



# LUND UNIVERSITY

## Termisk trycksättning av trapphus för utrymning

Jensen, Lars

2008

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Jensen, L. (2008). *Termisk trycksättning av trapphus för utrymning*. (TVIT; Vol. TVIT-7026). 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

# Termisk trycksättning av trapphus för utrymning

*Lars Jensen*

---

Avdelningen för installationsteknik  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet, 2008  
Rapport TVIT-08/7026



## 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 rök-spridning vid brand, installationernas belastning på yttre miljön, att betrakta byggnad och installationer som ett byggnadstekniskt system, analysera och beräkna inneklimatet i olika typer av byggnader, effekter av brukarnas beteende för energianvändning, reglering av golvvärmsystem, bestämning av luftflöden i byggnader med hjälp av spårgasmetod. Vi utvecklar även användbara projekteringsverktyg för energi och inomhusklimat, system för individuell energimätning i flerbostadshus samt olika analysverktyg för optimering av ventilationsanläggningar hos industrin.

# Termisk trycksättning av trapphus för utrymning

*Lars Jensen*

© Lars Jensen, 2008

ISRN LUTVDG/TVIT--08/7026--SE(69)

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

# Innehållsförteckning

1	Inledning	5
	Bakgrund	5
	Trapphus för utrymning	5
	Trapphus utan sektionering	7
	Syfte	8
	Avgränsningar	8
	Rapportens disposition	9
2	Modell för trapphus	11
	Modelltillstånd	11
	Modellparametrar	11
	Samband för trapphusövertryck	11
	Samband för trapphusflöde	12
	Samband för trapphustemperatur	12
	Balansflöde, inflöde, utflöde och läckflöde	12
	Simuleringsmetodik	12
3	Olika driftsfall	13
	Övre öppning 0.01 m <sup>2</sup> och inneluft	14
	Övre öppning 0.01 m <sup>2</sup> och uteluft	14
	Övre öppning 0.5 m <sup>2</sup> och inneluft	16
	Övre öppning 0.5 m <sup>2</sup> och uteluft	18
	Klimatstyrd övre öppning och inneluft	22
	Klimatstyrd övre öppning och uteluft	24
	Tryckreglerad övre öppning och inneluft	26
	Tryckreglerad övre öppning och uteluft	28
	Kommentarer	30
4	Spridningsandel utan uppvärmning	31
	Övre öppning 0.01 m <sup>2</sup> och uteluft	32
	Övre öppning 0.1 m <sup>2</sup> och uteluft	35
	Övre öppning 0.2 m <sup>2</sup> och uteluft	38
	Övre öppning 0.5 m <sup>2</sup> och uteluft	41
	Kommentarer	44

5	Spridningsandel med uppvärmning	45
	Övre öppning 0.01 m <sup>2</sup> och förvärmad uteluft	46
	Övre öppning 0.1 m <sup>2</sup> och förvärmad uteluft	49
	Övre öppning 0.2 m <sup>2</sup> och förvärmad uteluft	52
	Övre öppning 0.5 m <sup>2</sup> och förvärmad uteluft	55
	Kommentarer	58
6	Trycksättning med luftrida	59
	Luftridans kraftbalans	60
	Luftridans radie	62
	Luftridans impuls	63
	Luftridans flödesbalans	63
	Tillämpningsexempel	64
	Kommentarer	65
7	Uppsummering	67
	Slutsatser	67
	Dimensionerande fall	67
	Förslag till trycksättning	68
8	Kronologisk dokumentationslista	69

# 1 Inledning

## Bakgrund

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, räddnings- och släckningsinsatser.

Problemet med trycksättning av trapphus är att övertrycket begränsas neråt till omkring 20 Pa för att förhindra brandgasspridning till trapphuset och uppåt till omkring 80 Pa för att dörrar till trapphuset skall kunna öppnas med rimlig kraft. Den termiska tryckskillnaden inom trapphuset jämfört med utomhus får därför högst vara 60 Pa. En innetemperatur på 20 °C och en utetemperatur på -23 °C ger en termisk tryckskillnad på 2 Pa/m, vilket begränsar trapphushöjden till 30 m. Praxis är att dela upp trapphus i sektioner från 8 upptill 12 våningsplan.

## Trapphus för utrymning

Bostäder och lokaler där personer vistas mer än tillfälligt skall ha minst två av varandra oberoende utrymningsvägar. Om bostaden eller lokalen har fler än ett våningsplan, skall det finnas minst en utrymningsväg från varje plan. Fönster godtas endast som utrymningsväg för bostäder upp till 8 våningsplan med hjälp av räddningstjänsten.

I BBR finns tre olika krav på trapphus, vilka betecknas *trapphus Tr1*, *trapphus Tr2* och vanliga normala trapphus, som här egenhändigt betecknas *trapphus Trn*. Trapphusens utformning redovisas i Figur 1.1-3 och tillämpningskraven sammanställs nedan.

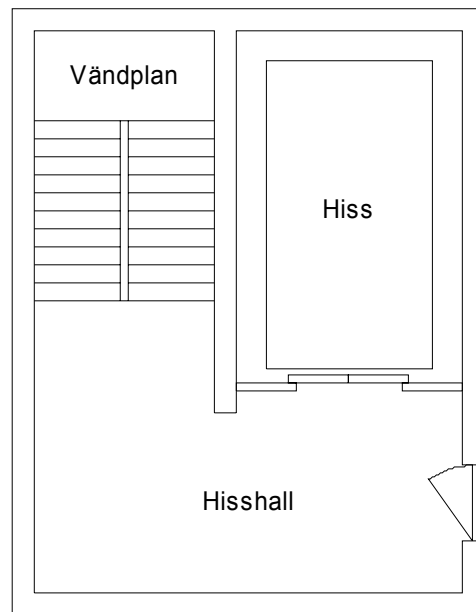
antal våningsplan	1-8	9-16	17-
bostäder	<i>Trn</i>	<i>Tr2</i>	<i>Tr1+Tr2</i>
lokaler	<i>Trn+Trn</i> eller <i>Tr2</i>	<i>Tr2+Trn</i> eller <i>Tr1</i>	<i>Tr1+Tr2</i>

Kravet för *trapphus Trn* är att det skall finnas öppningsbara fönster eller en öppningsbar lucka mot det fria överst i trapphuset eller en brandgasfläkt ansluten överst i trapphuset. Hela trapphuset är en enda brandcell.

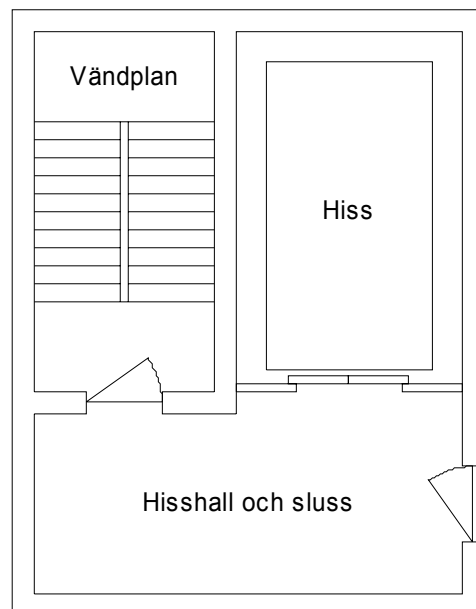
Kravet för *trapphus Tr2* är att spridning av brand och brandgaser *skall begränsas*. Trapphuset skall ha en sluss, vilket kan vara en hisshall. Varje hisshall är en egen brandcell. Hisschaktet är också en egen brandcell och tryckavlastas överst med en lucka eller med en fläkt för att förhindra brandgasspridning.

Kravet *trapphus Tr1* innebär att spridning av brand och brandgaser *skall förhindras* under minst 60 minuter. Trapphuset skall ha en *brandsluss* som antingen är öppen till det fria eller är försedd med en anordning som förhindrar brand- och brandgasspridning. Denna anordning kan vara trycksättning. Varje hisshall är en egen brandcell. Hisschaktet är också en egen brandcell och tryckavlastas överst med en lucka eller med en fläkt för att förhindra brandgasspridning.

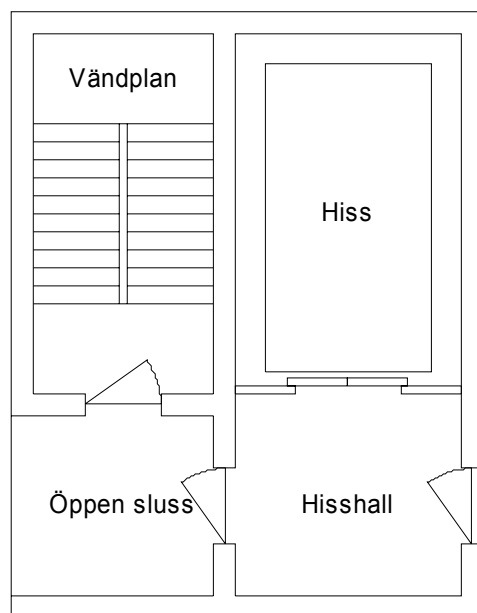




Figur 1.1 Normalt *trapphus Trn*.



Figur 1.2 *Trapphus Tr2* med hisshall som sluss.



Figur 1.3 *Trapphus Tr1* med sluss öppen mot det fria.

## Trapphus utan sektionering

Den termiska tryckökningen uppåt kan elimineras med ett genom trapphuset nerifrån och uppåt strömmande flöde som skapar ett tryckfall per höjdmeter lika med den termiska tryckändringen per höjdmeter. Normala trapphus motsvarar strömningstekniskt en rektangulär kanal och har vid måttliga flöden och lufthastigheter tryckfall av samma storleksordning som den termiska tryckändringen. Kanalgeometrin kan för ett våningsplan beskrivas med två skarpa 180°-böjar, två eller fyra 37°-böjar (lutning 3:4) om heltrappa respektive halvtrappa för övergångar mellan plan och trappa. Det sker också en förträngning av den rektangulära kanalens höjd mellan trapporna. Den vertikala höjden är oförändrad, men det vinkelräta avståndet mellan trapporna är mindre.

Slutsatsen är därför att trapphus inte behöver sektioneras för att klara av det tillåtna övertrycksintervallet. En förutsättning är dock att trapphusets läckflöde är mindre än det flöde som krävs för att skapa det kompensera strömningstryckfallet.

Denna trycksättningsmetod kräver dock någon form av reglering av övertrycket överst i trapphuset utöver den normala regleringen av övertrycket nederst i trapphuset. Den övre tryckregleringen kan förenklas i en del fall genom att använda sig av en fix utluftningsarea som öppnas vid brand och låga utetemperaturer. Det skall påpekas att utluftningen överst bara behöver vara i funktion vid låga utetemperaturer. Trycksättning kan även regleras för att ventilera trapphuset maximalt. Trycksättningsfläkten ansluten nederst blir givetvis större men i gengäld blir trapphuset mycket bättre genomventilerat.

Sammantaget kräver denna metod utan sektionering av ett trapphus en tryckreglerad fläkt nederst och en tryckreglerad eller klimatstyrd lucka överst. Några frågeställningar är dock följande:

- Går det att trycksätta ett trapphus på ett enklare sätt?
- Går det att säkerställa utrymning via trapphus på ett enklare sätt?
- Går det att använda luftridåer för att trycksätta ett trapphus?
- Hur fungerar passiv eller termisk utvädring av ett trapphus?

## Syfte

Syftet med denna arbetsrapport är att undersöka och dokumentera följande:

- att trycksätta trapphus termiskt utan användande av fläkt
- att ventilerade trapphus termiskt utan användande av fläkt
- förgiftningsrisk för ventilerade trapphus men otillräckligt trycksatta trapphus
- att trycksätta trapphus med luftridåer
- att ventilerade trapphus med luftridåer
- sammantaget finna robusta lösningar på säkra trapphus för utrymning

## Avgränsningar

Det trycksatta trapphuset antas vara anslutet direkt till byggnadens olika våningsplan och inte till någon hisshall. Alla hisshallar på olika våningsplan är ihopkopplade genom läckande hissdörrar (icke slagdörrar) och hisschakten, vilket medför att trycksättningen blir ett annat och svårare problem att lösa.

Våningsplanen antas endast vara i förbindelse med den yttre omgivningen, med hisshall och med trapphus för utrymning. Våningsplanens läckage kan antas vara betydligt större än det sammanlagda läckaget för alla dörrar till själva våningsplanet. Detta innebär att uteluftstryck kan antas råda på varje våningsplan och att hela trapphusövertrycket tas upp av trapphusdörren. Om förhållandet mellan läckarean för trapphusdörren och för våningsplanets fasad är  $1:m$ , är förhållandet mellan tryckskillnad över trapphusdörren och fasaden omkastat  $m^n:1$ , där parametern  $n=1$  för laminära läckförluster och  $n=2$  för turbulenta läckförluster.

Ventilationens inverkan har försumrats. Detta kan göras om varje våningsplan har ett eget ventilationssystem. Om ett gemensamt ventilationssystem är i drift, kan våningsplanen betraktas som ej sammankopplade. Motsatsen gäller om ett gemensamt ventilationssystem är ur drift och utan några avstängande spjäll i kanalsystemen för både tilluft och frånluft.

Sommarfallet behandlas inte, vilket motsvaras av att utetemperaturen är högre än innetemperaturen. Termisk trycksättning och ventilation innebär i detta fall en stor öppning överst med inflöde med risk för att få med rök och brandgaser och ingen öppning nederst. Detta fall är helt jämförbart med vinterfallet med stor öppning nederst och ingen öppning överst. Beräkningar för vinterfallet den termiska tryckgradienten (0,0,5) Pa/m kan därför användas för att undersöka sommarfallet med den termiska tryckgradienten (-0,5,0) Pa/m.

Det skall också påpekas att alla simuleringar har skett med samma fyra parametrar som beskriver trapphushöjd, tryckfall (tryckläckage), luftläckage och värmeläckage. Ett stort antal diagram redovisas för att göra det lättare att beskriva vad som händer med trapphusövertryck, trapphusflöde och trapphustemperatur. Flera olika klimatfall redovisas också. Det hade gått att minska antalet redovisade diagram och fall något, men vad hade vinsten varit.

Det förutsätts att trapphusen håller normal innetemperatur. Utetempererade trapphus är ett ytterst enkelt sätt att eliminera den termiska tryckgradienten mellan omgivning och trapphus. Någon termisk trycksättning och ventilation är därför inte möjlig. Trycksättningen blir helt klimatberoende. En fläkt skall endast anpassas för trapphusets läckflöde för det önskade övertrycket.

## Rapportens disposition

En reviderad modell för att beräkna övertryck, flöde och temperatur i ett trapphus beskrivs i avsnitt 2. Modellen tillåter även inläckage till trapphuset, vilket påverkar främst trapphusflödet och trapphustemperaturen. Inläckaget är oftast litet och påverkan är marginell.

Ett och samma trapphus med höjden 125 m används för beräkningar av övertryck, flöde, temperatur och brandgasspridningsandel i avsnitten 3, 4 och 5.

Trycksättning av trapphus utan fläkt simuleras i avsnitt 3 för fyrtio olika fall, vilka är alla kombinationer med ersättningsluft med innetemperatur eller med utetemperatur, fem olika uteklimat med termisk tryckgradient 0.1, 0.2, 0.5, 1 och 2 Pa/m och fyra principer för hur den övre öppningen skall vara. De fem gradienterna motsvarar utetemperaturerna 17.53, 15.11, 8.06, -2.94 respektive -22.55 °C under förutsättning att innetemperaturen är 20 °C.

De fyra principerna är obetydlig övre öppning 0.01 m<sup>2</sup>, en större övre öppning 0.5 m<sup>2</sup>, en klimatstyrd övre öppning och en tryckreglerad övre öppning. Övertrycket är noll nederst i trapphuset.

Inläckage från olika våningsplan sker vid undertryck i trapphuset, vilket alltid uppstår när uteluft används som ersättningsluft. Detta innebär att brandgaser kan läcka in trapphuset, om det råder undertryck på brandplanet. Andelen brandgaser i trapphusluften kan dock bli liten, eftersom trapphusflödet kan var betydligt större. Andelen brandgaser i trapphusluften har beräknats för två av de tidigare simuleringsfallen med obetydlig övre öppning och större övre öppning och två fall med mellanliggande areor 0.1 och 0.2 m<sup>2</sup>. Resultatet redovisas i avsnitt 4. Den högsta spridningsandelen redovisas som funktion av den termiska gradienten (0,2) Pa/m och trapphusnivån (0,125) m. Spridningsandelen är konstant över brandnivån om det sker utläckage som vid övertryck och den minskar vid inläckage som vid undertryck.

Inläckage från olika våningsplan är noll med inneluft som ersättningsluft, men inte med uteluft. Ett mellanting som undersöks är att förvärma uteluft med 10 °C, vilket görs i avsnitt 5. Detta görs också för att undersöka effekten vid höga utetemperaturer.

En luftridå kan vara ett möjligt sätt att trycksätta ett trapphus och samtidigt tillföra och värma ett luftflöde. Detta undersöks i avsnitt 6. Den stora fördelen med en luftridå är att den är enkel att passera jämför med en trycksluss med två dörrar.

En uppsummering av slutsatser ges i avsnitt 7 tillsammans med ett förslag på trycksättning.

Denna rapport kan också ses som ett resultat av en fortlöpande fri forskning på trycksättning av trapphus för utrymning, vilken också har fått forskningsanslag från BRANDFORSK. En översikt av det genomförda arbetet fås med en sammanställning av åtta rapporter, ett konferensbidrag, två föredrag och en artikel sist i avsnittet 8.

## 2 Modell för trapphus

Simuleringsmodellen bygger på tre kopplade differentialekvationer som funktion av den oberoende variabeln  $z$  för trapphusnivå och tre modellparametrar som beskriver tryckfall (tryckläckage), luftläckage och värmeläckage. Modellen har tidigare beskrivits i TVIT—05/7004, men har anpassats för att även tillåta undertryck och därmed också inläckage.

### Modelltillstånd

Tillståndet i ett trapphus beskrivs med tre variabler, nämligen övertryck  $\Delta p(z)$  (Pa), volymflöde  $q(z)$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) och temperatur  $T(z)$  (K) som funktion av den oberoende variabeln  $z$  för trapphusnivå. Trapphusluftens densitet är en fjärde kompletterande variabel och skrivs som  $\rho(z)$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) och kan beräknas med trapphusluftens temperatur  $T(z)$ . Alla temperaturer som redovisas i tabeller och i figurer har sorten °C. Sorten K används endast i modellen för det är enklare. Utläckage från trapphuset vid övertryck och inläckage till trapphuset vid undertryck beskrivs med de två positiva flödena  $q_e(z)$  respektive  $q_i(z)$  enligt nedan:

$$q_e(z) = q_n (\Delta p(z) \rho_n / \Delta p_n \rho(z))^{0.5} \quad \Delta p(z) > 0 \quad (\text{m}^3/\text{sm}) \quad (2.1)$$

$$q_i(z) = q_n (-\Delta p(z) \rho_n / \Delta p_n \rho_i)^{0.5} \quad \Delta p(z) < 0 \quad (\text{m}^3/\text{sm}) \quad (2.2)$$

### Modellparametrar

Tryckfall (tryckläckage) anges som det specifika tryckfallet  $R(z)$  en funktion av personbelastningens storlek och läge, men för ett tomt trapphus är  $R(z)$  en konstant. Luftläckage anges som det nominella läckaget  $q_n$  med dimensionen  $\text{m}^3/\text{sm}$  för det nominella övertrycket  $\Delta p_n$  och densiteten  $\rho_n$ . Värmeläckage anges som värmeöverföringsförmågan per meter trapphus,  $O\alpha$ , med dimensionen  $\text{W}/\text{Km}$ , där parametern  $O$  är trapphusets termiska omkrets med dimensionen  $\text{m}$  eller  $\text{m}^2/\text{m}$  och parametern  $\alpha$  är värmeövergångstalet med sorten  $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ .

### Samband för trapphusövertryck

Differentialekvationen för övertrycket i trapphuset kan skrivas som:

$$\frac{d\Delta p(z)}{dz} = (\rho_o - \rho(z))g - (\rho(z) / \rho_n)R(z)q(z)^2 \quad (\text{Pa}/\text{m}) \quad (2.3)$$

Den första termen i (2.3) anger den termiska tryckändringen. Densiteten  $\rho_o$  är uteluftens densitet som också antas vara oberoende av höjden. Parametern  $g$  är gravitationen  $9.81 \text{ m}/\text{s}^2$ . Den andra termen anger strömningstryckfallet. Notera att kvoten  $\rho(z)/\rho_n$  gör att tryckfallet beror på trapphusluftens densitet. Densiteten  $\rho_n$  är densiteten när det specifika tryckfallet  $R(z)$  bestämdes. Det specifika tryckfallet  $R(z)$  varierar med personbelastningens storlek och läge, men för ett tomt trapphus är  $R(z)$  en konstant.

## Samband för trapphusflöde

Differentialekvationen för flödet ges av (2.4) nedan. Den första termen beskriver hur volymflödet ändras med temperaturen. Massflödet kunde också ha använts som en variabel i beräkningsmodellen. Den första termen i (2.4) hade inte funnits. Den andra termen beskriver hur volymflödet ändras på grund av läckaget.

$$\frac{dq(z)}{dz} = \frac{q(z)}{T(z)} \frac{dT(z)}{dz} + q_i(z) - q_e(z) \quad (\text{m}^3/\text{sm}) \quad (2.4)$$

## Samband för trapphustemperatur

Differentialekvationen för trapphusluftens temperatur i (2.5) tar hänsyn till värmeutbyte med de omgivande ytorna och inverkan av eventuellt inläckage. Trapphusets yttemperatur  $T_s$  antas vara konstant både i rummet och i tiden. Detta är en förenkling, men den kan modelleras. Notera att flödet  $q(z)$  i (2.5) kan inte vara noll.

$$\frac{dT(z)}{dz} = \frac{O\alpha(T_s - T(z)) + \rho_i c q_i(z)(T_i - T(z))}{\rho(z) c q(z)} \quad (\text{K/m}) \quad (2.5)$$

## Balansflöde, inflöde, utflöde och läckflöde

Balansflödet  $q_b$  är det flöde som balanserar den termiska gradienten  $R_t = (\rho_o - \rho_i)g$  med ett lika stort strömningstryckfall  $R_q q_b^2$ . Inflöde nederst  $q(0)$  och utflöde överst  $q(h)$  kan uppskattas om hela läckflödet för trapphuset är  $q_x$  vid medelövertrycket  $\Delta p_m$ . Den termiska gradienten och de fyra flöden beräknas eller skattas som följer:

$$R_t = (\rho_o - \rho_i)g \quad (\text{Pa/m}) \quad (2.6)$$

$$q_b = (R_t / R_q)^{0.5} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (2.7)$$

$$q(0) \approx q_b + q_x / 2 \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (2.8)$$

$$q(h) \approx q_b - q_x / 2 \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (2.9)$$

$$q_x = q_n (-\Delta p_m / \Delta p_n)^{0.5} h \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (2.10)$$

## Simuleringsmetodik

De tre differentialekvationerna (2.3-5) kan integreras över trapphusets hela höjd med givna startvärden för övertryck, volymflöde och temperatur för en given nivå  $z$  till exempel nederst i trapphuset. Inloppstemperaturen kan vara lika med innetemperaturen eller utetemperaturen. Det går också att med ett sökförfarande finna lösningar som uppfyller krav på att övertrycket överst i trapphuset skall vara lika ett givet värde eller att det finns en given övre öppning. Inloppflödet ändras med enkel intervallhalvering tills det önskade kravet är uppfyllt.

### 3 Exempel på driftsfall

Åtta olika driftsfall redovisas. De åtta fallen är kombinationer av två olika temperaturer för inflödet till trapphuset nederst och fyra olika sätt att påverka utflödet från trapphuset överst.

Temperaturen för inflödet nederst i trapphuset är 20 °C eller lika med utetemperaturen för vilken det finns fem fall. Trapphusets väggtemperatur är 20 °C.

Utflödet kan påverkas av öppningen överst i trapphuset, vilken kan vara nästan stängd, öppen med en given area, klimatstyrd area eller tryckreglerad för att ett givet tryck skall uppnås.

De åtta fallen redovisas var för sig med diagram för övertryck, flöde och temperatur som funktion av trapphusnivån och i samma uppslag för att underlätta analys tillsammans med en tabell för de fem fallens övertryck, flöde och temperatur nederst och överst i trapphuset.

Samtliga diagram redovisas med den oberoende variabeln, trapphusnivå, som y-axel eller z-axel, vilket är mer naturligt för en variabel som beskriver vertikalled.

Trapphusets tre huvudmodellparametrar är för tryckfall  $R_q$  0.1 Pa/m(m<sup>3</sup>/s)<sup>2</sup>, för luftläckage  $q_n$  0.02 m<sup>3</sup>/sm vid 50 Pa och för värmeläckage  $O\alpha$  200 W/Km. Trapphusets höjd är 125 m.

Varje driftsfall simuleras med fem klimatfall med en termiska gradient  $R_t$  på 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 och 2.0 Pa/m. De fem gradienterna motsvarar utetemperaturerna 17.53, 15.11, 8.06, -2.94 och -22.55 °C.

Den termiska tryckskillnaden över hela trapphuset med höjden 125 m är för de fem klimatfallen 12.5, 25, 62.5, 125 respektive 250 Pa. Trapphusets övertryck nederst är 0 Pa i samtliga fall och detta begränsar det möjliga övertrycket överst i trapphuset till 12.5, 25, 62.5, 125 respektive 250 Pa.

Balansflöde för de fem klimatfallen är 1.00, 1.41, 2.24, 3.16 och 4.47 m<sup>3</sup>/s. Balansflödet beräknas som  $(R_t/R_q)^{0.5}$  enligt (2.7).

Nominellt läckflöde för hela trapphuset är 2.5 m<sup>3</sup>/s vid en tryckskillnad på 50 Pa.

De klimatstyrda öppningarna beräknas som följer. Det övre övertrycket har satts till 50 Pa, vilket ger ett medelövertryck på 25 Pa och med detta ett läckflöde på 1.8 m<sup>3</sup>/s. Inflöde och utflöde skall vara lika med balansflödet ökat med halva läckflödet respektive minskat med halva läckflödet enligt (2.8) och (2.9). Utflödet beräknas överst till 0.1, 0.5, 1.5, 2.3 och 3.6 m<sup>3</sup>/s för de fem klimatfallen. Det antagna övertrycket på 50 Pa ger en utflödes hastighet på 9.1 m/s och de fem klimatstyrda övre öppningsareorna har beräknats till något avrundat 0.01, 0.05, 0.15, 0.25 respektive 0.40 m<sup>2</sup>. Alla öppningar avser effektiv area. Detta innebär att den verkliga geometriska öppningen kan vara större på grund av kontraktion.



## Övre öppning 0.01 m<sup>2</sup> och inneluft

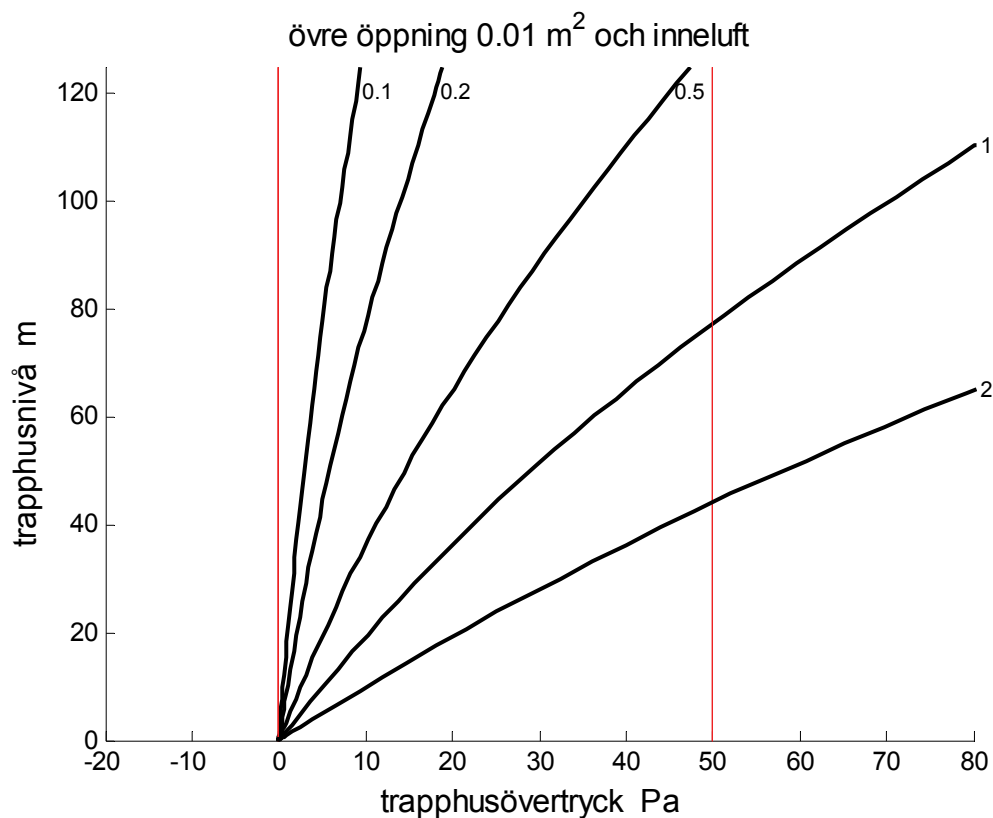
En öppning på 0.01 m<sup>2</sup> kan motsvara olika läckage överst i trapphusets innertak.

Fem fall simuleras med inneluft som ersättningsluft enligt Tabell 3.1 med redovisade övertryck, flöden och temperaturer nederst och överst och övre öppningsarea. De fem fallens termiska gradient är 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 och 2.0 Pa/m, vilket motsvarar utetemperaturerna 17.53, 15.11, 8.06, -2.94 respektive -22.55 °C.

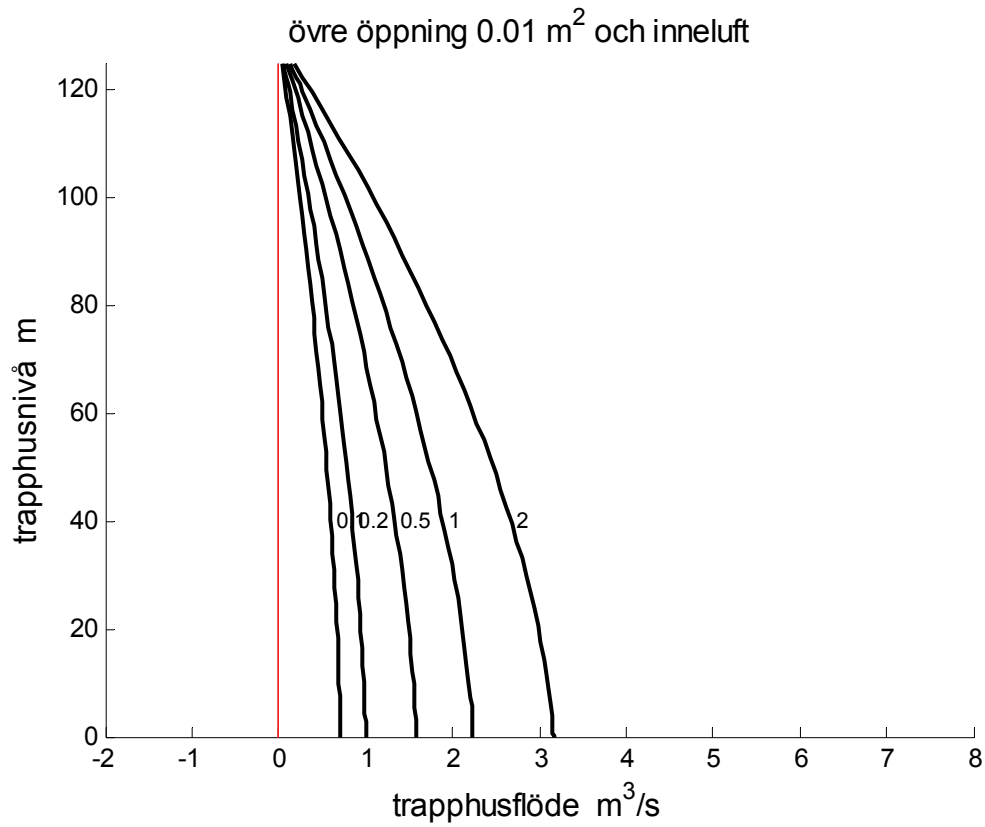
Samtliga falls övertryck, flöden och temperaturer redovisas som funktion av höjden som y-axel i Figur 3.1-3. Notera att övertryckskurvor och flödeskurvor är märkta med den termiska gradientens siffervärde.

