



LUND UNIVERSITY

Tryckfall för spalt med rektangulär 180° -böj

Jensen, Lars

2009

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Jensen, L. (2009). *Tryckfall för spalt med rektangulär 180° -böj*. (TVIT; Vol. TVIT-7000). Avd Installationsteknik, LTH, Lunds universitet.

Total number of authors:

1

General rights

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

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

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

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

Take down policy

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

LUND UNIVERSITY

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

Tryckfall för spalt med rektangulär 180°-böj

Lars Jensen

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2009
Rapport TVIT--09/7041



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 direktelvärmade hus till alternativa värmesystem, vädring och ventilation i skolor, system för brandsäkerhet, alternativa sätt att förhindra rökspredning vid brand, installationernas belastning på yttre miljön, att betrakta byggnad och installationer som ett byggnadstekniskt system, analysera och beräkna inneklimatet i olika typer av byggnader, effekter av brukarnas beteende för energianvändning, reglering av golvvärmesystem, bestämning av luftflöden i byggnader med hjälp av 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.

Tryckfall för spalt med rektangulär 180°-böj

Lars Jensen

© Lars Jensen, 2009
ISRN LUTVDG/TVIT--09/7041--SE(23)

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

Innehållsförteckning

1	Inledning och problembeskrivning	5
2	FDS-modeller	7
3	Beräkningsresultat	9
4	Strömningsmönster	13
5	Sammanfattning och slutsatser	23

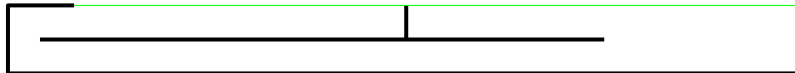
1 Inledning och problemställning

Syftet med denna arbetsrapport är att undersöka och dokumentera tryckförluster i en spalt med en rektangulär böj med vinkeln 180° enligt modell 1 Figur 1.1. Två modeller 2 och 3 tas även med som jämförelse. Modell 2 motsvarar närmast en spalt med en böj med vinkel 90° och modell 3 enbart en spalt utan någon böj. Modellens längd och höjd är 600 mm respektive 50 mm enligt Figur 1.2 och dess bredd 200 mm.

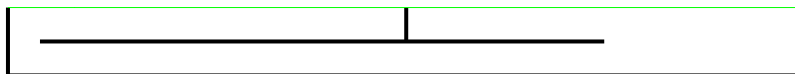
Det egentliga problemet, som beskrivs av modell 1, avser en luftad spalt i en yttervägg bakom en tunn fasadskiva med en spaltvidd om 25 mm, en bredd av 450 mm och en längd upptill våningshöjd. Upp för modellerna i Figur 1.1 är åt vänster. De tre modellfallen har påtvingats en yttre hastighet vinkelrät mot den högra öppna ytan enligt Figur 1.1. Sex olika hastighetsfall har provats med 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2 och 5 m/s.

Modell 3 har tagits med för att kunna eliminera själva spaltens och inloppsdelens inverkan. Modell 2 har tagits med bara för att göra en jämförelse med modell 2.

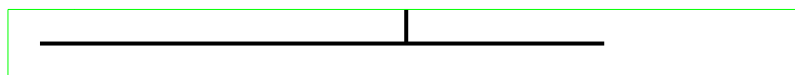
modell 1 180° vinkel



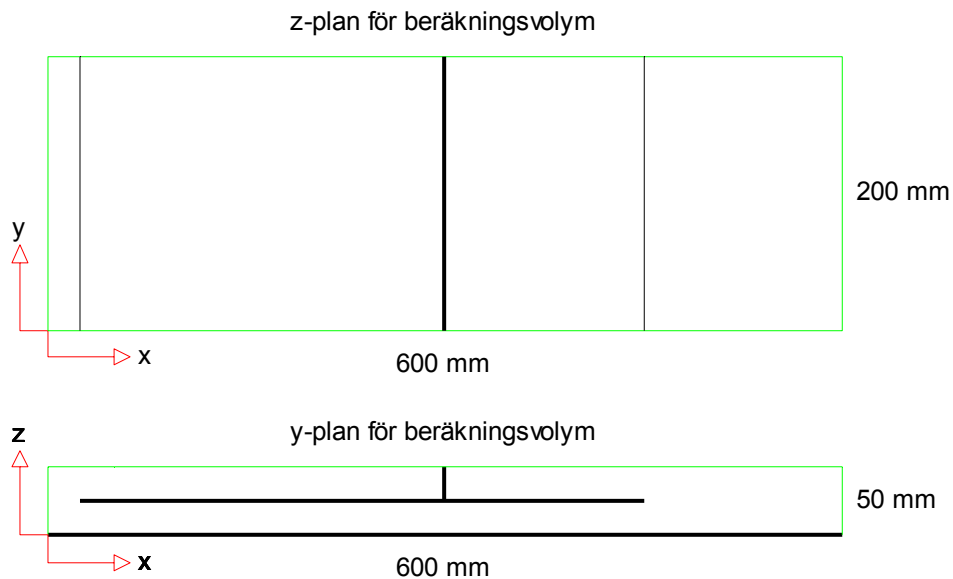
modell 2 90° vinkel



modell 3 0° vinkel



Figur 1.1 Tre beräkningsmodeller för en spalt med grova linjer för ytor och tunna linjer för begränsning av beräkningsområdet och fyra mätplan i spalten.



Figur 1.2 Beräkningsmodellens mått i mm.

De tre FDS-modellerna beskrivs i avsnitt 2. Beräkningsmodulen har varit 2.5 mm. Beräkningstiden har varit 5 s och data sparas efter 1, 2, 3, 4 och 5 s.

Beräkningsresultat redovisas i avsnitt 3 med uppgift att bestämma en laminär och/eller en turbulent förlustkoefficient. Medelhastigheten i spalten beräknas och jämförs med den påtvingade gränshastigheten. Antalet data för spaltens medelhastighet är 360 (3 modellfall, 6 hastighetsfall, 5 tidsfall och 4 mätplansfall).

Hur strömningen är i olika delar av modellerna redovisas i avsnitt 4 för sex olika tvärsnitt för modellen, vilka är ett totalt längstvårsnitt, ett lokalt längstvårsnitt vid själva böjen och de fyra mätplanen. De två första avser total hastighet och de fyra senare hastighet vinkelrät mätplan.

En sammanfattning och slutsatser ges sist i avsnitt 5.

2 FDS-modeller

Beräkningar har skett med FDS, ett datorprogram för strömningsberäkning särskilt med inriktning mot brand. Programmet beskriver turbulens med på large-eddy-teknik, vilket gör den mindre lämplig för laminära förhållanden.

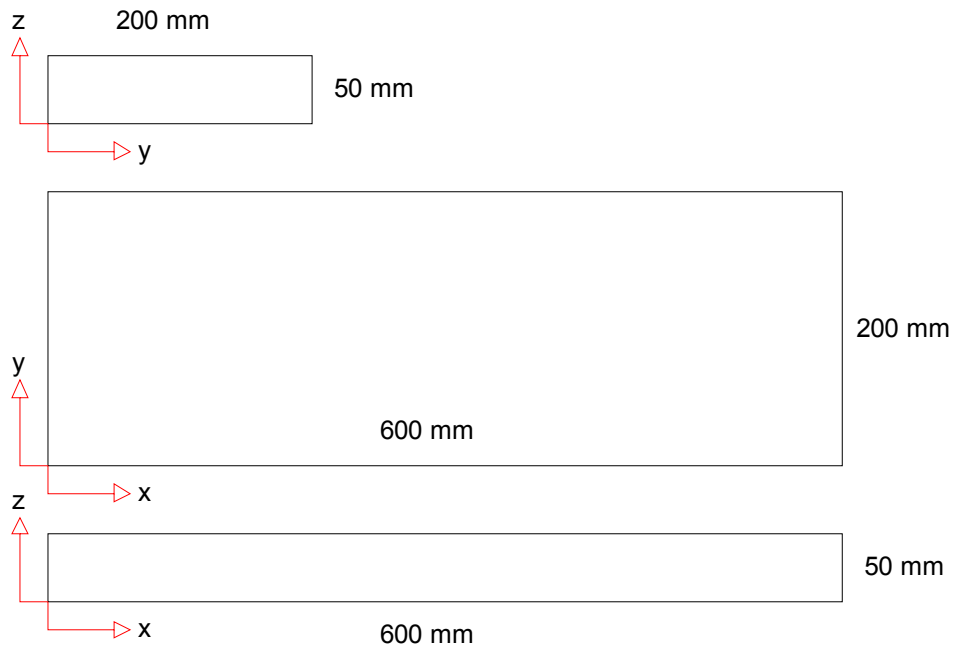
De tre modellfallen är snarlika och det är endast några detaljer som skiljer. Beskrivningsfilen för modellfall 1 redovisas nedan och för modell fall 2 och 3 återges endast de rader som skiljer sig från modellfall 1, vilka är raderna med kommentarerna gavel och öppet.

Beräkningsområdet redovisas i Figur 2.1 och 2.2 med mått i mm respektive med mått i beräkningsceller. Beräkningsmodulen är 2.5 mm. En större modul 5 mm har också testats. Spaltens medelhastighet skiljer sig obetydligt åt med 0.292 m/s mot 0.288 m/s för modul 5 mm respektive modul 2.5 mm. Slutsatsen är att modul 5 mm är tillräcklig, men modul 2.5 mm har valts eftersom det ger bättre upplösning med tio moduler tvärs spalten med vidden 25 mm.

