LUND UNIVERSITY

Renblåsning med diffusion

Jensen, Lars

2011

Link to publication

Citation for published version (APA):
Jensen, L. (2011). *Renblåsning med diffusion*. (TVIT; Vol. TVIT-7069). 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

Renblåsning med diffusion

Lars Jensen

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2011
Rapport TVIT--11/7069

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

Renblåsning med diffusion

Lars Jensen

© Lars Jensen, 2011
ISRN LUTVDG/TVIT--11/7069--SE(27)

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

Innehållsförteckning

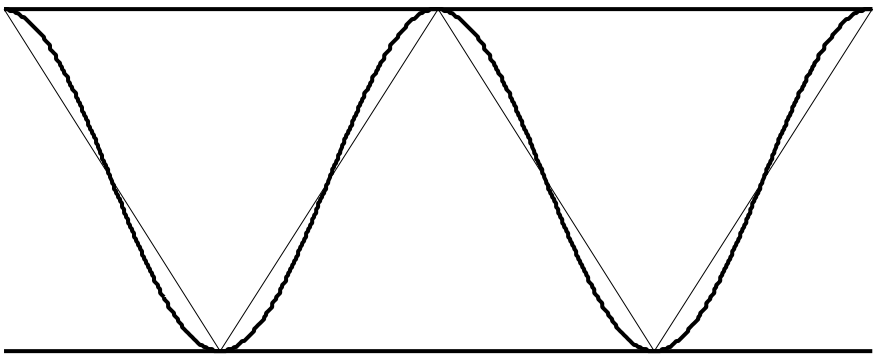
1	Inledning och syfte	5
2	Ideal laminär strömning utan diffusion	7
3	Simulerad laminär strömning utan diffusion	11
4	Simulerad laminär strömning med diffusion	15
5	Strömning med olika tvärsnittsarea	25
6	Avslutning och slutsatser	27

1 Inledning och syfte

Syftet med denna arbetsrapport är att undersöka hur renblåsningens funktion påverkas av diffusion hos gaser och partiklar. Regenerativ värmeväxling med rotor har ett varvtalsberoende överföringsflöde med frånluft till tilluft, vilket elimineras med ett renblåsningsflöde. Det är inte självklart att en rotor blir renblåst även om renblåsningsvolymen för en rotorkanal är större än rotorkanalens volym.

Undersökningen begränsas till en slät cylindrisk rotorkanal med en laminär strömningsprofil och att gasers och partiklars diffusion kan beskrivas med en diffusionskonstant D m^2/s. Den laminära strömningsprofilen gäller för hela rotorkanalens längd. Detta är en förenkling, eftersom det finns ett övergångsområde efter inströmningen i rotorkanalen.

Den normala rotorkanalgeometrin är inte ett cylindriskt rör utan har snarare ett triangelformat tvärsnitt med ett rundat hörn och två mycket spetsiga hörn om en sinusformad folie sammanfogas med en planfolie såsom visas i Figur 1.1. Det finns också rotorer med sammanfogningssätt av de olika folielagerna som ger en ojämn rotorkanal, vilket skapar lokal turbulens och därmed en viss omblandning i flera punkter i en rotorkanal.



Figur 1.1 Principskiss för tvärsnitt för en rotorkanal.

Det finns ett enkelt samband för en renblåsningssektors storlek eller sektorandel s för att få ett renblåsningsflöde lika stort som rotorns överföringsflöde. Medelufthastigheten i renblåsningssektor antas vara v m/s samt att rotorns djup är z m och varvtal är n varv/s. Sambandet kan skrivas som:

$$s = n\,z\,/\,v \qquad (-) \qquad (1.1)$$

Ett basfall med följande data kommer att användas genomgående i denna arbetsrapport med $v = 2$ m/s, $z = 0.2$ m och $n = 10/60$ varv/s. Motsvarande sektorvinkel kan beräknas till en sektorandel $s = 1/60$ eller en sektorvinkel på 6 °. Notera att renblåsningsflödet är lika med överförningsflödet. Det är enkelt att utöka (1.1) med en faktor som anger ett annat förhållande mellan renblåsningsflödet och överföringsflödet.

Den laminära strömningen med en från centrum radiellt avtagande lufthastighet medför att renblåsningen blir mer än bra i centrum och dålig närmast rotorkanalens yta. Något som kan förbättra renblåsningen är att diffusionen för gaser och partiklar är tillräcklig för att blanda om radiellt, eftersom rotorkanalens diameter är liten 2 mm. Det finns också en axiell diffusion som är lika stor lokalt sett, men detta märks inte i rotorkanalens hela längd 200 mm.

Diffusionskonstanten kan beräknas som en tredjedel av produkten mellan molekylhastighet och fri medelväglängd och för luftens syre och kväve gäller omkring 500 m/s och 10^{-7} m, vilket blir omkring $2 \cdot 10^{-5}$ m^2/s.

Diffusionskonstanten för en partikel har beräknas med hjälp av en bok med titeln Air Filtration författad av R. C. Brown (Pergamon Press 1993). Fyra siffervärden redovisas i Tabell 1.1 nedan, vilka kan jämföras med omkring 10^{-5} m^2/s för luft. Extremt små partiklar närmar sig gaser. Partiklar större än 1 µm har en låg diffusionskonstant.

Virus har en diameter från 0.001 till 0.1 µm och kan enligt Tabell 1.1 för den under gränsen jämställas med gaser. Notera dock att en ändring av diametern med en faktor 10 ändrar diffusionskonstanten en faktor 100. Bakterier har en diameter från 0.1 till 10 µm och kan enligt Tabell 1.1 därför inte jämföras med gaser.

Tabell 1.1 Diffusionskonstant D m^2/s för olika partikeldiametrar.

Partikeldiameter µm	Diffusionskonstant D m^2/s
1.000	$0.27 \cdot 10^{-10}$
0.100	$0.69 \cdot 10^{-9}$
0.010	$0.53 \cdot 10^{-7}$
0.001	$0.51 \cdot 10^{-5}$

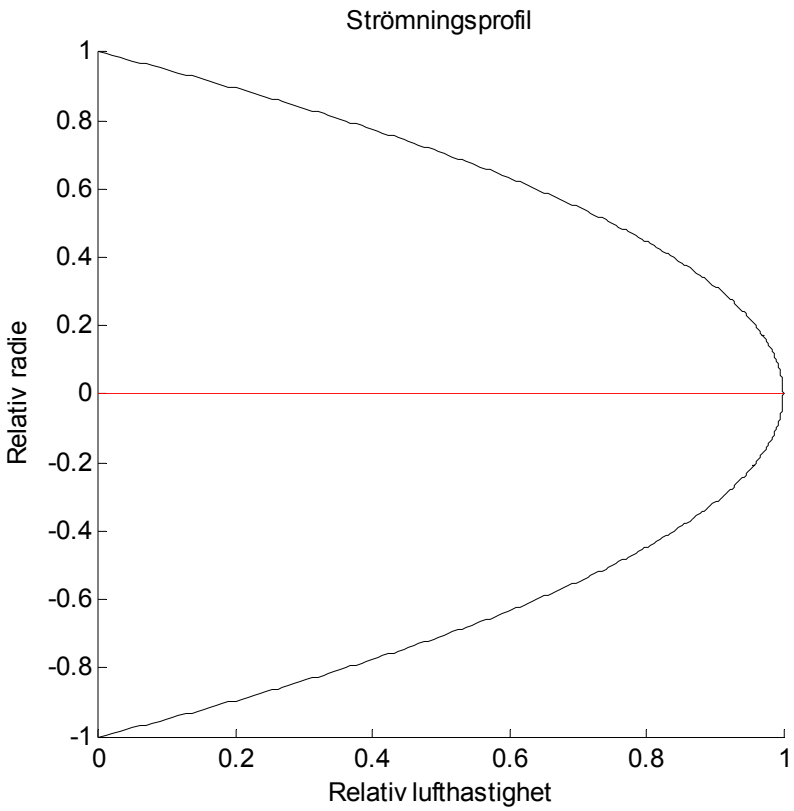
Undersökningen delas upp i fyra avsnitt. Avsnitt 2 behandlar ideal laminär strömning utan diffusion med enkla beräkningsuttryck. Avsnitt 3 simulerar den laminär strömningen förenklat utan någon diffusion som en jämförelse med det ideala fallet i avsnitt 2. Den förenklade strömningsmodellen i avsnitt 3 utökas i avsnitt 4 med diffusion. Några fall med olika renblåsningstider och fyra olika diffusionskonstanter genomräknas. Hur rotorkanalens diameter påverkar renblåsningen undersöks i avsnitt 5 för rotorkanaldiametrarna 1 och 2 mm. Sist i avsnitt 6 sammanfattas resultaten med några slutsatser.

2 Ideal laminär strömning utan diffusion

Laminär strömning medför att rotorkanalen genomblåses axiellt med radiellt beroende hastigheter med dubbla medelhastigheten i centrum samt hastigheten noll ytterst. Detta innebär att efter en renblåsningsvolym lika med en rotorkanalvolym finns det kvar samma luft i delar av rotorkanalen som fanns där innan renblåsningen startade.

Den laminära hastighetsprofilen $v(r)$ kan för centrumhastigheten v och den relativa radien r skrivas som följer:

$$v(r) = v\,(1 - r^2) \qquad \text{(m/s)} \qquad (2.1)$$



Figur 2.1 Hastighetsprofil för laminär strömning i en cylindriskt rotorkanal.

Renblåsningens funktion som den återstående relativa medelföroreningen efter renblåsningen kan för ett fall med enbart laminär strömning utan diffusion enkelt beräknas och beskrivas med ett uttryck för en rotorkanallängd z m och en renblåsningstid t s på formen:

$$c_m = z / (2\,v\,t) \qquad z < v\,t \qquad \text{(-)} \qquad (2.2)$$

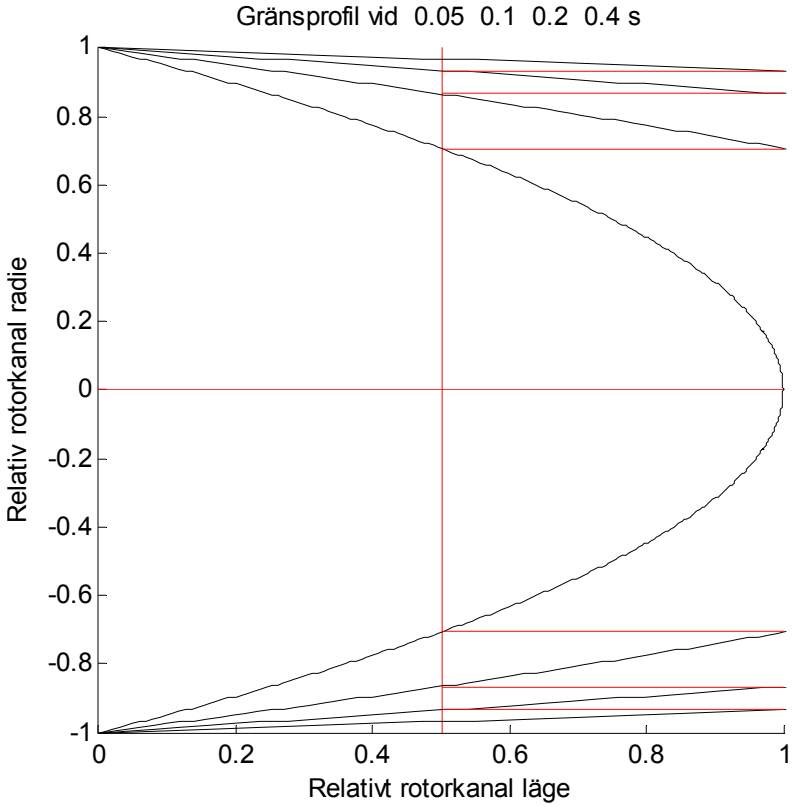
Sambandet (2.2) redovisas grafiskt i Figur 2.3 och 2.4 med olika axlar.

Den relativa föroreningsnivån är ett före renblåsningen. Renblåsningen sker med den relativa föroreningsnivån noll. Notera att uttrycket (2.2) gäller bara för renblåsningstider $t > z / v$ och att likhet innebär att renblåsningen precis når fram till rotorkanalens bortre ände samt att endast halva rotorkanalvolymen är utbytt, vilket inses av att $c_m = 1/2$.