Tabell 3.1 Övertryck, flöde och temperatur nederst och överst och övre öppningsarea.

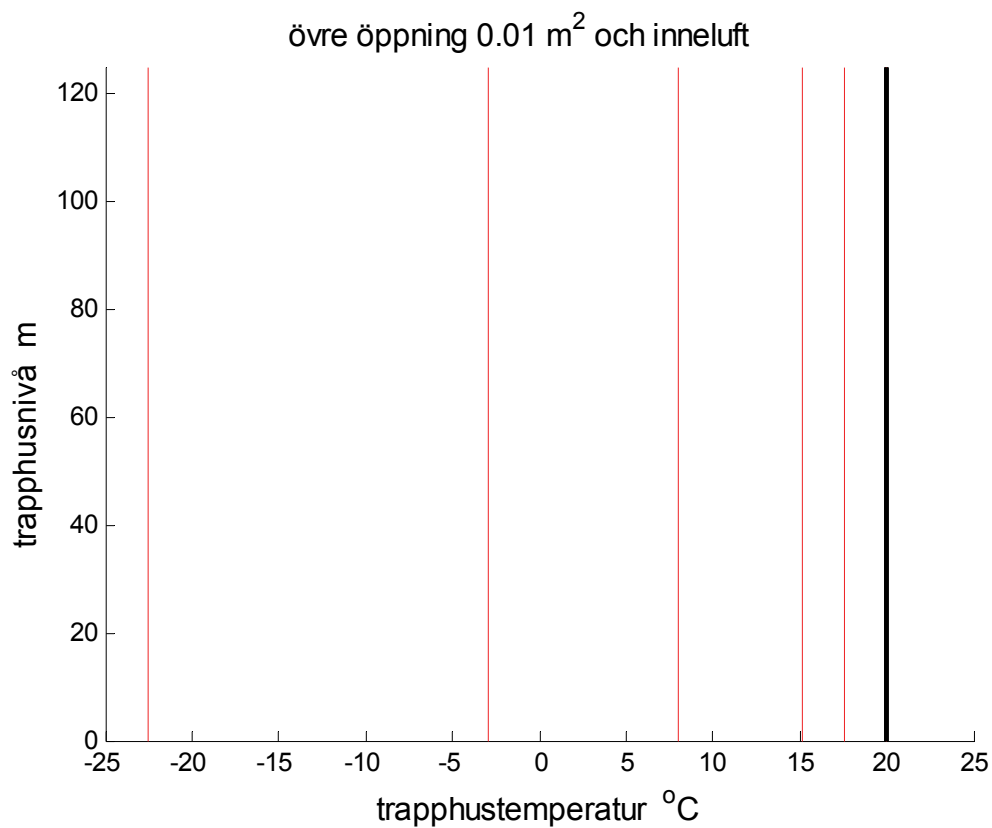
$\Delta p(0)$ Pa	$q(0)$ m <sup>3</sup> /s	$T(0)$ °C	$\Delta p(125)$ Pa	$q(125)$ m <sup>3</sup> /s	$T(125)$ °C	$A_{\text{övre}}$ m <sup>2</sup>
0	0.71	20.00	9.47	0.04	20.00	0.01
0	1.00	20.00	18.94	0.06	20.00	0.01
0	1.58	20.00	47.35	0.09	20.00	0.01
0	2.24	20.00	94.70	0.13	20.00	0.01
0	3.16	20.00	189.39	0.18	20.00	0.01



Figur 3.1 Trapphusövertryck som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.



Figur 3.2 Trapphusvolymflöde som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.



Figur 3.3 Trapphustemperatur som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.

## Övre öppning 0.01 m<sup>2</sup> och uteluft

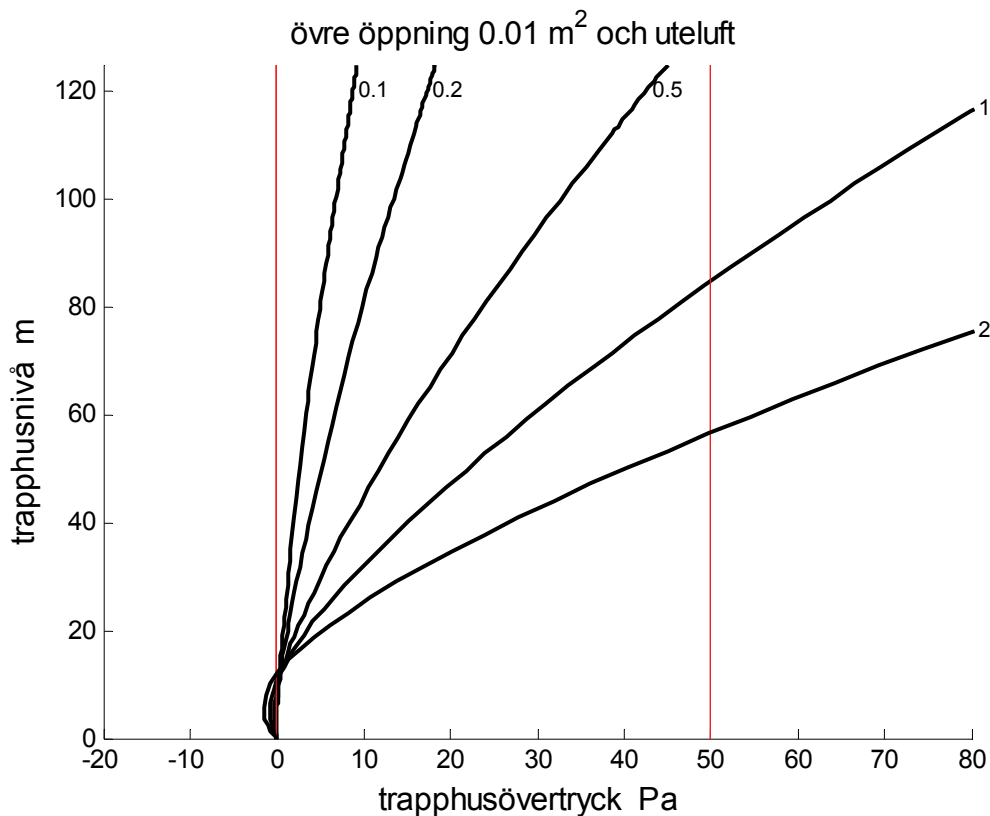
En öppning på 0.01 m<sup>2</sup> kan motsvara olika läckage överst i trapphusets innertak.

Fem fall simuleras med uteluft som ersättningsluft enligt Tabell 3.2 med redovisade övertryck, flöden och temperaturer nederst och överst och övre öppningsarea. De fem fallens termiska gradient är 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 och 2.0 Pa/m, vilket motsvarar utetemperaturerna 17.53, 15.11, 8.06, -2.94 respektive -22.55 °C.

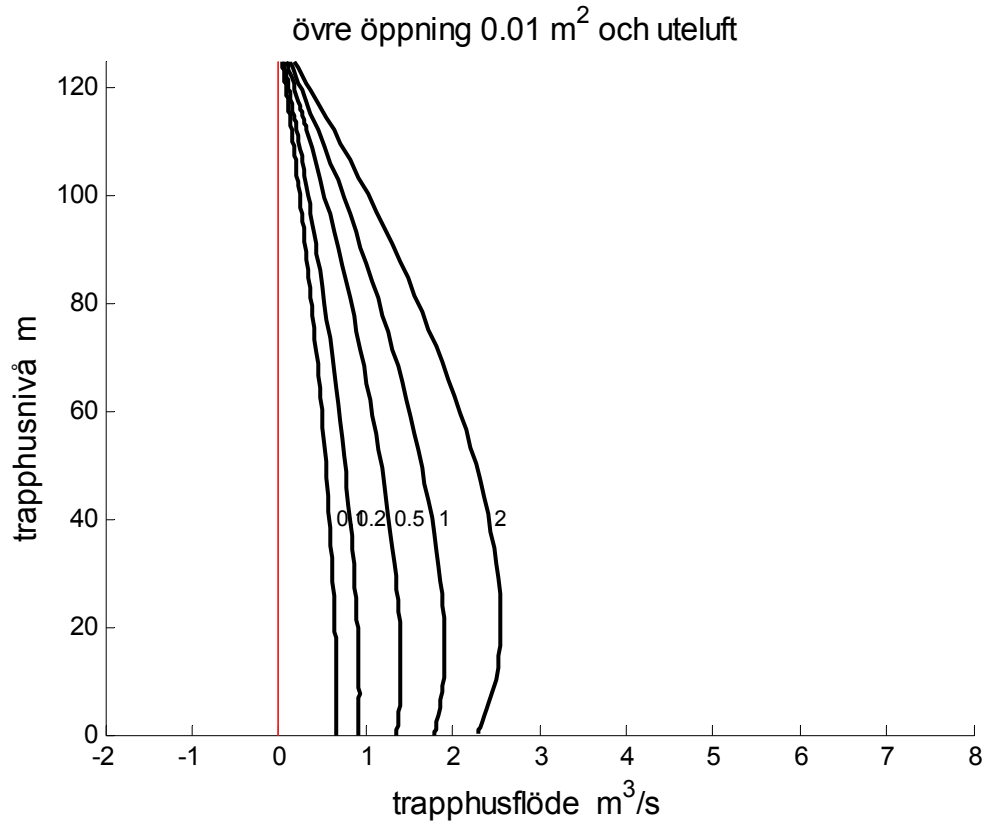
Samtliga falls övertryck, flöden och temperaturer redovisas som funktion av höjden som y-axel i Figur 3.4-6. Notera att övertryckskurvor och flödeskurvor är märkta med den termiska gradientens siffervärde.

Tabell 3.2 Övertryck, flöde och temperatur nederst och överst och övre öppningsarea.

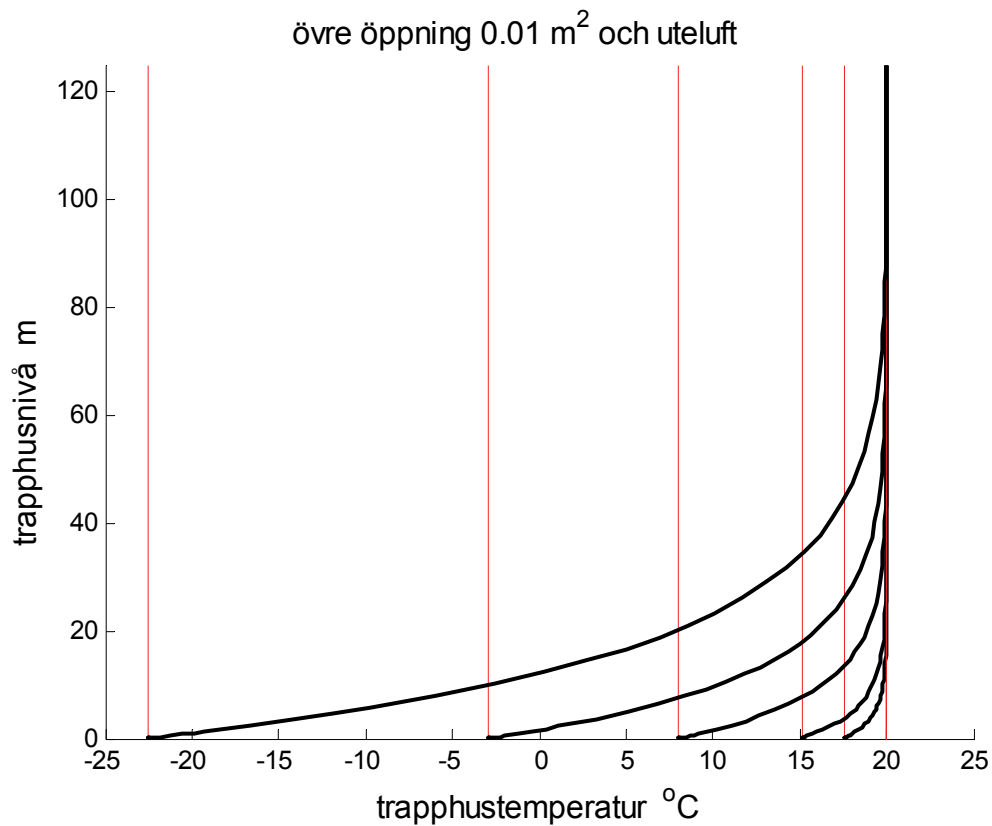
$\Delta p(0)$ Pa	$q(0)$ m <sup>3</sup> /s	$T(0)$ °C	$\Delta p(125)$ Pa	$q(125)$ m <sup>3</sup> /s	$T(125)$ °C	$A_{\text{övre}}$ m <sup>2</sup>
0	0.66	17.53	9.24	0.04	20.00	0.01
0	0.91	15.11	18.30	0.06	20.00	0.01
0	1.36	8.06	44.98	0.09	19.99	0.01
0	1.79	-2.94	88.38	0.12	20.00	0.01
0	2.28	-22.55	173.00	0.17	19.99	0.01



Figur 3.4 Trapphusövertryck som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.



Figur 3.5 Trapphusvolymflöde som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.



Figur 3.6 Trapphustemperatur som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.

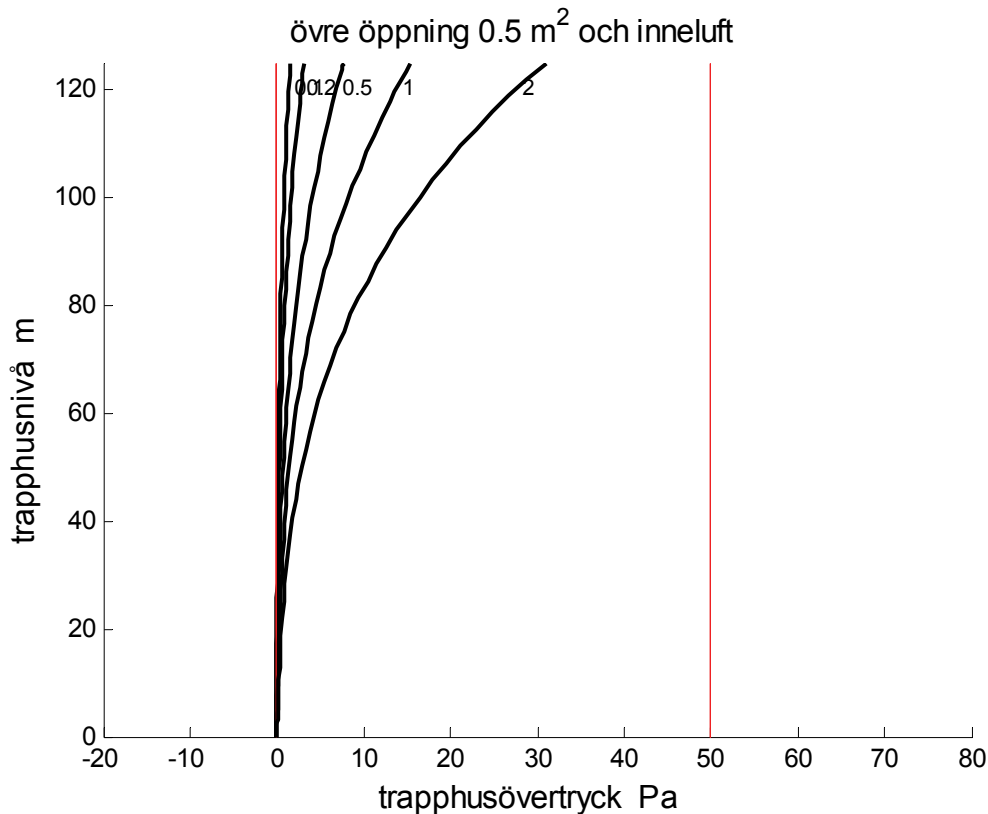
## Övre öppning 0.5 m<sup>2</sup> och inneluft

Fem fall simuleras med inneluft som ersättningsluft enligt Tabell 3.3 med redovisade övertryck, flöden och temperaturer nederst och överst och övre öppningsarea. De fem fallens termiska gradient är 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 och 2.0 Pa/m, vilket motsvarar utetemperaturerna 17.53, 15.11, 8.06, -2.94 respektive -22.55 °C.

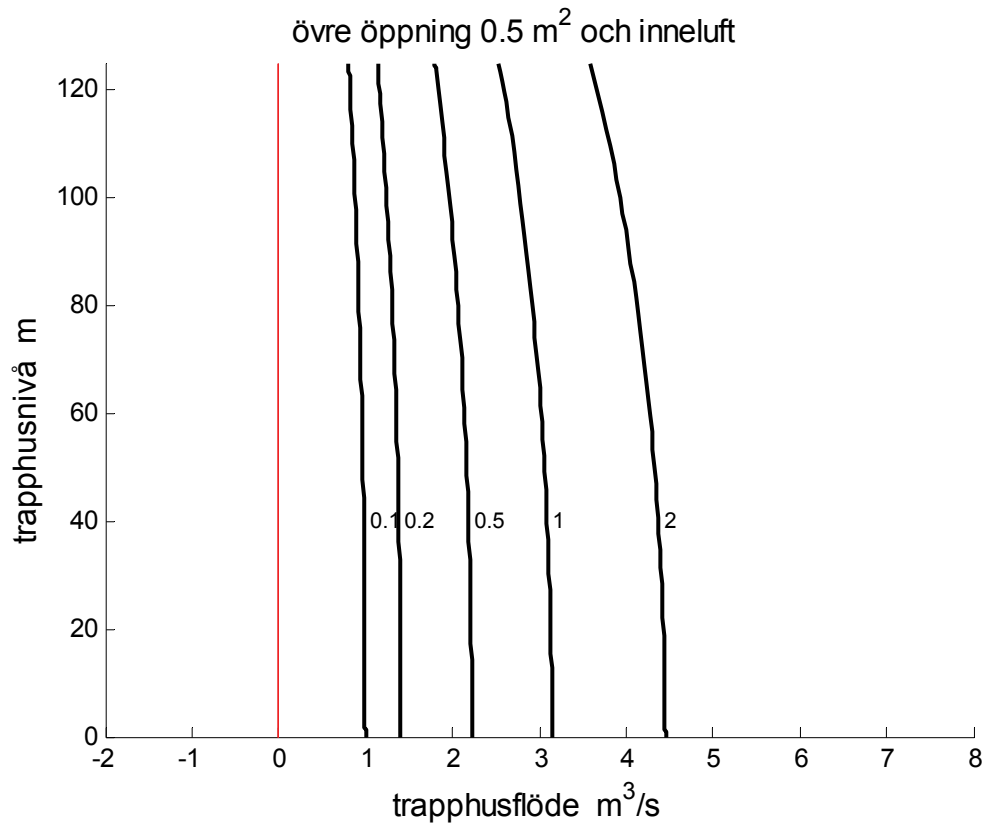
Samtliga falls övertryck, flöden och temperaturer redovisas som funktion av höjden som y-axel i Figur 3.7-9. Notera att övertryckskurvor och flödeskurvor är märkta med den termiska gradientens siffervärde.

Tabell 3.3 Övertryck, flöde och temperatur nederst och överst och övre öppningsarea.

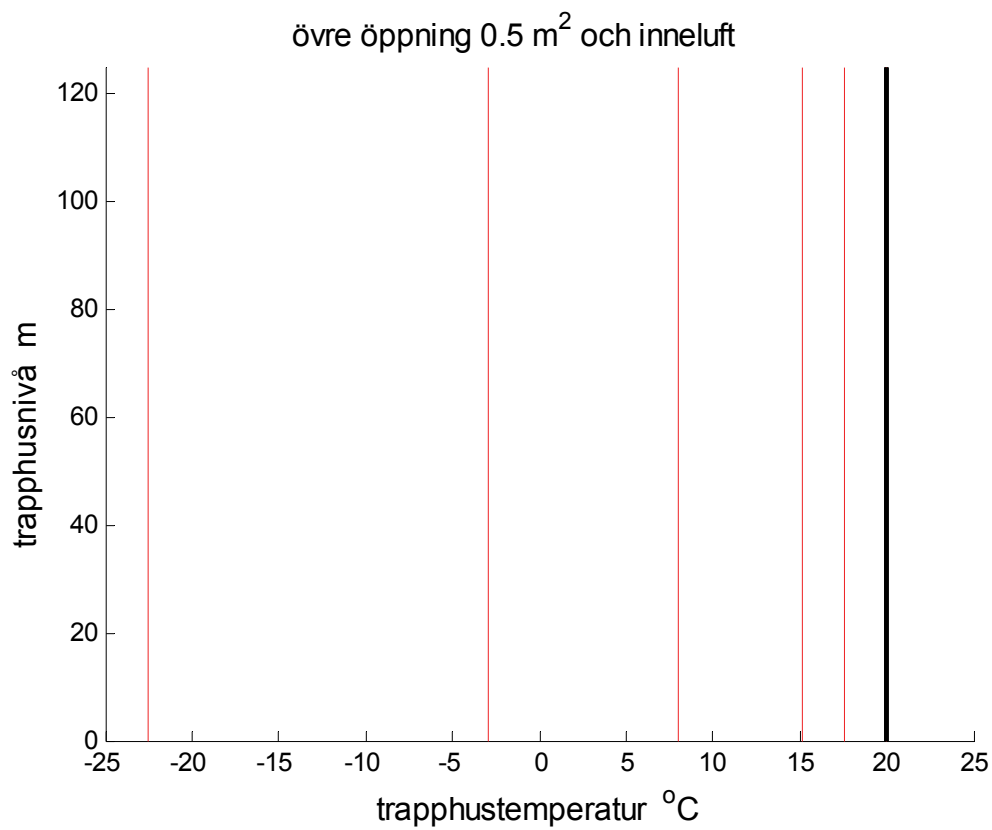
$\Delta p(0)$ Pa	$q(0)$ m <sup>3</sup> /s	$T(0)$ °C	$\Delta p(125)$ Pa	$q(125)$ m <sup>3</sup> /s	$T(125)$ °C	$A_{\text{övre}}$ m <sup>2</sup>
0	1.00	20.00	1.55	0.80	20.00	0.50
0	1.41	20.00	3.09	1.14	20.00	0.50
0	2.23	20.00	7.74	1.80	20.00	0.50
0	3.15	20.00	15.47	2.54	20.00	0.50
0	4.45	20.00	30.94	3.59	20.00	0.50



Figur 3.7 Trapphusövertryck som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.



Figur 3.8 Trapphusvolymflöde som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.



Figur 3.9 Trapphustemperatur som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.

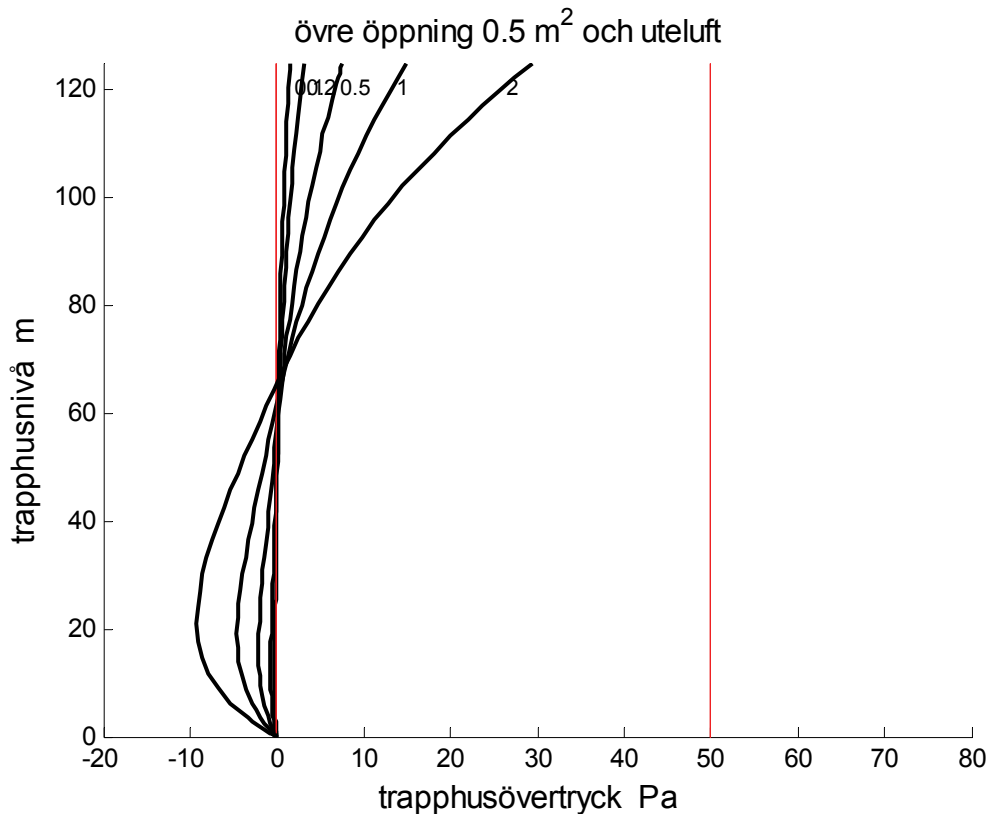
## Övre öppning 0.5 m<sup>2</sup> och uteluft

Fem fall simuleras med uteluft som ersättningsluft enligt Tabell 3.4 med redovisade övertryck, flöden och temperaturer nederst och överst och övre öppningsarea. De fem fallens termiska gradient är 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 och 2.0 Pa/m, vilket motsvarar utetemperaturerna 17.53, 15.11, 8.06, -2.94 respektive -22.55 °C.

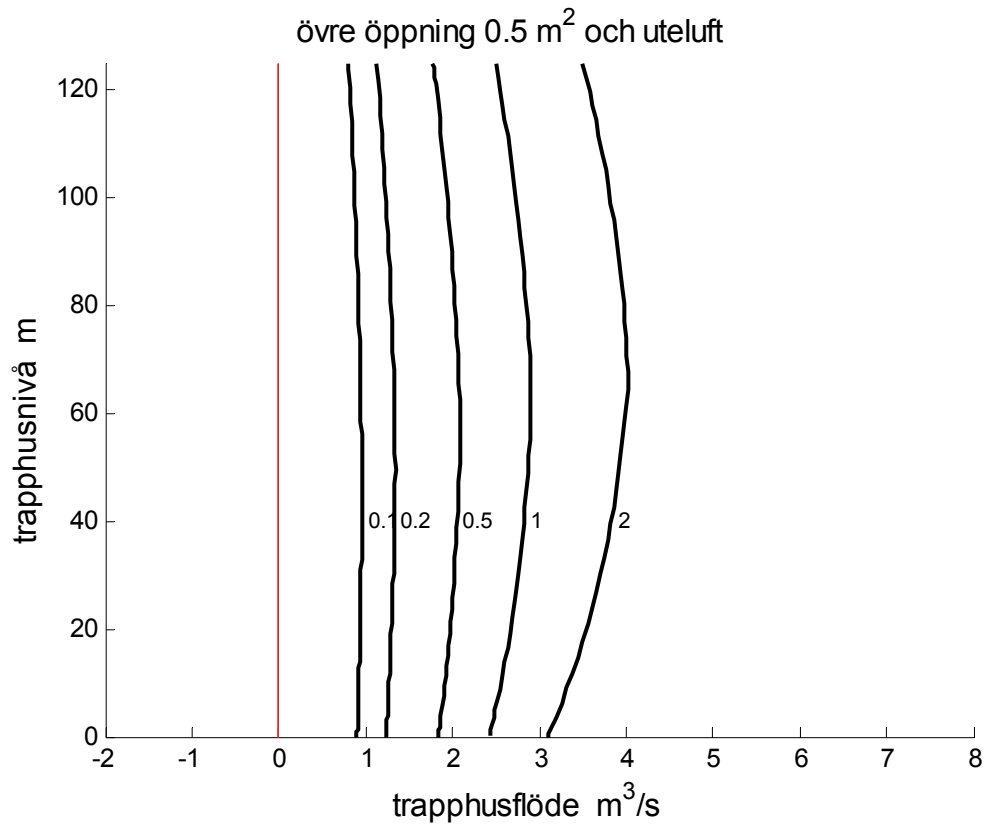
Samtliga falls övertryck, flöden och temperaturer redovisas som funktion av höjden som y-axel i Figur 3.10-12. Notera att övertryckskurvor och flödeskurvor är märkta med den termiska gradientens siffervärde.

Tabell 3.4 Övertryck, flöde och temperatur nederst och överst och övre öppningsarea.

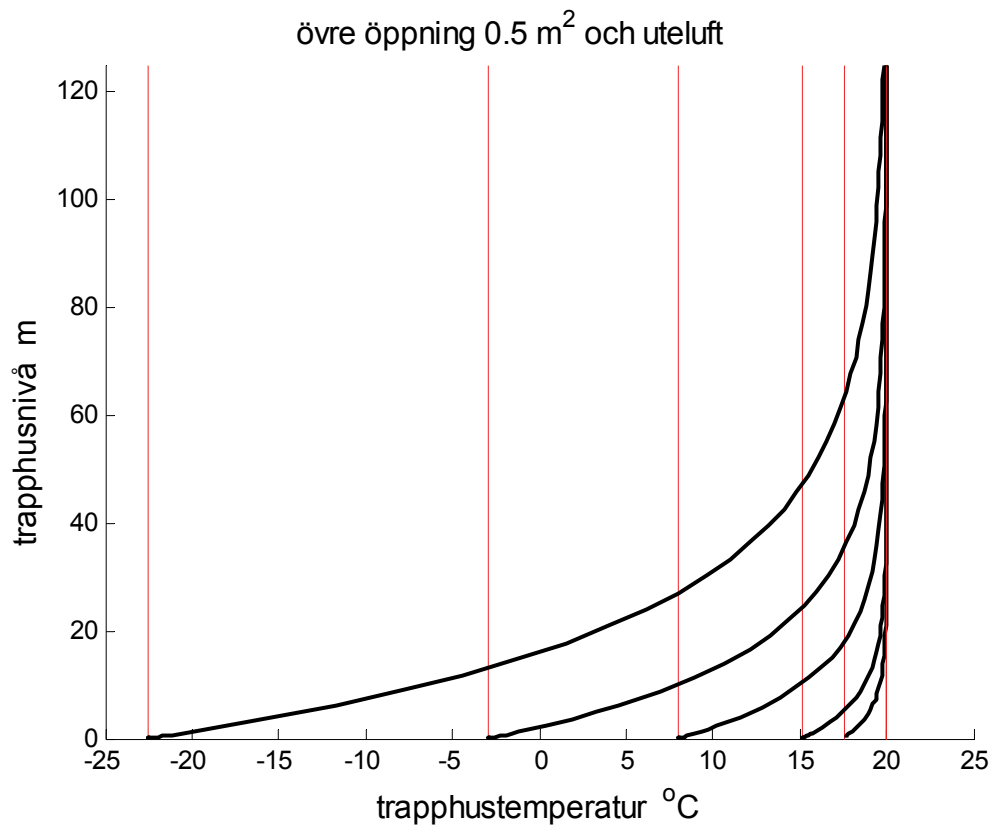
$\Delta p(0)$ Pa	$q(0)$ m <sup>3</sup> /s	$T(0)$ °C	$\Delta p(125)$ Pa	$q(125)$ m <sup>3</sup> /s	$T(125)$ °C	$A_{\text{övre}}$ m <sup>2</sup>
0	0.90	17.53	1.53	0.80	20.00	0.50
0	1.24	15.11	3.05	1.13	20.00	0.50
0	1.84	8.06	7.56	1.78	20.00	0.50
0	2.42	-2.94	14.96	2.50	19.99	0.50
0	3.09	-22.55	29.39	3.50	19.83	0.50



Figur 3.10 Trapphusövertryck som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.



