

# Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava



# **3D PROUDĚNÍ – ANSYS FLUENT**

# učební text

# Marian Bojko

Ostrava 2012

Recenze: prof. RNDr. Erika Mechlová, CSc. prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.

Název:3D Proudění – ANSYS FluentAutor:Marian BojkoVydání:první, 2012Počet stran:309Náklad:20Vydavatel a tisk: Ediční středisko VŠB – TUO

Studijní materiály pro studijní obor N2301 Strojní inženýrství fakulty strojní Jazyková korektura: nebyla provedena.

#### Určeno pro projekt:

Operační program Vzděláváním pro konkurenceschopnost Název: Personalizace výuky prostřednictvím e-learningu Číslo: CZ.1.07/2.2.00/07.0339 Realizace: VŠB – Technická univerzita Ostrava Projekt je spolufinancován z prostředků ESF a státního rozpočtu ČR

© Marian Bojko © VŠB – Technická univerzita Ostrava

#### ISBN 978-80-248-2607-3

# OBSAH

SEZNA	M POUŽITÉHO ZNAČENÍ	7
1. UŽI	VATELSKÉ PROSTŘEDÍ A NÁSTROJE SOFTWARE GAMBIT 2.4.6	9
1.1.	Grafické prostředí programu Gambit 2.4.6	9
1.2.	Roletové menu programu Gambit 2.4.6	10
1.3.	Uživatelské nástroje programu Gambit 2.4.6	11
1.4.	Grafické nástroje	21
2. TVO	DRBA 2D GEOMETRIE A VÝPOČETNÍ SÍTĚ V PROGRAMU GAMBIT 2.4	4.6
•••••		23
2.1.	Tvorba 2D geometrie v programu Gambit 2.4.6	23
2.2.	Tvorba 2D geometrie pomocí dvou metod (příklad 2.1)	28
2.3.	Tvorba 2D výpočetní sítě pomoci dvou metod (příklad 2.2)	35
2.4.	2D osově symetrický model oblasti proudění skrz clonu včetně výpočetní sítě	
(příkla	d 2.3)	43
2.5.	2D modelu oblasti proudění skrz překážku (příklad 2.4)	50
2.6.	2D model geometrie trubky se sekundárním vstupem, povrchové síťování oblasti	
(příkla	d 2.5)	57
3. 3D	IVORBA GEOMETRIE A VÝPOČETNÍ SÍTĚ V PROGRAMU GAMBIT 2.4	4.6
•••••		63
3.1.	Tvorba 3D geometrie v programu Gambit 2.4.6	63
3.2.	Tvorba 3D geometrie pomocí dvou metod (příklad 3.1)	68
3.3.	Tvorba 3D výpočetní sítě pomocí dvou metod (příklad 3.2)	73
3.4.	3D objemové těleso se dvěmi vstupy (příklad 3.3)	82
3.5.	3D objemové válcové těleso (příklad 3.4)	95
4. UZI	VATELSKE PROSTREDI SOFTWARE ANSYS WORKBENCH 13.0 1	.05
4.1.	Základní popis programového prostředí ANSYS Workbench 13.0	05
5. TVC	<b>DRBA GEOMETRIE V PROGRAMU DESIGNMODELER1</b>	10
5.1.	Grafické prostředí programu DesignModeler a uživatelské nástroje	10
5.1.	I vorba 3D geometrie nahleno rozsireni	13
6. UKA	AZKA PRIKLADU 3D GEOMETRIE V PROGRAMU DESIGNMODELERI	.28
6.1.	I vorba 3D geometrie oblasti proudeni skrz cionu v programu DesignModeler I	28
6.2.	I vorba 3D objemove teleso se dvemi vstupy	31
6. <i>3</i> .	I vorba 3D geometrie proudeni v trubce vcetne vodive oblasti steny trubky I	42
7. 100	JRBA VYPOUEINI SITE V PROGRAMU ANSYS MESHING	55
7.1.	Grancké prostredi programu ANS Y S Mesning a uzívatelské nastroje I	55 4
1.2.	I vorba vypočetní sítě v 3D geometrii nanieno rozsírení – automatické generovan	1
vypoce	Trucho vymožotní cítě v 2D coomotnii náblího no žížoní – nostvnné conorování	39
/. <b>5</b> .	Tvorba vypočetní site v 5D geometrií nanieno rozsíření – postupne generovaní	75
	LIII SILE	95
<b>0. FN</b> (	Uživatelská pástroje software ANSVS Elvent 12.1.4	.0J 85
0.1. 8 7	$C_{LV}$ aletové menu programu ANSVS Eluent 12.1.4	0J 88
ο. <i>2</i> . <b>Ο Ρ</b> Ďί	ΚΙ ΑΝΥ Κ ŘΕŠΕΝΙ V PROSTĎΕΝΙ SOFTWADE ELUENT12 2	00
<b>7. FKI</b>	ALADI A NESENI V I NOSI NEDI SUFI V AKE FLUENI 12	00
9.1. 0.1 1	Geometrie a výpočetní síť 3D oblasti s náhlým rozšířením v programu Cambit	.07
Э.1.1 Э.Л.4	5 oblight a vypocenii sie 5D oblasti s namym tozsitemini v programu Gambit	10
2. <del>4</del> .0 9.1 ′	Numerická simulace 3D oblasti s rozšířením v programu ANSVS Fluent12 1 4	10
2.1.2	2. 1 valienteka simulaee 512 oolasti 5 102shemini v programa 7135 15 1 dent12.1.4.	14
		-

9.1.3. Postprocessig (vyhodnocení) numerické simulace 3D oblasti s rozšířením 224
9.2. Testování turbulentních modelů v 3D oblasti v mezeře s náhlým rozšířením 230
9.3. Definování různých okrajových podmínek na vstupu do 3D oblasti s náhlým
rozšířením v aplikaci na turbulentní k-epsilon-standard model
9.3.1. Rychlostní okrajova podmínka na vstupu do 3D oblasti s rozšířením
9.3.2. Průtokové okrajové podmínky na vstupu do 3D oblasti s rozšířením
9.3.3. Tlaková okrajová podmínka na vstupu do 3D oblasti s rozšířením
9.4. Použití okrajové podmínky symetry v 3D oblasti s náhlým rozšířením
9.5. Teplotní podmínky na vodivých stěnách trubky a použití tenkých stěn
9.5.1. Numerická simulace stěny trubky pomocí vodivých buněk (živé buňky) 253
9.5.2. Definování teplotních okrajových podmínek pro tenkou stěnu
9.5.3. Definování tenké ocelové a měděné stěny trubky tloušť ky $\Delta x=3$ mm
9.5.4. Porovnání varianty definování vodivé oblasti stěny trubky s variantou použití
tenké stěny trubky s definovanou tloušťkou
9.5.5. Definování hustoty tepelného toku na tenké stěně tloušť ky $\Delta x=3$ mm
9.6. Proudění plynných příměsí (vzduch, oxid uhličitý), transportní rovnice pro přenos
hmotnostních zlomků příměsí
9.6.1. Fyzikální vlastnosti plynů a jejich směsí
9.6.2. Definice rovnice příměsí, definování směsi dvou médii
9.7. Unášení pevných částic ve spojité fázi, definování diskrétní fáze
9.7.1. Definice diskrétní fáze (Discrete Phase Model)
9.7.2. Definice liniového zdroje částic uhlíku na vstupu do oblasti pro diskrétní fázi 294
9.8. Vícefázové proudění v 3D oblasti s náhlým rozšířením, aplikace vícefázového
matematického modelů Euler-Mixture
9.8.1. Definice vícefázového matematického modelu a okrajových podmínek
9.9. Testovací příklady k jednotlivým kapitolám
9.9.1. Trojrozměrné laminární proudění v mezeře s náhlým rozšířením
9.9.2. Testování turbulentních modelů v trojrozměrné oblasti v mezeře s náhlým
rozšířením
9.9.3. Definování okrajových podmínek na vstupu do oblasti s náhlým rozšířením
v aplikaci na turbulentní k-epsilon-standard model
9.9.4. Definování teplotních podmínek na vodivých stěnách trubky a použití tenkých
stěn
9.9.5. Proudění směsi dvou plynů (vzduch, oxid uhličitý), aplikace rovnice pro přenos
hmotnostních zlomků příměsí
9.9.6. Unášení pevných částic ve spojité fázi, definování diskrétní fáze
9.9.7. Vícefázové proudění v oblasti s náhlým rozšířením, aplikace vícefázového
matematického modelů Euler-Mixture

### POKYNY KE STUDIU

#### **3D Proudění – ANSYS Fluent**

Pro předmět 3D proudění, vyučovaný ve třetím semestru oboru Konstrukční a procesní inženýrství specializace Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení jste obdrželi studijní balík obsahující

- integrované skriptum pro distanční studium obsahující i pokyny ke studiu
- CD-ROM s doplňkovými animacemi vybraných částí kapitol
- harmonogram průběhu semestru a rozvrh prezenční části
- rozdělení studentů do skupin k jednotlivým tutorům a kontakty na tutory
- kontakt na studijní oddělení

#### Prerekvizity

Pro studium tohoto předmětu se předpokládá absolvování předmětu Mechanika tekutin, Numerická matematika, Metoda konečných objemů v proudění a základy kreslení ve 3D v libovolném CAD.

#### Cílem předmětu

je seznámení se základními pojmy z oblasti modelování proudění a simulací CFD. Po prostudování modulu by měl student být schopen samostatně vytvářet jednoduché simulace základních technických problémů z oblasti mechaniky tekutin a sdílení tepla.

#### Pro koho je předmět určen

Modul je zařazen do magisterského studia oboru N2301 Konstrukční a procesní inženýrství (specializace Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení), ale může jej studovat i zájemce z kteréhokoliv jiného oboru, pokud splňuje požadované prerekvizity.

Skriptum se dělí na části, kapitoly, které odpovídají logickému dělení studované látky, ale nejsou stejně obsáhlé. Předpokládaná doba ke studiu kapitoly se může výrazně lišit, proto jsou velké kapitoly děleny dále na číslované podkapitoly a těm odpovídá níže popsaná struktura.

#### Při studiu každé kapitoly doporučujeme následující postup:



#### Čas ke studiu: xx hodin

Na úvod kapitoly je uveden čas potřebný k prostudování látky. Čas je orientační a může vám sloužit jako hrubé vodítko pro rozvržení studia celého předmětu či kapitoly. Někomu se čas může zdát příliš dlouhý, někomu naopak. Jsou studenti, kteří se s touto problematikou ještě nikdy nesetkali a naopak takoví, kteří již v tomto oboru mají bohaté zkušenosti.



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

popsat ... definovat ... vyřešit ...

Ihned potom jsou uvedeny cíle, kterých máte dosáhnout po prostudování této kapitoly – konkrétní dovednosti, znalosti.



Následuje vlastní výklad studované látky, zavedení nových pojmů, jejich vysvětlení, vše doprovázeno obrázky, tabulkami, řešenými příklady, odkazy na animace.



# Shrnutí pojmů

Na závěr kapitoly jsou zopakovány hlavní pojmy, které si v ní máte osvojit. Pokud některému z nich ještě nerozumíte, vraťte se k nim ještě jednou.



Pro ověření, že jste dobře a úplně látku kapitoly zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek.



# Úlohy k řešení

Protože většina teoretických pojmů tohoto předmětu má bezprostřední význam a využití v databázové praxi, jsou Vám nakonec předkládány i praktické úlohy k řešení. V nich je hlavní význam předmětu a schopnost aplikovat čerstvě nabyté znalosti při řešení reálných situací hlavním cílem předmětu.



# KLÍČ K ŘEŠENÍ

Výsledky zadaných příkladů i teoretických otázek výše jsou uvedeny v závěru učebnice v Klíči k řešení. Používejte je až po vlastním vyřešení úloh, jen tak si samokontrolou ověříte, že jste obsah kapitoly skutečně úplně zvládli.

Úspěšné a příjemné studium s touto učebnicí Vám přeje autor výukového materiálu Marian Bojko

# SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

Poznámka: označení, u něhož není uveden rozměr, reprezentuje obecnou proměnnou.

<b>C</b> <sub>p</sub>	měrná tepelná kapacita při konstantním tlaku	[J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
$d_h$	hydraulický průměr	[m]
g	tíhové zrychlení	[m·s <sup>-2</sup> ]
1	intenzita turbulence	[%]
М	molekulová váha	[kg·kmol⁻¹]
p	tlak	[Pa]
$p_{op}$	operační tlak	[Pa]
$ ho_{s}$	statický tlak	[Pa]
$ ho_d$	dynamický tlak	[Pa]
$\boldsymbol{\rho}_t$	celkový (totální) tlak	[Pa]
$Q_m$	hmotnostní průtok	[kg⋅s⁻¹]
q	hustota tepelného toku	[W⋅m⁻²]
r	měrná plynová konstanta	[J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
Ra	Rayleighovo číslo	[1]
Re	Reynoldsovo číslo	[1]
S	plocha	[m <sup>2</sup> ]
Т	absolutní teplota	[K]
U, V	rychlost	[m⋅s⁻¹]
<b>X</b> <sub>i</sub>	souřadnice v kartézském systému [x1, x2, x3] nebo [x, y, z]	[m]
Y	hmotnostní zlomek	[1]
$\beta$	součinitel teplotní roztažnosti	[K <sup>-1</sup> ]
λ	součinitel tepelné vodivosti	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
μ	dynamická viskozita	[Pa⋅s]
V	kinematická viskozita	[m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
ρ	hustota	[kg·m⁻³]
$ ho_{ m ref}$	referenční hustota	[kg⋅m <sup>-3</sup> ]
ζ	ztrátový součinitel	[1]

# 1. UŽIVATELSKÉ PROSTŘEDÍ A NÁSTROJE SOFTWARE GAMBIT 2.4.6

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:	
• pracovat s grafickým prostředím software Gambit 2.4.6	
<ul> <li>využívat roletové menu, uživatelské nástroje, příkazový řádek, popisové okno a grafické/zobrazovací nástroje</li> </ul>	
<ul> <li>orientovat se v uživatelských nástrojích pro tvorbu 2D a 3D objektů</li> </ul>	
<ul> <li>vhodně používat nástroje k úpravě a modifikací 2D a 3D geometrických tvarů</li> </ul>	Budete umět
<ul> <li>vytvářet výpočetní sítě pomocí různých druhů 2D prvků (čtyřúhelníky, trojúhelníky a jiné)</li> </ul>	
<ul> <li>tvořit výpočetní sítě pomocí 3D výpočetní prvků různých tvarů (šestistěny, čtyřstěny, pyramidy a jiné)</li> </ul>	
<ul> <li>definovat okrajové podmínky na jednotlivých hranicích</li> </ul>	
• vyexportovat výpočetní síť pro následnou numerickou simulací	

# 1.1. Grafické prostředí programu Gambit 2.4.6



Čas ke studiu: 0.2 hodin

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- vhodně pracovat s grafickým prostředím programu Gambit 2.4.6
- používat jednotlivé nabídky pracovní plochy



# Výklad

Programový systém Gambit 2.4.6 představuje výkonný software, který slučuje dvě oblasti v jednom prostředí. V první fázi se jedná o vytváření geometrických útvarů (dvourozměrných nebo trojrozměrných), a v druhé fázi definování výpočetní sítě pomocí různých prvků konečných tvarů (2D nebo 3D). K dosažení výsledného produktu, tedy dvourozměrné nebo trojrozměrné výpočetní sítě na skutečné geometrii je k dispozici v programu Gambit 2.4.6 celá řada uživatelských nástrojů, které budou podrobně popsány v této kapitole. Uživatelské prostředí programu Gambit 2.4.6 lze rozdělit do šesti položek (**roletové menu, uživatelské nástroje, příkazový řádek, popisové pole, grafické nástroje** a **pracovní plocha**). Graficky celé uživatelské prostředí je znázorněno na Obr. 1.1.



Obr. 1.1. Uživatelské prostředí programu Gambit 2.4.6

Pomoci **roletového menu** se provádí základní operace týkající se správy souborů (načtení uložení, editace, atd..). Všechny příkazy, které se aktivují pomoci myši v jednotlivých nabídkách uživatelského prostředí programu se vypisují v **příkazovém řádku**. Pokud se myši zastavíte na příslušné ikoně v grafickém prostředí dostanete stručný popis funkce ikony v **popisovém pole**. Hlavní nabídka jednotlivých funkcí pro tvorbu 2D a 3D geometrických tvarů a výpočetních sítí je obsažena v **uživatelských nástrojích**. Poslední oblasti jsou **grafické nástroje**, které umožňují měnit zobrazení jednotlivých entit v **pracovní ploše** a zobrazit kvalitu výpočetní sítě.

# 1.2. Roletové menu programu Gambit 2.4.6





Roletové menu nabízí tři položky (**FILE, EDIT a SOLVER**), viz. Obr. 1.1. Položka **FILE** je zaměřena na správu souborů. Příkazy New, Open, Save slouží k načtení uložení a vytvoření

GAMBIT	Solver:	FL	UENT 5/6	ID: default_id1
<u>File</u>	<u>E</u> dit		<u>S</u> olver	
<u>N</u> ew				
Open				
<u>S</u> ave				
Save $\underline{A}s$ .				
Print Grap	hics			
<u>R</u> un Journ	al			
<u>C</u> lean Jou	mal			
<u>View</u> File .				
Import		Y		
Export				
Reconnec	t ca <u>d</u>			
Exit				

souboru. Po uložení souboru (příkazem Save nebo Save As) program Gambit vygeneruje 3 soubory s příponami (\*.dbs, \*.jou, \*.trn). V souboru s příponou \*.dbs je obsažen výstupní model výpočetní sítě. Soubor \*.jou obsahuje posloupnost příkazů, které se zapisují v průběhu samotné práce v programu Gambit. Příkazem Print Graphics lze uložit pracovní plochu do formátu obrázku (\*.jpg, \*.tif,...), a tedy vytvořit grafické výstupy do externích grafických souborů pro následnou úpravu. Dalšími často používanými příkazy jsou Import a Export. Pomocí příkazu Import lze načíst geometrii nebo výpočetní síť z jiných programů (např. I-DEAS, **Pro/ENGINEER**, CATIA, PARASOLID, ANSYS, FIDAP, FLUENT4/5/6, NASTRAN, PATRAN, TGRID, ...). Nejběžněji používané formáty jsou \*igs, \*.stp, \*msh. Naproti tomu

příkaz Export umožňuje přenos dat do jiných programů obdobně jako Import. Příkazem Export se zároveň ukládá výsledný výpočetní model ve formátu \*.msh. Takto vygenerovány finální soubor se následně načte do programu ANSYS Fluent12.1.4 k numerické simulaci. Příkazem **EDIT** měníme předdefinované nástroje týkající se zejména grafického prostředí programu Gambit a parametrů tvorby 2D a 3D geometrie a výpočetní sítě. Příkaz **SOLVER** definuje řešiče numerické simulace, pro které jsou vytvořené výpočetní sítě určeny. Z celé řady nabídek jsou to např. FLUENT 4/5/6, ANSYS Fluent 12, FLOWIZARD.

# 1.3. Uživatelské nástroje programu Gambit 2.4.6



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- vhodně používat uživatelské nástroje
- orientovat se v nástrojích pro tvorbu a úpravu 2D a 3D geometrie
- vhodně se orientovat v nástrojích tvorby povrchové a objemové výpočetní sítě
- definovat okrajové podmínky



# Výklad

Uživatelské nástroje jsou rozdělené do čtyř základních skupin. Tyto nástroje představují základní operace pro práci v prostředí Gambit, kdy jednotlivé skupiny nástrojů na sebe postupně navazují při tvorbě výpočetní sítě. První skupinou jsou nástroje **TVORBY** 

GEOMETRIE, dále následují nástroje <mark>TVORBY SÍTĚ</mark>, <mark>OKRAJOVÝCH PODMÍNEK</mark> a UŽIVATELSKÝCH FUNKCÍ.

Tvorba geometrie



Ikona tvorby geometrie

Při tvorbě geometrie lze postupovat od vytváření základních entit (bod, hrana, plocha a těleso). Jednotlivé ikony tvorby těchto entit budou postupně představené, a pro názornost jsou všechny ikony pro uživatele vhodně graficky upravené, tak aby měl představivost o jejich funkcích.



BOD, HRANA, PLOCHA, OBJEM

#### Podnabídkou ikony tvorby a úpravy bodu je následující nabídka řady funkcí:



Bod lze definovat pomocí souřadnic na hraně na ploše n

Další ikony týkající se úpravy entity bod:

ikona "konektování" duplicitních bodů
 ikona kopírování, rotace, zrcadlení a přesouvání bodů
 informativní ikona umožňující zjistit skutečné souřadnice bodu
 ikona k odstranění bodu

- Edige

  Filet
  Fillet
  Revolve
  Forject
- **D** Podnabídkou ikony tvorby a úpravy hrany je následující nabídka řady funkcí:

Hranu lze definovat pomocí dvou bodů straight. Dále lze definovat oblouk rec, kružnici Circle, elipsu stilupe, kuželosečku circle, rádius rielet, vytažení hrany pomocí bodů straight, hranu rotací bodu kolem osy recube, projekcí hrany na plochu recube.

Další ikony týkající se úpravy hrany:

- ikona "konektování" duplicitních hran
  ikona kopírování, rotace, zrcadlení a přesouvání hran
  ikona dělení hrany nebo slučování dvou hran
- Dev Podnabídkou ikony tvorby a úpravy plochy je následující nabídka řady funkcí:



Plochu lze definovat pomocí hran polygon, sur elipsu sur surface Hireframe Dále lze definovat lichoběžník prollelogram , kružnici trele trele

<sup>™</sup> Vertex Rose</sup>, rovnoběžnou rovinu s referenční rovinou <sup>™</sup> offset Foce</sup>, vytažením hrany <sup>™</sup> seep Edges</sup> a rotací hrany kolem definované osy <sup>™</sup> Revolve Edges</sup>.

Další ikony týkající se tvorby a úpravy ploch:

- ikona vytváření předdefinovaných ploch (čtverec, obdélník, kružnice, elipsa)
- kona "boolovských" operací (sčítání, odečítání a rozdíl ploch)
- ↓ ikona "konektování" duplicitních ploch
  - ikona kopírování, rotace, zrcadlení a přesouvání ploch
- ikona rozdělení plochy pomoci hran nebo sloučení dvou a více ploch v jednu plochu
- převod "virtuální geometrie" na reálnou geometrii

#### **K** vysvětlení pojmu virtuální geometrie:

Program Gambit 2.4.6 při tvorbě geometrie běžně pracuje s entitami pod názvem "real" (reálné). V případech složitých geometrii, kde vystupují entity jak hrany, plochy a objemy složitých tvarů může program použit "virtual" entity. Například nesouhlasí průnik dvou hran, tak program automaticky vygeneruje průnik, tím způsobem, že jednu z entit posune, tak aby tato podmínka byla splněna. Tyto operace se provádějí v určitém rozsahu tolerance, kterou lze uživatelem měnit. Obecně s touto geometrii se pracuje po přenosu geometrie s externího CAD software, kdy nemusí být zajištěna konektivita mezi jednotlivými entitami. Práce s "virtual" entitami je stejná jak s "real" entitami, pouze s určitými omezeními při následných úpravách, které by uživatel měl mít na paměti. Před tvorbou výpočetní sítě je vhodné převést všechny

"virtual" entity na "real" entity pomocí ikony 🕅.

#### **D** Podnabídkou ikony tvorby a úpravy objemu je následující nabídka řady funkcí:



Objem lze definovat pomocí ploch stitch Faces nebo hran Wireframe. Dále lze vytvořit objem vytažením plochy po hraně nebo ve směru souřadného systému sverp Faces a rotaci plochy kolem osy

Další ikony týkající se tvorby a úpravy objemu:

- ikona vytváření předdefinovaných těles (kvádr, válec, koule, pyramida, anuloid, ...)
- kona "boolovských" operací (sčítání, odečítání a rozdíl objemů)

ikona k vytvoření zaoblení na ploše objemu
 ikona kopírování, rotace, zrcadlení a přesouvání objemu
 ikona rozdělení objemu pomoci ploch nebo sloučení dvou a více objemů v jeden objem
 převod "virtuální geometrie" na reálnou geometrii

#### IKONA K VYTVOŘENÍ VÝPOČETNÍ SÍTĚ NA HOTOVÉ GEOMETRII

Při tvorbě výpočetní sítě lze postupovat obdobně jako při tvorbě geometrie, a tedy postupným vytvářením sítě na jednotlivých entitách (hrany, plochy) s následnou tvorbou výpočetní sítě v objemovém tělese. Druhou možností je použití předdefinovaných schémat k tvorbě povrchové nebo objemové sítě (tzv. automatické síťování). Touto variantou sice výrazně zkrátíme pracovní čas, který je potřeba k tvorbě výpočetní sítě, ale na druhou stranu není vhodná k tvorbě sítě v složitých geometriích, kde klademe důraz na kvalitu sítě. V složitých geometriích je nutné provádět síťování s různými velikostmi buněk, a to v případě automatického síťování nejsme schopni dosáhnout.