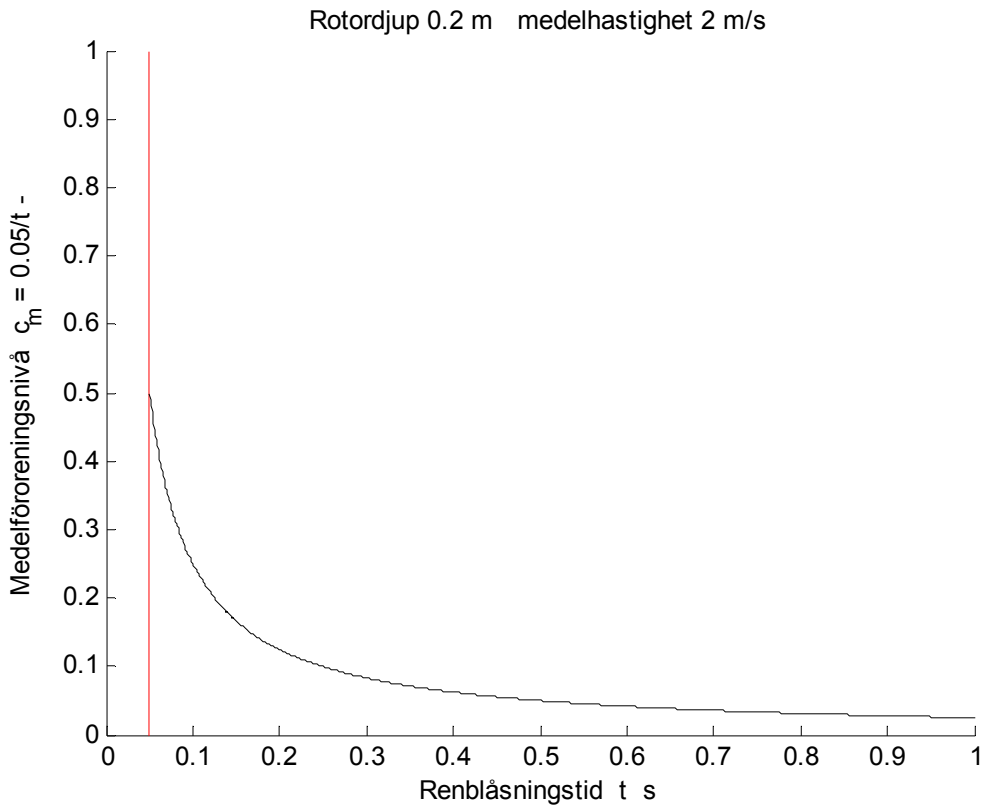
Uttrycket (2.2) visar också att om renblåsningsvolymen är lika med rotorkanalvolymen är $c_m = 1/4$ samt att renblåsningstiden måste fördubblas för att halvera den återstående föroreningsnivå. Detta innebär att det är i princip omöjligt att renblåsa en rotorkanal helt och håller med en begränsad renblåsningstid.

Ett sifferexempel är att för en renblåsningsvolym som är 250 gånger rotorkanalvolymen återstår 1/1000 av den ursprungliga föroreningsnivån. Detta är orimligt, eftersom den nyttiga ventilationsvolymen är betydligt mindre. En enkel kontroll med basfallet med sektorandelen 1/60-del av ett helt varv och 1/30-del av ett halvt varv innebär att om lufthastigheten i renblåsningsektorn är den samma som i ventilationssektorn är ventilationsflödet 29 gånger renblåsningsflödet för en rotor med djup 0.2 m, lufthastighet 2 m/s och varvtal 10 varv/min.

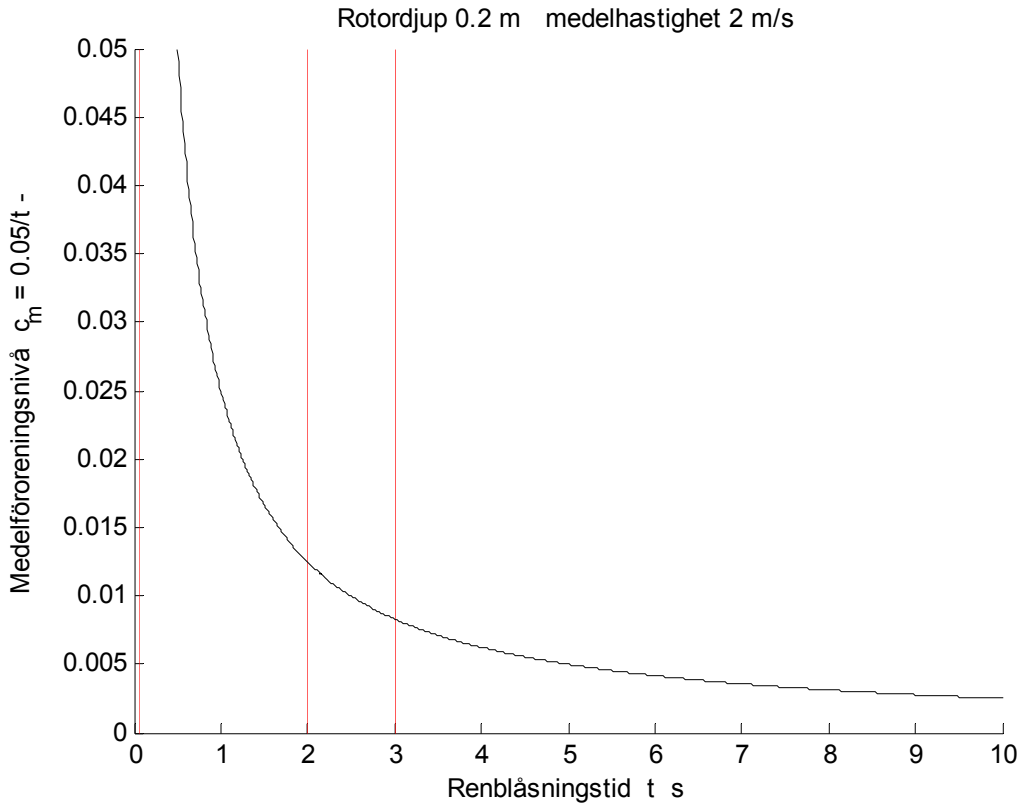
Hur gränslinjen mellan ren och oren luft blir efter renblåsningstiderna 0.05, 0.1, 0.2 och 0.4 s redovisas i Figur 2.2. Kurvorna visar att det finns kvar en volym med oren luft som blir mindre med ökande renblåsningstid.



Figur 2.2 Gräns mellan ren och förorenad luft i rotorkanal efter 0.05, 0.1, 0.2 och 0.4 s.



Figur 2.3 Medelföroreningsnivå i rotorkanal c_m - som funktion av renblåsningstid t s.



Figur 2.4 Medelföroreningsnivå i rotorkanal c_m - som funktion av renblåsningstid t s.

3 Simulerad laminär strömning utan diffusion

En fullständig modell med laminär strömning utan diffusion kan beskrivas för en rotorkanal med en tvådimensionell dimensionslös föroreningsnivå $c(r,z)$ uppdelad med n celler i radiell led och m celler i axiell led. Föroreningsbalansen för en godtycklig inre cell består av en ackumulerande term lika med en strömningsterm enligt nedan där parametrarna r och z är heltal som anger olika celler. Den innersta cellen är cylindrisk och övriga är rörformade.

$$V(r)\, dc(r,z)/dt = A_z(r)\, v(r)\, [\, c(r,z-1) - c(r,z)\,] \qquad (\mathrm{m^3/s}) \qquad (3.1)$$

$V(r)$	cellvolym, m^3
$A_z(r)$	axiell cellyta, m^2
$v(r)$	axiell strömningshastighet, m/s

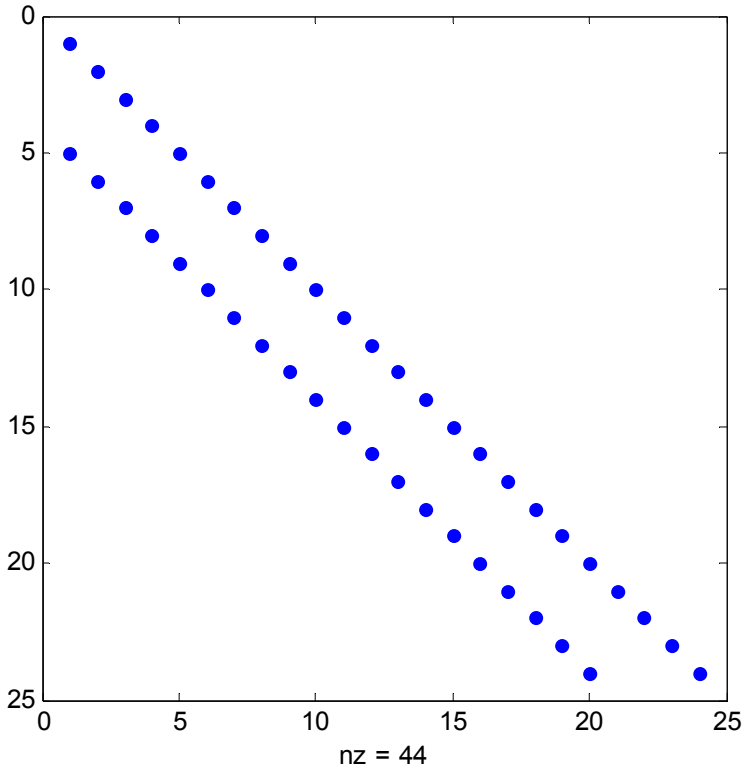
Sambandet (3.1) för alla ingående beräkningsceller kan sammanföras till ett samband på formen:

$$dc/dt = A\, c\, /\, V \qquad (\text{-/s}) \qquad (3.2)$$

c	vektor för alla cellers dimensionslösa föroreningsnivå, -
A	matris för alla kopplingar mellan olika celler, m^3/s
V	diagonalmatris med cellvolymer, m^3

Antalet celler är totalt nm med n celler i radiell led och m celler i axiell led. Detta gör att matrisen A har n^2m^2 element, vilket kan vara orimligt att hantera. En lösning är att införa glesa matriser som endast beskriver de element som är skilda från noll. Balansekvationen för en inre cell kräver endast totalt två element och alla celler vid inströmningen beskrivs med ett element. Det totala antalet matriselement kan skrivas som $2nm-n$. Ett exempel med använda värden $n = 20$ och $m = 1000$ visar att den glesa matrisen har 19980 element och den fulla matrisen har $4 \cdot 10^8$ element.

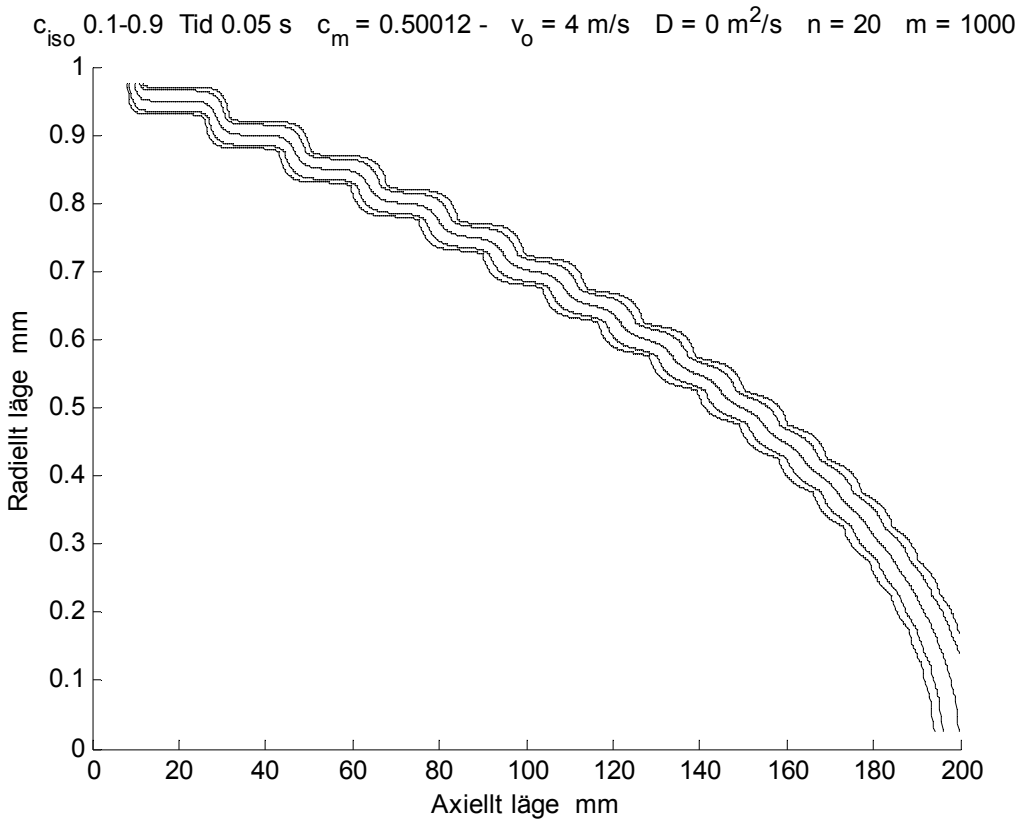
Hur matrisen A är uppbyggd kan redovisas för ett fall med $n = 4$ och $m = 6$ i Figur 3.1. Rader i matrisen A beskriver celler först radiellt och därefter axiellt. Inflöde sker för cell och rad 1-4 och utflöde för cell 21-24. Underdiagonalen i Figur 3.1 anger strömningen från cell till cell.



