

CHALMERS

Vatten Miljö Transport

Väg- och vattenbyggnad

Strömningssimulering i ett akvarium på Korsvägen Vetenskapscentrum



Examensarbete av
Jenny Trumars och Maria Warringer
Göteborg 2000-12-01

Förord

Detta examensarbete har genomförts under juni till december 2000, på institutionen för Vatten Miljö Transport på Chalmers tekniska högskola.

Vi vill tacka vår handledare Thomas Pettersson, som varit mycket engagerad och hjälpsam under arbetets gång, vår examinator Gilbert Svensson, Ola Nordblom, Jens-Uwe Friemann och alla andra vid institutionen som bidragit med sin tid och sin kunskap.

Vi vill också tacka Jan Westin, projektledare på Universeum och Peter Örn, för att de har givit oss möjligheten att genomföra detta examensarbete, och som har tagit sig tid att svara på frågor och visat oss runt på bygget. Vi tackar även för den hjälp vi fått från Henrik Johansson på ÅF-RNK, Christian Evertsson, FB Engineering AB, Lars-Åke Adolfsson, Landskapsgruppen AB, Thomas Hansen, Wingårdh Arkitektkontor AB, vilka har försökt reda ut begreppen och skickat ritningar eller annat material



Göteborg, december 2000

Jenny Trumars

Maria Warringer

Innehållsförteckning

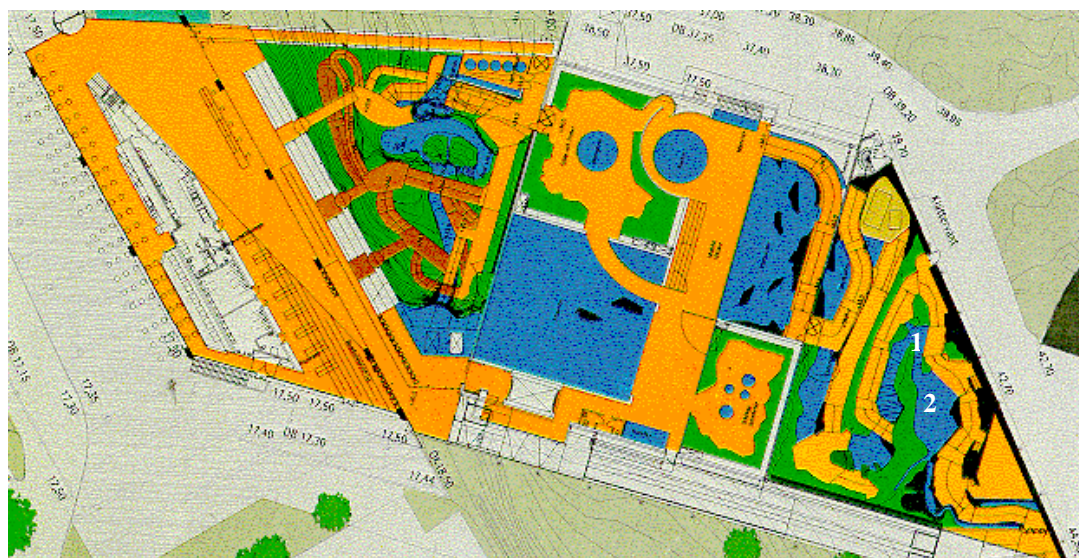
Förord	i
Sammanfattning	iii
Abstract	v
Ordlista	ix
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Problembeskrivning	1
1.3 Syfte	2
1.4 Genomförande.....	2
1.5 Avgränsningar.....	3
2 Fiskar och deras livsmiljö	5
2.1 Förhållanden i naturliga vattendrag	5
2.2 Fisk i rinnande vatten.....	7
2.3 Fiskar i Fjällsjön och Norrlandsälven	10
2.4 Sammanfattning	13
3 Anläggning och metod	17
3.1 Universeum	17
3.2 Fjällsjön och Norrlandsälven	18
3.3 Flödessimulering.....	19
3.4 Tidigare undersökningar	20
3.5 Modell och metod	20
3.6 Felkällor och antaganden	22
3.7 Simuleringar.....	24
3.8 Sammanfattning	29
4 Resultat	31
4.1 Sjö utan grund	32
4.2 Sjö med grund	34
4.3 Älv med inflöde vid botten	36
4.4 Älv med diffust inflöde.....	40
4.5 Älv med inflöde från sidan	43
4.6 Älv med inflöde från sidan och hinder (stenar)	47
4.7 Jämförelse mellan de olika inflödena till älven	52
4.8 2D-studie.....	52
4.9 Sammanfattning av resultat.....	53
5 Diskussion	55
5.1 Fjällsjön.....	55
5.2 Norrlandsälven.....	56
6 Slutsatser	59
7 Referenser	61
8 Bilagor	63

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Universeum är en satsning av Göteborgsregionens kommunalförbund, Göteborgs universitet och Chalmers tekniska högskola. Satsningen görs i syfte att öka intresset för kunskap hos barn och ungdomar och på lång sikt öka antalet tekniker och naturvetare i Sverige. För att uppnå detta görs utställningar som belyser processer och företeelser i natur och samhälle. Även samspelet mellan natur och människa illustreras. Meningen med utställningarna är att besökarna skall få ökad förståelse genom att experimentera själva. (Wingårdh Arkitektkontor AB, 1999)

De delar av utställningen som skall studeras i rapporten ingår i en större del, Svenska Landskap, som visar vattnets kretslopp i Sverige. Besökaren skall kunna följa vattnets väg genom det svenska landskapet, från fjällområdena i det inre av Sverige till östersjökusten och vidare till västkusten och Atlanten. I en annan del av utställningen visas även vattnets färd genom den sydamerikanska regnskogen. Fiskar, som är typiska för respektive miljö, skall leva i vattendrag och sjöar.



Figur 1.1: Översikt över Universeum. Svenska Landskap är längst till höger i bild och den sydamerikanska regnskogen längst till vänster. Norrlandsälven (1) och Fjällsjön (2) är markerade med siffror i figuren.

1.2 Problembeskrivning

Det viktigaste i ett akvarium är att de djur som bor där trivs och mår bra. Flera olika faktorer som till exempel ljus, temperatur och tillgång till föda påverkar djurens välbefinnande. Ett flertal av de fiskar som skall ingå i utställningen är anpassade till ett liv i vattendrag och är mer eller mindre beroende av strömmande vatten för lek, vandring eller för att söka föda. Det är även viktigt att bottenmiljön är varierande och erbjuder möjlighet att söka skydd från strömmen eller från rovdjur. Förutom att djuren skall må bra är det också viktigt att de skall kunna studeras av akvariets besökare. Vår

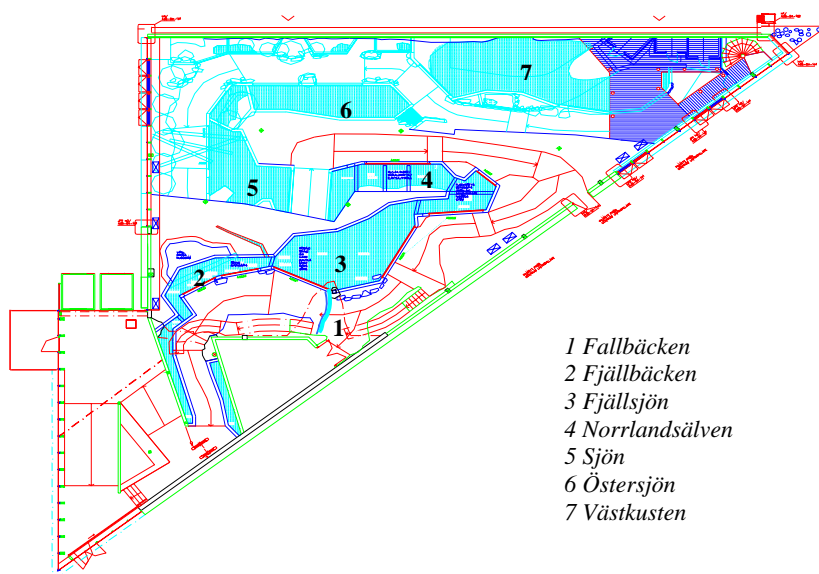
uppgift har varit att undersöka om strömningsförhållanden i delar av vattenmiljöerna är lämpliga samt att se hur man med små medel kan påverka strömningen för att skapa en varierande miljö.

1.3 Syfte

Examensarbetet syftar till att, med hjälp av en datormodell, ta reda på strömningsförhållanden i delar av det vattenlandskap som skall byggas på Universeum. Avsikten är att ge förslag på hur man med hjälp av hinder, som till exempel stenar, och reglering av flödet kan få en strömningsbild som är lämplig för såväl djurlivet som besökaren.

1.4 Genomförande

Arbetet inleds med en litteraturstudie för att ta reda på vilka förutsättningar som gäller för att fiskarna skall trivas. En tredimensionell modell görs sedan för en fjällsjö samt för en del av en norrlandsälv. I Fjällsjön rör det sig främst om utplacering av ett grund, dels för att fördela flödet gynnsamt för fiskarna dels för det skall se mer tilltalande ut för besökaren. Vi har även för avsikt att simulera transporten av ett ämne genom sjön.



Figur 1.2: Figuren visar vattnets väg genom det Svenska Landskapet på Universeum.

I Norrlandsälven är problemet av en annan karaktär. Där vill man åstadkomma en sträcka som ger intryck av stora flöden och forsande vatten, samtidigt som det skall vara en bra miljö för inplanterad fisk. I älven bör finnas både lugna zoner för vila och snabbt strömmande flöden som för med sig föda. Vi vill undersöka hur strömningsbilden varierar vid olika flödesmängder och utformningar samt vid inplacering av större stenar på botten, med syfte att ge förslag på utformning och placering av inflöden och hinder.

1.5 Avgränsningar

Då tiden för detta arbete är begränsad har vi fått nöja oss med att endast behandla en liten del av det Svenska Landskapet. Genom att skapa en datormodell av de valda delarna samt simulera några olika fall kan vi jämföra resultaten och till exempel se hur strömningsbilden varierar vid olika flöden. Arbetet har dock inte gått ut på att finna ett optimalt förslag, men vissa rekommendationer kommer att ges.

Datormodellen innehåller en del förenklingar, exempelvis gestaltningen av ett inflöde från ett vattenfall. Modellen har inte verifierats genom mätningar, verkliga experiment eller genom modellering av några kända fall. Dock är det valda datorprogrammet väl beprövat och har tidigare använts i ett flertal liknande fall, vilka har verifierats.

2 Fiskar och deras livsmiljö

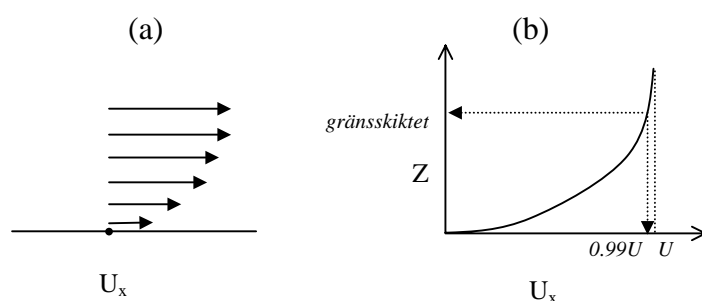
Litteraturstudien handlar om förhållanden i vattendrag i naturen samt hur fiskar har anpassat sig till dessa. De fiskarter som skall planteras in i Fjällsjön och Norrlandsälven presenteras kort. Litteraturstudien är en nödvändig grund för att resultaten skall kunna utvärderas och för att rekommendationer skall ges.

2.1 Förhållanden i naturliga vattendrag

Strömmande vatten, temperatur och bottenmaterial är de tre viktigaste faktorerna för livet i vattendrag. Det strömmande vattnet medför såväl vissa fördelar som nackdelar. Med strömmen tillförs föda och avfall transporteras bort, men för fiskar och insekter som lever i dessa vatten finns också risken att svepas iväg. Bottenmaterialet påverkar fiskarnas möjlighet att finna gömställen och skydd från strömmen och har även betydelse för vilka insekter som klarar av att leva i vattendraget. (Allan, 1995)

2.1.1 Krafter i strömmande vatten

I naturliga vattendrag är flödet så gott som alltid turbulent, vilket innebär att vattnet rör sig i virvlar och hastigheten i vattnet varierar oregelbundet. Strömningen nära en fast yta, i det så kallade gränsskiktet, är starkt påverkad av ytans egenskaper och karakteriseras av stora hastighetsgradienter (Häggström, 1992). Övre gränsen för gränsskiktet är där vattnet är opåverkat av bottenmaterialet. Den vertikala utbredningen av gränsskiktet definieras som det skikt där hastigheten understiger 99 % av hela skiktets medelhastighet (Vogel, 1994).



Figur 2.1: (a) Vattenhastigheten varierar med avståndet till den fasta ytan. (b) Gränsskiktet definieras som det skikt där hastigheten understiger 99 % av medelhastigheten för hela skiktet.

Mellan ett fast, stationärt föremål och strömmande vatten är vattenhastigheten noll precis intill den fasta ytan. Följden av detta är att precis ovanför ytan är hastighetsgradienten mycket stor (se figur 2.1). Strax ovanför ytan bildas ett mycket tunt lager där vattenhastigheten är starkt reducerad. Lagret är inte tjockare än att endast de allra minsta ryggradslösa djuren och mikroorganismerna kan leva skyddat. (Allan, 1995)

En fisk som står stilla i eller simmar mot strömmande vatten utsätts för ett rörelsemotstånd, vilket dels beror på friktion mot skinnet och dels på ett formmotstånd. Formmotståndet kommer av att trycket är ojämnt fördelat över kroppens yta (Häggström, 1992). Det är till exempel lättare att framföra en strömlinjeformad kropp i vatten än en rektangulär. Kroppsformen på exempelvis en lax, det vill säga en

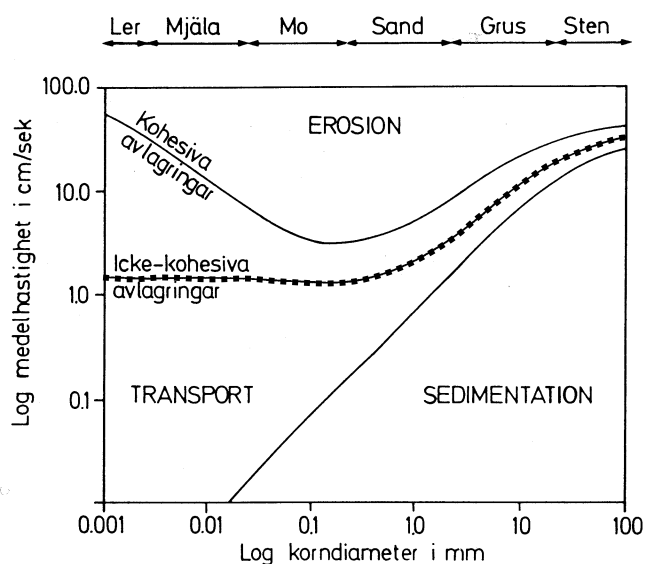
trubbig nos och en avsmalnande bakdel, är emellertid ideal för att minimera uppkomsten av turbulenta krafter. Strömlinjeformen gör att turbulensen i kölvattnet bakom fisken minimeras, vilket i sin tur innebär att tryckskillnaderna mellan fram och bakdel blir kraftigt reducerade jämfört med icke strömlinjeformade föremål. I snabbt rinnande vatten är kraften på grund av rörelsemotstånd av mycket större betydelse än kraften till följd av friktion. Det gör därför inte så mycket att strömlinjeformen ofta innebär att fiskens yta mot vattnet blir stor.

I stillastående vatten eller i vattendrag med laminärt flöde, är rörelsemotståndet så lågt att strömlinjeformen i allmänhet inte innebär några fördelar. Det blir istället friktionen mot fisken som orsakar den dominerande kraften. För fiskar som lever i sjöar eller långsamt rinnande floder är det istället mer gynnsamt med korta runda former. Ju mindre fiskens yta mot vattnet är desto mindre blir friktionen. Eftersom strömlinjeformen innebär en relativt stor yta är det mer gynnsamt för fiskar, som lever i långsamma vatten, med korta och breda former. (Allan, 1995)

2.1.2 Bottenmaterial och form

I ett naturligt vattendrag med strömmande eller forsande vatten är det vanligast med kraftigt turbulent strömning. Skillnader i vattenhastighet och strömningsförhållanden ger upphov till olika karaktär och utseende i vattendraget men har också betydelse för vilka djup och typer av bottenar som uppstår. I naturen är vattendragens lutning ofta störst i fjällzonen och lägst vid slätterna och längs kusten. (Johlander, 1997a)

Ju högre vattenhastigheten är desto större partiklar kan föras med strömmen och endast grovt material lämnas kvar på botten. Det är därför vanligt att bottenmaterialet i forsar består av stora stenar och block. I sjöar och långsamt rinnande vatten kan mindre partiklar sedimentera och botten bestå av finmaterial. Erosionen är ofta störst i de övre delarna av ett vattendrag där lutningen brant och vattenhastigheten är hög.



Figur 2.2: Hjulströms diagram visar de kritiska hastigheterna som krävs för erosion, transport och sedimentation relaterat till partikelstorlek (Loberg, 1980). Bottenmaterialet i anläggningen är jämförbart med icke-kohe-siva avlagringar. Läs av på prickade linjen för att ta reda på erosionshastigheter. Observera den logaritmiska skalan.

Vattnets hastighet och flöde påverkar även vattendragets form. I naturen slingrar sig vattendraget fram vilket gör att både snabba och lugna partier uppkommer. I vattendrag sker erosion i de snabbflytande partierna och sedimentation i de lugna, vilket innebär att vattendragets form ständigt förändras. (Johlander, 1997a)

2.1.3 Temperatur

En annan faktor som är viktig för livet i vattendragen är temperaturen. Temperaturen påverkar alla viktiga livsprocesser som till exempel tillväxthastighet, produktivitet och ekosystemets livscykel (Allan, 1995). I strömmande vatten är turbulensen stor och vattenomblandningen går fort. Temperaturvariationerna kan således bli både stora och snabba. Höjning av temperaturen sker i första hand genom solinstrålning, men genom tillrinning av kallt grundvatten hålls temperaturen relativt stabil. Vid låga temperaturer minskar fiskarnas ämnesomsättning. (Johlander, 1997)

2.1.4 Syrehalt

Fiskar och andra vattenlevande djur är mycket beroende av tillgången till syre. Inblandningen av syre i rinnande vatten sker huvudsakligen genom gasutbyte med luften men även genom fotosyntesen. Syrehalten i vatten kan minska genom biologisk nedbrytning och respiration. Många djur som lever i strömmande vatten, till exempel laxfiskar, är beroende av en god syretillgång. Syrehalten i opåverkade vattendrag är i de allra flesta fall tillräckligt god (Johlander, 1997a) eftersom turbulenta förhållanden gynnar den fysikaliska indrivningen av syre. I sjöar sker den huvudsakliga syretillförseln genom molekylär diffusion från luften.

2.1.5 Näringsämnen

Fiskar lever i huvudsak av bottenlevande djur men även insekter och larver som tillförs från landmiljön. Det strömmande vattnet för med sig insekter, alger och plankton. Denna transport av levande organismer kallas för drift. Ekosystemet i ett vattendrag skiljer sig åt från det i en sjö genom att vattendraget är ett öppet system. I rinnande vatten sker en kontinuerlig transport av syre, näringsämnen och avfall. I en sjö däremot cirkulerar näringsämnen i ett kretslopp. (A Johlander, I Näslund, 1997)

2.2 Fisk i rinnande vatten

De arter som huvudsakligen tas upp i detta avsnitt är de arter som skall finnas i de studerade vattenvolymererna i Vetenskapscentrums Svenska Landskap.

Många fiskarter som till exempel stensimpa, id, elritsa, stäm och färna är helt eller delvis beroende av rinnande vatten för sin överlevnad. Vissa sällsynta arter som nissöga, sandkrypare och grönling är också starkt knutna till rinnande vatten. Dessutom finns vissa sjölevande arter som utnyttjar rinnande vatten för vandring, reproduktion eller för att leta föda. Hit hör bl a mört, sik, lake, löja och abborre.

Snabbt strömmande vatten domineras i naturen av laxfiskar och andra arter som livnär sig på driftande bottenlevande djur. Bottenlevande fiskar lever i första hand av att beta bottenlevande djur nere bland stenarna. Långsamt rinnande vatten domineras av sjölevande arter till exempel abborre och gädda. (Johlander, Näslund, 1997)

Vid hastigheter på ett par meter per sekund klarar strömlevande fiskar med lätthet av att undvika utskjutande föremål som till exempel kanter och stag. Först vid så stora

hastigheter som 6 m/s får fisken svårigheter att undvika hinder. Vid avspärrning av vattenvägar med en så kallad fingrind, som har 20 mm mellan spjalorna riskerar dock fisken att fastna mot grinden redan vid ett flöde på 1,5 m/s. (Montén, 1985)

2.2.1 Anpassning till strömmande vatten

Vattenhastigheten har en avgörande betydelse för livet i vattendrag. Förutom att hastigheten påverkar tillgången till föda och bottenmaterialets storlek, utgör strömmen en fysisk kraft på fiskar och andra strömlevande djur (Allan, 1995).

De flesta organismerna i strömmande vatten lever nära botten och utnyttjar strömmens komplexitet runt stenar och hinder för att spara energi. Fiskar i rinnande vatten är väl anpassade till sin livsmiljö både vad det gäller anatomi och beteende. För att underlätta manövrering i snabba vattendrag är de oftast strömlinjeformade med en låg vertikal profil. I vattendrag förekommer också bottenlevande fiskar, vilka utseendemässigt skiljer sig åt från de som rör sig i strömmen. De är ofta platta över ryggen med högt sittande ögon. Bottenlevande fiskar placerar sig längs botten för att förhindra att de dras bort av strömmen. Genom att sprida ut bröstfenorna kan de utnyttja kraften i det strömmande vattnet så att de trycks nedåt. De utbredda fenorna ger dessutom upphov till friktion mot bottenmaterialet, vilket hjälper fisken att hålla kvar sin position. (Allan, 1995)

2.2.2 Habitatval

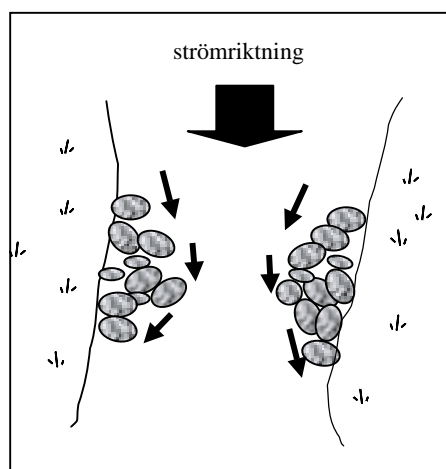
Fiskar som lever i strömmande vatten står ofta och vilar i partier av vattendraget där hastigheten är mycket låg. På så sätt minimeras energin som åtgår för att hålla fisken i rätt position. Hastigheten vid botten påverkas i hög grad av bottenmaterialet. Ju grövre materialet är desto större blir förutsättningarna för fiskarna att hitta en lämplig ståndplats. Ofta är ståndplatserna sådana att minimalt med energi åtgår för att upprätthålla positionen samtidigt som snabbt strömmande vatten passerar förbi alldeles i närheten. Exempel på en sådan ståndplats är i skydd av stora stenar. Starkt strömmande vatten för med sig fler insekter per tidsenhet och större organismer än lugna strömmar. Större strömlevande fiskar behöver dessutom ha tillgång till områden som är djupare än en halvmeter. Djupa höljor ökar drastiskt chanserna för fisken att överleva en eventuell torrperiod. (Järvi, 1997)

De olika fiskarternas val av ståndplats beror även på förekomst av föda och rovfiskar. Om rovfiskar som till exempel gädda och lake finns i vattendraget väljer vissa fiskarter områden där strömhastigheten är hög eftersom gädda och lake inte trivs där. I närheten av ståndplatsen måste det finnas en plats där fisken snabbt kan ta skydd när den känner sig hotad. Ett sådant gömställe kan vara ett strandöverhäng, stora stenblock, en nedfallen gren. (Järvi, 1997)

Genom att placera ut stenar och block kan man variera och förbättra miljön i vattendraget. Det är särskilt lämpligt i kombination med att man skapar trösklar och höljor. Stenar som läggs nära land skapar ofta en bra miljö men ökar erosionen då det leder in vattnet mot stranden. Det är ofta bättre att lägga stenarna i grupp än att placera ut dem en och en. En grupp av stenar skapar fler gömställen och de höljor som bildas runt omkring blir djupa.

Om vattenhastigheten i vattendraget är låg kan det vara lämpligt att bygga strömkoncentratorer. Dessa komprimerar vattenströmmen och ökar strömhastigheten (figur

2.3). En annan effekt blir också att sedimentationen minskar och att strömfåran blir djupare. Bygger man koncentratorn med stora stenar (med en diameter större än 60 cm) och låter vatten sippra igenom skapar det dessutom uppehållsplatser för småfisk.



Figur 2.3: Exempel på strömkoncentrator. Idé till bild från Jonasson och Näslund, 1997.

2.2.3 Lek

Många fiskarter leker i rinnande vatten (Curry-Lindahl, 1985) eftersom syrerikt vatten då kan tränga ner i lekbädden. De föredrar ofta att leka på grusbottnar där honorna kan gräva gropar att lägga äggen i. Bottenmaterialet bör innehålla grus och sten av varierande storlekar, för att lekgropen skall bli stabil. Halten finmaterial får inte vara för stor då detta begränsar vattengenomströmningen. (Järvi, 1997)

I ett vattendrag med varierande sammansättning av bottenmaterial och tillräckligt stor fallhöjd är lekmöjligheterna sällan begränsande för fiskbeståndet. Däremot kan hårt rensade vattendrag med ensidigt bottenmaterial sakna lämpliga lekbäddar och i vattendrag med stor transport av finsediment kan lämpligt grus bli täckt av finmaterial. Vill man förbättra lekmöjligheterna i ett vattendrag är det lämpligt att lägga lekgrus i utloppet av befintliga höljor och se till att det är förankrat med hjälp av större stenar. Gruset bör vara av varierande kornstorlek mellan en och fem centimeter och innehålla stenar i storleken tio till femton centimeter. (Jonasson, Näslund, 1997)

2.2.4 Vandring

Många fiskar är stationära inom sjön eller vattendraget. De kan växla mellan olika djup sommar och vinter men håller sig till samma område i vattendraget eller i sjön. Det händer även att samma art vandrar i ett vatten men är stationära i ett annat, till exempel öring (kapitel 2.3.12).

Vissa fiskar är emellertid utpräglade flyttfiskar. Många av dem, både söt- och saltvattensfiskar, vandrar säsongvis mellan sommar- och vinterområden (Curry-Lindahl, 1985). Lax är exempel på en typisk vandringsfisk. Laxynglen växer upp i rinnande vatten, men vandrar så småningom nedströms ut till havet där den lever pelagiskt under något eller några år. När det är dags att leka återvänder laxen till hemälven (Järvi, 1997).

Vandringen initieras bland annat av yttre faktorer. Förändringar i vattentemperatur, flöde och av dagslängd är faktorer som påverkar vandringen, genom att sätta igång hormonförändringar hos fisken.

2.3 Fiskar i Fjällsjön och Norrlandsälven

I det Svenska Landskapet skall ett fyrtiotal fiskarter planteras in. Sik, harr, siklöja, mört, nors, gärs, öring och röding skall leva i Fjällsjön. I Norrlandsälvens olika avsnitt skall bergsimpa, grönling, sandkrypare, nissöga, stäm, id, lax, harr, elritsa och färna leva. Hur många exemplar av varje art som skall finnas är ännu inte bestämt men individtätheten kommer att bli avsevärt högre än i naturen. Nedan följer en kort beskrivning av respektive arts miljöval och vanor.

2.3.1 Sandkrypare *Gobio gobio*¹

Sandkyparen är en bottenlevande sötvattenfisk, som föredrar snabbt rinnande, ganska grunda vatten med grus eller sandbottnar. Fisken är liten och silverfärgad och blir cirka 12 cm lång. Födan utgörs av bottenlevande ryggradslösa djur, särskilt mygglarver och kräftdjur. I Sverige finns sandkyparen endast i södra delen av landet och förekommer främst i vattendrag, (Curry-Lindahl 1985, Kullander 1999) men har även rapporterats i sjöar. Man kan förmoda att sandkyparen utnyttjar sjöar som tillväxtområden, men leker i rinnande vatten.

2.3.2 Grönling *Noemacheilus barbatulus*

Grönlingen lever nära strandkanten i vattendragets strömmande delar. Grönlingen föredrar steniga bottnar, men har även påträffats på mjukbottnar där dessa kan erbjuda någon form av skydd. Den förekommer i allmänhet inte på djup större än 50 cm. Fisken lever såväl i klart som grumligt vatten och har, så länge syrehalten är tillräckligt hög, en relativt stor tolerans mot organiska föroreningar i vattnet. Grönlingen är stationär inom vattendraget, den ligger och trycker mot botten och förflyttar sig endast kortare sträckor då den blir störd. Grönlingen blir i Sverige inte mer än cirka 10-15 cm lång. Födan består av små kräftdjur, insektslarver och plankton. Grönlingens naturliga förekomst i Sverige är begränsad till några olika vattendrag med tillflöden i Skåne och Halland. Leken sker över steniga eller vegetationsklädda bottnar. Ynglen lever i mycket grunda och lugnt flytande delar av vattendraget (Lundberg, S. 1999).

2.3.3 Nissöga *Cobitis taenia*

Nissöga uppehåller sig i klart, kallt, rinnande eller stillastående vatten (Curry-Lindahl, 1985). I Sverige förekommer den framförallt i sjöar med sand- eller dybotten där den gräver ned sig under dagtid. Fisken livnär sig på ryggradslösa bottendjur eller delar av förmultnande växter och djur. I Sverige finns arten bland annat i Mälardalens, Vänerns och Vätterns vattensystem. Enstaka fynd har gjorts längs svenska östersjökusten som tyder på att nissögat kan leva i svagt bräckt vatten, men den är annars en ren sötvattenfisk (Kullander 1999). Nissöga är stationär. Leken sker i rinnande grunda vatten med bevuxna stenbottnar (Curry-Lindahl, 1985).

¹ Fiskarternas latinska namn anges kursivt

2.3.4 Elritsa *Phoxinus Phoxinus*

Elritsan trivs bäst i klara vattendrag, men finns även i sjöar med sten- eller grusbotten. Den vistas på grunt vatten, gärna nära strandkanter, där den kan söka skydd bakom stenar. Elritsorna simmar i stim om cirka 10-20 individer, för att bättre kunna hålla uppsikt mot fiender. Den är en liten fisk, oftast blir den inte mer än 5-6 cm. Under leken får hanen en färgsprakande dräkt med svart rygg och röd mage. Elritsan lever av vattenmärlor, fiskrom och fiskyngel, men kan också snappa luftlevande insekter vid vattenytan. (Curry-Lindahl, 1985)

2.3.5 Färna *Leuciscus cephalus*

Färnan trivs i forsar och föredrar strömmande vatten framför sjöar. I kraftigt forsande vatten ställer den sig i skydd från strömmen varifrån den går upp till ytan för att fånga ett byte. I sjöar söker den sig till dy- och gräsbottnar. Under vinterhalvåret befinner den sig på djupt vatten och under sommartid lever den nära ytan. Under våren vandrar färnan uppåt bäckar och åar för att leka och återvänder sedan på hösten. Färnan är en karpfisk som blir cirka 55 cm lång. (Curry-Lindahl, 1985)

2.3.6 Bergsimpa *Cottus poecilopus*

I Sverige finns bergsimpan framförallt i högt belägna sjöar och vattendrag. Den är stationär och uppehåller sig gärna nära strandkanten på en stenig eller sandig botten. Under vintertid kan fisken dock söka sig till större djup. Leken äger rum under februari till mars och äggen läggs i en grop bland stenarna. I Sverige uppnår fisken en storlek av cirka 10 cm. (Curry-Lindahl, 1985)

2.3.7 Stäm *Leuciscus leuciscus*

Stämman lever i snabbt rinnande, klara vatten med hög syrehalt. Den förekommer även i sjöar och skärgårdar i närheten av ett vattendrags mynning eller utlopp. Den är en mycket skicklig simmare och fisken behärskar snabba strömmar väl. Under sommaren lever den i de övre vattenlagren men söker sig till djupare vatten på vintern. Stämman vandrar uppströms om våren men återvänder redan efter några veckor. Leken sker över hårda sandbottnar i snabbt rinnande vatten. Först vid 10-13 års ålder uppnår stämman maximal längd och blir då cirka 30 cm. Stämman söker ofta föda på botten och livnar sig på insekter, alger och vattenväxter. (Curry-Lindahl, 1985)

2.3.8 Id *Leuciscus idus*

I Sverige finns iden såväl längs kusterna som i inlandets sjöar och vattendrag. Det verkar emellertid som om iden föredrar klart, strömmande vatten. Yngre fiskar föredrar vegetationsklädda strandbottnar medan äldre fiskar söker sig mot djupa stenbottnar. Fisken vistas emellertid ofta vid vattenytan. Leken sker i rinnande, grunda vatten över gräs- och stenbottnar. Iden vandrar normalt till lekplatserna och är då mycket skicklig på att ta sig mot strömmen. På kontinenten finns dock exempel på att id kan leva stationärt i sjöar och fortplanta sig där. Arten livnar sig främst på botten-djur och kan bli upp till 60 cm lång. (Curry-Lindahl, 1985)

2.3.9 Lax *Salmo salar*

Lax lever i havets fria vatten samt i älvar och åar. Under lek vilar laxen där den får skydd från strömmen, bakom stenar, i gropar och höljor. Laxen är en utpräglad flyttfisk. Ynglen kläcks i rinnande vatten och stannar därefter i vattendraget i mellan

ett och fem år. Därefter sker en nedvandring till saltvatten varvid fisken genomgår en så kallad smoltifiering. Smoltifiering innebär att fisken ställer om sig fysiskt och beteendemässigt för saltvatten. Laxen lever sedan pelagiskt i ett och fem år och vandrar under den tiden fritt omkring. Så småningom återvänder laxen till det vattendrag där den fötts. Under vandringen kan fisken forcera vattenfall och forsar genom nära nog vertikalsim och hopp på upp till fyra meter. Lax leker normalt på grunt vatten, cirka 15-80 cm djup, där vattenhastigheten överstiger 0,3 m/s (Järvi, 1997). Efter leken driver laxarna nedströms eller stannar i vattendraget till nästa vår. Laxens kondition är mycket försämrade efter lek och endast ett fåtal laxar når havet en andra gång. Under första tiden i älven livnär sig laxen på snäckor, musslor och fiskrom. Till havs övergår den alltmer till att livnära sig på fisk. Efter flera år i havet kan laxen bli över en meter lång (Curry-Lindahl, 1985).

2.3.10 Harr *Thymallus Thymallus*

Harren lever i älvar, strömmar, sjöar och bräckvatten. Vattnet skall vara syrerikt och kallt, harren tål inte temperaturer över 20 °C. Harren rör sig mellan ström- och lugnvatten, men hittas ofta i områden med jämn strömhastighet och jämn botten. Fisken lever kollektivt och simmar ibland i stim. Harren vandrar i samband med lek men lever annars stationärt (Curry-Lindahl, 1985). Den har ett vandringsmönster som liknar laxens men genomgår inte någon smoltifiering, utan vandrar till en sjö istället för havet. Fisken har inte samma hoppförmåga som laxen men kan ändå ta sig förbi branta partier i forsar (Johlander 1997b). Fisken leker parvis och äggen läggs i grusbotten. Harren föredrar att leka i vattenhastigheter mellan 0,2 m/s och 0,9 m/s på cirka 20-60 cm djup (Järvi 1997). Födan utgörs av både drivande och bottenlevande djur. En fullvuxen harr kan bli 35-40 cm lång (Curry-Lindahl, 1985).

2.3.11 Röding *Salvelinus*

I Sverige förekommer tre arter av röding; storröding samt större eller mindre fjällröding. De tre arterna lever alla i kalla, klara och syrerika vatten men på varierande djup. Större fjällrödingen återfinns ofta högt upp i fjällbäckarna, ibland ända uppe i bäckarnas begynnelsekedje, där vattnet inte är djupare än 15-20 cm. Vissa fjällrödingar vandrar nedströms till havet och återvänder så småningom för att leka. De saknar emellertid laxens förmåga att forcera strömmar och hoppa förbi stora vattenfall. De mindre fjällrödingarna har i huvudsak ett pelagiskt levnadssätt på 40-60 meters djup. Storrödingen föredrar djupa vatten där den lever fritt i vattnet. Lekplatserna varierar för de olika arterna från grunda, rinnande vatten till stillastående vatten på 3-5 meters djup. (Curry-Lindahl, 1985)

2.3.12 Öring *Salmo trutta*

Arten brukar uppdelas i tre olika raser, havsöring, insjööring och bäcköring. Raserna är huvudsakligen miljöbetingade och kan övergå i varandra om fisken flyttas från ett vatten till ett annat. Insjööringen förekommer i sjöar med kallt, klart och syrerikt vatten. Den vilar ofta i höljor eller hålor nära botten, varifrån den beger sig till den noga utvalda matplatsen intill en skyddande sten eller hölja. Insjööringen föds i rinnande vatten. Efter en tid vandrar den nedströms ut i sjöar för att vid lek återvända till födelsebäcken. Insjööringen kan bli upp mot en meter lång. Födan består till en början av insekter och efter utvandring huvudsakligen av fisk, mest sik och siklöja. Bäcköringen lever hela sitt liv i strömmande vatten och är mestadels stationär (Curry-Lindahl, 1985). Bäcköring i storlek 15-30 cm utnyttjar ståndplatser med en medelhastighet av cirka 0,8 m/s (Järvi 1997). Leken sker på grunt (15-80 cm) och strömt

vatten över grusbottnar. Den livnär sig under hela livet på insekter, bottendjur och småfisk. (Curry-Lindahl, 1985) Öring har en bra förmåga att simma mot strömmen och kan klara att hoppa förbi fall på cirka 2,5 meter (Johlander 1997b).

Röding och öring har liknande vanor och preferenser vad det gäller miljö och konkurrerar därför med varandra. På grund av öringens jaktteknik gynnas den framförallt i rinnande vatten. De kan emellertid samexistera och öringen är då den dominerande arten. (Curry-Lindahl, 1985)

2.3.13 Sik *Coregonus sp.*

Siken lever såväl i sjöar som i floder och vid havskusten och föredrar kallt syrerikt vatten. Fisken simmar ofta i stim och uppehåller sig gärna längs botten. Många sikarter är stationära men vandring för lek i floder förekommer. Leken äger rum över botten av grus, sand, lera eller gyttja på varierande djup (0,5-130 m). I näringsrika vatten kan siken uppnå en längd av 80-90 cm. (Curry-Lindahl, 1985)

2.3.14 Siklöja *Coregonus albula*

Siklöjan uppehåller sig i kalla, klara sjöar samt i områden med bräckvatten. Under hösten lever den nära ytan och under sommaren håller den sig i språngskiktet. Från kusterna och större sjöar vandrar siklöjan upp i floder för att leka. Leken sker både i rinnande och stillastående vatten på varierande djup. Födan utgörs i huvudsak av kräftdjur. (Curry-Lindahl, 1985)

2.3.15 Mört *Rutilus rutilus*

Mörten föredrar grunda, vegetationsrika och uppvärmda vatten, men lever annars i såväl sjöar som åar och bräckvatten. Mörten simmar i stim, som vintertid söker sig ned på djupen. Leken sker på ett djup av 15-40 cm, gärna över vegetationsrika botten längs strandkanten. Mört som lever i bräckvatten vandrar ofta upp i åar för att leka. Födan består bland annat av insektslarver och kräftdjur. (Curry-Lindahl, 1985)

2.3.16 Nors *Osmerus eperlanus*

Norsen lever i sjöarnas djupa partier utan att söka upp bottenarna. Under våren vandrar stora stim av nors till sjöarnas grunda delar för att leka. Leken äger rum vid långgrunda sten- och grusstränder eller över vegetationsklädda sandbotten. Äggen läggs på några decimeters djup. Födan utgörs av insekter och småfisk. Norsen blir cirka 20-30 cm. (Curry-Lindahl, 1985)

2.3.17 Gärs *Gymnocephalus cernuum*

Gärsen trivs bäst i medeldjupa sjöar med ler-, sten- eller sandbotten. Den lever stationärt, oftast i de djupare delarna av sjön. Sommartid kan gärsen ta sig till de grundare delarna av sjön där den lever i stim. Gärsen livnär sig på insekter, musslor och andra bottendjur. Leken sker över sten- eller sandbotten på 30-60 cm djup vid en vattentemperatur av 10-15 °C. (Curry-Lindahl, 1985)

2.4 Sammanfattning

För att Fjällsjön och Norrlandsälven skall bli en så gynnsam miljö som möjligt bör man ha vissa saker i åtanke. Bottenmaterialet skall vara av varierande storlek och i sjön bör finnas allt från vegetationsrik sandbotten till grus- och stenbotten. Flertalet fiskarter föredrar att leka i grunda, rinnande vatten. I Fjällsjön bör man eftersträva att

ha både långsamma och lite djupare delar samt grunda områden där vattnet flyter snabbare.

Temperaturen bör vara ganska låg eftersom många av fiskarterna föredrar eller kräver kalla vatten. Exempelvis harr tål inte temperaturer över 20 °C. Däremot föredrar mört uppvärmda vatten och det kan därför vara på sin plats att fundera över om mört skulle passa bättre i en annan del av det Svenska Landskapet.

I Norrlandsälven skulle grus- och stenbotten vara lämpligt, dels för att passa fiskarnas behov och dels för att bottenmaterialet inte skall eroderas. Vattnet bör vara kallt, klart och syrerikt. Flertalet av de fiskar som skall leva i älven föredrar strömmande vatten, ett undantag är nissöga som i Sverige framförallt förekommer i sjöar. Även i älven bör vattnet vara av varierande djup med några grunda partier eller strandkanter. Såväl i älven som i sjön är det önskvärt med någon form av gömställe från andra fiskar eller från strömmen. Detta skulle enkelt kunna åstadkommas med större stenar eller genom att skapa gropar och hålor i bottenmaterialet eller i betongväggen. Andra exempel på sådana gömställen är vegetation eller strandöverhäng.



Figur 2.4: Modell av Fjällsjön och Norrlandsälven, gjord av Landskapsgruppen AB.

Tabell 2.1: Sammanställning av fiskarter i Norrlandsälven och Fjällsjön

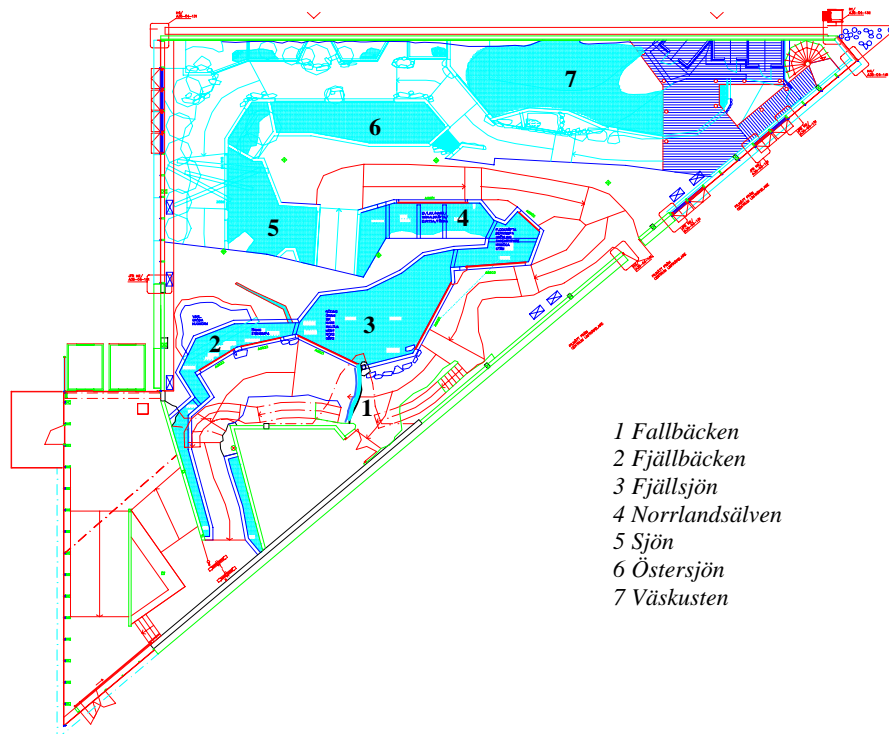
Fiskart	Förekomst	Lekplats	Vandring	Storlek	Övrigt
Bergsimpa	högt belägna sjöar och vattendrag, vid strandkant, stenig eller sandig botten	stenig botten	stationär	10 cm	
Elritsa	fördrar vattendrag, även sjöar, vattenytan vid strandkant, sten och grusbotten	grusbotten, sjö eller älv	stationär	5-6 cm	simmar i stim
Färna	föredrar strömmande vatten, ytan sommartid, djupt vatten vintertid	grunda bäckar/åar m hög syrehalt	ja	45-55 cm	
Gärs	sjöar, ler-, sten-, sandbotten, ofta djupare delar	sand- eller stenbotten med vegetation, 30-60 cm djupt	stationär	15-25 cm	
Grönling	strömmande vatten, nära strandkanten, sällan på mer än 50cm djup	vegetationsklädda/steniga bottenar, kan leka vid upprepade tillfällen	stationär	10-15 cm	sårbar*, tolerant mot org. föroreningar
Harr	sjöar, vattendrag, bräckvatten, kallt o syrerikt	grunt, strömmande vatten, grusbotten	ja	35-40 cm	tål ej temp >20°c
Id	längs kusterna, sjöar, vattendrag, vegetationsklädda eller steniga bottenar	rinnande, grunda vatten m gräs/ stenbottenar	ja	upp mot 60cm	
Lax	åar eller hav	i vattendrag vid födelseplats	ja	1 m	utpräglad flyttfisk
Mört	sjöar, kuster o floder, varma, grunda vatten	vegetationsbeklädda strandpartier, 15-40 cm djupt	förekommer	20-45 cm	
Nissöga	sjöar med sand-/dybotten, även bäckar	rinnande grunda vatten, bevuxna stenbottenar	stationär	9-13 cm	sällsynt*
Nors	sjöarnas djupa partier	grunda sten-/grusstränder eller vegetationsklädda sandbottenar	stationär	20-30 cm	
Öring	kalla, klara sjöar, i gropar eller hålor etc, vattendrag, cirka 0.8 m/s	grunt, strömt vatten över grusbottenar	ja		3 raser, havs/ insjö/ bäcköring.
Röding	sjöar och älvar, kalla, syrerika vatten	varierande	förekommer	15 cm – 1 m	3 arter
Sik	sjöar, floder, kallt o syrerikt vatten	grus-/sand-/lerbottenar	stationär	80 cm	simmar i stim
Sandkrypare	snabbt rinnande, grunda vatten, grus och sandbotten,	i rinnande vatten	ja	12 cm	sårbar*, tolerant mot föroreningar
Siklöja	sjöar och bräckvatten kalla, klara vatten	stillastående eller rinnande vatten, varierande djup	från kust och större sjöar	15-20 cm	lever stimvis
Stäm	snabbt rinnande, klara vatten med hög syrehalt	sandbottenar, snabbt rinnande vatten	ja	20-30 cm	en mycket skicklig simmare

3 Anläggning och metod

3.1 Universeum

Landskap och experimentella aktiviteter på Universeum skall fördelas på flera olika våningsplan med en total höjdskillnad på över 20 m. Det så kallade kunskapsakvariet, där besökaren kan följa vattnets väg, kommer att börja längst upp på svenska fjället. Vattnet skall sedan ledas via bäckar och älvar till Östersjön, vidare ut till Västerhavet och Atlanten. Här kommer också ett flertal enskilda bassänger med bland annat hajar och rockor finnas. Vattnets väg kommer sedan att störta vidare via ett 14 m högt vattenfall i en Sydamerikansk regnskog. Längs vägen skall ett flertal fågelarter, fiskar, kräldjur och växter finnas representerade. (Wingårdh Arkitektkontor AB, 1999)

I den svenska delen kommer stannfåglar att kunna flyga fritt och många i Sverige förekommande sötvattenfiskar samt grod- och kräldjur leva (bilaga A). Svenska landskapet innefattar sex olika vattenvolymer, vilka har kallats: Fallbäcken, Fjällbäcken, Fjällsjön, Norrlandsälven, Sjön och Östersjön, se figur 3.1. Västerhavet ingår inte i Svenska Landskapet. Vattenvolymererna är avgränsade från varandra med barriärer så att fiskar inte kan simma emellan. Vattnet nedströms kommer dock att strömma över kanten. (Örn, 2000)



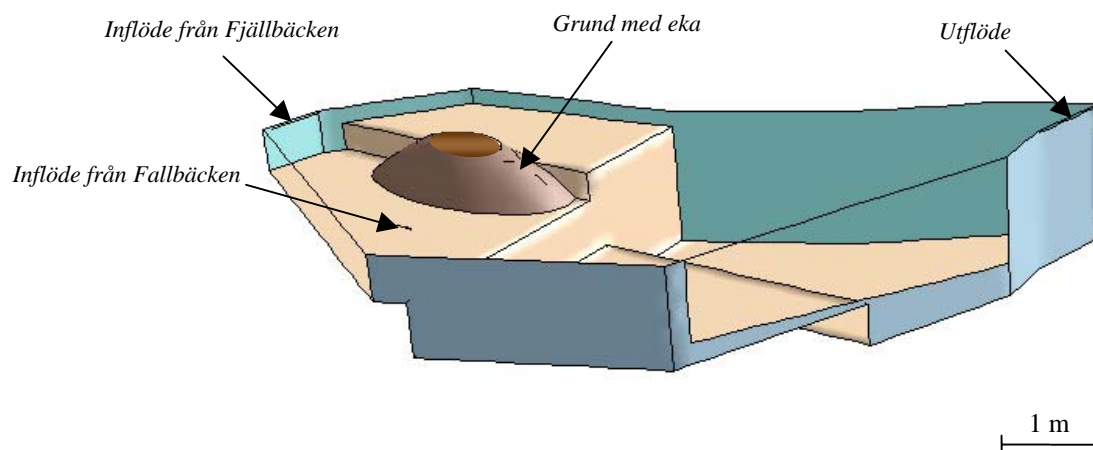
Figur 3.1: Översikt över Svenska Landskap från arkitekturritning.

3.2 Fjällsjön och Norrlandsälven

Vattnet kommer att ledas till Fjällsjön dels via Fjällbäckens mynning och dels via ett vattenfall från Fallbäcken, som skall rinna fram uppe på fjället (se figur 3.1). I Fallbäcken kommer bäckröding att finnas och för att förhindra fisken från att dras med i fallet från Fallbäcken ned till Fjällsjön byggs ett hinder upp med hjälp av stenblock. I Fjällbäcken skall stensimpa och bäcköring leva (Örn, 2000).

Fjällsjön skall utformas så att den får fyra olika djup. I de två grundaste delarna, volym 1 och 2 (se figur 3.6), skall avståndet mellan vattenytan och betongbotten vara 30 respektive 60 cm. I de två djupaste delarna av sjön, volym 3 och 4, skall avståndet mellan vattenyta och bjälklag vara 1,3 respektive 1,9 m. På djupet 1,3 m kommer botten att täckas av ett 25-35 cm tjockt lager bottenmaterial, som skall bestå av småsten och grus (Ø5–Ø70mm). I den djupaste delen av Fjällsjön, (volym 4, se figur 3.6) skall en 25 cm tjock biobädd, dold av ett tunt lager bottenmaterial, anläggas.

Flödet till Fjällsjön kommer som mest att uppgå till 14 l/s varav 5,5 l/s kommer från Fallbäcken och 8,5 l/s från Fjällbäcken. Båda bäckarna mynnar i den del av sjön där djupet till bjälklaget är 0,6 m och bottenmaterialet är mellan fem och tio cm tjockt. För att förhindra erosion under vattenfallet kommer stenblock eventuellt placeras på botten under inloppet. Planer finns på att bygga upp ett grund mellan de två grundare delarna, cirka 2,5 meter från inloppet av Fjällbäcken. Tanken är att grundet skall dela vattenströmmen i sjön och ge ett jämn fördelat flöde genom sjön (se figur 3.2). Strömdelaren består av sand och fingrus med ett omgivande lager grovgrus som skydd för erosion. På grundet skall sedan en upp-och-ned-på-vänd eka placeras så att den delvis sticker upp ur vattnet.

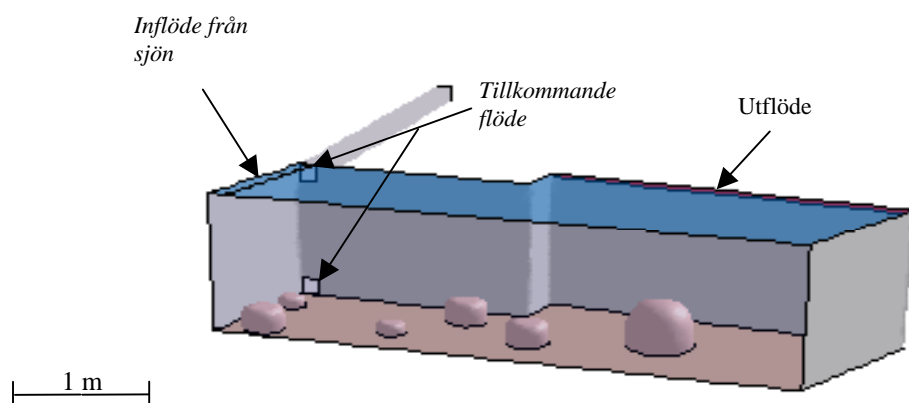


Figur 3.2: Fjällsjön med grund och fyra olika djup. Geometrin skapad i Gambit.

Fjällsjön övergår sedan i Norrlandsälven (se figur 3.1), vilken kommer att utgöras av fyra mindre bassänger med korta överfall emellan. Nedersta delen av älven kommer att utformas som en cirka 4 m lång laxtrappa. I Norrlandsälvens översta del skall, utöver flödet på 14 l/s från Fjällsjöns utlopp, ett flöde på maximalt 21 l/s tillkomma

för att ge Norrlandsälven en forsande karaktär. Det totala flödet genom älven kommer då att maximalt uppgå till 35 l/s.

Första bassängen i älven är 1,2 meter djup från vattenytan och ned till bjälklaget. Med bottenmaterialet blir djupet en meter. Bottenmaterialet kommer att bestå av ett 20-25 cm tjockt lager av grovgrus och småsten i de övre delarna och enbart av småsten i lax-trappan. I slutet av älven, efter det sista överfallet, skall ett område med lerbotten finnas. Från Norrlandsälven kommer vattnet ledas vidare till Fjällsjön.



Figur 3.3: Figuren visar översta delen i Norrlandsälven, med tillkommande inflöde från sidan och hinder i form av stenar.

3.3 Flödessimulering

Vid flöden genom komplicerade geometrier går det oftast inte att beräkna flödet analytiskt. Man kan behöva göra modeller och experiment för att få en uppskattning av flödet. Behovet av att kunna göra detta har lett till utvecklingen av CFD (Computational Fluid Dynamics), vilket är ett sätt att analysera flödessystem med hjälp av datasimulering. För att slippa alltför omfattande experiment kan man med hjälp av finita volymmetoden göra beräkningar vars riktighet sedan kan bekräftas empiriskt.

Finita volymmetoden går ut på att man delar in komplicerade geometrier i delement, finita volymer och sedan sätter upp matematiska modeller för hur en egenskap till exempel temperatur, massa eller turbulens förändras inom varje enskilt element. De matematiska modellerna beskriver förändringen som summan av tillskott och bortförel av egenskapen samt källtermer och sänkor. Det vill säga vad som går in och ut ur den finita volymen och vad som skapas respektive förstörs inuti den. Detta beskrivs av differentialekvationer. När differentialekvationerna ställts upp approximeras de med hjälp av finita differenser. Det bildas då algebraiska uttryck som kan ställas upp i ett stort ekvationssystem som löses iterativt för de olika egenskaperna. För att lösa ekvationssystemet förs beteckningar för de olika cellerna in så att man vet vilken cell som har en specifik egenskap. Detta måste man veta för att lösningen skall kunna användas.

CFD-program är i regel uppbyggda av tre olika funktioner eller delprogram nämligen *preprocessor*, *solver* och *postprocessor*.

Preprocessor - I preprocessorn skapas geometrin för det område (beräkningsdomän) man vill simulera sitt flöde i eller runt om, till exempel bassänger eller flygplansvingar. Efter det delas området upp i mindre element. De egenskaper som skall modelleras väljs samt fluidens egenskaper. Randvillkor sätts, exempelvis om något skall vara en vägg eller ett inflöde.

Solver - Approximationer av de okända flödesvariablerna görs med enkla funktioner. Funktionerna substitueras in i de differentialekvationer som beskriver de modellerade egenskaperna och ett ekvationsystem av algebraiska funktioner bildas. Ekvationssystemet löses över hela beräkningsdomänen.

Postprocessor - Postprocessorn är ett verktyg för bearbetning och visualisering av resultat. Här kan man till exempel få ut medelvärden och histogram över de data man fått fram

CFD har en mängd olika tillämpningar och används för modellering av aerodynamik, hydrodynamik, kemiska reaktioner, meteorologi med mera.

3.4 Tidigare undersökningar

Vi har hittat en undersökning (Using two-dimensional hydrodynamic models at scales of ecological importance av Crowder och Diplas, 2000) där ett vattendrag modellerats i två dimensioner utifrån fiskbeståndets förutsättningar. De slutsatser som framkom var att om man lägger in större stenar i ett vattendrag så blir hastigheterna högre i strömfåran, då flödet trycks ihop, men nedströms stenarna bildas det en lugn zon. Skillnaden mellan vår simulering och deras är att deras modellerar ett vattendrag i 2D och att vi modellerar en bassäng i 3D, så effekten av våra stenar blir inte densamma. Enligt Crowder och Diplas bör stenar i ett vattendrag placeras ut olika beroende på vad man vill uppnå. Om syftet är att skapa större zoner med hastigheter mellan 0 och 0,10 m/s bör stenarna placeras ihop eller intill en strandkant. För att skapa lugna områden med stora hastighetsgradienter till snabbt rinnande vatten bör stenarna placeras ut med större avstånd ifrån varandra. Detta är den princip som karakteriserar den utformning som valts för utplacering av stenar i Norrlandsälven.

3.5 Modell och metod

Flödesberäkningar och simuleringar har i detta arbete utförts med ett CFD-program¹, Fluent, vilket består av flera underprogram. För ytterligare information om CFD hänvisas till bilaga C. Geometrin till modellen har byggts upp i Gambit 1.2.2 och flödesberäkningarna har gjorts i Fluent 5.3.18. (Fluent 5.3.18, 1998, Gambit 1.2.2, 1999)

Modelleringen har utförts med Gambit som *preprocessor*. I preprocessorn bygger man upp en "mesh modell". Modellen skapas stegvis, först matas koordinater in, därefter skapas linjer, ytor och volymer. För att kunna ge ytorna eller volymerna olika egenskaper i simuleringsprogrammet måste dessa först definieras i preprocessorn. För de skapade ytorna definieras vilken typ av randvillkor som gäller, till exempel *wall*, *inflow* eller *outflow* och för volymerna kan det vara antingen *fluid* eller *solid*.

¹ CFD står för *Computational Fluid Dynamics*.

Modellen delas in i små ytor och volymer, en så kallad *mesh* skapas (se bilaga D) vilken sedan exporteras till Fluent. Geometrin kan antingen skapas direkt i Gambits inbyggda CAD-funktion eller med hjälp av indatafiler. Både 2D- och 3D-simuleringar kan göras.

Fluent 5.0 har använts som *solver* och *postprocessor*. I Fluent löses flödesberäkningarna med hjälp av en finit volymmetod, vilken bygger på att Navier-Stokes ekvationer löses numeriskt för en Newtonsk vätska (se bilaga C). Flödessimuleringar i Fluent kan göras för vätska men även för gaser och värme samt för fasövergångar med mera.

3.5.1 Genomförande av simulering

Indata till geometrin är hämtade från ritningar över bygget. Bassängernas yttermått finns angivna på ritningen som koordinater. För att få innermått har vi skalmätt direkt på ritningen (skala 1:50). Hela den grundläggande geometrin har sedan skrivits in i journalfiler, det vill säga textfiler, där varje rad utgör ett kommando att utföra i Gambit. Varje kommando kan även utföras direkt i Gambits CAD-funktion, men med hjälp av textfilerna blir ändringar av till exempel bottendjup mycket enkla att utföra. I journalfilerna finns kommandon för inritning av punkter och linjer, definition av ytor, volymer och randvillkor samt för generering av nätet.

Djupet i bassängerna motsvarar djupet från vattenytan till ovankanten av bottenmaterialet. Vattenytan i bassängerna låstes i höjddled genom att lägga ett lock, med randvillkoret *symmetry*, som tillåter fri strömning men innebär att höjdförändringar av vattenytan inte kan simuleras.

Det visade sig vara problematiskt att gestalta inflöden från överfall och vattenfall i Gambit. Många frågetecken uppstod om hur man på bästa sätt kunde simulera inflöden där vatten faller fritt ned i en vattenvolym. Slutligen beslutades att helt enkelt göra inflödena som rektangulära ytor i vattenytan. Den rektangulära formen var nödvändig för att programmet skulle klara av att hantera geometrin, då rektanglar är lättare att hantera i Gambit än cirklar och cylindrar.

Meshen skapades genom att vissa delar först delades in i triangulära element och därefter delades hela volymen in i tetraedriska element. Nätet gjordes fint där stora hastighetsgradienter förväntades och grövre i de områden där hastigheten förmodades bli jämn. Det är viktigt att elementen är små i de områden där det sker stora förändringar av fluidens egenskaper, eftersom förändringar inom varje element inte kan modelleras. Innan filen exporterades till Fluent bestämdes en del randvillkor för modellen i Gambit. Samtliga väggar, glasrutor och bottenytor definierades som *wall*, vilket innebär att vattnets hastighet på den fasta ytan är noll. Vattenytorna definierades som *symmetry*, vilket innebär att gradienten vid ytan är noll.

I Fluent specificerades randvillkoren för de olika materialen. Vattnets hastighetskomponenter i inflödet, väggarnas och bottenens råhet (tabell 3.1) samt mediets (vattnets) egenskaper läggs in. Vattnet har densiteten $998,2 \text{ kg/m}^3$ och viskositeten $0,001003 \text{ kg/ms}$. Simuleringarna är gjorda för stationära förhållanden.

Tabell 3.1: Materialens råhet

<i>Material</i>	<i>Råhet (m)</i>
Akrylglas	0.00002
Betong	0.0003
Bottenmatrl	0.033
Plaströr	0.00002
Sten	0.033
Grund	0.033

Eftersom den så kallade k-epsilon modellen (se bilaga C) är den vanligast förekommande turbulensmodellen i den här typen av beräkningar (Rodi, 1993), användes den för beräkningarna i samtliga körningar. Modellen tar hänsyn till turbulens och diffusion samt för uppkomst och utsläckning av turbulens (Veersteg et al, 1995). Den valda turbulensmodellen förutsätter att väggarna (*wall*) har en viss sandråhet (senare enbart kallat råhet i texten). I tabell 3.1 är ytornas antagna råhet angivna, värden är hämtade ur Rörboken.

3.6 Felkällor och antaganden

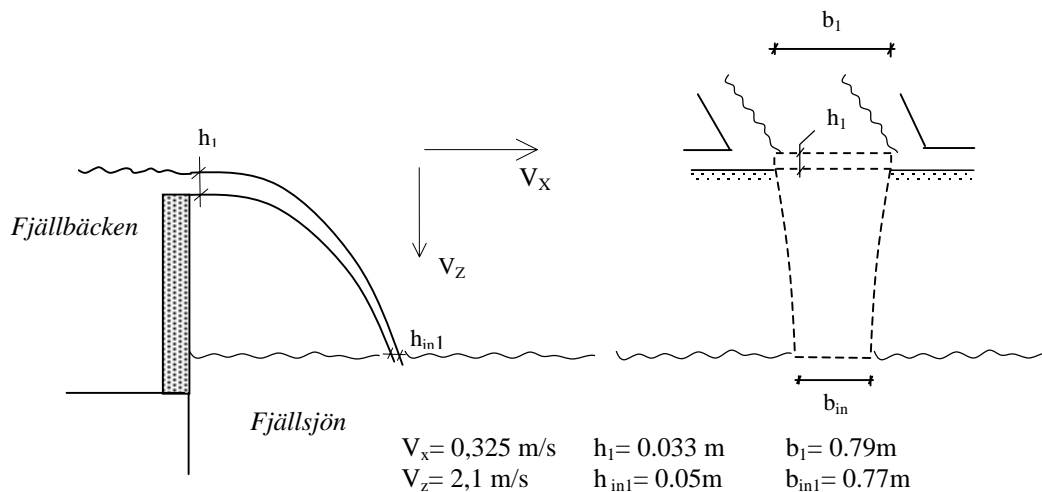
3.6.1 Överfall och vattenfall

För att kunna simulera inflöden från vattenfall och överfall har vi varit tvungna att göra vissa förenklingar. Nedan följer ett resonemang som förklaring till varför vi valde att göra vissa antaganden.

För exempelvis inflödet från Fjällbäcken till sjön uppgår flödet till 8,5 l/s och enligt beräkningar (bilaga B) är fallhöjden cirka 30 cm. Om överfallets bana approximeras med en kastparabel, där luftmotståndet försummas och vattnet rör sig som en sammanhållen stråle, blir vattnets vertikala hastighet då det träffar vattenytan 2,4 m/s. Arean på den yta där strålen träffar sjöns vattenyta skulle då uppgå till 36 cm^2 ². Detta resonemang stämmer dock inte med verkligheten eftersom vatten då det faller fritt slås sönder till vattendroppar på grund av luftmotståndet. Vattnet kommer då att träffa en mycket större yta och ge en mindre inverkan än om det vore en sammanhållen stråle. Då vattnet slås sönder tar det med sig luft under vattenytan, vilket medför att luftbubblor kommer att stiga upp mot ytan och ytterligare minska inverkan av vattenfallet.

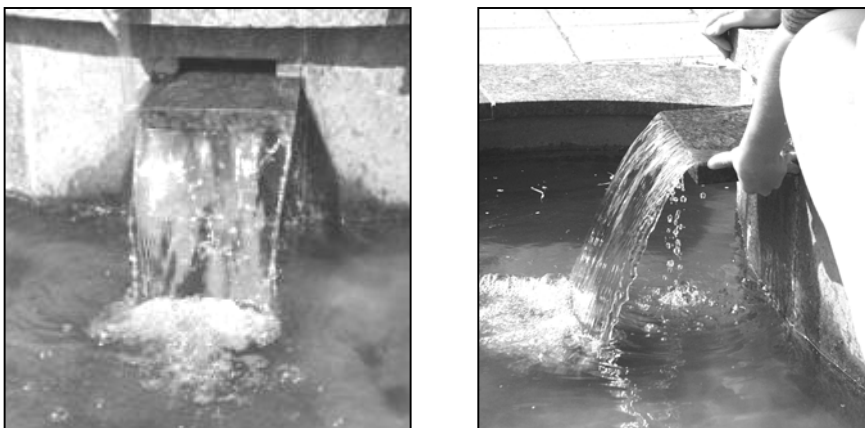
Vi har gjort bedömningen att arean 36 cm^2 i alla fall motsvarar en sammanhållen kärna i vattenridån och att effekten av stänk utanför denna kan försummas. Nästa problem blev då att bedöma vilken form ytan där vattnet slår ned skall ha. Då vattnets hastighet är större då det träffar sjöns yta än när det lämnar överfallet, är vattenridåns tvärsnittsarea mindre i vattenytan än då det lämnar överfallet. Vi har antagit för sjön att både vattenfilmens bredd och tjocklek minskar i fallet. För Norrlandsälven har vi antagit att endast tjockleken minskar. Överfallet vid inflödet från Fjällbäcken till sjön är 79 cm brett och vattendjupet är cirka 3 cm vid överkanten. I modellen har vi antagit att nedslagsyta har måtten $77 \times 0,5 \text{ cm}^2$.

² För en inkompressibel vätska kan flödet Q uttryckas som produkten av medelhastigheten U och tvärsnittsarean A . $Q=UA$



Figur 3.4: Inflöde 1, från Fjällbäcken till Fjällsjön

Vattenfallets utseende påverkas av hur kanten som vattnet rinner över ser ut. En taggig kant ger ökad spridning och en minskad jettstråleffekt än en slät kant.



Figur 3.5 a och b: Studie av litet vattenfall. (a) Lägg märke till att vattenfallet smalnar av nedåt. (b) Vattnets bana kan approximeras med en kastparabel.

Motsvarande resonemang och antagandet har gjorts för samtliga simuleringar där inflödena faller fritt ned i vattnet. Man kan tänka sig att dessa antaganden medför att vattnets vertikala hastighet får för stor betydelse på strömningsbilden i modellen. I verkligheten blir inflödet troligtvis mer diffust och kommer då inte att få samma jettstråleffekt. I älven kommer detta inte att få lika stor betydelse då flödet från sjön är mycket mindre än det tillkommande flödet på 21 l/s. Störst osäkerhet ligger i approximationen av inflödet från vattenfallet (Fallbäcken), som faller nästan 3 m.

3.6.2 Mesh

Simuleringsresultatet påverkas även av elementindelningen. Ju fler element modellen delas in i, desto mer tillförlitligt blir resultatet. Täthet och fördelning av noder i meshen påverkar i hög grad hur det modellerade flödets egenskaper, som till exempel gränsskikt och turbulenta zoner, bestäms. Låg upplösning av meshen i områden där mycket händer hydrauliskt kan få avgörande betydelse för det beräknade flödets egenskaper. Särskilt viktigt är detta för turbulenta flöden. I områden där gradienterna

är stora bör cellerna vara så små att flödets förändring inom varje cell minimeras. Turbulens och virvlar inom varje element kan inte modelleras. (FLUENT User's Guide, 1998)

Elementens skevhet och form kan också inverka på resultatet. Stora förändringar i cellvolym kan medföra grova trunkeringsfel i beräkningarna. Stor skevhet i cellerna kan minska lösningens stabilitet och noggrannhet. För att minska skevheten i ett tetraedriskt cellnät bör man eftersträva vinklar nära 60 grader. (FLUENT User's Guide, 1998)

3.6.3 Råhet

Bottenmaterialet i sjön och älven kommer att bestå av grus av varierande storlek (diameter mellan 5 och 70 mm). Vi har antagit samma råhet för bottenmaterialet i hela modellen och uppskattat den till cirka 3 cm. Värdet för råheten (tabell 3.1) på betong, akrylglas och plaströr är hämtade ur tabell men kan givetvis variera. (Rörboken, 1983)

3.6.4 Matematiska förenklingar

Vi har valt att använda första ordningens bakåtdifferens då den ger stabila lösningar. Den ger dock för höga värden för diffusionen då nätet och rörelseriktningen inte är parallella. Försök att räkna med andra ordningens bakåtdifferens resulterade inte i konvergenta lösningar.

3.6.5 Konvergenskriterier

Konvergens kan påverkas av många olika faktorer, som till exempel ett stort antal celler eller höga relaxationsfaktorer. Eftersom felet i de ursprungliga, gissade värdena kan vara mycket grovt kan det vara svårt att få lösningen att konvergera. Ett sätt att hantera detta är att vid varje iteration bara ta vidare en liten del av lösningen till nästa iterationssteg.

Konvergenskriteriet, vilket bestämmer det residualvärde för vilket varje parameter skall anses ha konvergerat, sattes till att vara högst 10^{-6} för kontinuitet, hastighet (i x-, y- och z-riktning) samt för kinetisk energi och utsläckning av turbulens. Residualvärdena är ett mått på förändringen av lösningen mellan det femte iterationssteget och det nuvarande. En liten förändring av residualvärdet mellan varje iterationssteg tyder på att lösningen är stabil och närmar sig rätt värden för de antagna indata. Själva absolutvärdet av residualvärdena sattes lågt, men det är egentligen derivatan eller skillnaden mellan varje iteration som skall styra när man avbryter en beräkning. Vid det värde på residualvärdet som vi satte som konvergenskrav var derivatan alltid liten. En numerisk modell behöver alltid justeras mot experiment eller verklighet, något som inte ryms inom ramen för detta exjobb. För förklaring av de ingående parametrarnas betydelse för lösningen hänvisas till bilaga C om CFD.

3.7 Simuleringar

Totalt genomfördes tre olika simuleringar i Fjällsjön och tolv i första sektionen av Norrlandsälven. Flödet genom sjön har modellerats med och utan strömdelare för att tydligt åskådliggöra effekterna av grundet. För att noggrant studera hur ett inflöde påverkar den generella strömningsbilden har även tvådimensionella simuleringar gjorts. Till Norrlandsälven skall tre tillflöden komma. Flödet 14 l/s kommer via överfallet från sjön och ytterligare 21 l/s skall ledas in i bassängen via två plaströr.

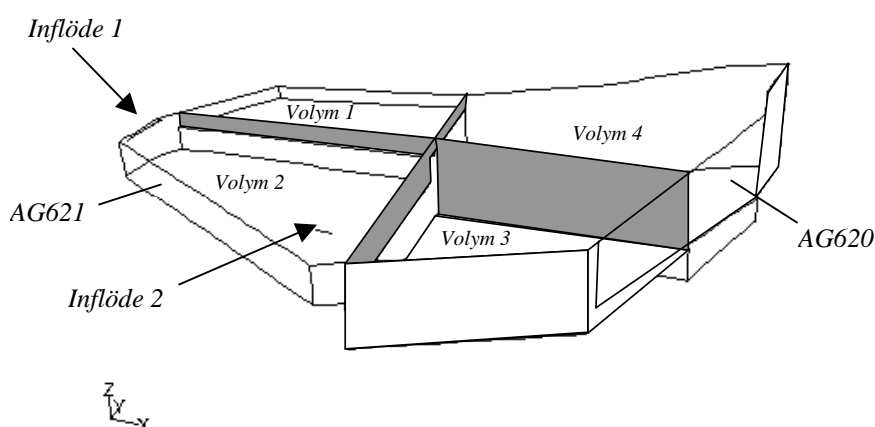
Modellen av älven har utförts med tre olika utformningar av det extra, inkommande flödet. Ett av fallen har dessutom modellerats med stora stenar utplacerade på botten. Vart och ett av fallen har sedan simulerats för tre olika flöden, 100, 75 och 50 % av maximala flödet, se tabell 3.2

Tabell 3.2: Totalt har 19 olika simuleringar genomförts med olika flöden och geometri i Fjällsjön och Norrlandsälven.

Körning	100%	75%	50%	Summa
Sjö utan grund	1	0	0	1
Sjö med grund	1	0	0	1
Spårämnesförsök	1	0	0	1
Älv inflöde fr sida	1	1	1	3
Älv infl fr sida m hinder	1	1	1	3
Älv inflöde fr botten	1	1	1	3
Älv diffust inflöde	1	1	1	3
2D-Studie av inflöde (x)	1	0	0	1
2D-Studie av inflöde (y)	1	0	0	1
2D Påverkan av turb.	1	0	0	1
2D 2:a ordningens ekv.	1	0	0	1
Totalt				19

3.7.1 Sjö utan grund

Första simuleringen av sjön gjordes utan strömdelare. I sjön finns två inflöden, ett från Fjällbäcken (inflöde 1) och ett från vattenfallet från Fallbäcken (inflöde 2). Sammanlagt uppgår flödet genom sjön till 14 l/s.



Figur 3.6: Sjön, uppdelad i flera volymer med hjälp av fiktiva ytor samt placering av inlopp och glasrutor. AG621 och AG620 är beteckningar på glasrutorna.

Den komplicerade geometrin i sjön gjorde att sjön fick delas upp i mindre volymer, som kunde *meshas* separat. Volymerna skiljs åt genom fiktiva ytor, vilka definierades som *interior* i Gambit. Sjön *meshades* med tetraedriska element. Materialegenskaper och inflöden specificerades i Fluent (se tabell 3.1). Olika råhetskoefficienter har definierats för bottenmaterial, betongväggar och för akrylglas.

3.7.2 Sjö med grund

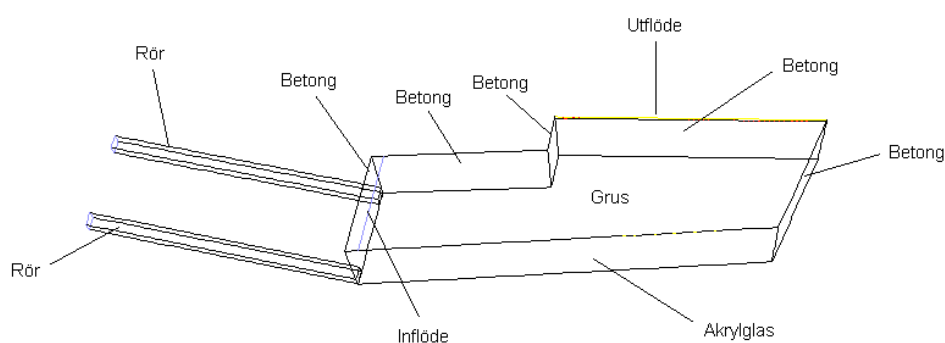
Grundet formades som en halv ellipsoid och placerades i modellen två och en halv meter från inflöde 1. Grundet är 1,5 m brett, 3 m långt och sticker upp 10 cm ovanför vattenytan, se figur 3.2. I Gambit fogades grundet samman med bassängbotten, vilket innebär att det inte sker någon strömning genom bottenmaterialet i grundet. Flödet genom sjön sattes till 14 l/s. Efter en första simulering i Fluent fick nätet förfinas i de delar av sjön där hastighetsgradienterna var stora.

3.7.3 Spårämnesförsök, sjö med grund

En simulering av ett spårämnesförsök gjordes för sjön med grund. I spårämnesförsöket modellerades hur en dos av ett ämne, som tillsattes vid inflöde 1, spreds i sjön. Simuleringen gjordes för litiumklorid, vars egenskaper i modellen sattes lika med vattens. Ämnets diffusionskonstant sattes till $10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. En halt på 10 % av ämnet tillsattes vid inflöde 1 under två sekunder. Totalt tillsattes 2,8 kg av ämnet. Simuleringen visade hur koncentrationen av ämnet varierade i olika delar av sjön under cirka tre timmar. Flödet genom sjön var även i detta fall ca 14 l/s. Spårämnesförsöket kan användas vid bedömning av hur stort utbytet av vatten är i olika delar av bassängen.

3.7.4 Älv med inflöde vid botten

I en av modellerna av Norrlandsälven placerades rören vid botten av bassängen, så att flödet från rören får samma riktning som flödet från sjön (se figur 3.7). I verkligheten kommer rörens mynning att döljas vilket kan påverka flödesriktningen. För att underlätta uppbyggnaden av geometrin i Gambit, fick rören i simuleringen kvadratiska tvärsnitt, med måtten $140 \times 140 \text{ mm}^2$. De skall i verkligheten bli runda med en diameter på 160 mm. För att få fullt utvecklade rörströmning i simuleringen gjordes rören i modellen tre meter långa. Modellen simulerades för tre olika flöden från de två inloppsroren: 50, 75 och 100 % av det maximala inflödet 21 l/s.

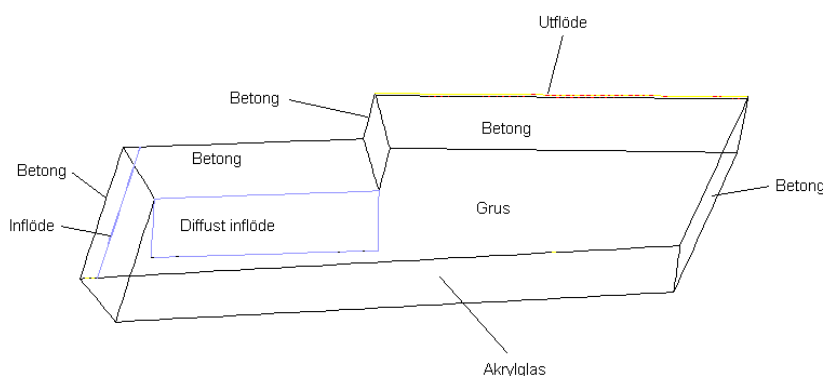


Figur 3.7: Älv med inflöde vid botten.

3.7.5 Älv med diffust inflöde

Avsikten med ett diffust inflöde är att efterlikna ett uppströmmande grundvatten genom en porös jordart. Detta skulle kunna utformas med ett perforerat rör under en

hög med stenar och grus som släpper igenom vattnet (se figur 3.8). En effekt är att inströmningshastigheterna blir låga. Det diffusa inflödets har modellerats som en relativt stor yta i botten av bassängen med en låg inströmningshastighet. Inflödena varierar på samma sätt som tidigare i älven med ett konstant inflöde från sjön.

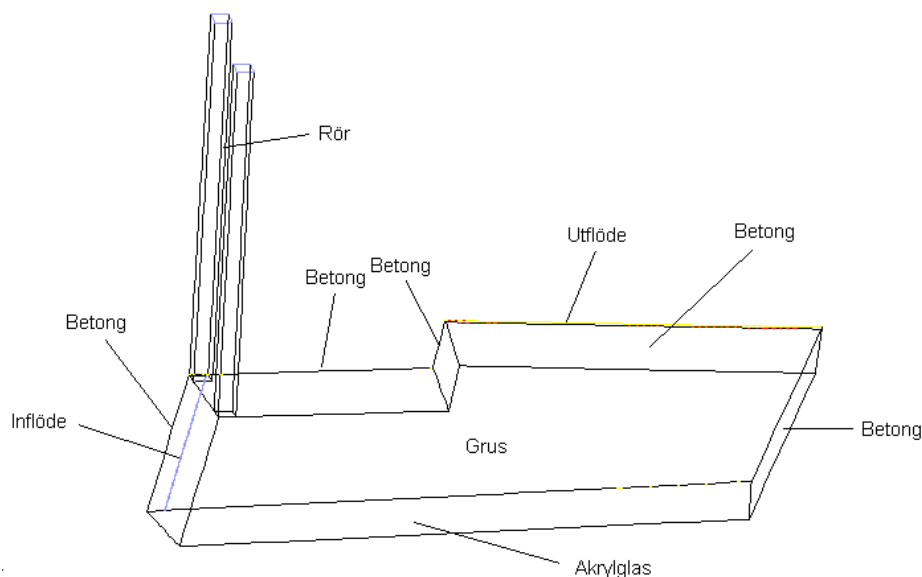


Figur 3.8: Älv med diffust inflöde i botten av bassängen.

Ytan av det diffusa inflödet modellerades med måtten $0,5 \times 1,8 \text{ m}^2$. Vattnets inkommande hastighet blir då $0,023 \text{ m/s}$ för maximala flödet 21 l/s .

3.7.6 Älv med inflöde från sidan

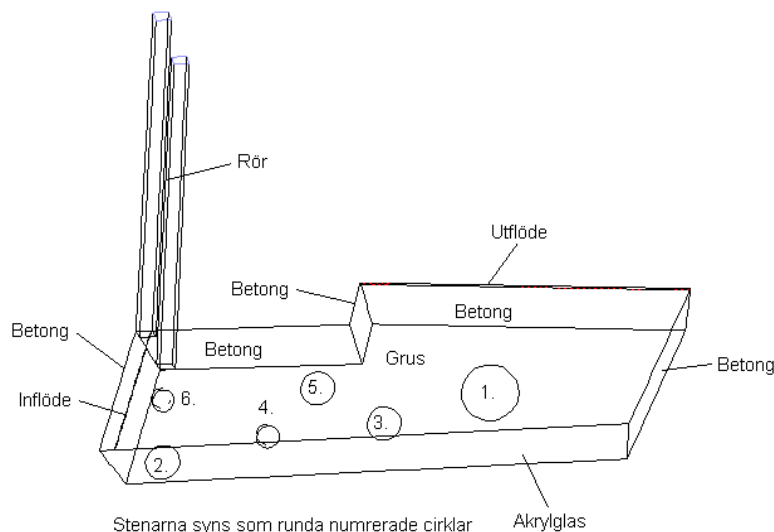
Norrlandsälven modellerades även då det tillkommande inflödet placerades i sidan av bassängen, ett är placerat längst upp strax under vattenytan och det andra är placerat längst ned precis ovanför botten (figur 3.9). Tanken med denna utformning är att få en varierad flödesbild då riktningarna på inflödet från sjön och från rören inte förstärker varandra.



Figur 3.9: Älv med inflöde från sidan.

3.7.7 Älv med inflöde från sidan och hinder

Vi ville undersöka om man kan skapa en mer varierad miljö med både skyddande zoner och snabba strömmar genom att placera stenar på botten (se figur 3.10). Stenarnas placering har valts av Peter Örn, som är ansvarig för Svenska Landskap. Avsikten med är att slå sönder flödet så att det bildas lugna zoner där fiskarna kan vila.



Figur 3.10: Älv med inflöde från sidan och hinder för att skapa lugna zoner.

Sten 1 gjordes 40 cm hög och har en basdiameter på 50 cm. Stenarna 2, 3 och 5 fick en höjd på 20 cm och basen 30 cm. De två minsta stenarna fick vara 10 cm höga och 20 cm i basen. I övrig ser bassängen ut som den med inflöde från sidan, kapitel 3.5.6.

3.7.8 2D-studier

För att verifiera delar av modellen gjordes tvådimensionella studier. Dessa studier bestod enbart av inflöde och utflöde i en rektangulär, tvådimensionell bassäng. Med hjälp av dessa kunde vi bedöma hur strömningen blir av ett smalt respektive brett inflöde. Vi testade också att ändra inställningarna för turbulensen samt att räkna med andra ordningens bakåtdifferens för att se om detta hade någon inverkan på resultatet.

3.8 Sammanfattning

Nedan följer en sammanfattning av indata för alla de simulerade fallen.

