LUND UNIVERSITY

Trycksättning av trapphus med personbelastning

Jensen, Lars

2005

Link to publication

Citation for published version (APA):
Jensen, L. (2005). *Trycksättning av trapphus med personbelastning*. (TVIT; Vol. TVIT-7003). 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

Download date: 19. Dec. 2025

Trycksättning av trapphus med personbelastning

Lars Jensen

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2005
Rapport TVIT--05/7003

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 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.

Trycksättning av trapphus med personbelastning

Lars Jensen

© Lars Jensen, 2005

ISRN LUTVDG/TVIT--05/7003--SE(35)

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

Innehållsförteckning

1 Inledning 5

2 Tryckfall i trapphus med personbelastning 7

3 Modell och personbelastningsfall 13

Dimensionerande läge för personbelastning 14

Dimensionerande storlek för personbelastning 15

Dimensionerande form för personbelastning 16

4 Test av olika trycksättningsmetoder 17

Flödestrycksättning reglerad öppning 18

Flödestrycksättning programstyrd öppning 20

Flödestrycksättning till/frånstyrd öppning 22

Flödestrycksättning anpassat läckage 24

Statisk trycksättning 26

Kommentarer 28

5 Undersökning av övertryckets variation 29

6 Sammanfattning och slutsatser 33

7 Referenser 35

1 Inledning

Trapphus används i flerplansbyggnader för utrymning vid brand. Trycksättning av trapphus används för att hindra brandgasspridning till trapphus från brandutsatta våningsplan och därmed underlätta utrymning. Ett brandgasfritt trapphus underlättar också räddnings- och släckningsinsatser. Det finns idag ett växande intresse för att bygga höga byggnader.

Problemet med trycksättning av trapphus är att övertrycket begränsas neråt av en minsta tryckskillnad omkring 20 Pa för att förhindra brandgasspridning till trapphuset, uppåt av en högsta tryckskillnad omkring 80 Pa för att dörrar till trapphuset skall kunna öppnas med rimlig kraft och av att tryckskillnaden mellan trapphuset och våningsplanen ändras med höjden. Trycket på varje våningsplan antas vara lika med trycket ute. En innetemperatur på 20 °C och en utetemperatur på -23 °C ger en termisk tryckskillnad på 2 Pa/m. För de här angivna siffervärdena begränsas trapphushöjden för ett trapphus till högst 30 m ((80-20)/2).

Amerikansk praxis är att dela upp trapphus i sektioner om normalt 8 våningsplan och ibland upptill 12 våningsplan. Högre trapphus måste därför alltid sektioneras tror man. Det finns dock en förbisedd lösning på detta problem. Detta går att skapa betydande strömningsförluster genom att låta ett överflöde strömma ut överst från trapphuset till det fria. Det går att göra med rimliga strömningshastigheter i trapphuset. Denna metod finns utredd sedan tidigare och finns dokumenterad i Jensen (1999), (2002a), (2002b) och (2002c). Det som begränsar den möjliga trapphushöjden för denna metod är läckage, tryckförlust, inne- och utetemperatur och personbelastning.

Syftet med denna delrapport är att undersöka hur trycksättning av trapphus påverkas av olika personbelastning. Möjligheterna att trycksätta höga trapphus avsedda för utrymning bestäms till en väsentlig av tryckfallet som i sin tur beror på personbelastningen. Detta innebär att tryckfallet varierar i trapphuset beroende på olika personbelastning.

Övertrycket i trapphus skall med denna metod vara som högst nederst och överst (80 Pa) och som lägst halvvägs upp i trapphuset (20 Pa). Denna variation i övertryck ökar med läckage, utetemperatur och ojämn personbelastning, vilket minskar den möjliga trapphushöjden.

Personbelastningen vid utrymning kommer givetvis vara störst nederst och minst överst. Detta ökar tryckförlusterna nederst jämfört med överst och ökar övertrycksvariationen i trapphuset och därmed begränsas den möjliga trapphushöjden.

Hur strömningsförluster beror på personbelastning i trapphus behandlas i avsnitt 2. Tryckfall i trapphus kan mer än fördubblas vid stor personbelastning. Vilken personbelastningsprofil som är den mest kritiska kan visas med enkla analytiska modeller.

Vilken personbelastning som är den dimensionerande undersöks numeriskt i avsnitt 3 för ett trapphus med höjden 100 m.

Hur personbelastning påverkar trycksättning med olika metoder undersöks för fyra olika metoder, nämligen med reglerad öppning, programstyrd öppning, till/frånstyrd öppning och

anpassat läckage i avsnitt 4 för samma trapphus som i avsnitt 3 och för olika uteklimat. Resultatet för konventionell statisk trycksättning redovisas också i avsnitt 4 som jämförelse.

En uppsummering görs i avsnitt 5 hur olika läckage, tryckfall, värmeöverföringsförmåga och personbelastning påverkar övertryckets variation.

En sammanfattning görs sist i avsnitt 6.

2 Tryckfall i trapphus med personbelastning

Tryckfall i trapphus finns beskrivet i litteraturen i Klote och Milke (1992) med hänvisning till Tamura och Shaw (1976) och Achakji och Tamura (1988). Det finns också uppgifter på tryckfall med olika personbelastning. Trapphusets tryckfall beräknas enligt litteraturen ovan som:

$$R = q^2 / A^{2.5} K^2 \qquad \text{(Pa/m)} \qquad (2.1)$$

där

R	tryckfall per meter, Pa/m
q	flöde, m^3/s
A	trapphusets bottenyta, m^2
K	konstant, $Pa^{-0.5}ms$

Några tryckfallsdata redovisas från Klote och Milke (1992) i Tabell 2.1 nedan. Ett öppet trapplopp innebär bara en vägg på ena sidan och ett slutet trapplopp väggar på båda sidorna. Det specifika tryckfallet har även angivits för ett fall med trapphusarean 10 m^2. Personbelastning avser givetvis per m^2 och per våningsplan.

Siffrorna visar att tryckfallet nästan fördubblas för ett öppet trapphus vid övergång från ingen personbelastning till en hög personbelastning. Samma sak för ett slutet trapplopp ökar tryckfallet med en faktor 2.5. Detta kan förklaras med att strömningen måste passera personbelastningen i en större omfattning.

Tabell 2.1 Tryckfallsdata för olika trapphus och personbelastning beräknat enligt (2.1) och med A = 10 m^2

trapplöp	personbelastning person/m^2	K $Pa^{-0.5}ms$	R(1 m^3/s) Pa/m	q(1 Pa/m) m^3/s
öppet	0	0.160	0.124	2.84
öppet	2	0.120	0.220	2.13
slutet	0	0.150	0.141	2.66
slutet	1	0.110	0.261	1.96
slutet	2	0.095	0.350	1.69

Våningshöjden har en viss betydelse för hur känsligt tryckfallet är för olika personbelastning, eftersom personbelastning endast förhindrar strömningen upp till en viss höjd över våningsplan, viloplan och trapplöp. Det blir en viss del över upptill överliggande våningsplan, viloplan och trapplöp. Det kommer därför alltid att finns en obelastad fri strömningsvolym med höjden lika med våningshöjd minskad med personhöjd och bjälklagstjocklek. Något som också minskar känsligheten för personlastning är trapphus med vertikala genomgående volymer som inte kan påverkas av personbelastningen.

Siffrorna i Tabell 2.1 visar att en rimlig faktor för ändring av tryckfall i trapphus vid personbelastning är en faktor två, vilket kommer att användas i de följande avsnitten.

Det inses lätt att störst variation i trapphusets övertryck fås för stegformiga personbelastningar. Vid vilken trapphusnivå som övergången sker från ett belastat till ett obelastat trapphus är inte självklart för en given kvot mellan de två belastningsfallens tryckfall.

Det går att göra en enkel analys för det dimensionerande läget för en godtycklig tryckfallskvot f nederst/överst (belastat/obelastat) större än ett, om läckaget försummas helt. Tryckfallet för ett obelastat trapphus kan skrivas som Rq^2 och för ett belastat dito som fRq^2.

Normalisera trapphusets höjd till ett och även den termiska tryckskillnaden över hela trapphusets höjd till ett. Antag vidare att övergången sker vid den relativa trapphushöjden z.

Övertrycket skall vara lika nederst och överst, vilket medför att den termiska tryckändringen är lika stor det sammanlagda tryckfallet för den belastade och den obelastade delen av trapphuset. Detta ger följande samband:

$$1 = f\,Rq^2 z + Rq^2(1-z) \qquad (-) \qquad (2.2)$$

Övertrycket i brytpunkten kan skrivas som följer genom att utgå nederst i trapphuset:

$$p(z) = p(0) + z - f\,Rq^2 z \qquad (-) \qquad (2.3)$$

Det går också att utgå från brytpunkten och gå uppåt, vilket ger sambandet nedan som blir lika med (2.3) efter förenkling och under förutsättning att $p(0)=p(1)$:

$$p(1) = p(z) + 1 - z - Rq^2(1-z) \qquad (-)$$

Produkten Rq^2 i (2.3) kan elimineras med hjälp av (2.2), vilket ger sambandet:

$$p(z) = p(0) + z - f\,z / ((f-1)\,z + 1) \qquad (-) \qquad (2.4)$$

En anmärkning är att $p(0)=p(1)$ kan väljas helt godtyckligt. Eftersom det inte finns något läckage kommer övertryckprofilens variation att vara lika för alla val av $p(0)=p(1)$.

Minima för *p(z)* fås efter derivering av (2.4) under förutsättning att $f > 1$, vilket efter förenkling ger sambandet:

$$z_{min} = 1/(f^{0.5} + 1) \qquad f > 1 \qquad (-) \qquad (2.5)$$

Motsvarande minsta övertrycksvärde kan beräknas efter insättning av (2.5) i (2.4) och med $p(0)=1$ fås:

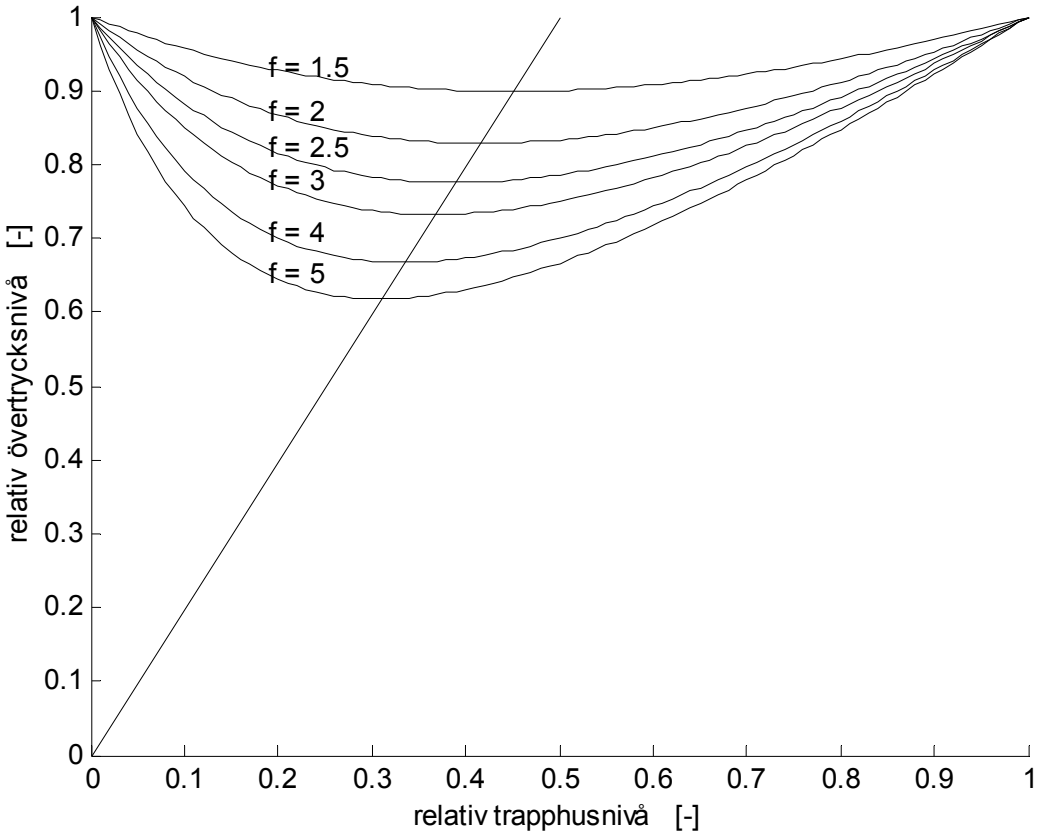
$$p_{min} = 2/(f^{0.5} + 1) = 2\, z_{min} \qquad f > 1 \qquad (-) \qquad (2.6)$$

Uttrycket (2.5) anger att brytpunkten z_{min} alltid är mindre än 0.5 för en tryckfallskvot större än ett. Några siffervärden för z_{min} och p_{min} ges i Tabell 2.2 nedan för olika tryckfallskvoter f.

Tabell 2.2 Minsta övertryck p_{min} och brytpunkt z_{min} som funktion av tryckfallskvot $f > 1$

tryckfallskvot f	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
brytpunkt z_{min}	0.4495	0.4142	0.3874	0.3660	0.3333	0.3090
minsta övertryck p_{min}	0.8990	0.8284	0.7749	0.7321	0.6667	0.6180

Hur övertrycket varierar som funktion av brytpunktens läge för den stegformade personbelastningen och för olika tryckfallskvoter $f > 1$ redovisas i Figur 2.1. Övertrycket har satts till ett i de två ändpunkterna alltså $p(0)=p(1)=1$. Minimipunkterna för övertrycket i Figur 2.1 stämmer givetvis med de framräknade värden i Tabell 2.2.



Figur 2.1 Relativt övertryck vid stegformad personbelastning för olika tryckfallskvoter $f > 1$.

Det går också att beräkna maxima för övertryck underförutsättningen att $f < 1$. Detta blir samma formel som (2.5) med kravet $f < 1$.

$$z_{max} = 1/(f^{0.5} + 1) \qquad f < 1 \qquad (-) \qquad (2.7)$$

Motsvarande största övertrycksvärde kan beräknas efter insättning av (2.7) i (2.4) och med $p(0)=1$ fås samma uttryck (2.6) som för p_{min}:

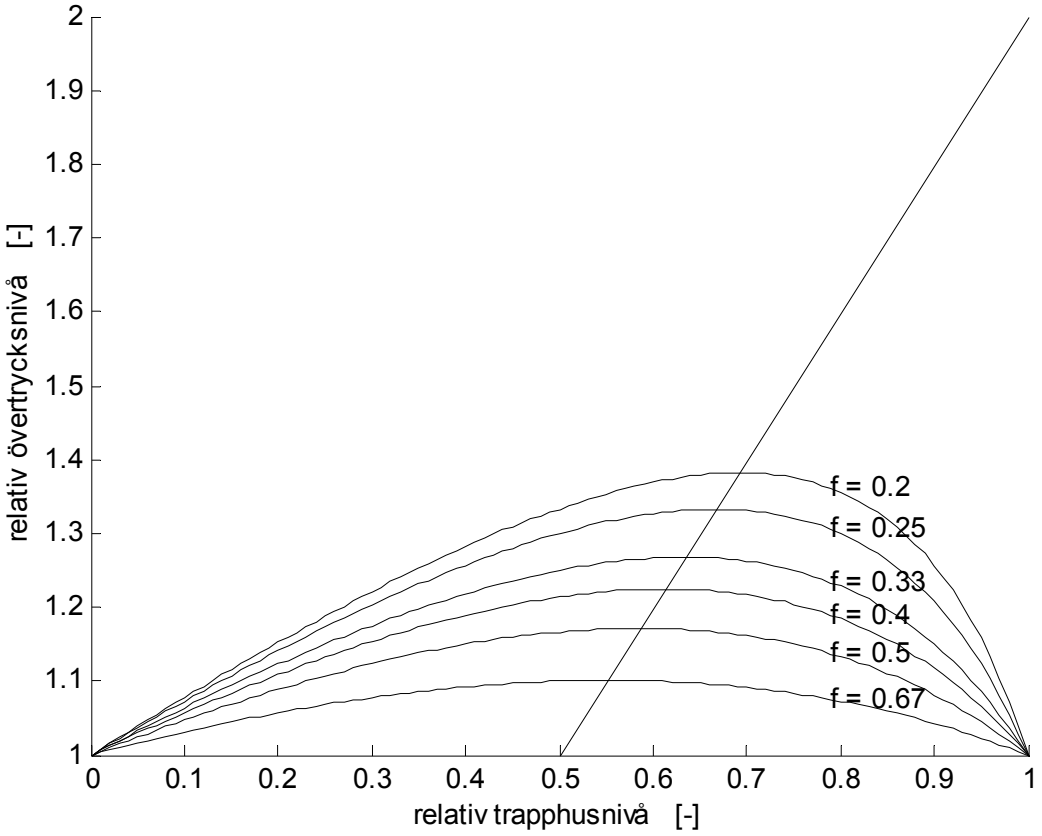
$$p_{max} = 2/(f^{0.5} + 1) = 2\, z_{max} \qquad f < 1 \qquad (-) \qquad (2.8)$$

Uttrycket (2.7) anger att brytpunkten z_{max} alltid är större än 0.5 för en tryckfallskvot mindre än ett. Några siffervärden för z_{max} och p_{max} ges i Tabell 2.3 nedan för olika tryckfallskvoter f.