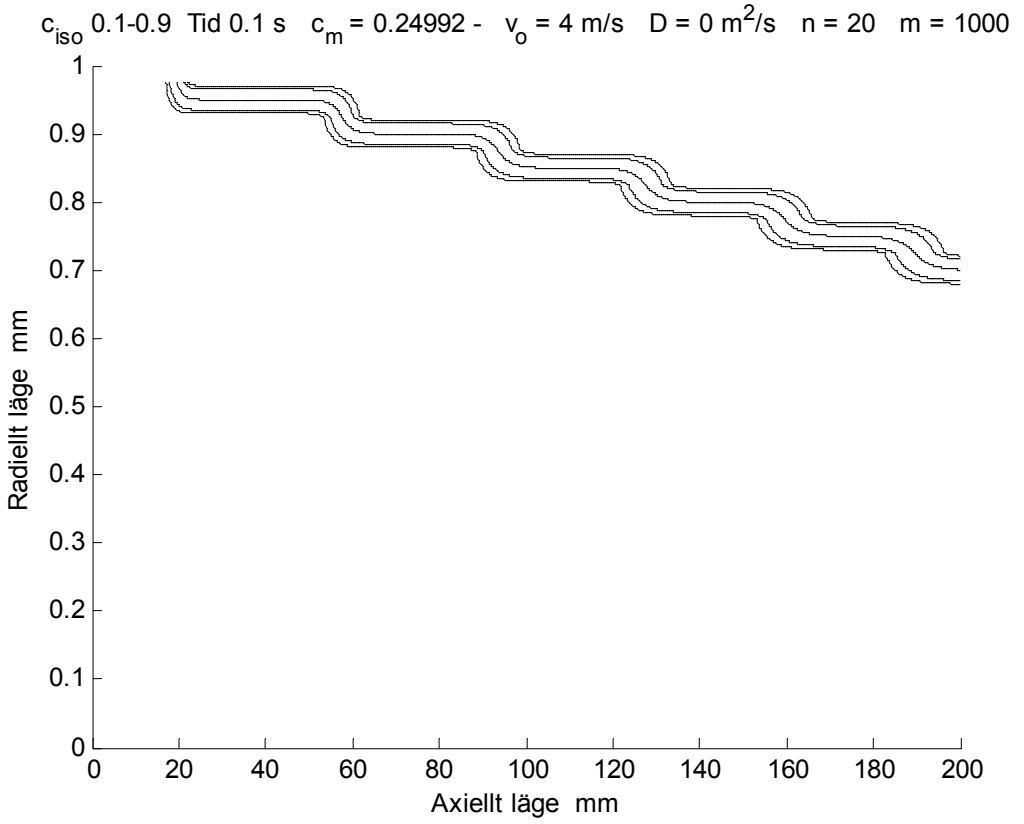
Figur 3.1 Element för matrisen A enligt (3.2).

Modellen enligt (3.1-2) har simulerats för basfallet och tre renblåsningstider 0.05, 0.10 och 0.20 s med resultat i Figur 3.2-4 med isolinjer för föroreningsnivåerna 0.1, 0.2, 0.5, 0.8 och 0.9. De tre renblåsningsfallen motsvarar renblåsningsvolymer lika med 0.5, 1 respektive 2 rotorkanalvolymer.

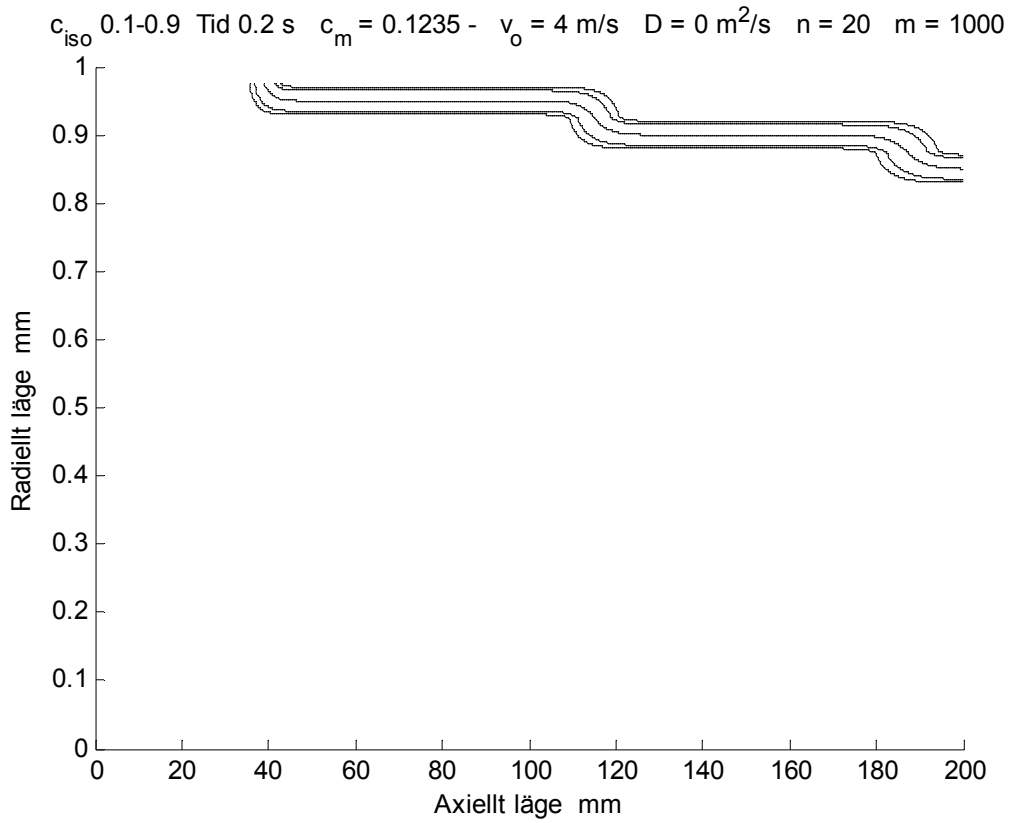
De olika ioslinjerna visar att den simulerade strömningen har en viss numerisk diffusion, men huvuddragen stämmer med vad som gäller för det ideala fallet i Figur 2.2. Hur förorenings-nivån för ett godtyckligt rotorkanaltvärsnitt redovisas för de tre renblåsningstiderna i Figur 3.5.



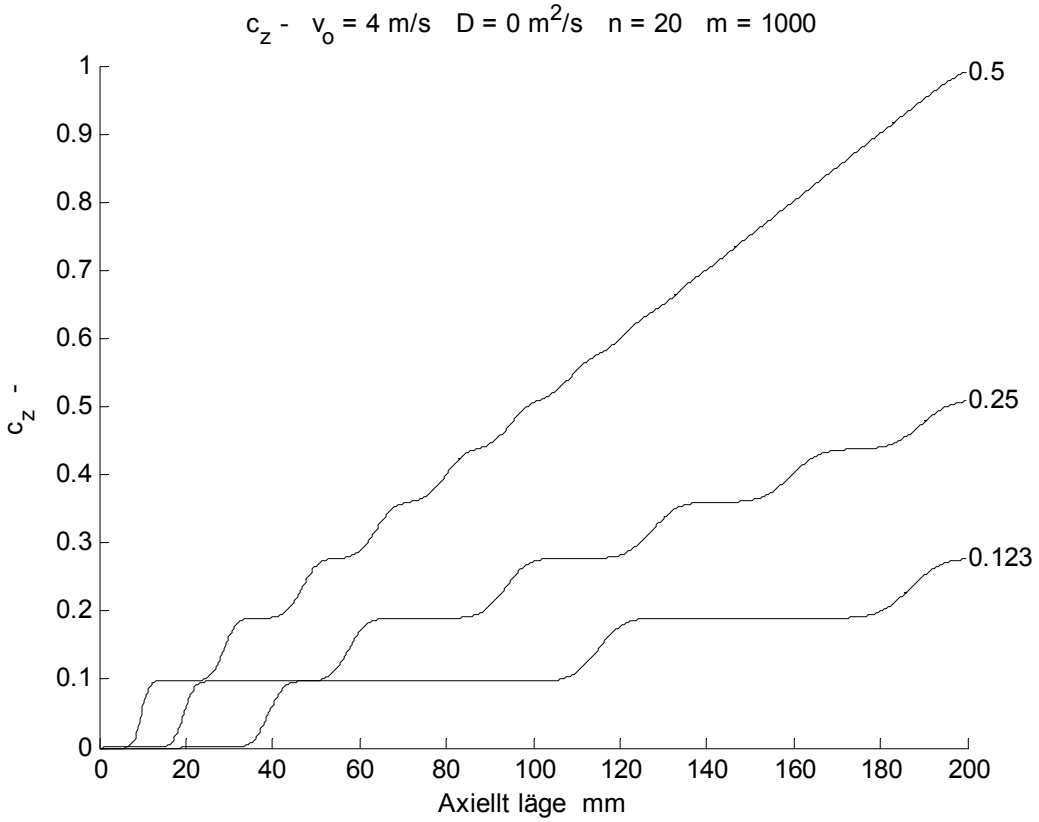
Figur 3.2 Isolinjer 0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 0.9 för föroreningsnivå efter 0.05 s utan diffusion.



Figur 3.3 Isolinjer 0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 0.9 för föroreningsnivå efter 0.1 s utan diffusion.



Figur 3.4 Isolinjer 0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 0.9 för föroreningsnivå efter 0.2 s utan diffusion.



Figur 3.5 Föroreningsnivå som funktion av axiellt läge för tre tidpunkter utan diffusion.

4 Simulerad laminär strömning med diffusion

En fullständig modell med laminär strömning och diffusion kan beskrivas för en rotorkanal med en tvådimensionell dimensionslös föroreningsnivå $c(r,z)$ uppdelad med n celler i radiell led och m celler i axiell led. Föroreningsbalansen för en godtycklig inre cell består av en ackumulerande term lika med en strömningsterm och utökad med två diffusionstermer för axiell och radiell diffusion jämfört med fallet utan diffusion i avsnitt 3. Diffusionstermerna förenklas här med finita differenser enligt nedan där parametrarna r och z är heltal som anger olika celler. Den innersta cellen är cylindrisk och övriga är rörformade.

$$V(r)\, dc(r,z)/dt = A_z(r)\, v(r)\, [\, c(r,z-1) - c(r,z)\,]$$

$$+ A_z(r)\, D\, [\, c(r,z-1) - 2\, c(r,z) + c(r,z+1)\,] \,/\, dz$$

$$+ A_r(r-1/2)\, D\, [\, c(r-1,z) - c(r,z)\,] \,/\, dr$$

$$+ A_r(r+1/2)\, D\, [\, c(r+1,z) - c(r,z)\,] \,/\, dr \qquad (\mathrm{m^3/s}) \qquad (4.1)$$

$V(r)$	cellvolym, m^3
$v(r)$	axiell strömningshastighet, m/s
$A_z(r)$	axiell cellyta, m^2
$A_r(r+1/2)$	yttre radiell cellyta, m^2
$A_r(r-1/2)$	inre radiell cellyta, m^2
dz	axiell celllängd, m
dr	radiell celltjocklek, m
D	diffusionskonstant, m^2/s

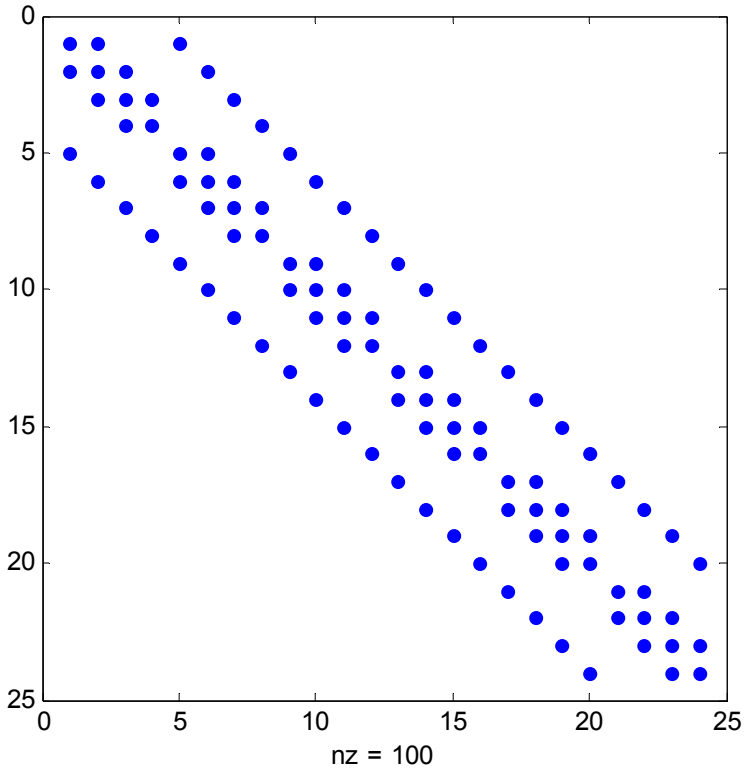
Sambandet (4.1) för alla ingående beräkningsceller kan sammanföras till ett samband på formen:

$$dc/dt = A\, c \,/\, V \qquad (\text{-/s}) \qquad (4.2)$$

c	vektor för alla cellers dimensionslösa föroreningsnivå, -
A	matris för alla kopplingar mellan olika celler, m^3/s
V	diagonalmatris med cellvolymer, m^3

Antalet celler är totalt nm med n celler i radiell led och m celler i axiell led. Detta gör att matrisen A har n^2m^2 element, vilket kan vara orimligt att hantera. En lösning är att införa glesa matriser som endast beskriver de element som är skilda från noll. Balansekvationen för en inre cell kräver endast totalt fem element och alla yttre celler längs en begränsning beskrivs med fyra element. Det totala antalet matriselement kan skrivas som $5nm-2m-2n$. Ett exempel med använda värden $n = 20$ och $m = 1000$ visar att den glesa matrisen har 7960 element och den fulla matrisen har $4 \cdot 10^6$ element.