Figur 3.11 Trapphusvolymflöde som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.



Figur 3.12 Trapphustemperatur som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.



## Klimatstyrd öppning och inneluft

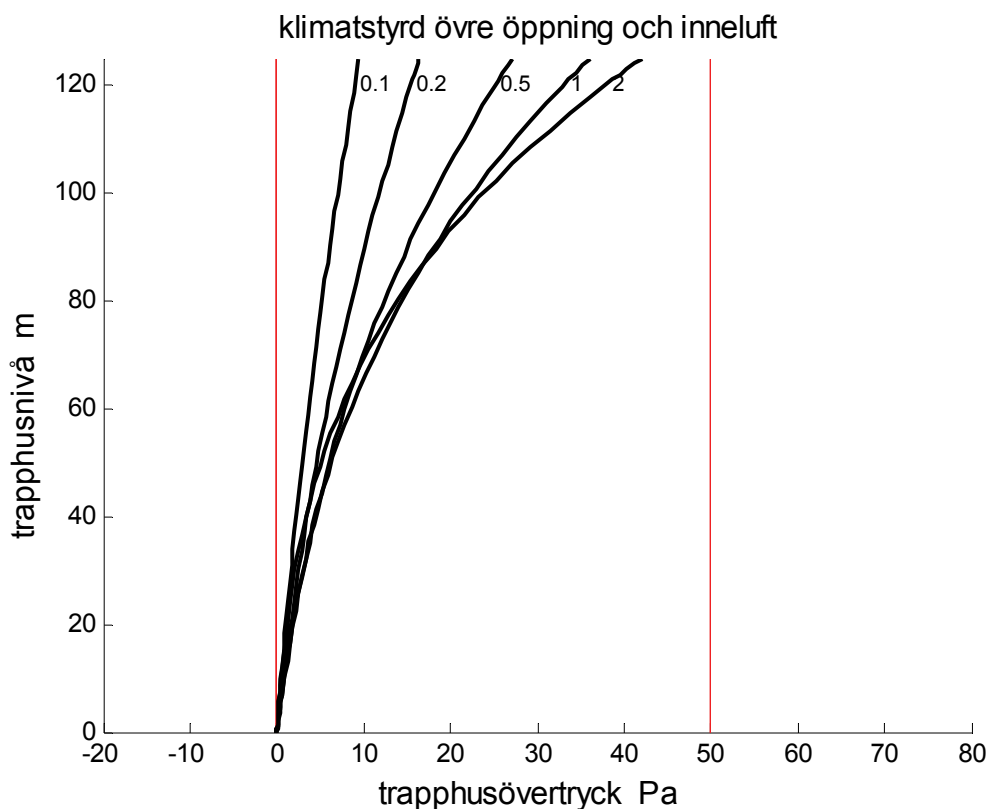
Klimatstyrd öppning innebär här en area på 0.01, 0.05, 0.15, 0.25 respektive 0.40 m<sup>2</sup> för de fem klimatfallen.

Fem fall simuleras med inneluft som ersättningsluft enligt Tabell 3.5 med redovisade övertryck, flöden och temperaturer nederst och överst och övre öppningsarea. De fem fallens termiska gradient är 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 och 2.0 Pa/m, vilket motsvarar utetemperaturerna 17.53, 15.11, 8.06, -2.94 respektive -22.55 °C.

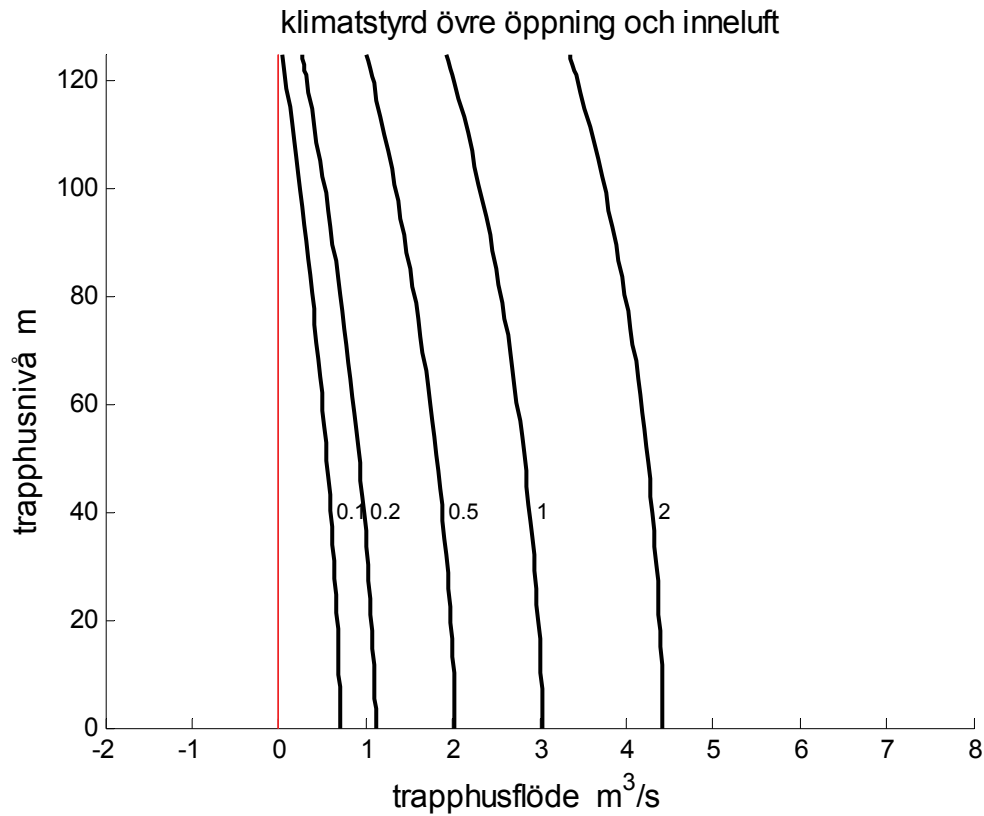
Samtliga falls övertryck, flöden och temperaturer redovisas som funktion av höjden som y-axel i Figur 3.13-15. Notera att övertryckskurvor och flödeskurvor är märkta med den termiska gradientens siffervärde.

Tabell 3.5 Övertryck, flöde och temperatur nederst och överst och övre öppningsarea.

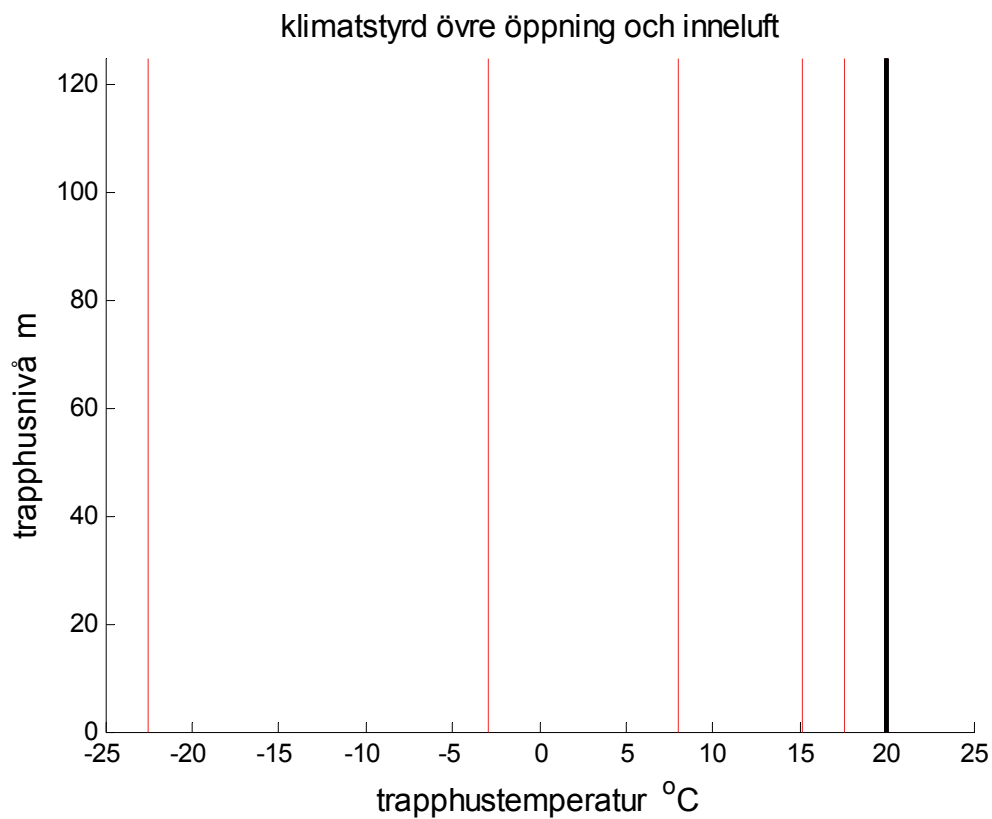
$\Delta p(0)$ Pa	$q(0)$ m <sup>3</sup> /s	$T(0)$ °C	$\Delta p(125)$ Pa	$q(125)$ m <sup>3</sup> /s	$T(125)$ °C	$A_{\text{övre}}$ m <sup>2</sup>
0	0.71	20.00	9.47	0.04	20.00	0.01
0	1.11	20.00	16.39	0.26	20.00	0.05
0	2.03	20.00	27.11	1.01	20.00	0.15
0	3.04	20.00	36.05	1.94	20.00	0.25
0	4.42	20.00	42.09	3.35	20.00	0.40



Figur 3.13 Trapphusövertryck som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.



Figur 3.14 Trapphusvolymflöde som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.



Figur 3.15 Trapphustemperatur som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.

## Klimatstyrd öppning och uteluft

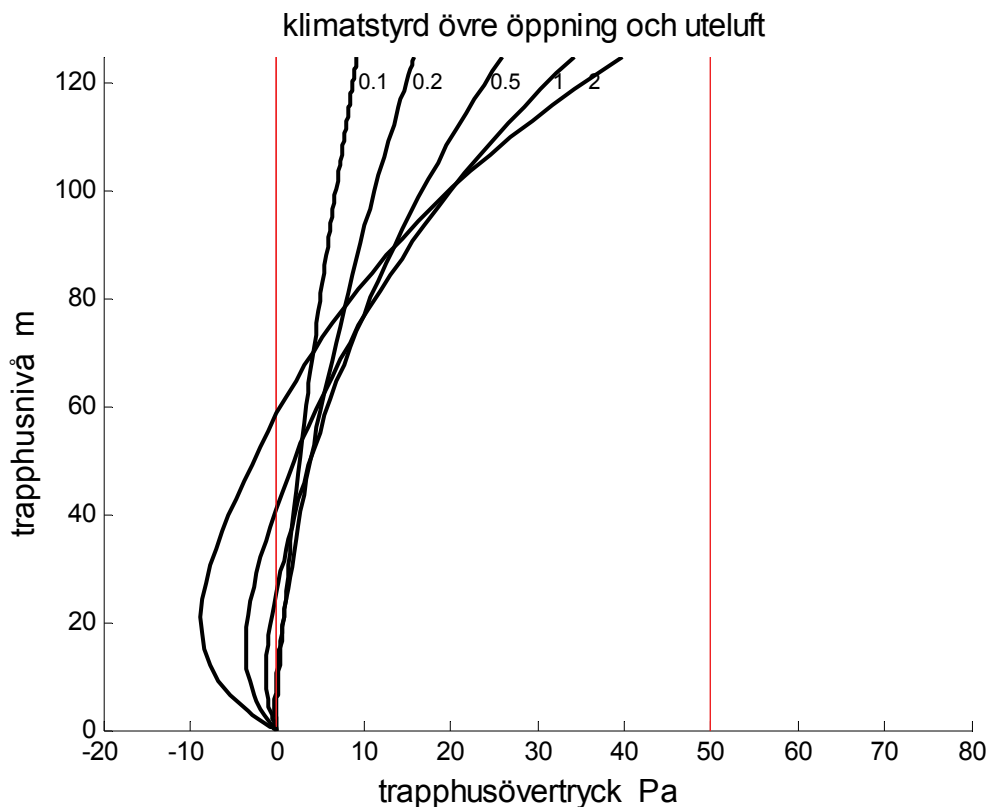
Klimatstyrd öppning innebär här en area på 0.01, 0.05, 0.15, 0.25 respektive 0.40 m<sup>2</sup> för de fem klimatfallen.

Fem fall simuleras med uteluft som ersättningsluft enligt Tabell 3.6 med redovisade övertryck, flöden och temperaturer nederst och överst och övre öppningsarea. De fem fallens termiska gradient är 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 och 2.0 Pa/m, vilket motsvarar utetemperaturerna 17.53, 15.11, 8.06, -2.94 respektive -22.55 °C.

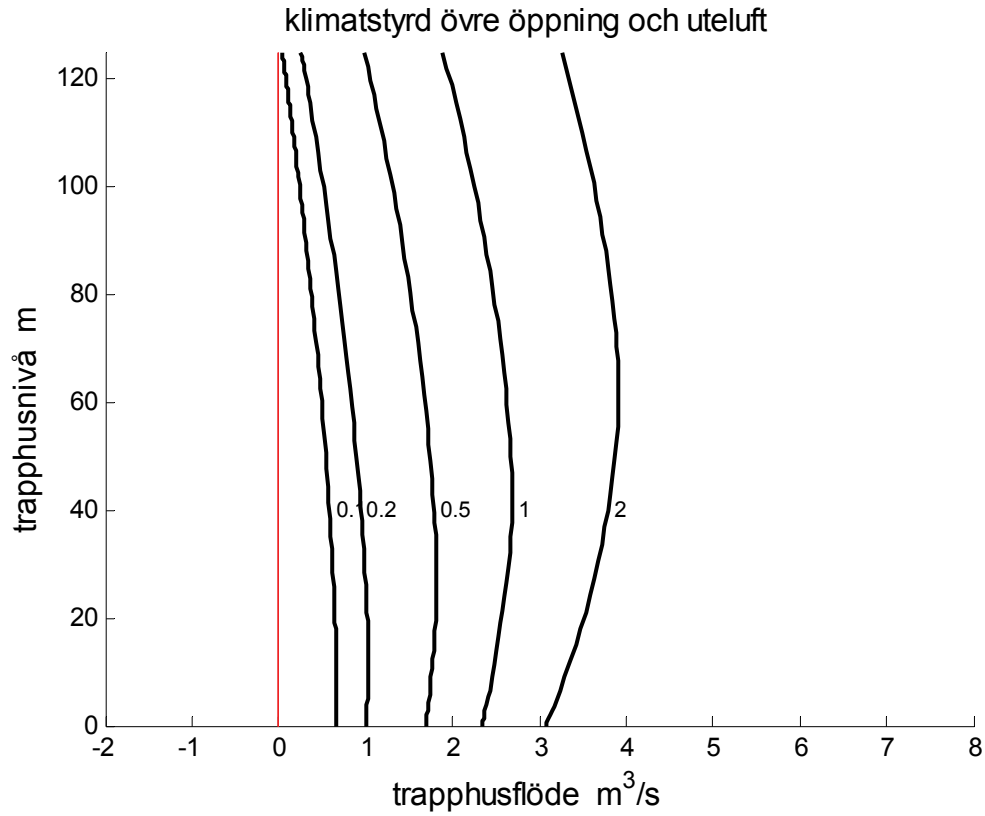
Samtliga falls övertryck, flöden och temperaturer redovisas som funktion av höjden som y-axel i Figur 3.16-18. Notera att övertryckskurvor och flödeskurvor är märkta med den termiska gradientens siffervärde.

Tabell 3.6 Övertryck, flöde och temperatur nederst och överst och övre öppningsarea.

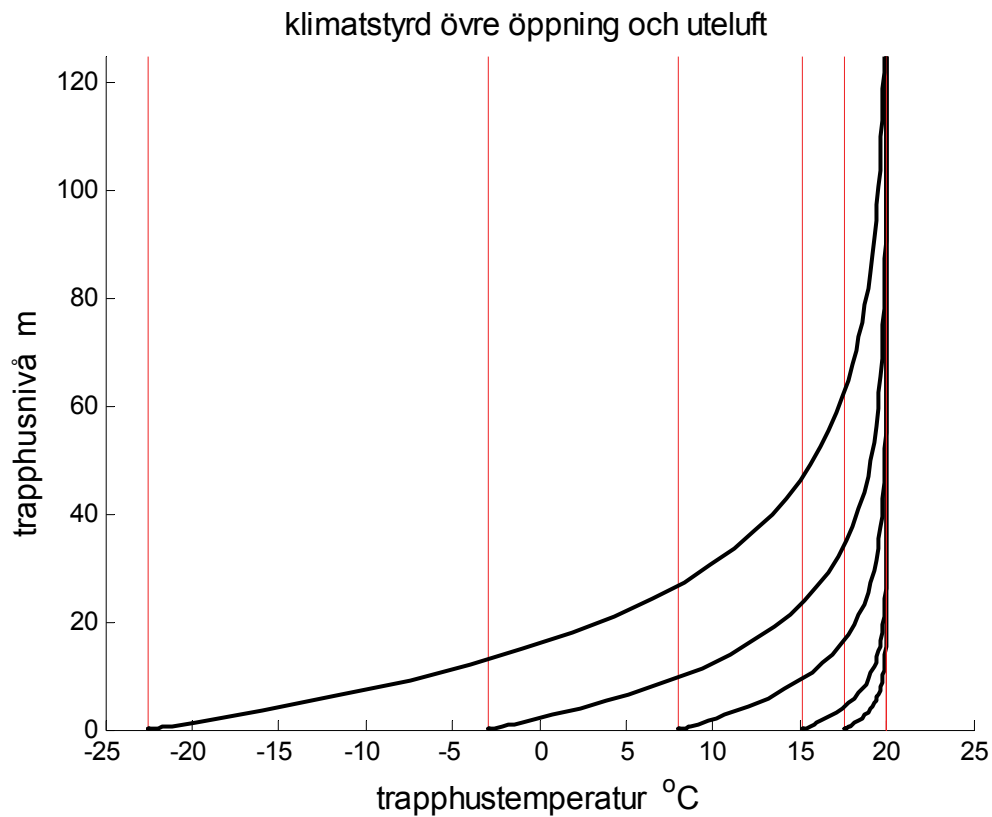
$\Delta p(0)$ Pa	$q(0)$ m <sup>3</sup> /s	$T(0)$ °C	$\Delta p(125)$ Pa	$q(125)$ m <sup>3</sup> /s	$T(125)$ °C	$A_{\text{övre}}$ m <sup>2</sup>
0	0.66	17.53	9.47	0.04	20.00	0.01
0	1.01	15.11	16.39	0.26	20.00	0.05
0	1.69	8.06	27.11	0.99	20.00	0.15
0	2.33	-2.94	36.05	1.89	20.00	0.25
0	3.07	-22.55	42.09	3.25	19.85	0.40



Figur 3.16 Trapphusövertryck som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.



Figur 3.17 Trapphusvolymflöde som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.



Figur 3.18 Trapphustemperatur som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.

## Tryckreglerad öppning och inneluft

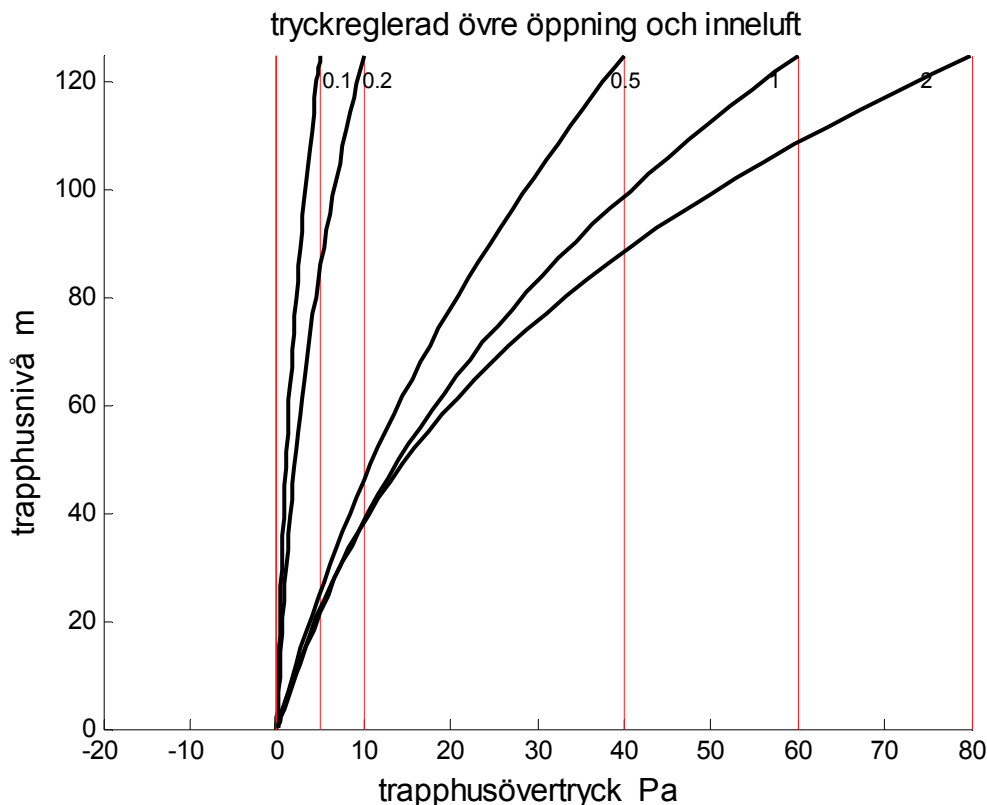
Tryckreglerad öppning sker till övertrycken 5, 10, 40, 60 respektive 80 Pa för de fem klimatfallen. Högsta möjliga övertryck för ett trapphus utan läckage är 12.5, 25, 62.5, 125 respektive 250 Pa.

Fem fall simuleras med inneluft som ersättningsluft enligt Tabell 3.7 med redovisade övertryck, flöden och temperaturer nederst och överst och övre öppningsarea. De fem fallens termiska gradient är 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 och 2.0 Pa/m, vilket motsvarar utetemperaturerna 17.53, 15.11, 8.06, -2.94 respektive -22.55 °C.

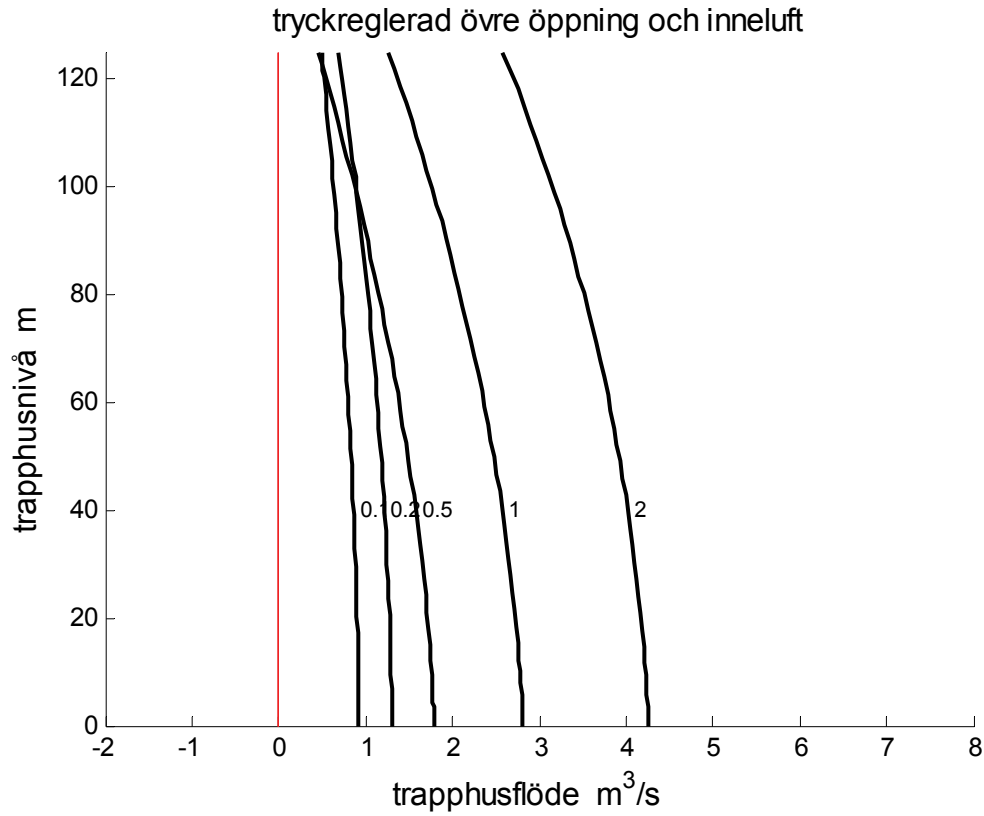
Samtliga falls övertryck, flöden och temperaturer redovisas som funktion av höjden som y-axel i Figur 3.19-21. Notera att övertryckskurvor och flödeskurvor är märkta med den termiska gradientens siffervärde.

Tabell 3.7 Övertryck, flöde och temperatur nederst och överst och övre öppningsarea.

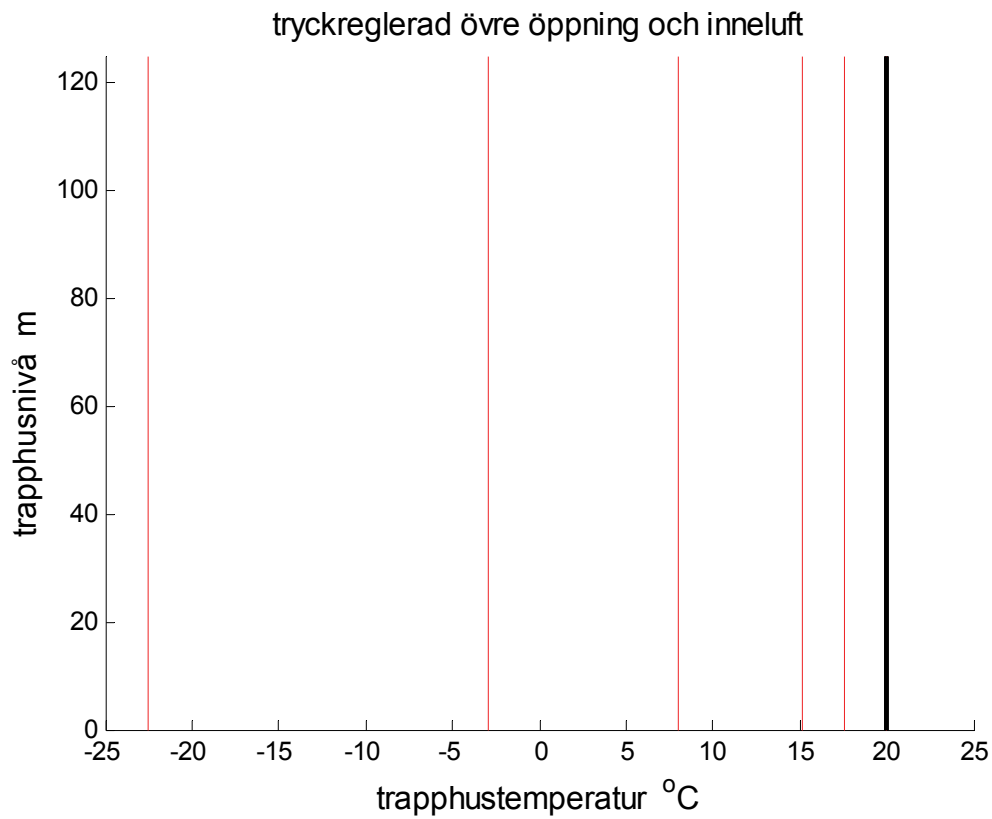
$\Delta p(0)$ Pa	$q(0)$ $m^3/s$	$T(0)$ °C	$\Delta p(125)$ Pa	$q(125)$ $m^3/s$	$T(125)$ °C	$A_{\text{övre}}$ $m^2$
0	0.92	20.00	5.00	0.49	20.00	0.17
0	1.30	20.00	10.00	0.69	20.00	0.17
0	1.76	20.00	40.00	0.46	20.00	0.06
0	2.81	20.00	60.00	1.26	20.00	0.13
0	4.25	20.00	80.00	2.58	20.00	0.22



Figur 3.19 Trapphusövertryck som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.



Figur 3.20 Trapphusvolymflöde som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.



Figur 3.21 Trapphustemperatur som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.

## Tryckreglerad öppning och uteluft

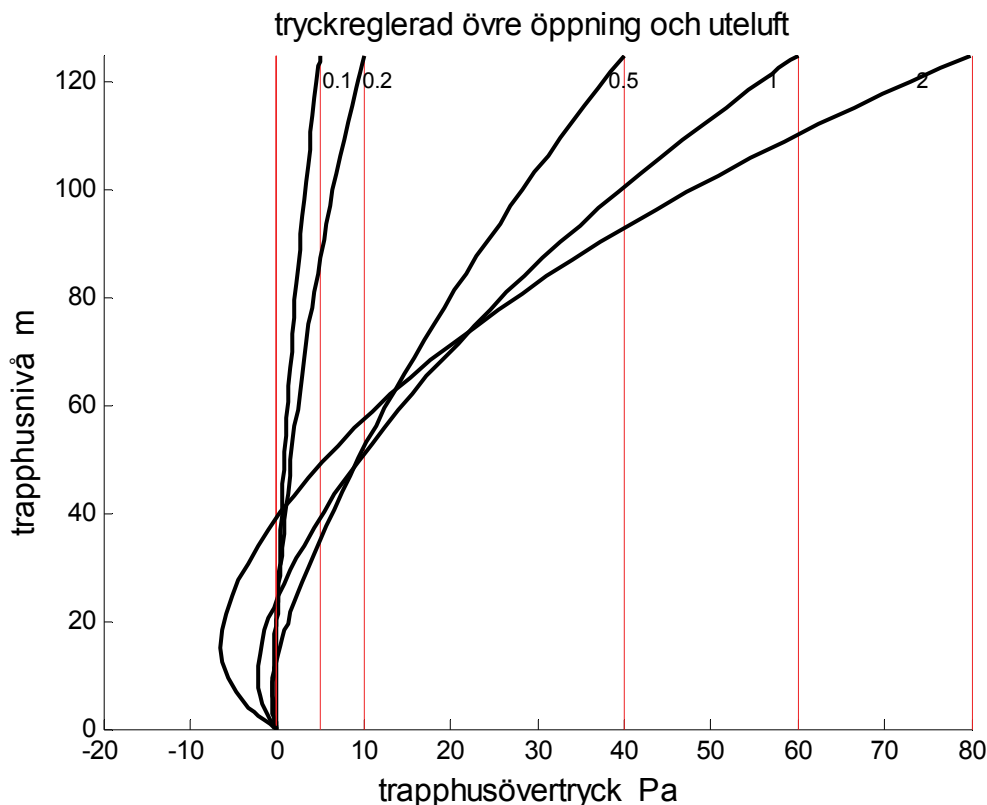
Tryckreglerad öppning sker till övertrycken 5, 10, 40, 60 respektive 80 Pa för de fem klimatfallen. Högsta möjliga övertryck för ett trapphus utan läckage är 12.5, 25, 62.5, 125 respektive 250 Pa.