Tabell 2.3 Största övertryck p_{max} och brytpunkt z_{max} som funktion av tryckfallskvot $f < 1$

tryckfallskvot f	0.6667	0.5000	0.4000	0.3333	0.2500	0.2000
brytpunkt z_{max}	0.5505	0.5858	0.6126	0.6340	0.6667	0.6910
största övertryck p_{max}	1.1010	1.1716	1.2251	1.2679	1.3333	1.3820

Hur övertrycket varierar som funktion av brytpunktens läge för den stegformade personbelastningen och för olika tryckfallskvoter $f < 1$ redovisas i Figur 2.2. Övertrycket har satts till ett i de två ändpunkterna alltså $p(0)=p(1)=1$. Maximipunkterna för övertrycket i Figur 2.2 stämmer givetvis med de framräknade värden i Tabell 2.3.



Figur 2.2 Relativt övertryck vid stegformad personbelastning för olika tryckfallskvoter $f < 1$.

De redovisade kurvorna för minsta övertryck i Figur 2.1 och största övertryck i Figur 2.2 är symmetriska om koordinataxlarna kastas om eftersom de valda tryckfallskvoterna f i Tabell 2.3 är omvänt proportionella mot tryckfallskvoterna f i Tabell 2.2 och att kurvorna bygger på samma formler (2.5-8).

En naturlig fråga är: Hur mycket begränsas den möjliga trapphushöjden av en ojämn personbelastning? En ojämn personbelastning ökar variationen i övertrycket och övertrycksintervallet är begränsat, vilket måste begränsa trapphushöjden.

Den naturliga personbelastningen är störst nederst och minst högst upp. Den relativa variationen i övertryck kan för detta belastningsfall skrivas som $1 - p_{min}$ och med utnyttjande av (2.6) och efter förenkling där $p_{max} = p(0) = p(1) = 1$ fås slutligen:

$$p_{max} - p_{min} = (f^{0.5} - 1)/(f^{0.5} + 1) \qquad f > 1 \qquad (-) \qquad (2.9)$$

Notera att p_{max} ovan i (2.9) inte ges av (2.8) utan står här för högsta övertryck för fallet med tryckfallskvoten $f > 1$.

Notera att övertrycken ovan är relativa och måste skalas om med faktor $R_t h$ som analysen tidigare normaliserades med. Detta ger ett samband med absoluta övertrycksgränser:

$$p_{max} - p_{min} = ((f^{0.5} - 1)/(f^{0.5} + 1)) R_t h \qquad f > 1 \qquad (-) \qquad (2.10)$$

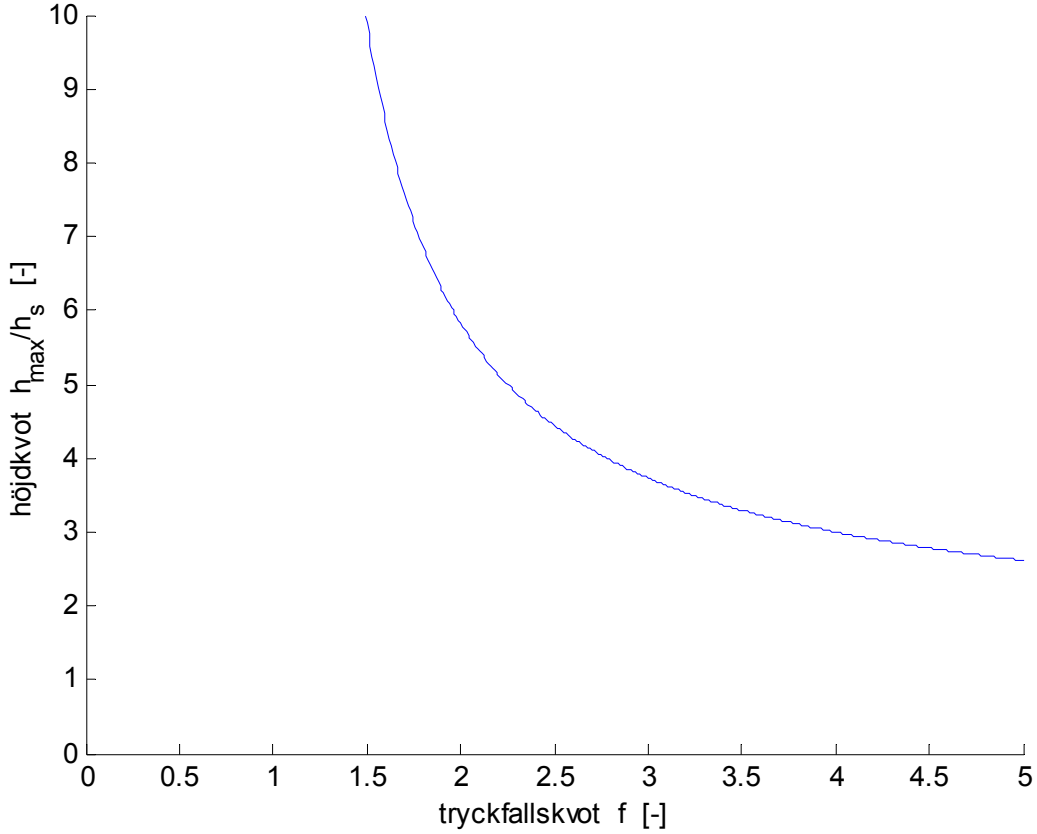
Den största möjliga trapphushöjden kan nu lösas ut ur (2.10) och genom att införa den största möjliga trapphushöjden h_s vid statisk trycksättning definierad enligt (2.12).

$$h_{max} / h_s = (f^{0.5} + 1)/(f^{0.5} - 1) \qquad f > 1 \qquad (-) \qquad (2.11)$$

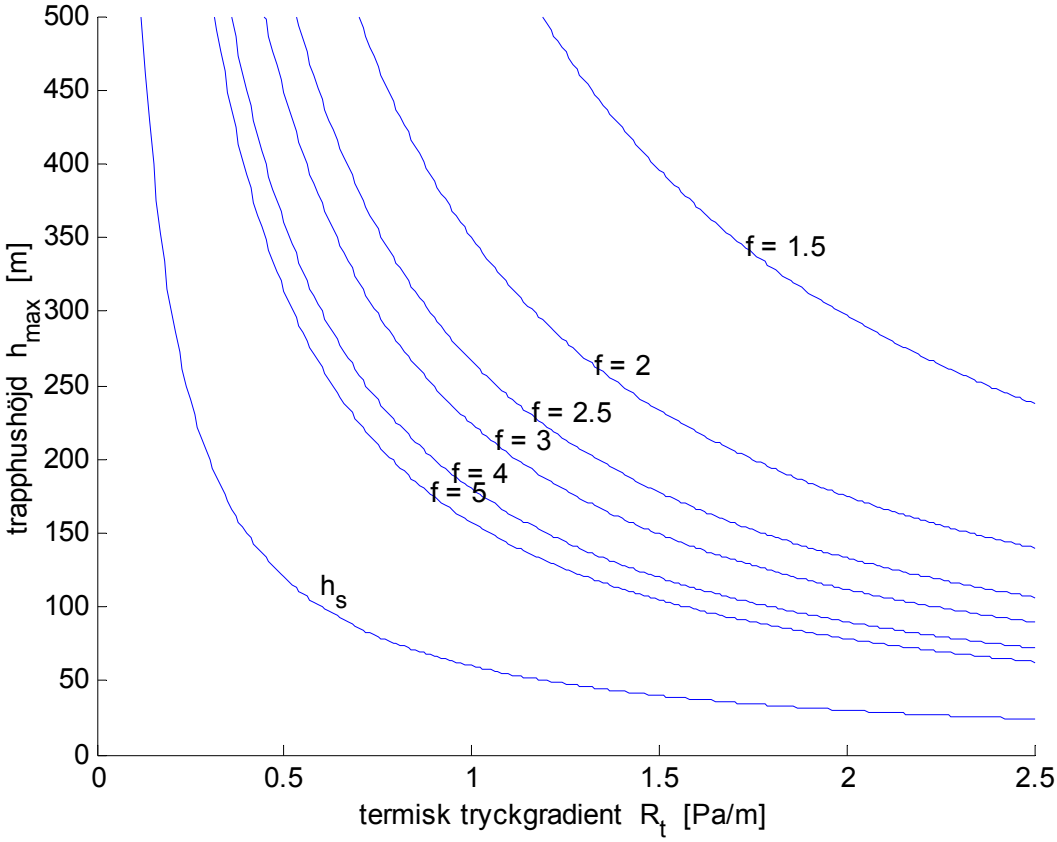
$$h_s = (p_{max} - p_{min})/ R_t \qquad f > 1 \qquad (-) \qquad (2.12)$$

Kvoten h_{max} / h_s eller funktionen $(f^{0.5} + 1)/(f^{0.5} - 1)$ återges i Figur 2.3 som funktion av tryckfallskvoten f. Notera att höjdkvoten enligt (2.11) blir oändlig för tryckfallskvoten $f = 1$, vilket motsvarar en helt jämn personbelastning eller ingen alls.

Den största möjliga trapphushöjden för ett fall utan läckage redovisas i Figur 2.4 som funktion av den termiska tryckgradienten R_t för övertrycksspannet $p_{max} - p_{min} = 60$ Pa och olika tryckfallskvoter f. Den statiska trapphushöjden h_s definierad enligt (2.12) redovisa som jämförelse i Figur 2.4.



Figur 2.3 Höjdkvoten $h_{max} / h_s = (f^{0.5} + 1)/(f^{0.5} - 1)$ som funktion av tryckfallskvoten f.



Figur 2.4 Trapphushöjd h_{max} som funktion av R_t för $p_{max} - p_{min}$ = 60 Pa och tryckfallskvoter f.

3 Modell och personbelastningsfall

Den fysikaliska modellen för att kunna simulera tryckförhållanden i trapphus beskrivs med tre differentialekvationer som var och en beskriver och bestämmer förändringen i höjdled för övertrycket i trapphuset, trapphusflödet och trapphusluftens temperatur. De nödvändiga ekvationerna utelämnas här, men återfinns som ekvationerna (10-12) i Jensen (2002c).

Hur personbelastning påverkar övertrycksprofilen har undersökts för att antal fall, vilka beskrivs i Tabell 3.1 och även redovisas i Figur 3.1-3 detta görs för att finna den mest kritiska personbelastningen. Den termiska gradienten är 2 Pa/m i samliga fall, vilket motsvarar en innetemperatur på 20 °C och en utetemperatur på -23 °C. Trapphusets höjd är 100 m. Det nominella läckflödet är 1 m^3/s vid ett övertryck om 60 Pa. Övertrycket är 80 Pa nederst och överst i trapphuset genom att en reglerad fläkt finns nederst och en reglerad öppning används överst.

Alla de använda belastningsprofilerna bestäms av två nivåer h_1 och h_2 och två tryckfall R_1 och R_2. Tryckfallet är konstant R_1 från 0 m upptill nivån h_1, faller linjärt till R_2 på nivån h_2 och är konstant R_2 upptill 100 m. Tryckfallet R_1 kan motsvara ett personbelastat trapphus och R_2 ett obelastat trapphus. Tryckprofiler, lägsta övertryck p_{min}, inflöde q_i, utflöde q_o, effektiv area för reglerad öppning överst A_o, utloppstemperatur T_o och medeltemperatur T_{med} redovisas i Tabell 3.1 nedan för samliga 18 fall, varav fall 5 och 11 är identiska.

Tabell 3.1 Tryckprofil med resulterande övertryck, flöden, area och temperaturer

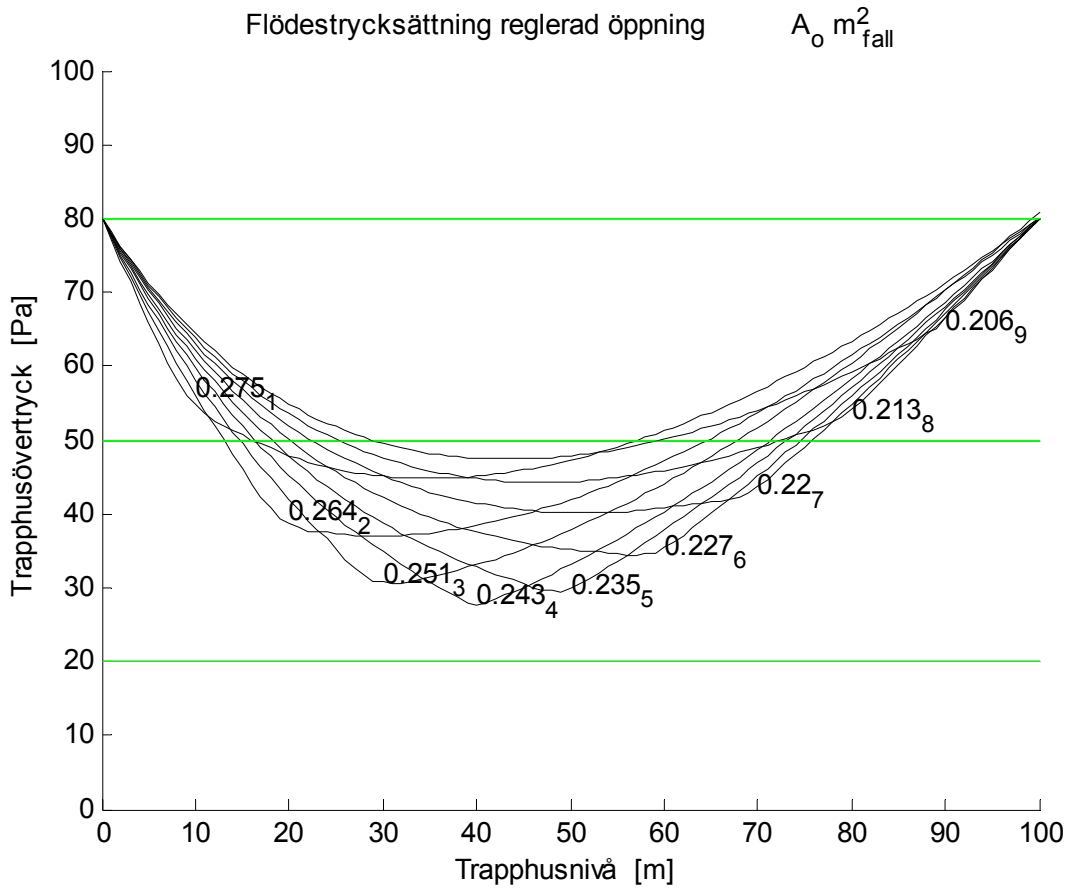
fall	figur	h_1 m	h_2 M	R_1 -1	R_2 -1	p_{min} Pa	q_i m^3/s	q_o m^3/s	A_o m^2	T_o °C	T_{med} °C
1	3.1	9	11	0.20	0.10	44.7	3.57	3.18	0.275	18.6	7.1
2	3.1	19	21	0.20	0.10	37.0	3.42	3.04	0.264	18.8	7.5
3	3.1	29	31	0.20	0.10	30.5	3.29	2.91	0.251	18.9	7.9
4	3.1	39	41	0.20	0.10	27.6	3.19	2.81	0.243	19.1	8.3
5	3.1	49	51	0.20	0.10	29.5	3.11	2.72	0.235	19.2	8.5
6	3.1	59	61	0.20	0.10	34.5	3.04	2.62	0.227	19.3	8.8
7	3.1	69	71	0.20	0.10	40.2	2.98	2.54	0.220	19.3	9.0
8	3.1	79	81	0.20	0.10	44.3	2.93	2.46	0.213	19.4	9.2
9	3.1	89	91	0.20	0.10	47.4	2.89	2.38	0.206	19.5	9.4
10	3.2,3.3	0	100	0.10	0.10	52.5	3.74	3.32	0.287	18.4	6.6
11	3.2,3.3	49	51	0.20	0.10	29.5	3.11	2.72	0.235	19.2	8.5
12	3.2	49	51	0.30	0.10	17.8	2.73	2.34	0.203	19.5	9.8
13	3.2	49	51	0.40	0.10	10.3	2.47	2.09	0.181	19.7	10.7
14	3.3	0	100	0.15	0.15	51.1	3.19	2.70	0.234	19.1	8.3
15	3.3	0	100	0.20	0.20	49.9	2.85	2.32	0.201	19.5	9.5
16	3.3	0	100	0.10	0.20	62.5	3.25	2.71	0.235	19.1	8.2
17	3.3	0	100	0.20	0.10	40.1	3.13	2.70	0.234	19.2	8.5
18	3.3	49	51	0.10	0.20	66.9	3.28	2.71	0.235	19.1	8.1

-1 $Pa/m(m^3/s)^2$

Dimensionerande läge för personbelastning

Det dimensionerande läget för personbelastningen har undersökts genom att flytta nivån för belastat till obelastat trapphus. Alla de använda belastningsprofilerna bestäms av och de två tryckfallen R_1 och R_2 är 0.2 respektive 0.1. De motsvarande nivåerna h_1 och h_2 har valts för att få en övergång kring varje helt tiotal meter. Detta ger nio fall som redovisas i Figur 3.1 och siffermässigt tidigare i Tabell 3.1. Lägsta övertryck med 27.6 Pa fås för fall 4 med övergång från belastat till obelastat trapphus vid nivån 40 m. Näst lägsta övertryck om 29.5 Pa fås för fall 5 med brytnivån 50 m. Dessa två fall antyder att allra lägsta övertryck fås mellan nivån 40 m och 50 m för en övergång mellan belastat och obelastat trapphus. Detta stämmer väl med det ideala fallet utan något läckage som enligt Tabell 2.2 och f=2 anger att den kritiska brytpunkten relativt trapphushöjden är 0.4142 eller omskalat till trapphusnivå som 41.42 m.