Základní nabídka síťování je následující:



Pro uživatele jsou k dispozici zejména čtyři ikony:

tvorba mezní vrstvy, tvorba sítě na hraně, tvorba povrchové sítě a tvorba povrchové sítě a



#### 🗅 🛛 Tvorby mezní vrstvy 🛛 🏛

Mezní vrstva se nejběžněji používá při numerických simulacích obtékaní povrchu těles (např. obtékání leteckých profilů). Pomocí mezní vrstvy lze vytvořit odpovídající zhuštění výpočetní stě v daném směru, který uživatel definuje. Dále uživatel definuje příslušné parametry mezní vrstvy např. (velikost první buňky od dané plochy, hrany, počet vrstev, podíl velikosti následující vrstvy k vrstvě předchozí). Možnosti jak definovat parametry mezní vrstvy je v programu Gambit několik. Kromě těchto základních parametrů lze definovat i různé typy mezních vrstev. Pro názornost jsou na Obr. 1.2 zobrazeny mezní vrstvy u dvou příkladů.





Obr. 1.2. Příklady mezní vrstvy

Základní nabídka příkazu tvorby mezní vrstvy <u>tett</u> je následující:

Create Boundary Layer		
b b b b b b b b b b b b b b b b b b b		
Definition:		
Algorithm: Uniform 💷		
First row (a)		
Growth factor (b/a)		
Rows 4		
Depth (D)		
☐ Internal continuity		
🔲 Wedge corner shape		
Transition pattern:		
⑥ 1:1 ○ 4:2 ○ 3:1 ○ 5:1		
Transition Rows		
Attachment:		
Edges 🗆 🚺 💼 📥		
Label I 4		
Apply Reset Close		

Z důvodu přehlednosti je nabídka doplněna i graficky, a celé okno lze rozdělit do 4 základních položek.

- 1 Grafická ukázka mezní vrstvy, včetně parametrů, které musí být definovány.
- 2 Nabídka k definici základní parametrů (souvisí s nabídkou 1), v podnabídce "algorithm" lze vybrat jiný funkční předpis k definici mezní vrstvy.
- 3 Nabídka k výběru typu mezní vrstvy.
- 4 Nabídka k výběru hrany nebo plochy na kterou bude mezní vrstvy definována (výběr entity lze provést pomoci kliknutím myši na danou entitu v modelu, nebo výběrem z seznamu entit, protože každá entita má své označení).

Ukázka různých typů mezních vrstev ja na Obr. 1.3.

Create Boundary Layer	Create Boundary Layer	Create Boundary Layer
b a atwise		of the show
Definition:	Definition:	Definition:
Algorithm: Uniform 🔟	Algorithm: Uniform 🖃	Algorithm: Uniform 🖃
First row (a)	First row (a)	First row (a)
Growth factor (b/a)	Growth factor (b/a)	Growth factor (b/a)
Rows 4	Rows 4	Rows 4
		,
Depth (D)	Depth (D)	Depth (D)
☐ Internal continuity	🔟 Internal continuity	Internal continuity
Wedge corner shape	_ Wedge corner shape	」 Wedge corner shape
Transition pattern:	Transition pattern:	Transition pattern:
	↓ 1:1 ↓ 4:2 ◆ 3:1 ↓ 5:1	
Transition Rows	Transition Rows	Transition Rows
	4	
Attachment:	Attachment:	Attachment:
Edges 🖬 🚶 📤	Edges 💷 🚶 🚹	Edges 🖬 🚶 💧
Label	Label	Label I
Apply Reset Close	Apply Reset Close	Apply Reset Close

Obr. 1.3. Různé typy mezních vrstev

Dalším příkazem je možnost modifikace již vytvořené mezní vrstvy pomoci ikony ikony a náhled na prostorovou mezní síť ikonou .

### Tvorba sítě na hraně

Pomocí tohoto příkazu lze provést rozdělení bodů výpočetní sítě na hraně. Obecně lze definovat rozdělení bodů s konstantní vzdálenosti, nebo se zhuštěním v jednom nebo druhém směru (Obr. 1.4). Zhušťování počtu bodů na hraně má opodstatnění v aplikací, ve kterých je požadavkem zhuštění výpočetní sítě v určitém místě. Protože takto vytvořené zhuštění se následně přenese i do povrchové a objemové výpočetní sítě.



Obr. 1.4 – Rovnoměrné síťování a síťování se zhuštěním v jednom nebo druhém směru

Podnabídkou příkazu tvorby bodů na hraně jsou následující příkazy:

		Edge		
C <b>y</b>				ļļ
	• • <del> </del>		i	<i>~</i>

Základní nabídka definice rozdělení bodů na hraně  $\square$  je následující. Příkazové okno lze rozdělit do 4 podnabídek (1 - 4).

Mest	n Edges
Edges	•
F Pick with links	Reverse 1
Soft link	Form J
📕 Use first edge :	settings
Grading 📕 Apply	Default
Type Succes	sive Ratio 🔟 🙎
Invert 🔲 🕻	Double sided
Ratio [1	
	3
Spacing 📕 Apply	Default
1	Interval size 🔳 🕹
Options 📕 N	1esh
L R L Ig	emove old mesh gnore size functions
Apply B	eset Close

- 1 Výběrová nabídka, pomocí které uživatel vybere příslušné entity, na kterých bude definovat příslušné parametry. Možnosti "pick with links" vytvoříme pevné spojení mezi vybranými entitami. Takto spojené entity navzájem sdílejí stejné vlastnosti. To znamená, že pokud následně budeme modifikovat vlastnosti rozdělení bodů, tak automaticky se tyto vlastnosti překopírují na zbylé vybrané entity.
- 2 Definiční nabídka, ve které se definují hlavní parametry. Položka "Gradient" pokud není zatržena tak tvoříme síť s konstantním rozmístěním bodů na hraně. V opačném případě definujeme zhuštění. Zhuštění může být v jednom nebo opačném směru (přepínání příkazem "Invert), dále rovnoměrně směrem do středu a na vnějšek hrany ("Double sided").
- 3 Parametrická nabídka umožňuje definovat rozložení bodů na hraně pomoci "Spacing". Lze definovat počet bodů na hraně skutečnou vzdálenost mezi body (Interval Size")

("Interval count") a skutečnou vzdálenost mezi body ("Interval Size").

 4 – Nabídka možnosti ("Options") slouží k potlačení nebo aktivování dalších parametrů. Lze například překreslit stávající rozmístění bodů ("Remove old mesh") nebo ignorovat ("Size function", o které bude zmínka později). Další možností je provádění kopie rozmístění bodů z jedné hrany na druhou hranu. Podmínkou této operace je, aby tyto hrany byly identické. Definované rozmístění bodů na

hraně lze zároveň použit k rozdělení hrany pomoci těchto bodů příkazem

#### Tvorba povrchové sítě

Povrchovou síť lze vytvořit dvěmi způsoby. Buď vyjdeme z vysíťovaných hran, které vytvoříme pomoci předchozího příkazu. A tedy zvolíme pouze prvky (čtyřúhelníky, trojúhelníky) a schéma k tvorbě povrchové výpočetní sítě. Velikost buněk bude definována na základě rozmístění bodů na jednotlivých hranách. Druhou variantou je automatické síťování, kdy kromě prvků a schémat definujeme i velikost prvků na hranách modelu. Tím ovšem neumožňujeme síťování se zhuštěním.

Povrchová síť může být tvořena čtyřúhelníkovými nebo trojúhelníkovými prvky (Obr. 1.5) na dané ploše. Lze použít pouze čtyřúhelníky, trojúhelníky anebo kombinací obou druhů prvků na dané ploše. Zároveň Gambit 2.4.6 obsahuje několik předdefinovaných schémat tvorby povrchové sítě v závislosti na geometrickém tvaru plochy, a lze vytvářet strukturované a nestrukturované sítě.



Obr. 1.5. Základní 2 D elementy

Software Gambit 2.4.6 nabízí několik schémat tvorby čtyřúhelníkové, trojúhelníkové a kombinované sítě. Pro názornost jsou zde uvedené některé typy používaných schémat (Obr. 1.6).



Obr. 1.6. Typy povrchové sítě

Jednotlivé body na hranicích ploch mohou mít odlišné vlastnosti z hlediska použitých prvků a následného napojení na celou výpočetní síť, viz. Obr. 1.7.

Body 1,5,8,9 – jsou označeny jako "*Trielement*" Body 2,3,7 – jsou označeny jako "*End*" Bod 4 – jsou označeny jako "*Side*" Bod 6 – jsou označeny jako "*Conner*"



Obr. 1.7. Typy bodů na hranicích

V průběhu tvorby výpočetní sítě je možné libovolně měnit vlastnosti jednotlivých bodu s ohledem na další napojení výpočetní sítě.

Podnabídkou příkazu tvorby povrchové sítě jsou následující příkazy:

		Face		
<b>₽</b>		Bandar 1997	₩ ₩ ₩	
<b>`\</b>	₽ ₽		ļ	<i>~</i>

Příkaz definice tvorby povrchové sítě je aktivován ikonou filt experimentary filter (1 - 4). Příkazové okno lze rozdělit do 4 podnabídek (1 – 4)



- 1 Výběrová nabídka pomocí, které uživatel vybere příslušné entity (plochy), na kterých bude definovat příslušné parametry povrchového síťování.
- 2 Definiční nabídka, ve které se definují hlavní parametry. Položka "Elements" definuje požadované prvky ("Quad, Tri, Quad/Tri", čtyřúhelník, trojúhelník, čtyřúhelník/trojúhelník). Další položka "Type" definuje příslušné schéma ("Map, Submap, Pave, Tri Primitive").
- 3 Parametrická nabídka umožňuje definovat velikost prvků nebo počet prvků.
- 4 Nabídka možnosti "Options" slouží k potlačení nebo aktivování dalších parametrů. Lze například překreslit stávající rozmístění bodů ("Remove old mesh") nebo ignorovat ("Size function", o které bude zmínka později).

Další ikony představují následující parametry:

- abídka umožňující posun bodu ve vytvořené povrchové síti
- příkaz vyhlazující vytvořenou síť (zlepšující kvalitu sítě)
- abídka umožňující změnit vlastnosti jednotlivých bodů (viz. Obr. 1.7)
- příkaz provádějící kopírování vytvořené sítě na jinou plochu, podmínkou je, aby obě plochy byly identické

### Tvorba objemové sítě

Objemové síťování umožňuje použít šestistěnné, čtyřstěnné, klínovité, pyramidové a hybridní prvky v různých kombinacích, viz. Obr. 1.8.



Obr. 1.8. Základní 3D elementy

Podnabídkou příkazu tvorby objemové sítě jsou následující příkazy:



Příkaz definice tvorby objemové sítě je aktivován ikonou  $\square$  . Příkazové okno lze rozdělit do 4 podnabídek (1 - 4)



- 1 Výběrová nabídka pomocí, které uživatel vybere příslušné entity (objemy), na kterých bude definovat příslušné parametry objemového síťování.
- 2 Definiční nabídka, ve které se definují hlavní parametry. Položka "Elements" definuje požadované prvky ("Hex, Hex/Wedge, Tet/hybrid", šestistěny, šestistěny/klíny, čtyřstěny/hybrídní). Další položka "Type" definuje příslušné schéma ("Map, Submap, Tet Primitive, Cooper, Tigrid, Hex Core").
- 3 Parametrická nabídka umožňuje definovat velikost prvků nebo počet prvků.
- 4 Nabídka možnosti "Options" slouží k potlačení nebo aktivování dalších parametrů. Lze například překreslit stávající rozmístění bodů ("Remove old mesh") nebo ignorovat ("Size function", o které bude zmínka později).

Další příkazy nabídky tvorby objemové sítě jsou obdobné jako v případě tvorby povrchové sítě.

Panel **OKRAJOVÝCH PODMÍNEK** definuje základní dva typy podmínek pro specifikaci oblasti k následné numerické simulaci v programu ANSYS Fluent.



"Boundary types" – specifikuje odpovídající fyzikální veličiny na hraničních oblastech výpočtové sítě.



"Continuum types" – specifikuje oblasti proudění tekutin a vedení tepla v pevných materiálech.

V případech definování 2D modelu "Boundary types" představují hrany dvourozměrného modelu (plochy), a u 3D modelu jsou to plochy trojrozměrného modelu (tělesa). Obdobně je to v případě definování okrajových podmínek "Continuum types".

# 1.4. Grafické nástroje



Čas ke studiu: 0.5 hodin



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

• používat a pracovat s jednotlivými grafickými nástroji



Grafické nástroje slouží ke změně zobrazení vytvořené entity (bod, hrana, plocha, těleso). Dále pomoci těchto nástrojů lze měnit pohledy v jednotlivých směrech souřadného systému, aplikovat automatické zobrazení celého modelu do pracovní plochy, kontrolovat kvalitu sítě pomoci různých parametrů, měnit vlastnosti jednotlivých entit a celou řadů dalších nástrojů. Všechny ikony grafických nástrojů jsou uvedené níže:



Funkčnost jednotlivých grafických nástrojů bude patrná z animací.

# ∑ 🛛 Shrnutí pojmů 1

Program Gambit 2.4.6, uživatelské prostředí programu, roletové menu, uživatelské nástroje, popisové okno, grafické nástroje, příkazový řádek, tvorba geometrických entit, bod, hrana, plocha, těleso, výpočetní síť, mezní vrstva, povrchová síť, objemová síť, čtyřúhelníky, trojúhelníky, šestistěny, čtyřstěny, pyramidy, kopírování, přesouvání, rotace, 2D plochy, obdélník, kružnice, oblouk, 3D tělesa, koule, válec, krychle, zhušťování sítě, kvalita sítě, okrajové podmínky, reálná geometrie, virtuální geometrie.



# Otázky 1

- 1. Jaké typy dvourozměrných prvků lze definovat při tvorbě povrchové výpočetní sítě?
- 2. Jaká musí být splněna podmínka při kopírování povrchové výpočetní sítě?
- 3. V jakých nejčastěji používaných formátech lze importovat geometrii do programu Gambit 2.4.6?
- 4. Jaké typy trojrozměrných prvků lze definovat při tvorbě objemové výpočetní sítě?
- 5. V jakých aplikacích je použitelná mezní vrstva?
- 6. Jaký je rozdíl mezi reálnou a virtuální geometrii?
- 7. Jaké jsou možnosti zhušťování výpočetní sítě v programu Gambit 2.4.6?



### Animace

Uživatelské prostředí a nástroje programu Gambit 2.4.6 si může student zobrazit na hotovém příkladě pomocí tři animací

(Uživatelské prostředí, roletové menu programu Gambit 2.4.6)

Animaci si může student zobrazit

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře **AnimaceKapitola\_1** soubor **Gambit\_1.exe**

(pracovní nástroje na hotovém příkladě v programu Gambit 2.4.6) Animaci si může student zobrazit

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_1\ soubor Gambit\_2.exe

(pracovní a grafické nástroje na hotovém příkladě v programu Gambit 2.4.6) Animaci si může student zobrazit

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře **Animace\Kapitola\_1**\ soubor **Gambit\_3.exe**

# 2. TVORBA 2D GEOMETRIE A VÝPOČETNÍ SÍTĚ V PROGRAMU GAMBIT 2.4.6

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:	
• vytvářet různé 2D geometrie v programu Gambit 2.4.6	
• upravovat 2D geometrie v programu Gambit 2.4.6	
• aktivně používat různé nástroje k tvorbě a úpravě 2D geometrie	
<ul> <li>vytvářet 2D výpočetní sítě postupným síťováním (síťování hran a následně ploch) na vytvořené geometrii</li> </ul>	Budete umět
<ul> <li>definovat parametry povrchového síťování (velikost buněk, typy 2D prvků a schémata povrchového síťování)</li> </ul>	
• vytvářet automatickou 2D povrchovou síť na vytvořené geometrii	
• definovat a používat mezní vrstvu	
• používat "size function" na 2D geometriích	

# 2.1. Tvorba 2D geometrie v programu Gambit 2.4.6



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- vhodně pracovat s nástroji k tvorbě a úpravě 2D geometrie
- vytvářet různé 2D geometrie (jednoduché, složité)



# Výklad

V programu Gambit 2.4.6 lze vytvářet různé 2D geometrické prvky (čtverec, obdélník, kružnice, elipsa, obecné 2D plochy) pomocí řady nástrojů. Obecný postup při tvorbě 2D prvků lze definovat pomoci dvou postupů. V první postupu lze přímo definovat parametry 2D geometrických prvků jako čtverec, obdélník, kružnice a elipsa pomocí zadání základních rozměrů. Druhý přístup spočívá v tvorbě 2D prvků pomocí výběru entit jako body a hrany (tzv. slučováním). Tyto entity musí společně tvořit uzavřené plochy. Tento postup je obvykle používán při tvorbě obecné 2D plochy. Vytvořenou 2D geometrii lze následně upravovat pomocí celé řady nástrojů, které jsou v programu k dispozici podle potřeb uživatele. V této kapitole budou postupně představené jednotlivé nástroje, které budou posléze aplikovány na příslušných praktických příkladech.

### Tvorba přednastavených 2D geometrických prvků

Mezi přednastavené 2D geometrické prvky v programu Gambit patří čtverec, obdélník, kružnice a elipsa. Jednotlivé nabídky jsou popsány níže.



Tvorba čtverce nebo obdélníku ("Create Real Rectangular Face")

- Šířka ("Width") velikost šířky.
- Výška ("Height") velikost výšky.
- Souřadný systém ("Coordinate Sys.") lze použít přednastavený souřadný systém nebo můžeme vybrat souřadný systém, který si uživatel vytvoří.
- Směr ("Direction") definuje umístnění vytvořeného objektu v prostoru (v rovině XY, XZ, YZ,…).
- Označení ("Label") definuje pojmenování 2D objektu.

Tvorba kružnice ("Create Real Circular Face")

- Poloměr ("Radius) velikost poloměru.
- Souřadný systém ("Coordinate Sys.") definice souřadného systému jako u tvorby čtverce nebo obdélníku.
- Rovina ("Plane") definuje umístnění vytvořeného objektu v prostoru (v rovině XY, XZ, YZ).
- Označení ("Label") definuje pojmenování 2D objektu.

Tvorba elipsy ("Create Real Elliptical Face"):

- Poloměr 1 ("Radius 1") velikost poloměru.
- Poloměr 2 ("Radius 2") velikost poloměru.
- Souřadný systém ("Coordinate Sys.") definice souřadného systému jako u tvorby čtverce nebo obdélníku.
- Rovina ("Plane") definuje umístnění vytvořeného objektu v prostoru (v rovině XY, XZ, YZ).
- Označení ("Label") definuje pojmenování 2D objektu.

Různé nástroje tvorby 2D geometrických objektů

	Create Face from Wireframe
	Edges 📕
	Type: 🔶 Real 🕹 Virtual
	🔟 Initial Face 🕺 🛓
	🔟 Guide Edges 🚶 📩
	🔟 Guide Vertices 🚶 🔒
<b></b> +	Tolerance Auto 🗖
	Label j
+	Apply Reset Close

Tvorba obecné 2D plochy ("Create Face from Wireframe") z vytvořených hran, které musí tvořit uzavřený 2D objekt.

- Hrany ("Edges") výběr hran uzavřeného 2D objektu.
- Typ ("Type") reálná nebo virtuální geometrie.
- Tolerance ("Tolerance") umožňuje definovat toleranci s jakou lze vytvořit 2D objekty i v případě, že hrany objektu netvoří uzavřený celek.
- Označení ("Label") pojmenování 2D objektu.

	Create Polygon Face		
<u>,</u>	Vertices	Ĭ	•
	Label	Ĭ	
1	Apply	Reset	Close



Create Skin Surface Face
Edges 🚶
Connected edges
Start Vertex
End Vertex
Label J
Apply Reset Close

Greate Fo	ace from vertex hows
Vertices	Y
No. of rows	2 minut
Method:	🔶 Interpolate
	🕹 Approximate
Tolerance	lo o
Label	Ĭ
	1*
Apply	Reset Close

	Create Offset Face		
	Face 👔		
	Distance		
	☐ Reverse		
1	Label X		
	Apply Reset Close		

Tvorba mnohoúhelníku ("Create Polygon Face") z vytvořených bodů.

- Body (" Vertices") výběrové okno bodů pro mnohoúhelník.
- Označení ("Label") pojmenování 2D objektu.

Tvorba kružnice ("Create Circular Face from Vertices") pomocí bodů, a jsou k dispozici dvě metody (pomoci středu a dvou bodů kružnice nebo pomoci tři bodů kružnice)

- Metoda ("Method") výběr metody tvorby kružnice.
- Body ("Vertices") výběr odpovídajících bodů podle metody tvorby kružnice.
- Označení ("Label") pojmenování 2D objektu.

Tvorba 2D plochy proložením vytvořenými hranami ("Create Skin Surface Face").

- Hrany ("Edges") výběr hran plochy.
- Konektování hran ("Connected edges") vznikne vzájemná vazba mezi hranami.
- Počáteční bod ("Start Vertex") počáteční bod první hrany.
- Konečný bod ("End vertex") konečný bod poslední hrany.
- Označení ("Label") pojmenování 2D objektu.

Tvorba 2D plochy proložením vytvořenými body ("Create Face from Vertex Rows").

- Body ("Vertices") výběr bodů plochy.
- Počet řad ("No. of rows") počet řad bodů.
- Metoda ("Method") metoda proložení bodů plochou (Interpolace, Aproximace).
- Označení ("Label") pojmenování 2D objektu.

Tvorba 2D plochy kopii vytvořené plochy ("Create Offset Face").

- Plocha ("Face") plocha ke kopii.
- Vzdálenost ("Distance") vzdálenost, ve které bude umístěna plocha.
- Opačný směr ("Reverse") plocha bude umístěna v opačném směru
- Označení ("Label") pojmenování 2D objektu.

	Sweep Edges
	Edges 👔
	Path: ◆ Edge ↓ Vector Edge
	Reverse
	🔟 With mesh
	Type: ◆ Rigid ↓ Perpendicular
	Option: I Cirafi 🗸 Twist
i—i	Label
֥	Apply Reset Close

Tvorba 2D plochy vytažením hrany ("Sweep Edges").

- Hrany ("Edges") hrany k vytažení.
- Cesta ("Path") způsob vytažení hran (po hraně "Edge", nebo ve směru vektoru "Vector"). Pokud zvolíme např. vytažení ve směru vektoru lze definovat vektor v jednotlivých směrech souřadného systému včetně vzdálenosti.
- Se síti ("With mesh") vytažení společně se síti na hraně.
- Typ ("type") umožňuje definovat vysouvání např. pod úhlem, nebo se zaoblením.
- Označení ("Label") pojmenování 2D objektu.

	Revolve Edges	
	Edges	I 🚺
	Angle	2
	Axis	Define
		(0, 0, 0) -> (0, 0, 1)
14A	🔲 With r	nesh
	Label	9X
·	Apply	Reset Close

#### Nástroje k úpravě 2D entit

		Unite Faces	
	Faces	Ĭ	
		🔟 Retain	
	Туре	🔶 Real 🛭 🕹 V	irtual
	Tolerance	Auto 🗖	
/			
	Apply	Reset	Close



Tvorba 2D plochy rotací hrany kolem osy ("Revolve Edges").

- Hrany ("Edges") výběr hran k rotaci.
- Úhel ("Angle") úhel rotace.
- Osa ("axis") definuje osu rotace. Osou rotace může být hrana, nebo osy souřadného systému.
- Se síti ("With mesh") při rotaci dojde současně k vytažení sítě.
- Označení ("Label") pojmenování 2D objektu.

Boolovská operace součet ("Unite Faces") slouží ke sčítání ploch.

- Plochy ("Faces") výběr ploch ke sčítání.
- "Retain" přepínač, který potlačuje smazání ploch, které jsou vybrány ke sčítání. Pokud je přepínač zapnut, tak zůstane pouze výsledná plocha.
- Typ ("Type") nástroj pracující s reálnou nebo virtuální geometrii.
- Tolerance ("Tolerance") definování tolerance se, kterou pracuje virtuální geometrie.

Boolovská operace rozdílu ("Substrát Real Faces") slouží k vytvoření plochy odečtením jedné plochy pomoci druhé plochy.

- Plocha ("Face") zdrojová plocha, od které se odečte druhá plocha.
- Odečítané plochy ("Substrát Faces") plochy pomocí kterých se od primární plochy odečtou.
- "Retain" nástroj pomoci kterého zůstanou zachovány všechny plochy použité k provedení tohoto příkazu.

	Intersect Real Faces		
	Faces	¥	
		🔟 Retain	
Q) -	Tolerance	Auto 🗖	
	Apply	Reset	Close

	Connect Faces
	Faces Pick 🖬 🚶
	◆ Real
	🕹 Virtual (Forced)
	🔶 Virtual (Tolerance)
	Tolerance
	Shortest Edge % 10
	Highlight shories) edge
F	T-Junctions
	Apply Reset Close

		Split Face	
	Face Split with	] Faces	● -
	Faces	I	<b>•</b>
	Tolerance	Auto 🖬	]
	🔟 Retain		
	🔟 Bidirecti	onal	
	📕 Connect	ted	
₽₽			
-	Apply	Reset	Close

 Merge Faces

 Faces
 Fick □

 Type:

 ◆ Real and Virtual (Forced)

 ◇ Virtual (Tolerance)

 Min. Angle
 135

 ✓ Merge edges

 Apply
 Reset
 Close

Boolovská operace průniku ("Intersect Real Faces") ploch.

- Plochy ("Faces") plochy k výběru průniku.
- "Retain" nástroj pomocí kterého zůstanou zachovány původní plochy před provedením příkazu.