Fem fall simuleras med uteluft som ersättningsluft enligt Tabell 3.8 med redovisade övertryck, flöden och temperaturer nederst och överst och övre öppningsarea. De fem fallens termiska gradient är 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 och 2.0 Pa/m, vilket motsvarar utetemperaturerna 17.53, 15.11, 8.06, -2.94 respektive -22.55 °C.

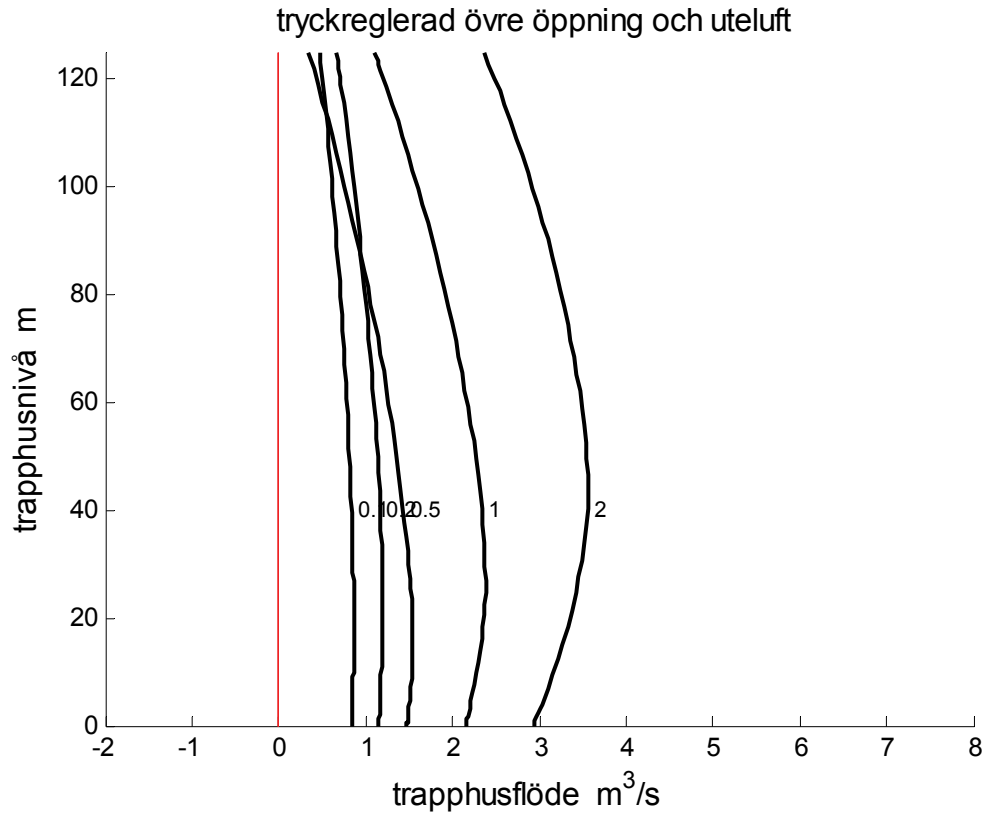
Samtliga falls övertryck, flöden och temperaturer redovisas som funktion av höjden som y-axel i Figur 3.22-24. Notera att övertryckskurvor och flödeskurvor är märkta med den termiska gradientens siffervärde.

Tabell 3.8 Övertryck, flöde och temperatur nederst och överst och övre öppningsarea.

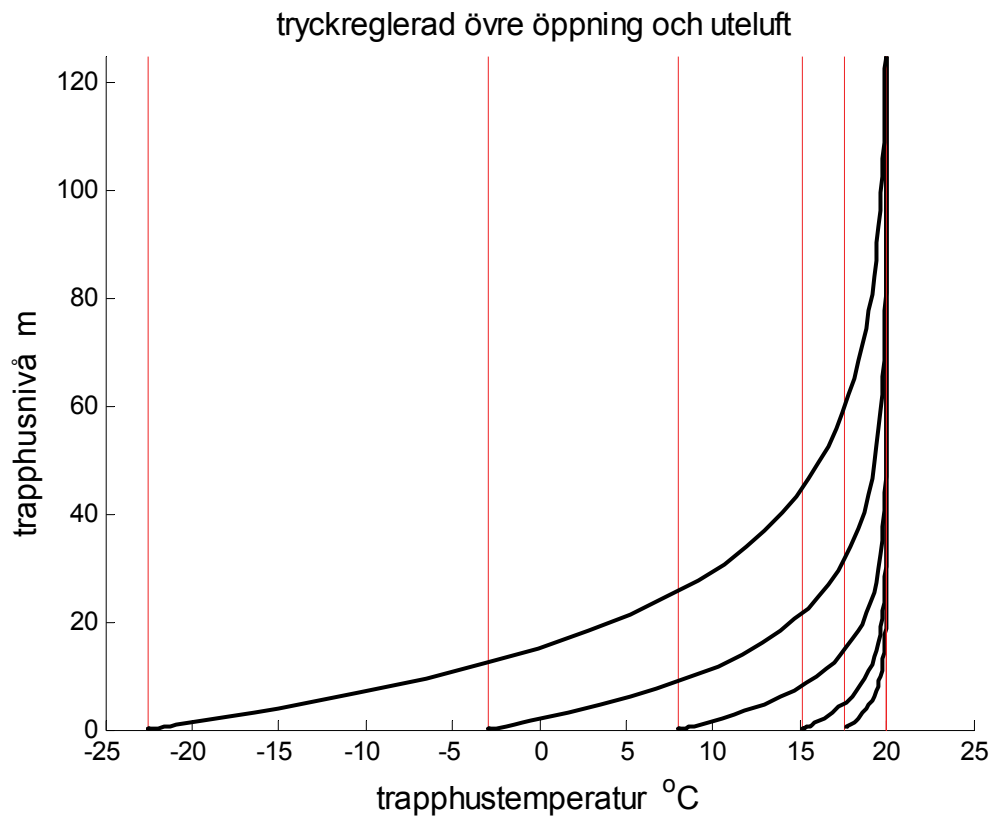
$\Delta p(0)$ Pa	$q(0)$ $m^3/s$	$T(0)$ °C	$\Delta p(125)$ Pa	$q(125)$ $m^3/s$	$T(125)$ °C	$A_{\text{övre}}$ $m^2$
0	0.84	17.53	5.00	0.47	20.00	0.16
0	1.15	15.11	10.00	0.66	20.00	0.16
0	1.47	8.06	40.00	0.35	20.00	0.04
0	2.15	-2.94	60.00	1.10	20.00	0.11
0	2.93	-22.55	80.00	2.36	19.94	0.20



Figur 3.22 Trapphusövertryck som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.



Figur 3.23 Trapphusvolymflöde som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.



Figur 3.24 Trapphustemperatur som funktion av olika trapphusnivå och utetemperatur.



## Kommentarer

De redovisade beräkningarna har skett för ett gemensamt trapphusfall med fyra grundparametrar, nämligen höjd 125 m, tryckläckage (tryckfall)  $0.1 \text{ Pa/m(m}^3/\text{s)}^2$ , luftläckage  $0.02 \text{ m}^3/\text{sm}$  vid 50 Pa och värmeläckage  $200 \text{ W/Km}$ . Andra grundparametrar leder till andra siffermässiga och liknande resultat.

En genomgående kommentar är att inneluft som ersättningsluft ger inga undertryck. Uteluft som ersättningsluft ger undertryck. Ett viktigt påpekande är att trapphustrycket är noll nederst i trapphuset.

Liten övre öppning medför att skillnaden mellan inneluft och uteluft som ersättningsluft blir liten. Uteluften värms upp betydligt redan efter 10 m. Höga trapphusövertryck fås för termiska tryckgradienter 1 och 2 Pa/m. Utelufts-fallet har undertryck i trapphuset upptill 15 m.

Stor övre öppning ger mindre övertryck. Den övre öppningen är onödigt stor. Högsta trapphusövertryck är endast 30 Pa för den högsta termiska tryckgradienten 2 Pa/m. Trapphusflödena är betydligt större än för fallet med den mindre övre öppningen. Trapphuset har undertryck för alla klimatfall upptill 70 m. Lägsta undertryck är 10 Pa.

Klimatstyrd övre öppning eller egentligen efter klimatet beräknade övre öppning är för alla klimatfall mindre än den större öppningen på  $0.5 \text{ m}^2$ . Fallet med uteluft och den termiska tryckgradienten 1 och 2 Pa/m visar på undertryck upptill 40 respektive 60 m. Trapphusövertrycken ligger klart under förväntade 50 Pa som använts vid bestämningen av öppningarnas storlek. Beräkningen för tryckgradienterna 0.1 och 0.2 Pa/m är felaktig, eftersom det högsta möjliga trapphusövertrycket begränsas till 12.5 respektive 25 Pa.

Tryckreglerad övre öppning görs med olika övertryck 5, 10, 40, 60 och 80 Pa, eftersom de termiska tryckgradienterna begränsar den möjliga tryckskillnad till högst 12.5, 25, 62.5, 125 respektive 250 Pa. De valda övertrycken och de skattade utflödena bestämmer den övre öppningen överst.

De två fallen med liten övre öppning (egentligen ingen) och stor övre öppning visar att trycksättning kan klaras av om ingen övre öppning används upptill den termiska tryckgradienten  $0.5 \text{ Pa/m}$  och en fix övre öppning används för högre tryckgradienter. Denna tryckgradientgräns skapar högst en tryckhöjning på 62.5 Pa för den aktuella trapphushöjden på 125 m.

Öppningen  $0.5 \text{ m}^2$  är onödigt stor och i nästa avsnitt provas även storlekarna  $0.1$  och  $0.2 \text{ m}^2$ .

Metoden med klimatstyrd eller tryckreglerad övre öppning behöver inte användas. Det räcker med den enklare metoden med ingen och en fast övre öppning, vilket kan ses som ett specialfall av den klimatstyrda övre öppningen.

## 4 Spridningsandel utan uppvärmning

Ett trapphus som ventileras med uteluft har alltid undertryck i de lägre delarna innan uteluften värms något. Undertryck råder när den termiska tryckökningen i trapphuset är mindre än genomströmningens tryckförlust. Detta framgår väl av kurvorna i Figur 3.4, 3.10, 3.16 och 3.22. Detta undertryck medför inläckage från olika våningsplan och därmed risk för att brandgasspridning, men utspädningen kan vara stor. Avsikten med detta avsnitt är att bestämma det relativa inläckaget för några av de fall som undersökts i avsnitt 3.

Undertrycket i en punkt bestämmer inläckaget, vilket räknas om till ett inflöde för en våningshöjd som satts till 1/40-del av trapphushöjden, vilket blir 3.125 m för trapphushöjden 125 m. Detta beräkningssätt ger en mindre överskattning för det högsta värdet, eftersom ett enda värde för en punkt används för hela våningshöjden.

Detta inflöde räknas om till en flödesandelen med rådande trapphusflöde och redovisas som funktion av trapphusnivå som y-axel (0,125) m och klimat i form av den termiska tryckgradienten som x-axel (0,2) Pa/m. Flödet kan också ses som en spridningsandel som är möjlig att uppnå från ett våningsplan och i fortsättningen används beteckningen spridningsandel och beräkningen kan skrivas som:

$$s(z) = \frac{hq_i(z)}{40q(z)} \quad (-) \quad (4.1)$$

Den beräknade flödesandelen gäller egentligen bara för den aktuella trapphusnivån och inte högre upp om det finns ytterligare inläckage högre upp. Det beräknade värdet är därför en överskattning för förhållanden högre upp, eftersom det finns mindre inläckage högre upp innan det blir övertryck i trapphuset. Störst spridningsandel fås nära där inläckaget är störst och därmed också där undertrycket är störst. Notera att utläckage inte påverkar trapphusluftens sammansättning.

Den redovisade spridningsandelen kan alltid skalas om till andra våningshöjder än den valda 3.125 m, eftersom inläckaget är direkt proportionellt mot våningshöjden om undertrycket antas vara konstant.

Fyra fall med övre öppning 0.01, 0.1, 0.2 och 0.5 m<sup>2</sup> genomräknas och redovisas med spridningsandel, inläckageflöde m<sup>3</sup>/sm, trapphusflöde m<sup>3</sup>/s, trapphustryck och trapphuslufttemperatur. De fyra fallen kommenteras jämförande sist i avsnittet.

Om brandgasernas farliga komponenter är kända eller begränsade till övre gränser går det med flödesandelen  $s(z)$  enligt (4.1) att skatta vilka förhållanden som kommer att råda i trapphuset. Ett sifferexempel är att följande. Antag att brandgaserna har en CO-halt på 0.01 eller 10 000 ppm och att spridningsandelen är 0.01 för brandplanet. Detta ger en CO-halt i trapphuset i höjd med brandplanet som är 0.0001 eller 100 ppm. Detta värde kan jämföras med de övre gränserna för lindriga och måttliga förgiftningssymptom på 160 ppm respektive 427 ppm för oändlig exponering i tiden. Det skattade värdet på 100 ppm kan användas som en övre gräns med marginal för resten av trapphuset högre upp, eftersom ytterligare inläckage kommer att minska CO-halten.

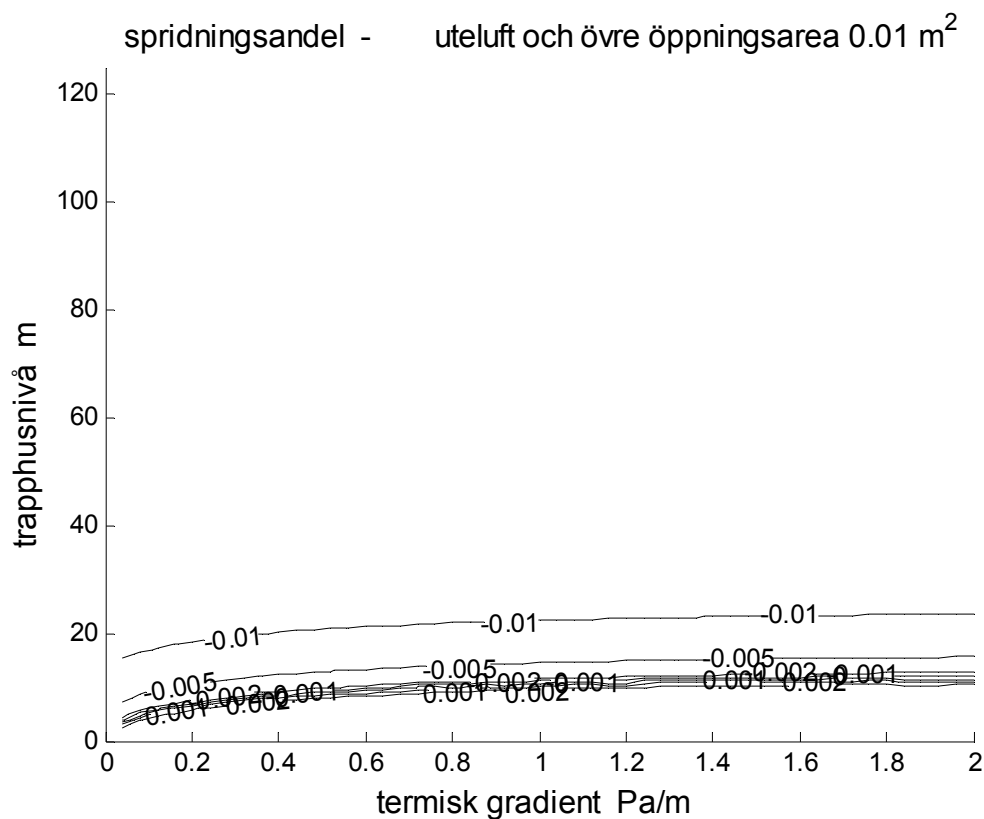
## Övre öppning 0.01 m<sup>2</sup> och uteluft

Spridningsandel, inläckageflöde m<sup>3</sup>/sm, trapphusflöde m<sup>3</sup>/s, trapphustryck och trapphuslufttemperatur redovisas i Figur 4.1-5 i isodiagram som funktion av termisk gradient som x-axel och trapphusnivå som y-axel.

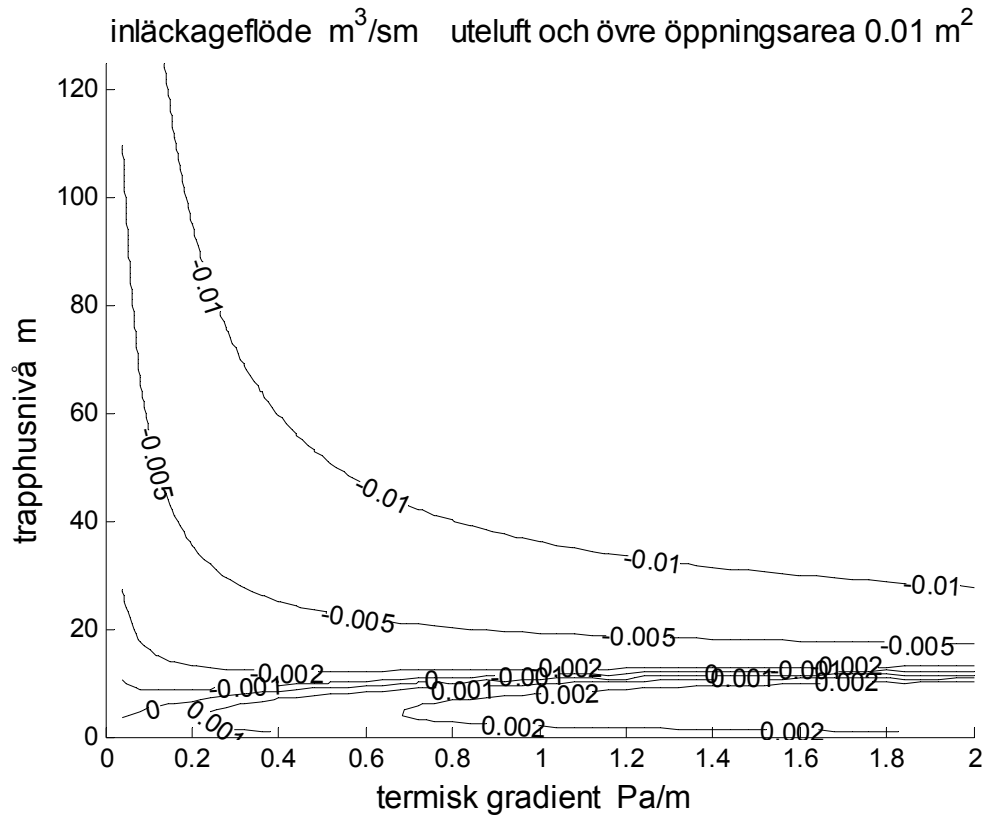
Spridningsandelen är positiv för trapphushöjder lägre än 10 m och mindre än 0.005.

Gränsen mellan övertryck och undertryck visar var det finns risk för brandgasspridning till trapphuset. Trapphustrycket är vid låga utetemperaturer för högt högst upp.

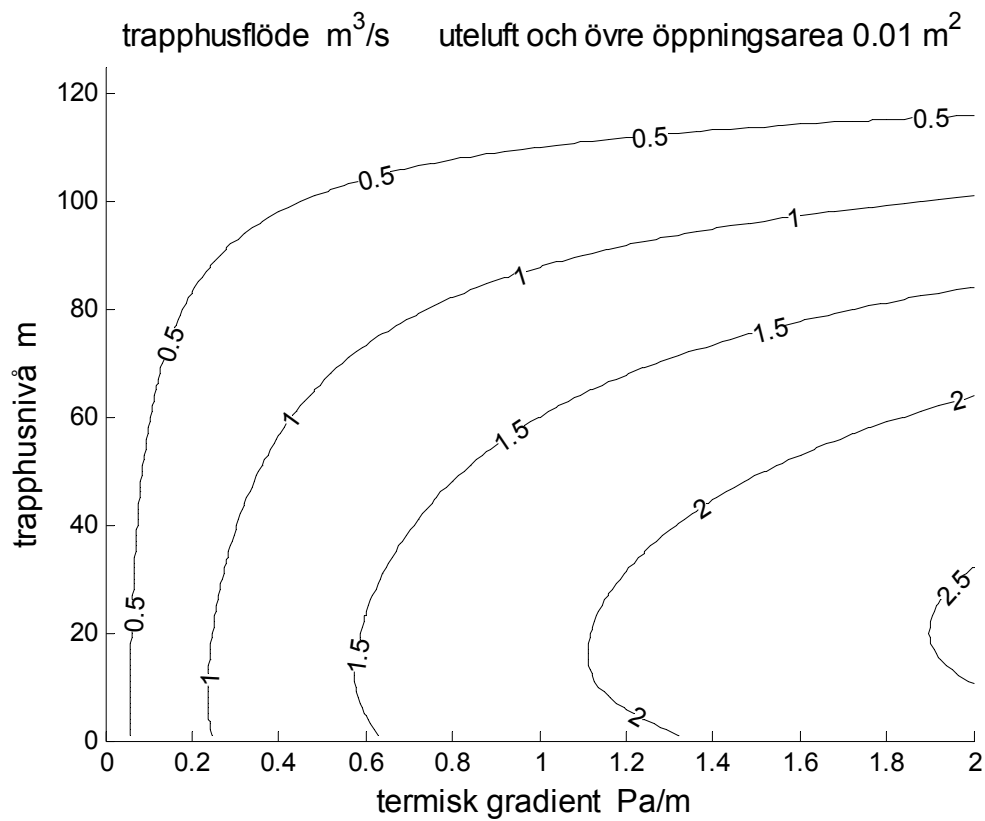
Trapphusflödet avtar genomgående med trapphushöjden och med termisk gradient. Både inläckage och uppvärmning av trapphusluft skapar ökande trapphusflöde.



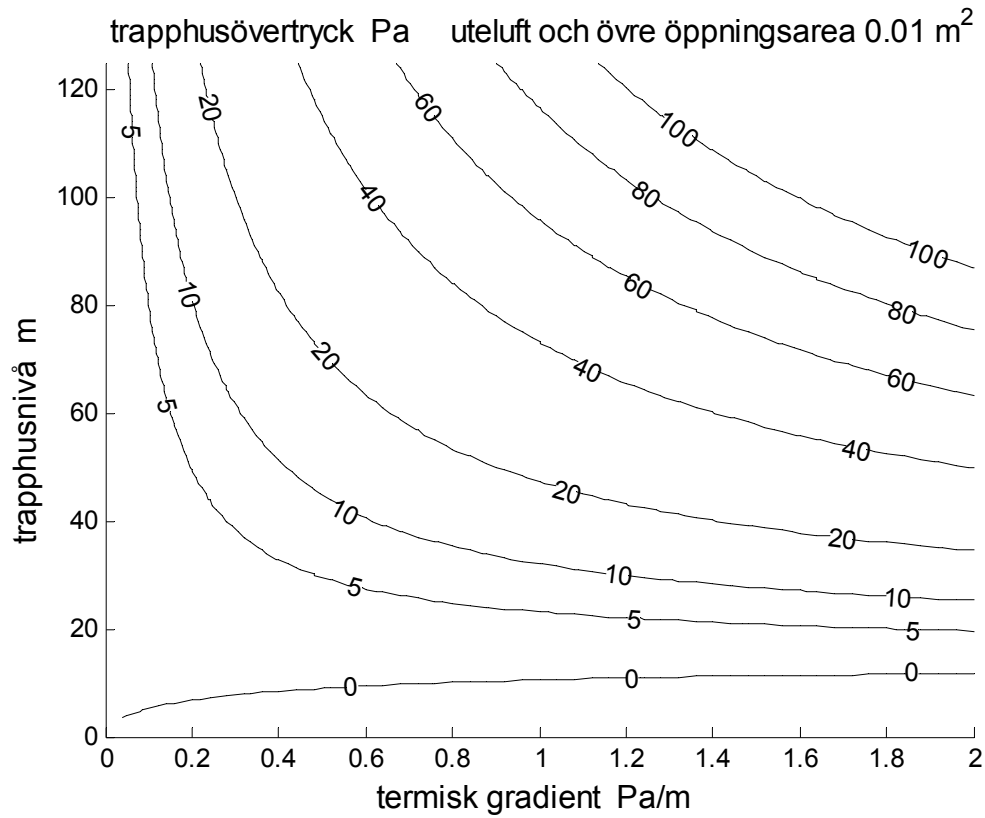
Figur 4.1 Spridningsandel som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



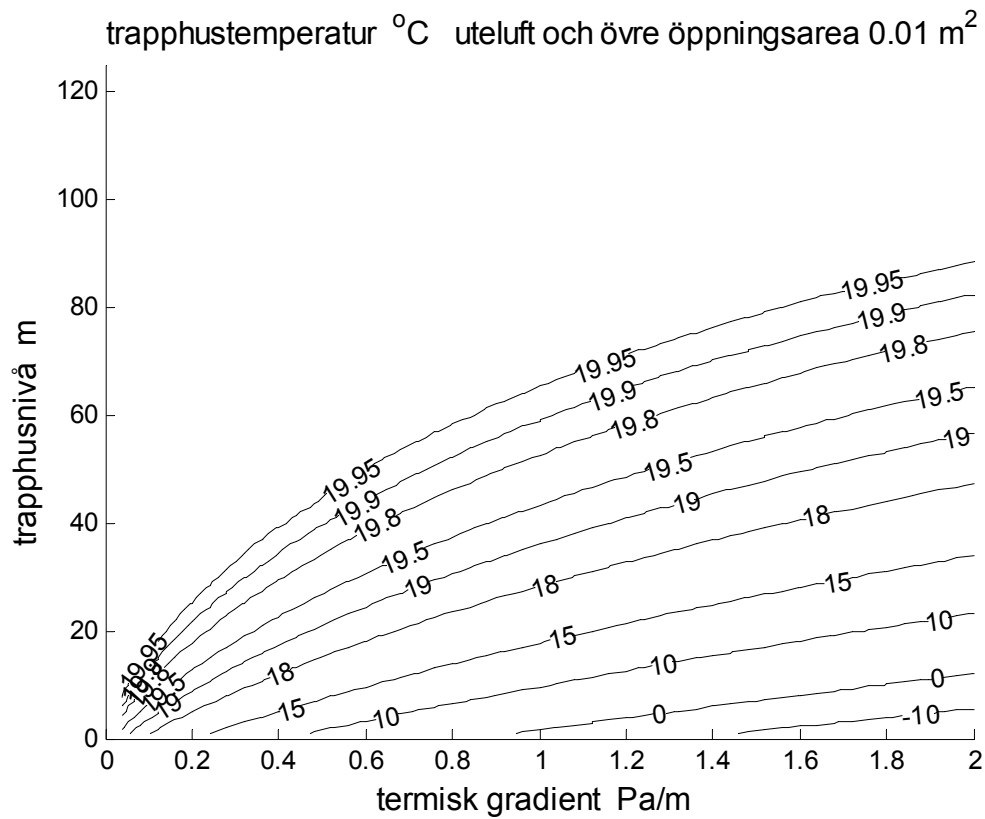
Figur 4.2 Inläckageflöde som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



Figur 4.3 Trapphusflöde som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



Figur 4.4 Trapphustryck som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



Figur 4.5 Trapphuslufttemperatur som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.

## Övre öppning 0.1 m<sup>2</sup> och uteluft

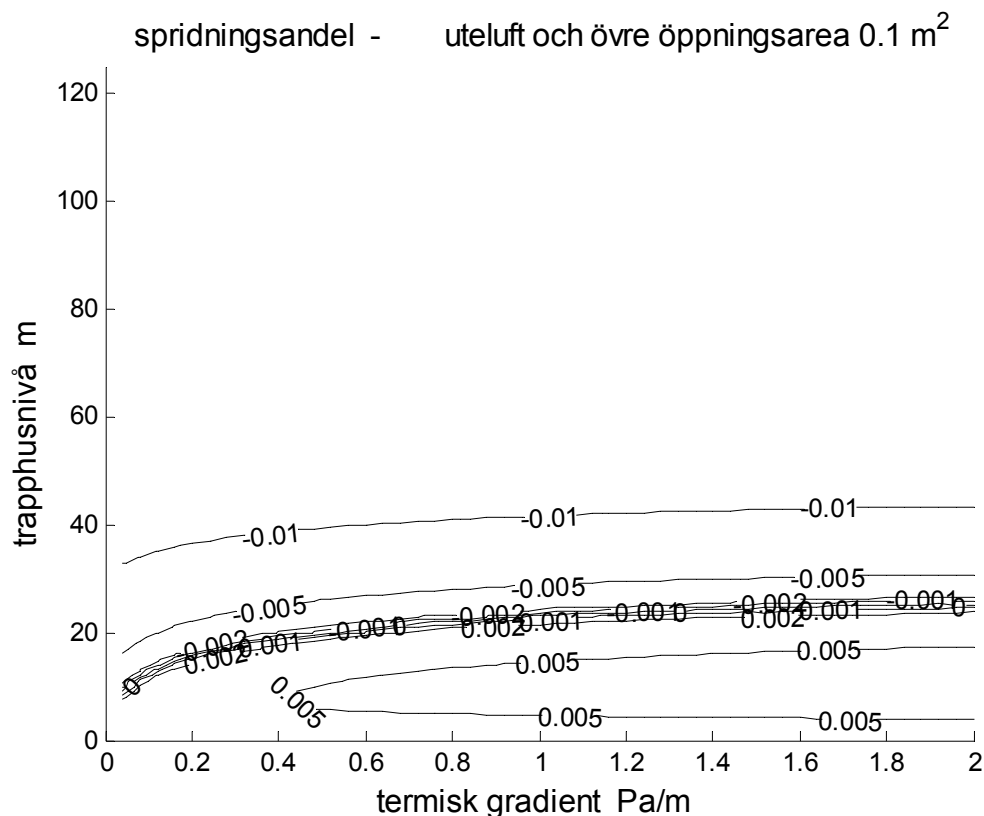
Spridningsandel, inläckageflöde m<sup>3</sup>/sm, trapphusflöde m<sup>3</sup>/s, trapphustryck och trapphuslufttemperatur redovisas i Figur 4.6-10 i isodiagram som funktion av termisk gradient som x-axel och trapphusnivå som y-axel.

Den större öppningen än tidigare medför ett större genomflöde, kallare trapphusluft och mer undertryck och mer inläckage. Trapphusövertrycket högst upp har minskat något jämfört med det tidigare fallet i Figur 4.4 beroende på den större genomströmningen.