Fallen med övergång lågt eller högt är mindre kritiska än övergång halvvägs och antyder också att en helt jämn personbelastning inte är ett kritiskt fall.



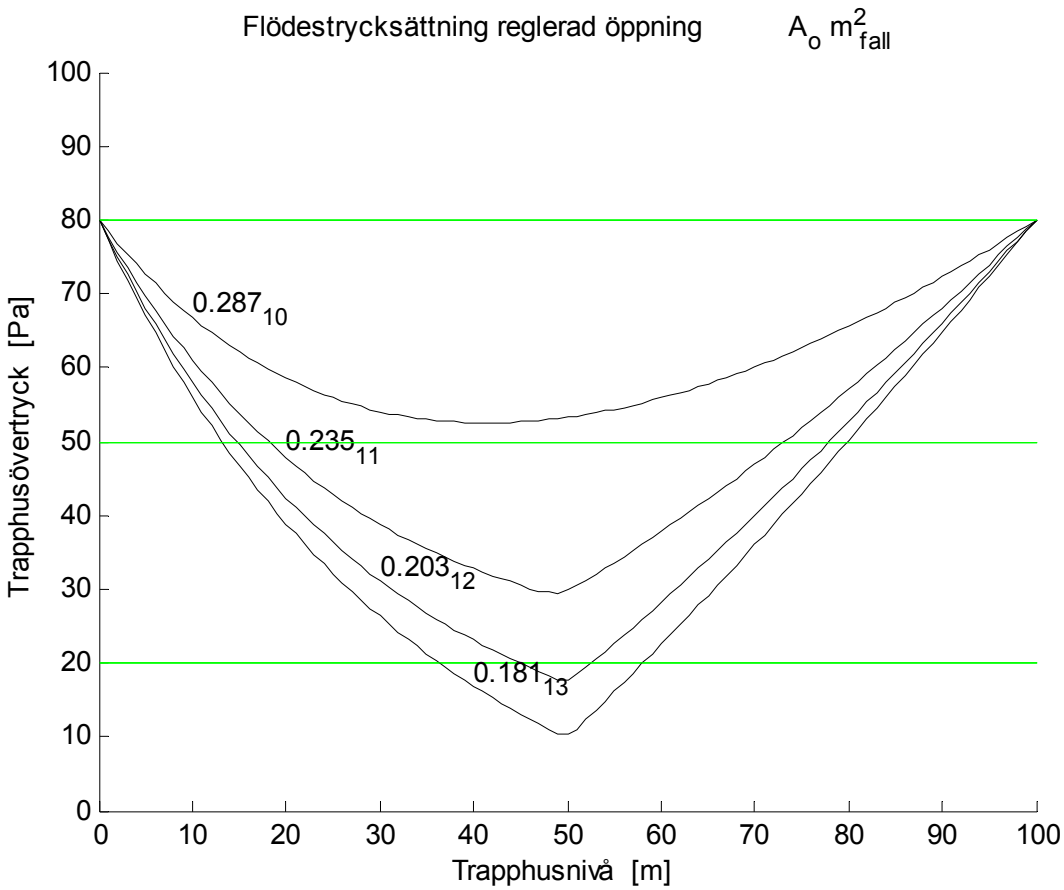
Figur 3.1 Trapphusövertryck för olika belastningsfall 1-9 enligt Tabell 3.1.

Dimensionerande storlek för personbelastning

Det dimensionerande läget ligger i stort sett halvvägs upp i trapphuset. En naturlig fråga är hur stor ändring i tryckfall som kan klaras av inom det rekommenderade övertrycksintervallet. Detta undersöks med ett obelastat fall 10 och tre belastningsfall 11-13 med en ökning av tryckfallet med en faktor 2, 3 och 4 och motsvarande övertrycksprofiler redovisas i Figur 3.2.

Notera att de kritiska fallen ligger något lägre eftersom brytpunkten för personbelastningen är satt till 50 m eller egentligen från 49 till 51 m.

Kurvorna i Figur 3.2 visar och siffrorna i Tabell 3.1 anger att lägsta övertryck underskrids för fall 12 och 13. De fyra lägsta värdena för övertrycksprofilen är 52.5, 29.5, 17.8 och 10.3 Pa.



Figur 3.2 Trapphusövertryck för olika belastningsfall 10, 11, 12 och 13 enligt Tabell 3.1.

Dimensionerande form för personbelastning

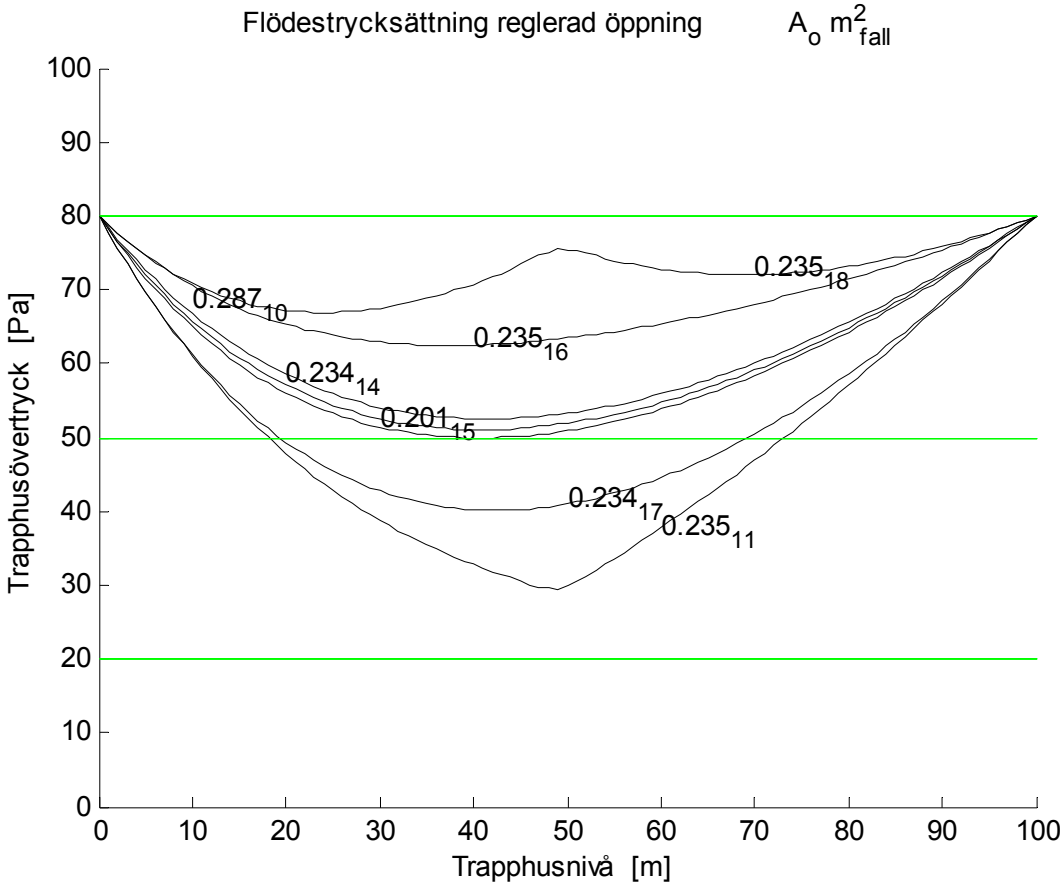
Hur mycket personbelastningens form betyder för övertrycksvariationen undersöks med några fall enligt Tabell 3.1 och vilka redovisas i Figur 3.3.

Störst variation i övertryck fås för fall 11 med ett avtagande steg vid 50 m. Motsatsen med fall 18 ger den minsta variationen i övertryck. Skillnaden mellan de spegelvända fall 11 och 18 orsakas av att trapphusflödet är större i början av trapphuset (nerifrån räknat), vilket i sin tur beror på läckflödet.

Kurvorna i Figur 3.3 visar att en jämn personbelastning som fall 10, 14 och 15 med de specifika tryckfallen 0.1, 0.15 respektive 0.2 inte skiljer mycket i övertrycksprofil och variation.

En linjärt avtagande personbelastning, fall 17, från specifikt tryckfall 0.2 nederst till 0.1 överst har en övertrycksprofil som mest liknar den med ett avtagande steg vid 50 m, fall 11.

Motsatsen med en linjärt ökande personbelastning, fall 16, närmar sig fall 18 med ett ökande steg vid 50 m.



Figur 3.3 Trapphusövertryck för olika belastningsfall 10, 11 och 14-18 enligt Tabell 3.1.

4 Test av olika trycksättningsmetoder

Den ideala trycksättningen med både reglerad fläkt nederst och en reglerad öppning överst i trapphuset kan förenklas. Detta finns beskrivet utförligt i Jensen (2002b). Avsikten med detta avsnitt är att testa de olika metoderna för en och samma personbelastning och under olika klimat enligt sammanställningen nedan.

Trapphusets höjd är 100 m. Det specifika läckflödet är 1 m^3/s vid 60 Pa.

Varje metod testas med tre olika personbelastningar kombinerat med fem olika klimat. Detta ger femton olika fall för varje metod. De tre personbelastningar ges av fall 10, 11 och 15 i avsnitt 3, vilket är konstant specifikt tryckfall 0.1, tryckfall med steg från 0.2 till 0.1 vid 50 m och konstant tryckfall 0.2. De tre fallen kan tolkas som tomt trapphus, trapphus belastat till halva höjden respektive trapphus belastat till hela höjden.

De fem klimatfall ges av innetemperaturen 20 °C och utetemperaturerna 20, 8.9, -2.9, -13.1 och -22.6 °C. Den motsvarande termiska tryckgradienten blir 0, 0.5, 1, 1.5 och 2 Pa/m.

metod	fall	Tabell	Figur
reglerad öppning	1-15	4.1	4.1-3
programstyrd öppning	16-30	4.2	4.4-6
till/frånstyrd öppning	31-45	4.3	4.7-9
anpassat läckage	46-60	4.4	4.10-12
ingen öppning	61-75	4.5	4.13-15

De tre belastningsfallens övertryckskurvor redovisas för varje metod i var sitt diagram för de fem klimatfallen. Öppningens area i m^2 anges tillsammans med fallnummer som index på aktuell övertryckskurva.

Programstyrd öppning görs som för en reglerad öppning och utan personbelastning.

Till/frånstyrd öppning är 0.275 m^2 för termiska tryckgradienter lika med och större än 1 Pa/m annars är öppningen 0.01 m^2.

Flödestrycksättning med anpassat läckage redovisas för ett specifikt läckflöde om 6 m^3/s vid 60 Pa.

De två sista fallen utan någon öppning överst i sammanställningen ovan har en liten öppning på 0.01 m^2 av beräkningstekniska skäl, vilket ökar flödena obetydligt.

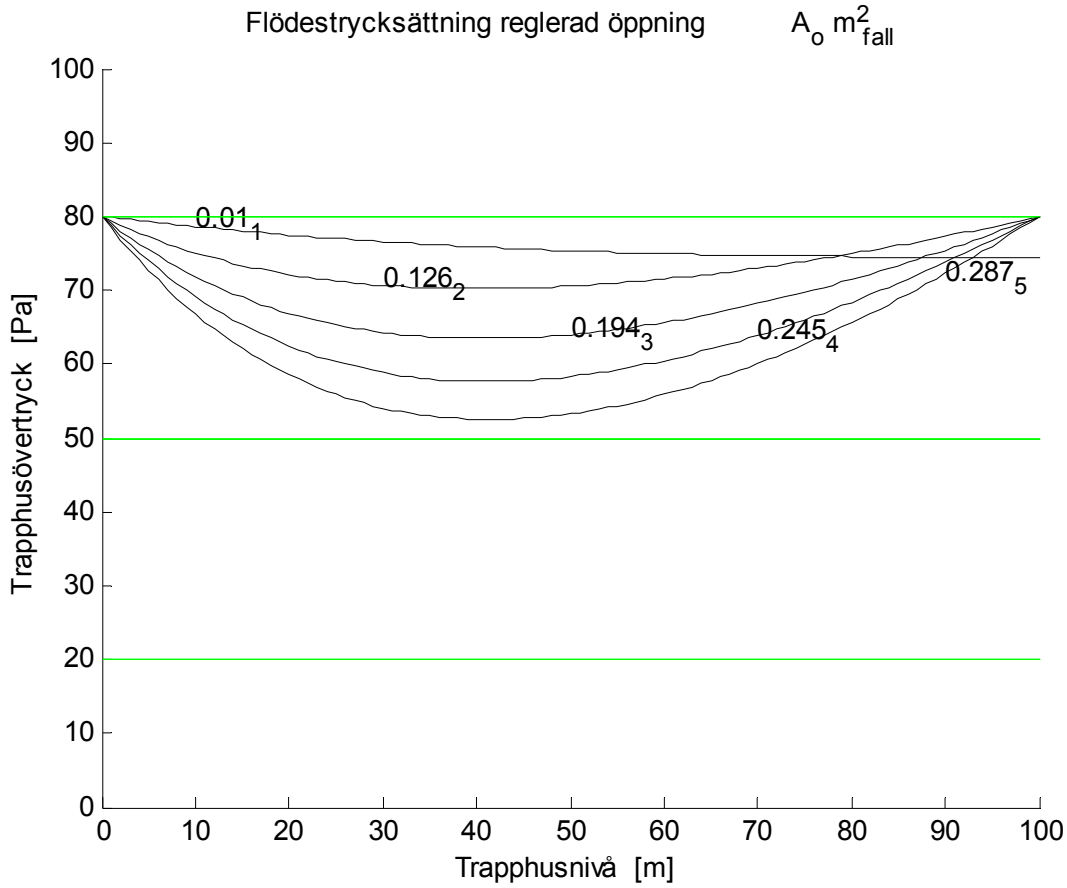
De olika metoderna kommenteras sist i detta avsnitt och de klarar inte alltid det rekommenderade övertrycksintervallet (20,80) Pa.