Spojení ploch ("Connect Faces") – příkaz umožňující spojení dvou identických ploch v jednu plochu. Důležitý příkaz, který lze použit i jako automatickou funkci, kdy se vyberou všechny plochy modelu. Následně program je schopen automaticky kontrolovat všechny plochy modelu, a pokud se vyskytnou duplicitní plochy, tak budou odstraněny.

- Plochy ("Faces") výběr ploch ke spojení.
- Další přepínače ("Real, virtual,…) definují s jakým typem entit program pracuje. Příkaz lze použit pro reálnou i virtuální geometrii.

Rozdělení plochy ("Split Faces") – příkaz umožňující rozdělení plochy.

- Plocha ("Face") výběr plochy k rozdělení.
- Dělení ("Split with") výběr typu entity pomocí které bude plocha rozdělena. Entitou k dělení plochy může být plocha, hrana, body. Entita může být reálná nebo virtuální geometrie.
- Plochy ("Faces") výběr konkrétní entity (plochy) k dělení.
- Pomocné nástroje ("Retain, Connected"). Význam je popsán výše.

Sloučení ploch ("Merge Faces") – příkaz ke sloučení dvou ploch v jednu plochu.

- Plochy ("Faces") plochy ke sloučení příslušných ploch.
- Typ ("Type") typ příslušných entit (ploch). Lze pracovat s reálnou nebo virtuální geometrii.
- Sloučení hran ("Merge edges") současně lze sloučit i hrany.

	Move / Copy Faces		
	Faces Pick 🖬	<u> </u>	
	🔶 Move 🛛 🕹	Copy 1	
	Operation:		
	◆ Franslate ↓	• Rotate • Scale	
	Coordinate Sys.	jc_sys.1 🔒	
	Туре	Cartesian 🗖	
	Global	Local	
	x: [0 x: [0	x: [0	
	z: 10	z:	
	Po .	1 Po	
	Connected geor	netry	
saĥ.		iicu y	
n an l			
•	Apply Re	close Close	

Posun/Kopie ploch ("Move/Copy Faces") – příkaz umožňující posun nebo kopii plochy.

- Plochy ("Faces") výběr ploch k provedení operace (posun/kopie).
- Posun Kopie ("Move Copy") definování počtu v případě příkazu kopie.
- Operace ("Operation") typ operace (posun "translate", rotace – "rotate", zrcadlení – "reflect", měřítko – "scale")
- V případě aplikace operace posun "translate" je nutné definovat polohu umístění plochy pomoci souřadnic (x,y,z). Pokud se vybere jiná operace je nutné definovat příslušné parametry (v závislosti na typu operace).

# 2.2. Tvorba 2D geometrie pomocí dvou metod (příklad 2.1)

Ø	Čas ke studiu: 2 hodiny		
	Cíl	Po prostudování tohoto odstavce budete umět • vytvořit 2D geometrii dvěmi metodami • upravovat vytvořenou 2D geometrii	



# Výklad

Příklad vytvoření níže uvedené 2D geometrie (příklad 2.1).



Obr. 2.1. 2D geometrie

#### **vytvoření 2D geometrie pomocí předdefinovaných entit (ploch).**

• Spuštění programu Gambit 2.4.6.

- V nabídce nástrojů zvolit "Geometry" "Face" "Create Real Rectangular Face".
- Zadat šířku (10) a výšku (10) a potvrdit tlačítkem Apply. Bude vytvořena plocha "face.1".

🗙 GAMBIT	Solver:	FLUENT 5/6 ID	: default_id3436						🔳 🗗 🗾
File	Edit	Solver						Help	Operation
k⇒.	× <				бу ↑ В2—> бх				Cordinate Sys. Cordinate Sys. Continue Sys
			Tro	accrimt		A	Description		Global Control
Command> Deleted f Deleted f Command> Created f	face dele ace: face ace: face face crea ace: face	te "face.1" "f: .1 .2 te width 10 he: .1	ight 10 xyplane rea	37 Stangle		7	Description		
🐮 stan		Gambit Startup	🔀 Exceed	GAMBIT Sol	C SKRIPTA	Sablona_pred	🕲 Bolkoviny: 23 Search D	esktop	ی بی کی جانع کا بی کا کا کا کا کا کا کا کا کا ک پی کا

- Zadat šířku (30) a výšku (50), a potvrdit tlačítkem Apply. Bude vytvořena plocha "face.2".
- Po vytvoření druhého obdélníku je vhodné zobrazit oba obdélníky do celého okna



Posun plochy "face.2" ve směru osy x o vzdálenost 20 příkazem "Geometry" – "Face"
 "Move/Copy Faces". Nutné vybrat plochu "face.2" (plocha je obarvená červenou

🔀 GAMBIT 🛛 Solver: FLUENT 5/6 ID: defaul	t_id3436				
<u>File Edit Solver</u>				<u>H</u> elp	Operation
CAMBIT Solver: FLUENT 5/6 ID; defaul File Edit Solver V V X	•_id3436 ★ ★	Gy Gz Gx		<u>Н</u> ер	Operation         Geometry         Geometry         Face         Face         Move         Copy Faces         Faces         Pick         Move         Copy [         Operation:         Translate         Reflect         Scale         Coordnate Sys.         Scale         Coordnate Sys.         Y:         <
					Global Control
	Transcript			Description	Active 🔜 🖶 🔐 🗛 🗛
Command) face move "face 2" offset 20 0 Transformed face: face. 2 Command) undo Undone to: face move "face.2" offset 20 The picker is empty. Pick item first!	0 0.		7	ORAPHICS WINDOW- UPPER LEFT GUADRANT	
command. J.					

barvou, toto platí pro každou vybranou entitu (bod, hrana, plocha)), která bude přesunuta. Dále se definuje typ operace ("Move") a vzdálenost posunu ve směru osy x.

#### ↓ Výsledek operace posunu je patrný níže.

CAMBIT Solver: FLUENT 5/6 ID: default_id3436					_ C 🛛
<u>File Edit Solver</u>				<u>H</u> elp	Operation
Cu Cu Cu Cu Cu Cu Cu Cu Cu Cu Cu Cu Cu C					Ceconotry Ceconotry Ceconotry Face Ceconotry Cecon
Tr	anscript			Description	
Command) undo Undone to: face move "face 2" offset 20 0 0. The picket sempty Pick item first! Command: face move "face 2" offset 20 0 0 Transformed face: face 2 Command:					
🛃 start 🛛 🖸 Gambi 🔀 2 X 🔹 Doku	🗑 Sablo 🙆 Bolko	🔁 flug.p 🔤 Visual	FLUE	Search Desktop	P 📢 🛃 22:46

4 Poslední operaci je sloučení obou ploch pomoci boolovské operace sloučení "Geometry" - "Face" - "Unite Faces". Vyberou se obě plochy ("face.1, face.2") a potvrdí příkazem Apply.





#### Uvytvoření plochy pomocí tvorby bodů a hran

- ↓ Vytvoření nového souboru "File" "New" (zadat název souboru např. plocha2)
- Vytvoření bodů pomocí příkazu "Geometry Vertex Create Real Vertex". Celkem vytvoříme 8 bodů pomoci definováni souřadnic x,y.



Postupně vytvoříme všechny body. Po zadáni souřadnic (x,y) každého bodu potvrdíme kliknutím na "Apply". Budou vytvořeny body (Vertex.1, Vertex.2, Vertex.3, Vertex.4, Vertex.5, Vertex.6, Vertex.7, Vertex.8), viz. obrázek níže.



Dále vytvoříme jednotlivé hrany výběrem příslušné dvojice bodů "Geometry – Edge – Create Straight Edges". Celkem vytvoříme 8 hran (edge.1, edge.2, edge.3, edge.4, edge.5, edge.6, edge.7, edge.8). Jednotlivé hrany jsou obarvené žlutou barvou.



↓ Výběr entit lze provést třemi způsoby.

- Výběrem ze seznamu "Vertex List" přesunutím z levé strany do pravé strany.
- Použitím myši přímým kliknutím na body v pracovní ploše. Před výběrem je třeba předefinovat vlastnosti kurzoru k výběru (současné překliknutí pravého a levého tlačítka myši).
- Výběr bodů pomoci okna. Okno vytvoříme tažením levého tlačítka myši



Po vytvoření všech hran dostaneme následující výsledek (8 hran), který představuje uzavřený celek. Pro vytvoření plochy je nezbytné, aby hrany tvořily uzavřenou smyčku.



Výslednou plochu vytvoříme příkazem "Geometry" – "Face" – "Create Face from Wireframe" výběrem všech vytvořených hran.

🗙 GAMBIT	Solver:	FLUENT 5/6 ID: prikaz1		- @ X
File	Edit	Solver	Help	Operation
×_⊅	××			Construction Co
				Global Control
Connand> e	dge crea	Transcript te straight "vertex.8" "vertex.1"	Description	Active
Created ed Command> f "edge.7" Created fa	lge: edge Tace crea "edge.8 ace: face	8 te wireframe "edge.1" "edge.2" "edge.3" "edge.4" "edge.5" "edge.6" \ "real 1	7	
Command:				
🦺 start		Gambi 🗙 2 X 🔹 Doku 😫 Sabio 🍓 Balio 🔁 Rug p	📾 Vsusl 💽 FLUE 🔀 Micro Search Desktop	R 😒 23:44

Výslednou geometrii uložíme pomocí příkazu "File – Save As" pod názvem (např. geometrie-priklad\_2\_1.dbs)



# Animace

Vytvoření 2D geometrie v programu Gambit 2.4.6 si může student zobrazit

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_2\ soubor Gambit\_4.exe

### 2.3. Tvorba 2D výpočetní sítě pomoci dvou metod (příklad 2.2)



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- vytvořit 2D výpočetní síť
- generovat výpočetní síť pomocí dvou metod (automatické síťování, postupné síťování)
- vyhodnotit rozdíl mezi čtyřúhelníkovou a trojúhelníkovou výpočetní sítí



# Výklad

Příklad vytvoření výpočetní sítě na geometrii dle kapitoly 2.2 (Obr. 2.1).

#### Vytvoření výpočetní sítě pomoci předdefinovaných schémat ploch

V prvním kroku provedeme načtení vytvořené geometrie dle kapitoly 2.2 (geometriepriklad\_2\_1.dbs).



Obr. 2.2. 2D geometrie k vytvoření výpočetní sítě

Vytvoření povrchové výpočetní sítě pomocí čtyřúhelníkových prvků

Po načtení 2D geometrie použijeme nástroje tvorby povrchové sítě příkazem "Mesh – Face - Mesh Faces". V nabídce panelu zobrazeného níže nejdříve vybereme příslušnou plochu "Faces". Dále vybereme typ elementů ("Elements"), v tomto případě vybereme čtyřúhelníkové prvky ("Quad"). Poslední položkou je definování velikosti čtyřúhelníkových prvků ("Interval size") v položce ("Spacing"). V aplikaci na níže zobrazenou 2D geometrii definujeme velikost prvku 1. Ve výsledků je patrné, že při velikosti prvku 1 připadá na délku hrany o velikosti 10 taky 10 prvků (Obr. 2.3).



10 prvků

Obr. 2.3. Výpočetní síť z čtyřúhelníkových prvků
Vytvoření povrchové výpočetní sítě pomocí trojúhelníkových prvků

Po načtení 2D geometrie použijeme nástroje tvorby povrchové sítě příkazem "Mesh – Mesh Faces".



Obr. 2.4. Výpočetní síť z trojúhelníkových prvků

Po výběru příslušné plochy vybereme typ elementů ("Elements"), v tomto případě se vyberou trojúhelníkové prvky ("Tri"). Poslední položkou je definování velikosti trojúhelníkových prvků ("Interval size") v položce ("Spacing"). V této aplikací definujeme opět velikost prvku 1, viz. Obr. 2.4. Rozdíl mezi čtyřúhelníkovými a trojúhelníkovými prvky je v celkovém počtu vytvořených elementů. V případě povrchové sítě s čtyřúhelníkovými prvky je vygenerováno 3586 elementů.

Vytvoření povrchové výpočetní sítě pomocí kombinace čtyřúhelníkových a trojúhelníkových prvků. Po načtení 2D geometrie použijeme nástroje tvorby povrchové sítě příkazem "Mesh – Mesh Faces".



Obr. 2.5. Výpočetní síť z kombinace čtyřúhelníkových a trojúhelníkových prvků

Po výběru příslušné plochy vybereme typ elementů ("Elements"), v tomto případě vybereme čtyřúhelníkové a trojúhelníkové prvky ("Quad/Tri"). Poslední položkou je definování velikosti prvků ("Interval size") v položce ("Spacing"). V této aplikací definujeme opět velikost prvku 1. Výsledná kvalita výpočetní sítě je patrná z Obr. 2.5. Ze zobrazení je viditelná špatná kvalita sítě, která je doprovázena výpisem v popisovém poli "Transcript". Výsledná výpočetní sít obsahuje 12 špatných elementů, které nesplňují podmínku parametru kososti >0.97 ("Mesh of face face.1 contains 12 highly skewed elements (EQUISIZE SKEW > 0.97)").

### Vytvoření výpočetní sítě postupným síťování (síťování jednotlivých hran)

Vytváření povrchové sítě postupným síťováním jednotlivých hran plochy umožňuje vytváření sítě o různé velikosti elementů (čtyřúhelníkové nebo trojúhelníkové prvky). Lze dosáhnout různé hustoty výpočetní sítě v jednotlivých částech modelu. Tato funkce je vhodná v případech, že předpokládáme výrazné změny gradientu proudových veličin, např. v místech náhlého rozšíření nebo zúžení proudového kanálu.

Nejdříve načteme 2D geometrie vytvořenou v kapitole 2.2 (geometrie-priklad\_2\_1.dbs). Vytvoření sítě na jednotlivých hranách plochy provedeme pomocí uživatelského nástroje "Mesh – Edge – Mesh Edges". V panelu vybereme příslušnou hranu ("Edges", popřípadě množinu více hran, kde chceme definovat shodné vlastnosti, tzn. rozmístění bodů na hraně. Další nabídkou je možnost zhuštění bodů na hraně ("Grading"). V tomto případě je funkce zhuštění vypnutá (políčko "Apply" není aktivní), tedy rozmístění bodů po hraně bude s konstantním krokem. Posledním parametrem je definování velikosti vzdálenosti dvou bodů ("Interval size"), v tomto případě definujeme 1. Potvrzení definovaných parametrů rozmístění bodů na hranách se provede tlačítkem "Apply" (Obr. 2.6).



Obr. 2.6. Výpočetní síť na hranách plochy (konstantní vzdálenost jednotlivých bodů)

Pokud výsledné rozdělení bodů na všech hranách má být s velikosti 1, tak zbylé hrany nemusí být síťovány, protože v programu Gambit je velikost 1 přednastavenou hodnotou.

V následném kroku tvorby výsledné povrchové sítě bude velikost 1 automaticky nadefinována i pro zbylé hrany modelu. Vytvoření povrchové sítě provedeme příkazem "Mesh – Face – Mesh Faces" (vybereme příslušnou plochu a definujeme čtyřúhelníkové elementy) obdobně jak v úvodu kapitoly. Rozdíl je pouze v potlačení definice velikosti elementů ("Spacing") z důvodu předchozí definice parametrů síťování na jednotlivých hranách. Definiční okno a výsledná výpočetní síť je patrná z Obr. 2.7.



Obr. 2.7. Povrchová výpočetní síť (definování parametrů, výsledná povrchová síť)

Další možnosti je síťování s rozdílnou hustotou bodů na jednotlivých hranách plochy. Na Obr. 2.8 je zobrazena možnost definování rozmístění bodů na čtyřech hranách modelu s konstantní velikosti 0.5. Následně se vygeneruje povrchová síť tvořena čtyřúhelníky stejně jak v předchozí variantě příkladu. Z výsledku je patrné, že na zbylých hranách modelu je rozmístění bodů s konstantní velikosti 1, což je předdefinována velikost rozmístění bodů na hraně (Obr. 2.8).



Obr. 2.8. Síťování s rozdílnou hustotou bodů na jednotlivých hranách a výsledná povrchová síť.

Ukázkou další možné varianty je provést zhuštění ve vstupní části plochy a v následné rozšiřující se části (např. v případě simulace výtoku kapaliny skrz rozšíření). Z Obr. 2.9 je patrné, že tři hrany vstupní plochy jsou definovány s velikosti rozmístěním bodů 0.3, a zbylé dvě hrany mají rozmístění 1. Po vysíťování příslušných hran provedeme povrchové síťování

pomocí čtyřúhelníkových elementů, a výsledkem je povrchová síť, která je zhuštěna ve vstupní části plochy a ve směru rozšíření (Obr. 2.9).



Obr. 2.9. Zhuštění výpočetní sítě ve vstupní části plochy

Použitím trojúhelníkových elementů Gambit vygeneruje výslednou výpočetní síť zobrazenou na Obr. 2.10, a definováním kombinace čtyřúhelníkových nebo trojúhelníkových elementů je výsledkem výpočetní síť zobrazena na Obr. 2.11.



Obr. 2.10. Trojúhelníková síť



Obr. 2.11. Čtyřúhelníková/trojúhelníková síť

Na základě vygenerovaných výpočetních sítí je patrné, že na kvalitu výsledné výpočetní sítě má výrazným význam typ použité povrchové sítě a odpovídající sítování na jednotlivých hranách, a popřípadě zhuštění v jednotlivých částech modelu. Příklad zhuštění výpočetní sítě směrem do středu modelu je patrné z Obr. 2.12. Na obrázku vlevo je definice parametrů zhuštění směrem do středu hrany a tedy i modelu. V prvním kroku vybereme odpovídající hranu (je označena červeně). Následně definujeme parametry zhuštění "Grading" (zatržením políčka "Apply"). Jako první je nutné zvolit zhuštění v obou směrech ("Double Sided"). Dále parametry zhuštění zadáním číselné hodnoty popřípadě posouváním mezerníku (v tomto případě definujeme hodnotu 0.92 v obou směrech a velikost rozmístění bodu 0.5. Výsledné nastavení parametrů potvrdíme políčkem "Apply".



Obr. 2.12. Zhuštění hrany modelu směrem do středu, výsledná čtyřúhelníková povrchová síť

Další možnou aplikaci je použití mezní vrstvy za rozšířením při povrchovém síťování pomocí příkazu "Mesh – Boundary Layer – Create Boundary Layer". V prvním kroku vybereme odpovídající hrany, od kterých se bude vytvářet mezní vrstvy (v tomto případě hrany 1,2 ("Attachment"), viz. Obr. 2.13). V dalším kroku definujeme algoritmus generování mezní vrstvy ("Uniform"). Jednotlivé parametry jsou označeny písmeny a jejich význam je znázorněn na schématu. Velikost první řady buněk ("First row", a=0.1), růstový faktor ("Growth factor", b/a=1.1), počet řad ("Rows", 25), tloušťka mezní vrstvy ("Depth", D). V průběhu zadávání jednotlivých parametrů lze kdykoliv využít klávesy "tabelator" k náhledu na mezní vrstvu po změně jakéhokoliv parametru bez potvrzení celého příkazu, což umožňuje plynule měnit vlastnosti mezní vrstvy.



Obr. 2.13. Definice parametrů mezní vrstvy

Parametr tloušťky mezní vrstvy D je přepočítáván podle aktuálních parametrů nastavení mezní vrstvy. Vytvořená mezní vrstva je zobrazena bílou barvou, viz. Obr. 2.14. Dalším krokem je síťování zbylých hran modelu. Na Obr. 2.14 je definice síťování zbylých hran modelu s intervalem 1.



Obr. 2.14. Zobrazená mezní vrstva a síťování zbylých hran

Stejné rozmístění buněk je i na hranách 3 a 4, jak je patrné z Obr. 2.15. Z průběhu síťování je viditelné, že síťování hrany od mezní vrstvy zůstává zachováno. Ve zbylé části hrany jsou použity parametry síťování hrany bez zhuštění.



Obr. 2.15. Síťování hran modelu od mezní vrstvy, zvětšený pohled na přechod mezi mezní vrstvou

Po vytvoření mezní vrstvy a vysíťování všech hran následuje povrchové síťování ("Mesh – Face – Mesh Faces"). Ukázky čtyřúhelníkové a trojúhelníkové výpočetní sítě jsou zobrazeny na Obr. 2.16.



Obr. 2.16. Čtyřúhelníková a trojúhelníková výpočetní síť



# Animace

Vytvoření 2D výpočetní sítě na geometrii v programu Gambit 2.4.6 si může student zobrazit

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_2\ soubor Gambit\_5.exe

# 2.4. 2D osově symetrický model oblasti proudění skrz clonu včetně výpočetní sítě (příklad 2.3)



J Výklad

Oblast proudění clonou je naznačena na Obr. 2.17.



Obr. 2.17. Geometrie oblasti proudění skrz clonu

Parametry oblasti: D=50 mm d=45 mm L=100 mm l=5mm

Upravený 2D osově symetrický model:



Obr. 2.18. 2D osově symetrický model oblasti proudění skrz clonu

#### UVytvoření 2D osově symetrické geometrie

Tvorba geometrie pomoci dílčích entit (body, hrany, plocha)

Vytvoření jednotlivých bodů geometrie provedeme zadáním souřadnic (x,y) podle parametrů oblasti příkazem "Geometry – Vertex – Create Real Vertex". Výsledné body celé oblasti jsou znázorněny na Obr. 2.19. Následně se tyto body propojí pomocí hran příkazem "Geometry – Edge – Create Straight Edge" (Obr. 2.20). Poslední operací vytvoříme výslednou osově symetrickou plochu z jednotlivých hran příkazem "Geometry – Face – Create Face from Wireframe" (Obr. 2.21).



Obr. 2.19. Body ("Vertex") osově symetrické geometrie



Obr. 2.20. Hrany ("Edge") osově symetrické geometrie



Obr. 2.21. Výsledná plocha ("Face") osově symetrické geometrie

Výslednou geometrii uložíme pod názvem např. geometrie-clona.dbs

#### Uvytvoření plošné (2D) výpočetní sítě pomocí automatického síťování

S ohledem na predikci proudění skrz clonu je zřejmé, že za ostrou hranou clony bude docházet k odtrhávání vírů, a proto je nezbytné vytvořit v tomto místě dostatečně hustou síť ve srovnání s oblasti na začátku a konci celé oblasti. V případě použití automatického síťování toho bohužel dosáhneme, ale rovnoměrně v celé oblasti. Ukázkou je čtyřúhelníková výpočetní síť s velikosti buňky 0.5 ("interval size") a s celkovým počtem buněk 20 450 (Obr. 2.22).



Obr. 2.22. Čtyřúhelníková výpočetní síť

S cílem snížit počet elementů je možné provést síťování s různou hustotou buněk na jednotlivých hranách s tím, že dodržíme požadavek na zahuštění sítě ve střední části oblasti. Jednotlivé hrany modelu (1 - 8, Obr. 2.23) budeme síťovat s odlišnou hustotou.



Obr. 2.23. Čtyřúhelníková výpočetní síť se zhuštěním

Parametry síťování jednotlivých hran modelu:

- Hrana 1 počet elementů 210 ("Interval count"), zhuštění v obou směrech ke středu s poměrem 0.985 ("Grading - Double sided")
- ♣ Hrana 2,5 velikost elementů 0.5 ("Interval size")
- Hrana 3,4 počet elementů 100 ("Interval count"), zhuštění směrem ke středu s poměrem 0.98 ("Grading")
- ♣ Hrana 6,8 velikost elementů 0.5 ("Interval size")
- ♣ Hrana 7 počet elementů 10 ("Interval count")

Z definice parametrů síťování jednotlivých hran je patrné, že na jednotlivých hranách je definována velikost elementů, a na jiných počet elementů. Počet elementů je použit v případě hran 1,3,7,4. Důvodem je skutečnost, že součet elementů na hranách 3,7,4 musí být roven počtu elementů na hraně 1, tak aby bylo možné vygenerovat čtyřúhelníkovou výpočetní síť. Zhuštění výpočetní sítě směrem ke středu oblasti je patrné z Obr. 2.24 vpravo. Z obrázku vlevo je patrná zhuštěná výpočetní síť v střední oblasti (kolem samotné clony).



Obr. 2.24. Detail výpočetní sítě (zúžená střední části, od začátku ke středu)

Z detailů zhuštění je patrné, že výpočetní síť není ideálně rovnoměrná, ale toho nelze dosáhnout, protože je nutné hrany 1,3,7,4 síťovat samostatně. V porovnání z předchozí variantou automatického síťování je celkový počet elementů 10450, což je o polovinu méně než v předchozí variantě. Další vylepšení síťování v okolí clony lze provést rozdělením stávající geometrie, její úpravou a následným postupným síťováním hran a ploch.

## **Rozdělení 2D osově symetrické geometrie, úprava geometrie, síťování**

Cílem této úpravy je rozdělení na dílčí plochy, které lze následně snadněji síťovat, a tím pádem dosáhnout i lepší kvality výsledné sítě včetně zhuštění v oblasti clony. Výsledný model bude obsahovat 5 dílčích ploch (Obr. 2.25).



Obr. 2.25. Původní oblast, rozdělená oblast na dílčí plochy

Načteme geometrii z předchozího příkladu (geometrie-clona.dbs)

	←	
6y		
Gz > Gx	★ ★	

Obr. 2.26. Původní geometrie oblasti clony

Rozdělení plochy můžeme provést několika způsoby. V tomto případě rozdělení plochy provedeme pomocí hran. Nejdříve je nutné hrany vytvořit, a následně je pak použit k rozdělení plochy. V prvním kroku provedeme promítnutí bodů označených v červených kroužcích (Obr. 2.26) na příslušné hrany, tak jak je to vyznačené pomocí čerchované čáry. Takto vytvořené body se následně spojíme v jednotlivé hrany, které se použijí k rozdělení plochy.