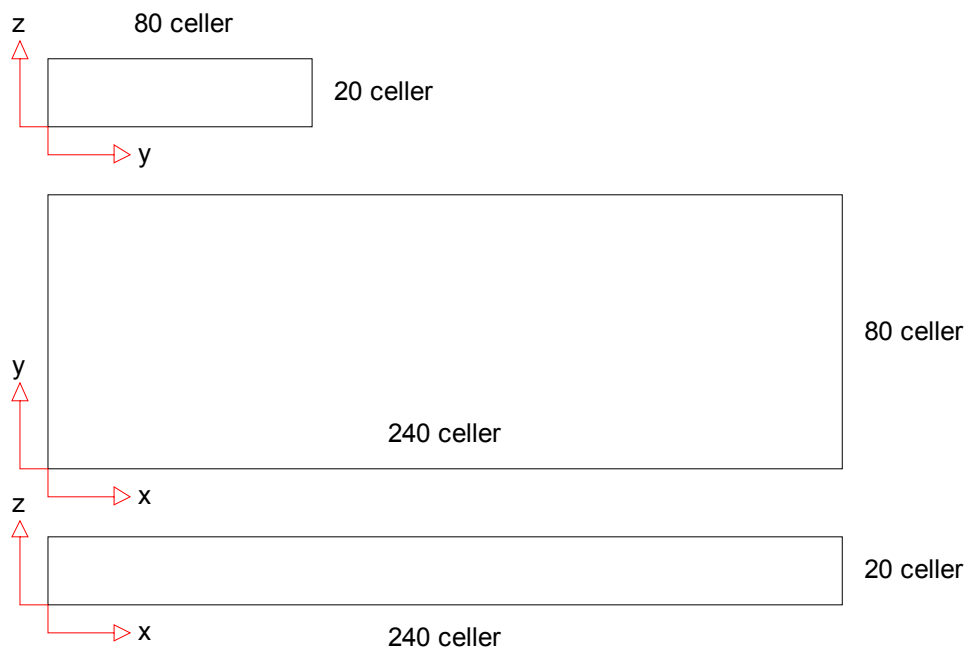
```
&HEAD CHID='spt101', TITLE=' spalt med 180 rektangulär böj' /
&GRID IBAR=240, JBAR=80, KBAR=20 /
&PDIM XBAR=0.600, YBAR=0.200, ZBAR=0.050 /
&PL3D WRITE_XYZ=.TRUE., DTSAM=1 /
&TIME TWFIN=5 /
&MISC DATABASE='c:\nist\fds\database4\database4.data',
      RADIATION=.FALSE., SURF_DEFAULT='INERT'/
&OBST XB= 0.000,0.600, 0.000,0.000, 0.000,0.050, SURF_ID='INERT' / sida
&OBST XB= 0.000,0.600, 0.200,0.200, 0.000,0.050, SURF_ID='INERT' / sida
&OBST XB= 0.000,0.600, 0.000,0.200, 0.000,0.000, SURF_ID='INERT' / botten
&OBST XB= 0.000,0.050, 0.000,0.200, 0.050,0.050, SURF_ID='INERT' / topp
&OBST XB= 0.025,0.450, 0.000,0.200, 0.025,0.025, SURF_ID='INERT' / mitt
&OBST XB= 0.000,0.000, 0.000,0.200, 0.000,0.050, SURF_ID='INERT' / gavel
&OBST XB= 0.300,0.300, 0.000,0.200, 0.025,0.050, SURF_ID='INERT' / tvär
&VENT XB= 0.050,0.600, 0.000,0.200, 0.050,0.050, SURF_ID='OPEN' / öppet
&VENT XB= 0.600,0.600, 0.000,0.200, 0.000,0.050, SURF_ID='WIND' / vind
&SURF ID='WIND', VEL=-0.1, TMPWAL=20. /
&TAIL /
```

```
&HEAD CHID='spt201', TITLE=' spalt med 90 rektangulär böj' /
&VENT XB= 0.000,0.600, 0.000,0.200, 0.050,0.050, SURF_ID='OPEN' / öppet
```

```
&HEAD CHID='spt301', TITLE=' spalt utan rektangulär böj' /
&VENT XB= 0.000,0.000, 0.000,0.200, 0.000,0.050, SURF_ID='OPEN' / gavel
&VENT XB= 0.000,0.600, 0.000,0.200, 0.050,0.050, SURF_ID='OPEN' / öppet
```



Figur 2.1 Beräkningsområde med mått i mm.

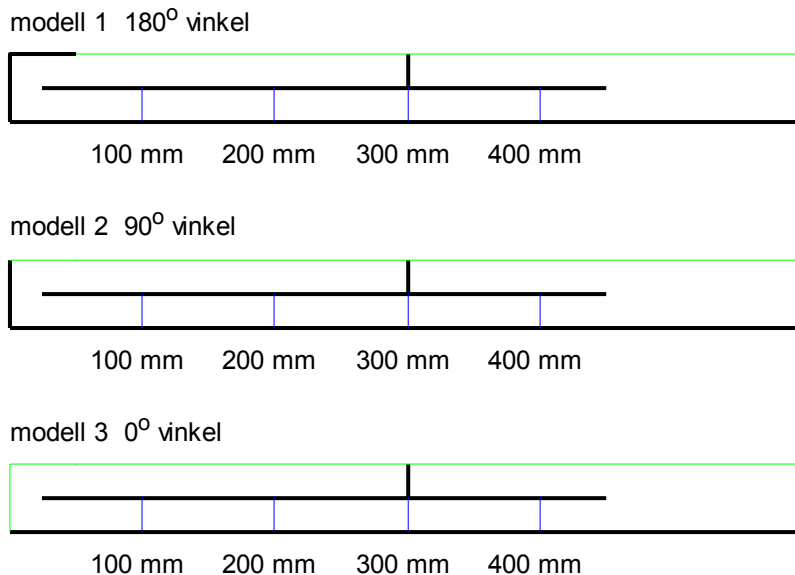


Figur 2.2 Beräkningsområde med mått beräkningscell

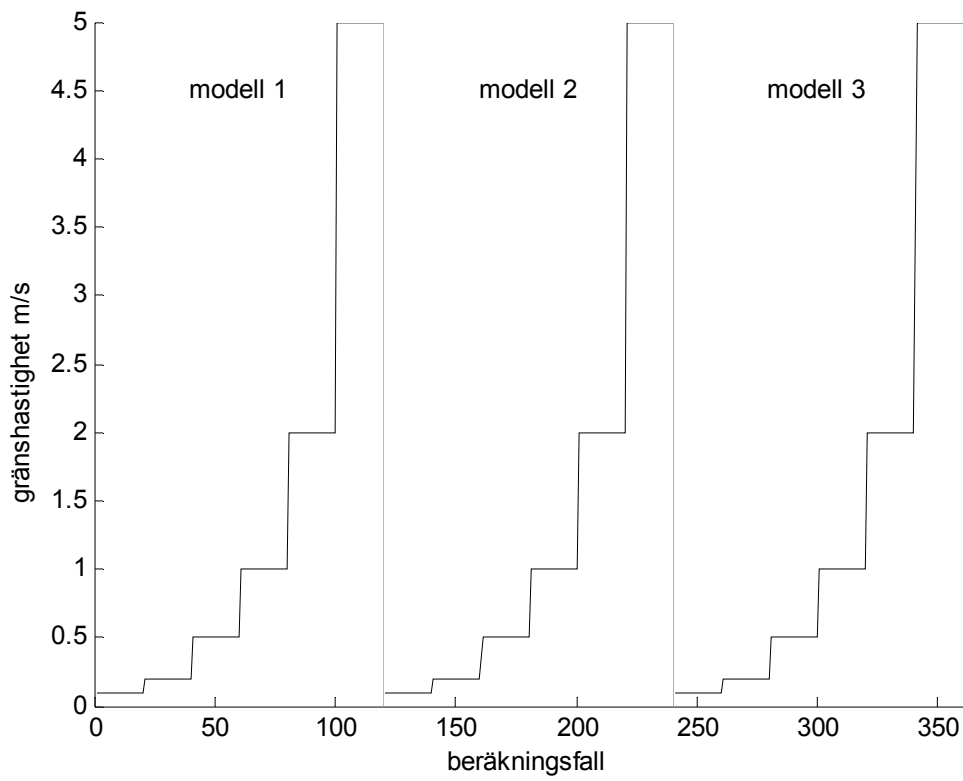
3 Beräkningsresultat

Syftet med detta avsnitt är att bestämma om tryckfallet för själva böjen kan beskrivas som en linjär eller kvadratisk funktion av spalthastigheten. De tre modellfallen har påtvingats en yttre hastighet vinkelrät mot den högra öppna ytan enligt Figur 1.1. Sex olika hastighetsfall har provats med gränshastigheten 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2 och 5 m/s enligt Figur 3.2. Spalthastighet, spalthastighet relativt gränshastighet och Reynolds tal för spalten redovisas i Figur 3.3-5.

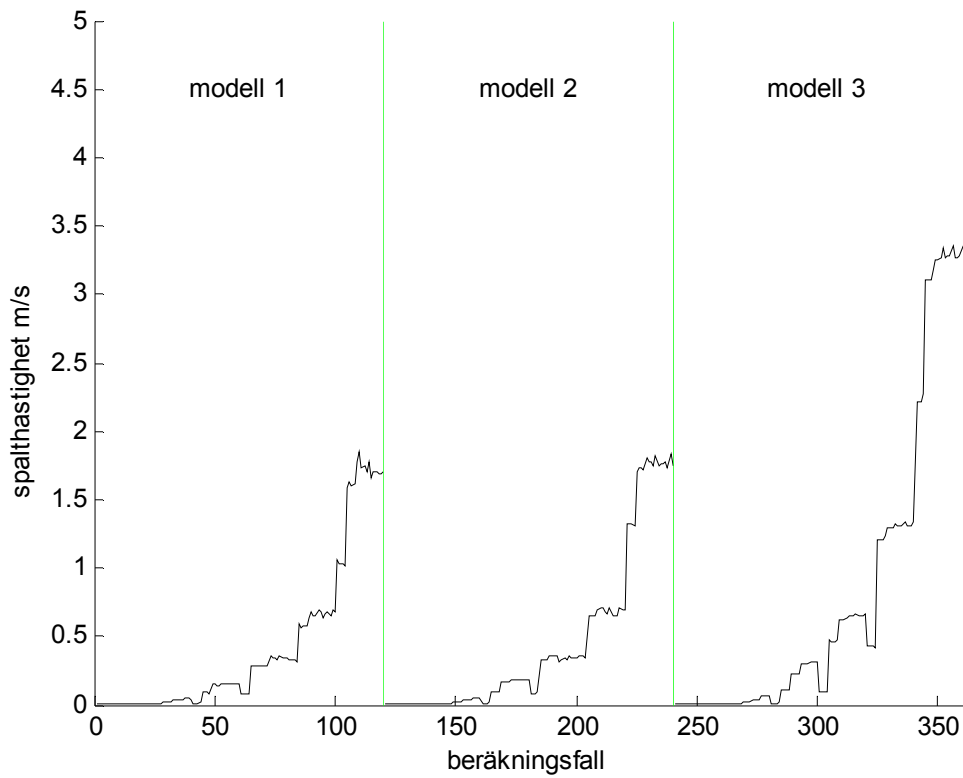
Starthastigheten är noll. Det tar tid innan stationära förhållanden råder. Ett enkelt krav är att strömningen hinner passera genom beräkningsområdet med längden 0.6 m under beräkningstiden på 5 s, vilket ger kravet på lägsta spalthastighet 0.12 m/s. Detta uppfylls inte för de två lägsta gränshastigheterna 0.1 och 0.2 m/s enligt Figur 3.3. Den relativa hastigheten i Figur 3.4 visar att beräkningen har konvergerat i tiden, eftersom den redovisade relativa spalthastigheten för varje gränshastighet har ordningsföljden fyra mätplan för tidpunkt 1 s, fyra mätplan för nästa tidpunkt o s v. De djupa hacken i kurvan för den relativa spalthastigheten för gränshastigheter 0.5 m/s och högre i Figur 3.4 gäller för tidpunkt 1 s. Beräkning har konvergerat i tiden, eftersom de övriga tidpunkterna ger samma värde. Detta gäller inte för gränshastigheterna 0.1 och 0.2 m/s där den relativa spalthastigheten ökar tidpunkt för tidpunkt.