Flödestrycksättning reglerad öppning

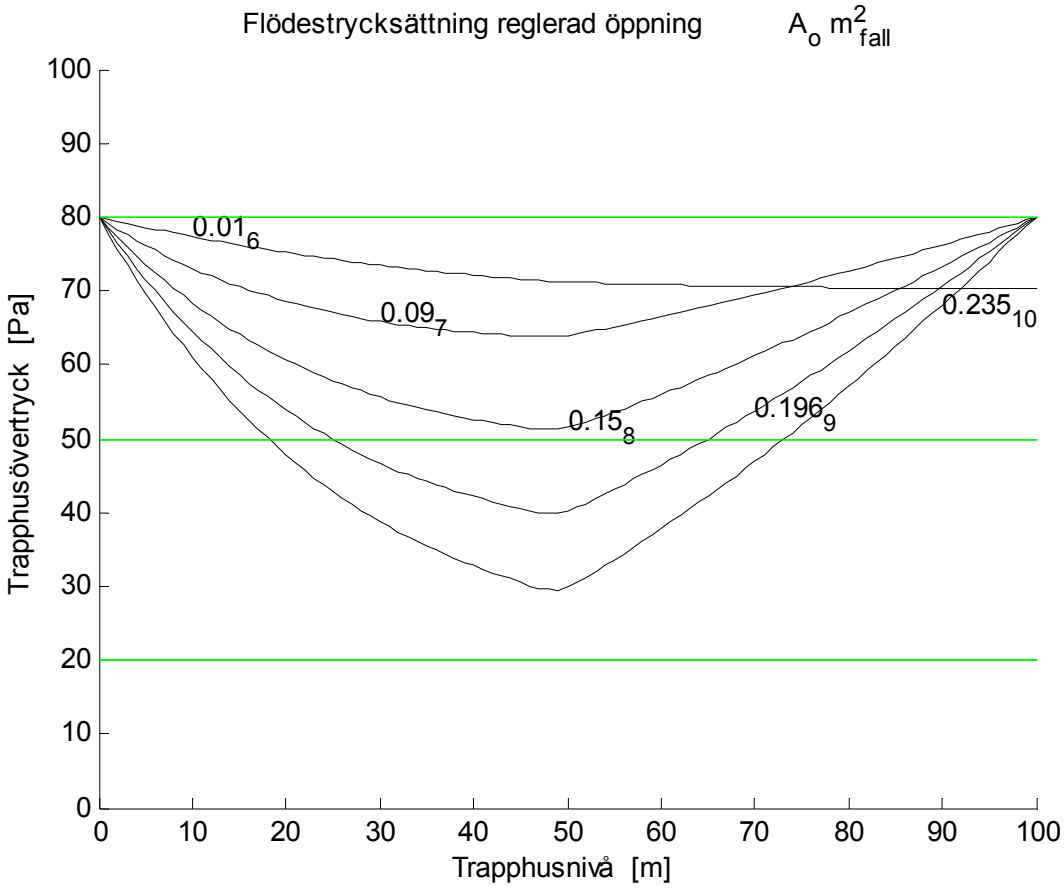
Trapphusövertryck för flödestrycksättning med reglerad öppning redovisas i Figur 4.1-3 enligt fall 1-15 i Tabell 4.1.

Tabell 4.1 Övertryck, flöde, reglerad öppningsarea och temperatur.

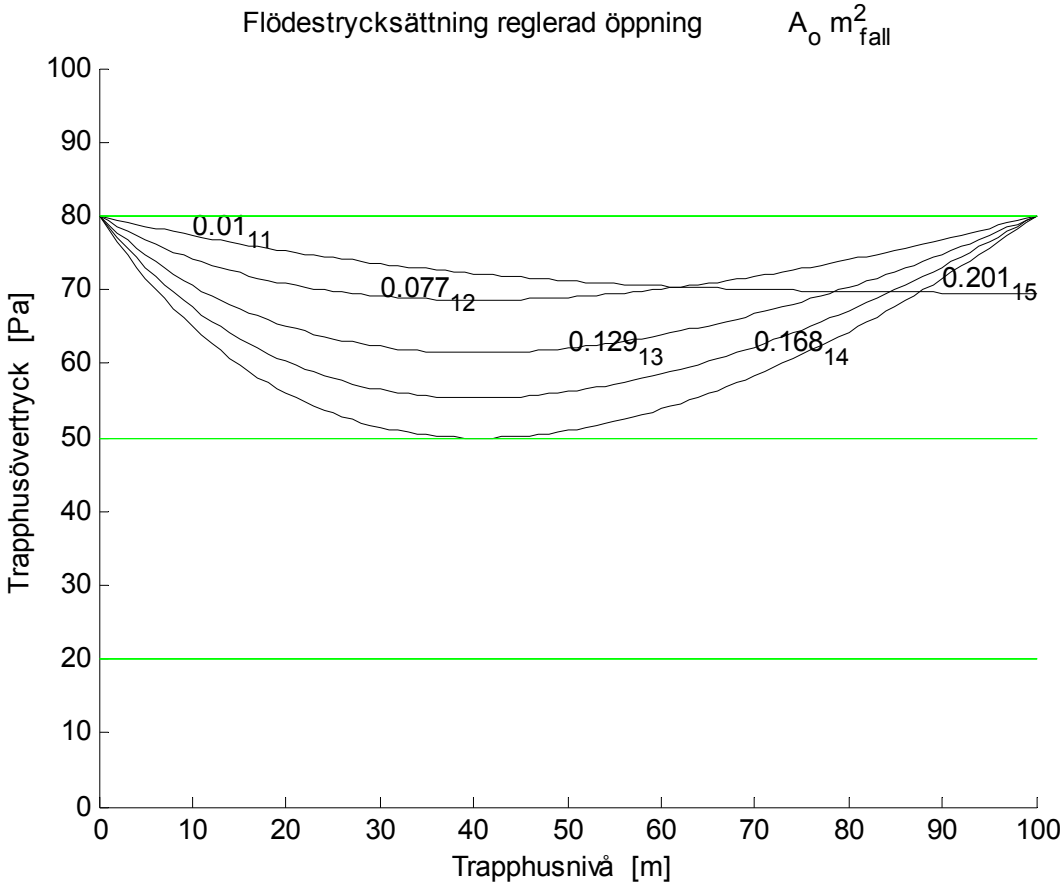
fall	figur	p_i Pa	p_o Pa	p_{min} Pa	q_i m^3/s	q_o m^3/s	A_o m^2	T_i °C	T_o °C	T_{med} °C
1	4.1	80.0	74.4	74.4	1.24	0.11	0.010	20.0	20.0	20.0
2	4.1	80.0	80.0	70.2	2.46	1.45	0.126	8.1	20.0	17.7
3	4.1	80.0	80.0	63.5	3.07	2.24	0.194	-2.9	19.8	14.4
4	4.1	80.0	80.0	57.7	3.46	2.83	0.245	-13.1	19.2	10.6
5	4.1	80.0	80.0	52.5	3.74	3.32	0.287	-22.6	18.4	6.6
6	4.2	80.0	70.3	70.3	1.21	0.11	0.010	20.0	20.0	20.0
7	4.2	80.0	80.0	63.8	2.03	1.04	0.090	8.1	20.0	18.1
8	4.2	80.0	80.0	51.2	2.55	1.74	0.150	-2.9	19.9	15.3
9	4.2	80.0	80.0	39.9	2.88	2.27	0.196	-13.1	19.7	12.0
10	4.2	80.0	80.0	29.5	3.11	2.72	0.235	-22.6	19.2	8.5
11	4.3	80.0	69.5	69.5	1.21	0.11	0.010	20.0	20.0	20.0
12	4.3	80.0	80.0	68.6	1.91	0.89	0.077	8.1	20.0	18.2
13	4.3	80.0	80.0	61.5	2.36	1.49	0.129	-2.9	20.0	15.6
14	4.3	80.0	80.0	55.3	2.64	1.94	0.168	-13.1	19.8	12.7
15	4.3	80.0	80.0	49.9	2.85	2.32	0.201	-22.6	19.5	9.5



Figur 4.1 Trapphusövertryck som funktion av trapphusnivå för fall 1-5 enligt Tabell 4.1.



Figur 4.2 Trapphusövertryck som funktion av trapphusnivå för fall 6-10 enligt Tabell 4.1.



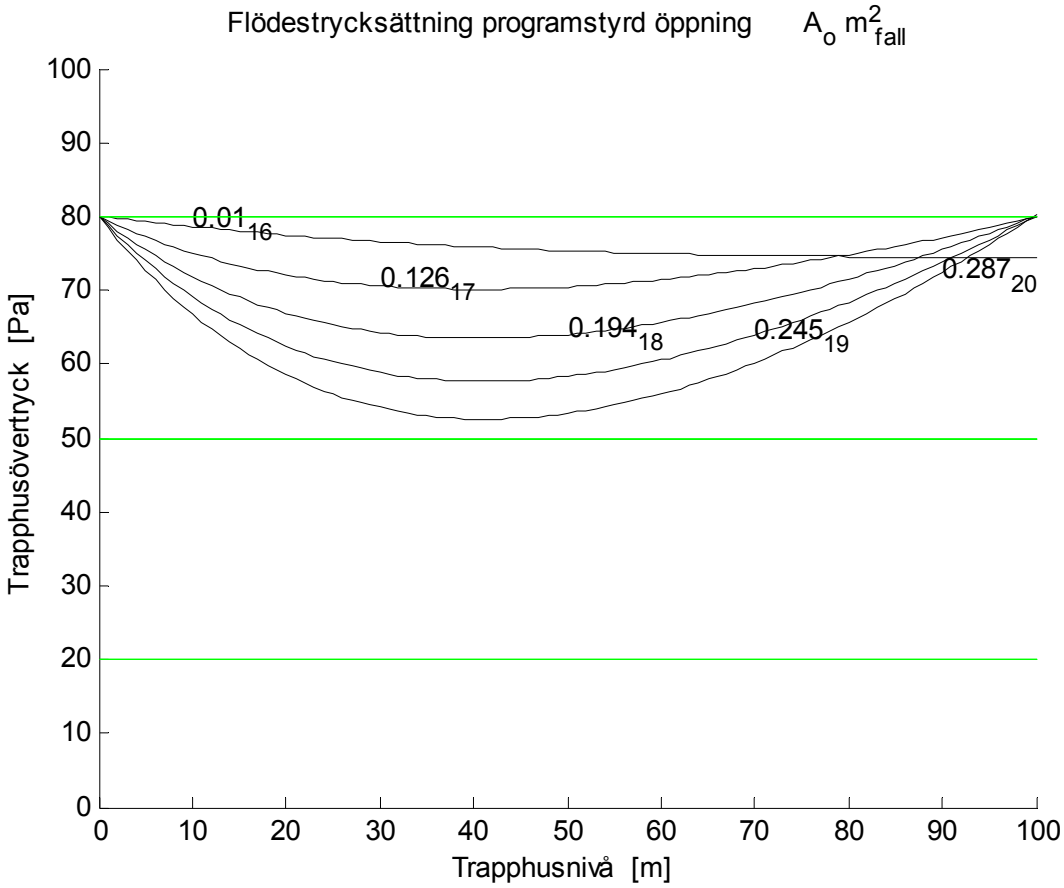
Figur 4.3 Trapphusövertryck som funktion av trapphusnivå för fall 11-15 enligt Tabell 4.1.

Flödestrycksättning programstyrd öppning

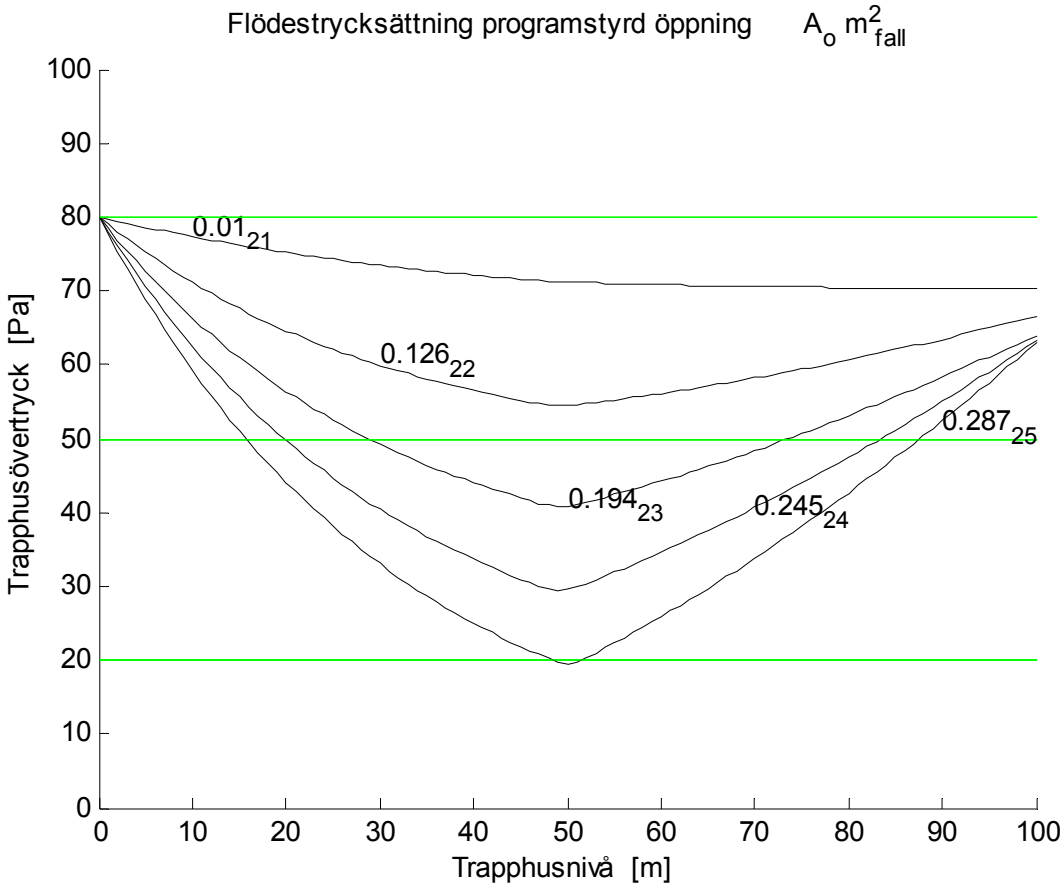
Trapphusövertryck för flödestrycksättning med programstyrd öppning redovisas i Figur 4.4-6 enligt fall 16-30 i Tabell 4.2.

Tabell 4.2 Övertryck, flöde, programstyrd öppningsarea och temperatur.

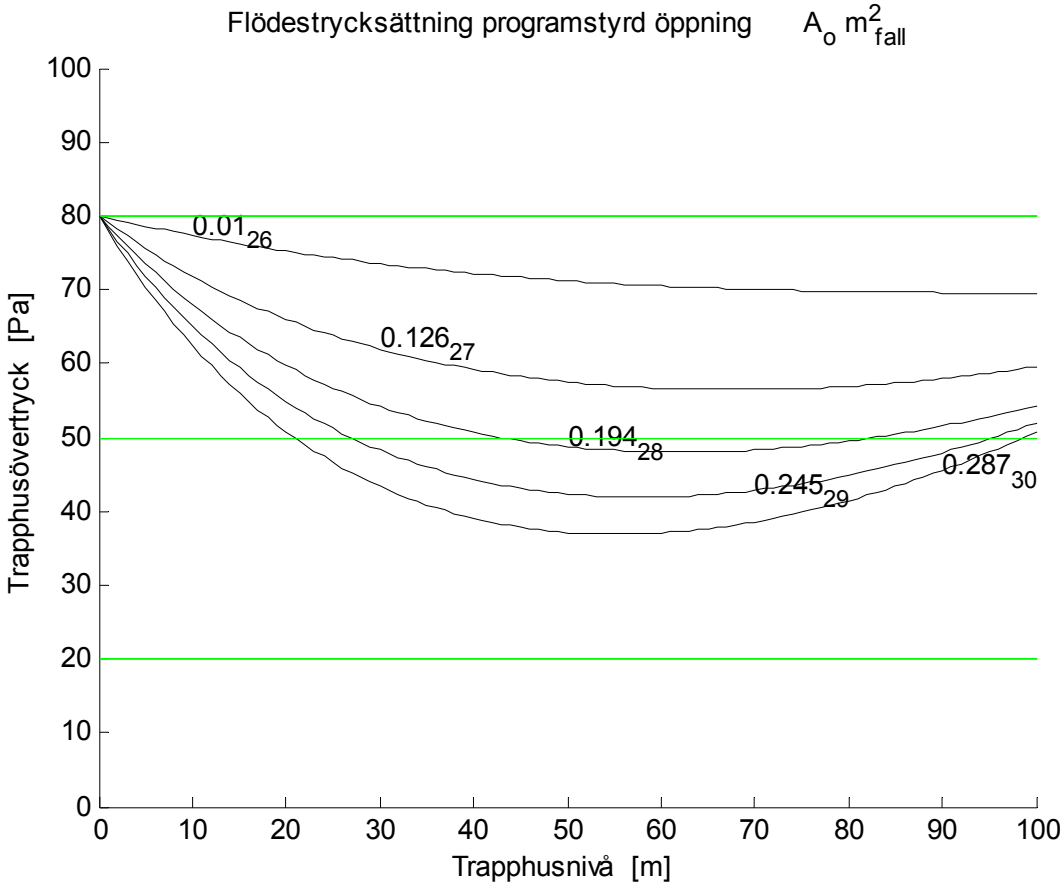
fall	figur	p_i Pa	p_o Pa	p_{min} Pa	q_i m^3/s	q_o m^3/s	A_o m^2	T_i °C	T_o °C	T_{med} °C
16	4.4	80.0	74.4	74.4	1.24	0.11	0.010	20.0	20.0	20.0
17	4.4	80.0	79.9	70.1	2.46	1.45	0.126	8.1	20.0	17.7
18	4.4	80.0	80.0	63.5	3.06	2.24	0.194	-2.9	19.8	14.4
19	4.4	80.0	80.1	57.7	3.46	2.83	0.245	-13.1	19.2	10.6
20	4.4	80.0	80.2	52.6	3.74	3.32	0.287	-22.6	18.4	6.6
21	4.5	80.0	70.3	70.3	1.21	0.11	0.010	20.0	20.0	20.0
22	4.5	80.0	66.5	54.4	2.25	1.33	0.126	8.1	20.0	17.9
23	4.5	80.0	64.0	40.8	2.72	2.00	0.194	-2.9	19.9	14.9
24	4.5	80.0	63.2	29.4	3.02	2.51	0.245	-13.1	19.5	11.6
25	4.5	80.0	62.9	19.6	3.23	2.94	0.287	-22.6	19.0	8.1
26	4.6	80.0	69.5	69.5	1.21	0.11	0.010	20.0	20.0	20.0
27	4.6	80.0	59.6	56.4	2.18	1.26	0.126	8.1	20.0	18.0
28	4.6	80.0	54.3	48.0	2.59	1.85	0.194	-2.9	19.9	15.2
29	4.6	80.0	51.9	41.9	2.84	2.28	0.245	-13.1	19.7	12.1
30	4.6	80.0	50.7	36.9	3.02	2.64	0.287	-22.6	19.3	8.9



Figur 4.4 Trapphusövertryck som funktion av trapphusnivå för fall 16-20 enligt Tabell 4.2.



