



# LUND UNIVERSITY

## Enkel lufriðáteori

Jensen, Lars

2009

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Jensen, L. (2009). *Enkel lufriðáteori*. (TVIT; Vol. TVIT-7038). Avd Installationsteknik, LTH, Lunds universitet.

*Total number of authors:*

1

### General rights

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

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

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

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

### Take down policy

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

LUND UNIVERSITY

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

# Enkel luftridåteori

*Lars Jensen*

---

Avdelningen för installationsteknik  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet, 2009  
Rapport TVIT--09/7038



## Lunds Universitet

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

## Avdelningen för installationsteknik

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

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

# Enkel luftridåteori

*Lars Jensen*

© Lars Jensen, 2009

ISRN LUTVDG/TVIT--09/7038--SE(38)

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

# Innehållsförteckning

1	Inledning	5
	Luftridåns syfte	5
	Luftridåns princip	5
	Störning vindtryck	6
	Störning temperaturskillnad	7
	Störning ventilationssystem	7
	Störning otät byggnad	8
	Frågeställningar	8
	Disposition och avgränsning	8
2	Luftridå och konstant tryckskillnad	9
	Luftridåns impuls	9
	Luftridåns kraftbalans	10
	Luftridåns krökningsradie	11
	Luftridåns gränsfall	13
	Luftridåns utböjning	13
	Luftridåexempel	15
	Luftridåns säkerhetsfaktor	17
	Sammanfattning	18
3	Luftridå och nivåberoende tryckskillnad	19
	Nivåberoende tryckskillnad	19
	Luftridåns strömningsvinkel	19
	Luftridåns utböjning	19
	Symmetrisk luftridå	20
	Luftridåexempel	20
	Sammanfattning	22
4	Luftridå och värmeeffektivitet	23
	Luftridåns centrumhastighet	23
	Luftridåns totalflöde	24
	Luftridåns medeltemperatur	24
	Värmeeffektbehov för en fri öppning	24
	Värmeeffektbehov för en luftridå	25
	Luftridåns värmeverkningsgrad	25
	Sammanfattning	25
5	Luftridå och eleffektivitet	
	Luftridåns fläkteffektbehov	29
	Luftridåns bästa spaltbredd	29
	Sammanfattning	30

6	Luftridå och spärreffektivitet	33
	Föroreningsbalanser	33
	Spärreffektivitet mot föroreningar	34
	Sammanfattning	34
7	Sammanfattning	37
	Störningar	37
	Konstant tryckskillnad	37
	Nivåberoende tryckskillnad	37
	Värmeeffektivitet	38
	Eleffektivitet	38
	Spärreffektivitet	38

# 1 Inledning

Denna arbetsrapport om luftridåer härleder och sammanställer enkla beräkningsuttryck samt formulerar och besvarar några frågeställningar om luftridåer.

## Luftridåns syfte

Syftet med en luftridå är skilja av ett utrymme från ett annat utrymme. En luftridå används för att skapa dörrfria passager mellan olika lokaler eller in och ut ur en byggnad. Det vanligaste fallet är att skilja av inne mot ute. Värmeförlusterna kan bli mycket stora om inte någon luftridå används.

Luftridåer kan också användas för att förhindra spridning av förorening mellan två utrymmen.

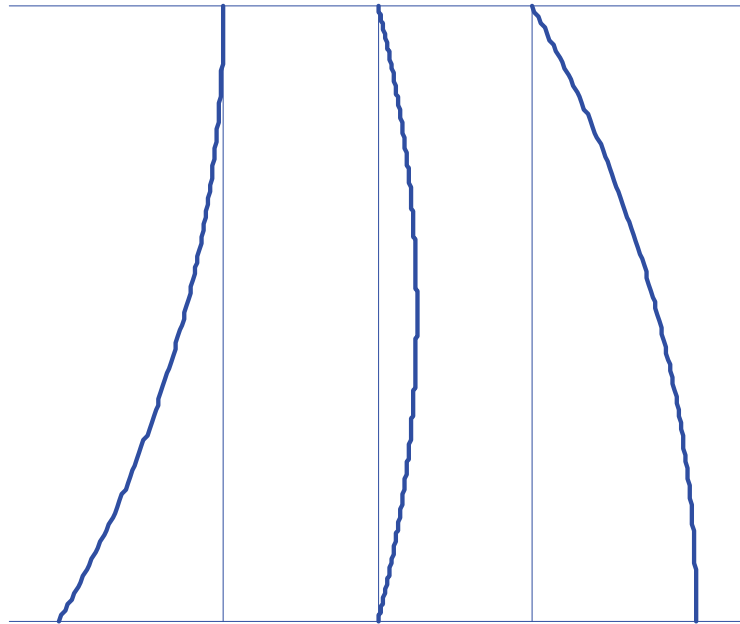
Det finns olika former av luftridåer och den vanligaste använder sig av en uppifrån och neråt riktad luftstråle. Inblåsning underifrån med övertempererad luft är en bra lösning ur fysikalisk synpunkt, men det kräver installationer i golvet. Inblåsning uppifrån kan vara bättre ur lufthygiensynpunkt. Både uteluft eller inneluft kan användas i luftridån eller luften kan värmas till en önskad temperatur.

Luftridåer kan också arbeta i sidled i form av en enkelsidig luftridå som skyddar öppningen. En nackdel är att vid en passage av öppningen har en enkelsidig luftridå svårt att täta på den ena sida om det som passerar. En bättre lösning kan vara att arbeta med två motställda luftridåer som täcker var sin halva av öppningen när ingen passage sker, men som vid en passage förmår att täta på var sida om det som passerar.

## Luftridåns princip

Luftridåns funktion bygger på att en plan luftstråle eller flera axiella luftstrålar, som bildar en plan luftstråle, täcker en öppning som skall blockeras för genomströmning. En tryckskillnad över öppningen medför att den plana luftstrålen böjs av. Luftstrålens avböjning får inte bli för stor och den kan motverkas med en ökad impuls, vilken är proportionell mot inblåsningshastigheten i kvadrat. En annan åtgärd är att vinkla luftstrålen mot sidan med det högre trycket. Exempel på hur en och samma luftstråle böjs av visas för tre fall i Figur 1.1 med olika vinkling. Det är ingen skillnad om luftstrålen kommer uppifrån eller nerifrån eller från ena eller andra sidan.





Figur 1.1 Exempel på tre lika luftstrålars avböjning vid konstant tryckskillnad.

En luftfridå kan utsättas för olika störningar i form av vind, temperaturskillnad mellan inne och ute och obalans mellan ventilationsflöden och in- och exfiltrationsflöden på grund av en otät byggnad..

## Störning vindtryck

Vindpåverkan kan skapa yttre tryckförhållandena kring en byggnad. Vindtryck vid olika byggnadsytor beräknas som en produkt mellan vindriktnings- och geometriberoende formfaktorer gånger vindens dynamiska tryck. Formfaktorerna varierar i stort sett från högst 1 på lovartytor och nertill lägst -1 på övriga ytor. Vindens dynamiska tryck  $\rho v^2/2$  kan bli betydande och är 60 Pa redan för en vindhastighet  $v$  på 10 m/s.

Tryckskillnader för en byggnads olika ytor kan därför begränsas till vinden dynamiska tryck. Detta förutsätter att formfaktorn för lovartsidan är 0.5 och för läsidan -0.5. Trycket inuti en byggnad beror också på vinden och är oftast negativ, eftersom de flesta byggnadsytorna är utsatta för undertryck. Detta antagande förutsätter givetvis att alla byggnadsytor är lika otäta.

En luftfridå klarar knappast ensam att motstå vindtryckskillnader, om inte extremt höga inblåsningshastigheter används. Ett enkelt exempel med startvinkel  $30^\circ$  och slutvinkel  $-30^\circ$  och en öppningshöjd på 2 m och en spaltbredd på 80 mm eller 250 mm medför att inblåsningshastigheten måste vara 5 respektive 2 gånger vindhastigheten. Höga vindhastigheter kräver orimliga inblåsningshastigheter.

Höga vindtryck är inget problem för en ensam luftridå i en ytterst tät byggnad och med ett ventilationssystem i balans. Det yttre vindtrycket överförs till det inre av byggnaden utan något in- eller utflöde genom öppningen. Om det finns två eller fler öppningar med luftridåer med olika vindtryck är detta inte möjligt att uppnå.

## Störning temperaturskillnad

Temperaturskillnaden mellan inne- och uteluft skapar en med höjden linjärt varierande tryckskillnad. I fortsättningen antas det att medeltryckskillnaden är noll för hela öppningens höjd. Detta innebär att neutrallagret ligger på halva höjden och normalt med övertryck inne överst och med undertryck inne nederst. En luftridå måste dimensioneras för att klara den övre halvan med övertryck och den nedre halva med undertryck.

Den termiska tryckgradienten kan vara högst några Pa/m. En innetemperatur på 20 °C och en utetemperatur på -3 °C ger en termisk tryckgradient på 1 Pa/m. Medeltryckskillnaden blir ytterst måttlig jämfört med vindpåverkan. Vinterförhållanden med -23 °C ger termiska tryckgradienter på 2 Pa/m och för en öppningshöjd på 4 m fås en medeltryckskillnad på 2 Pa för en övre eller nedre halva av öppningen.

## Störning ventilationssystem

Obalans mellan ventilationsflöden och in- och exfiltrationsflöden kan täckas av en luftridå om dess slutflöde vid golvnivå är större än flödesobalansen. Om obalansflödet är större än luftridåns slutflöde kommer det att ske ett utflöde eller inflöde utöver hela luftridåns slutflöde. Det är viktigt att känna till obalansens bakgrund för att kunna bedöma om den kan förhindras med en luftridå. Detta skall exemplifieras med några exempel som följer.

Ventilationssystem är normalt balanserade med i stort sett lika stora tilluftsflöden och frånluftsflöden. Felaktig injustering eller ventilationsaggregat för tilluft eller för frånluft som inte är i drift kan orsaka en påtaglig obalans och detta kan skapa betydande över- eller undertryck i byggnaden. Antag att obalansen är 1 m<sup>3</sup>/s mellan tilluft och frånluft för en större byggnad med nominellt ventilationsflöde om 10 m<sup>3</sup>/s.

Under- eller övertrycket i byggnaden bestäms av dess otäthet. Byggnadens omslutande och otäta ytor uppskattas till 4 000 m<sup>2</sup>. Läckage antas vara 0.8 l/sm<sup>2</sup> omslutande yta vid en tryckskillnad om 50 Pa, vilket i sin tur motsvarar en relativ otäthet om 0.00009 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> omslutande yta. Byggnadens sammanlagda läckarea med bostadsstandard blir därför 0.36 m<sup>2</sup>.

För att obalansflödet om 1 m<sup>3</sup>/s skall passera otätheterna blir hastigheten på 2.78 m/s (1/0.36). Detta ger en tryckskillnaden om 4.6 Pa, vilket motsvarar det dynamiska trycket för samma lufthastighet. Detta är en ganska stor tryckskillnad för en luftridå att klara av. Ett annat val av siffror med mer otäthet och större omslutande yta i förhållande till obalansen i ventilationsflöde hade resulterat i en mindre tryckskillnaden som en luftridå hade kunna klarat av.

## Störning otät byggnad

Termiska stigkrafter och otätheter kan skapa en obalans. Antag en hallbyggnad med en luftridåöppning om  $5 \text{ m}^2$  i golvplanet och en sammanlagd öppning om  $1 \text{ m}^2$  i takplanet: antag att genomströmningen är  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Detta ger förenklat bortsett från kontraktion i öppningar en lufthastighet på  $1 \text{ m/s}$  i öppningen i golvplanet och  $5 \text{ m/s}$  i öppningen i takplanet. Motsvarande tryckfall över öppningarna är  $0.6 \text{ Pa}$  respektive  $15 \text{ Pa}$ . Detta innebär också att det sammanlagda drivtrycket är  $15.6 \text{ Pa}$ , vilket skapas av temperaturskillnaden mellan inne och ute. Om öppningen i golvplanet skall tätas helt med en luftridå kommer hela drivtrycksskillnaden om  $15.6 \text{ Pa}$  att ligga över densamma, vilket en luftridå inte kan klara av.

## Frågeställningar

Avsikten med rapporten är att behandla följande frågeställningar:

- Vilka tryckskillnader kan en luftridå klara av?
- Vilka temperaturskillnader kan en luftridå klara av?
- Vilket är det ideala driftsfallet?
- Vilka driftsfall är omöjliga?
- Hur stor blir luftridåns utböjningen vid konstant tryckskillnad?
- Hur stor blir luftridåns utböjningen vid termisk tryckskillnad med medeltryckskillnaden lika med noll?
- Vilka säkerhetsmarginaler finns det för ökad konstant tryckskillnad?
- Vilka säkerhetsmarginaler finns det för omvänd konstant tryckskillnad?
- Skall luftridån kunna vinklas?
- Skall spaltbredden kunna ställas in?
- Finns det en spaltbredd för ett givet aggregat som ger lägsta totaltryckfall?
- Finns det en spaltbredd för ett givet aggregat som ger lägsta fläkteffektbehov?
- Hur värmeeffektiv är en luftridå?
- Hur eleffektiv är en luftridå?
- Hur spärreffektiv är en luftridå?

## Disposition och avgränsningar

Avgränsningen för den luftridåteori som behandlas här är att luftridåns impuls antas vara konstant. Detta gäller för ett isotermiskt fall med samma temperatur kring och i luftridån. Analysen sker genomgående för en luftridå med längden  $1 \text{ m}$ . Det saknas därför en konstant  $1 \text{ m}$  alltid multiplicerad med spaltbredden. Spaltbredden kan tolkas som en spaltyta.

Arbetsrapporten behandlar i avsnitt 2 fallet med konstant tryckskillnad, vilket är ett svårt driftsfall. Arbetsrapporten behandlar i avsnitt 3 fallet med nivåberoende tryckskillnad bestämd av olika temperaturer på var sida om öppningen. Detta är ett enkelt driftsfall särskilt om neutrallagret ligger på öppningens halva höjd.