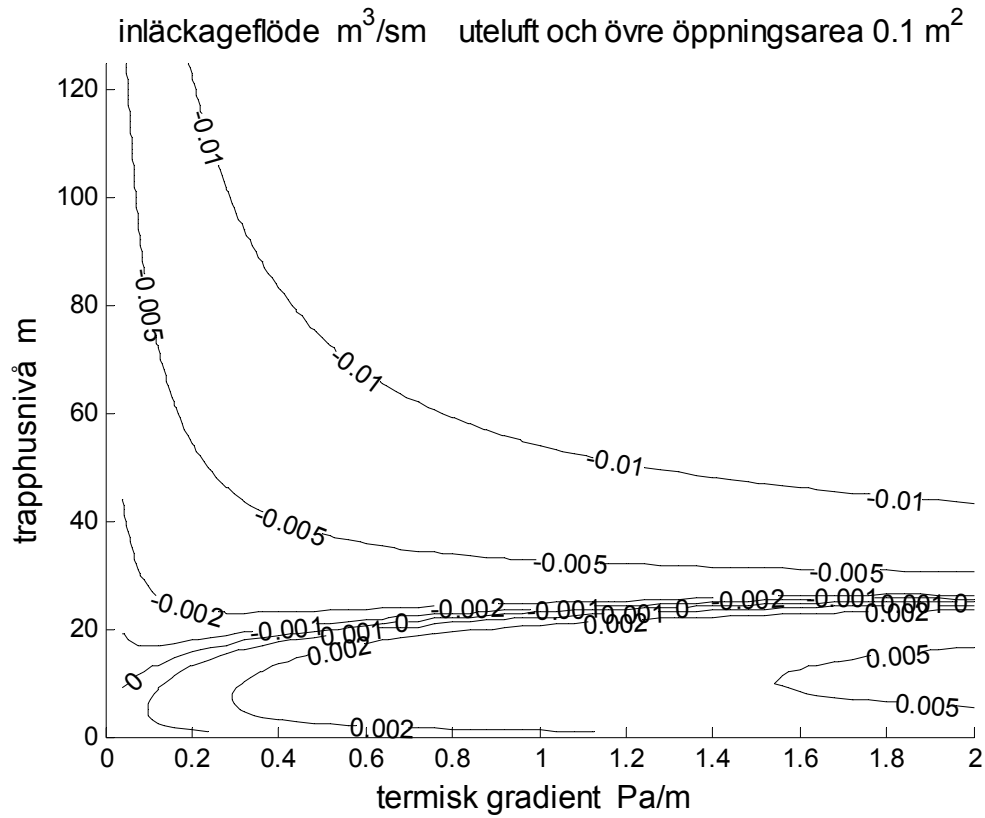
Spridningsandelen är positiv för trapphushöjder lägre än 20 m och säkert mindre än 0.01.

Gränsen mellan övertryck och undertryck visar var det finns risk för brandgasspridning till trapphuset.

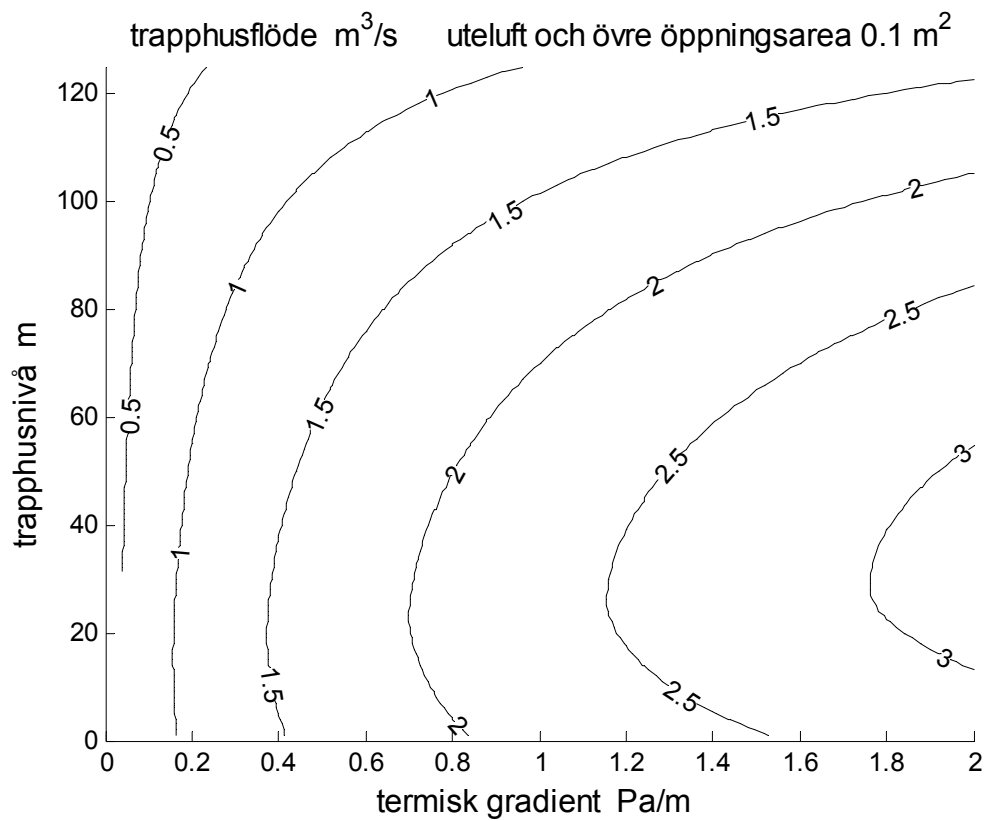
Trapphusflödet avtar genomgående med trapphushöjden och med termisk gradient. Både inläckage och uppvärmning av trapphusluft skapar ökande trapphusflöde.



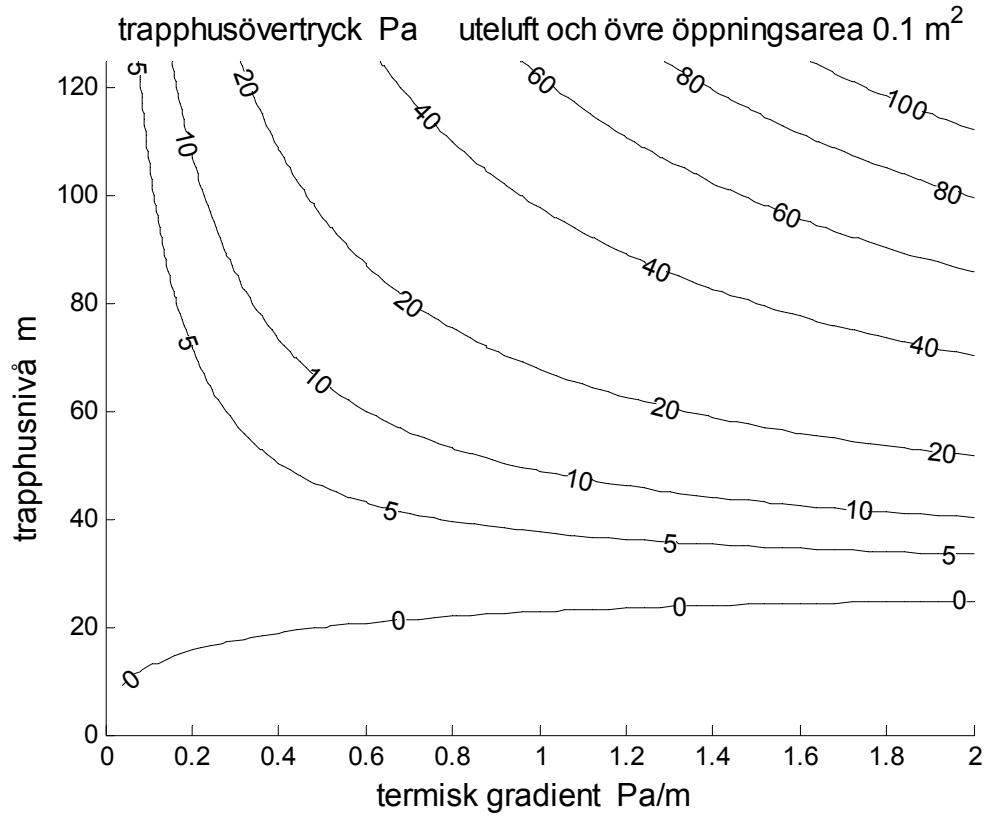
Figur 4.6 Spridningsandel som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



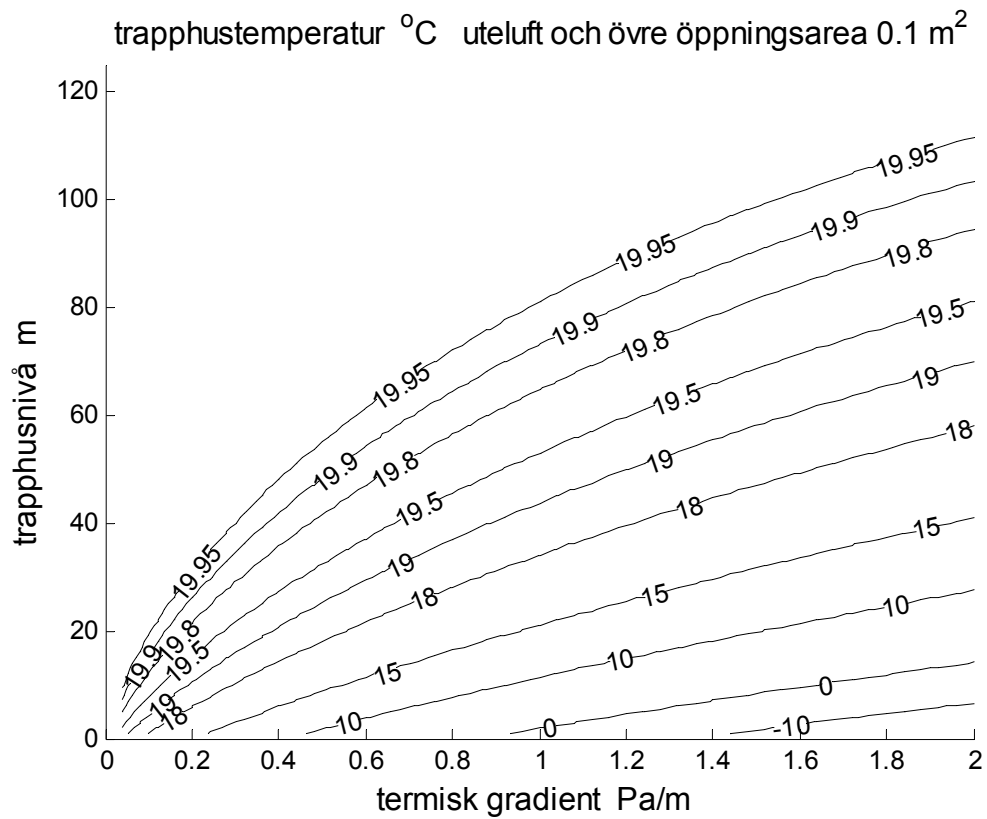
Figur 4.7 Inläckageflöde som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



Figur 4.8 Trapphusflöde som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



Figur 4.9 Trapphustryck som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



Figur 4.10 Trapphuslufttemperatur som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



## Övre öppning 0.2 m<sup>2</sup> och uteluft

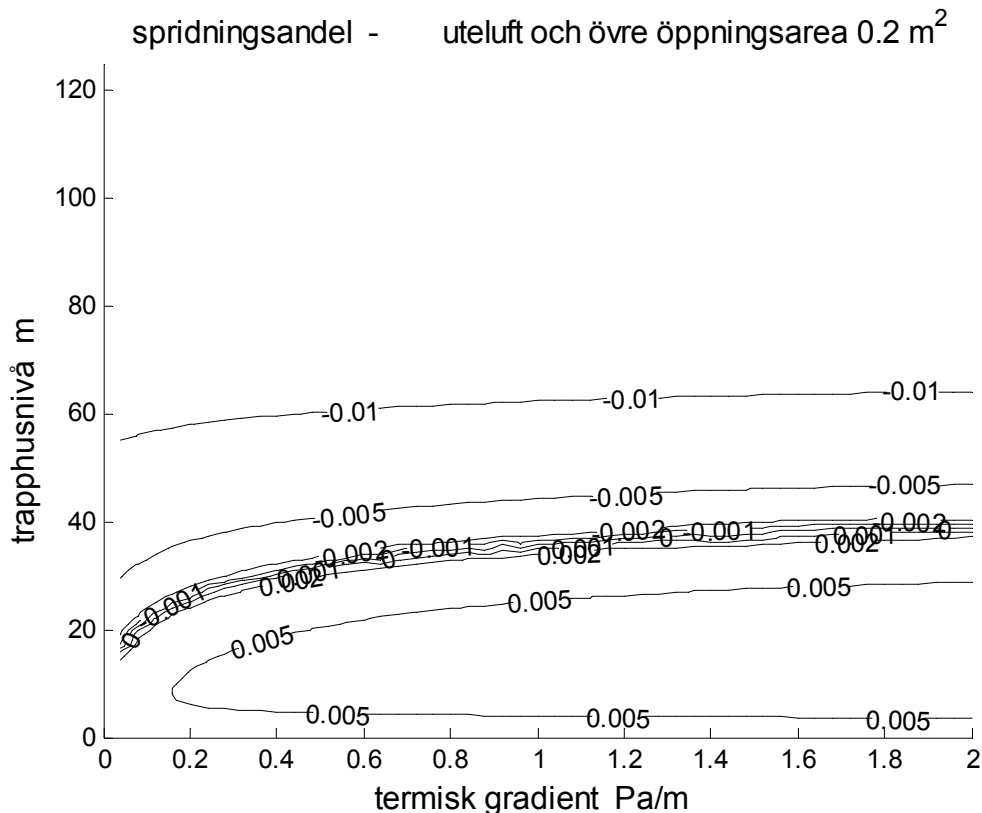
Spridningsandel, inläckageflöde m<sup>3</sup>/sm, trapphusflöde m<sup>3</sup>/s, trapphustryck och trapphuslufttemperatur redovisas i Figur 4.11-15 i isodiagram som funktion av termisk gradient som x-axel och trapphusnivå som y-axel.

Den större öppningen än tidigare medför ett större genomflöde, kallare trapphusluft och mer undertryck och mer inläckage. Trapphusövertrycket högst upp har minskat något jämfört med det tidigare fallet i Figur 4.9 beroende på den större genomströmningen.

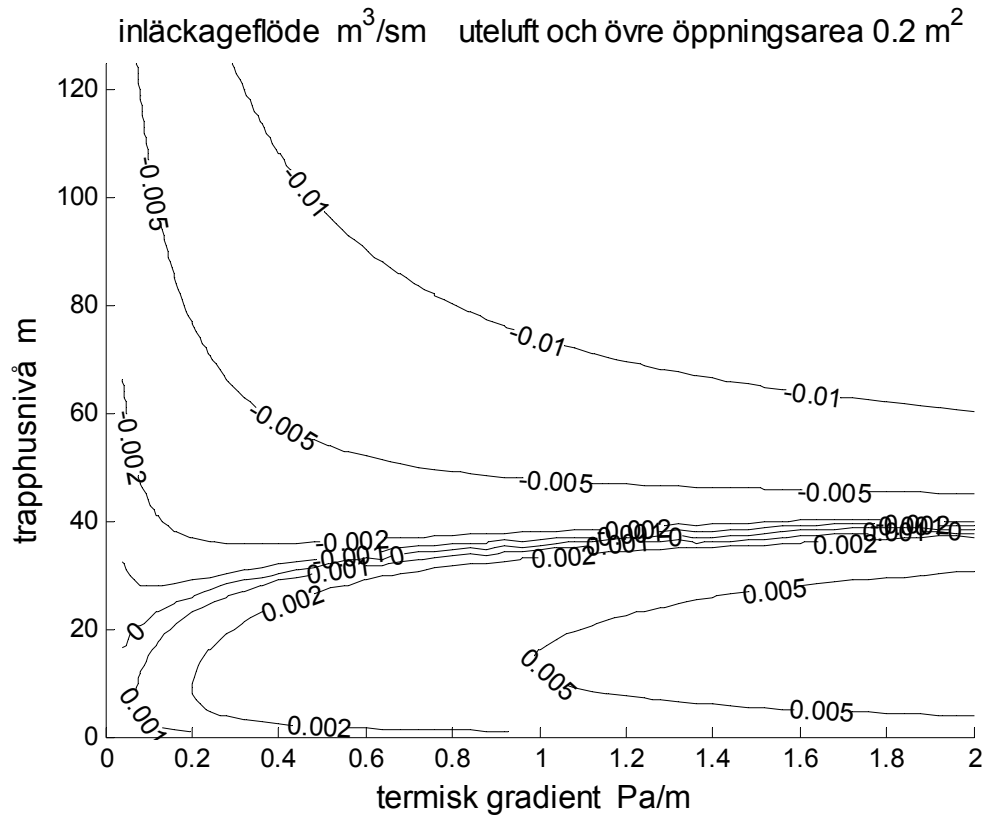
Spridningsandelen är positiv för trapphushöjder lägre än 40 m och säkert mindre än 0.01.

Gränsen mellan övertryck och undertryck visar var det finns risk för brandgasspridning till trapphuset.

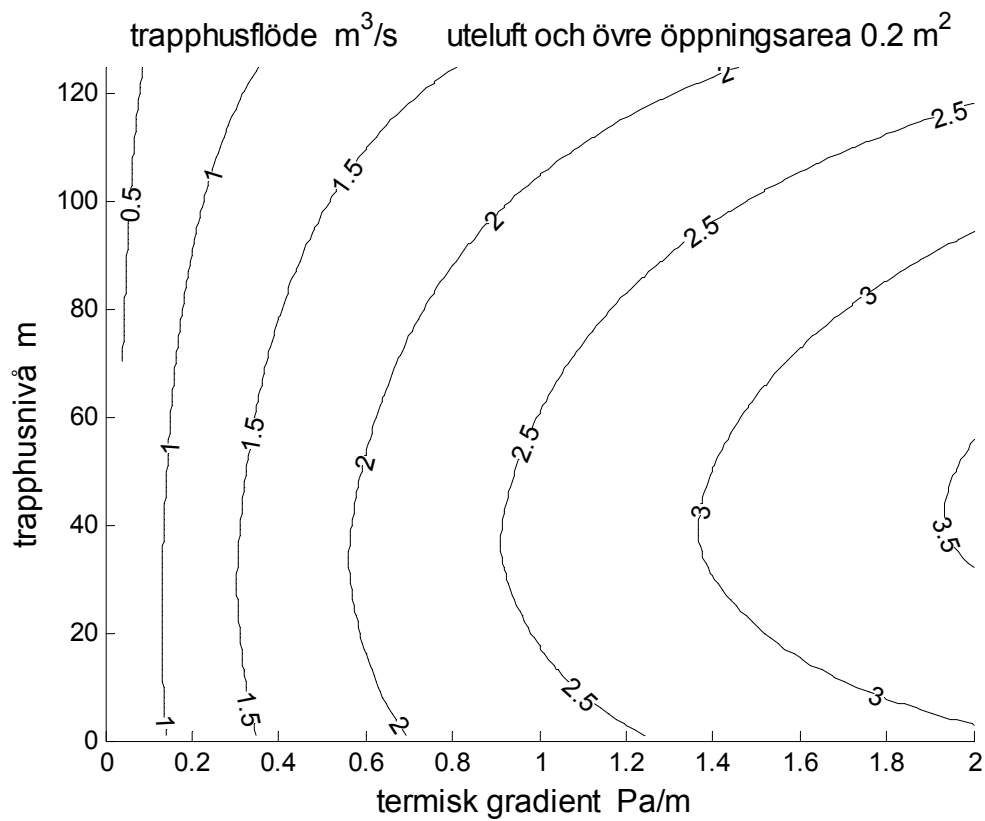
Trapphusflödet avtar genomgående med trapphushöjden och med termisk gradient. Både inläckage och uppvärmning av trapphusluft skapar ökande trapphusflöde.



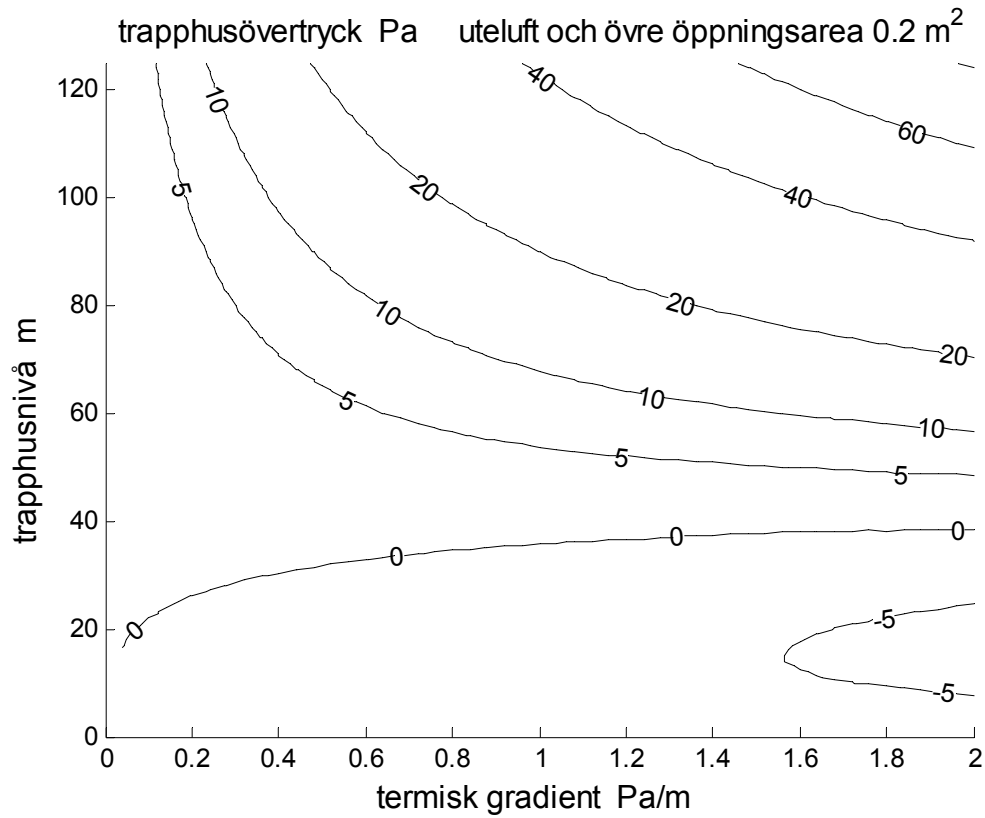
Figur 4.11 Spridningsandel som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



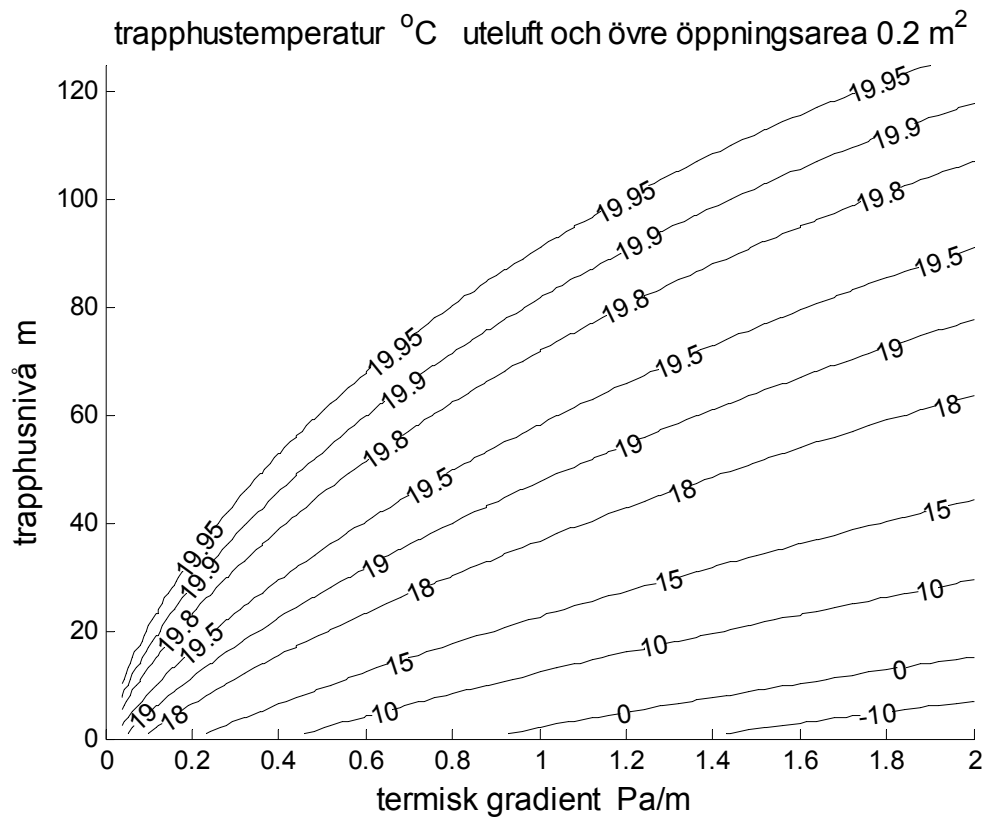
Figur 4.12 Inläckageflöde som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



Figur 4.13 Trapphusflöde som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



Figur 4.14 Trapphustryck som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



Figur 4.15 Trapphuslufttemperatur som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.

## Övre öppning 0.5 m<sup>2</sup> och uteluft

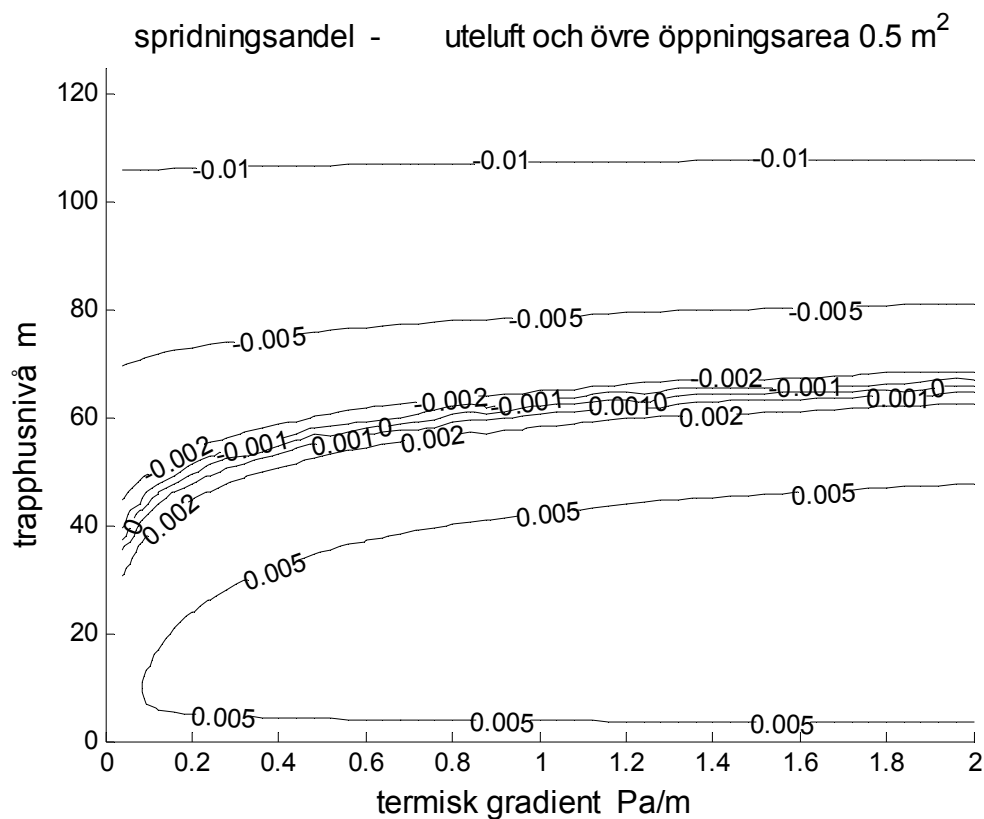
Spridningsandel, inläckageflöde m<sup>3</sup>/sm, trapphusflöde m<sup>3</sup>/s, trapphustryck och trapphuslufttemperatur redovisas i Figur 4.16-20 i isodiagram som funktion av termisk gradient som x-axel och trapphusnivå som y-axel.

Den större öppningen än tidigare medför ett större genomflöde, kallare trapphusluft och mer undertryck och mer inläckage. Trapphusövertrycket högst upp har minskat betydligt jämfört med det tidigare fallet i Figur 4.14 beroende på den större genomströmningen. Den övre öppningen är onödigt stor.

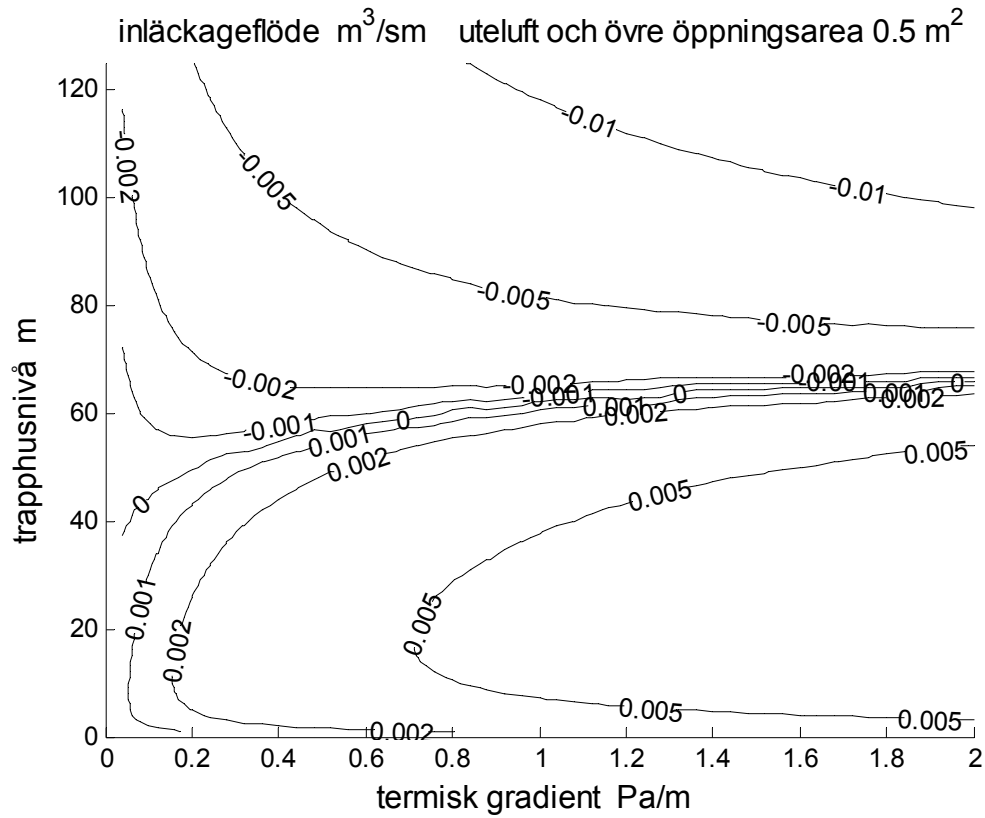
Spridningsandelen är positiv för trapphushöjder lägre än 60 m och säkert mindre än 0.01.

Gränsen mellan övertryck och undertryck visar var det finns risk för brandgasspridning till trapphuset.