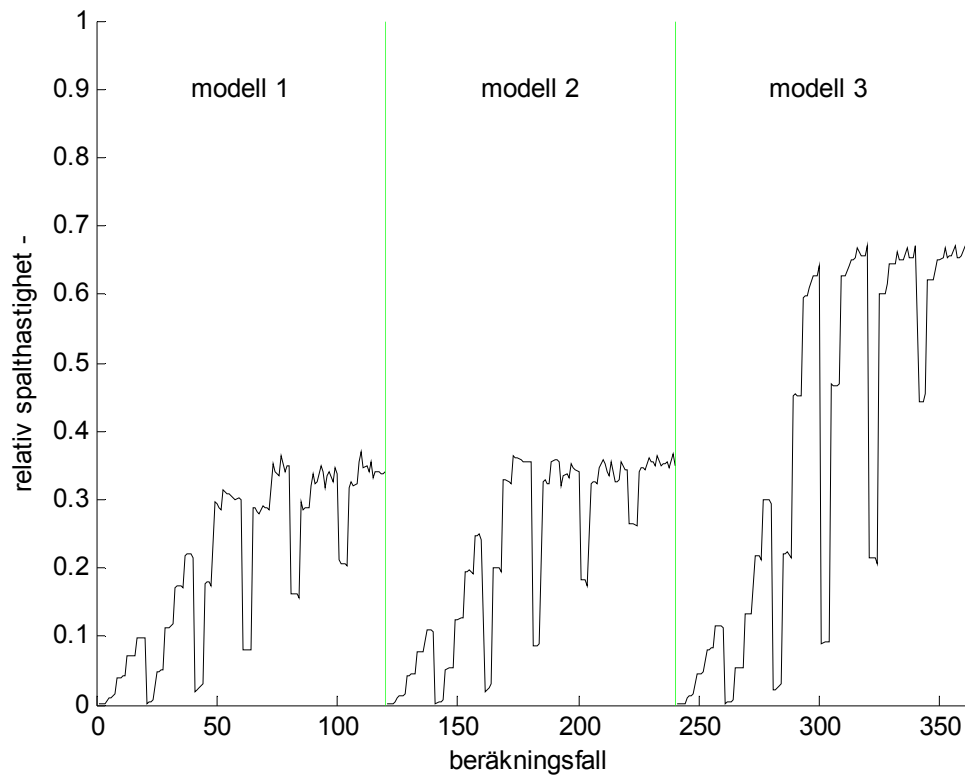
Figur 3.1 Tre modellfall med fyra mätplan.



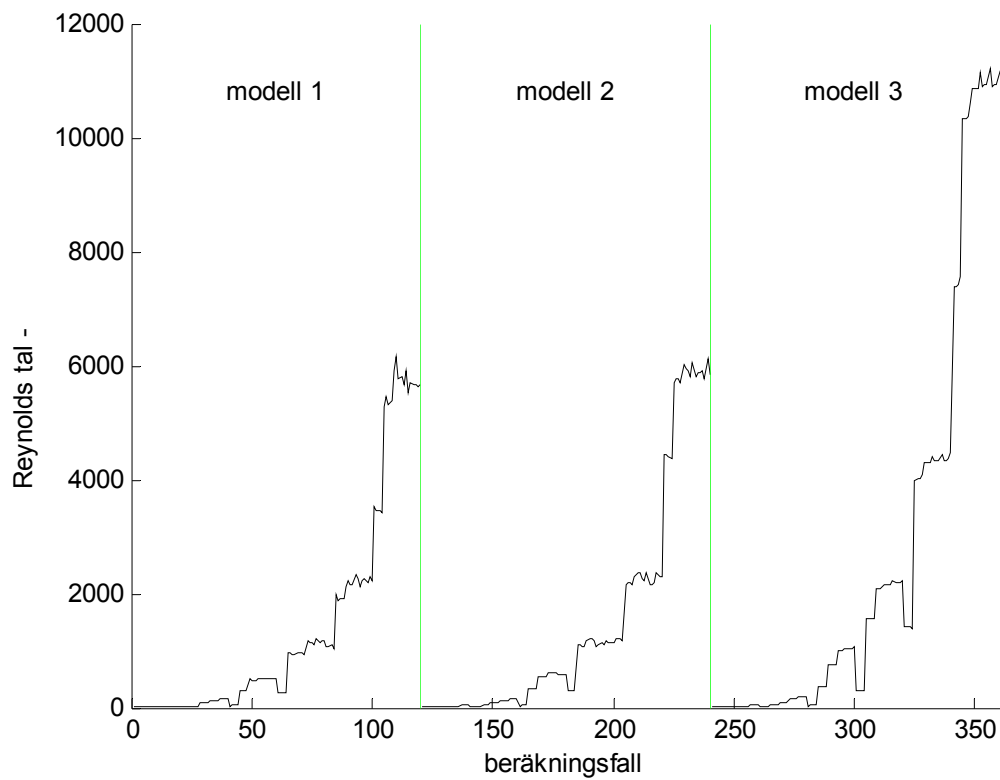
Figur 3.2 Gränshastighet m/s för 3 modellfall, 5 tidsfall, 6 hastighetsfall och 4 mätplansfall.



Figur 3.3 Spalthastighet m/s för 3 modellfall, 5 tidsfall, 6 hastighetsfall och 4 mätplansfall.



Figur 3.4 Relativ hastighet för 3 modellfall, 5 tidsfall, 6 hastighetsfall och 4 mätplansfall.



Figur 3.5 Reynolds tal för 3 modellfall, 5 tidsfall, 6 hastighetsfall och 4 mätplansfall.

Den relativa spalthastigheten i Figur 3.4 är konstant för alla tre modeller och gränshastigheter 0.5 m/s och högre. Detta visar att tryckförlusterna är turbulenta (kvadratiska), eftersom det drivande trycket är proportionellt mot gränshastigheten i kvadrat och att spalthastigheten relativt gränshastigheten är konstant. Reynolds tal för själva spalten redovisas i Figur 3.5 och kan som jämförelse beräknas för hastigheten 1 m/s, spaltens hydrauliska diameter 0.05 m samt luftens dynamiska viskositet 0.000015 m²/s, vilket ger 3333. Notera att Reynolds tal i Figur 3.5 är över 2000 endast för gränshastighet 1 m/s eller högre. Strömningen ligger därför i övergångszonen mellan laminär och turbulent strömning. Fullt utbildad strömning fås först efter en längre sträcka omkring femtio hydrauliska diametrar.

En förlustkoefficient f kan skattas med uttrycket (3.1) enligt nedan.

$$f = v_{gräns}^2 / v_{spalt}^2 \quad (-) \quad (3.1)$$

Den turbulenta förlustkoefficienten har skattats för de tre modellfallen, de sex hastighetsfallen och med medelvärden för samtliga fyra mätplan och med tre, två eller ett sista tidsfall. Själva spalten och startsträckans inverkan har räknats bort genom att bilda skillnader mellan modell 1 och 3 och modell 2 och 3. Siffrorna för modell 1-3, tidsfall 3-5, 4-5 eller 5 och gränshastigheten 0.5 m/s eller högre ger förlustkoefficienter från 5.84 upptill 8.50. Intervallet blir från 5.84 till 7.23 om gränshastigheten skall vara 1 m/s eller högre.

Skillnaden mellan modell 1 och 2 är liten. Ett avrundat värde för förlustkoefficienten är 6, vilket kan jämföras med teorin för rektangulära böjar som anger 1.1 för 90°-böj och bara 1.32 för 180°-böj. Dessa värden förutsätter kanalanslutning, men både modell 1 och 2 har fri utströmning koncentrerad till en mindre del av tvärsnittet. Förlustkoefficienten för en fri utströmning för en tvärsnittsandel a är a^2 . Några sifferexempel är följande för andelarna 0.4 och 0.5 fås förlustkoefficienterna 6.25 respektive 4, vilket förklarar det med FDS-beräknade värdet på omkring 6. Större delen av tryckförlusten är den fria utströmningen.

Siffrorna för gränshastigheterna 0.1 och 0.2 m/s visar att beräkningar inte har konvergerat i tiden. Det går därför inte att bestämma någon förlustkoefficient för en möjlig laminär tryckförlust.

Tabell 3.1 Skattad turbulent förlustkoefficient f enligt (3.1)

modell	tidsfall	0.1 m/s	0.2 m/s	0.5 m/s	1.0 m/s	2.0 m/s	5.0 m/s
1	3-5	298.23	43.58	11.09	9.60	9.05	8.40
2	3-5	252.55	35.33	8.29	8.45	8.54	7.95
3	3-5	232.78	29.82	3.39	2.38	2.34	2.31
1-3	3-5	65.45	13.75	7.70	7.23	6.71	6.09
2-3	3-5	19.77	5.51	4.90	6.08	6.20	5.64
1	4-5	151.36	27.18	10.73	8.37	8.86	8.62
2	4-5	124.42	21.44	7.76	8.76	8.72	7.96
3	4-5	112.95	16.39	2.65	2.31	2.32	2.30
1-3	4-5	38.41	10.79	8.09	6.06	6.54	6.32
2-3	4-5	11.47	5.05	5.12	6.45	6.40	5.66
1	5	104.40	20.91	11.02	8.14	8.78	8.69
2	5	84.81	16.45	7.90	8.38	8.52	7.96
3	5	76.06	11.32	2.52	2.30	2.32	2.30
1-3	5	28.34	9.59	8.50	5.84	6.46	6.38
2-3	5	8.75	5.13	5.38	6.09	6.20	5.66

4 Strömningsmönster

Hur strömningsmönstret ser ut redovisas med sex isodiagram i Figur 4.1-6 för modell 1, i Figur 4.7-12 för modell 2 och i Figur 4.13-18 för modell 3. Totalhastigheten visas med ett längstvårsnitt y-plan 100 mm (600x50 mm) och ett deltvårsnitt för själva den rektangulära böjen med y-plan 100 mm (50x50 mm). Hastigheten i x-led redovisas med fyra isodiagram för de fyra mätplanen med x-plan 100, 200, 300 och 400 mm (200x25 mm). En anmärkning är att axlarna är olika utom för deltvårsnittet för den rektangulära böjen.

Alla strömningsmönster avser gränshastigheten 1 m/s och sluttidpunkten 5 s.

En kommentar till alla strömningsmönsters isolinjer kan vara något missvisande när det gäller detaljer där det finns olika begränsningsytor. Notera att beräkningsmodulen är 2.5 mm och att isolinjer redovisas med en delning flera gånger mindre än en beräkningsmodul. Det har alltså skett en omfattande interpolation för att för fram alla isolinjer.