Tabell 3.3: Data för de gjorda simuleringarna

Simulering	Inflöde 1				Inflöde 2				Antal celler	Volym (m ³)
	Flöde (m ³ /s)	Hastighet (m/s)			Flöde (m ³ /s)	Hastighet (m/s)				
		V _x	V _y	V _z		V _x	V _y	V _z		
Sjö utan grund	7.1	0.325	0	-2.1	5.6	0	0.275	-4	26776	32.8
Sjö med grund	8.5	0.325	0	-2.1	5.6	0	0.275	-4	68777	32.1
Spårämnesförsök	8.5	0.325	0	-2.1	5.6	0	0.275	-4		
Älv inflöde fr sida 1	13.5	0.349	0	-3.708	20.9	0	0.536	0	39745	6.1
Älv inflöde fr sida 2	13.5	0.349	0	-3.708	15.7	0	0.402	0	39745	6.1
Älv inflöde fr sida 3	13.5	0.349	0	-3.708	10.5	0	0.268	0	39745	6.1
Älv infl fr sida, hinder 1	10.9	0.349	0	-3.708	20.9	0	0.536	0	61569	6
Älv infl fr sida, hinder 2	10.9	0.349	0	-3.708	15.7	0	0.402	0	61569	6
Älv infl fr sida, hinder 3	10.9	0.349	0	-3.708	10.5	0	0.268	0	61569	6
Älv inflöde fr botten 1	13.5	0.349	0	-3.708	20.9	0.536	0	0	26674	6.1
Älv inflöde fr botten 2	13.5	0.349	0	-3.708	15.7	0.402	0	0	26674	6.1
Älv inflöde fr botten 3	13.5	0.349	0	-3.708	10.5	0.268	0	0	26674	6.1
Älv diffust inflöde 1	13.5	0.349	0	-3.708	20.9	0	0	0.0234	28777	6
Älv diffust inflöde 2	13.5	0.349	0	-3.708	15.7	0	0	0.0178	28777	6
Älv diffust inflöde 3	13.5	0.349	0	-3.708	10.5	0	0	0.0117	28777	6

4 Resultat

Vid tolkning av simuleringsresultaten har vi valt att utgå från några förutsättningar som vi anser vara av intresse för vår uppdragsgivare. Eftersom vattenmiljön skall passa flera olika fiskarter är det bra om den är varierande och omfattar både platser för vila och skydd samt platser där strömmande vatten för med sig föda. Vi har därför valt att identifiera lugna områden och dominanta strömmar.

Eftersom Universeum är avsett att bli en publikattraktion är utseendet av stor betydelse. Det är av vikt att miljön ser verklighetstrogen ut. Sjön skall se ut som en lugn fjällsjö och älven skall se ut som ett livligt forsande vattendrag. Det är även viktigt att miljön är sådan att fiskarna väljer ståndplatser där de är synliga för publiken. På grund av detta har vi valt att titta särskilt på hastigheterna i vattenytan och innanför akrylglasen. Strömningen vid botten är också av intresse då höga vattenhastigheter medför ökad erosion.

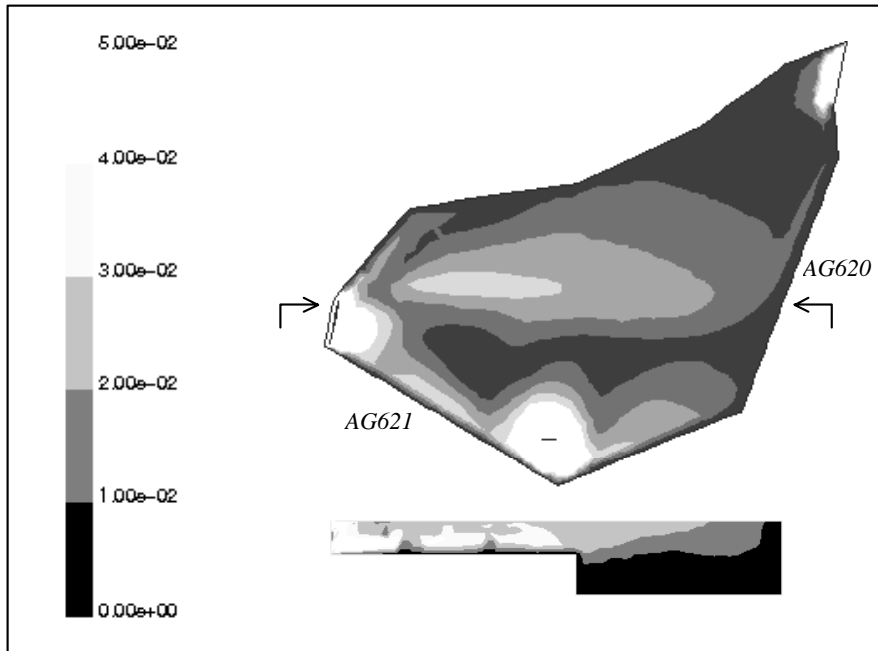
I följande text och i bilagor presenteras ett antal bilder från simuleringen av datormodellerna. I samtliga figurer representeras de olika vattenhastigheterna av olika färger eller gråtoner och anges i enheten m/s. Hastighetsintervallen har valts för att det, som vi anser vara väsentligt skall synas tydligt. I vissa bilder medför detta att ytor har lämnats tomma, vilket då innebär att de ligger utanför det valda hastighetsintervallet. I vektorplottarna anges flödesriktning med hjälp av pilar, vars längd och färg beror av hastigheten. Pilarnas längd är dock inte jämförbar mellan de olika figurerna även om hastighetsintervallet är samma. Pilarnas täthet beror på meshens upplösning, vid en tätare mesh sitter pilarna tätare eftersom programmet sätter ut en pil per cell.

4.1 Sjö utan grund

För mer detaljerade bilder på resultaten hänvisas till bilaga E.

4.1.1 Lugna zoner 0-0,02 m/s

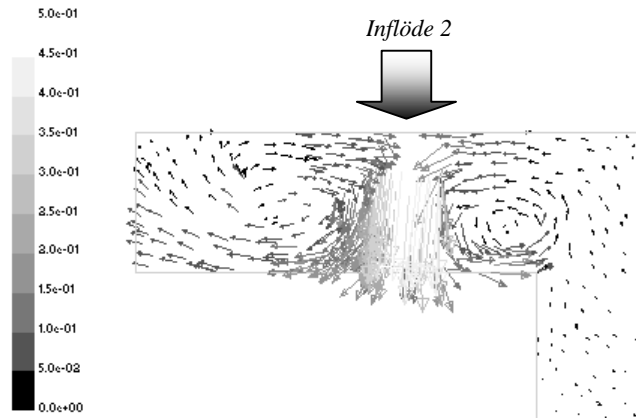
Resultaten av simuleringen av sjön utan grund, med ett totalt inflöde av 14 l/s, visar att vattenvolymen i de två djupare avsnitten rör sig med hastigheter lägre än 2 cm/s. En halv-meter under vattenytan är omsättningen mycket låg, hastigheten är där lägre än 1 cm/s.



Figur 4.1: Hastighetsfördelningen i vattenytan och i ett längdsnitt tvärsigenom sjön ($y=0$). De svarta ytorna visar var hastigheten är lägre än 1 cm/s. AG621 och AG620 är namnen på de två akrylglasen.

4.1.2 Dominanta strömmar och virvlar

De båda inflödena till Fjällsjön orsakar en hel del turbulens och starka strömmar, främst i volym 2. Då vattnet vid inflödena har en hög, nedåtriktad begynnelsehastighet orsakar de starka strömmar längs botten av sjön. Under vattenytan vid inflöde 2 (från Fallbäcken) uppstår en vertikal virvel då det nedåtriktade vattnet strömmar uppåt igen (se figur 4.2). Det finns två dominerande strömmar, vars hastigheter uppgår till mellan 2 och 4 cm/s. Den ena strömmen följer gränsen mellan volym 1 och 2 i riktning mot utloppet. Den andra går längs glasrutan (AG621) från inflöde 2 mot inflöde 1. Strömmen förbi glasrutan är starkast vid vattenytan och avtar mot botten (se figur 4.3).



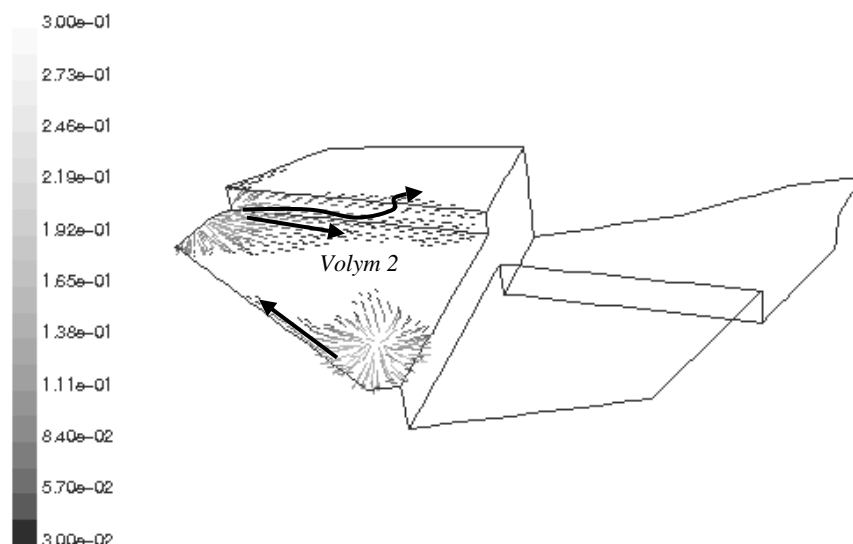
Figur 4.2: Virvelrörelsen under inflöde 2, sett i positiva Y-riktningen

4.1.3 Hastighetsfördelning

De högsta hastigheterna fås, inte helt oväntat, under inflödena. Enligt modellen blir de största hastigheten cirka 2 m/s där vattenfallet slår ned i sjön. Det inkommande vattnets hastighet dör ut snabbt efter att det träffar vattenytan. Det är endast runt inflöden och vid utflödet som vattnets hastigheter överstiger 5 cm/s. Medelhastigheten i hela sjön är cirka 1,2 cm/s.

4.1.4 Hastigheter vid botten

För att undvika att det tillströmmande vattnet tar med sig bottenmaterial kan det vara av intresse att ta reda på var hastigheterna längs botten blir höga. På dessa ställen bör man placera ett grövre bottenmaterial.



Figur 4.3: Det är framförallt i volym 2 som bottenhastigheterna blir höga. I figuren visas var i sjön hastigheterna vid botten blir högre än 3 cm/s.

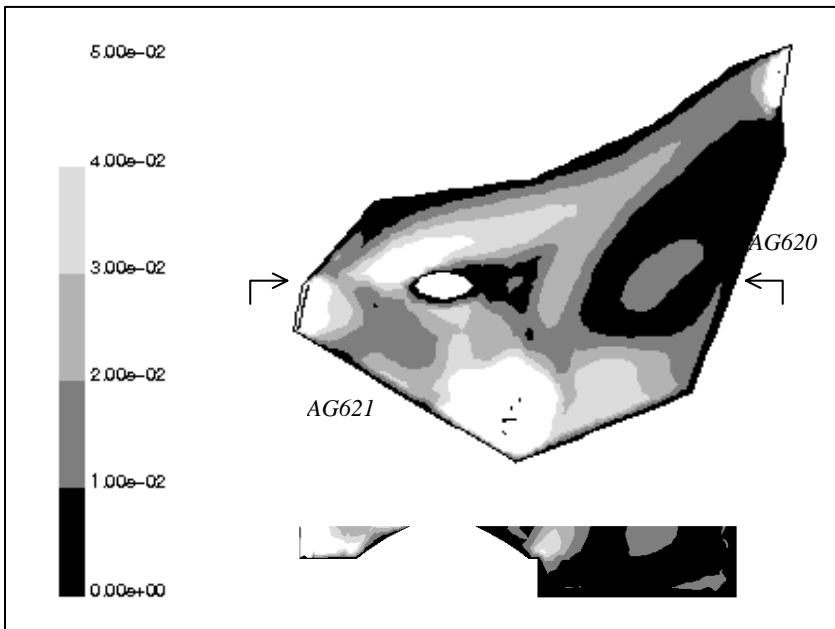
Det är framförallt i volym 2 som hastigheterna längs botten blir höga. Precis under inflödena blir vattnets hastighet mellan 15 och 20 cm/s. För att bottenmaterialet inte skall transporteras bort vid dessa hastigheter bör stenarnas diameter vara minst 20-30 mm.

4.2 Sjö med grund

För mer detaljerade bilder på resultaten hänvisas till bilaga F.

4.2.1 Lugna zoner 0-0,02 m/s

Vattenhastigheterna är låga i stora delar av sjön, framförallt i volym 3 och 4. Framför akrylglas AG620 bildas en tydlig zon där vattnet rör sig långsamt med en hastighet på cirka 1 cm/s. Nedströms grundet skapas ett lugnt område (figur 4.4).



Figur 4.4: Hastighetsfördelningen i vattenytan och i ett längdsnitt ($y=0$) genom sjön. I de svarta områdena är hastigheten lägre än 1 cm/s och i de vita större än eller lika med 5 cm/s.

4.2.2 Dominanta strömmar

Grundet i sjön gör att flödet från Fjällbäcken delas i två strömmar när det kommer in i sjön. Den ena går längs botten upp i volym 1 och rinner förbi grundet på den övre sidan innan hastigheten avtar i volym 4. Den andra strömmen rinner förbi precis innanför nästa akrylglas (AG621) och är som snabbast från botten och cirka 30 cm upp där hastigheterna varierar mellan 3 och 5 cm/s.

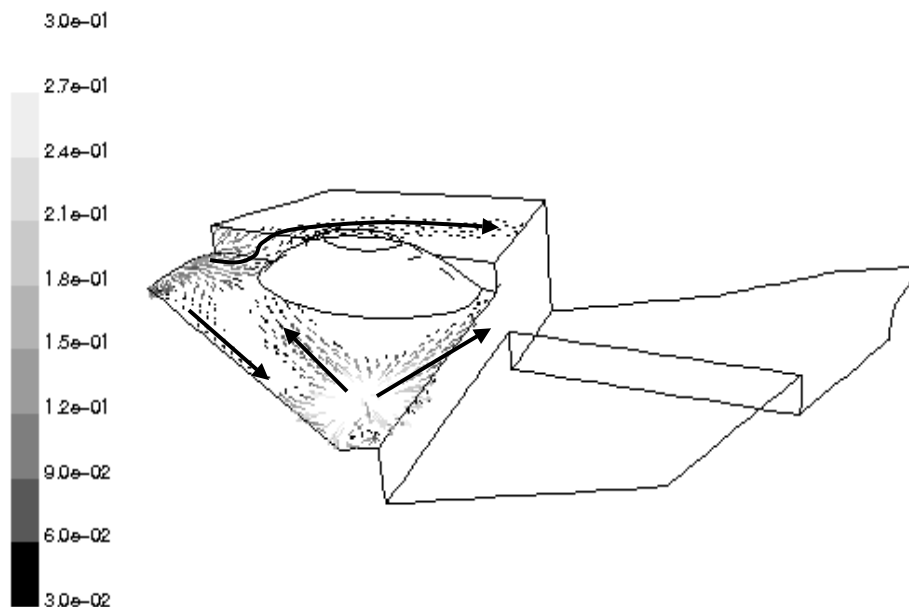
Där vattenfallet slår ned krockar strömningsriktningarna. Från inflöde 2 går en snabb vattenström mot volym 4, cirka 50 cm under ytan. Strömmarna i volym 1 och 2 har i princip samma riktning och hastighet genom hela djupet (figur 4.5). För ytterligare detaljer hänvisas till bilaga F.

4.2.3 Hastighetsfördelning

Även i detta fall (med grundet i sjön) fås de högsta hastigheterna under inflödena. Enligt modellen blir den största hastigheten cirka 4 m/s där vattenfallet slår ned i sjön. Till skillnad från simuleringen utan grund dör inte de höga hastigheterna ut lika fort. De strömmar som uppstår är snabbare och mer koncentrerade och skillnaden mellan lugna och snabba områden blir tydligare. Medelhastigheten i hela sjön blir också något högre och uppgår, enligt beräkningar i Fluent, till 1,6 cm/s.

4.2.4 Hastigheter vid botten

I stora delar av volym 1 och 2 blir bottenhastigheterna större än 3 cm/s. I den grundaste delen kommer hastigheten att vara upp mot 5 cm/s nära strömdelaren. Nedanför inflöde 1 varierar hastigheten mellan cirka 7-8 cm/s och 12 cm/s. De högsta bottenhastigheterna uppstår emellertid under vattenfallet där vattnet rör sig mellan 40-50 cm/s och ända upp mot 70 cm/s.

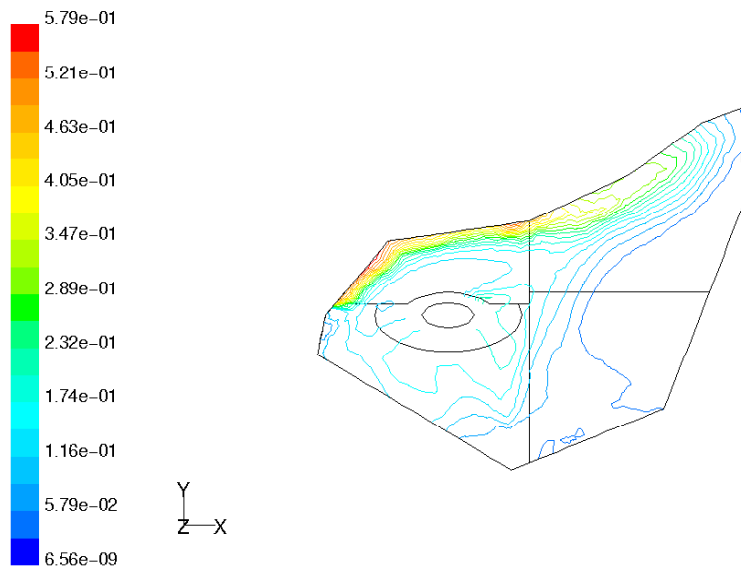


Figur 4.5: Vattnets hastighet längs botten i simuleringen av sjö med grund.

4.2.5 Spårämnesförsök

I spårämnesförsöket som utförts i sjön med grund, simulerades hur ett ämne LiCl, vars fysikaliska egenskaper sattes lika med vattens, spreds i sjön. Koncentrationen av ämnet i det inkommande vattnet vid inflöde 1 sattes till 10 %, det vill säga 100 kg/m^3 . Tillsatsen skedde under 2 sekunder, vilket innebär att 2,8 kg LiCl tillsattes. Simuleringen visar att det sker en snabb utspädning direkt nedströms inflödet. Efter 1 sekund är koncentrationen precis nedströms inflödet cirka 25 kg/m^3 . En del av ämnet sprider sig sedan längs akrylglasets (AG621) i volym 2 men största delen passerar förbi grundet i volym 1. Efter 1 min har litiumkloridlösningen kommit halvvägs igenom volym 2 och spridit sig i nästan hela volym 1 där högsta koncentrationen då är cirka $2,9 \text{ kg/m}^3$ (se bilaga G).

Ombländningen går fort och efter 5 min når de första låga koncentrationerna av ämnet utflödet. Fortfarande är vattnet längs botten i volym 3 och 4 opåverkat. Högst koncentrationer av ämnet dröjer sig kvar längs med betongväggen i volym 1 och 4 (på sjöns vänstra sida). Efter 5 min har högsta halten av ämnet sjunkit till endast $0,5 \text{ kg/m}^3$ och efter 10 min är halten $0,1 \text{ kg/m}^3$.



Figur 4.6: Koncentrationen av LiCl 15 cm under ytan 5 min efter tillsatsen av ämnet. (kg/m^3)

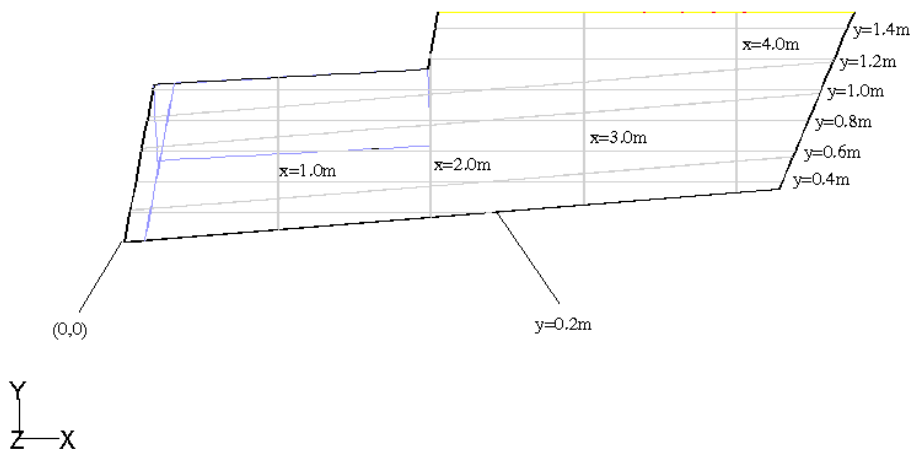
Efter 20 min återstår endast låga halter av ämnet (lägre än $0,05 \text{ kg/m}^3$ i volym 3 och 4 och ännu lägre halter i de grundare volymerna). Koncentrationen av ämnet i sjön sjunker sedan allt långsammare och mycket små halter av ämnet stannar kvar i flera timmar.

4.3 Älv med inflöde vid botten

I den ena av modellerna av älven, där rören placeras vid botten av bassängen, kommer flödet från rören att förstärka effekten av inflödet från Fjällsjön. I verkligheten kommer älven byggas så att rörens mynning att maskeras, vilket kan göra att inströmningen av vatten påverkas. För detaljerade bilder av resultaten hänvisas till bilaga H.

Tabell 1: Hastigheter vid inflöde vid botten. De maximala hastigheterna uppnås där inflöde 1 från sjön träffar vattenytan. Hastigheterna vid botten blir störst vid inflödena från rören.

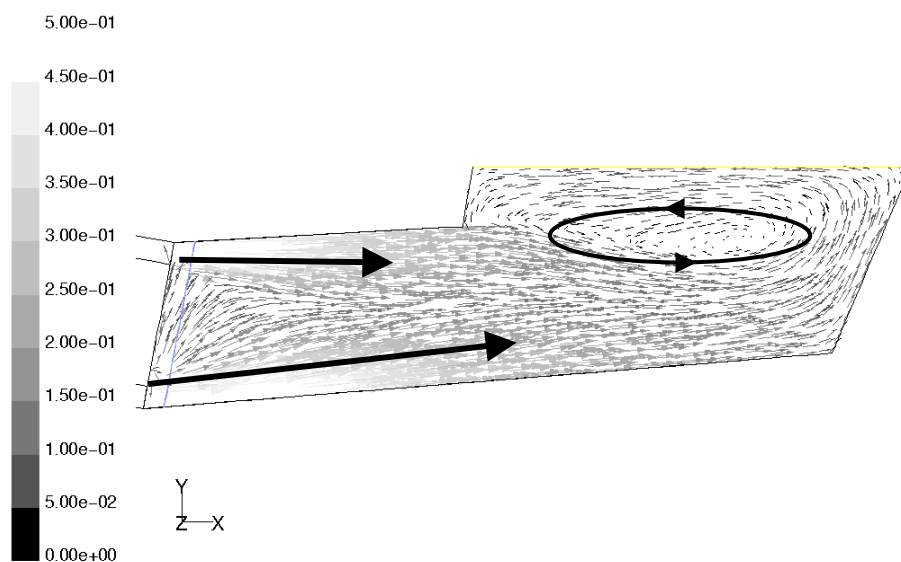
Flöde	Bottenhastighet max m/s	Medelhastighet m/s	Hastighet vid utflödet m/s	Maxhastighet m/s
100 % 34,5 l/s	0,6	0,093	0,4	3,7
75 % 29,2 l/s	0,45	0,074	0,34	3,7
50 % 24,0 l/s	0,3	0,059	0,27	3,7



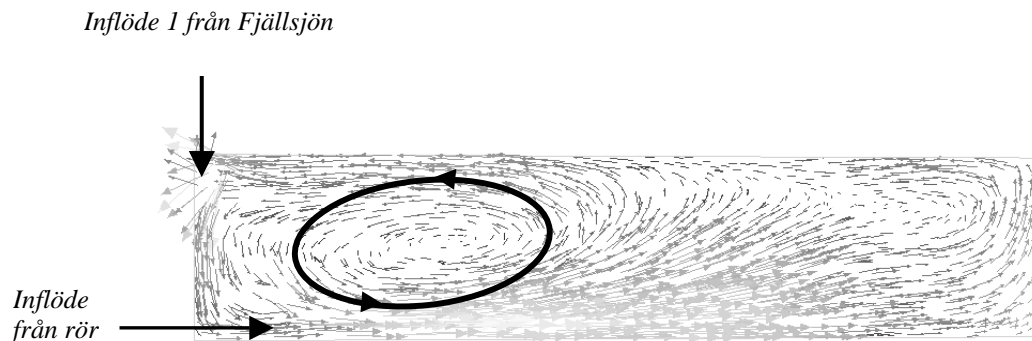
Figur 4.7: Figuren (plan av älven) visar vilka snittytor som har studerats och som presenteras i resultat eller bilagor. Ytorna är samma för de olika fallen

4.3.1 100 % av maximala flödet

Vid 100 % av maximala flödet, det vill säga 34,5 l/s, domineras flödesbilden av en stor virvel som sträcker sig i bassängen i x-led. I mitten av denna virvel verkar vattnet vara lugnt och rör sig med låga hastigheter, 0-0,05 m/s. Det bildas även ett lugnt område, som i den smalare delen av bassängen ligger mellan djupet 0,4 m och 0,6 m och i den bredare delen av bassängen befinner sig närmast akrylglaset på djupet 0-0,4 m. Mot utflödet viker den lugna zonen av ned längs med betongväggen, som utflödet rinner över. Förutom denna virvel finns det två dominerande strömmar längs botten av bassängen vilka till stor del orsakas av inflödena från rören. Dessa strömmar har maximala hastigheter på 0,55 m/s. Den maximala hastigheten återfinns där inflödet från sjön träffar ytan, men den avtar snabbt.



Figur 4.8: Hastighetsvektorer (0-0,5 m/s) i ett plan på djupet 0,95 m vid 100 % av maxflödet (34,5 l/s). De grova pilarna indikerar riktningen på de dominerande strömmarna. Det lugnaste området i bassängen ligger i mitten av virveln.



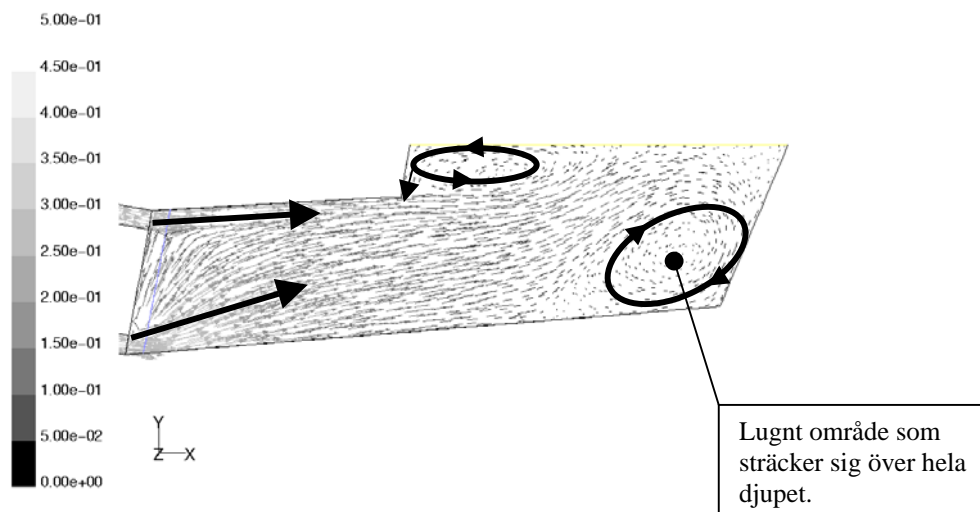
Figur 4.9: Hastighetsvektorer i ett snitt taget på 0,2 meter ifrån akrylglasets. Det syns tydligt att inflödet från rören vid botten förstärker effekten av inflöde 1 och det bildas en stor virvel (se de raka pilarna). Flödesbild vid 100 % av maxflödet (34,5 l/s).

4.3.2 75 % av maximala inflödet

Flödesbilden vid 75 % av maximala flödet (29,2 l/s) domineras av en virvel och två strömmar som orsakas av inflödena från rören på samma sätt som i figur 4.8 och 4.9 ovan. Strömmarna har i detta fallet hastigheter på max 0,42 m/s. Strömmarnas inverkan har minskat något men de har fortfarande samma riktning. Den lugna zonen har ökat i omfattning men har samma läge som vid 100 %. Generellt kan man säga att det blir låga hastigheter vid hörnen.

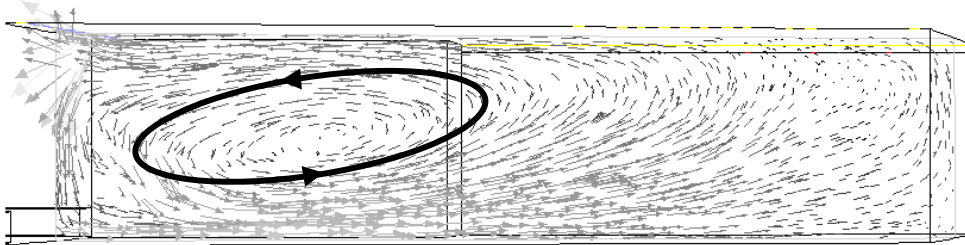
4.3.3 50 % av maximala flödet

Vid 50 % av maximala flödet (24,0 l/s) mattas strömmarna vid inflödena från rören märkbart av och den ström som tidigare följt glasrutan viker av in mot bassängen nedan. Detta gör att strömningsbilden i resten av bassängen ändras jämfört med de större inflödena. Se figur 4.10 nedan.



Figur 4.10: 50 % av maxflödet (24 l/s) ger en ändrad flödesbild jämfört med 100 och 75 % av maxflödet. Observera ändringen av riktningen på strömningen jämfört med maxflödet (figur 4.9) vilket ger två virvlar och en lugn zon intill akrylglasets.

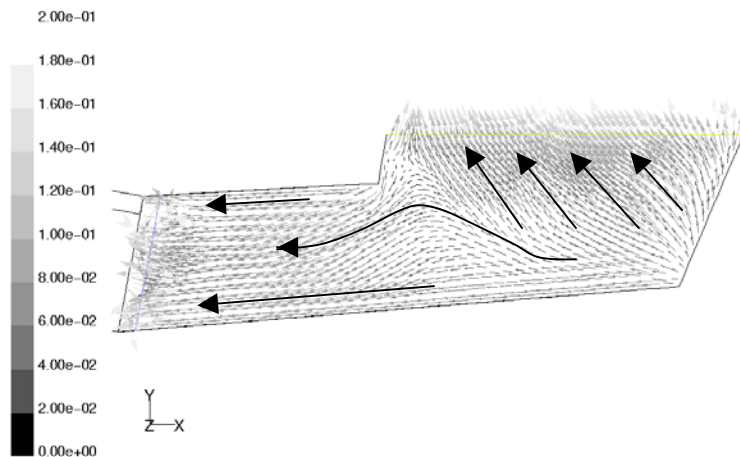
Strömmarna i figur 4.10 har i detta fall maxhastigeten 0,31 m/s. De två virvlarna sträcker sig från djupet 0,3 m och ned till botten av bassängen. I virvlarna bildas det lugna zoner. Den lugna zonen i den smala delen av bassängen ser ut som vid de större flödena, utbredningen är dock större. I den bredare delen ändras utseendet helt och det finns ett större område närmast glasrutan med hastigheter på 0-0,01 m/s (se figur 4.10).



Figur 4.11: Hastighetsvektorer 0,2 m ifrån akrylglasets. Se figur 4.7.

4.3.4 Jämförelse mellan de olika flödena

Vid denna utformning, med inflöde vid botten, ändras flödesmönstret när flödesmängden varierar. Följden av ett lägre flöde blir att hastigheterna blir lägre. De lugna zonerna där fiskar kan stå och vila blir större och läget ändras så att en större lugn zon bildas vid glasrutan. Flödesriktningen i vattenytan är samma för de olika fallen men hastigheterna blir lägre vid minskat inflöde. Se bilaga H för egna jämförelser. Det bildas en returström i vattenytan och vattnet rör sig i större delen av bassängen mot inflöde 1, se figur 4.11 och 4.12.



Figur 4.12: Figuren visar flödesriktningen i vattenytan vid 100 % av maxflödet (34,5 l/s).

4.4 Älv med diffust inflöde

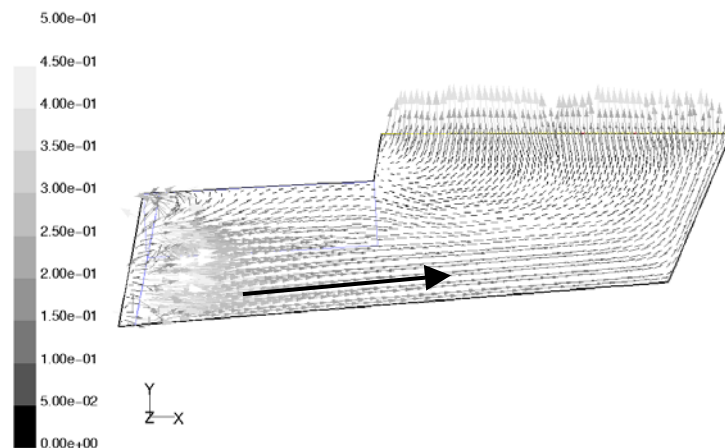
Avsikten med ett diffust inflöde är att efterlikna ett uppströmmande grundvatten genom en porös jordart. Genom att sprida ut inflödet över en större yta minskas de inströmmande hastigheterna avsevärt. För detaljerade bilder av resultaten hänvisas till bilaga I.

Tabell 4.2: Hastigheter vid diffust inflöde. De maximala hastigheterna uppnås där inflöde 1 träffar vattenytan. Hastigheterna vid botten blir störst vid betongväggen under utflödet och vid den lilla kilen mellan det diffusa inflödet och den intilliggande betongväggen.

Flöde	Bottenhastighet max m/s	Medelhastighet m/s	Hastighet vid utflödet m/s	Maxhastighet m/s
100 % 34,5 l/s	0,08	0,050	0,41	3,9
75 % 29,4 l/s	0,08	0,051	0,34	3,9
50 % 24,0 l/s	0,1	0,052	0,28	3,9

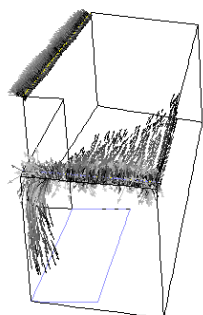
4.4.1 100 % av maximala flödet

Med det diffusa inflödet strömmar vattnet i ytan i riktning mot utflödet. Detta är tydligast längs glasrutan där det bildas en ytlig ström, som rör sig i riktning mot utflödet med hastigheter mellan 0,2 och 0,55 m/s (figur 4.13 och 4.14).



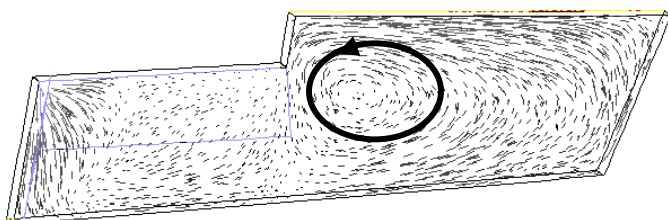
Figur 4.13: Hastighetsvektorer i vattenytan vid 100 % av maxflödet (34,5 l/s) och diffust inflöde. Vattnet i vattenytan strömmar i riktning mot utflödet.

I hörnet mellan inflödena uppstår en nedåtgående ström inom samma hastighetsintervall som den ström som går i ytan (figur 4.14).



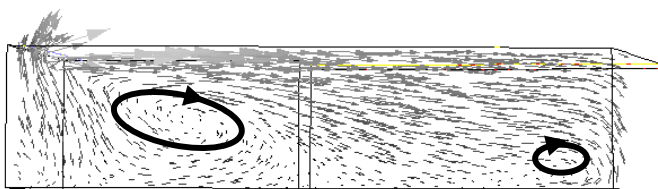
Figur 4.14: Hastighetsvektorer mellan 0,2 och 0,55 m/s vid diffust inflöde och 100 % av maxflödet.

I den bredare delen av bassängen bildas en virvel som sträcker sig från botten och upp till cirka 0,3 meters djup (figur 4.15).

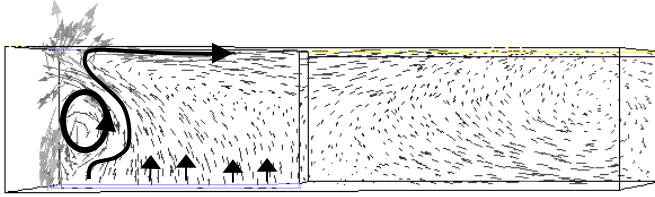


Figur 4.15: Hastighetsvektorer mellan 0 och 0,3 m/s vid djupet 0,8 m.

Närmast akrylglaset vid inflöde 1 bildas en liten virvel, cirka 0,5 m i diameter (centrum längs y-riktningen, det vill säga runt en axel tvärs bassängen). Den sträcker sig cirka en halvmeter in i bassängen där den löses upp av det diffusa inflödet. Det bildas även en liten virvel vid akrylglaset men i andra änden av bassängen, se figur 4.16 och 4.17.

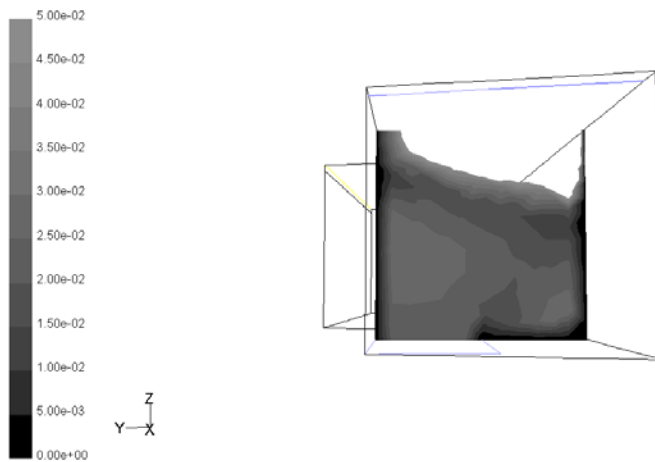


Figur 4.16: Snittyta parallell med akrylglaset, förskjuten 0,2 m i y-led. Hastighetsintervallet ligger mellan 0 och 0,3 m/s. Hastigheterna är störst i vattenytan.

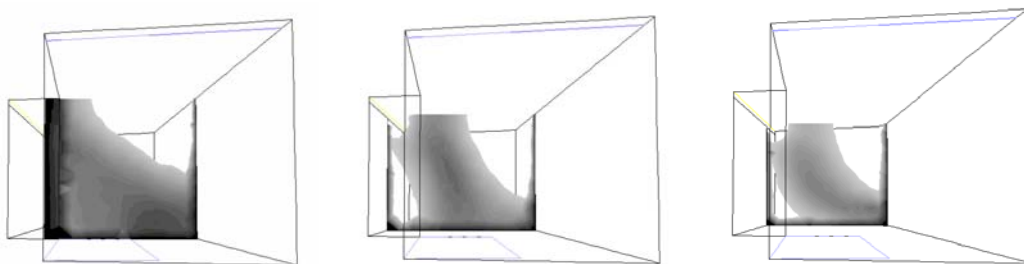


Figur 4.17: Hastighetsvektorer mellan 0 och 0,3 m/s på en snittyta parallell med akrylglaset förskjuten 0,8 m i y-led. Effekten av det diffusa inflödet påverkar mycket i den smalare delen av bassängen.

Lugna områden med hastigheter mellan 0 och 0,05 m/s blir större än när det extra tillflödet sker via rör. I den smalare delen av bassängen ligger hastigheterna inom detta intervall från djupet 0,2 m och ned till botten av bassängen. Den bredare delen av bassängen har ett område i mitten som är lugnt genom hela djupet av bassängen. Vid glaset är det lugnt från botten och upp till 0,3 m under ytan. Vid betongväggen vid utflödet är vattnets hastigheter låga mellan djupet 0,2 m och 0,4 m, se figur 4.18 och 4.19.



Figur 4.18: Utbredning av den lugna zonen på ytan $x=1,0$ m. Hastigheter mellan 0 och 0,05 m/s



Figur 4.19: Utbredning av den lugna zonen på ytorna $x=2,0$ m, $x=3,0$ m och $x=4,0$ m från vänster till höger. Hastigheter mellan 0 och 0,05 m/s. Samma färgskala som för $x=1,0$ m.

4.4.2 75 % av maximala flödet

Vid inflödet 29,2 l/s är strömmen i vattenytan vid glasrutan kvar och har ungefär samma utbredning som vid maxflödet. Det samma gäller för virveln i den breda delen av bassängen och den nedåtgående strömmen vid hörnet längst bort från akrylglaset vid inflöde ett. De lugna zonerna är även de liknande. Se bilaga I.

4.4.3 50 % av maximala flödet

Strömningsbilden är i stort sett densamma vid inflödet 24,0 l/s och 80 % av cellerna har hastigheter mellan 0 och 0,075 m/s.

4.4.4 Jämförelse mellan de olika flödena

Vid denna utformning ändras inte flödesmönstret när inflödet varierar. Följden av ett lägre flöde blir att hastigheterna blir lägre. De lugna zonerna där fiskar kan stå och vila blir större men läget ändras inte. För alla fallen strömmar vattnet i ytan mot utflödet.

4.5 Älv med inflöde från sidan

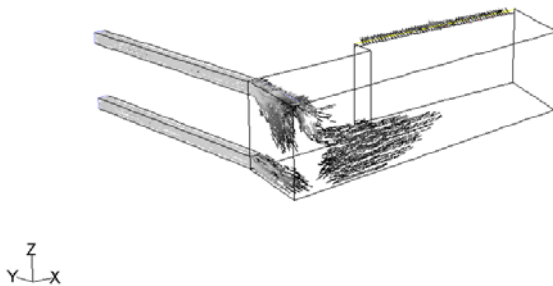
Då det tillkommande inflödet placeras i sidan (figur 4.20) fås en varierad flödesbild, eftersom riktningarna på inflödet från sjön och från rören inte förstärker varandra. För detaljerade bilder av resultaten hänvisas till bilaga J.

Tabell 4.3: Hastigheter vid inflöde vid botten. De maximala hastigheterna uppnås där inflöde 1 träffar vattenytan. Hastigheterna vid botten blir störst vid inflödet från det nedersta röret.

Flöde	Bottenhastighet max m/s	Medelhastighet m/s	Maxhastighet vid utflödet m/s	Maxhastighet m/s
100 % 34,5 l/s	0,5	0,085	0,39	3,7
75 % 29,2 l/s	0,4	0,068	0,32	3,7
50 % 24,0 l/s	0,2	0,061	0,28	3,7

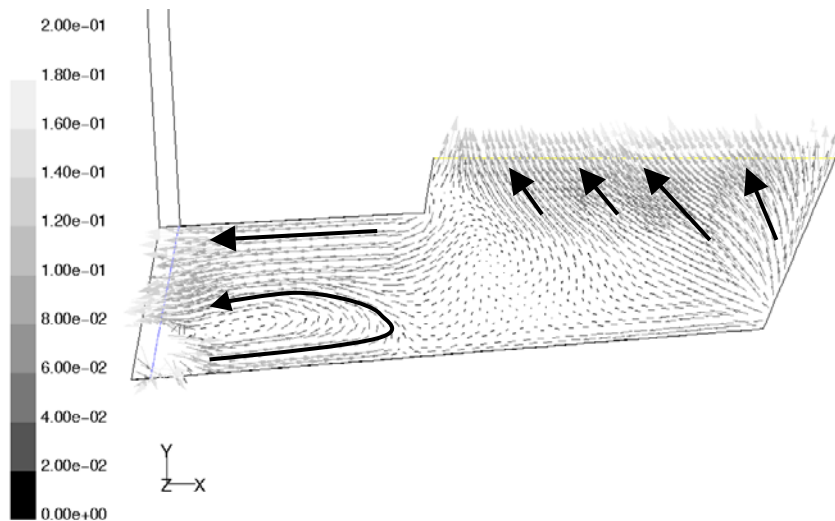
4.5.1 100 % av maximala flödet

Inflödena (34,5 l/s) med rören från sidan ger upphov till två tydliga strömmar. De följer samma riktning som rören, går samman vid akrylglaset för att vika av längs med den nedre halvan av bassängen (figur 4.20). Hastigheterna visas mellan 0,2 och 0,55 m/s.



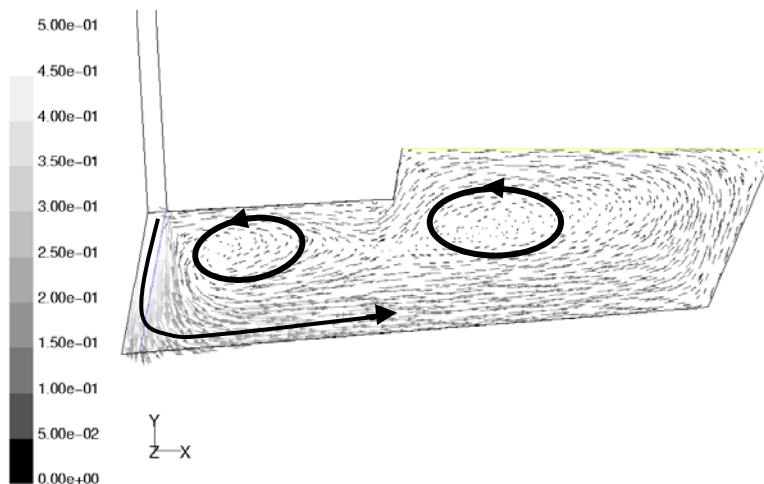
Figur 4.20: Strömmar med hastigheter mellan 0,2 och 0,55 m/s uppstår, orsakade av de tre olika inflödena. 100 % (34,5 l/s) av maxflödet.

Utformningen med inflödet från sidan ger en mer varierad flödesbild i vattenytan jämfört med de tidigare fallen. Vattnet rör sig åt många olika håll och det bildas virvlar i vattenytan.



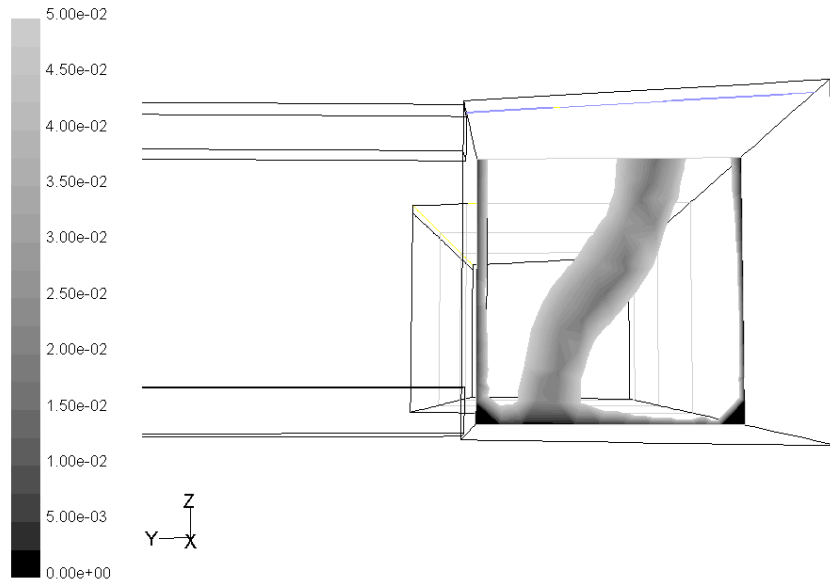
Figur 4.21: Flödesbilden i vattenytan vid 100 % av maxflödet (34,5 l/s).

Det bildas två större virvlar i vattenvolumen, en i den smala delen av bassängen och en vid hörnet i övergången mellan den smalare och den bredare delen av bassängen (se figur 4.22).

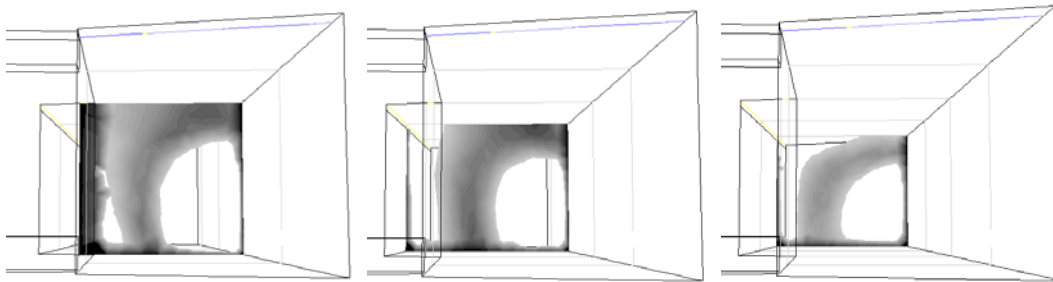


Figur 4.22: 100 % av maxflödet (34,5 l/s) på djupet 0,95 m. Det bildas två tydliga virvlar med låga hastigheter i centrum. Framme vid akrylglaslet är hastigheten högre, se även figur 4.21 ovan.

Virveln vid inflöde 1 ligger snett och har vid botten sitt centrum vid den bortre väggen sett från glasrutan och vid ytan intill glasrutan (se figur 4.23). Virveln vid hörnet sammanfaller med den lugnaste zonen i bassängen. Den lugna zonen (0-0,05 m/s) har störst utbredning i vattenytan. Mittan av bassängen är lugnast med ett område som täcker hela djupet och större delen av längden.



Figur 4.23: Utbredning av den lugna zonen vid flödet 34,5 l/s, på ytan $x=1,0$ m (se figur 4.7). De visade hastigheterna ligger mellan 0 och 0,05 m/s, resterande områden har högre hastigheter och visas inte. Observera att virveln i den smalare delen av bassängen har samma lutning som den lugna zonen har här.



Figur 4.24: Utbredning av den lugna zonen på ytorna $x=2,0$ m, $x=3,0$ m och $x=4,0$ m från vänster till höger. Samma färgskala som för $x=1,0$ m (figur 4.23).

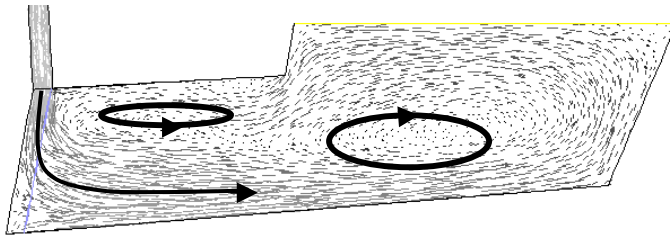
4.5.2 75 % av maximala flödet

Strömmarna vid 75 % av maximala flödet, domineras av inflödena från rören. Strömmen från det övre röret drivs dock ned av inflöde 1 och det bildas en nedåtgående ström under överfallet. Strömmen framme vid akrylglasets är inte lika kraftig som vid 100 % av det maximala flödet. De båda virvlarna ligger kvar i sina lägen och har ungefär samma utseende som förut. De lugna zonerna har ökat i utbredning men har kvar samma placering. De lägsta hastigheterna finns i vattenytan och i mitten av bassängen.

4.5.3 50 % av maximala flödet

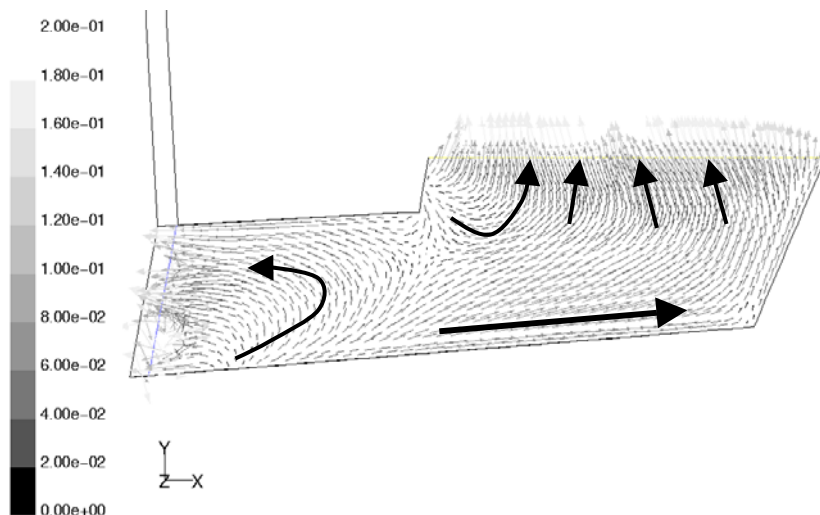
Vid detta flöde (24,0 l/s) är inverkan från inflöde 1 stor. Det bildas en nedåtgående ström av de två övre inflödena. Virvlarna finns kvar men har ändrat läge mot djupet, speciellt i den bredare delen av bassängen. Virveln blir större mot djupet och förflyttas snett ut från

hörnet mot mitten av bassängen. Den andra virvelns omkrets minskar och blir mer utsträckt och elliptisk, se figur 4.25.



Figur 4.25: Hastighetsfördelning vid 50 % av maxflödet (24 l/s) på djupet 0,95 m. Det bildas två tydliga virvlar med lugna hastigheter i centrum. Strömmen från det nedre röret viker tidigare av in mot bassängen.

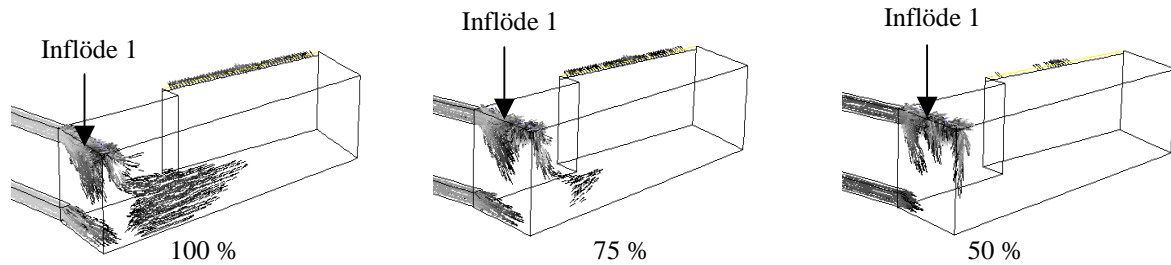
Större delen av vattnet i ytan rör sig mot utflödet. Hastigheterna är lägre än för fallet med inflödet 100 % (34,5 l/s). För en tydligare jämförelse mellan de olika inflödena se bilaga J. Bilagorna ger en tydligare bild av hastigheterna då de är i färg.



Figur 4.26: Flödesbilden i vattenytan vid 50 % av maxflödet jämför med figur 4.21.

4.5.4 Jämförelse mellan de olika flödena

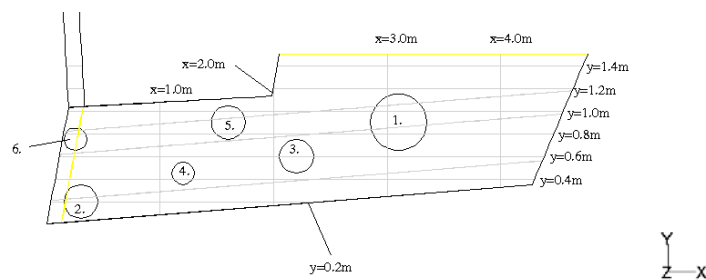
När flödet från rören sänks blir inflödet från Fjällsjön mer dominant. Eftersom inflödena från rören och Fjällsjön har olika riktning påverkas strömbilden mer av en flödessänkning än då rörinflödet kommer vid botten. De lugna zonerna blir större och ändrar läge (se bilaga J).



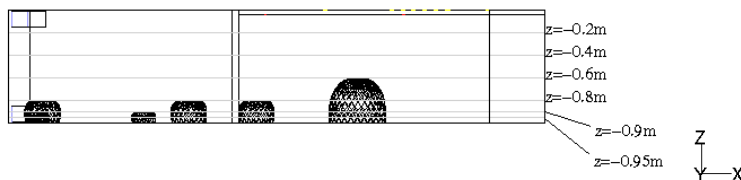
Figur 4.27: Jämförelse av de olika inflödesfallen. Bilderna visar hastigheter större än 0,2 m/s. Från vänster till höger: 100, 75 och 50 % av maxflödet. Man kan tydligt se hur inflöde 1 (med konstant inflöde 14 l/s) får större betydelse.

4.6 Älv med inflöde från sidan och hinder (stenar)

Då det tillkommande inflödet placeras i sidan fås en varierad flödesbild eftersom riktningarna på inflödet från sjön och från rören inte förstärker varandra, enligt kapitel 4.5. Tanken med att placera in stenar är att skapa ytterligare variation av flödesbilden, skydd och ståndplatser åt fiskarna. För detaljerade bilder av resultaten hänvisas till bilaga K.



Figur 4.28: Placering av de olika stenarna sett ovanifrån.



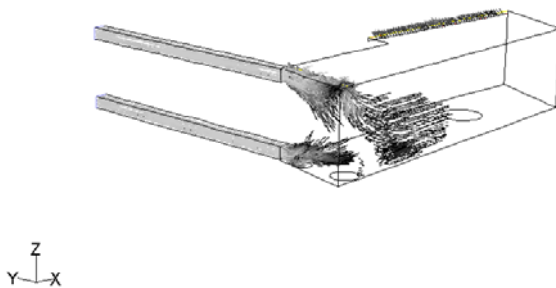
Figur 4.29: Stenarnas höjd och markering av djup. Bassängen är en meter djup.

Tabell 4.4: Hastigheter vid inflöde vid botten. De maximala hastigheterna uppnås där inflöde 1 träffar vattenytan. Hastigheterna vid botten blir störst vid inflödet från det nedersta röret.

Flöde	Bottenhastighet max m/s	Medelhastighet m/s	Hastighet vid utflödet m/s	Maxhastighet m/s
100 % 34,5 l/s	0,5	0,086	0,37	3,7
75 % 29,3 l/s	0,4	0,068	0,33	3,7
50 % 24,0 l/s	0,2	0,054	0,27	3,7

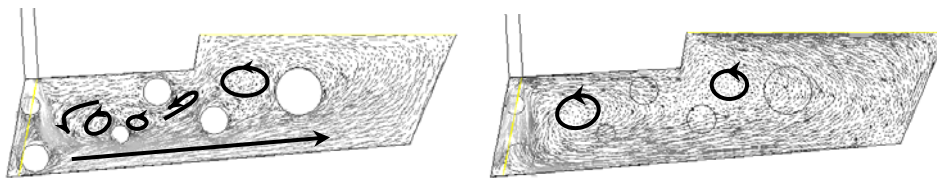
4.6.1 100 % av maximala flödet

De dominerande strömmarna vid inloppet ser ut som för samma fall utan hinder (kapitel 4.5) förutom att sten nummer 6 tvingar den nedre strömmen att vika av ut i bassängen innan den når akrylglasets, se figur 4.30 och 4.31.



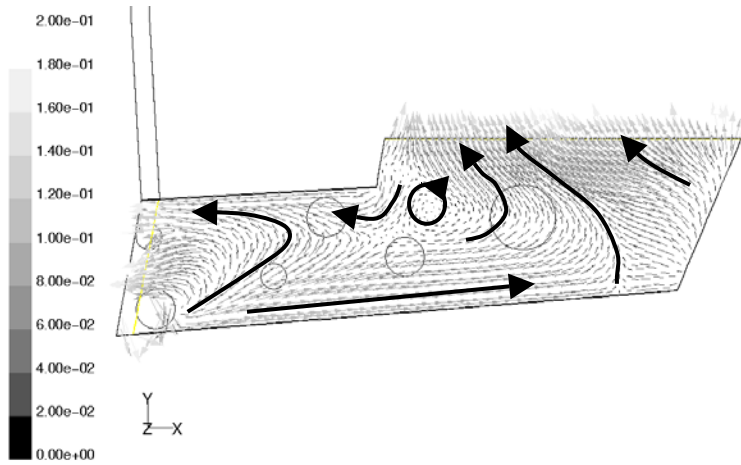
Figur 4.30: Hastighetsvektorer mellan 0,2 och 0,55 m/s, vid 100% av maxflödet 34,5 l/s. Man ser tydligt att sten nummer 6 styr ut den nedre av strömmarna i bassängen.

Längre ut i bassängen ger stenarna en mer varierad flödesbild jämfört med bassängen utan stenar, speciellt i den djupare delen. Det bildas flera mindre virvlar invid stenarna. Dessa virvlar avtar högre upp i bassängen och bildar två större virvlar som liknar det utseende som fallet utan stenar hade, se figur 4.31.



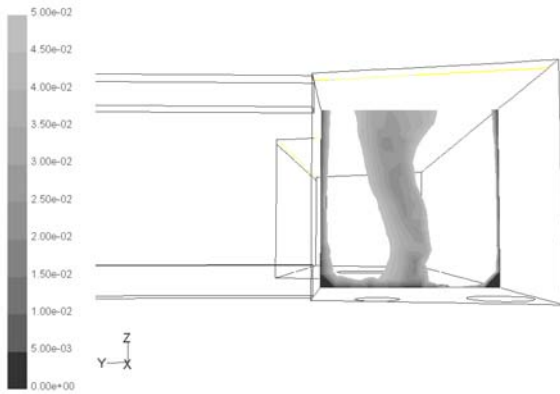
Figur 4.31: Första bilden visar de virvlar som bildas invid stenarna vid djupet 0,95 m. Den andra bilden visar hur virvlarna går ihop till två större virvlar vid djupet 0,2 m.

Även i vattenytan bidrar utformningen med inflödet från sidan till en mer varierad flödesbild i jämfört med de andra fallen. Vattnet rör sig åt många olika håll och det bildas virvlar i vattenytan. Stenarna bidrar till en mer varierad strömbild jämfört med samma fall utan stenar. Stenarna gör att det lokalt bildas fler lugna zoner.

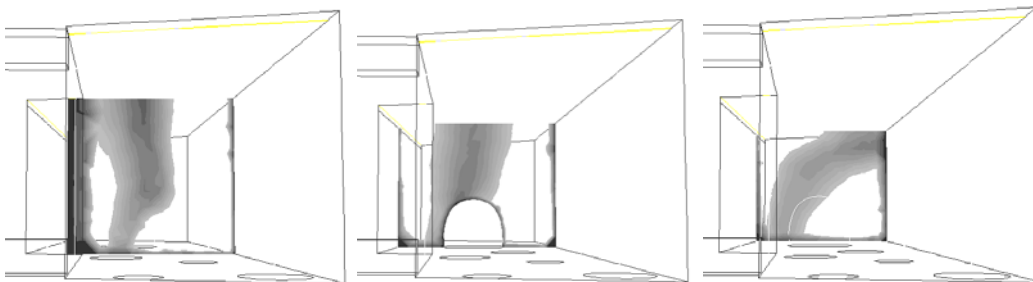


Figur 4.32: Strömning i vattenytan vid 100 % av maxinflödet (34,5 l/s).

Det är lugnast i mitten av bassängen men med ökande djup förflyttas den lugna zonen mot den borte väggen sett från glasrutan. Detta är särskilt tydligt i den bredare delen av bassängen.



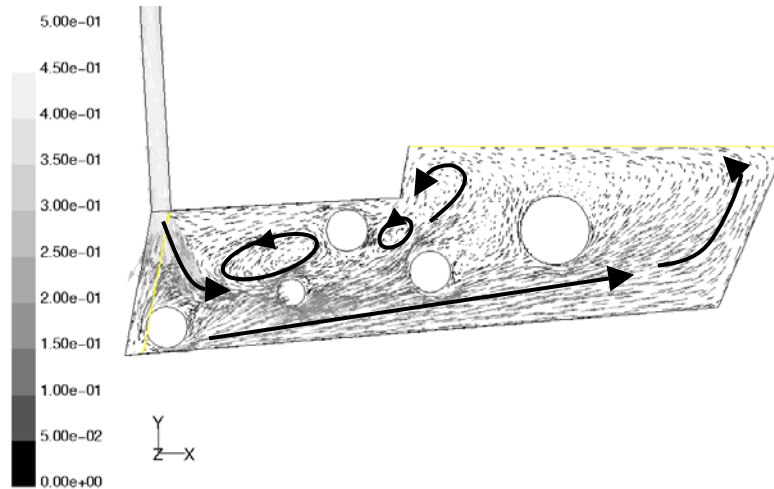
Figur 4.33: Utbredning av den lugna zonen på ytan $x=1,0$ m. Hastigheter mellan 0 och 0,05 m/s är redovisade här.



Figur 4.34 Utbredning av den lugna zonen på ytorna $x=2,0$ m, $x=3,0$ m och $x=4,0$ m från vänster till höger. Samma färgskala som för $x=1,0$ m, 0-0,05 m/s.

4.6.2 75 % av maximala flödet

Vid detta inflöde (29,2 l/s) sker samma försvagning av de dominerande strömmarna som vid 75 % av maximala inflödet utan hinder. Även i detta fall viker den nedre strömmen av tidigare. Längs akrylglasets och cirka 0,3 m in i bassängen går en ström med hastigheter på 0,12-0,18 m/s och vid detta flödet styrs den in mot mitten av bassängen av de utplacerade stenarna 3 och 4.

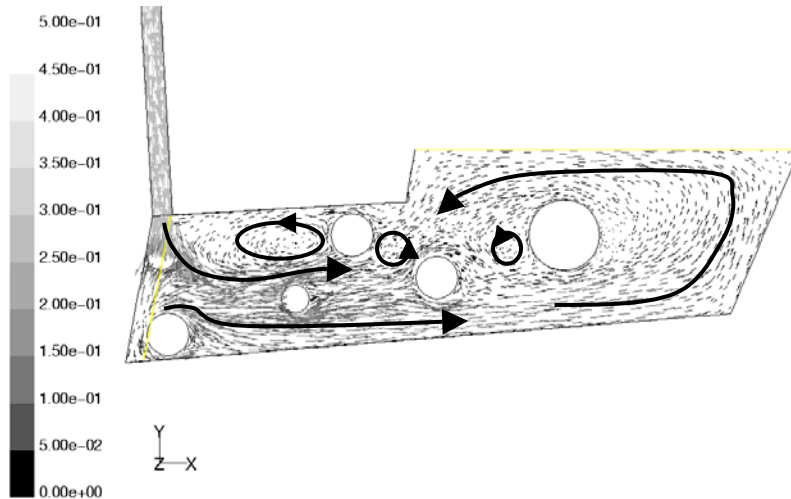


Figur 4.35: Strömning vid 75 % av maxflödet. Vid detta flöde bryts strömmen som går längs glasrutan av stenarna nr 1 och 3 (figur 4.28) och vrider sig in mot mitten av bassängen.

Längre upp mot vattenytan finns bara en dominerande virvel, placerad i den smalare delen av bassängen. Den lugna zonen har samma läge som innan men är mer uttalad och det finns större lugna zoner invid stenarna än innan. Flödet i vattenytan blir lugnare och jämnare än vid 100 % av maxflödet. Det bildas också en lugn zon i ytan framme vid akrylglasets.

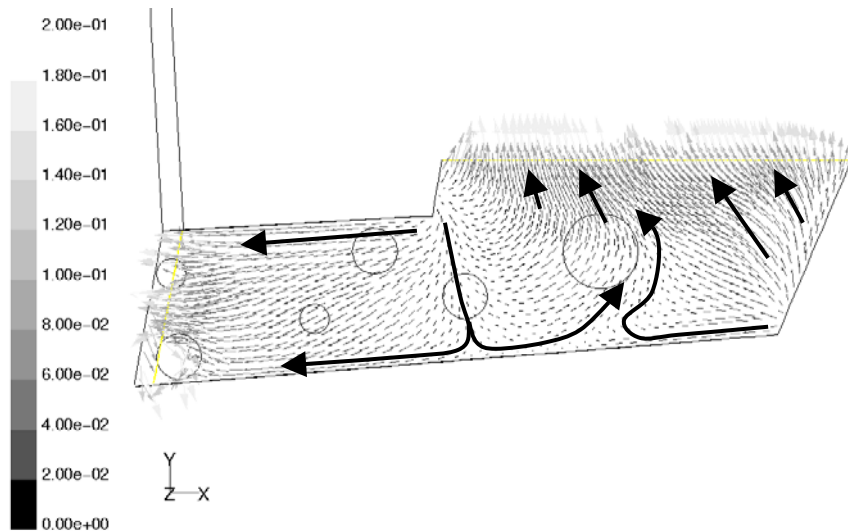
4.6.3 50 % av maximala flödet

Vid detta inflöde (24,0 l/s) dominerar inflöde 1 och bildar en nedåtgående ström från det översta röret, jämför med figur 4.27. Strömmen, som orsakas av inflödet från det lägsta röret, viker av tidigare in mot bassängen. Det finns ett antal mindre virvlar i nivå med stenarna varav man kan se två stycken längre upp i bassängen.



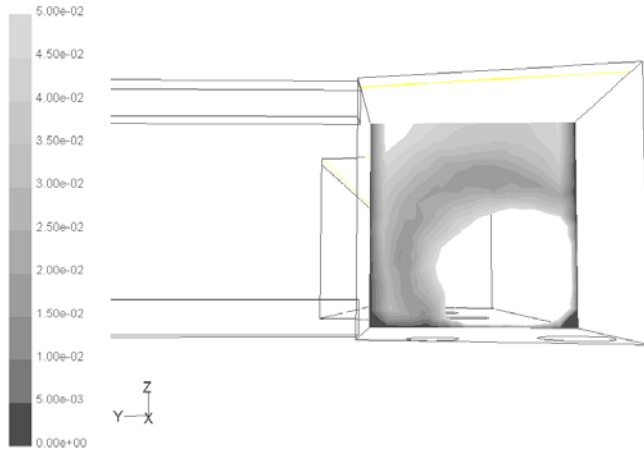
Figur 4.36: 50 % av maxflödet (24 l/s) vid djupet 0,95 m. Då inflöde 1 blir mer dominant viker strömmarna längs botten av tidigare.

Flödet i vattenytan blir lugnast vid 50 % av inflödet. Strömmen vid akrylglasets försvinner vid detta flödet och det bildas ett lugnt område vid mitten av glasrutan (figur 4.37).

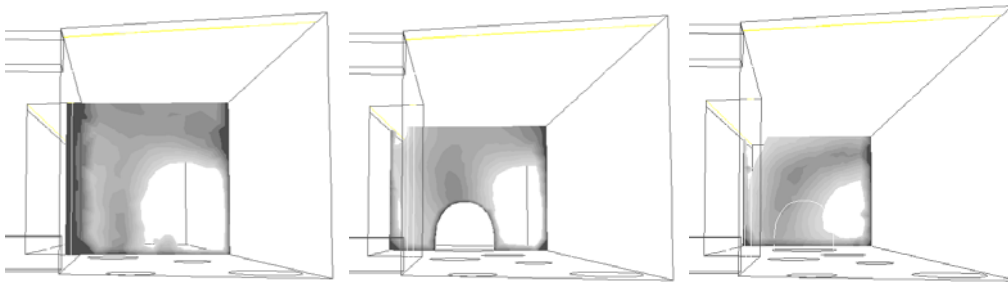


Figur 4.37: Vid 50 % av maxflödet (24 l/s) fås ett jämnare flöde i vattenytan än vid de högre flödena.

I och med att de dominerande strömmarna ändras, så förskjuts den lugna zonen mot den borte väggen och blir mycket mer uttalad i vattenytan över hela bassängen och ned till cirka 0,3 meters djup.



Figur 4.38: Utbredning av den lugna zonen på ytan $x=1,0$ m. Hastigheter inom intervallet $0-0,05$ m/s är redovisade.



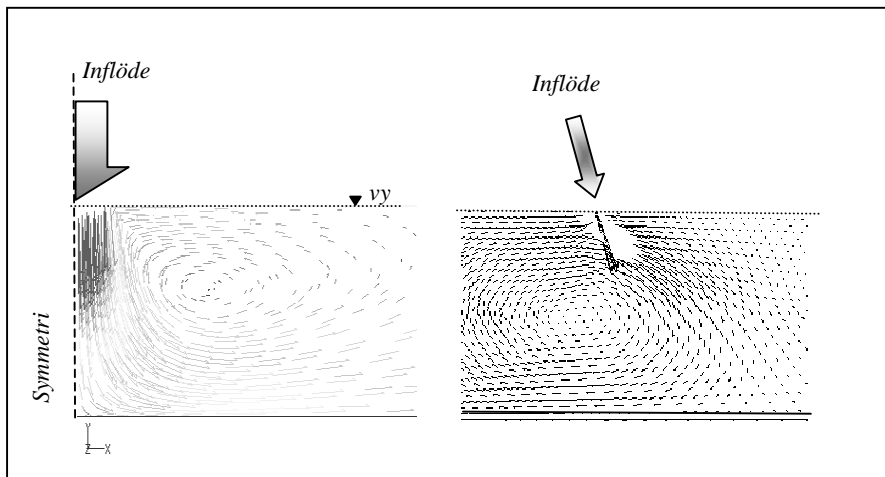
Figur4.39: Utbredning av den lugna zonen på ytorna $x=2,0$ m, $x=3,0$ m och $x=4,0$ m från vänster till höger. Samma färgskala som för $x=1,0$ m, $0-0,05$ m/s.

4.7 Jämförelse mellan de olika inflödena till älven

När flödet från rören minskas blir inflödet från Fjällsjön (inflöde 1) mer dominant. Eftersom inflödena från rören och Fjällsjön har olika riktning påverkas strömbilden mer av en flödessänkning än då rörinflödet kommer vid botten. De lugna zonerna blir större och ändrar läge (se bilaga K). Invid stenarna blir de lugna zonerna större vid lägre flöden. Vid högre flöden blir strömmen som går längs akrylglasets (se figur 4.31) koncentrerad och splittras inte av stenarna.

4.8 2D-studie

En tvådimensionell (2D) modell användes för att undersöka om det gick att få en lösning för den typ av inflöden som vi ville simulera samt för att undersöka strömbilden under dessa. 2D-simuleringen visade att hastigheterna blir höga på botten under och på sidan av inflödet, men att hastigheterna framför och bakom inte blir så höga (se figur 4.7). Simuleringar som gjordes för andra ordningens bakåtdifferens och olika värden på turbulensen vid inflödena gav samma resultat. Den tvådimensionella modellen jämfördes med inflödena i den tredimensionella för att verifiera att modellen räknade rätt vid inflödena i sjön.



Figur 4.40: 2D-modell av inflöde 1 till Fjällsjön, sett framifrån och från sidan.

4.9 Sammanfattning av resultat

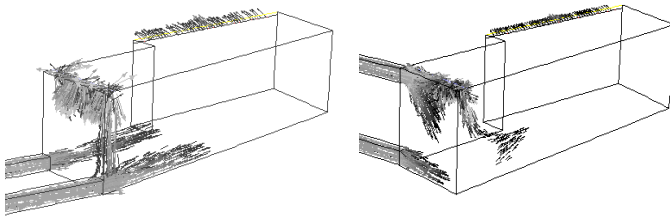
4.9.1 Fjällsjön

I sjön kommer vattnet i de två djupare delarna att röra sig mycket långsamt, medan vattnet i de grundare delarna får ett komplext rörelsemönster med stora variationer i riktning och hastighet. Generellt sett blir hastighetsintervallet större i simuleringen av sjö med grund än i den utan och det blir också en tydlig skillnad mellan snabba och lugna zoner. Med ett grund i sjön erhålls koncentrerade strömmar och höga hastigheter vid botten. I båda fallen blir hastigheterna under inflödena så höga att ett grovt bottenmaterial med en diameter av 15-20 mm krävs. Hastigheterna i vattenytan blir jämna utan grundet och högsta hastigheten blir cirka 5 cm/s.

4.9.2 Norrlandsälven

Bottenhastigheter - Bottenhastigheterna i älven blir lägst vid fallet med det diffusa inflödet (0,08 m/s). De andra inflödenas större hastigheter och närhet till botten ger större bottenhastigheter än vid diffust inflöde. För alla utformningar med inflöden från rör fås bottenhastigheter på cirka 0,6 m/s.

Flödesbild - De fall där inflödena inte förstärker varandra ger en mer varierad flödesbild, det vill säga fallen med inflöde från sidan. Då det sker en sänkning av flödet ändras flödesbilden mer när inflödena inte förstärker varandra. Detta eftersom inflöde 1 kommer att dominera flödet mer och dessutom har en riktning vinkelrät mot inflödena från rören. Vid inflödet vid botten av bassängen samverkar rörinflödena och inflöde 1 och olika storlek på inflödena ger fortfarande samma riktning på strömningen, se figur 4.41. Vid det diffusa flödet ändras inte flödesbilden vid ändrade inflödes hastigheter.



Figur 4.41: När inflödena inte samverkar fås en större ändring av flödesbilden vid ändrade inflödes-hastigheter än när de samverkar. Första bilden visar samverkande flöden. Inflöde vid botten och inflöde från sidan vid 75 % av maxflödet. Hastighetsvektorer större än 0,2 m/s.

Vattenytan - Vattenytan blir livligast för de fall där inflödena inte förstärker varandra och det bildas virvlar. Vattnet strömmar både mot utloppet och inflöde 1. Detta sker inte vid det diffusa inflödet, utan vattnet strömmar mot utloppet och uppvisar en homogen strömbild.

Påverkan av hinder - Inplacerade hinder ger en komplex strömning med ett flertal virvlar längs botten av bassängen. Stenarnas påverkan på strömningen är främst lokal. Det bildas flera små och lunga zoner alldeles intill stenarna.

Lugna områden - För att få en uppfattning om var i bassängen det är lugnt valdes områden inom intervallet 0-0,05 m/s ut. Det visade sig att en ganska stor, sammanhängande del av vattnet hade hastigheter inom detta intervall. Vid lägre flöden blev den lugna zonen alltid större.

5 Diskussion

5.1 Fjällsjön

Vattenhastigheter - Avsikten med att placera ett grund med en eka i sjön var dels att dela strömmen och dels att förhindra att hela sjön kan ses genom båda glasrutorna. Den mest påtagliga effekten av grundet blir att flödet genom sjön blir varierat, strömmarna blir koncentrerade och snabbare och de lugna zonerna tydligare. Medelhastigheten och de högsta hastigheterna blev högre i simuleringen med grund, men troligtvis beror det på att meshen var grövre i modellen över sjön utan grund. Ett grovt cellnät tar inte hänsyn till extrema värden som uppstår inom cellerna, och ger inte samma variation i hastigheterna som ett fint cellnät. Det går därför inte att göra en rättvis jämförelse av de två fallen genom att enbart titta på medel- eller extremvärden. Studerar man däremot plottarna med hastighetsvektorer (bilaga E och F) ser man att flödesbilden skiljer sig åt. Grundet gör att flödet komprimeras, vilket medför att strömmarnas hastighet blir högre än utan grund.

Vattenytan - Vattenhastigheterna i sjön blir låga både med och utan grund, i vattenytan rör sig vattnet som mest med hastigheter på 4-5 cm/s. Det är emellertid svårt för oss att bedöma hur vattenrörelserna kommer att uppfattas av publiken. Fjällsjön skall ge intryck av att vara en lugn sjö. Det kan då vara en fördel att de lugna zonerna ligger nära där publiken passerar. Inflödena i volym 2 gör att det blir strömmar och rörelse på ytan. Fördelarna med att inte ha ett grund är att flödet vid ytan blir jämnt, vattnet rör sig åt samma håll och på korta sträckor är variationerna i hastigheten små.

Lek - Strömdelaren medför att det bildas områden av olika karaktär i sjön. Vattnet rinner med något högre hastighet i det grunda området, vilket gör den delen till en bra lekplats för många fiskarter (se kapitel 2). Vid lekområden är det önskvärt att ha en viss omsättning på vattnet för att tillräckligt med syre skall tillföras till lekbädden. Då vattnet på sina ställen får något högre hastigheter både på de djupa och grunda områdena är möjligheten större att fiskarna skall hitta en passande biotop. Hastighetsgradienterna är höga på sina ställen och det blir en tydlig gräns mot det lugna området framför akrylglaset närmast inloppet (se figur 4.4).

Matning - Det lugna område, som nämns ovan, skulle kunna vara väl lämpat för matning, dels för att locka fram fiskarna framför rutan och dels för att vattnet rör sig så långsamt att det blir lätt att kontrollera vart födan tar vägen.

Placering av grundet - En nackdel med grundet är att vissa delar av sjön inte kommer att bli synliga för besökarna. Vi har diskuterat olika placering av grundet men kommit fram till att vald placering var mest intressant. Grundet kan inte placeras i någon av de djupare bassängerna eftersom grundet då skulle bli för tungt, maxlasten per kvadratmeter får inte överstiga 400 kN. Skulle man välja att vrida grundet skulle det antingen skymma en ännu större del av sjön eller bilda en barriär som stoppar upp strömmen.

Hastigheter vid botten - Bottenhastigheterna blir ganska höga i båda fallen. Att simuleringen av sjön utan grund gav lägre bottenhastigheter kan även det bero på ett grövre cellnät men även på minskad sjövolym. Precis under vattenytan vid inflödena är hastigheten ca 10 cm/s och för att bottenmaterialet inte skall spolats bort bör stenarna ha en diameter på minst 15 mm. I nästan hela volym 2 och i delar av volym 1 blir bottenhastigheterna över 3 cm/s. Bottensubstratet bör då ha en storlek av minst 2-3 mm i diameter för att det skall ligga still på botten (se diagram 2.1).

Omblandning - Resultatet av simuleringen med spårämnesförsök visade att genomströmning och omblandning av vattnet i sjön sker snabbt. Innebörden av detta är bland annat att en förorening i sjön mycket fort sprider sig i stora delar av vattenvolymen. För att förhindra vidare spridning till Norrlandsälven måste åtgärder vidtas inom 5 minuter. Högsta dosen av ämnet kommer troligtvis att uppträda i volym 2 runt inflöde 1 och i volym 1. Bäst klarar sig de djupare delarna i volym 3 och 4 men det är också där som låga halter av föroreningen kommer att dröja sig kvar längst tid.

Skulle man välja att mata fiskarna genom att tillsätta i vattnet "svävande" föda vid inflöde 1, kan man förvänta sig att en del av födan snabbt skulle transporteras förbi grundet i volym 1 och längs väggen ut i volym 4, medan andra delen skulle sprida sig i volym 2.

5.2 Norrlandsälven

Vattenhastigheter - I norrlandsälven strömmar vattnet snabbare än i sjön. Hastigheterna är dock inte så höga att fiskarna inte kan manövrera undan för hinder och utskjutande föremål. Det finns inte heller någon risk för att fisken kommer fastna mot nätet som skall sättas upp vid utflödet.

Variationer av flödesmängden - Reglering av flödet mellan maxflöde och 50 % av det samma ger, för inflödet från sidan, stora variationer i strömbilden. Ett minskat flöde nattetid, för att spara in på driftkostnader, kan vara påfrestande för fiskarna om de måste byta ståndplatser två gånger per dygn. Man kan tänka sig att konkurrens och stridigheter om de bästa ståndplatserna vid ett byte mellan ståndplatser är stressande för fisken, speciellt om den måste gå igenom samma procedur två gånger per dygn.

Hinder - Utplacering av hinder i bassängen är viktigt för att ge en varierande strömning och flera uppdelade lugna zoner. Stenar ger också höga hastighetsgradienter (snabba förändringar mellan snabbt och långsamt vatten). Detta kan vara gynnsamt för fisken, då den kan stå i det lugna vattnet och vänta på att den förbipasserande strömmen för med sig föda. När föda flyter förbi är det bara för fisken att pila ut och snappa upp maten och sedan återvända till det lugna vattnet. Flera större stenar som ligger nära och på varandra ger större intilliggande lugna zoner och möjligheter för mindre fiskar att söka skydd mellan syenarna. Stenar utplacerade med större mellanrum ger fler lugna zoner och fler ståndplatser. Då stenar placeras på botten av bassängen blir deras påverkan begränsad till den nedre delen av bassängen. För att skapa en varierad strömbild högre upp kan till

exempel trädstammar som sträcker sig genom hela djupet användas. För att skapa ytterligare variation kan betongväggen göras mer bucklig.

Estetik - Norrlandsälven skall ge intryck av att vara ett strömmande vattendrag. Detta intryck blir antagligen störst då hastigheterna i vattenytan är snabba och varierade. Störst variation fås vid inflöde från sidan med hinder och maxhastigheterna blir då 12 cm/s. De största hastigheterna i vattenytan fås för fallet med det diffusa inflödet och de ligger då på 30 cm/s.

Lek- Möjligheterna till lek i Norrlandsälven är begränsade. De flesta av fiskarterna vill leka i grunda vatten som är cirka 30 centimeter djupa och älven är 1 meter djup. Bottenhastigheterna skulle kunna lämpa sig för laxen, som leker vid hastigheter på 0,3 m/s, och harren, som leker vid hastigheter mellan 0,2 och 0,9 m/s.

Hastigheter vid botten - Eftersom vattenhastigheterna i Norrlandsälven blir högre än i sjön krävs det grövre bottenmaterial. För de högsta bottenhastigheterna på 50 cm/s skulle det krävas stenar som är cirka 5 cm i diameter. Som tur är så är utbredningen av dessa hastigheter begränsad till precis vid rörinflödena varför man kan använda ett mindre grovt material i resten av bassängen (cirka 3 cm). Bottenmaterialet kommer troligen att fördela sig i bassängen efter vattenhastigheter och diameter. Där det är lägre hastigheter kommer finare material att sedimentera och vid höga hastigheter kommer det att föras med i strömmen. Denna process kommer att, om flödet inte ändras, avstanna och materialet kommer att ligga still. Vid flödesvariationer där hastighet och strömbild ändras kommer bottenmaterialet att förflytta sig. Häftiga ändringar i flöde bör därför undvikas.

Matning - Det är svårt att säga något om lämpliga platser för matning i älven. En mycket varierad strömbild ger en stor omblandning och en snabb fördelning av mat i hela vattenvolymen. Det finns en risk vid det diffusa inflödet att maten snabbt förs vidare ut genom utflödet innan fisken hinner äta.

6 Slutsatser

Det som är viktigast för fiskarna är att det finns variationer i ett vattendrag. Det skall bland annat finnas platser för skydd och vila. För att åstadkomma detta bör miljön varieras till exempel med hinder, stenar, trädstammar och vegetation. De vattenhastigheter som erhålls i sjön och älven påverkas naturligtvis av inloppens utformning, men blir inte så stora att de kommer ha avgörande betydelse för fiskarnas levnadsmiljö. Fiskarna kommer med goda marginaler att klara dessa vattenhastigheter.

- Utplacering av hinder ger en mer varierad flödesbild både för Fjällsjön och Norrlandsälven. Det bildas mer avgränsade lugna och snabba zoner i sjön och i älven bildas fler lugna zoner som är skilda ifrån varandra.
- Utplacering av stenar och hinder är bra för fiskarna då de erbjuder skydd och ståndplatser där hastigheterna är lägre.
- Hastigheterna blir störst precis vid inflödena men avtar snabbt.
- Vattenhastigheterna är, för alla modellerade fall av Norrlandsälven och Fjällsjön, så låga att fiskarna inte kommer till direkt skada. I detta avseende kommer inte maxhastigheterna nära de hastigheter som krävs för att fiskarna skall förlora kontrollen.
- På det största djupet i sjön kommer en biobädd för rening av vattnet att placeras. I denna delen av sjön är omsättningen av vatten låg och det finns en risk att större delen av vattenmängden passerar förbi i de övre lagren av sjön utan att renas.
- Då inflödena till Norrlandsälven inte samverkar erhålls en mer varierad flödesbild än när de samverkar. För en varierad flödesbild bör fallet med inflöde från sidan med stenar att väljas. Troligen så kan man styra flödet avsevärt genom att placera stenar på strategiska ställen. Stenar och hinder betyder antagligen mycket oavsett vilken utformning på inflöde man väljer.
- Det blir svårt för vissa fiskarter att leka i Norrlandsälven eftersom det saknas möjlighet till vandring. Antagligen så kommer leken att begränsas av att fiskbeståndet kommer att vara tätare än i naturen. Ägg blir föda åt andra fiskar och för fortplantning krävs bra gömställen både för ägg och yngel.
- Fallet med diffust inflöde och inflöde vid botten ger minst ändring av flödesbilden då flödet minskas. Det kan vara bra att välja denna utformning om flödet skall sänkas på natten.