Arbetsrapporten behandlar luftridåns värmeeffektivitet i avsnitt 4 jämfört med en helt fri öppning, dess eleffektivitet i avsnitt 5 med avseende på drivenergi för fläkten eller fläktarna och dess spärreffektivitet mot förorenings-spridning i avsnitt 6.

## 2 Luftridå och konstant tryckskillnad

I fortsättning antas det att luftridån är placerad i en öppning med en konstant tryckskillnad och att luftridån verkar uppifrån och neråt och att endast 1 m bred luftridå undersöks. Fallet med en konstant temperaturskillnad skapar en varierande tryckskillnad i vertikalled, vilket behandlas i avsnitt 3.

Oavsett vad för förorening som luftridån skall skydda mot, skall den kunna klara av mindre tryckskillnader mellan inne och ute. En tryckskillnad mellan inne och ute bestäms av vindpåverkan direkt eller indirekt via läckage och ventilationssystemets balans mellan tilluft och frånluft. Idealt för en luftridå är att det råder en naturlig balans med nollflöde genom den öppning som luftridån skall skydda och att inne- och utetemperatur är lika.

En skillnad mellan inne- och utetemperatur skapar en tryckgradient i höjddled över öppningen, men om neutrallagret ligger på halva höjden är detta fall inte något större problem, eftersom det råder lika mycket över- som undertryck över öppningen. Medeltryckskillnaden är noll.

Ett fall med en viss medeltryckskillnad över öppning kan klaras av genom att rikta luftridån mot det högre medeltrycket. Luftstrålen 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. Luftstrålen böjs av inåt mot det lägre trycket och når golvet med samma vinkel inåt som luftstrålen startade med utåt.

### Luftridåns impuls

Luftstrålens impuls  $J$  är produkten mellan luftstrålens massflöde  $\rho bv_0$  och utloppshastighet  $v_0$  och kan skrivas som följer:

$$J = \rho bv_0^2 \quad (\text{N}) \quad (2.1)$$

där

$\rho$	luftens densitet, $\text{kg/m}^3$
$b$	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  $bv_0$ , vilket innebär att samma impuls kan åstadkommas med olika stora volymflöden. Om hastigheten fördubblas och spaltbredden minskas till en fjärdedel kan flödet halveras. Om en luftridås plana luftstråle har för liten impuls kan luftstrålen böjas av så mycket att den inte längre täcker öppningen. Om en luftridås plana luftstråle har för stor impuls böjs luftstrålen av mindre och slutvinkeln blir mindre än startvinkel.

## 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  $J$ :

$$J \cos(\alpha) d\alpha = \Delta p dz \quad (\text{N}) \quad (2.2)$$

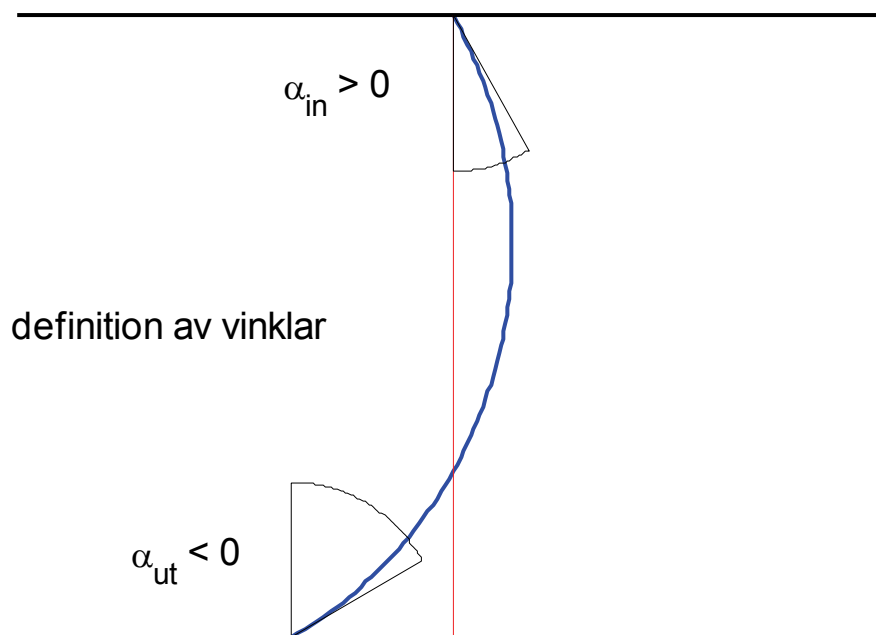
Sambandet (2.2) kan integreras och ger ett dimensioneringskrav för en luftridå. Luftridån skall balansera tryckskillnaden över öppningen. Detta ger följande samband för 1 m luftridå:

$$J \sin(\alpha_{in}) - J \sin(\alpha_{ut}) = h \Delta p \quad (\text{N}) \quad (2.3)$$

där

$J$	luftridåns impuls, N/m
$\alpha_{in}$	luftridåns startvinkel relativt lodlinjen, -
$\alpha_{ut}$	luftridåns slutvinkel relativt lodlinjen, -
$h$	luftridåns höjd, m
$\Delta p$	konstant tryckskillnad i höjddled, Pa

Uttrycket (2.3) visar att luftridåns impuls utnyttjas bäst om start- och slutvinkel har olika tecken. Startvinkeln  $\alpha_{in}$  och slutvinkeln  $\alpha_{ut}$  redovisas i Figur 2.1-5 för fall med konstant tryckskillnad. Om startvinkeln är positiv i samtliga fall i Figur 2.1-5, då är slutvinkeln negativ i Figur 2.1, 2.2 och 2.4.  $0^\circ$  i Figur 2.3 och positiv och  $90^\circ$  i Figur 2.5.



Figur 2.1 Definition av vinklar.

En symmetrisk luftridå med lika vinklarna är lika  $\alpha_{in} = -\alpha_{ut} = \alpha$  bortsett från tecknet ger ett enklare samband.

$$2 J \sin(\alpha) = h \Delta p \quad (\text{N}) \quad (2.4)$$

En halv symmetrisk luftridå med slutvinkel  $0^\circ$  och en startvinkel  $\alpha$  bortsett ger ett ännu enklare samband. En halvsymmetrisk luftridå utnyttjar bara impulsen till hälften och kan därför sägas vara överdimensionerad.

$$J \sin(\alpha) = h \Delta p \quad (\text{N}) \quad (2.5)$$

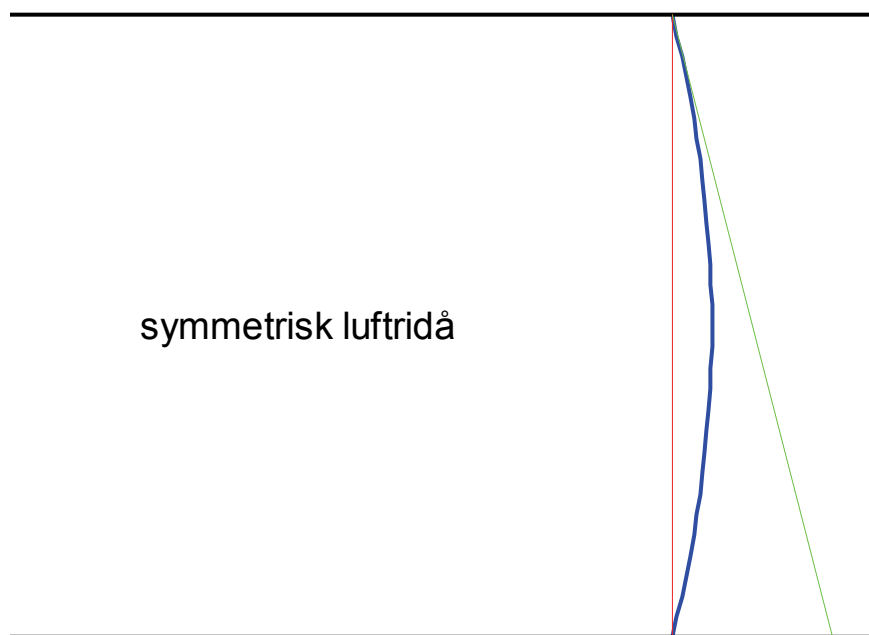
Exempel på en symmetrisk och en halvsymmetrisk luftridå redovisas i Figur 2.2 respektive 2.3.

## Luftridåns krökningsradie

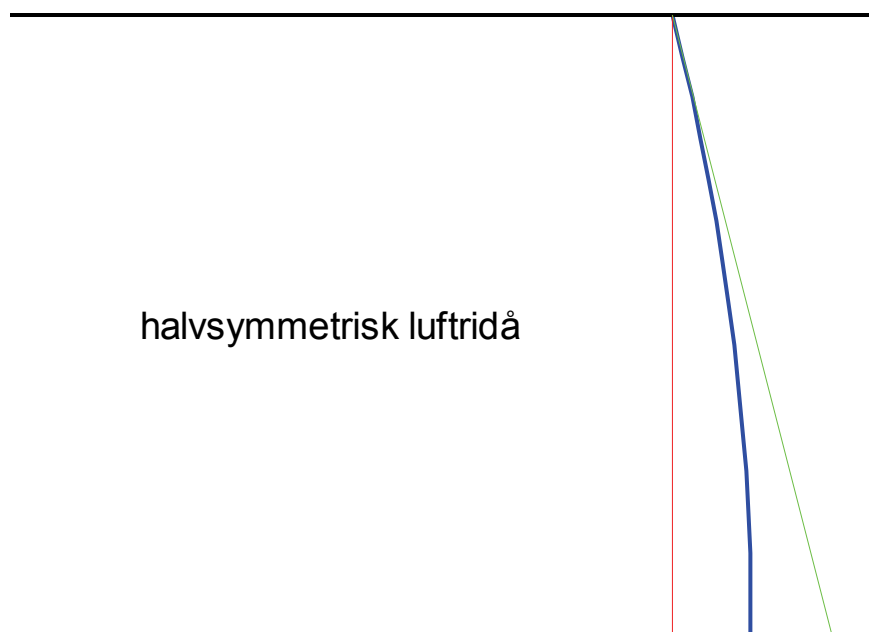
Den plana luftstrålens bana är en cirkelbåge om tryckskillnaden är konstant tvärs öppningen. Banans radie  $R$  bestäms av kvoten mellan luftstrålens impuls  $J$  och tryckskillnaden  $\Delta p$ . Sambandet mellan dessa tre storheter är följande:

$$R = J/\Delta p \quad (\text{m}) \quad (2.6)$$

Samtliga exempel på luftridåer i Figur 2.1-5 har en given krökningsradie, eftersom tryckskillnaden över luftridåerna i samtliga fall är konstant.



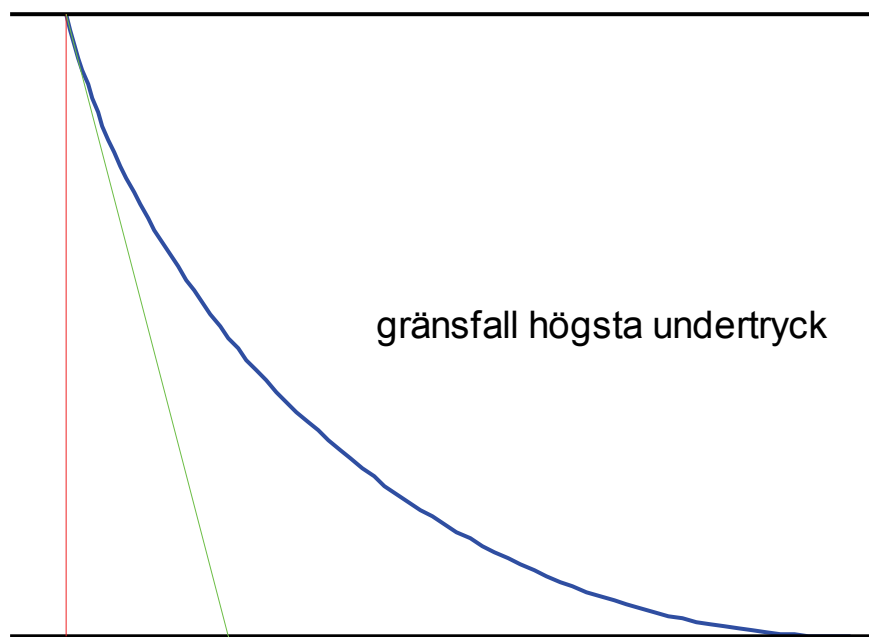
Figur 2.2 Symmetrisk luftridå med lika start- och slutvinklar.



Figur 2.3 Halvsymmetrisk luftridåns geometri med slutvinkel noll.



Figur 2.4 Gränsfall för en luftridå med högsta positiva tryckskillnad.



Figur 2.5 Gränsfall för en luftridå med högsta negativa tryckskillnad.

## Luftridåns gränsfall

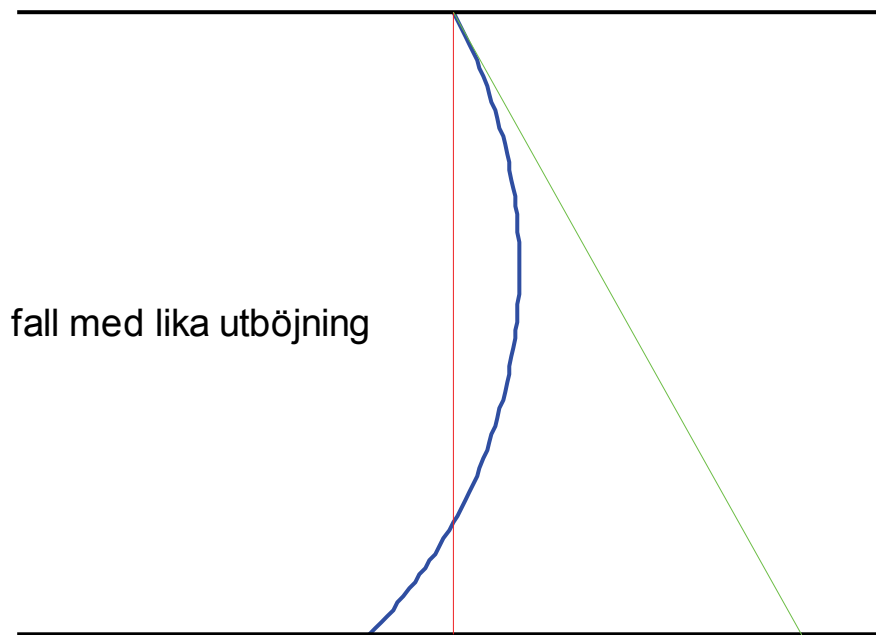
Luftridån i Figur 2.1 med en given impuls redovisas i Figur 2.4 för den största positiva tryckskillnad som luftridån i princip klarar och i Figur 2.5 för den största negativa.