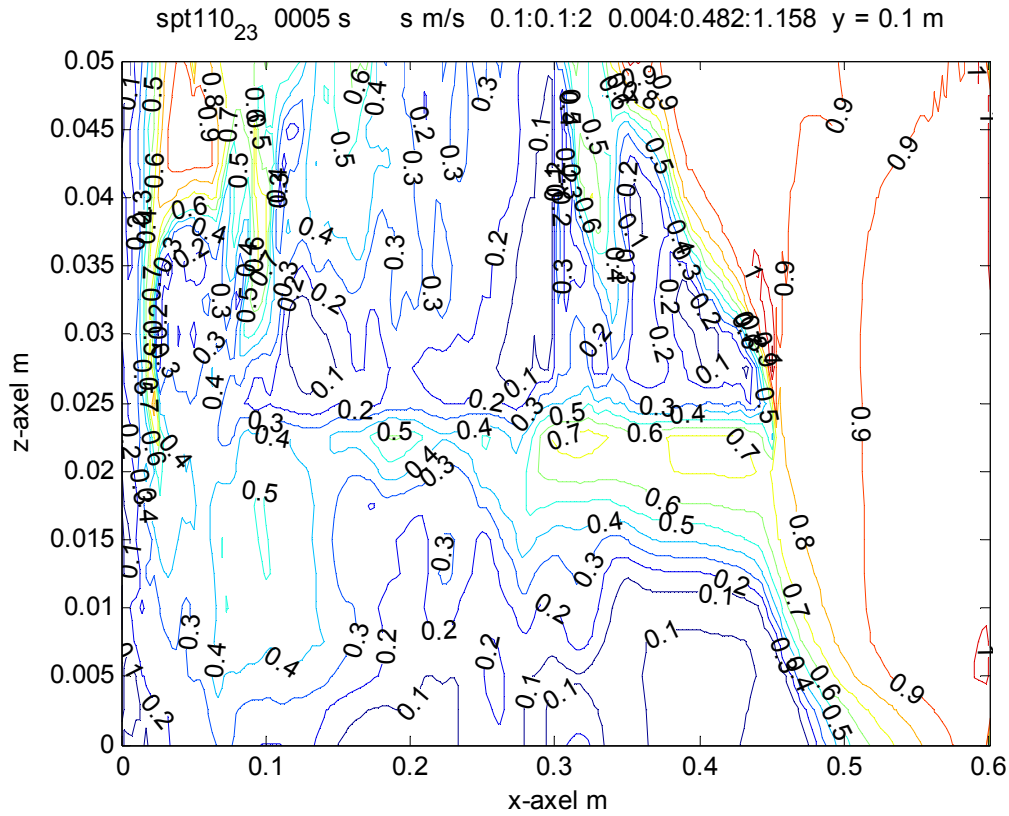
Strömningsmönstrets isolinjer för hastighet i Figur 4.1-18 är genomgående något oregelbundna, vilket beror på att beräkningarna sker med large-eddy-teknik. En viktig anmärkning är att totalhastigheten som redovisas i Figur 4.1-2, 4.7-8 och 4.17-18 inte anger något riktning utan bara en storlek. Riktningen kan till en del uttolkas med hjälp av flera isolinjer.

Det stora tvärsnittet i Figur 4.1, 4.7 och 4.13 visar att strömningsförhållandena i inloppsdelens längst till höger är likartade. Isolinet för 0.9 m/s ligger dock något längre in i modellen för modell 3. Modell 3 har högre och jämnare genomströmningshastighet i själva spalten. En skillnad är att genomströmningen sker med lägre hastighet närmast spaltens insida ($z = 0$ m).

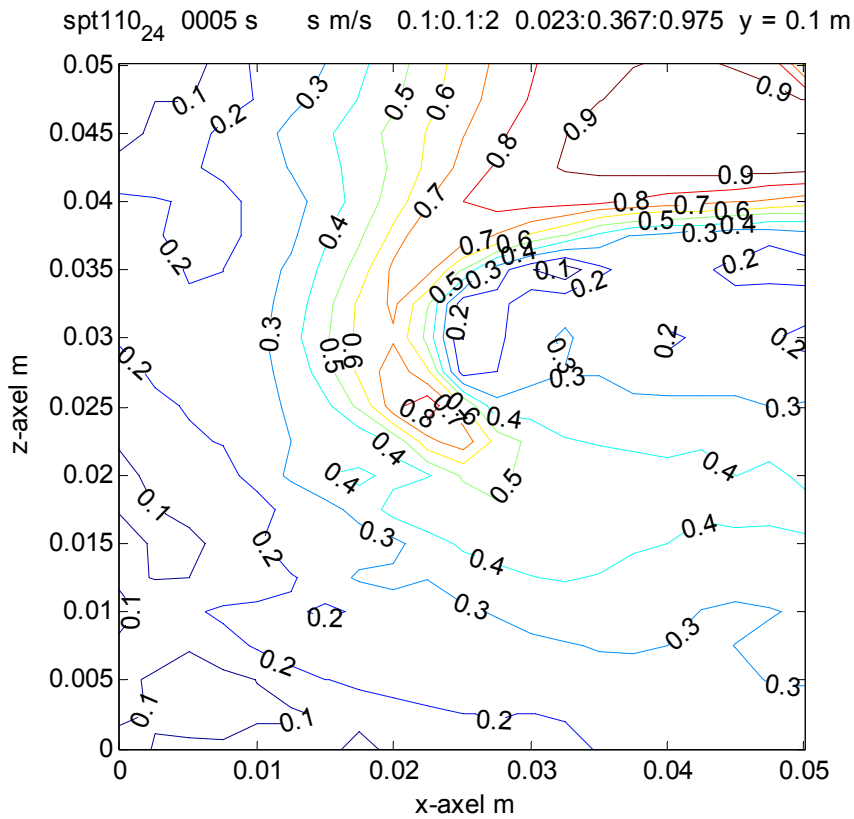
Det lilla tvärsnittet för enbart den rektangulära böjen i Figur 4.2, 4.8 och 4.14 visar för modell 1 med den fullständiga böjen att utströmningen sker med hög hastighet närmast utloppskanten, för modell 2 med den halverade böjen att utströmningen sker med något lägre hastighet än för modell 1 och intill modellens kortsida samt för modell 3 att genomströmningen bara fortsätter ut genom kortsidan för beräkningsområdet.

Den fria utströmningen för modell 1 och 2 som visas i Figur 4.2 respektive 4.8 sker genom en yta mindre än halva spalttvärsnittet. Detta ger en förlustkoefficient på minst 4.

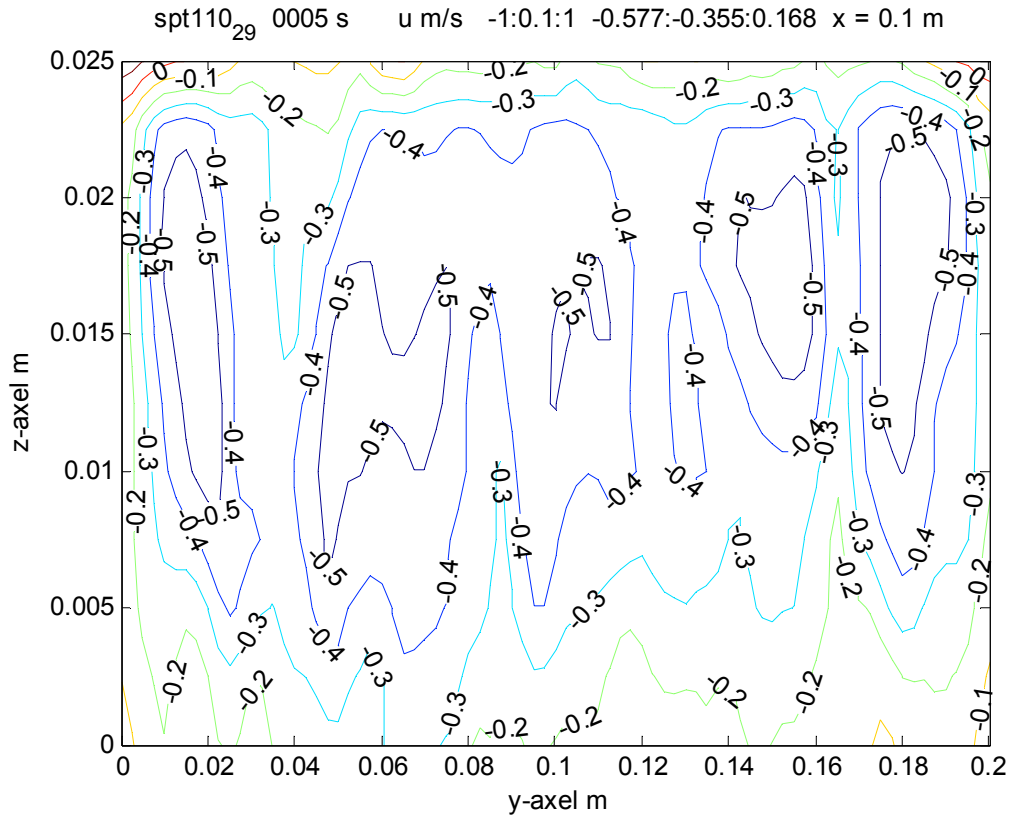
Strömningsmönstret för de fyra mätvärsnitten redovisas i Figur 4.3-6, 4.9-12 och 4.15-18 för de tre modellerna. Den asymmetriska hastighetsprofilen i Figur 4.6 och 4.12 förändras efter hand till en mer symmetrisk hastighetsprofil om dock rörig i Figur 4.3 respektive 4.9. Detta sker inte för modell 3 utan den asymmetriska profilen kvarstår, vilket kan bero på att de ingående ytorna behandlas olika trots att de definierats med begreppet inert. En förklaring kan vara att det är skillnad på en inre yta i beräkningsområdet jämfört med en yttre yta som begränsar beräkningsområdet.