Figur 4.5 Trapphusövertryck som funktion av trapphusnivå för fall 21-25 enligt Tabell 4.2.



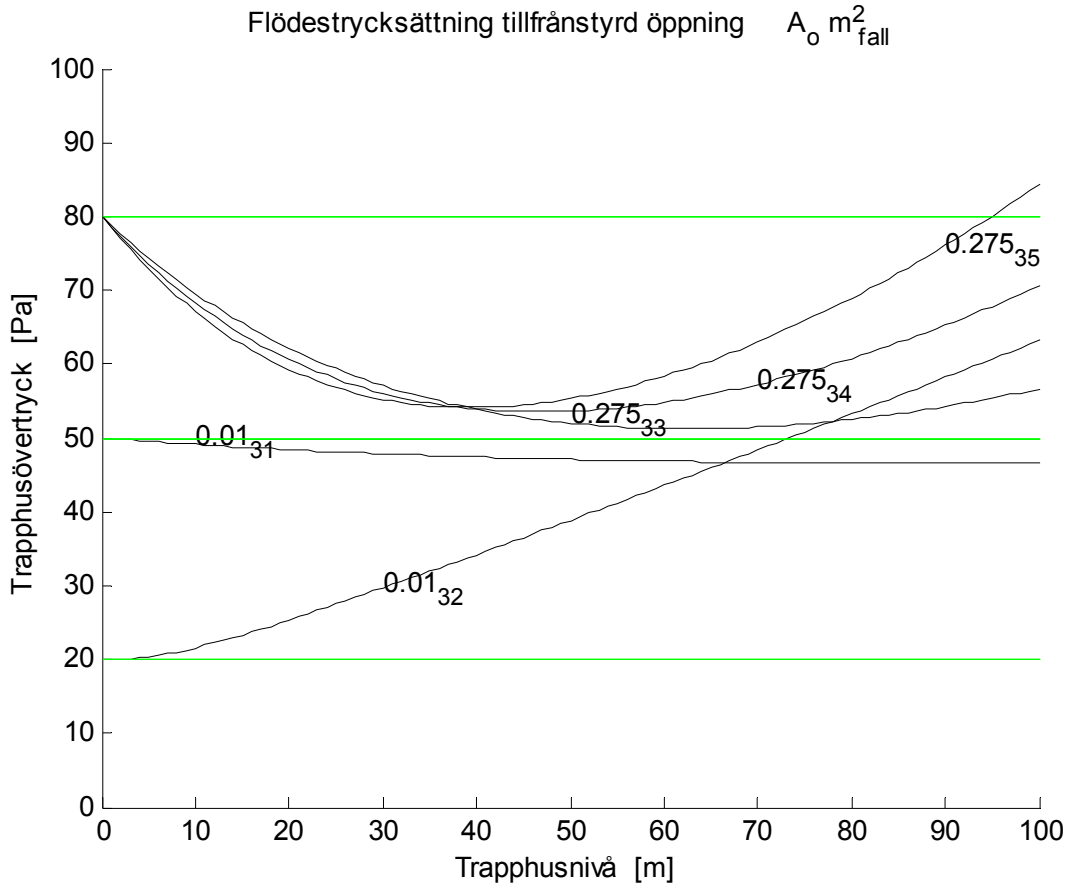
Figur 4.6 Trapphusövertryck som funktion av trapphusnivå för fall 26-30 enligt Tabell 4.2.

Flödestrycksättning till/frånstyrd öppning

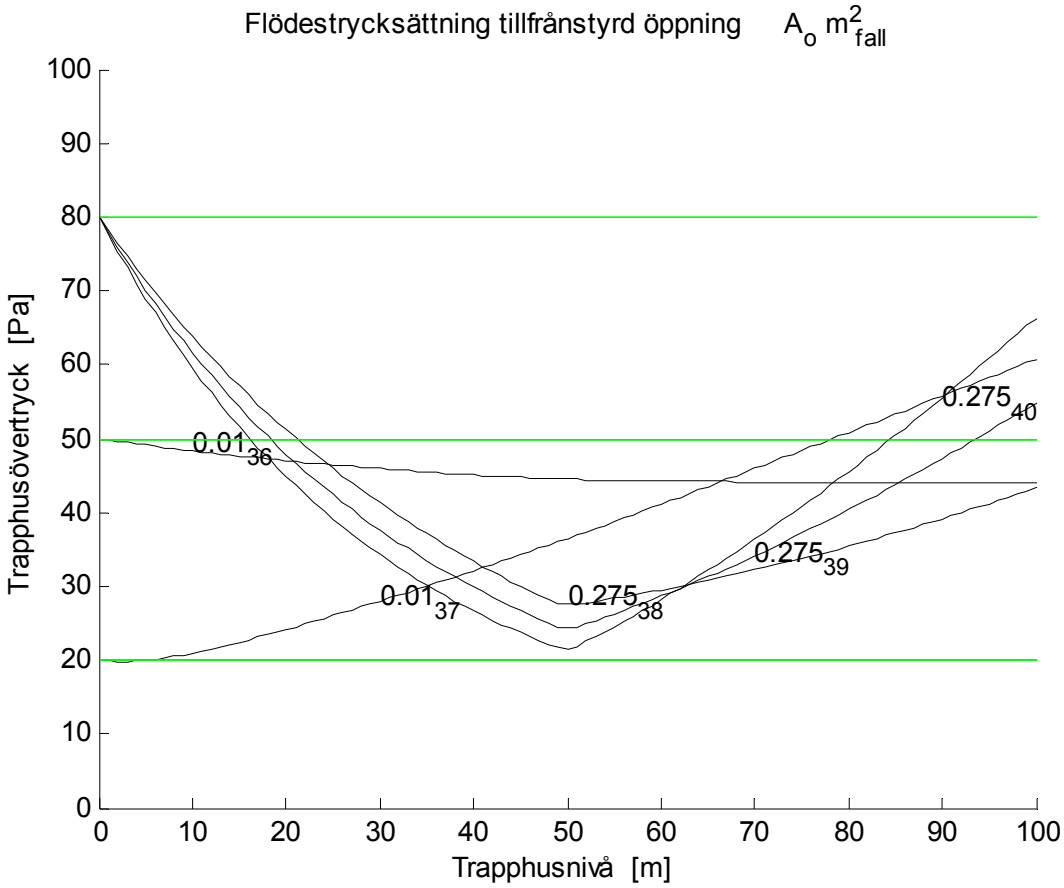
Trapphusövertryck för flödestrycksättning med till/frånstyrd öppning redovisas i Figur 4.7-9 enligt fall 31-45 i Tabell 4.3.

Tabell 4.3 Övertryck, flöde, till/frånstyrd öppningsarea och temperatur.

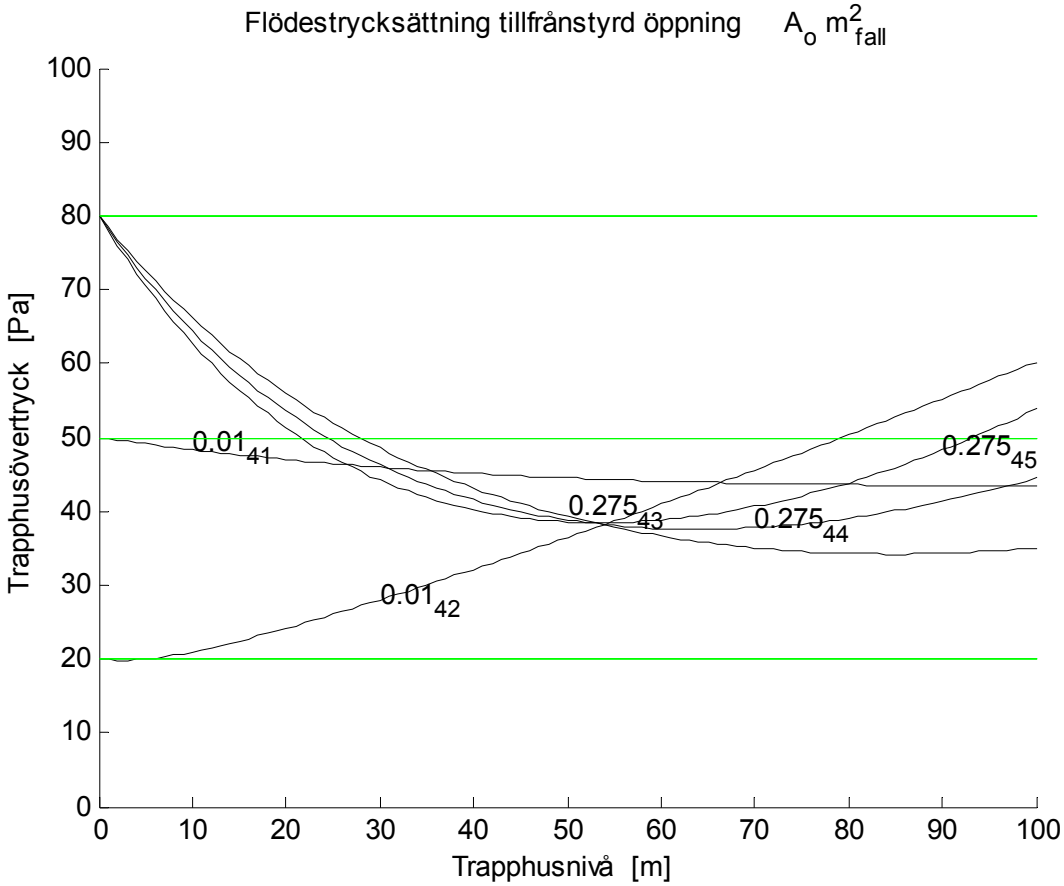
fall	figur	p_i Pa	p_o Pa	p_{min} Pa	q_i m^3/s	q_o m^3/s	A_o m^2	T_i °C	T_o °C	T_{med} °C
31	4.7	50.0	46.5	46.5	0.98	0.09	0.010	20.0	20.0	20.0
32	4.7	20.0	63.2	20.0	0.87	0.10	0.010	8.1	20.0	19.1
33	4.7	80.0	56.6	51.3	3.37	2.67	0.275	-2.9	19.6	13.8
34	4.7	80.0	70.6	53.6	3.56	2.98	0.275	-13.1	19.1	10.3
35	4.7	80.0	84.2	54.1	3.70	3.26	0.275	-22.6	18.4	6.7
36	4.8	50.0	44.0	44.0	0.96	0.09	0.010	20.0	20.0	20.0
37	4.8	20.0	60.8	19.8	0.84	0.10	0.010	8.1	20.0	19.1
38	4.8	80.0	43.4	27.6	2.92	2.34	0.275	-2.9	19.8	14.6
39	4.8	80.0	54.9	24.3	3.08	2.63	0.275	-13.1	19.5	11.5
40	4.8	80.0	66.4	21.6	3.20	2.89	0.275	-22.6	19.0	8.2
41	4.9	50.0	43.5	43.5	0.95	0.09	0.010	20.0	20.0	20.0
42	4.9	20.0	60.2	19.8	0.84	0.10	0.010	8.1	20.0	19.1
43	4.9	80.0	35.1	34.2	2.74	2.10	0.275	-2.9	19.9	14.9
44	4.9	80.0	44.5	37.6	2.89	2.37	0.275	-13.1	19.6	12.0
45	4.9	80.0	53.8	38.4	3.00	2.60	0.275	-22.6	19.3	8.9



Figur 4.7 Trapphusövertryck som funktion av trapphusnivå för fall 31-35 enligt Tabell 4.3.



Figur 4.8 Trapphusövertryck som funktion av trapphusnivå för fall 36-40 enligt Tabell 4.3.



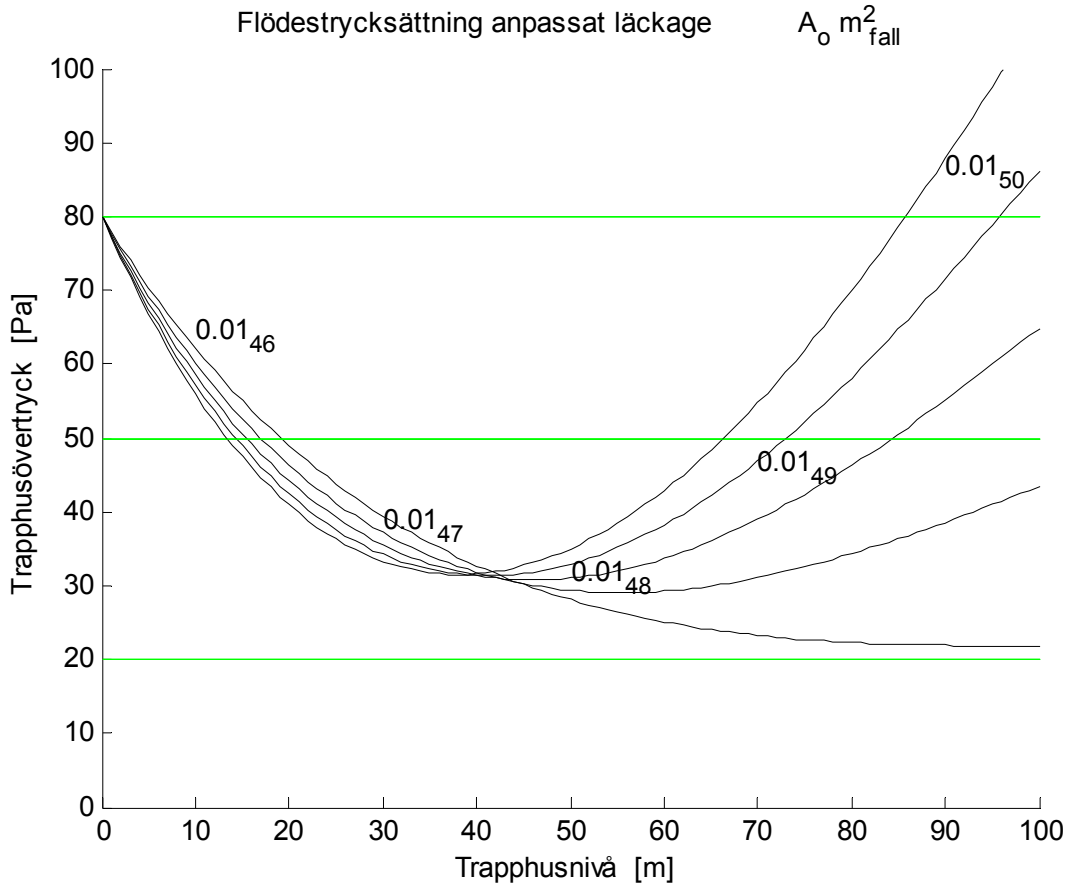
Figur 4.9 Trapphusövertryck som funktion av trapphusnivå för fall 41-45 enligt Tabell 4.3.