Vår rekommendation är att skapa en så omväxlande miljö som möjligt. Det som ser bra ut för besökaren kommer antagligen att fungera flödesmässigt. Stora variationer av flödet mellan dag och natt bör undvikas.

7 Referenser

- Allan, J. D. (1995) *Stream Ecology, Structure and function of running waters*. London: Chapman & Hall. UK, ISBN 0 412 355302
- Chapra S. C.(1997) *Surface water-quality modeling* Singapore: McGraw-Hill Companies Inc. Singapore, ISBN 0-07-011364-5
- Crowder, D. W. och Diplas, P. (2000) *Using two-dimensional hydrodynamic models at scales of ecological importance, Journal of Hydrology, USA, Blacksburg:* Department of Civil and Environmental Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, Volume 230 p.172-191.
- Curry-Lindahl. (1985) *Våra fiskar*, P.A. Norstedt & Söners Förlag
- FLUENT 5 User's Guide*. (1998). Fluent inc. USA
- Gordon, N. McMahon, T. Finlayson, B.(1992) *Stream hydrology an introduction for Ecologists*. John Wiley & Sons Ltd. ISBN 0-471-93084-9
- Hägström, S (1992) *Hydraulik för V-teknologer*. undervisningsskrift 1988:6.Institutionen för Vattenbyggnad. Chalmers Tekniska Högskola Göteborg
- Johlander, A. (1997a) Vattnet och vattendraget. Järvi T (Ed.) *Fiskevård i rinnande vatten, Råd och anvisningar från fiskeriverket*. Arvika: Egget förlag. s19-32. ISBN 91-630-5678-x
- Johlander, A. (1997b) Fiskvägar. Järvi T(Ed.) *Fiskevård i rinnande vatten, Råd och anvisningar från fiskeriverket*. Arvika: Egget förlag. s153-168. ISBN 91-630-5678-x
- Johlander,A och Näslund, I. (1997) Det rinnande vattnets ekologi. Järvi T(Ed.) *Fiskevård i rinnande vatten, Råd och anvisningar från fiskeriverket*. Arvika: Egget förlag. s 33-41. ISBN 91-630-5678-x
- Jonasson, D. och Näslund, I. (1997) Biotopvård i vattendrag. Järvi T(Ed.) *Fiskevård i rinnande vatten, Råd och anvisningar från fiskeriverket*. Arvika: Egget förlag. s 97-108. ISBN 91-630-5678-x
- Järvi,T. (1997) Laxfiskarnas biologi, Det rinnande vattnets ekologi. Järvi T(Ed.) *Fiskevård i rinnande vatten, Råd och anvisningar från fiskeriverket*. Arvika: Egget förlag. s 43-54. ISBN 91-630-5678-x
- Loberg, B. (1980) *Geologi Material, processer och Sveriges berggrund*. Stockholm: P A Nordstedt & Söners förlag. ISBN-91-1-804182-5
- Montén, E. (1985) *Fisk och turbiner*. Stockholm: Vattenfall. ISBN91-7186-243-9

Rodi, W (1993). *Turbulence models and their applications in hydraulics a state-of-the-art review*. Rotterdam: IAHR monograph series. ISBN-90-5410-150-4

Rörbok yttre rörledning red. av Dan Ekbäck, Börje Hedman, (1983) Stockholm: Svensk Byggtjänst ISBN-91-7332-186-9

Veersteg, H.K. and Malalasekera, W.(1995) *An introduction to Computational Fluid Dynamics*. London: Longman group. ISBN-0-582-21884-5

Wingårdh Arkitektkontor AB (1999) *Korsvägen Vetenskapscentrum*, Systemhandling april 1999

Vogel, S. (1994) *Life in moving fluids*, New Jersey, USA: Princeton University Press. ISBN 0-691-03485-0

Personliga kontakter

Peter Örn ansvarig för Svenska Landskap på Vetenskapscentrum Korsvägen

Elektroniska källor

Kullander, S.O. (1999a) Svenska fiskar: sandkrypare. World Wide Web elektronisk publikation; Naturhistoriska riksmuseet.
http://www.nrm.se/ve/pisces/go_gobio.shtml.se, 2000-06-13

Kullander, S.O. (1999b). Svenska fiskar: nissöga. World Wide Web elektronisk publikation; Naturhistoriska riksmuseet.
http://www.nrm.se/ve/pisces/co_taeni.shtml.se, 2000-06-13

Lundberg, S. (1999) Svenska fiskar: grönling. World Wide Web elektronisk publikation; Naturhistoriska riksmuseet.
http://www.nrm.se/ve/pisces/ba_barba.shtml.se, 2000-06-13

McGraw-Hill Multimedia Encyclopedia of Science & Technology, version 2.0, (1995), Mc Graw-Hill, Inc.

National Encyklopedin, v 2.0 publicerad augusti 1998 CD-ROM för PC
Höganäs: Bokförlaget Bra Böcker AB ISBN: 91-7133-486-6

Programvara

Fluent 5.3.18, 1998 Fluent inc. USA

Gambit 1.2.2 Copyright 1988-1999 Fluent inc. USA

Ordlista

algebraisk	en kontinuerlig funktion h definierad i en öppen delmängd av det komplexa talplanet för vilken det finns ett polynom $v(x,y)$ så att $v(x,h(x))=0$. (NE, 1998)
bakåtdifferens	Värdet i ytan mellan två element approximeras med värdet i uppströms-elementet (Chapra, 1997)
biotop	biotopen är den yttre värld i vilken ett visst växt- eller djursamhälle hör hemma. Biotopens karaktär beror av t.ex. vindrörelser, ljus temperatur, pH-värde eller vilka organismer som lever där. (NE, 1998)
CFD	Datorstödda beräkningar inom fluiddynamik (German och Kant, 1997). Numeriska approximationen av lösningen till matematiska modeller av fluidrörelse. <i>Computational fluid dynamics</i> är ett av verktygen vid sidan av experiment och teoretiska metoder. (McGrawhill, 1995)
diffusion	samlade term för processer i natur och samhälle som medför att något element breder ut sig stegvis omkring en begynnelseort. (NE, 1998)
dispersion	dispersion är resultatet av att hastigheten varierar i rummet. Vid tex rörströmning är hastigheten nära väggarna lägre än hastigheten mitt i röret. (Chapra, 1997)
divergens	isärgående, spridning åt olika håll (motsatsen till konvergens) (NE, 1998)
drift	alger och plankton som kommer drivande med strömmen (Näslund och Johlander, 1997)
erosion	nötning av berggrund och jordtäckte genom rinnande vatten, vind, vågor eller glaciäris. (NE, 1998)
FVM	Finite volymmetoden, numerisk lösningsmetodik för differentialekvationer.
gränsskikt	det skikt vid en yta, inom vilket fluidens hastighet understiger 99 % av medelhastigheten (Häggström, 1992)
habitat	en karaktäristisk miljö där en viss växt eller ett djur lever (Järvi, 1997)
hölja	fördjupning i botten av vattendraget (Näslund o Jonasson, 1997)
konvergens	närmande från olika håll till ett visst värde, (NE, 1998)
laminär	strömning av en fluid (gas eller vätska), där fluidens rörelse kan sägas vara välordnad (all rörelse sker i skikt i strömningsriktningen). (NE, 1998)
lek	term inom zoologin. Dels åsyftas fortplantning hos fiskar och groddjur, dels åsyftas en typ av parningsbeteende (i vissa fall kallat spel). (NE, 1998)
mesh	cellnät som används för att dela in modellen i små element
newtonsk vätska	vätska utan elasticitet (NE, 1998), dvs densiteten är konstant.

numerisk	som är uttryckt i eller avser siffror, siffermässig. (NE, 1998)
pelagisk	sägs en organism vara som lever i de fria vattenmassorna i hav och insjöar, normalt dock inte gränsytorna mot luft resp. botten. (NE, 1998)
postprocessor	Del av beräkningsprogram där efterbehandling av beräkningsresultat sker. (German och Kant, 1997)
preprocessor	Dataprogram var i geometri och beräkningsnät till en modellen skapas. (Veersteg et al, 1995)
relaxation	Parameter i lösningen som bestämmer hur stor del av av lösningen som skall användas i efterföljande iteration. (German och Kant, 1997)
respiration	Fastän växterna genom fotosyntesen förbrukar koldioxid och bildar syrgas och skaffar sig energi genom insamling av solljus, har de också behov av andning för att göra energi tillgänglig i de växtdelar där fotosyntesen inte äger rum. Hos bland annat vattenväxter och mossor samt i finare rötter kan syrgas diffundera in genom hela ytan. (NE, 1998)
råhet	<i>Sandråhet</i> , den kornstorlek, som i ett rör med pålimmade korn ger samma friktionsfaktor som det aktuella materialet (Häggström, 1992).
sedimentation	då de fasta partiklarna sjunker till botten och bildar ett sediment. (NE, 1998)
simulering	att representera ett system med ett annat, i avsikt att studera dess dynamiska uppförande eller för att under laboratorieförhållanden träna behärskandet av systemet. (NE, 1998)
smolt	uppväxtstadium hos fiskarten lax (NE, 1998)
solver	dataprogram där simulering av modell sker (Veersteg et al, 1995).
spårämne	ämne som förekommer i låg koncentration i ett prov, vanligtvis under 0,01%. (NE, 1998)
stabilitet	i allmän betydelse och inom fysiken egenskap hos ett system i jämvikt. Om ett system efter en liten rubbning från jämviktsläget strävar att återvända till detta är jämvikten stabil. (NE, 1998)
transient	varierande över tiden
trunkeringsfel	det fel som uppstår då man vid problemlösning ersätter en oändlig matematisk process eller storhet med en ändlig. (NE, 1998)
turbulens	inom hydromekaniken kaotisk rörelse överlagrad medelströmningen i en fluid. Motsatsen är en laminär strömning; den vanligaste strömningen är turbulent. Turbulensen kännetecknas av oregelbundenhet i tid och rum samt stor virvelintensitet. (NE, 1998)
viskositet	segghet, egenskap hos fluider, dvs. vätskor och gaser, som beror av den inre friktionen. (NE, 1998)

Bilagor

- A. Fiskarters placering i Svenska Landskap**
- B. Beräkning av inflödenas lägen och hastigheter**
- C. Computational fluid dynamics**
- D. Cellnätets uppbyggnad**
- E. Simulering av sjö utan grund**
- F. Simulering av sjö med grund**
- G. Simulering av spårämnesförsök**
- H. Resultat från älv med inflöde vid botten**
- I. Resultat från älv med diffust inflöde**
- J. Resultat från älv med inflöde från sidan**
- K. Resultat från älv med inflöde från sidan och hinder**

BILAGA A

Fiskarters placering i Svenska Landskap

A. Fiskarters placering i Svenska Landskapet

Fallbäcken

Bäckröding

Fjällbäcken

Bäckröding

Stensimpa

Fjällsjön

Gärs

Harr

Mört

Nors

Öring

Röding

Sik

Siklöja

Norrlandsälven

Bergsimpa,

Elritsa

Grönling

Harr

Id

Lax

Nissöga

Sandkrypare

Stäm

Flodpärlmussla

Sjön

Aborre

Benlöja

Björkna

Braxen

Faren

Groplöja

Karp

Mört

Ruda

Sarv

Sutare

Vimma

Dammussla

Östersjön

Aborre

Asp

Gädda

Gös

Lax

Mal

Piggvar

Sandskädda

Simpor

Skrubbskädda

Stör

Torsk

Östersjömussla

BILAGA B

Beräkning av inflödenas lägen och hastigheter

BILAGA C

Computational fluid dynamics

Computational fluid dynamics

Datorstödd beräkning fluiddynamik

Vid flöden genom komplicerade geometrier går det oftast inte att beräkna flödet analytiskt. Man kan behöva göra modeller och experiment för att få en uppskattning av flödet. Behovet av att kunna göra detta har lett till utvecklingen av CFD (Computational Fluid Dynamics), vilket är ett sätt att analysera flödessystem med hjälp av datorsimulering. För att slippa alltför omfattande experiment kan man med hjälp av finita volymmetoden göra beräkningar vars riktighet sedan kan bekräftas empiriskt.

Matematiska modeller

Många fysikaliska problem kan beskrivas med matematiska modeller. Vissa problem är dock mer komplicerade än andra och för vissa fall krävs förenklingar. Ofta beskrivs problemen med differentialekvationer till exempel för värmeledning och strömning. De flödesekvationer som används i dagsläget bygger på konserveringslagarna, det vill säga att massflödet är konstant, Newtons 2:a lag och termodynamikens 1:a lag (se nedan).

Konserveringslagar

Konserveringslagarna säger att en viss fysikalisk storhet inte ändras under en process även om andra parametrar ändrar sina värden. Detta kan ge en förenkling av komplexa processer som kan vara svåra eller omöjliga att lösa med hjälp av en detaljerad matematisk beskrivning (NE, 1998). De flödesekvationer som används i dagsläget bygger på konserveringslagarna, det vill säga att massflödet är konstant, Newtons 2:a lag och termodynamikens 1:a lag (se nedan) (Veersteg et al 1995). Tre av den klassiska fysikens konserveringslagar berör rummets och tidens egenskaper. Energilagen säger att den totala energin hos ett isolerat system är konstant. Rörelsemängdslagen säger att ett isolerat systems rörelsemängd är konstant. Rörelsemängdsmomentlagen säger att ett isolerat systems rörelsemängdsmoment är bevarat. (NE, 1998)

Energi

Energi kan inte skapas eller förstöras bara ändras från en form till en annan (Termodynamikens första lag). Detta leder till att i ett slutet system är summan av all energi i olika former konstant (McGraw-Hill, 1995).

Energin inom ett system kan ha varierande former som till exempel kinetisk-, potentiell-, magnetisk- eller värmeenergi. Med tiden tenderar energin att bli alltmer svårtillgänglig men den totala mängden energi i ett slutet system är fortfarande konstant.

Energiekvationer kan härledas från termodynamikens första lag och innebär att en partikels energiförändring är lika stor som summan av den värmeenergi som bildas och

det arbete som partikeln utsätts för. Det arbete, som en vätskepartikel utsätts för från en ytkraft, är lika med produkten av kraften och hastigheten i kraftens riktning. Med ytkrafter avses tryck eller viskösa krafter.

Massa

Massa kan varken skapas eller förstöras. Vid till exempel kemiska reaktioner är massan av de ingående ämnena oförändrad även om det bildas nya ämnen.

Massflödet in i ett element är lika stort som summan av massflödet ut ur elementet och ökningen av massa i elementet. Massflödet kan beräknas som en produkt av densitet, area och hastighet vinkelrätt ytan. Flöden in i elementet ger ett tillskott och betecknas med ett positivt tecken och flödet ut ur elementet får då ett negativt tecken. Genom att ställa upp och förenkla massbalanser för ett element i en inkompressibel vätska, erhålls följande kontinuitetsekvation:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \text{ekv 1}$$

Där u är hastigheten i x -led, v i y -led och w i z -led.

Rörelsemängd

Rörelsemängd definieras som produkten av en kropps hastighet och massa. Enligt Newtons andra lag är förändringen i rörelsemängd hos en partikel lika med summan av alla krafter som verkar på partikeln (Veersteg et al 1995). Rörelsemängdslagen säger att ett isolerat systems rörelsemängd är konstant. Ändringen av systemets rörelsemängd beror enbart på yttre krafter. I Newtons andra lag definieras kraften, som verkar på en kropp, som ändringen av kroppens impuls per sekund. (NE, 1998)

Ett element i en vätska utsätts för tryck i rörelseriktningen och för skjuvspänningar vid ytan, vilka uppstår till följd av inre friktion i vätskan (viskositet). Vid strömning motverkar viskositeten hastighetsförändringar mellan skikt i vätskan och en del av rörelseenergin övergår till värme. Trycket betecknas p och skjuvspänningarna τ_{ij} där j avser skjuvspänningens riktning på en yta vinkelrätt i -riktningen.

Bilaga C

Rörelsemängdsekvationerna i x-, y- respektive z-riktningen:

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \quad \text{ekv 2}$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial(-p + \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \quad \text{ekv 3}$$

$$\rho \frac{Dz}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial(-p + \tau_{zz})}{\partial z} \quad \text{ekv 4}$$

där u , v och w är hastigheten i x-,y- respektive z-led och ρ är densiteten.

Navier-Stokes ekvationer för en Newtonsk vätska

Navier-Stokes ekvationer kan härledas från bevarandet av massa, energi och rörelsemängd. Navier-Stokes ekvationer utgörs av tre differentialekvationer som beskriver bevarandet av en viskös vätskas rörelsemängd. För en newtonsk, inkompressibel vätska kan viskositeten uttryckas med hjälp av en dynamisk viskositetskonstant μ , som beskriver sambandet mellan vätskans inre friktion och linjära deformationer. Ekvationerna 2, 3 och 4 kan då med hjälp av kontinuitetsekvationen (ekv 1) skrivas om enligt nedan:

$$\frac{Du}{Dt} = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad \text{ekv 5}$$

$$\frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad \text{ekv 6}$$

$$\frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad \text{ekv 7}$$

Ekvationen gäller för infinitesimalt små element i en inkompressibel vätska vid laminärt flöde och tar ingen hänsyn till turbulens. Eftersom densiteten är konstant behöver inte gravitationen tas med i beräkningarna.

Turbulens

Turbulens uppstår ur instabiliteter i laminär strömning av fluider med låg viskositet, till exempel vatten och luft och kan beskrivas som ett tillstånd av kontinuerlig instabilitet (NE, 1998). Vid turbulent flöde är Reynolds tal höga. En kaotisk och slumpmässig rörelse med stora variationer i tryck och hastighet uppstår (Veersteg et al 1995). Turbulensen kännetecknas av oregelbundenhet i tid och rum samt stor virvelintensitet. Hastighetsfluktuationerna ger upphov till ytterligare krafter, så kallade Reynoldskrafter, i fluiden (Veersteg et al 1995). Reynolds tal ger ett mått på inverkan av inre friktion på en gas eller vätska i rörelse. För stora värden på Reynolds tal är denna inverkan liten och för låga värden är den stor (NE, 1998).

I turbulenta flöden uppkommer virvelströmmar av varierande storlek, de största virvlarna kan vara tusentals gånger större än de minsta (NE, 1998). De minsta virvlarna är så små och rör sig så fort att de skulle behövas en extremt hög upplösning för att simulera dem i CFD. Med dagens datorer är detta inte möjligt. För att kunna simulera de virvlar som är mindre än de i modellen minsta elementen, kan Navier-Stokes ekvation istället kompletteras med en turbulensmodell. Turbulensmodellen baseras på en förenkling, där hastighet och tryck delas upp i ett medelvärde (U resp P) med en fluktuerande komponent ($u'(t)$ respektive $p'(t)$).

$$\begin{aligned} U_i &= \bar{U} + u'(t) \\ P_i &= \bar{P} + p'(t) \end{aligned} \quad \text{ekv 8a-b}$$

där

U_i, P_i = hastighet respektive tryck i i-riktningen
 \bar{U}, \bar{P} = medelhastighet respektive medeltryck
 $u'(t), p'(t)$ = hastighets- respektive tryckfluktuationer

Om ekvationerna 8 a-b sättes in i Navier-Stokes ekvationer (ekv 5-7) erhålls följande uttryck:

$$\frac{\partial U_j}{\partial x_j} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu}{\rho} \frac{\partial U_i}{\partial x_i} - \overline{u_i u_j} \right] \quad \text{ekv 9}$$

Termen $\overline{u_i u_j}$ kallas för Reynolds spänningsterm.

k-ε modellen

K-ε modellen är den mest använda turbulensmodellen och är också den modell vi har valt att använda i simuleringen i Fluent. Modellen tar hänsyn till turbulens och diffusion samt

Bilaga C

för uppkomst och utsläckning av turbulens. Två transportekvationer skall lösas, en för den kinetiska energin k och en för dissipationshastigheten ε för den kinetiska energin.

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] - \overline{\rho u_i' u_j'} \frac{\partial u_i}{\partial x_i} - \rho \varepsilon \quad \text{ekv 10}$$

(I) (II) (III) (IV)

$$\rho \frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] - C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} \left(\overline{\rho u_i' u_j'} \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad \text{ekv 11}$$

(I) (II) (III) (IV)

där

k = kinetiska medelenergin

μ = viskositets konstant

$\sigma_k, \sigma_\varepsilon$ = Prandtl tal

$C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}$ = konstanter

$\mu_t = C\rho\ell\mathcal{G}$ = turbulenta virvelviskositeten

C = dimensionslös proportionalitetskonstant

ℓ uttrycker en längdskala (m)

\mathcal{G} uttrycker en hastighetsskala (m/s)

Vänsterledet (I) i ekvationerna uttrycker ökning och transport på grund av konvektion för k eller ε . Del två (II) i högerledet är transport av k eller ε på grund av diffusion. Tredje (III) och fjärde (IV) delen uttrycker produktion respektive utsläckning av k eller ε .

Diffusion

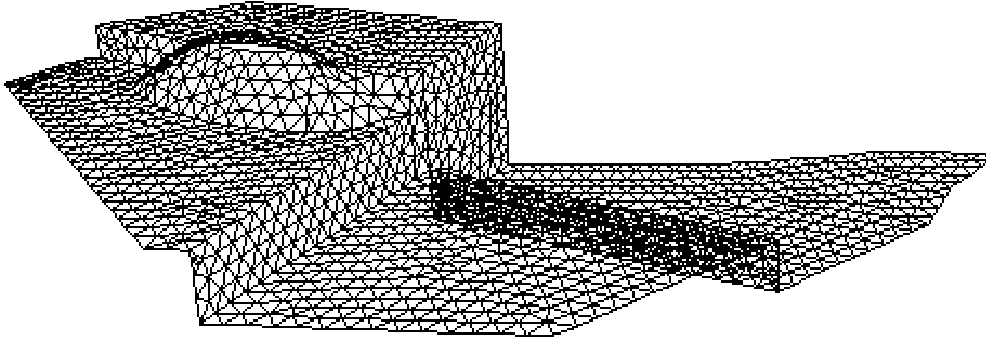
I Fluent beräknas både molekylär och konvektiv diffusion (dispersion) varav den konvektiva är styrande för turbulent strömning. Molekylär diffusion sprider sig lika snabbt i alla riktningar och kan beräknas med centraldifferens.

Diffusion som orsakas av konvektion sprids bara i flödesriktningen då den styrs av flödet. För beräkning behövs en modell som tar hänsyn till flödesriktningen med hjälp av bakåtdifferens. Bakåtdifferens kan dock ge för stora värden på diffusionen om hastighetsvektorerna inte är parallella med någon axel i koordinatsystemet (Versteeg 1995 s.120).

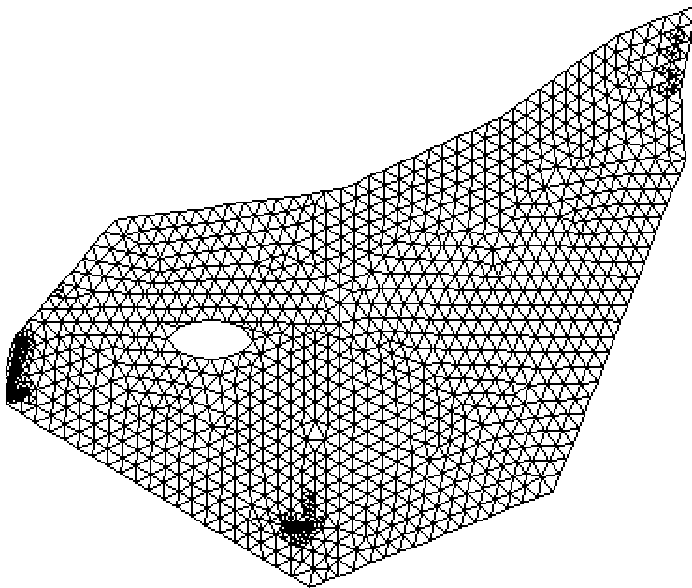
BILAGA D

Cellnätets uppbyggnad

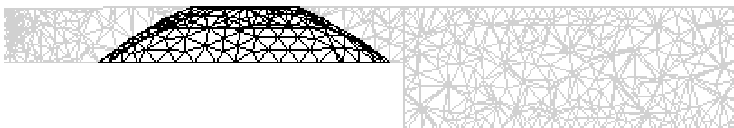
Meshens uppbyggnad i sjön



Figur D. 1: Meshens upplägning på bottenytan respektive grund.

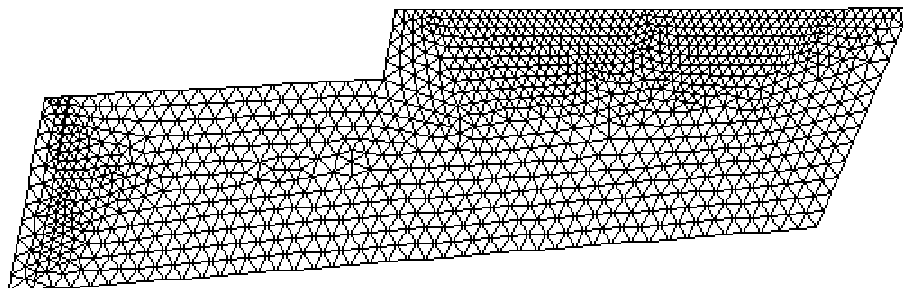


Figur D.2: Meshens upplägg i vattenytan

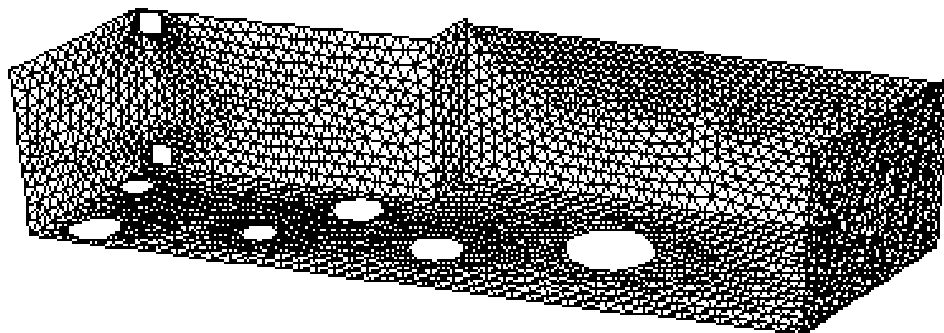


Figur D. 3 Meshens uppbyggnad i ett snitt genom sjön samt på ytan av grundet.

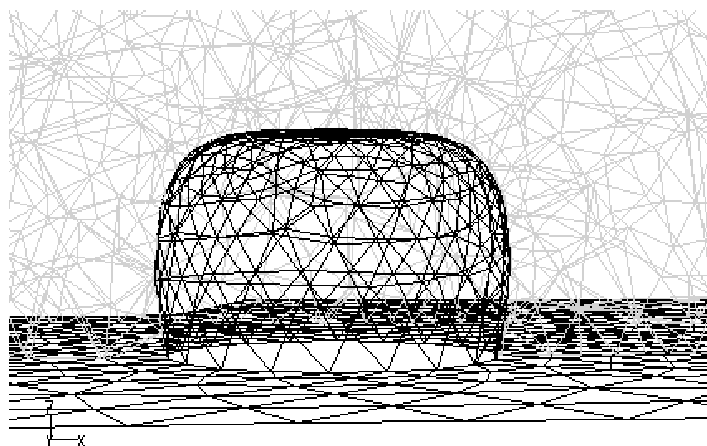
Meshens uppbyggnad i älven



Figur D. 4 : Meshens uppbyggnad i vattenytan.



Figur D. 5 : Mesh på älvens botten samt på omgivande betongväggar.

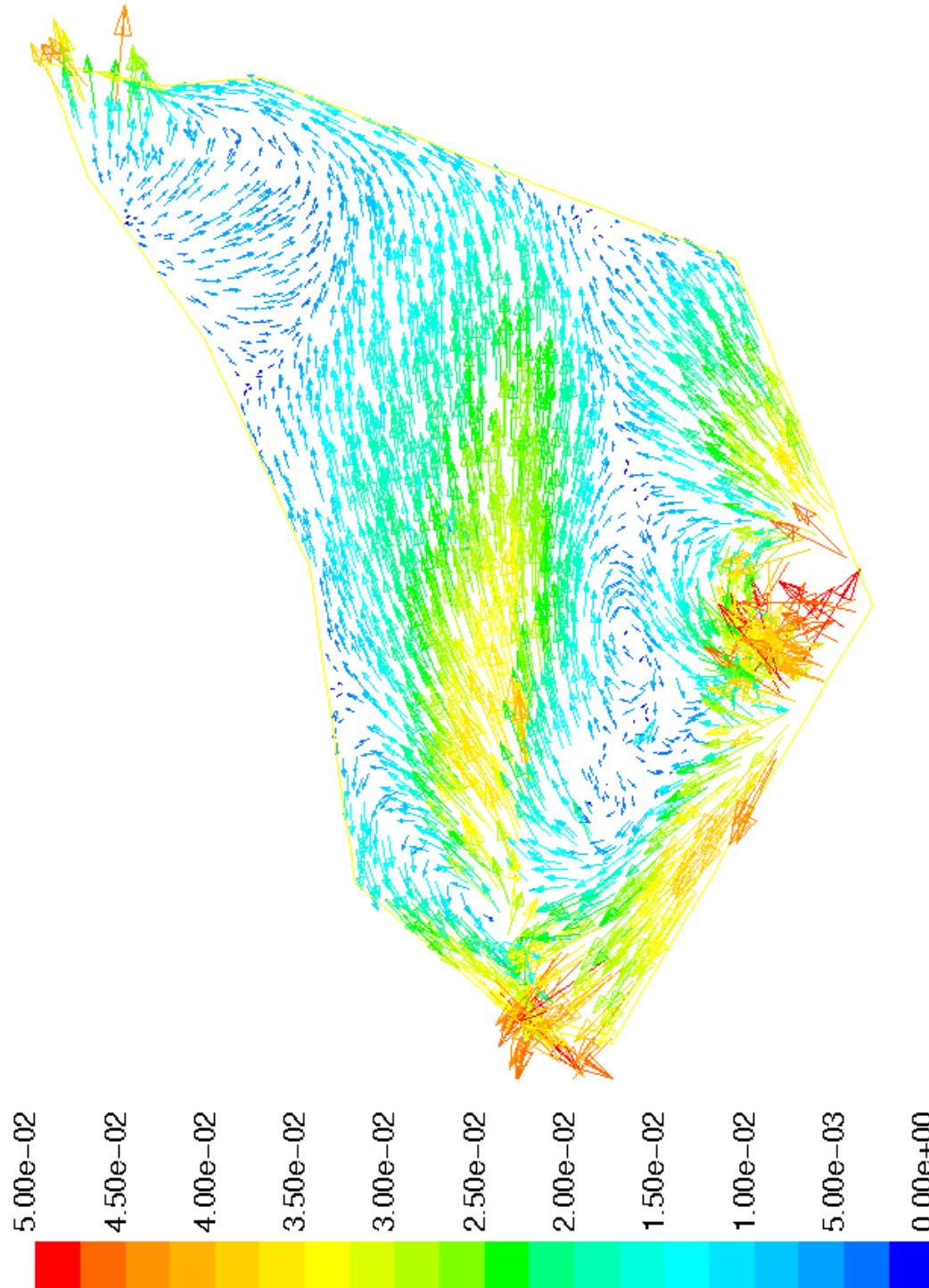


Figur D. 6: Mesh på ytan av och runtomkring sten

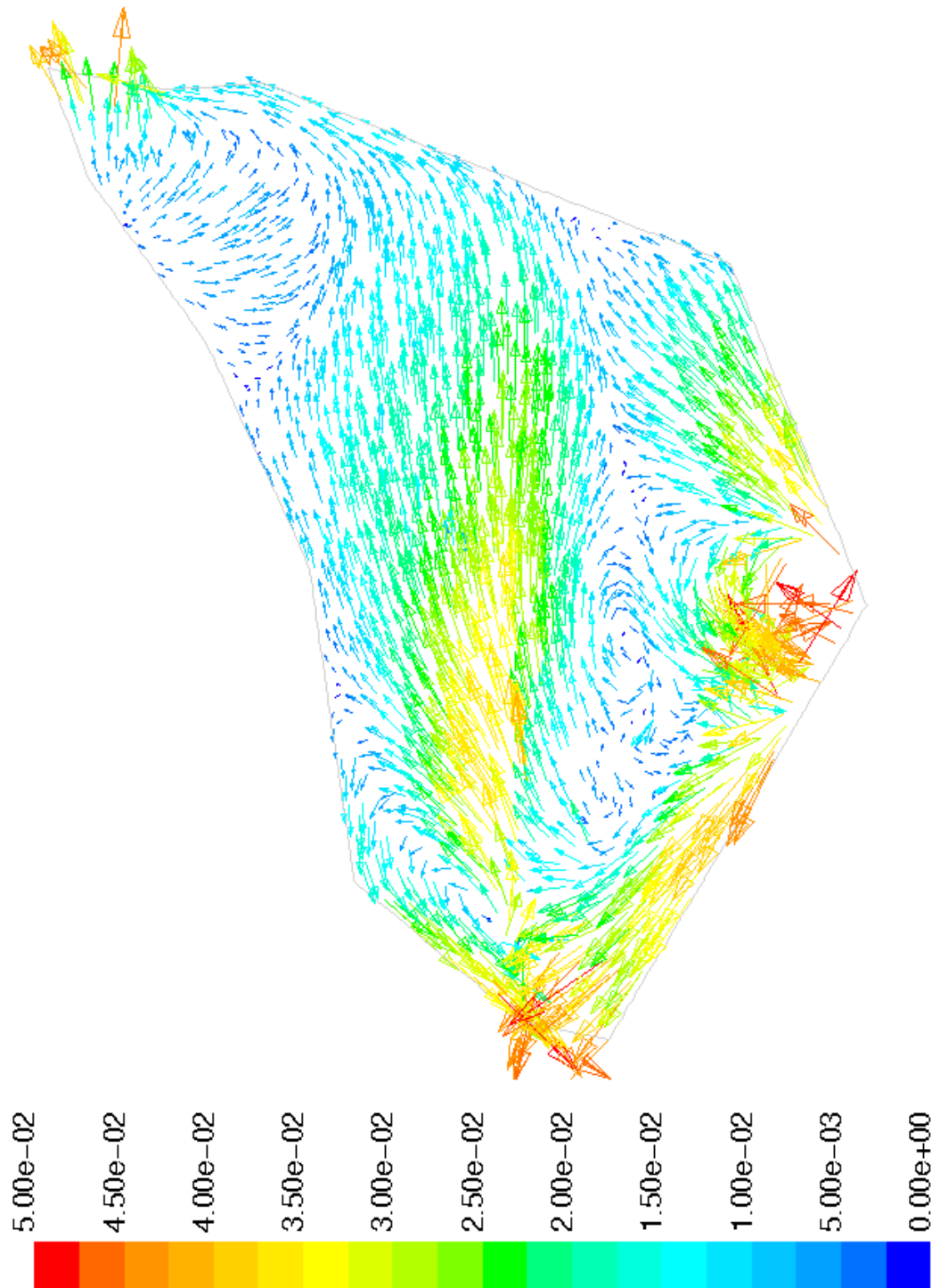
BILAGA E

Simulering av sjö utan grund

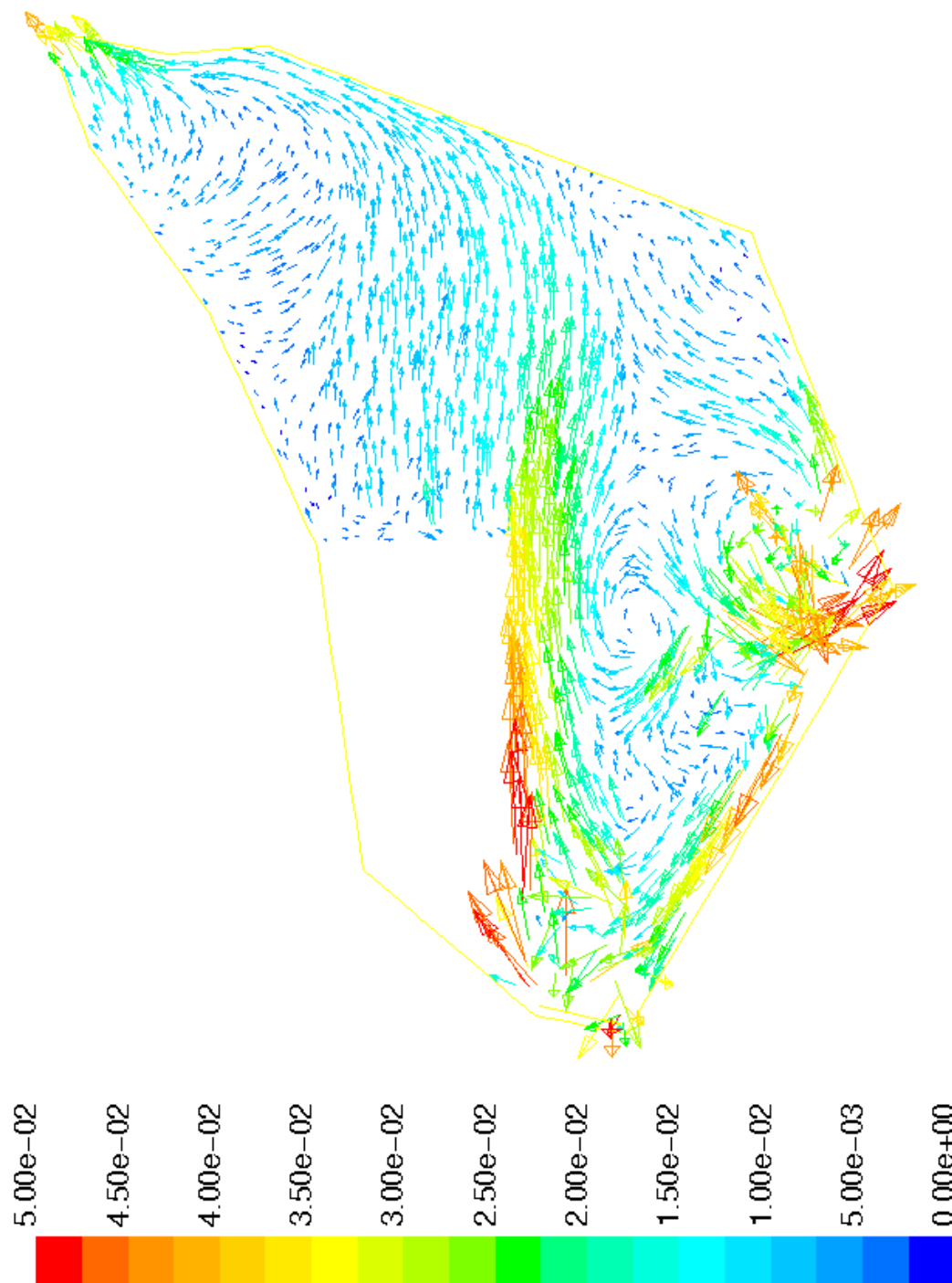
Simulering av sjö utan grund



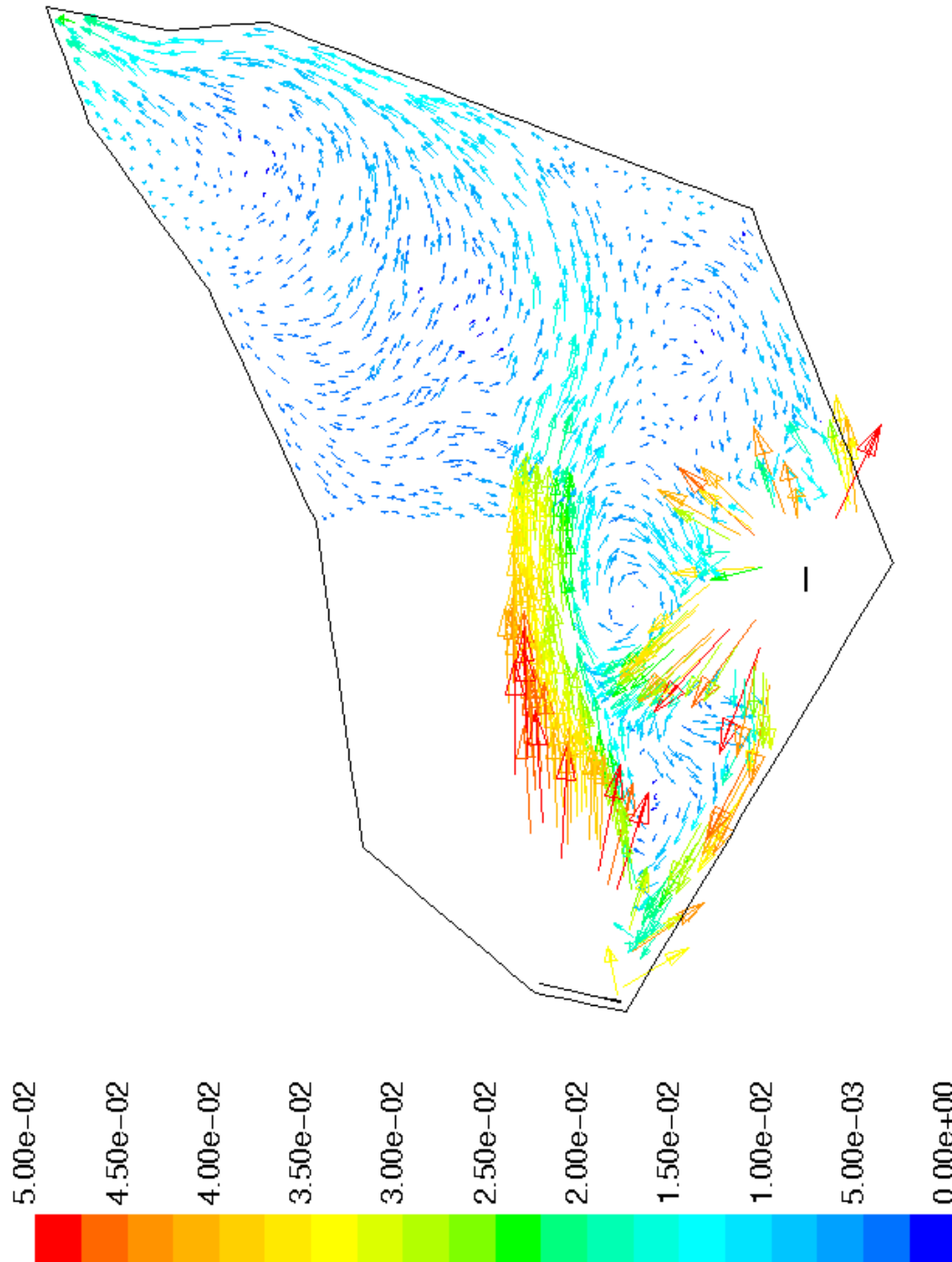
Figur E.1: Vektorplot över vattenyta från simulering av sjö utan grund



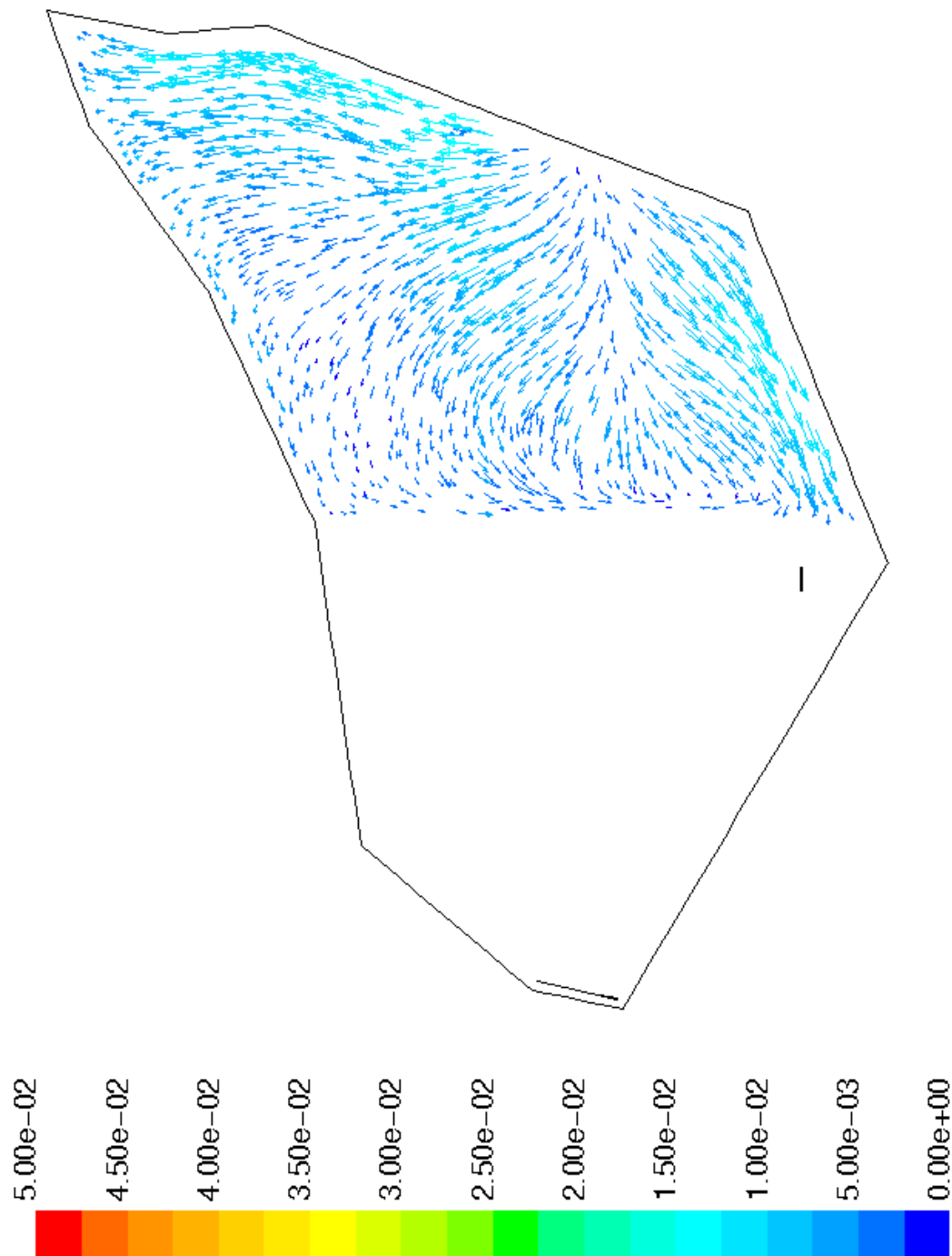
Figur E.2: Vektorplot från simulering av sjö utan grund på djupet 15 cm.



Figur E.3: Vektorplot från simulering av sjö utan grund på djupet 30 cm.



Figur E.4: Vektorplot från simulering av sjö utan grund på djupet 55 cm.

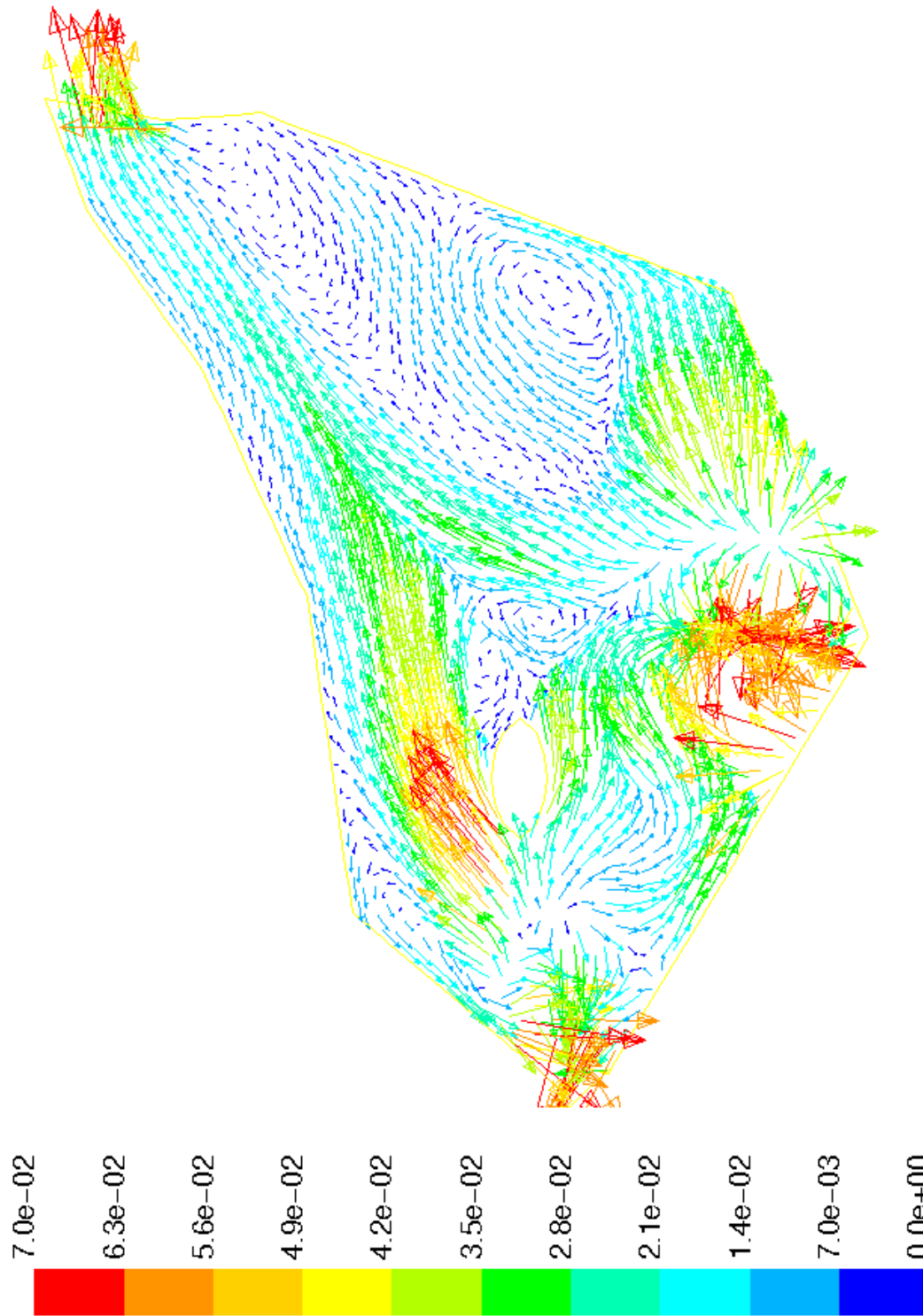


Figur E.5: Vektorplot från simulering av sjö utan grund på djupet 120 cm.

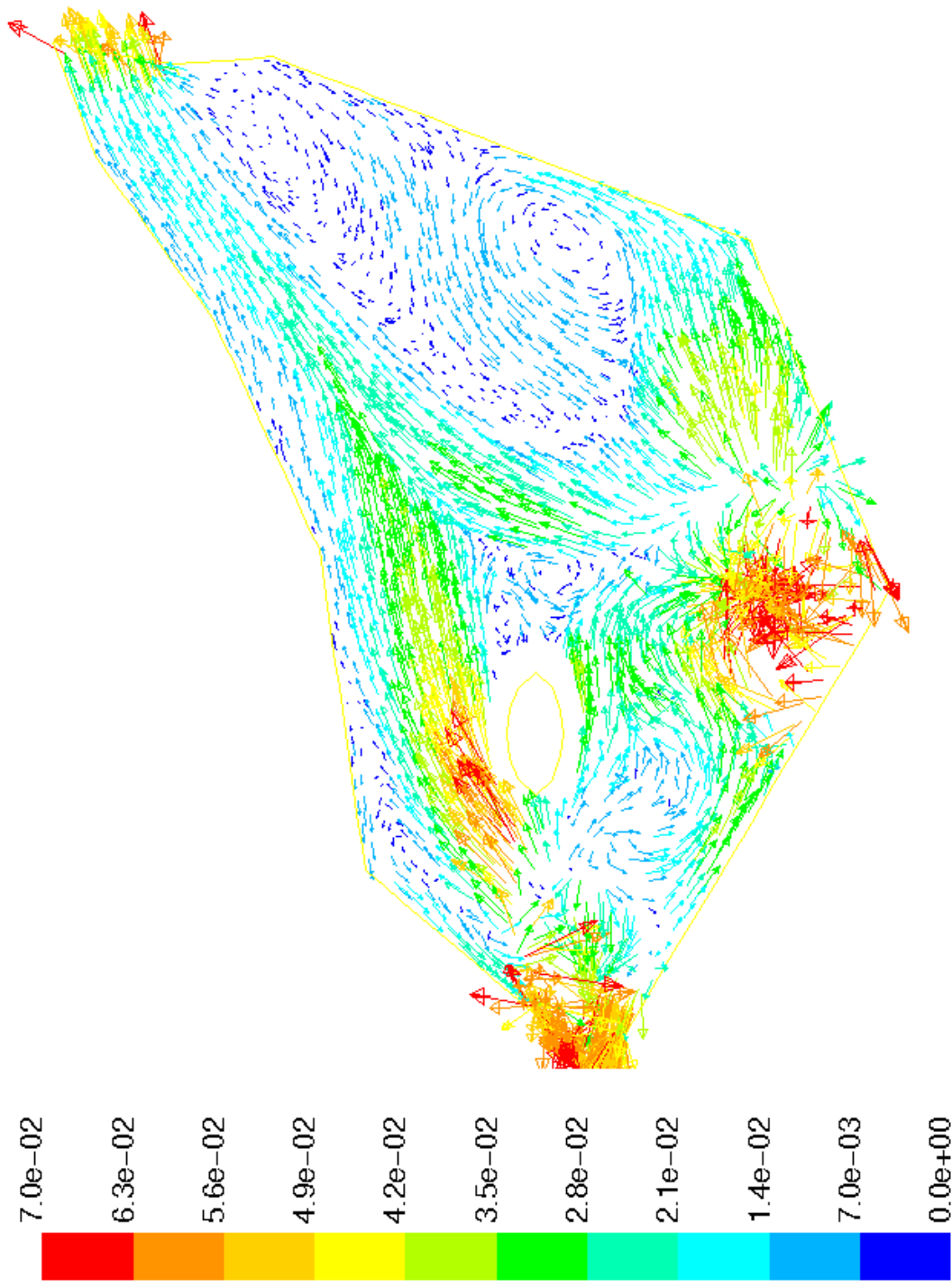
BILAGA F

Simulering av sjö med grund

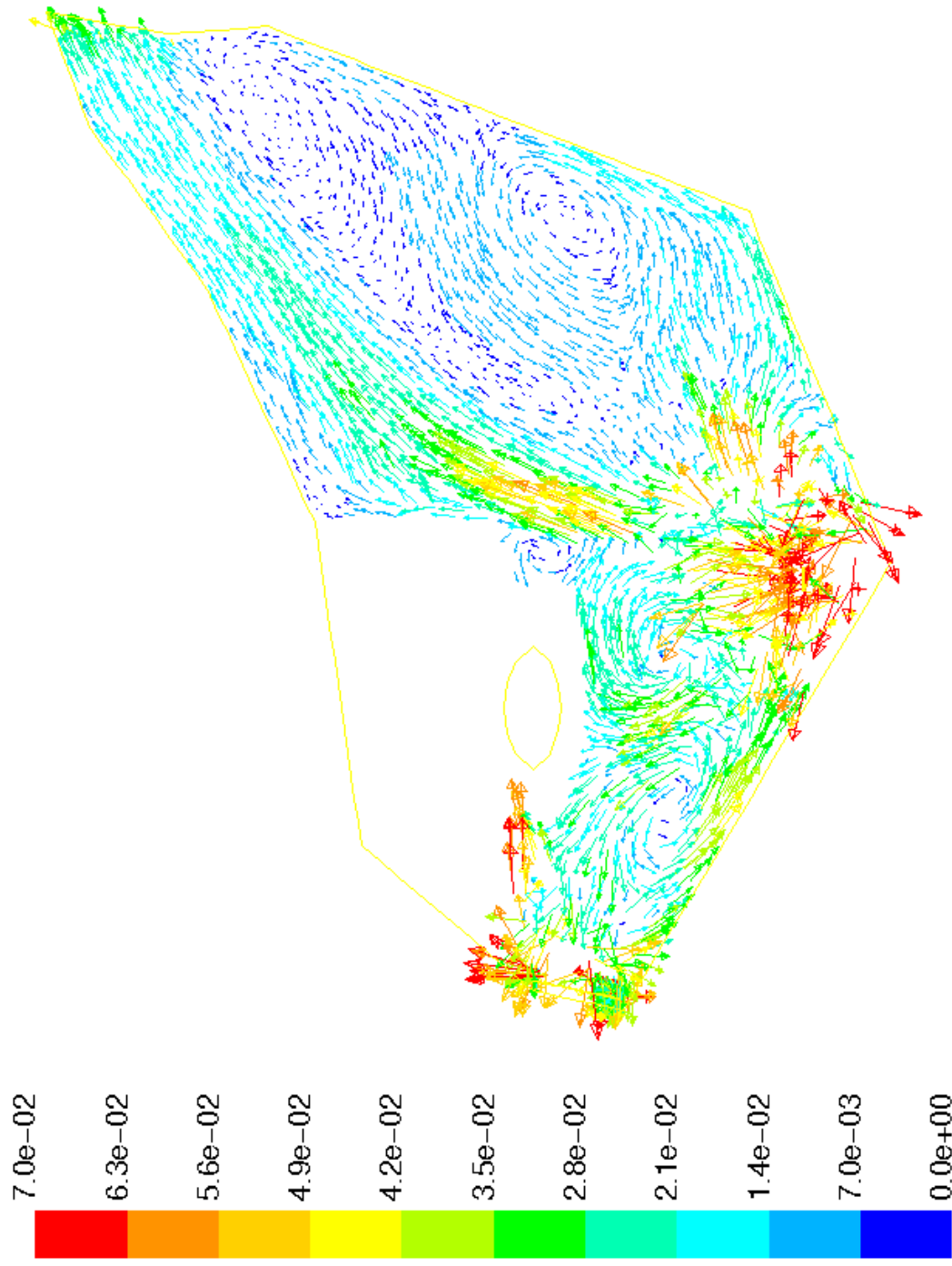
Simulering av sjö med grund



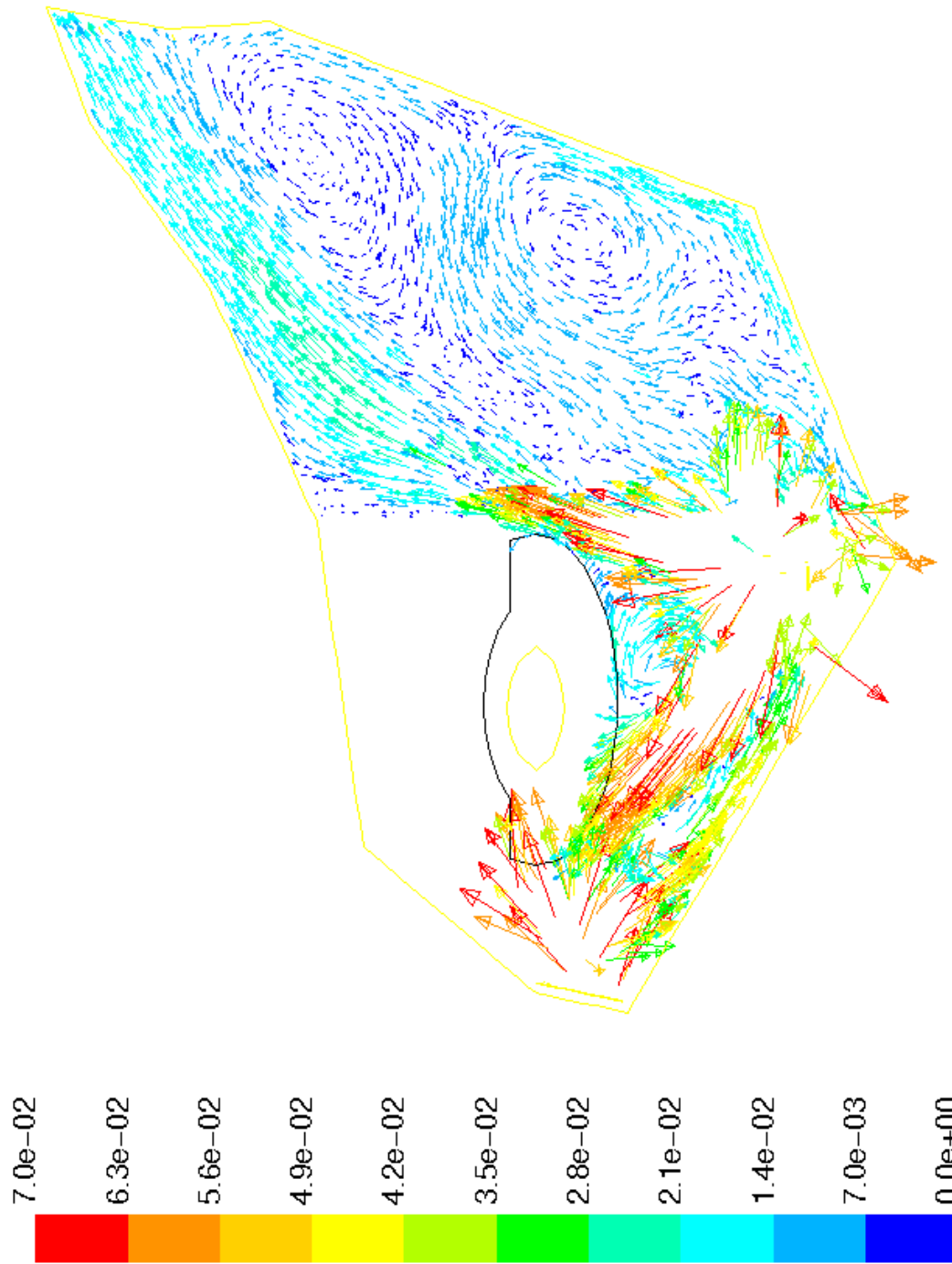
Figur F.1: Vektorplot över vattenyta från simulering av sjö med grund.



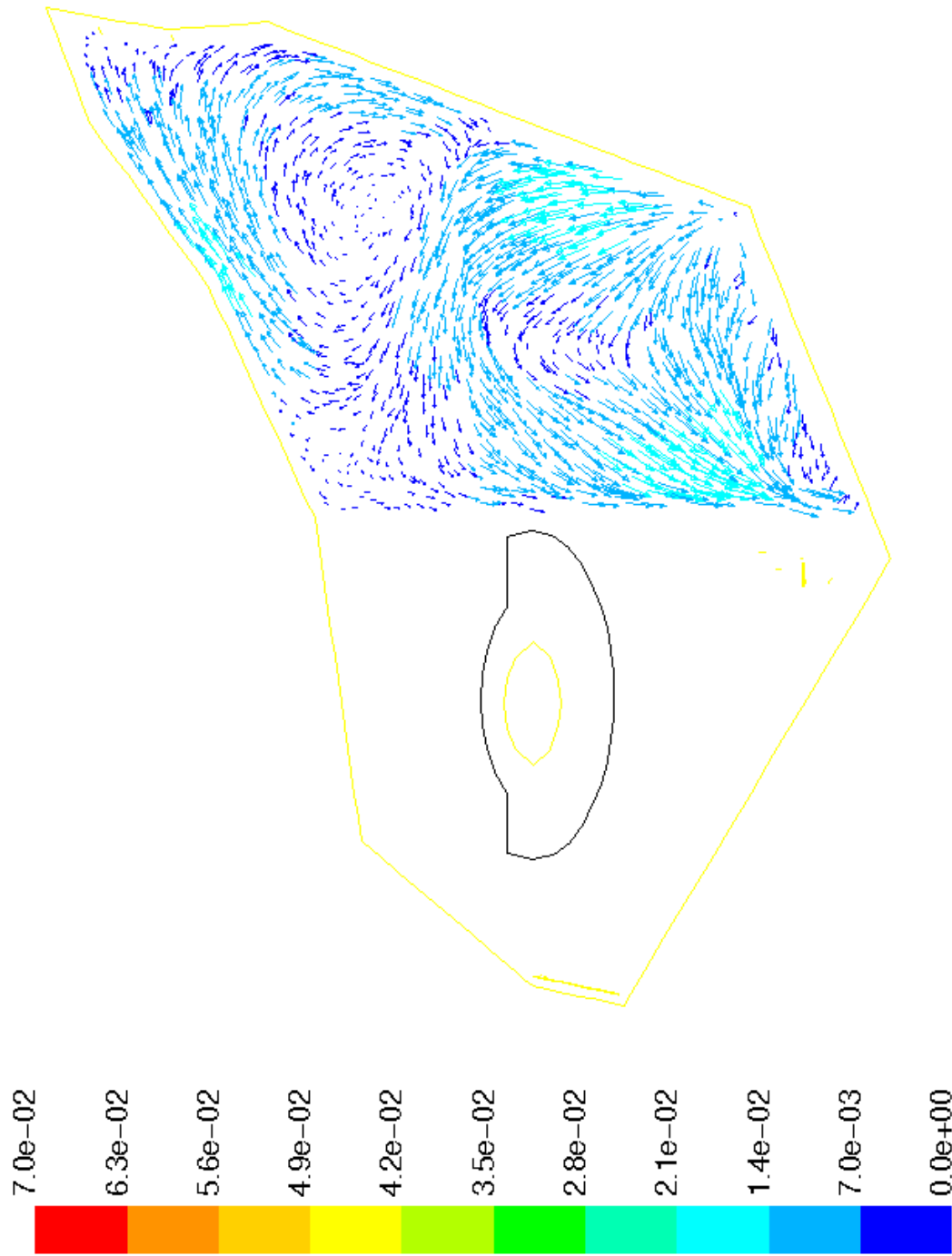
Figur F.2: Vektorplot från simulering av sjö med grund på djupet 15 cm.



Figur F.3: Vektorplot från simulering av sjö med grund på djupet 30 cm.



Figur F.4: Vektorplot från simulering av sjö med grund på djupet 55 cm.



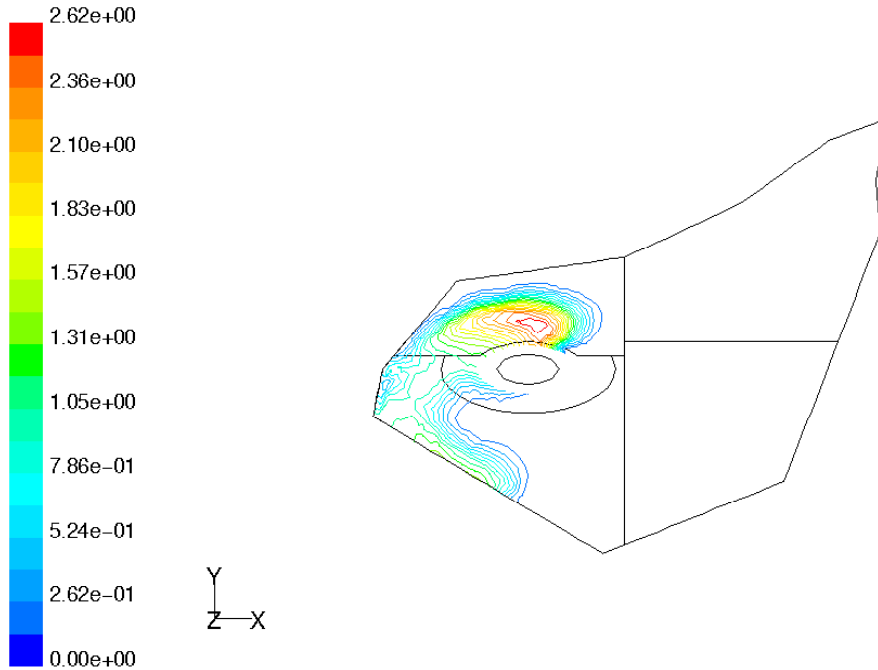
Figur F.5: Vektorplot från simulering av sjö med grund på djupet 120 cm.

BILAGA G

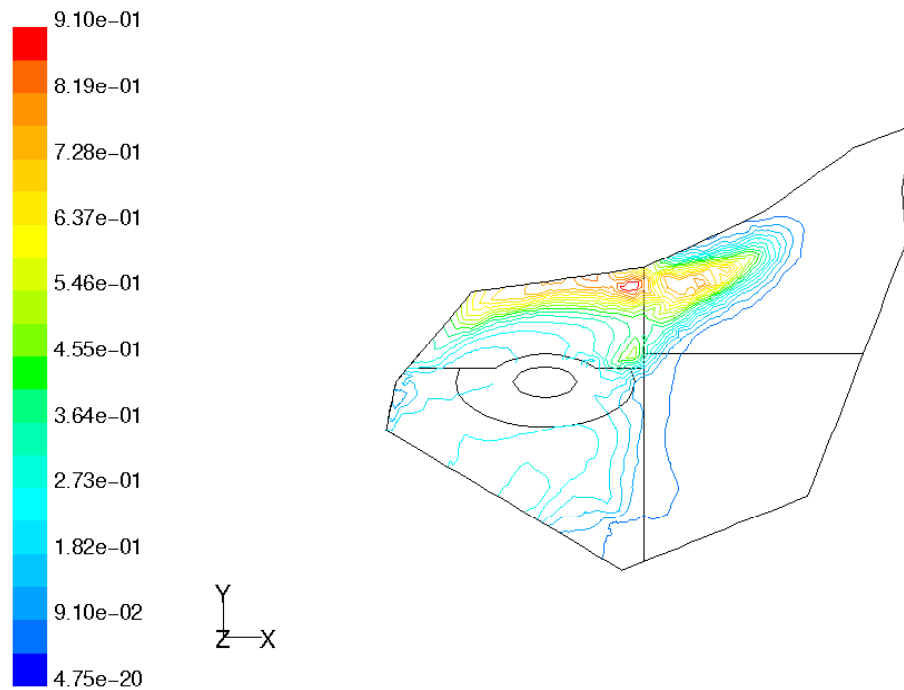
Simulering av spårämnesförsök

Spårämnesförsök

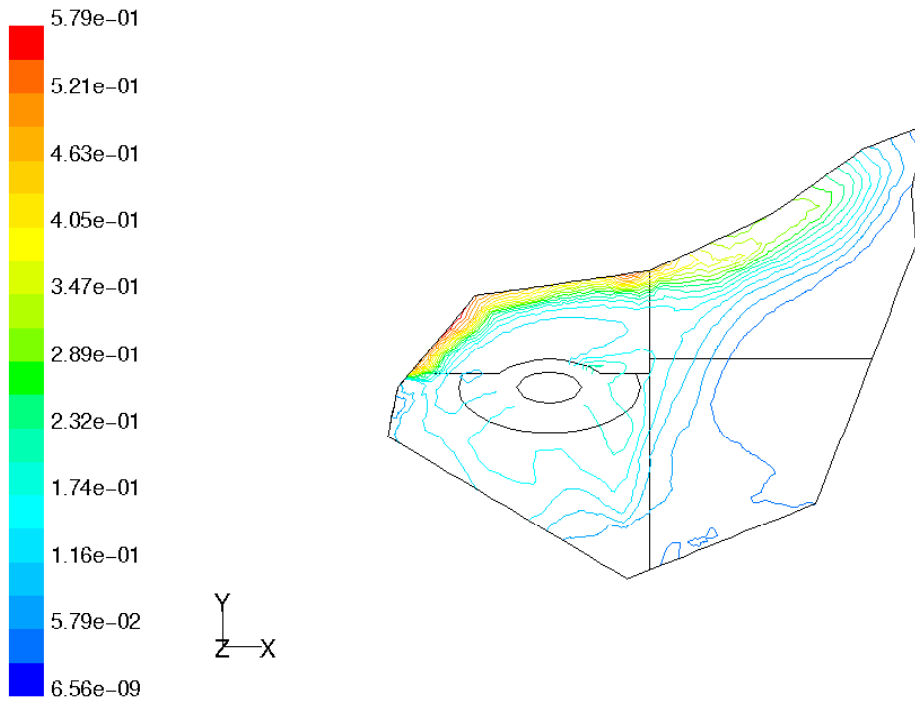
Observera att färgskalan är olika i de olika figurerna. Halten anges i kg/m^3 dvs %.



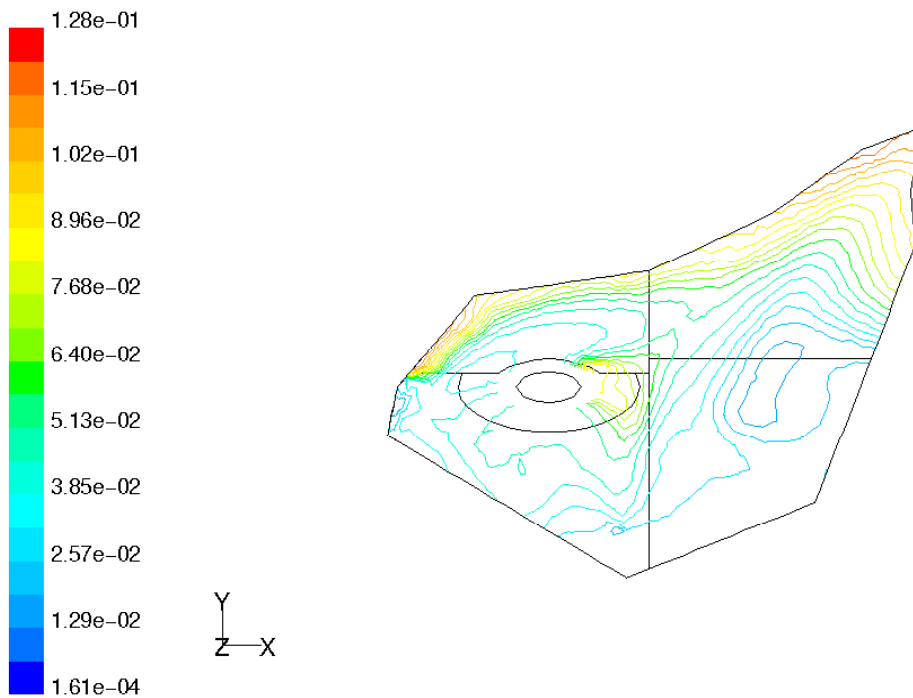
Figur G.1: Sjö med grund, spårämnesförsök 1 efter min på djupet 15 cm.



Figur G.2: Sjö med grund, spårämnes försök efter 3 min på djupet 15 cm.

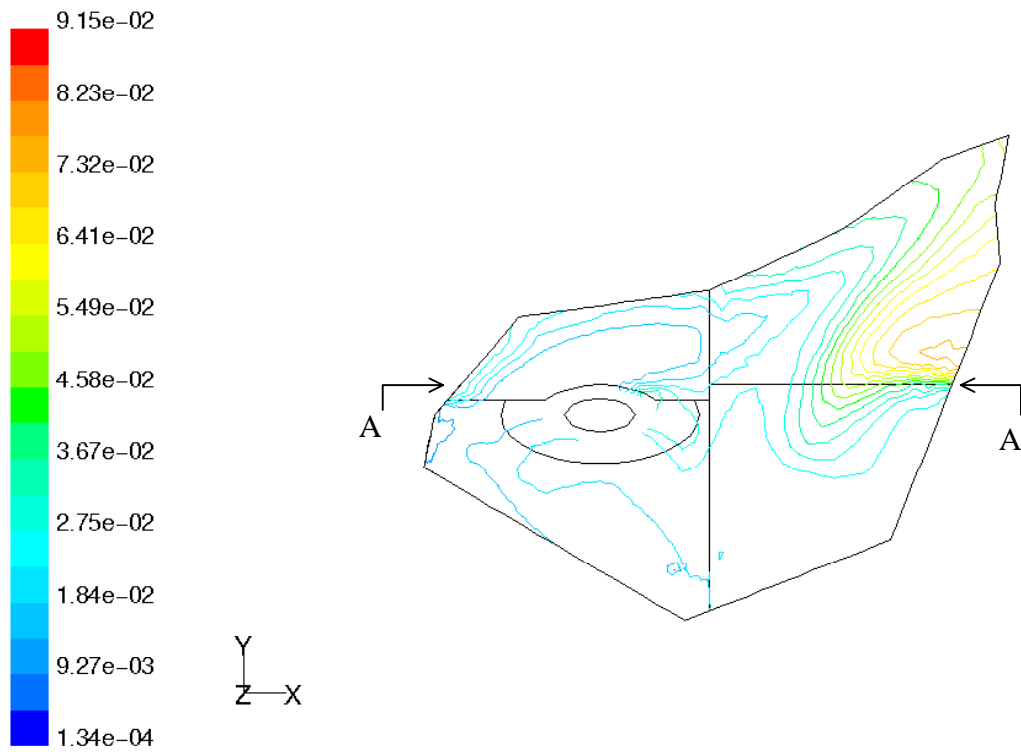


Figur G.3 Sjö med grund, spårämnes försök efter 5 min på djupet 15 cm.

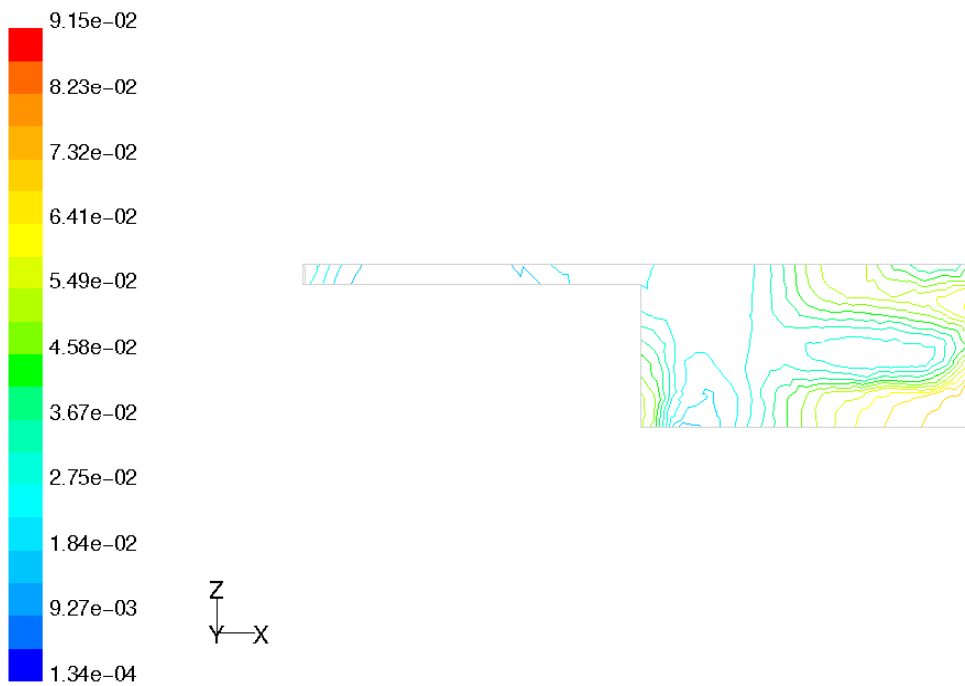


Figur G.4: Sjö med grund, spårämnes försök efter 10 min på djupet 15 cm.

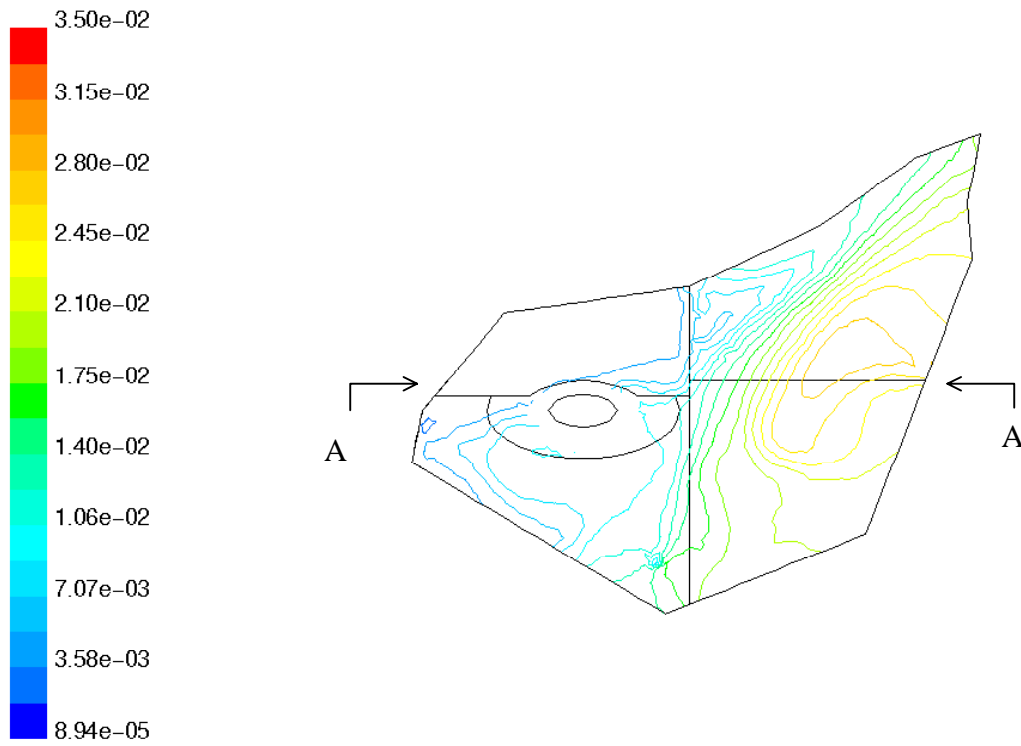
Bilaga G



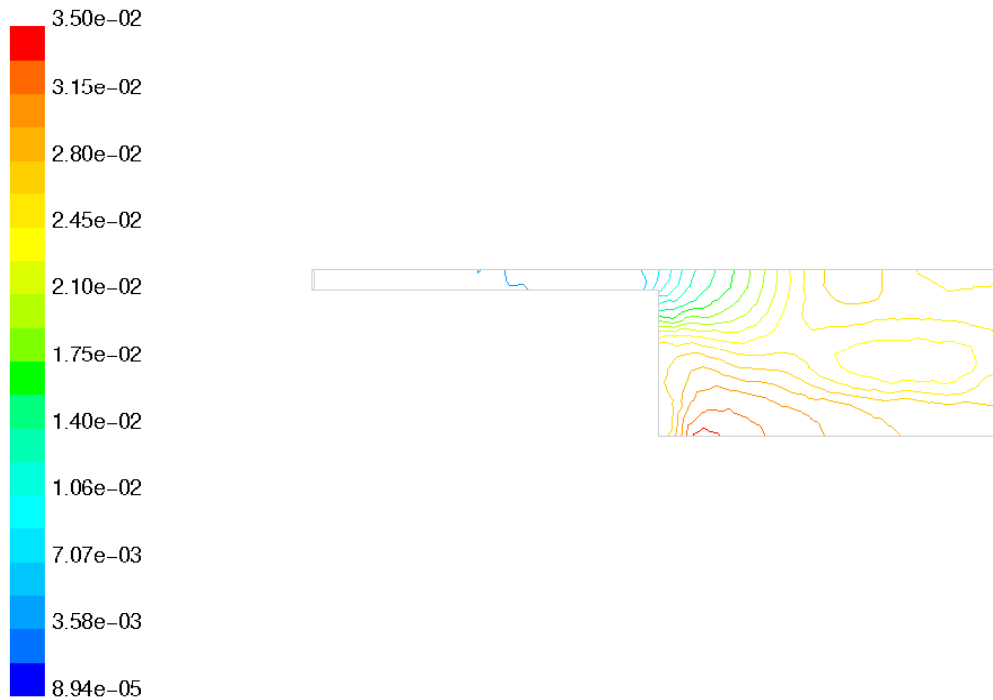
Figur G.5: Sjö med grund, spårämnes försök efter 15 min på djupet 15 cm



Figur G.6: Spårämnesförsök snitt A-A efter 15 min.



Figur G.7: Sjö med grund, spårämnes försök efter 30 min på djupet 15 cm



Figur G.8: Spårämnesförsök, snitt A-A efter 30 min.