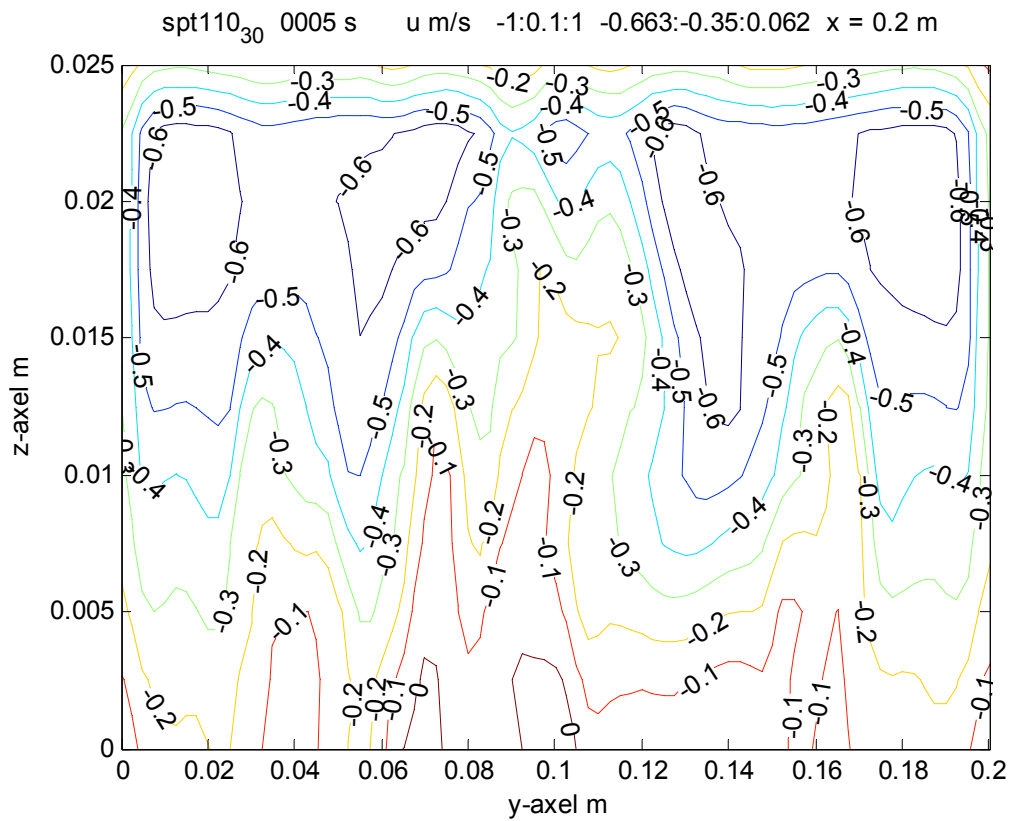
Figur 4.1 Isodiagram för totalhastighet s m/s för längstvårnsnitt för y-plan 100 mm.



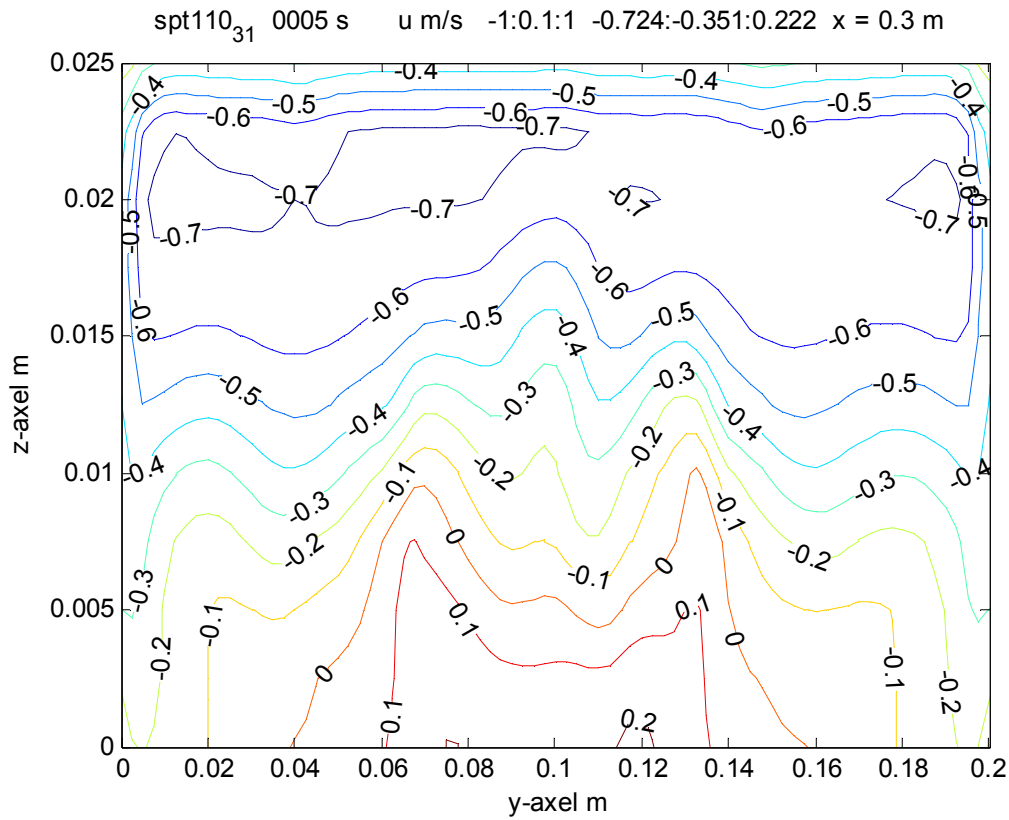
Figur 4.2 Isodiagram för totalhastighet s m/s för deltvårnsnitt vid böj för y-plan 100 mm.



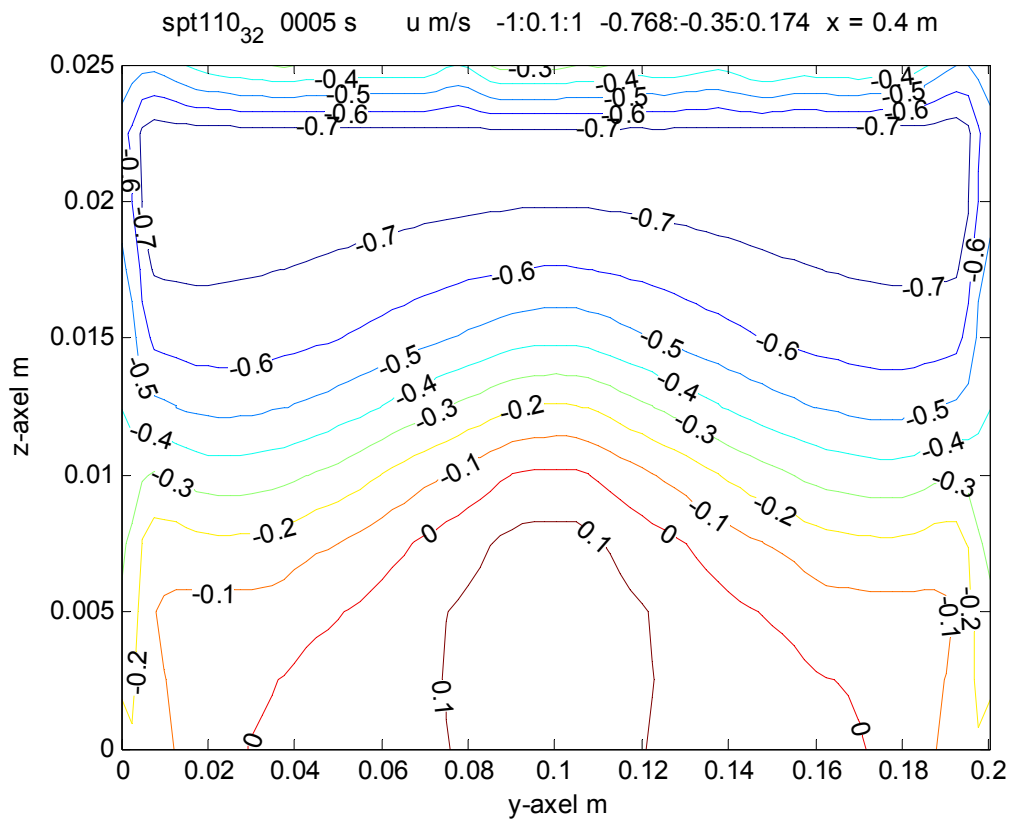
Figur 4.3 Isodiagram för hastighet u m/s i x-led för mätplan för x-plan 100 mm.



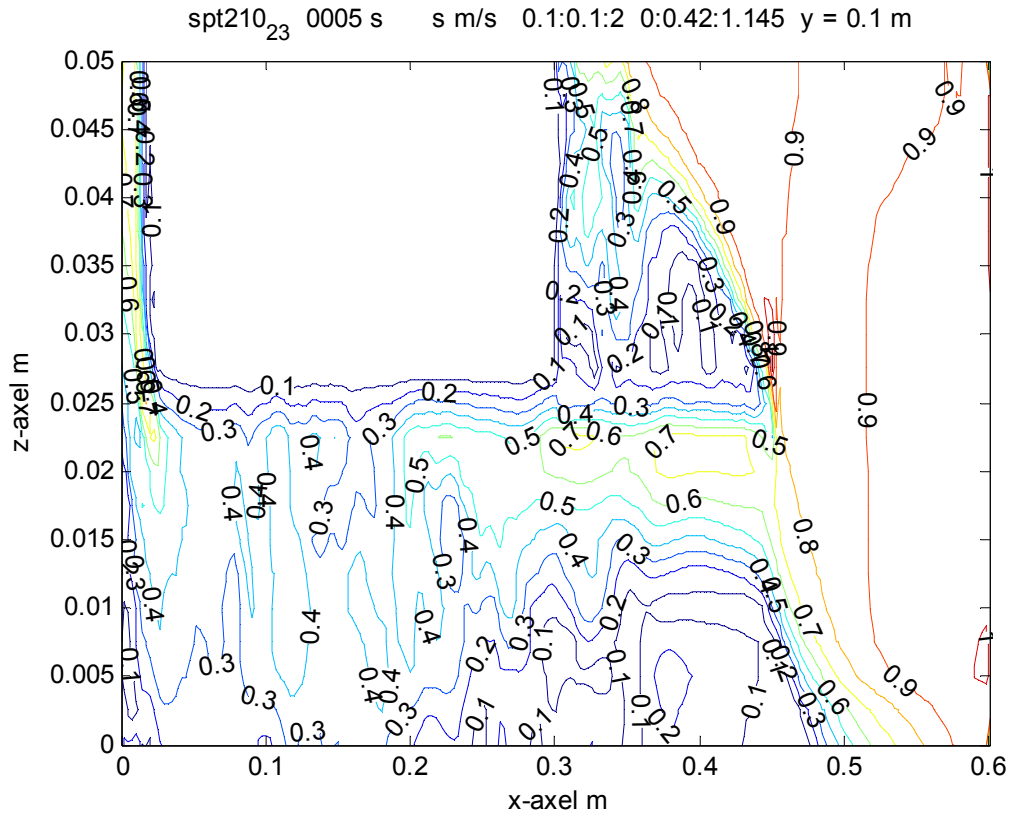
Figur 4.4 Isodiagram för hastighet u m/s i x-led för mätplan för x-plan 200 mm.