Hur matrisen A är uppbyggd kan redovisas för ett fall med $n = 4$ och $m = 6$ i Figur 4.1. Rader i matrisen A beskriver celler först radiellt och därefter axiellt. Inflöde sker för cell och rad 1-4 och utflöde för cell 21-24.



Figur 4.1 Element för matrisen A enligt (4.2).

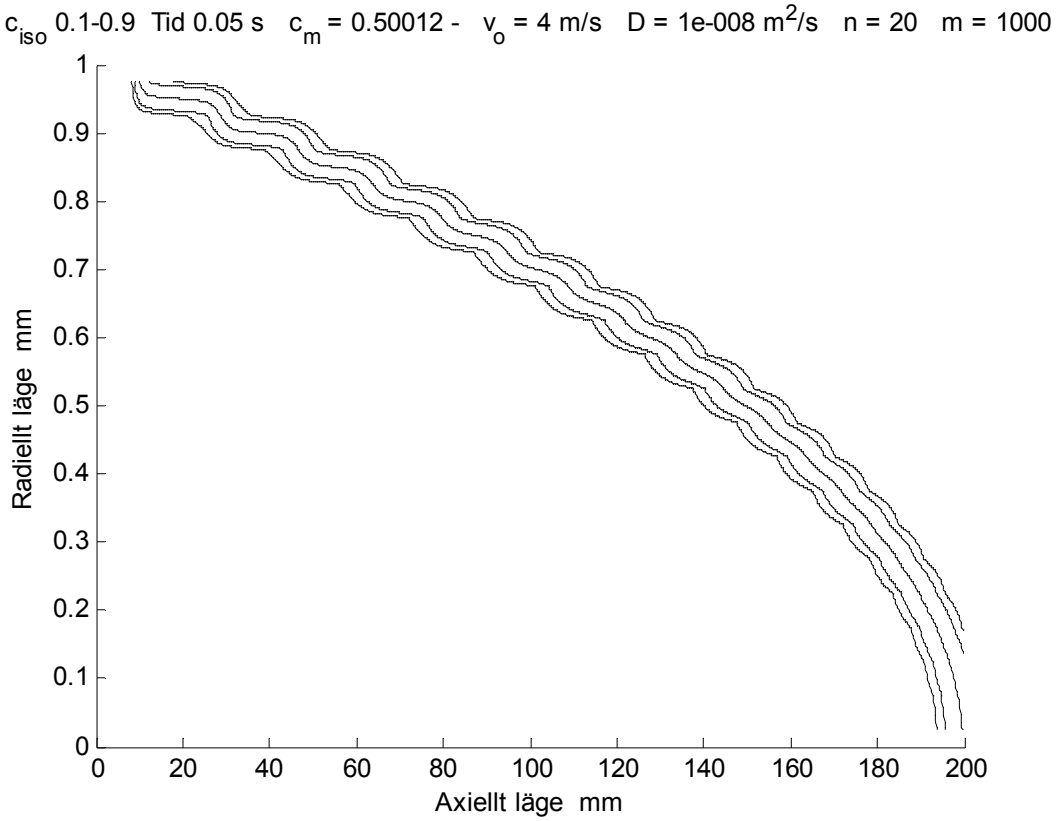
Modellen enligt (4.1-2) har simulerats för basfallet och tre renblåsningstider 0.05, 0.10 och 0.20 s på samma sätt som i avsnitt 3 utan någon diffusion. De tre renblåsningsfallen motsvarar renblåsningsvolymer lika med 0.5, 1 respektive 2 rotorkanalvolymer. Fyra olika diffusions-konstanter med tiopotenserna -8, -7, -6 och -5 redovisas i Figur 4.2-5, 4.6-9, 4.10-13 respektive 4.14-17.

Fallet med diffusionskonstanten 10^{-8} m^2/s redovisad i Figur 4.2-5 är snarlik fallet utan diffusion i Figur 3.2-5. Effekten av diffusion är ytterst marginell.

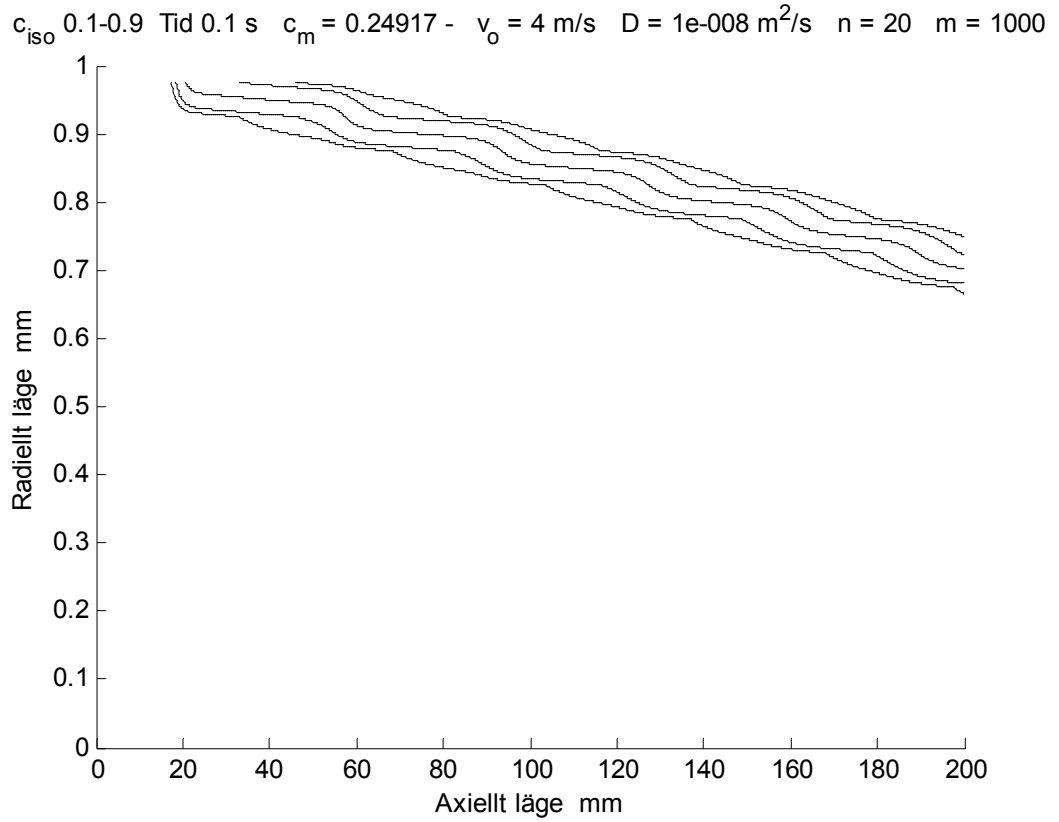
Fallet med diffusionskonstanten 10^{-7} m^2/s redovisad i Figur 4.6-9 skiljer sig något från föregående, men isolinjerna är något mer utspridda. Föroreningsnivån är ytterst lika den som gäller för det ideala fallet för tiderna 0.05 och 0.1 s.

Isolinjer för fallen med diffusionskonstanten 10^{-6} och 10^{-5} m^2/s i Figur 4.10-12 respektive 4.14-16 visar att den radiella diffusionens inverkan är stor. Föroreningsnivån beror på det axiella läget och avtar betydligt för de längre renblåsningstiderna 0.1 och 0.2 s.

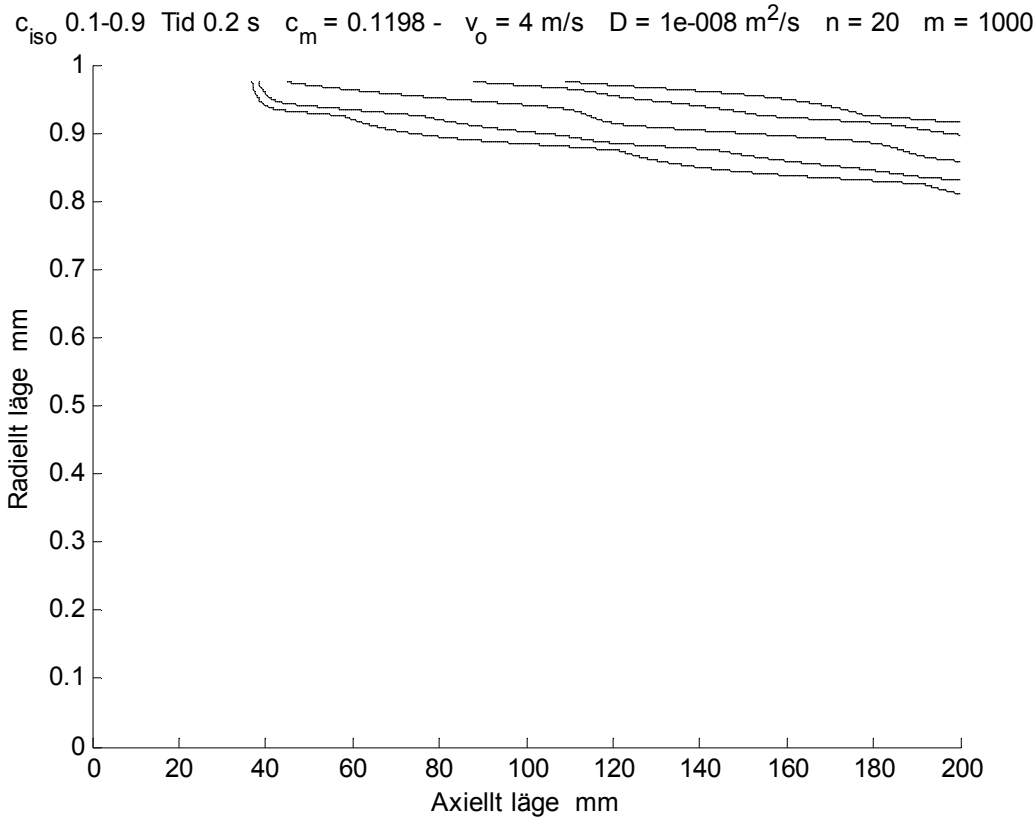
En genomgående observation för renblåsningstiden 0.05 s är att föroreningsnivån för de fyra fallen med olika diffusionskonstanter är avrundad 0.500.



