Priebeh numerického modelovania pomocou softvérového systému ANSYS.

CFD program ANSYS Fluent je súčasťou programového balíka ANSYS Academic Research CFD dostupného na FBERG TUKE. Pracovné prostredie programového balíka sa nazýva ANSYS WORKBENCH (WB). V tomto programe je možné vytvárať strom simulácie a väzby medzi jednotlivými krokmi samotnej simulácie. Je možné tiež vytvárať väzby medzi jednotlivými variantami a modifikáciami. Program zaisťuje prehľadné simulácie, pričom užívateľ môže spúšťať jednotlivé programy v tomto prostredí, bez toho aby musel hľadať súbory prostredníctvom súborového manažéra. Užívateľské prostredie ANSYS Workbench je znázornené na nasledujúcom obrázku.



Filozofia spočíva vo vytvorení projektu, ktorý bude v sebe obsahovať všetky fázy (pre-processing, processing a post-processing). Takto vytvorený projekt bude ukladaný v tvare ("Workbench Project Files - *.wbpj"). Užívateľské prostredie ANSYS Workbench sa skladá z štyroch oblastí – Roletové menu, Nástroje programu ANSYS, Prostredie znázorňujúce štruktúru projektu.

Roletové menu obsahuje funkcie pre prácu so súbormi (vytvorenie projektu, načítanie projektu, ukladanie projektu, aktualizácia projektu ...). Zároveň je možné si definovať jednotky a prispôsobiť užívateľské prostredie ANSYS Workbench.

Prostredie znázorňujúce štruktúru projektu predstavuje pracovnú plochu, v ktorej si užívateľ vytvorí potrebnú štruktúru jednotlivých programov, ktoré bude v priebehu tvorby projektu využívať.

Informačný panel poskytuje užívateľovi informácie o realizovaných operáciách v prostredí Workbench. Informačný panel taktiež poskytuje užívateľovi chybové resp. informatívne hlásenia.

Nástroje programu ANSYS obsahujú produkty, ktoré sú v rámci softvéru ANSYS k dispozícii. Množstvo produktov závisí od toho pre ktoré má užívateľ licenciu. Prácu začíname po spustení ANSYS Workbench dvojklikom v Nástrojoch programu ANSYS Fluid Flow (Fluent). Otvorí sa nám nasledovná tabuľka.



Dvojklikom na Geometry sa otvorí program Design Modeler (DM). Tento program slúži k parametrickému kresleniu 3D. V programe je možné kresliť podobným spôsobom ako pri iných CAD programoch, napr. ProEngineer, Catia. Z týchto programov je možné načítať hotové 3D modely do DM. Geometrické dáta sú z externých preprocesorov vkladané do DM transportom. Súčasné normované rozhrania medzi CAD programami sú IGES, DXF, VDA-FS, STEP, STL. Transportované 3D objekty je možné zjednodušiť a odstrániť prebytočné entity. Výpočtová oblasť je upravená a modifikovaná vhodným spôsobom pre CFD simulácie.

Dvojklikom na Mesh sa spustí program Meshing. Slúži na priestorovú diskretizáciu a teda vytvorenie siete. Tvorba siete je relatívne jednoduchá. V programe sú implementované všetky základné typy elementov a je možné vytvárať štruktúrovanú aj neštruktúrovanú, zonálnu alebo hybridnú sieť. Program obsahuje aj funkcie na posúdenie kvality vytvorenej siete.

Ďalšie bunky Setup, Solution a Results slúžia na pracovanie s programom ANSYS Fluent. Samotné simulácie je možné vo Fluente realizovať aj osobitne a spúšťať ho z prostredia Windows.

Predkladaný učebný text si nekladie za cieľ nahrádzať "User Guide" k softvéru ANSYS, preto definícia jednotlivých príkazov a nástrojov bude ukázaná a aplikovaná v prípadových štúdiách.

Simulácia prúdenia v kanále s náhlym rozšírením 2D

V tejto kapitole si na jednoduchom príklade predvedieme základný postup pri tvorbe numerickej simulácie prúdenia. Celý postup si budeme ilustrovať na 2D úlohe. Cieľom bude vizualizácia prúdového poľa a sledovanie zavírenia v rozširujúcej sa časti obdĺžnikového kanálu. Ide o veľký rozmerný kanál, v ktorom prúdi tekutina. Tekutina vstupuje do oblasti ľavou užšou stranou a vystupuje pravou širšou.



Schematický náčrt výpočtovej oblasti.

Spustíme ANSYS Workbench. Dvojklikom na Fluid Flow (Fluent) sa v pracovnom prostredí WB zobrazí už uvedená tabuľka. Dvojklikom na Geometry sa spustí DM. Program sa môže pýtať na jednotky. Vyberieme milimetre. Ak nám túto možnosť nedáva, ideme do roletového menu *Unit* a zaškrtneme milimetre.



Grafické rozhranie Design Modeler

Kreslenie začneme tvorbou skice (sketch) ktorá bude reprezentovať tvar výpočtovej oblasti. Vyberieme si 1. XYPlane, 2. kolmý pohľad na rovinu, 3. Novú skicu (New sketch)



Prepneme sa na záložku Sketching, kde sa otvoria nástroje pre 2D kreslenie. V menu kreslenia vyberieme príkaz priamka Line.



V priebehu kreslenia sa nezadávajú rozmery, ale najprv sa vytvorí obrazec geometricky podobný tomu, ktorý chceme nakresliť, ten sa zakótuje a následne sa upravia rozmery kót podľa zadania. Automaticky je zapnutý režim automatického uchopenia a viazania entít. Význam veľkých písmen vedľa kurzoru je nasledovný.

P – uchopenie bodu (point)

- H vodorovná priamka (horizontal)
- V zvislá priamka (vertical)

C – totožnosť

Obrysové body začneme kresliť z bodu (0,0) v smere hodinových ručičiek. Naznačené poradie kreslenia je uvedené na nasledovnom obrázku.



Označenie priamok a poradie kreslenia priamok

Postup kreslenia:

1. Kurzor umiestnime do blízkosti stredu súradnicového systému tak, aby sa objavilo písmeno *P*. Kliknutím na ľavé tlačidlo myši potvrdíme voľbu. Kurzor posunieme nahor (cca 3 cm na obrazovke) tak, aby sa pri priamke objavilo písmeno *V*. Kliknutím na ľavé tlačidlo myši potvrdíme voľbu.