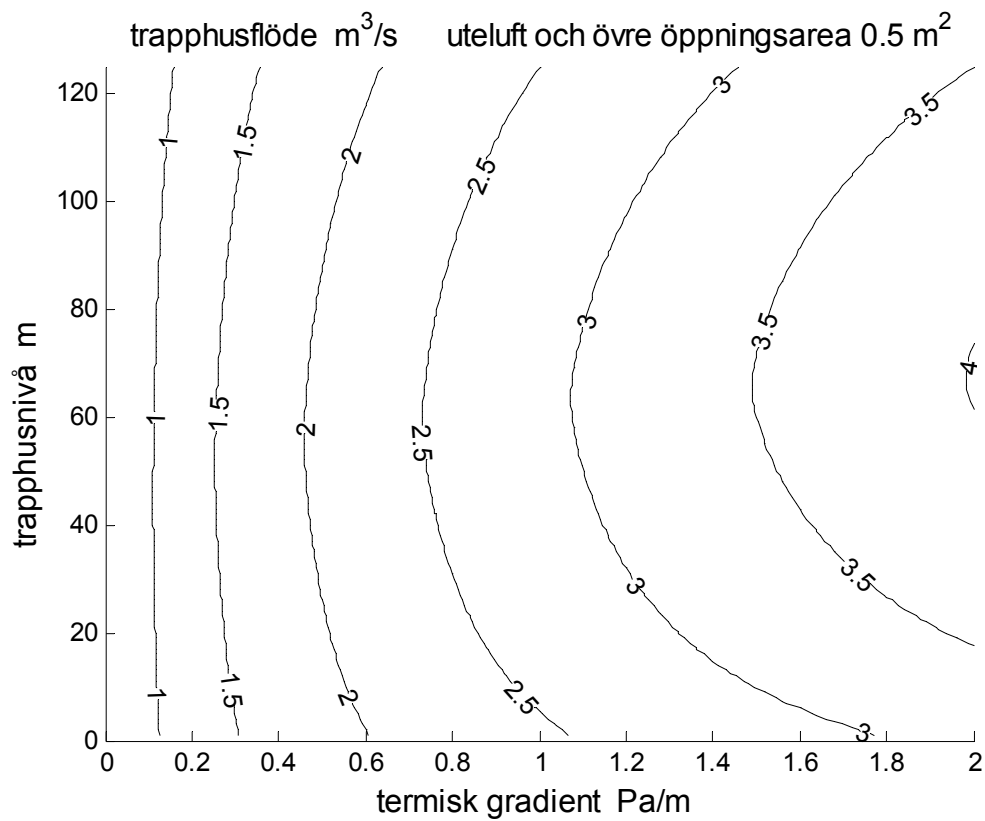
Trapphusflödet avtar genomgående med trapphushöjden och med termisk gradient. Både inläckage och uppvärmning av trapphusluft skapar ökande trapphusflöde.



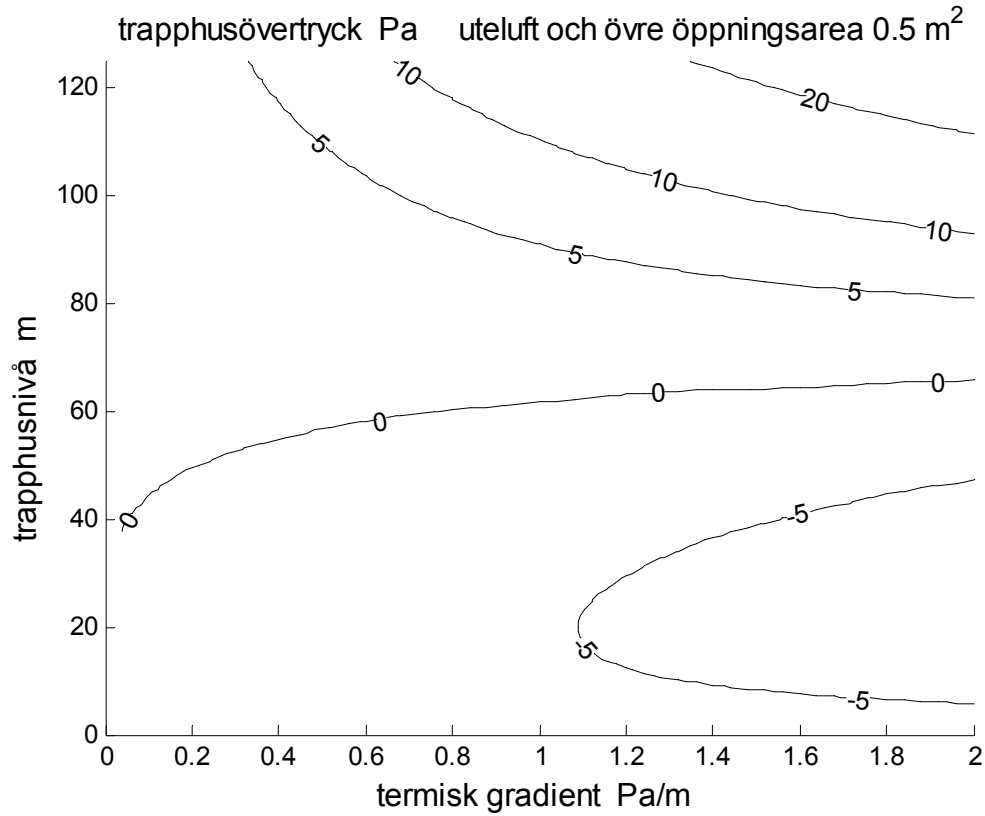
Figur 4.16 Spridningsandel som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



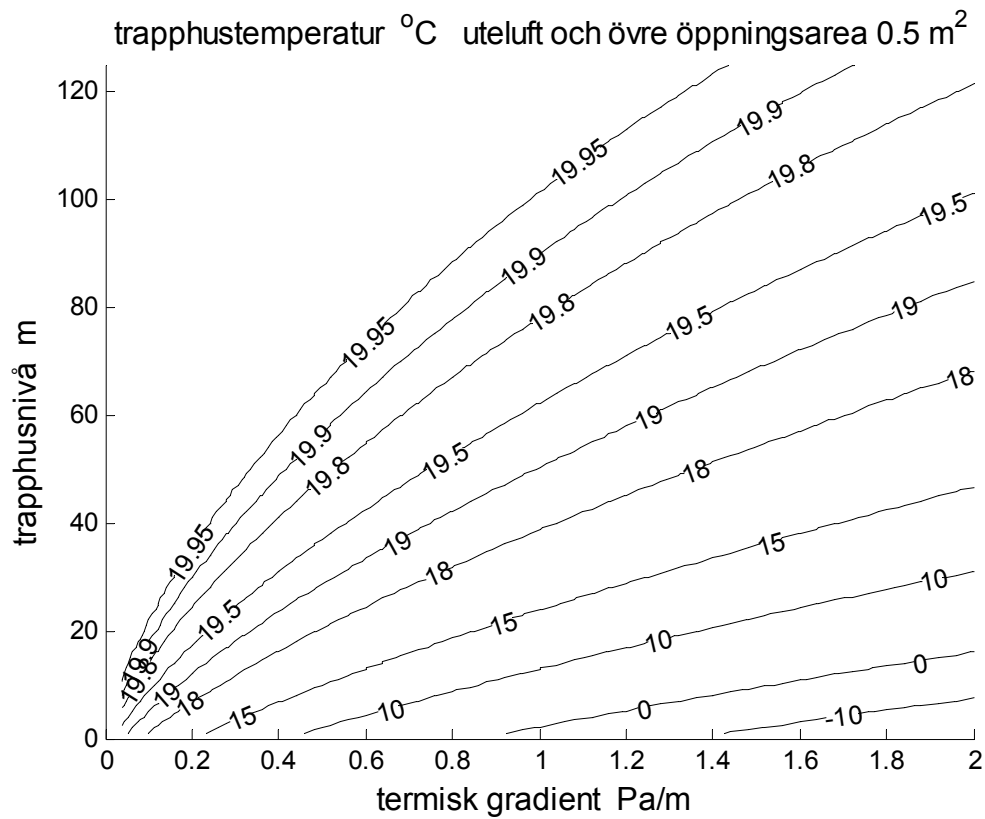
Figur 4.17 Inläckageflöde som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



Figur 4.18 Trapphusflöde som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



Figur 4.19 Trapphustryck som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



Figur 4.20 Trapphuslufttemperatur som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.

## Kommentarer

Spridningsandelen är för de fyra fallen mindre än 0.005 för obetydlig övre öppning 0.01 m<sup>2</sup> och mindre än 0.01 för de övriga tre med större övre öppningar. Det skall dock påpekas att isolinjerna ger en grov bild, eftersom närliggande siffervärden är 0.002, 0.005, 0.01 och 0.02.

Trapphusflödet eller genomströmningen ökar givetvis med ökande övre öppningsarea.

Undertrycket i trapphuset omfattar för ökande övre öppningsareor och därmed ökande genomströmning ökande delar av trapphuset.

Övertrycket i trapphuset överst avtar med ökande övre öppningsarea.

Sammanfattningsvis en öppningsarea på 0.2 m<sup>2</sup> ger rimliga övertryck.

En viktig anmärkning är att något direkt brandtryck inte finns och att temperaturen är den normala för samtliga våningsplan.

Ett brandutsatt och tryckavlastat våningsplan kan ha ett mindre övertryck överst och ett mindre undertryck nederst med ett neutrallager någonstans däremellan. Vad detta innebär för en trapphusdörr med höjden 2 m kan skattas som följer. Antag att neutrallagret ligger 1 m över golv och att hela brandplanet har samma temperatur 313 °C. Detta ger ett övertryck på 6 Pa överst och ett lika stort undertryck nederst. Brandtemperaturen 606 °C ger trycken 8 Pa överst respektive -8 Pa nederst. Det varierande trycket på dörrens brandsida ger ett mindre läckage än om variationen försummas. Skillnaden är dock inte stor och störst skillnad fås för en varierande tryckskillnad från 0 till  $2\Delta p$  jämfört med en medeltryckskillnad på  $\Delta p$ , vilket ger ett flödesförhållande på 0.943.

## 5 Spridningsandel vid uppvärmning

Uteluften som ersättningsluft i avsnitt 4 visade på betydligt undertryck i trapphusets nedre del. Något undertryck uppstod inte när inneluft användes som ersättningsluft.

I detta avsnitt undersöks hur undertrycket med mera påverkas genom att uteluften, ersättningsluften, förvärms  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  oberoende av utetemperaturen. Detta motsvarar en effekt på 12 kW för ett flöde om  $1\text{ m}^3/\text{s}$ . Det förkommer högre flöden och för  $2.5\text{ m}^3/\text{s}$  blir effekten 30 kW.

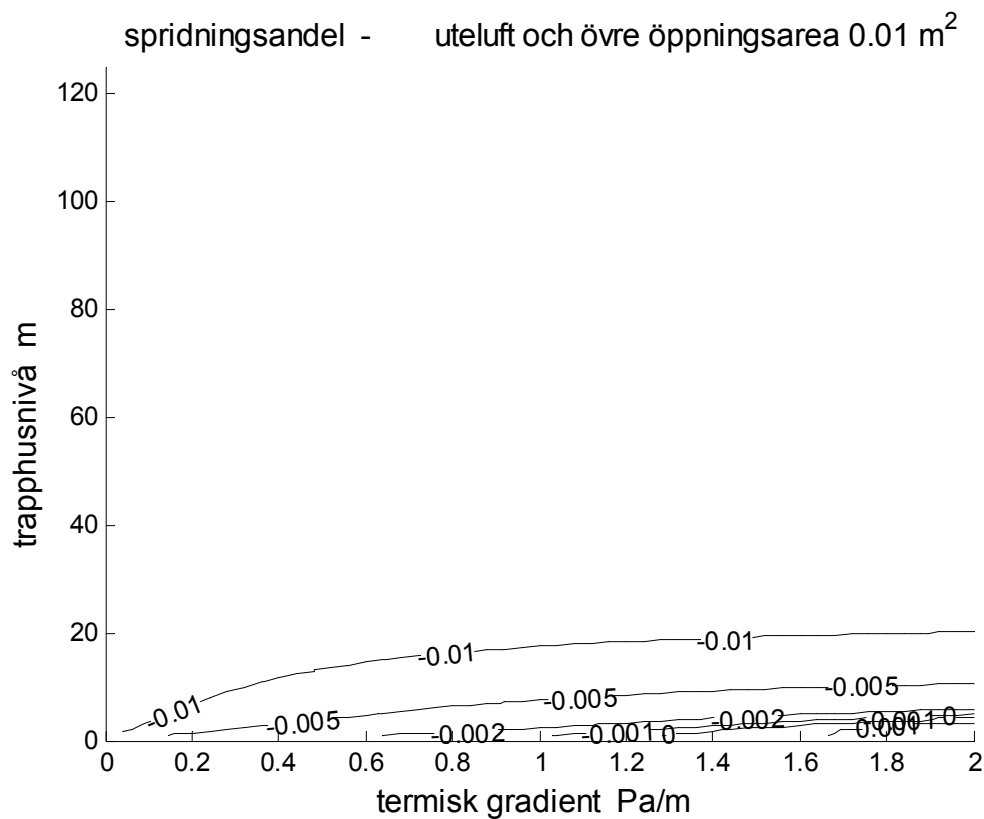
Samma fall som i avsnitt 4 behandlas här på samma sätt med den enda skillnaden att uteluften förvärms  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ersättningsluften kommer att vara varmare än den normala trapphustemperaturen på  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  när utetemperaturen är högre än  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , vilket motsvarar en termisk tryckgradient på  $0.5\text{ Pa/m}$ .



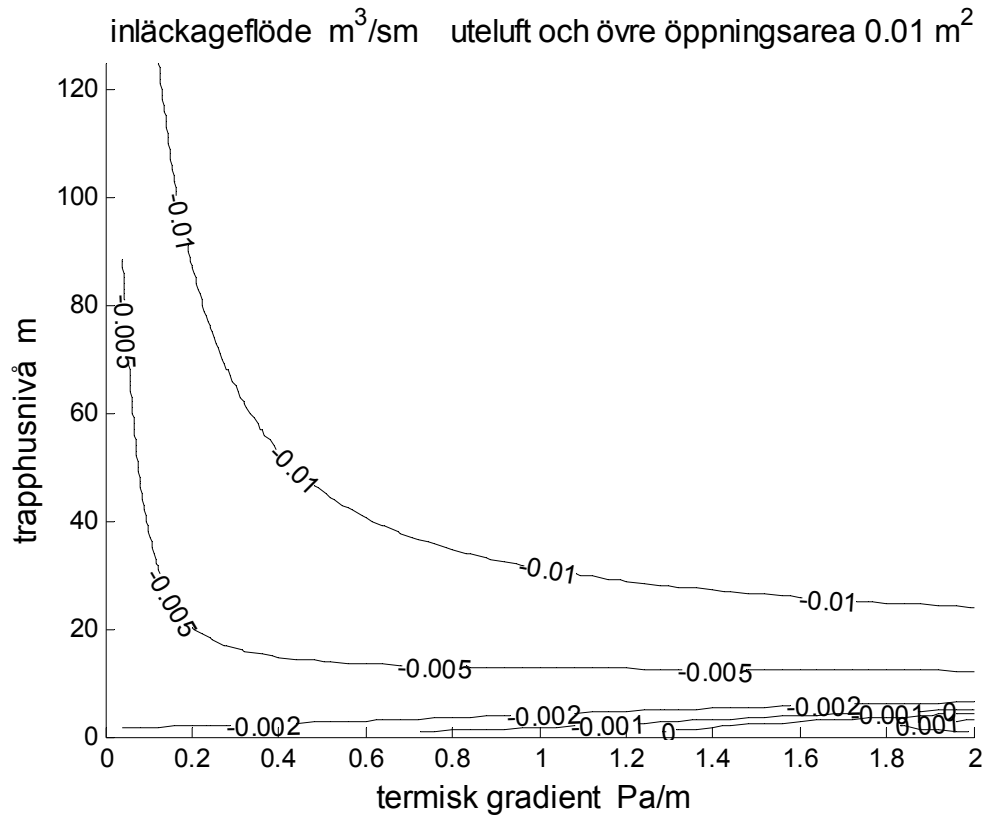
## Övre öppning 0.01 m<sup>2</sup> och förvärmad uteluft

Spridningsandel, inläckageflöde m<sup>3</sup>/sm, trapphusflöde m<sup>3</sup>/s, trapphustryck och trapphuslufttemperatur redovisas i Figur 5.1-5 i isodiagram som funktion av termisk gradient som x-axel och trapphusnivå som y-axel.

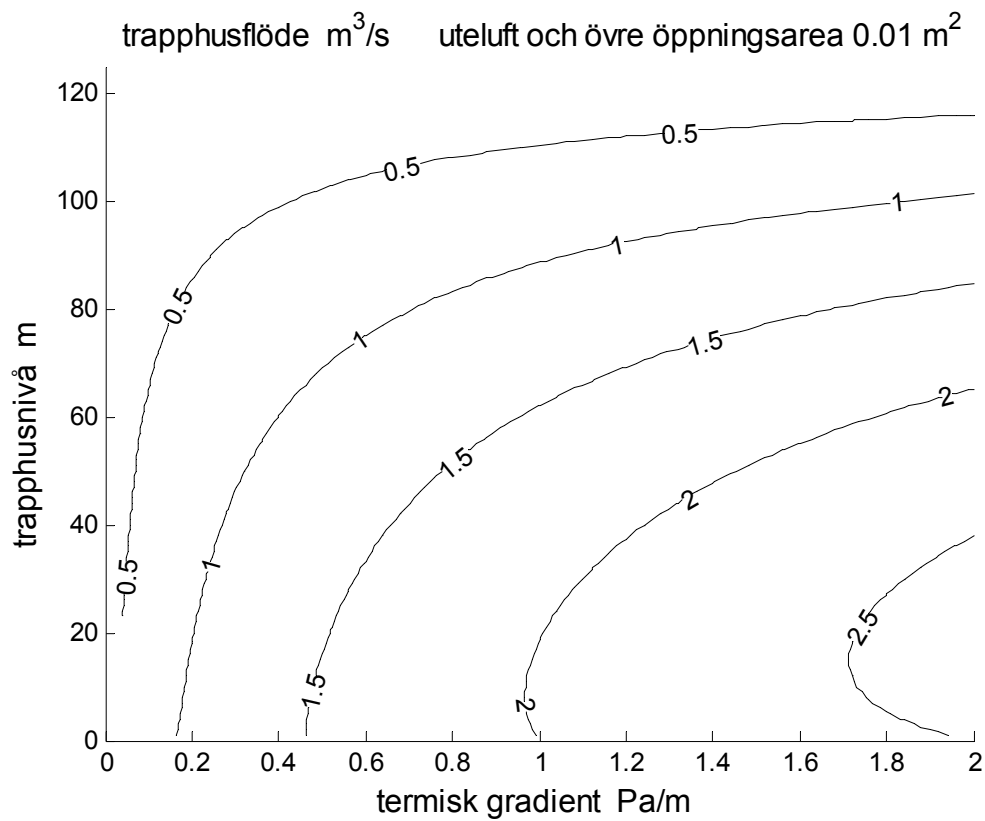
Spridningsandelen är positiv för trapphushöjder lägre än 5 m och mindre än 0.002, vilket är en förbättring mot fallet utan förvärmning i avsnitt 4.



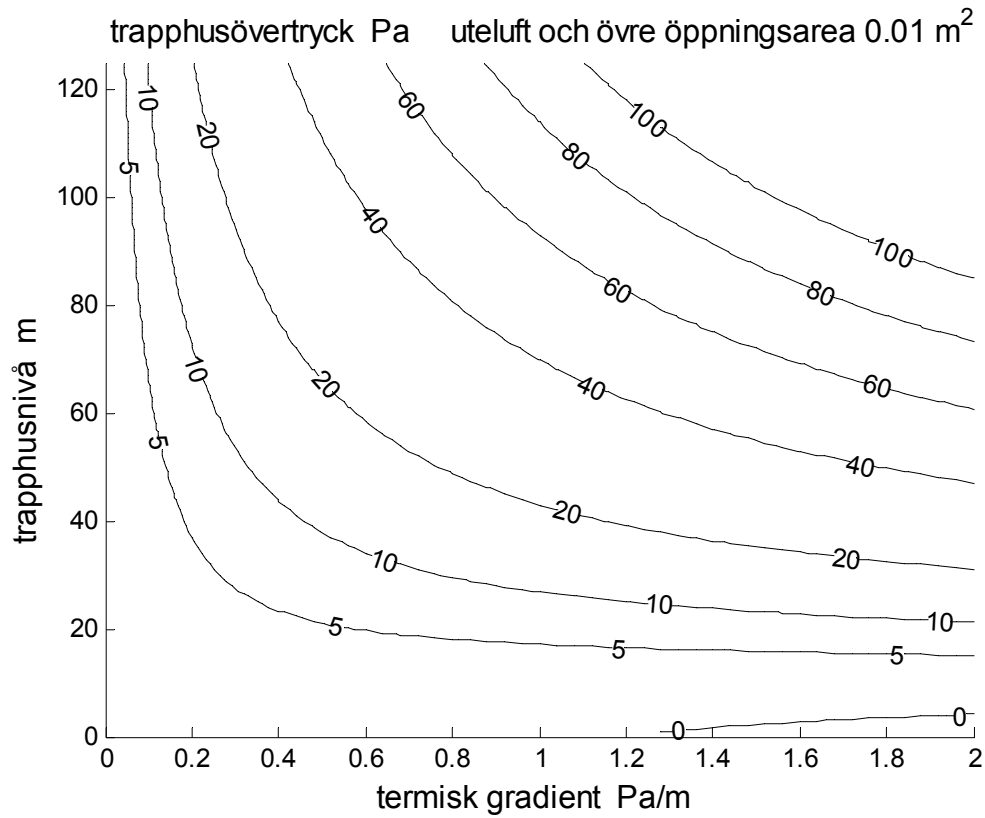
Figur 5.1 Spridningsandel som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



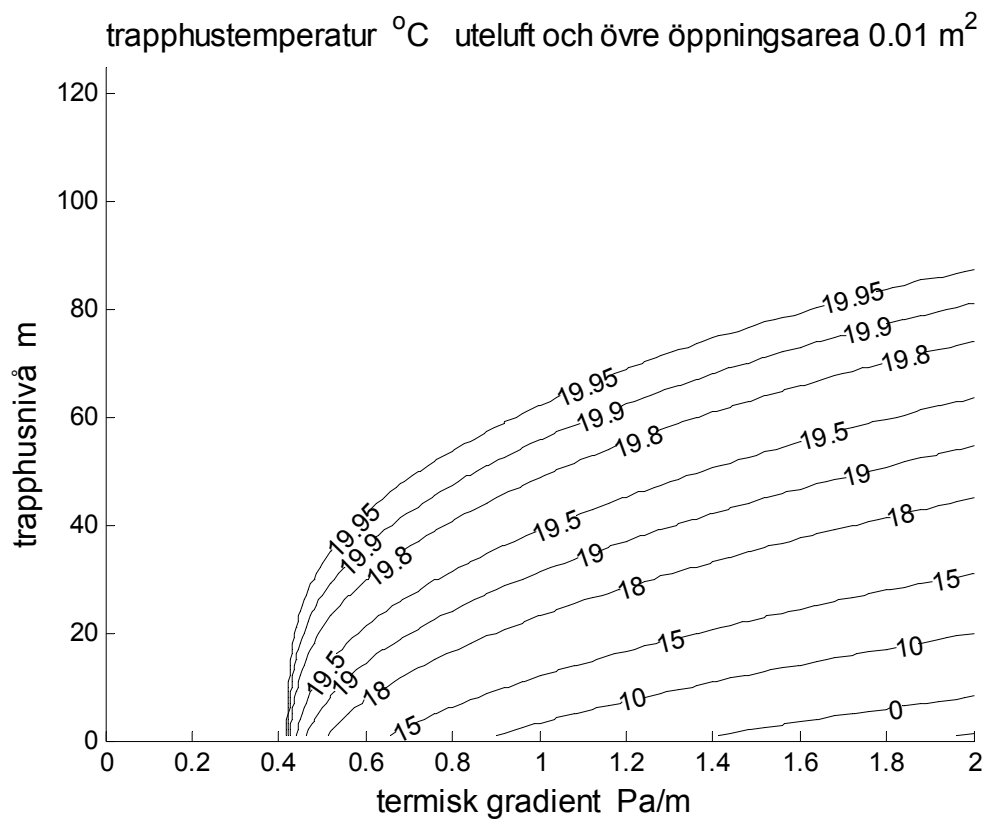
Figur 5.2 Inläckageflöde som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



Figur 5.3 Trapphusflöde som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



Figur 5.4 Trapphustryck som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.

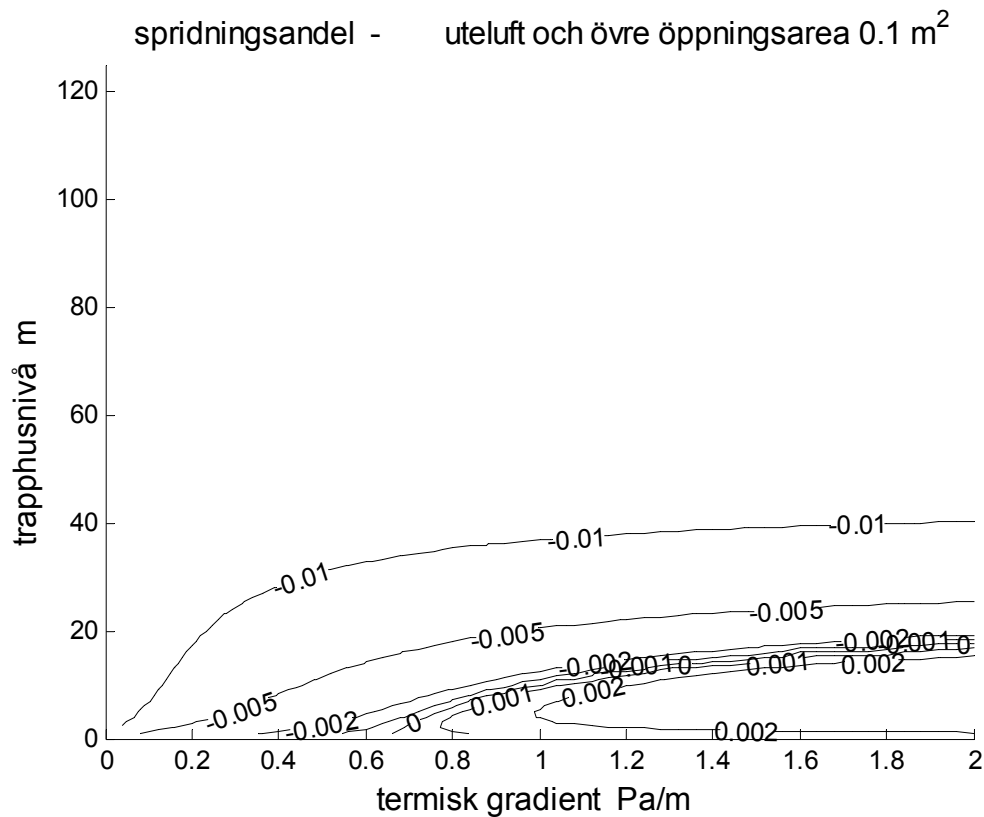


Figur 5.5 Trapphuslufttemperatur som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.

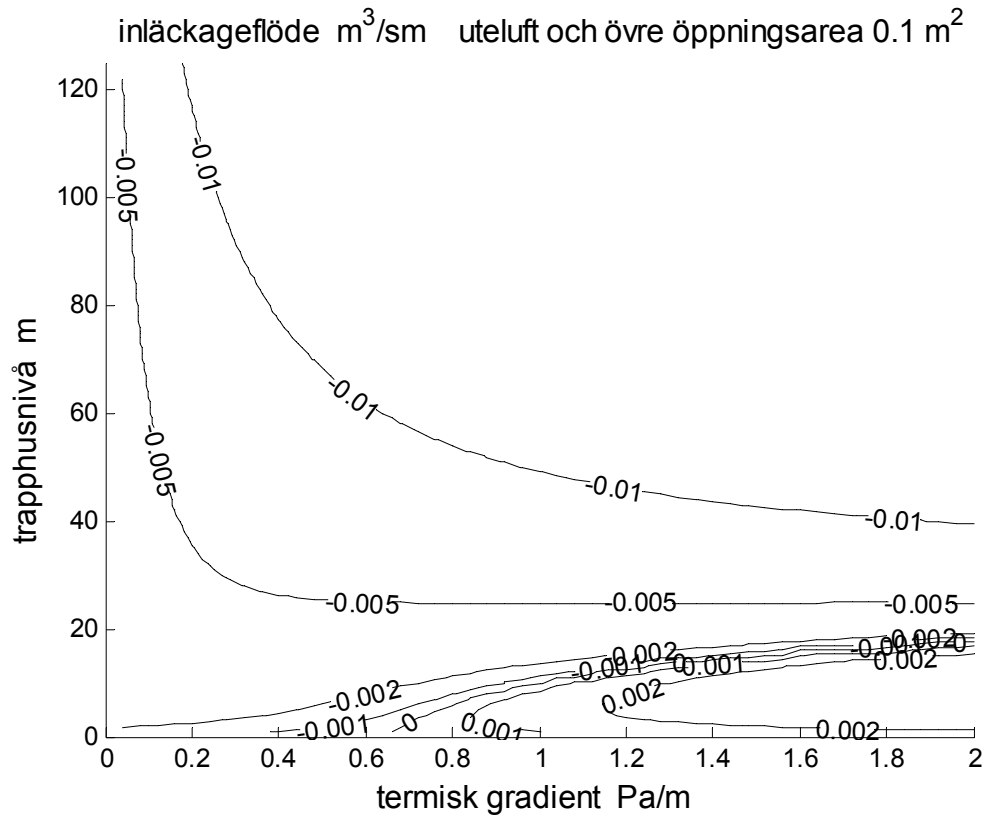
## Övre öppning 0.1 m<sup>2</sup> och förvärmad uteluft

Spridningsandel, inläckageflöde m<sup>3</sup>/sm, trapphusflöde m<sup>3</sup>/s, trapphustryck och trapphuslufttemperatur redovisas i Figur 5.6-10 i isodiagram som funktion av termisk gradient som x-axel och trapphusnivå som y-axel.

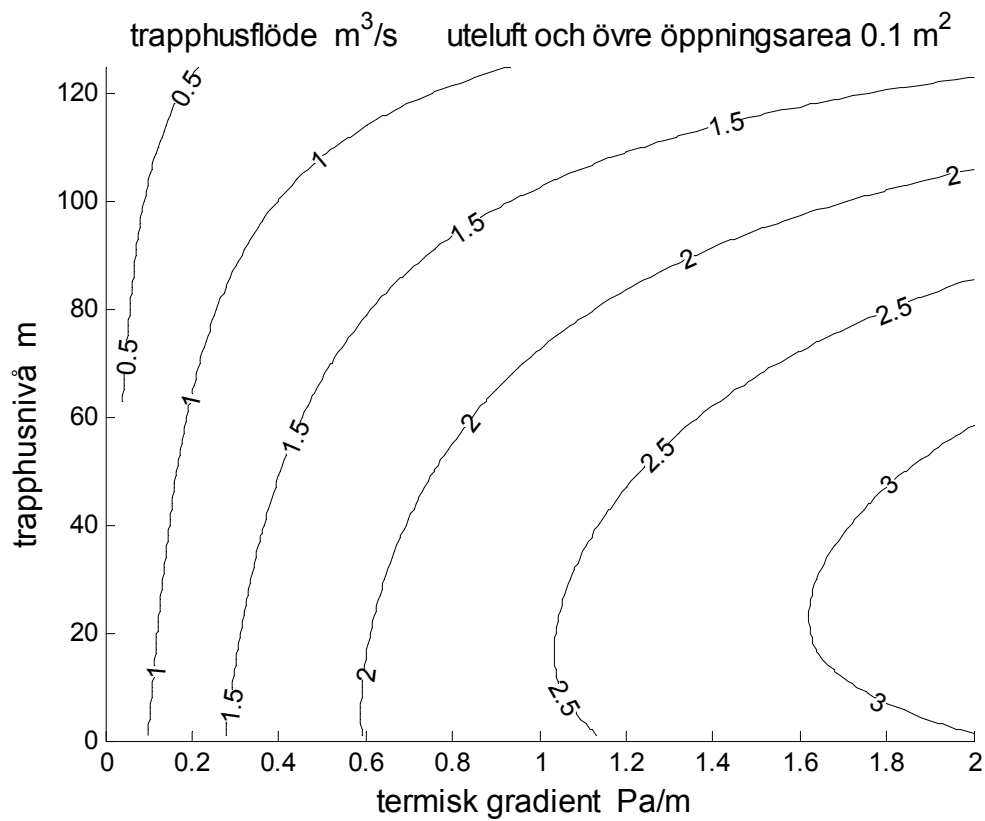
Spridningsandelen är positiv för trapphushöjder lägre än 20 m och mindre än 0.005, vilket är en förbättring mot fallet utan förvärmning i avsnitt 4. Något undertrycket finns inte för högre utetemperaturer, eftersom förvärmningen medför att ersättningsluften blir varmare än innetemperaturen.