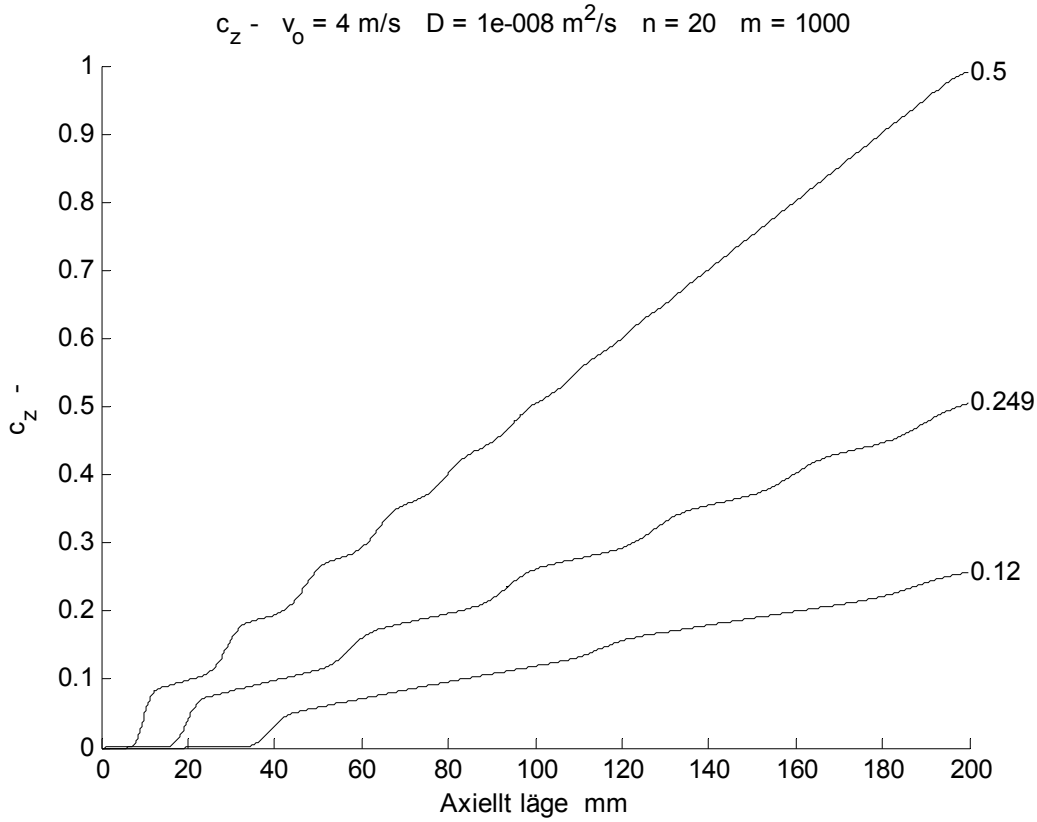
Figur 4.2 Isolinjer 0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 0.9 för föroreningsnivå efter 0.05 s med D = 1e-8 m^2/s.



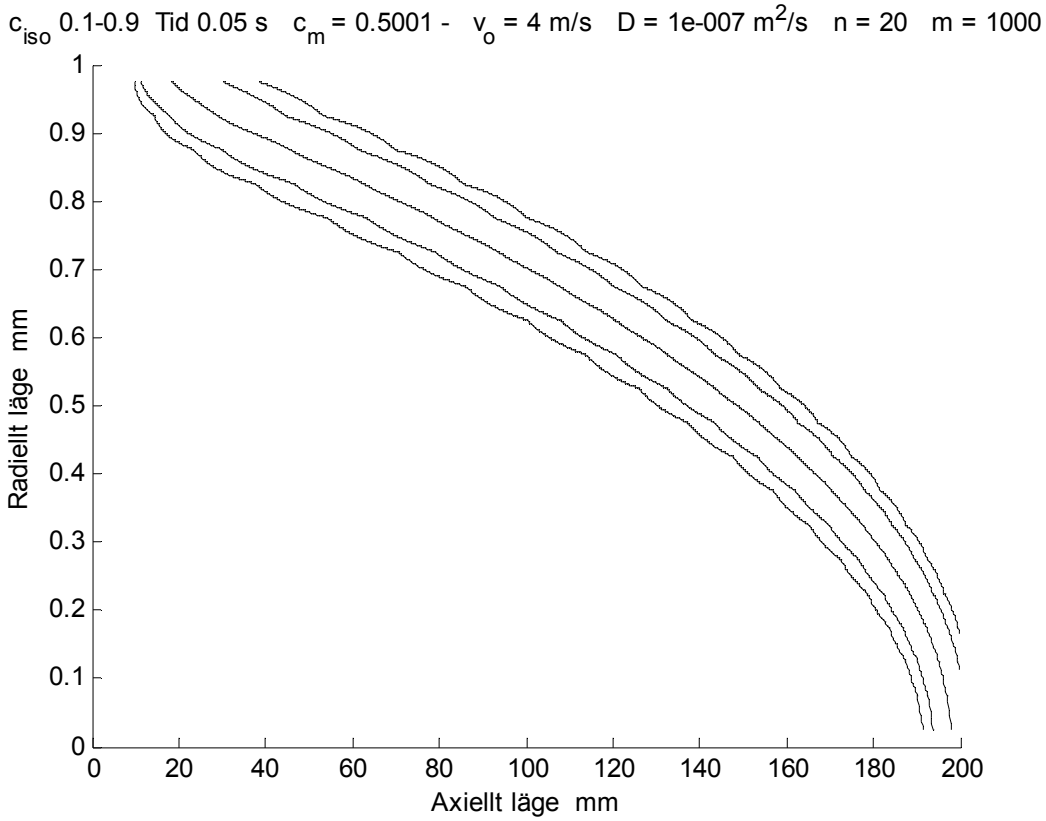
Figur 4.3 Isolinjer 0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 0.9 för föroreningsnivå efter 0.1 s med D = 1e-8 m^2/s.



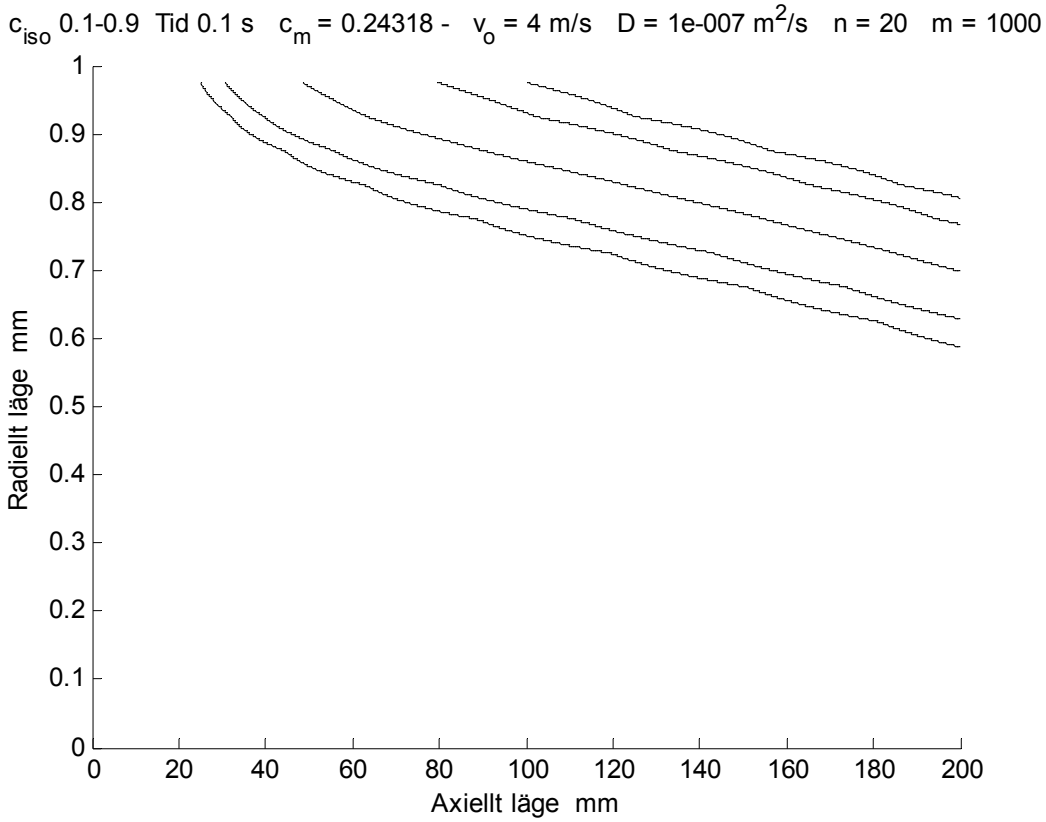
Figur 4.4 Isolinjer 0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 0.9 för föroreningsnivå efter 0.2 s med D = 1e-8 m^2/s.



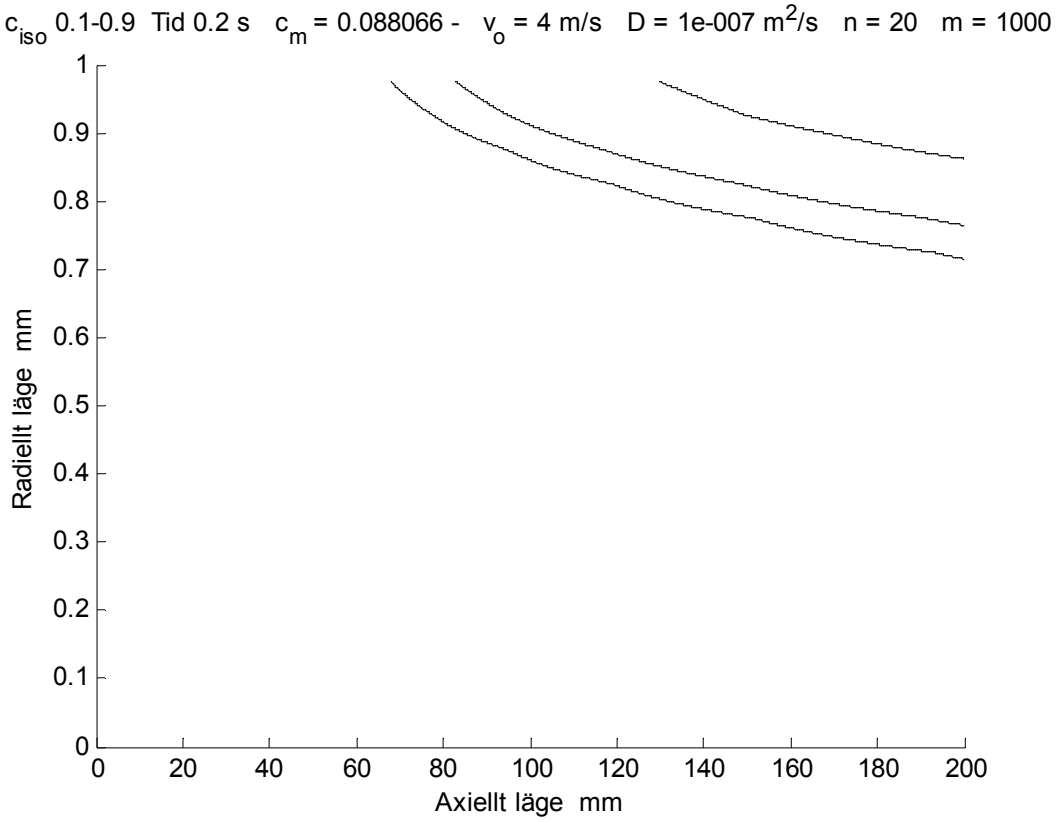
Figur 4.5 Föroreningsnivå som funktion av axiellt läge för tre tidpunkter och D = 1e-8 m^2/s.



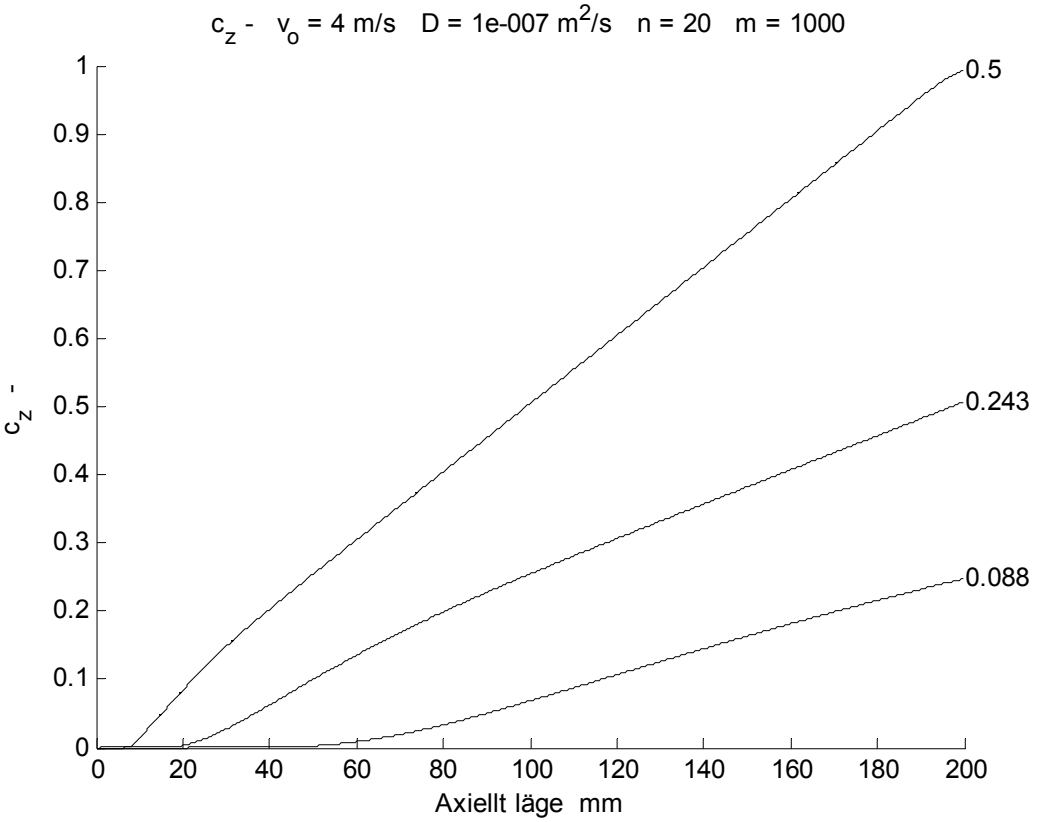
Figur 4.6 Isolinjer 0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 0.9 för föroreningsnivå efter 0.05 s med D = 1e-7 m^2/s.