2. Kurzor umiestnime do blízkosti koncového bodu priamky č.1 tak, aby sa objavilo písmeno *P*. Kliknutím na ľavé tlačidlo myši potvrdíme voľbu. Kurzor posunieme doľava (cca 5 cm na obrazovke) tak, aby sa pri priamke objavilo písmeno *H*. Kliknutím na ľavé tlačidlo myši potvrdíme voľbu.



3. Opakujeme postup ako v prípade priamky č.1. Kurzor umiestnime do blízkosti koncového bodu priamky č.2 tak, aby sa objavilo písmeno *P*. Kliknutím na ľavé tlačidlo myši potvrdíme voľbu. Kurzor posunieme nahor (cca 2 cm na obrazovke) tak, aby sa pri priamke objavilo písmeno *V*. Kliknutím na ľavé tlačidlo myši potvrdíme voľbu.

4. Kurzor umiestnime do blízkosti koncového bodu priamky č.3 tak, aby sa objavilo písmeno *P*. Kliknutím na ľavé tlačidlo myši potvrdíme voľbu. Kurzor posunieme doprava (cca 15 cm na obrazovke) tak, aby sa pri priamke objavilo písmeno *H*. Kliknutím na ľavé tlačidlo myši potvrdíme voľbu.

5. Kurzor umiestnime do blízkosti koncového bodu priamky č.4 tak, aby sa objavilo písmeno *P*. Kliknutím na ľavé tlačidlo myši potvrdíme voľbu. Kurzor posunieme dole k osi x tak, aby sa pri priamke objavilo písmeno *V* a pri koncovom bode na osi x písmeno *C*. Kliknutím na ľavé tlačidlo myši potvrdíme voľbu.

6. Kurzor umiestnime do blízkosti koncového bodu priamky č.5 tak, aby sa objavilo písmeno *P*. Kliknutím na ľavé tlačidlo myši potvrdíme voľbu. Kurzor posunieme doprava k počiatku súradnicového systému tak, aby sa pri priamke objavilo písmeno *V* a pri koncovom bode písmeno *C*. Kliknutím na ľavé tlačidlo myši potvrdíme voľbu.



Výsledný obrys výpočtovej oblasti by mal vyzerať tak ako je na obrázku.

Prepneme sa zo záložky *Draw* do záložky *Dimensions*. Pristúpime ku kótovaniu škice. Kótovanie slúži k zadefinovaniu rozmerov nakresleného obrazca. Kótovanie začneme horizontálnymi kótami. V *Dimensions* menu vyberieme kóty *Horizontal*.

	Sketching Toolboxes	
	Draw	7
	Modify	
	Dimensions	A
	Horizontal	
	I Vertical	
	Length/Distance	
	Radius	
	Diameter	
	Angle	
	Move	
	Constraints	-
	Constitutions	-
	settings	
	Sketching Modeling	
Panel kótovania		

Postup kótovania je podobný s postupom kreslenia:

1. Kurzor umiestnime do blízkosti priamky č.1 tak, aby priamka zmenila farbu z modrozelenej na oranžovú. Ľavým tlačidlom potvrdíme voľbu. Priamka zmení farbu na žltú, čo znamená že je vybraná (aktívna). Kurzor posunieme k priamke č.3 tak, aby priamka opäť zmenila farbu na oranžovú. Voľbu

potvrdíme ľavým tlačidlom. Teraz by sa mala naznačiť horizontálna kóta, pohybom kurzoru (nahor alebo nadol) je možné umiestniť kótu do ľubovoľnej pozície. Umiestnenie kóty potvrdíme ľavým tlačidlom. Po umiestnení by sa mala zobraziť kóta označená H1.



2. Rovnakým spôsobom zakótujeme rozmer medzi priamkami č. 3 a č.5.

3. Po vytvorení horizontálnej kóty H2 zmeníme typ kóty z horizontálnej na vertikálnu. Zakótujeme celkovú výšku medzi priamkami č.4 a č.6, kótu V3.

4. Následne zakótujeme výšku zúženej časti, tj. výšku medzi priamkami č.2 a č.4, kótu V4. Po umiestnení kót mení obrys farbu z modrozelenej na sýtomodrú, čím program signalizuje kompletné zakótovanie obrysu, tj. obrys je jednoznačne definovaný. Zakótovaná škica by mala vyzerať nasledovne.



V prípade, že by sme omylom zakótovali 2x tú istú kótu, alebo zakótovali napr. horizontálnu kótu medzi priamkami č.1 a č.5. tak škica bude predimenzovaná a obrys škice zmení farbu na červenú. Duplicitnú (chybnú) kótu je potrebné odstrániť.



V ľavej dolnej časti obrazovky je zobrazená tabuľka s vlastnosťami danej entity (*Details View*), v našom prípade sú to informácie o škici č.1. V tejto tabuľke zmeníme rozmery podľa zadania.

E	Details of Sketch1	
	Sketch	Sketch1
	Sketch Visibility	Show Sketch
	Show Constraints?	No
E	Dimensions: 4	
	🗌 H1	1000 mm
	H2	5000 mm
	V3	500 mm
	□ V4	300 mm
Detail položky Sketch1		

Kótu číselne prepíšeme tak, že ľavým tlačidlom klikneme na číslo a následne ho prepíšeme. Kliknutím na inú položku tabuľky, alebo stlačením klávesy *Enter* sa zmena aplikuje. Takto zmeníme hodnoty všetkých kót. Keďže sa zmena aplikuje priebežne, tak sa nám naša škica deformuje a po zadaní posledného rozmeru by mala vyzerať nasledovne.



Pomocou nástroja Move v paneli kótovania Dimensions je možno posúvať kóty.

Vytvorenie priestoru prúdenia

Po nakreslení škice a zakótovaní rozmerov pristúpime k vytvoreniu priestoru prúdenia 2D. Zatiaľ máme len škicu ktorá nám tento priestor prúdenia bude ohraničovať. Samotný priestor prúdenia je definovaný plochou. Prepneme sa zo záložky *Sketching* na záložku *Modeling*. Z Menu vyberieme *Concept, Surfaces From Sketches*.

