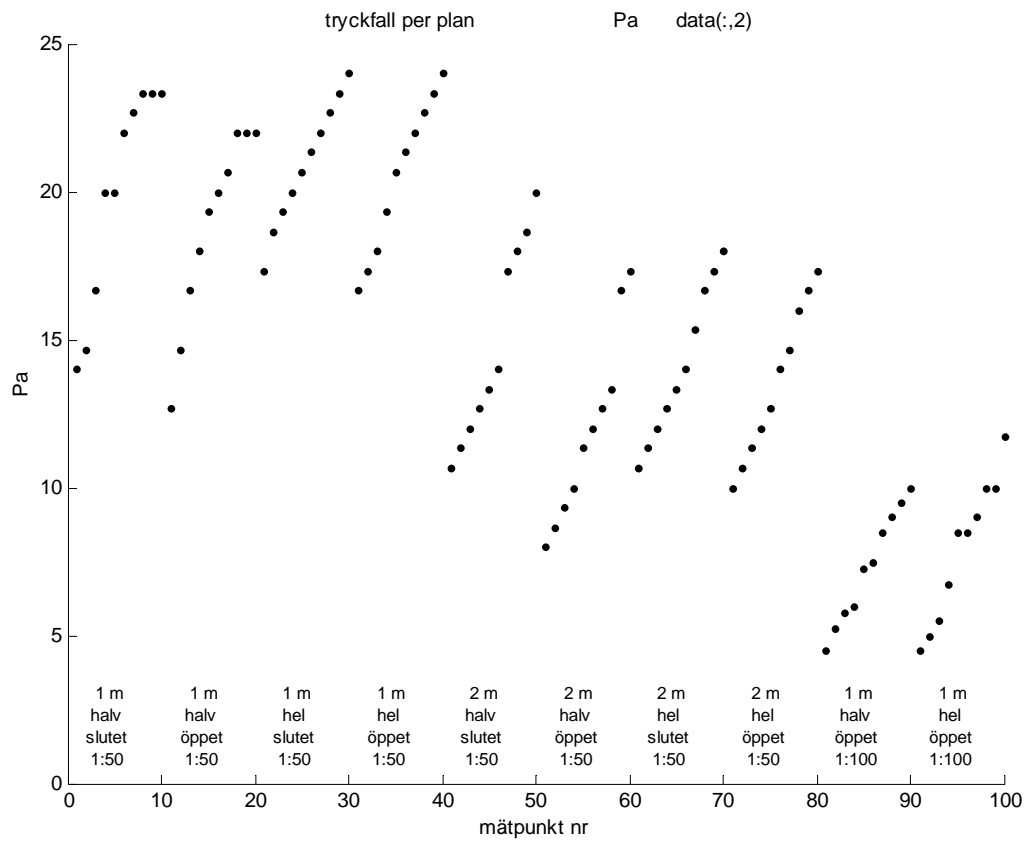
där

$v$	strömningshastighet, m/s
$d$	karaktäristisk längd, m
$\nu$	kinematiska viskositeten, m <sup>2</sup> /s

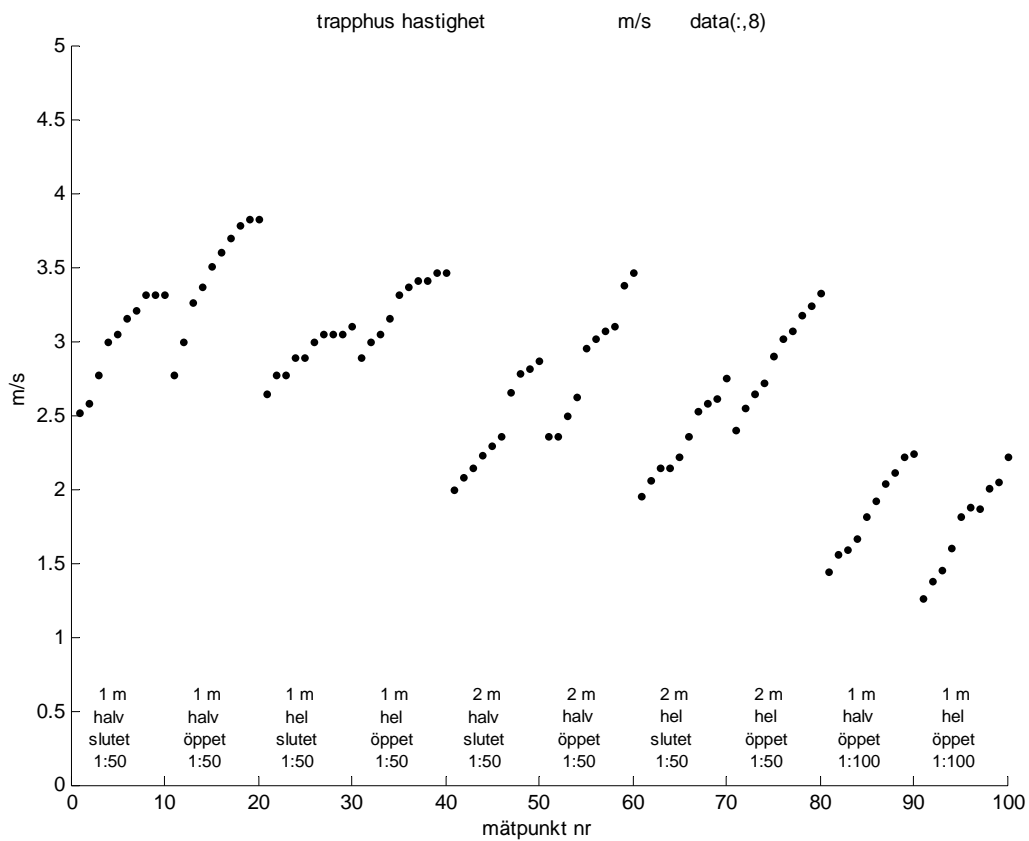
Den hydrauliska diameter är 1.5 m för ett rektangulärt tvärsnitt på 1 gånger 3 m och med en fullskalehastighet på minst 1 m/s och en kinematisk viskositet på 15 · 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s fås ett Reynolds tal på minst 10<sup>5</sup>. Modellförsök har skett med hastigheter från 1 upp till 5 m/s. Detta ger ett Reynolds tal från 2000 upptill 10000 eller från 10 upp till 50 gånger lägre än i fullskala.

En anmärkning är att det är omöjligt att uppnå samma Reynolds tal i modellskala som i fullskala. Det krävs en ökning av hastigheten med en faktor 10 som i sin tur innebär en ökning av tryckfallet med en faktor 100 på grund av kvadratiska tryckförluster. Tryckfallet per våningsplan blir omkring 2 kPa och för 15 våningsplan 30 kPa. Detta tryckfall skall jämföras med absoluttrycket på omkring 100 kPa. Strömningen kan inte betraktas som inkompressibel och normala ventilationsfläktar hade inte gått att använda för modellförsöken eftersom deras tryckstegring sällan överstiger några kPa.

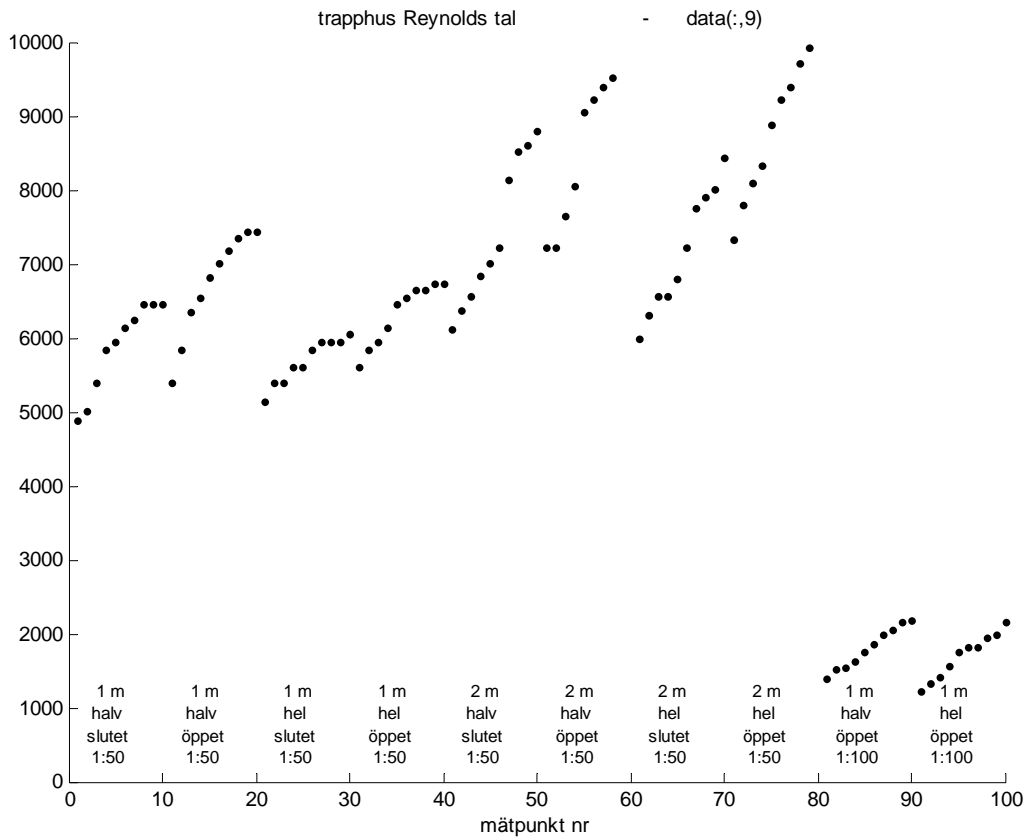
Försök med vatten hade krävt hastigheter över 10 m/s för Reynolds tal omkring 100 000. Detta hade medfört orimliga tryckfall på 150 kPa per våningsplan (3 1000 10<sup>2</sup>/2).