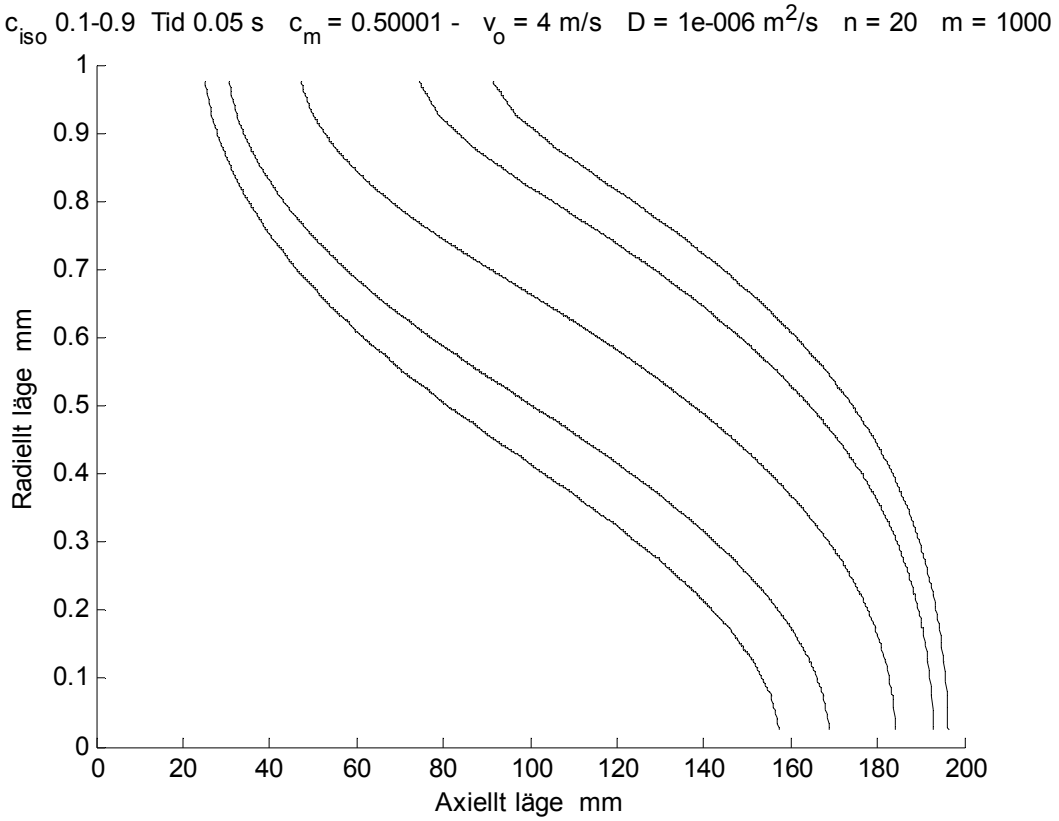
Figur 4.7 Isolinjer 0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 0.9 för föroreningsnivå efter 0.1 s med D = 1e-7 m^2/s.



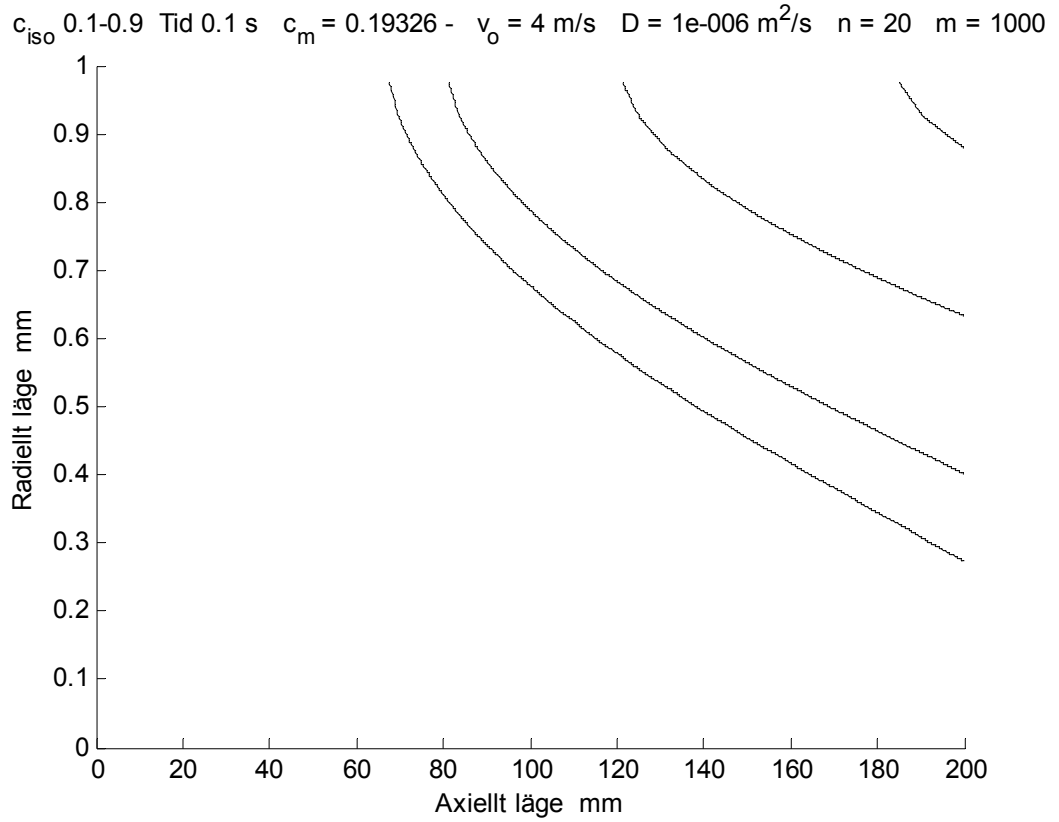
Figur 4.8 Isolinjer 0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 0.9 för föroreningsnivå efter 0.2 s med D = 1e-7 m^2/s.



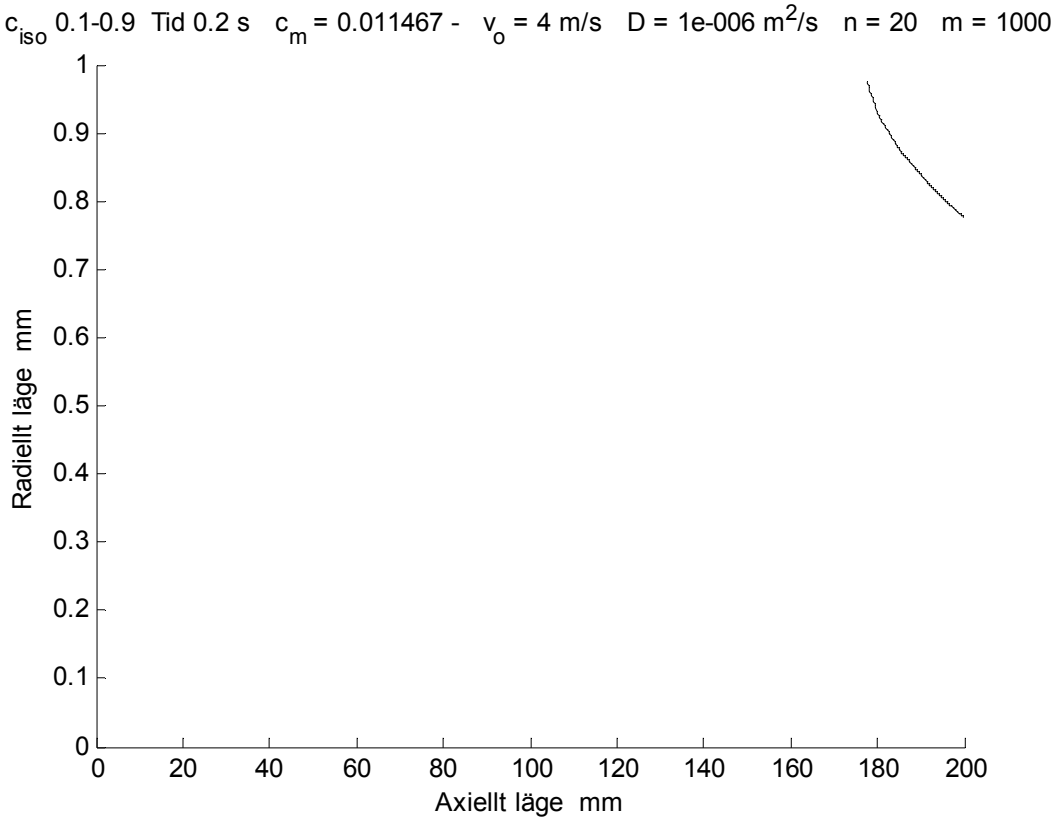
Figur 4.9 Föroreningsnivå som funktion av axiellt läge för tre tidpunkter och D = 1e-7 m^2/s.



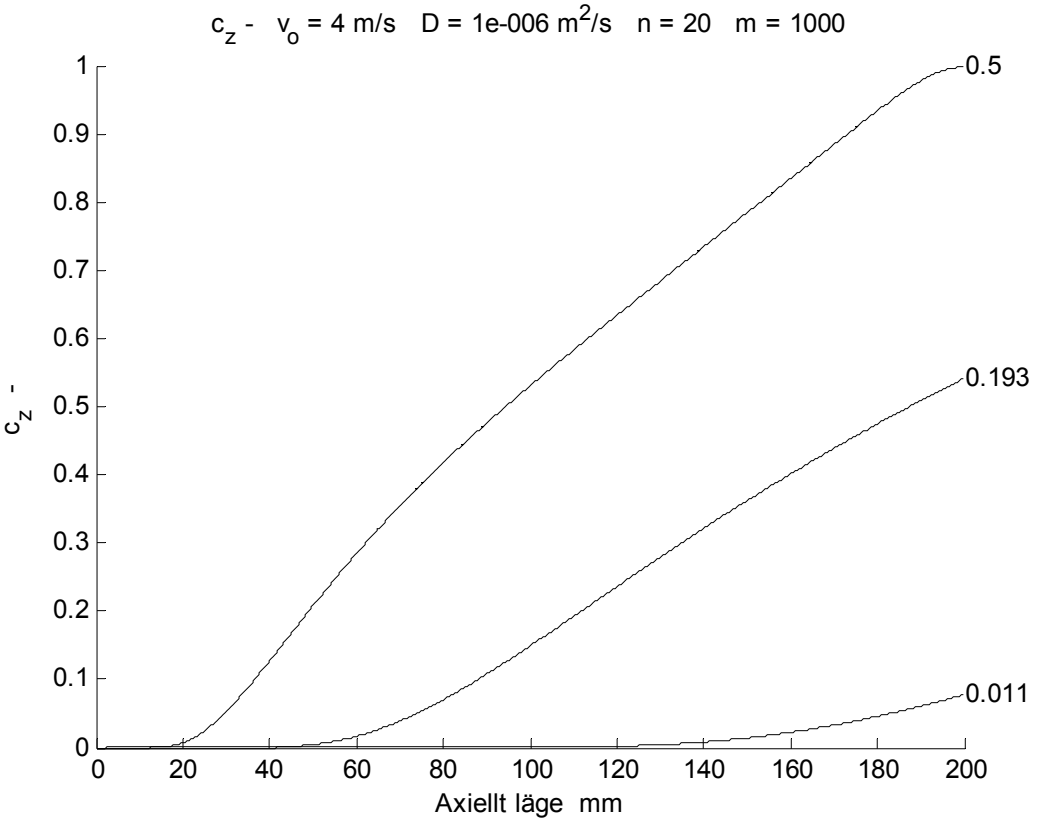
Figur 4.10 Isolinjer 0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 0.9 för föroreningsnivå efter 0.05 s med D = 1e-6 m^2/s.