BILAGA H

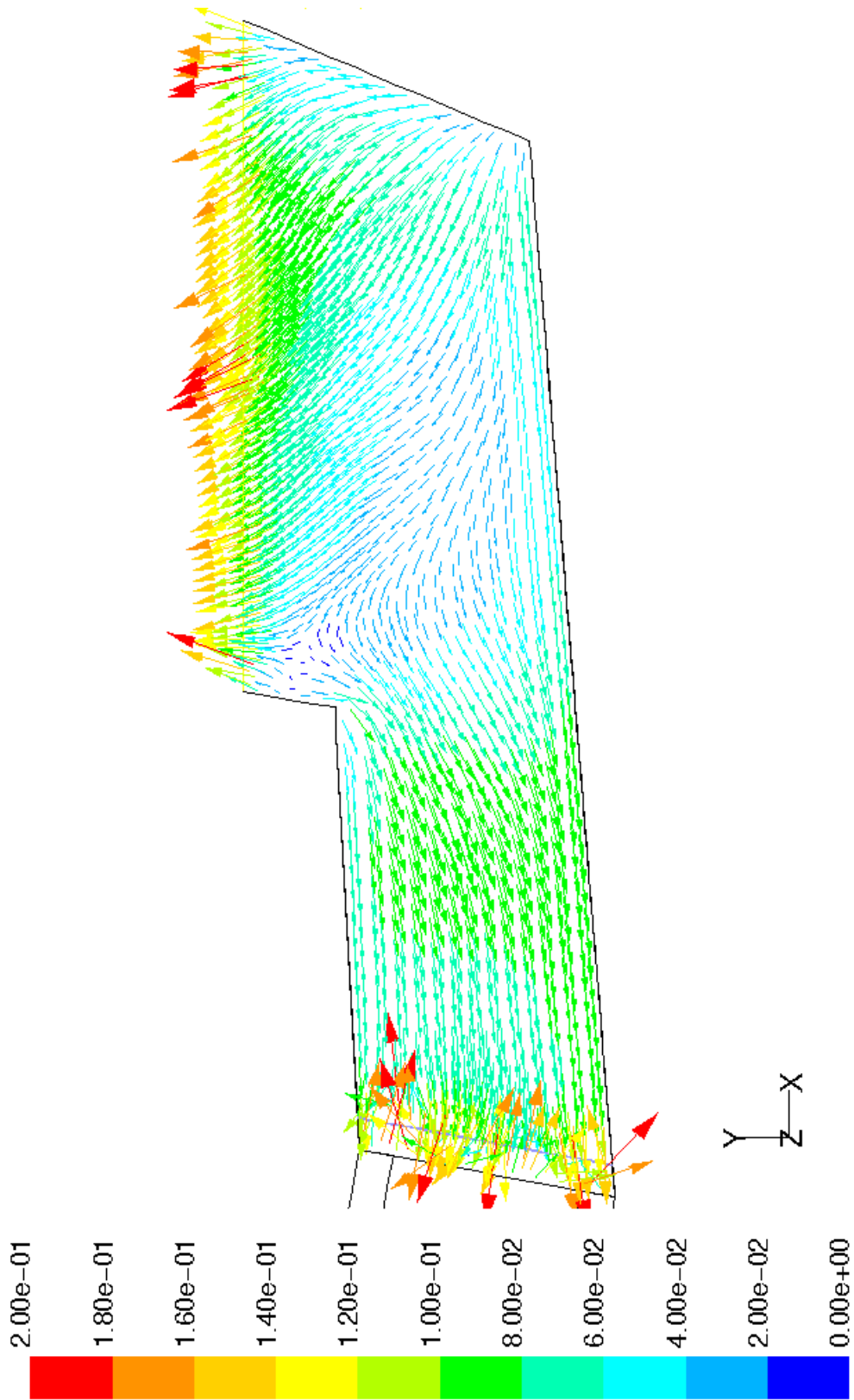
Resultat från älv med inflöde vid botten

100 % av maximala flödet

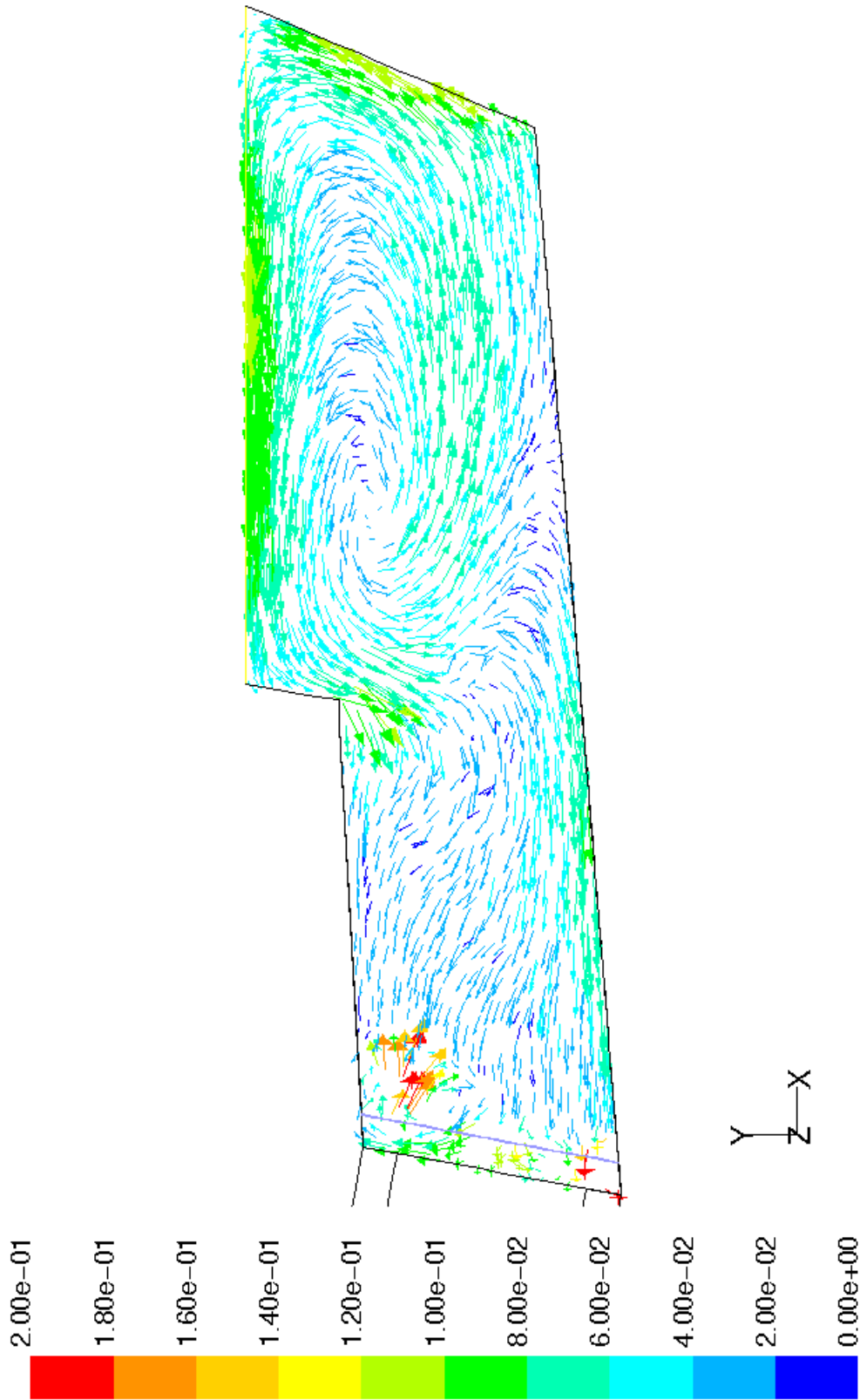
75 % av maximala flödet

50 % av maximala flödet

Bilaga H: 100 % av maximala flödet

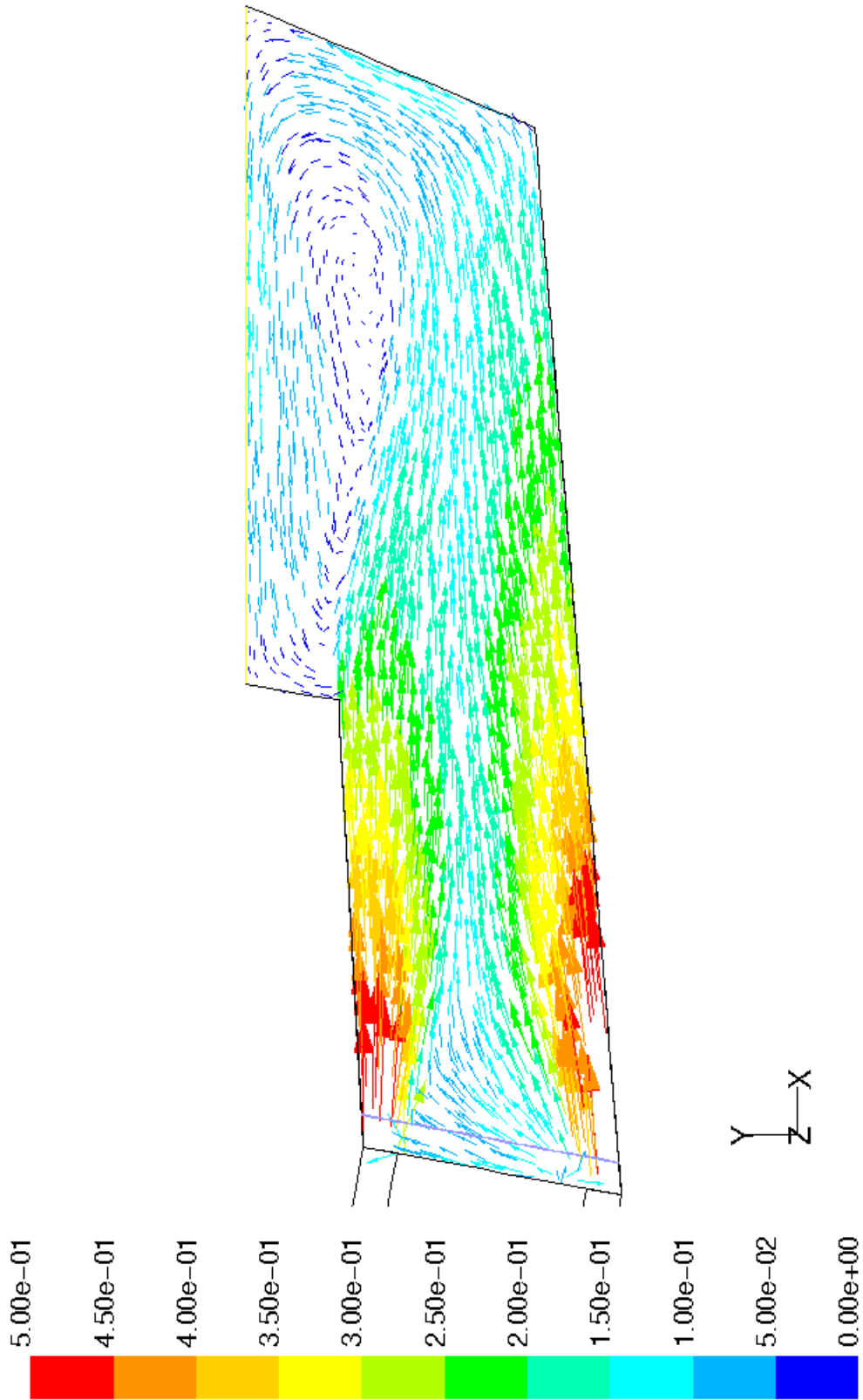


Figur H.1: Hastighetsvektorer i vattenytan. 0-0,2 m/s 100 %

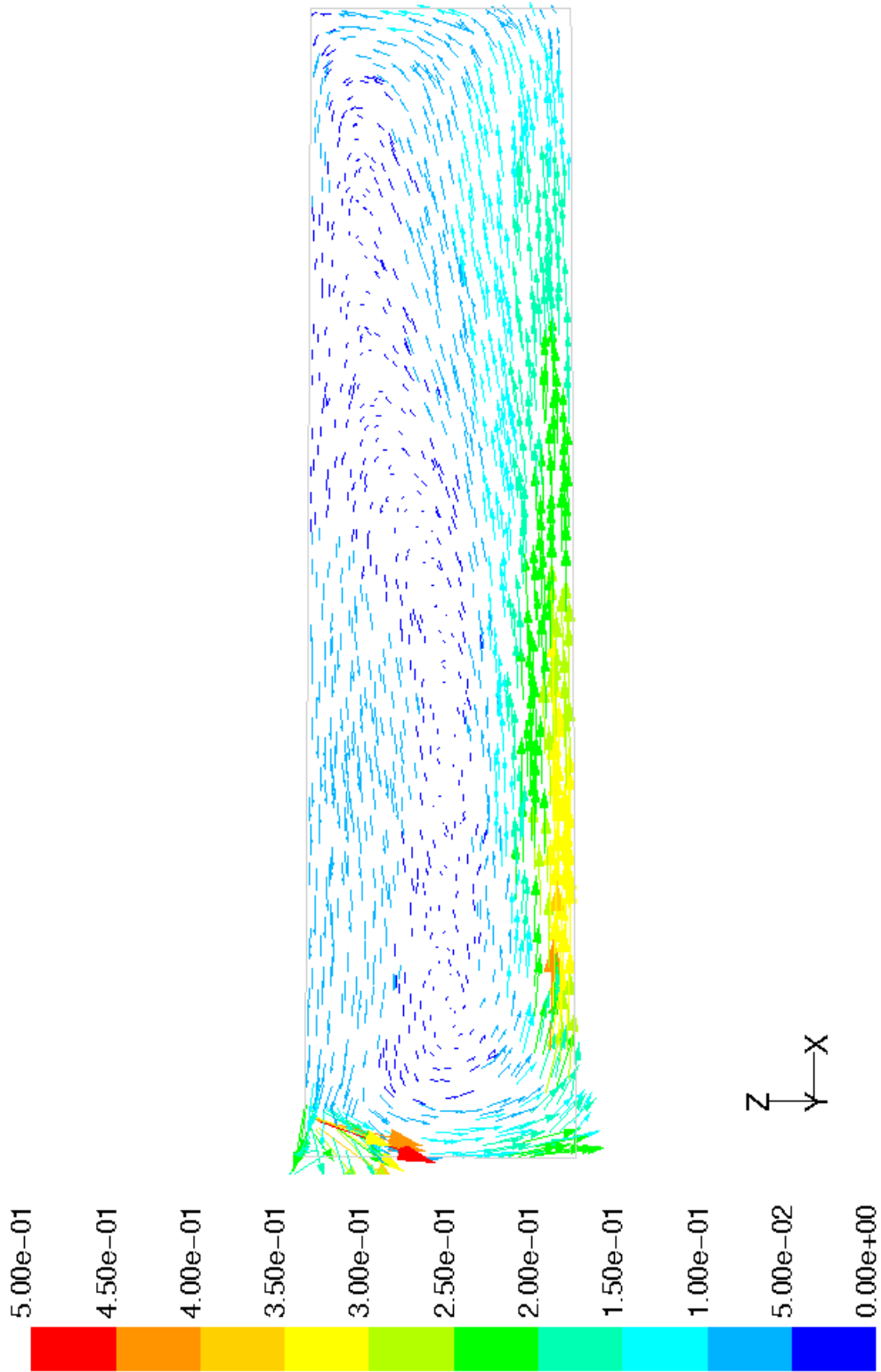


Figur H.2: Hastighetsvektorer på djupet 0,4 m. 0-0,2 m/s 100 %

Bilaga H: 100 % av maximala flödet

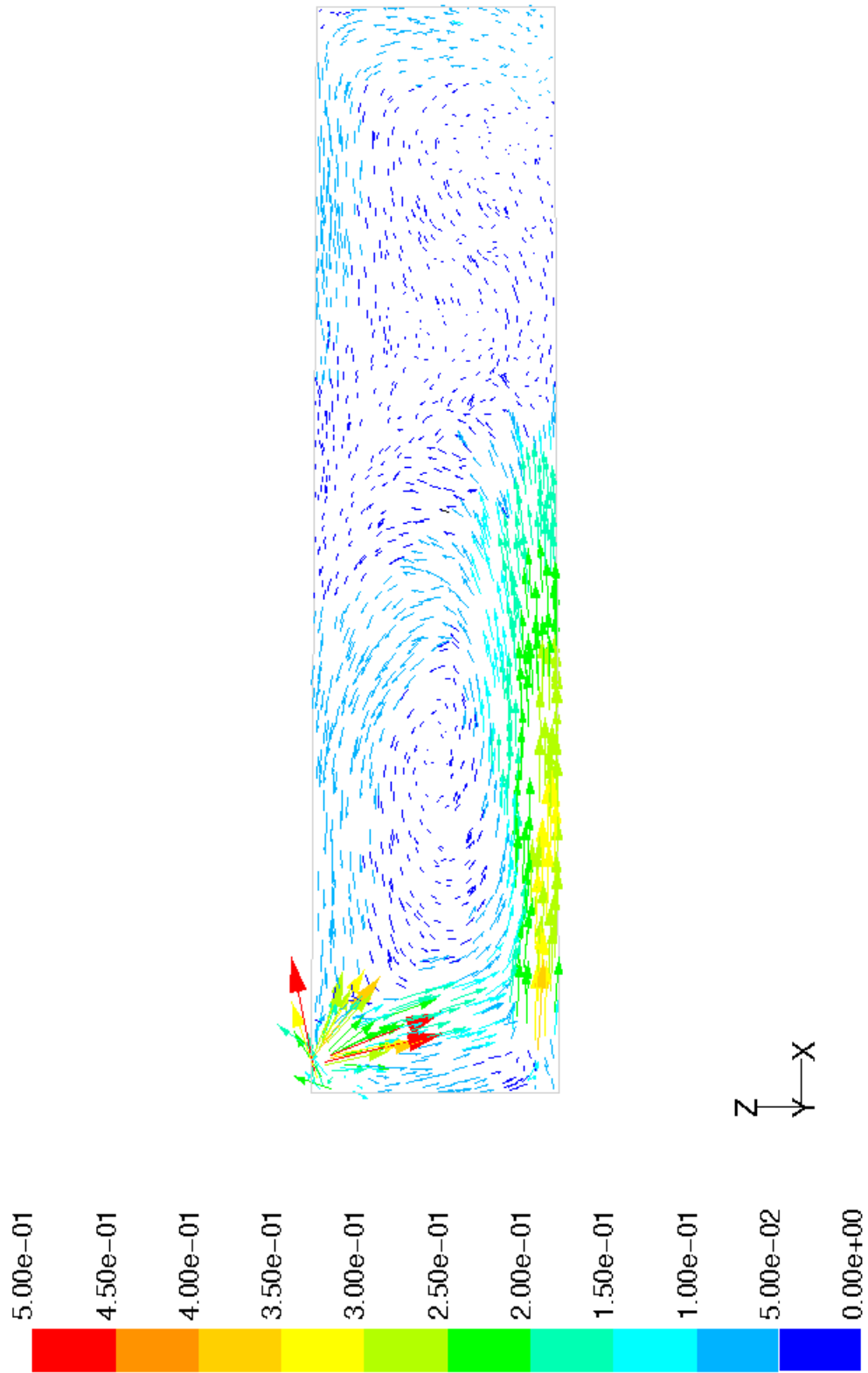


Figur H.3: Hastighetsvektorer på djupet 0,95 m. 0-0,5 m/s 100 %

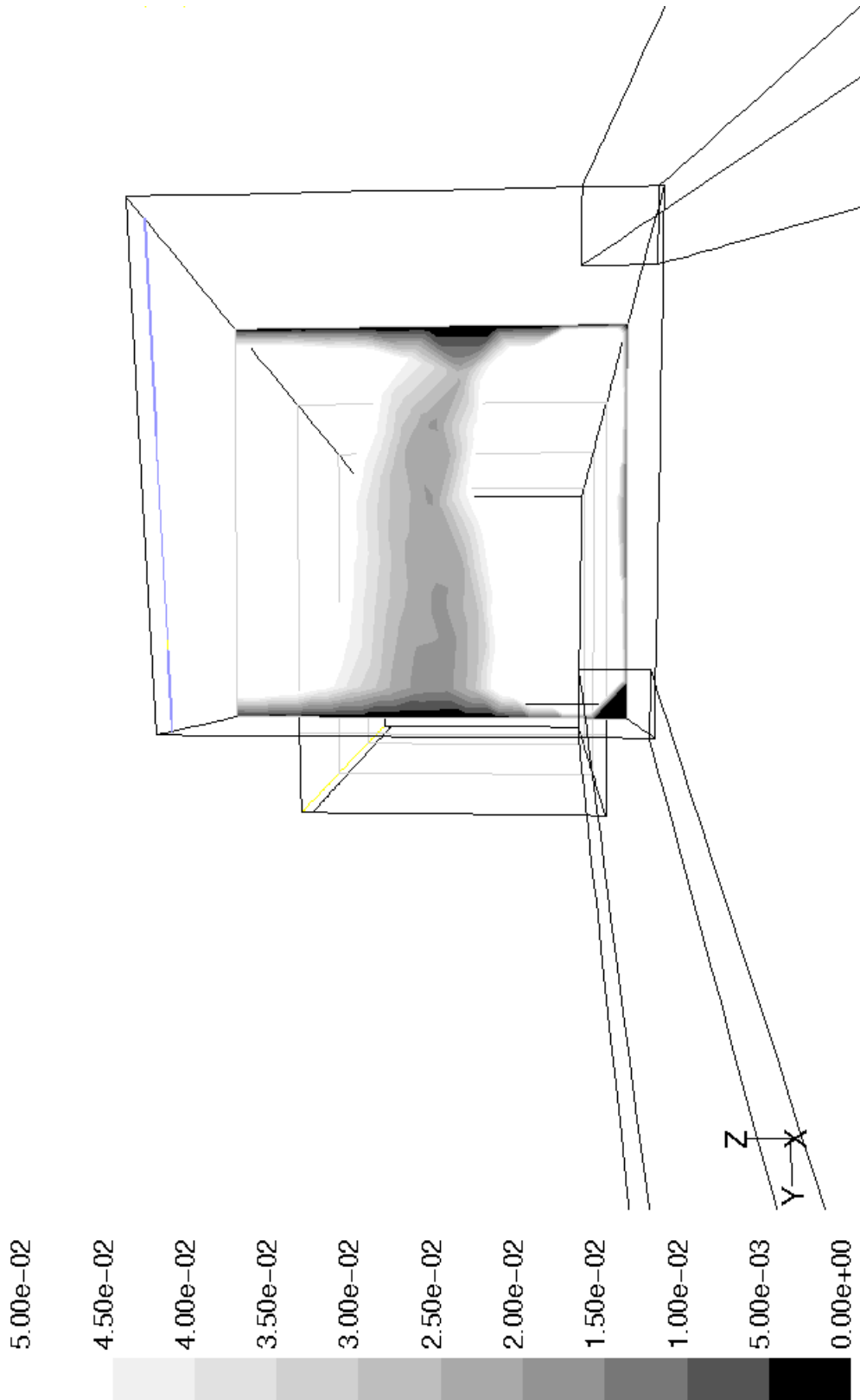


Figur H.4: Hastighetsvektorer 0,2 m ifrån akrylglasets. 0-0,5 m/s 100 %

Bilaga H: 100 % av maximala flödet

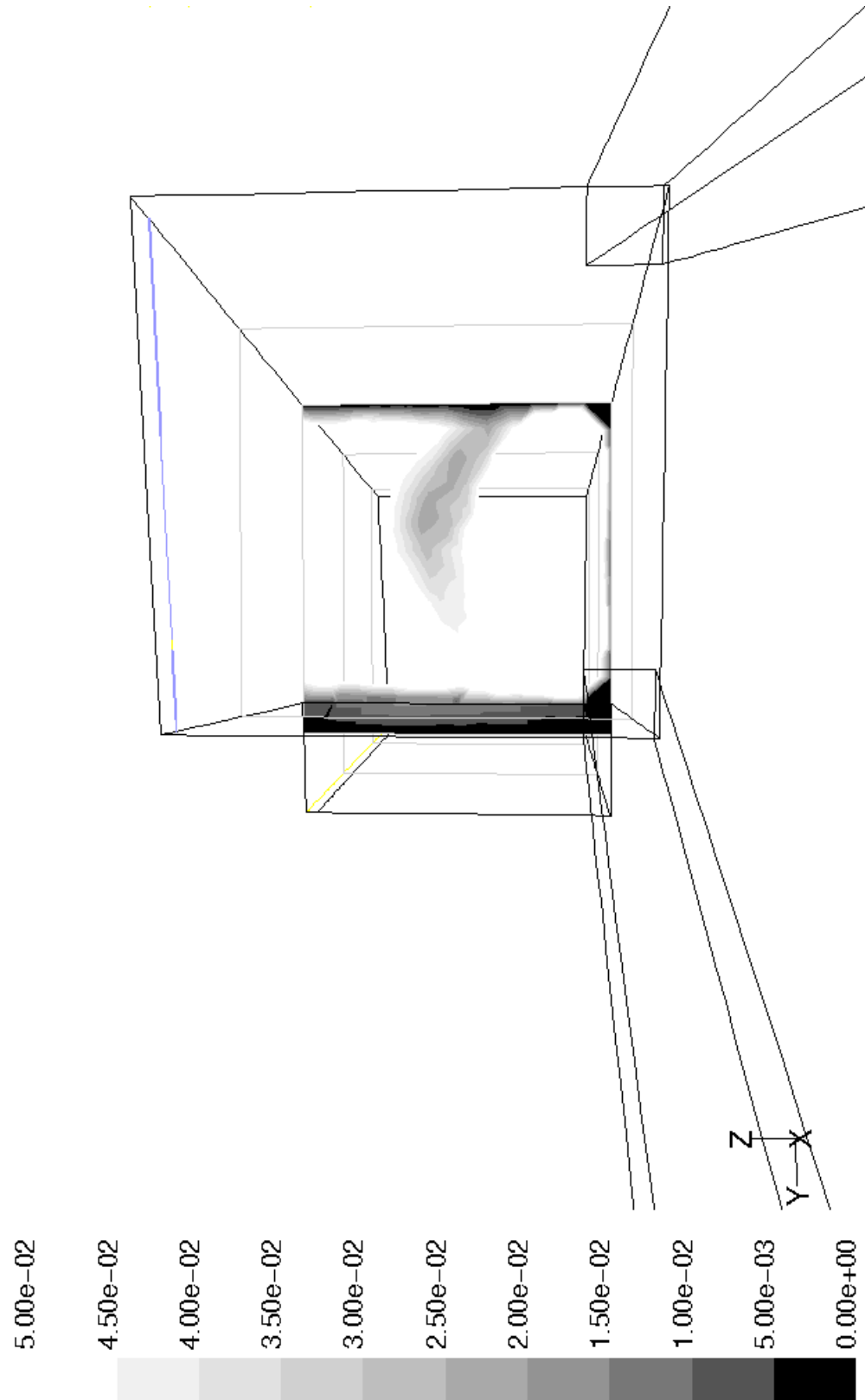


Figur H.5: Hastighetsvektorer 0,8 m ifrån akrylglaset. 0-0,5 m/s 100 %

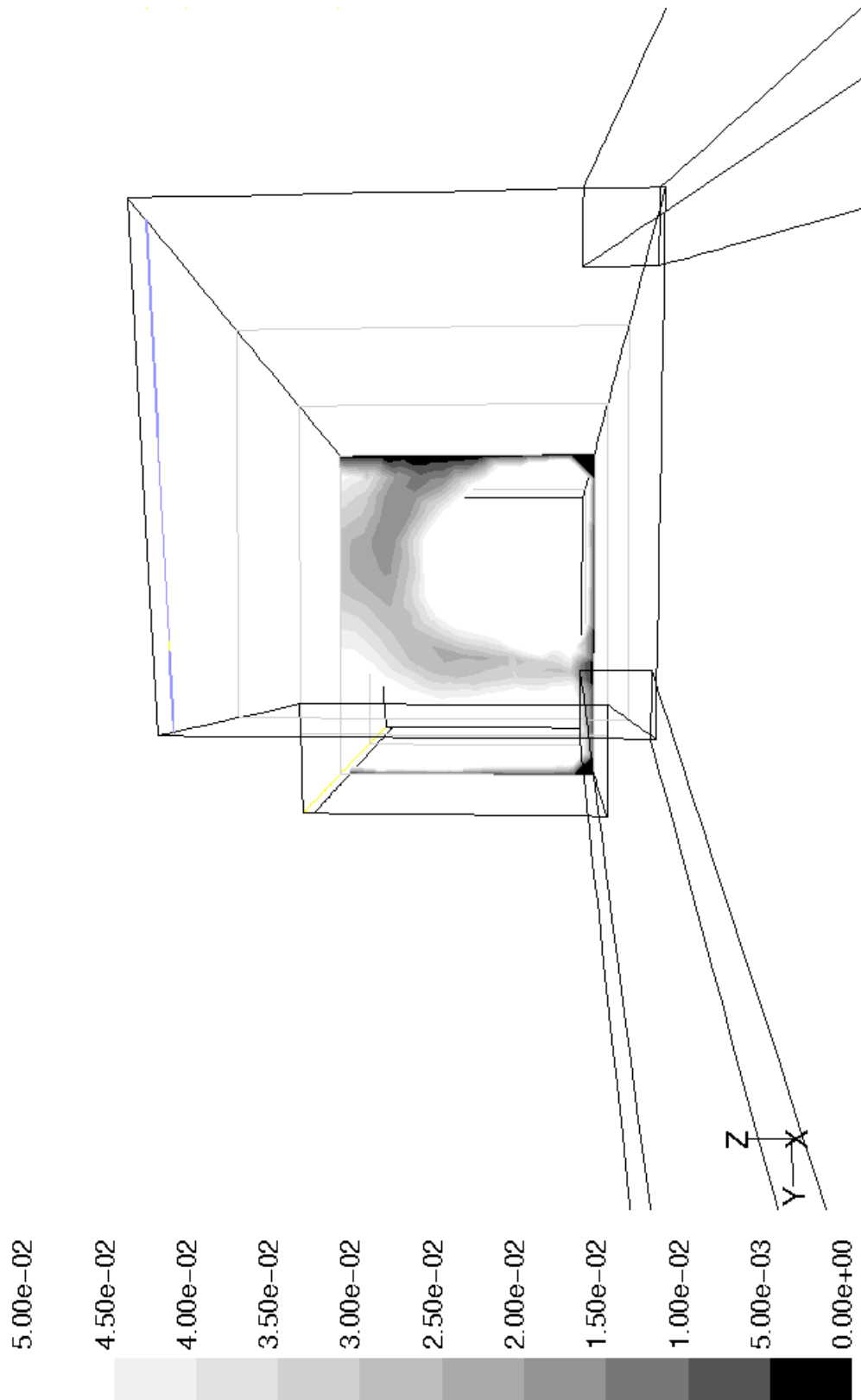


Figur H.6: Konturer av hastigheter på ytan $x=1,0$ m. $0-0,05$ m/s 100 %

Bilaga H: 100 % av maximala flödet

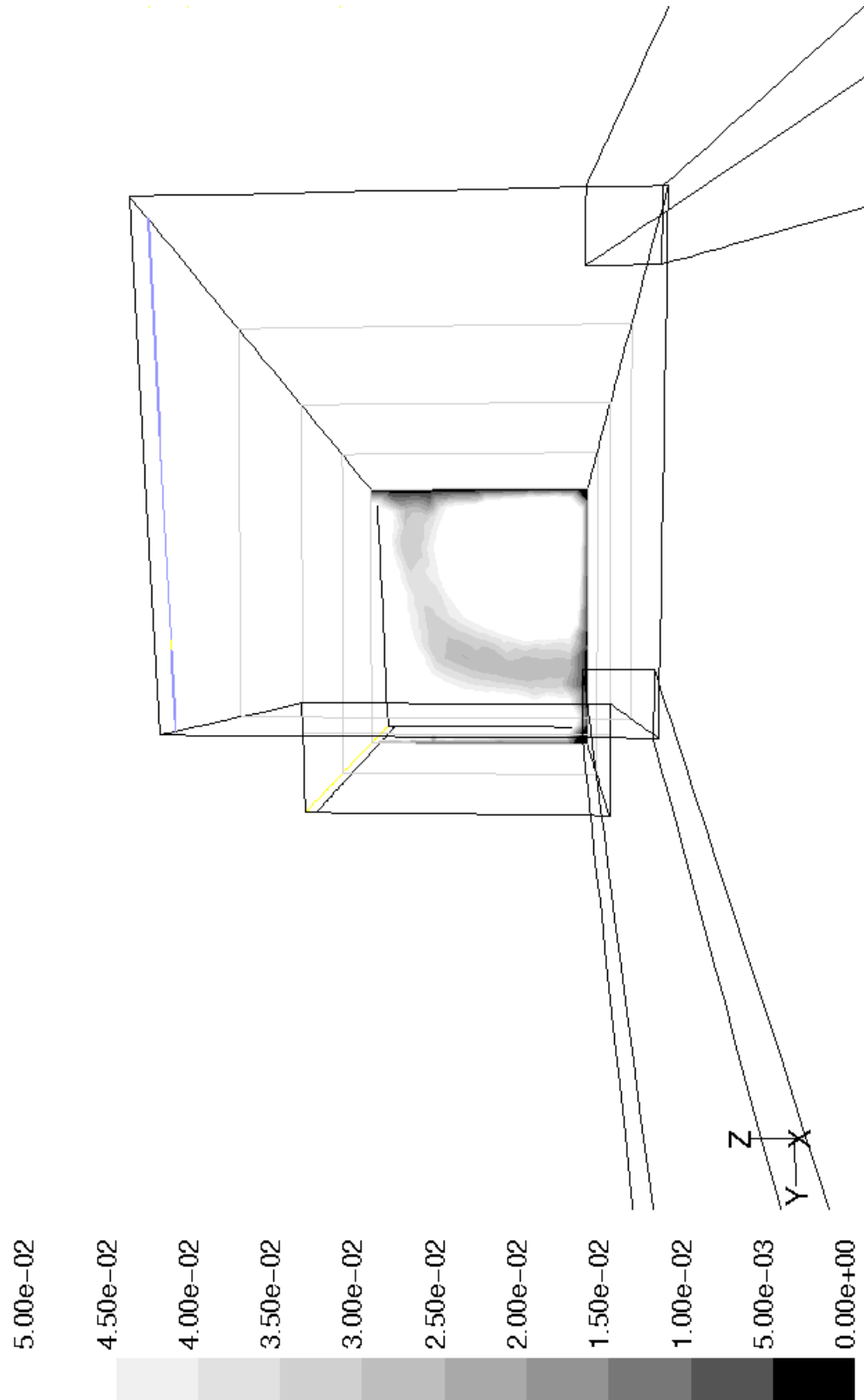


Figur H.7: Konturer av hastigheter på ytan $x=2,0$ m. $0-0,05$ m/s 100 %



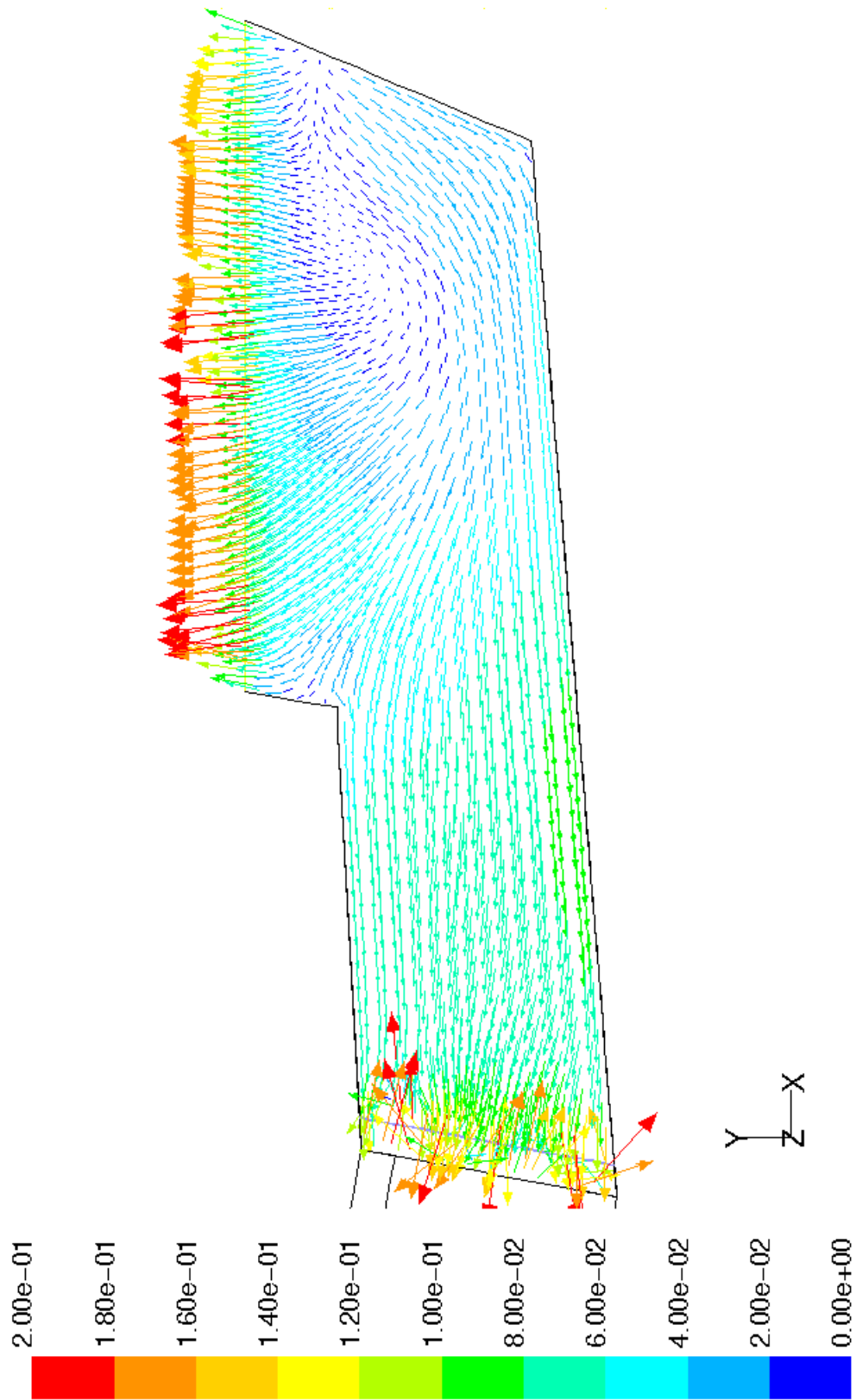
Figur H.8: Konturer av hastigheter på ytan $x=3,0$ m. $0-0,05$ m/s 100 %

Bilaga H: 100 % av maximala flödet

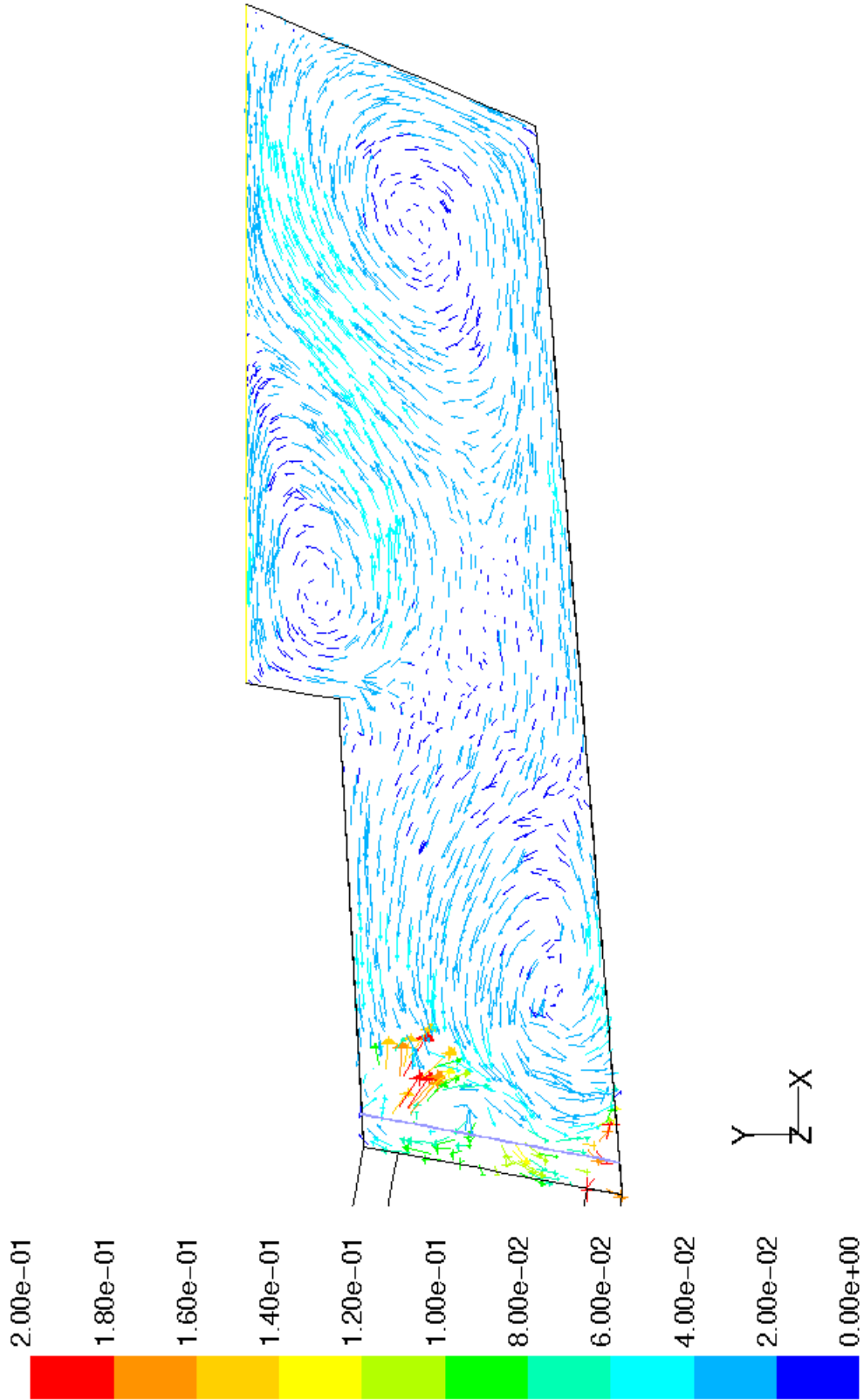


Figur H.9: Konturer av hastigheter på ytan $x=4,0$ m. $0-0,05$ m/s 100 %

Bilaga H: 50 % av maximala flödet.

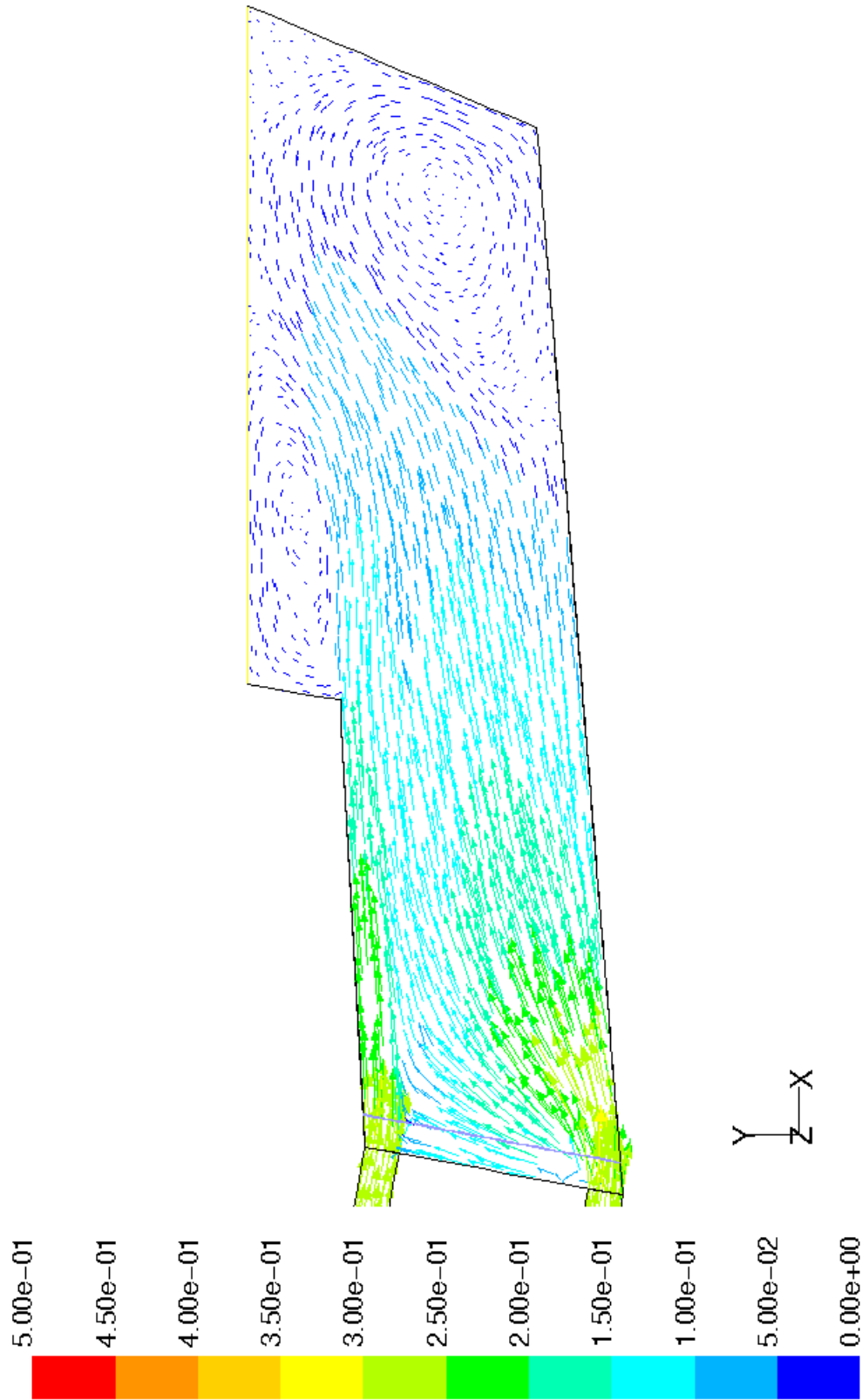


Figur H.19: Hastighetsvektorer i vattentytan. 0-0,2 m/s 50 %

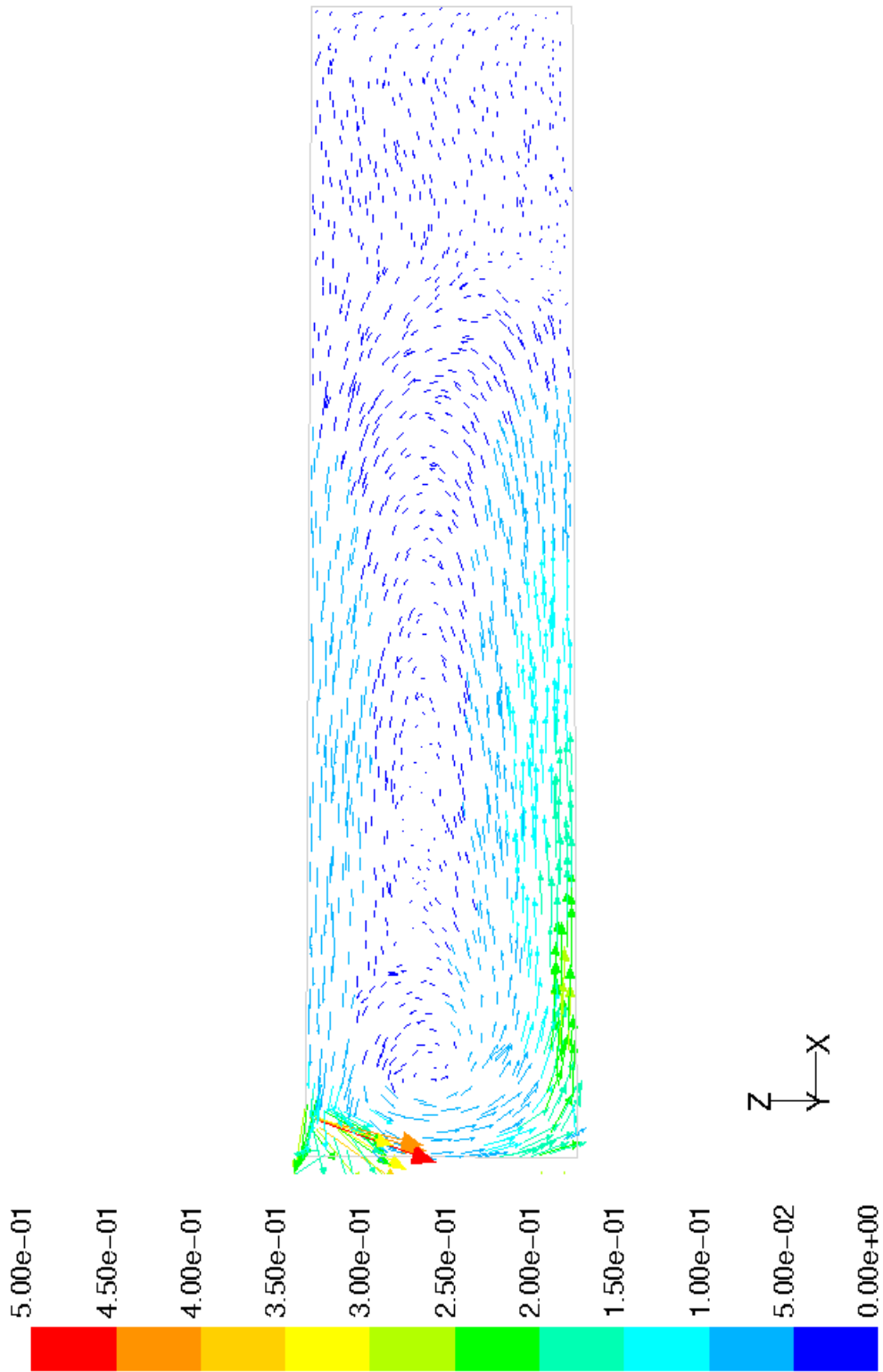


Figur H.20: Hastighetsvektorer på djupet 0,4 m. 0-0,2 m/s 50 %

Bilaga H: 50 % av maximala flödet.

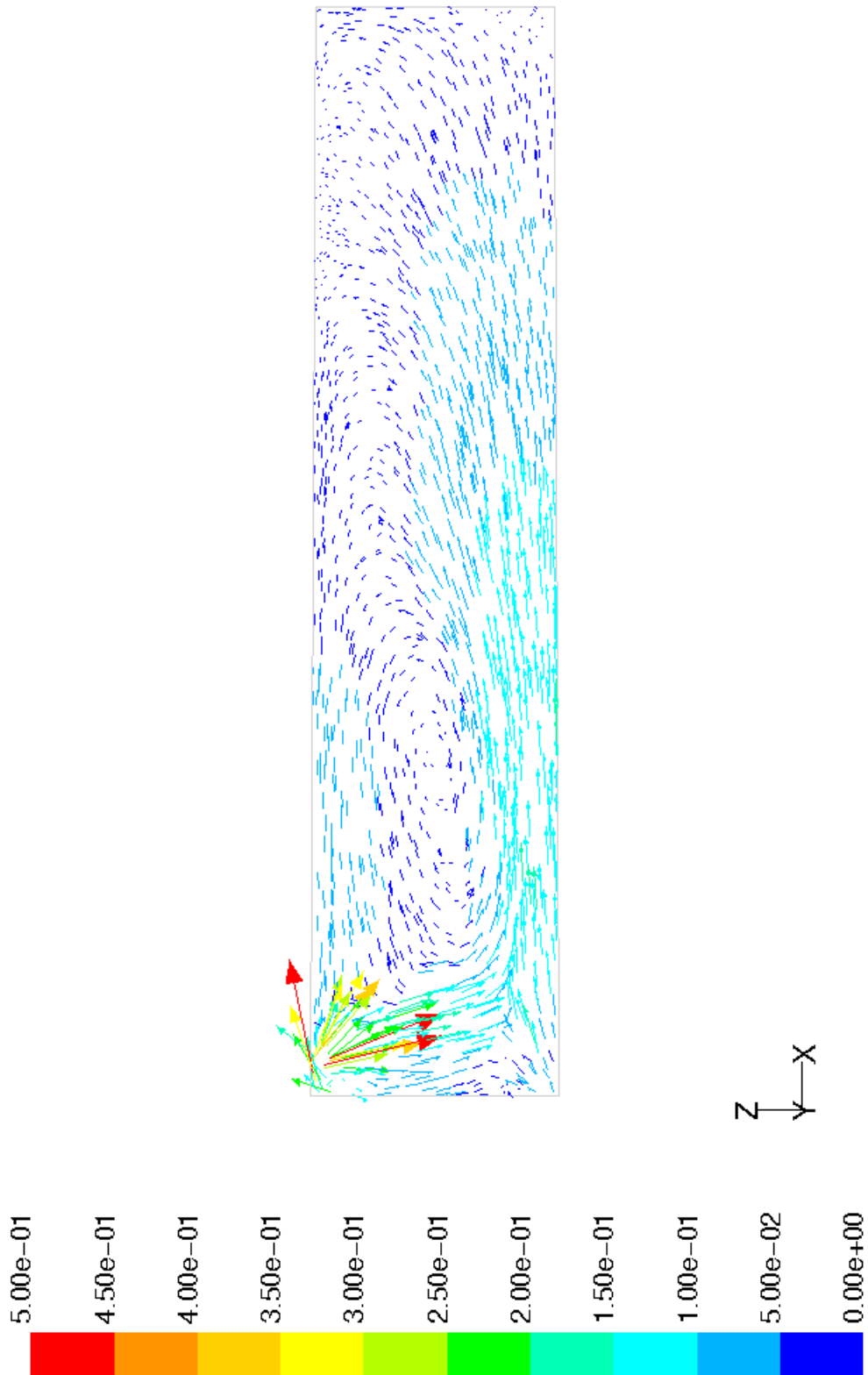


Figur H.21: Hastighetsvektorer på djupet 0,95 m. 0-0,5 m/s 50%

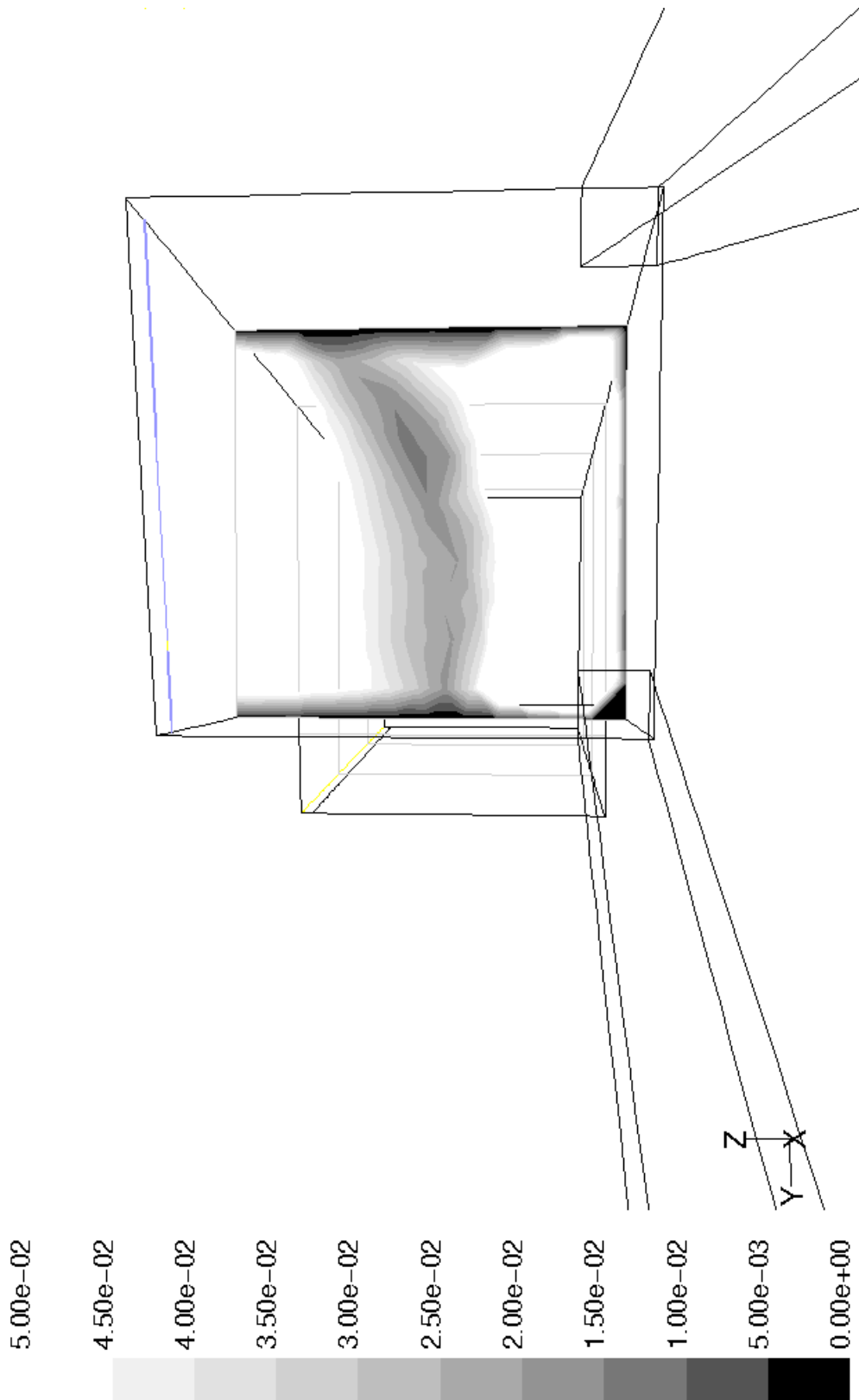


Figur H.22: Hastighetsvektorer 0,2 m ifrån akrylglaset. 0-0,5 m/s 50%

Bilaga H: 50 % av maximala flödet.

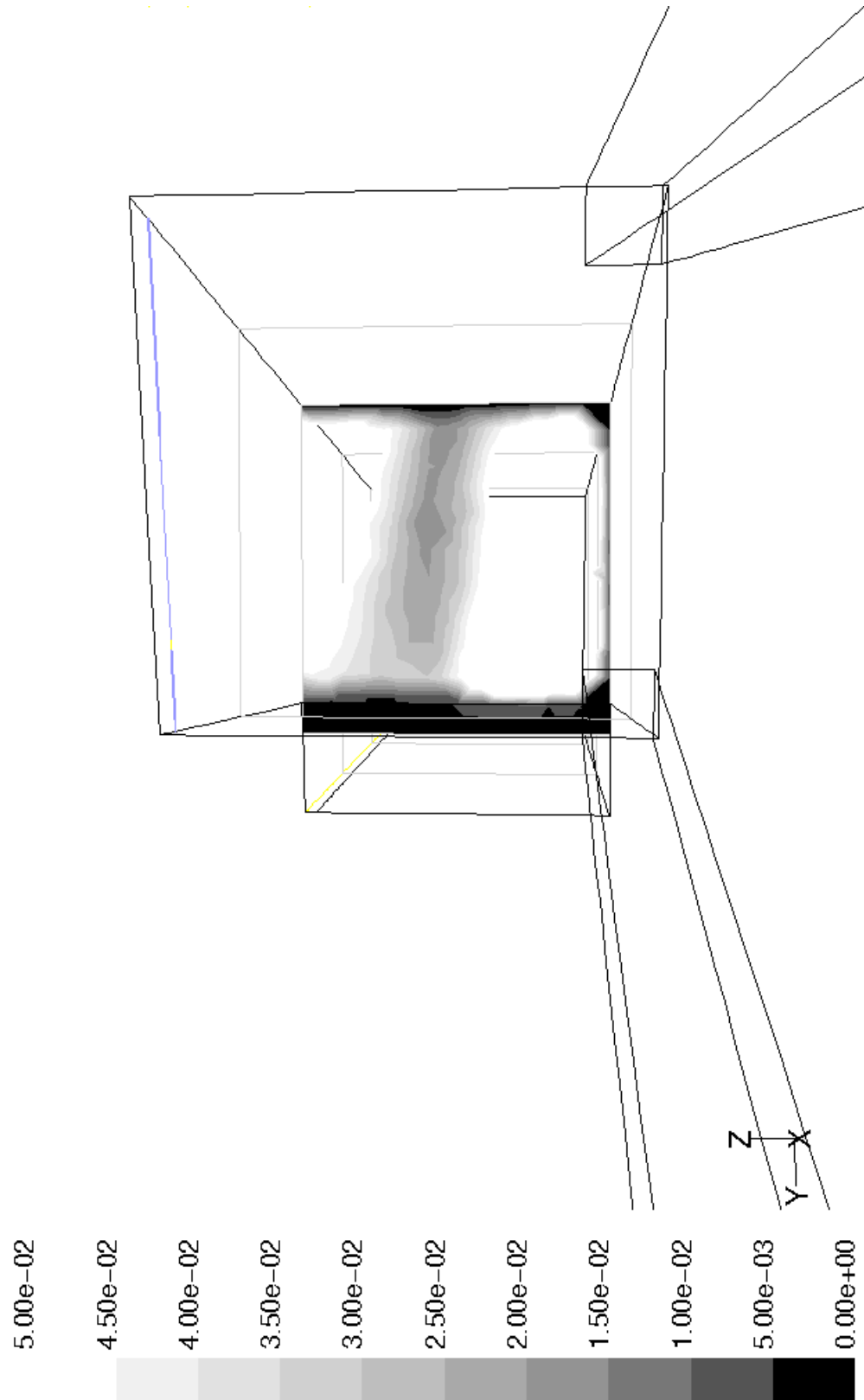


Figur H.23: Hastighetsvektorer 0,8 m ifrån akrylglaset. 0-0,5 m/s 50%

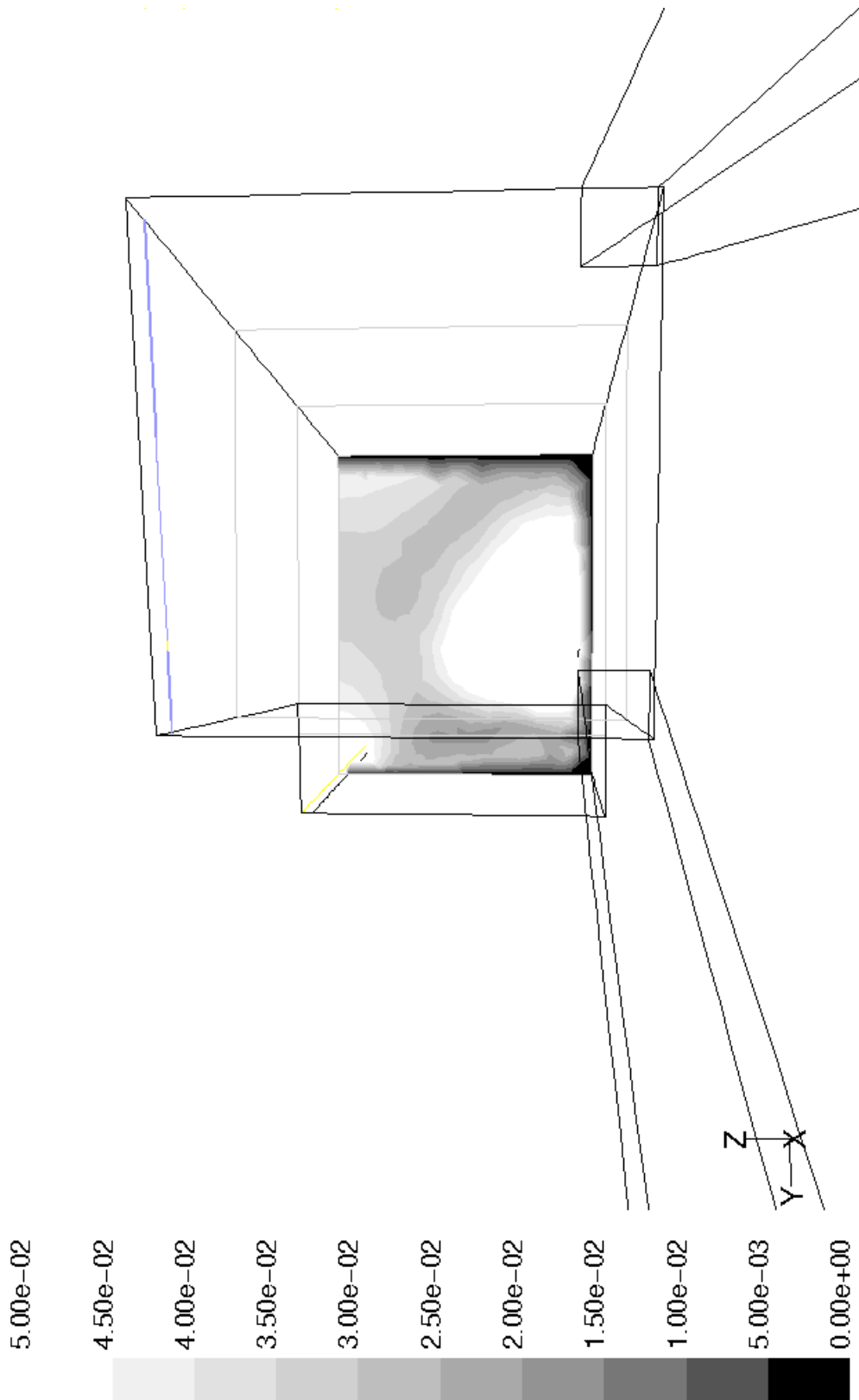


Figur H.24: Konturer av hastigheter på ytan $x=1,0$ m. $0-0,05$ m/s 50 %

Bilaga H: 50 % av maximala flödet.

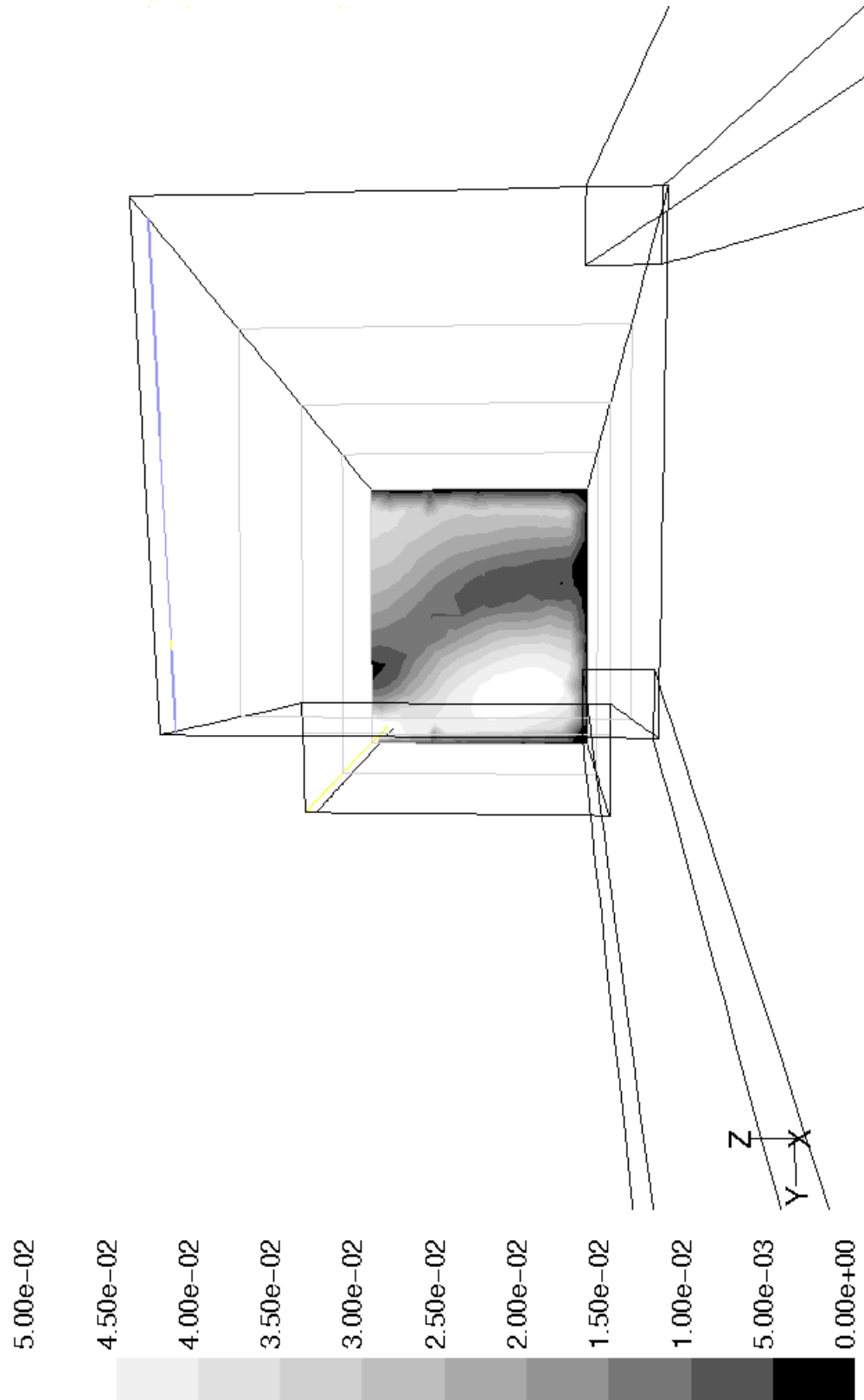


Figur H.25: Konturer av hastigheter på ytan $x=2,0$ m. $0-0,05$ m/s 50 %

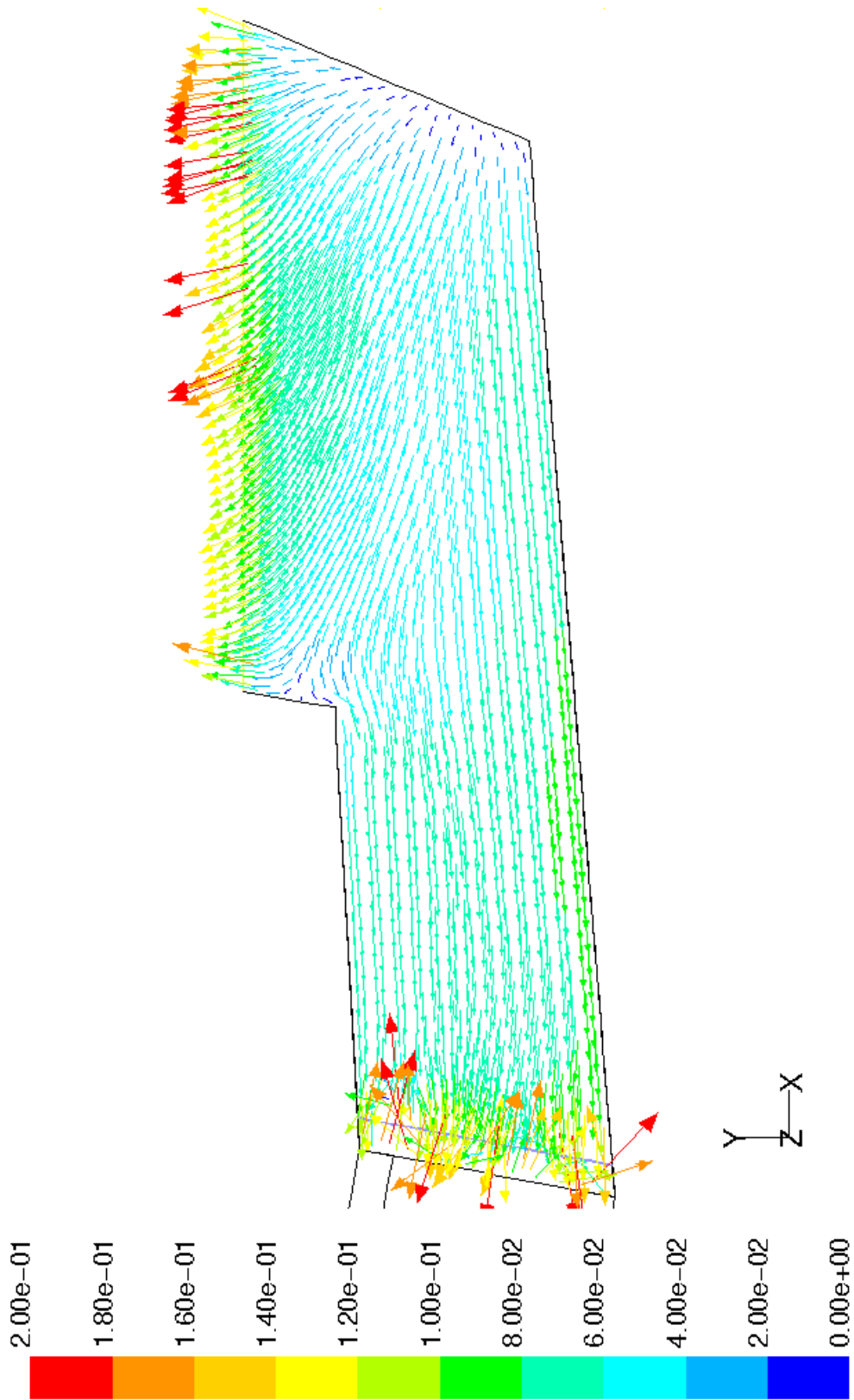


Figur H.26: Konturer av hastigheter på ytan $x=3,0$ m. $0-0,05$ m/s 50 %

Bilaga H: 50 % av maximala flödet.

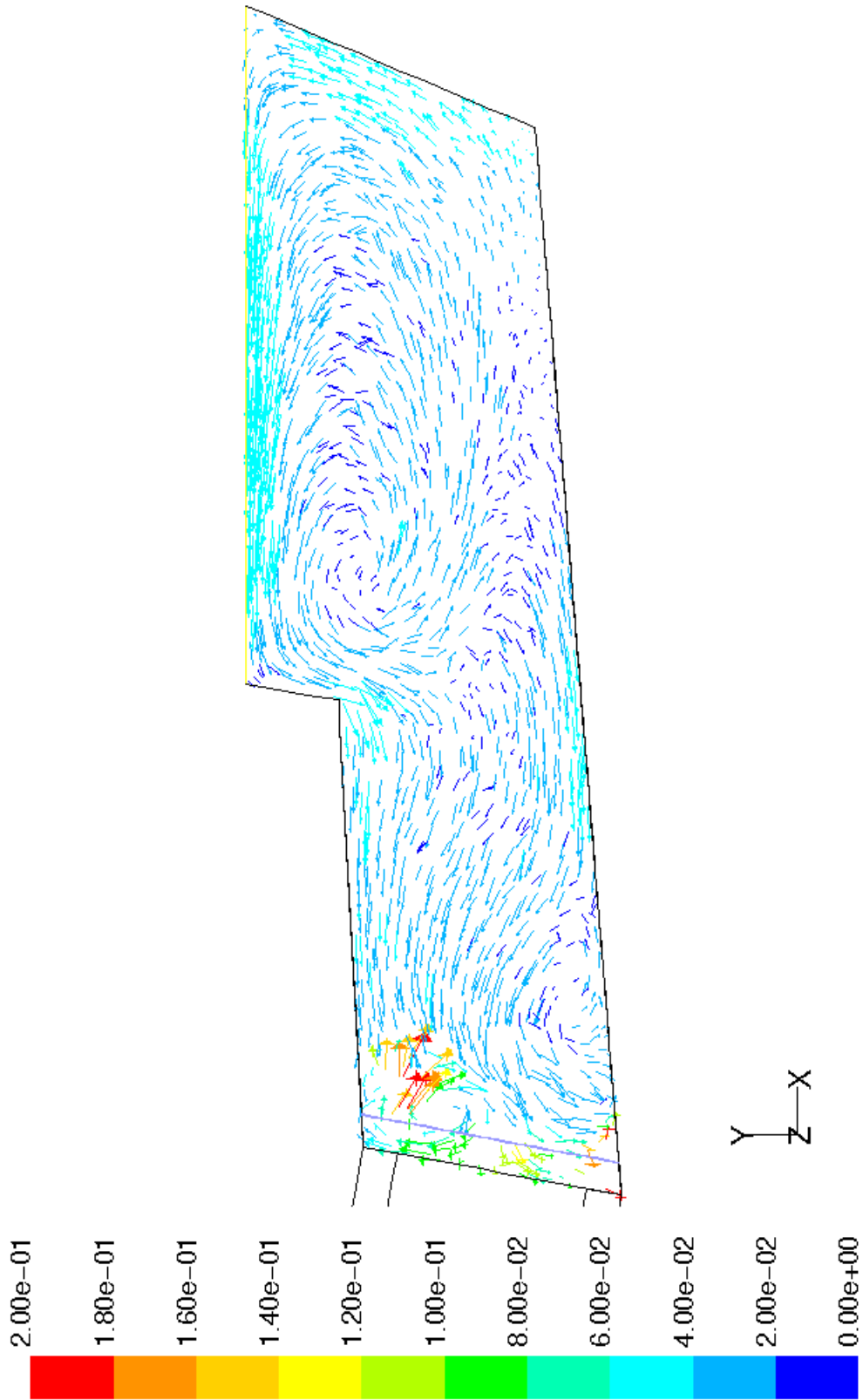


Figur H.27: Konturer av hastigheter på ytan $x=4,0$ m. $0-0,05$ m/s 50 %

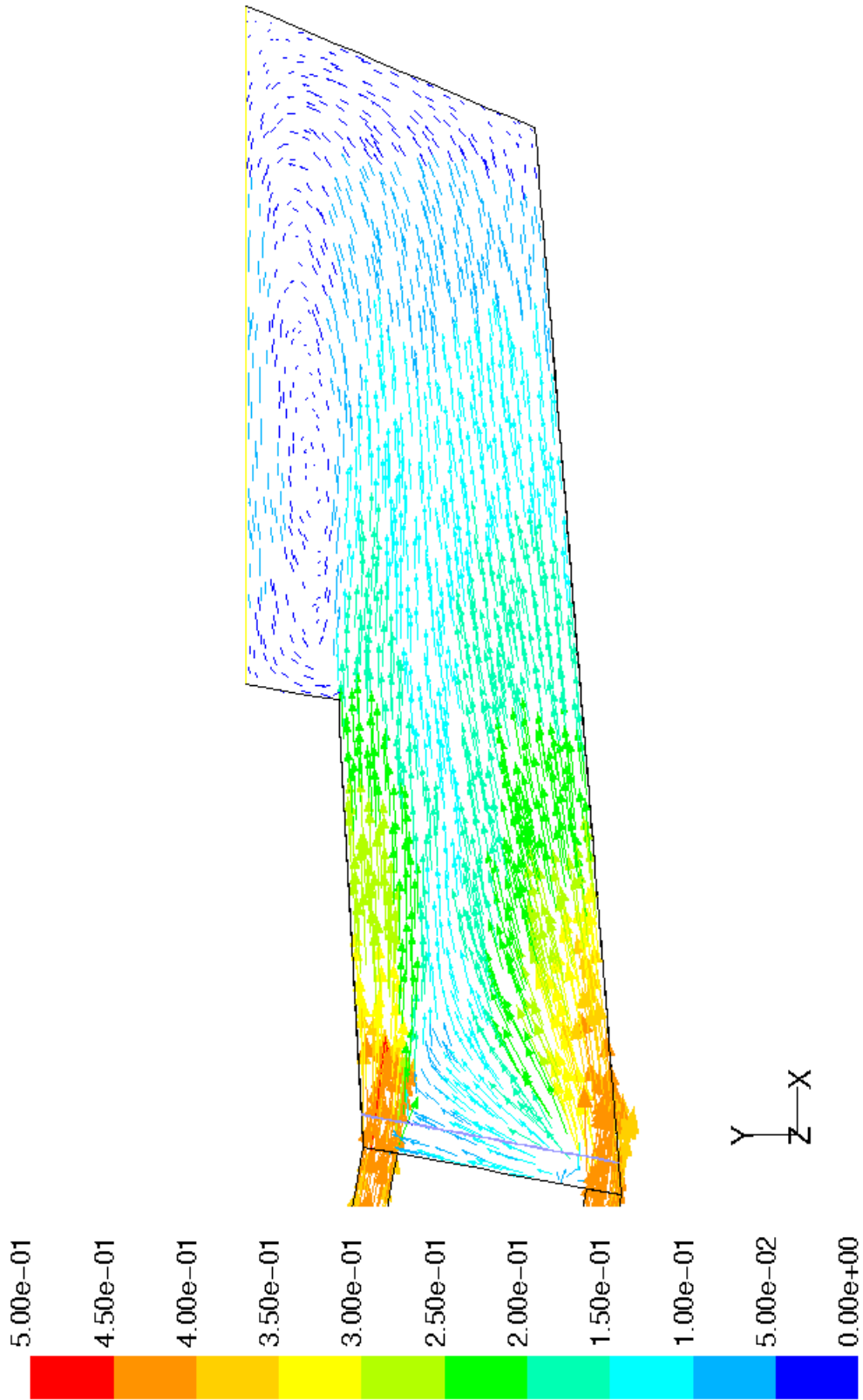


Figur H.10: Hastighetsvektorer i vattenytan. 0-0,2 m/s 75 %

Bilaga H: 75 % av maximala flödet.

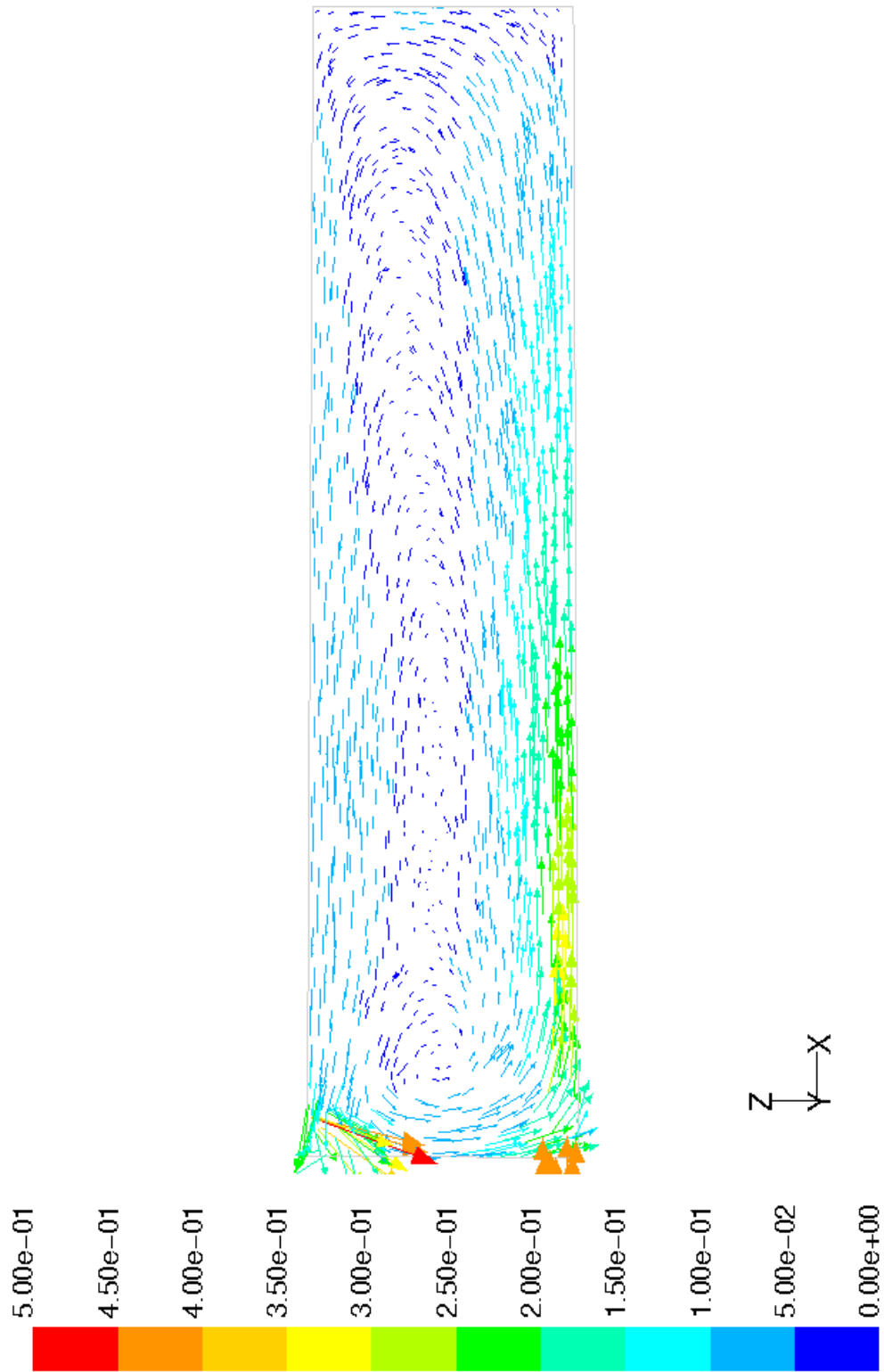


Figur H.11: Hastighetsvektorer på djupet 0,4 m. 0-0,2 m/s 75 %

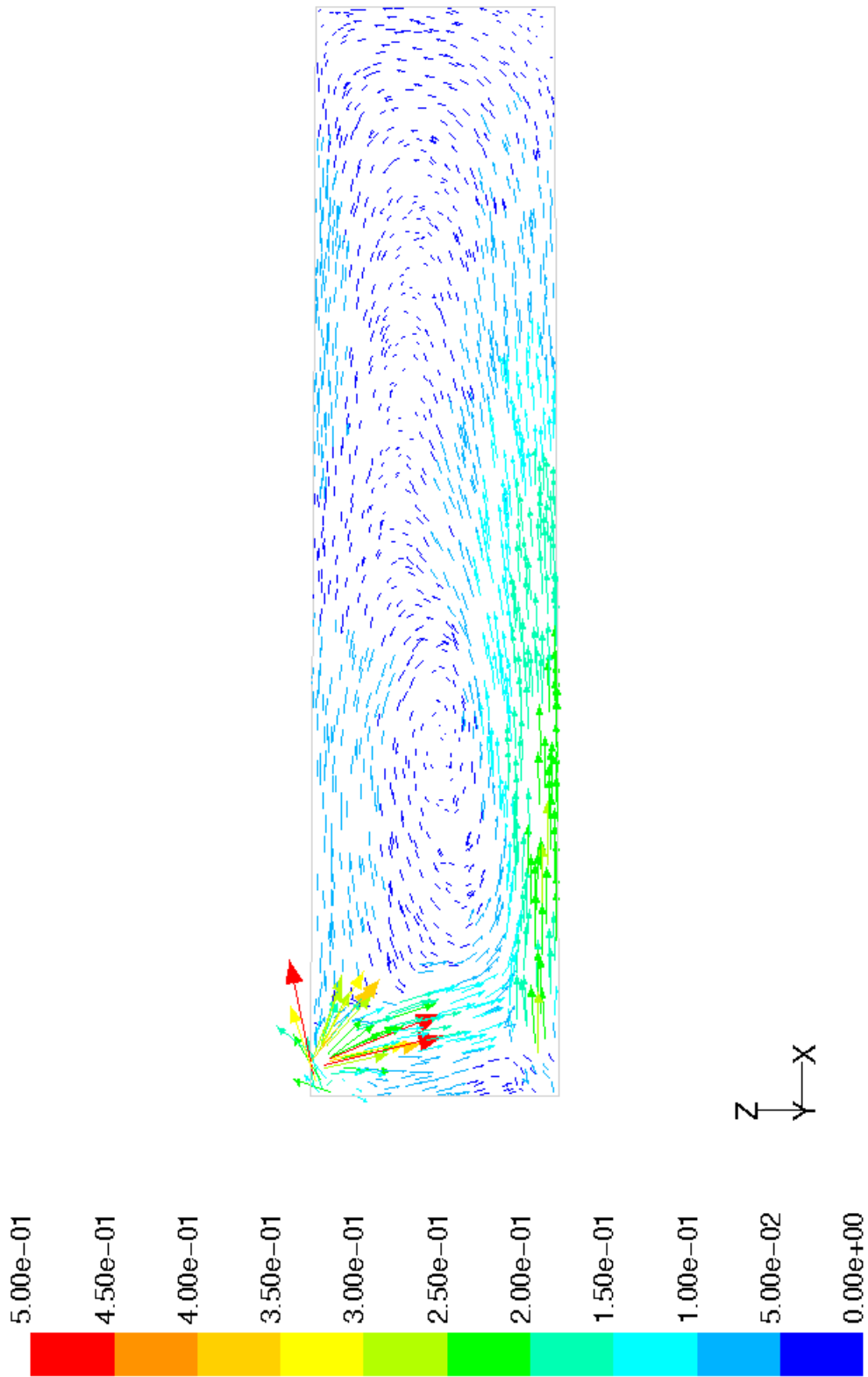


Figur H.12: Hastighetsvektorer på djupet 0,95 m. 0-0,5 m/s 75%

Bilaga H: 75 % av maximala flödet.