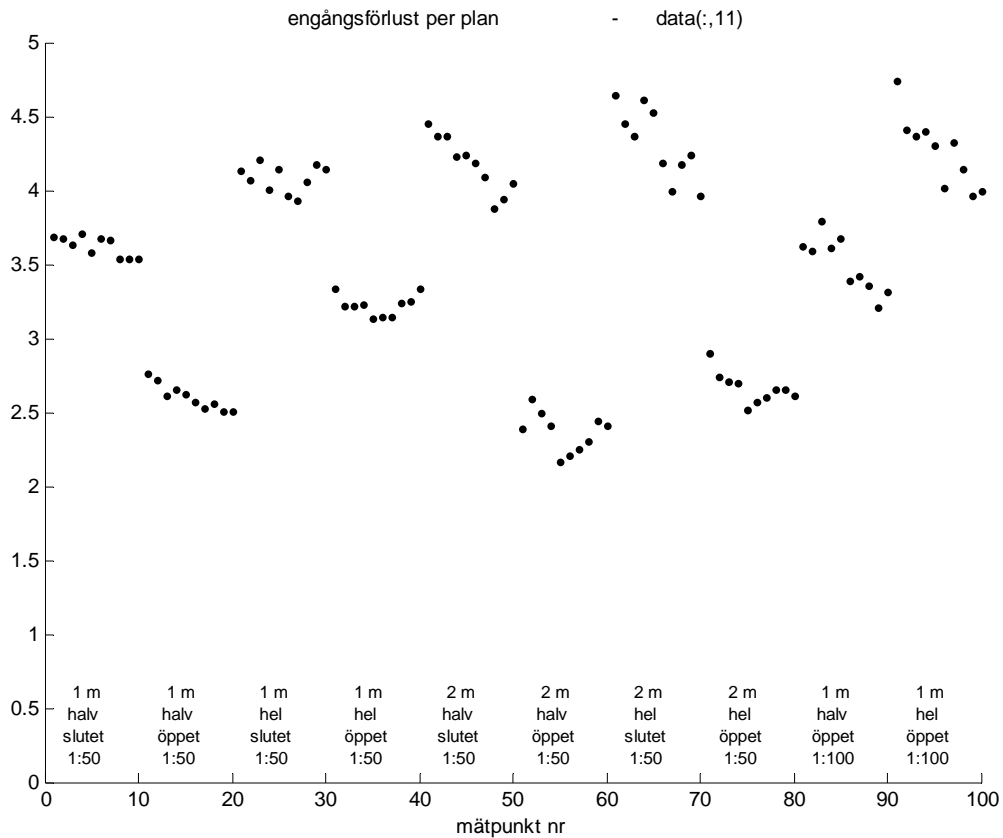
Figur 3.1 Tryckfall per plan i Pa för olika försök och mätpunkter.



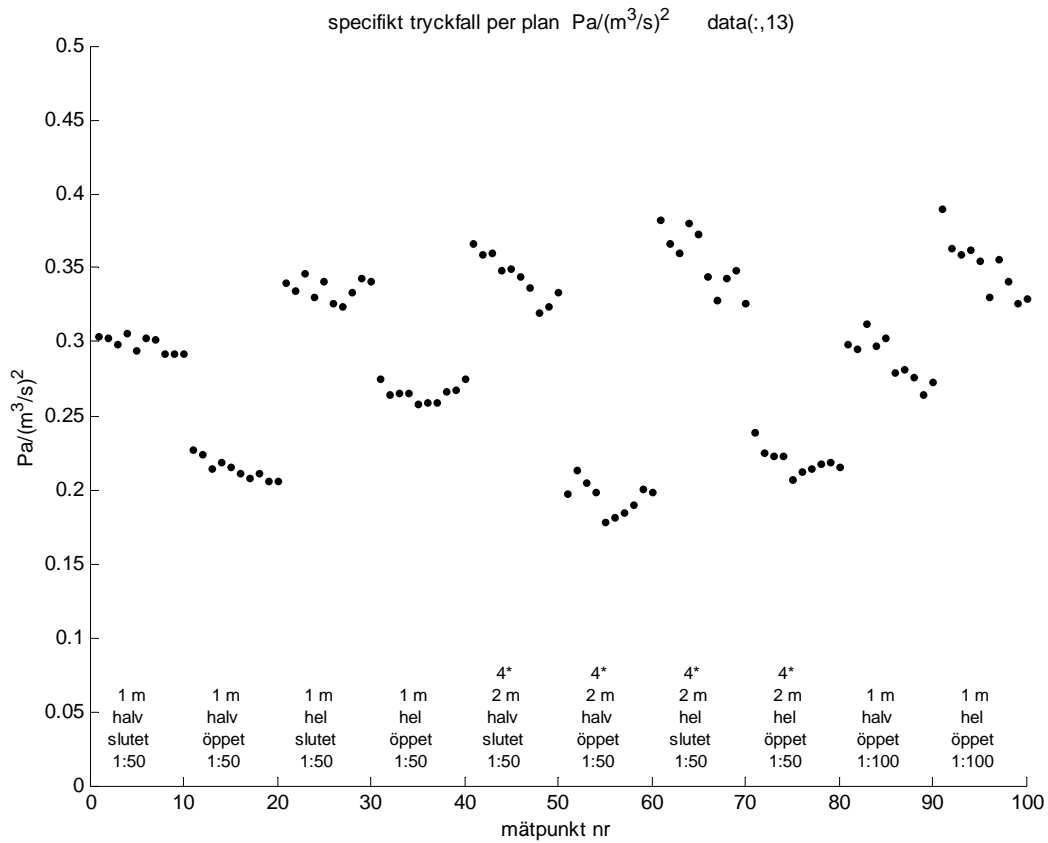
Figur 3.2 Lufthastighet i gångtvärsnitt i m/s för olika försök och mätpunkter.



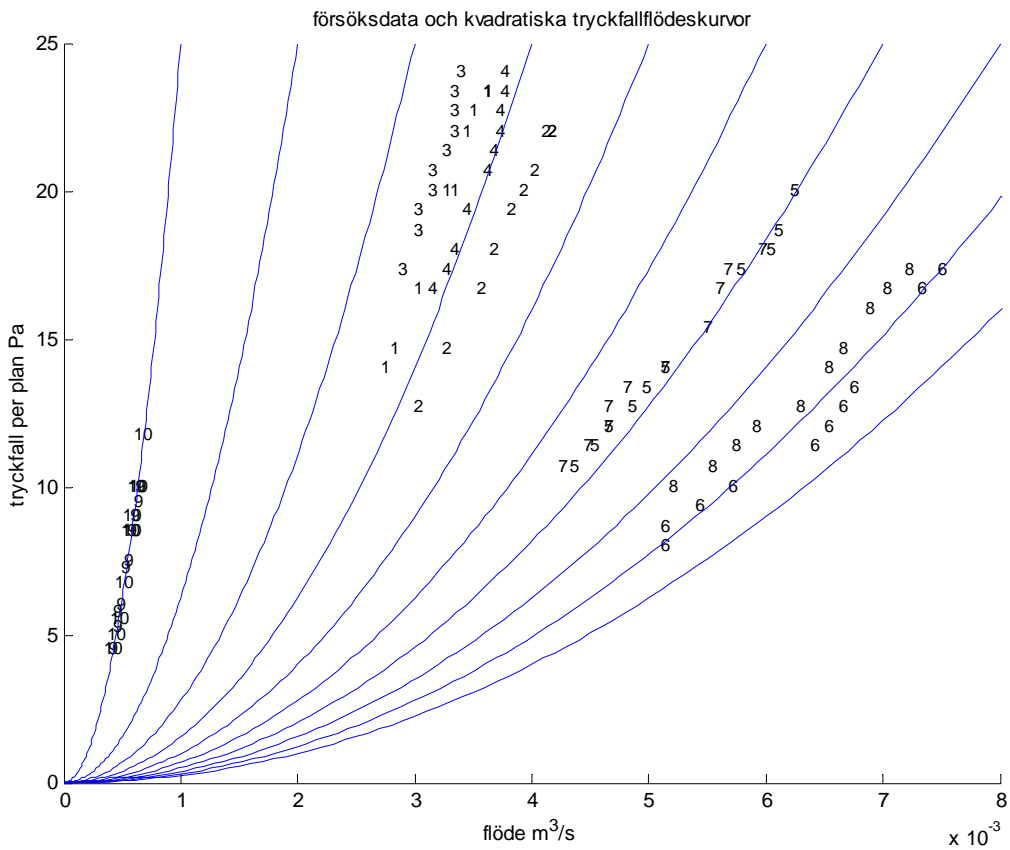
Figur 3.3 Reynolds tal i gångtvärsnitt för olika försök och mätpunkter.