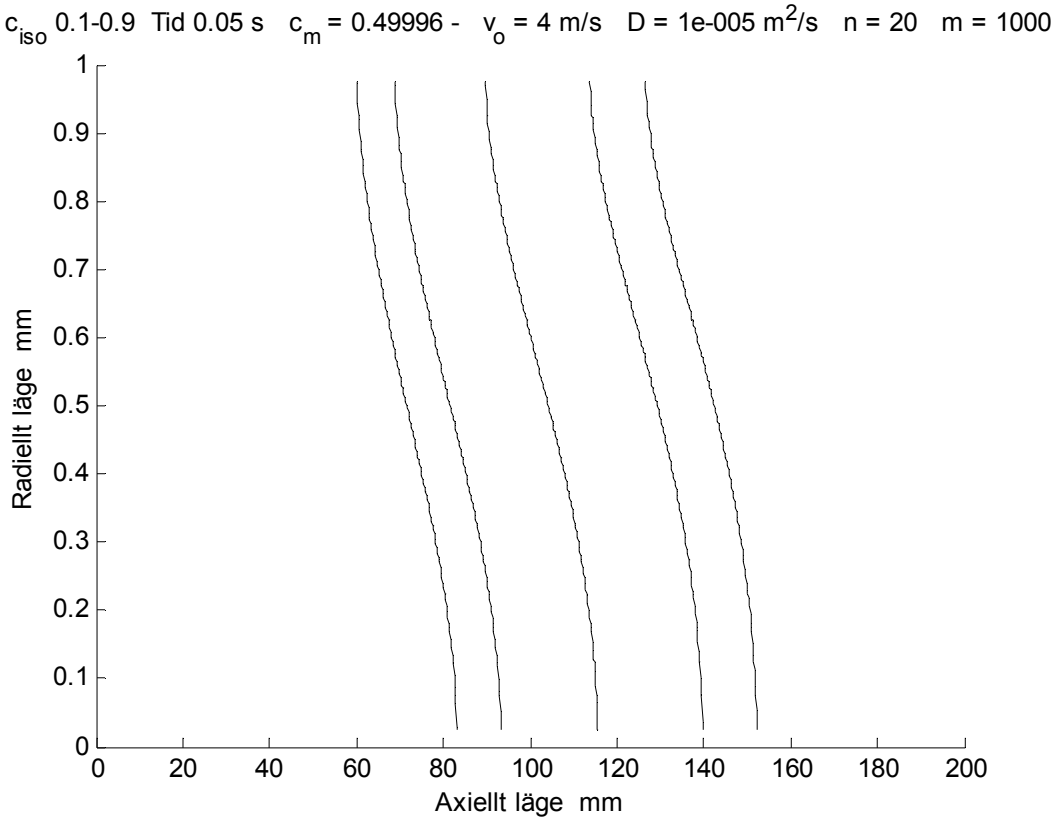
Figur 4.11 Isolinjer 0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 0.9 för föroreningsnivå efter 0.1 s med D = 1e-6 m^2/s.



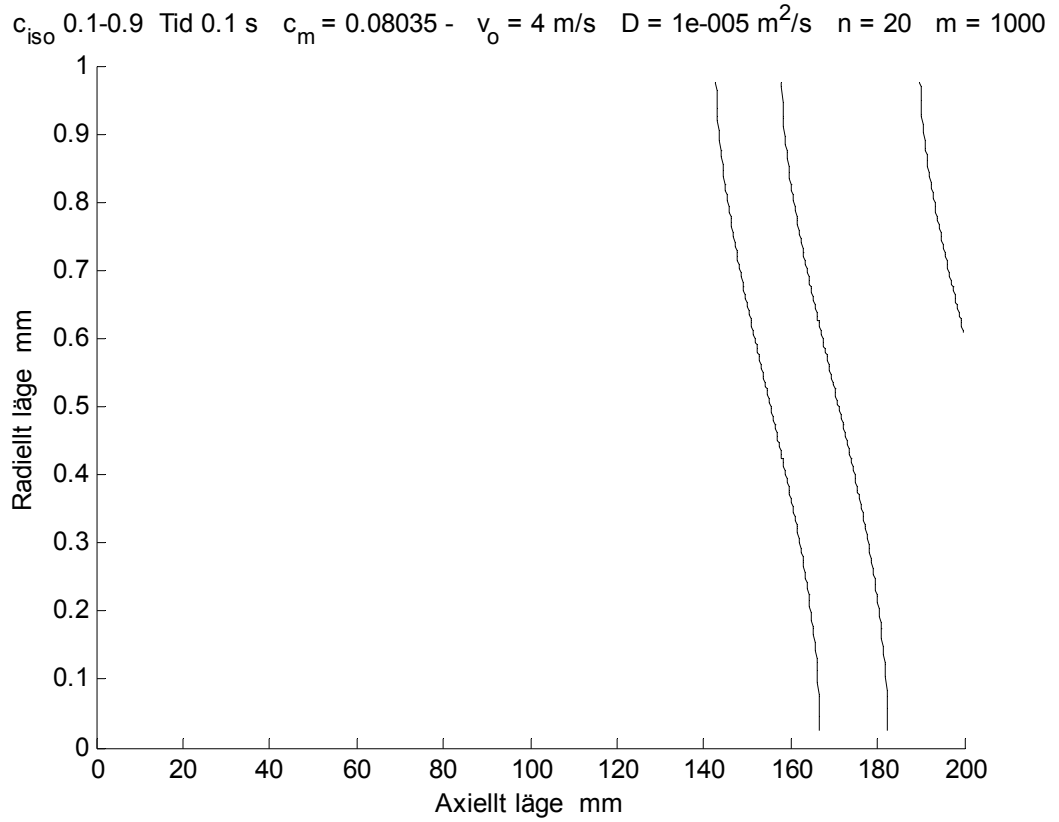
Figur 4.12 Isolinjer 0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 0.9 för föroreningsnivå efter 0.2 s med D = 1e-6 m^2/s.



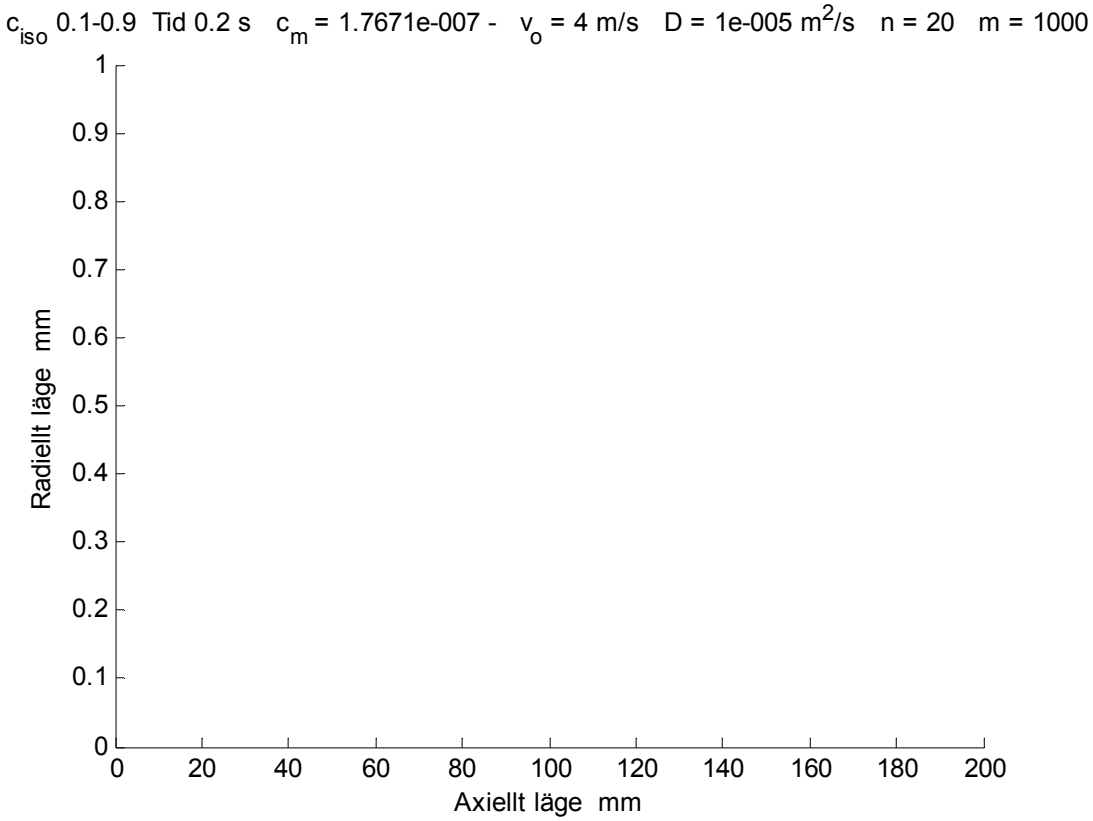
Figur 4.13 Föroreningsnivå som funktion av axiellt läge för tre tidpunkter och D = 1e-6 m^2/s.



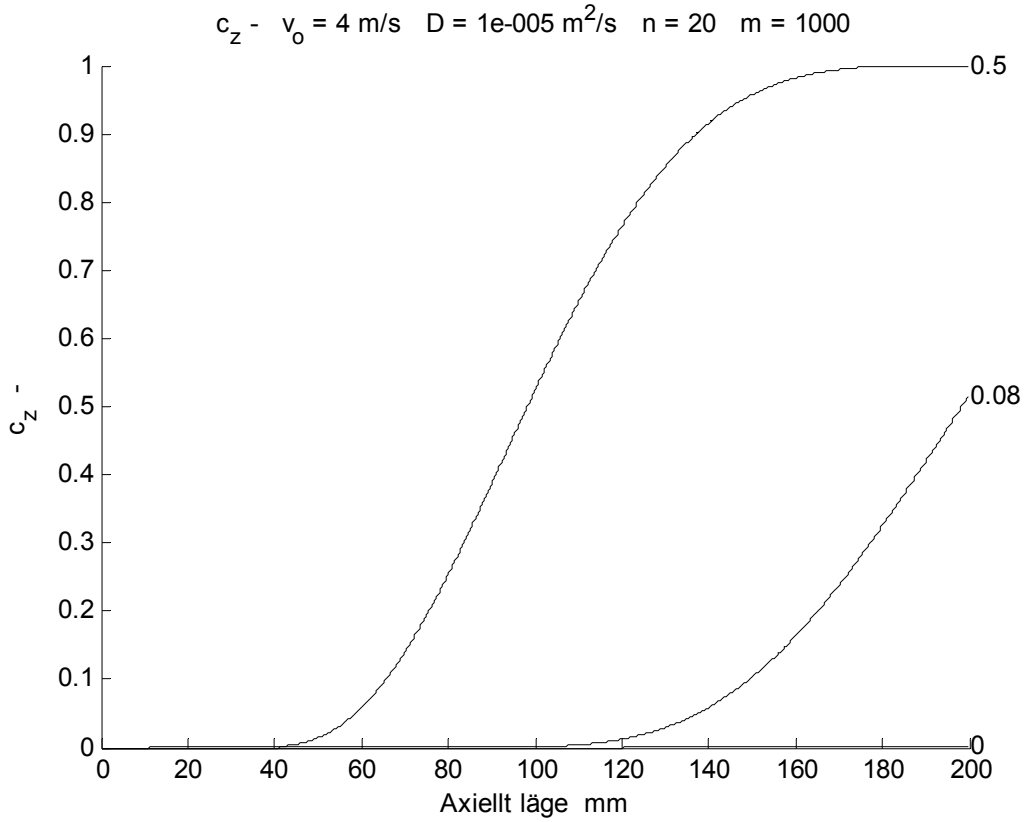
Figur 4.14 Isolinjer 0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 0.9 för föroreningsnivå efter 0.05 s med D =1e-5 m^2/s.



Figur 4.15 Isolinjer 0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 0.9 för föroreningsnivå efter 0.1 s med D = 1e-5 m^2/s.



Figur 4.16 Isolinjer 0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 0.9 för föroreningsnivå efter 0.2 s med D = 1e-5 m^2/s.



Figur 4.17 Föroreningsnivå som funktion av axiellt läge för tre tidpunkter och D = 1e-5 m^2/s.