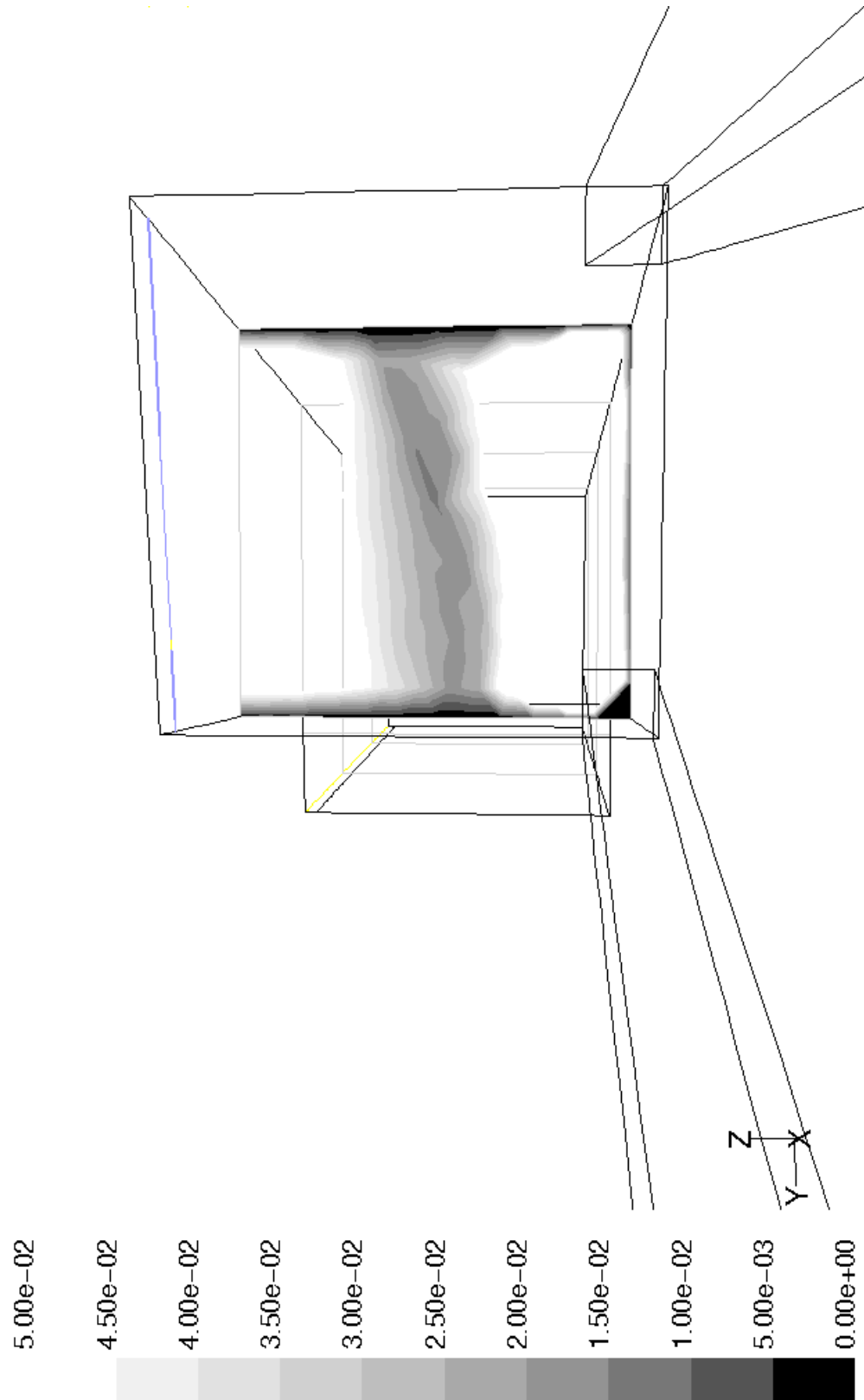


Figur H.13: Hastighetsvektorer 0,2 m ifrån akrylglaset. 0-0,5 m/s 75%

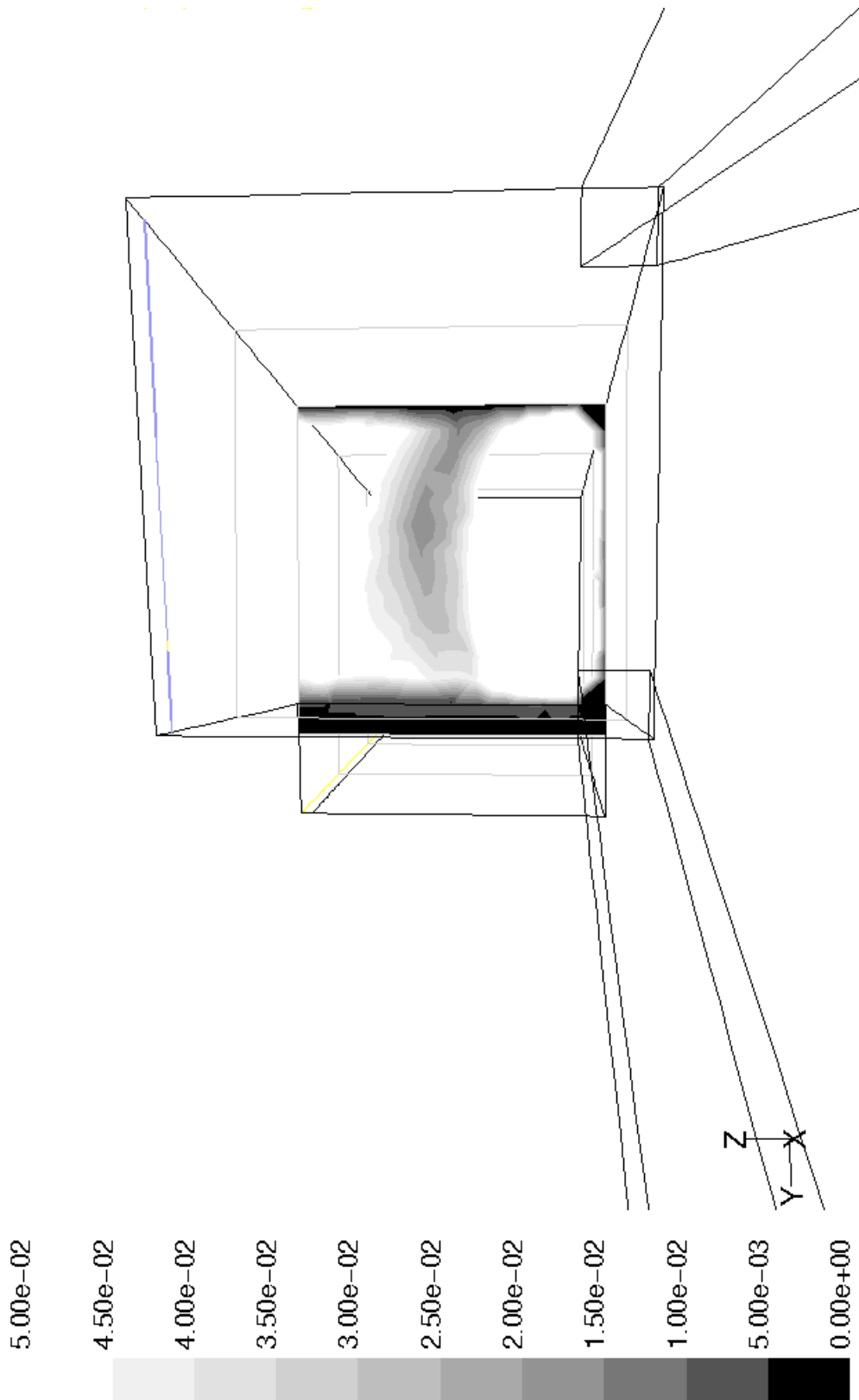


Figur H.14: Hastighetsvektorer 0,8 m ifrån akrylglaset. 0-0,5 m/s 75%

Bilaga H: 75 % av maximala flödet.

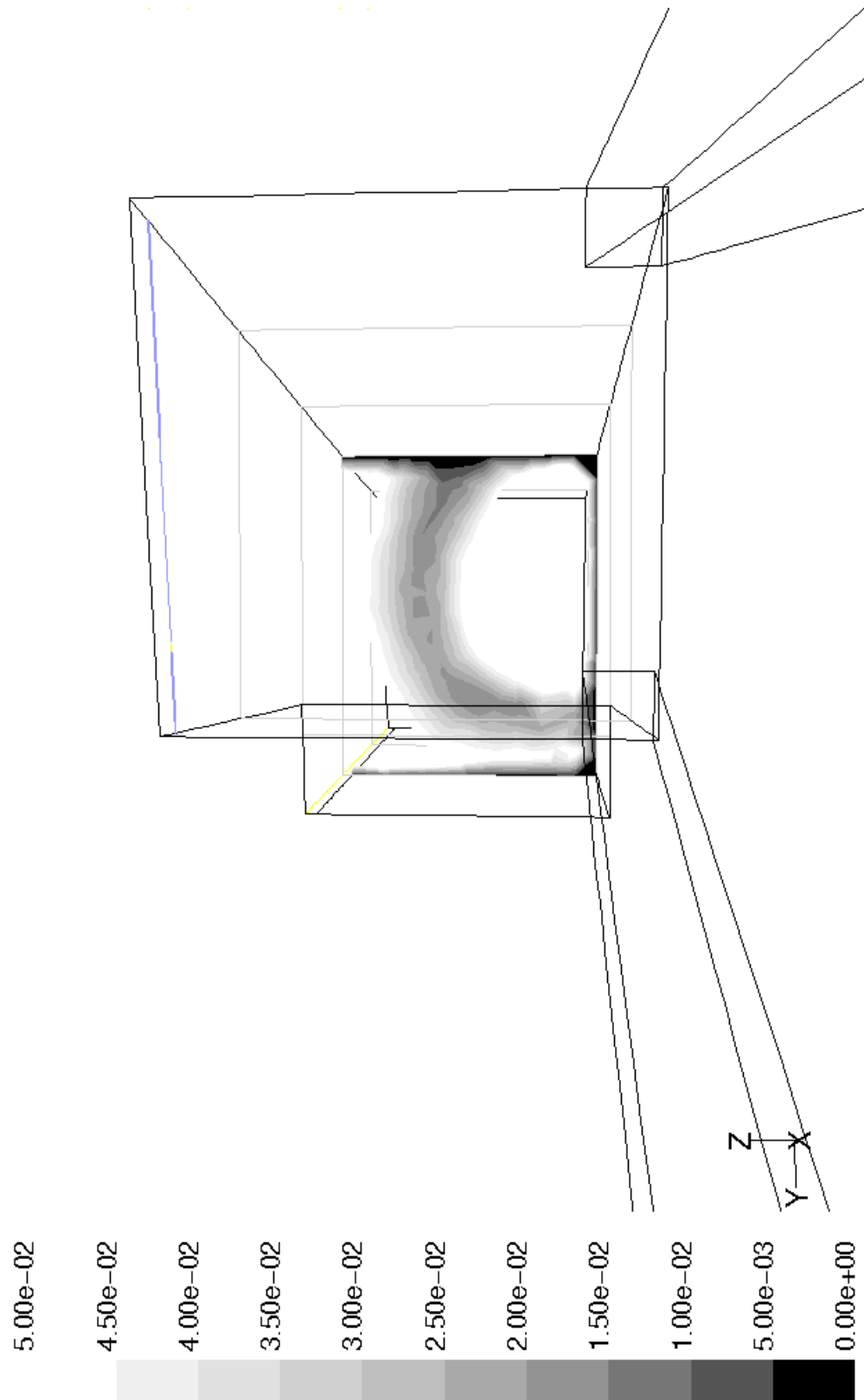


Figur H.15: Konturer av hastigheter på ytan $x=1,0$ m. $0-0,05$ m/s 75 %

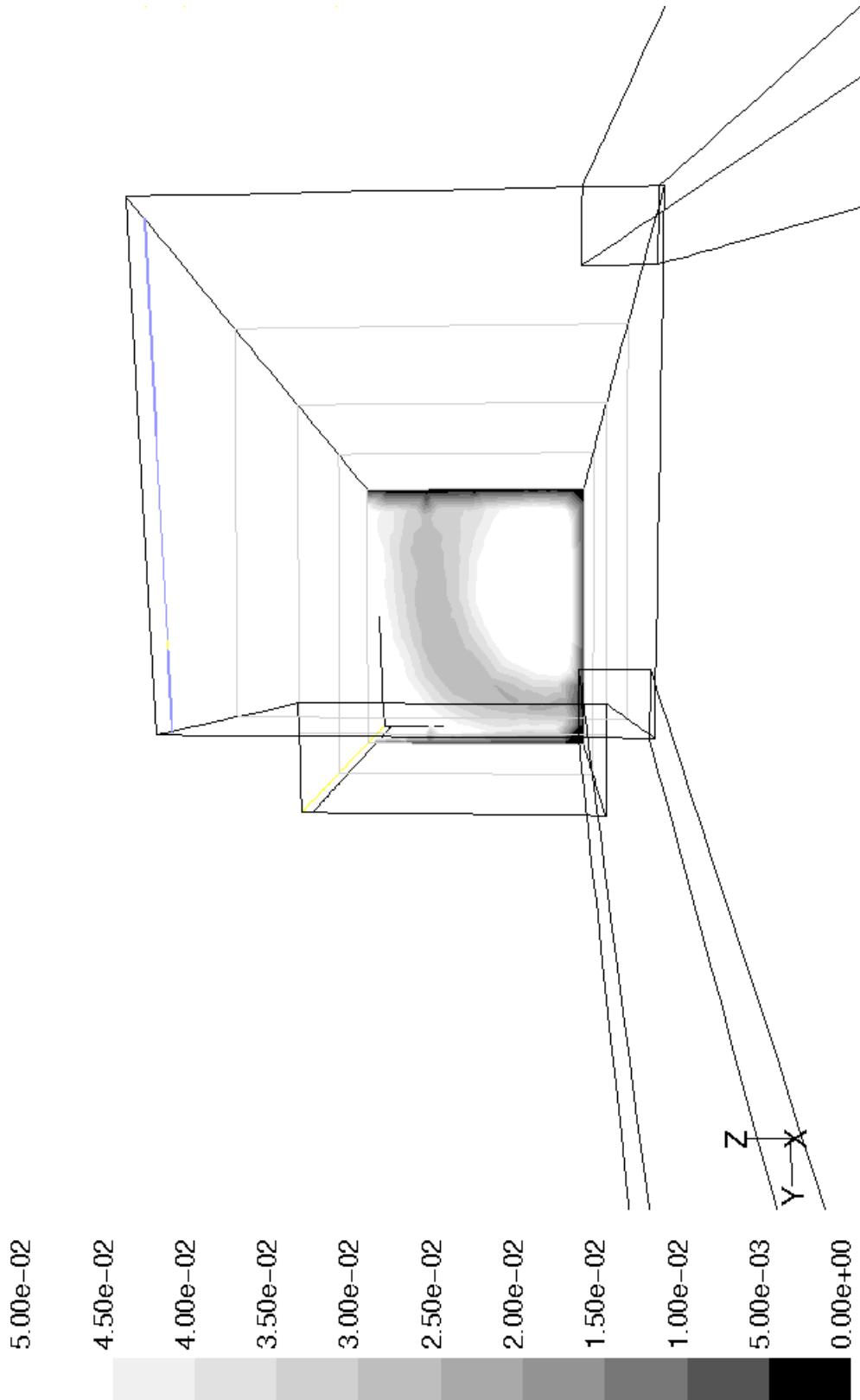


Figur H.16: Konturer av hastigheter på ytan $x=2,0$ m. $0-0,05$ m/s 75 %

Bilaga H: 75 % av maximala flödet.



Figur H.19: Konturer av hastigheter på ytan $x=3,0$ m. $0-0,05$ m/s 75 %



Figur H.18: Konturer av hastigheter på ytan $x=4,0$ m. $0-0,05$ m/s 75 %

BILAGA I

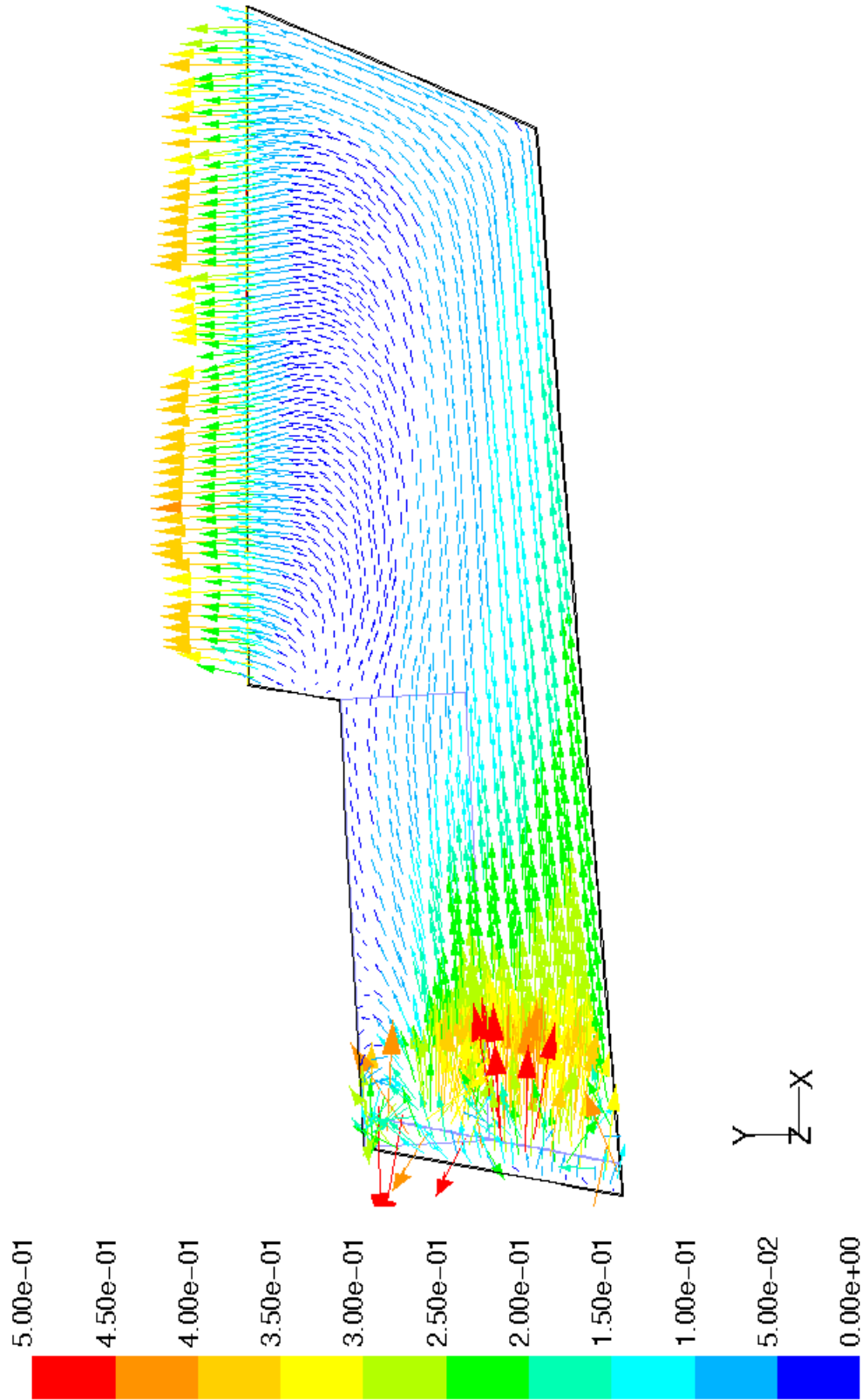
Resultat från älv med diffust inflöde

100 % av maximala flödet

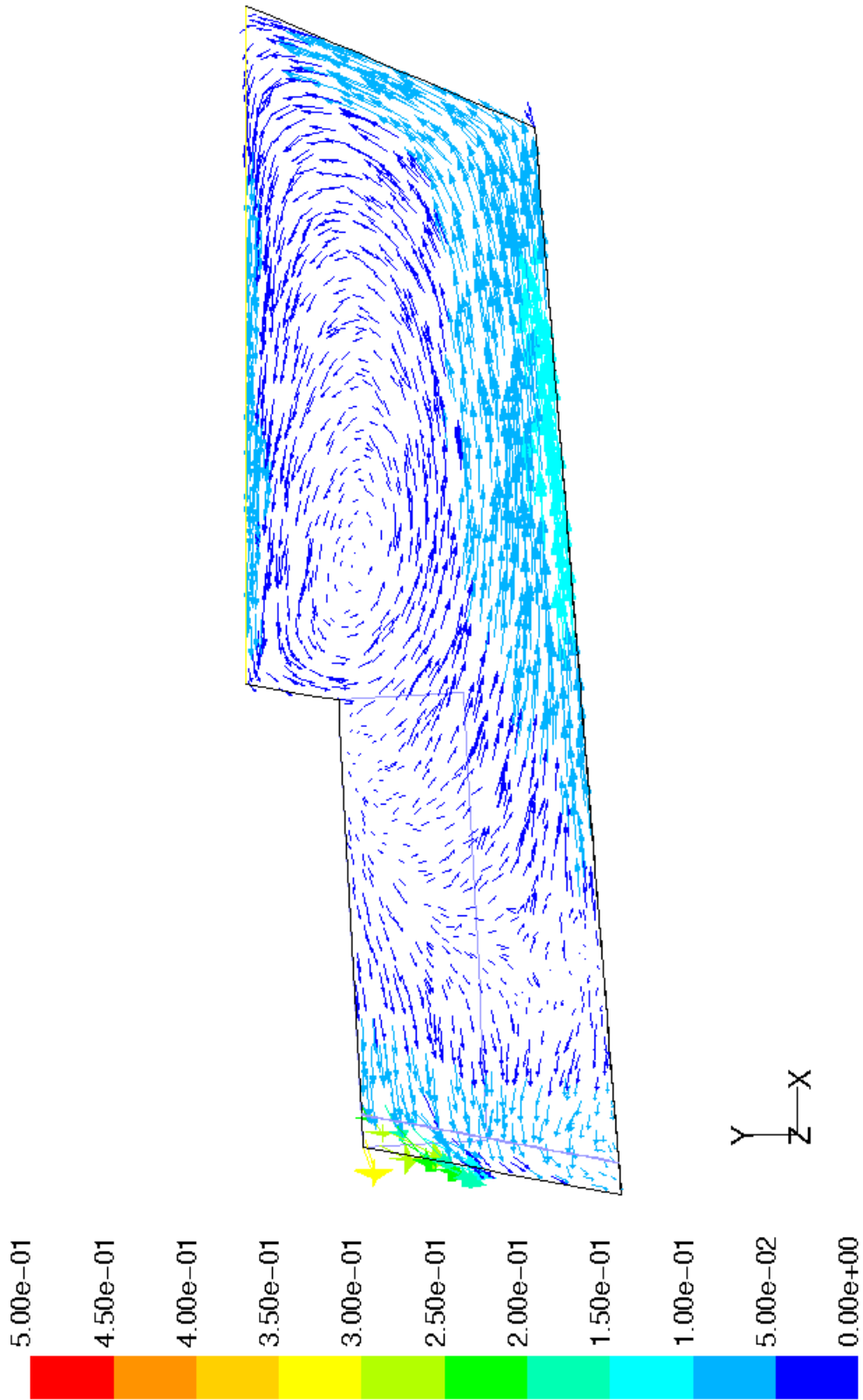
75 % av maximala flödet

50 % av maximala flödet

Bilaga I: 100 % av maximala flödet

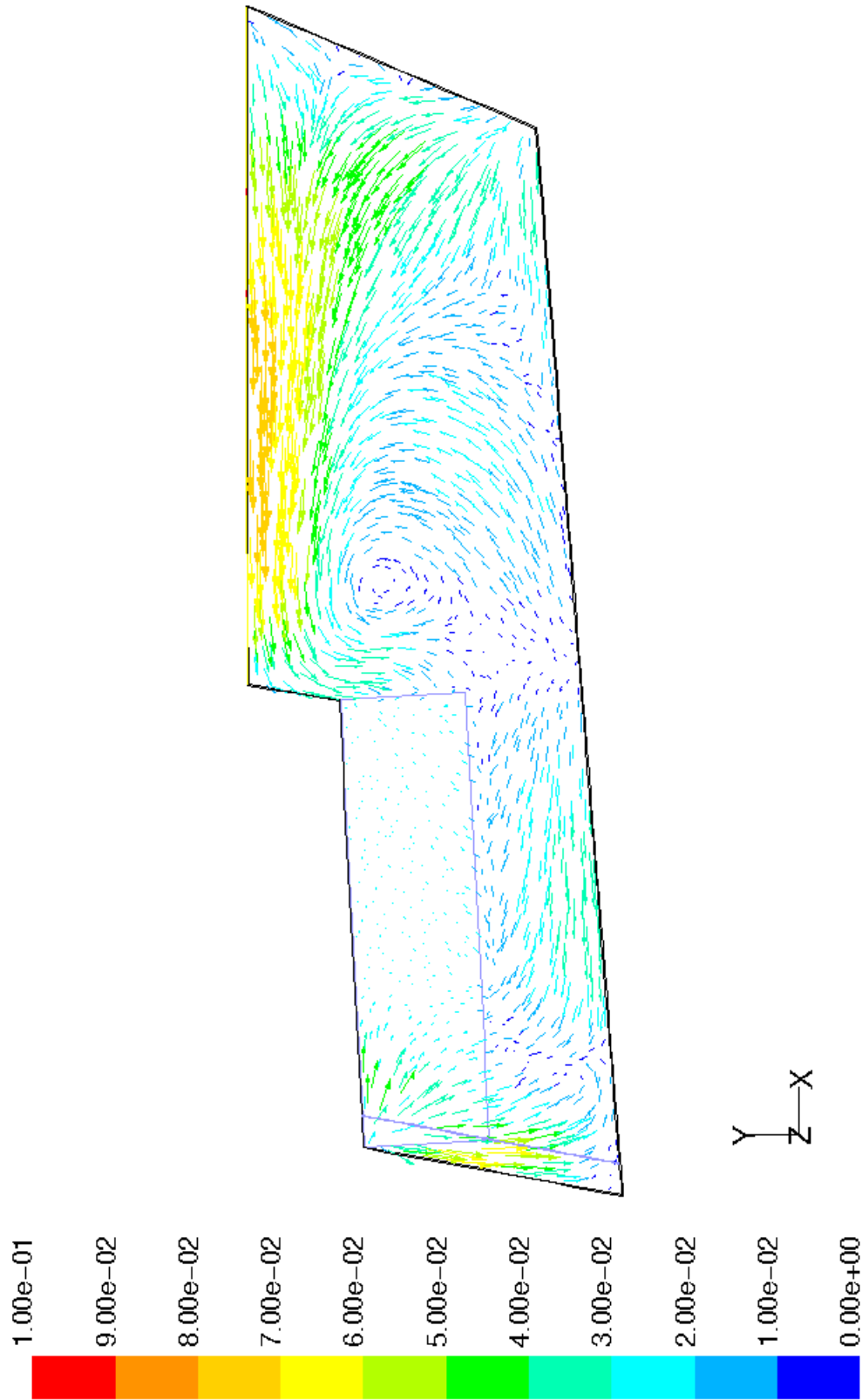


Figur I.1: Hastighetsvektorer i vattentank. 0-0,5 m/s 100 %

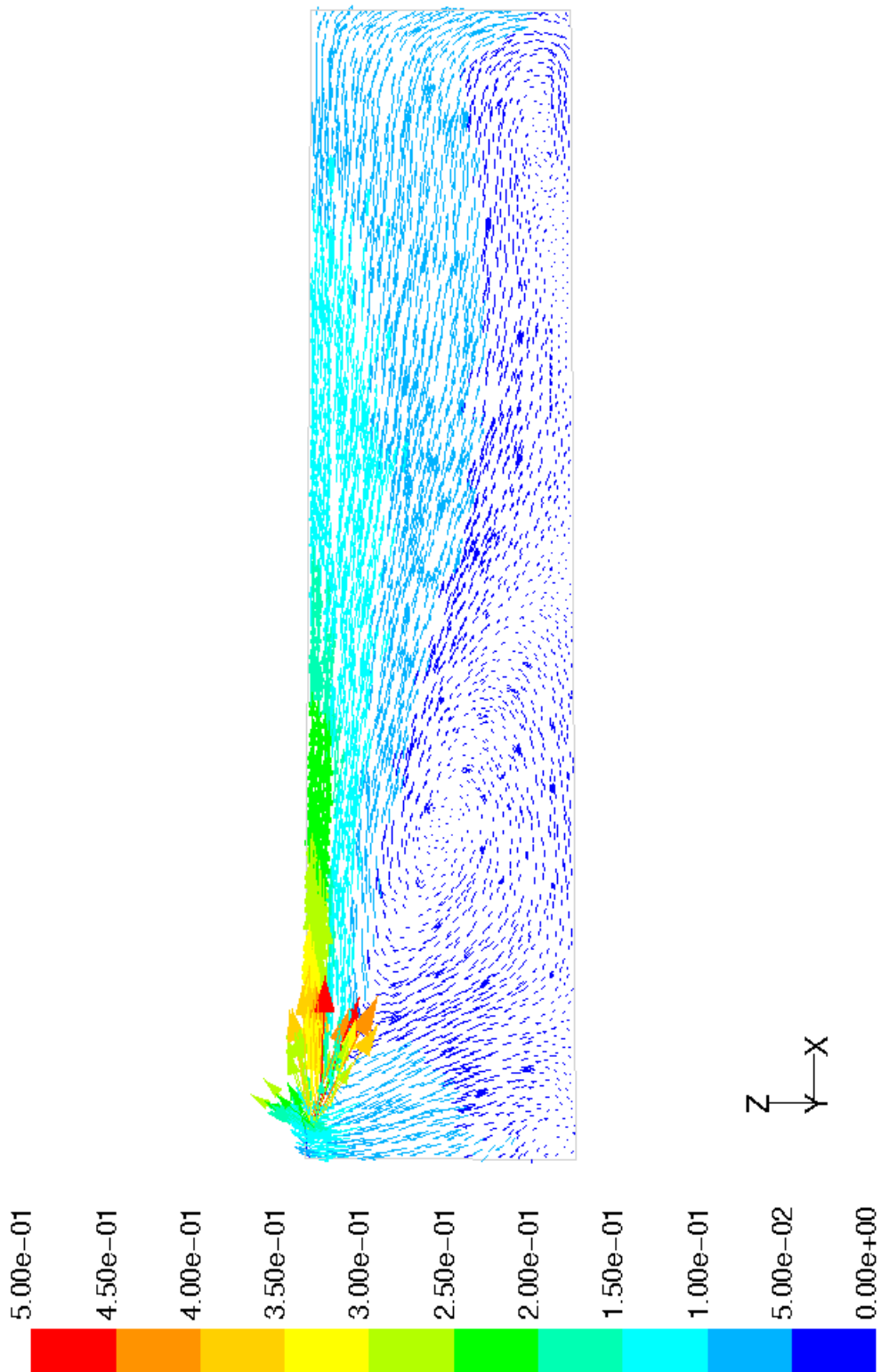


Figur I.2: Hastighetsvektorer på djupet 0,4 m. 0-0,5 m/s 100 %

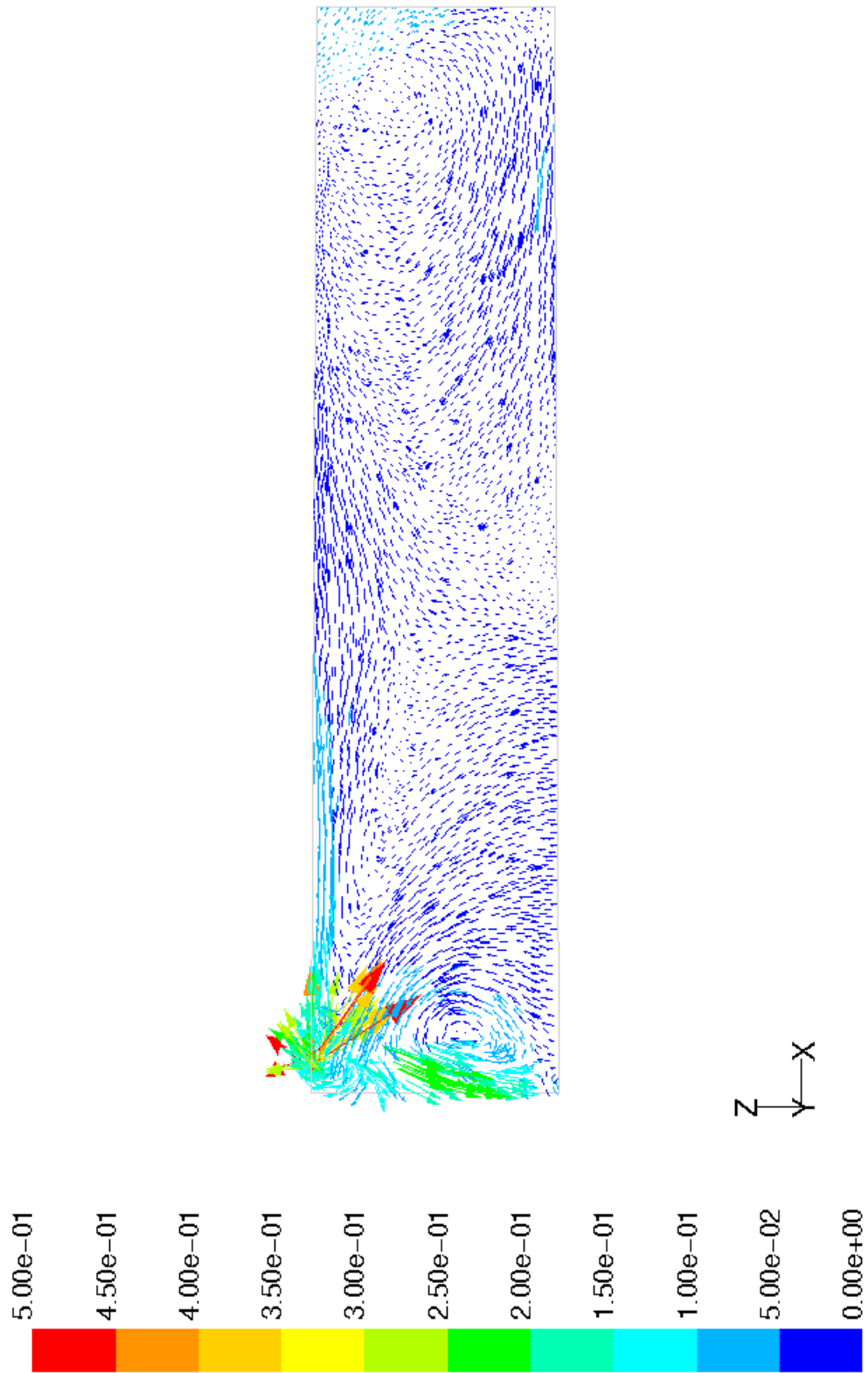
Bilaga I: 100 % av maximala flödet



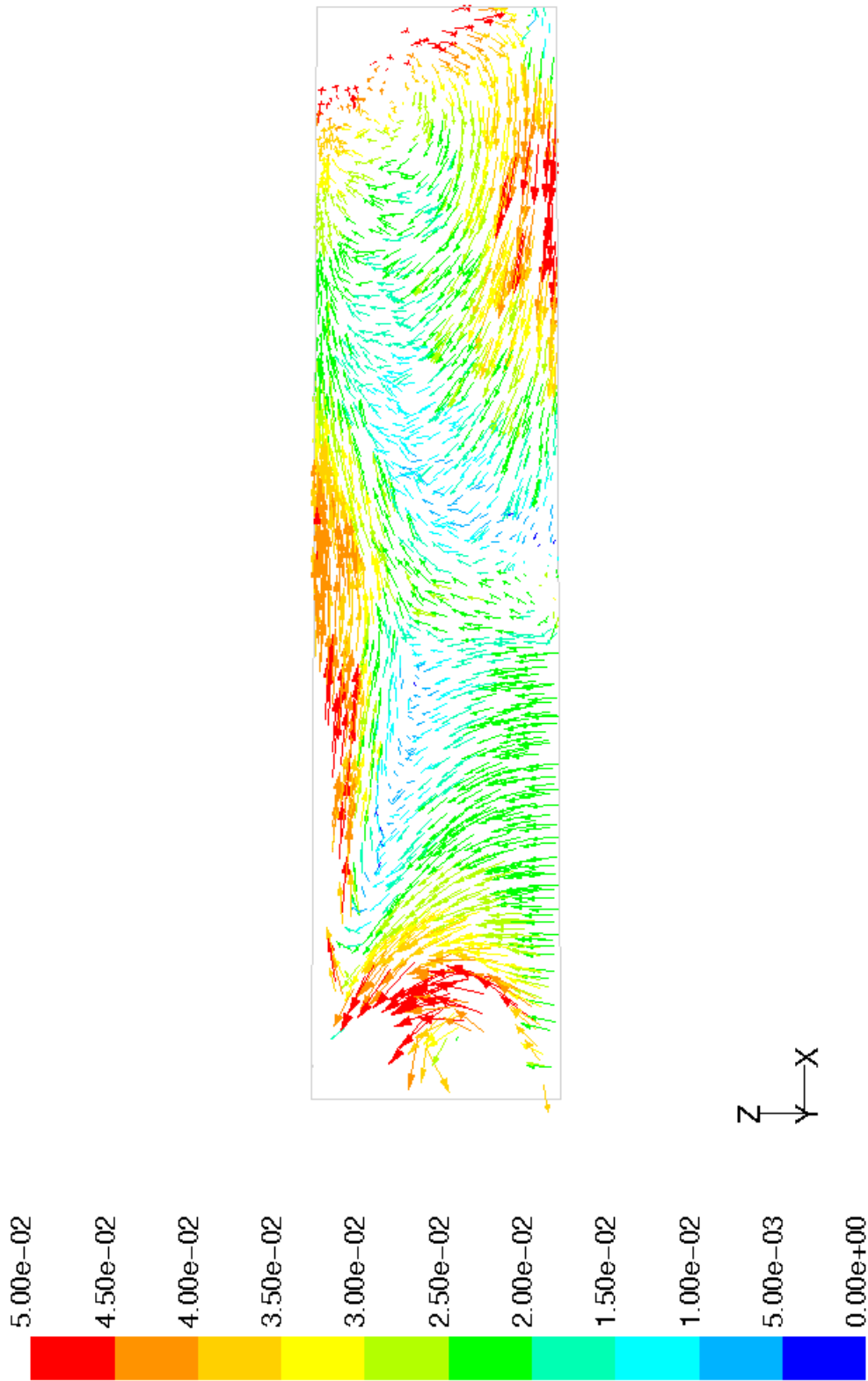
Figur I.3: Hastighetsvektorer på djupet 0,95 m. 0-0,1 m/s 100 %



Figur I.4: Hastighetsvektorer 0,2 m ifrån akrylglaslet. 0-0,5 m/s 100 %

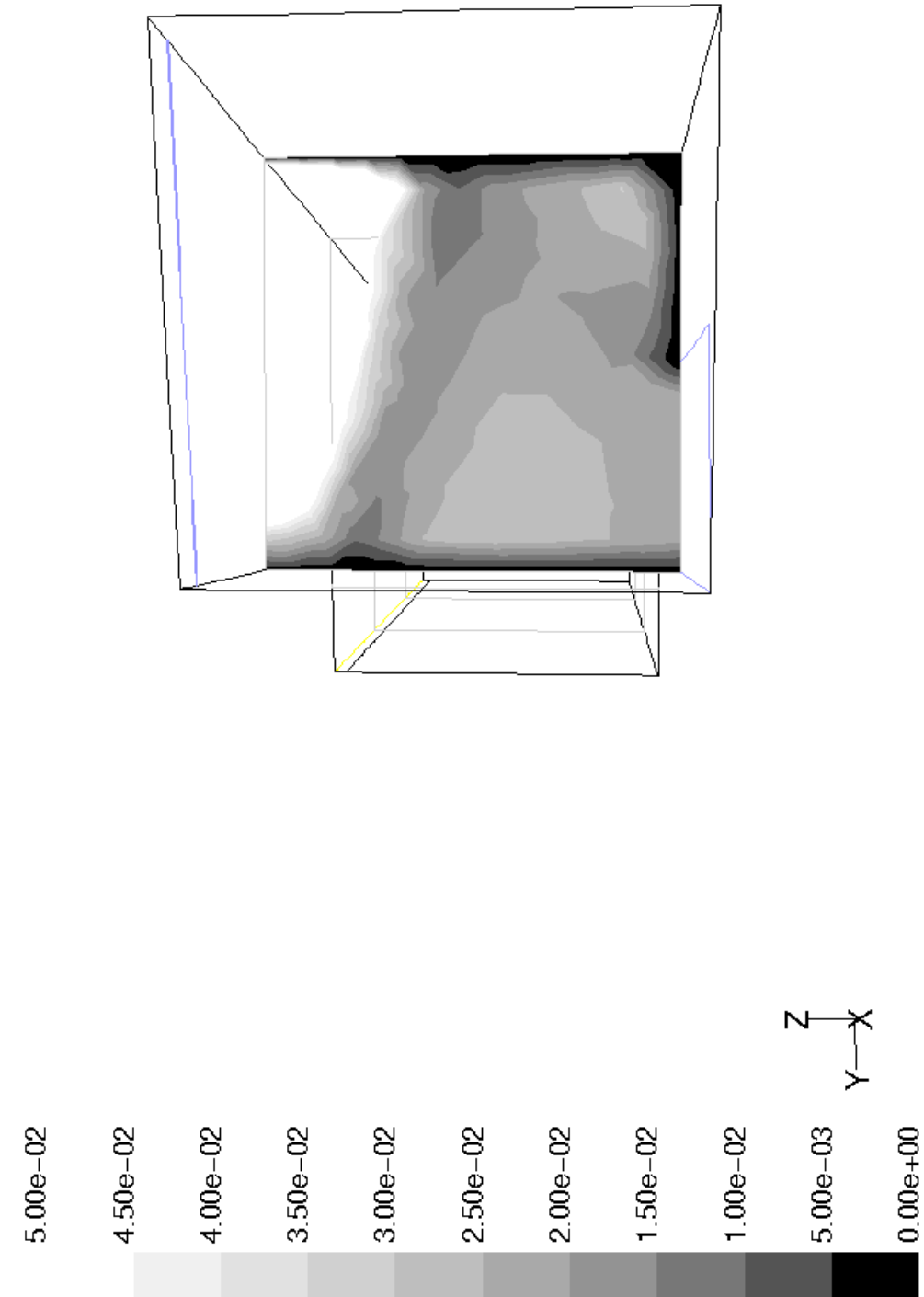


Figur I.5: Hastighetsvektorer 0,8 m ifrån akrylglasat. 0-0,5 m/s 100 %

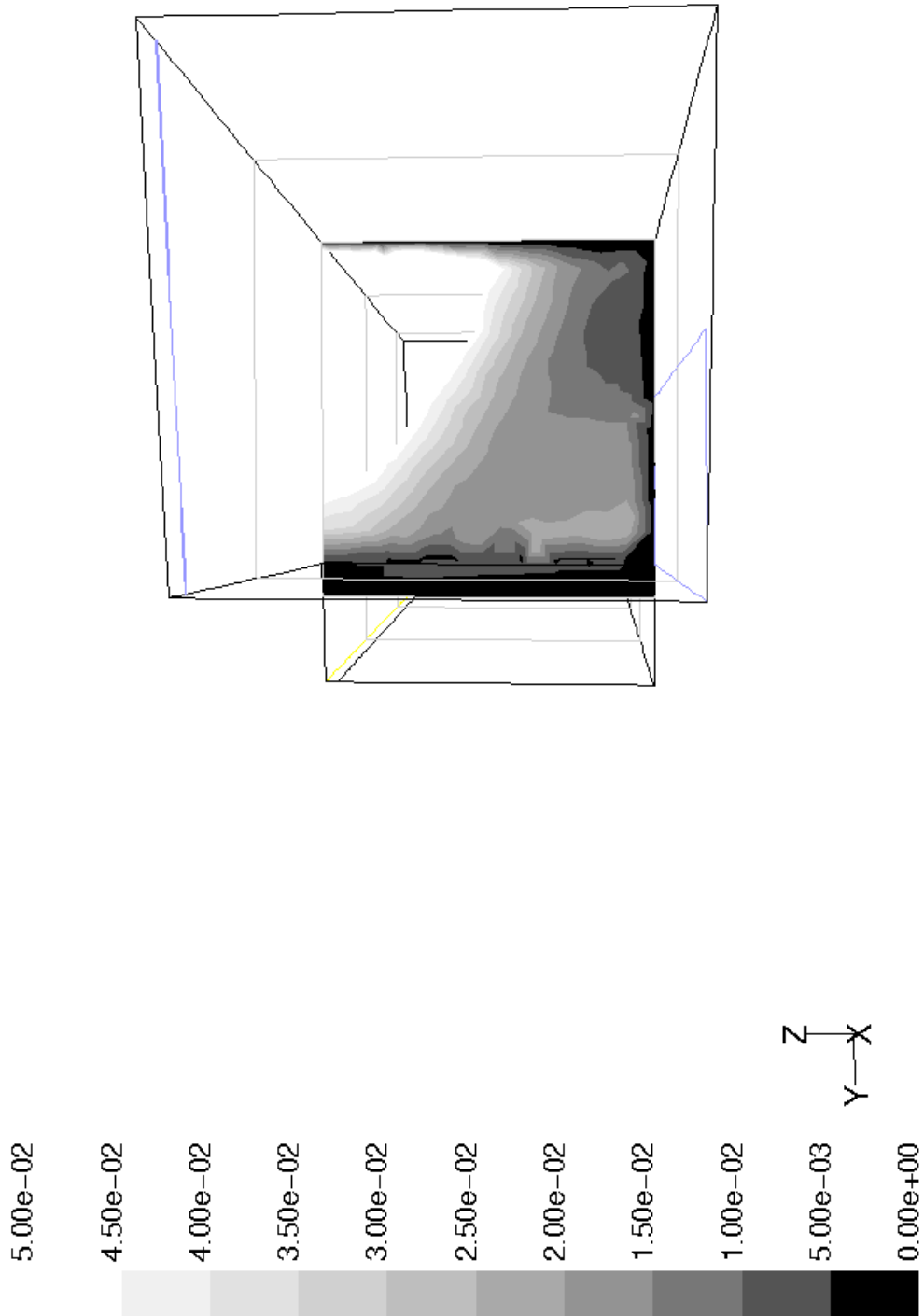


Figur I.6: Hastighetsvektorer 0,8 m ifrån akrylglasat. 0-0,05 m/s 100 %

Bilaga I: 100 % av maximala flödet

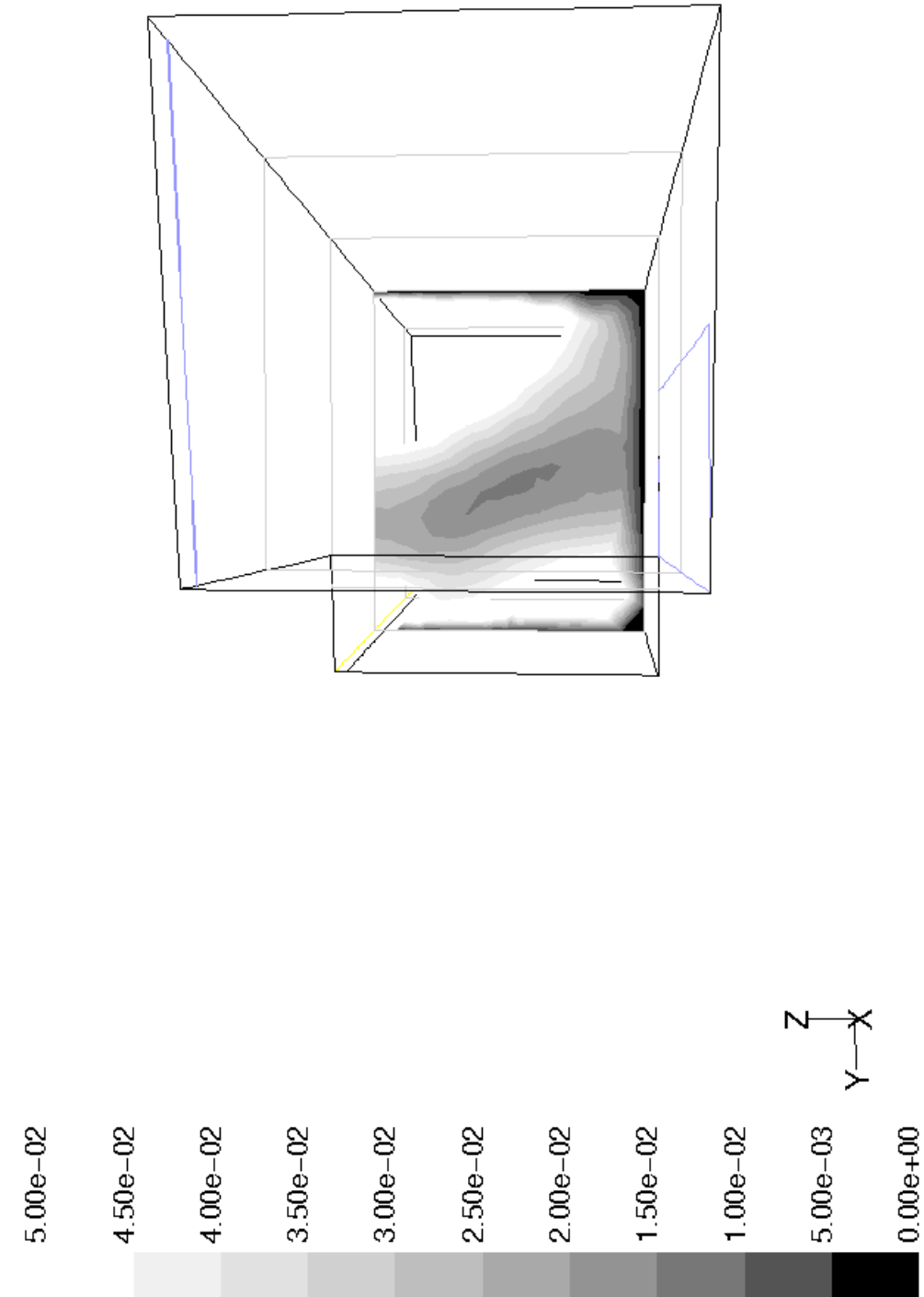


Figur I.7: Konturer av hastigheter på ytan $x=1,0$ m. $0-0,05$ m/s 100 %

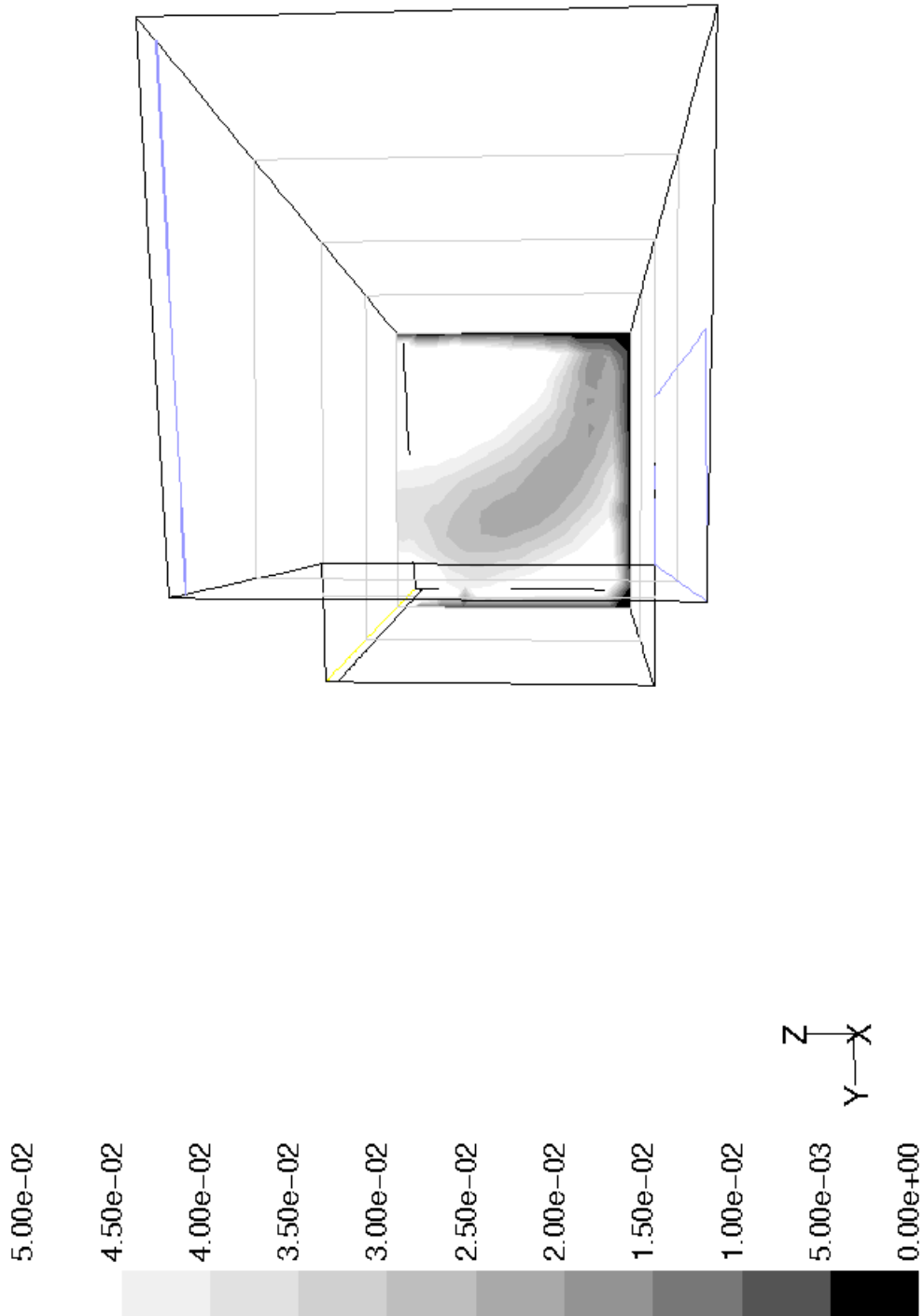


Figur I.8: Konturer av hastigheter på ytan $x=2,0$ m. $0-0,05$ m/s 100 %

Bilaga I: 100 % av maximala flödet

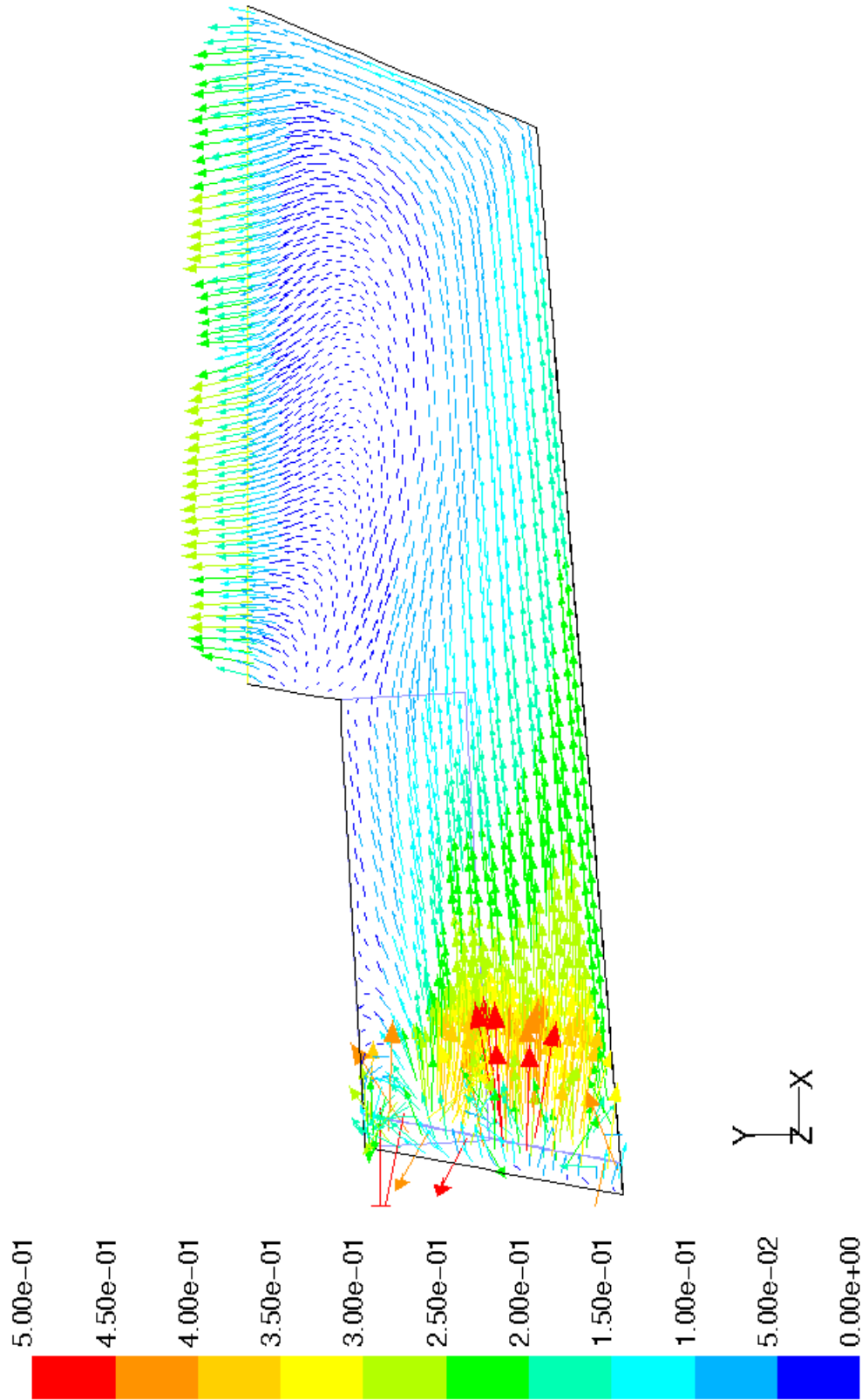


Figur I.9: Konturer av hastigheter på ytan $x=3,0$ m. $0-0,05$ m/s 100 %

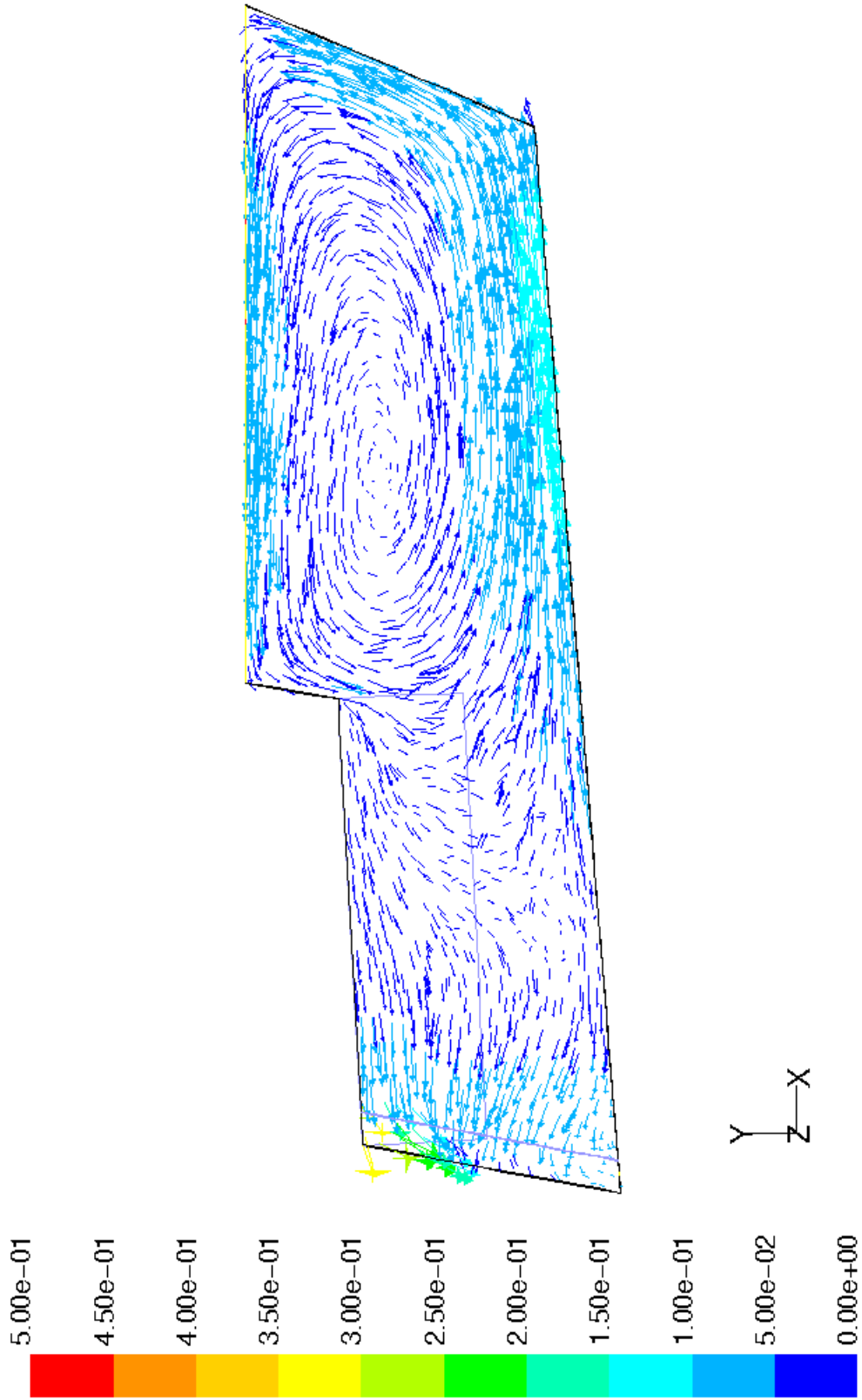


Figur I.10: Konturer av hastigheter på ytan $x=4,0$ m. 0-0,05 m/s 100 %

Bilaga I: 50 % av maximala flödet.

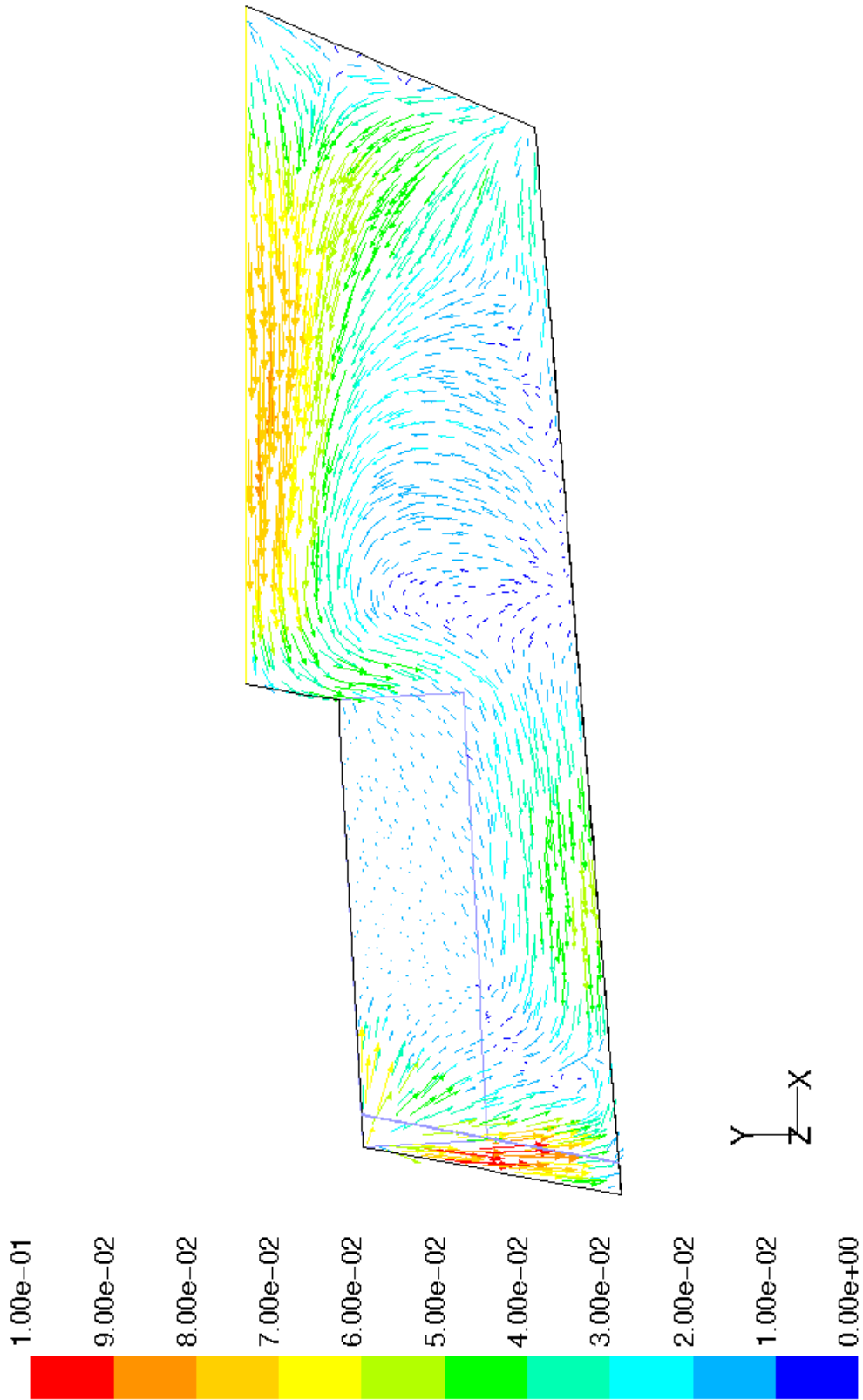


Figur I.21: Hastighetsvektorer i vattentytan. 0-0,5 m/s 50 %

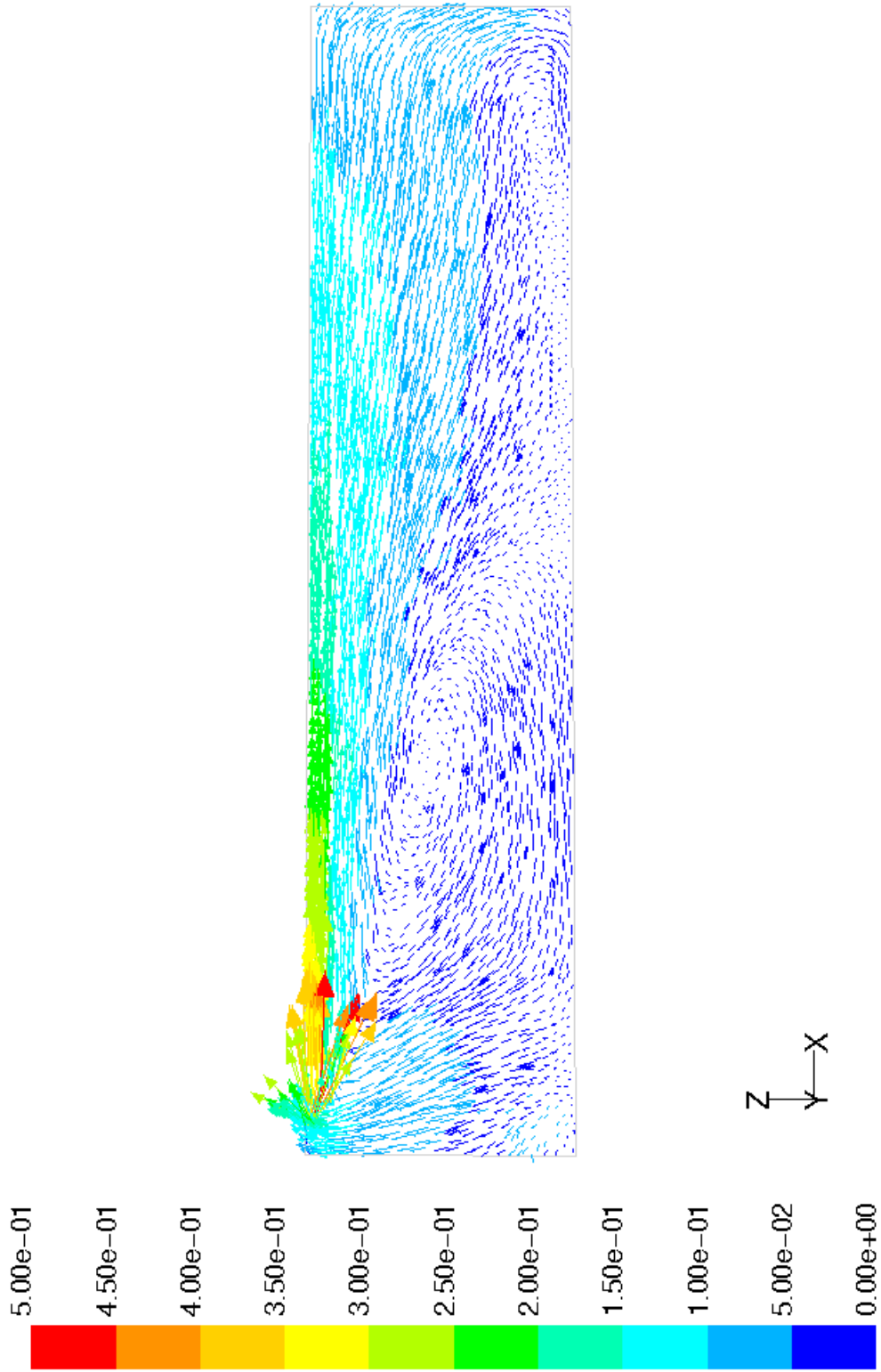


Figur I.22: Hastighetsvektorer på djupet 0,4 m. 0-0,5 m/s 50 %

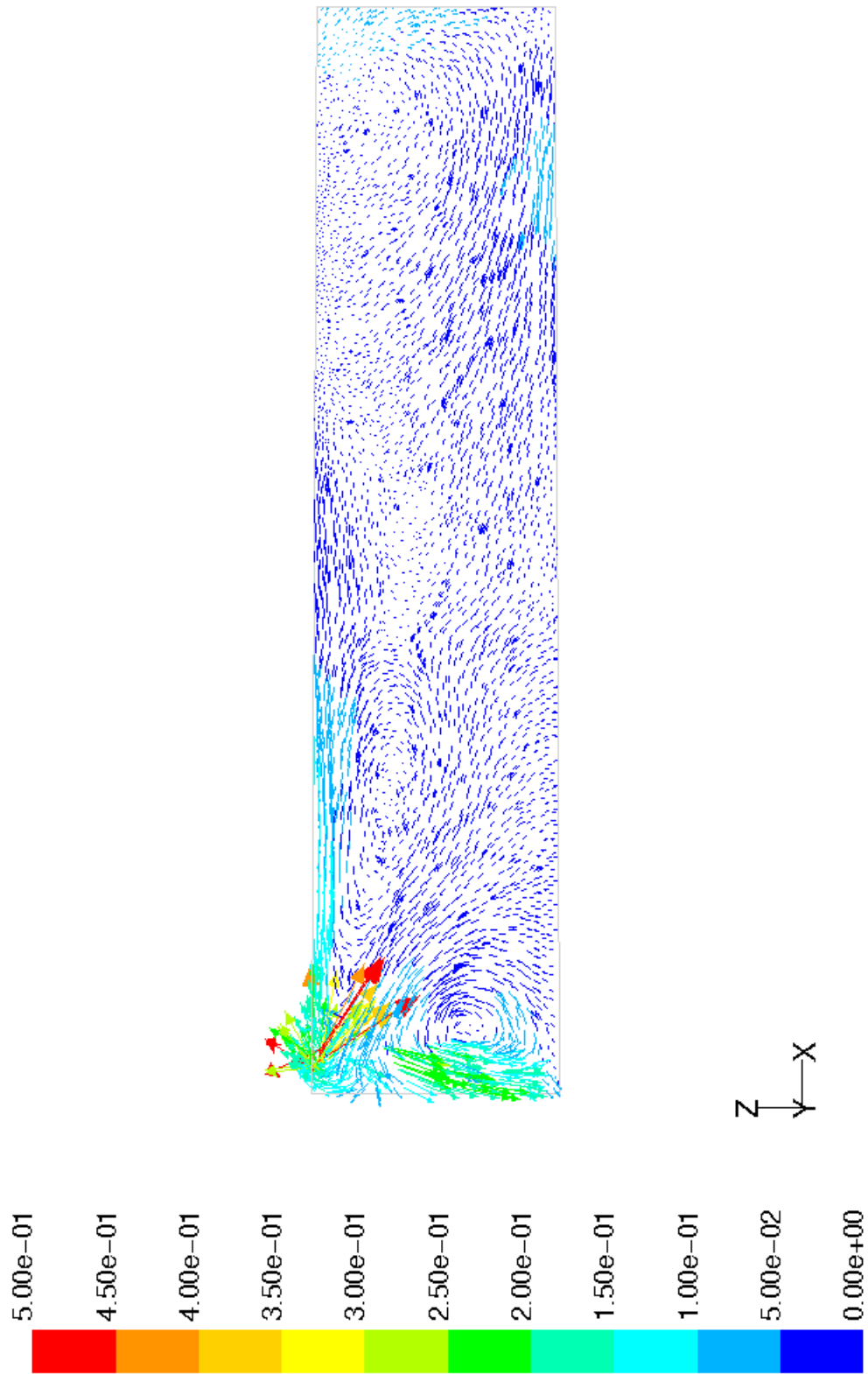
Bilaga I: 50 % av maximala flödet.



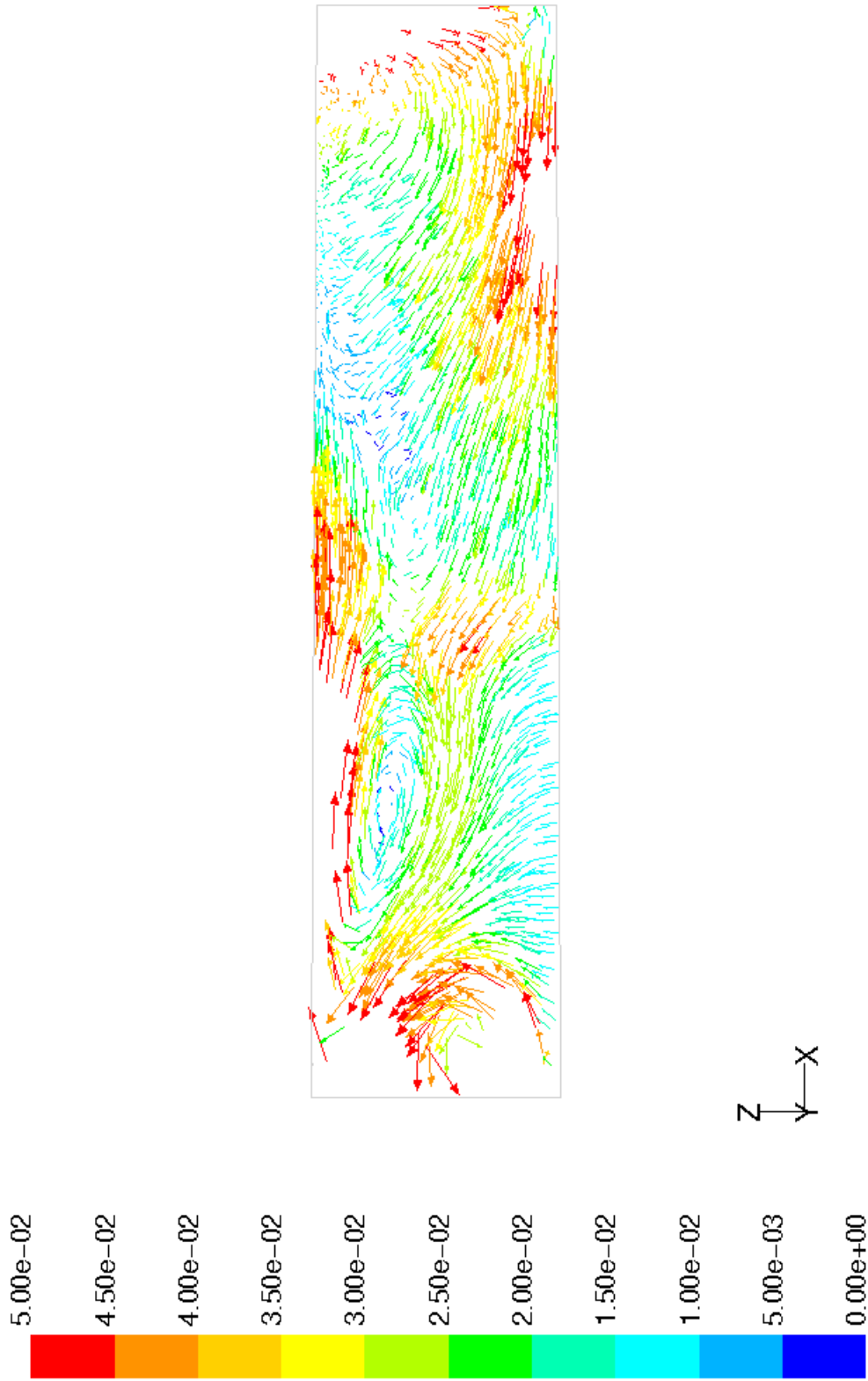
Figur I.23: Hastighetsvektorer på djupet 0,95 m. 0-0,1 m/s 50%



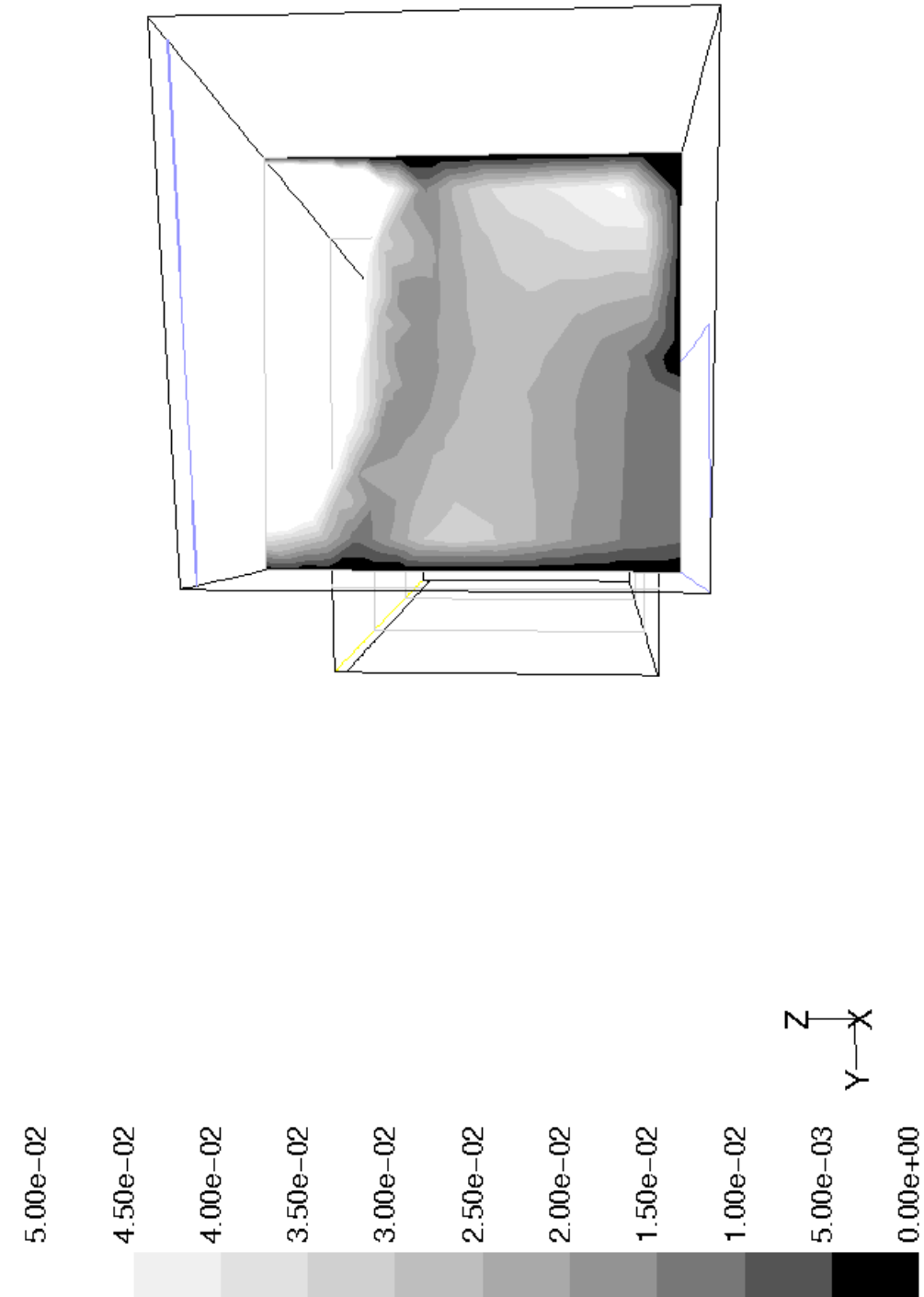
Figur I.24: Hastighetsvektorer 0,2 m ifrån akrylglasat. 0-0,5 m/s 50%



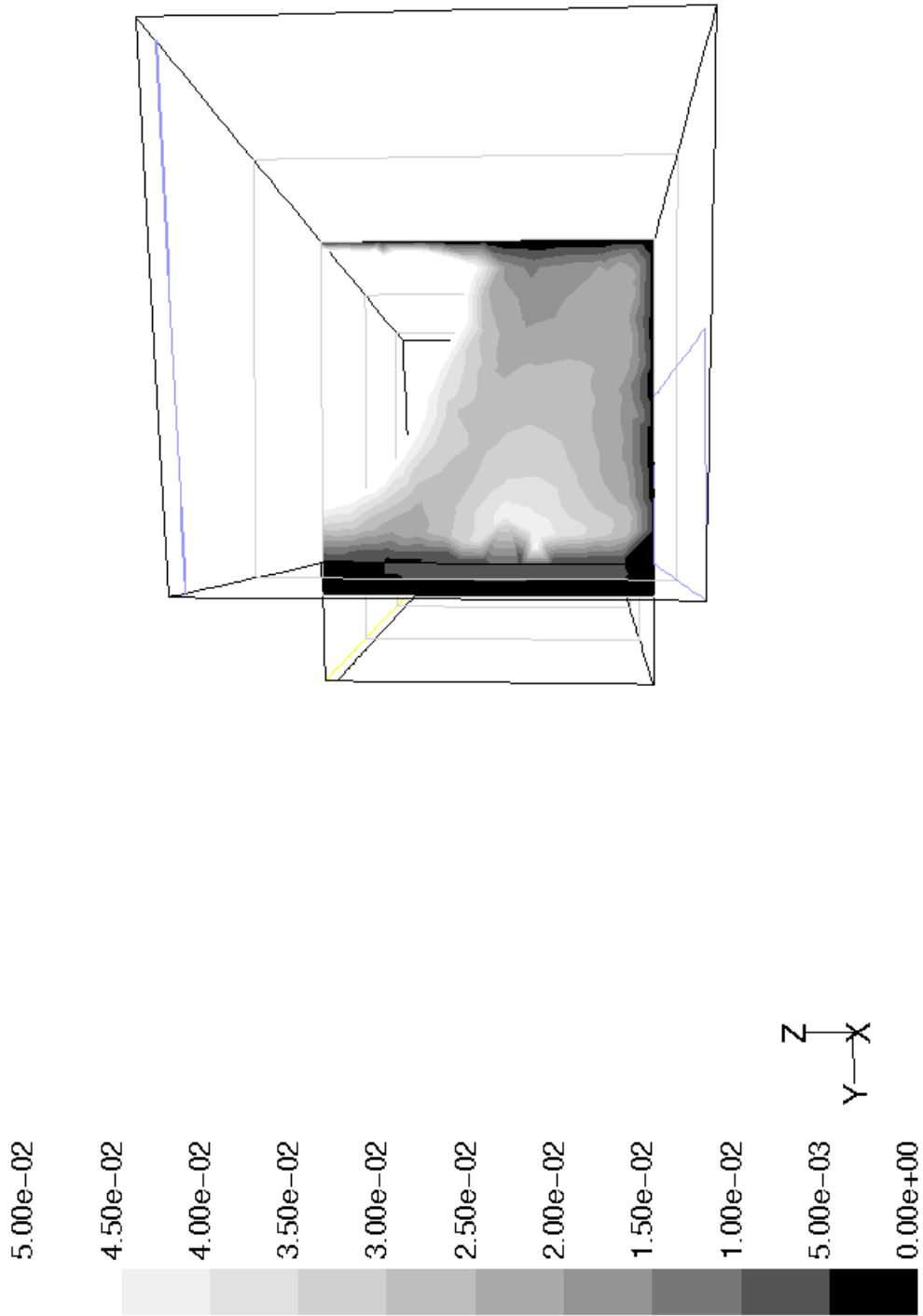
Figur I.25: Hastighetsvektorer 0,8 m ifrån akrylglasat. 0-0,5 m/s 50%



Figur I.26: Hastighetsvektorer 0,8 m ifrån akrylglasat. 0-0,05 m/s 50%

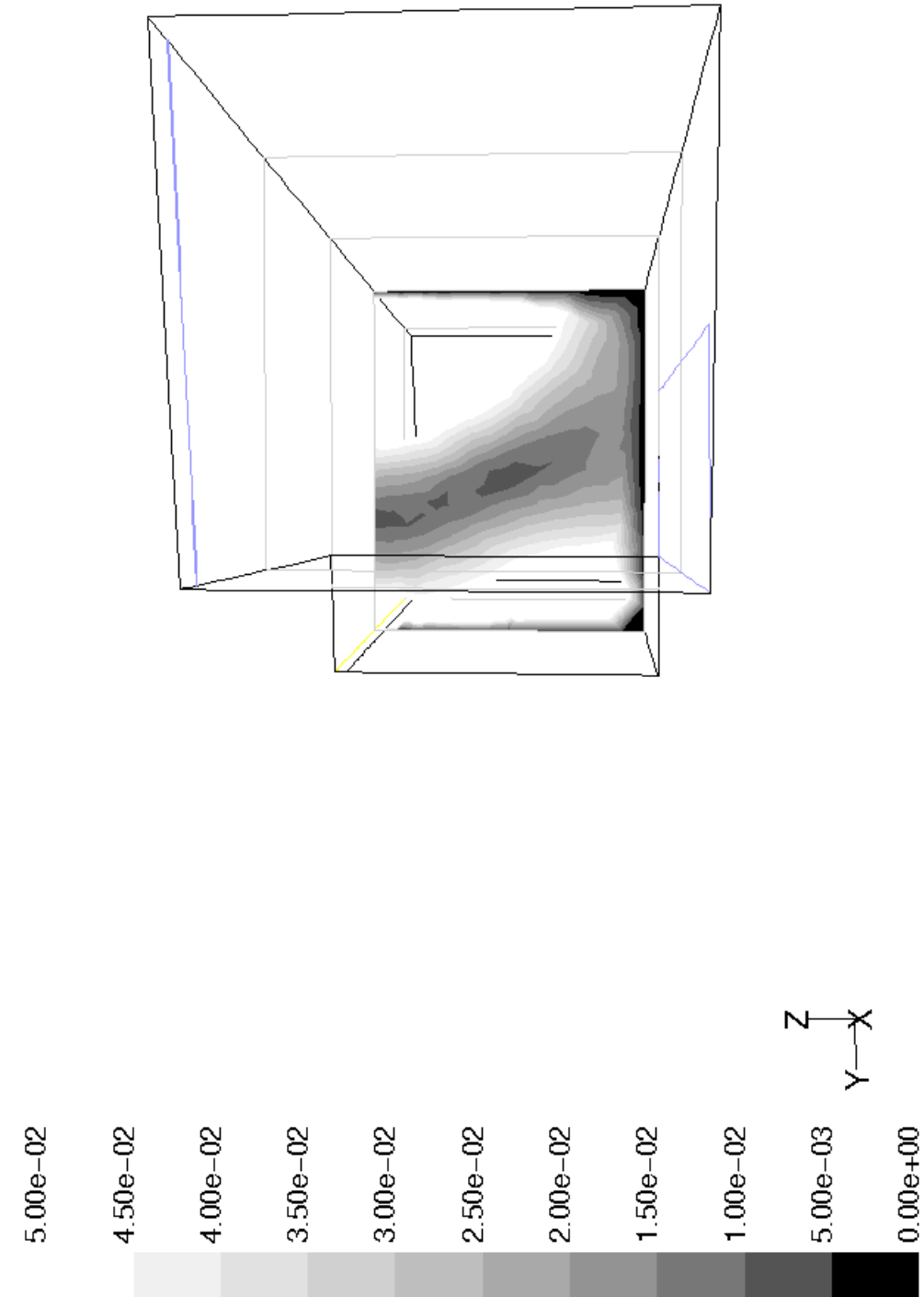


Figur I.27: Konturer av hastigheter på ytan $x=1,0$ m. $0-0,05$ m/s 50 %

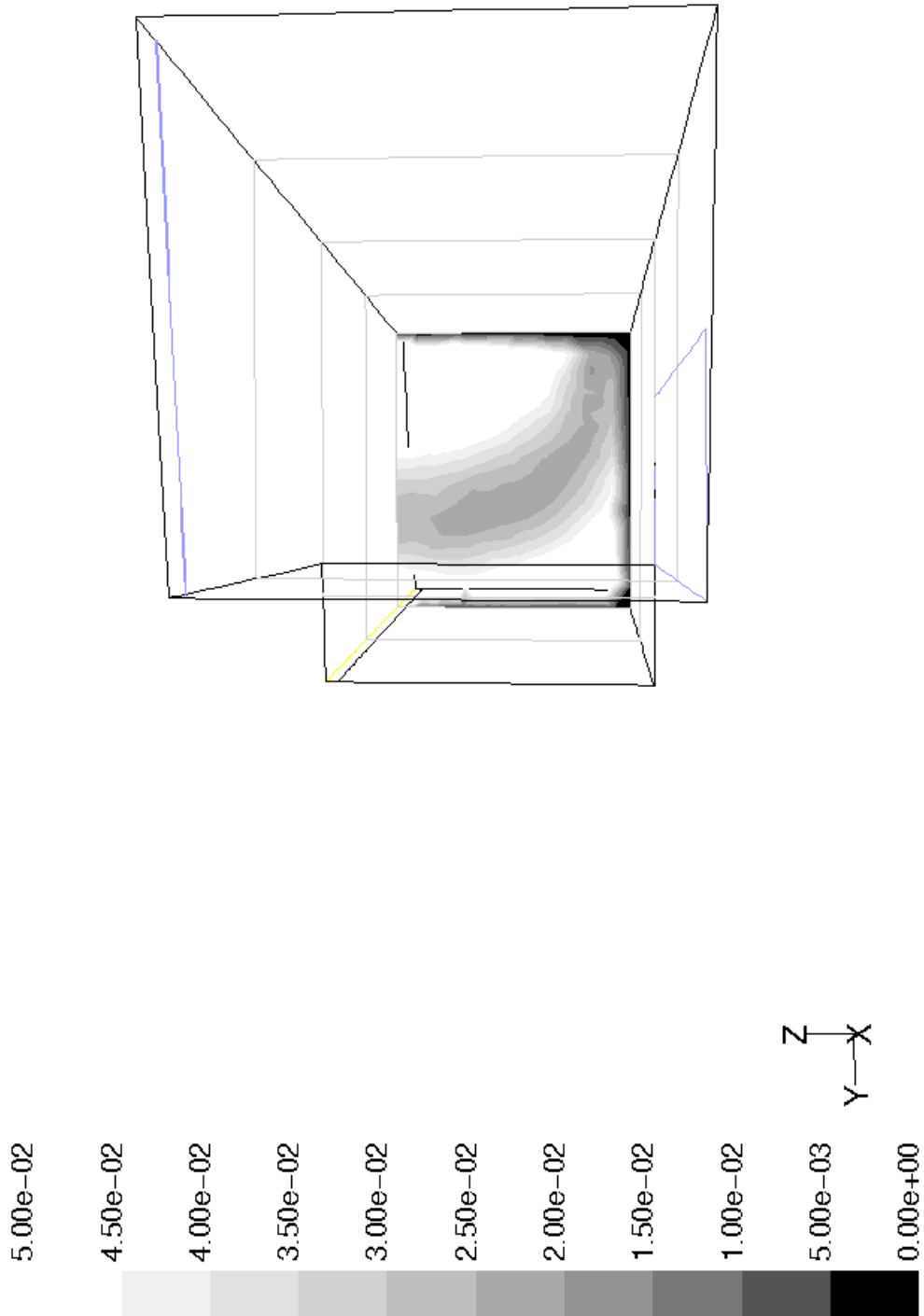


Figur I.28: Konturer av hastigheter på ytan $x=2,0$ m. $0-0,05$ m/s 50 %

Bilaga I: 50 % av maximala flödet.