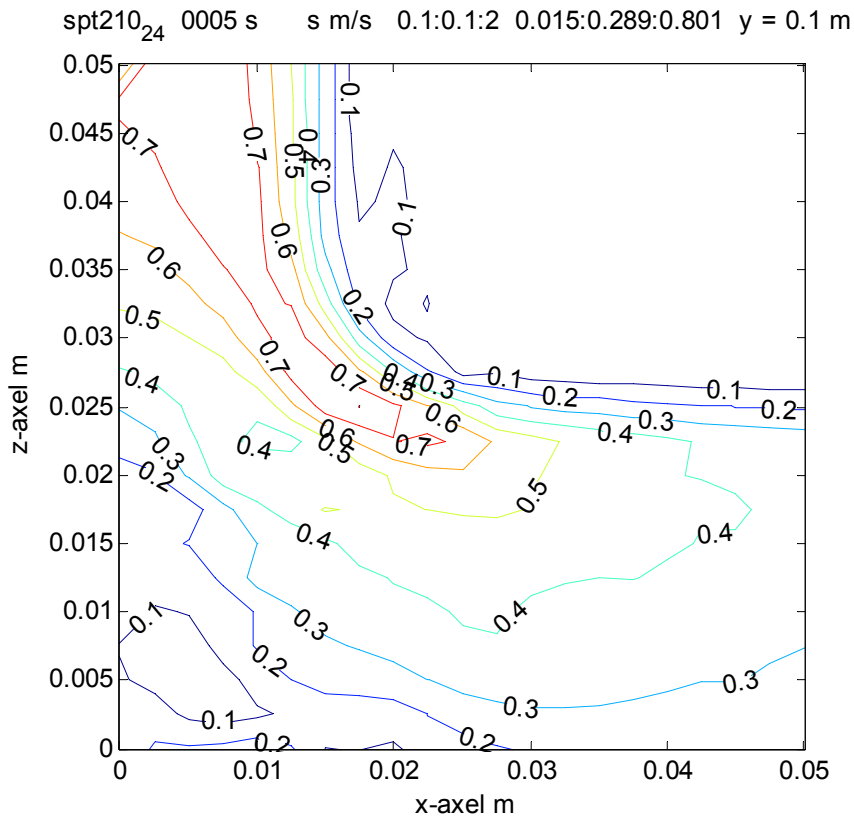
Figur 4.5 Isodiagram för hastighet u m/s i x-led för mätplan för x-plan 300 mm.



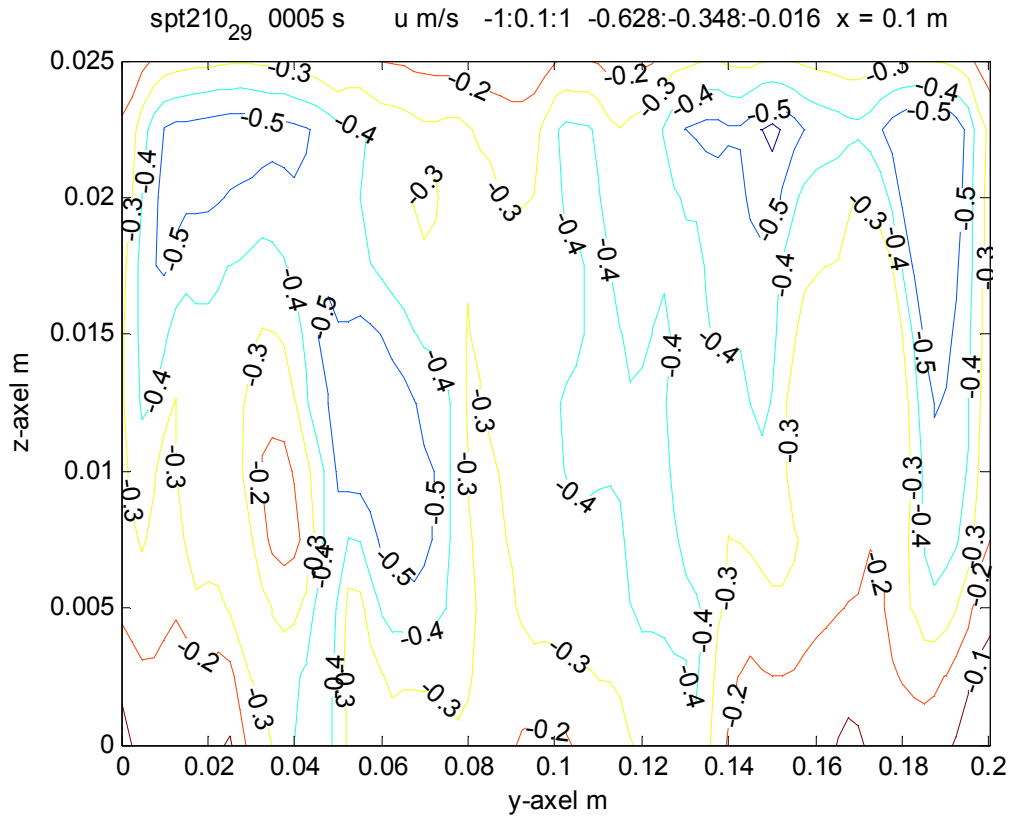
Figur 4.6 Isodiagram för hastighet u m/s i x-led för mätplan för x-plan 400 mm.



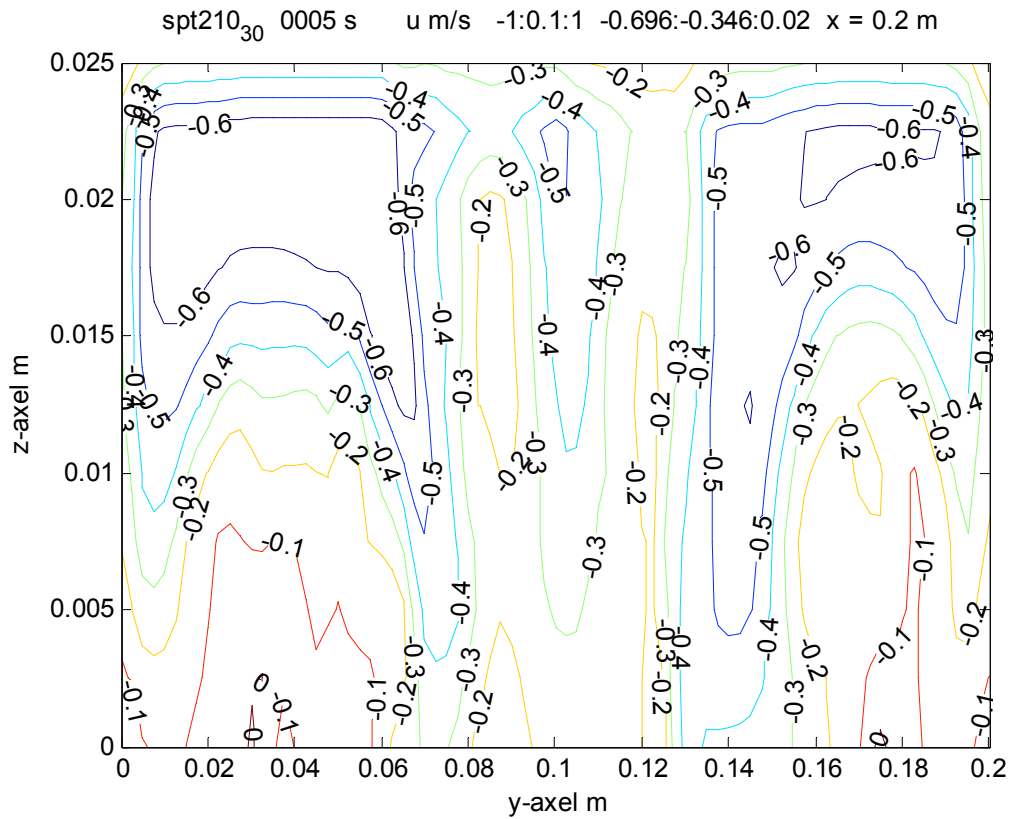
Figur 4.7 Isodiagram för totalhastighet s m/s för längstvårnsnitt för y-plan 100 mm.



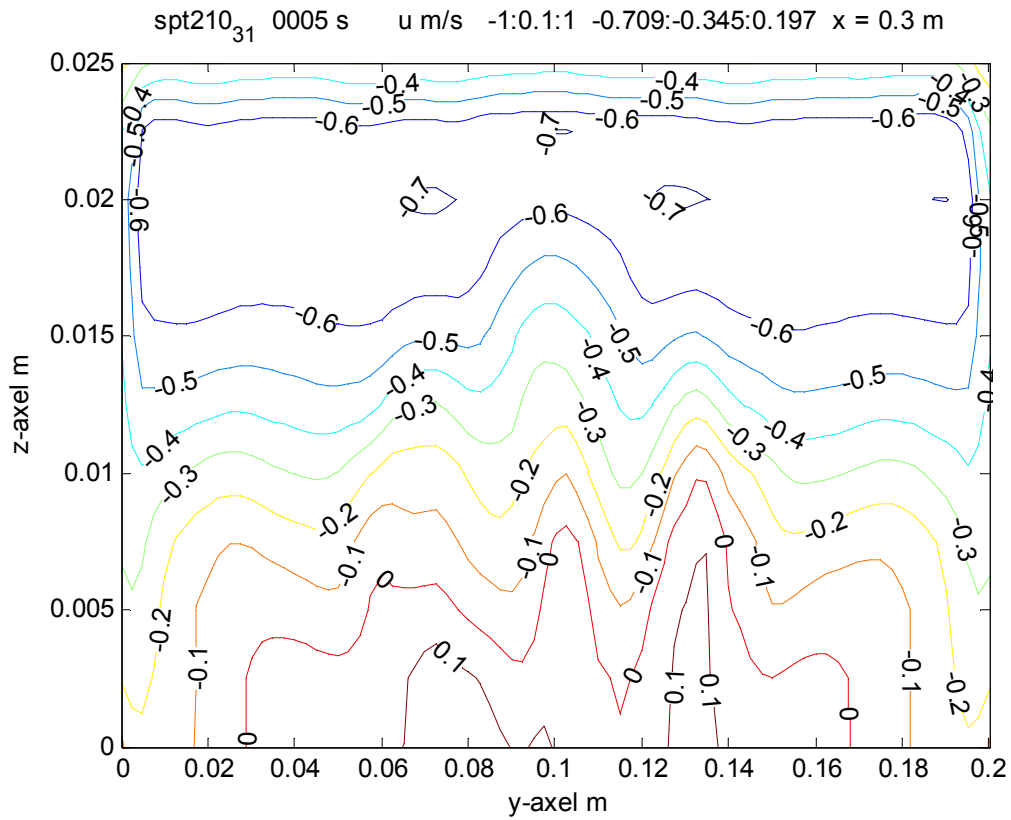
Figur 4.8 Isodiagram för totalhastighet s m/s för deltvårnsnitt vid böj för y-plan 100 mm.