Figur 3.4 Engångsförlust för gångtvärsnitt och per plan för olika försök och mätpunkter.



Figur 3.5 Specifikt tryckfall per plan  $\text{Pa}/(\text{m}^3/\text{s})^2$  för olika försök och mätpunkter med 2 m \*4.



Figur 3.6 Kvadratiska tryckfall/flödeskurvor och försöksnumrerade mätdata.

## 4. Individuell tryckfallsmodell för trapphus

De tio trapphusfallen enligt Tabell 2.1 har mätts igenom med tio olika flöden i det tryckfallsområde som är av intresse. Tre olika beräkningsmodeller har anpassats till mätdata och de är följande:

$$\Delta p_p = R q^2 \quad (\text{Pa/plan}) \quad (4.1)$$

$$\Delta p_p = a q^b \quad (\text{Pa/plan}) \quad (4.2)$$

$$\Delta p_p = e \rho v^2 / 2 = e \rho (q/A)^2 / 2 \quad (\text{Pa/plan}) \quad (4.3)$$

där

$q$	flöde, m <sup>3</sup> /s
$a, b$	konstanter
$R$	specifikt tryckfall per våningsplan, Pa/(m <sup>3</sup> /s) <sup>2</sup>
$e$	engångsförlust per våningsplan, -
$\rho$	luftdensitet, kg/m <sup>3</sup>
$v$	lufthastighet i gångtvärsnittet, m/s
$A$	gångtvärsnittet (trappbredd gånger fri trapphöjd), m <sup>2</sup>

Det finns ett enkelt samband mellan de identiska modellerna (4.1) och (4.3) och parametrarna  $e$  och  $R$  som följer:

$$e = 2 R A^2 / \rho \quad (-) \quad (4.4)$$

Tryckfallmodellerna (4.1) och (4.2) har bestämts för de olika modellfallen och resultatet redovisas i Tabell 4.1 nedan. Mätdata och de två modellernas tryckfall/flödeskurvor redovisas också i Figur 4.1-10 för de olika fallen. De erhållna modellparametrarna har skalats om till fullskala med faktorn  $s^{-4}$  och  $s^{-2b}$  för modell (4.1) respektive (4.2). Detta under förutsättning att tryckfallet enligt (4.1) och (4.2) är lika vid samma hastighet och oberoende av skalan.

Tabell 4.1 Std för tryckfall per plan och modellfel och modellparametrar

försök	std $\Delta p_p$ Pa/plan	std fel <sub>(4.1)</sub> Pa/plan	std fel <sub>(4.2)</sub> Pa/plan	$R_{(4.1)}$ Pa/plan	$a_{(4.2)}$ Pa/plan	$b_{(4.2)}$ -
1	3.65	0.38	0.31	0.297	0.395	1.866
2	3.26	0.54	0.19	0.212	0.418	1.700
3	2.14	0.49	0.48	0.336	0.423	1.888
4	2.59	0.47	0.47	0.265	0.294	1.953
5	3.38	0.64	0.26	0.084	0.193	1.685
6	3.18	0.63	0.63	0.048	0.055	1.954
7	2.59	0.78	0.38	0.087	0.267	1.564
8	2.59	0.44	0.35	0.054	0.095	1.801
9	1.90	0.37	0.18	0.281	0.484	1.677
10	2.42	0.37	0.20	0.342	0.532	1.730

Ett skalbyte med en faktor  $s$  innebär att flödet ökar med en faktor  $s^2$  vid samma hastighet. Ett oförändrat tryckfall kräver omskalning med faktorerna  $s^{-4}$  och  $s^{-2b}$  för modell (4.1) respektive



(4.2). Denna omskalning är inget annat än en stor extrapolation av en skalmodell till en fullskalemodell. Osäkerheten ökar med extrapolationen. Detta kan enkelt ses för parametrarna  $R$  och  $a$  som för flödet  $q$   $1 \text{ m}^3/\text{s}$  borde vara lika. Ju mer flödesexponenten  $b$  avviker från det kvadratiske idealfallet med exponenten 2 ju mer skiljer sig parametrarna  $R$  och  $a$  åt.

Några andra kommentarer till modellparametrarna i Tabell 4.1 är följande. Den specifika förlusten  $R_{(4.1)}$  är grovt en faktor 4 mindre för trappbredd 2 m jämfört med trappbredd 1 m. Flödesexponenten  $b_{(4.2)}$  varierar mellan 1.5 och 2.0. Anpassning av alla mätdata med gemensam  $b_{(4.2)}$  gav resultatet 1.77 för alla tio försöken och 1.78 för åtta försök med skala 1:50. Standardavvikelserna i Tabell 4.1 för tryckfallet och för de två modellfelen visar att modell (4.2) med två parametrar är något bättre än den enklare, kvadratiske modellen (4.1). Reduktionen i standardavvikelse från tryckfall till tryckfallsfel är omkring 0.2 till 0.1.

Tryckfallmodell (4.3) har en fördel genom att den är storleksoberoende.

Det finns andra beräkningsuttryck i litteraturen. Ett exempel från Klote och Milke (1992) med hänvisning till Tamura och Shaw (1976) och Achakji och Tamura (1988) är följande:

$$\Delta p_m = q^2 / A^{2.5} K^2 \quad (\text{Pa/m}) \quad (4.5)$$

där

$A$	tvärsnittsarea (trapphusets horisontella yta), $\text{m}^2$
$K$	konstant, $\text{Pa}^{-0.5} \text{ms}$

Parametern  $A$  är ett försök att få uttrycket (4.5) att likna en formel för friktionstryckfall för ledningar där diametern ingår upphöjt till -5 och flödet upphöjt till 2. Areal  $A$  upphöjt till -2.5 får rätt dimension, nämligen längd upphöjt till -5. Areal upphöjt till -2 hade passat bättre för att kunna skriva trapptryckfallet som en kvadratisk funktion av en beräknad hastighet lika med kvoten  $q/A$ . Parametern  $K$  kan också bara ses som en reduktionsparameter eller korrektionsparameter för arean  $A$ . En vanligt förekommande formel för tryckfall för engångsförluster är konstruktionen:

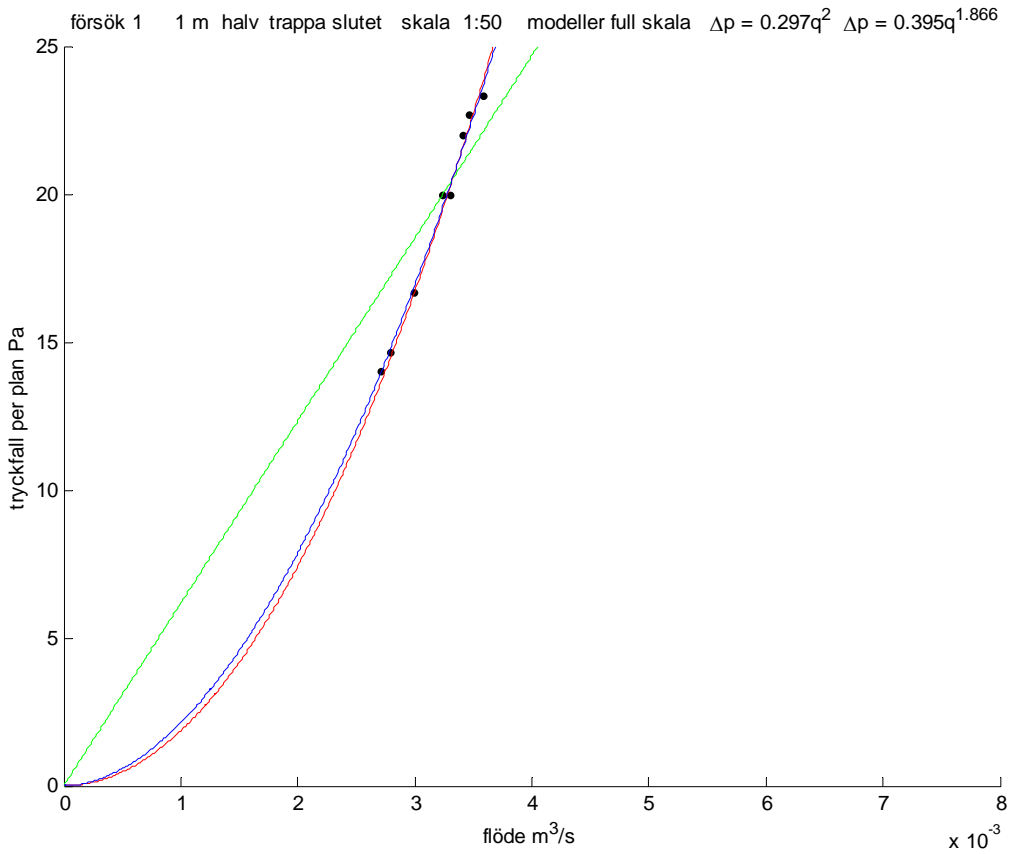
$$\Delta p = (q/K)^2 \quad (\text{Pa}) \quad (4.6)$$

där konstanten  $K$  är apparatspecifik. Sambandet (4.6) används ofta för flödesbestämning med en uppmätt tryckskillnad  $\Delta p$  och ges oftast på formen:

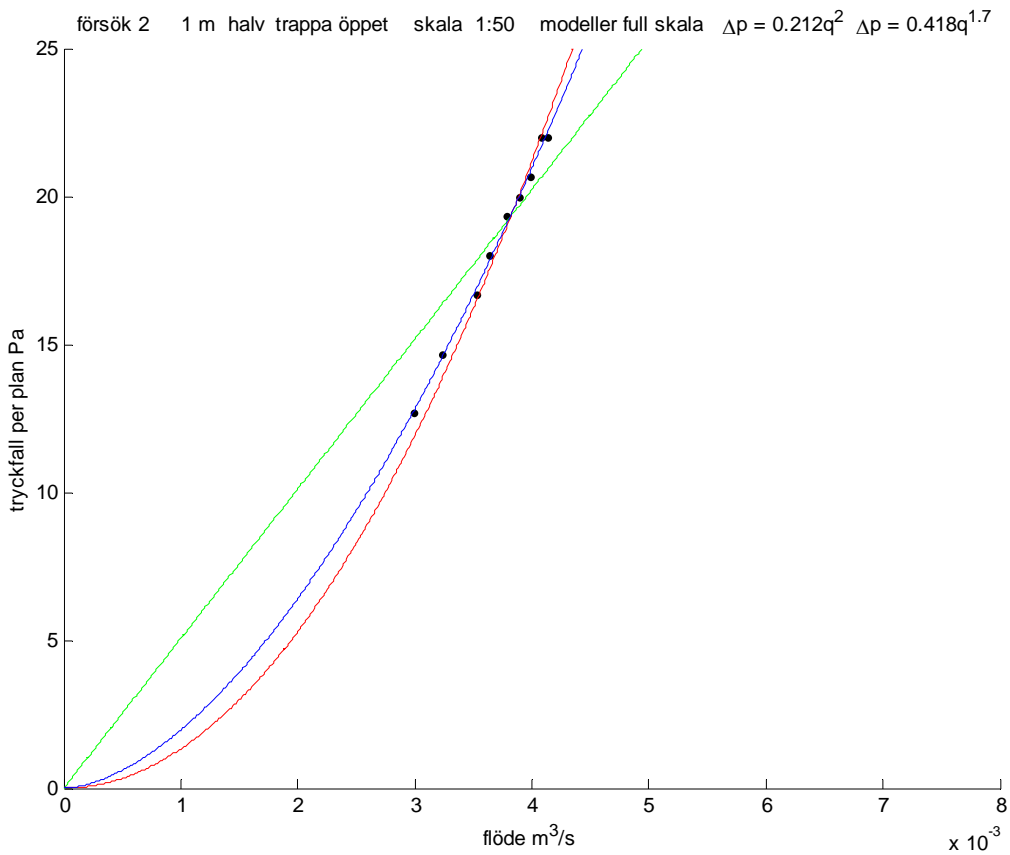
$$q = K(\Delta p)^{0.5} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (4.7)$$

Notera också att formeln (4.5) avser tryckfall per meter och inte per plan. Tryckfallet bestäms i första hand av ett antal engångsförluster för olika vinklar och kontraktioner. Samma trappa kan användas för olika våningshöjder och det enda som skiljer är trapplängden och trapphusets storlek. Detta innebär att våningshöjdens inverkan på tryckfallet tas med genom parameter  $A$ , som anger just trapphusets storlek.

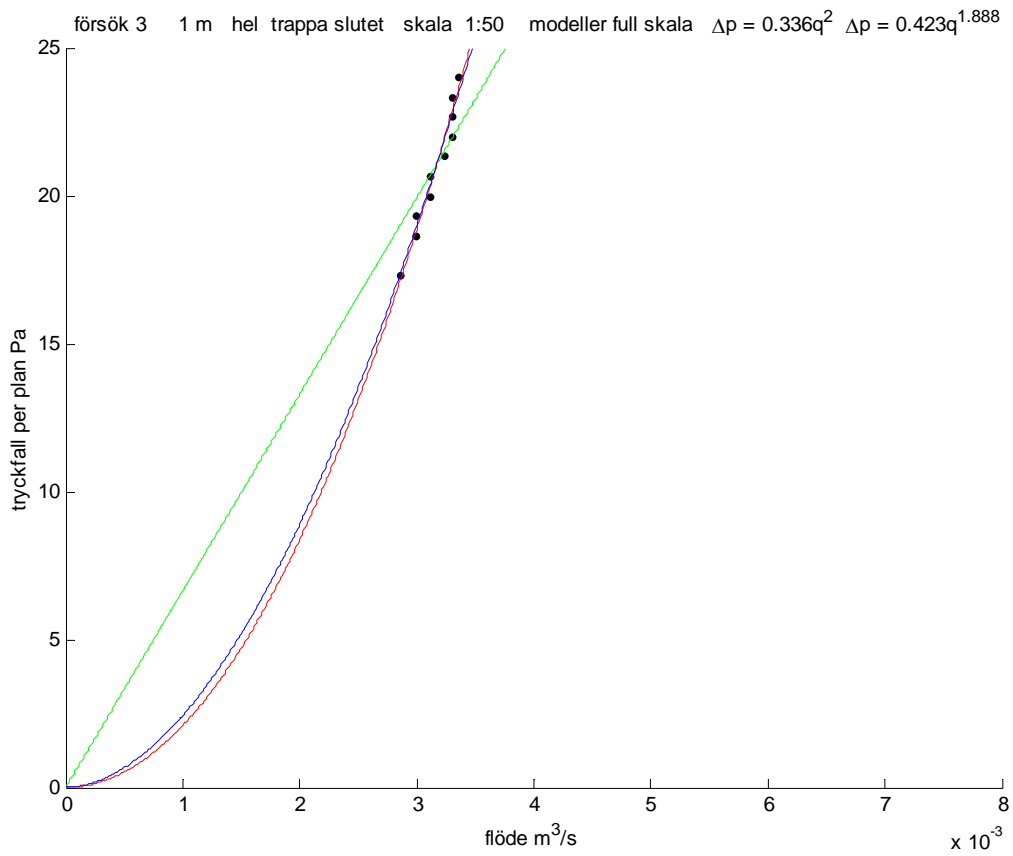
Parameter  $A$  kan dock vara missvisande om det finns onödigt stora horisontella gångplan och vändplan i förhållande till den effektiva trapparean, där man går. Trapphuslösningarna i Figur 2.1 och 2.2 är exempel på ytterst ytsnåla trapphus utan några onödiga ytor.



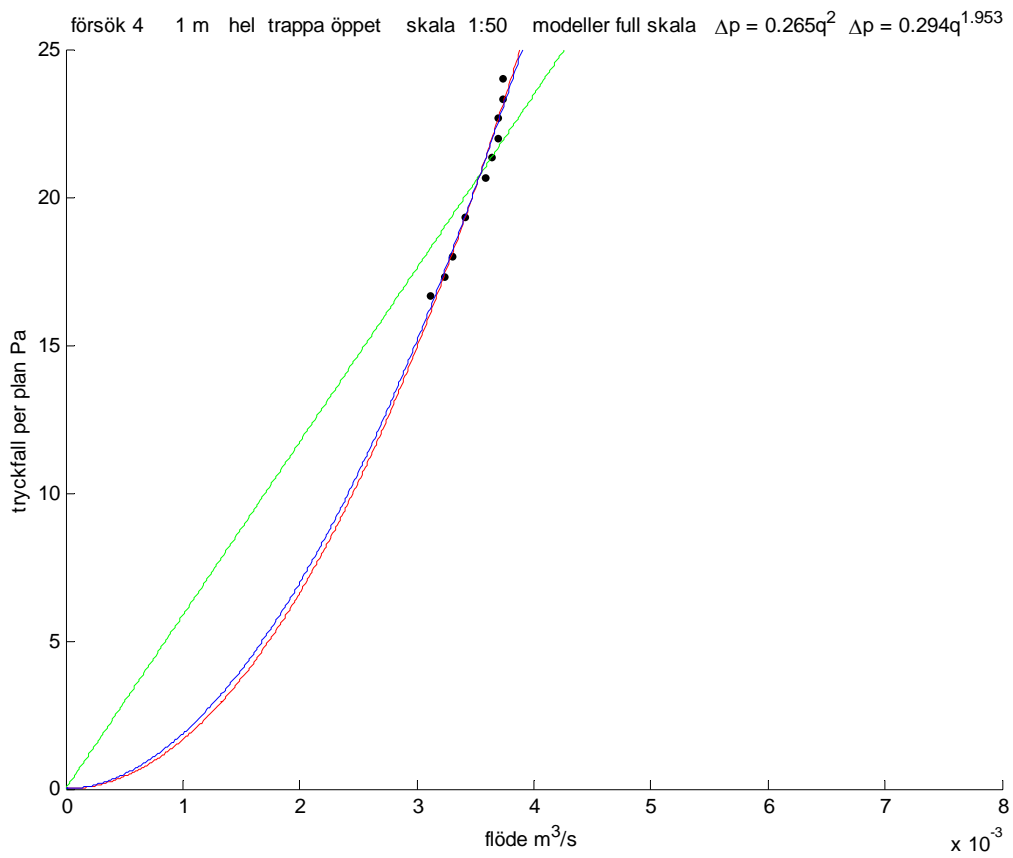
Figur 4.1 Mätdata och modellanpassning för försök 1.