Promítnutí bodů na hrany provedeme příkazem "Geometry – Vertex – Project Vertices on Edges".

Project Vertices on Edge				
Vertices	vertexž6			
Edge	edge.1			
F Split edge				
Label	YK			
Apply	Reset Close			

"Vertices" – zdrojový bod nebo soubor bodů, které budou projektovány na příslušnou hranu.

- "Edge" hrana na, kterou bude zdrojový bod projektován.
- "Split edge" funkce umožňující současné rozdělení hrany na kterou je bod projektován.

Apply Reset Cose Ukázka definice promítnutí bodu na příslušnou hranu je zobrazena na Obr. 2.27. Hrana ("edge.1") na kterou je promítán bod je podbarvená červeně a bod ("vertex.6") je naznačen schématicky.

	L	
	<b>†</b>	
69		
<del>βz ≥ βx</del>		
	Designt Ventions on Educ	
	Project Veruces on Eage	
	Vertices vertex 6	
	Edge edge.1 🚖	
	F Split edge	
	Label	
	Apply Reset Close	

Obr. 2.27. Definice promítnutí bodu na hranu

Ukázka výsledků promítnutí bodů včetně rozdělení příslušné hrany je znázorněna na Obr. 2.28. Rozdělná hrana je podbarvená červeně. Výsledné promítnutí všech bodů na jednotlivé hrany je zobrazené na Obr. 2.29.



Obr. 2.28. Výsledek po promítnutí bodu na hranu a její rozdělení



Obr. 2.29. Výsledné promítnutí všech bodů na hrany

Následným krokem vytvoříme hrany pomocí příslušné dvojice bodů příkazem "Geometry – Edge – Create Straight Edge", viz. Obr. 2.30. Takto vytvořené hrany budou následně použity k rozdělení plochy.



Obr. 2.30. Vytvoření jednotlivých hran k rozdělení plochy

Rozdělení plochy pomocí hran provedeme příkazem "Geometry – Face – Split Face".

Split Face				
Face	¥.			
Split with	Edges .	-		
Edges	Ι			
	1			

- "Face" plocha, která bude rozdělená.
- "Split with" entita pomocí které bude plocha rozdělená (např. plocha, hrana, body). V tomto příkladě bude plocha rozdělená pomoci hrany "Edges".
- "Edges" hrana, která se vybere k rozdělení plochy.

Tento příkaz budeme opakovat pět krát a výsledkem bude pět dílčích

ploch, viz. Obr. 2.31.



Obr. 2.31. Výsledná geometrie oblasti po rozdělení

Následné síťování dílčích ploch provedeme samostatně. Obdobně provedeme i síťování jednotlivých hran. Označení jednotlivých dílčích ploch (1 - 5) je patrné z Obr. 2.32, a označení jednotlivých hran je patrné z Obr. 2.33.





Obr. 2.33. Označení dílčích hran

Síťování jednotlivých hran provedeme příkazem "Mesh – Edge – Mesh Edges" s následujícími parametry:

- ♣ Hrana 6,9 velikost elementů 0.5 ("Interval size")
- Hrana 7,8,14,11 velikost elementů 1.2 ("Interval size") zhuštění ve směru k zůžení oblasti s poměrem 1.1 ("Grading")
- Hrana 10,12,13,15,17,19 velikost elementů 1 ("Interval size") zhuštění ve směru k zúžení oblasti s poměrem 0.985 ("Grading")
- ♣ Hrana 16,18,20,21 velikost elementů 0.5 (Interval size")

Pozn. pokud při zhušťování sítě na libovolné hraně program provede zhuštění opačným směrem než je požadováno, pak je nutné směr zhuštění změnit tlačítkem "Invert" v příkazu "Mesh – Edge – Mesh Edges".

V následném kroku provedeme síťování dílčích ploch pomocí příkazu "Mesh – Face – Mesh Faces" definováním čtyřúhelníkových elementů. V nabídce příkazu nezatrhneme možnost definování velikosti elementů ("Spacing"), protože jsou vysíťováný jednotlivé hrany oblasti. Výsledná povrchová síť dílčích ploch celé oblasti je patrná z Obr. 2.34.



Obr. 2.34. Výsledná čtyřúhelníková povrchová síť

Výsledkem postupného síťování je rovnoměrně zahuštěná síť v oblasti clony, viz. Obr. 2.34 s celkovým počtem elementů 4990. Ve srovnání s původním automatickým síťováním je počet elementů čtvrtinový.



Obr. 2.35. Detail zhuštěné výpočetní sítě v oblasti clony

# 2.5. 2D modelu oblasti proudění skrz překážku (příklad 2.4)



Oblast proudění skrz překážku je naznačena na Obr. 2.36.



Obr. 2.36. Geometrie oblasti proudění skrz překážku

Parametry oblasti:

B=200 mm L=220 mm l=30 mm L=150mm M=120mm R=30mm

V programu Gambit vytvoříme geometrii pomocí bodů, hran a ploch. K tvorbě bodů geometrie použijeme příkaz "Geometry – Vertex – Create Real Vertex" zadáním souřadnic bodů (x,y), viz. Obr. 2.37. Následně vytvoříme hrany příkazem "Geometry – Edge – Create Straight Edge". V případě oblouku je nutné použit příkaz "Geometry – Edge – Create Circular Arc". Posledním krokem vytvoříme plochy příkazem "Geometry – Face – Create Face from Wireframe". K tvorbě oblouku musíme definovat tři body oblouku nebo dva body oblouku a střed. Střed oblouku je patrný z Obr. 2.37, který je označený v červeném kolečku.



Obr. 2.37. Body oblasti s překážkou

Oblouk vytvoříme příkazem "Geometry – Edge – Create Circular Arc".



- "Method" metoda pomocí které bude oblouk vytvořen (2 body a střed, 3 body, bod a úhel počátku a konce). Vybrána je metoda dvou bodů a středu.
- ,,Center" střed oblouku.
- "End-Points" počáteční a koncový bod oblouku.
- "Arc" vnitřní nebo vnější oblouk. Vybrán je vnitřní oblouk.

Zbylé body spojíme pomocí hran příkazem "Geometry – Edge – Create Straight Edge", viz. Obr. 2.38.



Obr. 2.38. Hrany oblasti s překážkou



Obr. 2.39. Výsledná plocha oblasti s přepážkou

Poz. za zmínku je nutné zdůraznit, že modelujeme pouze oblast proudění, tzn. že nemodelujeme překážku. Tento přístup je definován v případě, že nás zajímá pouze obtékání překážky. Překážku bychom modelovali fyzicky v případě, že bychom uvažovali s přestupem a vedením tepla pevnou přepážkou.

### Vytvoření povrchové výpočetní sítě

Ukázka povrchové sítě pomocí čtyřúhelníkových elementů pomocí příkazu "Mesh – Face – Mesh Faces" s velikosti elementů 5 ("Interval size") je zobrazena na Obr. 2.40. Parametry definující vlastnosti sítě jsou uvedené v Obr. 2.40. Zvolené typy prvků jsou čtyřúhelníky ("Quad") a schéma ("Map"). Z výsledné výpočetní sítě je patrné, že kvalita sítě je nedostatečná, a tedy použití schémata "Map" je nevhodné pro danou oblast.



Obr. 2.40. Čtyřúhelníková výpočetní síť oblasti s překážkou (schéma "Map")

Další variantou je použití schématu "Pave", viz. Obr. 2.41 se stejnou velikosti elementů 5 ("Interval size"). Z výsledku je viditelné, že kvalita sítě je výrazně lepší, než při použití schématu "Map". Celkový počet vygenerovaných elementů je 3038.



Obr. 2.41. Čtyřúhelníková výpočetní síť oblasti s překážkou (schéma "Pave")

Kromě čtyřúhelníkových elementů lze použit trojúhelníkové elementy jak je viditelné, viz. Obr. 2.42. Použité jsou trojúhelníkové elementy "Tri" a schéma "Pave" s velikosti elementů 5. Z výsledné sítě je patrné, že výpočetní síť je rovnoměrná v celé oblasti. Celkový počet vygenerovaných elementů je 6794.



Obr. 2.42. Trojúhelníková výpočetní síť oblasti s překážkou (schéma "Pave")

#### Zhuštění výpočetní sítě v oblasti kolem přepážky

Funkce **"Size Function"** slouží k definování globálních parametrů síťovaných objektů. Zejména v případech složité geometrie je tento nástroj často používán. Nástroj "Size Function" představuje určitou modifikací nástroje mezní vrstvy. Ve vybrané geometrii se vysíťuje zdrojová entita (hrana, plocha, objem), od které se následně síťuje zbylá oblast geometrie s příslušnými parametry.

Funkce "Size Function" je k dispozici v nástrojích ("Tools – Size Function").

	"Create Size Function" – vytvoření funkce
	"Modify Sizing Function" – modifikace funkce
Size Function	"View Size Function" – náhled na funkci
i 🗳	

Aplikace "Size function" na geometrii oblasti s překážkou.

V prvním kroku vytvoříme síť na oblouku, která bude zdrojovou entitou pomocí příkazu "Mesh – Edge – Mesh Edges" s velikosti buňky 1 ("Interval size"), viz. Obr. 2.43.



Obr. 2.43. Rozmístění buněk na oblouku



Obr. 2.44. Definování parametrů nástroje "Size Function"

V druhém kroku definujeme parametry nástroje "Size Function", viz. Obr. 2.44:

- "Source Entities" zdrojové entity mohou být hrany, plochy a objemy. V tomto případě bude vybrána hrana (oblouk).
- "Attachment Entities" entita na kterou bude "Size Function" aplikována (hrany, plochy a objemy). V tomto případě bude vybrána plocha (celá oblast).
- "Start size" velikost první řady buněk od zdrojové entity (definujeme hodnotu 1).
- "Growth rate" růstový faktor (definujeme hodnotu 1.1).
- 4 "Max size" maximální velikost buňky (definujeme hodnotu 5).

Dalším krokem vytvoříme povrchovou síť v celé oblasti příkazem "Mesh – Face – Mesh Faces", viz. Obr. 2.45.



Obr. 2.45. Výsledná plošná síť použitím nástroje "Size Function"

Nástroj "Size Function" lze libovolně modifikovat, a to změnou parametrů ("Start size", "Growth rate", "Max size"). Příkladem je např. zvýšení hodnoty "Max size" z 5 na 10.

Modifikace nástroje "Size Function" realizujeme příkazem "Tools – Size Function" – Modify Size Function" změnou hodnoty "Max size" na hodnotu 10 (Obr. 2.46). Následně se povrchová síť přesíťuje příkazem "Mesh – Face – Mesh Faces".



Obr. 2.46. Výsledná plošná síť použitím nástroje "Size Function" s "Max size" = 10

Zhuštění výpočetní sítě v okolí překážky můžeme provést i pomocí mezní vrstvy příkazem "Mesh – Boundary Layer – Create Boundary Layer". Nejdříve vytvoříme síť na oblouku pomocí velikosti elementů 0.5 ("Mesh – Edge – Mesh Edges"). Následně definujeme parametry mezní vrstvy, viz. Obr. 2.47.



- "First row" velikost první řady buňky (0.5).
- "Growth factor" růstový faktor (1.1).
- "Rows" počet řad (15).
- "Depth" tloušťka mezní vrstvy.

Obr. 2.47. Parametry definování mezní vrstvy

V dalším kroku definujeme zhuštění na jednotlivých hranách, viz. Obr. 2.48. Červenými šipkami jsou označené hrany, u kterých je definováno zhuštění pomocí parametrů, které jsou u obrázku uvedené.



Obr. 2.48. Definování rozmístění bodů na jednotlivých hranách překážky Zbylé hrany jsou definovány s konstantní velikosti elementů 10, (Obr. 2.49).



Obr. 2.49. Mezní vrstva, rozdělení elementů na jednotlivých hranách

Posledním krokem vytvoříme povrchovou síť v celé oblasti pomocí příkazu "Mesh – Face – Mesh Faces". Níže jsou ukázky čtyřúhelníkové a trojúhelníkové výpočetní sítě.



Obr. 2.50. Čtyřúhelníková výpočetní síť oblasti s překážkou včetně mezní vrstvy



Obr. 2.51. Trojúhelníková výpočetní síť oblasti s překážkou včetně mezní vrstvy



Vytvoření 2D geometrie a výpočetní sítě v oblasti s překážkou v programu Gambit 2.4.6 si může student zobrazit

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_2\ soubor Gambit\_6.exe

# 2.6. 2D model geometrie trubky se sekundárním vstupem, povrchové síťování oblasti (příklad 2.5)



Čas ke studiu: 2 hodiny

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- vytvořit 2D geometrii trubky se sekundárním vstupem pomocí různých nástrojů
- generovat čtyřúhelníkovou a trojúhelníkovou automatickou výpočetní síť



Oblast proudění trubkou se sekundárním vstupem je znázorněna na Obr. 2.52.



Obr. 2.52. Geometrie oblasti trubky se sekundárním vstupem

Parametry geometrie: D=10mm L=100mm R=50mm d=2mm l=15mm m=80mm **Tvorba 2D geometrie oblasti trubky se sekundárním vstupem** 

Tvorba geometrie pomoci dílčích entit (body, hrany, plocha).

Vytvoření jednotlivých bodů geometrie provedeme zadáním souřadnic (x,y) podle parametrů oblasti příkazem "Geometry – Vertex – Create Real Vertex". Výsledné body celé oblasti jsou znázorněny na Obr. 2.53.



Obr. 2.53. Body geometrie trubky se sekundárním vstupem

Některé body geometrie můžeme vytvořit kopii příkazem "Geometry – Vertex – Move/Copy Vertices".



- "Copy" kopie bodu.
- "Translate" posun bodu.
- "Global" souřadnice o které je přesunuta kopie bodu (v tomto případě se jedná o vzdálenost 10 v záporném směru osy x).
- Červená šipka naznačuje směr přesunu kopie bodu.

Dalším krokem vytvoříme jednotlivé hrany oblasti příkazem "Geometry – Edge – Create Straight Edge" a "Geometry – Edge – Create Circular Arc" (Obr. 2.54).





Pak následuje vytvoření trubky se sekundárním vstupem. Nejdříve vytvoříme kopie dvou bodů (Obr. 2.55) konce trubky a ty se spojíme hranami. V průniku hran s obloukem vytvoříme body příkazem "Geometry – Vertex – Create Vertices at Edge Intersections" (Obr. 2.56).



Obr. 2.55. Kopie dvou bodů a vytvoření hran



Obr. 2.56. Vytvoření bodu průnikem hran (oblouk a přímá úsečka)

Dalším krokem rozdělíme hrany trubky sekundárního vstupu pomocí příkazu "Geometry – Edge – Split Edge" (Obr. 2.57).



Obr. 2.57. Rozdělení hran trubky sekundárního vstupu

Následně odstraníme přebytečné hrany příkazem "Geometry – Edge – Delete Edge" a rozdělíme oblouk pomocí bodů příkazem "Geometry – Edge – Split Edge" (Obr. 2.58).



Obr. 2.58. Odstranění přebytečných hran rozdělení oblouku pomocí bodů

Posledním krokem vytvoříme výslednou plochu příkazem "Geometry – Face – Create Face from Wireframe" (Obr. 2.59).



Obr. 2.59. Výsledná plocha trubky se sekundárním vstupem

Ukázka čtyřúhelníkové a trojúhelníkové výpočetní sítě provedená pomocí příkazu "Mesh – Face – Mesh Faces" s velikosti elementu 1 je zobrazena na Obr. 2.60.



Obr. 2.60. Čtyřúhelníkové a trojúhelníkové elementy celé oblasti

# Animace

Vytvoření 2D geometrie a výpočetní sítě trubky se sekundárním vstupem v programu Gambit 2.4.6 si může student zobrazit

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_2\ soubor Gambit\_7.exe



# Shrnutí pojmů 2

2D geometrické tvary (čtverec, kružnice, elipsa), nástroje úpravy 2D ploch (rozdělení, sloučení, boolovské operace, posun, rotace, zrcadlení a scale, 2D čtyřúhelníková výpočetní síť, trojúhelníková výpočetní síť, velikost elementů na hraně, počet elementů na hraně, zhušťování sítě na hraně v jednom i obou směrech, parametry zhušťování, definování mezní vrstvy, size function.



# Otázky 2

- 1. Jaké typy plošných a objemových entit lze v prostředí programu Gambit tvořit?
- 2. Jaké nástroje lze použit pro práci z 2D objekty?
- 3. Co znamená pojem "Boolovské operace"?
- 4. V jakých formátech lze importovat geometrii z externího programu do prostředí programu Gambit?
- 5. Jaké typy prvků lze použít při tvorbě povrchové sítě v programu Gambit?
- 6. Vysvětlete pojem mezní vrstva?
- 7. Vysvětlete pojem size function?

# 3. 3D TVORBA GEOMETRIE A VÝPOČETNÍ SÍTĚ V PROGRAMU GAMBIT 2.4.6

#### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Bude	te umět:	
•	tvořit a upravovat různé 3D geometrie v programu Gambit 2.4.6	
•	aktivně používat různé nástroje k tvorbě a úpravě 3D geometrie	
•	definovat odpovídající typy 3D elementů k tvorbě výpočetní sítě	
•	vytvářet 3D výpočetní sítě postupným síťováním (síťování hran, ploch a objemů) na vytvořené geometrii	Budete umět
•	definovat parametry objemového síťování (velikost buněk, typy 3D prvků a schémata objemového síťování)	
•	definovat a používat mezní vrstvu	
•	používat "size function" v 3D geometriích	

# 3.1. Tvorba 3D geometrie v programu Gambit 2.4.6



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- vhodně pracovat s nástroji k tvorbě a úpravě 3D geometrie
- vytvářet různé 3D geometrie (jednoduché, složité)

# **Výklad**

V programu Gambit 2.4.6 lze vytvářet řadu různých předdefinovaných 3D geometrických prvků (krychle, hranol, válec, koule, pyramidu, anuloid, komolý kužel, anuloid). Postup tvorby 3D modelu je totožný s postupem 2D modelu. Lze vytvářet výše uvedené předdefinované prvky, nebo generovat 3D modely pomocí bodů, hran, ploch a objemů. V průběhu vytváření 3D modelů lze použít celou řadů nástrojů k úpravě geometrie. Další možnosti je importování geometrie vytvořené v jiném CAD programu, kterou lze následně v programu Gambit vhodně upravovat a popřípadě doplňovat.

### Tvorba přednastavených 3D geometrických prvků

Mezi přednastavené 3D prvky v programu Gambit patří hranol, krychle, válec, koule, komolý kužel, prizmatický prvek a anuloid. Jednotlivé nabídky jsou uvedené níže (Obr. 3.1).

Brick			
Cylinder			
Prism Width(X)	Create Real Brick	Create Real Cylinder	Create Real Prism
Pyramid Depth(Y) Height(Z) Frustum Coordinate		Radius 1 $H$ $H$ $H$ Radius 2 $H$ $R_1$	Radius 2
Sphere	Centered _	Coordinate Sys.     _c_sys.1       Axis Location     Positive Z	Coordinate Sys.     Image: C_sys.1       Axis Location     Positive Z
Torus Apply	Reset Close	Label Apply Reset Close	Label I Apply Reset Close
Create Real Pyramid	Create Real Frustum	Create Real Sphe	re Create Real Torus
Sides	Radius 1 $\downarrow$ Radius 2 $\downarrow$ Radius 3 $\downarrow$	Radius Radius	Radius 1 Radius 2 Rad
Coordinate Sys.	Coordinate Sys.     [c_sys.1]       Axis Location     Positive Z	Coordinate Sys.	Coordinate Sys. Center Axis Z axis
Label I Apply Reset Close	Label I Apply Reset	Close Apply Reset	Label I Close Apply Reset Close

Obr. 3.1 – Předdefinované 3D elementy v programu Gambit 2.4.6

Tvorba krychle nebo hranolu ("Create Real Brick")

- Šířka ("Width(X)") velikost šířky.
- Hloubka ("Depth(Y)") velikost hloubky.
- Výška ("Height(Z)") velikost výšky.
- Souřadný systém ("Coordinate Sys.") lze použít přednastavený souřadný systém nebo můžeme vybrat souřadný systém, který si uživatel vytvoří.
- Směr ("Direction") směre definujeme umístnění vytvořeného objektu v prostoru (v rovině +X+Y+Z, +X+Y-Z, +X-Y-Z,....).
- Označení ("Label") označením definujeme pojmenování 3D objektu.

Tvorba válce ("Create Real Cylinder")

- Výška ("Height") velikost výšky.
- Poloměr 1 ("Radius 1") velikost poloměru 1.
- Poloměr 2 ("Radius 2") velikost poloměru 2.
- Souřadný systém ("Coordinate Sys.") lze použít přednastavený souřadný systém nebo můžeme vybrat souřadný systém, který si uživatel vytvoří.
- Poloha osy ("Axis Location) definujeme polohu osy válce ("positive Z, negative Z, centered Z",…), např. v kladné směru osy Z nebo v záporném směru osy Z.
- Označení ("Label") označením definujeme pojmenování 3D objektu.

Tvorba prizmatického prvku ("Create Real Prism")

- Výška ("Height") velikost výšky.
- Počet stran ("Sides") definujeme počet stran prizmatického prvku.
- Poloměr 1 ("Radius 1") velikost poloměru 1.
- Poloměr 2 ("Radius 2") velikost poloměru 2.

- Souřadný systém ("Coordinate Sys.") lze použít přednastavený souřadný systém nebo můžemee vybrat souřadný systém, který si uživatel vytvoří.
- Poloha osy ("Axis Location) definujeme polohu osy válce ("positive Z, negative Z, centered Z",…), např. v kladné směru osy Z nebo v záporném směru osy Z.
- Označení ("Label") označením definujeme pojmenování 3D objektu.

Tvorba pyramidy ("Create Real Pyramid"):

- Výška ("Height") velikost výšky.
- Počet stran ("Sides") definujeme počet stran pyramidy.
- Poloměr 1 ("Radius 1") velikost poloměru 1.
- Poloměr 2 ("Radius 2") velikost poloměru 2.
- Poloměr 3 ("Radius 3") velikost poloměru 3.
- Souřadný systém ("Coordinate Sys.") lze použít přednastavený souřadný systém nebo můžeme vybrat souřadný systém, který si uživatel vytvoří.
- Poloha osy ("Axis Location) definujeme polohu osy válce ("positive Z, negative Z, centered Z",…), např. v kladné směru osy Z nebo v záporném směru osy Z.
- Označení ("Label") označením definujeme pojmenování 3D objektu.

Tvorba komolého kužele ("Create Real Frustum"):

- Výška ("Height") velikost výšky.
- Poloměr 1 ("Radius 1") velikost poloměru 1.
- Poloměr 2 ("Radius 2") velikost poloměru 2.
- Poloměr 3 ("Radius 3") velikost poloměru 3.
- Souřadný systém ("Coordinate Sys.") lze použít přednastavený souřadný systém nebo můžeme vybrat souřadný systém, který si uživatel vytvoří.
- Poloha osy ("Axis Location) definujeme polohu osy válce ("positive Z, negative Z, centered Z",…), např. v kladné směru osy Z nebo v záporném směru osy Z.
- Označení ("Label") označením definujeme pojmenování 3D objektu.

Tvorba koule ("Create Real Sphere"):

- Poloměr ("Radius") velikost poloměru.
- Souřadný systém ("Coordinate Sys.") lze použít přednastavený souřadný systém nebo můžeme vybrat souřadný systém, který si uživatel vytvoří.
- Označení ("Label") označením definujeme pojmenování 3D objektu.

Tvorba anuloidu ("Create Real Torus"):

- Poloměr 1 ("Radius 1") velikost poloměru 1.
- Poloměr 2 ("Radius 2") velikost poloměru 2.
- Souřadný systém ("Coordinate Sys.") lze použít přednastavený souřadný systém nebo můžeme vybrat souřadný systém, který si uživatel vytvoří.
- Střed osy ("Center Axis") osa středu (X,Y,Z osa).
- Označení ("Label") označením definujeme pojmenování 3D objektu.

## Různé nástroje tvorby 2D geometrických objektů

		Stitch Faces
	Faces 🚺	•
	Number:	🔶 Single volume
		Multiple volumes
	Туре:	🔶 Real
		🕹 Virtual
		$\diamond$ Real and Midual
	Tolerance	Auto 🖿
<b>F</b>	Label I	
	Apply	Reset Close



		Revolve Faces
	Faces	<u>ĭ</u>
	Angle	I
	Axis	Define
		(0, 0, 0) -> (0, 0, 1)
	Draft:	
	Туре	🔲 Extended 🔲 Round
	Auje	I
	🔲 With m	esh
Ĵ.	Label	Į
¢.,	Apply	Reset Close

Tvorba obecného 3D objektu ("Stitch Faces") z vytvořených ploch, které musí tvořit uzavřený 3D objekt.

- Plochy ("Faces") výběr ploch uzavřeného 3D objektu.
- Typ (",Type") reálná nebo virtuální geometrie.
- Tolerance ("Tolerance") umožňuje definovat toleranci s jakou lze vytvořit 3D objekty i v případě, že hrany objektu netvoří uzavřený celek.
- Označení ("Label") pojmenování 3D objektu.