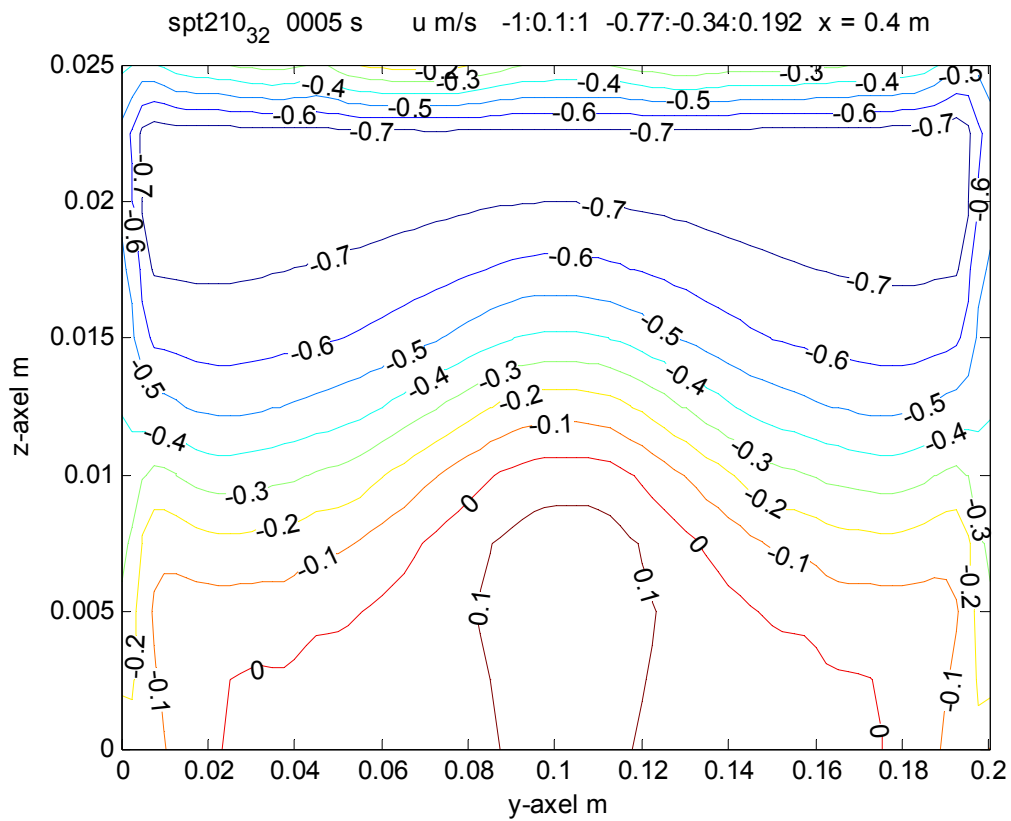
Figur 4.9 Isodiagram för hastighet u m/s i x-led för mätplan för x-plan 100 mm.



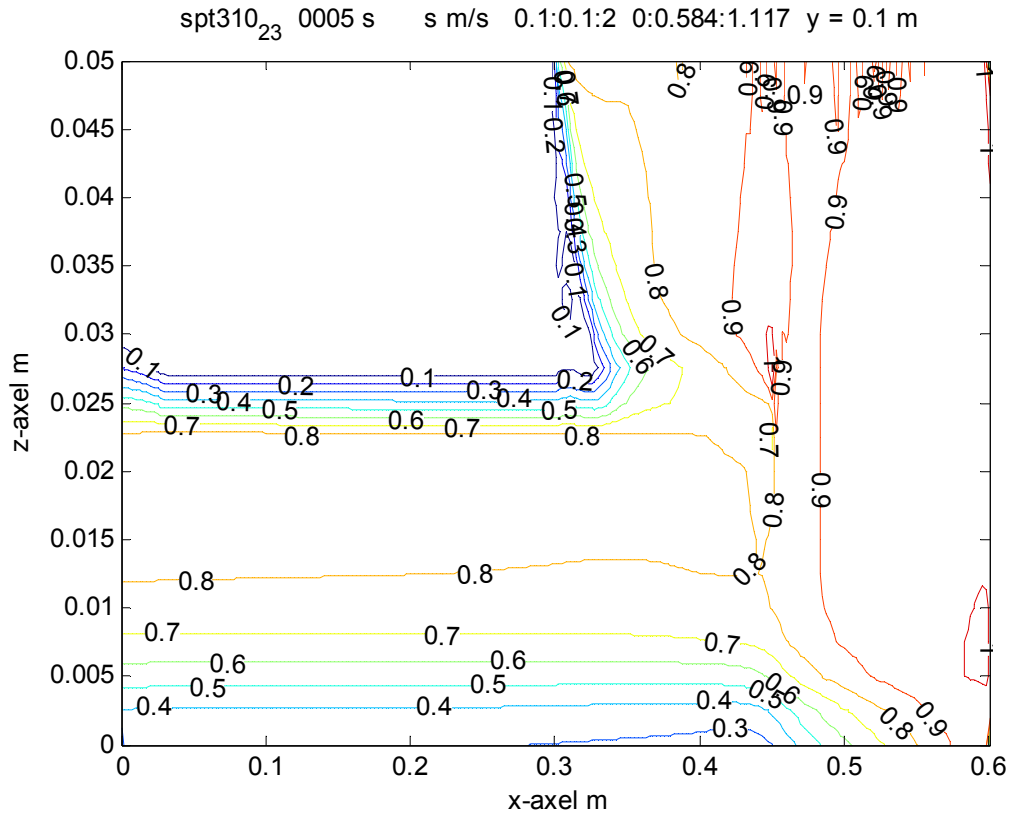
Figur 4.10 Isodiagram för hastighet u m/s i x-led för mätplan för x-plan 100 mm.



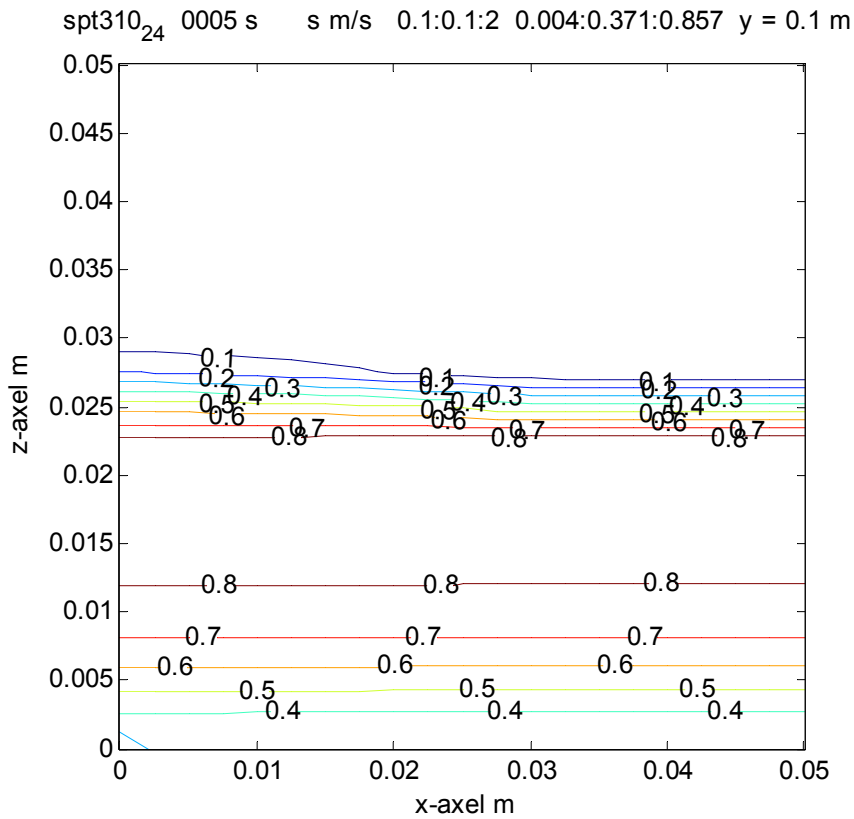
Figur 4.11 Isodiagram för hastighet u m/s i x-led för mätplan för x-plan 300 mm.



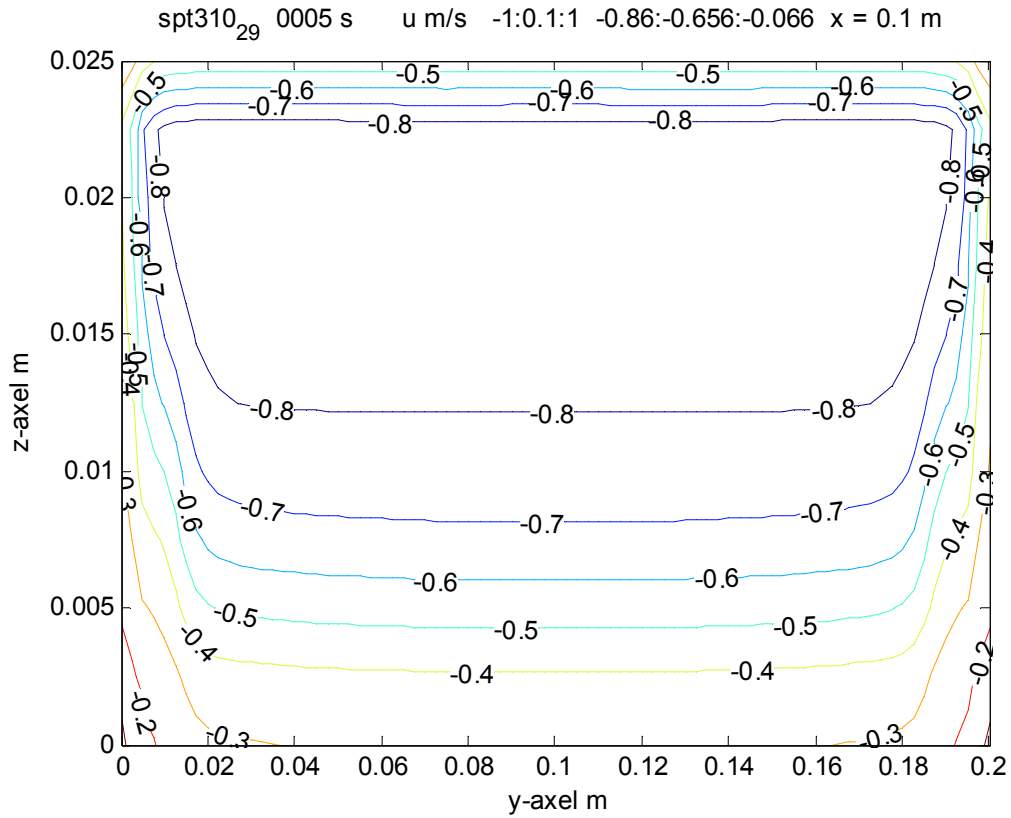
Figur 4.12 Isodiagram för hastighet u m/s i x-led för mätplan för x-plan 400 mm.