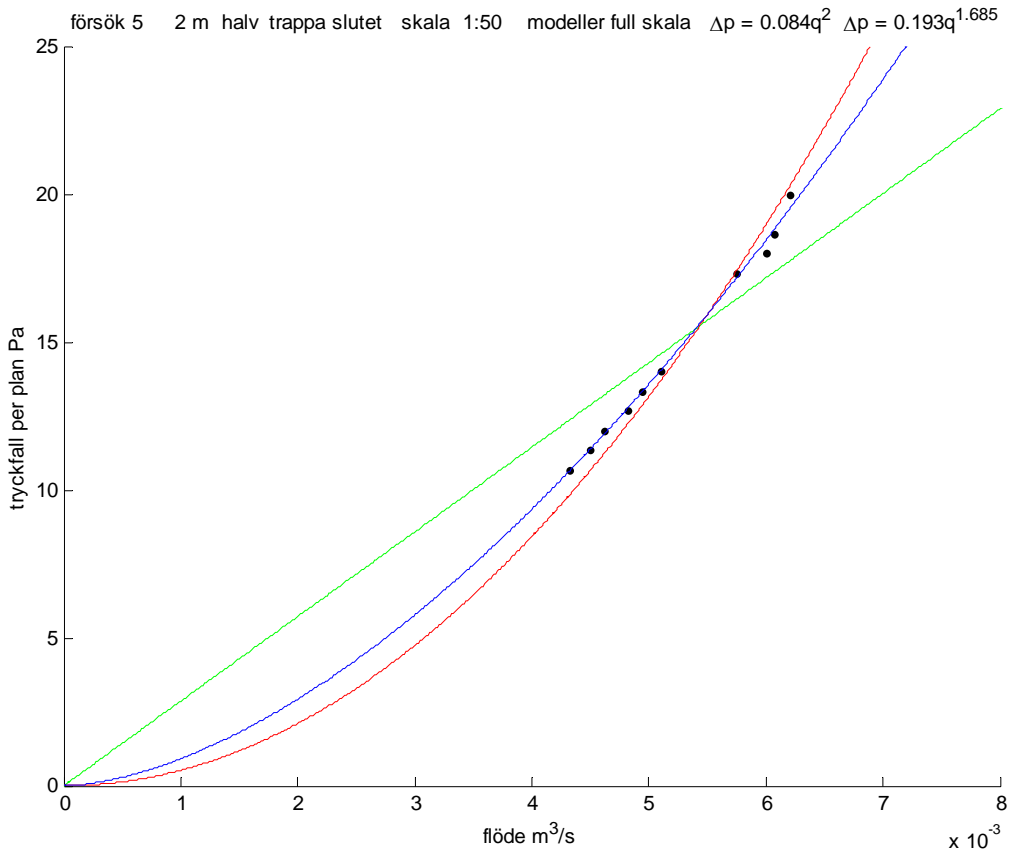
Figur 4.2 Mätdata och modellanpassning för försök 2.



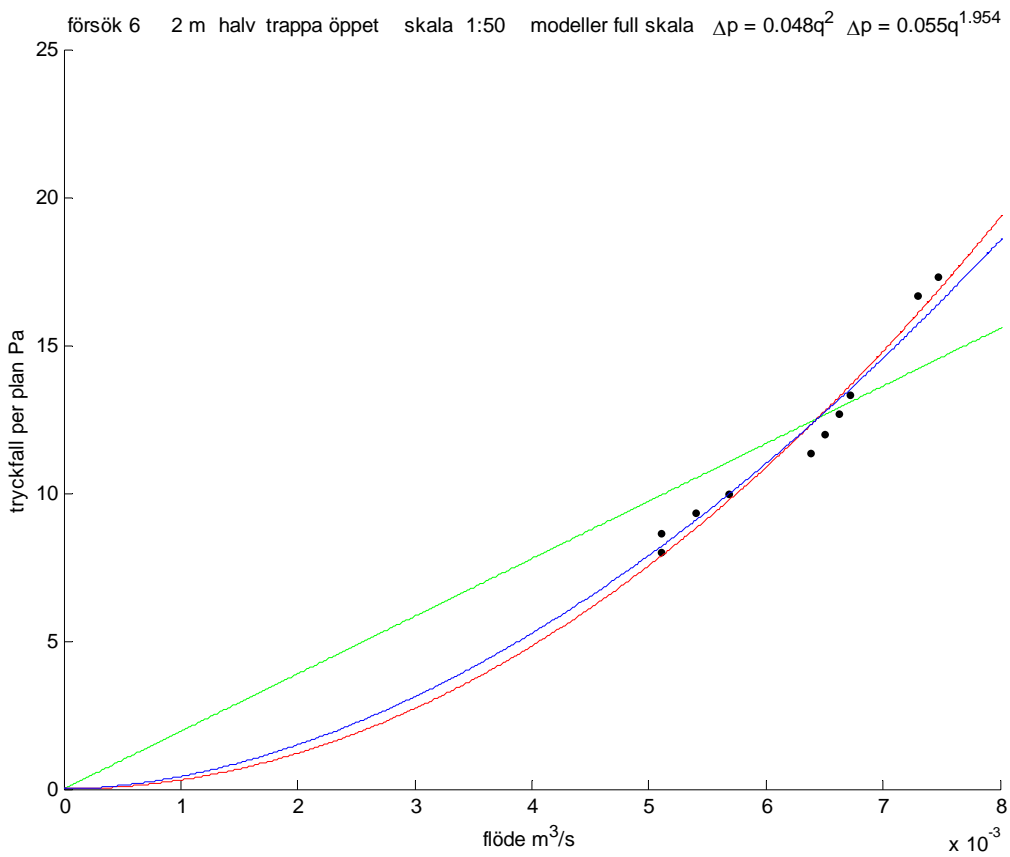
Figur 4.3 Mätdata och modellanpassning för försök 3.



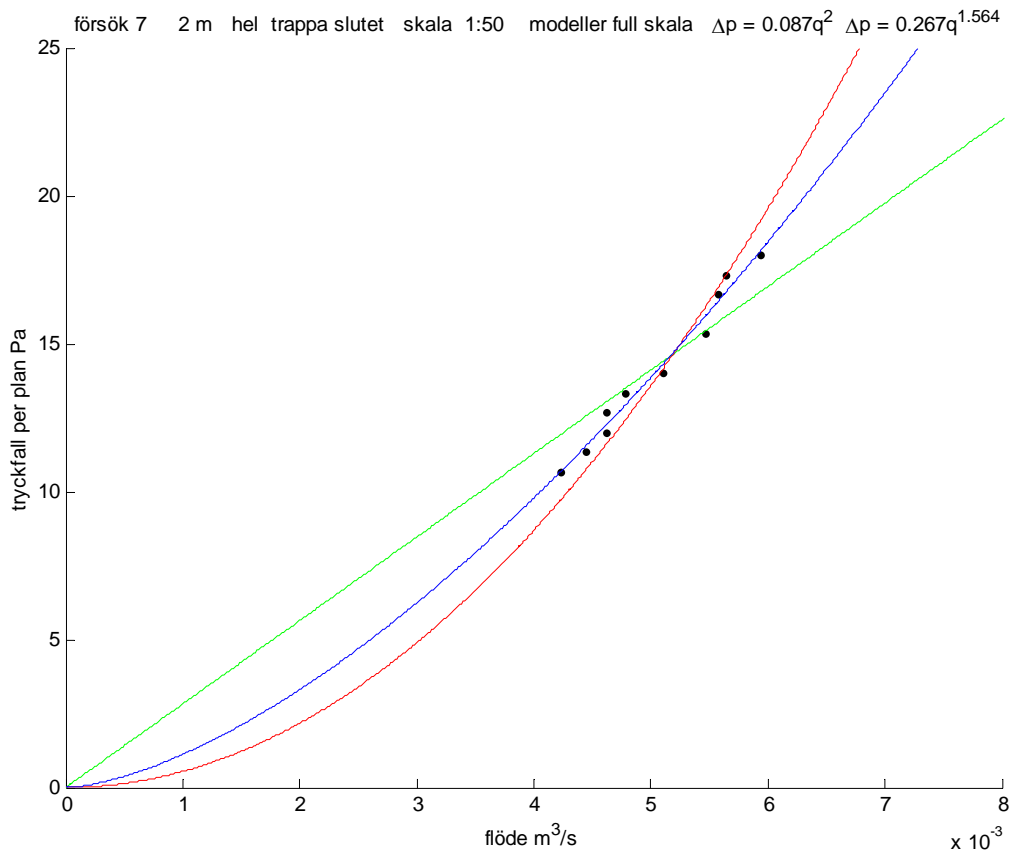
Figur 4.4 Mätdata och modellanpassning för försök 4.