	File Create Concept Tools Units V	ew Help
	🖉 🔚 📑 🛰 Lines From Points	elect
	Lines From Sketches	Р
	Tree Outline	1
	A: FI	
	Surfaces From Sketche	
	Surfaces From Faces	
	v 0 Parts, 0 Bodies	
\\/wher		

V okne Details View ľavým tlačidlom klikneme na žltým podsvietené Not selected pri Base Objects.

D	etails View	4		Details V	ïew			ą
Ξ	Details of SurfaceSk1		E	- Detail	s of SurfaceSk1			
	Surface From Sketches	SurfaceSk1		Surfac	ce From Sketches	SurfaceSk1		
	Base Objects	Not selected		Base	Objects	Apply	Cancel	
	Operation	Add Material		Opera	ation	Add Material		
	Orient With Plane Normal?	Yes		Orien	t With Plane Normal?	Yes		
	Thickness (>=0)	0 mm		Thickr	ness (>=0)	0 mm		
	Thickness (>=0)	0 mm		Thickr	ness (>=0)	0 mm		

Objavia sa tlačidlá *Apply* a *Cancel*. V ľavom hornom okne so stromom geometrických entít vyberieme Sketch1. Výberom škica zmení farbu na žltú. V tabuľke *Details View* stlačíme tlačidlo *Apply*. Farba škice sa zmení na tyrkysovú. V stromovom okne sa objaví položka SurfaceSk1 s bleskom.

Tree Or	utline		д	
Tree UI ⊟-∳1 E	utine	t) es	4	
Sketch	hing Modeling			
Details	View		ą	
Deta	ails of SurfaceSk1			
Surf	face From Sketches	SurfaceSk1		
Base	e Objects	1 Sketch		
Ope	eration	Add Material		
Orie	ent With Plane Normal?	Yes		
	Thickness (>=0) 0 mm			

To že ešte príkaz nebol zrealizovaný symbolizuje práve žltý blesk. Realizáciu príkazu vykonáme stlačením tlačidla *Generate* so symbolom blesku. Vytvorená plocha v škici má šedú farbu.



Týmto krokom je ukončená tvorba geometrie. Vytvorenú geometriu uložíme *Save* a ukončíme Design Modeler. V prostredím Workbench je možné si všimnúť, že po vytvorení geometrie, ktorá neobsahuje žiadnu chybu, sa objaví zelené odškrtnutie.



Vytvorenie siete

Vytvorenie siete je ďalším z krokov pri simulácií prúdenia. Kvalita siete je jedným z podstatných parametrov, ktoré ovplyvňuje výsledky výpočtov. Tvorbu siete zahájime dvojklikom na položku *Mesh*. Týmto príkazom sa automaticky načíta vytvorená geometria a spustí sa program *Meshing*. Grafické rozhranie je podobné programu Design Modeler a princíp ovládania rovnaký. Vľavo hore je stromová štruktúra. Vľavo dole tabuľka s nastaveniami.

Vytvoríme si jednoduchú neštruktúrovanú sieť. V okne *Outline* klikneme na Mesh, vyvoláme kontextovú ponuku, vyberieme *Insert>Sizing*. Klikneme na teleso kanála, zmení sa jeho farba na zelenú. (Pozn. V prípade že teleso nie je možné vybrať, je potrebné najprv kliknúť na ikonu *Face* (CTRL+F) a potom na teleso kanála). Klikneme na žltým podsvietené *No Selection*, pri okne *Geometry v Details of "Body Sizing" – Sizing*, stlačíme *Apply*. Teleso kanála zmení farbu na modrú. Nastavíme hustotu siete v *Element Size*, napr. na 0,01 m. Klikneme na G*enerate*. Teraz ak klikneme v okne *Outline* na *Mesh* zobrazí sa vytvorená výpočtová sieť.



Pre lepšiu orientáciu a definovanie okrajových podmienok pomenujeme (označíme) jednotlivé plochy geometrie. Vzhľadom k tomu, že máme obrázok 2D budeme označovať hrany.

TOP WALL	
INLET MIDDLE_WALL STEP	OUTLET
X BOTTOM WALL	
Označenie plôch	

Postup je nasledovný. Vo výberovom menu zvolíme položku *Edge*. Priblížime sa kurzorom k ľavej vertikálnej priamke č.3, ktorá bude reprezentovať miesto vstupu tekutiny. Hrana zmení farbu na červenú. Voľbu potvrdíme ľavým tlačidlom, zmení sa farba hrany na zelenú a pravým tlačidlom vyvoláme kontextovú ponuku a zvolíme položku *Create Named Selection*. Následne sa objaví okno, ktoré slúži k voľbe pomenovania. Vybranú plochu (hranu) pomenujeme *Inlet* a voľbu potvrdíme *OK*. V stromovej štruktúre vľavo sa objaví položka *Named Selections*, ktorá predstavuje pomenované plochy (hrany). Vyberiem zadnú hranu a rovnakým postupom ju označíme ako *outlet*. Obdobným spôsobom pomenujeme (ostatné) plochy (hrany). Pomenovanie (označenie) plôch (hrán) je možné vytvoriť aj pre zoskupenie plôch (hrán), ktoré budú mať rovnaké fyzikálne parametre. Plochu, alebo hranu ktorá nebude označená bude CFD program považovať za stenu. Pomenovanie plôch (hrán) môže byť ľubovoľné bez diakritiky.

	Incert	•	
	C- T-		
	60 10		
	P Hide Body (F9)		
	Suppress Body		
	 Isometric View Set Restore Default Zoom To Fit (F7) 		
	Cursor Mode	•	
	View		
	👰 Look At		
	🉏 Create Coordinate System		
	Create Named Selection		
	😚 Select All (Ctrl+ A)		
	Update Geometry from Source		
Označenie plochy (hrany)			

Sieť máme vytvorenú a sme pripravený na nastavenie a spustenie simulácií. V tejto chvíli máme na výber či sa vrátime do ANSYS Workbench a dvojklikom na *Setup* (predtým je potrebné kliknúť na *Update Project*), alebo vyexportovať súbor *.msh a načítať ho do programu ANSYS Fluent. Na základe skúseností odporúčam druhu možnosť a to v programe *Meshing*, vyberieme z roletového menu *File>Export*. Súbor si ľubovoľne pomenujeme ale uložíme ho ako typ: FLUENT Input Files (*.msh).