Flödestrycksättning anpassat läckage

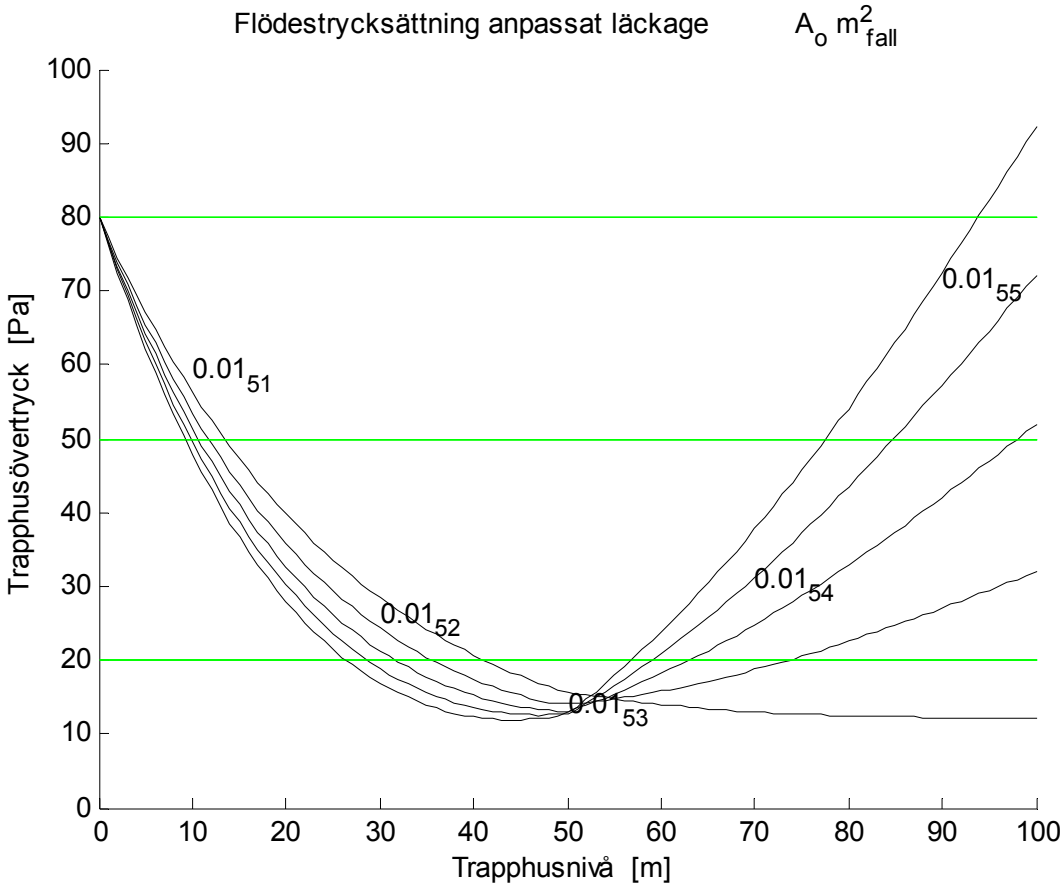
Trapphusövertryck för flödestrycksättning med anpassat läckage redovisas i Figur 4.10-12 enligt fall 46-60 i Tabell 4.4. Det nominella läckflödet är 6 m^3/s vid 60 Pa.

Tabell 4.4 Övertryck, flöde och temperatur för fallet anpassat läckage.

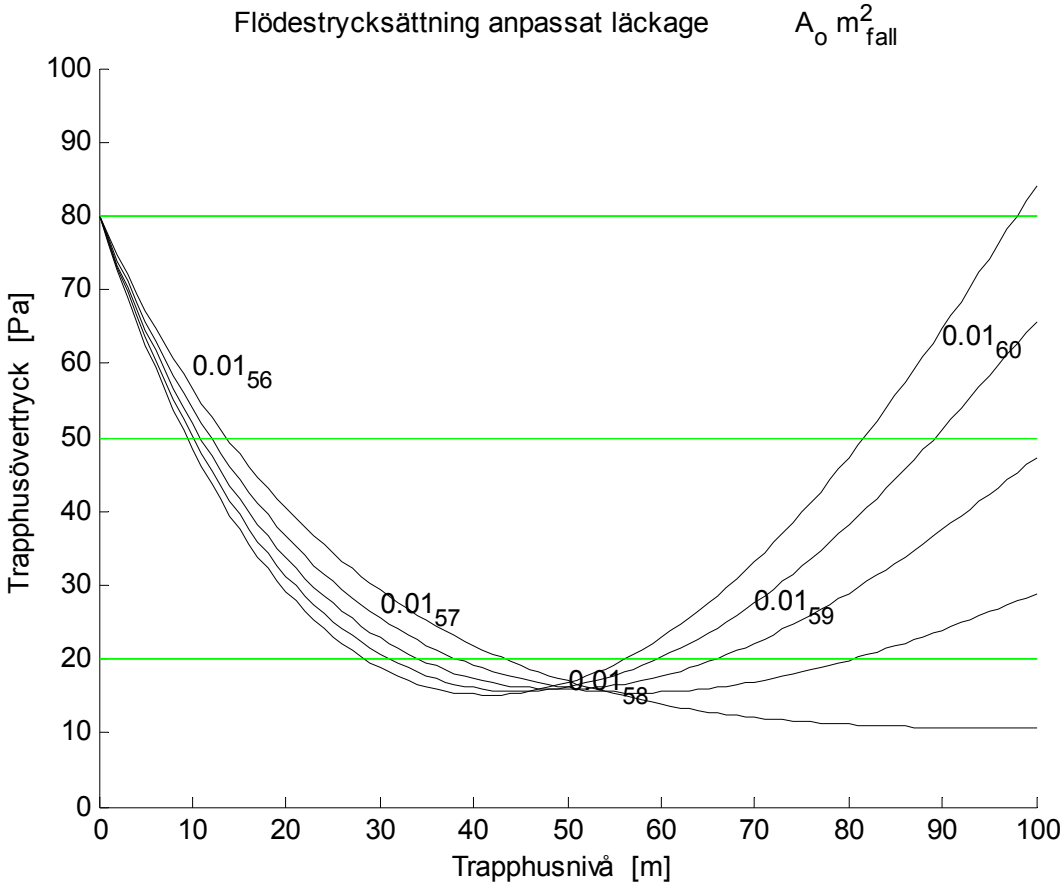
fall	figur	p_i Pa	p_o Pa	p_{min} Pa	q_i m^3/s	q_o m^3/s	A_o m^2	T_i °C	T_o °C	T_{med} °C
46	4.10	80.0	21.9	21.9	4.56	0.06	0.010	20.0	20.0	20.0
47	4.10	80.0	43.4	29.1	4.75	0.09	0.010	8.1	20.0	16.7
48	4.10	80.0	64.9	30.8	4.87	0.10	0.010	-2.9	20.0	13.2
49	4.10	80.0	86.2	31.4	4.95	0.12	0.010	-13.1	20.0	9.7
50	4.10	80.0	107.4	31.5	5.02	0.13	0.010	-22.6	20.0	6.1
51	4.11	80.0	12.2	12.2	3.77	0.05	0.010	20.0	20.0	20.0
52	4.11	80.0	32.0	14.1	3.92	0.07	0.010	8.1	20.0	17.2
53	4.11	80.0	51.9	13.1	4.01	0.10	0.010	-2.9	20.0	14.2
54	4.11	80.0	72.0	12.6	4.08	0.11	0.010	-13.1	20.0	11.2
55	4.11	80.0	92.1	11.9	4.12	0.12	0.010	-22.6	20.0	8.0
56	4.12	80.0	10.7	10.7	3.75	0.04	0.010	20.0	20.0	20.0
57	4.12	80.0	28.8	15.4	3.89	0.07	0.010	8.1	20.0	17.2
58	4.12	80.0	47.2	15.9	3.98	0.09	0.010	-2.9	20.0	14.3
59	4.12	80.0	65.7	15.6	4.05	0.10	0.010	-13.1	20.0	11.3
60	4.12	80.0	84.1	15.1	4.09	0.12	0.010	-22.6	20.0	8.2



Figur 4.10 Trapphusövertryck som funktion av trapphusnivå för fall 46-50 enligt Tabell 4.4.



Figur 4.11 Trapphusövertryck som funktion av trapphusnivå för fall 51-55 enligt Tabell 4.4.



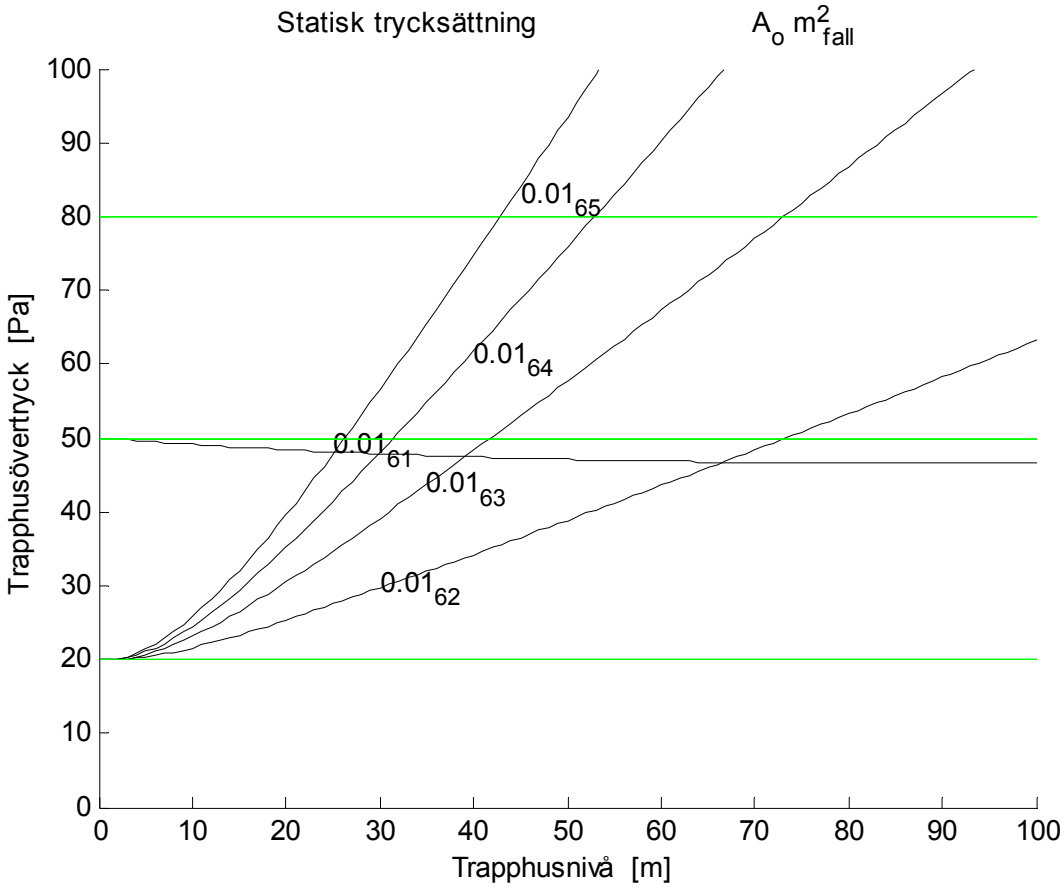
Figur 4.12 Trapphusövertryck som funktion av trapphusnivå för fall 56-60 enligt Tabell 4.4.

Statisk trycksättning

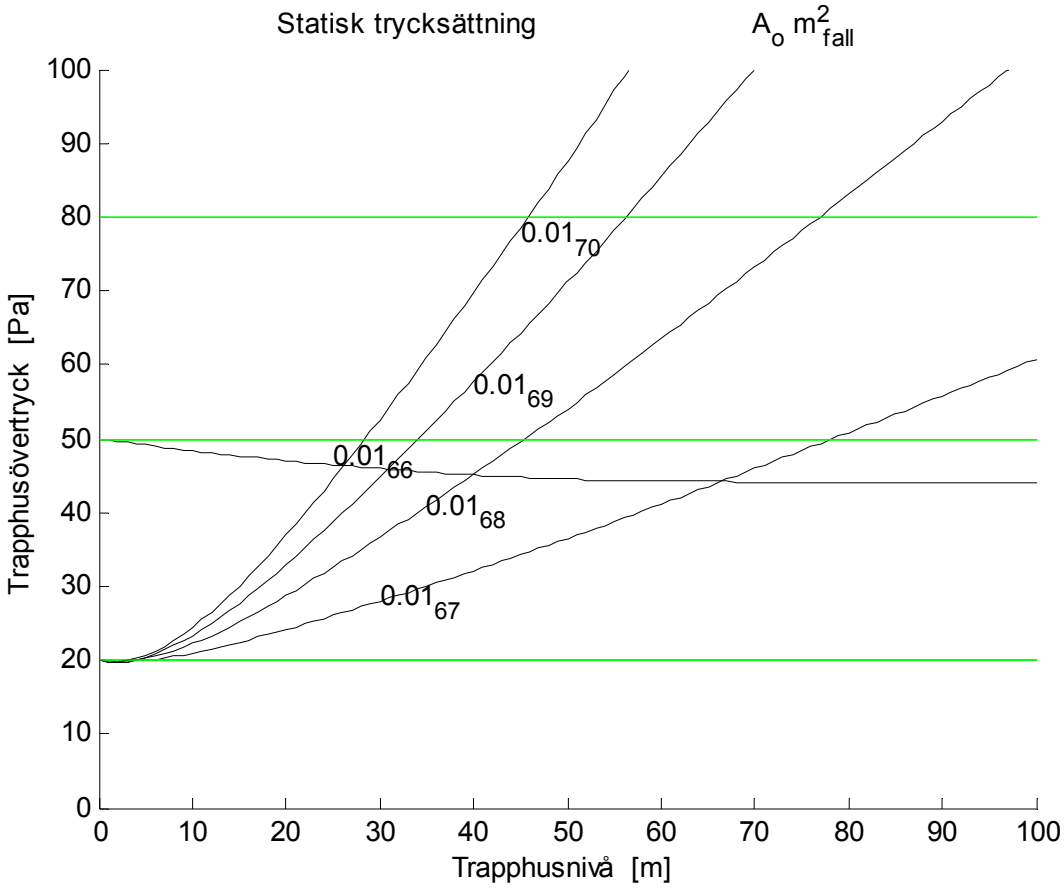
Trapphusövertryck för statisk trycksättning redovisas i Figur 4.13-15 enligt fall 61-75 i Tabell 4.5.

Tabell 4.5 Övertryck, flöde och temperatur för fallet statisk trycksättning.