5 Strömning med olika tvärsnittsarea

Diffusionens inverkan ökar med minskad geometri. I detta avsnitt görs en jämförelse mellan rotorkanaldiametrarna 1 och 2 mm för diffusionskonstanter med tiopotenserna från -10 till -5 och åtta olika renblåsningstider, vilket redovisas i Tabell 5.1-2 och i Figur 5.1-2.

Siffrorna i Tabell 5.1-2 visar att för låga diffusionskonstanter mindre än 10^{-9} m^2/s, vilket motsvarar partiklar större än 0.1 µm enligt Tabell 1.1, kräver långa renblåsningstider. Den nominella renblåsningstiden är 0.1 s, vilket innebär att renblåsningsvolymen för en rotorkanal är lika med just en rotorkanalvolym. En ökning av renblåsningstiden med en faktor 2 eller 4 resulterar i att medelföroreningsnivån minskar från 0.250 till 0.123 respektive 0.058 för 1 mm enligt Tabell 5.1 och från 0.250 till 0.122 respektive 0.052 för 2 mm enligt Tabell 5.2.

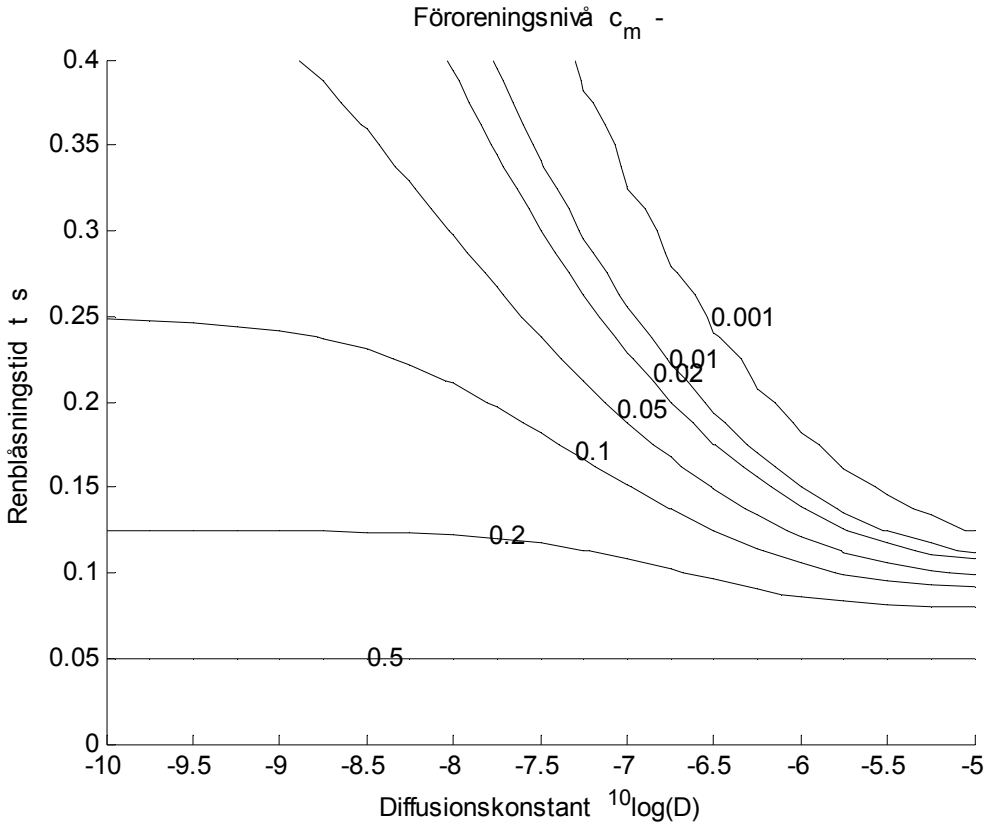
Isolinjerna i Figur 5.1-2 visar samma sak som siffrorna i Tabell 5.1-2 att en rimlig renblåsningstid 0.15 s kan bara renblåsa en rotorkanal från gaser jämförbara med luft med diffusionskonstant $D = 10^{-5}$ m^2/s och till föroreningsnivån 0.001. En lägre diffusionskonstant $D = 10^{-6}$ m^2/s kräver en klart längre renblåsningstid och ännu större är effekten för $D = 10^{-7}$ m^2/s. Isolinjerna längst till vänster i Figur 5.1-2 visar också att den ideala modellen enligt (2.2) om att renblåsningstiden ökas en faktor fem minskar föroreningsnivån en faktor fem, vilket framgår för isolinjerna 0.5 och 0.1 med renblåsningstiderna 0.05 s respektive 0.25 s. Notera att isolinjen 0.5 i Figur 5.1-2 är oberoende av diffusion med samma renblåsningstid 0.05 s.

Tabell 5.1 Föroreningsnivå c_m - efter renblåsningstid t och diffusionskonstant D för 1 mm.

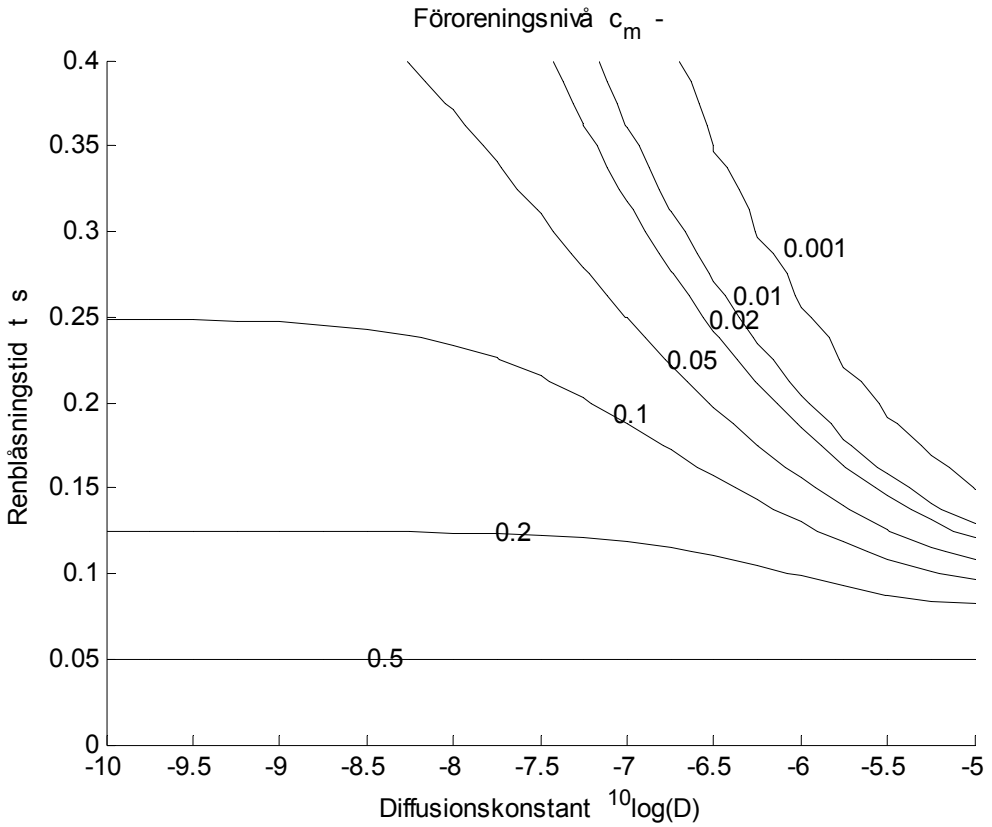
t s	(2.2)	0 m^2/s	10^{-10} m^2/s	10^{-9} m^2/s	10^{-8} m^2/s	10^{-7} m^2/s	10^{-6} m^2/s	10^{-5} m^2/s
0.05	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.501	0.501	0.500
0.10	0.250	0.250	0.250	0.250	0.247	0.225	0.122	0.043
0.15	0.167	0.166	0.166	0.165	0.158	0.102	0.010	0.000
0.20	0.125	0.123	0.123	0.122	0.108	0.039	0.000	0.000
0.25	0.100	0.100	0.099	0.096	0.074	0.011	0.000	0.000
0.30	0.083	0.082	0.081	0.077	0.049	0.002	0.000	0.000
0.35	0.071	0.065	0.065	0.062	0.031	0.000	0.000	0.000
0.40	0.063	0.059	0.059	0.052	0.019	0.000	0.000	0.000

Tabell 5.2 Föroreningsnivå c_m - efter renblåsningstid t och diffusionskonstant D för 2 mm.

t s	(2.2)	0 m^2/s	10^{-10} m^2/s	10^{-9} m^2/s	10^{-8} m^2/s	10^{-7} m^2/s	10^{-6} m^2/s	10^{-5} m^2/s
0.05	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
0.10	0.250	0.250	0.250	0.250	0.249	0.243	0.193	0.080
0.15	0.167	0.166	0.166	0.165	0.164	0.146	0.059	0.001
0.20	0.125	0.123	0.123	0.123	0.120	0.088	0.011	0.000
0.25	0.100	0.100	0.100	0.099	0.092	0.050	0.001	0.000
0.30	0.083	0.082	0.082	0.081	0.072	0.026	0.000	0.000
0.35	0.071	0.065	0.065	0.065	0.056	0.012	0.000	0.000
0.40	0.063	0.059	0.059	0.058	0.043	0.005	0.000	0.000



Figur 5.1 Simulerad medelföroreningsnivå c_m för en rotorkanal som funktion av diffusionskonstant $^{10}log(D)$ och renblåsningstid t s med rotorkanaldiameter 1 mm.



Figur 5.2 Som Figur 5.1 för rotorkanaldiameter 2 mm.

6 Avslutning och slutsatser

En förutsättning för alla nedanstående slutsatser är antagande om att strömningen är idealt laminär i en cylindrisk rotorkanal utan något övergångsområde i början av rotorkanalen. All strömning är helt axiell med en ideal strömningsprofil enligt (2.1).

En första slutsats av detta är att det är i praktiskt omöjligt att renblåsa en rotorkanal för partiklar större än 0.1 µm. Föroreningsnivå på 0.01 och 0.1 kräver renblåsningstiderna 2.5 s respektive 0.25 s för basfallet, vilket motsvarar 25 respektive 2.5 rotorkanalvolymer. En renblåsningstid på 2.5 s skall jämföras med tiden för ett halvt varv 3 s vid högsta varvtal 10 varv/min. Renblåsningstiden kan minskas om renblåsningshastigheten kan ökas.

En andra slutsats är att renblåsning av en rotorkanal med lättare gaser jämförbara med luft kräver en renblåsningsvolym som är halvannan gång själva rotorkanalens volym. Detta motsvarar en renblåsningstid på 0.15 s, vilket ger en föroreningsnivå på 0.001 för diffusionskonstanten 10^{-5} m^2/s. En anmärkning är att renblåsningen fungerar bra för gaser, men när fuktöverföring sker samtidigt kan även vattenlösliga gaser överföras.

En tredje slutsats är att det ytterst enkla uttrycket för medelföroreningsnivån enligt (2.2) beskriver problematiken med att renblåsa en rotorkanal med större partiklar väl.

En fjärde slutsats är att den radiella diffusionen har en stor inverkan, eftersom rotorkanalens tvärsnitt är litet samt att ett större tvärsnitt minskar effekten av den radiella diffusionen och omvänt ett mindre tvärsnitt ökar effekten, vilket visats i avsnitt 5. Diffusionen beror på uppehållstiden, som i sin tur beror på genomströmningshastigheten och rotorkanalens längd.

En femte slutsats är att den radiella diffusionen för större partiklar är obetydlig, men något som liknar diffusion är regelrätt omblandning, vilket kan skapas med en turbulensskapande utformning av en rotorkanal. Detta kan öka tryckfallet och öka risken för avsättning.

En kvalitativ slutsats är att renblåsning med de givna förutsättningarna med ideal laminär genomströmning av en slät cylindrisk rotorkanal utan något övergångsområde fungerar väl för gaser om renblåsningsvolymen är minst lika med halvannan gång rotorkanalvolymen för fallet med högsta varvtal, men fungerar inte för partiklar större än 0.1 µm som bakterier med rimliga renblåsningsvolymer. Virus är en faktor 100 mindre och den undre gränsen 0.001 µm innebär att vissa virus kan jämställas med luft.

En kvantitativ slutsats är att om renblåsningsvolymen är halvannan gång rotorkanalvolymen blir föroreningsnivån 1/6 samt om överföringsflödet är en 1/20-del av totalflödet blir föroreningsnivån 1/120 för totalflödet utgående från filtrerad frånluft. Det finns därför en liten överföring av partiklar från filtrerad frånluft vid högsta varvtal.

En spekulativ slutsats är att renblåsning är onödig eftersom frånluften filtreras. Renblåsningen minskar inte partikelöverföringen helt utan bara till största delen.