Nastavenie a spustenie simulácie

Otvoríme si program ANSYS Fluent. V otváracom okne označíme *Dimension – 2D* a pri *Options – Double Precision.*

2	Fluent Launcher	-		×
Z	ANSYS	Fluent	Launc	her
	Dimension	Options Double Precision Processing Options Senial Parallel		
-	<u>D</u> K <u>D</u> efault	<u>C</u> ancel <u>H</u> elp	•	

Z roletového menu vyberáme príkaz *File>Read>Mesh* a načítame vytvorený súbor.

	Fluent	@DESKTC	P-QJ25	NAV [2d	, dp, pbns	, lam]								
File	Mesh	Define	Solve	Adapt	Surface	Display	Report	Parallel	View	Help				
	Read			>	Mesh									
	Write			>	Case.									
	Import Export		>	Data. Case	8. Data									
	Solution Files Interpolate FSI Mapping Save Picture Data File Quantities Batch Options	>	ISAT DTRM View	Table 1 Rays Factors										
			Profil	e										
		Data File Quantities Batch Options				Data File Quantities Batch Options				Scher	ne al			
	Exit					tut								

Nastavíme teraz simuláciu. Klikneme na *General* pod *Solution Setup*. Tu ponecháme všetky nastavenia ako sú. Solver (riešič) bude *Pressure Based*. Budeme riešiť stacionárnu úlohu s absolútnou formuláciou rýchlosti. 2D priestor je *Planar* (rovinný).

airfoiltut Fluent@DESK	TOP-QJ25NAV [2d, dp, pbns, sstkw]
File Mesh Define So	lve Adapt Surface Display Report Parallel View
💼 📄 😴 🕶 🖬 🕶 🚳	❷ ⑤ 🚱 Q Q ≯ ⑧ 冼 開 - □ -
Meshing	General
Mesh Generation	Mesh
Solution Setup	Scale Check Report Quality
General Models	Display
Materials Phases	Solver
Cell Zone Conditions Boundary Conditions Mesh Interfaces Dynamic Mesh Reference Values Solution Solution Methods Solution Controls Monitors Solution Initialization	Type Velocity Formulation © Pressure-Based © Absolute Density-Based © Relative Time 2D Space © Steady © Planar O Transient O Axisymmetric Axisymmetric Swirl
Calculation Activities Run Calculation	Gravity Units
Graphics and Animations Plots Reports	Help

Nastavíme sa na *Models* a dvojklikom na *Viscous* sa nám zobrazia modely prúdenia. Vyberieme si model *k-omega* a v poli *k-omega Model* vyberieme *Standard*. Odklikneme *OK*.

; ••••• ; <u>•••</u> • •••• ••••	◎ 5 🔮 Q @ / @ % 開 + 🗆 +	O Inviscid	Alpha*_inf
Meshing Mesh Generation Solution Setup General Materials Phases Cel Zone Conditions Boundary Conditions Boundary Conditions Boundary Conditions Boundary Conditions Boundary Conditions Boundary Conditions Boundary Conditions Boundary Conditions Boundary Conditions Solution Controls Monitors Solution Controls Monitor Solution Controls Monitor Monitor Monitor Monitor Monitor Monitor Monitor Mon	Models Multiplese - Off Energy - Off Radation - Off Discrete Fhase - Off Discrete Fhase - Off Discrete Fhase - Off Soldfication & Welting - Off Soldfication & Melting - Off Edit	Spalert-Almaras (1 cor) k-somega (2 cor) Transtion ST (4 cor) Transtion ST (4 cor) Correction ST (4 cor) Cor) Correction ST (4 cor) Correction ST (4 cor) Co	Apha prif 0.52 Beta*_inf 0.09 Beta_inf 0.072 User-Defined Functions Turbulent Viscosity Inone v Prandtl Number ThE Prandtl Number Inone v SDR Prandt Number v

Nastavíme sa na Materials. Vzhľadom k tomu, že je ako Fluid prednastavený vzduch (Air) a my chceme vodu, klikneme na tlačidlo Create/Edit a otvorí sa okno Create/Edit Materials. Klikneme na tlačidlo

Fluent Database a v roletovom okne vyberieme *water-liquid*. Klikneme na tlačidlo *Copy*. Týmto úkonom sme nakopírovali vodu a jej fyzikálne vlastnosti medzi tekutiny s ktorými môže program pracovať. Odklikneme *Close, Close*. Klikneme na *Cell Zone Conditions*. Teraz nastavíme to, aby program bude pracoval s vodou ako prúdiacim médiom. Doteraz ešte stále je nastavený vzduch. Klikne na *Edit…* a otvorí sa okno *Fluid*. Vidíme že v okne *Material Name* je *air* a z roletového menu vyberieme *water-liquid*. Potvrdíme voľbu *OK*.

Kliknutím na *Boundary Conditions* sa nám v okne *Zone* zobrazia okrajové podmienky, ktoré sme definovali v ešte v programe *Meshing*. Je vhodné skontrolovať či pod *Type* je vysvietená požadovaná okrajová podmienka. Ak to tak nie je, tak je to tu potrebné zmeniť, kliknutím a vybratím správnej. Čiže *inlet – velocity inlet, outlet – pressure outlet, wall-surface body – wall*. Okrem definovaných okrajových podmienok sa nám objavili ďalšia okrajová podmienka, ktorá vyjadruje interiér, čiže vnútro priestoru prúdenia a nijakým spôsobom neovplyvňuje prúdenie.