## Luftridåns utböjning

En luftridåns utböjning är begränsad, eftersom öppningens längd är begränsad till mått betydligt mindre än luftridåns höjd. Möjliga start- och slutvinklar för en luftridå begränsas av att luftridån inte tätar längs sidorna.

En symmetrisk luftridå har en mindre utböjning en halvsymmetrisk luftridå med samma impuls. Utböjningen är dock enbart på ena sidan om öppningen. Det går att vinkla en luftridå med samma impuls på ett sätt som ger samma utböjning åt båda håll. Ett exempel på detta visas i Figur 2.6.





Figur 2.6 Samma utböjning.

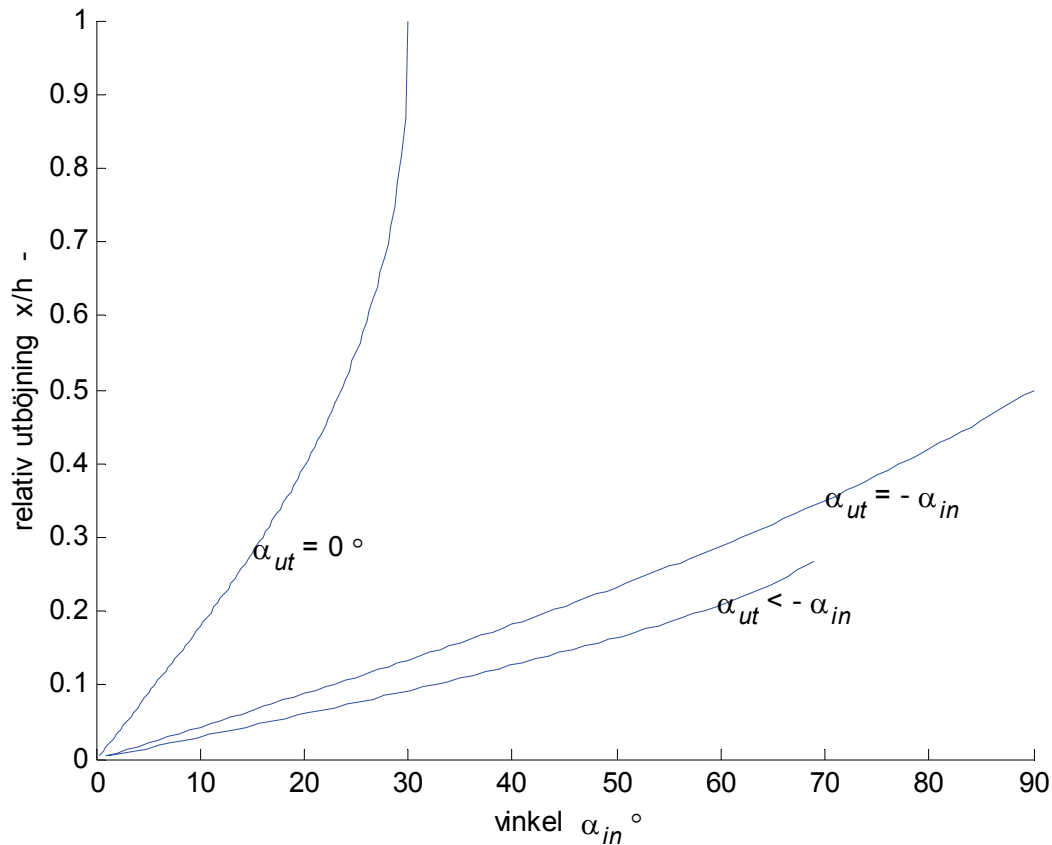
Den relativa utböjningen  $x/h$  kan beräknas för ett symmetriskt fall, ett halvsymmetriskt fall och ett med lika utböjning enligt (2.7-9) som funktion av startvinkeln  $\alpha$  till följande:

$$x/h = (1 - \cos(\alpha))/(2 \sin(\alpha)) \quad (-) \quad (2.7)$$

$$x/h = (1 - \cos(\alpha))/\sin(\alpha) \quad (-) \quad (2.8)$$

$$x/h = (1 - \cos(\alpha))/(\sin(\alpha) - \sin(\beta)) \quad (-) \quad (2.9)$$

Den relativa utböjningen  $x/h$  redovisas i Figur 2.7 som funktion av startvinkeln  $\alpha$  för de tre fallen med samma impuls.



Figur 2.7 Relativ utböjning för ett symmetriskt, ett halvsymmetriskt och ett med lika utböjning som funktion av startvinkel och med samma impuls.

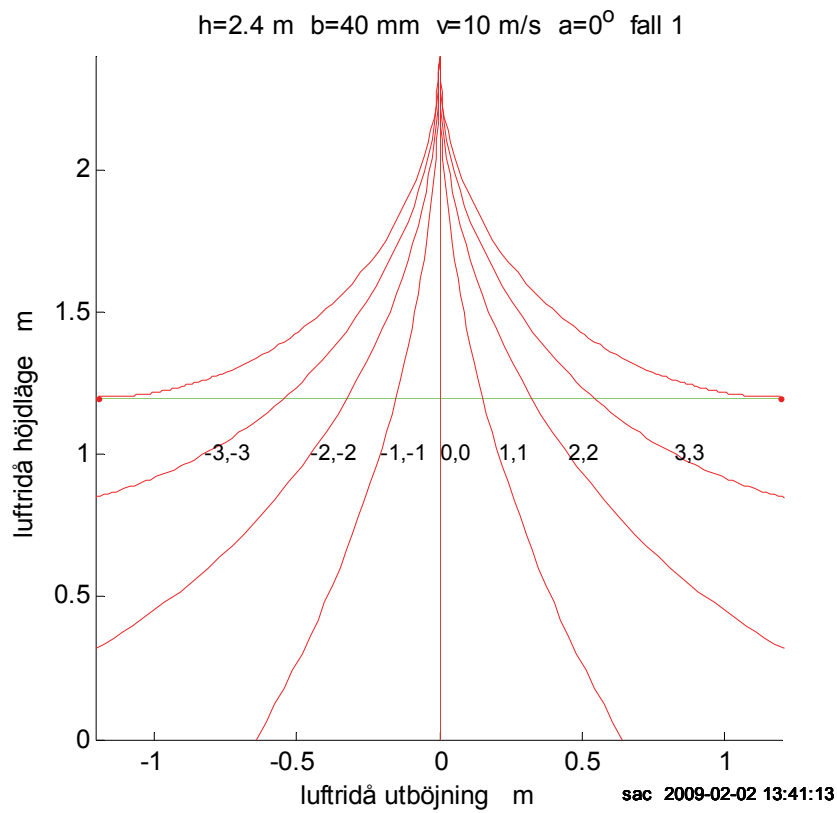
## Luftridåexempel

Exempel på två luftridåer med samma impuls, men med olika vinkling redovisas i Figur 2.8 med startvinkeln  $0^\circ$  och i Figur 2.9 med startvinkel  $-30^\circ$  med olika konstant tryckskillnad. Sifferparen i Figur 2.8 och 2.9 anger tryckskillnaden i Pa överst och nederst för en öppning med höjden 2.4 m. Luftridåen impuls är 4.8 N/m luftridå.

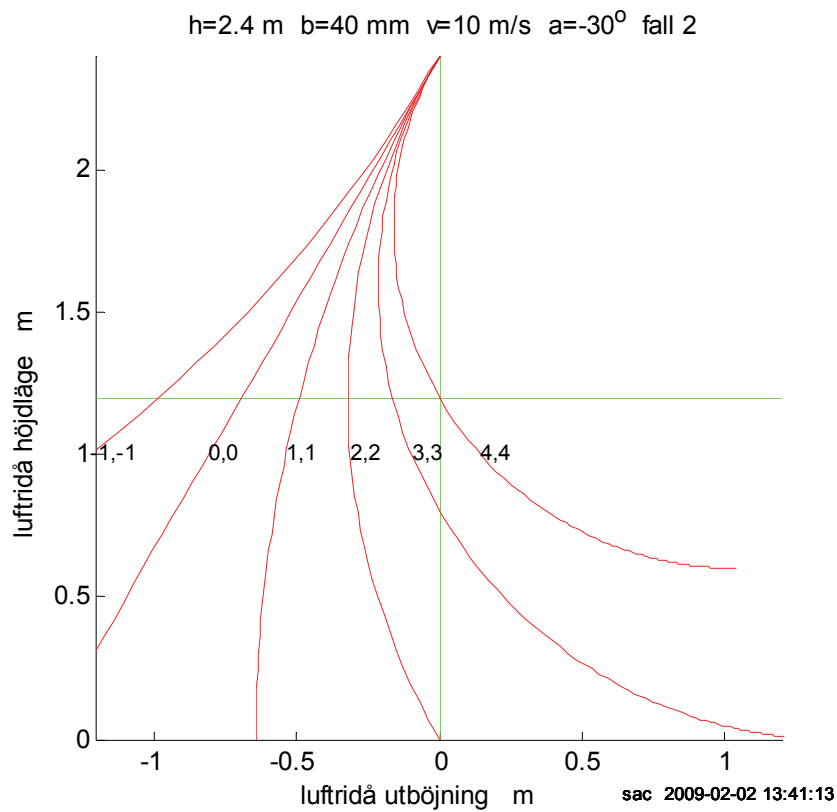
Gränsfallet för den ovinklade luftridån i Figur 2.8 fås för tryckskillnaderna -2 och 2 Pa, vilket kan beräknas med (2.3). Kurvorna i Figur 2.8 visar också att en fördubblad tryckskillnad -4 och 4 Pa täcker luftridån endast halva höjden 1.2 m.

Gränsfallet för den vinklade luftridån i Figur 2.9 fås för tryckskillnaderna -1 och 3 Pa. Tryckskillnaden 2 Pa ger en symmetrisk luftridå. En fördubbling av tryckskillnaden till 4 Pa ger en symmetrisk luftridå för den övre halvan av öppningen.

Arbetsområdets spannvidd ur tryckskillnadssynpunkt är det samma som för den ovinklade luftridån.



Figur 2.8 Luftfridås utböjning som funktion av höjden.



Figur 2.9 Luftfridås utböjning som funktion av höjden.

## Luftridåns säkerhetsfaktor

En given luftridåns luftstråle kan ha en säkerhetsfaktor mot den största möjliga positiva tryckskillnaden och mot den minsta negativa tryckskillnaden. Antag att luftridån har dimensionerats för att klara den positiva tryckskillnaden  $\Delta p_{dim}$ . Detta ger följande samband för största positiva tryckskillnad  $\Delta p_{max}$  och minsta negativa tryckskillnad  $\Delta p_{min}$ :

$$J(\sin(\alpha_{in}) - \sin(\alpha_{ut})) = h \Delta p_{dim} \quad (N) \quad (2.10)$$

$$J(\sin(\alpha_{in}) + 1) = h \Delta p_{max} \quad (N) \quad (2.11)$$

$$J(\sin(\alpha_{in}) - 1) = h \Delta p_{min} \quad (N) \quad (2.12)$$

Det går att formulera två positiva säkerhetsfaktorer  $s_{max} = \Delta p_{max} / \Delta p_{dim}$  och  $s_{min} = -\Delta p_{min} / \Delta p_{dim}$  för största positiva tryck och minsta negativa tryck med hjälp av dimensioneringskravet (2.10), (2.11) och (2.12) fås följande:

$$s_{max} = (\sin(\alpha_{in}) + 1) / (\sin(\alpha_{in}) - \sin(\alpha_{ut})) \quad (-) \quad (2.13)$$

$$s_{min} = (1 - \sin(\alpha_{in})) / (\sin(\alpha_{in}) - \sin(\alpha_{ut})) \quad (-) \quad (2.14)$$