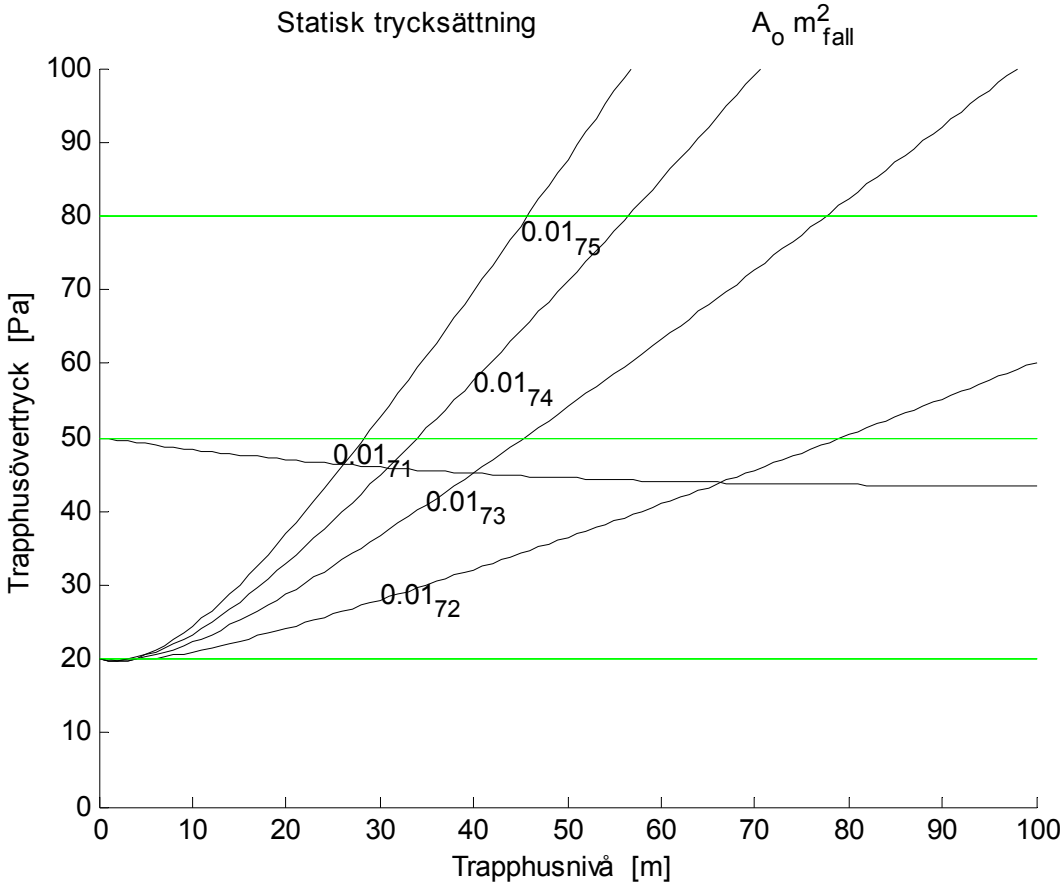
fall	figur	p_i Pa	p_o Pa	p_{min} Pa	q_i m^3/s	q_o m^3/s	A_o m^2	T_i °C	T_o °C	T_{med} °C
61	4.13	50.0	46.5	46.5	0.98	0.09	0.010	20.0	20.0	20.0
62	4.13	20.0	63.2	20.0	0.87	0.10	0.010	8.1	20.0	19.1
63	4.13	20.0	106.6	20.0	1.01	0.13	0.010	-2.9	20.0	18.0
64	4.13	20.0	149.3	19.9	1.12	0.16	0.010	-13.1	20.0	16.7
65	4.13	20.0	191.5	19.9	1.19	0.18	0.010	-22.6	20.0	15.3
66	4.14	50.0	44.0	44.0	0.96	0.09	0.010	20.0	20.0	20.0
67	4.14	20.0	60.8	19.8	0.84	0.10	0.010	8.1	20.0	19.1
68	4.14	20.0	102.9	19.8	0.99	0.13	0.010	-2.9	20.0	18.0
69	4.14	20.0	144.6	19.8	1.09	0.16	0.010	-13.1	20.0	16.8
70	4.14	20.0	185.6	19.8	1.16	0.18	0.010	-22.6	20.0	15.4
71	4.15	50.0	43.5	43.5	0.95	0.09	0.010	20.0	20.0	20.0
72	4.15	20.0	60.2	19.8	0.84	0.10	0.010	8.1	20.0	19.1
73	4.15	20.0	102.0	19.8	0.99	0.13	0.010	-2.9	20.0	18.0
74	4.15	20.0	143.2	19.8	1.09	0.15	0.010	-13.1	20.0	16.8
75	4.15	20.0	183.9	19.8	1.16	0.18	0.010	-22.6	20.0	15.4



Figur 4.13 Trapphusövertryck som funktion av trapphusnivå för fall 61-65 enligt Tabell 4.5.



Figur 4.14 Trapphusövertryck som funktion av trapphusnivå för fall 66-70 enligt Tabell 4.5.



Figur 4.15 Trapphusövertryck som funktion av trapphusnivå för fall 71-75 enligt Tabell 4.5.

Kommentarer

Avsikten med att räkna igenom femton olika driftsfall med de fem metoderna för trycksättning av trapphus är att undersöka vilken eller vilka metoder som är användbara, men även att göra det möjligt att jämföra olika metoder. De val av öppningsareor som gjorts för metoderna programstyrning och till/frånstyrning har provats fram och behöver dörför inte vara de bästa. Detta gäller också fallet med anpassat läckage.

Flödestrycksättning med reglerad öppning klarar alla de femton driftsfallen med god marginal. Lägsta övertryck 29.5 Pa fås för fall 10 med lägsta utetemperatur och halv personbelastning. Den reglerade öppningens effektiva area är aldrig större än 0.3 m^2, vilket är realiserbart.

Flödestrycksättning med programstyrd öppning är identisk med den för reglerad öppning för fall 1-5 utan personbelastning. Endast driftsfall 25 med ett lägsta övertryck på 19.6 Pa klarar inte kraven på övertrycksintervallet (20,80) Pa. Resultatet kan tyckas vara bra, men om trapphustryckfallet utan och med personbelastning ändras något kan en programstyrd öppning resultera i stora avvikelser jämfört med en reglerad öppning som automatiskt anpassar sig efter förutsättningarna.

Flödestrycksättning med till/frånstyrd öppning klarar alla driftsfall utom fall 35 som resulterar i ett övertryck överst på 84.2 Pa. Till/frånstyrning är en förenklad form av programstyrning med en fix öppningsarea. Resultatet är givetvis beroende av förutsättningarna på samma sätt som för programstyrd öppning jämfört med reglerad öppning.

Flödestrycksättning med anpassat läckage klarar bara tre av de femton testfallen. Ett lägre trapphus hade gått att trycksätta med denna metod. Den nominella läckfödet är 6 m^3/s vid 60 Pa, vilket är ett högt värde. Inflödet är genomgående lägre med ett fall över 5 m^3/s, nio fall mellan 3 m^3/s och 4 m^3/s och fem fall mellan 3 m^3/s och 4 m^3/s. Volyminflödet är lägst för låga utetemperaturer och trapphusflödet värms efterhand till den nominella temperaturen på 20 °C. Även detta resultat är beroende av förutsättningarna. En ändring av ett anpassat läckage kanske inte heller är möjligt att genomföra.

Statisk flödestrycksättning klarar bara fallen med termisk tryckgradient 0 och 0.5 Pa/m. Skillnaden mellan de tre personbelastningsfallen är liten, eftersom trapphusflödet är begränsat till läckflödet. Denna metod har tagits med för att visa att den kan användas med en tryckssluss med två dörrar i serie som klarar 160 Pa. De tre fallen 65, 70 och 75 med den termiska gradienten 2 Pa/m klaras inte av.

En kombination med tryckssluss och en mindre till/frånstyrd öppning överst visar sig vara en möjlig lösning. Trycksättning till 40 Pa nederst och en effektiv area på 0.1 m^2 för termiska tryckgradienter lika med och större än 0.5 Pa/m klarar alla testfallen inom det utökade tryckintervallet (20,160) Pa.

5 Undersökning av övertryckets variation

Övertryckets variation vid flödestrycksättning med reglerad öppning överst är det som begränsar den möjliga trapphushöjden. De faktorer som tillsammans påverkar övertryckets variation är läckaget, tryckfallet, värmeöverföringsförmågan och personbelastningen.

Hur de fyra faktorerna ovan påverkar övertryckets variation redovisas för varje faktor var för sig i Figur 5.1-4 och slutligen sammanlagt för ett fall i Figur 5.5. Delfall 1-5 i Figur 5.1 gäller olika läckflöde med inloppstemperatur är 20 °C och utan personbelastning. . Delfall 6-9 i Figur 5.2 gäller olika tryckfall med läckflöde 1 m^3/s, inloppstemperatur är 20 °C och ingen personbelastning. Delfall 10-14 i Figur 5.3 gäller i sin tur olika värmeöverföringsförmåga utan läckflöde och utan personbelastning. Delfall 15-18 i Figur 5.4 gäller olika personbelastning utan läckage och med inloppstemperatur är 20 °C.

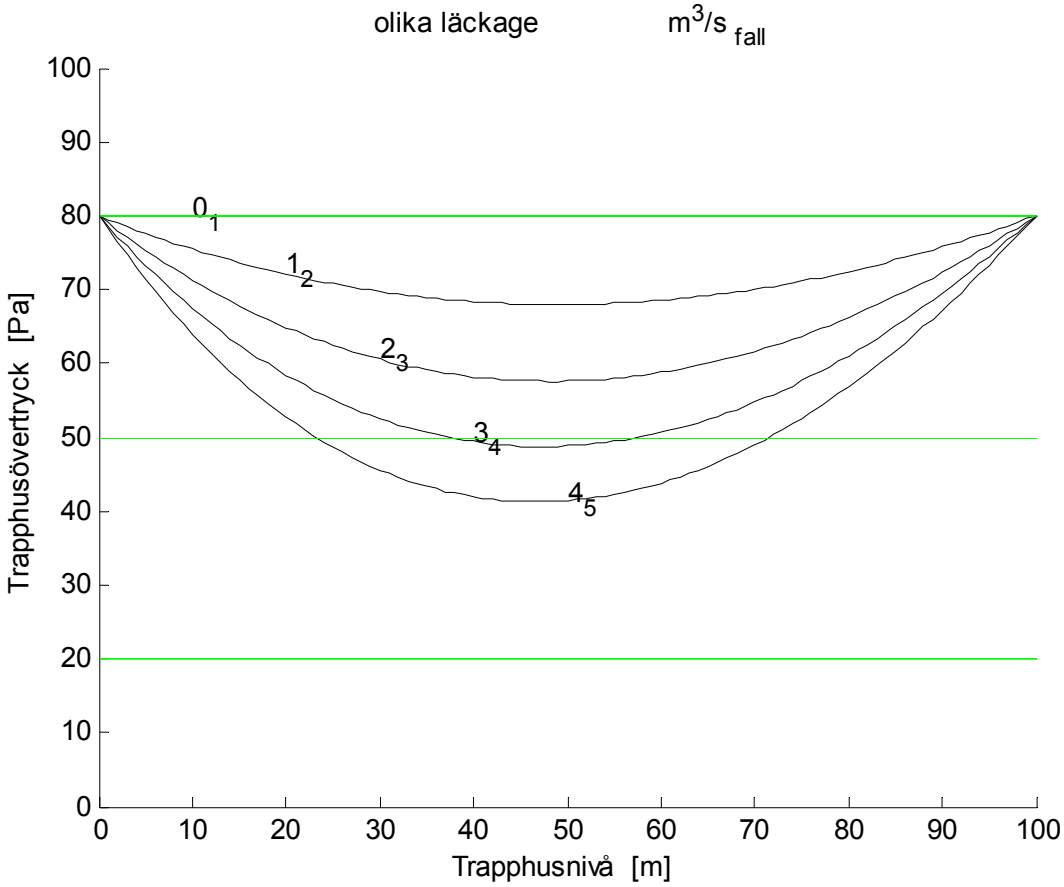
Gemensamt för alla fall är att trapphushöjden är 100 m, innetemperaturen är 20 °C, utetemperaturen är -22.6 °C och flödestrycksättning med reglerad öppning överst. De två temperaturerna ger en termisk gradient på 2 Pa/m.

Siffervärden för nominellt läckflöde, tryckfall, värmeöverföringsförmåga, lägsta övertryck, inflöde, utflöde, effektiv öppningsarea överst, inlopps-, utlopps- och medeltemperatur redovisas i Tabell 5.1 för de nitton fallen. De två angiva tryckfallen avser nedre och övre halvan av trapphuset. Personbelastningens brytpunkt är egentligen satt till 49-51 m.

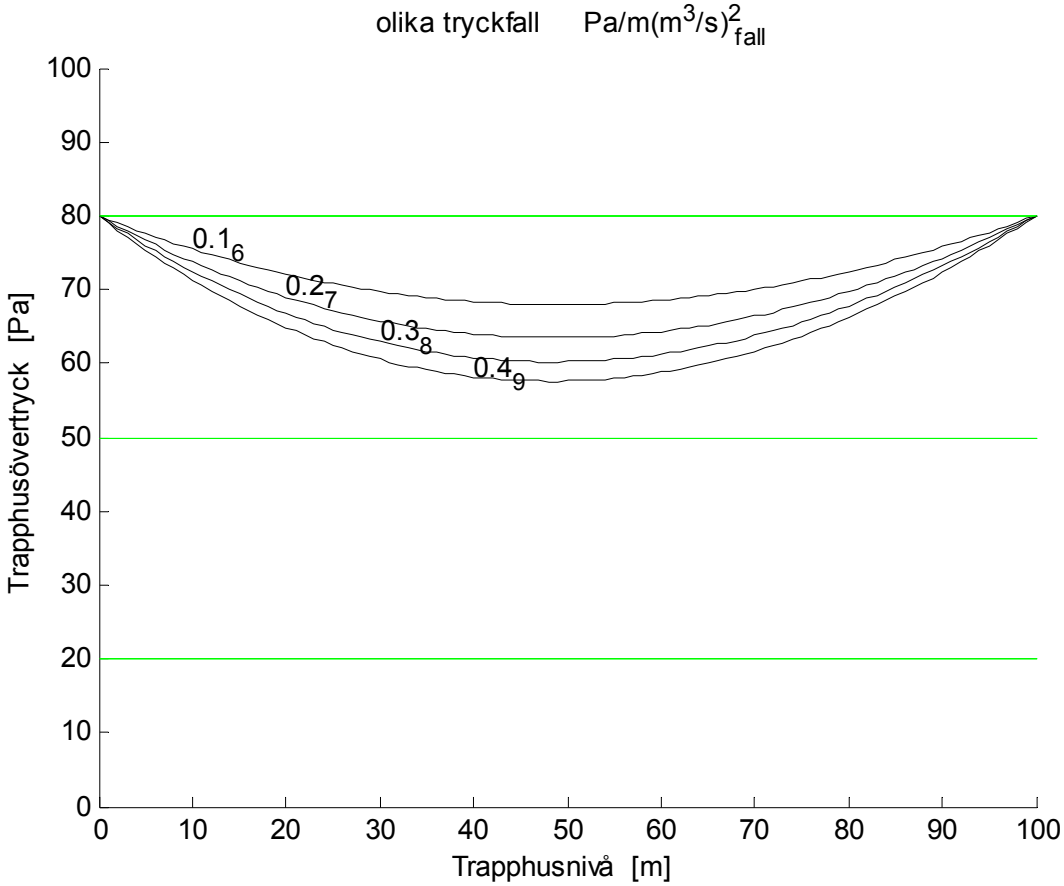
Tabell 5.1 Läckflöde, tryckfall 0-50 m, tryckfall 50-100 m, värmeöverföringsförmåga, lägsta övertryck, inflöde, utflöde, öppningsarea och temperaturer.

fall	figur	q_x	R_1	R_2	Ah	p_{min}	q_i	q_o	A_o	T_i	T_o	T_{med}
		m^3/s	-1	-1	-2	Pa	m^3/s	m^3/s	m^2	°C	°C	°C
1	5.1	0	0.1	0.1	0	80.0	4.47	4.47	0.387	20.0	20.0	20.0
2	5.1	1	0.1	0.1	0	68.0	5.01	3.91	0.339	20.0	20.0	20.0
3	5.1	2	0.1	0.1	0	57.6	5.47	3.39	0.294	20.0	20.0	20.0
4	5.1	3	0.1	0.1	0	48.8	5.87	2.91	0.252	20.0	20.0	20.0
5	5.1	4	0.1	0.1	0	41.3	6.22	2.45	0.212	20.0	20.0	20.0
6	5.2	1	0.1	0.1	0	68.0	5.01	3.91	0.339	20.0	20.0	20.0
7	5.2	1	0.2	0.2	0	63.5	3.68	2.61	0.226	20.0	20.0	20.0
8	5.2	1	0.3	0.3	0	60.2	3.09	2.04	0.176	20.0	20.0	20.0
9	5.2	1	0.4	0.4	0	57.6	2.74	1.70	0.147	20.0	20.0	20.0
10	5.3	0	0.1	0.1	0	80.0	4.47	4.47	0.387	20.0	20.0	20.0
11	5.3	0	0.1	0.1	400	67.5	3.62	4.24	0.367	-22.6	20.0	14.4
12	5.3	0	0.1	0.1	200	63.0	3.44	4.01	0.347	-22.6	19.3	9.8
13	5.3	0	0.1	0.1	100	61.4	3.13	3.61	0.313	-22.6	15.6	3.1
14	5.3	0	0.1	0.1	50	63.1	2.74	3.08	0.267	-22.6	8.4	-3.9
15	5.4	0	0.1	0.1	0	80.0	4.47	4.47	0.387	20.0	20.0	20.0
16	5.4	0	0.15	0.1	0	60.2	4.01	4.01	0.347	20.0	20.0	20.0
17	5.4	0	0.2	0.1	0	46.9	3.66	3.66	0.317	20.0	20.0	20.0
18	5.4	0	0.25	0.1	0	37.6	3.38	3.38	0.293	20.0	20.0	20.0
19	5.5	1	0.2	0.1	100	31.0	2.98	2.53	0.219	-22.6	17.4	4.7