Tvorba 3D objektu vytažením plochy ("Sweep Faces").

- Plochy ("Faces") plochy k vytažení.
- Cesta ("Path") způsob vytažení plochy (po hraně "Edge" nebo ve směru vektoru "Vector"). Pokud zvolíme např. vytažení ve směru vektoru lze definovat vektor v jednotlivých směrech souřadného systému včetně vzdálenosti.
- Se síti ("With mesh") vytažení společně se síti, která je vytvořená na ploše.
- Typ ("type") umožňuje definovat vysouvání např. pod úhlem nebo se zaoblením.
- Označení ("Label") pojmenování 3D objektu.

Tvorba 3D objektu rotací plochy kolem osy.

- Plochy ("Faces") výběr ploch k rotaci.
- Úhel ("Angle") úhel rotace.
- Osa ("axis") definuje osu rotace. Osou rotace může být hrana, nebo osa souřadného systému.
- Návrh ("Draft") umožňuje definovat vlastnosti vysouvání (např. zúžení, rozšíření,….)
- Se síti ("With mesh") při rotaci dojde současně k vytažení sítě.
- Označení ("Label") pojmenování 3D objektu.

	Create Volume from Wireframe			
	Edges 🎽 💼			
	Type: 🔶 Real 💊 Virtual			
	Tolerance Auto 🗖			
ii -	Label			
	Apply Reset Close			

Tvorba 3D objektu s jednotlivých hran ("Create Volume from Wireframe).

- Hrany ("Edges") výběr hran 3D objektu.
- Typ ("Type") reálná nebo virtuální geometrie.
- Označení ("Label") pojmenování 3D objektu.

### Nástroje k úpravě 3D objektů



	ວພ	Subtract Real Volumes		
	Volume	e		
		📕 Retain		
	Subtract			
	Volumes	I		
		📕 Retain		
$\sim$	Tolerance	Auto 🖃		
	Apply	Reset	Close	

	Intersect Real Volumes		
	Volumes	Ĭ	•
		🔟 Retain	
$\langle \mathfrak{O} \rangle$	Tolerance	Auto 🗖	
	Apply	Reset	Close

	Volume		
	Split With	Volumes (Re	al) 🔟
	Volumes	I	
	Tolerance	Auto 🗖	
	🔟 Retain		
	📕 Bidirecti	onal	
	📕 Connec	ted	
_			
⊂1			
4a			
_' 🗗			
<b>•</b>	Apply	Reset	Close

Boolovská operace součet ("Unite Real Volumes") slouží ke sčítání ploch.

- Objemy ("Volumes") výběr objemů ke sčítání.
- "Retain" přepínač, který potlačuje smazání objemů, které jsou vybrány ke sčítání. Pokud je přepínač zapnut, tak zůstane pouze výsledný objekt.
- Tolerance ("Tolerance") definování tolerance se, kterou pracuje virtuální geometrie.

Boolovská operace rozdílu ("Substract Real Volumes") slouží k vytvoření objektu odečtením jednoho objemu pomoci druhého objemu.

- Objem ("Volume") zdrojový objem, od kterého se odečte druhých objemů.
- Odečítané objemy ("Substract Volumes") objemy pomocí kterých se od primárního objemu odečtou.
- "Retain" nástroj pomocí kterého zůstanou zachovány všechny objemy použité k provedení tohoto příkazu.

Boolovská operace průniku ("Intersect Real Volumes") objemů.

- Objemy ("Volumes") objemy k výběru průniku.
- "Retain" nástroj pomocí kterého zůstanou zachovány původní objemy před provedením příkazu.

Rozdělení objemu ("Split Volume") – příkaz umožňující rozdělení objemů.

- Objem ("Volume") výběr objemu k rozdělení.
- Dělení ("Split with") výběr typu entity pomocí které bude objem rozdělen. Entitou k dělení objemu může být plocha, nebo jiný objem. Entita může být reálnou nebo virtuální geometrii.
- Objemy ("Volumes") výběr konkrétní entity (objemu) k dělení.
- Pomocné nástroje ("Retain, Connected"). Význam je popsán v kapitole tvorby 2D geometrie.

	Merge Volumes		
_	Volumes 👔		
ŧa.	Type: 🔶 Real 🕹 Virtual		
<b>, , , , , , , , , ,</b>	Apply Reset Close	l	

Sloučení objemů ("Merge Volumes") – příkaz ke sloučení dvou a více objemů v jeden objekt.

- Objemy ("Volumes") objemy ke sloučení.
- Typ ("Type") Lze pracovat s reálnou nebo virtuální

geometrii.

	Move / Copy Volumes		
	Volumes Pick 💷 🚶 🚹		
	🔶 Move 🗘 Copy 🛐		
	Operation:		
	<ul> <li>◆ Translate</li> <li>◆ Rotate</li> <li>◆ Reflect</li> <li>◆ Scale</li> </ul>		
	Coordinate Sys. [c_sys.1		
	Type Cartesian 🖬		
	Global Local		
	x: 0 x: 0		
	<b>λ:</b> 0 <b>λ:</b> 0		
	z: 0 z: 0		
b <b>⇔</b> Ü	_1 Connected geometry		
¥ *	Apply Reset Close		

operace).

Posun/Kopie objemu ("Move/Copy Volumes") - příkaz umožňující posun nebo kopii objemů.

- Objemy ("Volumes") výběr objemů k provedení • operace (posun/kopie).
- Posun Kopie ("Move Copy") definování počtu • v případě příkazu kopie.
- Operace ("Operation") typ operace (posun -• "translate", rotace – "rotate", zrcadlení – "reflect", měřítko – "scale").
- V případě aplikace operace posun "translate" je nutné definovat polohu umístění objemu pomocí souřadnic (x,y,z). Pokud vybereme jinou operace je nutné definovat příslušné parametry (v závislosti na typu

# 3.2. Tvorba 3D geometrie pomocí dvou metod (příklad 3.1)

Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- vytvořit 3D objekt rozšíření pomocí dvou metod
- vhodně používat a aplikovat různé nástroje k tvorbě a úpravě 3D geometrie



Výklad

Příklad vytvoření níže uvedené 3D geometrie (Obr. 3.2).



Obr. 3.2. 3D geometrie

Parametry oblasti:

L=3.5mB=1.5mD=0.5md=0.1m $L_s=0.7m$ 

#### **vytvoření 3D geometrie pomocí předdefinovaných entit (objemy)**

- Spustíme programu Gambit 2.4.6
- V nabídce nástrojů zvolíme "Geometry" "Volume " "Create Real Brick"

V prvním kroku vytvoříme hranol 1 o rozměrech L x B x D. Umístění objemu 1 je ve středu souřadného systému ("Centered"), Obr. 3.3.



Obr. 3.3. Hranol 1 o rozměrech L x B x D

V druhém kroku vytvoříme hranol 2 o rozměrech  $L_s x B x d$ , který opět umístíme do středu souřadného systému ("Centered"), Obr. 3.4.



Obr. 3.4. Hranol 2 o rozměrech L<sub>s</sub> x B x d

Z výsledků umístění objemů je patrné, že umístění hranolu 1 a hranolu 2 je ve středu souřadného systému. Dalším krokem přesuneme hranol 2 do polohy odpovídající, Obr. 3.5. pomocí příkazu "Geometry – Volume – Move/Copy Volume. Pokud definujeme posun geometrie zadáváme vzdálenosti v jednotlivých směrech souřadného systému. V tomto případě definujeme hodnoty ve směru osy x=-1.4 a ve směru osy y=0.2. Výsledek operace posunutí hranolu 2 je patrný z Obr. 3.5.



Obr. 3.5. Operace posunutí hranolu 2

Poslední operací je "vyříznutí" z hranolu 1 hranol 2 pomocí boolovské operace rozdílu ("Subtract Real Volume"), viz. Obr. 3.6. V případě zatržení parametru "Retain" původní hranoly 1 a 2 zůstanou zachovány. Výsledkem by tedy byly tři objemy (dva původní a výsledný objem).



Obr. 3.6. Boolovská operace rozdílu dvou hranolu

Výsledný objem oblasti je znázorněn na Obr. 3.7.



Obr. 3.7. Výsledný objem oblasti

Vytvoření oblasti pomocí tvorby bodů, hran a ploch

Vytvoření bodů pomocí příkazu "Geometry – Vertex – Create Real Vertex". Celkem vytvoříme 12 bodů.

- Vytvoření hran pomocí příkazu "Geometry Edge Create Straight Edge". Celkem vytvoříme 18 hran.
- Vytvoření ploch pomocí příkazu "Geometry Face Create Face from Wireframe". Celkem vytvoříme 8 ploch.

Jednotlivé body vytvoříme zadáním souřadnic x,y,z podle schématu (Obr. 3.2).



Obr. 3.8. Vytvořené body celé oblasti



Obr. 3.9. Vytvořené hrany celé oblasti



Obr. 3.10. Vytvořené plochy celé oblasti



Obr. 3.11. Vytvoření celého objemu oblasti

Dílčí kroky vytvoření 3D geometrie oblasti jsou patrné z Obr. 3.8, Obr. 3.9, Obr. 3.10, Obr. 3.11. Nejrychlejším způsobem vytvoření výsledného objemu je vysunutí čelní plochy ve směru kolmém na plochu (Obr. 3.12) pomocí příkazu "Geometry – Volume – Sweep Faces".



Obr. 3.12. Ukázka vysunutí plochy do prostoru

V panelu nástroje vysunutí nejdříve vybereme odpovídající plochu, kterou chceme vysunout ("Faces"). Dále definujeme zda plochu budeme vysouvat po hraně nebo ve směru jedné z os souřadného systému ("Path"). Vybereme nabídku "Vector", ve které specifikujeme parametry vysunutí (panel zobrazen vpravo, Obr. 3.13). Nejdříve zadejme vzdálenost, na kterou chceme plochu vysunout ("Magnitude", hodnotou 1.5). Dle definujeme ve kterém směru souřadné osy plochu budeme vysouvat "Direction", v tomto případě z – negative, viz. Obr. 3.13. Výsledný objem je zobrazen na Obr. 3.14.



Obr. 3.13. Definování parametrů vysunutí plochy do prostoru



Obr. 3.14 – Výsledný objem oblasti

Výsledný objem uložme např. pod názvem (geometrie-3D-rozsireni.dbs).


Vytvoření 3D geometrie s náhlým rozšířením v programu Gambit 2.4.6 si může student zobrazit

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_3\ soubor Gambit\_8.exe

## 3.3. Tvorba 3D výpočetní sítě pomocí dvou metod (příklad 3.2)



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- vytvořit 3D výpočetní síť
- generovat výpočetní síť pomocí dvou metod (automatické síťování, postupné síťování)
- používat mezní vrstvu



# Výklad

Příklad vytvoření výpočetní sítě na geometrii dle kapitoly 3.2 (Obr. 3.2).

#### Vytvoření výpočetní sítě pomocí předdefinovaných schémat objemu

V prvním kroku provedeme načtení vytvořené geometrie dle kapitoly 3.2. (geometrie-3D-rozsireni.dbs).



Obr. 3.15. 3D geometrie Objemové síťování umožňuje použití:

- šestistěnné prvky
- šestistěnné/klínovité prvky
- čtyřstěnné/hybridní prvky

Objemové síťování pomocí šestistěnných prvků provedeme příkazem "Mesh – Volume – Mesh Volumes" (Obr. 3.16).



Obr. 3.16. Objemová výpočetní síť tvořena šestistěnnými prvky

V nabídce šestistěnných prvků definujme typ elementů "Hex" a velikost elementů ("Interval size = 0.1). Celkový počet buněk je 2520.

Čtyřstěnné/hybridní prvky se generují stejným příkazem jako šestistěnné prvky. Definování parametrů čtyřstěnných/hybridních prvků je znázorněn na Obr. 3.17.



Obr. 3.17. Objemová výpočetní síť tvořena čtyřstěnnými/hybridními prvky

V nabídce čtyřstěnných/hybridních prvcích definujme typ elementů "Tet/Hybrid" a podnabídku "Type - Tgrid". Dále definujme velikost elementů ("Interval size = 0.1). Celkový počet buněk je 15781.

Další možnosti je kombinace šestistěnných a čtyřstěnných/hybridních prvků, kdy čtyřstěnné/hybridní prvky vyplňují výpočetní oblast kolem okrajových ploch oblasti. Naproti tomu šestistěnné prvky vyplňují středovou část oblasti (Obr. 3.18)



Obr. 3.18. Definice parametrů kombinace šestistěnných a čtyřstěnných/hybridních prvků



Obr. 3.19. Ukázka výsledku použití kombinace šestistěnných a čtyřstěnných/hybridních prvků

Parametry kombinace šestistěnných a čtyřstěnných/hybridních prvků jsou uvedené na Obr. 3.19. Typy elementů se volí čtyřstěnné/hybridní prvky "Tet/Hybrid" s podnabídkou šestistěnných elementů "Hex Core (Native). Dále definujeme počet řad čtyřstěnných/hybridních prvků "Offset layers" (V tomto případě 3) a velikost elementů "Interval size" (0.05).

Další automatickou funkcí tvorby objemové výpočetní sítě je nástroj "Cooper", který umožňuje vytažení povrchové sítě do objemu s definovaným krokem prvků. Tento nástroj je aplikovatelný pouze pro šestistěnné prvky, kdy je nutné vysíťovat zdrojovou plochu (Obr. 3.20) pomocí příkazu "Mesh – Face – Mesh Faces", která bude použita k vytažení prvků do prostoru. Ukázka této funkce je znázorněna na Obr. 3.21. Typ elementů prvků vybereme "Hex/Webe" (šestistěné/klínovité prvky) s nabídkou "Cooper". V položce "Source" vybereme zdrojovou vysíťovánou plochu a plochu po kterou bude objemové síťování pokračovat. Tyto plochy jsou v modelu na Obr. 3.21 označené bílou barvou. Posledním parametrem je velikost elementů ve směru vytažení "interval size" (0.05).



Obr. 3.20. Zdrojová plocha k použití funkce "Cooper" pro objemové síťování



Obr. 3.21. Definice parametrů objemového síťování šestistěnnými prvky pomocí funkce "Cooper"





# Vytvoření výpočetní sítě pomoci postupného síťování (síťování jednotlivých hran a ploch)

Vytváření objemové sítě postupným síťováním jednotlivých hran a ploch umožňuje vytváření sítě o různé velikosti elementů (šestistěnné, klínovité čtyřstěnné/hybridní nebo trojúhelníkové prvky). Lze dosáhnout různé hustoty výpočetní sítě v jednotlivých částech modelu. Tato funkce je vhodná v případech, že předpokládáme výrazné změny gradientu proudových veličin, např. v místech náhlého rozšíření nebo zúžení proudového kanálu.

Načteme 3D geometrii vytvořené dle kapitoly 3.2 (geometrie-3D-rozsireni.dbs).

Vytvoření sítě na jednotlivých hranách plochy provedeme pomocí uživatelského nástroje "Mesh – Edge – Mesh Edges". V panelu vybereme příslušnou hranu ("Edges", popřípadě množinu více hran, kde chceme definovat vlastnosti, tzn. rozmístění bodů na hraně (velikost vzdálenosti dvou bodů nebo počet bodů). Dalším krokem je vytvoření povrchových sítí (čtyřúhelníkové, trojúhelníkové prvky) na všech plochách 3D oblasti.

Definování elementů na jednotlivých hranách s konstantní velikosti 0.1 ("Interval size") je zobrazeno na Obr. 3.23.



Obr. 3.23. Definice rozmístění bodů na jednotlivých hranách



Obr. 3.24. Definování parametrů povrchového síťování na všech plochách 3D modelu

K definování povrchové sítě použijeme čtyřúhelníkové elementy, které jsou definovány na Obr. 3.24. Výsledná objemová síť je znázorněna na Obr. 3.25.



Obr. 3.25. Výsledná objemová síť v důsledku postupného síťování

Další možností postupného síťování je možnost vytvoření zhuštění výpočetní sítě v libovolné oblasti. Na stejné geometrii si ukážeme možnost zhuštění objemové sítě směrem k jedné z čelních ploch. Na Obr. 3.26 jsou vyznačené příslušné hrany, na kterých je provedeno zhuštění s poměrem 1.15 a velikosti elementu 0.05. V dalším kroku vytvoříme čtyřúhelníkovou povrchovou síť na čelní ploše s velikosti elementů 0.05, viz. Obr. 3.27.



Obr. 3.26. Parametry zhuštění hran 3D modelu



Obr. 3.27. Čtyřúhelníkové elementy na zdrojové ploše k objemovému síťování

Posledním krokem je vytvoření objemové sítě tvořené šestistěnnými prvky pomocí funkce "Cooper". Definování parametrů funkce "Cooper" je znázorněno na Obr. 3.28. Z obrázku je patrná zdrojová plocha a protější plocha, do které bude síťování prováděno.



Obr. 3.28. Parametry šestistěnných elementů objemové sítě pomocí funkce "Cooper"

Výsledná objemová síť je znázorněna na Obr. 3.29. Z celkového pohledu na výpočetní síť je patrné zhuštění v blízkosti zdrojové plochy. Toto zhuštění je přehledněji zobrazeno pomocí jedné řady elementů (Obr. 3.30). Celkový počet elementů je 20160.



Obr. 3.29. Výsledná objemová síť



Obr. 3.30. Pohled na zhuštění objemové sítě, která je tvořena šestistěnnými elementy

Zhuštění výpočetní sítě lze provést i pomocí mezní vrstvy, kterou definujeme od čelní plochy, která bude následně použita jako zdrojová plocha pro objemové síťování. Před definováním mezní vrstvy vysíťujeme všechny hrany čelní plochy s konstantní velikosti elementů 0.02. V dalším kroku upřesněme parametry mezní vrstvy (velikost první řady buněk "First row" 0.02, růstový faktor "Growth factor" 1.2 a počet řad "Rows" 10). Všechny parametry mezní vrstvy jsou zobrazené na Obr. 3.31.



Obr. 3.31. Parametry mezní vrstvy 3D objektu



Obr. 3.32. Velikost elementů na hranách k určení velikosti prvků při vysouvání

Vytvořená mezní vrstva je označena bílou barvou, viz. Obr. 3.32. Dalším krokem vytvoříme body na hranách od mezní vrstvy směrem k protější ploše nežli zdrojová plocha. Je definována konstantní velikost bodů 0.1, která přibližně odpovídá velikosti poslední řady buněk mezní vrstvy (Obr. 3.32). V následujícím kroku vytvoříme čtyřúhelníkovou povrchovou síť na zdrojové ploše (Obr. 3.33). Posledním krokem je vytvoření šestistěnných prvků pomocí funkce "Cooper". Definice parametrů funkce "Cooper" je zachycena na Obr. 3.34. Z obrázku jsou patrné zvolené plochy, které jsou označeny červeně. Velikost elementů při vysouvání nespecifikujeme, protože velikost je dány vytvořenými elementy na jednotlivých hranách.



Obr. 3.33. Čtyřúhelníková výpočetní síť na čelní ploše 3D modelu



Obr. 3.34. Definování parametrů objemového síťování pomocí funkce "Cooper"

Výsledná objemová síť vytvořena šestistěnnými prvky s mezní vrstvou je znázorněna na Obr. 3.35. Mezní vrstva je označena bílou barvou. Zhuštění výpočetní sítě k čelní ploše je dobře vidět z Obr. 3.36.



Obr. 3.35. Výsledná objemová síť v celé oblasti



Obr. 3.36. Pohled na zhuštění objemové sítě, která je tvořena šestistěnnými elementy



# Animace

Vytvoření 3D výpočetní sítě v geometrii s náhlým rozšířením v programu Gambit 2.4.6 si může student zobrazit

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_3\ soubor Gambit\_9.exe

#### 3.4. 3D objemové těleso se dvěmi vstupy (příklad 3.3)



Čas ke studiu: 2 hodiny



- Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět
  - vytvořit 3D objemové těleso tvořené šesti objemy
  - vhodně používat různé nástroje k úpravě geometrie
  - vytvořit prostorovou výpočetní síť

# **Výklad**

Vytvořme geometrii šesti vzájemně spojených objemových těles, které jsou níže naznačeny (Obr. 3.37), v programu Gambit 2.4.6 (Objem1 – Objem6). V jednotlivých detailech a pohledech jsou zakótovaný rozměry v jednotkách [mm] (Obr. 3.38). Následně objemové těleso vysíťujeme pomocí šestistěnných a čtyřstěnných hybridních prvků pomocí automatického síťování. Dále proveďme dílčí síťování jednotlivých hran a ploch, tak že budeme realizovat zhuštění v oblastech vstupu a přechodu mezi objemy 2 a 3.



Obr. 3.37. Geometrie 3D oblasti





#### Postup vytvoření 3D geometrie šesti objemů

V prvním kroku vytvoříme objem 3 (Obr. 3.39) podle rozměrů uvedených na Obr. 3.38 pomocí příkazu "Geometry – Volume – Create Real Brick". Objem umístíme do středu souřadného systému "Centered", viz. Obr. 3.39.



Obr. 3.39. Vytvoření objemu 3

Dále vytvoříme objem 4 (Obr. 3.40) podle rozměrů uvedených na Obr. 3.38 pomocí příkazu "Geometry – Volume – Create Real Cylinder". Objem umístíme v kladném směru osy z ("Positive Z"), viz. Obr. 3.40.



Obr. 3.40. Vytvoření objemu 4

Následně objem přesuneme na horní plochu objemu 3 pomocí příkazu "Geometry – Volume – Move/Copy Volume" o vzdálenost z=200 (Obr. 3.41).



Obr. 3.41. Posun objemu 3

Dále vytvoříme kružnici 1 pomocí příkazu "Geometry – Face – Create Real Circular Face", kterou umístíme v rovině YZ, jak je znázorněno na Obr. 3.42. Takto vytvořenou kružnici 1 přesuneme v záporném směru osy z příkazem "Geometry – Face – Move/Copy Faces o vzdálenost 750 jak je patrné z Obr. 3.42.



Obr. 3.42. Definování kružnice v rovině YZ a přesun kružnice

Dalším krokem vytvoříme objem 1 vytažením kružnice 1 pomocí příkazu "Geometry – Face – Sweep Faces" do vzdálenosti 400. Vytažení definujeme v kladném směru osy x a velikost v položce "magnitude" (Obr. 3.43). Po potvrzení parametru směru vytažení se vrátíme do základní nabídky příkazu vytažení. V této nabídce definujeme další parametr vytažení (kolmé vytažení nebo pod úhlem). Variantu vytažení pod úhlem aplikujeme přepínačem "Perpendicular" (Obr. 3.44). V nabídce velikosti úhlu nastavíme -5° a celý příkaz potvrdíme tlačítkem "Apply". Výsledný objem 1 je znázorněn na Obr. 3.44.



Obr. 3.43. Parametry směru vytažení kružnice 1



Obr. 3.44. Definování úhlu vytažení kružnice 1, výsledný objem Obdobným způsobem postupujeme při tvorbě objemu 2.



Obr. 3.45. Vytvoření objemu 2 pomocí vytažení plochy

Objem 2 vytvoříme opět pomocí příkazu vytažení plochy "Geometry – Volume – Sweep Faces" do vzdálenosti 150. Plocha k vysunutí je znázorněna na Obr. 3.45. Stejně tak definujeme směr vysunutí (kladný směr osy x), ale neuvažujeme s vysunutím pod úhlem. Výsledný objem 2 je zobrazen na Obr. 3.45.

Následně vytvoříme objem 6 pomocí příkazu "Geometry – Volume – Create Real Brick" o rozměrech dle Obr. 3.38. Objem umístíme do středu souřadného systému, viz. Obr. 3.46. Finální úpravou je posunutí objemu 6 pomocí příkazu "Geometry – Volume – Move/Copy Volumes" do polohy dle Obr. 3.47 o vzdálenosti x=650, y=50. Výsledné umístění objemu 6 je znázorněno na Obr. 3.47.



Obr. 3.46. Vytvoření objemu 6 (umístění ve středu souřadného systému)



Obr. 3.47. Přesun objemu 6 do finální polohy

Dalším krokem vytvoříme objem 5 a to pomocí bodů, hran a ploch. Nejdříve promítneme body označené červeně na Obr. 3.48 podle šipek a současně hrany těmito body rozdělíme. Promítnutí bodů provedeme pomocí příkazu "Geometry – Vertex – Project Vertices on Edge".



Obr. 3.48. Průmět bodů na hrany a jejich rozdělení

Ukázka příkazu promítnutí bodů na hranu je zobrazena na Obr. 3.48. V jednotlivých nabídkách volíme body a pak hranu. Pokud chceme tyto hrany současně rozdělit promítnutými body, tak zatrhneme přepínač "Split edge". Z Obr. 3.48 jsou patrné i nově vytvořené body na jednotlivých hranách. Takto vytvořené body následně spojíme pomocí hran příkazem "Geometry – Edge – Create Straight Edge", jak je znázorněno na Obr. 3.49 (levý obrázek, hrany jsou obarvené žlutou barvou). Následně z jednotlivých hran vytvoříme příslušné plochy pomocí příkazu "Geometry – Face – Create Face from Wireframe", jak je znázorněno na Obr. 3.49 (Pravý obrázek, plochy jsou obarvené modrou barvou).