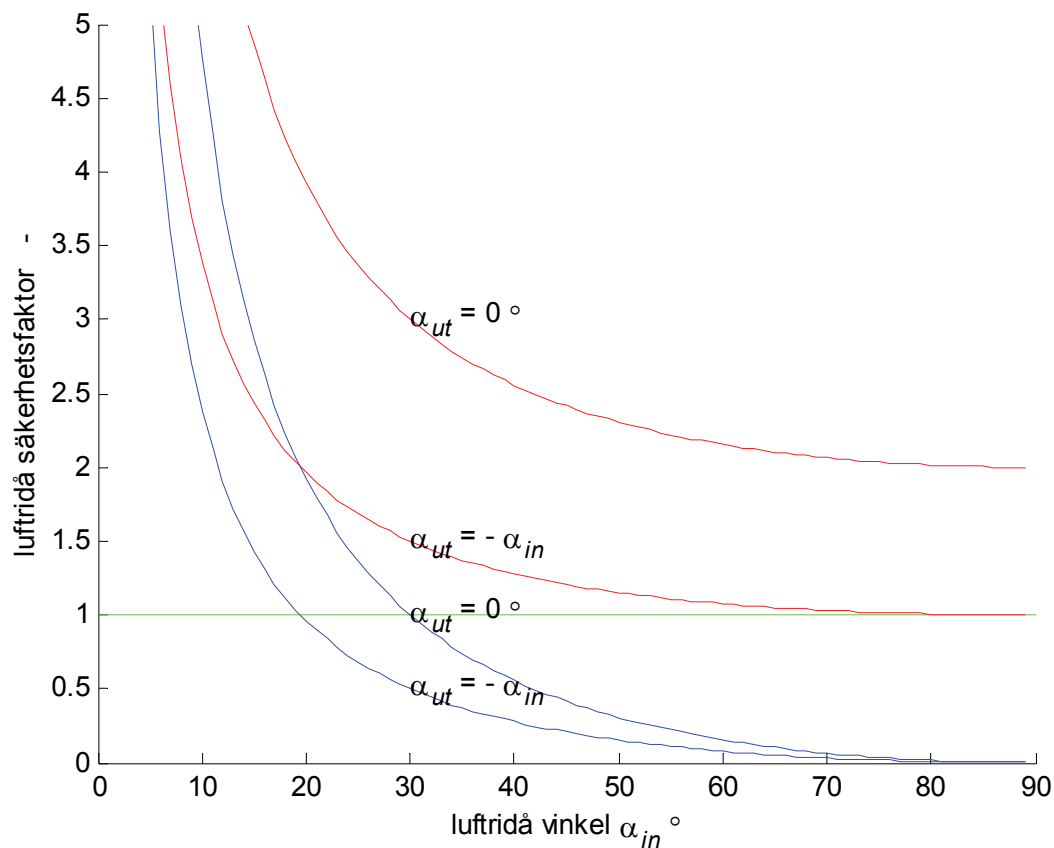
Uttrycken (2.13) och (2.14) visar att säkerhetsfaktor kan vara liten. Antag att  $\alpha_{in} = -\alpha_{ut} = 30^\circ$ , vilket ger säkerhetsfaktorerna  $s_{max} = 1.5$  och  $s_{min} = 0.5$ . Detta innebär att den positiva tryckskillnaden endast kan öka med hälften, medan den negativa tryckskillnaden kan bara vara hälften av den dimensionerande positiva tryckskillnaden. Om impulsen fördubblas blir slutvinkeln  $\alpha_{ut} = 0^\circ$ , fås resultatet  $s_{max} = 3.0$  och  $s_{min} = 1.0$ . Detta val av slutvinkel  $\alpha_{ut}$  ger en fördubbling av säkerhetsfaktorerna. Notera att impulsen har fördubblats. Säkerhetsfaktorerna enligt (2.13) och (2.14) för ökad och omkastad tryckskillnad för lika start- och slutvinklar redovisas i Figur 2.10.

För att få samma säkerhetsfaktor mot både positiva och negativa tryckskillnader, skall startvinkeln  $\alpha_{in} = 0^\circ$  och efter insättning i de båda uttrycken (7) och (8) fås följande:

$$s_{max} = s_{min} = 1 / \sin(\alpha_{ut}) \quad (\alpha_{in} = 0^\circ) \quad (-) \quad (2.15)$$

Uttrycket (2.15) visar att det krävs små slutvinklar  $\alpha_{ut}$  för att få stora säkerhetsfaktorer. En slutvinkel  $\alpha_{ut} = 30^\circ$  ger dock endast en säkerhetsfaktor 2.

Luftridåns utböjning kan också sätta krav på att start- och slutvinklarna skall vara små, eftersom öppningens djup är begränsat.



Figur 2.10 Luftridåns säkerhetsfaktorer för ökad och omkastad tryckskillnad för olika start- och slutvinklar.

## Sammanfattning

Behovet av vinkling är svårbedömt. En konstant tryckskillnad i vertikalled klaras enklast av med vinkling.

Det går att bestämma säkerhetsfaktorer för luftridåers skyddsförmåga.

Vinklade luftridåer har en hög säkerhetsfaktor mot ökande övertryck, men en låg säkerhetsfaktor mot växling till undertryck.

Ovinklade luftridåer har samma säkerhetsfaktor mot både ökande övertryck och växling till undertryck.

Tryckskillnadsintervallet är oberoende vinkling.

En luftridå med en given impuls kan utformas med en godtycklig spaltbredd och med en anpassad utloppshastighet som ger rätt impuls.

### 3 Luftridå och nivåberoende tryckskillnad

En nivåberoende tryckskillnad i vertikalled fås för ett fall med konstant temperaturskillnad över en öppning. I fortsättningen kommer endast ett symmetriskt fall med medeltryckskillnaden noll att behandlas. Neutrallagret ligger på öppningens halva höjd. Detta symmetriska driftsfall med medeltryckskillnaden noll är lättare för en luftridå att klara av än ett fall med en konstant tryckskillnad.

#### Nivåberoende tryckskillnad

Tryckskillnaden i vertikalled  $\Delta p(z)$  för en densitetsskillnad  $\Delta\rho$  mellan de två sidorna om öppningen med höjden  $h$  kan skrivas som följer:

$$\Delta p(z) = \Delta p (1-2z/h) \quad (\text{Pa}) \quad (3.1)$$

$$\Delta p = \Delta\rho gh/2 \quad (\text{Pa}) \quad (3.2)$$

där

$\Delta\rho$	densitetsskillnad, $\text{kg/m}^3$
$g$	jordaccelerationen $\text{m/s}^2$
$h$	öppningens höjd, m
$z$	höjdläge, m

Sambandet (3.1) innebär att tryckskillnaden är  $\Delta p(0) = \Delta p$  för nivån  $z = 0$  och  $\Delta p(h) = -\Delta p$  för nivån  $z = h$ .

#### Luftridåns strömningsvinkel

Om grundsambandet (2.2) tillämpas för att bestämma luftridåns vinkel  $\beta$  för en given nivå  $z$  genom integration över intervallet  $(0,z)$ , vilket ger följande uttryck:

$$\sin(\beta) = \sin(\alpha_{in}) + \Delta p z(1-z/h)/J \quad (-) \quad (3.3)$$

#### Luftridåns utböjning

Ovanstående uttryck (3.3) kan användas för att bestämma utböjningen  $x(z)$  genom integration över intervallet  $(0,z)$ , vilket ger sambandet:

$$x(z) = \sin(\alpha_{in}) z + \Delta p z^2 (1/2 - z/3h)/J \quad (\text{m}) \quad (3.4)$$

## Symmetrisk luftridå

Uttrycket (3.4) kan användas för att beräkna den inloppsvinkel  $\alpha_{in}$  som ger utböjningen noll på halva höjden  $x(h/2)=0$ , vilket resulterar i följande samband:

$$6 J \sin(\alpha_{in}) = -\Delta p h \quad (\text{N}) \quad (3.5)$$

Detta samband kan jämföras med motsvarande för en konstant tryckskillnad  $\Delta p$  och en symmetrisk luftridå enligt (2.4) och en halvsymmetrisk luftridå enligt (2.5). Jämförelsen mellan dessa två beräkningsuttryck visar att mycket högre tryckskillnaderna  $\Delta p$  kan klaras av med samma impuls  $J$  och samma inloppsvinkel  $\alpha_{in}$ . Det skall dock påpekas att jämförelsen haltar, eftersom medeltryckskillnaden är noll för hela öppningen och  $\Delta p/2$  för den nedre halvan av öppningen och  $-\Delta p/2$  för den övre halvan av öppningen.

## Luftridåexempel

Samma exempel på två luftridåer som tidigare har redovisats i Figur 2.8 med startvinkeln  $0^\circ$  och i Figur 2.9 med startvinkel  $-30^\circ$  med olika konstant tryckskillnad redovisas här i Figur 3.1 och 3.2 för en nivåberoende tryckskillnad med medeltryckskillnad lika med noll.

Sifferparen i Figur 3.1 och 3.2 anger tryckskillnaden i Pa överst och nederst för en öppning med höjden 2.4 m. Luftridåens impuls är 4.8 N/m luftridå.

En granskning av kurvorna i Figur 3.1 och 3.2 visar att luftridåns kurvradie varierar och är oändlig när luftridån passerar halva höjden där tryckskillnaden är noll.

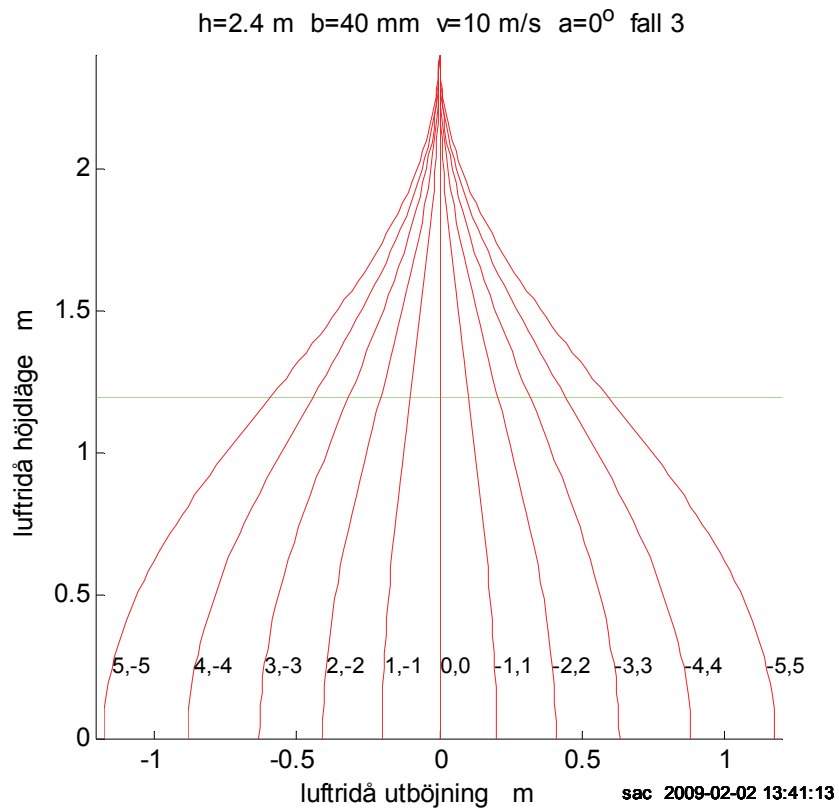
Gränsfallet för den ovinklade luftridån fås när luftridåns strömningsvinkel är  $90^\circ$  eller  $-90^\circ$  för halva höjden samtidigt som tryckskillnaden är noll. Insättning i (3.3) ger att  $\Delta p = 8$  Pa respektive  $\Delta p = -8$  Pa. Utböjningen är betydande.

Det ena gränsfallet för den vinklade luftridån fås när luftridåns strömningsvinkel är  $-90^\circ$  för halva höjden samtidigt som tryckskillnaden är noll. Insättning i (3.3) ger att  $\Delta p = 12$  Pa.

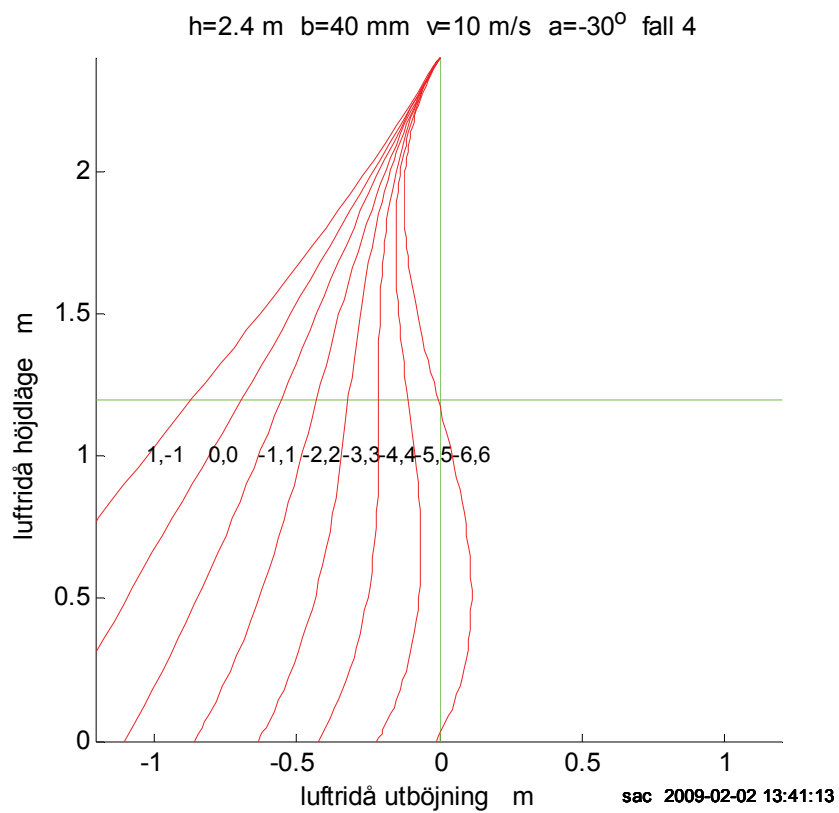
Det andra gränsfallet för den vinklade luftridån fås när luftridåns strömningsvinkel är  $90^\circ$  för halva höjden samtidigt som tryckskillnaden är noll. Insättning i (3.3) ger att  $\Delta p = -4$  Pa.

Skillnaden i tryckskillnad mellan de två gränfallen för de två luftridåfallen är som tidigare lika stor 16 Pa.

Kurvorna för det vinklade fallet i Figur 3.2 visar att fallet -6,6 Pa ger en symmetrisk luftridå med ingen utböjning på halva höjden. Detta stämmer med beräkningsuttryck (3.5) med impulsen  $J$  4.8 N/m, inloppsvinkel  $\alpha_{in}$   $30^\circ$ , höjden  $h$  2.4 m och tryckskillnadsvärdet  $\Delta p$  6 Pa.



Figur 3.1 Luftridås utböjning som funktion av höjden.



Figur 3.2 Luftridås utböjning som funktion av höjden.



## Sammanfattning

En symmetrisk luftfridå kan klara av en i vertikalled varierande tryckskillnad mellan  $-3\Delta p$  och  $3\Delta p$  med medeltryckskillnaden noll eller en konstant tryckskillnad  $-\Delta p$  eller  $\Delta p$  med samma vinkling och impuls.

En i vertikalled varierande tryckskillnad med medelvärdet noll kan klaras utan vinkling om utböjningen inte blir för stor.