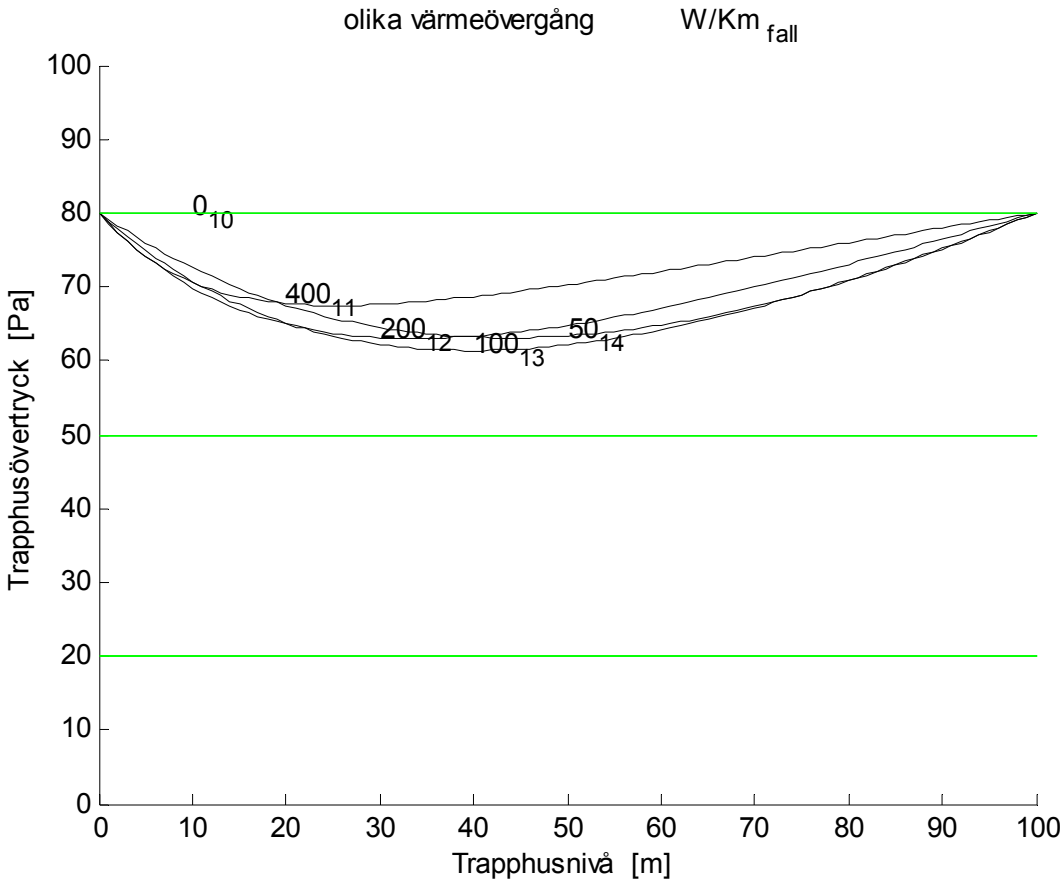
-1 $Pa/m(m^3/s)^2$ -2 W/Km



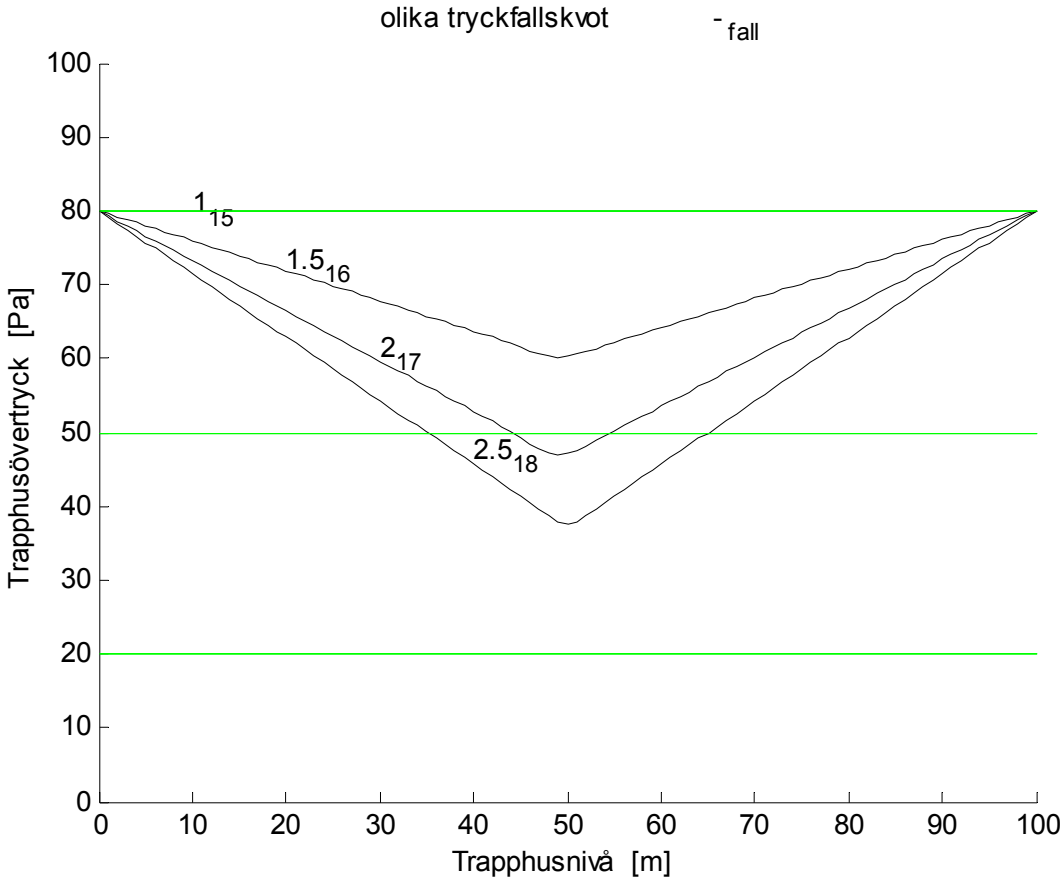
Figur 5.1 Övertryck vid olika läckage enligt fall 1-5 i Tabell 5.1.



Figur 5.2 Övertryck vid olika tryckfall enligt fall 6-9 i Tabell 5.1.



Figur 5.3 Övertryck vid olika värmeövergång enligt fall 10-14 i Tabell 5.1.



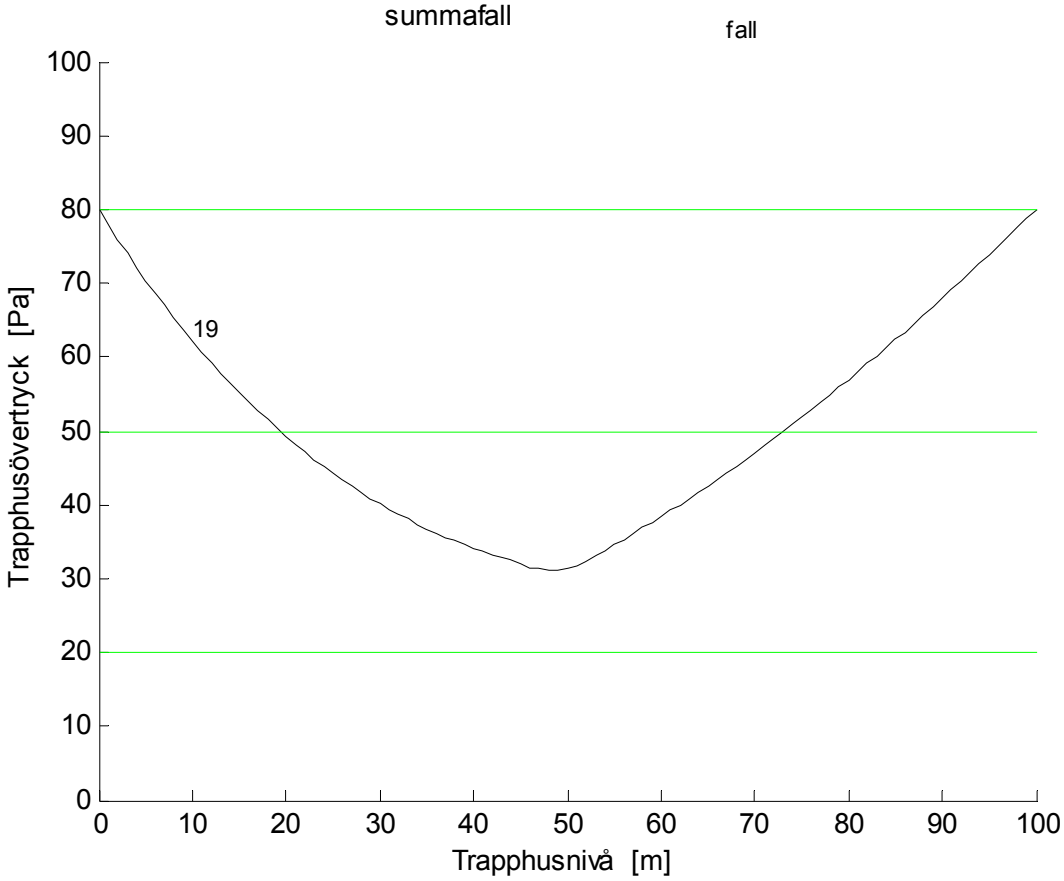
Figur 5.4 Övertryck vid olika tryckfallskvot enligt fall 15-18 i Tabell 5.1.

Summafallet, fall 19, redovisas nedan i Figur 5.5 och har satts samman av fall 2 med nominellt läckflöde 1 m^3/s vid 60 Pa, fall 13 med värmeövergångsförmågan 100 W/Km och fall 17 med personbelastning med i sin tur specifikt tryckfall 0.2 Pa/m 0-50 m och 0.1 Pa/m för 50-100 m både vid flödet 1 m^3/s.

Lägsta övertryck för de tre delfallen 2, 13 och 17 är enligt Tabell 5.1 68.0, 61.4 respektive 46.9 Pa. Övertryckets variation är 12.0, 18.6 och 33.1 Pa för de tre delfallen, men sammantaget fås för fall 19 lägsta övertryck 31.0 Pa och variationen 49.0 Pa. Siffrorna visar att delfallens variation inte adderas, vilket är gynnsamt och vilket annars hade blivit 63.7 Pa och ett lägsta övertryck på 16.3 Pa under lägsta tillåtna övertryck på 20 Pa.

Slutsatsen är att faktorerna läckflöde, värmeöverföringsförmåga, när uteluft används som trycksättningsluft, och tryckfallets beroende av personbelastning bidrar alla till övertryckets variation för trycksättningsfallet med reglerad öppning överst och att ingen av dessa tre faktorer kan försummas.

Ytterligare beräkningar visar att alla möjliga kombinationer mellan nominellt läckflöde 0, 1 och 2 m^3/s, värmeöverföringsförmåga 50, 100, 200 W/Km och oändlig sådan (trycksättning med inneluft) och personbelastning med tryckfallet 0.10, 0.15 och 0.20 Pa/m för 0-50 m och 0.10 Pa/m för 50-100 m klarar den nedre övertryckgränsen. Kombinationer med läckflöde 3 m^3/s eller med tryckfall 0.25 Pa/m för själva personbelastningen klarar inte denna gräns.



Figur 5.5 Övertryck för summafall eller fall 19 i Tabell 5.1.

6 Sammanfattning och slutsatser

Syftet med denna delrapport är att undersöka hur trycksättning av trapphus påverkas av olika personbelastning. Trycksättningen förutsätts ske med ett stort genomströmmande trapphusflöde som med sitt tryckfall skall balansera den termiska tryckgradienten. Detta kan möjliggöra att trycksätta mycket högre trapphus än med statisk trycksättning utan något genomströmmande flöde utan endast med ett inflöde till trapphuset lika med trapphusets läckflöde.

Personbelastningen i trapphus försvårar genomströmningen och därmed ökar tryckfallet i trapphuset. Tryckfallet kan enligt litteraturen öka med en faktor 2 för öppna trapphus och med en faktor 2.5 för slutna trapphus.

Det går att med en enkel analys beräkna vad som är det mest kritiska personbelastningsfallet och hur det begränsar den trapphushöjd som kan trycksättas under förutsättning att läckage försummas och att trycksättning sker med inneluft. Den kritiska personbelastningen är stegformad med en personbelastad del av trapphuset nederst och en obelastad del ovanför. Övergången mellan belastat och obelastat förskjuts från halva trapphushöjden neråt med ökande tryckfallskvot belastat/obelastat. Det relativa läget för övergången och det relativa övertrycket kan beräknas med enkla uttryck (2.5-6). En hög tryckfallskvot på 4 har den mest kritiska övergången på den relativa trapphushöjden 1/3.

Den möjliga trapphushöjden med hänsyn till enbart en stegformad personbelastning, vilken är det mest kritiska fallet, kan beräknas med uttrycken (2.11-12). En hög tryckfallskvot på 4 begränsar trapphushöjden till endast tre gånger den möjliga trapphushöjden vid statisk trycksättning.

Fem olika trycksättningsmetoder har testats med tre olika personbelastningsfall kombinerat med fem olika klimatfall för ett trapphus med höjden 100 m och ett nominellt läckflöde om 1 m^3/s vid 60 Pa. Det specifika tryckfallet är för ett obelastat trapphus 0.1 Pa/m vid 1 m^3/s och för ett belastat 0.2 Pa/m vid 1 m^3/s. Denna tryckfallskvot om 2 begränsar trapphushöjden till 175 m enbart med hänsyn till den stegformade personbelastningen.

Övertrycket nederst i trapphuset konstanthålls till ett givet, och i en del fall klimatberoende, värde för samtliga fem trycksättningsmetoder.

Flödestrycksättning med en reglerad öppning överst klarar alla testfall med viss marginal.

Flödestrycksättning med programstyrd öppning och med till/frånstyrd öppning klarar båda alla testfall utom ett för de aktuella förutsättningarna. Något ändrade förutsättningar kan leda till ett sämre resultat, eftersom styrningen inte reglerar efter något övertryck i trapphuset som fallet med en reglerad öppning överst. Det kan krävas någon form av kalibreringsexperiment i full skala för att säkerställa en bra funktion för styrd trycksättning.

Flödestrycksättning med anpassat läckage eller egentligen ett ökat läckage klarar bara tre av de femton testfallen. Metoden kan vara möjlig att använda för lägre trapphus. Metoden kan också vara svår att tillämpa om läckaget skall ändras något jämfört med en enda öppning.

Statisk trycksättning klarar bara av klimatfall med en termisk tryckgradient om högst 0.5 Pa/m. Det finns dock en tillämpningsmöjlighet genom att använda sig av en tryckssluss med två dörrar i serie som klara 160 Pa. Tre fall med tryckgradienten 2 Pa/m klars inte av. En kombination med tryckssluss och en mindre till/frånstyrd öppning överst visar sig vara en möjlig lösning.

Ett öppet trapphus är mindre känsligt för personbelastning än ett slutet trapphus. Känsligheten för personbelastning kan minska ytterligare för öppna trapphus med fria genomgående volymer. Nackdelen med fria genomgående volymer är att trapphusflödet måste ökas för att få det nödvändiga tryckfallet. Känsligheten för personbelastning kan också minskas för trapphus med större våningshöjd än normalt med en heltrappa eller två halvtrappor per våningsplan. Personbelastningen påverkar i ett sådant fall en mindre del av strömningstvärsnittet.

En avslutande sammanfattning är att en ojämn personbelastning minskar den möjliga trapphushöjden påtagligt vid flödestrycksättning. Personbelastningens inverkan kan inte försummas vid flödestrycksättning av någon form. En reglerad flödestrycksättning är säkrare än en styrd flödestrycksättning.

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

Jensen, Lars (2002a)
Stairwell flow pressurization - a new method
TABK--02/7060

Jensen, Lars (2002b)
Maximal stairwell height for different pressurization methods
TABK--02/7061

Jensen, Lars (2002c)
Stairwell flow pressurization with outdoor air as inlet air
TABK--02/7062

Jensen, Lars (2005a)
Tryckfall i trapphus - Modellförsök
TVIT--05/7001

Jensen, Lars (2005b)
Täthet och tryckfall i trapphus - Fullskaleförsök
TVIT--05/7002

Klote, J. H. and Milke, J. A. (1992)
Design of Smoke Management Systems
ASHRAE

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