Obr. 3.49. Vytvoření jednotlivých hran

Před finální tvorbou objemu 5 je nutné upravit plochu na přechodu objemu 3 a objemu 5, protože plocha od objemu 3 není vhodná k vytvoření objemu 5 (tedy nemáme uzavřený objem 5). Plochu od objemu 3 je nutné rozdělit pomocí hran (Hrana 1, Hrana 2), které byly vytvořené v předchozím kroku pomocí příkazu "Geometry – Face – Split Face". V položce "Face" vybereme plochu, která je v Obr. 3.50 označena (plocha od objemu 3) a v položce "Split with" definujeme "Edges" a vybereme hranu, která je zobrazena na Obr. 3.50 jako Hrana 1. Výsledná plocha po rozdělení je patrná z Obr. 3.51. Nově vytvořená plocha je zobrazena červeně. Stejným způsobem opakujeme tento příkaz k rozdělení plochy vytvořené předchozím příkazem s tím, že hranu k dělení použijeme Hranu 2. Finální plocha k vytvoření objemu 5 je zná zorněna na Obr. 3.51.



Obr. 3.50. Rozdělení plochy pomocí příkazu "Split Face"



Obr. 3.51. Výsledná plocha po rozdělení příkazem "Split Face"

V další fázi vytvořme objem 5 pomocí příkazu "Geometry – Volume – Stitch Faces" výběrem jednotlivých ploch objemu 5 (Obr. 3.52).



Obr. 3.52. Finální vytvoření objemu 5

Tímto krokem jsou vytvořené všechny objemy (6 objemů) a vypadá, že geometrie je kompletní. Po detailním prohlédnutí modelu lze najít dvě místa, která musí být upravena. Jedná se o přechody mezi objemy 2 a 3 a objemy 4 a 3. Konkrétně v těchto místech jsou vytvořené dvě plochy (např. od objemu 2 a 3, pro objemy 4 a 3 je to stejné), které se vzájemně překrývají, jak je patrné Obr. 3.53. Výsledek úpravy musí být, že přechodová plocha od objemu 3, kterou je čtverec musí být čtverec, ale bez kružnice. V podstatě jedná se o rozříznutí této plochy kružnicí od objemu 4 pomocí příkazu "Geometry – Face – Split Faces" jak je patrné z Obr. 3.54. Úprava této plochy je z důvodu následného síťování, protože pokud by jsme síťovali objem 3 a objem 4, tak v přechodovém místě vzniknou dvě povrchové sítě, což by mělo negativní význam na následnou numerickou simulací.



Obr. 3.53. Zobrazení dvou překrývajících se ploch



Obr. 3.54. Rozdělení ploch

Stejnou operací provedeme i pro přechodové plochy mezi objemy 2 a objemy pomocí příkazu "Geometry – Face – Split Face".



Obr. 3.55. Dvě překrývající se plochy

V průběhu tvorby jednotlivých entit se může stát, že se v modelu objevují tzv. Duplicitní entity, které na první pohled nejsou viditelné a samotný program na ně rovněž neupozorňuje. Proto existuje globální příkaz "Geometry – Face – Connect Faces" pomocí, kterého program projde celou geometrii a tyto tzv. duplicitní entity odstraní. Ukázka tohoto příkazu je zobrazena na Obr. 3.56.



Obr. 3.56. Vymazání duplicitních ploch

Po provedení příkazu na odstranění duplicitních entit dostaneme finální geometrii zobrazenou na Obr. 3.57.



Obr. 3.57. Finální geometrie tvořena šesti objemy

Poslední dva nástroje k úpravě geometrie, které byly popsány výše (překrývající se plochy, duplicitní plochy) by měly být použity vždy před ukončením práce na geometrii. Protože následně budeme vytvářet výpočetní síť a numerickou simulací, a pokud narazíme na nějaký problém s geometrii musíme se vrátit zpět k tvorbě a úpravě geometrie. Finální geometrii uložme např. pod názvem (geometrie-3D-6-objemy.dbs).

#### Vytvoření objemové výpočetní sítě na oblasti tvořené 6 objemy

V prvním kroku se pokusme vytvořit automatickou objemovou síť pomocí schémat objemového síťování (šestistěnné elementy, šestistěnné/klínovité elementy, čtyřstěnné/hybridní elementy). Nejdříve si načteme geometrii oblasti tvořenou šesti objemy (geometrie-3D-6-objemy.dbs).



Obr. 3.58. Geometrie se 6 objemy

Přednastavené schémata objemového síťování použijeme pomocí příkazu "Mesh – Volume – Mesh Volumes". Definujeme postupně šestistěnné elementy, šestistěnné/klínovité elementy, čtyřstěnné/hybridní elementy s velikosti elementu "Interval size" (20). Výsledek šestistěnných elementů v oblasti je znázorněn na Obr. 3.59. Z výsledků je patrné, že program byl schopen vytvořit objemovou síť pouze v objemech 5 a 6.



Obr. 3.59. Šestistěnné elementy

Dalším schématem jsou šestistěnné/klínovité elementy zobrazené na Obr. 3.60. Z výsledků je patrné, že program Gambit byl schopen vytvořit tyto elementy v objemech 1,2,4,5,6. Pouze v objemu 3 program nebyl schopen tyto elementy vytvořit. Objemovou síť ve všech objemech program vygeneroval až použitím čtyřstěnných/hybridních prvků s celkovým počtem 123 177 (Obr. 3.61). Tyto elementy jsou nejobecnější a nejvhodnější pro složité geometrie. V tomto případě jsou vhodné zejména pro objem 3.



Obr. 3.60. Šestistěnné/klínovité elementy



Obr. 3.61. Čtyřstěnné/hybridní elementy

Další variantou je tedy kombinace šestistěnných/klínovitých elementů na objemy 1,2,4,5,6 a čtyřstěnných/hybridních elementů na objem 3. Tato varianta je vhodná zejména s ohledem na menší počet šestistěnných/klínovitých elementů ve srovnání s čtyřstěnnými/hybridními elementy stejných rozměrů. Výsledný počet elementů celé oblasti je 68 227, což je asi polovina ve srovnání s variantou použití pouze čtyřstěnných/hybridních elementů.



Obr. 3.62. Kombinace šestistěnných/klínovitých a čtyřstěnných/hybridních elementů

Další variantou je provedení hustější výpočetní sítě v objemech 2 a 4, tedy vstupní objemy. K vygenerování objemové sítě použijeme šestistěnné/klínovité elementy a schéma "Cooper" (vytažení). V prvním kroku vytvoříme povrchovou síť pomocí čtyřúhelníků příkazem "Mesh – Face – Mesh Faces" s velikosti elementů 10 na zdrojových plochách objemu 2 a 4, viz. Obr. 3.63.



Obr. 3.63. Povrchová síť na zdrojových plochách objemů 2 a 4

V druhém kroku definujeme parametry objemového síťování objemu 4 pomocí šestistěnných/klínovitých elementů se schématem "Cooper" (vytažení), kdy vybereme zdrojovou plochu a protější plochu. Velikost elementů po délce vytažení definujeme 5 ("Interval size"), viz. Obr. 3.64.



Obr. 3.64. Parametry šestistěnných/klínovitých elementů schéma "Cooper" (Vytažení) objemu 4, výsledná objemová výpočetní síť

Stejným způsobem vytvoříme objemovou výpočetní síť pro objem 2 se stejnou velikosti elementů po délce objemu ("Interval size", 5), viz. Obr. 3.65.



Obr. 3.65. Parametry šestistěnných/klínovitých elementů schéma "Cooper" (Vytažení) objemu 2, výsledná objemová výpočetní síť

V dalším kroku vysíťujeme objem 1 pomocí příkazu "Mesh – Volume – Mesh Volumes" (šestistěnné/klínovité elementy) a schéma "Cooper" (vytažení), kdy opět vybereme zdrojovou plochu, která je společnou plochou s objemem 2 a protější plochou. Velikost elementů po délce definujeme 20 ("Interval size"), viz. Obr. 3.66.



Obr. 3.66. Síťování objemu 1 pomocí

Další objemy (5,6) vysíťujeme pomocí šestistěnných/klínovitých elementů příkazem "Mesh – Volume – Mesh Volumes" a schéma Cooper. Velikost elementů po délce definujeme 20 ("Interval size"), viz. Obr. 3.67.



Obr. 3.67. Vysíťované objemy 5 a 6

Posledním krokem vytvoříme objemovou síť v objemu 3 pomocí příkazu "Mesh – Volume – Mesh Volumes" s čtyřstěnnými/hybridními elementy, Obr. 3.68. Celkový počet vygenerovaných elementů je 86 929.



Obr. 3.68. Vysíťovaná celá oblast, tzn. všechny objemy (1-6)



Obr. 3.69. Řez elementy výpočetní sítě pro variantu se zhuštěním



Obr. 3.70. Řez elementy pro čtyřúhelníkovou/hybridní síť s konstantní velikosti 20

Pro lepší názornost velikosti jednotlivých elementů, a kvality sítě lze vyhodnotit výpočetní síť

pomocí řezu v libovolném směru příkazem z grafických nástrojů "Examine mesh" Popis příkazu je uveden níže.

Examine mesn
Display Type: ◆ Plane ↓ Sphere ↓ Range
3D Element 🔟 🗇 🗇 💭
Quality Type: EquiSize Skew 🖃
Display Mode: Windows All All Wine Faceted Faceting Type:
Cut Type: Display cut  Display elements
Cut Orientation:

- "Display Type" typ zobrazení (v rovině, na kouli). V tomto případě zvolíme zobrazení v rovině.
- "Quality Type" parametr hodnocení kvality výpočetní sítě. Zvolme "EquiSize Skew" - hodnotí se kosost elementů. Ideální elementy jsou označené modrou barvou, nejhorší elementy jsou označené červeně.
- "Cut Orientation" parametr kterým definujeme roviny kolmé na osu x,y nebo z. V tomto případě posuvníkem definujme podélné osy oblasti (y).



# Animace

Vytvoření 3D geometrie a výpočetní sítě oblasti tvořené šesti objemy v programu Gambit 2.4.6 si může student zobrazit

(Vytvoření 3D geometrie)

- odkazem ANIMACE
- spustit ručně z adresáře Animace Kapitola 3 soubor Gambit 10.exe

(Vytvoření výpočetní sítě)

- odkazem ANIMACE
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_3\ soubor Gambit\_11.exe

#### 3.5. 3D objemové válcové těleso (příklad 3.4)



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- vytvořit 3D objemové válcové těleso tvořeno dvěmi objemy
- vhodně používat různé nástroje k úpravě geometrie



Vytvořme dvě objemová tělesa, kdy vnitřní objem (označený modře) představuje oblast proudění a objem kolem (šedá barva) je těleso prvku v programu Gambit 2.4.6. V jednotlivých detailech a pohledech (Obr. 3.71, Obr. 3.72, Obr. 3.73) jsou zakótovány rozměry v jednotkách (mm).



Obr. 3.72. Schéma vnitřního objemu



Obr. 3.73. Rozměry objemového tělesa

Vytvoření 3D geometrie rozdělme na 2 kroky. Nejdříve vytvořme vnější objem a následně vytvořme vnitřní objem. Poté pomocí nástrojů úpravy vytvořme finální objekt. Vnější objem vygenerujeme pomocí plochy, kterou orotujeme kolem osy. Plochu vytvořme pomocí bodů a hran. Jednotlivé body definujme pomocí příkazu "Geometry – Vertex – Create Real Vertex" zadáním souřadnic (x,y,z) dle schématu Obr. 3.73. Jednotlivé vytvořené body v programu Gambit jsou znázorněny na Obr. 3.74.



Obr. 3.74. Vytvořené body vnějšího objemu

V dalším kroku vytvořme jednotlivé hrany pomocí dvojice bodů příkazem "Geometry – Edge – Create Straight Edge", viz. Obr. 3.75. Následně z jednotlivých hran vygenerujeme výslednou plochu k rotaci příkazem "Geometry – Face – Create Face from Wireframe", viz. Obr. 3.76.



Obr. 3.75. Vytvořené hrany z jednotlivých bodů



Obr. 3.76. Vytvořená plocha z jednotlivých hran k rotaci

K vytvoření vnějšího objemu využijeme příkaz "Geometry – Volume – Revolve Faces" definováním plochy ("Faces"), úhlu 360° ("Angle") a osy rotace (x) ("Axis"), viz. Obr. 3.77. Výsledný vnější objem je znázorněn na Obr. 3.78.



Obr. 3.77. Definování parametrů k vytvoření vnějšího objemu rotaci plochy



Obr. 3.78. Výsledný vnější objem po rotaci plochy

Dalším krokem vytvořme vnitřní objem dle schématu Obr. 3.72. Tento objem je tvořen čtyřmi objemy, které vytvoříme samostatně a následně spojíme v jeden výsledný vnitřní objem. První objem po celé délce vytvořme vysunutím kružnice pomocí příkazu "Geometry – Volume – Sweep Faces". Nejdříve vygenerujeme kružnici příkazem "Geometry – Face – Create Real Circular Face" v rovině YZ (Obr. 3.79). Následně definujeme vysunutí této plochy po délce (ve směru osy x), viz. Obr. 3.80. Pomocí tohoto příkazu vybereme příslušnou plochu, směrový vektor vysunutí (osa x) a velikost vysunutí (210), viz. Obr. 3.80. Výsledný dílčí objem je zobrazen na Obr. 3.81.



Obr. 3.79. Vytvoření kružnice k vytažení po délce



Obr. 3.80. Definování parametrů vysunutí plochy po délce



Obr. 3.81. Vytvořeny dílčí vnitřní objem

Dalším krokem definujeme 3 dílčí objemy vnitřního objemu ve vzdálenosti 25, 95 a 165 pomocí kružnice, kterou vytáhneme v příslušných směrech, jak je patrné ze schématu Obr. 3.72, Obr. 3.73.



Obr. 3.82. Vytvoření kružnice v rovině ZX



Obr. 3.83. Přesun kružnice o vzdálenost 25



Obr. 3.84. Definování parametrů vysunutí kružnice

Na Obr. 3.82 je znázornění vytvoření kružnice příkazem "Geometry – Face – Create Real Circular Face" o poloměru R=2 a umístění v rovině ZX. Poté kružnici přesuneme pomocí příkazu "Geometry – Face – Move/Copy Faces" o vzdálenost x=25, viz. Obr. 3.83. Následně vytvoříme objem vysunutím kružnici pomocí příkazu "Geometry – Face – Sweep Faces", viz. Obr. 3.84. Výsledný dílčí objem je patrný z Obr. 3.85. Stejným způsobem vysuneme kružnici opačným směrem (Obr. 3.86). Následně oba dílčí objeme sloučíme pomocí příkazu "Geometry – Volume – Unite Real Volumes" (Obr. 3.87).



Obr. 3.85. Vytvořený dílčí objem vnitřního objemu



Obr. 3.86. Vytvořený další dílčí objem vnitřního objemu



Obr. 3.87. Sloučení dílčích objemů

Stejným způsobem postupujeme při vytvoření dalších dvou dílčích objemů, které jsou vzdálené od vstupu 95 a 165. Postup dílčích kroků je zřejmý z Obr. 3.88,Obr. 3.89.



Obr. 3.88. Vytvoření druhého dílčího objemu vnitřního objemu



Obr. 3.89. Vytvoření třetího dílčího objemu vnitřního objemu

Následně dílčí objemy sloučíme v jeden objem pomocí příkazu "Geometry – Volume – Unite Real Volumes" (Obr. 3.90). Jednotlivé dílčí objemy mírně přesahují vnější objem, a proto

musíme tyto dílčí objemy rozdělit pomocí ploch příkazem "Geometry – Volume – Split Volume" (jsou na obrázku označené, viz. Obr. 3.91) a odstranit.







Obr. 3.91. Rozdělení konců dílčích objemů pomocí ploch

Výsledek rozdělení konců dílčích objemů pomocí ploch je znázorněn na Obr. 3.92. Označení a odstranění rozdělených konců dílčích objemů je zobrazeno na Obr. 3.93.



Obr. 3.92. Výsledek rozdělení konců dílčích ploch



Obr. 3.93. Označení a odstranění dílčích rozdělených objemů

Poslední operací odečteme vnitřní objem od vnějšího pomocí příkazu "Geometry – Volume – Subtract Real Volume" s tím, že vnitřní objem zůstane zachován, viz. Obr. 3.94. Pro názornost je vnitřní objem znázorněn na Obr. 3.95 a vnější objem na Obr. 3.96.



Obr. 3.94. Odečtení vnitřního objemu od vnějšího



Obr. 3.95. Vnitřní objem oblasti



Obr. 3.96. Vnější objem oblasti



#### Animace

Vytvoření 3D geometrie válcového tělesa v programu Gambit 2.4.6 si může student zobrazit

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_3\ soubor Gambit\_12.exe



# Shrnutí pojmů 3

3D geometrické tvary (krychle, hranol, válec, koule, pyramidu, anuloid, komolý kužel, anuloid), nástroje úpravy 3D ploch (rozdělení, sloučení, boolovské operace, posun, rotace, zrcadlení a scale, 3D šestistěnné, šestistěnné/klínovité a čtyřstěnné/hybridní elementy výpočetní sítě, velikost elementů, zhušťování sítě na hraně v jednom i obou směrech, parametry zhušťování, definování mezní vrstvy, size function.



## Otázky 3

- 1. Jaké typy objemových entit lze v prostředí programu Gambit tvořit?
- 2. Jaké nástroje lze použit pro práci z 3D objekty?
- 3. Co znamená pojem "Boolovské operace"?
- 4. Jaké typy prvků lze použít při tvorbě objemové sítě v programu Gambit?
- 5. Vysvětlete pojem Cooper v rámci objemového síťování?
- 6. S jakými typy 3D elementů lze použít funkci Cooper?
- 7. Vysvětlete pojem mezní vrstva?
- 8. Vysvětlete pojem size function?

# 4. UŽIVATELSKÉ PROSTŘEDÍ SOFTWARE ANSYS WORKBENCH 13.0

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:	
• pracovat v prostředí software ANSYS Workbench 13.0	
<ul> <li>vhodně se orientovat v jednotlivých nabídkách programu Workbench z hlediska uživatele</li> </ul>	
<ul> <li>využívat jednotlivé nástroje k tvorbě geometrie (DesignModeler), výpočetní sítě (ANSYS Meshing) a následné CFD simulací (ANSYS Fluent 13.0)</li> </ul>	
<ul> <li>orientovat se v uživatelských nástrojích pro tvorbu 3D objektů v programu Design Modelere</li> </ul>	
<ul> <li>vhodně používat nástroje k úpravě a modifikací 3D geometrických tvarů</li> </ul>	Budete umět
<ul> <li>tvořit výpočetní sítě pomocí 3D výpočetní prvků různých tvarů (šestistěny, čtyřstěny, pyramidy a jiné) v programu ASYS Meshing</li> </ul>	
<ul> <li>definovat okrajové podmínky na jednotlivých hranicích výpočetního modelu</li> </ul>	
<ul> <li>vyexportovat výpočetní síť pro následnou numerickou simulací v programu ANSYS Fluent 13.0</li> </ul>	
• aplikovat vzájemnou provázanost jednotlivých programů	

### 4.1.Základní popis programového prostředí ANSYS Workbench 13.0



Čas ke studiu: 0.5 hodiny



 $Cil \quad \mbox{Po prostudování tohoto odstavce budete umět} \\$ 

- vhodně pracovat s grafickým prostředím programu ANSYS Workbench
- používat jednotlivé nabídky programu



Výklad

Programové prostředí ANSYS Workbench 13.0 představuje výkonný správce programů DesignModeler, Ansys Meshing a Ansys Fluent13.0. Program DesignModeler je programem

určený k tvorbě a úpravě geometrie. Kromě samotné tvorby geometrie lze do programu načíst již hotovou geometrii z jiného software. Načtenou geometrii lze v programu následně vhodně upravovat, popřípadě doplňovat o další elementy. Program Ansys Meshing slouží k vytvoření výpočetní sítě uvnitř hotové geometrie. Výpočetní oblast je tvořena elementy konečných tvarů (šestistěny, pětistěny, hybridní prvky, atd..). Dále v prostředí ANSYS Workbench 13.0 je integrován program ANSYS Fluent 13.0 k následné numerické simulací. Tento program je rozdělen do tří položek ("Setup", "Solution" a "Results"). V položce "Setup" uživatel definuje nastavení matematického modelu v programu ANSYS Fluent 13.0, a v položce "Solution" program aplikuje odpovídající řešič k následné numerické simulace. V položce "Results" uživatel vyhodnocuje výsledky numerické simulace. Výsledky se myslí vyhodnocení základních proudových veličin (tlak, rychlost, teplota,...). V průběhu práce lze libovolně přecházet mezi jednotlivými položkami v prostředí programu ANSYS Workbench 13.0. Kdykoliv je provedená změna v určité položce, tak následuje upgrade ve zbylých položkách. Například pokud máme vytvořenou geometrii včetně výpočetní sítě, a provedeme změnu průměru trubky, tak po upgrade bude výpočetní síť automaticky vygenerována. Tím pádem odpadá fáza, kdy bychom museli opětovně vytvořit výpočetní síť manuálně. Takže jednotlivé položky v prostředí ANSYS Workbench jsou vzájemně provázané. Filozofie správce souboru spočívá ve vytvoření projektu ("Workbench Project Files - \*.wbpj"), který v sobě obsahuje všechny fáze práce jak je popsáno výše. Celé uživatelské prostředí je znázorněno na Obr. 4.1.



Obr. 4.1. Uživatelské prostředí programu ANSYS Workbench 13.0

Uživatelské prostředí programu ANSYS Workbench 13.0 je rozdělo do čtyř oblastí ("Roletové menu", "Nástroje programu ANSYS", "Prostředí znázorňující strukturu projektu" a "Informační panel").

Roletové menu obsahuje funkce práce se soubory (ukládání projektu, načítaní projektu,...). Dále z roletového menu lze importovat projekty ze starší verze Workbenche a archivaci projektu. Další možností je definovat jiné jednotky fyzikálních veličn, nežli jsou SI jednotky. Poslední položkou je nápověda.

Nástroje programu ANSYS obsahují produkty, které jsou v rámci sofware ANSYS k dispozici. Množství produktů v nabídce závisí na tom, pro jaké má uživatel licenci. Dle Obr. 4.1 je patrné, že v rámci použiváné licence jsou k dispozici produkty "POLYFLOW, CFX, FLUENT". V podnabídce "Component Systems" jsou dílčí programy jednotlivých produktů. V tomto příkladě se jedná např. o "Geometry" - tvorba geometrie nebo "Mesh" - tvorba výpočetní sítě.

Prostředí znázorňující strukturu projektu představuje pracovní plochu, ve které si uživatel vytvoří potřebnou struktůru jednotlivých programů, které bude v průběhu tvorby projektu využívat. Mezi jednotlivýmí programy lze tvořit vazby jak je patrné z Obr. 4.2. Jednotlivé programy, které budou používaný a spouštěny v rámci projektu z prostředí Worbench lze přetáhnout z nabídky "Nástrojů programu ANSYS" pomocí myši levým tlačítkem. Lze přetáhnout celou položku "Fluid Flow (FLUENT)", ve které jsou integrovány programy DesignModeler, Ansys Meshing a Ansys FLUENT včetně postprocessingu, jak je patrné z panelu A, viz. Obr. 4.2, nebo panel B obsahuje program POLYFLOW. Druhou možnosti je natažení dílčích programů, a vytvořit mezi jednotlivými programy vzájemné propojení (panely C, D, E), viz. Obr. 4.2.



Obr. 4.2. Struktura projektu v prostředí Workbench

Informační panel poskytuje uživateli dílčí informace ohledně prováděných operacích v prostředí Workbench. V pravém dolním rohu jsou k dispozici dvě položky "Hide Progress" – skrytí nabídky a "Show Messages"- zprávy. V případě připojení na internet v polžce "Show Message" se zobrazují novinky ohledně připravovaných konferencích, školeních a jiných aktivitách připravovaných v rámci sopečnosti ANSYS, viz. Obr. 4.3.