Meshing Mesh Generation Solution Setup General Models Materials Phases Cell Zone Conditions Solution Initialization Solution Initialization Calculation Activities Run Calculation Results Graphics and Animations Plots Reports Boundary Conditions. Departing Conditions Display Mesh Periodic Conditions		
Mesh Generation Solution Setup General Modés Meterials Phases Cell Zone Conditions Bourdary Conditions Cell Zone Conditions Solution Methods Solution Methods Solution Calculation Ativities Run Calculation Calculation Ativities Run Calculation Results Reports Display Mesh Person Conditions Display Mesh Person Conditions	Marbing	Boundary Conditions
Results Cone General Interior aurface_body Models Interior aurface_body Models Uset Models Uset Phases Cel Zone Conditions Dormanic Mesh Reference Values Solution Instalization Solution Activities Solution Calculation Results Graphics and Animations Phase Plots Edt Display Mesh Derating Conditions Display Mesh Periodic Conditions	Mach Constation	
Solution Setup General Models Materials Phases Cell Zone Conditions Boarday Constant Mesh Interfaces Dynamic Mesh Reference Values Solution Calculation Results Graphics and Animations Plots Reports Plots Reports Display Mesh Periodic Conditions Display Mesh Periodic Conditions	Mesn Generation	Zone
General wolfet outlet wal-surface_body w	solution Setup	interior ourface body
Moterials Phases Cell Zone Conditions Wall surface_body Dynamic Mesh Methods Solution Solution Methods Solution Instalization Reference Values Solution Instalization Phase Calculation Activities Phase Plots Edt Copy Porefilters Parameters Departing Conditions Display Mesh Periodic Conditions	General	outlet
Phase Cel Zone Conditions Foundary Conditions Mesh Interfaces Solution Solution Methods Solution Controls Monitors Solution Initialization Calculation Activities Run Calculation Results Graphics and Animations Reports Phase Edit Copy Parameters Display Mesh Periodic Conditions Help	Models	wall-surface_body
Cell Zone Conditions Bandardy yoordspare Mesh Interfaces Dynamic Mesh Reference Values Solution Solution Methods Solution Initialization Calculation Activities Run Calculation Results Graphics and Animations Reports Phase period Edit Copy Profiles Deplay Mesh Periodic Conditions Display Mesh	Phases	
Boardsry Conditions: Mash Interfaces Dynamic Mesh Reference Values Solution Solution Instalazation Results Graphics and Animations Plots Reports Display Mesh Perameters Display Mesh Periodic Conditions	Cell Zone Conditions	
Mesh Interfaces Dynamic Mesh Reference Values Solution Solution Methods Solution Controls Monitors Solution Initialization Calculation Activities Run Calculation Results Graphics and Animations Reports Parameters Display Mesh Periodic Conditions Help	Boundary Conditions	
Dynamic Mesh Reference Values Solution Solution Methods Solution Initialization Calculation Activities Run Calculation Results Graphics and Animations Plots Reports Parameters Display Mesh Periodic Conditions Help	Mesh Interfaces	
Results Reports Plots Reports Physe Plots Reports Physe Plots Reports Physe Plots Reports Plots Plots Reports Plots P	Dynamic Mesh	
Solution Methods Solution Controls Monitors Solution Initialization Calculation Activities Run Calculation Activities Run Calculation Activities Results Graphics and Animations Plots Reports Display Mesh Periodic Conditions Help	Colution	
Solution Charlos Solution Charlos Monitors Solution Initialization Calculation Activities Run Calculation Results Graphics and Animations Plots Reports Departing Conditions Display Mesh Help	Solution Methods	
Monitors Solution Initialization Calculation Activities Run Calculation Results Graphics and Animations Plots Reports Parameters Display Mesh Periodic Conditions Help	Solution Methods Solution Controls	
Solution Initialization Calculation Activities Run Calculation Results Graphics and Animations Plots Reports Display Mesh Periodic Conditions Help	Monitors	
Calculation Activities Run Calculation Results Graphics and Animations Plots Reports Parameters Display Mesh Periodic Conditions Help	Solution Initialization Calculation Activities	
Results Graphics and Animations Plots Reports Display Mesh Help Help		These The T
Results Plots Poly Reports Parameters Display Mesh Periodic Conditions Help	Run Calculation	mich re velocity inlat v S
Crapins and Animations Edit Copy Profiles Plots Parameters Operating Conditions Display Mesh Periodic Conditions	Results	mixture velotiy-met v 5
Reports Parameters Operating Conditions Display Mesh Periodic Conditions Help	Graphics and Animations Plots	Edit Copy Profiles
Display Mesh Periodic Conditions	Reports	Parameters Operation Conditions
Hep		Disclar Mark
Help		Display Mesn Periodic Conditions
ricy		Hab
		nep

Klikneme na *inlet* a stlačíme *Edit...* Otvorí sa okno *Velocity Inlet*. V tejto úlohe budem pracovať len s možnosťami na záložke *Momentum*. Klikneme na roletové menu pri *Velocity Specification Method* a ponecháme *Magnitude, Normal to Boundary*. To znamená, že stanovíme rýchlosť a smer prúdenia bude kolmo vychádzajúci z *velocity inlet*. Do okna *Velocity Magnitude* (m/s) napíšeme 3. *Supersonic/Initial Gauge Pressure (pascal)* sa nás netýka, pretože neriešime stlačiteľnosť. V sekcii *Turbulence* je ešte potrebné nastaviť *Specification Method*. Klikneme na rolovacie menu a vyberieme *Intensity and Hydraulic Diameter*. Intenzitu turbulencie pri modelovaní prúdenia v potrubí môžeme ponechať 5%. *Hydraulic diameter* (hydraulický priemer) pri 2D simuláciách, je rovný šírke domény, resp. šírke vstupu čo je u nás 0,3 m. (Pozn. Fluent vyžaduje desatinnú čiarku v tvare bodky.) Okrajovú podmienku rýchlostného vstupu máme nastavenú, klikneme tlačidlo *OK*.

Klikneme na *outlet* a stlačíme *Edit*.... V sekcii *Turbulence* je takisto potrebné nastaviť *Specification Method*. Klikneme na rolovacie menu a vyberieme *Intensity and Hydraulic Diameter*.

Zadáme hodnoty: Backflow Turbulent Intensity 5% a Backflow Hydraulic diameter 0,5 m. OK.

Položku *Dynamic Mesh* nebudeme nastavovať, pretože nepracujeme s pohyblivou alebo deformujúcou sa sieťou.

Klikneme na *Reference Values*. Tu nepotrebujeme nič meniť.