## 4 Luftridå och värmeeffektivitet

Luftridåns värmeeffektivitet jämförs med en öppning utan någon luftridå med olika temperatur på vars sida om öppningen. Några förutsättningar är följande:

- Medeltryckskillnaden antas vara noll. Neutrallagret ligger på halva öppningens höjd.
- Det nedåtgående luftridåflödet delas upp i två lika stora halvkor när det når golvet.
- Luftridåns primärluft kan vara inneluft, uteluft eller förvärmad luft.
- Luftridåns impuls anpassas efter behovet.

Först redovisas några beräkningsuttryck för att kunna bestämma luftridåflöde och luftridåtemperatur.

### Luftridåns centrumhastighet

Alla luftstrålars hastighet avtar med avståndet från utloppet och för fallet med luftstrålar från långa spalter som betecknas plana luftstrålar gäller följande för dess centrumhastighet:

$$v(z) = v_0 K_v (b/(z + z_0))^{0.5} \quad (\text{m/s}) \quad (4.1)$$

där

$b$	spaltbredd, m
$v(z)$	centrumhastighet på avståndet $z$ m, m/s
$v_0$	centrumhastighet på avståndet 0 m, m/s
$K_v$	konstant omkring 2-6, -
$z$	avstånd från utlopp, m
$z_0$	inre avstånd till utlopp, m

Parametrarna  $K_v$  och  $z_0$  uppfyller kravet att  $v(0) = v_0$ , vilket ger sambandet  $z_0 = b K_v^{-2}$ .

Uttrycket (4.1) går också att skriva om genom att införa impulsen sedan tidigare enligt (2.1), vilket ger följande:

$$v(z) = K_v (J/\rho(z + z_0))^{0.5} \quad (\text{m/s}) \quad (4.2)$$

Detta uttryck visar att alla plana luftstrålar som har samma impuls  $J$  har samma avtagande hastighet oberoende av utloppshastighet, flöde eller spaltbredd. Detta går också att visa med (4.1) genom att ändra utloppshastigheten med en faktor  $f$  från  $v_0$  till  $f v_0$ , vilket ändrar spaltbredden  $b$  till  $b/f^2$ . Uttrycket (4.1) och impulsen  $J$  enligt (2.1) ändras inte alls. Uttrycket (4.2) gäller dock inte för små avstånd i förhållande till spaltbredden.

## Luftridåns totalflöde

Plan luftstrålars totalflöde ökar med avståndet från utloppet som följer:

$$q(z) = q_0 K_q ((z + z_0)/b)^{0.5} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (4.3)$$

där

$b$	spaltbredd, m
$q(z)$	totalflöde på avståndet $z$ m, $\text{m}^3/\text{s}$
$q_0$	startflöde, $\text{m}^3/\text{s}$
$K_q$	konstant omkring 0.3-0.6, -
$z$	avstånd från utlopp, m
$z_0$	inre avstånd till utlopp, m

Parametrarna  $K_q$  och  $z_0$  uppfyller kravet att  $q(0) = q_0$ , vilket ger sambandet  $z_0 = b K_q^{-2}$ . Totalflödet ökar med kvadratroten på avståndet och kan bli flera gånger större än startflödet.

## Luftridåns medeltemperatur

En luftridåns medeltemperatur  $T(z)$  är en sammanvägning av inblåsningstemperatur  $T_0$  och de två omgivande temperaturerna  $T_i$  och  $T_u$  efter motsvarande delflöden  $q_0$ ,  $(q(z) - q_0)/2$  och  $(q(z) - q_0)/2$ , vilket ger:

$$T(z) = (q_0 T_0 + (q(z) - q_0)(T_i + T_u)/2)/q(z) \quad (^\circ\text{C}) \quad (4.4)$$

Uttrycket (4.4) ovan visar att en luftridåns temperatur närmar sig medelvärde av inne- och utetemperatur, eftersom totalflödet  $q(z)$  blir flera gånger startflödet  $q_0$ . Detta betyder att om uteluft eller inneluft används som inblåsningluft blir skillnaden i luftridåstemperatur liten. Uttrycket ovan visar också att det kan krävas mycket höga inblåsningstemperaturer  $T_0$  om luftridån alltid skall vara varmare eller lika varm som inne.

## Värmeeffektbehov för en fri öppning

Effektbehovet för en fri öppning med en given höjd  $h$ , omgivande temperaturer  $T_i$  och  $T_u$  samt med antagande att neutrallagret ligger på halva öppningens höjd skall beräknas. Tryckskillnaden över öppningen varierar mellan  $-\Delta p$  och  $\Delta p$ . Tryckskillnaden  $\Delta p$  kan beräknas som:

$$\Delta p = (\rho_u - \rho_i)gh/2 \quad (\text{Pa}) \quad (4.5)$$

Högsta strömningshastighet nederst och överst för de två sidorna med temperaturerna  $T_i$  och  $T_u$  kan beräknas som:

$$v_i = (2\Delta p/\rho_i)^{0.5} \quad (\text{m/s}) \quad (4.6)$$

$$v_u = (2\Delta p/\rho_u)^{0.5} \quad (\text{m/s}) \quad (4.7)$$

Medelhastigheterna över öppningens nedre och övre halva är  $2/3$  av den högsta hastigheten, vilket medför att de två flödena kan beräknas som:

$$q_i = h v_i / 3 = h (2\Delta p / \rho_i)^{0.5} / 3 \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (4.8)$$

$$q_u = h v_u / 3 = h (2\Delta p / \rho_u)^{0.5} / 3 \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (4.9)$$

Den överförda effekten kan för de två flödena skrivas som:

$$P_i = \rho_i c q_i (T_i - T_u) \quad (\text{W}) \quad (4.10)$$

$$P_u = \rho_u c q_u (T_i - T_u) \quad (\text{W}) \quad (4.11)$$

## Värmeeffektbehov för en luftridå

Det förutsätts att luftridå täcker väl och att halva luftridåflödet vid golvet går inåt och den andra halva går utåt. Temperaturen kring luftridåns två sidor antas vara  $T_i$  och  $T_u$ . Någon utspädning med det golvflödet antas inte ske. Golvflödets temperatur beräknas enligt (4.4), där inloppstemperaturen kan vara  $T_i$  eller  $T_u$ .

Luftridåns värmeeffektbehov  $P_r$  kan anges med värmebehovet för det inåtgående golvflödet lika med halva golvflödet på formen:

$$P_r = \rho(h) c q(h) (T_i - T(h)) / 2 \quad (\text{W}) \quad (4.12)$$

Densiteten  $\rho(h)$  och temperaturen  $T(h)$  beror på om uteluft eller inneluft används som primärluft för luftridån.

## Luftridåns värmeverkningsgrad

Luftridåns värmeverkningsgrad  $u_i$  och  $u_u$  beräknas som kvoten mellan sparad värmebehov och totalt värmebehov enligt (4.10) eller (4.11), vilket kan skrivas som:

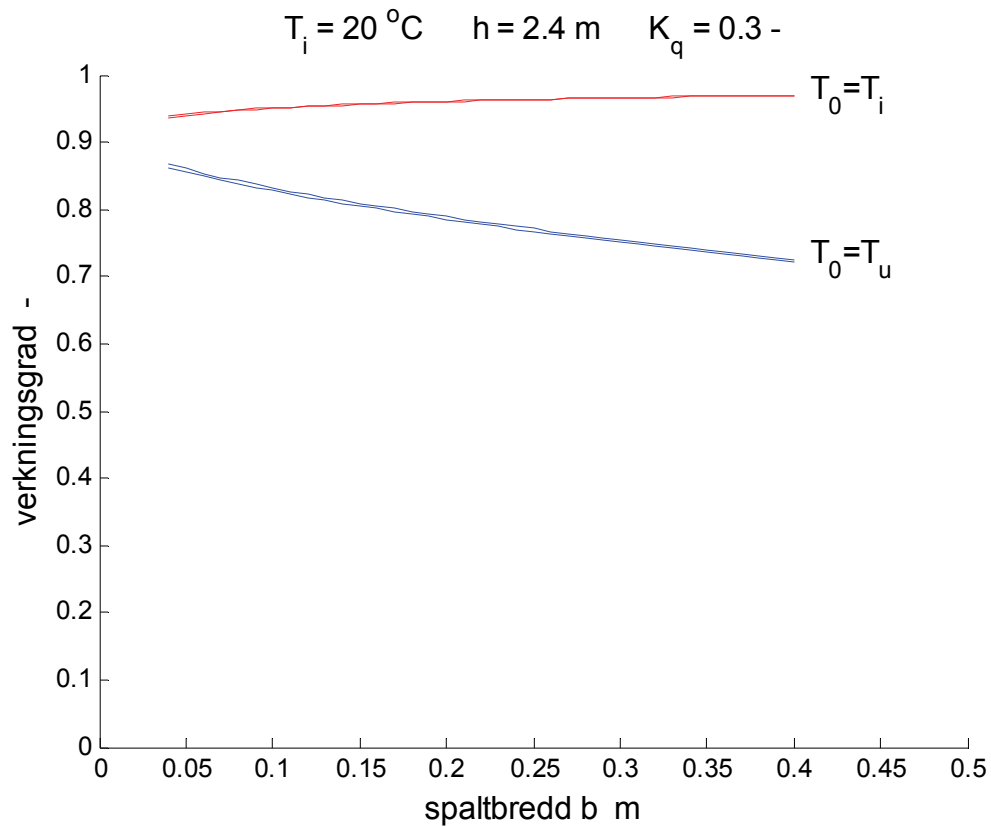
$$u_i = (P_i - P_r) / (P_i - 0) = 1 - P_r / P_i \quad (-) \quad (4.13)$$

$$u_u = (P_u - P_r) / (P_u - 0) = 1 - P_r / P_u \quad (-) \quad (4.14)$$

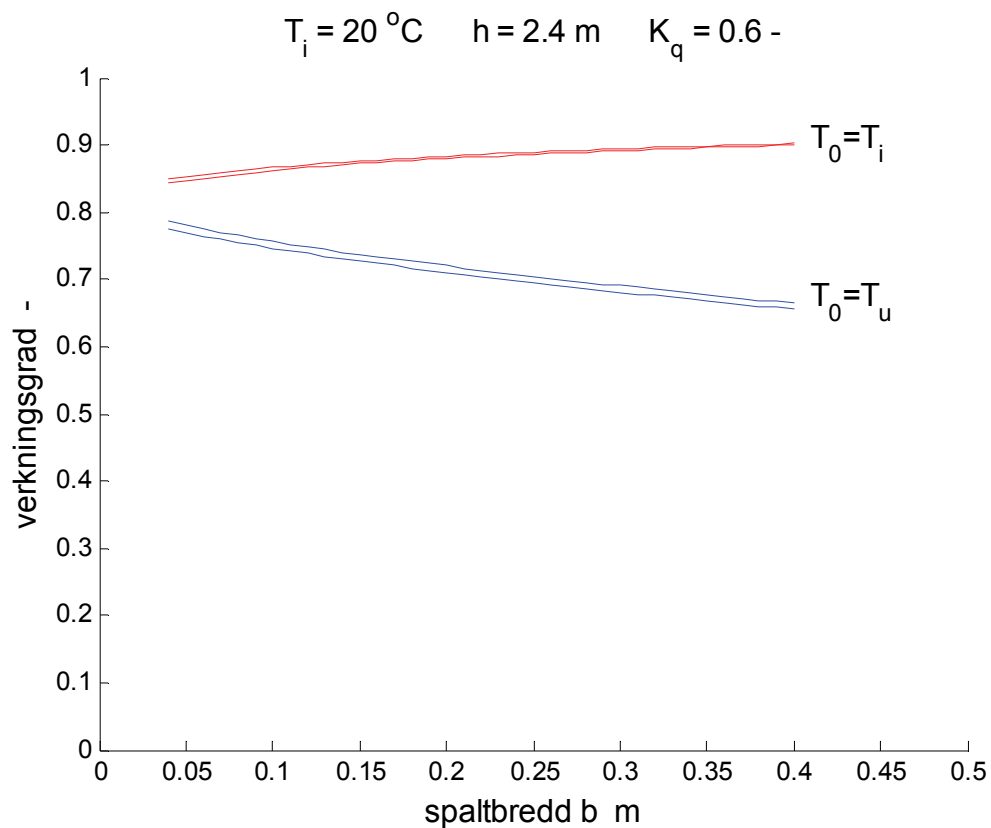
## Sammanfattning

Värmeverkningsgrad, primärflöde, golvflöde och golvtemperatur redovisas som funktion av spaltbredder från 40 mm till 400 mm för innetemperaturen  $20^\circ\text{C}$  och utetemperaturerna  $10^\circ\text{C}$  och  $-20^\circ\text{C}$  i Figur 4.1, 4.3 och 4.5 för  $K_q = 0.3$  och i Figur 4.2, 4.4 och 4.6 för  $K_q = 0.6$ .