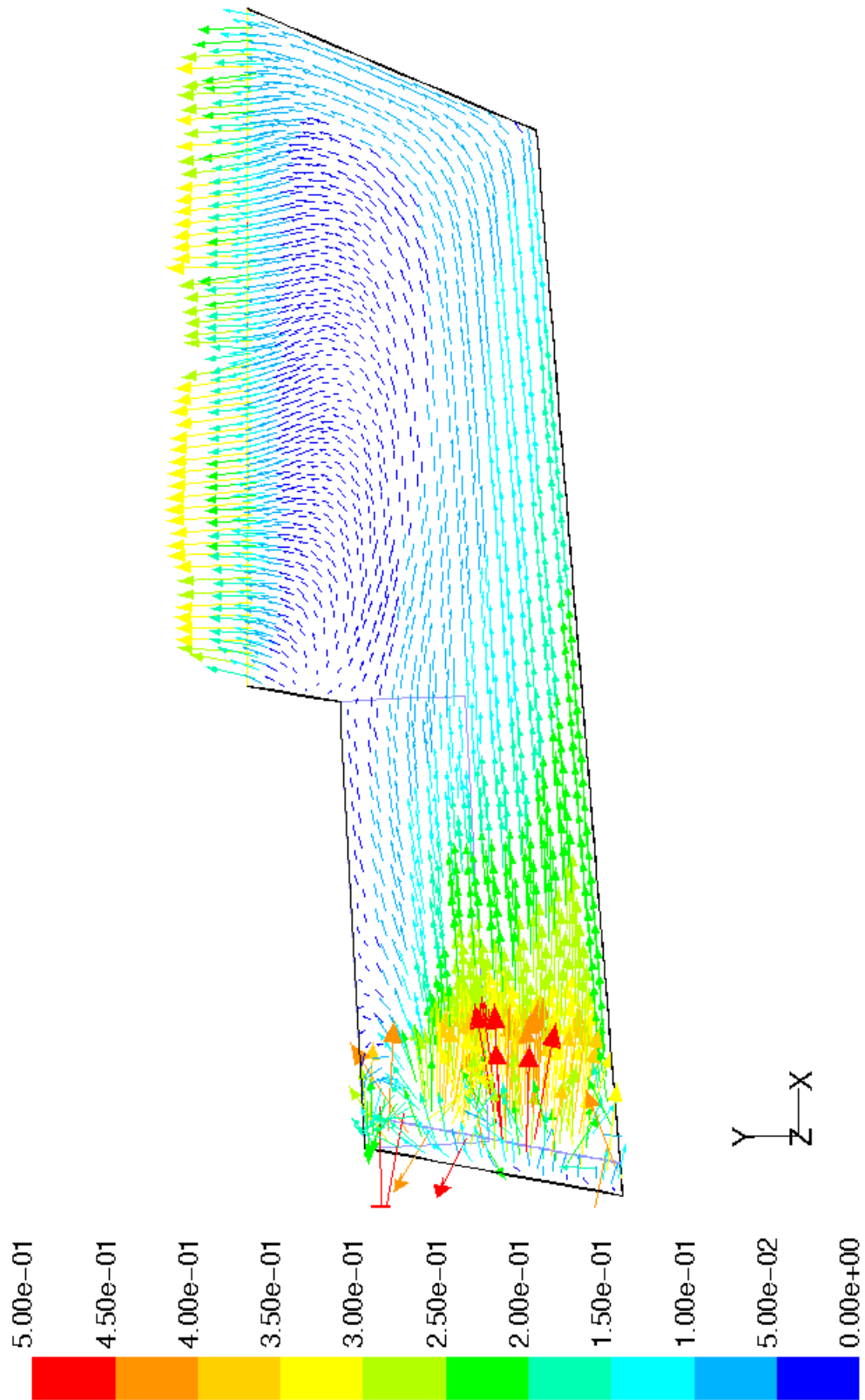


Figur I.29: Konturer av hastigheter på ytan $x=3,0$ m. $0-0,05$ m/s 50 %

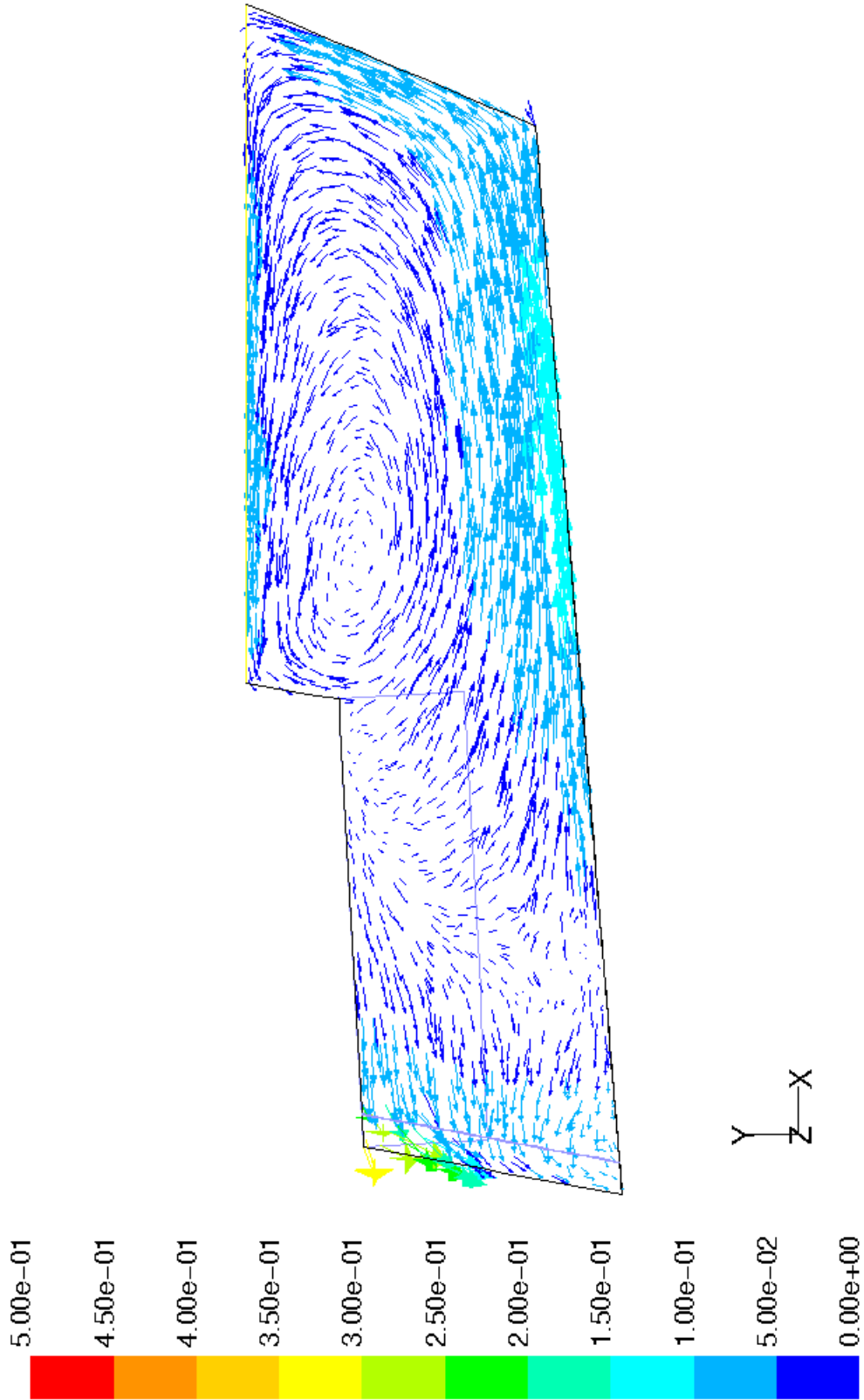


Figur I.30: Konturer av hastigheter på ytan $x=4,0$ m. $0-0,05$ m/s 50 %

Bilaga I: 75 % av maximala flödet.

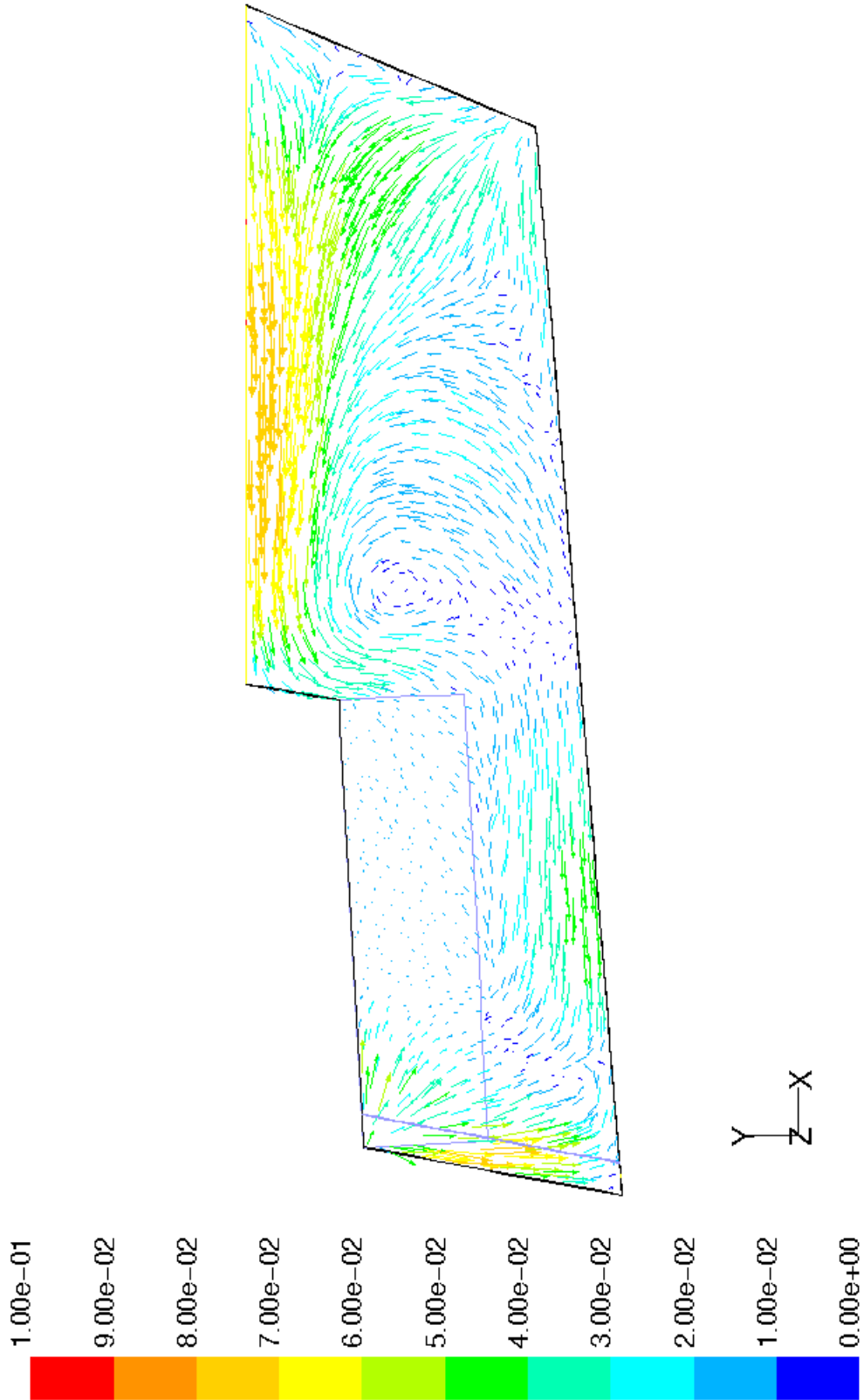


Figur I.11: Hastighetsvektorer i vattentytan. 0-0,5 m/s 75 %

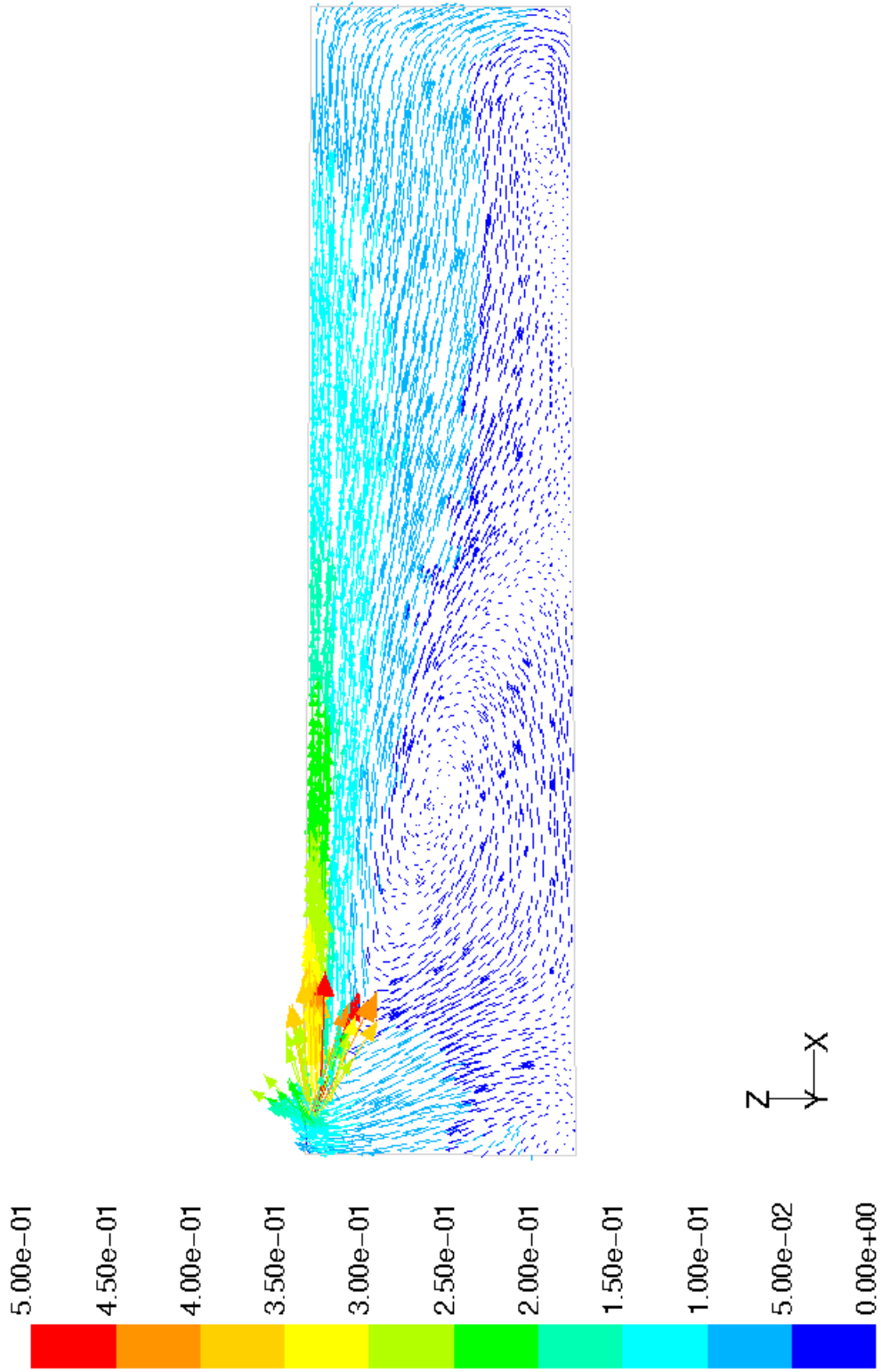


Figur I.12: Hastighetsvektorer på djupet 0,4 m. 0-0,5 m/s 75 %

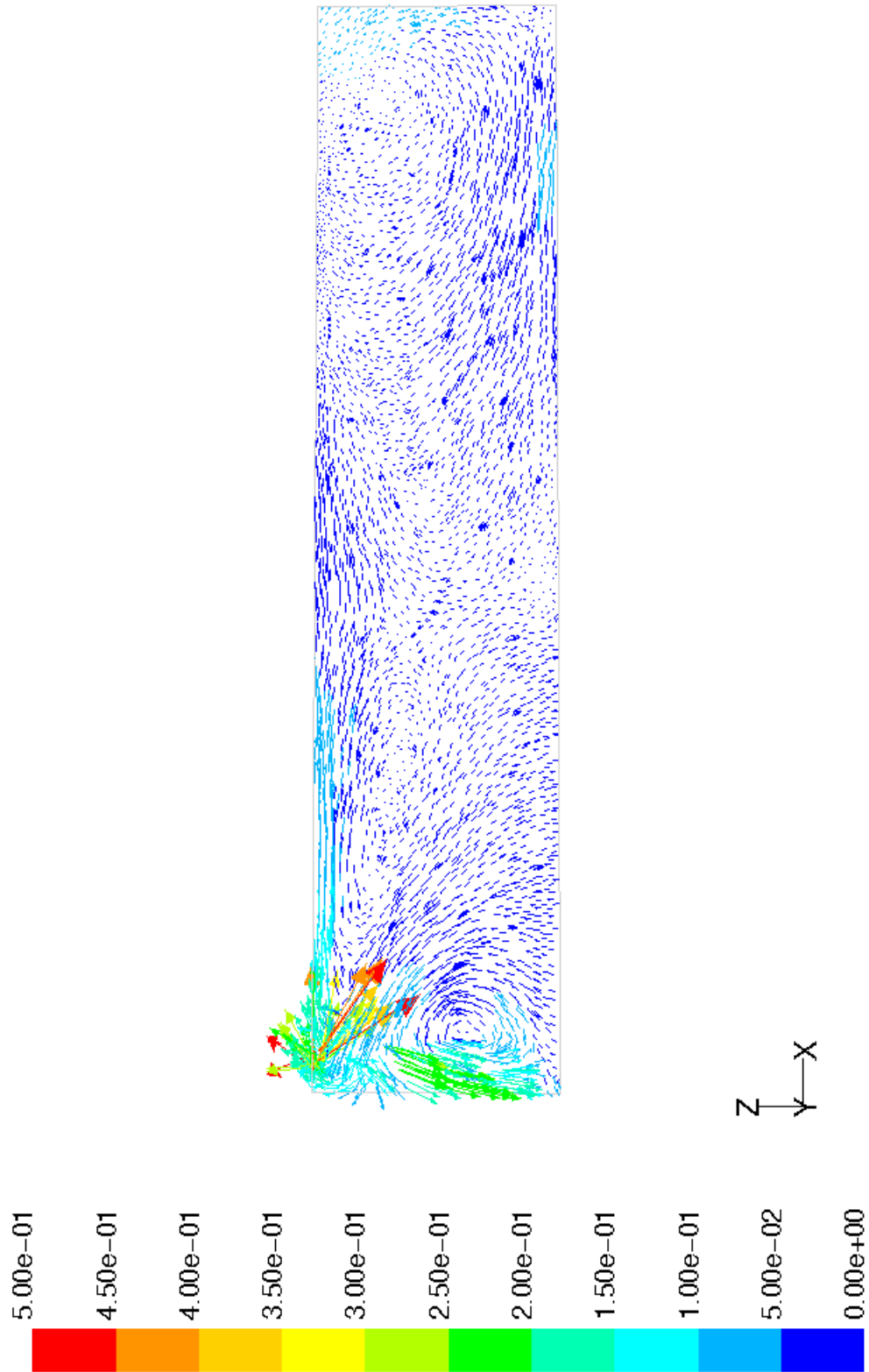
Bilaga I: 75 % av maximala flödet.



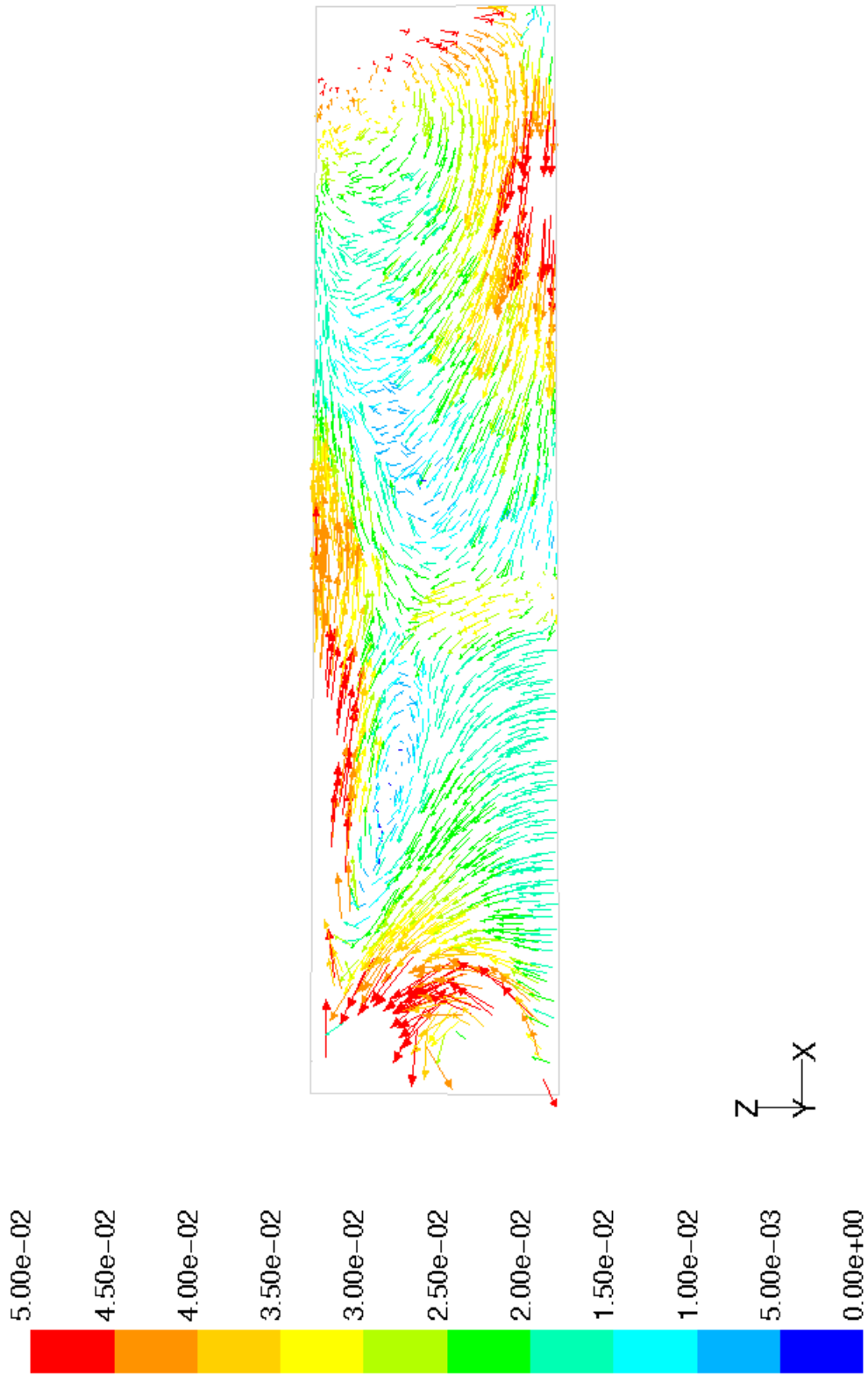
Figur I.13: Hastighetsvektorer på djupet 0,95 m. 0-0,1 m/s 75%



Figur I.14: Hastighetsvektorer 0,2 m ifrån akrylglasat. 0-0,5 m/s 75%

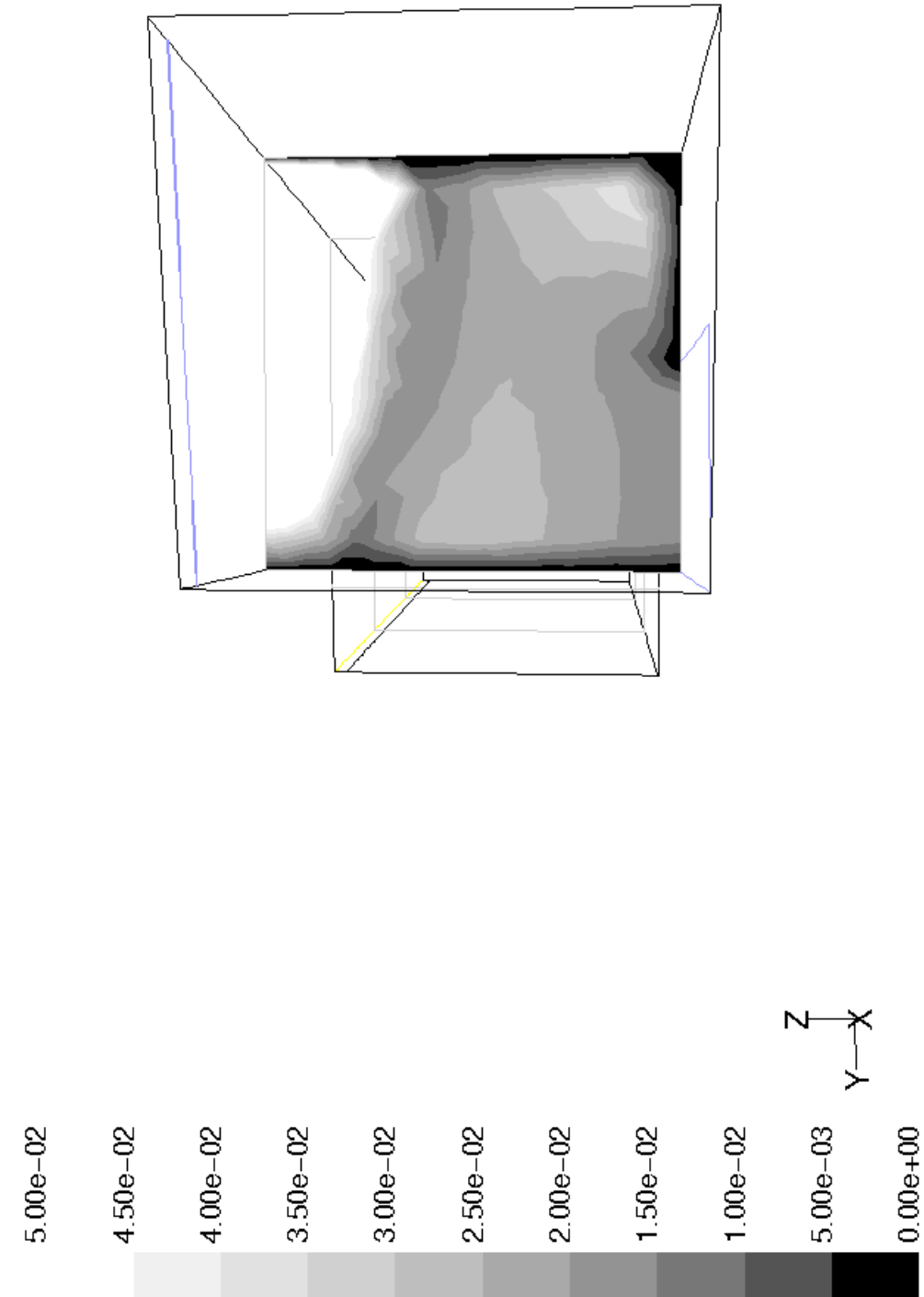


Figur I.15: Hastighetsvektorer 0,8 m ifrån akrylglasat. 0-0,5 m/s 75%

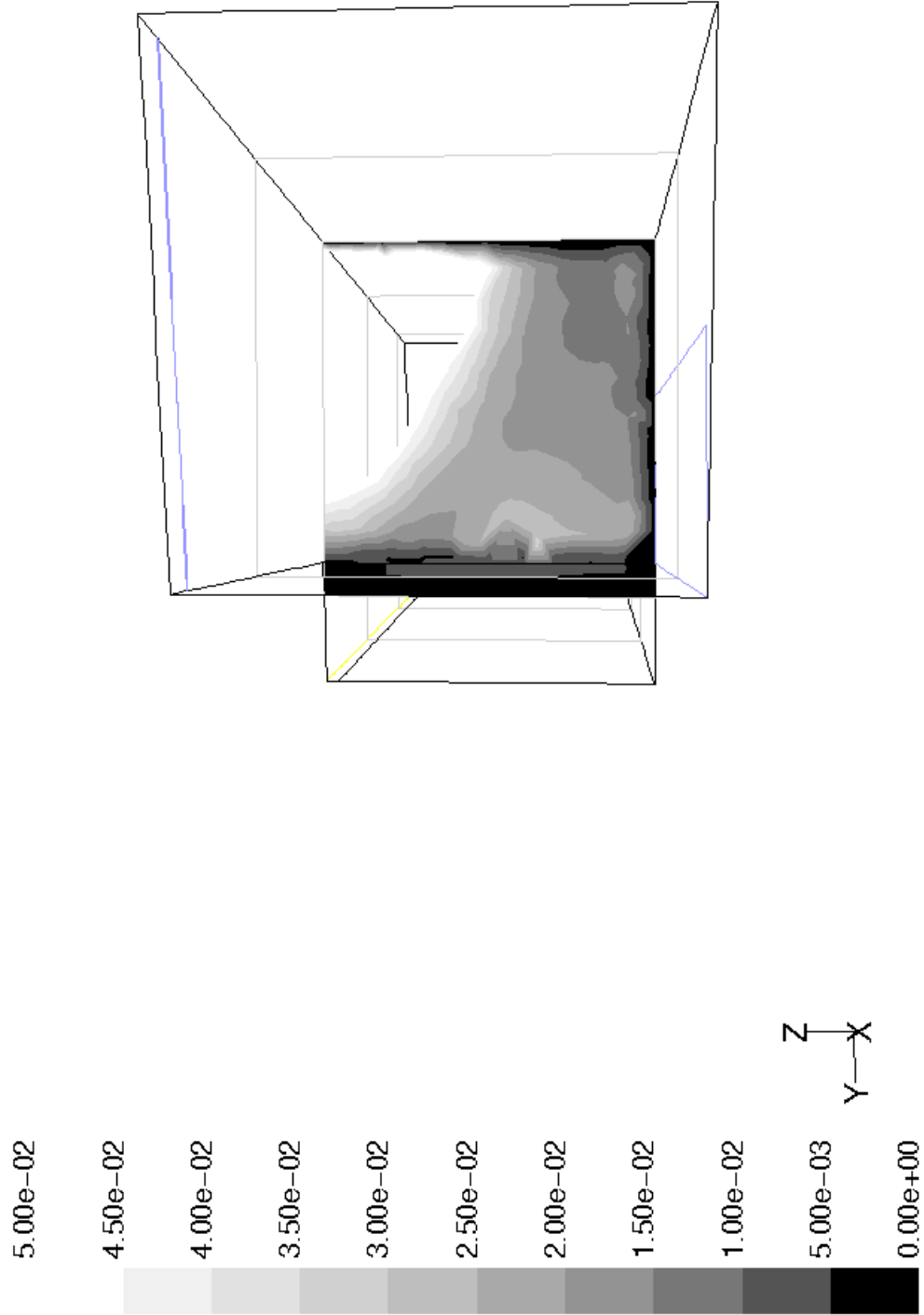


Figur I.16: Hastighetsvektorer 0,8 m ifrån akrylglasat. 0-0,05 m/s 75%

Bilaga I: 75 % av maximala flödet.

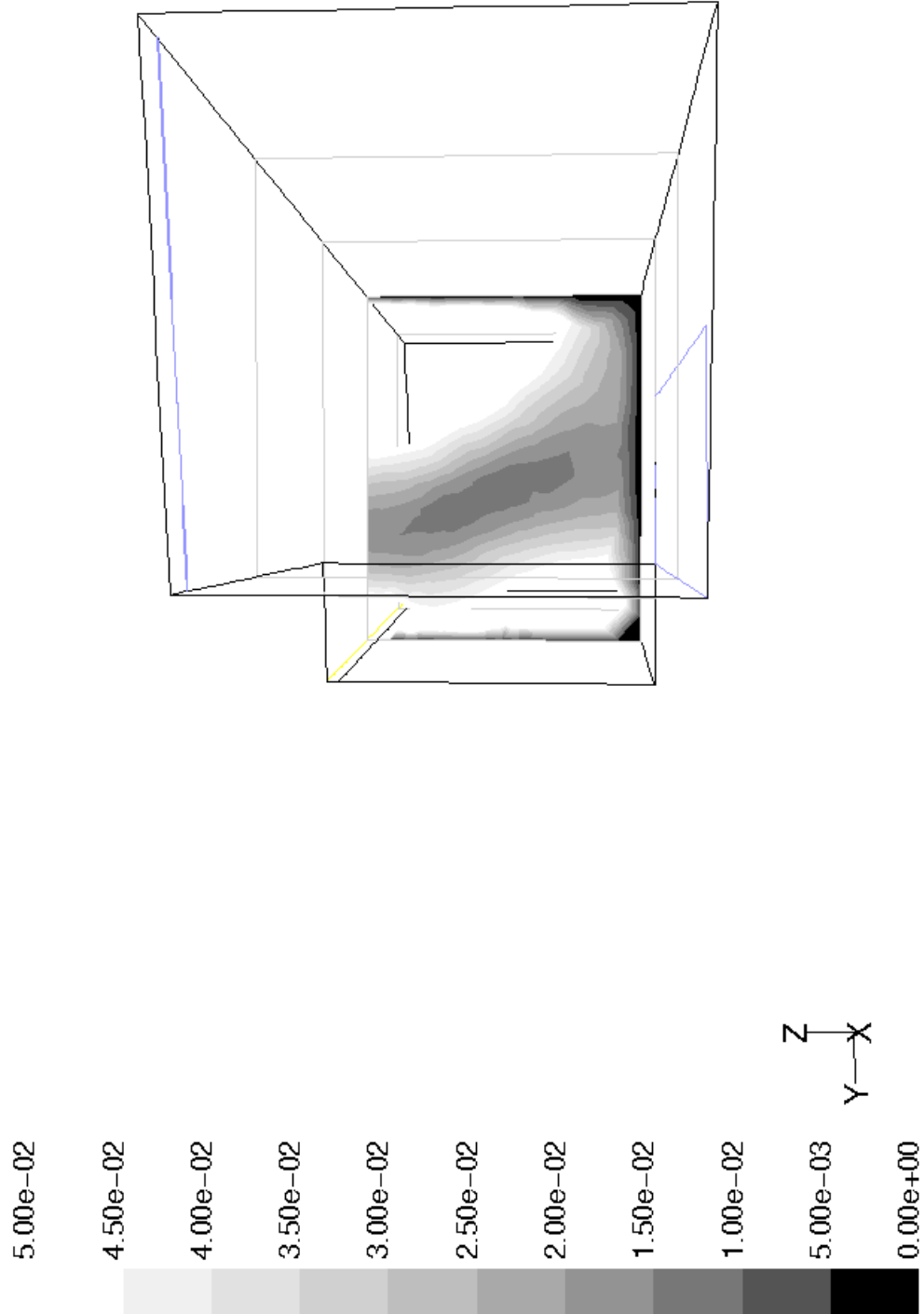


Figur I.17: Konturer av hastigheter på ytan $x=1,0$ m. $0-0,05$ m/s 75 %

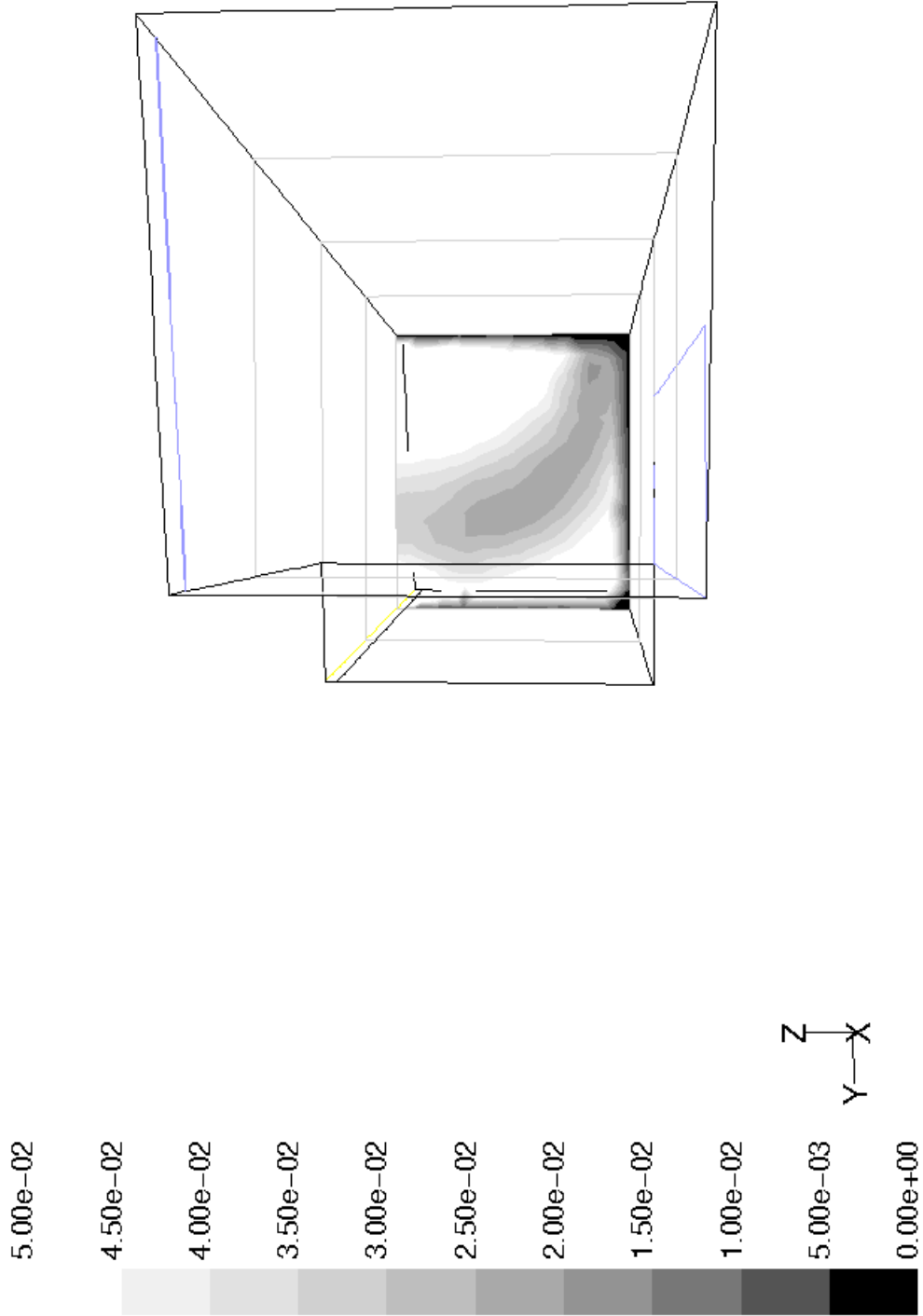


Figur I.18: Konturer av hastigheter på ytan $x=2,0$ m. $0-0,05$ m/s 75 %

Bilaga I: 75 % av maximala flödet.



Figur I.19: Konturer av hastigheter på ytan $x=3,0$ m. $0-0,05$ m/s 75 %



Figur I.20: Konturer av hastigheter på ytan $x=4,0$ m. $0-0,05$ m/s 75 %

BILAGA J

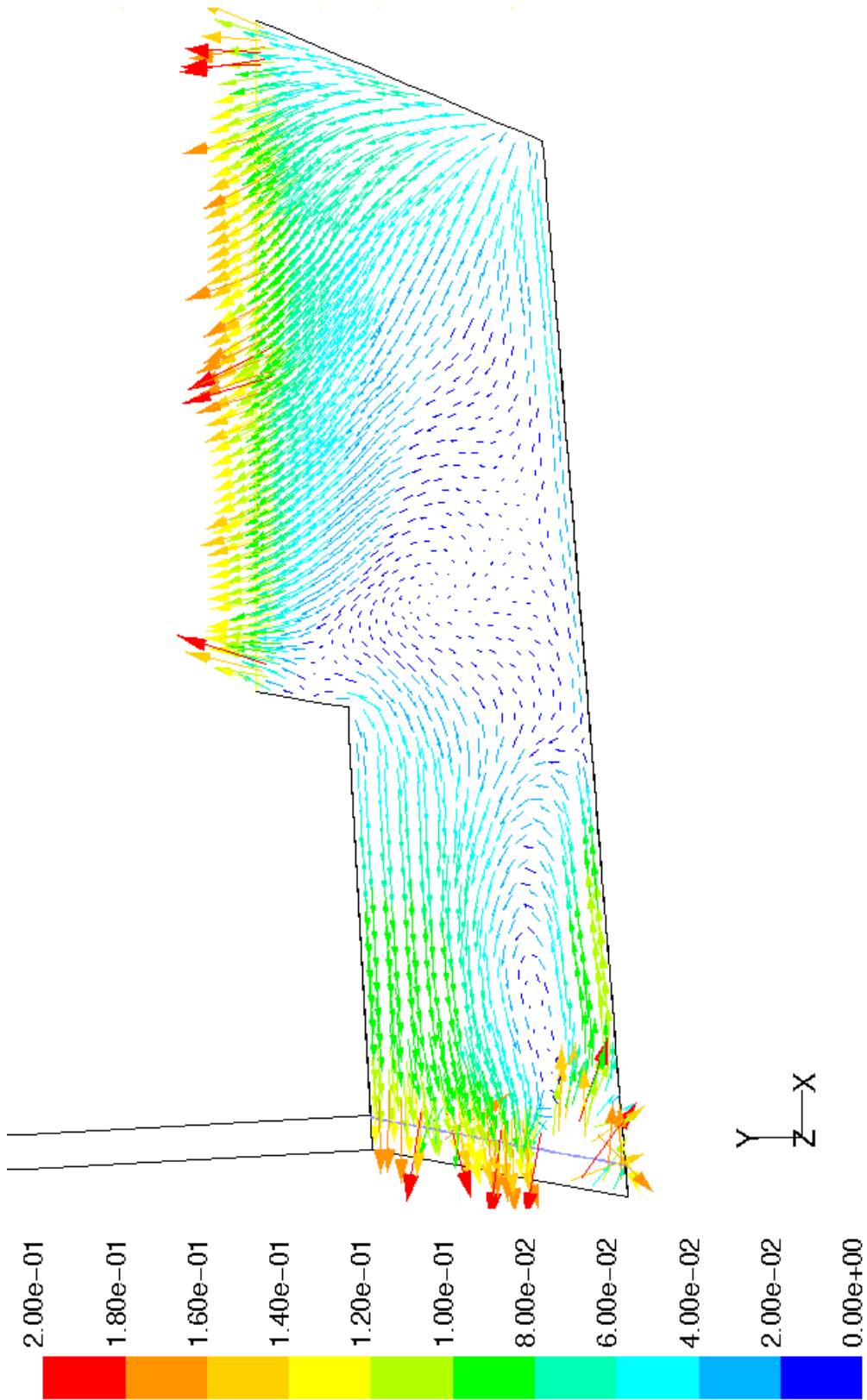
Resultat från älv med inflöde från sidan

100 % av maximala flödet

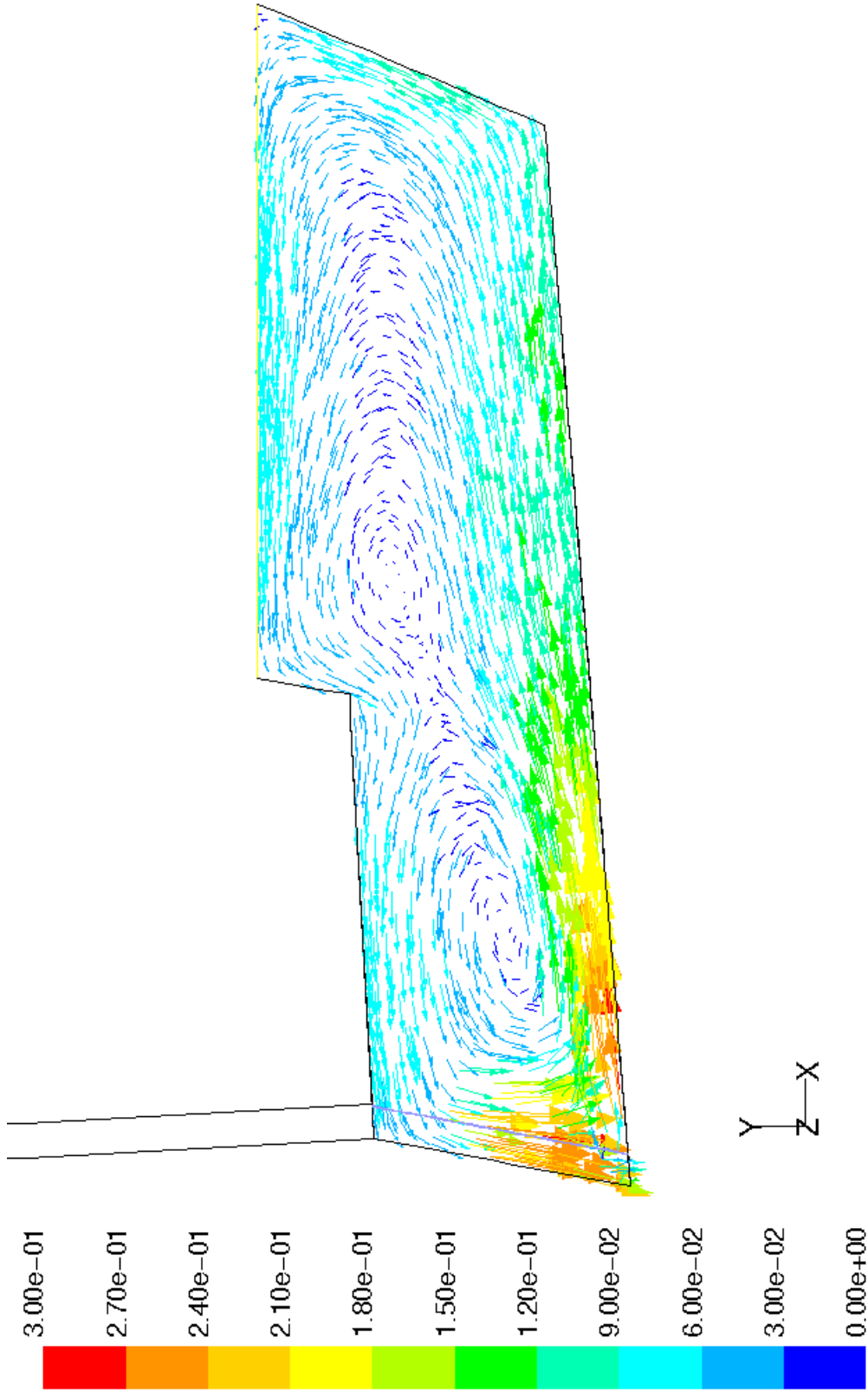
75 % av maximala flödet

50 % av maximala flödet

Bilaga J: 100 % av maximala flödet

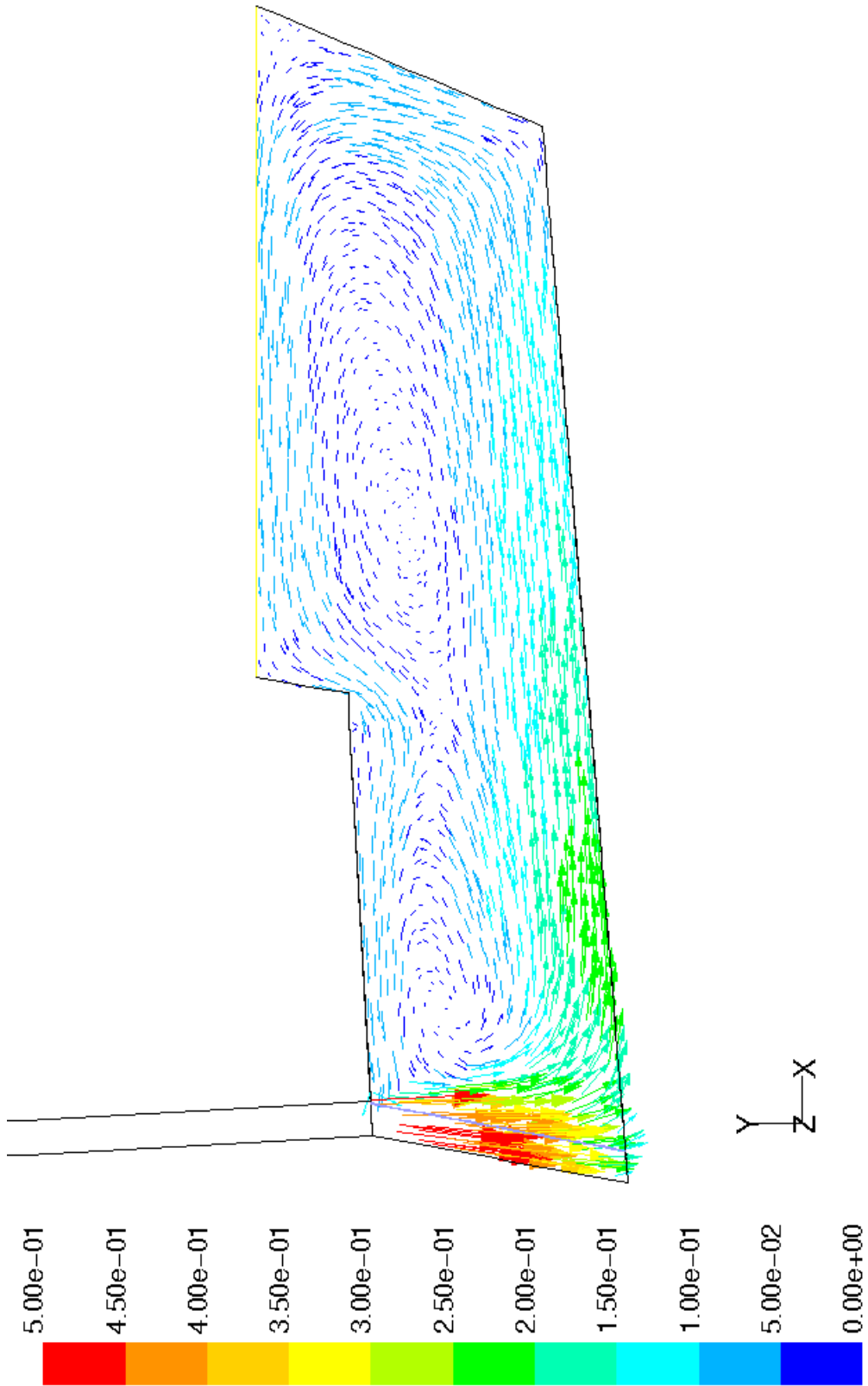


Figur J.1: Hastighetsvektorer i vattentytan. 0-0,2 m/s 100 %

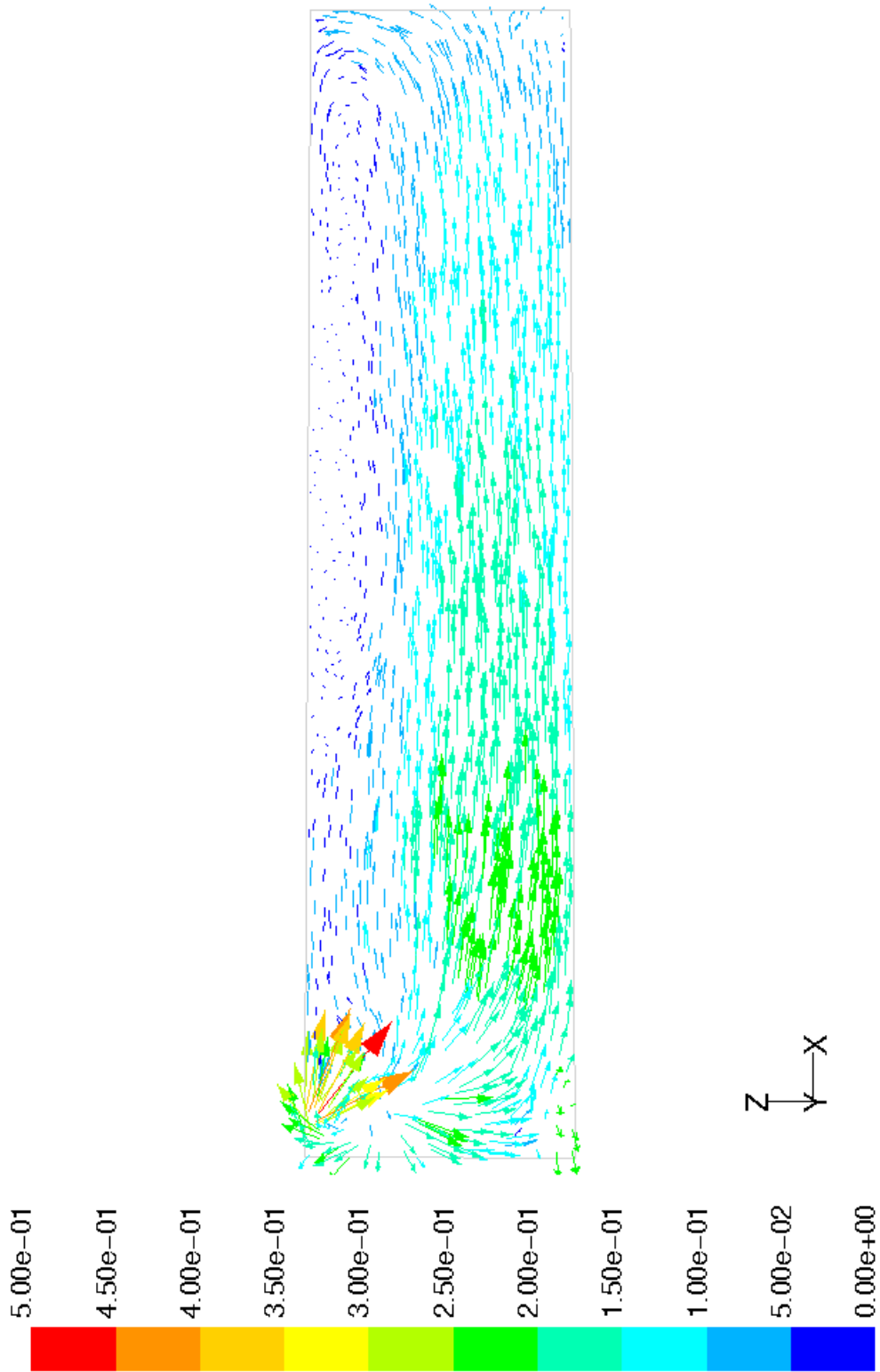


Figur J.2: Hastighetsvektorer på djupet 0,4 m. 0-0,3 m/s 100 %

Bilaga J: 100 % av maximala flödet

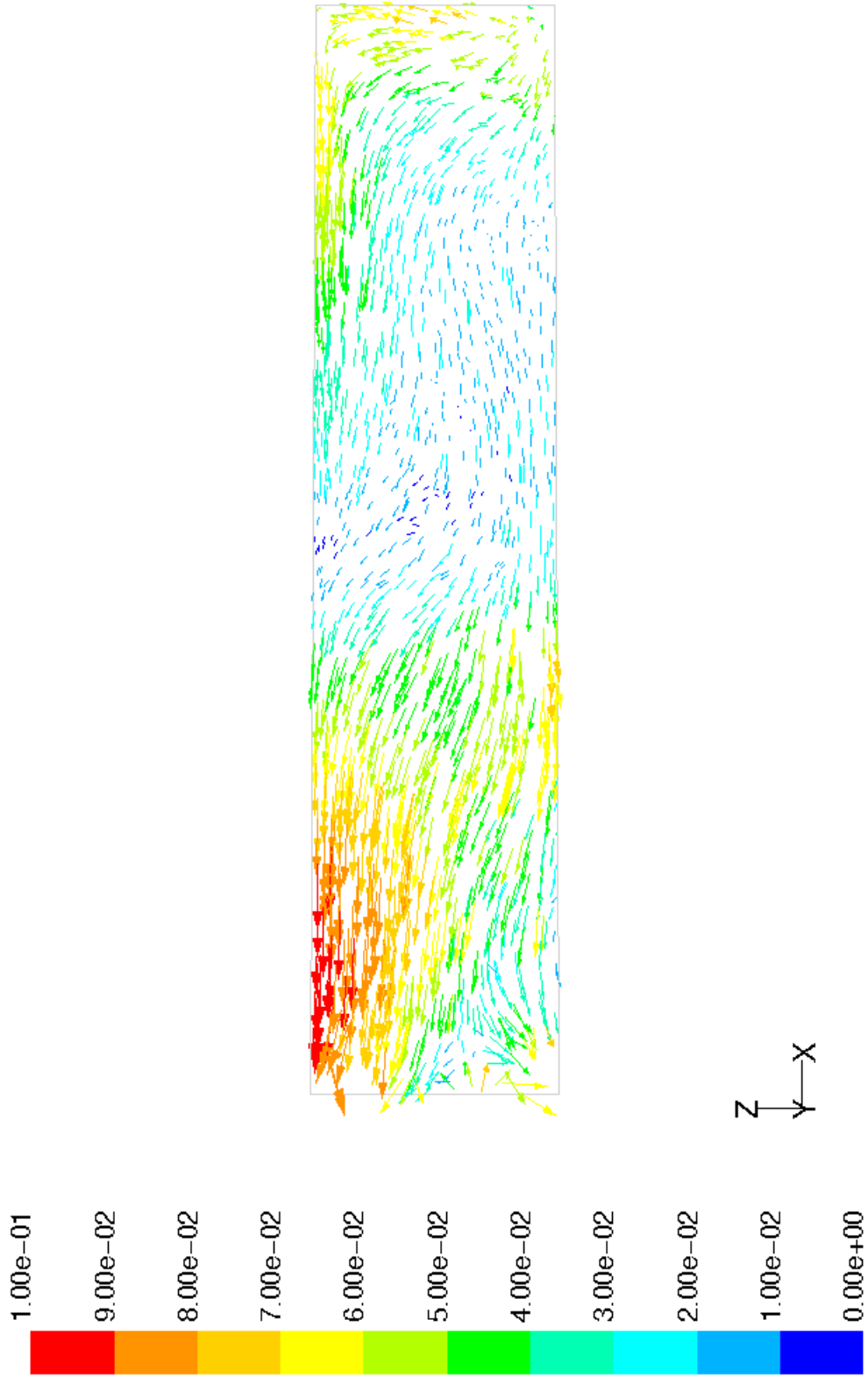


Figur J.3: Hastighetsvektorer på djupet 0,95 m. 0-0,5 m/s 100 %

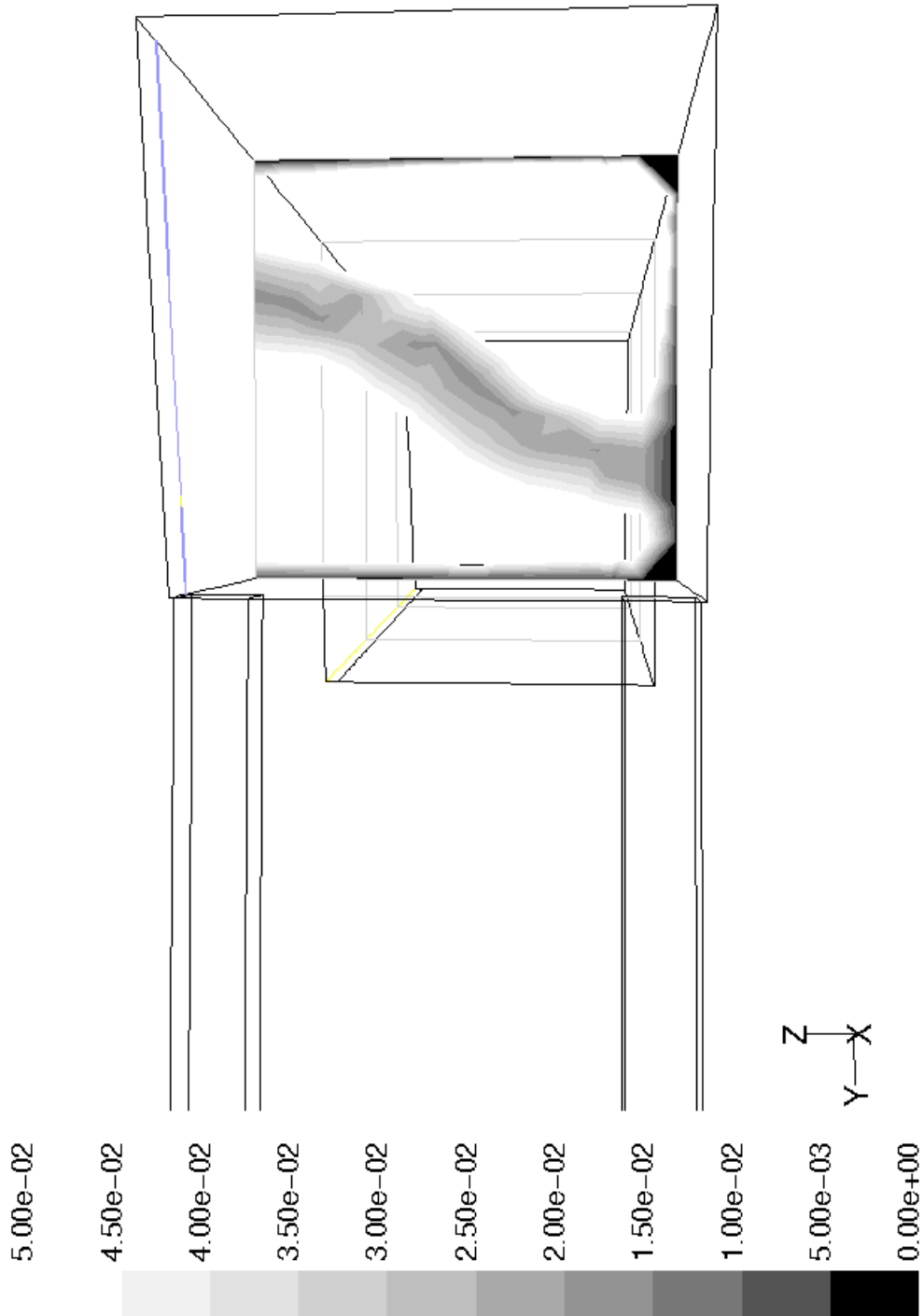


Figur J.4: Hastighetsvektorer 0,2 m ifrån akrylglaset. 0-0,5 m/s 100 %

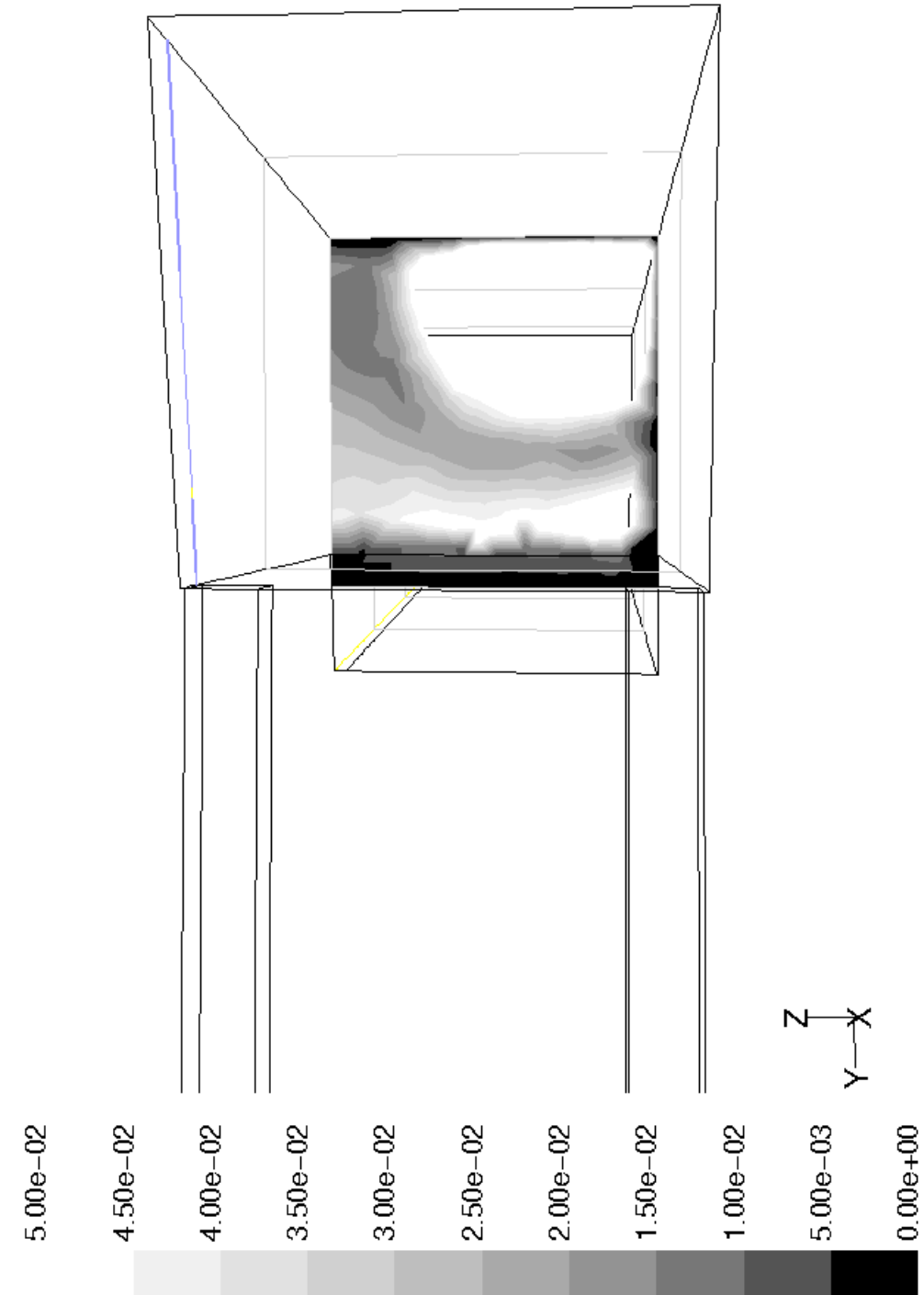
Bilaga J: 100 % av maximala flödet



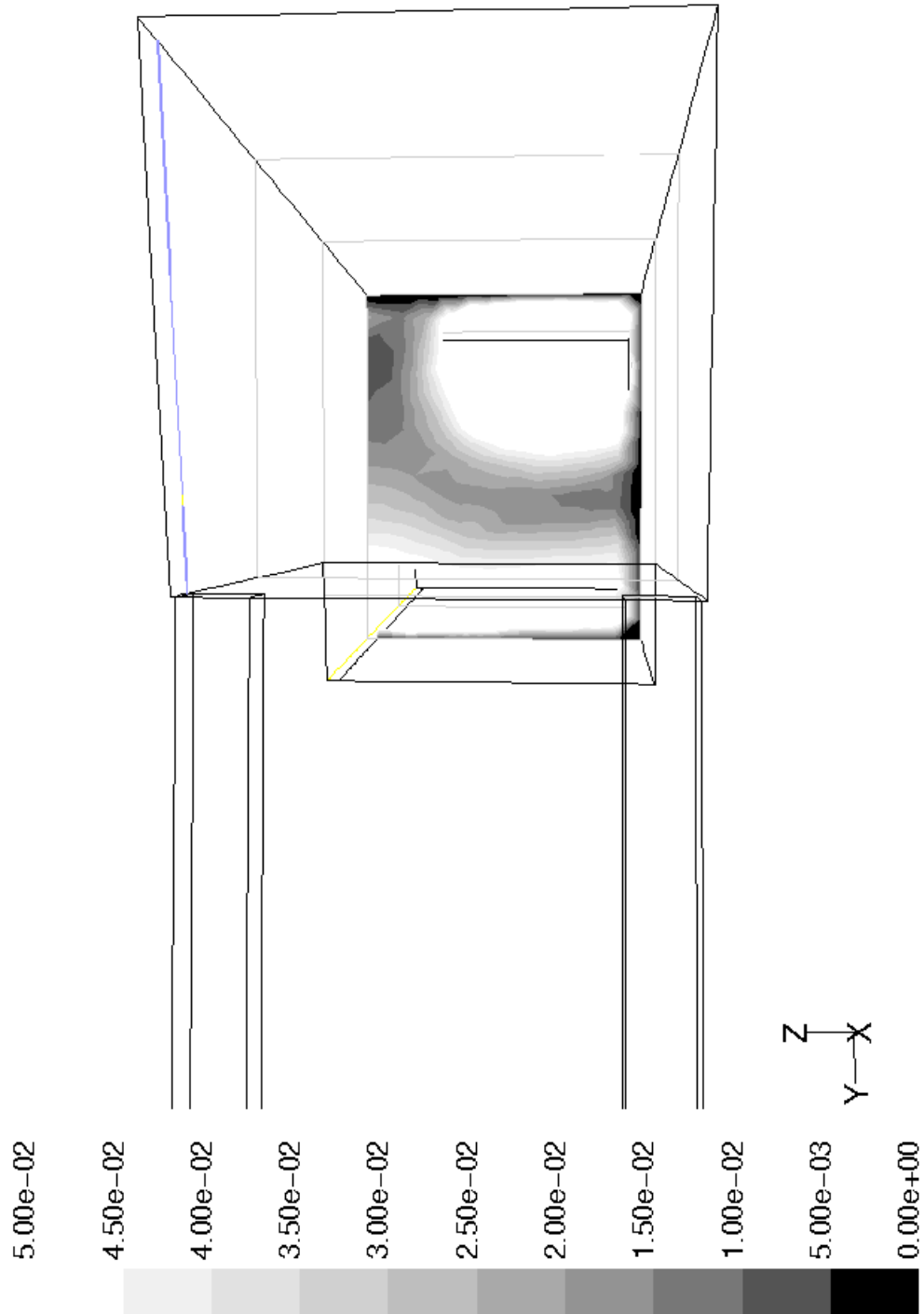
Figur J.5: Hastighetsvektorer 0,8 m ifrån akrylglaset. 0-0,1 m/s 100 %



Figur J.6: Konturer av hastigheter på ytan $x=1,0$ m. 0-0,05 m/s 100 %

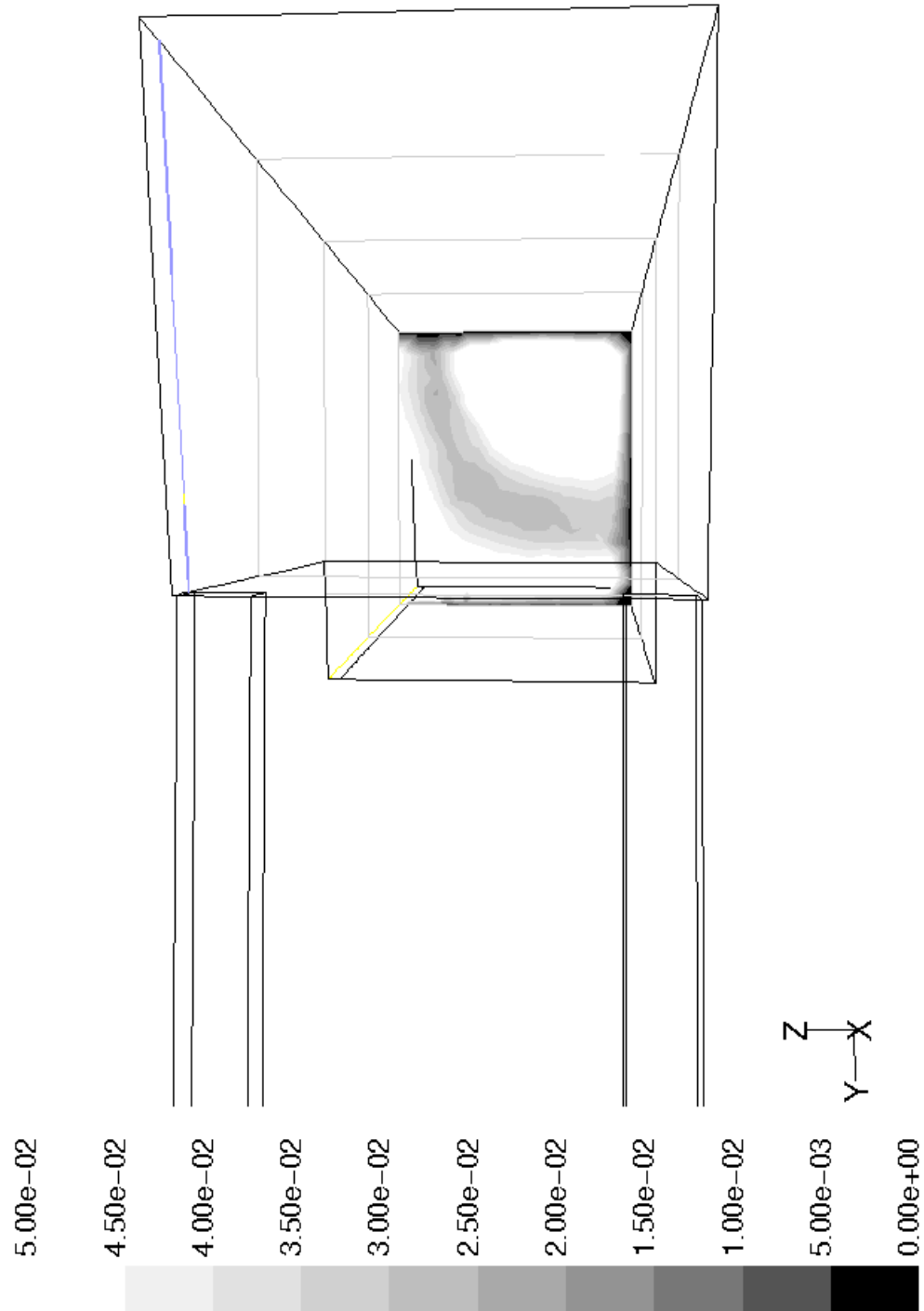


Figur J.7: Konturer av hastigheter på ytan $x=2,0$ m. $0-0,05$ m/s 100 %



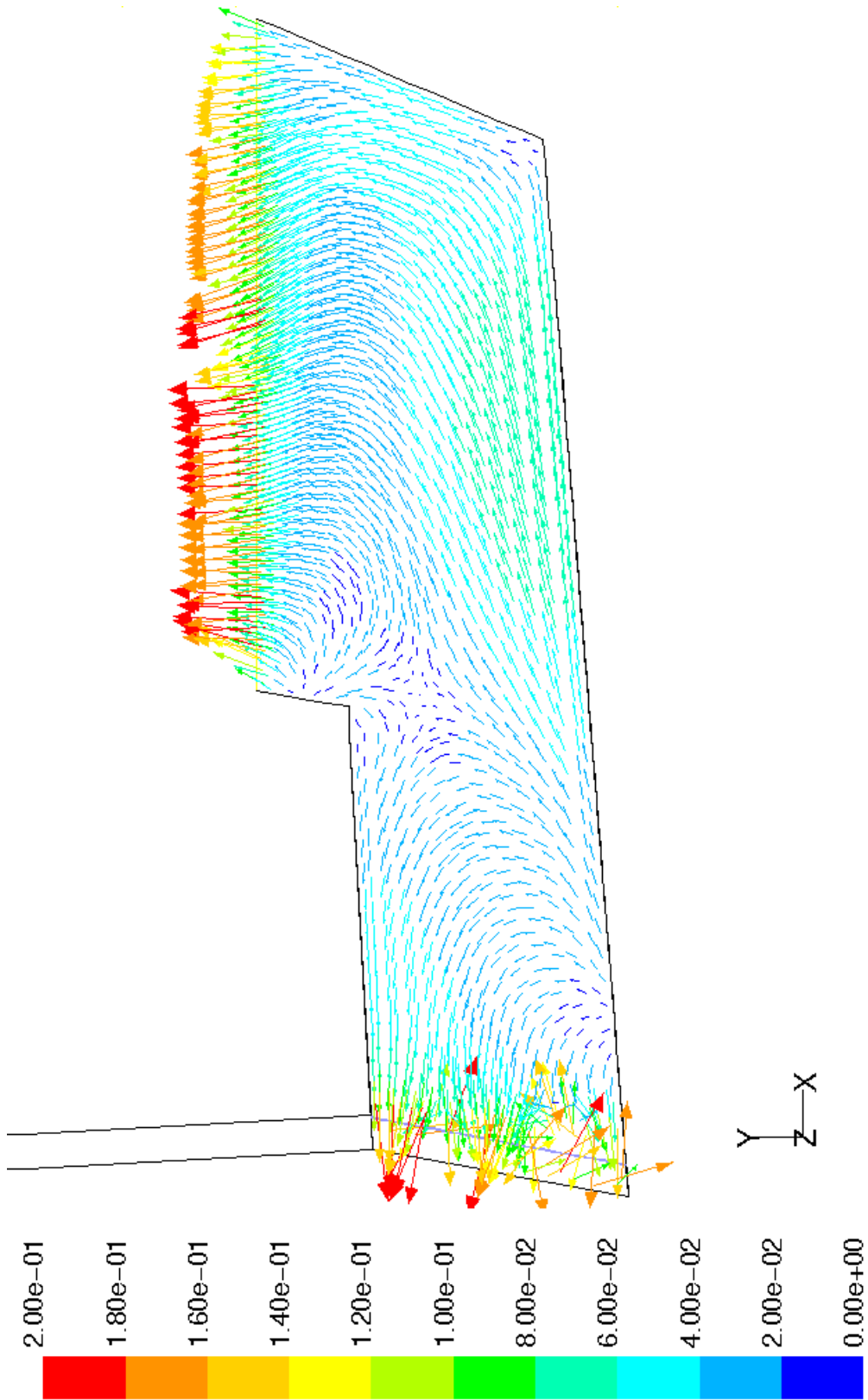
Figur J.8: Konturer av hastigheter på ytan $x=3,0$ m. $0-0,05$ m/s 100 %

Bilaga J: 100 % av maximala flödet

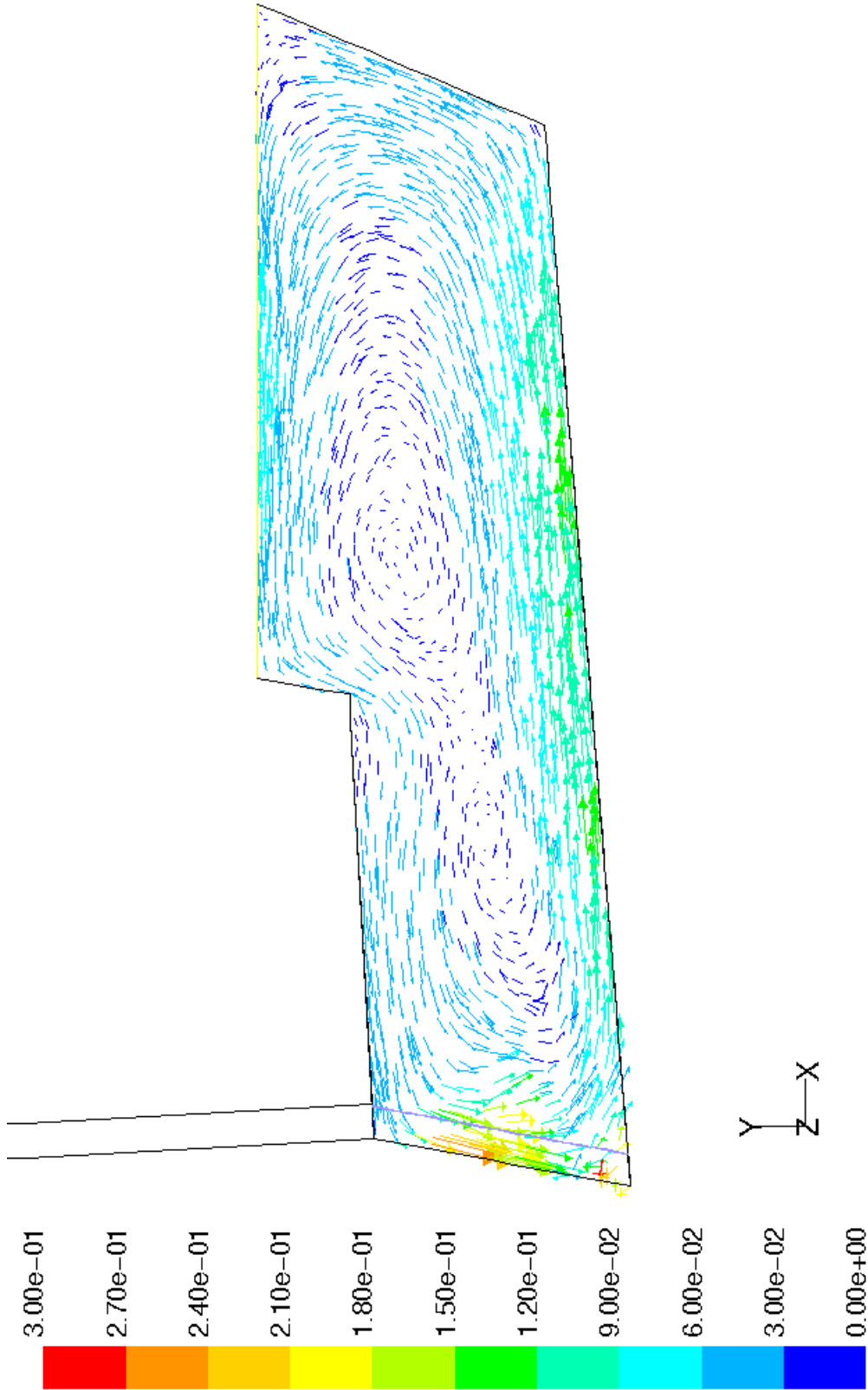


Figur J.9: Konturer av hastigheter på ytan $x=4,0$ m. 0-0,05 m/s 100 %

Bilaga J: 50 % av maximala flödet.