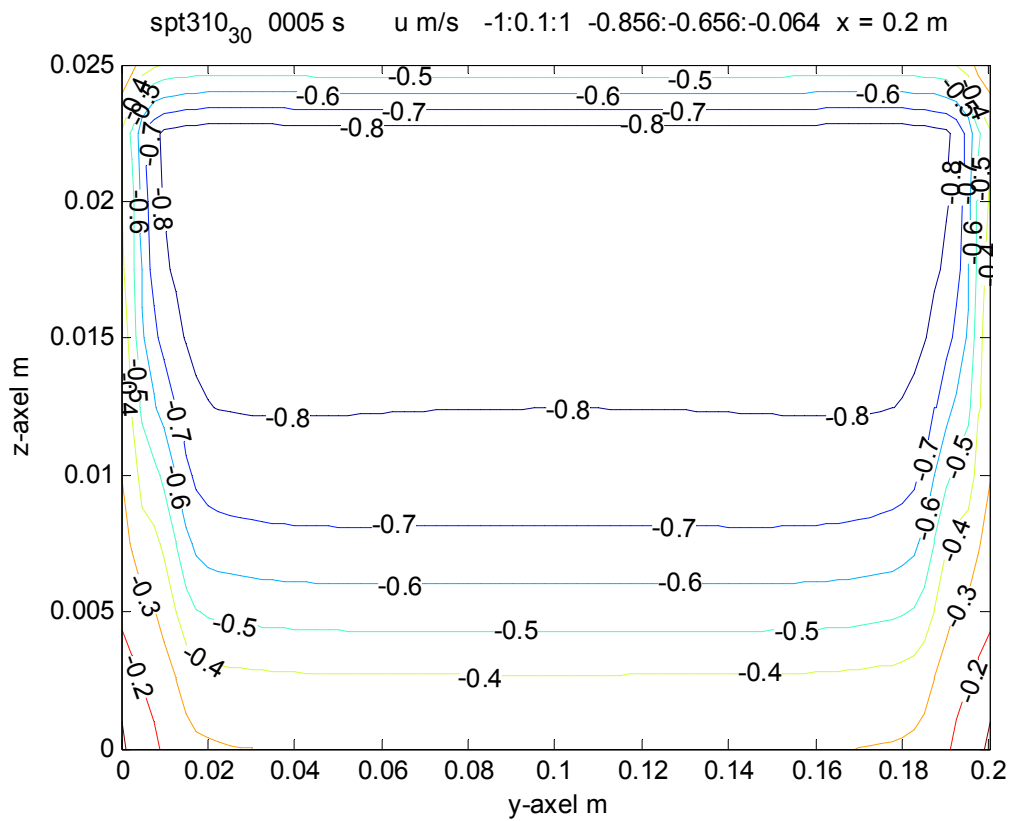
Figur 4.13 Isodiagram för totalhastighet s m/s för längstvårnsnitt för y-plan 100 mm.



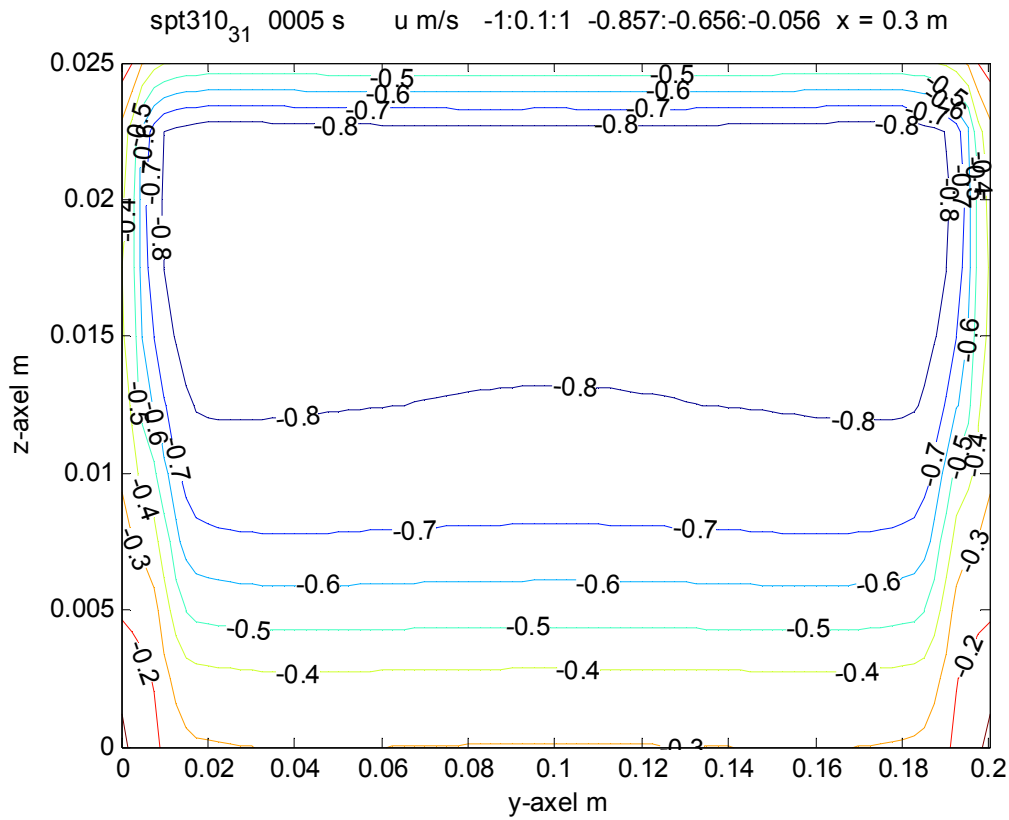
Figur 4.14 Isodiagram för totalhastighet s m/s för deltvårnsnitt vid böj för y-plan 100 mm.



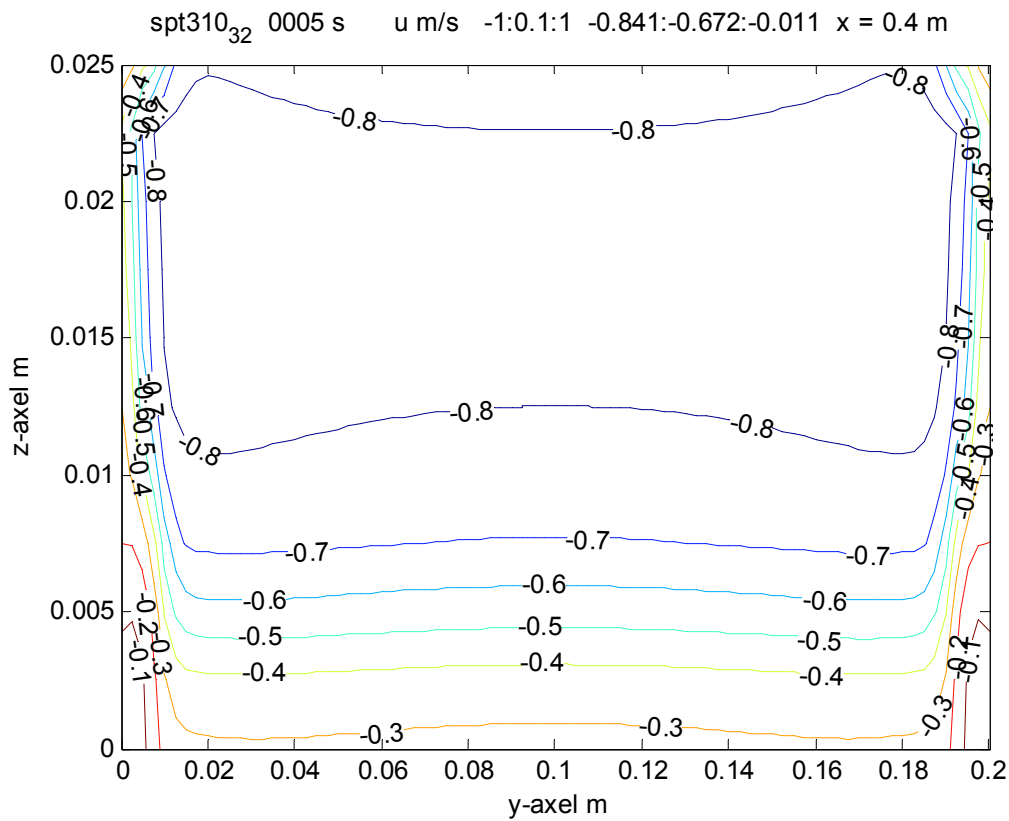
Figur 4.15 Isodiagram för hastighet u m/s i x-led för mätplan för x-plan 100 mm.



Figur 4.16 Isodiagram för hastighet u m/s i x-led för mätplan för x-plan 200 mm.



Figur 4.17 Isodiagram för hastighet u m/s i x-led för mätplan för x-plan 300 mm.



Figur 4.18 Isodiagram för hastighet u m/s i x-led för mätplan för x-plan 400 mm.

5 Sammanfattning och slutsatser

Denna arbetsrapport dokumenterar beräkningar av luftströmning i en luftad spalt bakom en fasadskiva till en fasad. Detta görs för att kunna bestämma och beskriva tryckfallet som funktion av spaltflödet. Det drivande trycket över spalten bestäms av främst vind- och solpåverkan. Spalten avslutas uppåt med en rektangulär 180°-böj. Jämförelse görs även med en spalt med en rektangulär 90°-böj och en spalt helt utan någon böj. Beräkningarna har genomförts med datorprogrammet FDS, som normalt används för att beräkna luftströmning och bränder i stora volymer. Beräkningsvolymen har utsatts för påblåsning med yttre lufthastigheter från 0.1 m/s till 5 m/s. Beräkningstiden har varit 5 s, vilket gör att beräkningsvolymen med längden 0.6 m genomströmmas för spalthastigheter över 0.12 m/s.

Resultatet och erfarenheterna från de genomförda beräkningarna kan sammanfattas med följande:

- Förlustkoefficienten för böjen med fri utströmning bestämdes till över 6 för den yttre hastigheten 1 m/s eller högre.
- Den fria utströmningen efter böjen sker över en mindre del av spalttvärsnittet.
- Förlustkoefficienten för den fria utströmningen är minst 4, eftersom utströmningsarean är mindre än halva spalttvärsnittet.
- Förlustkoefficienten för själva böjen anges i litteraturen till 1.1 för en 90°-böj och 1.32 för en 180°-böj.
- Beräkningstiden på 5 s var tillräcklig för den yttre hastigheten 0.5 m/s eller högre och för kort för att nå konvergens för de yttre hastigheterna 0.1 och 0.2 m/s.
- Den yttre hastigheten eller gränshastigheten användes som ett sätt att skapa en tryckpåverkan över spalten med böj. Inverkan av detta trycksättningsätt har kunnat kompenseras bort med ett modellfall utan böj för att kunna bestämma förlustfaktorn för själva böjen.
- Flera strömningsfall ligger i övergångsområdet mellan laminär och turbulent strömning. Hälften av fallen ligger över Reynolds tal 2000 och hälften ligger under.
- Bara en strömningsriktning har undersökts.
- Yttre och tunna inre ytor i beräkningsmodellen skiljer sig åt. Yttre ytor har friktion medan inre tunna ytor inte har det.

En avslutande huvudslutsats för arbetet är ganska lärorikt men inte särskilt användbart.