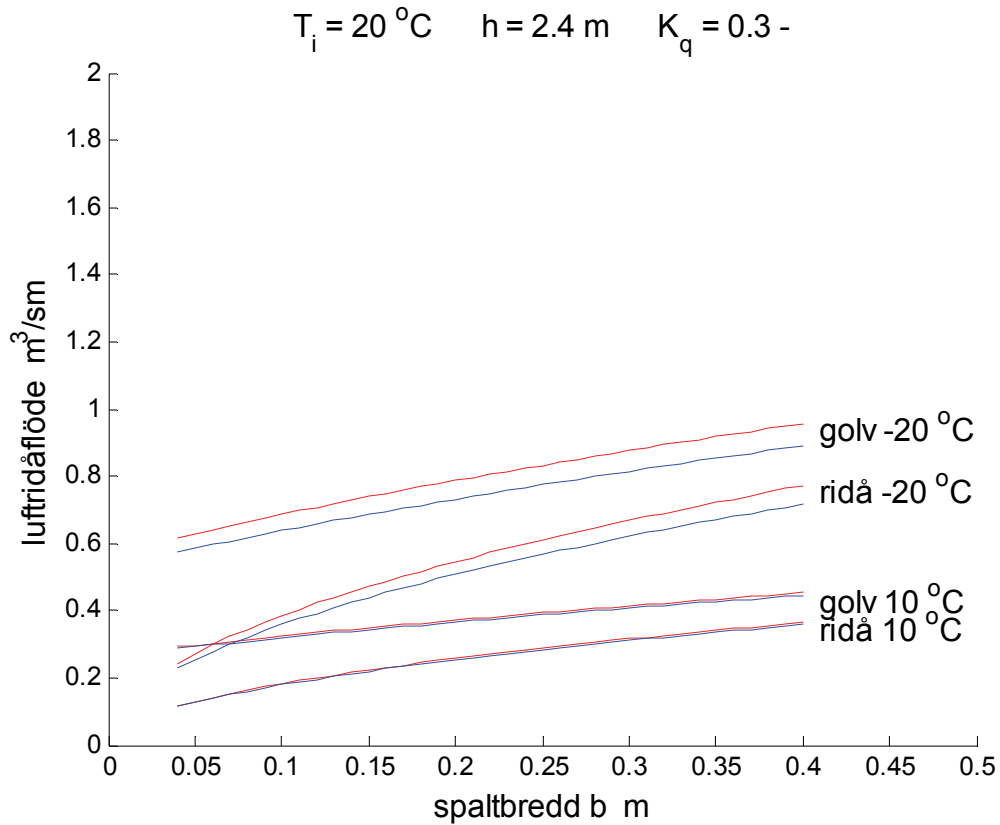
Kurvorna i Figur 4.1 och 4.2 visar att bäst värmeverkningsgrad fås med inneluft som primärluft. Förklaring är att detta inneluftsflöde utnyttjas bättre i luftridån än som ren avluft. En annan fördel med inneluft som primärluft är att luftridån blir varmare än med uteluft.



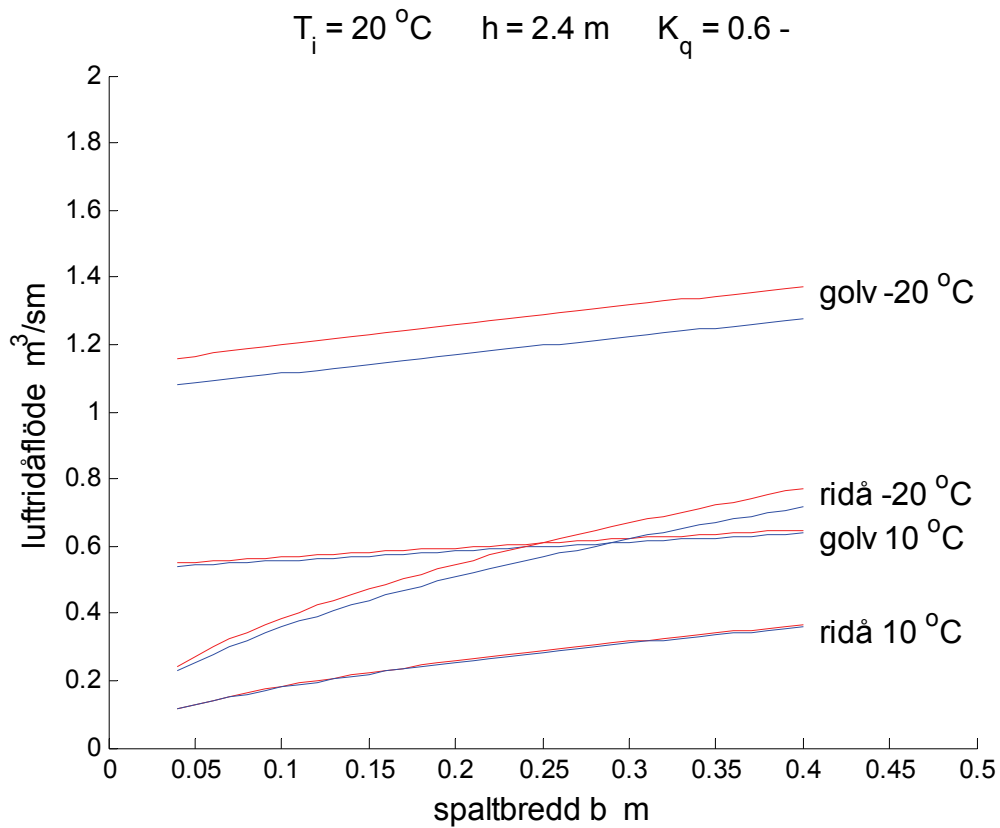
Figur 4.1 Värmeverkningsgrad  $u_i$  och  $u_u$  som funktion av spaltvidd  $b$  för  $K_q = 0.3$ .



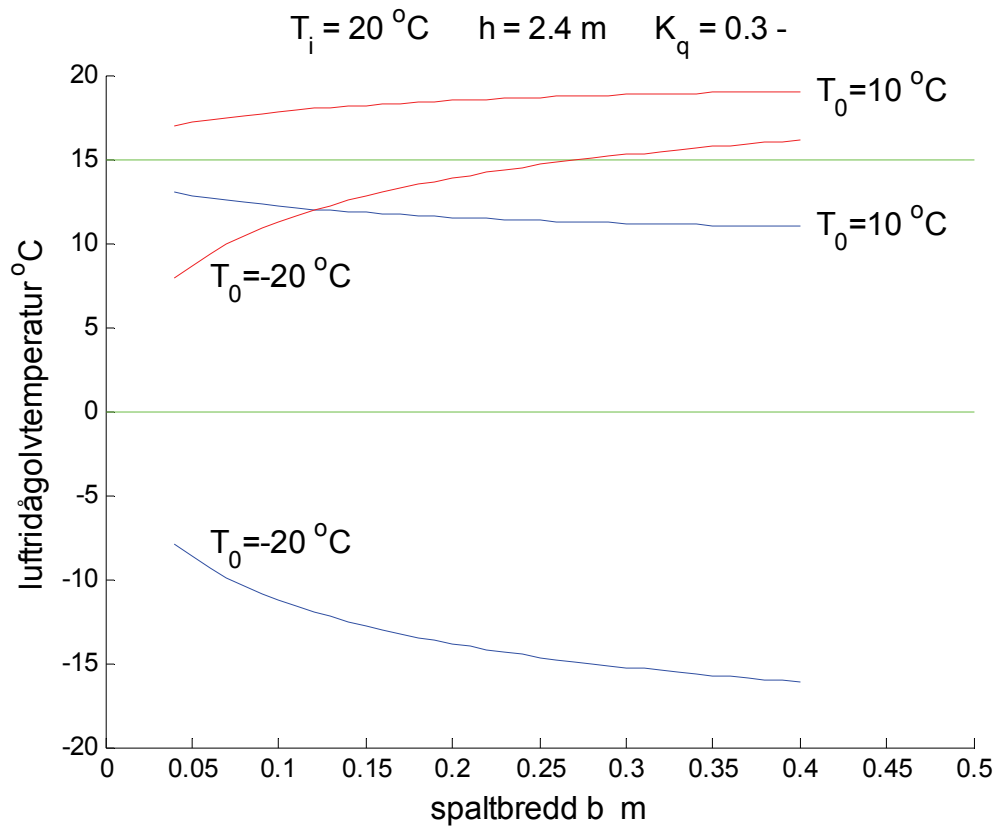
Figur 4.2 Värmeverkningsgrad  $u_i$  och  $u_u$  som funktion av spaltvidd  $b$  för  $K_q = 0.6$ .



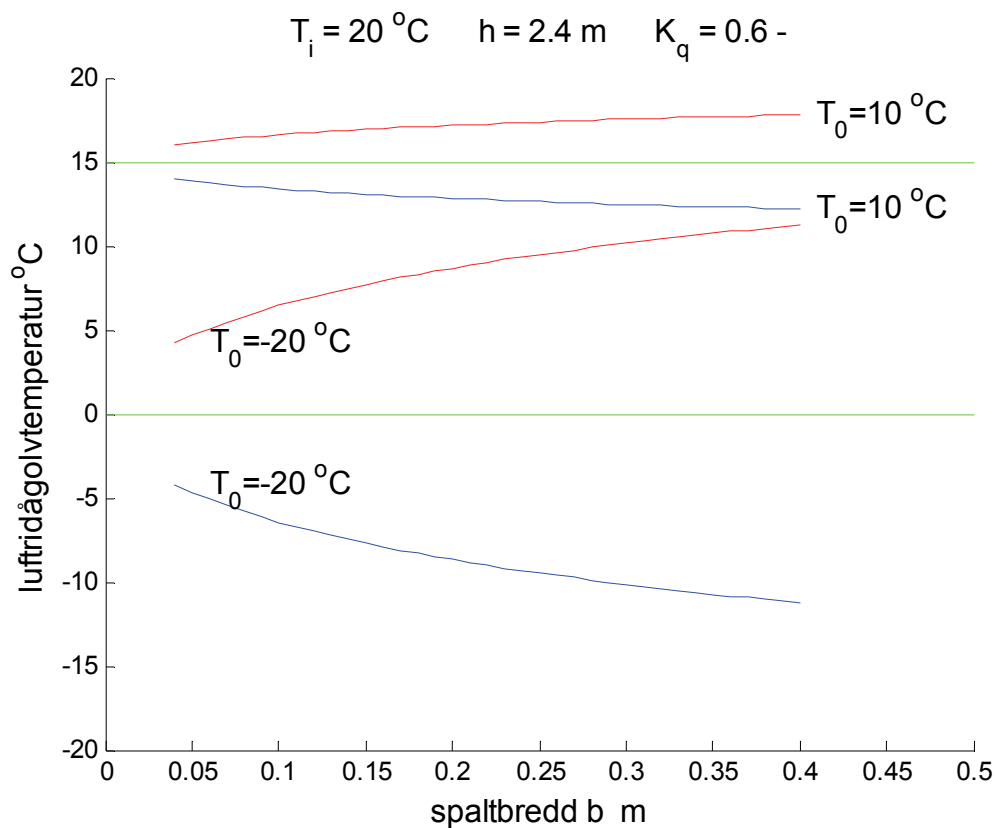
Figur 4.3 Primärflöden och golvflöden som funktion av spaltvidd  $b$  för  $K_q = 0.3$ .



Figur 4.4 Primärflöden och golvflöden som funktion av spaltvidd  $b$  för  $K_q = 0.6$ .



Figur 4.5 Luftridåns golvtemperatur som funktion av spaltvidd  $b$  för  $K_q = 0.3$ .



Figur 4.6 Luftridåns golvtemperatur som funktion av spaltvidd  $b$  för  $K_q = 0.6$ .

## 5 Luftridå och eleffektivitet

Det kan därför vara av intresse att använda ett så litet flöde som möjligt i en luftridå, eftersom mindre filter, fläkt och värmebatteri krävs. Ett litet flöde medför dock att den höga utloppshastigheten kan kräva höga tryckstegringar och fläkteffekter. Ljudproblem kan också uppstå. Om luftridån bidrar till uppvärmningen är ett litet flöde en begränsande faktor.

### Luftridåns fläkteffektbehov

En bibehållen impuls  $J$  med ett halverat flöde  $bv_0$  medför att en fördubblad inloppshastighet  $v_0$ . Det fläkteffektbehov som själva luftstrålen eller spalten kräver kan skrivas som produkten mellan spalttryckfall  $\rho v_0^2/2$  och flöde  $bv_0$ . Övriga tryckfall i aggregatet antas kunna skrivas som  $aq^n$  eller som  $a(bv_0)^n$  och motsvarande effektbehov för övriga tryckfall i aggregatet blir på formen  $aq^{n+1}$  eller som  $a(bv_0)^{n+1}$ . Parametern  $n$  är 1 för laminärt tryckfall och 2 för turbulent tryckfall. Notera att parametern  $a$  är aggregattryckfallet i Pa för flödet  $q$  lika med 1 m<sup>3</sup>/s. Det totala teoretiska effektbehovet kan skrivas som följer:

$$P = \rho b v_0^3 / 2 + a (b v_0)^{n+1} \quad (\text{W}) \quad (5.1)$$

Uttrycket (5.1) kan skrivas om till en funktion av enbart spaltbredden eller spaltarean  $b$  genom att utnyttja sambandet (2.1) för impulsen  $J = \rho b v_0^2$  för att eliminera hastigheten  $v_0$ , vilket blir följande:

$$P = J^{1.5} \rho^{-0.5} b^{-0.5} / 2 + a J \rho^{-1} b \quad (n=1) \quad (\text{W}) \quad (5.2)$$

$$P = J^{1.5} \rho^{-1.5} (\rho b^{-0.5} / 2 + a b^{1.5}) \quad (n=2) \quad (\text{W}) \quad (5.3)$$

### Luftridåns bästa spaltbredd

Det går att finna den spaltbredd som ger det minsta fläkteffektbehovet  $P$ . Derivering av (5.2) och (5.3) ger ett minima för följande spaltbredd  $b$ :

$$b_{min} = (J \rho / 16 a^2)^{1/3} \quad (n=1) \quad (\text{m}) \quad (5.4)$$

$$b_{min} = (\rho / 6 a)^{0.5} \quad (n=2) \quad (\text{m}) \quad (5.5)$$

Hur de två termerna för spalt och aggregatdelar på effektbehov och tryckfall i det optimala fallet kan bestämmas genom att sätta in  $b_{min}$  enligt (5.4) och (5.5), vilket ger effekten  $P_{min}$ :

$$P_{min} = J^{4/3} \rho^{-2/3} a^{1/3} 2^{-4/3} (2+1) \quad (n=1) \quad (\text{W}) \quad (5.6)$$

$$P_{min} = J^{1.5} \rho^{-0.75} a^{0.25} 6^{-0.75} (3+1) \quad (n=2) \quad (\text{W}) \quad (5.7)$$



Parenteserna (2+1) i (5.6) och (3+1) i (5.7) visar att själva spalteffektbehovet är två eller tre gånger aggregatets effektbehov. Detta förhållande kan härledas till de två exponenterna för spaltbredden  $b$  i (5.2) och (5.3). Om de två termernas exponenter betecknas  $-m$  och  $p$  blir förhållandet omvänt  $p:m$ .