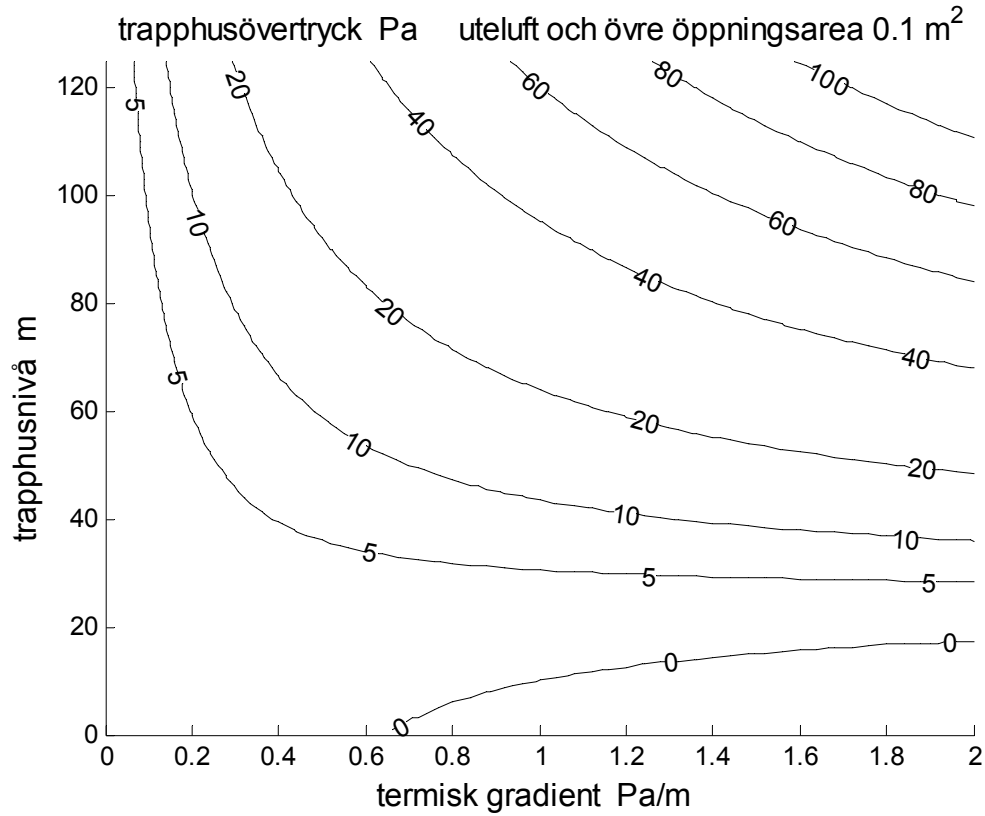
Figur 5.6 Spridningsandel som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



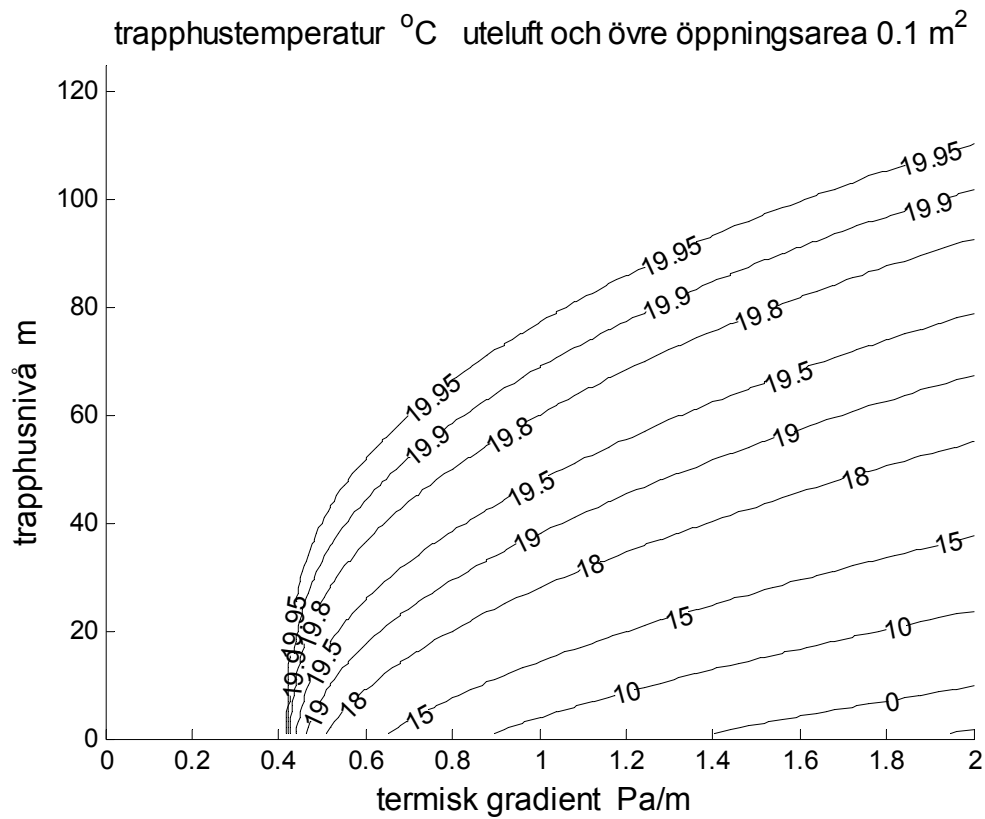
Figur 5.7 Inläckageflöde som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



Figur 5.8 Trapphusflöde som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



Figur 5.9 Trapphustryck som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.

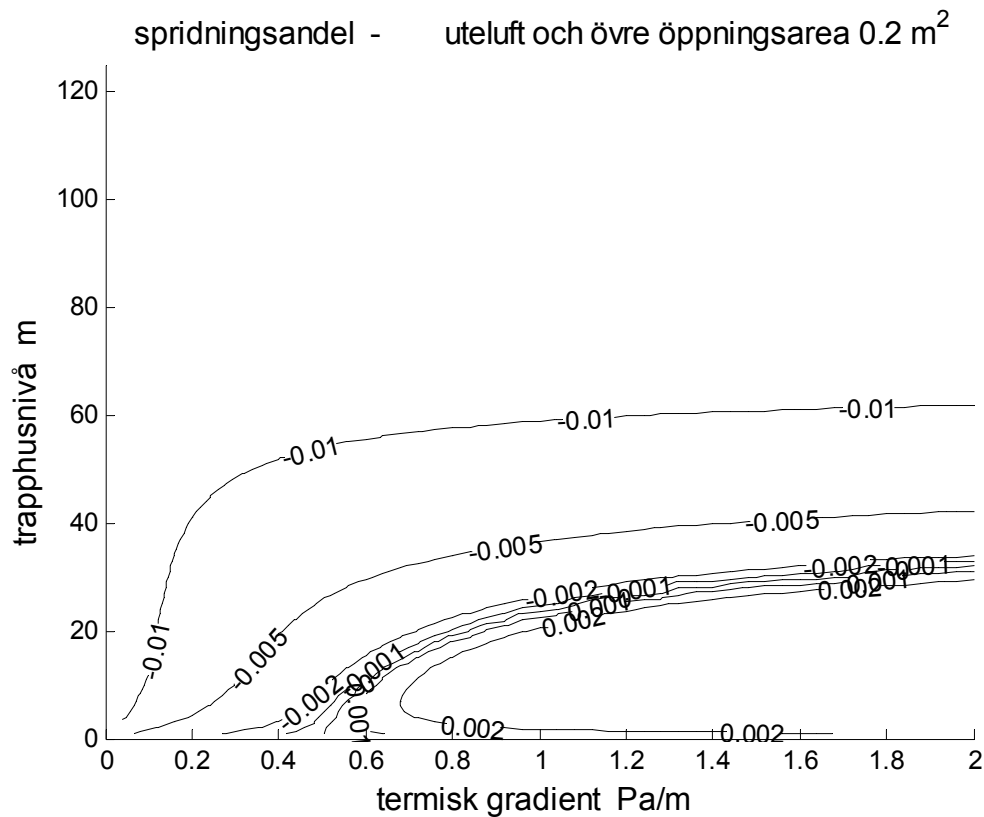


Figur 5.10 Trapphuslufttemperatur som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.

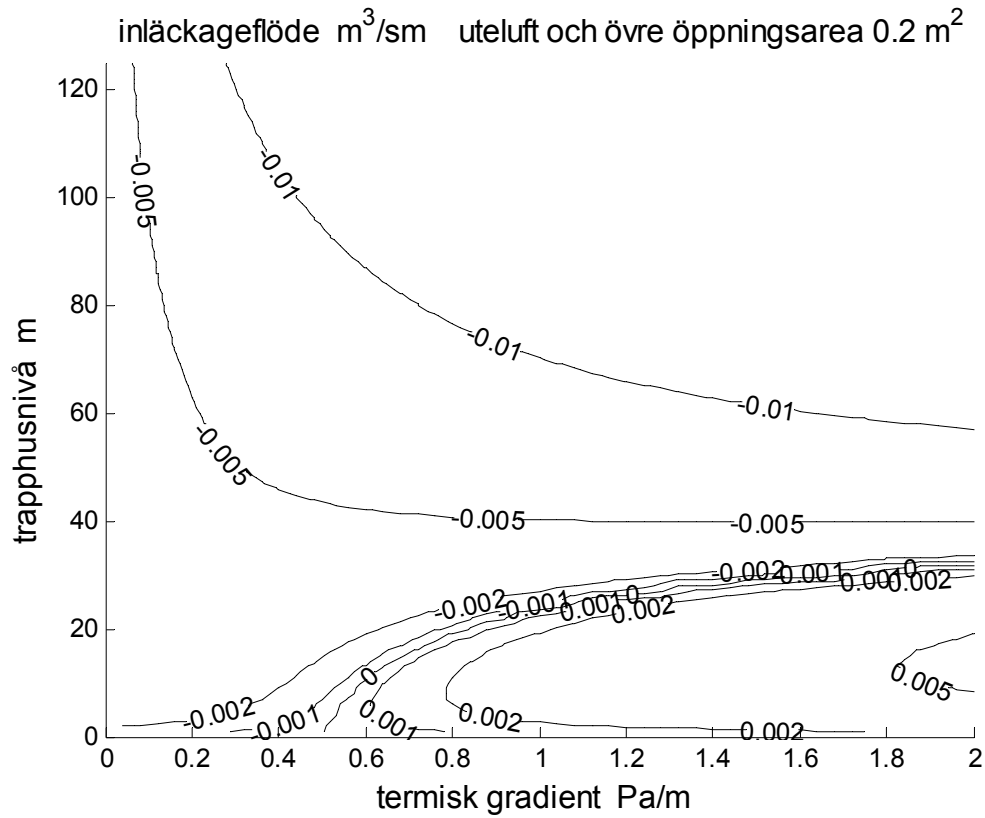
## Övre öppning 0.2 m<sup>2</sup> och förvärmad uteluft

Spridningsandel, inläckageflöde m<sup>3</sup>/sm, trapphusflöde m<sup>3</sup>/s, trapphustryck och trapphuslufttemperatur redovisas i Figur 5.11-15 i isodiagram som funktion av termisk gradient som x-axel och trapphusnivå som y-axel.

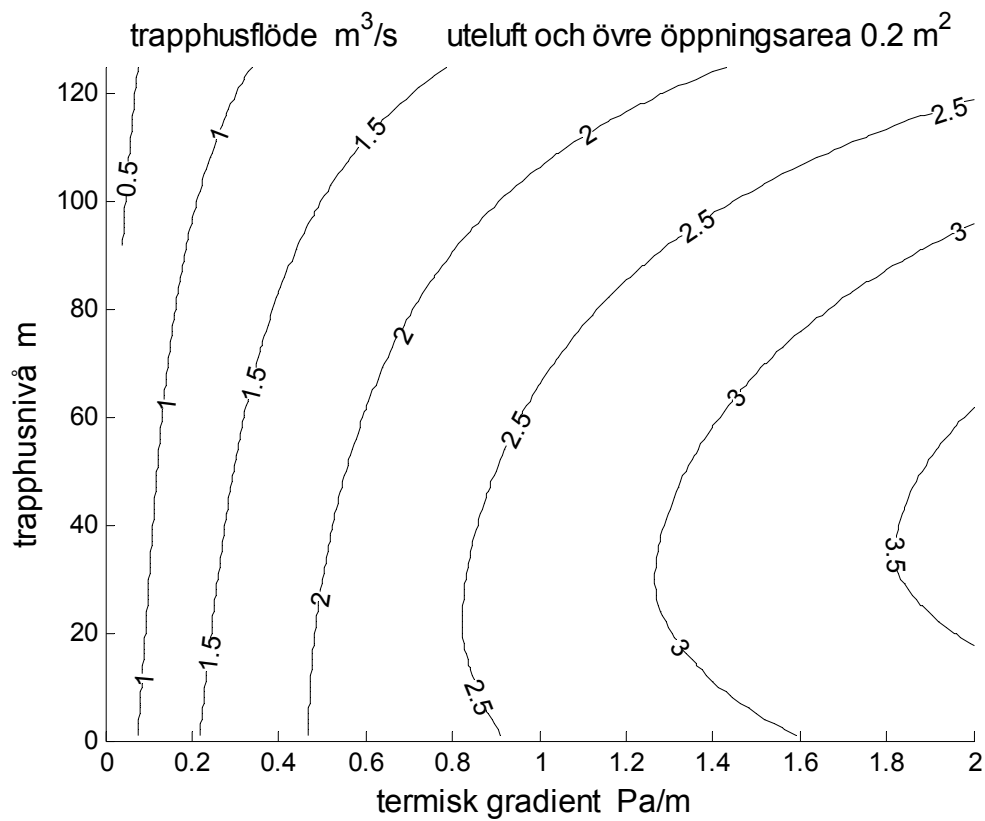
Spridningsandelen är positiv för trapphushöjder lägre än 30 m och mindre än 0.005, vilket är en förbättring mot fallet utan förvärmning i avsnitt 4. Något undertrycket finns inte för högre utetemperaturer, eftersom förvärmningen medför att ersättningsluften blir varmare än innetemperaturen.



Figur 5.11 Spridningsandel som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.

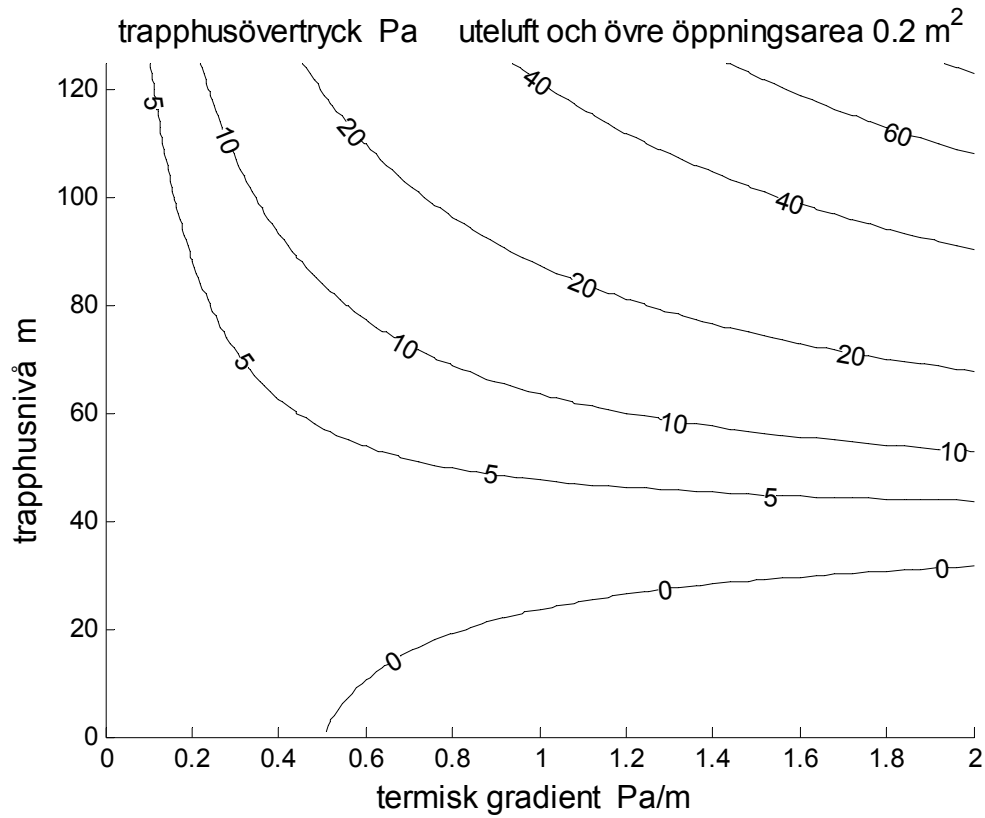


Figur 5.12 Inläckageflöde som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.

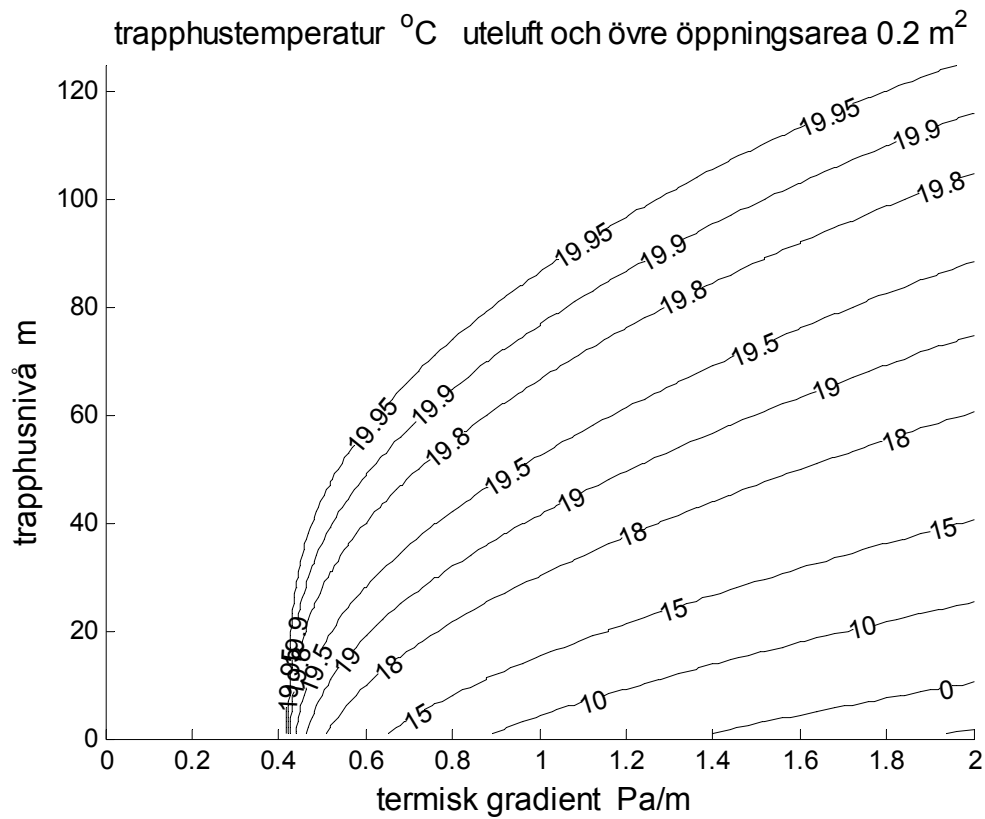


Figur 5.13 Trapphusflöde som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.





Figur 5.14 Trapphustryck som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.

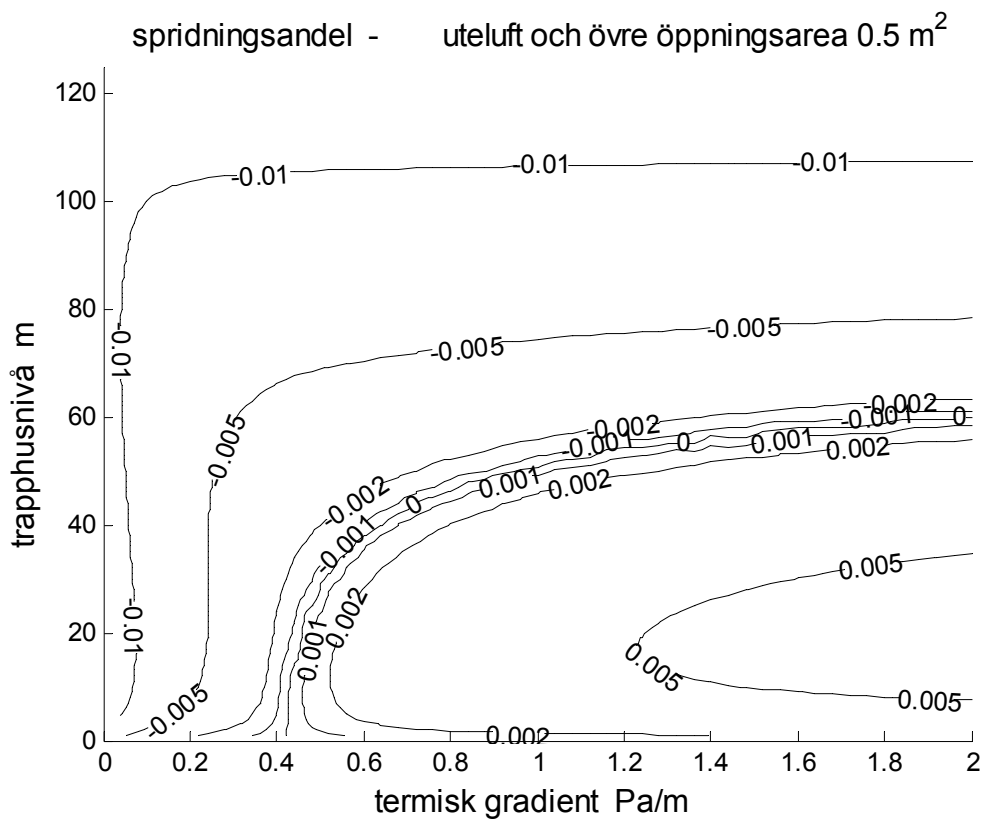


Figur 5.15 Trapphuslufttemperatur som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.

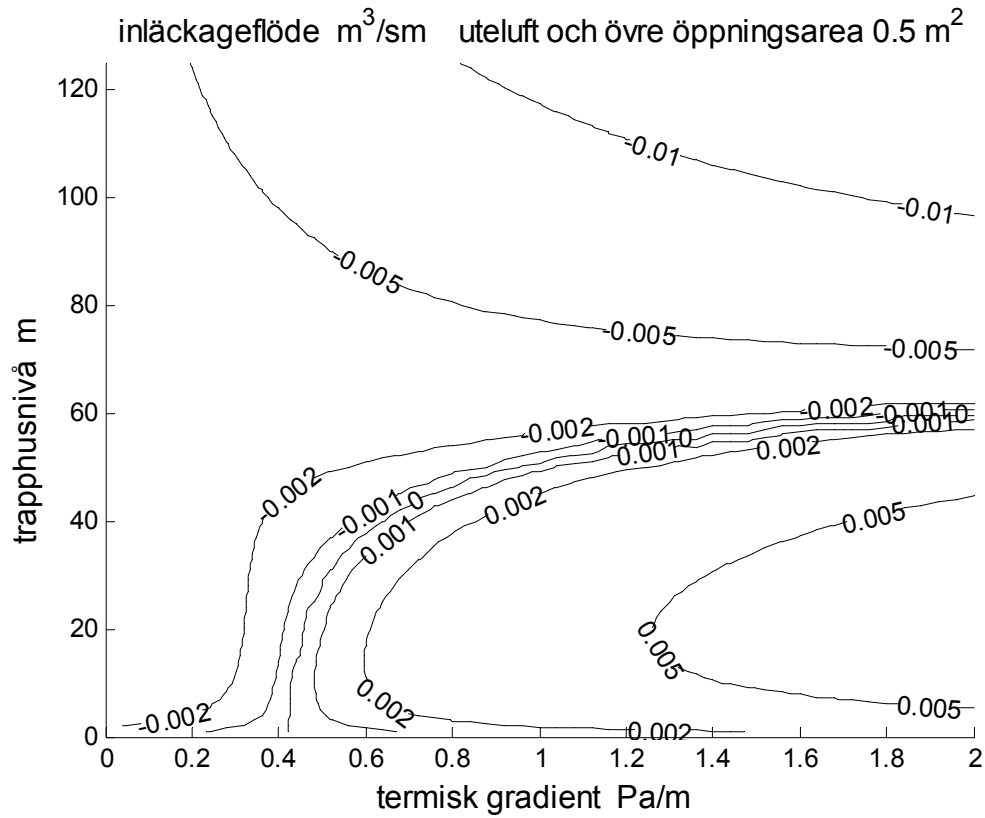
## Övre öppning 0.5 m<sup>2</sup> och förvärmad uteluft

Spridningsandel, inläckageflöde m<sup>3</sup>/sm, trapphusflöde m<sup>3</sup>/s, trapphustryck och trapphuslufttemperatur redovisas i Figur 5.16-20 i isodiagram som funktion av termisk gradient som x-axel och trapphusnivå som y-axel.

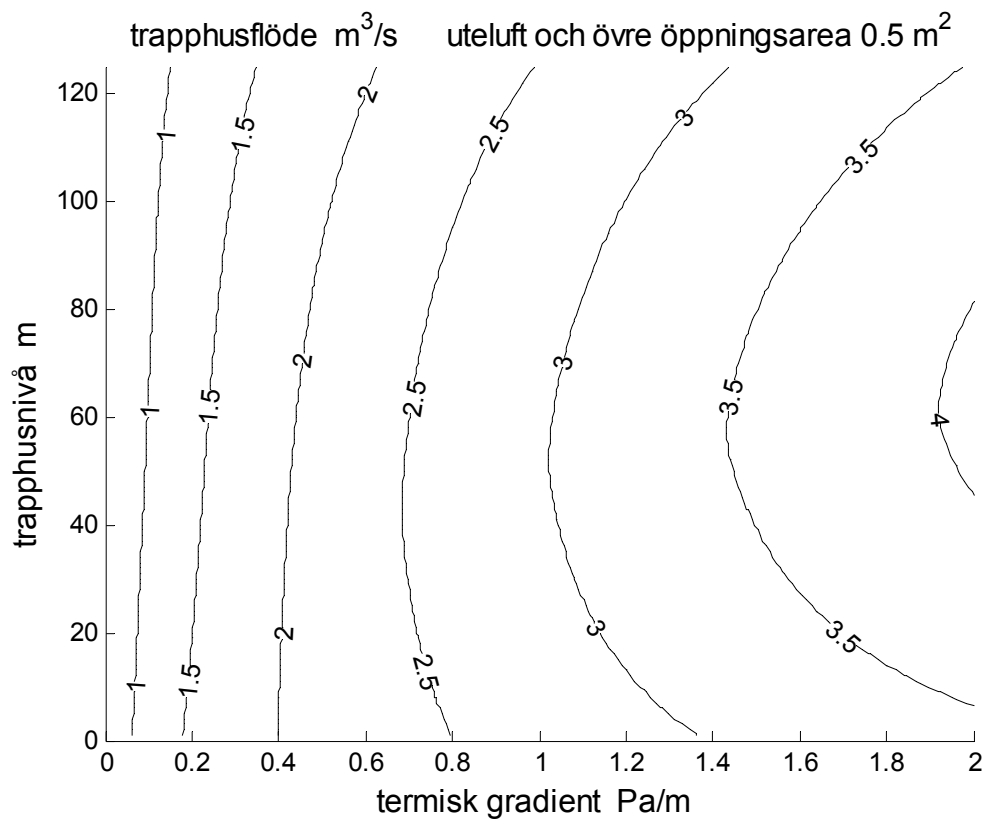
Spridningsandelen är positiv för trapphushöjder lägre än 60 m och klart mindre än 0.010, vilket är en förbättring mot fallet utan förvärmning i avsnitt 4. Något undertrycket finns inte för högre utetemperaturer, eftersom förvärmningen medför att ersättningsluften blir varmare än innetemperaturen.



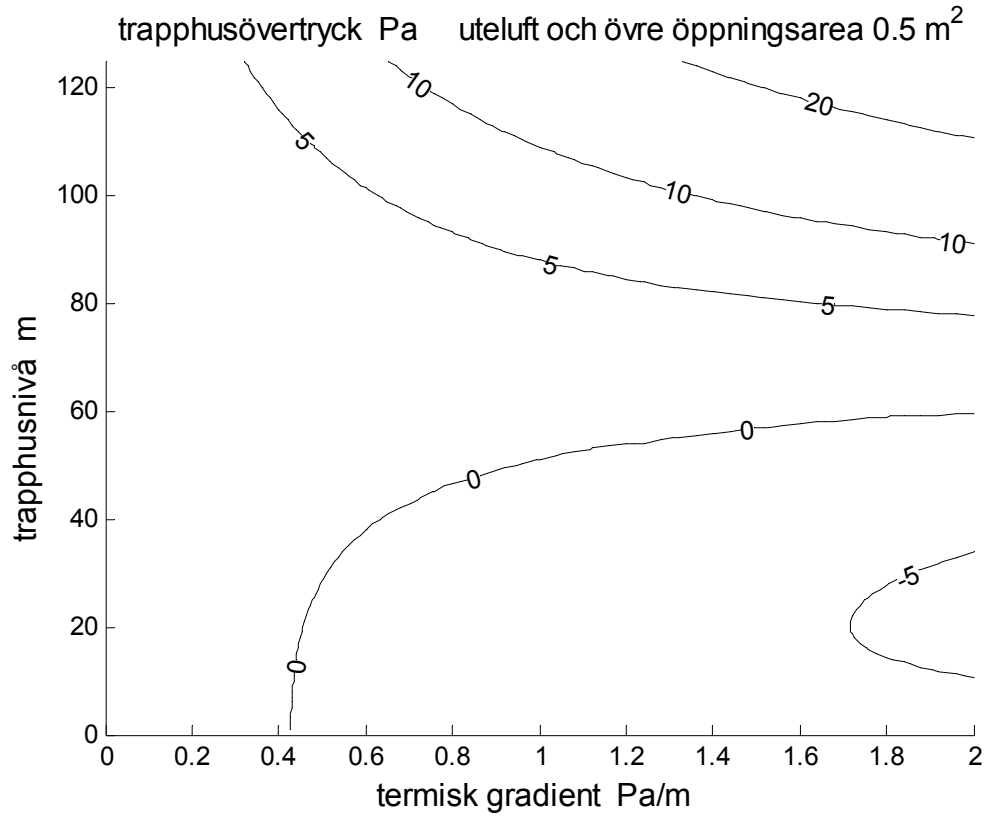
Figur 5.16 Spridningsandel som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



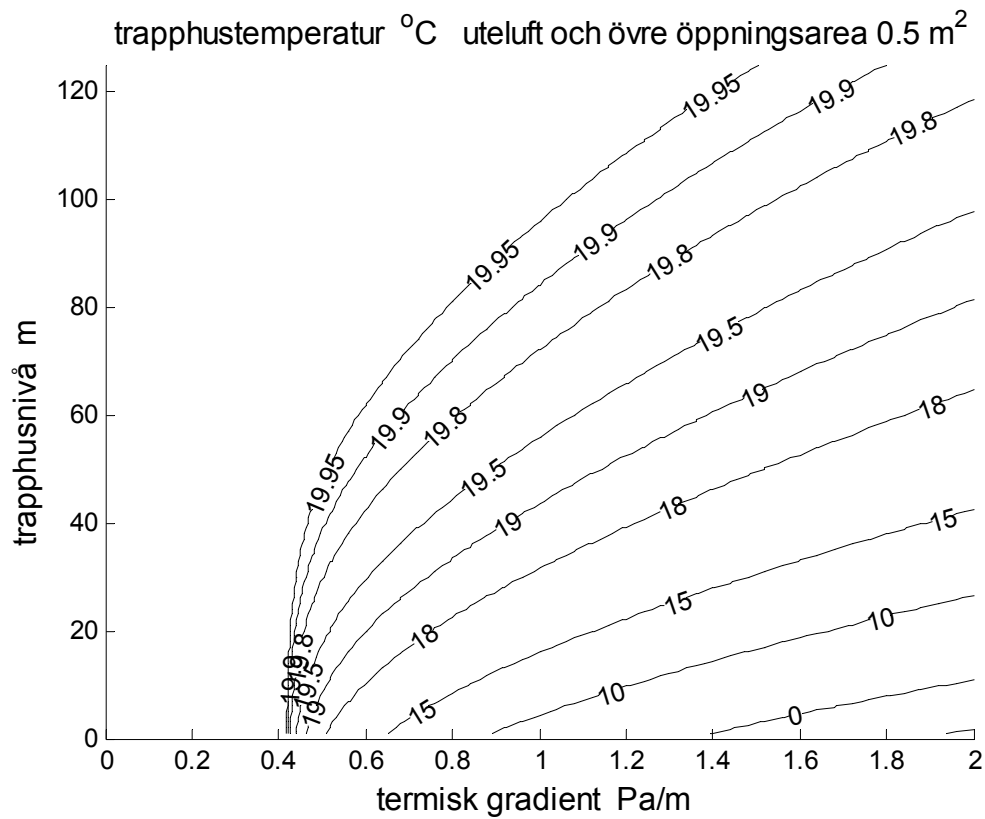
Figur 5.17 Inläckageflöde som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



Figur 5.18 Trapphusflöde som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



Figur 5.19 Trapphustryck som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.