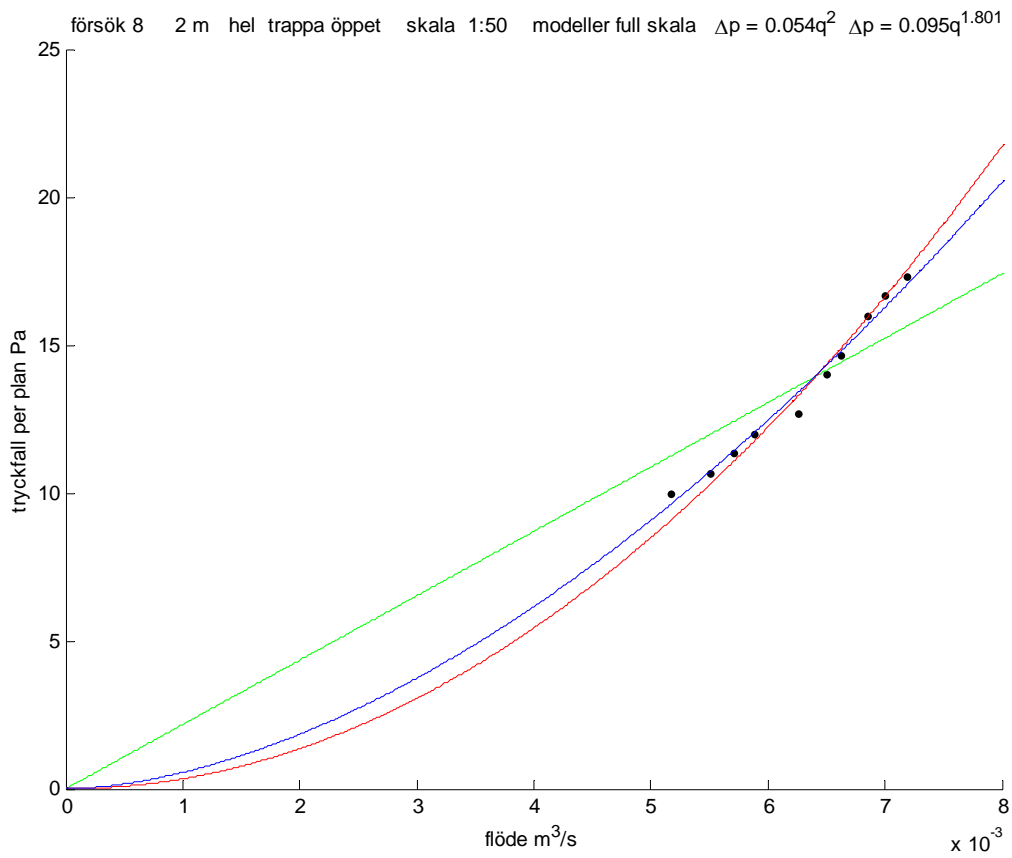
Figur 4.5 Mätdata och modellanpassning för försök 5.



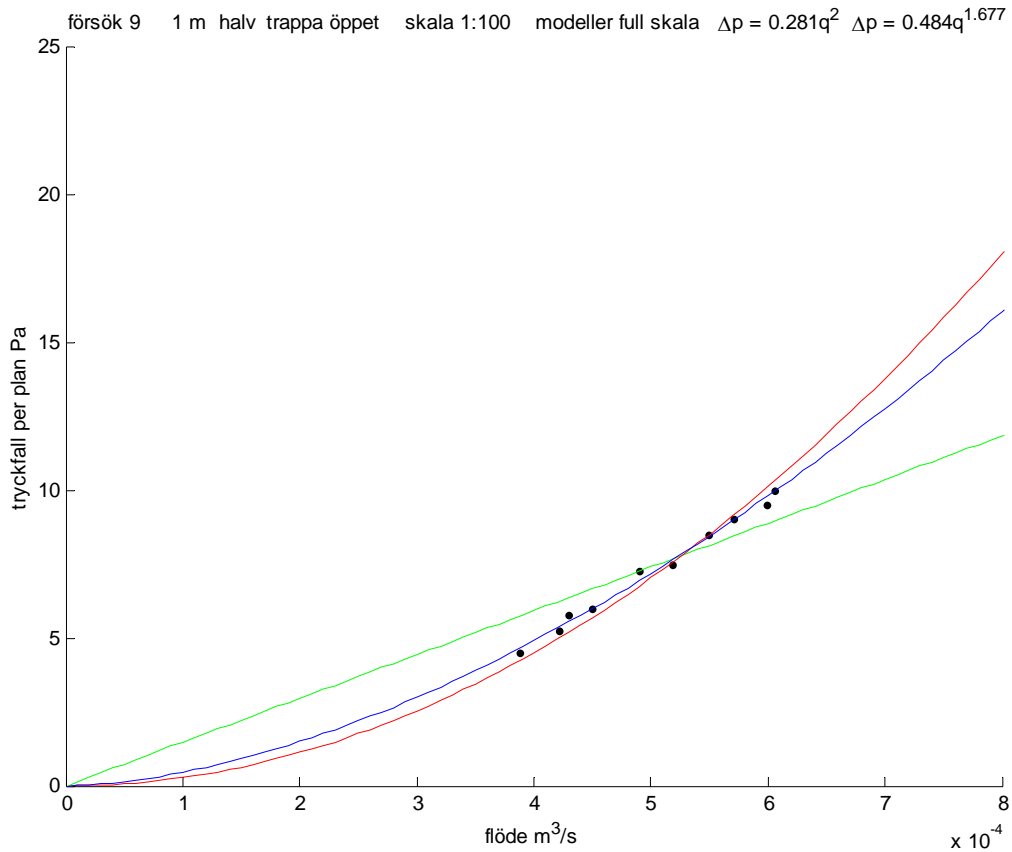
Figur 4.6 Mätdata och modellanpassning för försök 6.



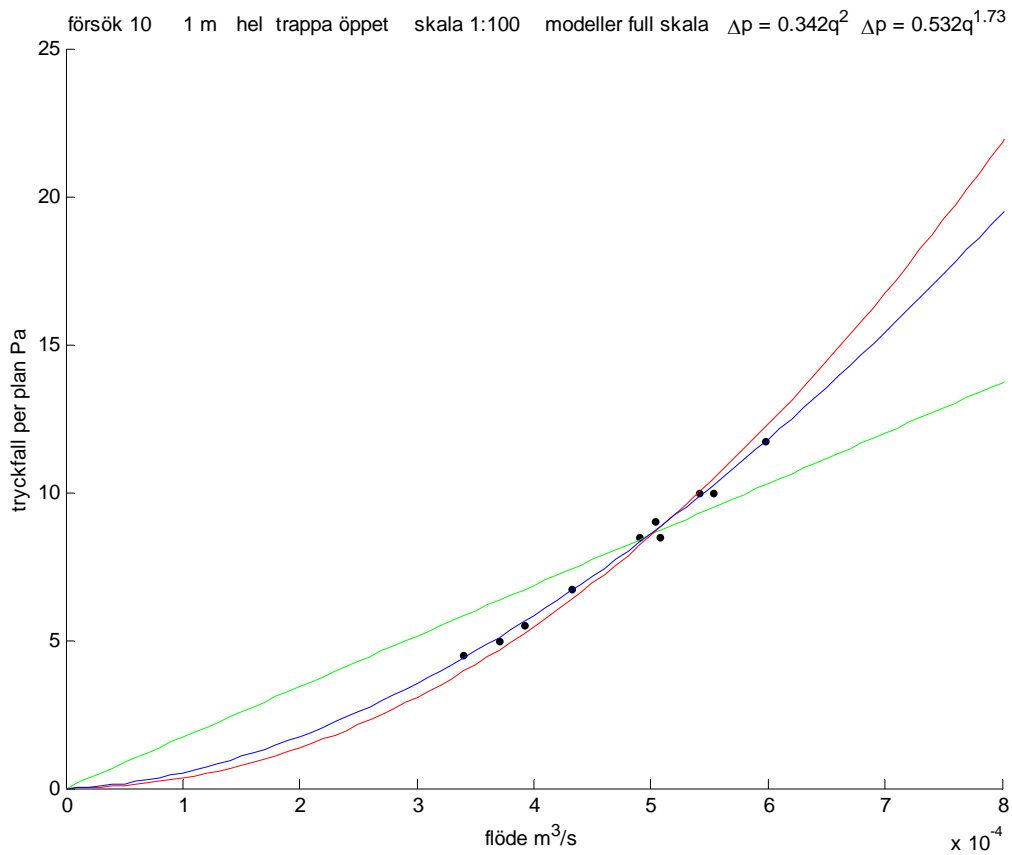
Figur 4.7 Mätdata och modellanpassning för försök 7.



Figur 4.8 Mätdata och modellanpassning för försök 8.



Figur 4.9 Mätdata och modellanpassning för försök 9.



Figur 4.10 Mätdata och modellanpassning för försök 10.