Pod Solution klikneme na Solution Methods. Nastavenia urobíme podľa obrázku XXX. Pressure Velocity Coupling: Scheme – SIMPLE, Spatial Discretization: Gradient – Least Squares Cell Based, Pressure – Second Order, Momentum – Second Order Upwind, Turbulent Kinetic Energy – Second Order Upwind, Specific Dissipation Rate – Second Order Upwind.

Image: Solution Initialization Calculation Activities Run Calculation	SKTOP-QJ25NAV [2d, dp, pbns, sstkw] sive Adapt Surface Display Report Parallel Vir Solution Methods Pressure-Velocity Coupling Scheme SIMPLE Spatial Discretization Gradient Gradient Gradient Gradient Gradient Gradient Second Order Second Order Upwind Second Order Upwind Second Order Upwind Vir Second Order Upwind Vir Vir Second Order Upwind Vir Second Order Upwind Vir Second Order Upwind Vir Vir Second Order Upwind Vir Vir Second Order Upwind Vir Vir Second Order Upwind Vir Vir Vir Second Order Upwind Vir Vir Vir Vir Vir Vir Vir Vir
Graphics and Animations Plots Reports	Non-Iterative Time Advancement Frozen Flux Formulation Pseudo Transient High Order Term Relaxation Default Help

Na položke Solution Controls nenastavujeme nič. Klikneme na Monitors, nastavíme sa v okne Residuals, Statistic and Force Monitors na Residuals – Print, Plot a klikneme na tlačidlo Edit. Otvorí sa okno Residuals Monitor, kde ponecháme zaškrtnuté Print to Console a Plot a v rolovacom okne Convergence Criterion nastavíme none. Síce sa udáva, že pri hodnotách rezíduí pod 0,001 sú výsledky konvergované, ale osobná skúsenosť ukazuje, že je potrebné sledovať, kedy sa ustália sily pôsobiace na objekt. Z toho dôvodu sme nezadali konvergenčné kritériá, pri ktorých by sa výpočet prerušil. Pokračujeme kliknutím na tlačidlo OK.

Nastavíme sa na *Solution Initialization* a klikneme na tlačidlo *Initialize*. Týmto sa nám simulácia inicializuje. Ďalšiu položku *Calculation Activities* preskočíme, pretože nebudeme nastavovať automatické ukladanie. Ostáva len spustenie simulácie a to tak, že klikneme na položku *Run Calculation* a v okne *Number of Iterations* nastavíme predpokladaný počet iterácií. Napíšeme 1500 a klikneme na tlačidlo *Calculate*. Po ukončení výpočtu sa pozrime na priebeh iterácií. Mali by sme mať nasledovné výsledky.



Zobrazíme si distribúciu rýchlosti pomocou izoplôch. Pod položkou *Results* sa nastavíme na *Graphics* and Animations a v okne *Graphics* na *Contours, Set Up...* Zaškrtneme *Filled* a v položke *Contours of* ponecháme *Velocity* a *Velocity Magnitude*. Klikneme na tlačidlo Display. Zobrazí sa nasledovný obrázok.



V prípade, že chceme jemnejšie prechody farieb, v okne *Levels* nastavíme vyššiu hodnotu ako 20, maximálne 100. Nevýhodou *Velocity Magnitude* je, že je to rýchlosť zobrazovaná v každom bode ale nevieme z nej určiť smer prúdenia. Obdobným spôsobom si preto zobrazíme priebehy x-rýchlosti. V položke *Contours of* vyberieme z roletového menu *Velocity…* a *pod* tým *X Velocity*.



Z uvedeného obrázka je už možné vidieť že za schodom je tzv. spätné prúdenie zobrazované modrou farbou s maximom rýchlosti do -0,365 m/s.

Ďalej si zobrazíme vektory prúdenia. Pod položkou *Results* sa nastavíme na *Graphics and Animations* a v okne *Graphics* na *Vectors, Set Up..., Display.* Po priblížení dostaneme nasledovný obrázok. Simuláciu si uložíme *File>Write>Case&Data*.



A na záver si zobrazíme priebeh rýchlosti na výstupe a vypočítame výslednú rýchlosť. Pod položkou *Results* sa nastavíme na *Plots* a v okne *Plots* na *XY Plot, Set Up....* Otvorí sa okno *Solution XY Plot.* V okne *Surfaces* máme označíme *outlet.* Vyškrtneme *Position on X Axis* a zaškrtneme *Position on Y Axis.* V *Plot Direction* máme v okne X 0 a v okne Y 1. V roletovom menu *Y Axis Function* si pod Velocity vyberieme *X Velocity.*



Zobrazí sa nasledovný priebeh – rýchlostný profil.



Rýchlosť prúdenia je v spodnej časti kanála vplyvom rozšírenia nižšia. Priemernú rýchlosť na výstupe zistíme tak, že klikneme na *Reports* pod *Results*. Z okna *Reports* vyberieme *Surface Integrals>Set Up....* V roletovom menu *Report Type* vyberieme *Area-Weighted Average*. Vo *Field Variable* vyberieme *Velocity*. V okne *Surfaces* vyberieme *outlet*. Klikneme na tlačidlo *Compute* a vidíme že rýchlosť na výstupe je 0,9 m/s, čo sme mohli vypočítať aj z rovnice kontinuity.

Simulácia prúdenia v kanále s náhlym rozšírením 3D

Rozšírime si predchádzajúcu úlohu o tretí rozmer, čiže budeme riešiť simuláciu prúdenia 3D.

Vytvorenie geometrie

Vytvoríme 2D geometriu kanálu podľa návodu uvedeného v predchádzajúcej kapitole. V okne *Tree Outline* pod *XY Plane* klikneme na *Sketch*, čiže vytvorenú škicu kanála. Klikneme na tlačidlo *Extrude*, čo znamená vystrčiť, resp. vysunúť škicu a tým vytvoriť objem. V okne *Details View* pri *Geometry* klikneme

na *Apply*. Pri okne *Direction* klikneme na *Normal* a z roletového menu vyberieme *Both – Symmetric*. Do okna pri *FD1 Depth* napíšeme 750, to znamená že skicu vysuniete oboma smermi a kanál bude široký 1,5 m. *Generate*. Mali by sme mať nasledovný obrázok.