Figur 5.20 Trapphuslufttemperatur som funktion av termisk gradient och trapphusnivå.

## Kommentarer

Spridningsandelen är de fyra fallen mindre än 0.002, 0.005, 0.005 och 0.01, vilket är mindre än mindre än för fallet utan förvärmning av ersättningsluften. Det skall dock påpekas att isolinjerna ger en grov bild, eftersom närliggande siffervärden är 0.002, 0.005, 0.01 och 0.02.

Trapphusflödet eller genomströmningen ökar givetvis med förvärmning och ökande övre öppningsarea.

Undertrycket i trapphuset omfattar för ökande övre öppningsareor och därmed ökande genomströmning ökande delar av trapphuset. Det finns inget undertryck i trapphuset för vid utetemperatur över 10 °C eller en termisk tryckgradient lägre än 0.5 Pa/m.

Övertrycket i trapphuset överst avtar med ökande övre öppningsarea.

Sammanfattningsvis förvärmning ger en förbättring med mindre undertryck i trapphuset. En öppningsarea på 0.2 m<sup>2</sup> ger även här rimliga övertryck.

## 6 Trycksättning med luftridå

Syftet med detta avsnitt är att undersöka möjligheterna att använda en luftridå för att trycksätta ett trapphus. En luftridå utgörs av en plan luftstråle. Den stora fördelen med en luftridå vid utrymning är den goda passerbarheten jämför med en trycksluss med två dörrar. Det finns tre frågor som är av intresse och det är följande:

- Vilka tryckskillnader kan en luftridå klara av?
- Vilka flöden kan en luftridå skapa genom öppningen?
- Vilken uppvärmning kan en luftridå klara av?

En luftridå används oftast i en öppning för att skilja uteklimat och inneklimat åt. Temperaturskillnaden mellan inne och ute skapar en termisk vertikal tryckskillnad över öppningen med ett neutrallager på öppningens halva höjd i det ideala fallet. Detta fall medför att luftstrålen böjs av utåt överst och för att efter halva höjden böjas av inåt.

Utan en luftridå i öppningen kommer den kallare uteluften att strömma in genom den nedre halvan av öppningen och den varmare inneluften att strömma in genom den övre halvan av öppningen. Värmeförlusten blir stor och inneklimatet nära öppningen blir dåligt.

De termiska tryckskillnaderna över en dörröppning är små. Den termiska vertikala tryckgradienten är 2 Pa/m vid en innetemperatur på 20 °C och en utetemperatur på -22.55 °C. Tryckskillnaden överst och nederst för en ideal luftridå med öppningshöjden 2 m blir därför 2 Pa respektive -2 Pa med neutrallagret på halva öppningshöjden. Notera att en tryckskillnad på 0.6 Pa över en öppning skapar en lufthastighet på 1 m/s och 2 Pa en hastighet på 1.8 m/s.

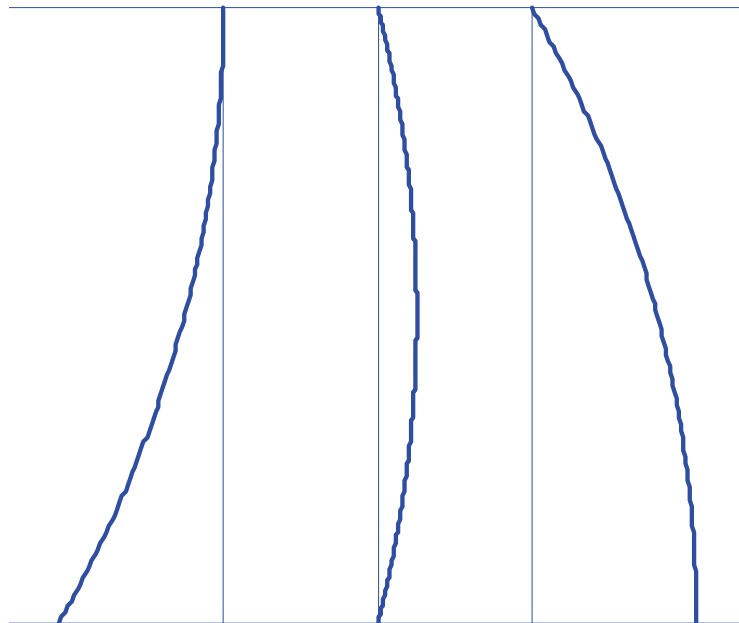
Andra tryckskillnader beroende på vind eller flödesobalans i ventilationssystemet över en luftridå skall normalt undvikas, eftersom detta kräver en kraftigare luftridå.

En luftridå är inte avsedd att skapa luftflöden genom den öppning som luftridån skall blockera. En mindre obalans finns det dock, eftersom luftridåns startflöde tas från ena eller andra sidan om öppningen.

En avgränsning är att i fortsättningen undersöks endast isothermiska fall. Det finns alltså inga temperaturskillnader mellan luften utanför, innanför och i luftridån och därmed är tryckskillnaden den samma över hela öppningen.

Ordet ridå kan uppfattas som något som går upp och ner, men en luftridå kan verka i godtycklig riktning och i fortsättningen används inte begreppen bredd och höjd utan luftridåns tvärmått som den skall täcka. Endast 1 m luftridå behandlas i fortsättningen.

Exempel på hur en luftstråle med olika utloppsvinkel böjs av visas för tre fall i Figur 6.1 med högre tryck till höger. Notera att luftstrålens riktning inte har någon betydelse. Det är ingen skillnad om den kommer uppifrån, nerifrån eller från sidan. Notera att den mittersta luftstrålen eller luftridån i Figur 6.1 böjs av minst, eftersom luftridån riktas mot det högre medeltrycket och kommer därefter att böjas av mot det lägre trycket. Halvvägs ner över öppningen skall luftstrålen vara lodrät i det ideala fallet om den är rätt inställd och når golvet med samma vinkel inåt som luftstrålen startade med utåt.



Figur 6.1 Exempel på tre lika plana luftstrålars avböjning vid konstant tryckskillnad.

## Luftridåns kraftbalans

Luftstrålens impuls antas vara konstant och detta stämmer väl för isotermiska luftstrålar. För en liten del av luftstrålen gäller följande kraftbalans, vilket ger ett samband mellan strömningsvinkel  $\alpha$ , dess ändring  $d\alpha$ , tryckskillnaden  $\Delta p$  och luftstrålens impuls  $J$ :

$$J \cos(\alpha) d\alpha = \Delta p dz \quad (\text{N/m}) \quad (6.1)$$

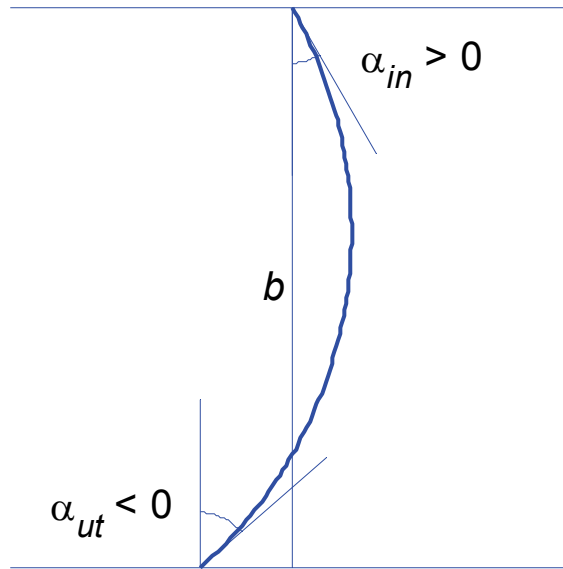
Sambandet (6.1) kan integreras och ger ett dimensioneringskrav för en luftridå, som skall balansera tryckskillnaden  $\Delta p$  över öppningen. Detta ger följande samband för 1 m luftridå:

$$J \sin(\alpha_{in}) - J \sin(\alpha_{ut}) = b \Delta p \quad (\text{N/m}) \quad (6.2)$$

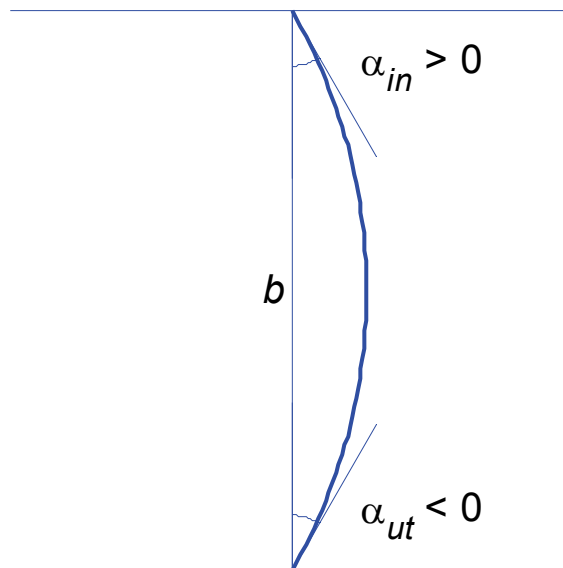
där

$J$	luftridåns impuls, N/m
$\alpha_{in}$	luftridåns startvinkel, -
$\alpha_{ut}$	luftridåns slutvinkel, -
$b$	luftridåns tvärmått, m
$\Delta p$	konstant tryckskillnad, Pa

Tre luftridåer med samma startvinkel  $\alpha_{in}$  och olika slutvinklar  $\alpha_{ut}$  redovisas i Figur 6.2-4 för ett asymmetriskt fall, ett symmetriskt fall och ett halvsymmetriskt fall. Notera att slutvinkeln  $\alpha_{ut}$  är negativ i Figur 6.2 och 6.3.

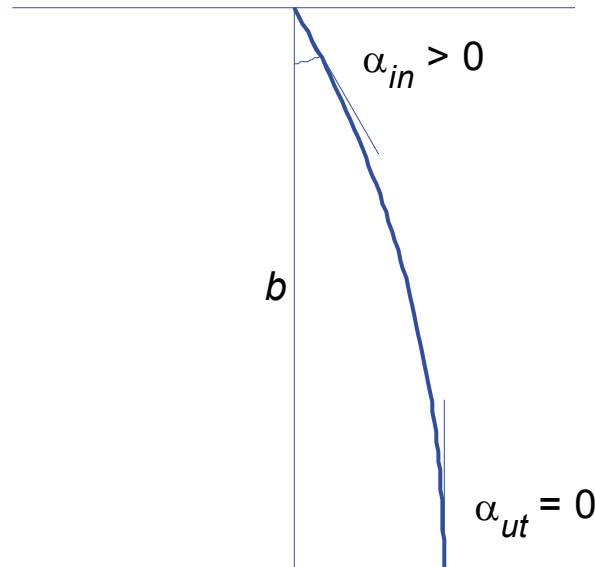


Figur 6.2 Asymmetrisk luftridås geometri med startvinkel  $30^\circ$  och slutvinkel  $-48.6^\circ$ .



Figur 6.3 Symmetrisk luftridås geometri med startvinkel  $30^\circ$  och slutvinkel  $-30^\circ$ .





Figur 6.4 Halvsymmetrisk luftridås geometri med startvinkel 30° och slutvinkel 0°.

För den symmetriska luftridån gäller att vinklarna är lika  $\alpha_{in} = -\alpha_{ut} = \alpha$  bortsett från tecknet. Detta ger ett enklare samband.

$$2 J \sin(\alpha) = b \Delta p \quad (\text{N/m}) \quad (6.3)$$

En lämplig vinkel för det symmetriska fallet är 30 °, vilket ger ett ännu enklare samband enligt (6.4). Den övre teoretiska gränsen fås för vinkeln 90 °, vilket fördubblar luftridåns trycktåligheter enligt (6.5). Detta fall är inte praktiskt användbart.

$$J_{30} = b \Delta p \quad (\text{N/m}) \quad (6.4)$$

$$J_{90} = b \Delta p / 2 \quad (\text{N/m}) \quad (6.5)$$

## Luftridåns radie

Luftstrålens bana blir en cirkelbåge om tryckskillnaden är konstant och oberoende av höjden eller bredden. Banans radie  $R$  bestäms av kvoten mellan luftstrålens impuls  $J$  och tryckskillnaden  $\Delta p$ . Sambandet mellan dessa tre storheter är följande:

$$R = J/\Delta p \quad (\text{m}) \quad (6.6)$$

De tre exemplen i Figur 6.2-4 i kan ses som exempel på samma luftridå under olika tryckskillnader, vilka medför att luftridåns radier är  $0.8b$ ,  $b$  och  $2b$  där  $b$  är luftridåns tvärmått.

## Luftridåns impuls

Luftridåns impuls  $J$  antas vara oförändrad längs dess luftstråle. Impulsen är produkten mellan luftstrålens massflöde  $\rho dv_0$  och utloppshastighet  $v_0$  och skrivs som följer för 1 m luftridå:

$$J = \rho dv_0^2 \quad (\text{N/m}) \quad (6.7)$$

där

$\rho$	luftens densitet, $\text{kg/m}^3$
$d$	spaltbredd, m
$v_0$	luftstrålens utloppshastighet, m/s

En given impuls kan alltså klaras av med olika spaltbredd och utloppshastighet. Notera att volymflödet är lika med  $dv_0$ , vilket innebär att samma impuls kan åstadkommas med olika stora volymflöden. Om hastigheten fördubblas och spaltbredden minskas till en fjärdedel kan flödet halveras.

## Luftridåns flödesbalans

Flödet för luftridåns plana luftstråle ökar med avståndet från luftridåns startpunkt och följande beräkningsuttryck gäller:

$$q(z) = k q(0) (z/d)^{0.5} \quad (\text{m}^3/\text{sm}) \quad (6.8)$$

där

$z$	avstånd från inlopp, m
$q(z)$	luftridåflödet på avstånd $z$ från inlopp, $\text{m}^3/\text{sm}$
$q(0)$	luftridåflödet vid inlopp, $\text{m}^3/\text{sm}$
$d$	luftridåns spaltbredd, m
$k$	konstant (0.3, 0.6)

Flödet ökar på grund av medejektering från båda sidor om den plana luftstrålen och kan bli betydligt större än startflödet från själva luftridåaggregatet. Antag att startflödet är  $1 \text{ m}^3/\text{sm}$ , konstanten  $k$  0.5, spaltbredden  $d$  0.1 m och avståndet  $z$  2.5 m, vilket sammantaget ger slutflödet  $2.5 \text{ m}^3/\text{sm}$ . Inloppshastigheten är 10 m/s. Om spaltbredden minskas till 0.025 m blir slutflödet  $5 \text{ m}^3/\text{sm}$ , men inloppshastigheten är mycket hög 40 m/s.

Själva flödesbalansen kring en luftridå bestäms av från vilken sida startflödet tas ifrån och under vilken vinkel luftstrålen når den motstående sidan. Antag att startflödet tas från icke trapphussidan och att trapphussidan ligger till höger i alla figurer.

Om slutvinkel för luftstrålen är vinkelrät mot den motstående sidan delas slutflödet upp i två lika stora halvor. Detta innebär att bara halva startflödet tillförs trapphussidan. Om slutvinkel för luftstrålen är positivt enligt definitionen i Figur 6.2-4 kommer större delen av luftstrålen flöde att tillföras trapphussidan. En utformning som möjliggör detta visas i Figur 6.5 och med olika tryckskillnader för samma luftridå i Figur 6.6.

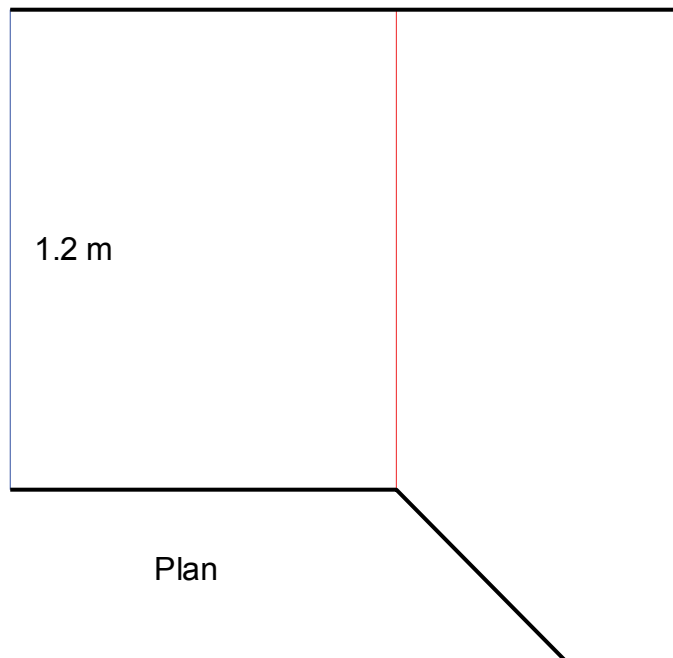
## Tillämpningsexempel

En enkelsidig luftridå skall undersökas för olika tryckskillnader enligt plangeometrin i Figur 6.5 med tvärmåttet  $b$  1.2 m. Antag att inloppshastigheten är 10 m/s. Luftridån dimensioneras att klara tryckskillnaden 10 Pa med en startvinkel på  $30^\circ$  och en slutvinkel på  $-30^\circ$  varvid det förenklade beräkningsuttrycket (6.4) kan användas. Den nödvändiga impulsen per meter luftridå beräknas enligt (6.4) till 12 N/m ( $1.2 \cdot 10$ ).

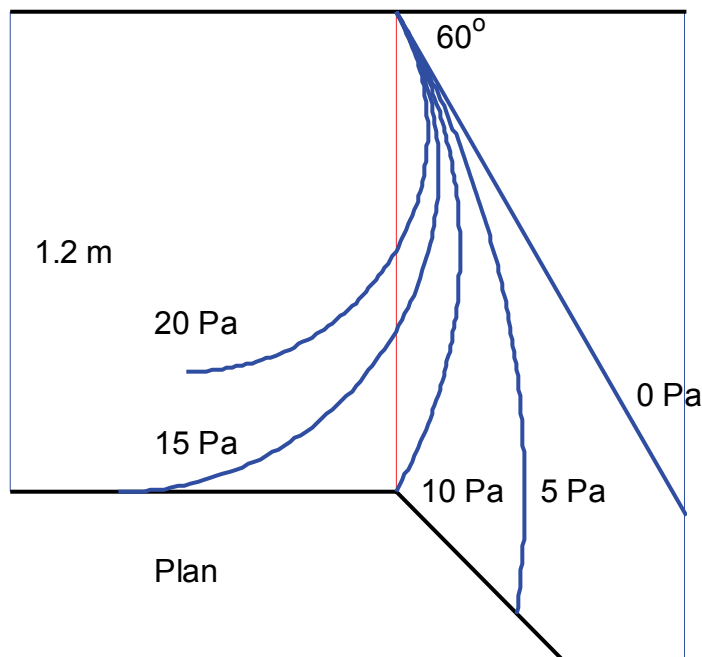
Spaltvidden  $d$  kan beräknas med (6.7) till 0.1 m ( $12/1.2 \cdot 10^2$ ). Startflödet  $q(0)$  blir  $1 \text{ m}^3/\text{sm}$  ( $0.1 \cdot 10$ ). Slutflödet  $q(b)$  för tvärmåttet  $b$  1.2 m blir med konstanten  $k$  0.5 enligt (6.8)  $1.73 \text{ m}^3/\text{sm}$  ( $0.5 \cdot 1 \cdot (1.2/0.1)^{0.5}$ ). Luftridåns radie beräknas enligt (6.6) till 1.2 m ( $12/10$ ).

Luftridåns kurva visas i Figur 6.6 för även andra tryckskillnader på 0, 5, 15 eller 20 Pa. Krökningsradien blir för dessa övriga fall oändlig, 2.4 m, 0.8 m respektive 0.6 m. Gränsfallet för luftridån är 15 Pa. Tryckskillnaden på 20 Pa klarar luftridån inte av att blockera.

Luftbalansen för det dimensionerande fall med tryckskillnaden 10 Pa påverkas av att luftstrålen träffar ett hörn med en vinkel på  $-7.5^\circ$  i förhållande till hörnets symmetrilinje. Detta innebär att en mindre del av startflödet går mot trapphussidan till höger. Om hörnet är vinklat av  $60^\circ$  i stället för  $45^\circ$  delas slutflödet upp i två lika stora halvor och halva startflödet hade tillförs trapphuset. Detta blir också nettoresultatet om luftridåns startflöde tas från icke trapphussidan.



Figur 6.5 Planritning med enkelsidig luftridå med trapphus till höger.



Figur 6.6 Planritning med enkelsidig luftrida med fem tryckskillnader med trapphus till höger.

Om lufthastigheten fördubblas till 20 m/s med bibehållen spaltbredd 0.1 m ökar flödet en faktor 2, impulsen en faktor 4 och därmed även trycktåligheten en faktor 4. En starthastighet på 20 m/s är dock en hög lufthastighet i luftridasammanhang, men i en utrymningssituation kan säkert starthastigheten 20 m/s accepteras. Sluthastigheten tvärs över luftridan är dock lägre och är relativt starthastigheten proportionell mot kvoten mellan startflöde och slutflöde, eftersom impulsen antas vara konstant.

## Kommentarer

Luftridåer arbetar normalt med låga tryckskillnader och oftast är medeltryckskillnaden noll över den öppning som skall täckas. Den termiska vertikala tryckgradienten är det som dimensionerar luftridåer normalt. Luftridåer utformas inte heller för att skapa något flöde genom den öppning som skall blockeras.

Tillämpningsexemplet ovan visar dock att höga tryckskillnader kan klaras av samtidigt som ett nettoflöde tillförs trapphuset möjligen med höga inloppshastigheter. En inloppshastighet på 20 m/s, en startvinkel på 30 °, en slutvinkel på -30 °, en spaltbredd på 0.1 m och en öppningshöjd på 2 m ger ett startflöde på 4 m<sup>3</sup>/s och tryckskillnaden 40 Pa klaras av. Om avvinklingen av den motstående väggen i Figur 6.5 och 6.6 är 60 ° blir trapphusflödet 2 m<sup>3</sup>/s.

Någon form av trycksättning behövs när utetemperaturen är nära eller högre än innetemperaturen och en luftrida kan vara en möjlighet. Möjligheterna med naturlig trycksättning ökar med fallande utetemperatur. När utetemperaturen är betydligt lägre än innetemperaturen kan luftridan stängas av, men här finns en möjlighet att värma ersättningsluften med luftridan.



## 7 Uppsummering

Beräkningarna i avsnitt 3, 4 och 5 har alla skett med ett och samma trapphus och med förutsättningarna att trapphusets tryck nederst varit 0 Pa och att trapphusets ytemperatur varit konstant 20 °C. Det sker dock en mycket långsam utkylning av trapphuset (se sidorna 13-18 i arbetsrapporten TABK—99/7054). Några sammanfattande slutsatser är följande:

- Inneluft som ersättningsluft ger inga undertryck och därmed ingen brandgasspridning under förutsättning att brandplanet är tryckavlastat och håller normal temperatur. Höga temperaturer på ett tryckavlastat brandplan med neutrallager inom dörröppningen kan medföra brandgasspridning om trapphusövertrycket är under 10 Pa.
- Uteluft som ersättningsluft ger undertryck och brandgasspridning (se avsnitt 3).
- Spridningsandelen för ett våningsplan, kvoten mellan inläckage från ett våningsplan till trapphuset och trapphusflödet, är liten och aldrig över 0.01 för uteluft som ersättningsluft (se avsnitt 4).
- En förvärmning av ersättningsluften med 10 °C minskar spridningsandelen något (jämför avsnitt 4 och 5).
- Tätare trapphus kan ge ännu lägre spridningsandel
- Öppnare trapphus möjliggör större trapphusflöde och ännu lägre spridningsandel.
- Spridningsandelen överskattas betydligt om brandgaslagret inte täcker hela våningsplanet

### Slutsatser

Slutsatsen från alla beräkningar är att spridningsandelen är liten, vilket gör det möjligt att arbeta med dåligt trycksatta trapphus. Brandgasspridningen är därför ytterst begränsad med stängda dörrar och därmed blir risken för förgiftning och siktförsämring liten. En annan slutsats är att om ett trapphus är något varmare eller kallare än omgivningen, genomventileras det bra, vilket egentligen inte är något nytt.

### Dimensionerande fall

Om trycksättning av ett trapphus endast tillåts med ersättningsluft nederst i ett trapphus, blir extremsommarfallet dimensionerande. Kravet är att extremsommarfallets termiska tryckskillnad inom trapphuset måste passa in i det tillåtna övertrycksintervallet. Läckflödets tryckförlust försummas här. Det dimensionerande kravet för statisk trycksättning utan något genomströmmande trapphusflöde som måste uppfyllas är följande:

$$R_{tdim} > - (\Delta p_{max} - \Delta p_{min}) / h \quad (\text{Pa/m}) \quad (7.1)$$

där

$R_{tdim} < 0$	dimensionerande negativ termisk tryckgradient, Pa/m
$\Delta p_{max}$	högsta tillåtna trapphusövertryck, Pa
$\Delta p_{min}$	lägsta tillåtna trapphusövertryck, Pa
$h$	trapphushöjd, m

En utetemperatur på 35 °C och en innetemperatur på 25 °C ger termisk gradient på under -0.4 Pa/m. Ett trapphus med höjden 125 m ger tryckskillnaden 50 Pa, vilket får plats i tryckintervallet (20,80) Pa.

En utetemperatur på 40 °C och en innetemperatur på 25 °C ger termisk gradient på under -0.6 Pa/m och en tryckskillnad på 75 Pa vilket klaras med ett utökat intervall (20,100) Pa.

Läckflödets tryckfall är oftast inte försumbart och uttrycket (7.1) kan utökas med hänsyn till detta tryckfall, vilket ger ett uttryck för den nedre och den övre gränsen för vad statisk trycksättning klarar av.

$$R_{tmin} = - (\Delta p_{max} - \Delta p_{min}) / h + R_q q_x^2 / 3 < 0 \quad (\text{Pa/m}) \quad (7.2)$$

$$R_{tmax} = (\Delta p_{max} - \Delta p_{min}) / h + R_q q_x^2 / 3 > 0 \quad (\text{Pa/m}) \quad (7.3)$$

där

$R_q$	specifikt tryckfall, Pa/m(m <sup>3</sup> /s) <sup>2</sup>
$q_x$	läckflöde för medelövertryck, m <sup>3</sup> /s

Medeltryckfallet orsakat av läckageflödet är en tredjedel av tryckfallet för ett genomströmmande flöde lika med läckageflödet. Ett antaget konstant läckflöde ut från trapphuset medför att ett linjärt avtagande trapphusflödet och sammantaget med de kvadratiska tryckförlusterna resulterar detta att tryckfallet blir en tredjedel av det som gäller för fullflöde.

Ett sifferexempel som anknyter till det tidigare simulerade trapphuset med  $\Delta p_{max} = 80$  Pa,  $\Delta p_{min} = 20$  Pa,  $R_q = 0.1$  Pa/m(m<sup>3</sup>/s)<sup>2</sup> och nominellt läckflöde  $q_x = 2.5$  m<sup>3</sup>/s ger arbetsintervallet (-0.27,0.69) Pa/m (-0.48+0.21,0.48+0.21). Det stora läckflödet höjer både den nedre och den övre gränsen betydligt. Ett halverat läckage ger ett bättre klimatintervall (-0.43,0.53) Pa/m.

## Förslag till trycksättning

Detta förslag till en enkel trycksättning är genomförbart om extremssommarfallet klaras av enligt (7.2). Trycksättningen delas upp i två funktionsområden mellan ett positivt gränsvärden för den termiska gradienten enligt beräkningsuttryck (7.3) som  $R_{tmax}$ .

- Trycksättning vid låga termiska gradienter  $R_t < R_{tmax}$  sker med fläkt med dörrsluss eller luftrida nederst som vid normal statisk trycksättning.
- Trycksättning för höga termiska gradienter  $R_t > R_{tmax}$  sker med öppen dörr nederst, öppen lucka överst och utan fläkt med dörrsluss eller luftrida nederst. Den övre öppningens storlek bestäms för högsta tillåtna trapphusövertryck och skattat utflöde enligt (2.9).

Trycksättning med en särskilt utformad luftrida kan vara en möjlig lösning och samtidigt finns det bra möjligheter att förvärma ersättningsluften.

## 8 Kronologisk dokumentationslista

Arbetsrapporter, fördrag och artiklar av Lars Jensen om trycksättning av trapphus redovisas nedan kronologiskt.

Konstantrycksättning av trapphus för utrymning  
TABK--99/7054

Stairwell flow pressurization  
International Conference on Engineered Fire Protection Design  
11-15 June 2001 San Fransisco, CA

Stairwell flow pressurization - a new method  
TABK--02/7060

Maximal stairwell height for different pressurization methods  
TABK--02/7061

Stairwell flow pressurization with outdoor air as inlet air  
TABK--02/7062

Stairwell flow pressurization - a new method  
Journal of Fire Protection Engineering  
pp 251-274, Volume 13 Number 4, 2003

Föredrag: Trycksättning av trapphus  
BRANDFORSK infodag för industrin  
2004-11-11, Stockholm

Tryckfall i trapphus - Modellförsök  
TVIT--05/7001

Täthet och tryckfall i trapphus - Fullskaleförsök  
TVIT--05/7002

Trycksättning av trapphus med personbelastning  
TVIT--05/7003

Trycksättning av trapphus för utrymning  
Slutrapport – BRANDFORSK 330-031  
TVIT--05/7004

Föredrag: Trycksättning av trapphus för utrymning  
Infodag om brandskydd, ventilation och PFS  
2007-03-28, Installationsteknik LTH, Lund