Macros	~		y.	- I - Y
Probage	A	R	c	
1	Type	Text	Association	Date/Time
2	Events	International Mechatronics Forum 2011		
3	Events	ANSYS Regional Conference		
4	Events	Ensuring Confidence in ANSYS CFD Simulations		
5	Events	Ensuring Confidence in ANSYS CFD Simulations		
6	Events	40th Turbomachinery Symposium		
7	Events	ANSYS Regional Conference		
8	Events	4th GACM Colloquium on Computational Mechanics		
9	Events	17th International Symposium on Computational Biomechanics		
10	Events	ANSYS Regional Conference		
11	Events	ASME 2011 Pressure Vessels & amp; Piping Conference		
12	Events	Composites Europe 2011		
13	Events	ANSYS Regional Conference		
Hide Progress	Events	Accuracy, Productivity & Performance in Structural Mechanics: Composites Modeling with ANSYS Solutions		

Obr. 4.3. Použití příkazu "Show Messages"

Samotná struktura projektu může být různě člěněná v závislosti na požadavku uživatele, proto je vhodné jednotlivé okna v prostředí Workbench odlišně pojmenovávat. Názvy dílčích panelů jsou patrné z Obr. 4.2 (např. panel A je pojmenován Fluid Flow (FLUENT)). Spouštění dílčích programů z prostředí Workbench se provádí pomocí myši. Jednou variantou je klasický "dvojklik" levým tlačítkem (např. v panelu A na položku Geometry, a tím bude spuštěn DesignModeler, viz. Obr. 4.4). Druhou možností je použití pravého tlačítka myši na daný program, po kterém vyvoláte podnabídku dílčích operací, jak je patrné z Obr. 4.4 pro program "Geometry – DesignModeler". Jednotlivé podpoložky jsou následující:

- "New Geometry" spuštění programu DesignModeler
- "Import Geoemtry" importování geometrie z externího software různých formátu (více v kapitole DesignModeler
- "Duplicate" kopie panelu A
- "Transfer Data From New" transfer dat z modeleru konečných elementů
- "Update" automatická aktualizace v případě změny jakékoliv operace v daném programu, popřípadě jiném programu, který je součásti panelu A (mezi programy je vzájemné propojení)
- "Reset" vymazání dat
- "Rename" přejmenování
- "Properties" vlastnosti o programu DesignModeler
- "Qucik Help" rychlá nápověda



Obr. 4.4. Operace s jednotlivými programy v prostředí Workbench


# Shrnutí pojmů 4

Prostředí Workbench 13.0, DesignModeler, ANSYS Meshing, ANSYS Fluent13.0, postprocessing, Uživatelské prostředí programu ANSYS Workbench 13.0, Nástroje programu ANSYS, Spouštění programů v prostředí ANSYS Workbench, Vzájemné interaktivní propojení programů v prostředí ANSYS Worbench



# Otázky 4

- 1. Stručně charakterizujte prostředí ANSYS Workbench 13.0?
- 2. Hlavní funkce programu DesignModeler?
- 3. Hlavní funkce programu ANSYS Meshing?
- 4. K čemu se používá postprocessing?
- 5. Hlavní přednost vzájemného interaktivního propojení jendotilvých programů v prostředí ANSYS Workbench?

У ЧК	Anin
---------	------

## nace

Uživatelské prostředí a nástroje programu ANSYS Workbench 13.0 si může student zobrazit

- odkazem ANIMACE
- spustit ručně z adresáře Animace Kapitola\_4 soubor Workbench\_1.exe

# 5. TVORBA GEOMETRIE V PROGRAMU DESIGNMODELER

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:	
• vhodně se orientovat v prostředí programu DesignModeler	
<ul> <li>používat různé nástroje programu DesignModeler k tvorbě a upravě 2D a 3D geometrie</li> </ul>	
• vytvářet různé 2D geometrie (Sketch) v programu DesignModeler	
• upravovat 2D geometrie v programu DesignModeler	Budete umět
• aktivně používat různé nástroje k tvorbě a úpravě 2D geometrie	
<ul> <li>vytvářet 3D objekty pomocí různých nástrojů v programu DesignModeler</li> </ul>	
• vhodně upravovat 3D objekty v programu DesignModeler	
• importovat geometrie z externího programu do prostředí programu DesignModeler	

# 5.1. Grafické prostředí programu DesignModeler a uživatelské nástroje



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- se orientovat v prostředí programu DesignModeler
- používat různé nástroje programu DesignModeler



Výklad

Program DesignModeler se spouští z prostředí programu Workbench (v případě systému Windows: "Start – programy – ANSYS 13.0 – Workbench". Pos spuštění programu Workbench se Vám zobrazí grafické okno programu, viz. Obr. 5.1. V dalším kroku přetáhnete panel "Fluid Flow (Fluent)", ve kterém je impementován program DesignModeler ("Geometry") do prostředí programu Workbench, jak je podrobně popsáno v kap. 4. Poté pravým tlačítkem myši u položky "Geometry" vybereme položku "New Geometry" a program DesignModelere se spustí (Obr. 5.1). Před finálním spuštěním programu DesignModeler software uživatele dotazuje v jakých jednotkách bude daná geometrie vytvážená (metr, centimetr, stopa,....), viz. Obr. 5.1.

🔨 Unsaved Project - Workbench		
File View Tools Units Help		
📋 New 对 Open 📕 Save 🔣 Save As	👔 Import 🛛 🖗 Reconnect  Refresh Project 🥖 Update Project 🕜 Project 🕜 Compact Mode	
Toolbox 🝷 🕂 🗙	Project Schematic	
Analysis Systems		
S Fluid Flow - Blow Molding (POLYFLOW)		
Fluid Flow - Extrusion (POLYFLOW)	▼ A	
💽 Fluid Flow (CFX)	1 💽 Fluid Flow (FLUENT)	
S Fluid Flow (FLUENT)	2 Geometry	ANSYS Workbench 🛛 🛛 🔀
S Fluid Flow (POLYFLOW)	3 Mesh 7 Mesh 7	Select desired length unit:
Component Systems	4 Setup	
🕘 CFX		Meter     Foot
🔆 External Connection	Solution P Solution	C
🗃 External Data	6 💓 Results 💡 Iransrer Data From New 🖡	Centimeter Cinch
Finite Element Modeler	Fluid Flow (FLUENT) 🧭 Update	C Millimeter
E FLUENT	Refresh	C Micrometer
Geometry	Pacet	
Mesh .		
Microsoft Office Excel	ago Rename	Always use project unit
POLYFLOW	Properties	Always use selected unit
POLYFLOW - Blow Molding	Quick Help	Chable large model support
POLYFLOW - EXtrusion		
W Results		ΟΚ
H Design Exploration		

Obr. 5.1. Spouštění programu DesignModeler z prostředí Workbench a volba základních jednotek

Finální podoba grafického prostředí programu DesignModeler je znázorněn na Obr. 5.2. Jednotlivé skupiny příkazu jsou graficky vyobrazené a níže budou popsány a charakterizovány. Výstupní soubor programu DesignModeler je ve formátu \*.agdb.



Obr. 5.2. Grafické a uživatelské prostředí programu DesinModeler

Celé prostředí programu DesignModeler lze rozdělit do čtyř oblastí. Největší plochu zaujímá "PRACOVNÍ PLOCHA", ve které se zobrazuje vytvářená geometrie, ze kterou uživatel pracuje. Dále v horní liště jsou příkazy potřebné k vytváření geometrie, příkazy k zobrazení geometrie a příkazy k výběru příslušné entity. V levé části se nacházeji dvě pole. Horní pole představuje kořenovou strukturu všech příkazu, které uživatel v průběh tvorby modelu použil. Velmi efektivně se lze vrátit ke krokům zpět, a například provést změnu dílčího rozměru, s tím že celý model bude automaticky upraven. Pole dole je informativní, ve kterém uživatel má přehled o …

Ve stručnosti jsou jednotlivé označené oblasti (Obr. 5.2) charakterizovány níže:

- Roletové menu ukládání projektu, načítání a ukládání souboru ve formátu DesignModeler (\*.agdb), importování geometrie z externího software ve formátech (STEP, IGES, CATIA, INVENTOR, GAMBIT, PARASOLID, SolidEdge, SolidWorks, Pro/Engineer,....), příkazy tvorby jednotlivých entit (bod, úsečka, 2D plocha a 3D plocha), příkazy úpravy entit (např. rozdělení plochy nebo objemu, sloučení entit, zamrznutí entit) a další.
- Výběrové módy slouží k výběru příslušné entity (bod, hrana, plocha nebo objem) ,pomocí které bude následně provedená příslušná operace.
- 3D nástroje nástroje k tvorbě 3D objektů např. vytažením, orotováním plochy atd.
- Zobrazovací nástroje nástroje zlepšující zobrazení geometrie v pracovní ploše (např. nástroj zoom, kolmá pohled na plochu atd.
- Stkutkůra příkazu představuje kořenovou strukturu všech příkazu provedených uživatelem během tvorby geometrie.



Obr. 5.3. Příkaz k vytvoření pomocné roviny

Filozofie tvorby 3D objektu spočívá ve vytvoření 2D plochy, která se následně vytáhne nebo orotuje. Poté na 3D objektu lze vytvořit další 2D plochu a opětovně pokračovat ve vytahování nebo orotování do prostoru. 2D plochy se vytvářejí na pomocných plochách pojmenováných jako "Sketch – náčrt". Pomocnou rovinu lze umístit v libovolném směru souřadného systému, nebo na plochu daného 3D tělesa. Příkaz "New – Sketch" je aktivní kliknutím na ikonu

Po vytvoření pomocné roviny ("Sketch") se uživatel překlikne do 2D kreslení pomocí záložky "Sketching" (Obr. 5.3), kde jsou k dispozici nástroje pro tvorbu a úpravu entit (křivka, kružnice, obdélník, rádius,...) k vytvoření plochy pro následné např. vytažení do prostoru. Výsledný 2D objekt lze navíc zakótovat, a následnou změnou velikosti kóty bude objekt automaticky překreslen. Záložka "Sketching" má pět podzáložek, jak je patrné z Obr. 5.4. Pro ukázku na Obr. 5.4 jsou představené tři položky.

- "Draw" kreslení entit (úsečka, kružnice, oblouk, elipsa,...)
- "Modify" úprava entit (kopie, zrcadlení, ořezání,...)
- "Dimensions" kótování
- "Constraints" parametry kreslení a uchycovací body (kolmost, rovnoběžnost, koncový bod, …)
- "Settings" nastavení parametrů sítě k uchycení jednotlivých bodů

Sketching Toolboxes 🛛 🕂	Sketching Toolboxes	Sketching Toolboxes 🛛 🖓
Draw	Draw	Draw
Line	Modify	Modify
6 Tangent Line	c = ciles	Dimensions
6 Line by 2 langents		General
Polyaon		
Rectangle		TE Vertical
Rectangle by 3 Points	- Extend	
🕜 Oval		Radius
🔇 Circle	Fil Drag	Diameter
Circle by 3 Tangents	X Cut	Angle
Arc by Tangent		ØT Semi-Automatic
Arc by S Points	RPaste	
	, Move	Move
> Spline	E Replicate	Animate
* Construction Point	Duplicate	Ingl Display
Ar Construction Point at Intersection	🛋 Offset	
	🎾 Spline Edit	
Modify		
Dimensions		
Constraints		
Settings	Dimensions	
Sketching Modeling	Constraints	Constraints 👻
Details View <b>4</b>	Settings	Settings

Obr. 5.4. Nástoje ke kreslení 2D objektu v "Sketch"

Definice jednotlivých příkazů a nástrojů bude ukázaná a aplikováná na několika příkladech tvorby geometrie.

## 5.1. Tvorba 3D geometrie náhleho rozšíření



Čas ke studiu: 3 hodiny

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- vytvořit 3D objekt náhlého rozšíření
- vhodně používat a aplikovat různé nástroje k tvorbě a úpravě 3D geometrie



# Výklad

V této kapitole se seznámíte s tvorbou níže uvedené 3D geometrie (Obr. 5.5).



Obr. 5.5. 3D geometrie náhlého rozšíření

### Parametry oblasti:

L=3.5m, B=1.5m, D=0.5m, d=0.1m, L\_s=0.7m

Nejdříve si spustíme prostředí ANSYS Workbench 13.0, ve kterém si vytvoříme projekt (např. 3D-rozsireni, viz. Obr. 5.6), a spustíme program DesignModeler jak je popsáno v kap. 5.1.



Obr. 5.6. Prostředí ANSYS Workbench

Vytvoření 3D geometrii náhlého rozšíření si ukážeme dvěmi způsoby. V první variantě bude výsledná 3D oblast tvořena jedním tělesem, a v druhé variantě bude oblast tvořena třemi tělesami.

V první variantě si vytvoříme pomocnou rovinu ("Sketch"), ve které nakreslíme boční plochu 3D geometrie, kterou následně vytáhneme do prostoru. Novou pomocnou rovinu

nadefinujeme pomocí ikony ("New Sketch"). Současně si zvolíme jednu z rovin souřadného systému, ve které bude pomocná rovina umístěna (v tomto případě označíme "XYPlane"), viz. Obr. 5.7. Následně v záložce "Details View" lze definovat parametry pomocné roviny (pojmenování, zobrazení,..).

DesignModeler
Tools View Help
9 Undo @Redo Select: * 🔭 🍾 🕅 🔃 🔃
k Sketch 🔹 📁
re Topology 🚽 📴 Extrude New Sketch e 🛭 🌜 Sweep 🛛 🚷 Skin/Lof
4 Graphics
0 Bodies
4
ietch iow Sketch ss

Obr. 5.7. Definování pomocné roviny ("New Sketch")

V Dalším kroku se přepneme do prostředí kreslení v pomocné rovině ("Sketch") k vytvoření boční roviny pomocí záložky "Sketching", viz. Obr. 5.8.



Obr. 5.8. Kreslení v pomocné rovině

V dalších krocích bude velmi často používána při práci myš jejiž hlavní funkce jsou následující:

- Levé tlačítko výběrová funkce (lze vybrat jednotlivé entity v modelu: bod, hrana, plochy, objem)
- Pravé tlačítko funkce zoom (tažením lze definovat okno ke zvětšení)
- Prostřední kolečko funkce zoom (přetáčením kolečka lze interaktivně přibližovat nebo oddalovat zobrazení)

Kromě funkce myši jsou v horní liště k dispozici ikony k práci se zobrazením modelu v pracovní ploše. Jednotlivé funkce ikon jsou popsán níže:

- rotace objektu
- posouvání objektu
- funkce zoom (interaktivní přibližování a oddalování)
- funkce zoom (tažením lze definovat okno ke zvětšení)
- (a) funkce zoom (zobrazení celého modelu do pracovní plochy)

V dalších krocích si ukážeme vytvoření boční plochy ve vytvořené pomocné rovině (Sketch) k následnému vytažení. Plochu vytvoříme pomocí úseček, tak že dodržíme základní tvar dle Obr. 5.5. Následně objekt zakótujeme a předefinujeme rozměry podle zadání.

V zálože "Sketching-Sketching Toolboxes-Draw" vyberte kreslení úsečky a místo kurzoru šipky se zobrazí tužka. Úsečku nakreslíte pomocí dvou bodů, které vykliknete kdekoliv v pomocné rovině. Protože kreslíme v rovině, tak je ideální přejít z prostorového zobrazení na

zobrazení rovinné. K tomu slouži ikona 🧖 , která se nachází v horní liště a umožňuje zobrazení rovinné dané pomocné roviny.

		🖼 A: 30 -rozsireni - Designkladeler			
		File Create Concept Tools View Help			
		2	• * • • • • • • • • • • • • • •	R. C.	. k. k. k. k. k.
		11Plana · ⊁ Sketcht · 🎘			
		Generate Committee Committee Committee	Genetics	Part Pranters	
		Craw			
		Site			ANSYS
					Noncommercial use only
		Analytice			
		C-sindrygon T Restangle			
		Cillectorgle by 3 Points			
		© CHOR		1	
		Circle by 3 Tangents			
		Arc by 3 Points			
Sketching Toolboxes	- <del>Р</del>	da Arc by Center cta/Gose			
-		2 Splite			
Draw	A	Modfy			
$\sim$		Dimensions			
Line		Settings		1	
		Sketching Hodeling			
👩 Tangent Line		Details View			
Line by 2 Tangents				1	
O tillo by E rangenes					
🔥 Polyline					
C Delueen					
Polygon				1	
T Rectangle					
					Y
CARectangle by 3 Points					4
/ Oval					•
V ordi				0.000 10.000	20.000 (m)
💽 Circle				6 000 16 000	
Al Civela hu 2 Tananaka				5.000 15.000	
			Model View Print Preview		
Arc by Tangent		Line - Club, or Press and Hold, for start of Ine		1 Slatch	Pieter 25.5 13.4
, as by rangent		📑 start 🔰 🗣 🔍 🕭 🖉 🖉	🕽 🕒 🕄 Windows Ex 🔹 📓 XD-Prouderes	W 😥 Donsčená polite. 👋 Septien Stornk 🔥 20-	azeren Win 🔞 Al SCrossner — CS 🔍 🥯 🖉 11:31

Obr. 5.9. Nástroje ke kreslení entit v pomocné rovině, kreslení v pomocné rovině

Boční rovina je tvořena šesti hranami (viz. Obr. 5.10), které postupně vytvoříme a navíc budeme využívat podmínky rovnoběžnosti a kolmosti. Jednotlivé kroky jsou znázorněné na obrázcích (Obr. 5.11, Obr. 5.12, Obr. 5.13, Obr. 5.14, Obr. 5.15). Kreslením hrany definujete dva libovolné body v prostoru pomocné roviny.



Obr. 5.10. Schéma boční roviny



Obr. 5.11. Tvorba geometrie (krok 1)



Obr. 5.12. Tvorba geometrie (krok 2)



Obr. 5.13. Tvorba geometrie (krok 3)





Obr. 5.14. Tvorba geometrie (krok 4)

#### Obr. 5.15. Tvorba geometrie (krok 5)

Krok 1 (Obr. 5.11) znázorňuje umístění prvního bodu hrany. V případě pohybu kurzoru kolem osy x dojde k podbarvení osy a zobrazení písmenka C, což informuje o tom, že daný bod bude ležet na ose x. Následně v kroku 2 (Obr. 5.12) přemístíme kurzor ve směru normály k ose x pro definování druhého bodu hrany. Pokud chceme vytvořit svislou hranu, tak se s kurzorem pohybujeme dokud se neobjeví písmeno V (vertikála), viz. Obr. 5.12. Výsledná svislá hrana je znázorněna na Obr. 5.13. Následně vytvoříme vodorovnou hranu od koncového bodu první hrany. První bod vodorovné hrany dostaneme tak, že se kurzorem přiblížime koncovému bodu svislé hrany (Obr. 5.13) a písmeno P nám definuje počáteční bod vodorovné hrana. Tím bude zaručená návaznost. Opět pokud chceme aby tato hrana byla vodorovná (viz. Obr. 5.14). Tímto způsobem budeme postupovat při tvorbě všech šesti hran, až se dostaneme do počátečního bodu. Výsledkem musí být, že všechny hrany jsou obarvené na modro a tím platí podmínka, že objekt je uzavřen, jak je patrné z Obr. 5.15.

V dalším kroku si objekt zakótujeme a nastavíme přesné rozměry, tak jak jsou uvedené v zadání. Ke kótování využijeme záložku "Sketching-Sketching Toolboxes-Dimensions". Z nabídky (viz. Obr. 5.16) je patrná celá škála možného kótování. Lze kótovat horizontálně, vertikálně, poloměr, atd.... Všechny ikony nástrojů ke kótování jsou zobrazené graficky, což ulehčuje při orientaci. Postup při kótování spočívá ve výběru příslušných entit pomoci myši (např. horizontální kótování – vybere se dvojice hran) kliknutím levým tlačítkem.



Obr. 5.16. Nástroje ke kótování objektu v pomocné rovině, výsledně zakótovaný objekt

Výsledně zakótovaný objekt je znázorněn na Obr. 5.16. Z obrázku je patrné, že horizontální kóty jsou označené jako H(číslo) a vertikální kóty V(číslo). Rozměry kót lze libovolně měnit v záložce "Details View-Dimensions", viz. Obr. 5.16 jednoduchým přepsáním příslušné hodnoty dané kóty, a potvrzením klávesy ENTER. Nyní manuálně přepíšeme jednotlivé velikosti kót podle Obr. 5.5 a boční plocha bude finálně vytvořená. Výsledná podoba boční plochy včetně rozměrů jednotlivých hran je zobrazena na Obr. 5.17. Dalším krokem bude vytvoření 3D tělasa vytažením.

🔯 A: 3D-rozsireni - DesignModeler							- 6 🛛
File Create Concept Tools View Help							
🛛 🛃 🛃 📫 🕤 Olndo (@Redo 🛛 Select: 🎕	1- 10 D D 0- 5	+ Q + Q Q (	2 9 🧩 🔺 🌚	• 12	/	s. h. h. h. h.	
XYPlane - 🛧 Sketch1 - ಶ							
Generate Share Topology RExtrude ARevo	olve 🕵 Sweep 🔺 Skin/Loft 🔲 Thin/S	urface 💊 Blend 👻 💊 C	hamfer 🚸 Point 😨	Parameters			
Sketching Toolboxes	Graphics		·				ņ
Draw							
N Line							CVC.
🔨 Tangent Line							NTN
🕉 Line by 2 Tangents						Noncommercia	use only
A Polyline							
Polygon							
Rectangle							
Avectangle by 3 Points     Oval							
(C) Circle							
Circle by 3 Tangents							
Arc by Tangent							
Arc by 3 Points						+12-	- 0-
Arc by Center							
Celine							
Construction Point							
Modify 🔻							
Dimensions	1 <b>1</b> 4						
Constraints							
Settings							
Sketching Modeling							
Datais View A							
Details vow							
Sketch Sketch1							
Sketch Visibility Show Sketch						1	
Show Constraints? No							
- Dimensions: 4		0.4					
H22.8 m	V3	i i					
V3 0.4 m							- Contraction of the local division of the l
V4 0.5 m							
- Edges: 6							
Line Ln9							v
Line Ln10							
Line In12							1
Line Ln13							•
Line Ln14							× 🔶
			0.000	0.500 1.1	000 (m) ]		
			0.250	0.750	,	1	
			0.200				
	Model View Print Preview						
🥝 Ready			N	o Selection		Doručená poš	ta - Microsoft Outlook
📲 start 📄 🤗 🔕 🥨 🖉 🔾 🕫	🔁 Preklad 🛛 😂 ESF-Sarma	in 🥹 2 Firefox	- 🐧 3D-rozsireni	3D-Prouden	🙀 A: 3D-rozsir	😡 Doručená p 🛛 CS	< <>> № 14:35

Obr. 5.17. Výsledná boční plocha včetně rozměrů

K vytažení boční plochy se přemístíme zpět do záložky "Modeling" označíme pomocnou plochu ("Sketch") a v horní liště použijeme ikonu **Extrude** ("Extrude"), viz. Obr. 5.18.



Obr. 5.18. Vytvoření 3D tělesa pomocí příkazu "Extrude"

Po kliknutí na ikonu "Extrude" se následně definují příslušné paramtry vysunutí v záložce "Details View-Details of Extrude4", viz. Obr. 5.19.

😡 A: 3D-rozsireni - DesignModeler		
File Create Concept Tools View Help		
🔄 🔤 🔳 📫 🕤 🌒 Undo 🖉 Redo 🛛 Select: 🏷	ो <sub>?</sub> ि ि ि <b>ि ि ि</b> ि ि ि ि ि ि ि ि ि ि ि ि ि	· 1. 1. 1. 1. 1. 1.
Xyplane - 🖈 Sketch1 - ಶ		
Generate Share Topology Extrude	ive 📞 Sweep 👃 Skin/Loft 🛄 Thin/Surface 💊 Blend 🗸 💊 Chamfer 🔶 Point 📴 Parameters	
Tree Outine 4	Graphics	
		Noned numerclature only
Details View 7 ■ Detail of Extrude4 Extrude Extrude4 Base Object Sketch1 Operation Add Material Direction Normal Direction Normal Extent Type Fixed ■ FD1, Depth (>0) I m As Thir/Surface? No Mage Topology? Yes	V4	

Obr. 5.19. Definování paramterů vysunutí ("Extrude")

Základní parametry příkazu "Extrude"

- "Base Object" výběr příslušné pomocné roviny k vysunutí ("Sketch").
- "Operation" přidání materiálu ("Add Materiál"); přidání materiálu odděleně, který není sloučen s okolními tělesy ("Add Frozen").
- "Direction Vector" směrový vektor k vysunutí ("None (Normal)" kolmo k pomocné rovině).
- "Direction" typ vysunutí ("Normal" v kladném směru, "Reversed" v záporném směru, "Both Symmetric" symetricky v obou směrech).
- "Depth" délka vysunutí.
- "Merge Topology" připojení k okolní geometrii.



Obr. 5.20. Výsledné těleso náhlého rozšíření

V našem případě nastavíme délku vysunutí v položce "Depth" = 1.5m. Zbylé parametry ponecháme přednastavené. Provedení příkazu "Extrude" potvrdíme ikonou v

horní liště (viz. Obr. 5.19). Finální podoba výsledného tělesa náhleho rozšíření je zobrazena na Obr. 5.20. V kořenovém adresáří jednotlivých příkazů ("Tree Outline") jsou dvě nové položky, jak je patrné z Obr. 5.21. Jednou ikonou je samotné těleso ("Extrude4"), kdy kliknutím myši na pravé tlačítko těleso lze editovat, popř. i vymazat. Druhou položkou je "1 Part, 1Body" - ve které se slučují jednotlivé objemy celého tělesa. Tím lze např. nějaké složité těleso, které je tvořeno x objemy rozdělit do jednotlivých partů (částí), ve kterých můžou být různé objemy a tím umožnit následně definovat odlišné vlastností pro jednotlivé party. V tomto případě se jedná o jeden part, ve kterém je definováno jedno těleso, které může být dvojího typu ("Solid", "Fluid"). Defoultně je definován typ "Solid". Typ tělesa ("Solid", "Fluid") souvisí s následnou definici v programu ANSYS Fluent13.0. Typ "Solid" definuje pevný materiál a typ "Fluid" definuje oblast proudící tekutiny.



Obr. 5.21. Kořenový adresář jednotlivých příkazu zobrazující celou historii tvorby modelu

Následně si ukážeme druhou variantu vytvoření stejného tělesa, které ovšem bude tvořeno třemi dílčimi tělesami. Postup tvorby tělesa bude obdobný jako v předchozím příkladě s tím, že postupně vysuneme tři plochy. Pro práci použijeme již otevřený projekt, a tedy není nutné otevírat nový projekt. Program DesignModeler ukončíme a přepneme se do prostředí Worbenche, kde si přetáhnem nový panel "Fluid Flow(FLUENT)" a pojmenuje ho např. (3D-rozsireni-3-telesa), viz. Obr. 5.22.