Ak nám z predošlej 2D úlohy ostalo v *Tree Outline* aj *Surface Body* (plocha 2D kanála) je potrebné ho vymazať (*Create>Delete>Body Delete* vybrať *Surface Body* kliknúť *Apply>Generate*) alebo ho označiť, vyvolať kontextovú ponuku a vybrať *Suppress Body*.



Vytvorenie siete

Sieť vytvoríme obdobným spôsobom ako v predchádzajúcej úlohe. Dvojklik na položku *Mesh*. Načíta sa vytvorená geometria a spustí sa program *Meshing*. V okne *Outline* klikneme na Mesh, vyvoláme kontextovú ponuku, vyberieme *Insert>Sizing*. Klikneme na teleso kanála, zmení sa jeho farba na zelenú. (Pozn. V prípade že teleso nie je možné vybrať, je potrebné najprv kliknúť na ikonu *Body/Element* (CTRL+B) a potom na teleso kanála). Klikneme na žltým podsvietené *No Selection*, pri okne *Geometry* v *Details of "Body Sizing" – Sizing*, stlačíme *Apply*. Teleso kanála zmení farbu na modrú. Nastavíme hustotu siete v *Element Size*, napr. na 0,03 m. Klikneme na Generate. Teraz ak klikneme v okne *Outline* na *Mesh* zobrazí sa vytvorená výpočtová sieť.

Nasleduje zadefinovanie okrajových podmienok, čiže pomenujeme (označíme) jednotlivé plochy geometrie. Vzhľadom k tomu, že máme obrázok 3D budeme označovať plochy. Vo výberovom menu zvolíme položku *Face (CTRL+F)*. Klikneme na plochu, ktorá bude reprezentovať miesto vstupu tekutiny. Plocha zmení farbu na zelenú a pravým tlačidlom vyvoláme kontextovú ponuku a zvolíme položku *Create Named Selection*. Následne sa objaví okno, ktoré slúži k voľbe pomenovania. Vybranú plochu (hranu) pomenujeme *Inlet* a voľbu potvrdíme *OK*. V stromovej štruktúre vľavo sa objaví položka *Named Selections*, ktorá predstavuje pomenované plochy (hrany). Vyberieme plochu ktorou tekutina bude opúšťať kanál a nazveme ju *Outlet*.



Obdobným spôsobom pomenujeme (ostatné) plochy (hrany). Pomenovanie (označenie) plôch (hrán) je možné vytvoriť aj pre zoskupenie plôch (hrán), ktoré budú mať rovnaké fyzikálne parametre. Plochu, alebo hranu ktorá nebude označená, bude CFD program považovať za stenu. Pomenovanie plôch (hrán) môže byť ľubovoľné bez diakritiky. Vyexportujeme sieť. Vyberieme z roletového menu *File>Export*. Súbor si ľubovoľne pomenujeme a uložíme ho ako typ: FLUENT Input Files (*.msh).

Nastavenie a spustenie simulácie

Otvoríme si program ANSYS Fluent. V otváracom okne označíme *Dimension – 3D* a pri *Options – Double Precision. OK.* Z roletového menu vyberáme príkaz *File>Read>Mesh* a načítame vytvorený súbor. Klikneme na *General* pod *Solution Setup*. Tu ponecháme všetky nastavenia ako sú. Solver (riešič) bude *Pressure Based*. Budeme riešiť stacionárnu úlohu s absolútnou formuláciou rýchlosti.

Nastavíme sa na *Models* a dvojklikom na *Viscous* sa zobrazia modely prúdenia. Vyberáme model *k*omega a v poli *k*-omega Model vyberieme Standard. Odklikneme OK.

Nastavíme sa na *Materials*. Vzhľadom k tomu, že je ako *Fluid* prednastavený vzduch (*Air*), pridáme vodu. Klikneme na tlačidlo *Create/Edit* a otvorí sa okno *Create/Edit Materials*. Klikneme na tlačidlo *Fluent Database* a v roletovom okne vyberieme *water-liquid*. Klikneme na tlačidlo *Copy*. Odklikneme *Close*, *Close*. Klikneme na *Cell Zone Conditions*. Klikneme na *Edit…* a otvorí sa okno *Fluid*. Z roletového menu vyberieme *water-liquid*. Potvrdíme voľbu *OK*.

Kliknutím na *Boundary Conditions* sa v okne *Zone* zobrazia okrajové podmienky, ktoré sme definovali v ešte v programe *Meshing*. Je vhodné skontrolovať či pod *Type* je vysvietená požadovaná okrajová podmienka. Ak to tak nie je, tak je to tu potrebné zmeniť, kliknutím a vybratím správnej. Čiže *inlet – velocity inlet, outlet – pressure outlet, wall*. Okrem definovaných okrajových podmienok sa nám objavila ďalšia okrajová podmienka, ktorá vyjadruje interiér.

Klikneme na *inlet* a stlačíme *Edit*.... Otvorí sa okno *Velocity Inlet*. Klikneme na roletové menu pri *Velocity Specification Method* a ponecháme *Magnitude*, *Normal to Boundary*. Do okna *Velocity Magnitude* (m/s) napíšeme 3. *Supersonic/Initial Gauge Pressure (pascal)* sa nás netýka, pretože neriešime stlačiteľnosť. V sekcii *Turbulence* je potrebné nastaviť *Specification Method*. Klikneme na rolovacie menu a vyberieme *Intensity and Hydraulic Diameter*. Intenzitu turbulencie pri modelovaní prúdenia v potrubí môžeme ponechať 5%. *Hydraulic diameter* (hydraulický priemer) pri 3D simuláciách, sa určí výpočtom zo vzorca $D_H = 4S/O$ (4x plocha vstupu/obvod). Rozmery vstupu (inlet) sú 0,3x1,5m. Z toho vyplýva že hydraulický priemer je 1. ($D_H = 4.0,3.1,5/(0,3 + 1,5) = 1$). Okrajovú podmienku rýchlostného vstupu máme nastavenú, klikneme tlačidlo *OK*.

Klikneme na *outlet* a stlačíme *Edit...* V sekcii *Turbulence* je takisto potrebné nastaviť *Specification Method*. Klikneme na rolovacie menu a vyberieme *Intensity and Hydraulic Diameter*.