## 5. Generell tryckfallsmodell för trapphus

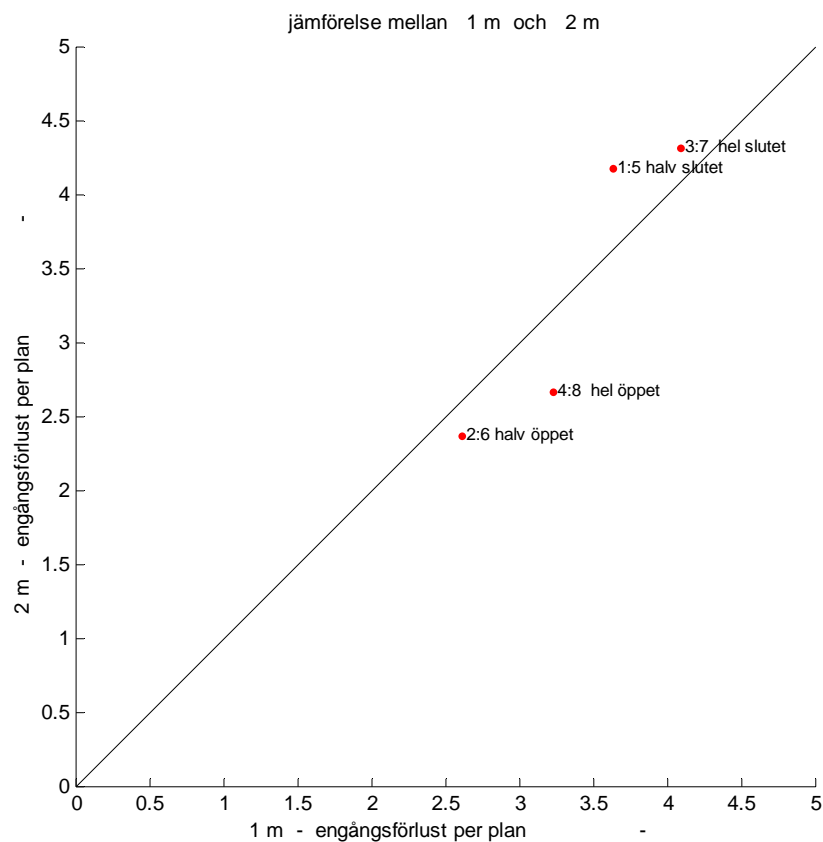
Ett enkelt sätt att undersöka olika trappgenskapers inverkan på engångsförlusten är att rita upp par med en skiljande egenskap. Medelvärden för engångsförlusten för de olika försöken har använts. Detta har gjorts för modellerna i skala 1:50 eller försök 1-8 för paren trappbredd 1 m mot 2 m i Figur 5.1, paret halvtrappa mot heltrappa i Figur 5.2 och paret slutet mot öppet i Figur 5.3.

Trappbredden har ingen klar inverkan enligt de fyra parpunkterna i Figur 5.1. Det verkar snarare som slutet och 2 m ger högre tryckfall än slutet och 1 m och omvänt för öppet och 1 m ställt mot öppet och 2 m.

Heltrappa har en något högre engångsförlust än halvtrappa enligt de fyra parpunkterna i Figur 5.2. Strömningsvägen blir något längre, men är en kontraktion och två mindre vinklar mindre.

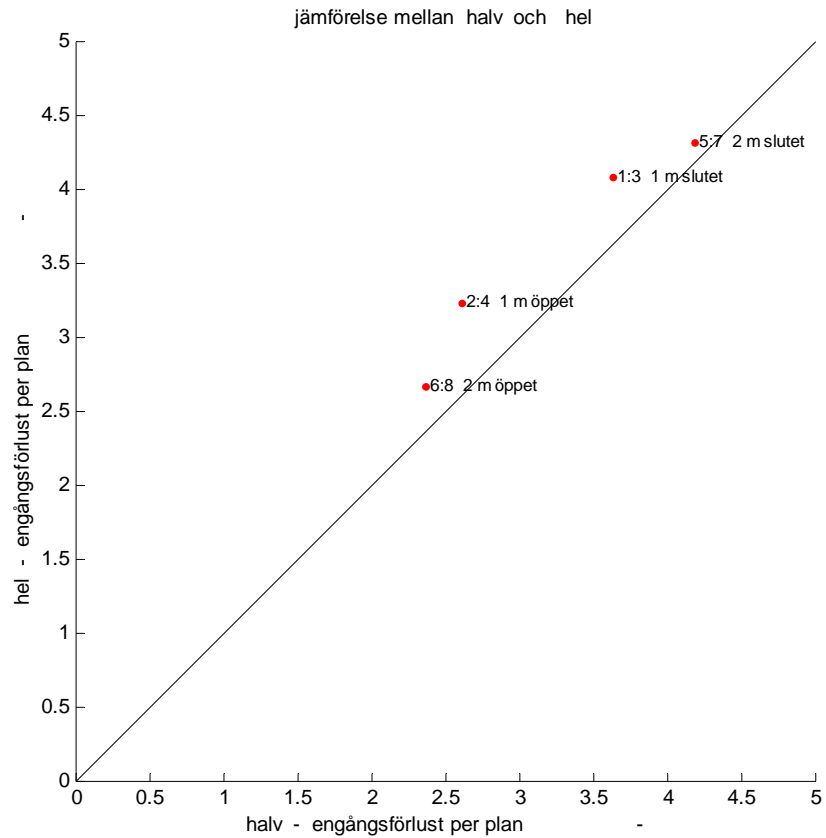
Ett öppet trapphus har en betydligt lägre engångsförlust än ett slutet dito enligt de fyra parpunkterna i Figur 5.3. Trappbredden 2 m ger större skillnad än trappbredden 1 m.

Hur mycket de olika egenskaperna betyder kan beräknas med en enkel modellanpassning, vilket följer.

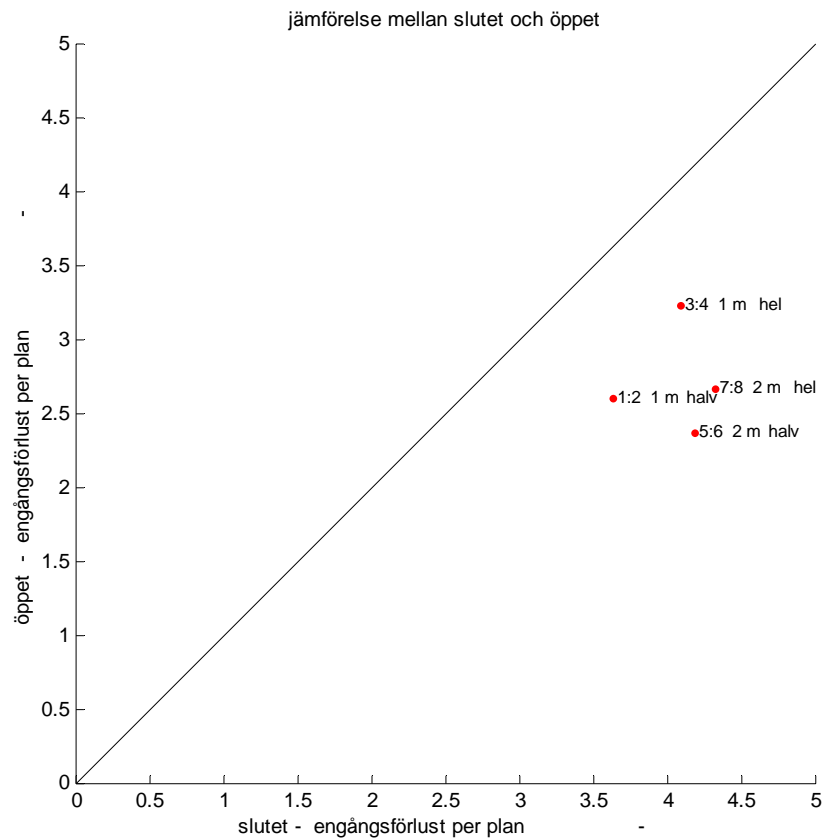


Figur 5.1 Engångsförlust per plan för trappbredd 2 m som funktion av dito för trappbredd 1 m.





Figur 5.2 Engångsförlust per plan för heltrappa som funktion av dito för halvtrappa.



Figur 5.3 Engångsförlust per plan för öppen trappa som funktion av dito för slutna trappa.

En enkel regressionsmodell har bestämts för engångsförlusten per våningsplan som funktion av om trapphuset är slutet eller öppet, halvtrappa eller heltrappa och trappbredd 1 m eller 2 m. Medelvärdet för engångsförlusten har använts för vart och ett av de åtta försöken i skala 1:50 för att enklare redovisa resultatet grafiskt. Anpassning har även skett med alla mätdata med samma resultat som för medelvärde för varje försök.

$$e = e_g + e_s u_s + e_h u_h + e_m u_m \quad (-) \quad (5.1)$$

där

$e_g$	grundvärde
$e_s$	extra engångsförlust för slutet trappa
$e_h$	extra engångsförlust för halvtrappa
$e_m$	extra engångsförlust för trappbredd 2 m
$u_s$	=1 för slutet trappa annars noll
$u_h$	=1 för halvtrappa annars noll
$u_m$	=1 för trappbredd 2 m annars noll

Resultatet redovisas i Tabell 5.1 nedan för alla möjliga modeller med ett fast grundvärde. Modell 8 med totalt fyra parametrar är givetvis bäst men trappbreddens inverkan är ytterst marginell. Detta framgår också av modell 5 med tre parametrar och utan hänsyn till trappbredd. Standardavvikelsen för modellfelet är 0.23, vilket kan jämföras med att engångsförlusten varierar mellan grovt 2.5 till 4.5 med en standardavvikelse på 0.78. En ännu enklare modell är nummer 2 med endast två parametrar  $e_g$  och  $e_s$  och standardavvikelse 0.31.