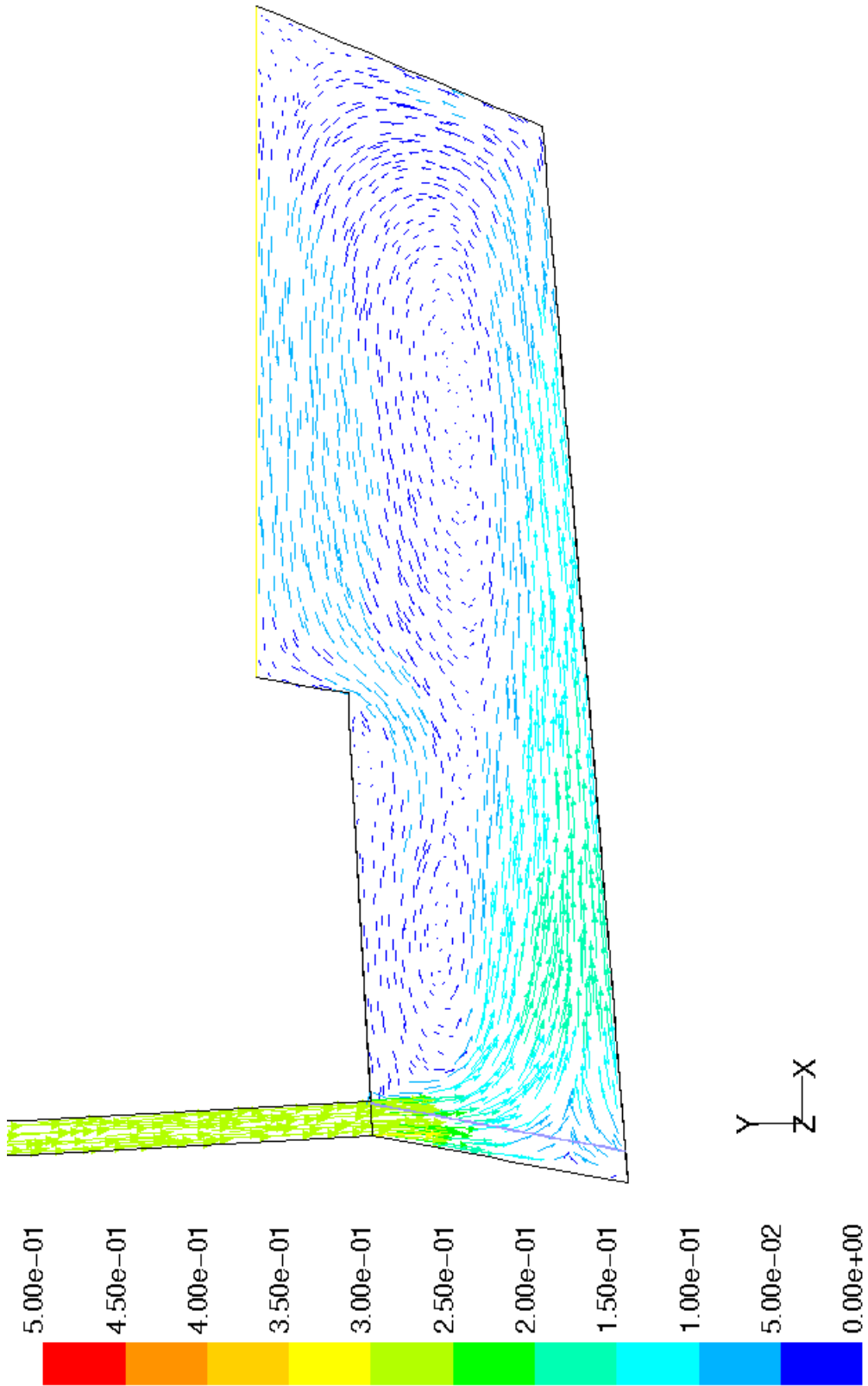


Figur J.19: Hastighetsvektorer i vattenytan. 0-0,2 m/s 50 %

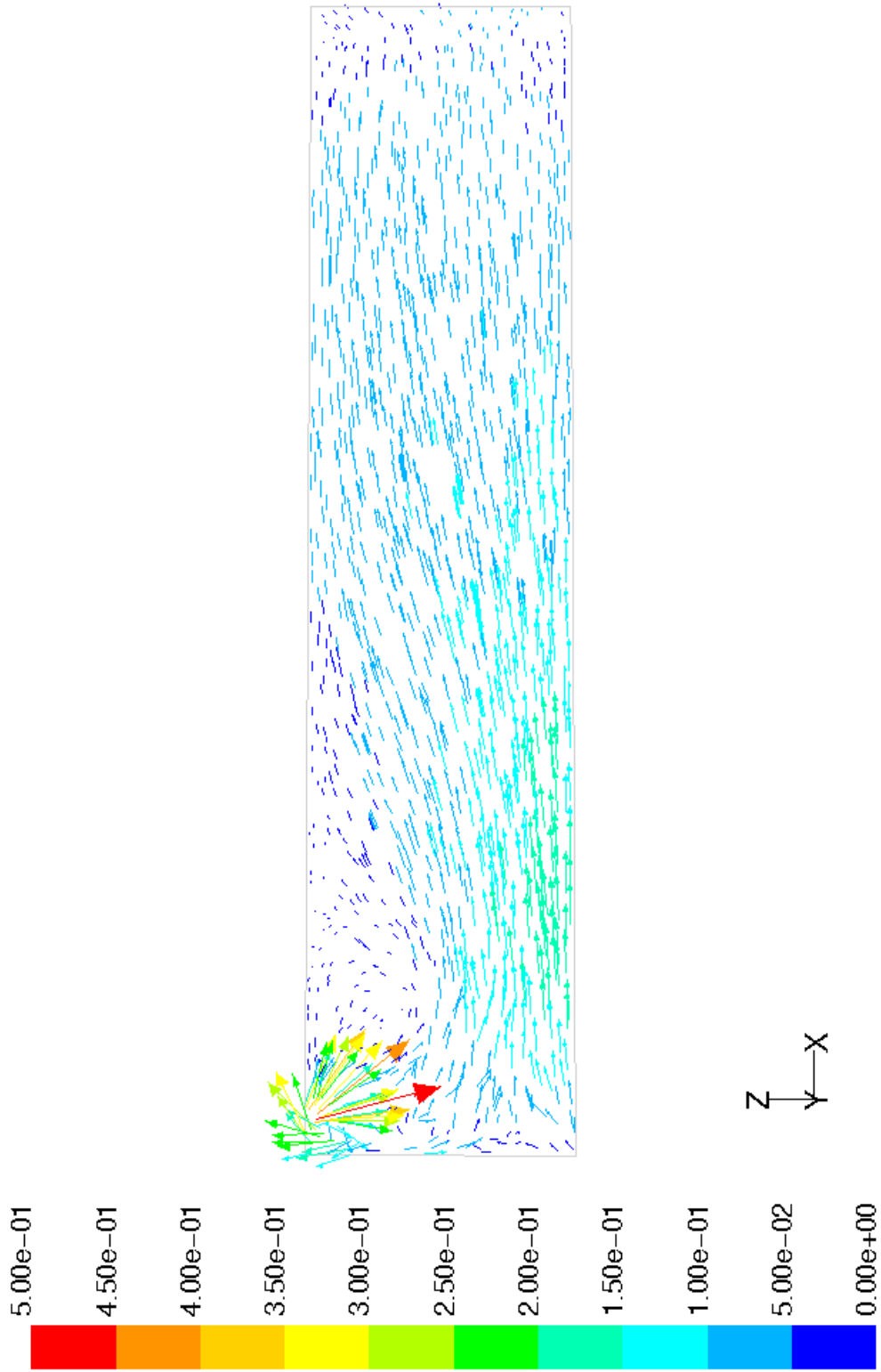


Figur J.20: Hastighetsvektorer på djupet 0,4 m. 0-0,3 m/s 50 %

Bilaga J: 50 % av maximala flödet.

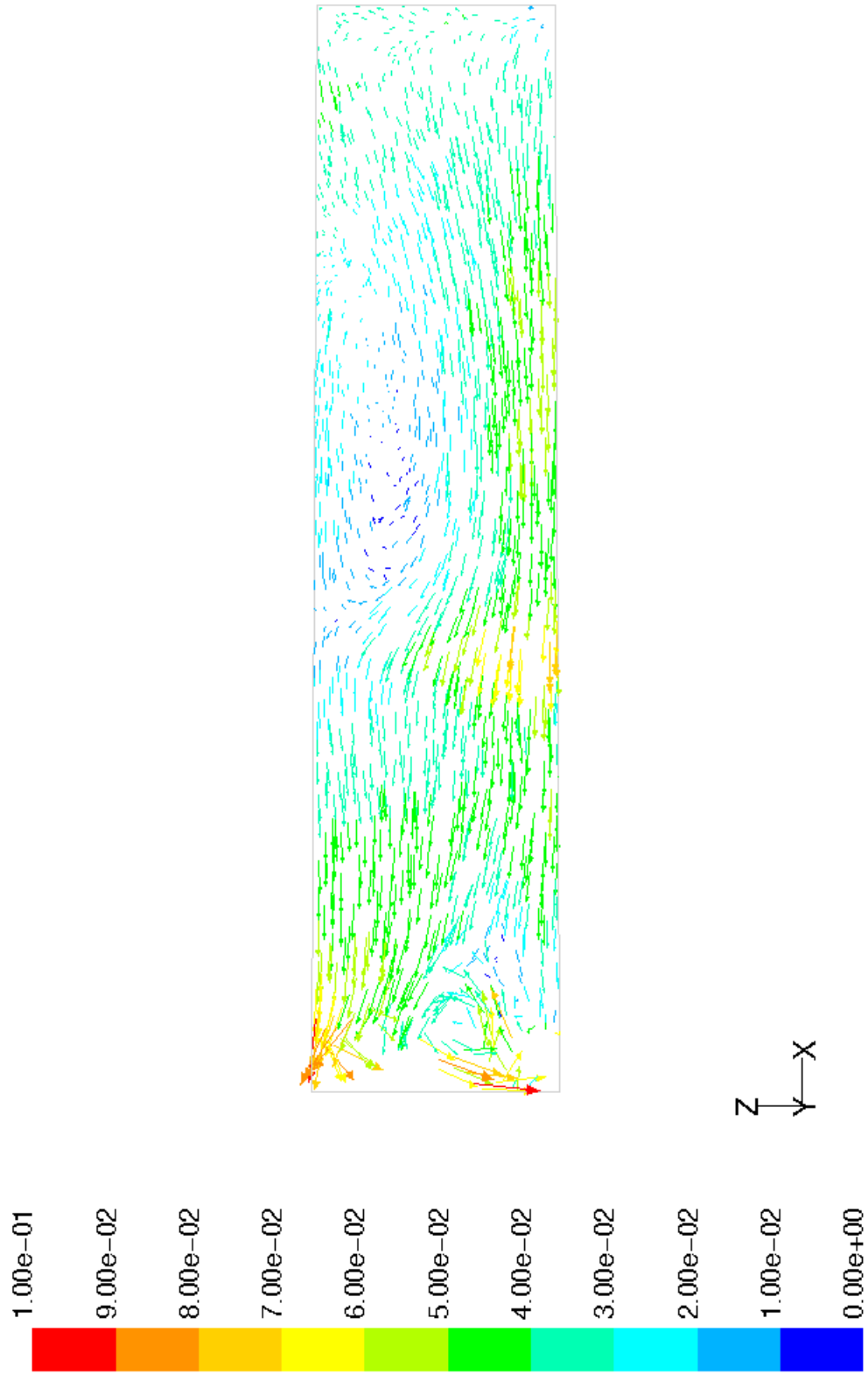


Figur J.21: Hastighetsvektorer på djupet 0,95 m. 0-0,5 m/s 50%

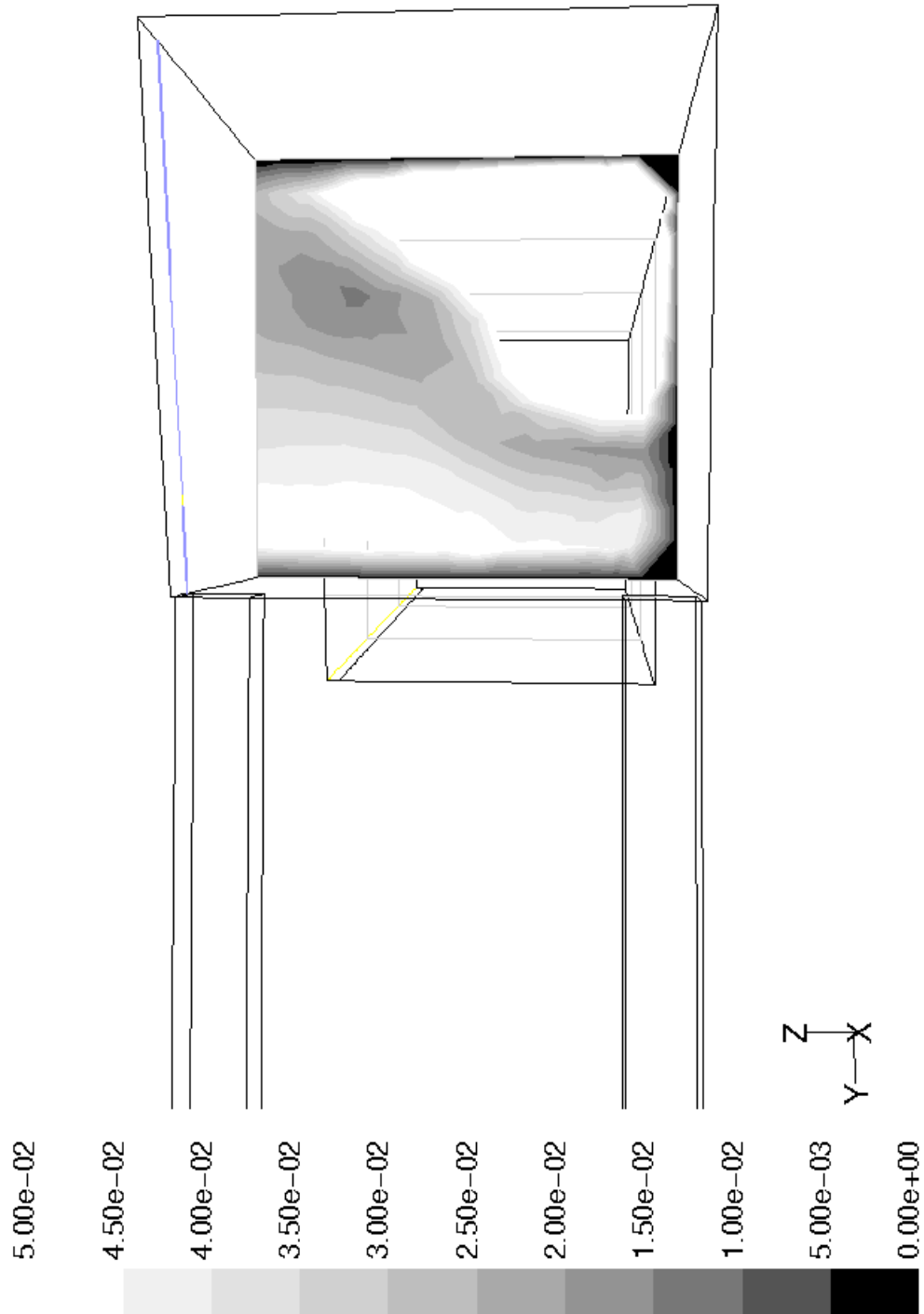


Figur J.22: Hastighetsvektorer 0,2 m ifrån akrylglaset. 0-0,5 m/s 50%

Bilaga J: 50 % av maximala flödet.

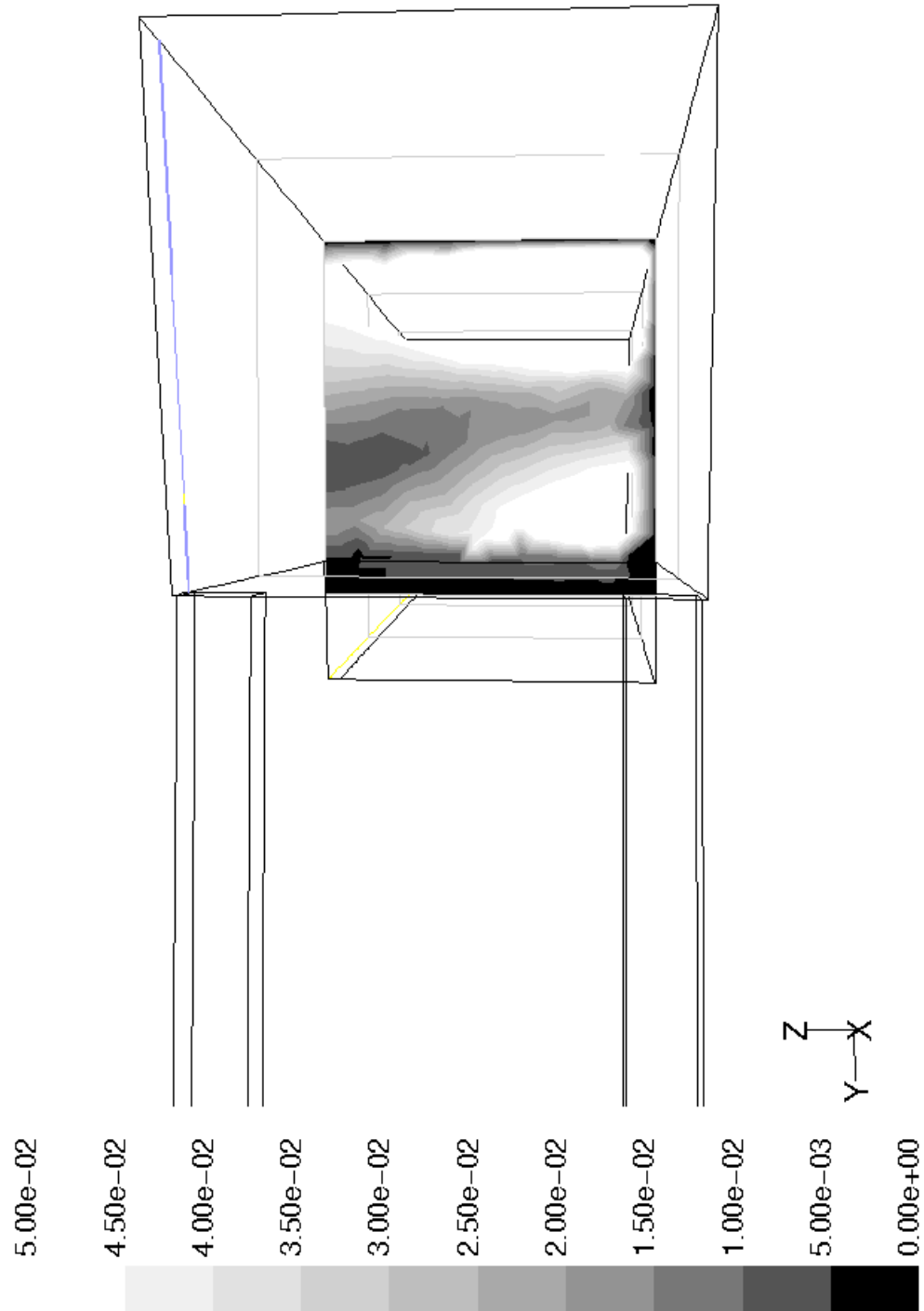


Figur J.23: Hastighetsvektorer 0,8 m ifrån akrylglaset. 0-0,1 m/s 50%

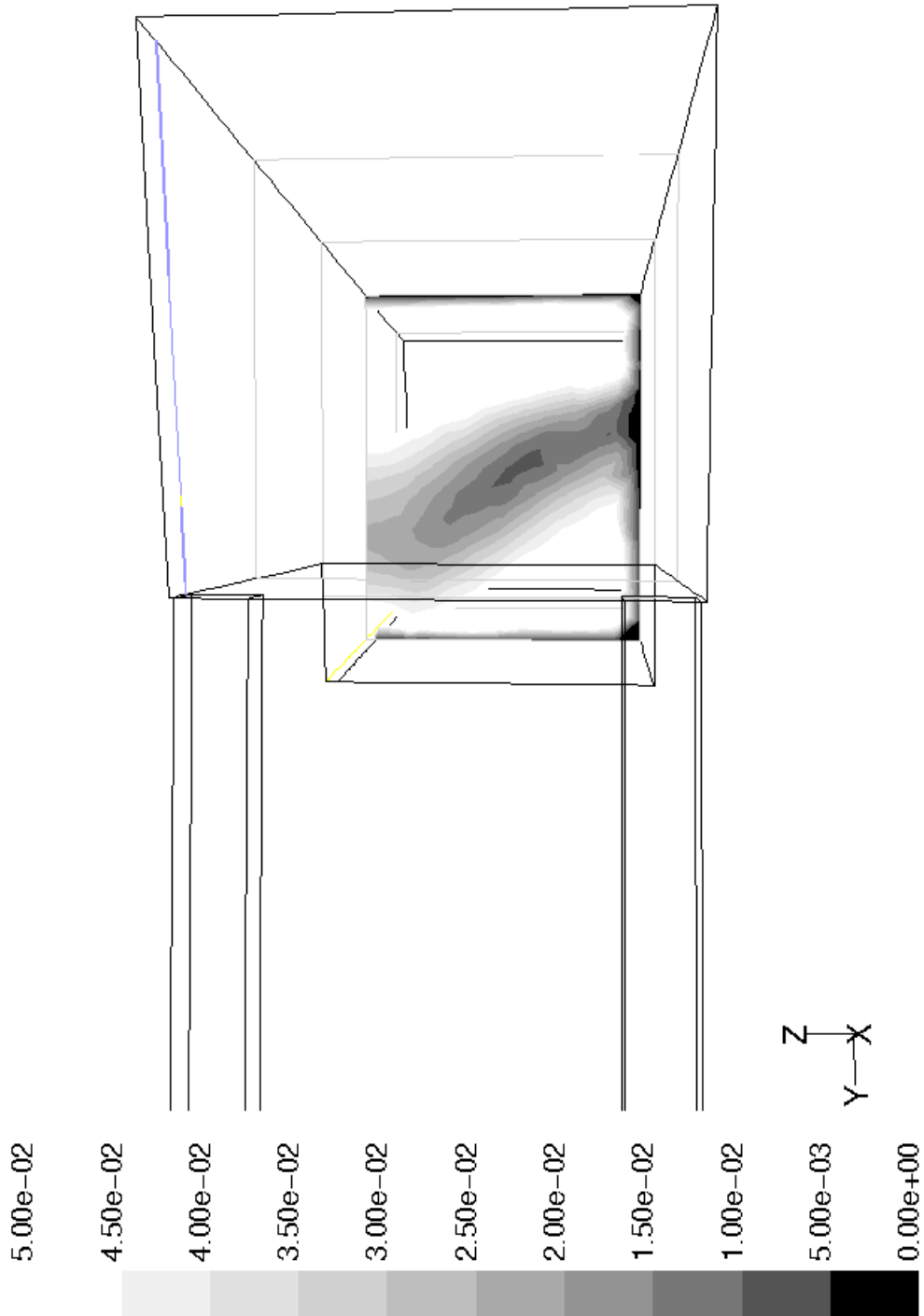


Figur J.24: Konturer av hastigheter på ytan $x=1,0$ m. $0-0,05$ m/s 50 %

Bilaga J: 50 % av maximala flödet.

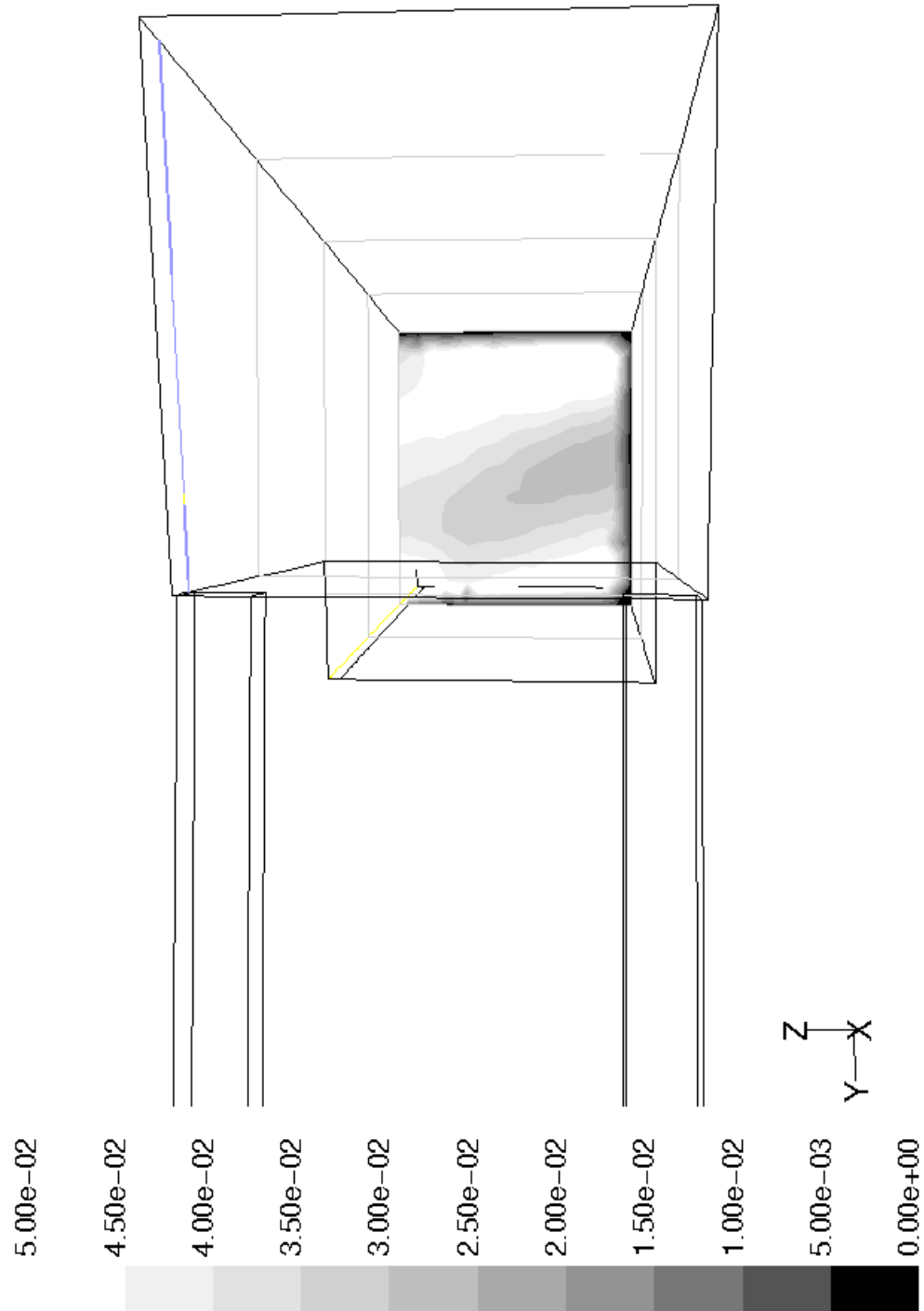


Figur J.25: Konturer av hastigheter på ytan $x=2,0$ m. $0-0,05$ m/s 50 %

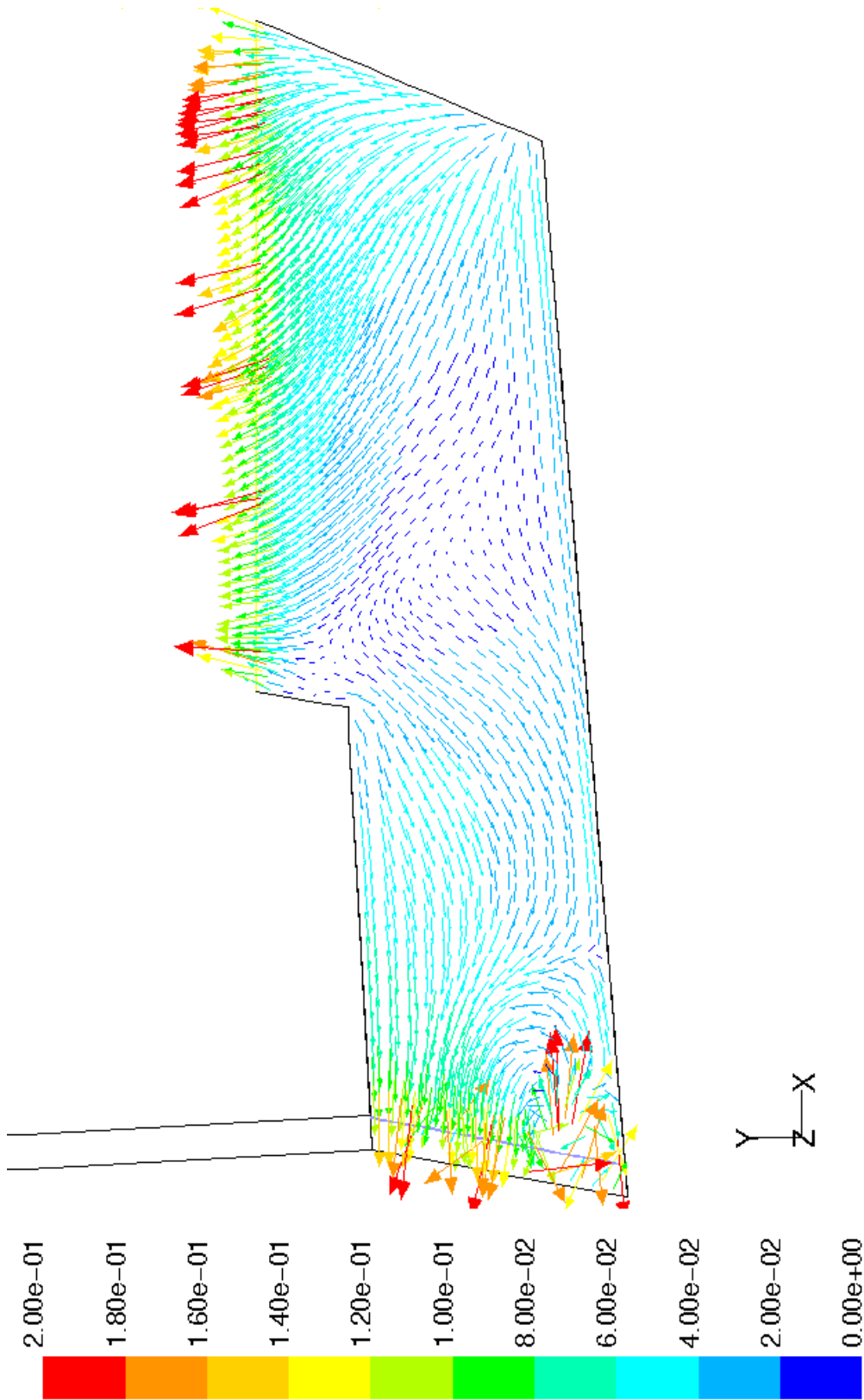


Figur J.26: Konturer av hastigheter på ytan $x=3,0$ m. $0-0,05$ m/s 50 %

Bilaga J: 50 % av maximala flödet.

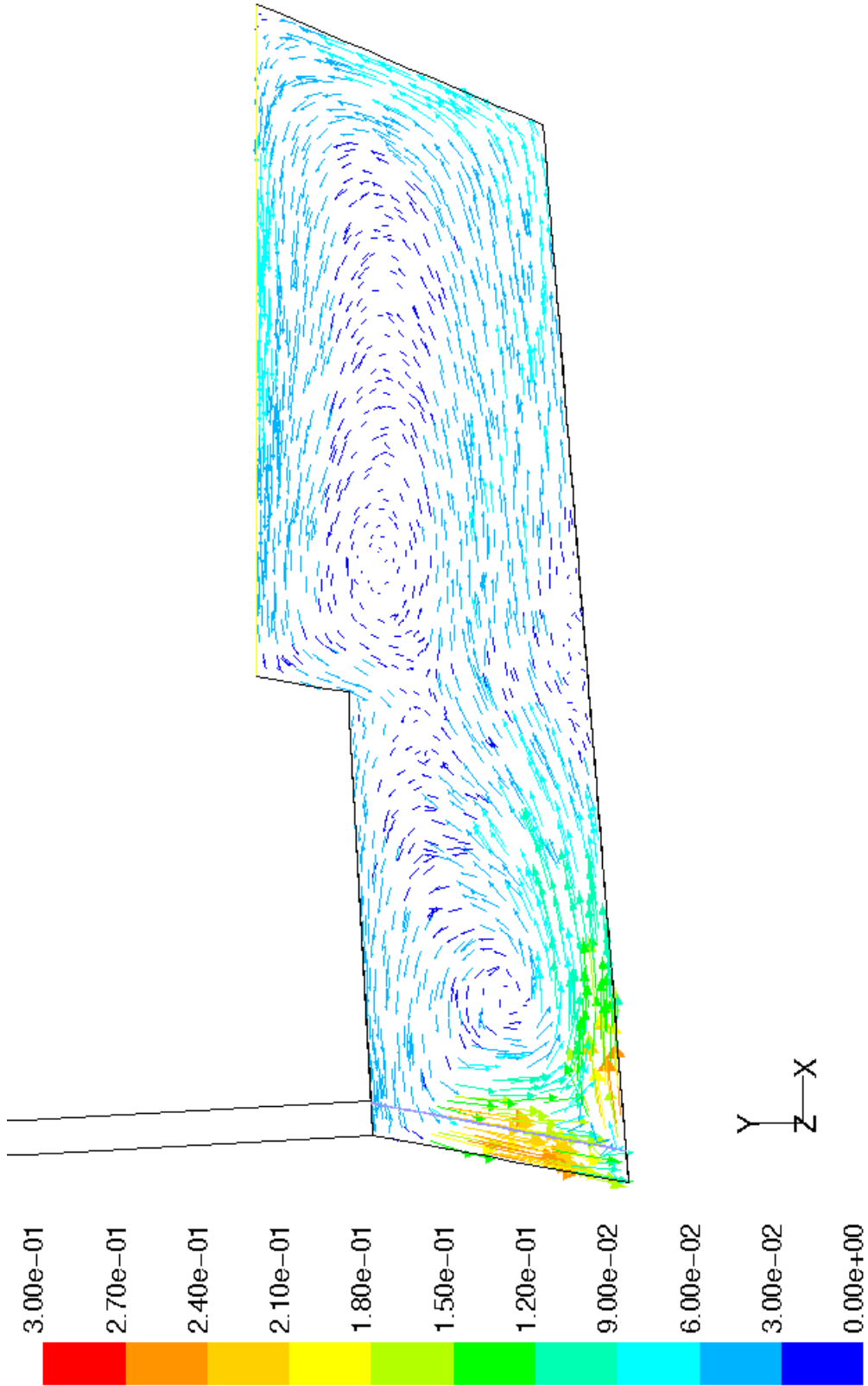


Figur J.27: Konturer av hastigheter på ytan $x=4,0$ m. $0-0,05$ m/s 50 %

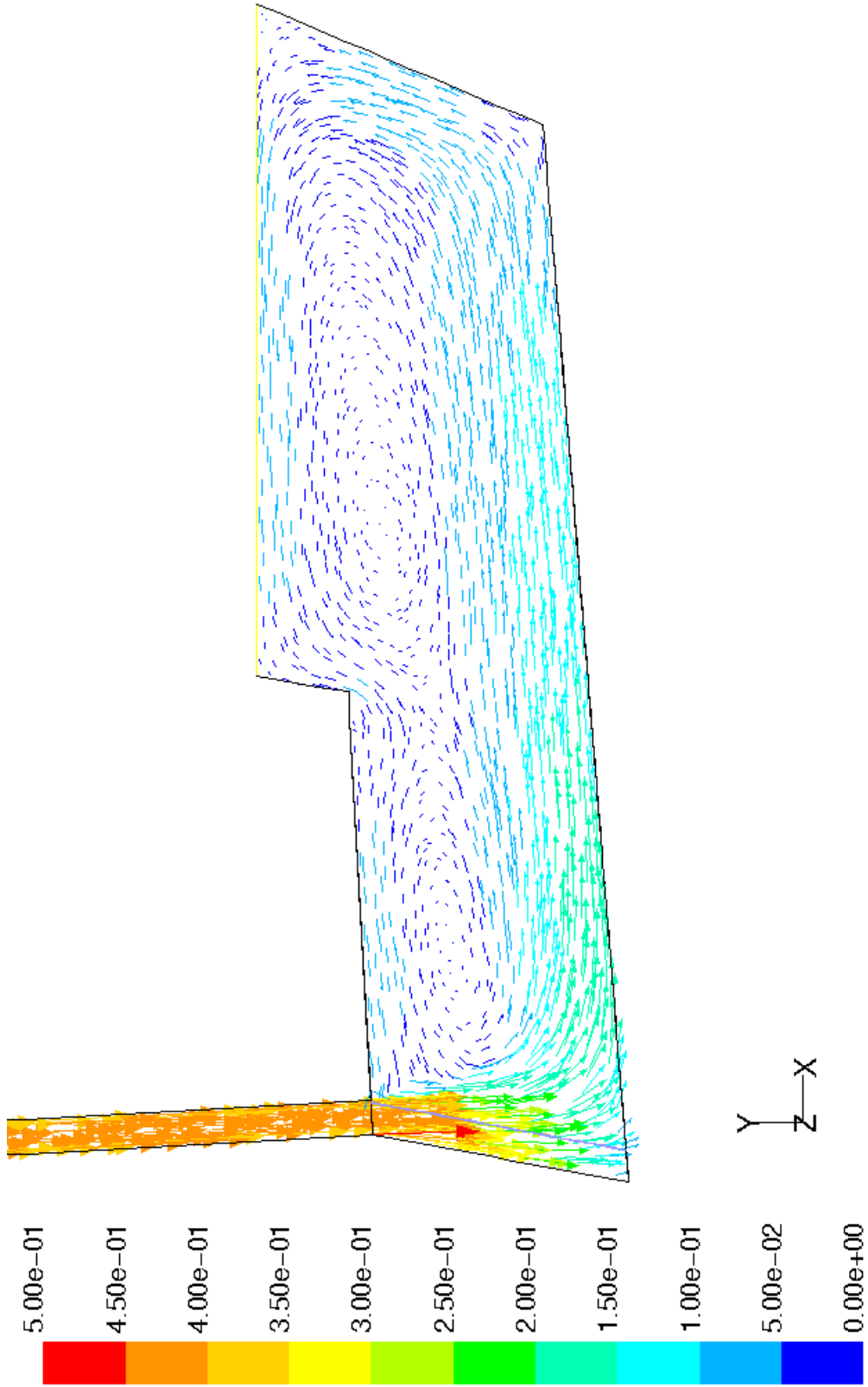


Figur J.10: Hastighetsvektorer i vattenytan. 0-0,2 m/s 75 %

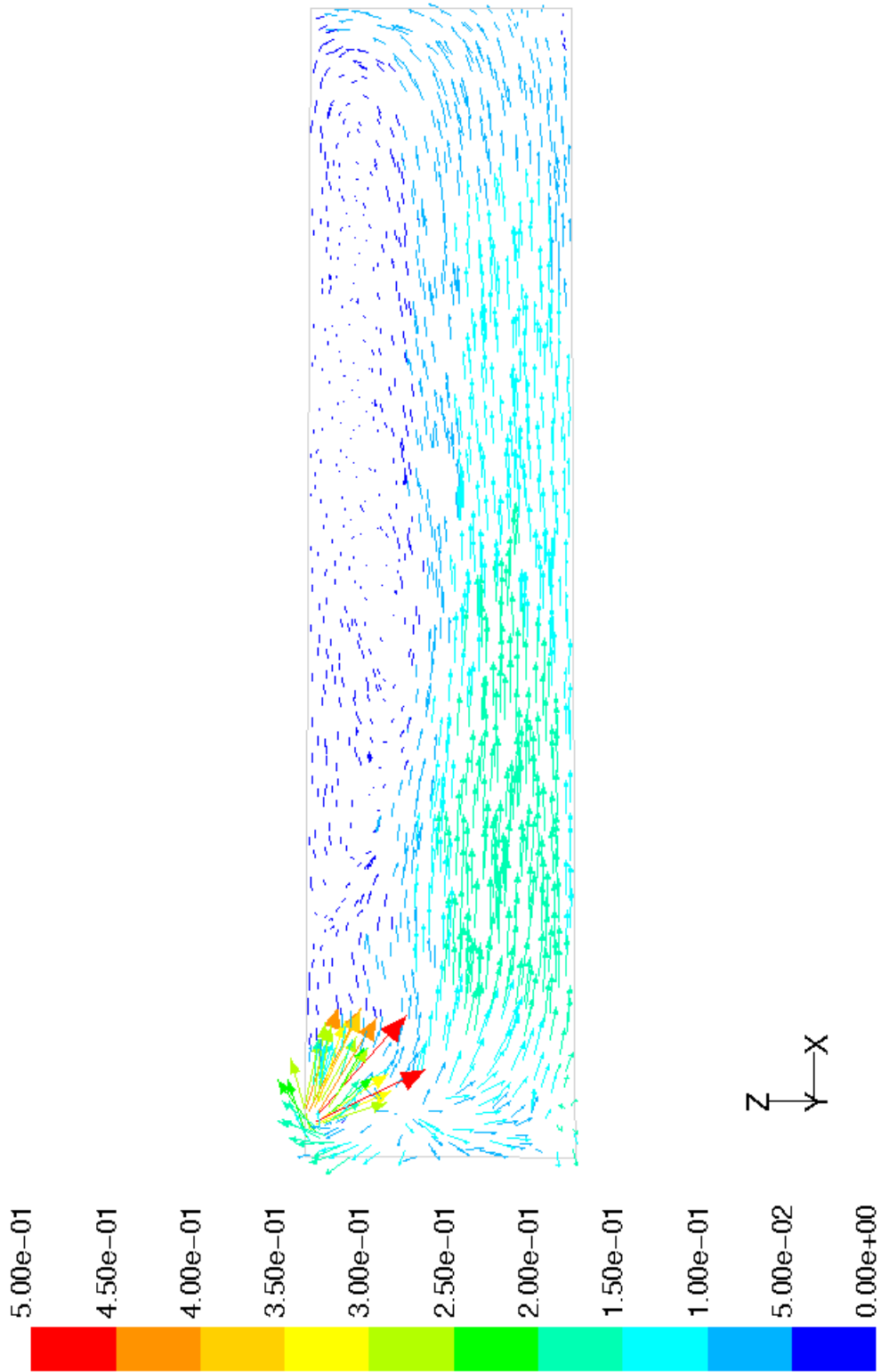
Bilaga J: 75 % av maximala flödet.



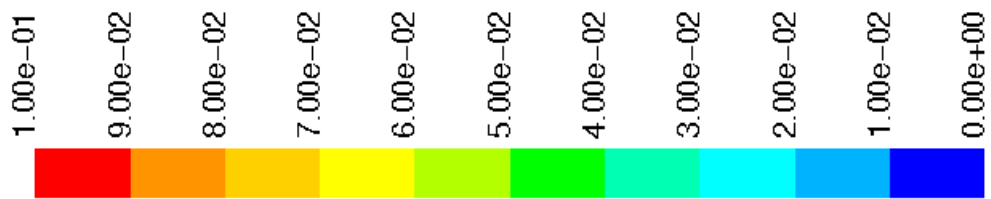
Figur J.11: Hastighetsvektorer på djupet 0,4 m. 0-0,3 m/s 75 %



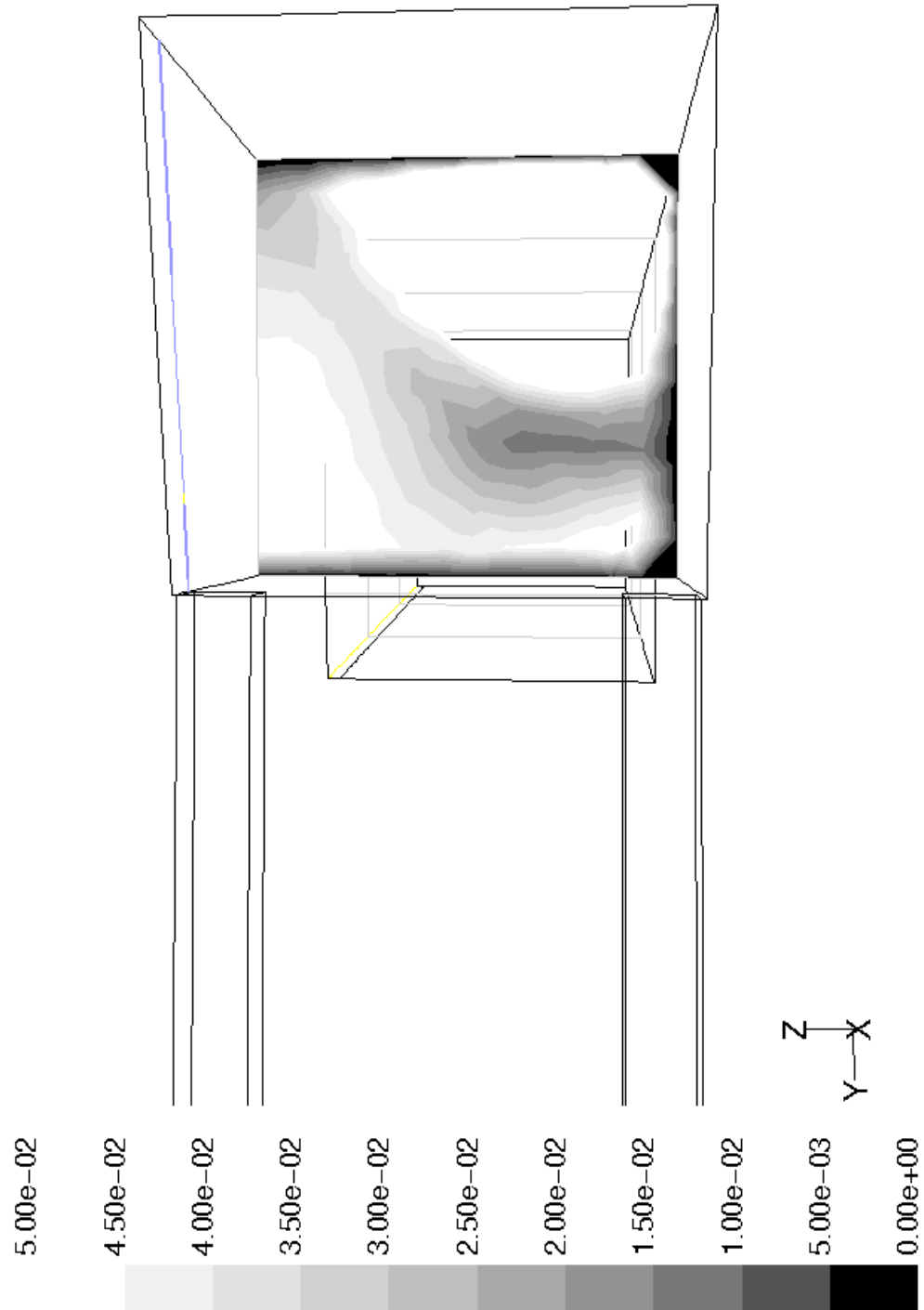
Figur J.12: Hastighetsvektorer på djupet 0,95 m. 0-0,5 m/s 75%



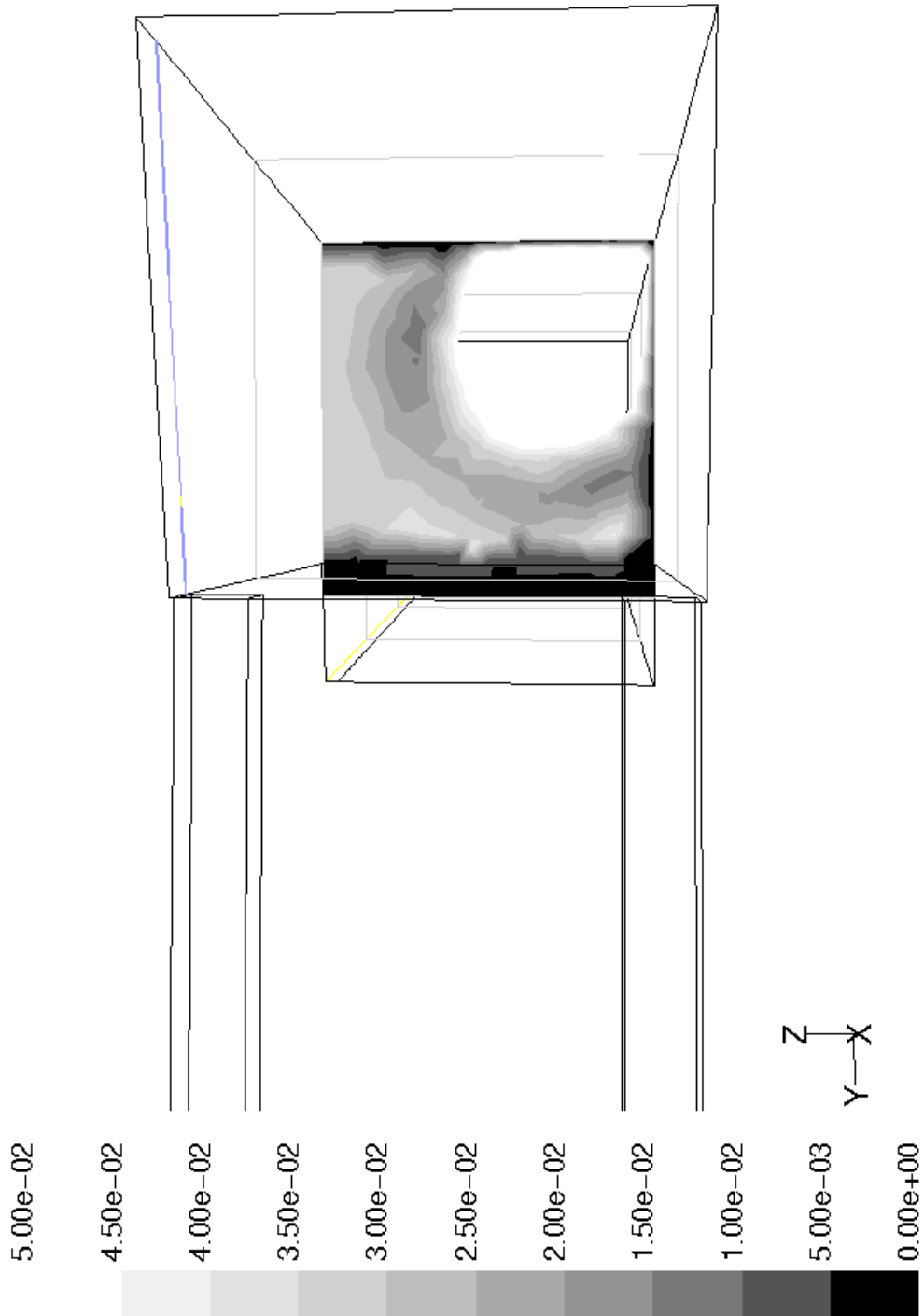
Figur J.13: Hastighetsvektorer 0,2 m ifrån akrylglaslet. 0-0,5 m/s 75%



Figur J.14: Hastighetsvektorer 0,8 m ifrån akrylglaslet. 0-0,1 m/s 75%

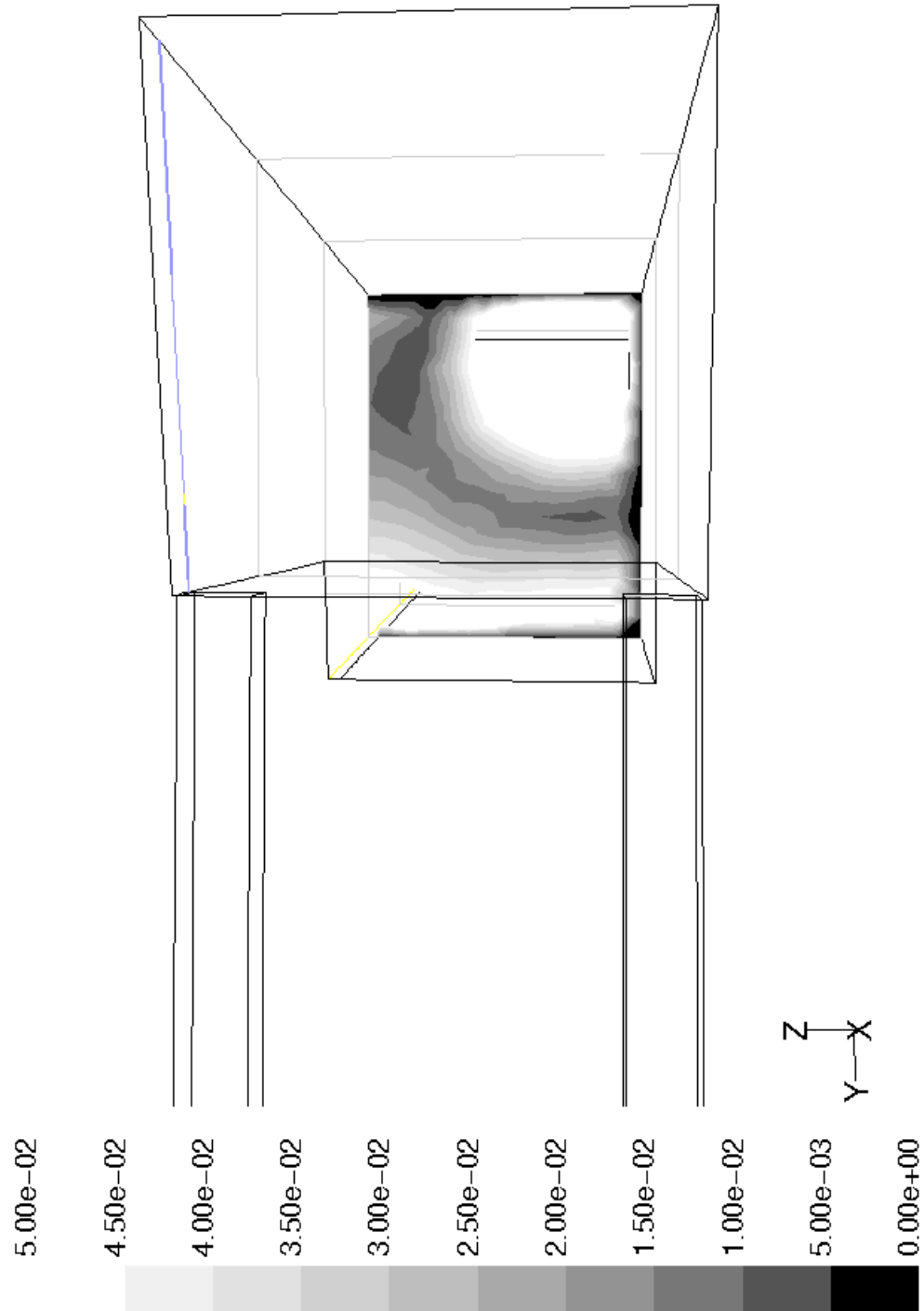


Figur J.15: Konturer av hastigheter på ytan $x=1,0$ m. $0-0,05$ m/s 75 %

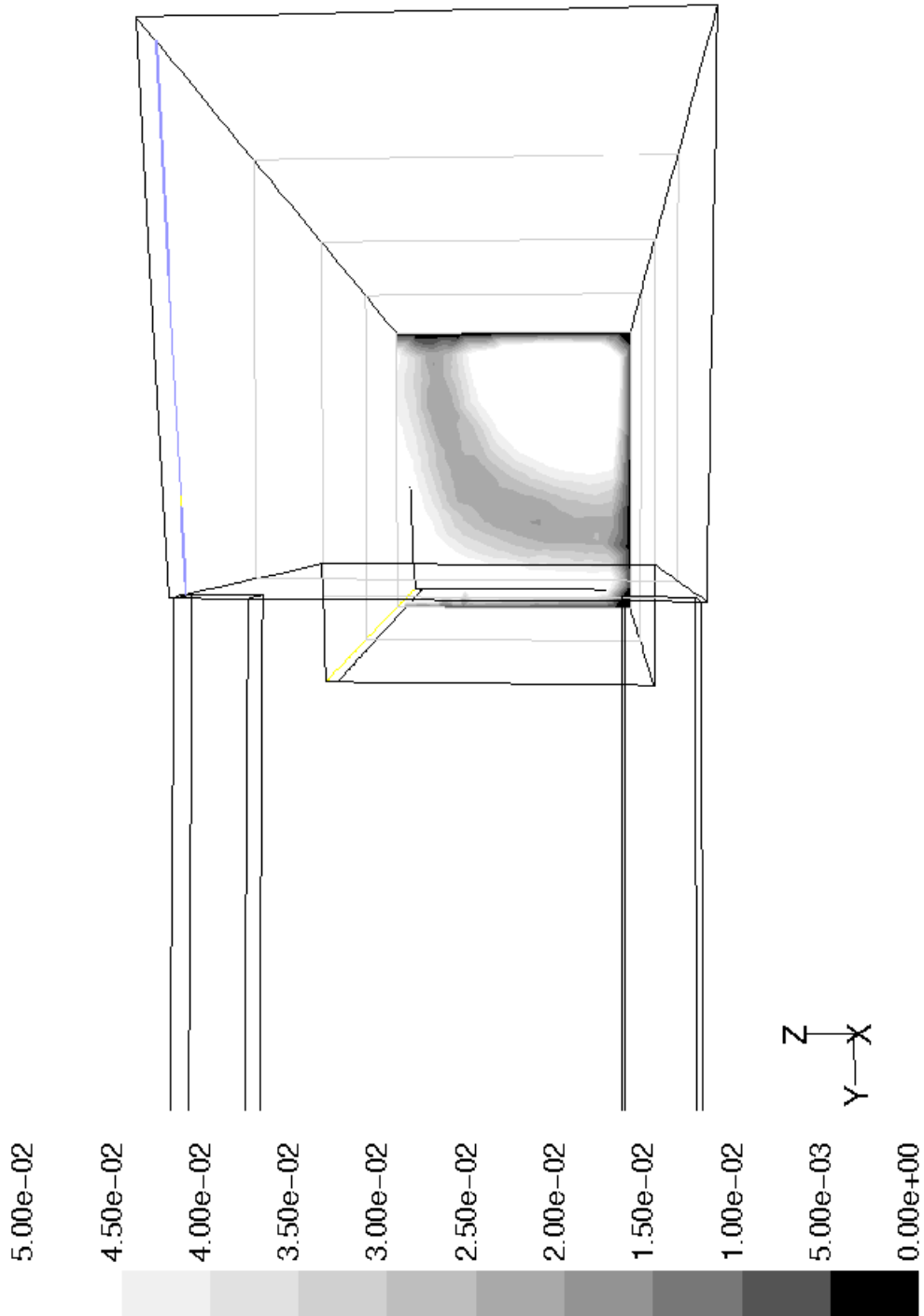


Figur J.16: Konturer av hastigheter på ytan $x=2,0$ m. $0-0,05$ m/s 75 %

Bilaga J: 75 % av maximala flödet.



Figur J.17: Konturer av hastigheter på ytan $x=3,0$ m. $0-0,05$ m/s 75 %



Figur J.18: Konturer av hastigheter på ytan $x=4,0$ m. $0-0,05$ m/s 75 %

BILAGA K

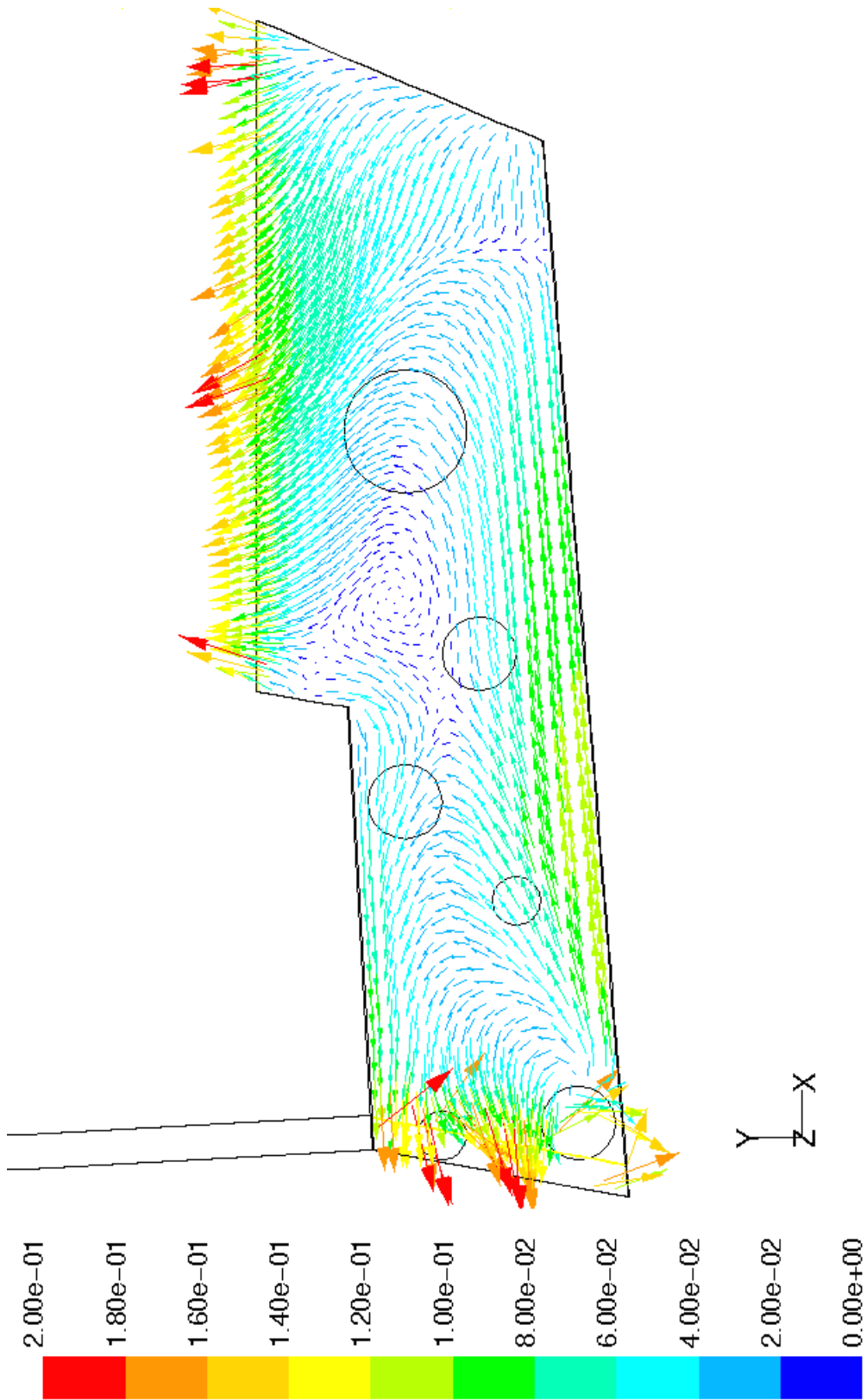
Resultat från älv med inflöde från sidan och hinder