Vad optimering innebär kan tolkas med följande indata för  $n=2$  och ett aggregattryckfall 125 Pa vid  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  fås en spaltbredd på 0.04 m. Om det aktuella flödet är  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  kommer utloppshastigheten vara 25 m/s vilket motsvarar ett dynamiskt tryck om 375 Pa lika med spalttryckfallet och tre gånger aggregattryckfallet på 125 Pa.

Hur flöde  $q$ , utloppshastighet  $v_0$ , olika tryckfall och motsvarande effekter beror av spaltbredden  $b$  är sammanställt i Tabell 5.1 nedan. Tryckfall och effekter redovisas i Figur 5.1-4.

Tabell 5.1 Spaltbreddsexponent vid konstant impuls

storhet	spaltbreddsexponent	Figur $n=1$	Figur $n=2$
utloppshastighet	-0.5		
flöde	0.5		
spalttryckfall	-1	5.1	5.3
aggregattryckfall	$n/2$	5.1	5.3
spalteffektbehov	-0.5	5.2	5.4
aggregateffektbehov	$n/2+0.5$	5.2	5.4

Ett första påpekande är att minimalt fläkteffektbehov inte innebär minimalt totaltryckfall. Detta framgår av tryckfallen för  $n=2$  som redovisas i Figur 5.3 hela tryckfallet har ett minima omkring spaltbredden 0.07 m och de två deltryckfallen är samtidigt lika stora. Detta stämmer också med motsvarande flödesexponenter för spaltbredden som enligt Tabell 5.1 är -1 och 1. Den spaltbredd som ger lägsta totaltryckfall kan beräknas som  $(\rho/2a)^{0.5}$ , vilket är likt uttrycket (5.5) så när som en faktor  $3^{0.5}$ . Lägsta totaltryckfall fås för det aktuella fallet till 0.069 m. För fallet  $n=1$  är fås lägsta totaleffektbehov för 0.052 m och lägsta totaltryckfall för 0.132 m vilket enligt teorin skall vara  $(J\rho/a^2)^{1/3}$  och en faktor  $16^{1/3}$  större än enligt (5.5).

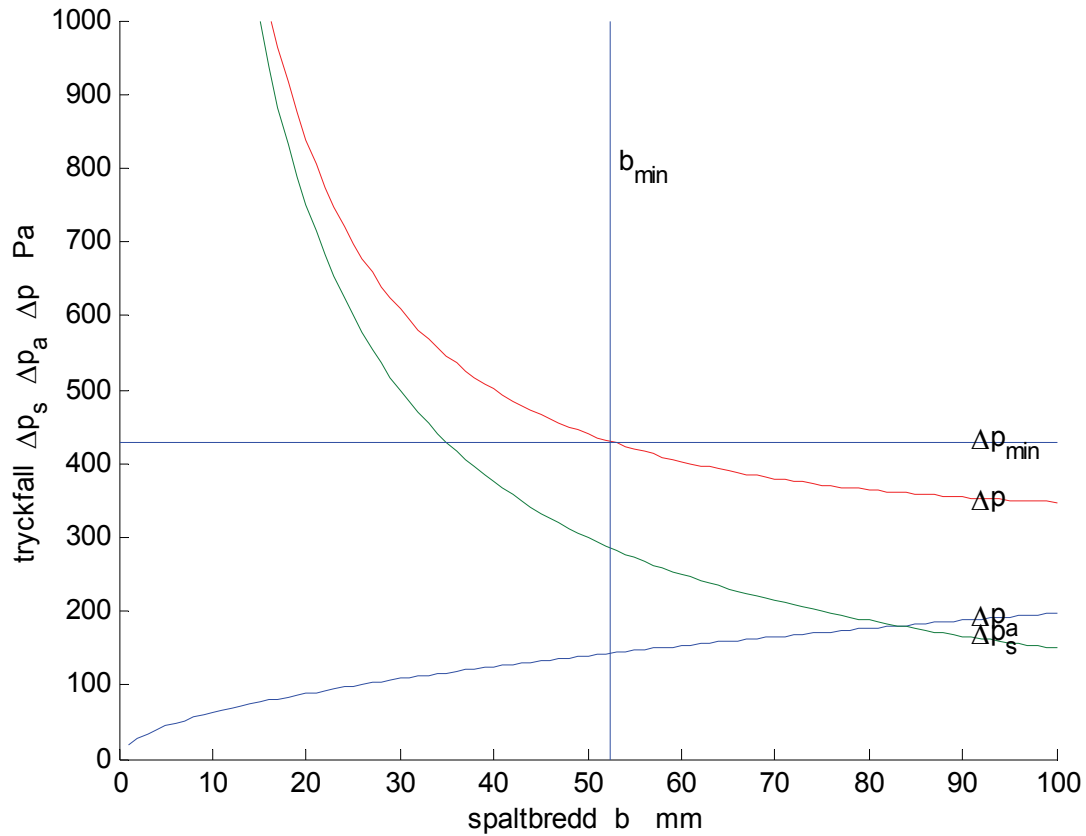
Ett andra påpekande för totaleffektbehovet i Figur 5.4 visar också att minimat är ganska flackt. En mindre ökning av effektbehovet från 500 W/m till 600 W/m ger en stor möjlig ändring i spaltbredd från 40 mm till omkring 20 mm eller 75 mm. Den mindre halverade spaltbredden innebär också att flödet minskar enligt Tabell 5.1 med en faktor  $0.5^{0.5}$  eller 0.71.

## Sammanfattning

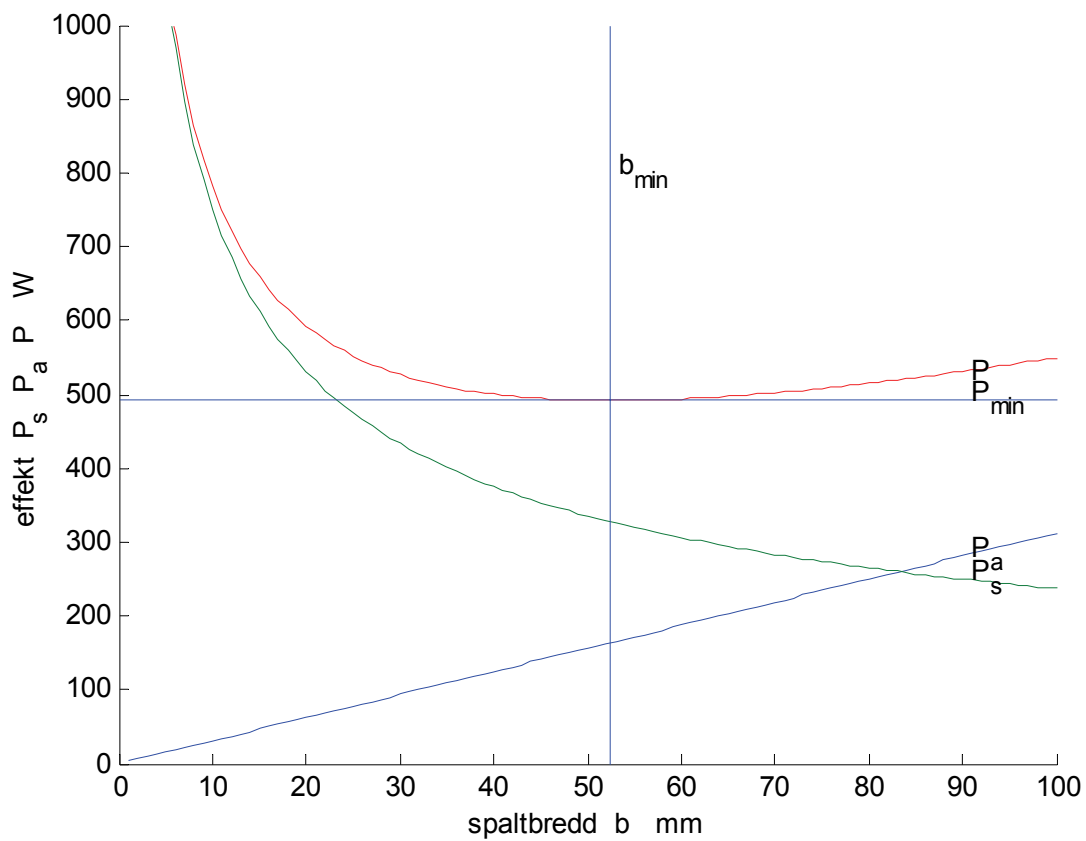
För ett givet luftridåaggregat med värmning och filter finns det alltid en spaltbredd som ger ett lägsta eleffektbehov för fläktdriften.

Eleffektbehovet för fläktdriften är dock en ganska flack funktion kring spaltbredden med lägsta eleffektbehov.

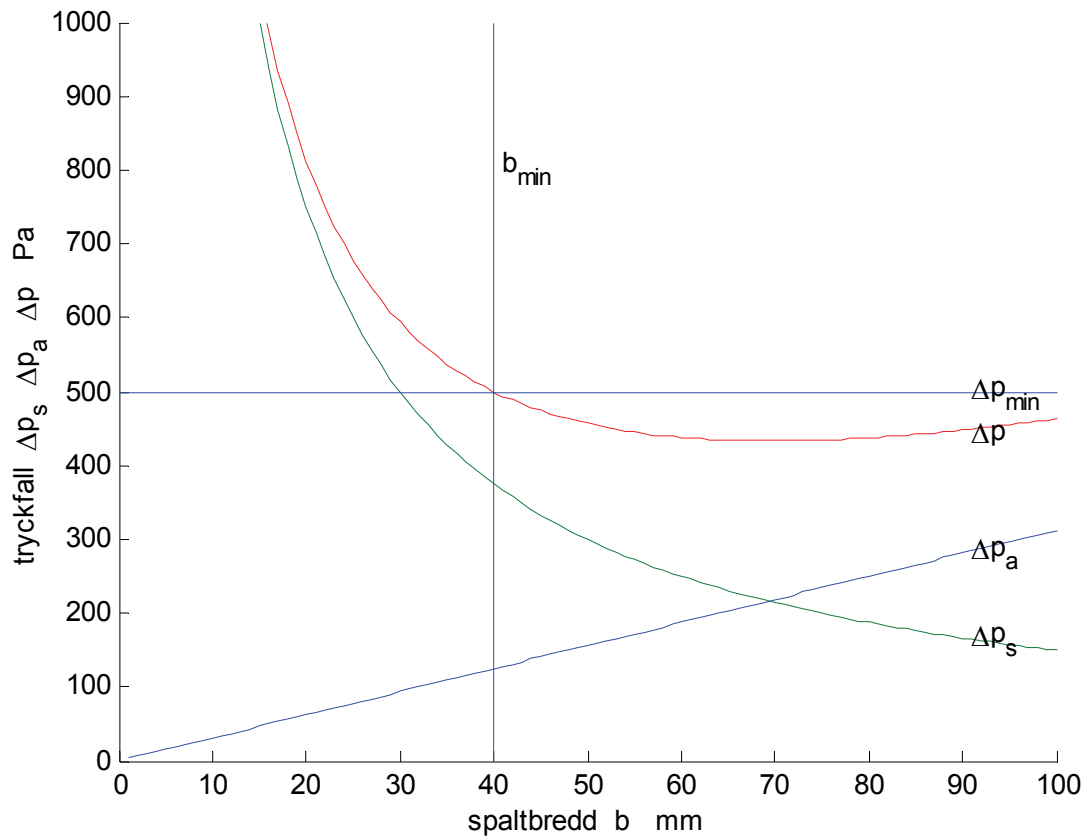
Förhållandet mellan spalteffektbehov och aggregateffektbehov är 3:1 för kvadratisk aggregatförluster och 2:1 för linjära aggregatförluster för fallet med lägsta totala effektbehov.



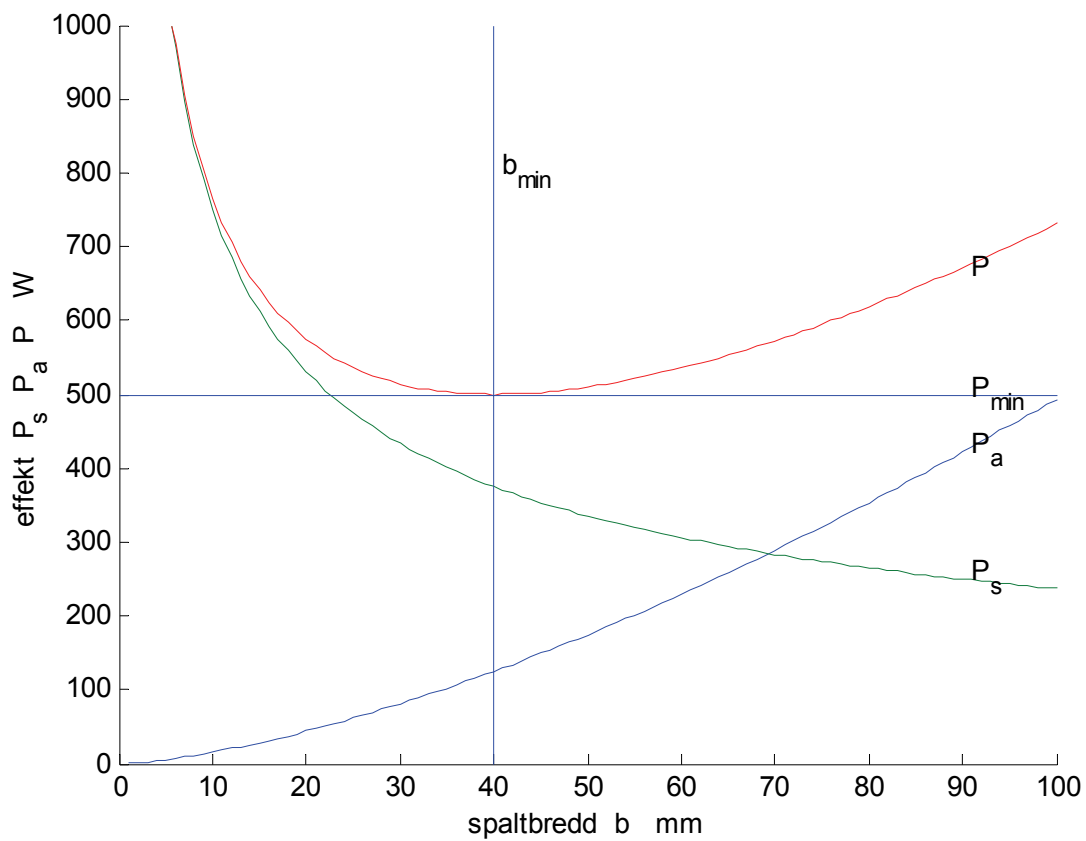
Figur 5.1 Olika tryckfall som funktion av spaltbredden  $b$  vid konstant impuls och  $n=1$ .