Zadáme hodnoty: *Backflow Turbulent Intensity* 5% a *Backflow Hydraulic diameter* určíme výpočtom. Rozmery výstupu (outlet) sú 0,5x1,5m. Z toho vyplýva že hydraulický priemer je 1,5. ($D_H = 4.0,5.1,5/(0,5+1,5) = 2$). *OK*. Položku *Dynamic Mesh* nebudeme nastavovať ani v *Reference Values* nepotrebujeme nič meniť.

Pod Solution klikneme na Solution Methods. Nastavenia sú nasledovné. Pressure Velocity Coupling: Scheme – SIMPLE, Spatial Discretization: Gradient – Least Squares Cell Based, Pressure – Second Order, Momentum – Second Order Upwind, Turbulent Kinetic Energy – Second Order Upwind, Specific Dissipation Rate – Second Order Upwind.

Na položke Solution Controls nenastavujeme nič. Klikneme na Monitors, nastavíme sa v okne Residuals, Statistic and Force Monitors na Residuals – Print, Plot a klikneme na tlačidlo Edit. Otvorí sa okno Residuals Monitor, kde ponecháme zaškrtnuté Print to Console a Plot a v rolovacom okne Convergence Criterion nastavíme none. Nastavíme sa na Solution Initialization a klikneme na tlačidlo Initialize. Klikneme na položku Run Calculation a v okne Number of Iterations nastavíme predpokladaný počet iterácií napr. 500 a klikneme na tlačidlo Calculate. Po ukončení výpočtu sa pozrime výsledky.

Postprocessing (vyhodnotenie) numerickej simulácie 3D oblasti s rozšírením

Hlavne v prípadoch zložitých priestorových 3D výpočtových oblastí je dôležité vytvoriť zodpovedajúce entity, a to hlavne plochy alebo hrany, v ktorých je možné následne vyhodnocovať žiadané veličiny (tlak, rýchlosť, hustota, teplota, turbulentné veličiny, hmotnostný zlomok, atď...). V prípadoch riešenia časovo závislých úloh je často žiadúce vyhodnocovať napr. priebeh rýchlosti v určitom mieste, a teda je nutné vytvoriť zodpovedajúci bod vo výpočtovej oblasti, a pomocou neho definovať záznam príslušnej veličiny v čase (tzn. monitorovanie veličiny, ktorá sa bude meniť s časom). V našom príklade definujeme dva rezy (Rez 1, Rez 2), v ktorých následne budeme vyhodnocovať príslušné veličiny, viď. Obr.XXX



Rez zadefinujem tak, že definujeme roviny v smeroch súradnicových osí x, y, z v ľubovoľnej vzdialenosti cez celú výpočtovú oblasť. Okrem toho je možné definovať aj rovinu napr. 3 bodmi, alebo rovnobežne s jednou z hraníc v definovanej vzdialenosti. V našom prípade použijeme príkaz y z *menu Surface >lso-Surface*. Z prvého roletového menu v okne *Surface of Constant* vyberieme *Mesh*... Z druhého roletového menu *Z-coordinate*. Klikneme na tlačidlo *Compute* a vidíme že minimálna hodnota Z je - 0,75 m a maximálna 0,75 m. Z toho vyplýva že rovina vedená pozdĺžne stredom kanála je na úrovni Z 0

m. Do okna *Iso-Values* napíšeme (resp. ponecháme) 0. Do okna *New Surface Name* napíšeme rez1. Príkazom *Create* sa rez1 vytvorí, a pomocou príkazu *Manage* môžeme Rez1 odstrániť alebo premenovať, alebo zlúčiť s inou plochou.

	a iso-surface		×
S Z M	urface of Constant !esh !-Coordinate (m) Max (m) 0.75	From Surface Interior-solid outlet wall-solid	
IS (N N I	o-Values (m) 0 c > ew Surface Name rbz1	From Zones	
	Create Compute Manage	Close Help	

Obdobným spôsobom vytvoríme rez 2. Rovina rez 2, má byť 1,3 m za plochou vstupu (velocity inlet) v kolmá na os X. Z roletového menu vyberieme *X-coordinate*. Klikneme na tlačidlo *Compute* a vidíme že minimálna hodnota X je -1 m a maximálna 4 m. Do okna *Iso-Values* napíšeme 0,3. Do okna *New Surface Name* napíšeme rez2. Kliknutím na tlačidlo *Create* vytvoríme rez2. K zobrazeniu vytvorených rezov, použijeme príkaz z menu *Display> Mesh*.

	A CONTRACT OF A		
West Display Options Bidges Paces Partitions Shrink Factor 0	Surfaces I I I I I nterior-sold outet rez1 rez2 wal-sold		
Surface Name Pattern Match	New Surface Surface Types		
Outine Interior Adjacency	axis ^ dip-surf exhaust-fan fan v		
Display Cold	ors Close Help	ANSYS F	

Zobrazíme si distribúciu rýchlosti pomocou izoplôch v rezoch. Pod položkou *Results* sa nastavíme na *Graphics and Animations* a v okne *Graphics* na *Contours, Set Up...* Zaškrtneme *Filled* a v položke *Contours of* ponecháme *Velocity* a *X velocity*. V okne *Surfaces* vyberieme rez1 a rez2. Klikneme na tlačidlo Display. Zobrazí sa nasledovný obrázok.



Z obrázku je viditeľné že za schodom je zavírenie. Oblasti modrou farbou majú záporné hodnoty rýchlosti v smere osi X, čiže poukazujú na spätné prúdenie. Výraznejšie ja v rohoch kanála. Možností rôznych zobrazení je veľa a ich voľba závisí od toho, čo chceme vyjadriť. Napr. ak by sme chceli zobraziť v kanále oblasť zavírenia resp. spätného prúdenia, zobrazíme si oblasť kde je X-ová rýchlosť záporná. Tentokrát v okne *Surfaces* vyberieme *interior*.



Vyškrtneme Auto Range a do oknam Max napíšeme O. Zaškrtneme Draw Mesh a vokne Surfaces vyberieme inlet a outlet. Klikneme na Display, Close a Display v okne Contours. Po priblížení a natočení sa zobrazí nasledovný obrázok.