100 % av maximala flödet

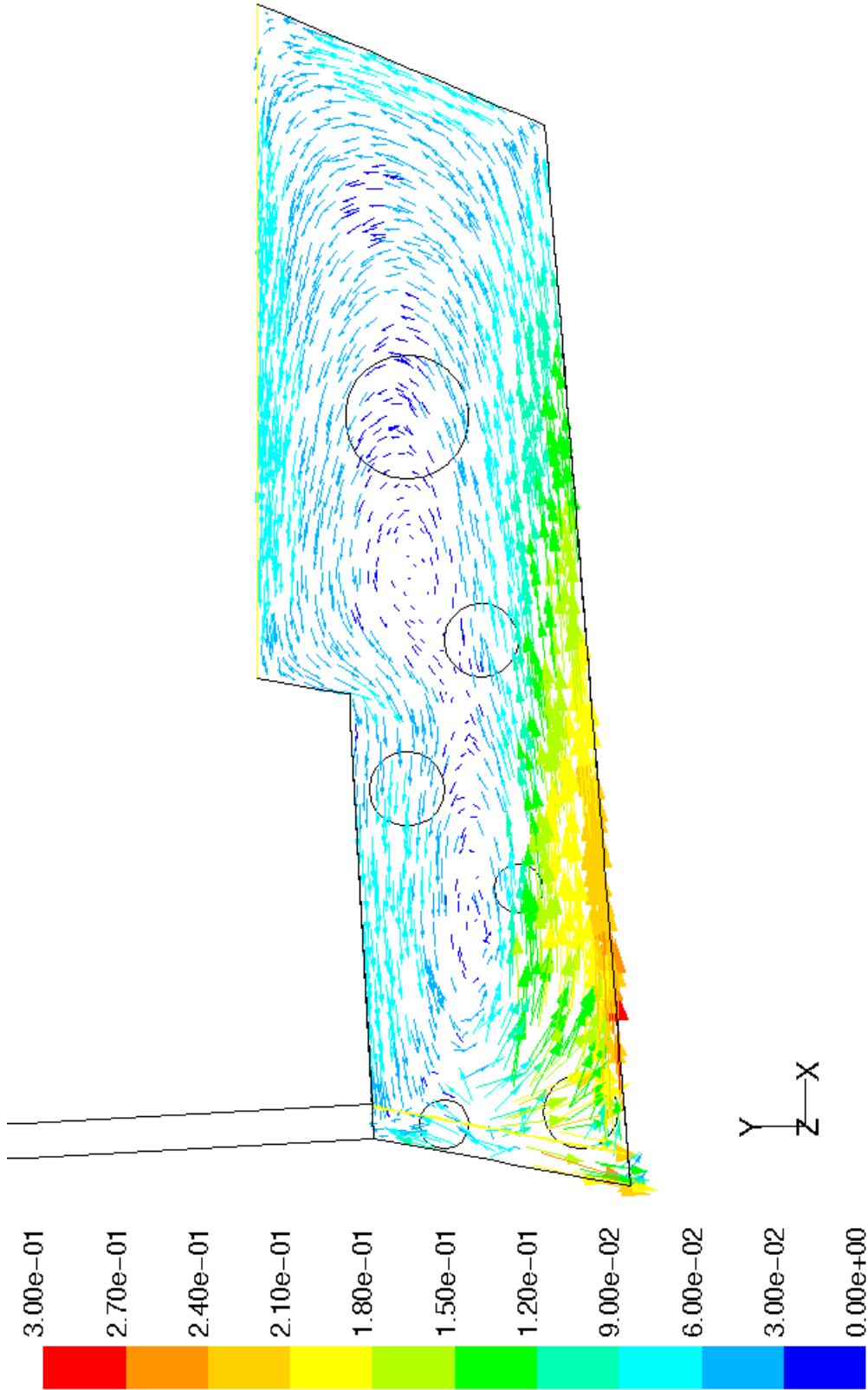
75 % av maximala flödet

50 % av maximala flödet

Bilaga K: 100 % av maximala flödet

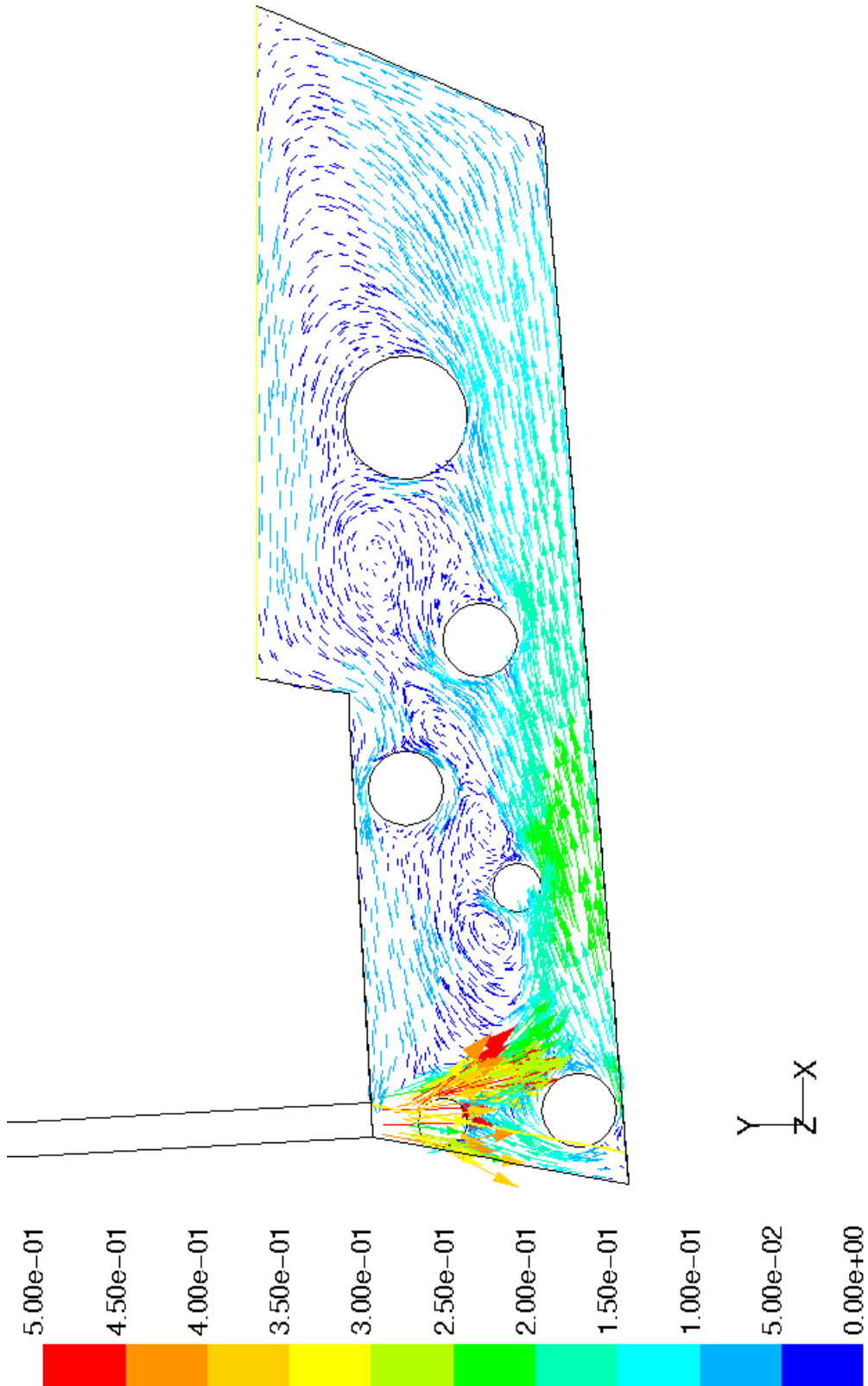


Figur K.1: Hastighetsvektorer i vattentytan. 0-0,2 m/s 100 %

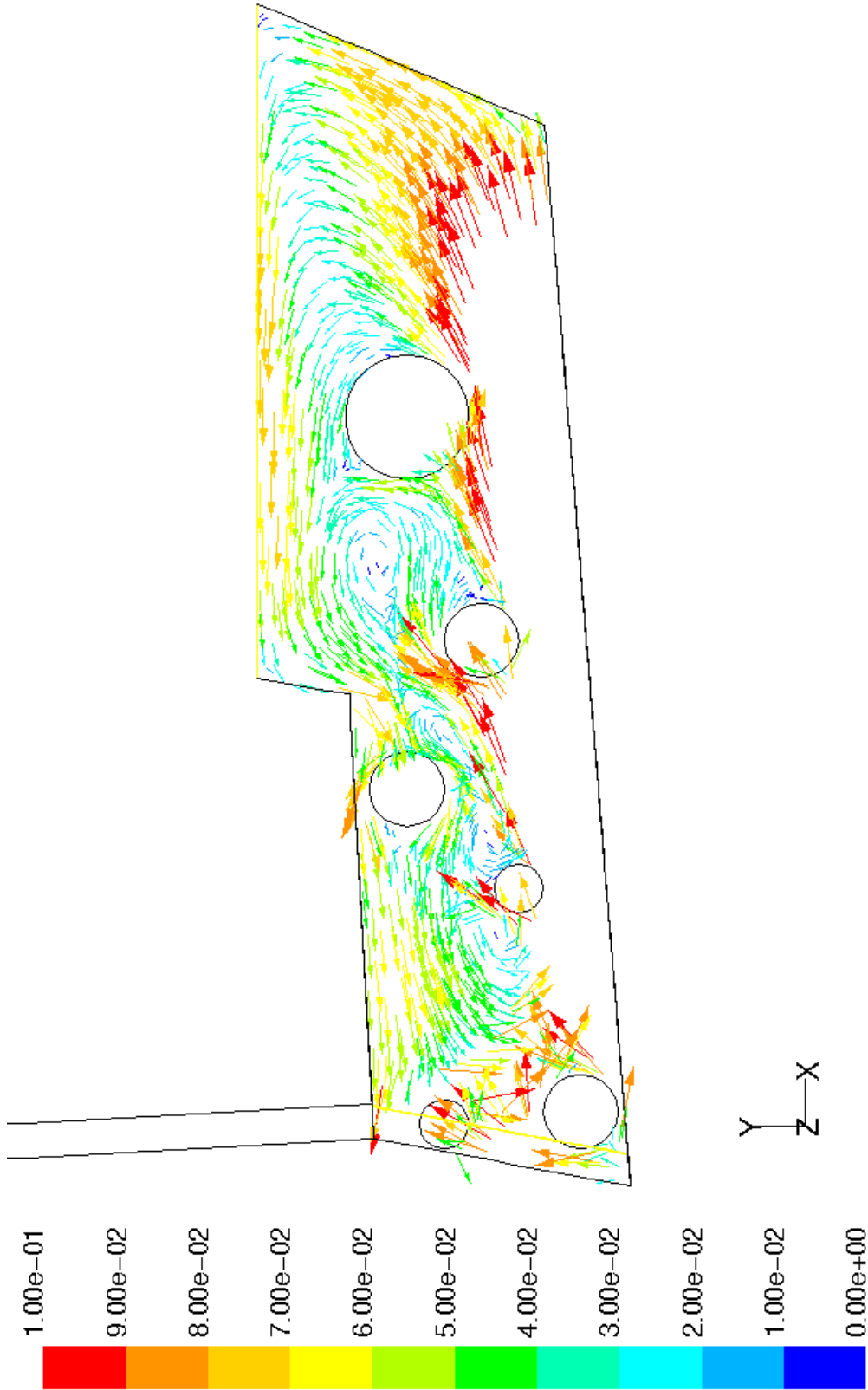


Figur K.2: Hastighetsvektorer på djupet 0,4 m. 0-0,3 m/s 100 %

Bilaga K: 100 % av maximala flödet

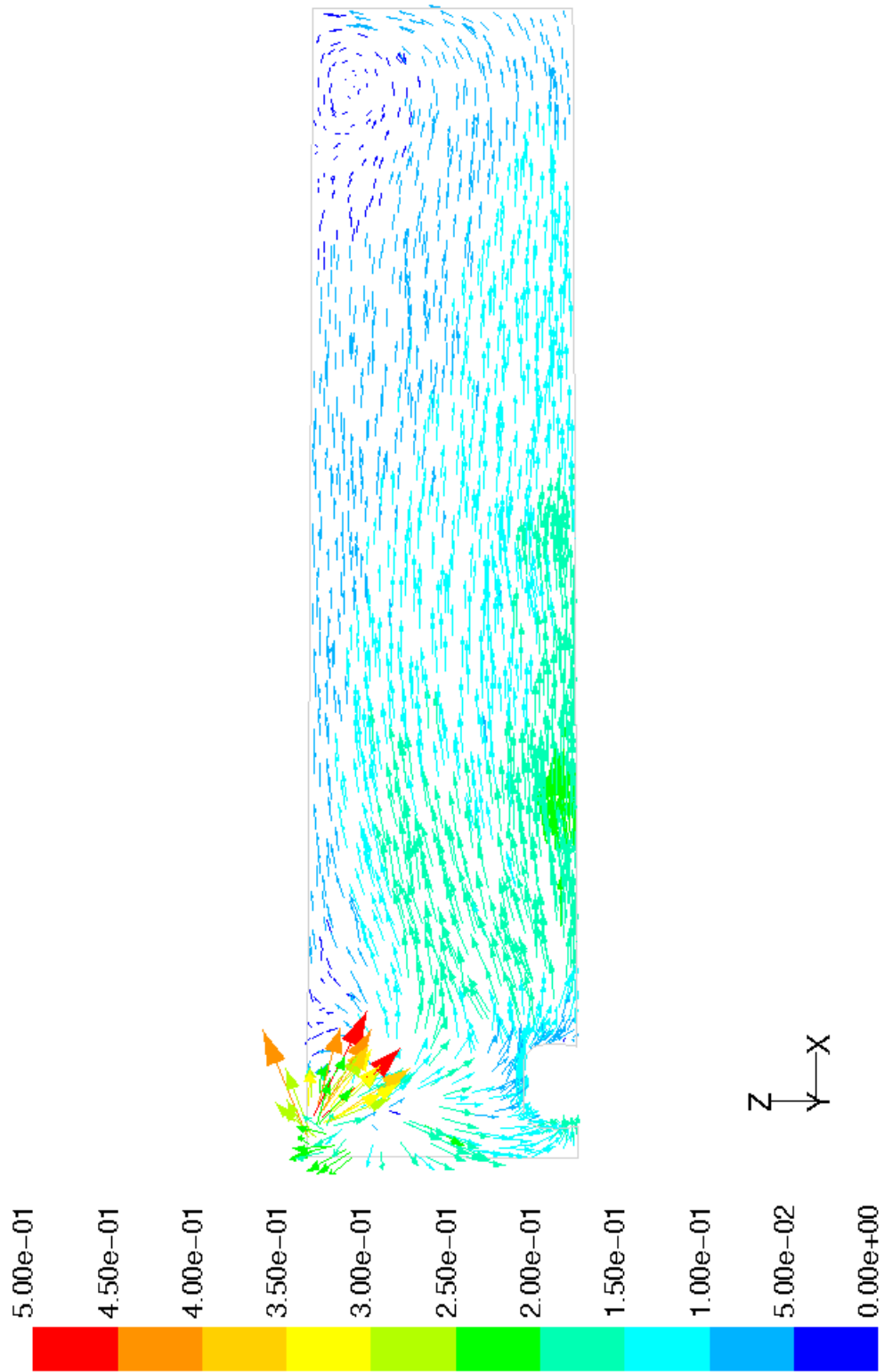


Figur K.3: Hastighetsvektorer på djupet 0,95 m. 0-0,5 m/s 100 %

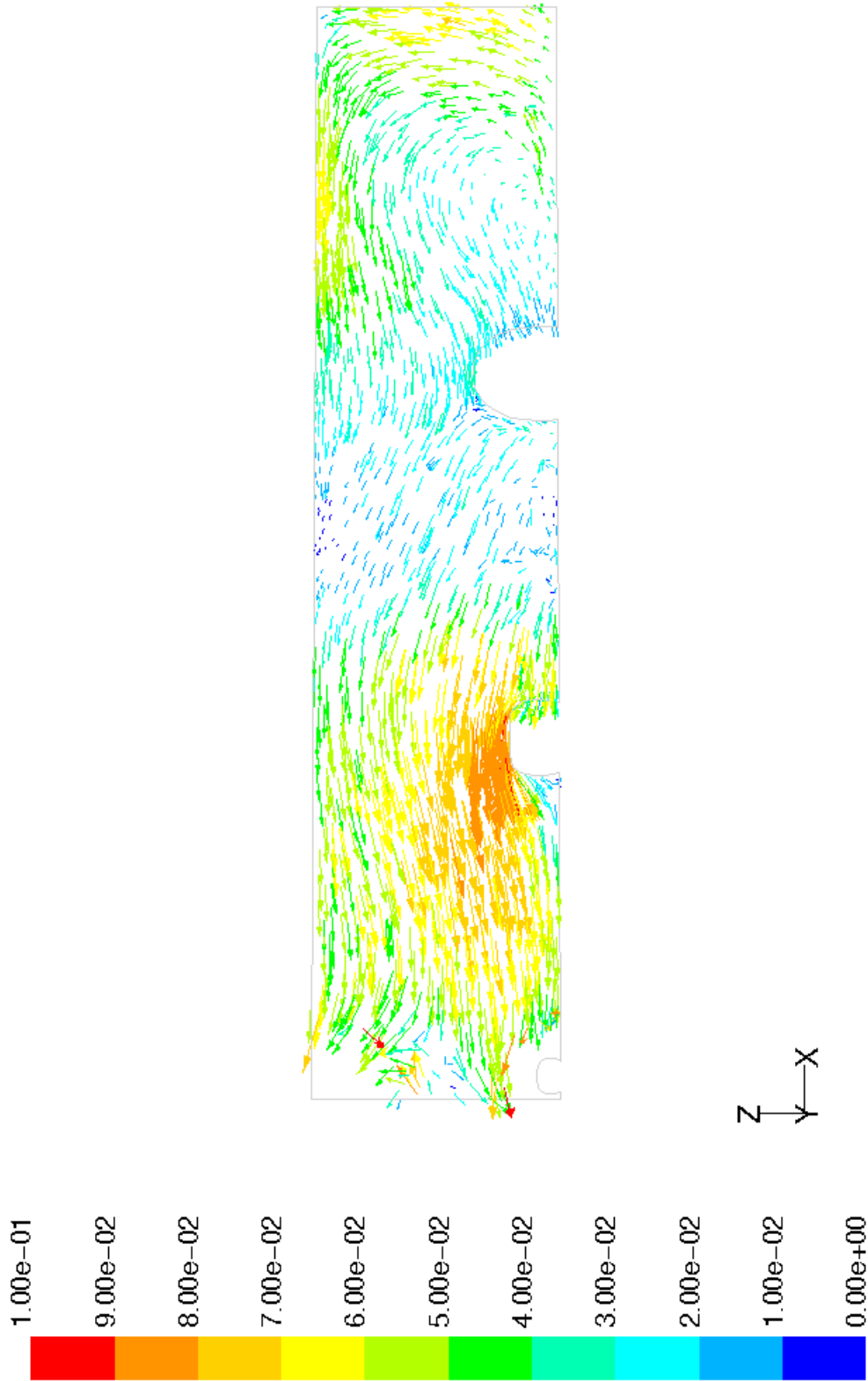


Figur K.4: Hastighetsvektorer på djupet 0,95 m. 0-0,1 m/s 100 %

Bilaga K: 100 % av maximala flödet

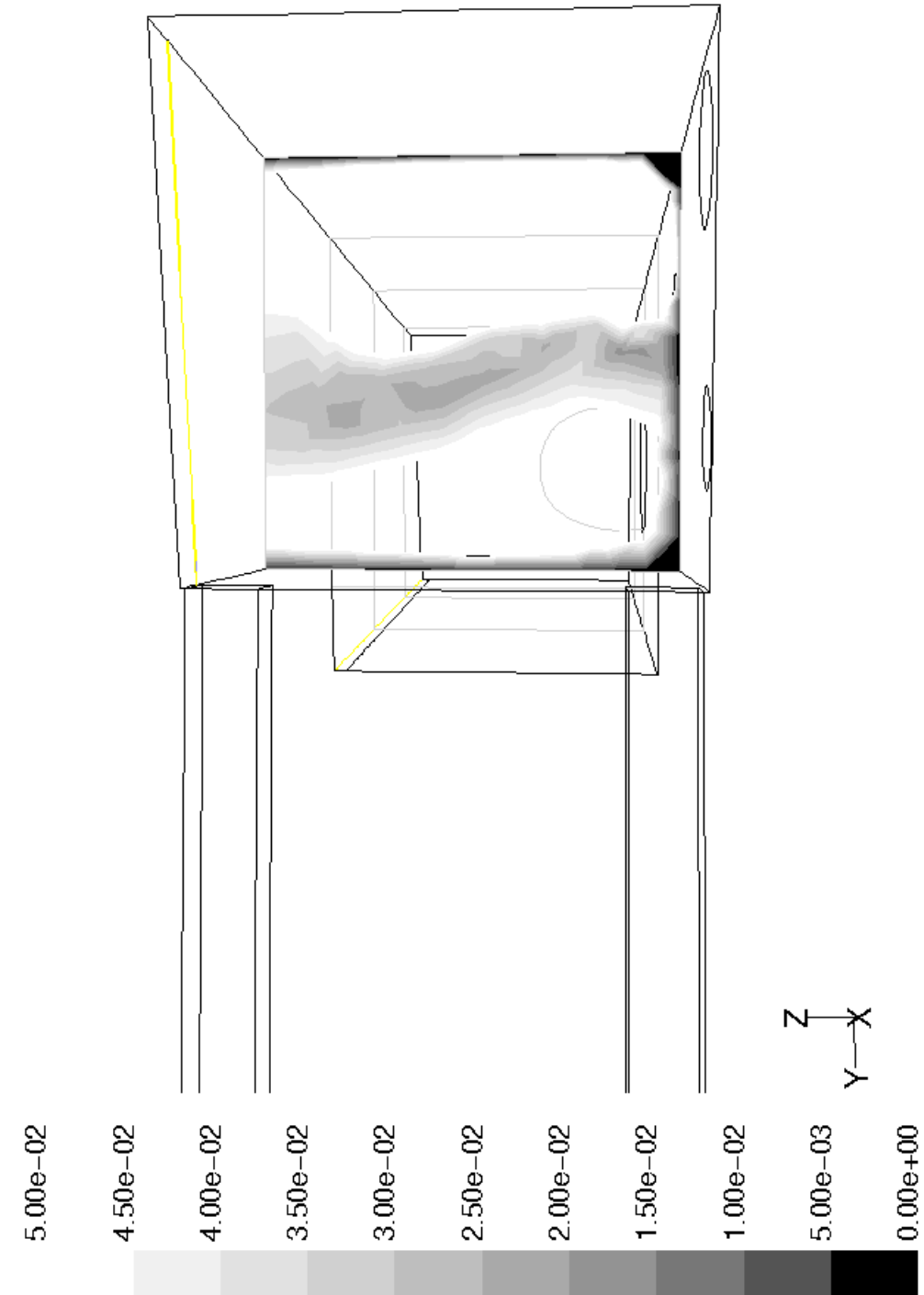


Figur K.5: Hastighetsvektorer 0,2 m ifrån akrylglasets. 0-0,5 m/s 100 %

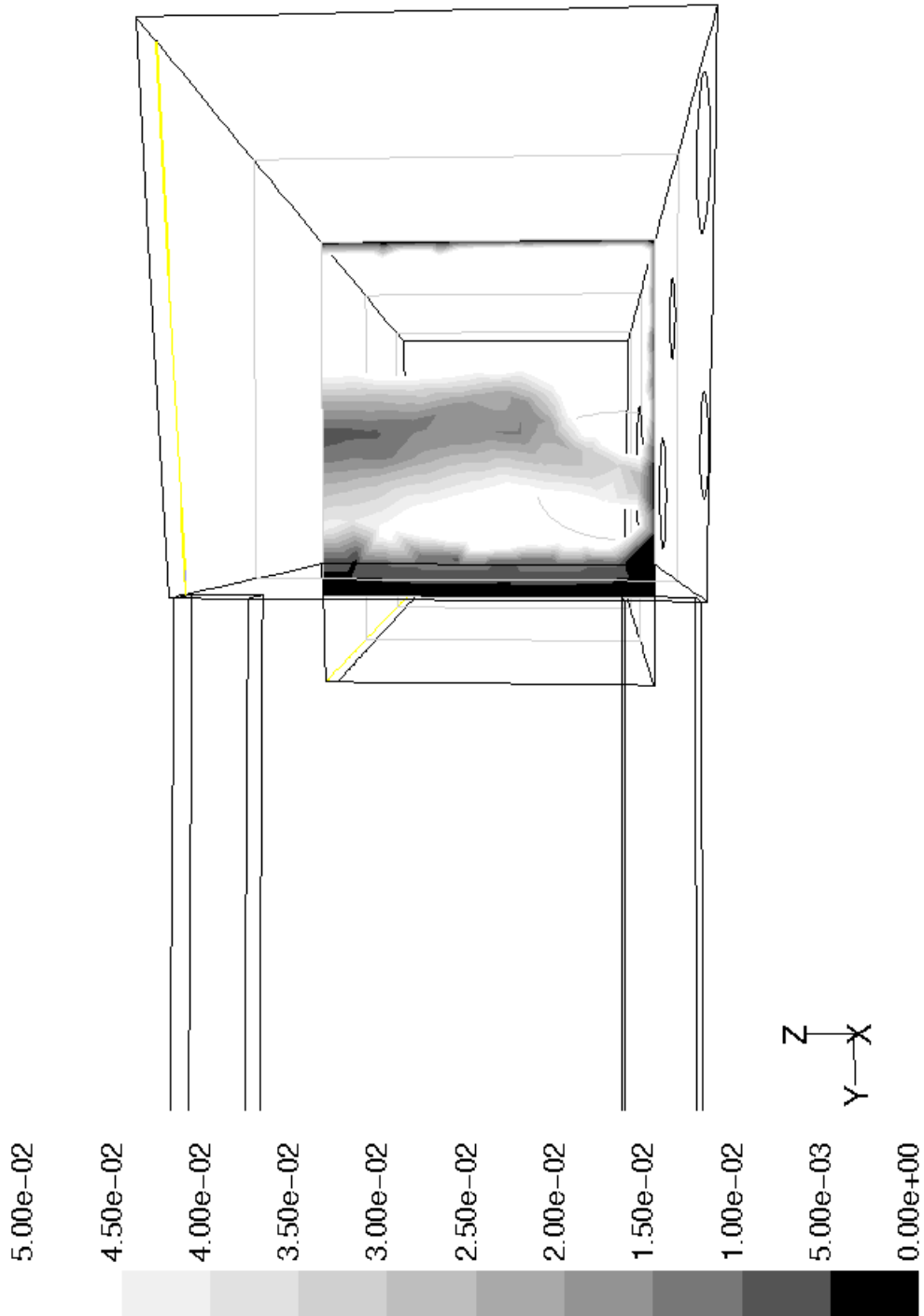


Figur K.6: Hastighetsvektorer 0,8 m ifrån akrylglaset. 0-0,1 m/s 100 %

Bilaga K: 100 % av maximala flödet

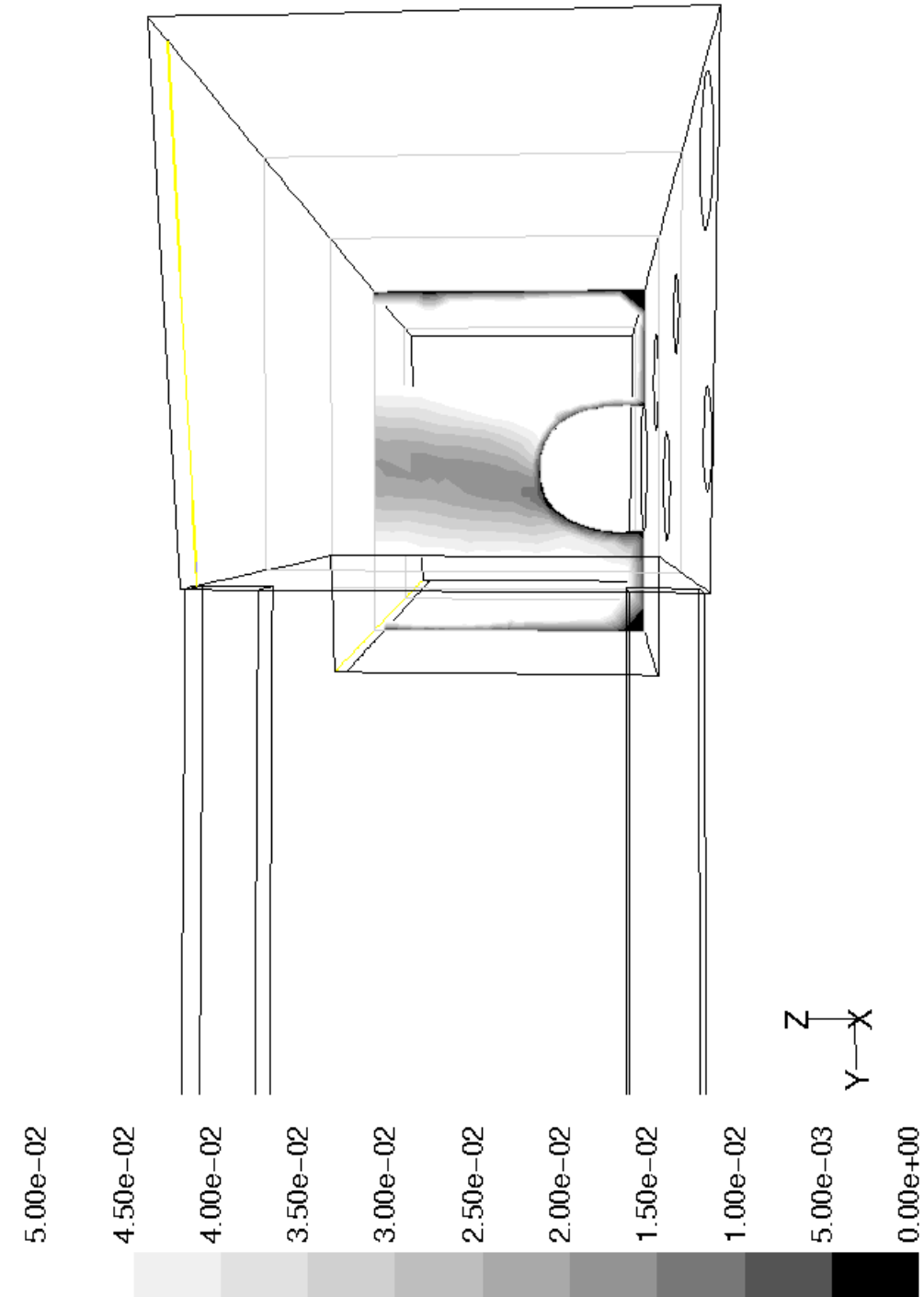


Figur K.7: Konturer av hastigheter på ytan $x=1,0$ m. $0-0,05$ m/s 100 %

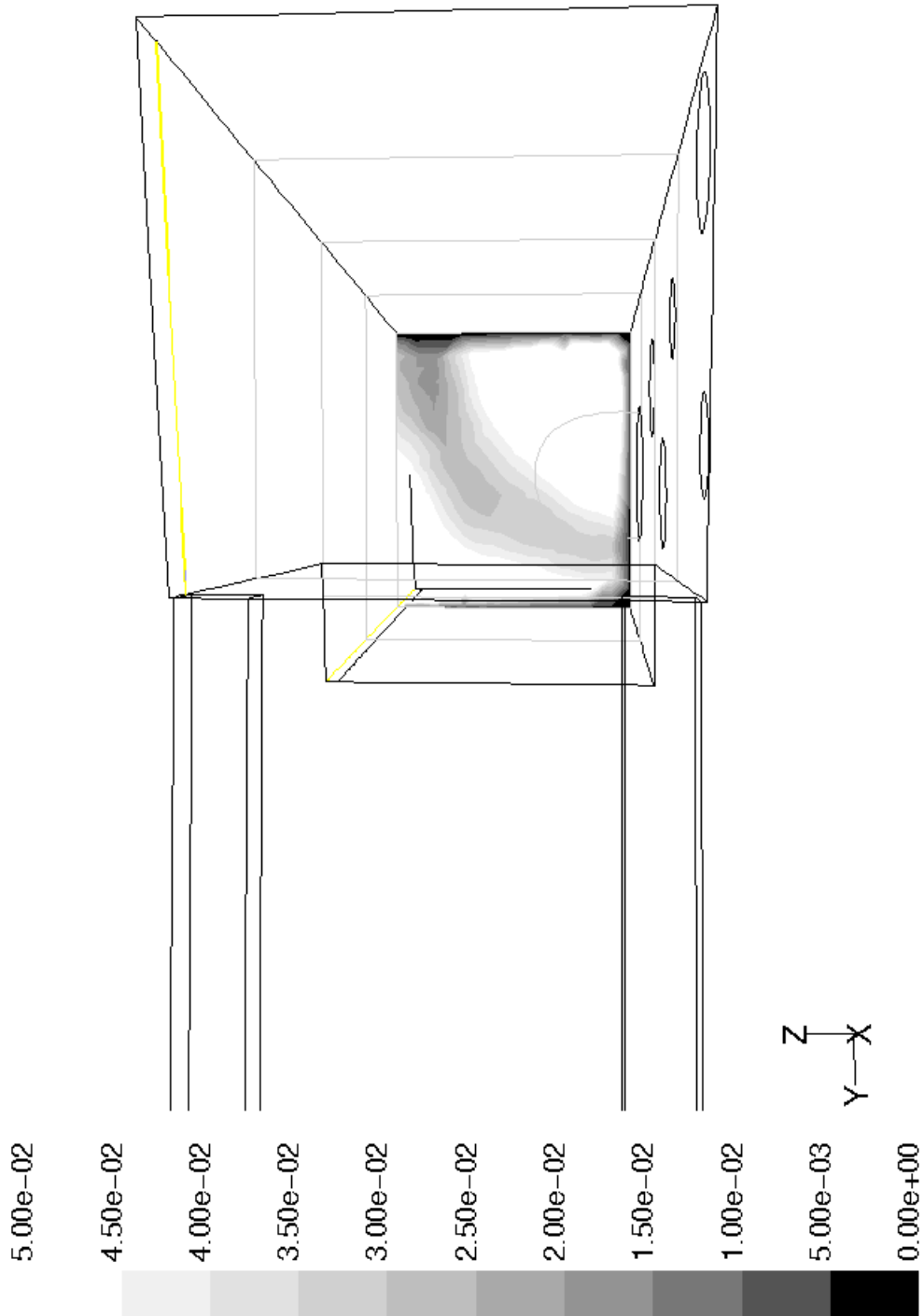


Figur K.8: Konturer av hastigheter på ytan $x=2,0$ m. $0-0,05$ m/s 100 %

Bilaga K: 100 % av maximala flödet

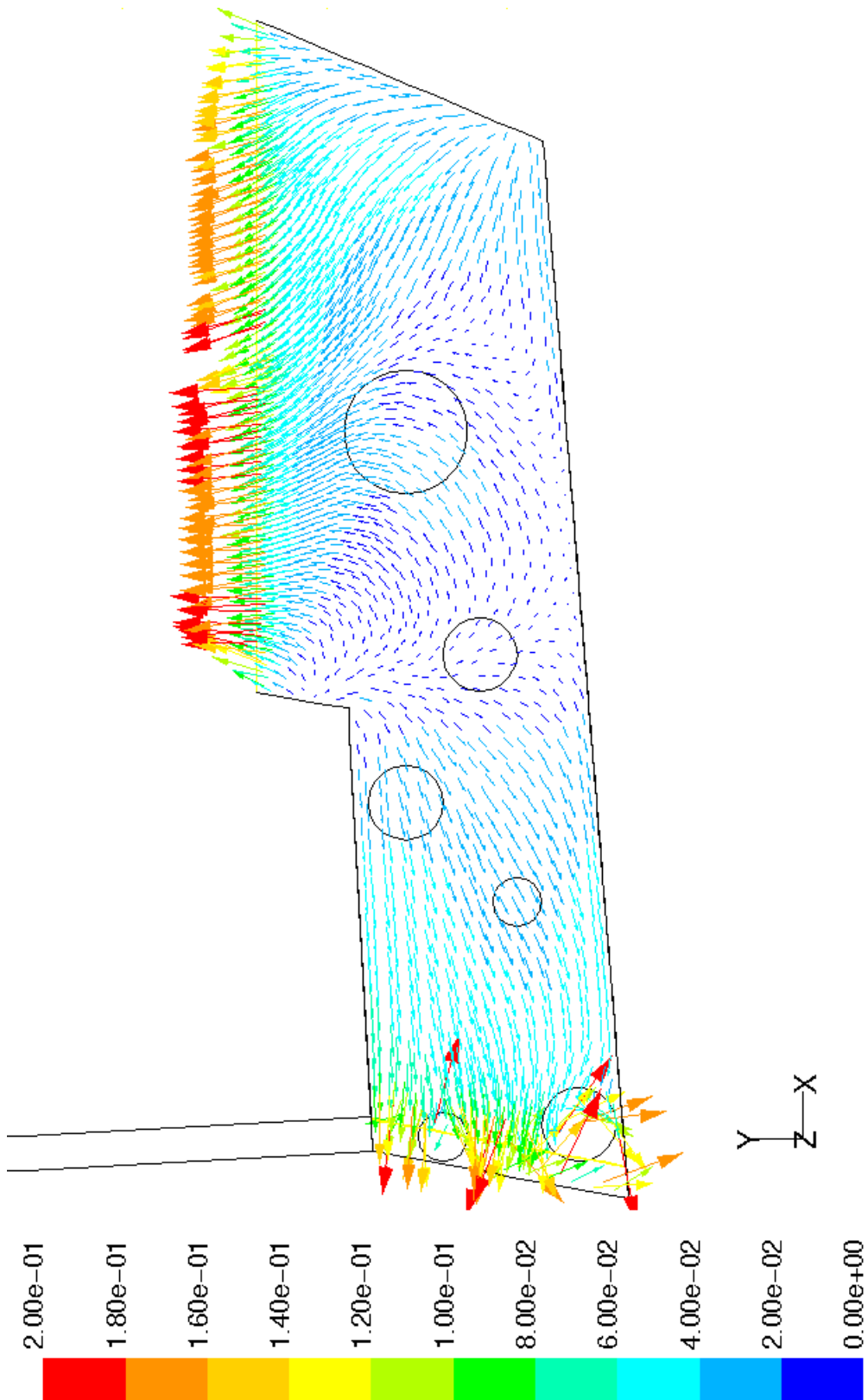


Figur K.9: Konturer av hastigheter på ytan $x=3,0$ m. $0-0,05$ m/s 100 %

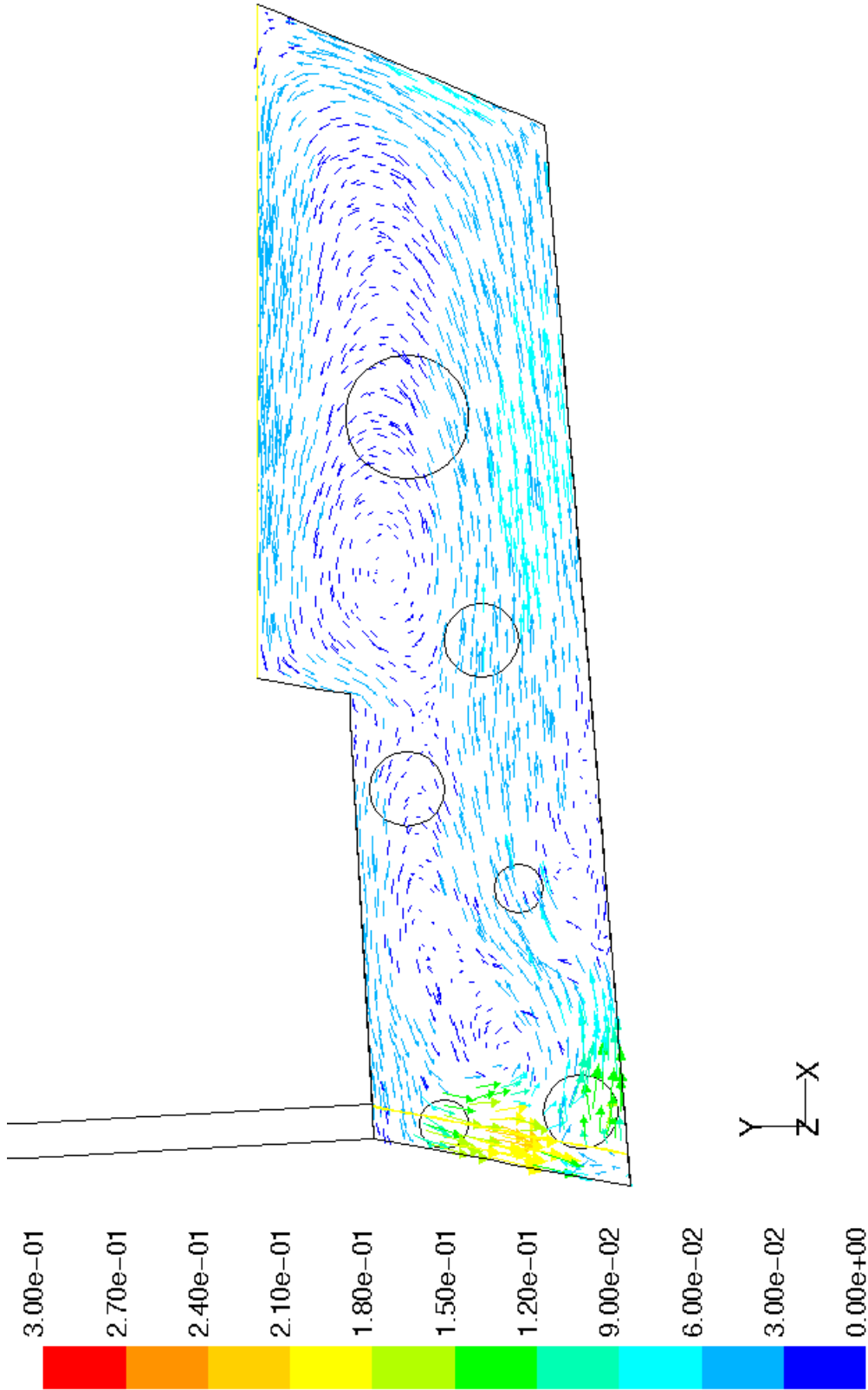


Figur K.10: Konturer av hastigheter på ytan $x=4,0$ m. $0-0,05$ m/s 100 %

Bilaga K: 50 % av maximala flödet

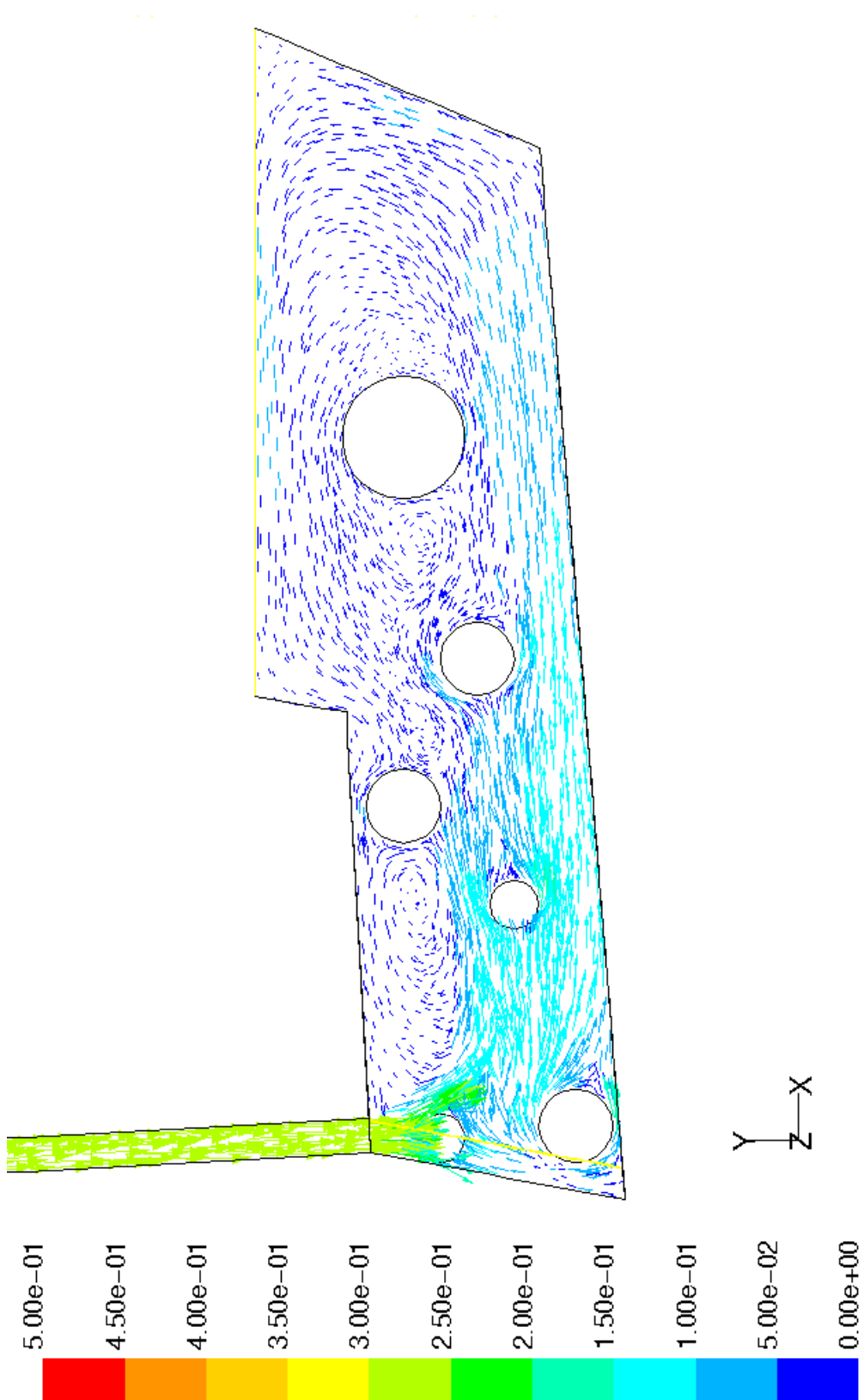


Figur K.21: Hastighetsvektorer i vattenytan. 0-0,2 m/s 50 %

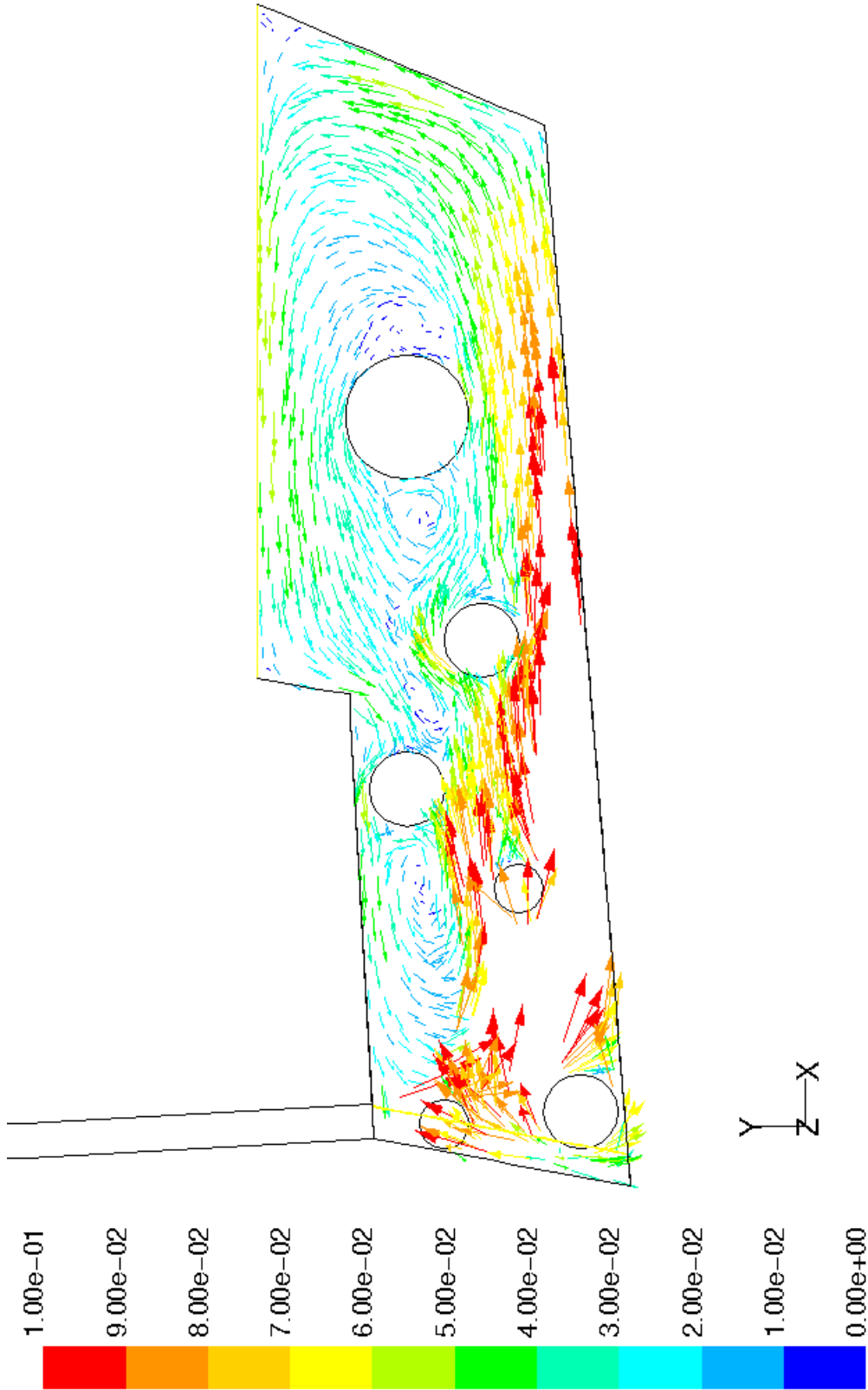


Figur K.22: Hastighetsvektorer på djupet 0,4 m. 0-0,3 m/s 50 %

Bilaga K: 50 % av maximala flödet

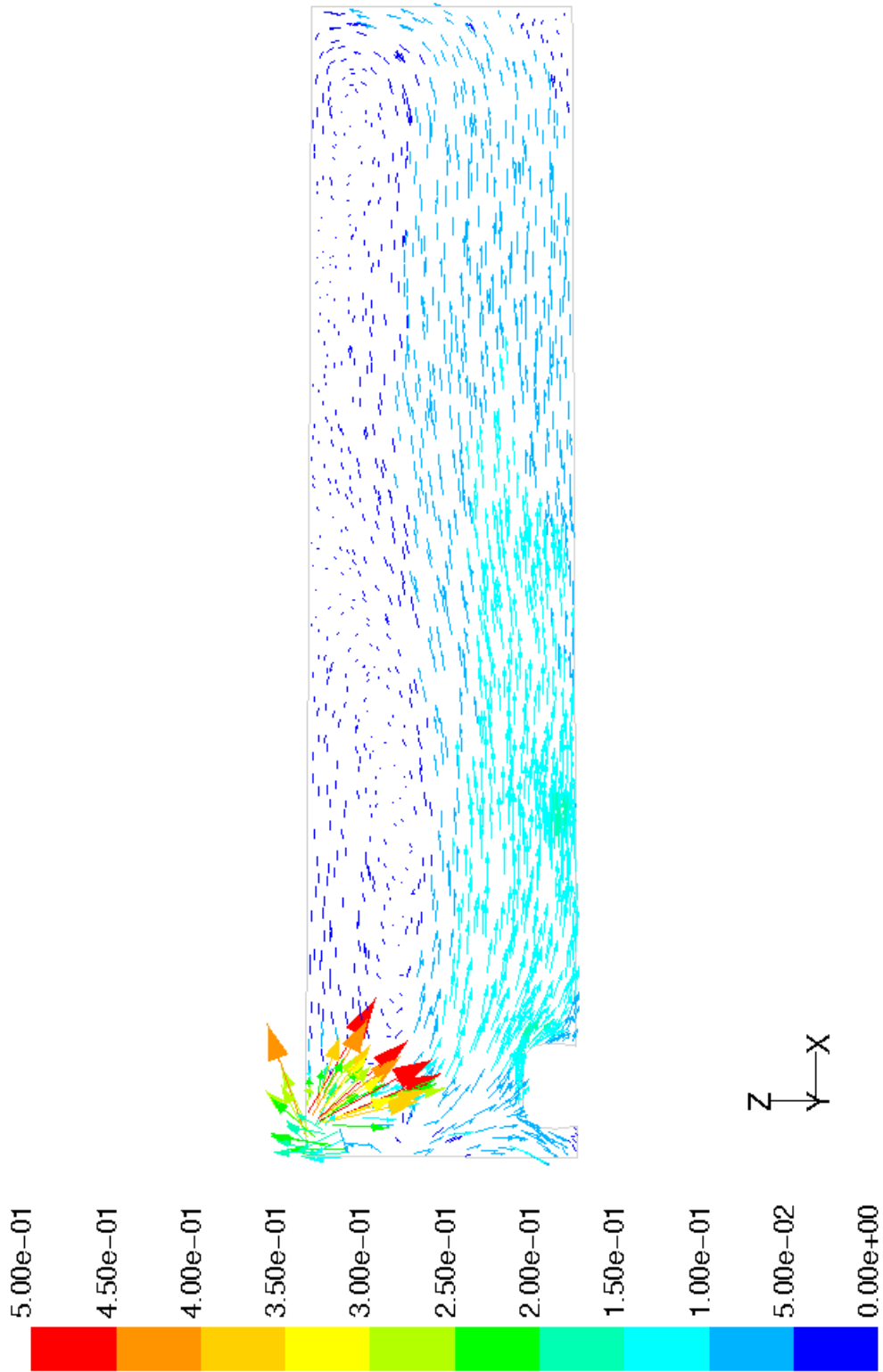


Figur K.23: Hastighetsvektorer på djupet 0,95 m. 0-0,5 m/s 50 %

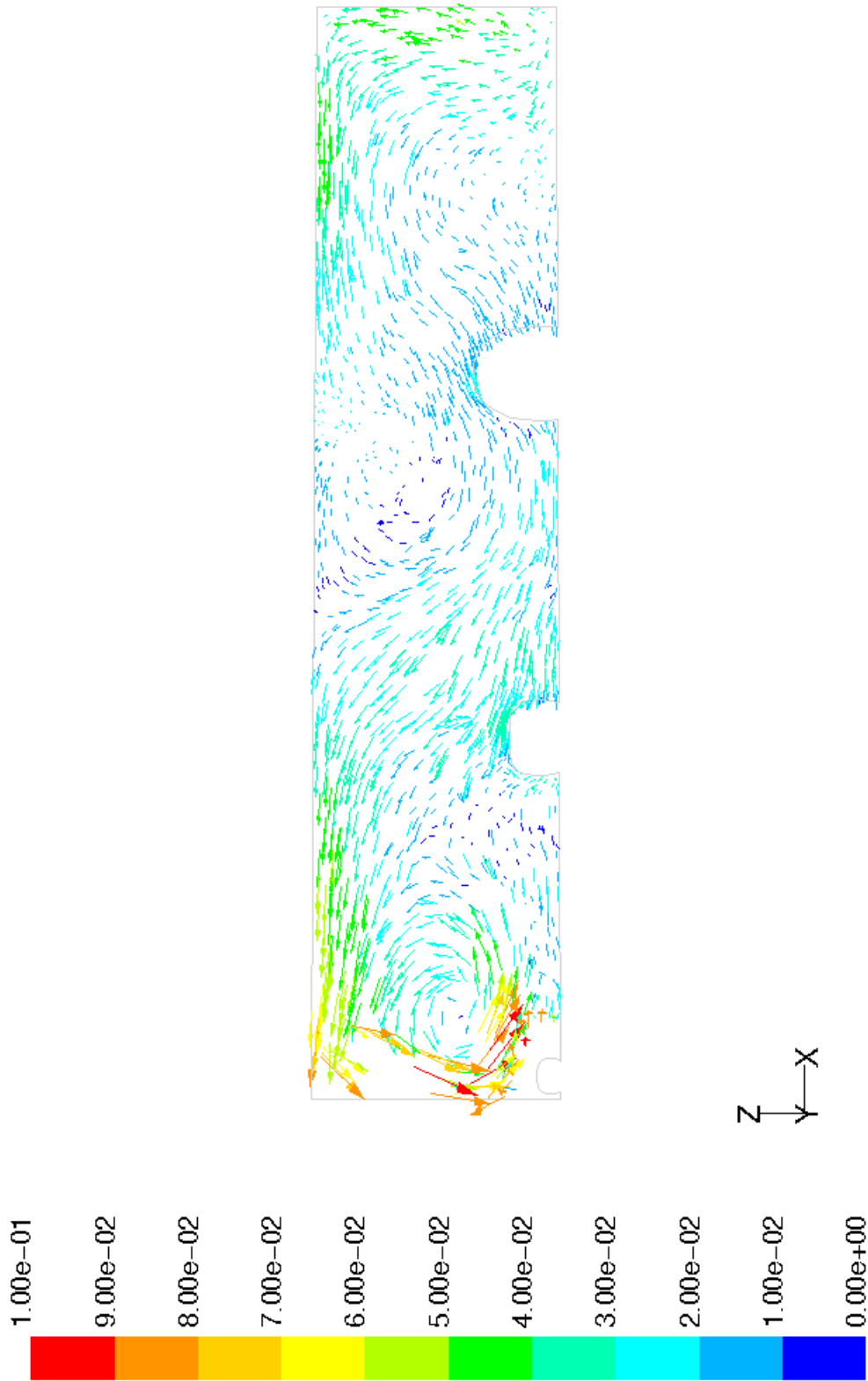


Figur K.24: Hastighetsvektorer på djupet 0,95 m. 0-0,1 m/s 50 %

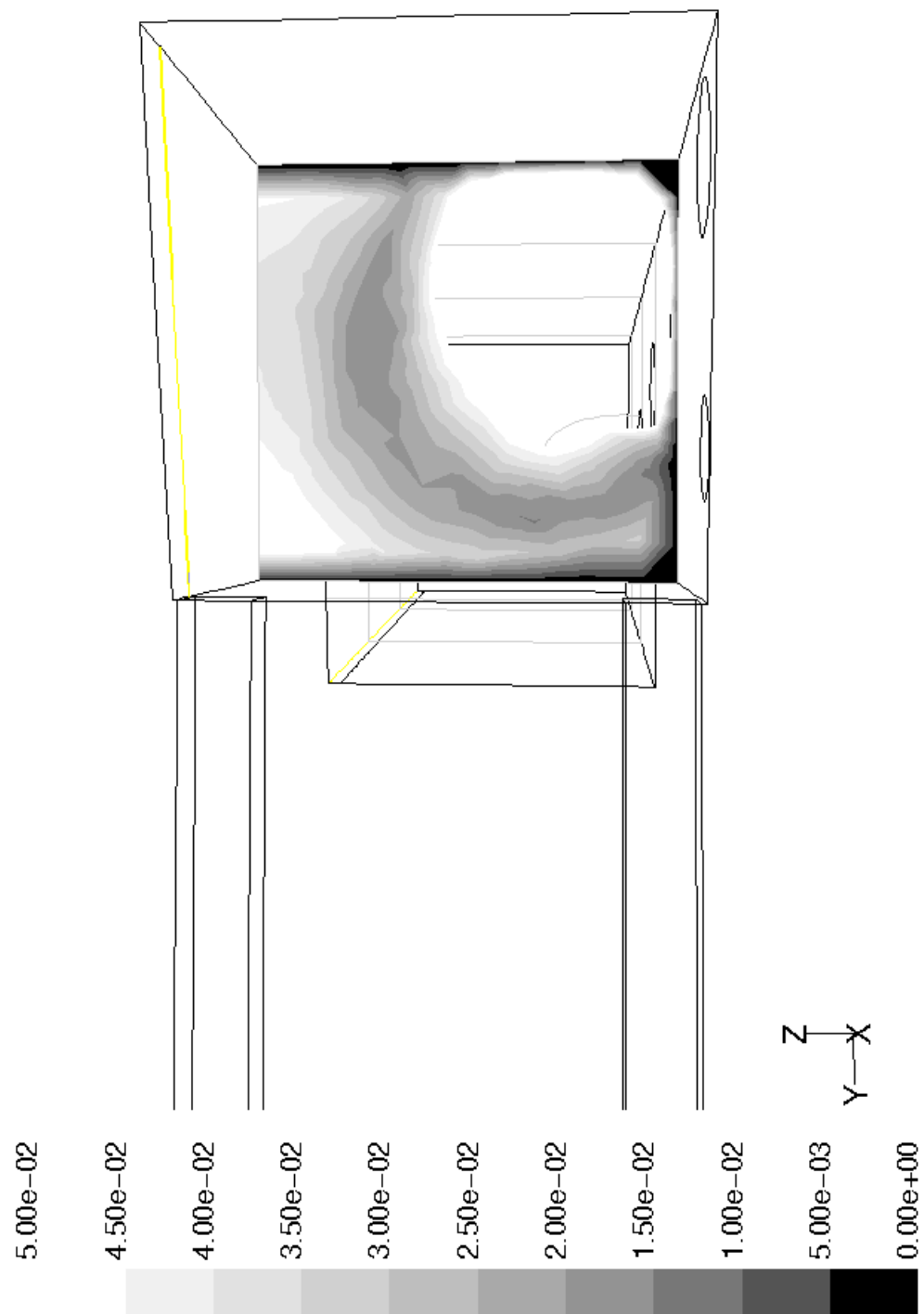
Bilaga K: 50 % av maximala flödet



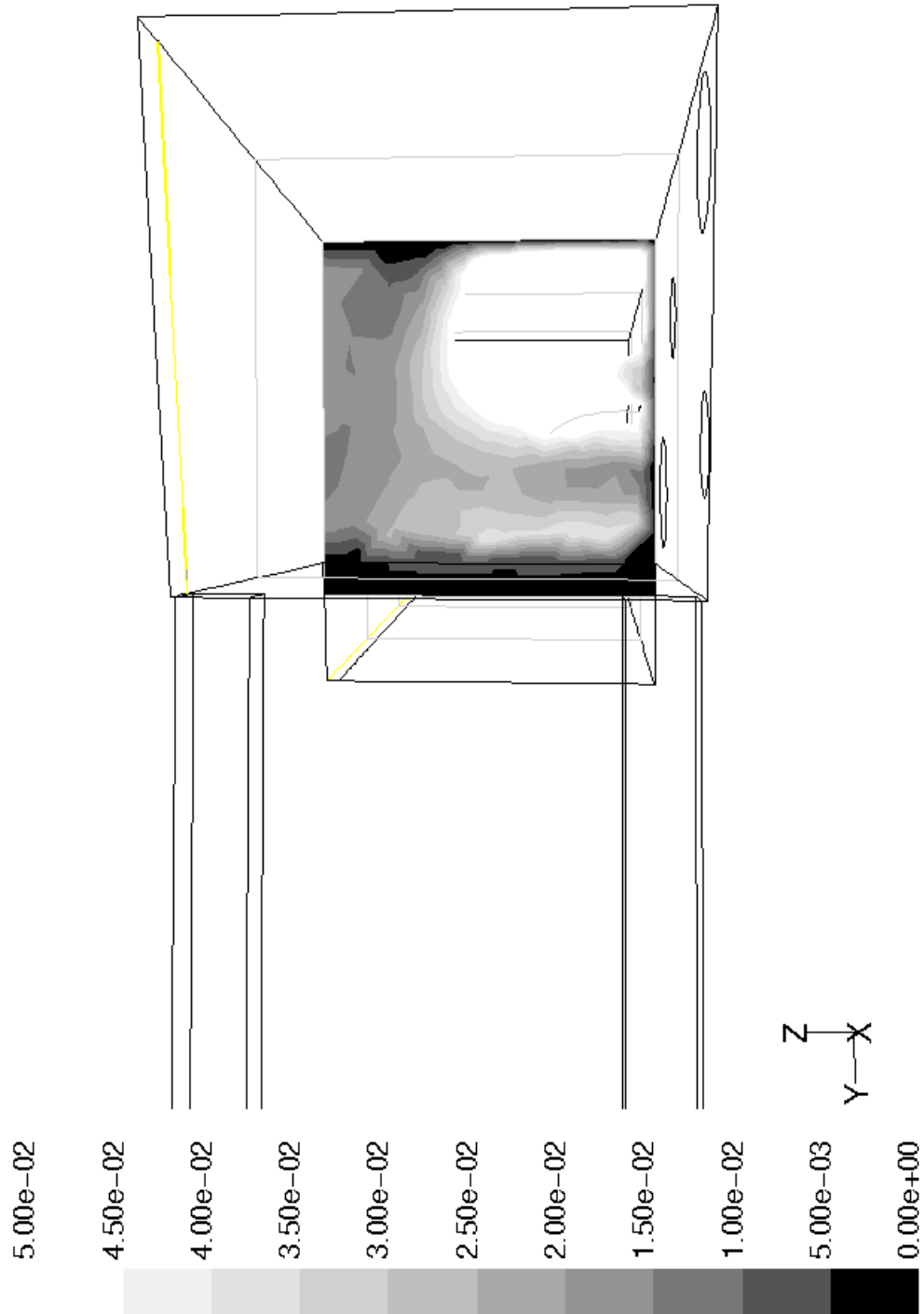
Figur K.25: Hastighetsvektorer 0,2 m ifrån akrylglaset. 0-0,5 m/s 50 %



Figur K.26: Hastighetsvektorer 0,8 m ifrån akrylglaset. 0-0,1 m/s 50 %

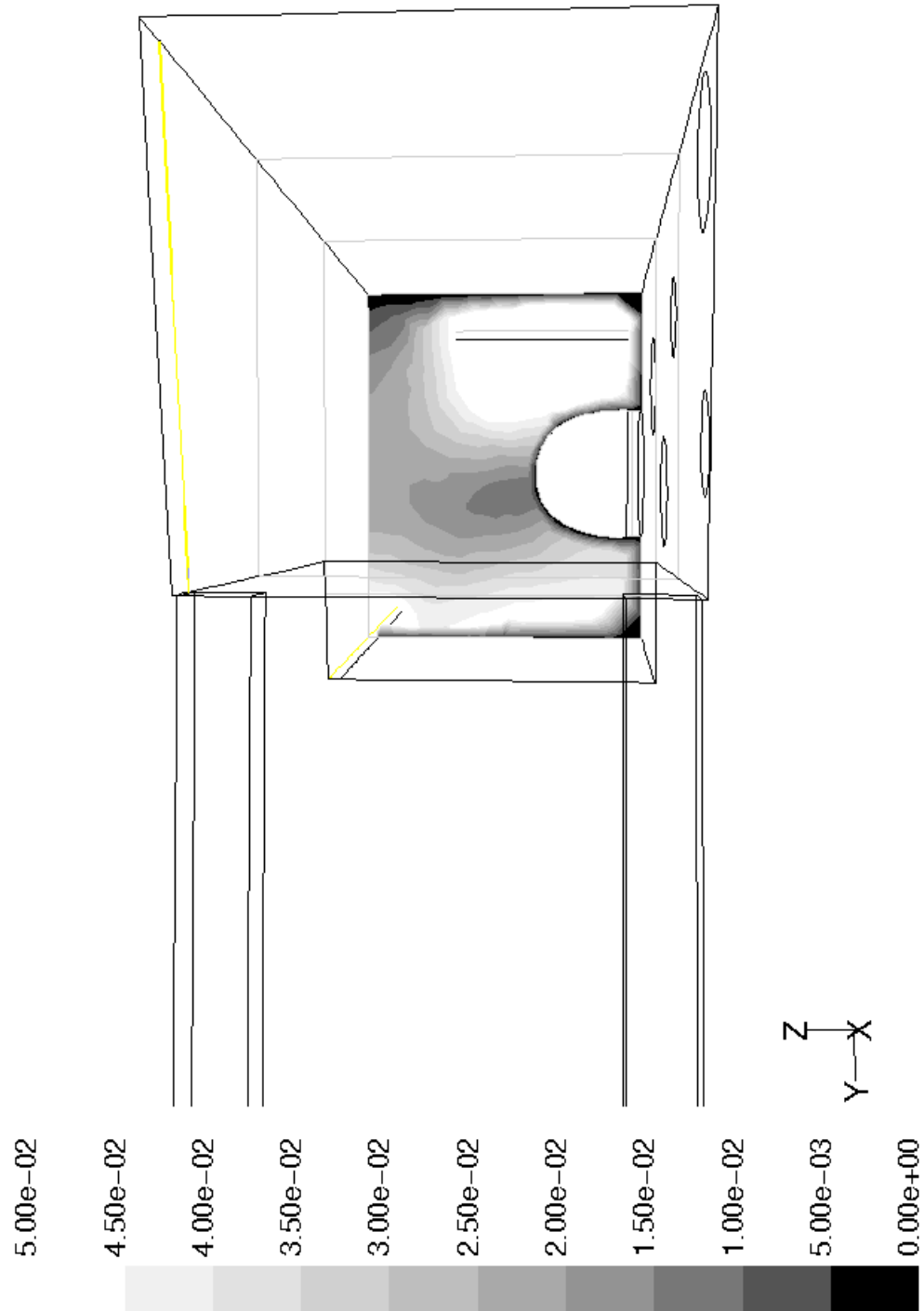


Figur K.27: Konturer av hastigheter på ytan $x=1,0$ m. $0-0,05$ m/s 50 %

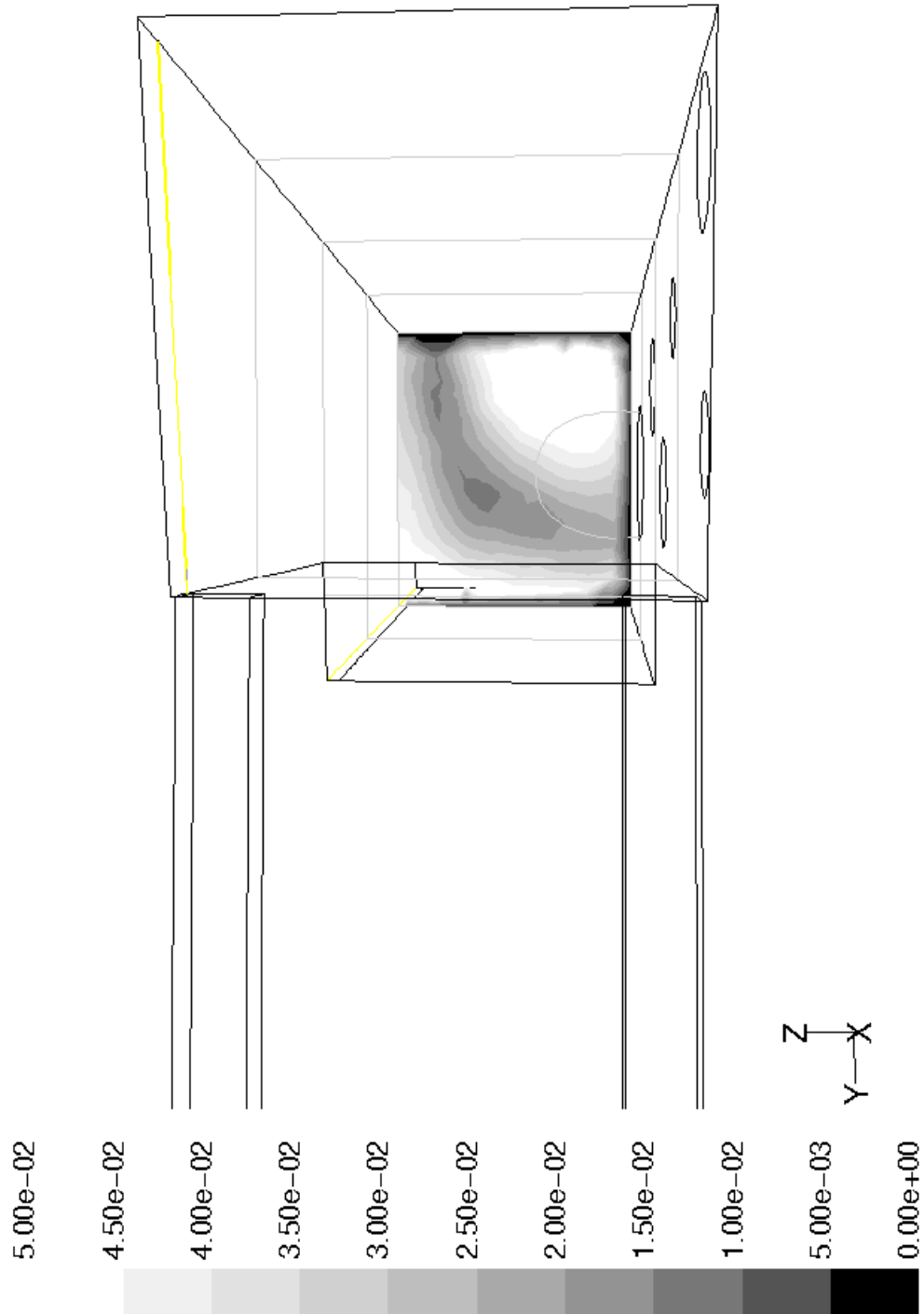


Figur K.28: Konturer av hastigheter på ytan $x=2,0$ m. $0-0,05$ m/s 50 %

Bilaga K: 50 % av maximala flödet

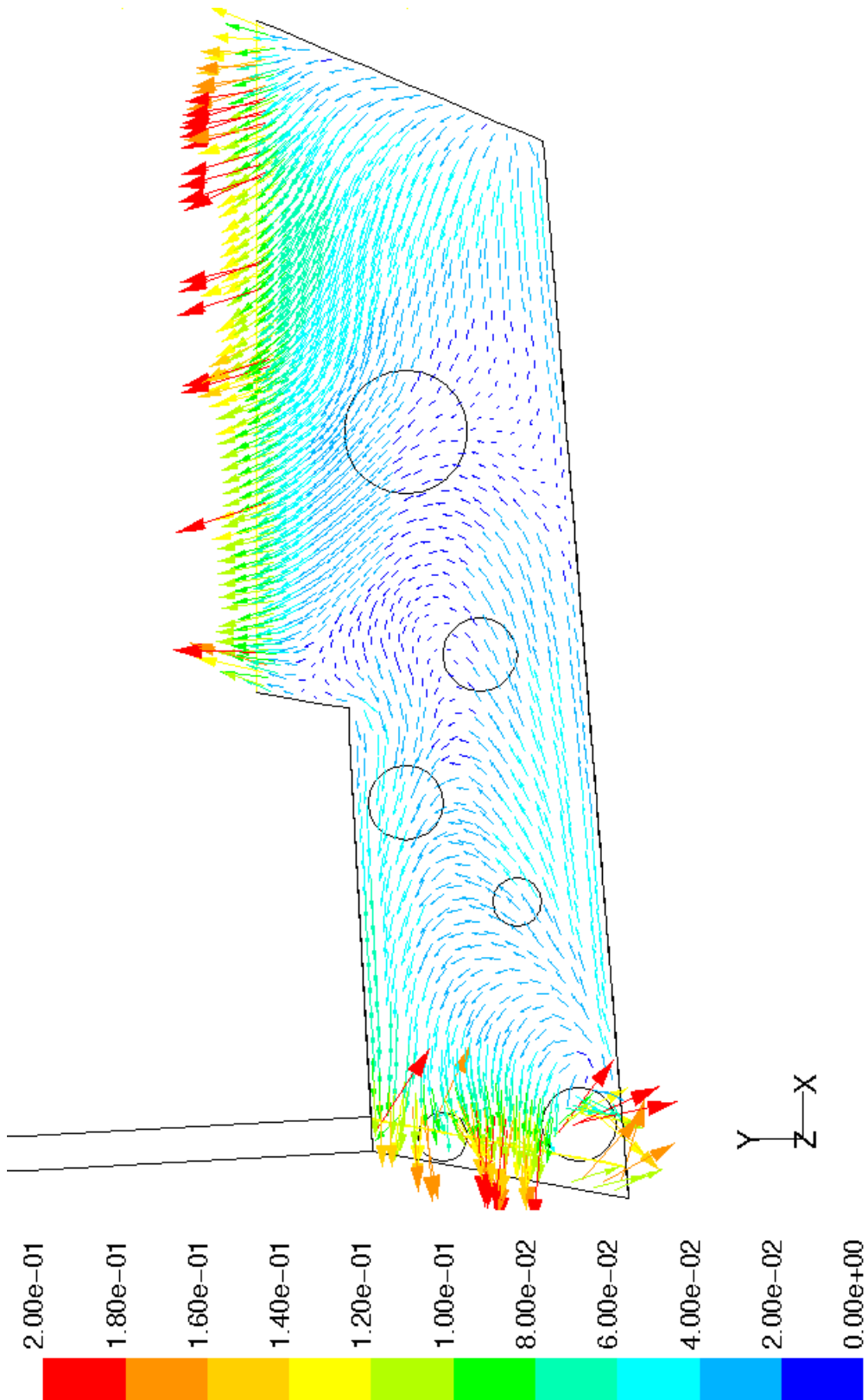


Figur K.29: Konturer av hastigheter på ytan $x=3,0$ m. $0-0,05$ m/s 50 %

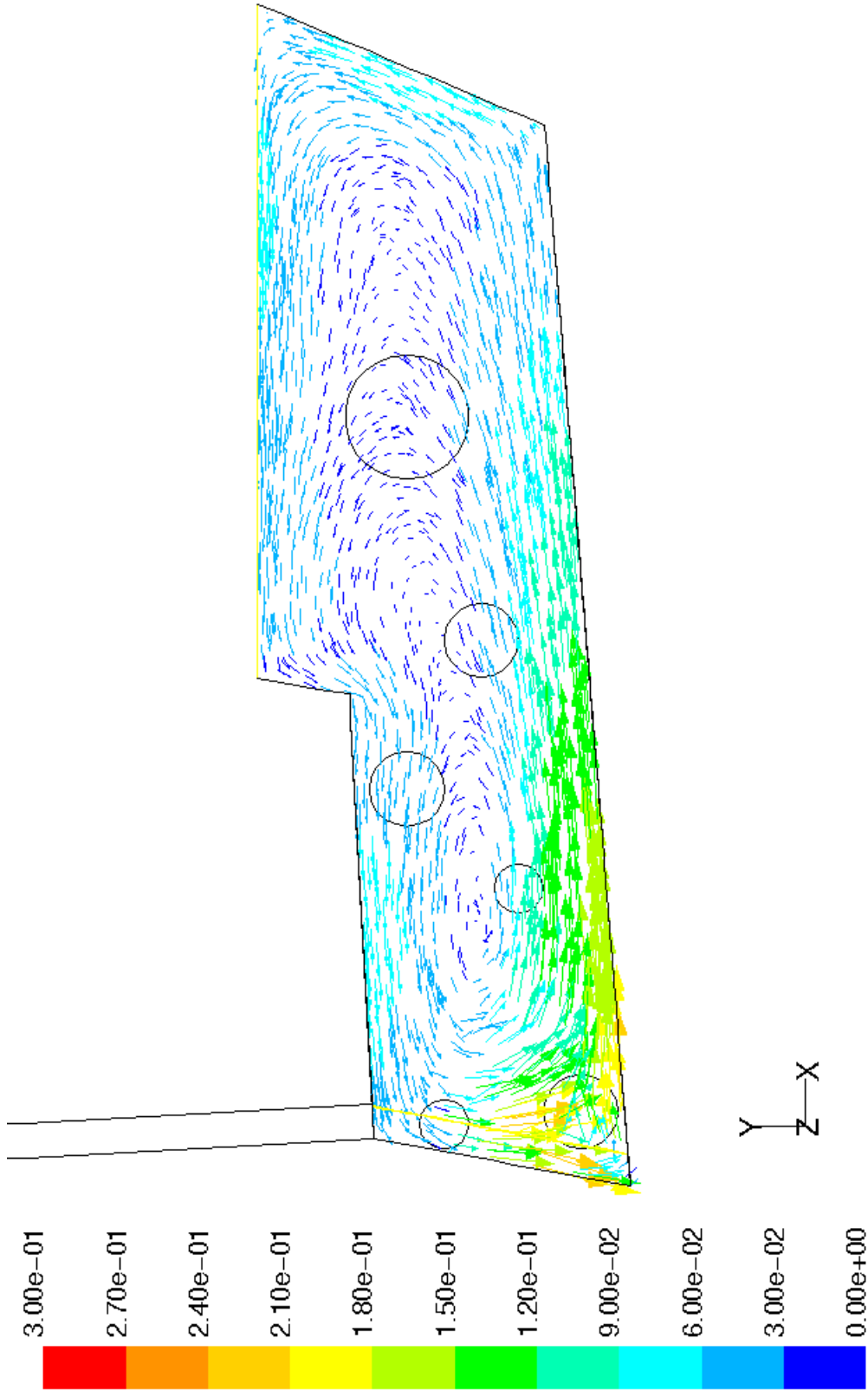


Figur K.30: Konturer av hastigheter på ytan $x=4,0$ m. $0-0,05$ m/s 50 %

Bilaga K: 75 % av maximala flödet

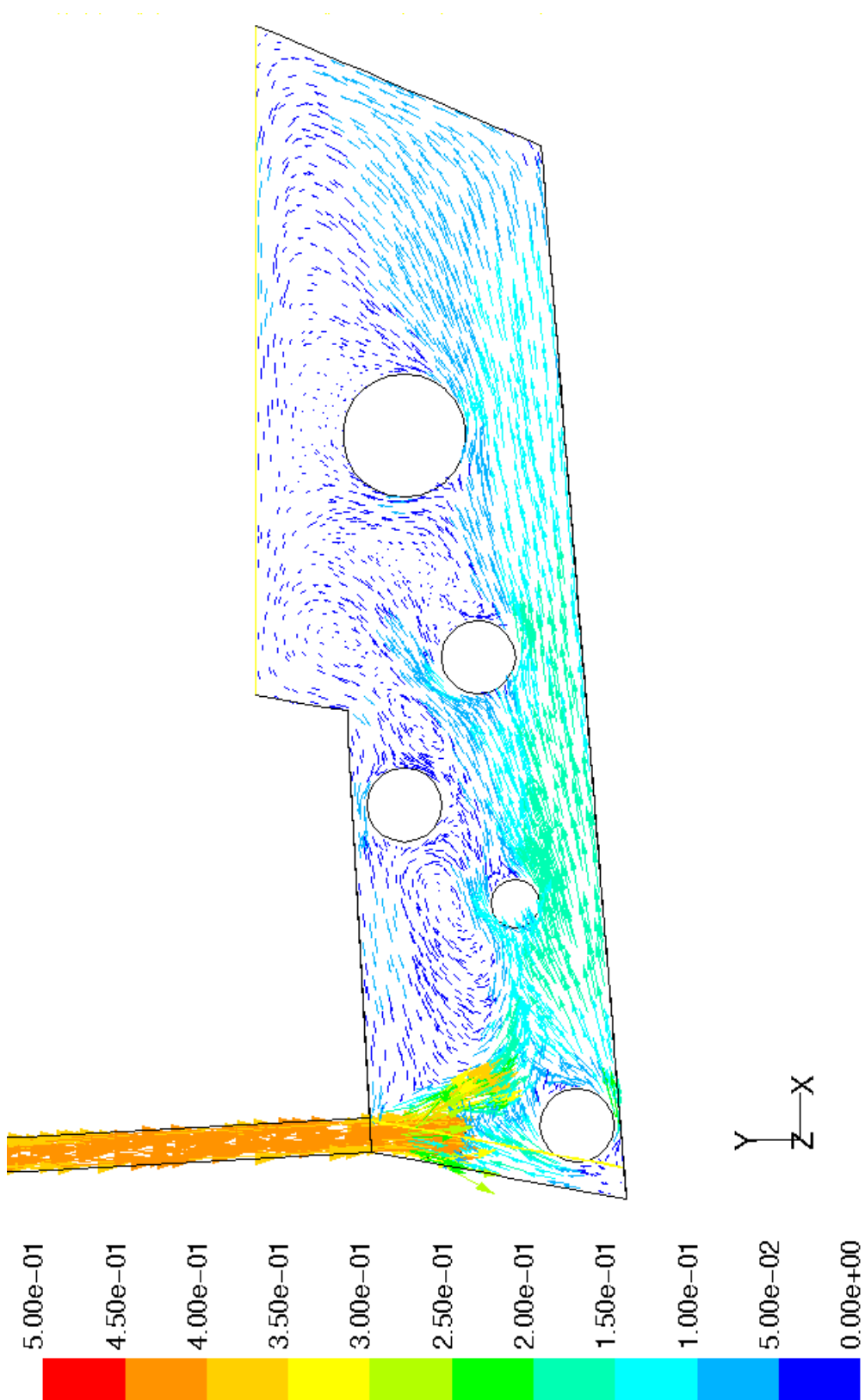


Figur K.11: Hastighetsvektorer i vattentytan. 0-0,2 m/s 75 %

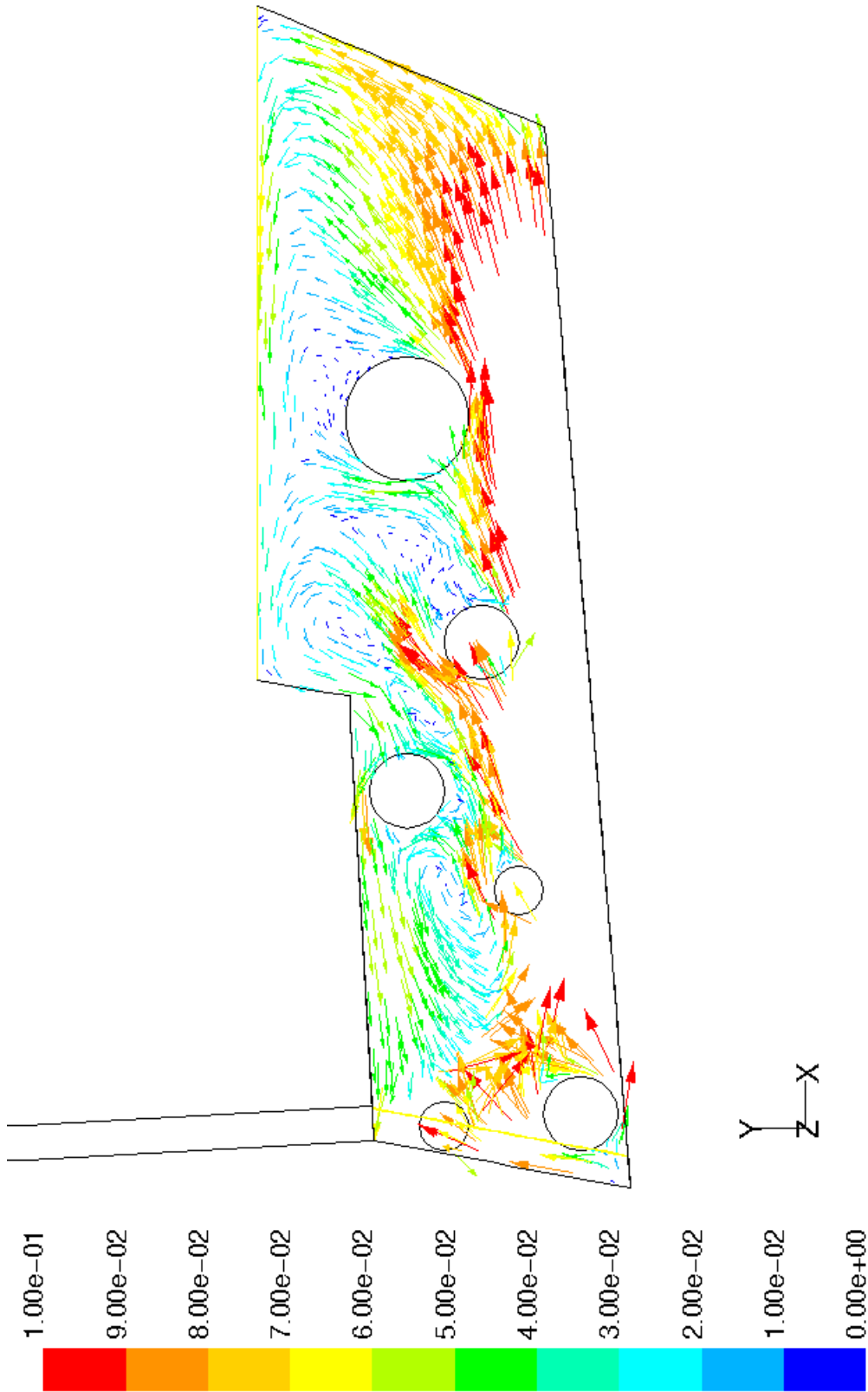


Figur K.12: Hastighetsvektorer på djupet 0,4 m. 0-0,3 m/s 75 %

Bilaga K: 75 % av maximala flödet

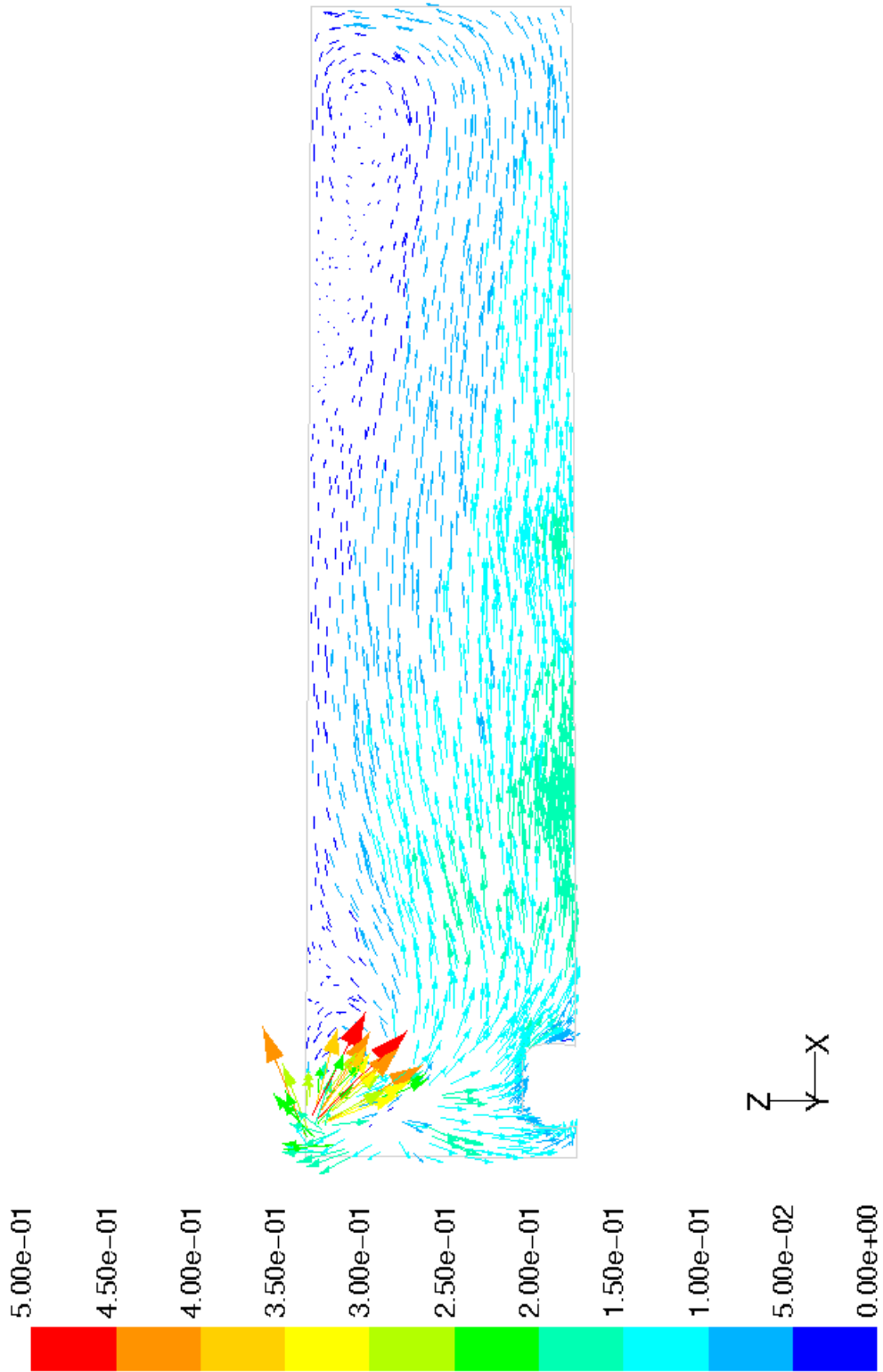


Figur K.13: Hastighetsvektorer på djupet 0,95 m. 0-0,5 m/s 75 %

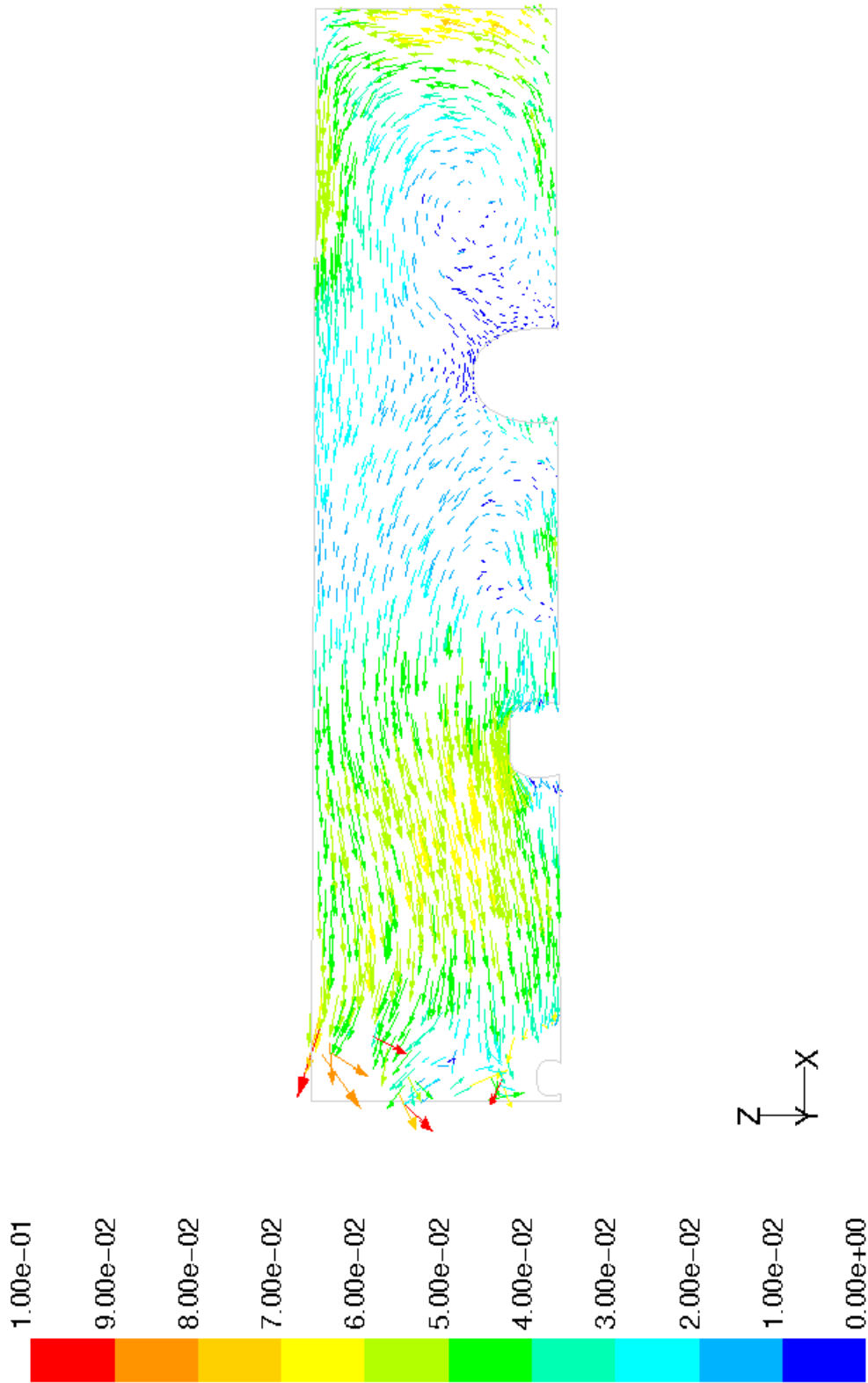


Figur K.14: Hastighetsvektorer på djupet 0,95 m. 0-0,1 m/s 75 %

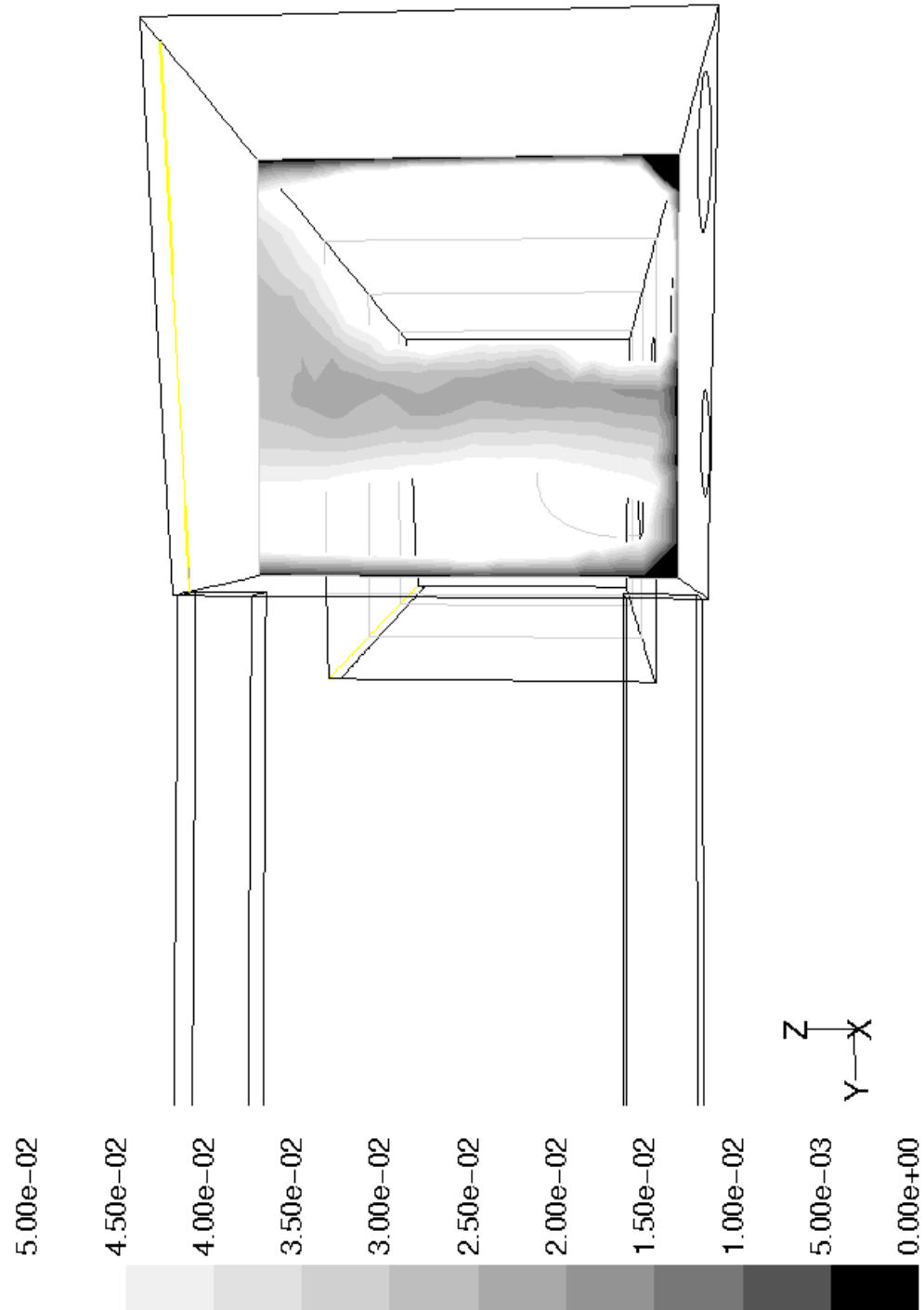
Bilaga K: 75 % av maximala flödet



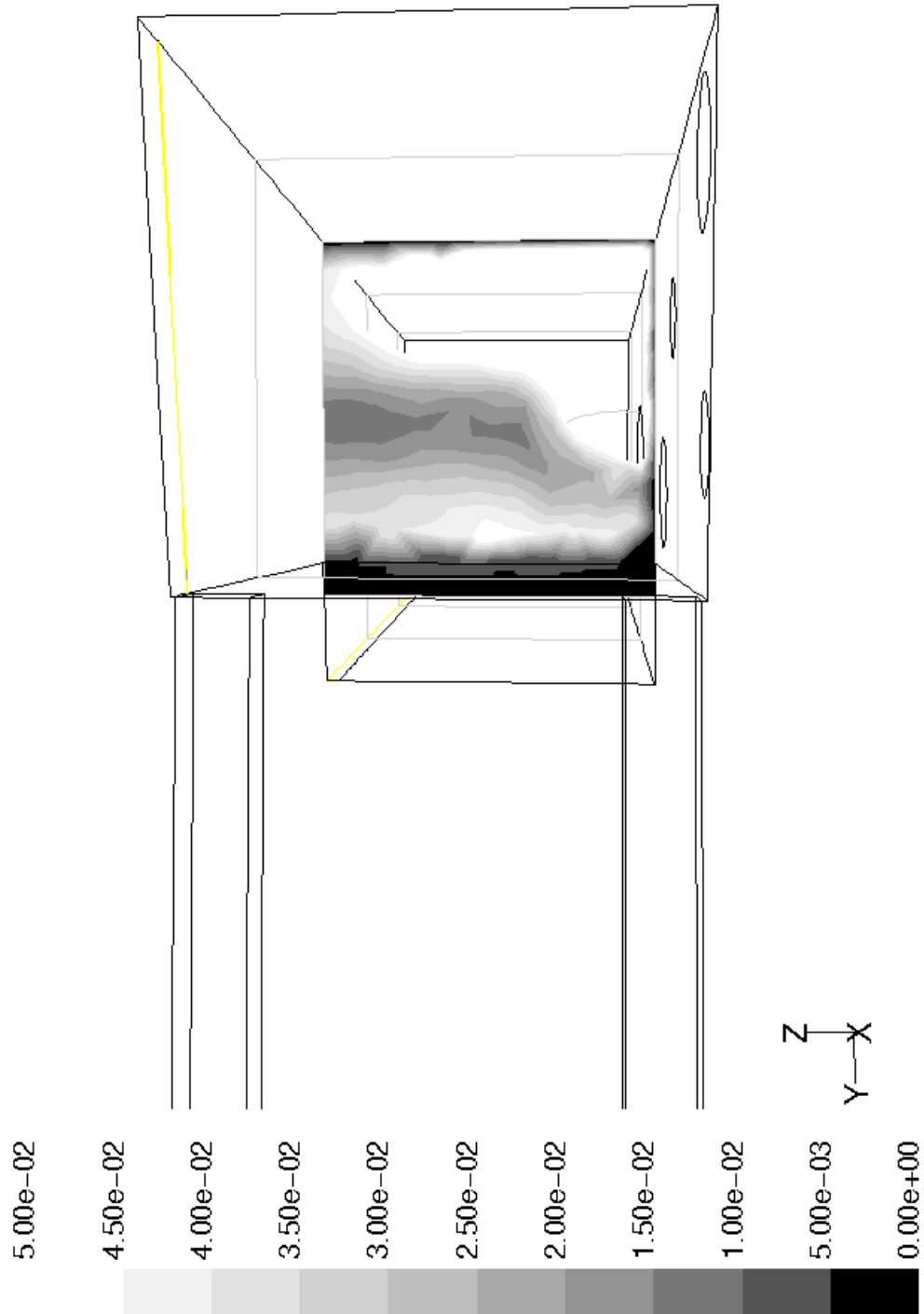
Figur K.15: Hastighetsvektorer 0,2 m ifrån akrylglaset. 0-0,5 m/s 75 %



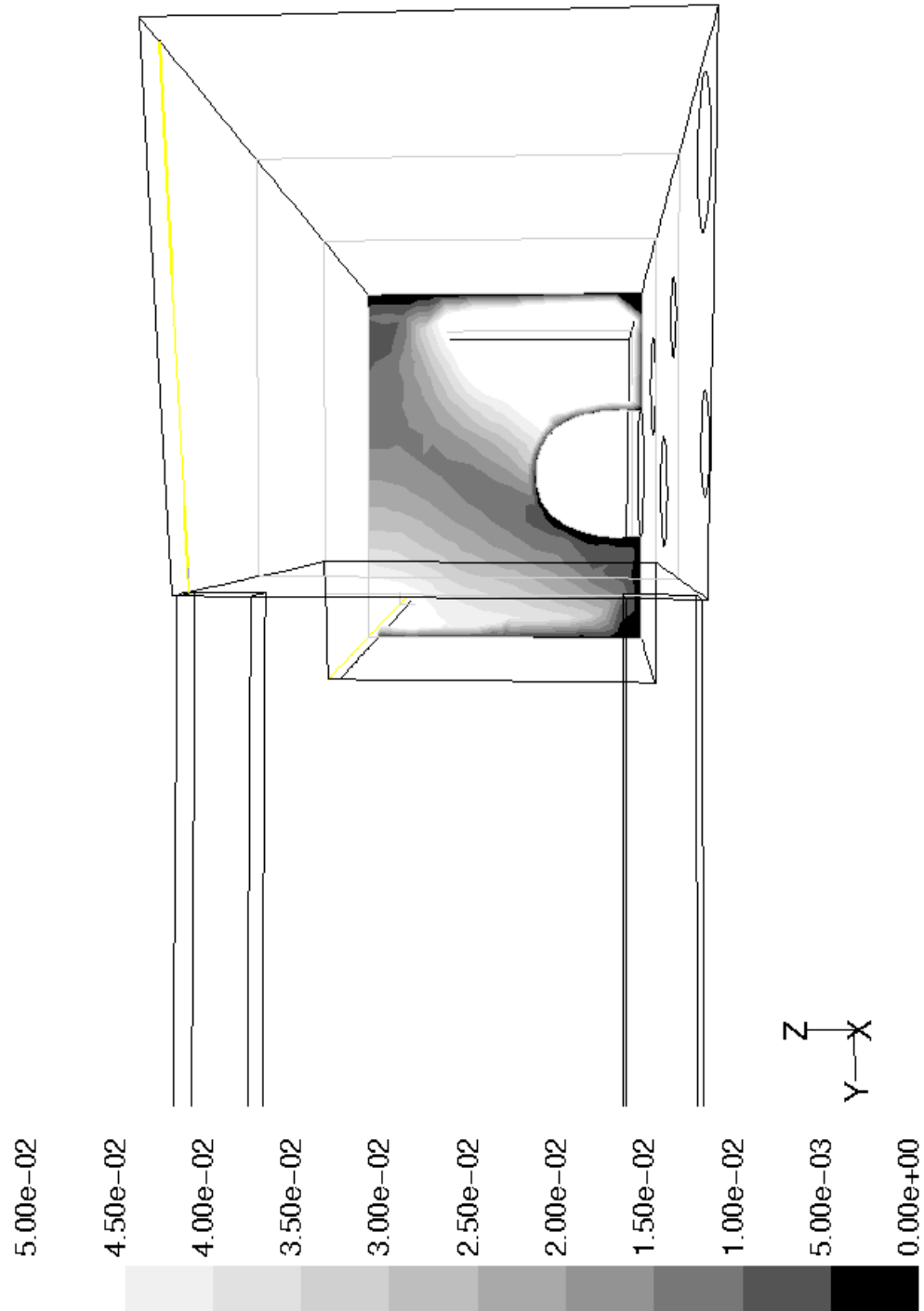
Figur K.16: Hastighetsvektorer 0,8 m ifrån akrylglaset. 0-0,1 m/s 75 %



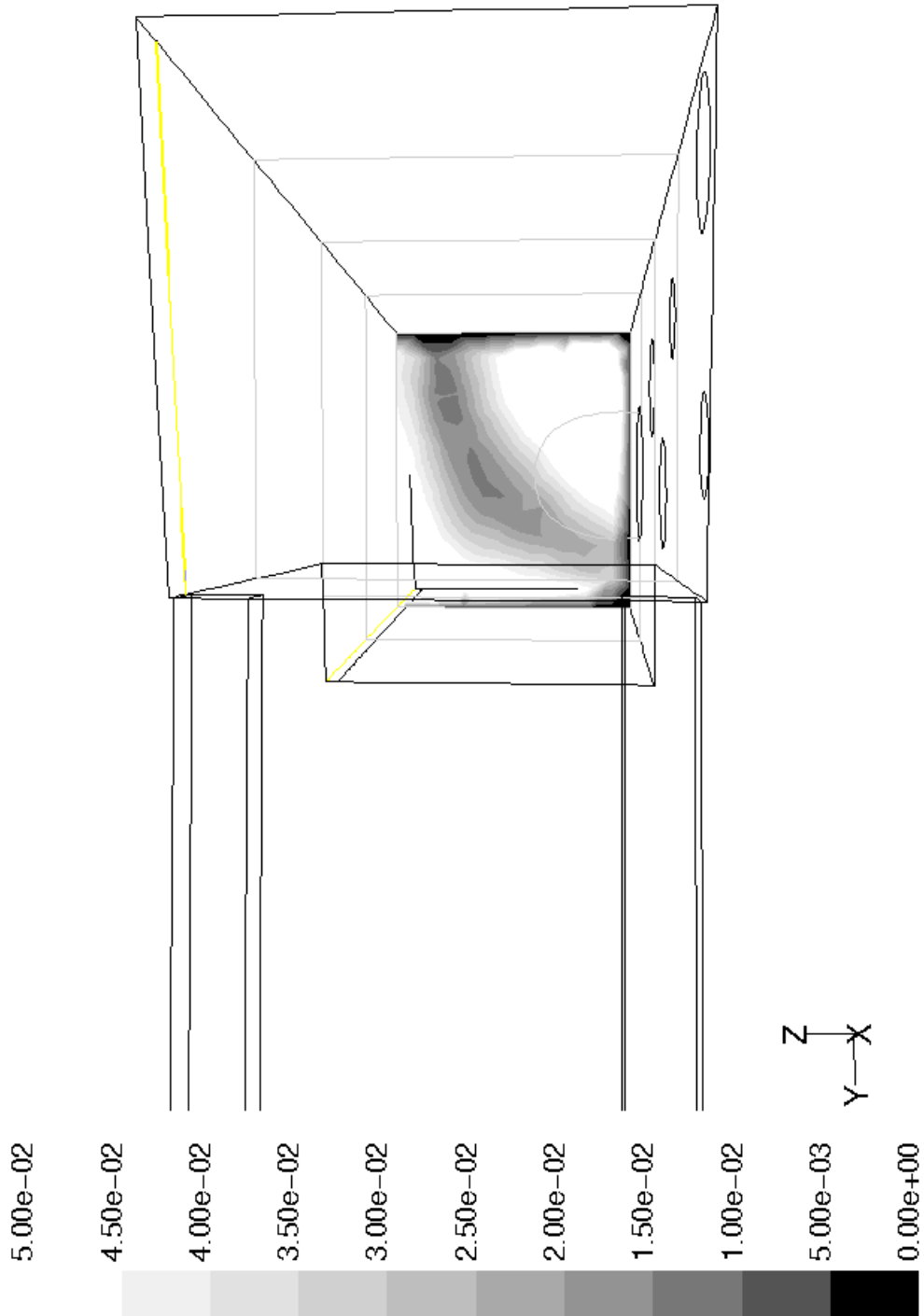
Figur K.17: Konturer av hastigheter på ytan $x=1,0$ m. $0-0,05$ m/s 75 %



Figur K.18: Konturer av hastigheter på ytan $x=2,0$ m. $0-0,05$ m/s 75 %



Figur K.19: Konturer av hastigheter på ytan $x=3,0$ m. 0-0,05 m/s 75 %



Figur K.20: Konturer av hastigheter på ytan $x=4,0$ m. $0-0,05$ m/s 75 %