Figur 5.2 Olika effektbehov som funktion av spaltbredden  $b$  vid konstant impuls och  $n=1$ .



Figur 5.3 Olika tryckfall som funktion av spaltbredden  $b$  vid konstant impuls och  $n=2$ .



Figur 5.4 Olika effektbehov som funktion av spaltbredden  $b$  vid konstant impuls och  $n=2$ .

## 6 Luftridå och spärreffektivitet

I detta avsnitt undersöks hur effektivt en luftridå kan förhindra spridning av en yttre förorening genom en öppning in till en ventilerad lokal. Analysen bygger på följande förutsättningar:

- Analysen är helt statisk och gäller för ett jämviktstillstånd.
- Luftridåns primärluft kan vara inneluft eller uteluft.
- Luftridåns nedåtgående flöde är fullständigt omblandat.
- Halva luftridåns golvflöde går inåt och omblandas fullständigt med lokalluften.
- Lika stor inblandning i luftridån sker utifrån som inifrån.
- Lokalens tilluft är helt ren och utan någon förorening.

Följande beteckningar används för den dimensionsfria analysen:

$c_u$	föroreningsnivå utvändig luft
$c_i$	föroreningsnivå invändig luft
$c_r$	föroreningsnivå luftridåns luft vid golv
$q_p$	luftridåns primärflöde
$q_g$	luftridåns golvflöde
$q$	lokalens tilluftflöde

### Föroreningsbalanser

Föroreningsbalansen för själva luftridån ger ett samband mellan frånflöden och tillflöden enligt nedan för fallet med uteluft som primärluft enligt (6.1) eller med inneluft som primärluft enligt (6.2):

$$q c_r = (q_g + q_p) c_u / 2 + (q_g - q_p) c_i / 2 \quad (-) \quad (6.1)$$

$$q c_r = (q_g - q_p) c_u / 2 + (q_g + q_p) c_i / 2 \quad (-) \quad (6.2)$$

Föroreningsbalansen för lokalen kan skrivas som:

$$q c_i + (q_g - q_p) c_i / 2 = (q_g - q_p) c_r / 2 \quad (-) \quad (6.3)$$

## Spärreffektivitet mot föroeningar

Spärreffektiviteten  $s$  mot föroeningar utanför den ventilerade lokalen vars öppning skyddas med en luftridå kan skrivas som kvoten mellan rådande skillnad i föroeningsnivå och ideal skillnad i föroeningsnivå lika med den yttre föroeningsnivån.

$$s = (c_u - c_i) / (c_u - 0) = 1 - c_i / c_u \quad (-) \quad (6.4)$$

Sambanden (6.1-3) kan användas för att skriva om spärreffektiviteten  $s$  enligt (6.4) med enbart de tre flödena, vilket ger spärreffektiviteten med inneluft som primärluft  $s_i$  och spärreffektiviteten med uteluft som primärluft  $s_u$ :

$$s_i = q q_g / [q q_g + (q_g - q_p)(q_g - q_p)/4] \quad (-) \quad (6.5)$$

$$s_u = q q_g / [q q_g + (q_g - q_p)(q_g + q_p)/4] \quad (-) \quad (6.6)$$

Det framgår av de två uttrycken för spärreffektivitet att inneluft som primärluft är bättre än uteluft som primärluft, vilket kan förklaras med att föroeningsnivån i luftridån minskar med inneluft som primärluft. En förutsättning för fallet med inneluft som primärluft är att tilluftsflödet måste vara större än primärflödet, alltså  $q > q_p$ .

De två uttrycken för spärreffektivitet kan förenklas något genom att införa faktorn  $p = q_p / q_g$  och faktorn  $a = q / q_g$ , vilket efter förenkling ger:

$$s_i = 1 / [1 + (1 - p)^2 / 4a] \quad (-) \quad (6.7)$$

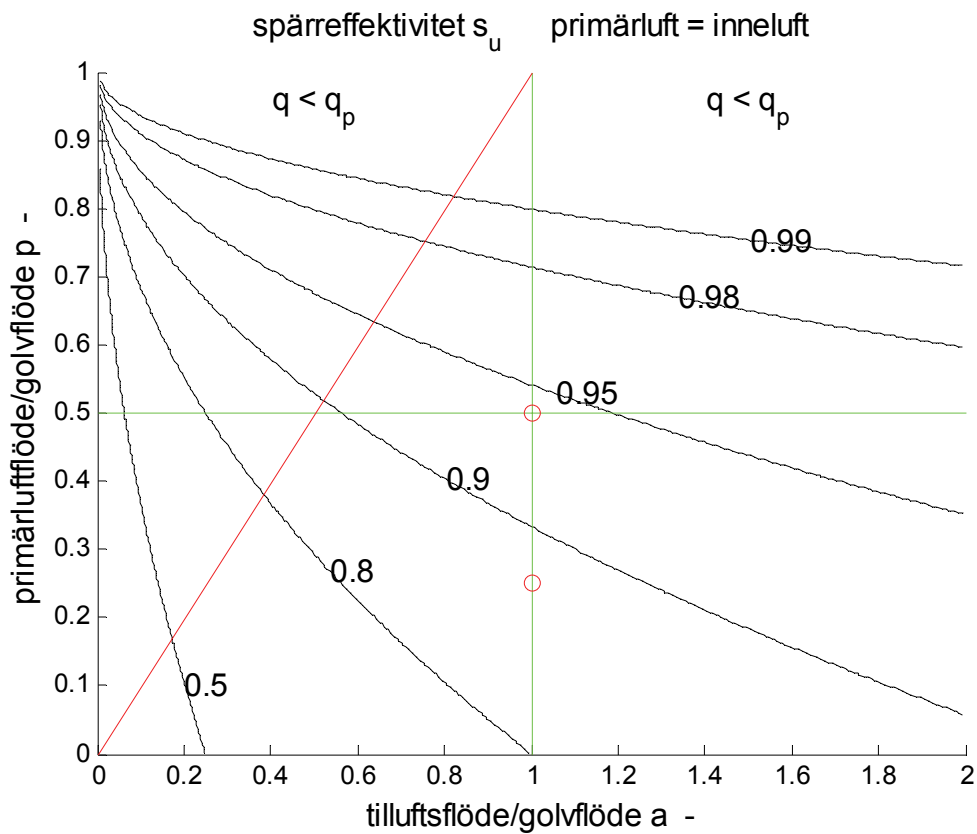
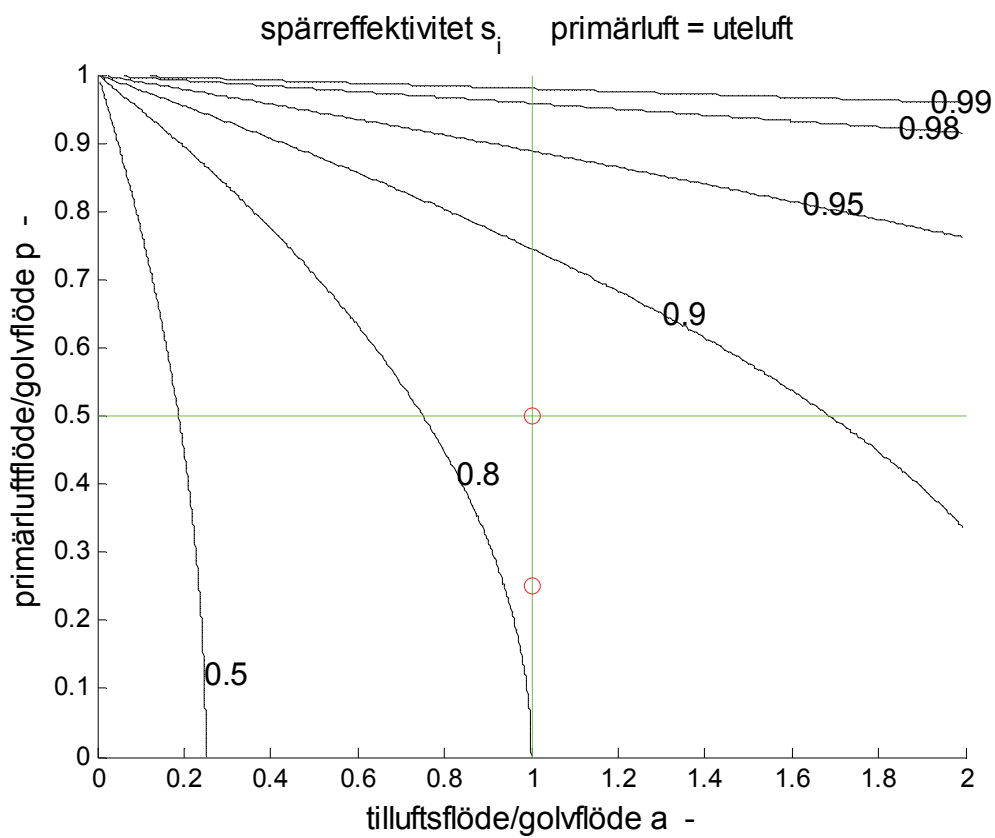
$$s_u = 1 / [1 + (1 - p^2) / 4a] \quad (-) \quad (6.8)$$

De två uttrycken (6.7) och (6.8) visar att spärreffektiviteten inte blir hög om tilluftsflödet är av samma storleksordning som luftridåns golvflöde  $a \approx 1$  och särskilt om luftridåns primärluftflöde är en mindre del av luftridåns golvflöde  $p \ll 1$ . Ett sifferexempel är  $a = 1$  och  $p = 0.25$ , vilket ger uträknat  $s_i = 0.877$  och  $s_u = 0.810$ . En högre primärluftandel  $p = 0.5$  ger  $s_i = 0.941$  och  $s_u = 0.842$ .

Spärreffektiviteten redovisas för de två fallen med inneluft eller uteluft som primärluft redovisas i Figur 6.1 respektive 6.2 som isodiagram med parametern  $a$  i intervallet (0,2) som x-axel och primärluftandel  $p$  i intervallet (0,1) som y-axel. Kravet med inneluft som primärluft i Figur 6.1 måste uppfylla kravet att  $q > q_p$  till höger om gränslinjen  $a = p$  motsvarande  $q = q_p$ .

## Sammanfattning

Slutsatsen är nog att en luftridå inte ger ett bra skydd mot föroeningsspridning, om antagandet om fullständig omblandning i luftridån mellan de två sidorna gäller. Det finns nog bättre alternativ. Notera att föroeningen kan även vara värme eller kyla.

Figur 6.1 Spärreffektivitet  $s_i$  enligt (6.7) för en luftridå med inneluft som primärluft.Figur 6.2 Spärreffektivitet  $s_u$  enligt (6.8) för en luftridå med uteluft som primärluft.



## 7 Sammanfattning

Resultatet för analysen av en luftridås egenskaper och olika frågeställningar sammanfattas här med tanke på en byggnad med normal innetemperatur och med byggnad menas här en enda sammanhängande luftvolym.

En viktig anmärkning är att analysen har skett med antagande om att en luftridås impuls inte ändras, vilket är korrekt för ett isotermiskt fall

### Störningar

Vinden kan skapa större tryckskillnader kring byggnader än vad luftridåer kan klara av. Ett undantag är en luftridå till en helt tät byggnad och med inget eller ett ventilationssystem i balans som inte påverkas av lokalens tryck.

Otäta höga byggnader kan vintertid skapa stora inre undertryck nederst i byggnad, vilket en luftridå inte kan klara av.

Stor obalans mellan den normala ventilationens tilluft och frånluft kan en luftridå inte heller klara av.

En byggnad kan inte ha luftridåer på flera olika fasader till en och samma lokal, eftersom vindpåverkan redan vid måttlig vindstyrka blir orimligt stor.

En byggnad kan inte heller ha luftridåer på flera olika plan, eftersom de termiska stigkrafterna kan bli för stora vid låga utetemperaturer.

### Konstant tryckskillnad

Endast mindre konstanta tryckskillnader kan en luftridå klara av.

### Nivåberoende tryckskillnad

Stora nivåberoende tryckskillnader kan en luftridå klara av om neutrallagret ligger på öppningens halva höjd. En temperaturskillnad mellan de två sidorna om en öppning skapar en nivåberoende tryckskillnad. En utetemperatur på  $-23\text{ °C}$  och en innetemperatur på  $20\text{ °C}$  resulterar i en tryckgradient på  $2\text{ Pa/m}$ , vilket en luftridå lätt klarar av om neutrallagret ligger på öppningens halva höjd.



## Värmeeffektivitet

En luftridå kan minska värmebehovet för en byggnad jämfört med en helt fri öppning utan någon luftridå. Inneluft som primärluft ger bättre resultat än uteluft som primärluft. Ett påpekande är dock att ineluften kunde som frånluft passerat ventilationssystemets värmeåtervinning.

## Eleffektivitet

För ett givet luftridåaggregat med värmning och filter finns det alltid en spaltbredd som ger ett lägsta eleffektbehov för fläktdriften.

Eleffektbehovet för fläktdriften är dock en ganska flack funktion kring spaltbredden med lägsta eleffektbehov.

Förhållandet mellan spalteffektbehov och aggregateffektbehov är 3:1 för kvadratiska aggregatförluster och 2:1 för linjära aggregatförluster för fallet med lägsta totala effektbehov

## Spärreffektivitet

En luftridå ger inte ett bra skydd mot föroreningsspridning, om antagandet om fullständig omblandning i luftridån mellan de två sidorna gäller. Det finns nog bättre alternativ.