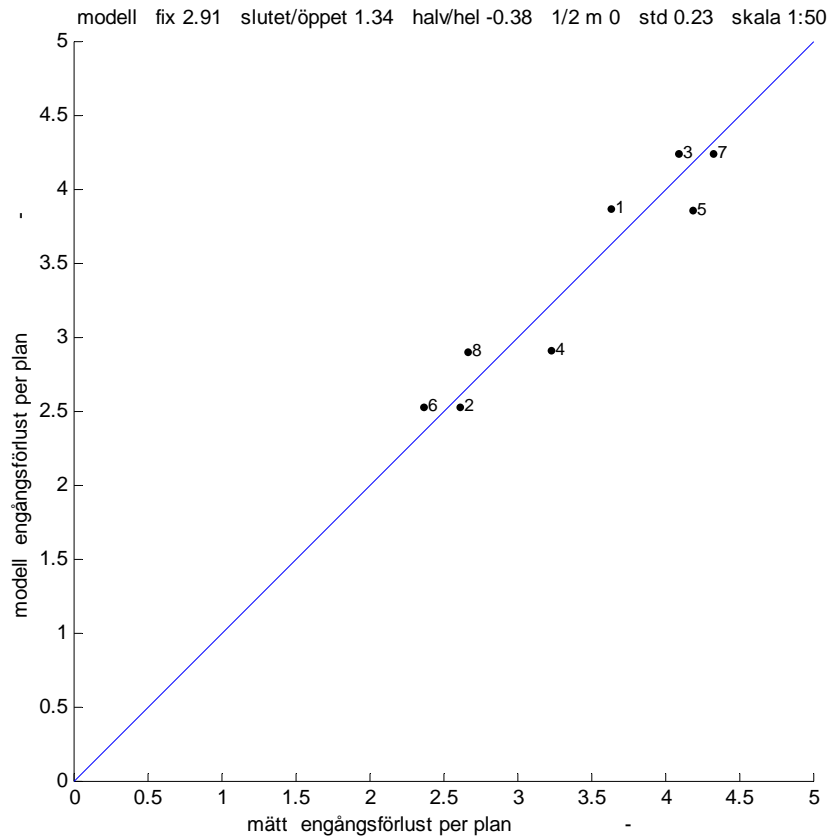
Modellparametrarna i Tabell 5.1 visar också att grundvärdet dominerar, därefter kommer övergång från öppet till slutet trapplöp, något mindre betyder övergång från halvtrappa till heltrappa och trappbredden är betydelselös.

Tabell 5.1 Parametrar för (5.1) och standardavvikelse för modellfel

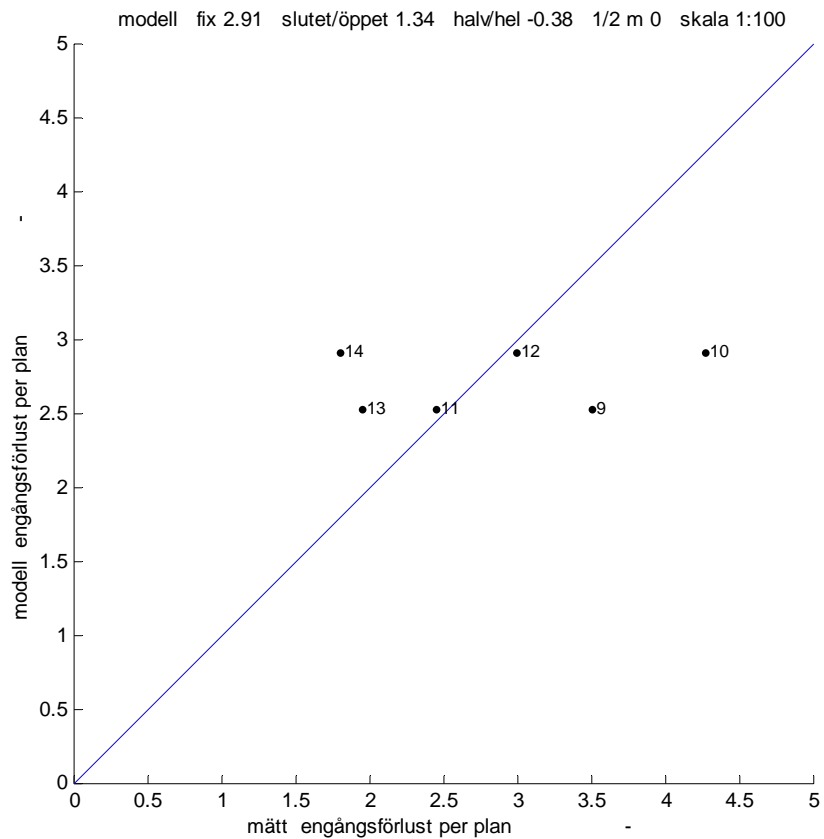
modell	antal parametrar	$e_g$	$e_s$	$e_h$	$e_m$	std
1	1	3.38	-	-	-	0.78
2	2	2.71	1.34	-	-	0.31
3	2	3.57	-	-0.38	-	0.75
4	2	3.38	-	-	0.00	0.78
5	3	2.90	1.34	-0.38	-	0.23
6	3	2.72	1.34	-	0.00	0.31
7	3	3.57	-	-0.38	0.00	0.75
8	4	2.91	1.34	-0.38	0.00	0.23

Hur mycket de olika modellerna avviker från önskat resultat redovisas i Figur 5.4 för modellerna i skala 1:50, försök 1-8.

De äldre modellerna i skala 1:100, försök 9-10, redovisas i Figur 5.5 numrerade 9-10 för nya mätningar, 11-12 dito omskalade med en faktor 0.7 och 13-14 gamla oskalade mätningar. Reynolds tal var mindre än 2000 för modellerna i skala 1:100, medan Reynolds tal var mer 5000 för modellerna i skala 1:50. För att få liknade Reynolds tal måste flödet ökas en faktor 3. Flödesexponenten är omkring 1.7 för försök 9 och 10 i Tabell 4.1. Detta medför att engångsförlusten måste kan skalas om med en faktor  $3^{-0.3} = 3^{1.7}/3^2$  vilket blir 0.72.



Figur 5.4 Modellerad och mätt engångsförlust per plan för försök 1-8.



Figur 5.5 Modellerad och mätt engångsförlust per plan för försök 9-10, dito omskalat som 11-12 och äldre mätningar som 13-14.

## 6. Sammanfattning och slutsatser

Resultatet av detta arbete med modellförsök kan sammanfattas med följande.

Tryckfall per våningsplan beskrivs bäst och enklast som en ren engångsförlust. Det dynamiska trycket beräknas för trappans gångtvärsnitt, vilket är trappbredden gånger den fria våningshöjden. Trappan betraktas som en rektangulär kanal.

Fördelen med denna modell bestående av (4.3) och (5.1) är att den är storleksoberoende. Måtten trappbredd och våningshöjd ingår indirekt tillsammans med flödet för att bestämma det dynamiska trycket som ingår i (4.3).

Vad som bestämmer engångsförlusten enligt (5.1) kan med utnyttjande av modellparametrarna i Tabell 5.1 beskrivas som följer.

Trapphus utan mittvägg, betecknat som öppet, ger en betydligt lägre engångsförlust per våningsplan än trapphus med mittvägg, betecknat som slutet.

Trapphus med halvtrappor ger en något lägre engångsförlust per våningsplan än trapphus med heltrappor.

Trappbredden har ingen betydelse för engångsförlusten per våningsplan.

Våningshöjden har ingen betydelse för engångsförlusten per våningsplan.

Resultatet för engångsförlust per våningsplan kan också sammanfattas för olika trapphus med följande något avrundat och sorterat efter ökande engångsförlust per våningsplan:

öppet och halvtrappa	2.5
öppet och heltrappa	2.9
slutet och halvtrappa	3.9
slutet och heltrappa	4.2

Det har inte varit möjligt med den valda modellskalan 1:50 att undersöka inverkan på engångsförlusten från själva trappstegen och även trappräcken. Detta torde öka de redovisade engångsförlusterna något.

Resultaten från modellförsöken stämmer också överens med framräknade värden på engångsförlusten för ett våningsplan i ett trapphus, vilka redovisas i Jensen (1999) med olika detaljers engångsförluster hämtade från Miller (1978).

En avslutande slutsats är att tryckfall i trapphus liknade de i modellförsöken kan beskrivas med en engångslust per våningsplan med ett värde på 3 om öppna och 4 om slutna. Dessa engångsförluster är också tillräckligt stora för att med rimliga lufthastigheter kunna skapa tillräckligt stora tryckfall för att kunna balansera den termiska tryckskillnaden.

Antag att engångsförlusten per plan är 3 och våningshöjden är 3 m. Detta ger en engångsförlust på 1 per meter. En termisk tryckskillnad på 1 och 2 Pa/m motsvarande en temperaturskillnad på 23 °C respektive 43 °C kan balanseras med ett dynamiskt tryck på 1

respektive 2 Pa. Detta motsvaras av en lufthastighet på 1.3 respektive 1.8 m/s som i sin tur multiplicerat med det nominella gångtvärsnittet ger det nödvändiga flödet. Notera att gångtvärsnittet är trappbredden multiplicerad med den fria höjden och att detta är större än det fria tvärsnittet mellan trapplöpen. Det sker en mindre kontraktion mellan trapplöpen.

## 7 Referenser

Achakji, G.Y. och Tamura, G.T. (1988)

Pressure drop characteristics of typical stairshafts in high-rise buildings.

ASHRAE Transactions 94(1) 1223-1236

Jensen, Lars (1999)

Konstanttrycksättning av trapphus för utrymning

TABK--99/7054.

Klote, J. H. and Milke, J. A. (1992)

Design of Smoke Management Systems

ASHRAE

Miller, D.S. (1978)

Internal flow systems

BHRA Fluid Engineering

Tamura, G.T. and Shaw, C.Y. (1976)

Air leakage data for the design of elevator and stair shaft pressurization systems.

ASHRAE Transactions 82(2) 179-190