Obr. 5.22. Vytvoření nového panelu "Fluid Flow(FLUENT)"

Z grafického zobrazení panelu 3D-rozsireni (Obr. 5.22) je patrné, že u položky "Geometry" se zobrazila zelená "fajfka", to indikuje, že vytvořena geometrie je v pořádku, a v následném kroku lze vytvořit výpočetní síť v položce "Mesh". Pokud by byla nějaká chyba v geometrii, tak u položky "Geometry" se objeví jiný symbol.

Z panelu B spustíme DesignModeler (položka "Geometry") a postupně vytvoříme výsledné těleso, které bude tvořeno třemí objemy. Tyto objemy budou vytvořený pomocí funkce "vytažení", tzn. že nejdříve vytvoříme tři pomocné roviny, které následně vytáhneme do prostoru. Dílčí pomocné roviny k vytažení jsou patrné z Obr. 5.23 (barevně jsou odlišeny jednotlivé roviny k vytažení). Výsledkem budou tři samostatné objemy, ale navzájem propojené (Objem 1, Objem 2, Objem 3), které budou tvořit výsledné těleso, viz. Obr. 5.23.



Obr. 5.23. Schéma pomocných rovin k vytažení tři objemů

Po spuštění DesignModeleru postupně vytvoříme tři pomocné roviny ("Sketch") příkazem "New Sketch" v rovině "XYPlane". Vytvořená pomocná rovina k vytažení objemu 1 je patrná z Obr. 5.25. V záložce "Sketching-Draw" vytvoříme obdélník pomocí hran ("Line"). Následně obdélník zakótujeme a nadefinujeme přesné rozměry podle zadání. Další pomocné roviny k vytvoření objemů 2 a 3 jsou patrné z Obr. 5.25 a Obr. 5.26. Definice pomocných rovin pro objemy 2 a 3 jsou stejné jako pro objem 1.



Obr. 5.24. Pomocná rovina k vytvoření objemu 1

🗰 B: 3D-rozsire	ni-3-telesa - DesignModeler		X
File Create Con	ncept Tools View Help		
	Dundo @Redo Select:		
VVPlane .	• \$ Sketch? • 20		
	Characterization Characterization	un A sunne A stantist. Entertainte an stant a stant a stant a stant a stant a stant stan	
y Generate	Characteristic)	te Sunder Sundard Internation State Stat	
B <b>√B</b> B: 3D-roz B <b>√</b> XYP √C	skeni-3-telesa Mane 9 Sketch1 9 Sketch2		ур )
- , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	fare Tare arts, 0 Bodes		
Sketching Modelin	10		
Details View			
- Details of Sket	ch2	**************************************	
Sketch	Sketch2		
Sketch Visibility	Show Sketch		
Show Constraints	i? No		
E Dimensions: 1			
H3	2.8 m	N N N N N N N N N N N N N N N N N N N	
🖃 Edges: 4			
Line	Ln12		
Line	Ln13	•	
Line	Ln14		x
Line	Ln15	0.000 0.500 1.000 (w)	
E References: 2		3.00 1.00 (iii)	
Ln10	Sketch1	0.250 0.750	
Ln11	Sketch1	0.200 0.700	

Obr. 5.25. Pomocná rovina k vytvoření objemu 2

B: 3D-rozstrent-3-	telesa - DesignModeler					
File Create Concept	Tools View Help					
2 🔜 🔜 🚥 📗	DUndo @Redo Select:	la- 🖻 🖻 🖻 i	ଡି∻ା 5 ା ହ ହ ହ ହ	Q Q 💥 🔺 🌒 • 12	III - 1/- 1	· h. h. h.
XYPlane - 🖈	Sketch3 💌 🖄					
Generate 🖤 Share	Topology	olve 🐁 Sweep 🚯 Skin/Loft	Thin/Surface Send - S	Chamfer I Point Parameters		
Tree Outline		Graphics				7
3 J 5 8 3 0 cc30m; 3 J X 10 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	3taksa को को Bodes	<b>V</b> (p)(k)				
			<u>+</u>			
Shataking at 1.5		+				
Modeling						
Details View	7	V2				
Sketch Sket	tdh3					
Sketch Visibility Sho	w Sketch					
Show Constraints? No						
Dimensions: 1						
V4 0.1	m					
Edges: 5						Y
Line Ln1	6					A
Line Ln1	7					
Line Ln1	8					
Line Int	9					× ++++
Line Ln2	:0			0.000 0.500	1.000 (m)	
- References: 3						
Int5 Skel	ech?			0.250 0.7	750	

Obr. 5.26. Pomocná rovina k vytvoření objemu 3

V dalších krocích postupně vytvoříme tři objemy (Objem 1, Objem 2 a Objem 3) vytažením pomocí příkazu "Extrude". Postup vytažení je obdobný jako v předchozím příkladě s jedním rozdílem, že v položce "Operation" zvolíme nabídku "Add frozen (zamrznutí), viz. Obr. 5.27", která znamená, že při vytažení jednotlivých pomocných ploch získáme samostatné objemy, které budou vzájemeně propojené a budou tvořit jedno těleso. Pokud bychom zvolili položku "Add Material", tak výsledkem bude jeden objem, a tedy i jedno těleso (tedy první varianta vytvoření tělesa náhlého rozšíření). Důvod proč chceme vytvořit tři objemy, které

budou tvořit jedno těleso, např. může souviset s následným vytvořením výpočetní sítě. Protože můžeme efektivně tvořit výpočetní síť samostatně v jednotlivých objemech. Jinak bychom tvořili výpočetní síť automaticky v jednom objemu, a tedy v jednom tělese. Souhrně si tedy uživatel může lépe "vyhrát" při tvorbě výpočetní sítě. Další možnost takového postupu vytvoření tělesa může být v případě, že jeden z objemu tělesa bude představovat např. pevný materiál ("Solid"), což musí být odděleno pro následný numerický výpočet v programu ANSYS Fluent. Ukázka takovéto aplikace bude představená pozdějí. Příklad vytažení pomocné roviny k vytvoření objemu 1 je patrný z Obr. 5.27. Výsledné těleso tvořeno třemi objemy (Objem 1, Objem 2 a Objem 3) je patrné zObr. 5.28.



Obr. 5.27. Definice vytažení objemu 1 ("Extrude") s funkcí "Add Frozen"



Obr. 5.28. Výsledné těleso tvořene třemi objemy (Objem 1, Objem 2 a Objem3)

Posledním krokem je vytvoření jednoho tělesa (neboli celku) z dílčích objemů (Objem 1, Objem 2 a Objem 3). Tato operace se provádí pomocí příkazu "From New Part" výběrem z jednotlivých objemů, jak je partné z Obr. 5.29. V našem případě vybereme všechny objemy použitím myši a současně přidržením klávesy "Ctrl". Následně použijeme pravé tlačítko myši, které nám nabídne příkaz "From New Part", viz. Obr. 5.29. Takto vytvořený párt si uživatel následně může vhodně přejmenovat dle vlastního uvážení. Další funkcí vytvoření jednoho pártu z dílčích objemů je to, že na rozhraní jednotlivých objemů nebudou zdvojené plochy a hrany, tzn. že dojde k sloučení těchto duplicitních entit, což je velmi výhodné v případě následného síťování finální geometrie.



Obr. 5.29. Vytvoření nového celku příkazem "From New Part"

Po vytvoření výsledného tělesa lze správnost geometrie ověřit v prostředí Workbenche, viz. Obr. 5.30. Z obrázku je patrné, že u položky "Geometry" v panelu B (3D-rozsireni-3-telesa) je zelená "fajfka", tím je geometrie v pořádku, a lze s ní dále pracovat.

🔨 3D-rozsireni - Workbench		
File View Tools Units Help		
👔 New 💕 Open 层 Save 🔣 Save As	👔 Import 🕹 Reconnect 😹 Refresh Project 🍼 Update Project 🔇 Project 🕜 Compact Mode	
Toolbox 🔻 🕈 🗙	Project Schematic	- ₽ X
Analysis Systems		
S Fluid Flow - Blow Molding (POLYFLOW)		
Fluid Flow - Extrusion (POLYFLOW)	• A • B	
S Fluid Flow (CFX)	1 🕃 Fluid Flow (FLUENT)	
Fluid Flow (FLUENT)	2 00 Geometry V 2 00 Geometry V	
Fluid Flow (POLYFLOW)	3 Mesh 2 3 Mesh 2	
Component Systems		
(d) CFX		
🔆 External Connection	5 Solution 2 Solution 2	
External Data	6 😥 Results 😨 🖌 6 🐨 Results 😨 🖌	
Finite Element Modeler	3D-rozsireni 3D-rozsireni-3-telesa	
E FLUENT		
iggi Geometry		
🍘 Mesh		
Microsoft Office Excel		
POLYFLOW		
NOLVELOW DiscuMaldisa	1	

Obr. 5.30. Grafické prostředí Workbenche po vytvoření výsledného tělesa

# Shrnutí pojmů 5

Prostředí DesignModeleru, Uživatelské prostředí programu DesignModeler, roletové menu, pracovní plocha, výběrové módy, 3D nástroje, zobrazovací nástroje, práce s myši, vytvoření pomocné roviny, práce v pomocné rovině, kreslení objektů v pomocné rovině, použití uchycovacích nástrojů k vytvoření pomocných objetů, zakótovaní pomocných objektů, nástroje "New Sketch", "Extrude", "Generate", a další, funkce "Add Material" a "Add Frozen", ověření vytvořené geometrie.



## Otázky 5

- 1. Stručně charakterizujte prostředí programu DesignModeler?
- 2. Hlavní funkce programu DesignModeler?
- 3. Jakým způsobem spustíte program DesignModeler?
- 4. Může být výsledkem práce v DesignModeleru 2D plocha"?
- 5. Vysvětlete pojem "Sketch"?
- 6. K čemu se používá příkaz "Extrude"?
- 7. K čemu se používá příkaz "Generate"
- 8. Jaký je rozdíl mezi funkci "Add Material" a "Add Frozen" při tvorbě objemu pomocí vysunutí plochy?



# Animace

Vytvoření 3D geometrie náhlého rozšíření ve dvou variantách v programu DesignModeler si může student zobrazit

(3D geometrie náhlého rozšíření tvořena jedním objemem)

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_5\ soubor Workbench\_2.exe

(3D geometrie náhlého rozšíření tvořena třemi tělesy)

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře **Animace\Kapitola\_5**\ soubor **Workbench\_3.exe**

# 6. ÚKÁZKA PŘÍKLADŮ 3D GEOMETRIE V PROGRAMU DESIGNMODELER

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:	
• vytvářet různé 3D geometrie v programu DesignModeler	
• upravovat 3D geometrie v programu DesignModeler	
• aktivně používat různé nástroje k tvorbě a úpravě 3D geometrie	Budete umět
<ul> <li>vhodně se orinetovat v prostředí programu DesignModeler</li> </ul>	
<ul> <li>vytvářet pomocné roviny příkazem "Sketch"</li> </ul>	
<ul> <li>využívat různé možnosti příkazu "Extrude" - vysunutí pomocných rovin při vytváření objemů</li> </ul>	

#### 6.1. Tvorba 3D geometrie oblasti proudění skrz clonu v programu DesignModeler



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Vytvořit 3D geometrii oblasti proudění skrz clonu
- Používat nástroje při tvorbě 3D tělesa

# **V**ýklad

Oblast proudění clonou je naznačena na Obr. 6.1.



Obr. 6.1. Geometrie oblasti proudění skrz clonu

Parametry oblasti: D=50 mm d=45 mm L=100 mm l=5mm

V prvním kroku spustíme Wokrbench, a do pracovní plochy přetáhneme panel "Fluid Flow (FLUENT)", který pojmenuje např. Clona, viz. Obr. 6.2. Následně spustíme DesignModeler pomocí položky "Geometry".



Obr. 6.2. Prostředí Workbenche k vytvoření oblasti proudění skrz clonu

Postup tvorby oblasti proudění skrz clonu bude spočívat ve vytvoření pomocné roviny, jak je patrné z Obr. 6.1. Následně pomocná rovina bude orotována kolem příslušné osy, cimž bude vytvořená výsledná geometrie oblasti proudění skrz clonu. V průběhu spouštění DesignModeleru budeme dotázání na nastavení jednotek, protože rozměry jsou uvedené v milimetrech, tak nastavíme milimetry. Následně v rovině XY vytvoříme pomocnou rovinu příkazem "New Sketch", ve které vytvoříme polovinu geoemetrie, která je zobrazana na Obr. 6.1. Po vytvoření pomocné roviny "Sketch" se přemísíme do záložky "Sketching-Draw" a krok od kroku vytvoříme geometrii k orotování. Ke kreslení použijime příkaz "Line" (hrany), a průběžně jednotlivé hrany budeme kótovat a definovat jejich rozměry podle zadání.



Obr. 6.3. Dílčí fáze tvorby oblasti proudění skrz clonu

Dílčí fáze tvorby geometrie oblasti proudění skrz clonu je patrná z Obr. 6.3. Celý postup práce vytvoření geometrie spočívá ve využití příkazu "Line" a "Dimensions", kdy postupujeme krok od kroku, až k vytvoření uzavřené oblasti, jak je patrné z Obr. 6.4.



Obr. 6.4. Finální podoba pomocé roviny geometrie oblasti proudění skrz clonu před orotováním

Poslední operací k vytvoření oblasti proudění skrz clonu je rotace pomocné roviny kolem příslušné osy. K vytvoření tělesa rotaci příslušné plochy se využívá příkaz "Revolve", který se



Obr. 6.5. Definování příkazu "Revolve"

Definování příkazu "Revolve" je patrné z Obr. 6.5. Hlavními položkami k definování parametrů rotace jsou:

• "Base Object" - výběr objektu k rotaci (v tomto případě pomocná rovina, viz. Obr. 6.4)

- "Axis" výběr osy rotace (v tomto případě se jedná o osu souřadného systému x, osu vybereme pomocí kurzoru kliknutím na osu v pracovní ploše, osa x je označena červenou šipkou)
- "Operation" "Add Material" přidání materiálu
- "Angle >0" úhel rotace, zvolíme 360°, tím bude vytvořeno válcové těleso

Po definici parametrů příkazu "Revolve" funkci potvrdíme tlačítkem "Generate". Finální podoba tělesa je patrná z Obr. 6.6.



Obr. 6.6. Finální podoba oblasti proudění skrz clonu

# Animace

Vytvoření 3D geometrie oblasti proudění skrz clonu v programu DesignModeler si může student zobrazit

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_6\ soubor Workbench\_4.exe

### 6.2. Tvorba 3D objemové těleso se dvěmi vstupy



Čas ke studiu: 3 hodiny



Vytvořme geometrii šesti vzájemně spojených objemových těles jako samostatné objemy, které jsou níže naznačeny (Obr. 6.7) v programu DesignModeler (Objem1 – Objem6). V jednotlivých detailech a pohledech jsou zakótovaný rozměry v jednotkách [mm] (Obr. 6.8, Obr. 6.9).





Obr. 6.9. Rozměry objemového tělesa

V prvním kroku spustíme Wokrbench, a do pracovní plochy přetáhneme panel "Fluid Flow (FLUENT)", který pojmenuje např. 6-Objemovych-teles, viz. Obr. 6.10. Následně spustíme DesignModeler pomocí položky "Geometry".



Obr. 6.10. Prostředí Workbenche k vytvoření objektu tvořeného šesti tělesy

Rozměry oblasti jsou uvedené v milimetrech, a proto při spuštění DesignModeleru nastavíme jednotky v milimetrech. V prvním kroku vytvoříme Objem 3 (Obr. 6.7) pomocí vytažení ("Extrude") pomocné roviny. Pomocnou rovinu vytvoříme pomocí příkazu "New Sketch" v předdefinované rovině XYPlane. V záložce "Sketching-Draw" nakreslíme obdélník příkazem "Rectangle", viz. Obr. 6.11.



Obr. 6.11. Použití příkazu "Rectangle" (obdélník)

- 133

Obdélník nakreslíme pomocí dvou bodu, kdy myši libovolně klikneme do vytvořené pomocné roviny. V následném kroku zakótujeme hlavní rozměry (400x400), viz. Obr. 6.12 pomocí příkazu "General" z položky "Dimensions".



Obr. 6.12. Zakótování obdélníku

Dále provedeme zakótování obdelníku vůči osám souřadného systému (osa x, osa y), tak aby počátek souřadného systému byl umístěn ve středu objektu, viz. Obr. 6.13 a Obr. 6.14.



Obr. 6.13. Zakótování objektu vůči osám souřadného systému (osa x, osa y)

Obr. 6.14. Umístění počátku souřadného sytému do středu objektu

Dalším krokem provedeme vysunutí pomocné roviny do prostoru (ve směru osy z) o definovanou vzdálenost podle zadání. K vysunutí použijeme příkaz "Extrude" s definovanou podnabídkou "Add Frozen" (zamrznutí). Výsledný objem 3 po pootočení celého modelu je znázorněn na Obr. 6.15.

File Create Concep Conception SPlace Second	k Tools Yew Help Durok Grando Sector of Sector ych-teles sechi 1 Body	Sindat To L+ O D To B + Sindat	- S÷QQQQQ菜本●・12 ■ A・A・A・A・A・ ■ThepSurface & finante ● Frank EPrevantees For communication are call
Setching Madelina			
at ale View			
Details of Extrude	1		
Extrude	Extrude1		
Base Object	Sketch1		
Operation	Add Frozen		
Direction Vector	None (Normal)		
Direction	Normal		
Extent Type	Fixed		2
FD1, Depth (>0)	400 mm		•
As Thin/Surface?	No		
Merge Topology?	Yes		
			0.00 250.00 600.00 (mm) X25.00 375.00
		Model View Print Preview	

Obr. 6.15. Výsledný objem 3

V dalším kroce si ukážeme vytvoření objemu 4 (viz. Obr. 6.7). K vytvoření objemu 4 si budeme muset vytvořit pomocnou rovinu v horní ploše objemu 3. V dosavadních krocích jsme pomocnou rovinu ("Sketch") vytvářeli v definovaných rovinách souřadného systému (XY, ZX, YZ). Při tvorbě objemu 4 definujeme novou rovinu na horní ploše objemu 3. Novou

plochu vytvoříme pomocí příkazu "New Plane" použitím ikony 🔭 z horní lišty. Možnosti definování nové roviny jsou následující:

📥 "Туре"

- "From Plane" rovnoběžně z libovolnou rovinou souřadného systému
- "From Face" na lbovolné ploše modelu
- "From Point and Edge" pomocí bodu a hrany
- "From Point and Normal" pomocí bodu a normály
- "From Three Points" pomocí tři bodů
- "From Coordinates" definici počátku souřadného systému a normálového vektoru



Obr. 6.16. Definování parametrů tvorby nové

Obr. 6.17. Grafické zobrazení mové plochy

#### plochy

Další parametry definování nové roviny souvisejí od zvolené varianty. V našem případě si ukážeme definování nové roviny na již existující horní ploše objemu 3. V nabídce vytvoření nové roviny ("New Plane") zvolíme typ "From Face" (Obr. 6.16) a v objemu 3 vyklikneme horní plochu, která se zabarví zelenou barvou, viz. Obr. 6.17. V průběhu výběru horní plochy po kliknutí na danou plochu si můžete všimnout, že v levém dolním rohu pracovní plochy se zobrazily dvě šedé rovnoběžné plochy. Toto indikuje, že novou rovinu lze vytvořit na dvou plochách daného objemu 3. Jednou plochou je horní plocha a druhou plochou bude nejspíše zadní plocha. Tímto způsobem můžete novou rovinu vytvořit na jedné ze dvou ploch. V našm případě definujeme horní plochu, jak je patrné z Obr. 6.17. Tímto způsobem budem mít vytvořenou novou rovinu ("Plane4", viz. Obr. 6.18). V této rovině vytvoříme "New Sketch", ve které nakreslíme kružnici, kterou vytáhneme a bude vytvořeno těleso 4. Nová pomocná rovina ("New Sketch") je pojmenována jako "Sketch2" (viz. Obr. 6.18). Kružnici vytvoříme pomocí příkazu "Sketching-Draw-Circle". Následně kružnici v pomocné rovině zakótujem (průměr a polohu, tak aby byla umístěna ve středu horní plochy, viz. Obr. 6.19).





Obr. 6.18. Definování pomocné roviny "Sketch2" v nové rovině "Plane4"

Obr. 6.19. Vytvoření kružnice a její zakótování v pomocné rovině "Sketch2"

V následném kroku vytáhneme pomocnou rovinu "Sketch2" do prostoru ve směru osy z o definovanou vzdálenost podle zadání s funkci "Add Frozen" (zamrznutí). Výsledný objem je patrný z Obr. 6.20.



#### Obr. 6.20. Výsledný objem 3 po vytažení

V dalším kroku vytvoříme objem 2 (viz. Obr. 6.7). Nejdříve obdobně jako v předchozím kroku vytvoříme novou rovinu ("New Plane") na boční ploše objemu 3 příkazem "New Plane-From Face". Rovina je pojmenována jako "Plane5" (Obr. 6.21). V této rovině vytvoříme pomocnou rovinu ("New Sketch"), ve které nakreslíme kružnici a provedeme její zakótování (Obr. 6.22) dle zadáni. Pomocná rovina je pojmenována "Sketch3" (Obr. 6.22).



Obr. 6.21. Definování nové roviny ("Plane5")

Obr. 6.22. Vytvoření kružnice a její zakótování v pomocné rovině "Sketch3"

K finální tvorbě objemu 2 použijem příkaz vytažení ("Extrude") s podnabídkou "Add Frozen". Velikost vytažení definujeme podle zadání. Výsledný objem 2 je patrný z Obr. 6.23.



Obr. 6.23. Výsledný objem 2

V další fázi vytvoříme objem 1. Objem 1 vygenerujeme rotací plochy kolem příslušné osy rotace. K tvorbě objemu rotací plochy potřebujeme nejdříve nakresli 2D objekt k orotování v pomocné rovině ("Sketch"). Pomocnou rovinu vytvoříme v nové rovině, kterou musíme vhodně nadefinovat. Novou rovinu vytvoříme pomocí příkazu "New-Plane a zvolíme "Type" – "From Coordinate". Definice nové roviny pomocí příkazu "From coordinate" je znázorněno na Obr. 6.24. V nabídce "Point X, Point Y a Point Z definujeme počátek souřadného systému dané roviny. Dále definujeme směr normály v příslušném směru souřadného systému (Obr. 6.24). Nadefinované parametry nové roviny potvrdíme příkazem "Generate". Výsledkem je nová rovina "Plane6", která je schématicky naznačena na Obr. 6.25.

tails View	
Details of Plane6	
Plane	Plane6
Sketches	0
Туре	From Coordinates
🗌 FD11, Point X	-350 mm
FD12, Point Y	0 mm
🗌 FD13, Point Z	200 mm
🗌 FD14, Normal X	0 mm
🗌 FD15, Normal Y	1 mm
🗌 FD16, Normal Z	0 mm
Transform 1 (RMB)	None
Reverse Normal/Z-Axis?	No
Flip XY-Axes?	No
Export Coordinate System?	No

Obr. 6.24. Definice parametrů nové roviny



Obr. 6.25. Schématicky naznačena nová rovina (přerušované čáry schématicky vymezují danou rovinu)

Následně v rovině "Plane6" vytvoříme pomocnou rovinu "Sketch4", ve které nakreslíme objekt k rotaci a opět odpovídajícím způsobem zakótujeme podle zadání (Obr. 6.26). Výsledný objem 1 po rotaci 2D objektu je patrný z Obr. 6.27.





Obr. 6.26. Objekt k orotování v pomocné rovině "Sketch4"

Obr. 6.27. Vytvořený objem 1 pomocí rotace 2D objektu

Předposledním objemem je objem 5. K vytvoření objemu je nutné stejným způsobem jako u tvorby předchozího objemu (objem 1) vytvořit novou rovinu ("New Plane"). Novou rovinu vytvoříme příkazem "New-Plane a zvolíme "Type" – "From Coordinate". Parametry umístění roviny jsou patrné z Obr. 6.28. Rovina je pojmenována jako "Plane7".



Obr. 6.28. Parametry definování nové rviny ("Plane7")

V dalším kroku vytvoříme pomocnou rovinu ("Sketch5"), ve které nakreslíme 2D objekt k vytažení pomocí příkazu "Extrude" obdobně jako v předchozích krocích. 2D objekt v pomocné rovině ("Sketch5") je znázorněn na Obr. 6.29 a výsledný objem 5 po vytažení je znázorněn na Obr. 6.30.



Obr. 6.29. Vytvořený 2D objekt v pomocné rovině ("Sketch5")



Obr. 6.30. Finální objem 5 po vytažení příkazem "Extrude"

V posledním kroku vytvoříme objem 6 obdobným způsobem jako např. objem 2. Tedy na ploše vytvořeného objemu 5 definujeme novou rovinu příkazem "New Plane-Plane8, viz. Obr. 6.31". Následně v této rovině vytvoříme pomocnou rovinu příkazem "New-Sketch-Sketch6", viz. Obr. 6.32. Takto definovanou pomocnou rovinu následně vysuneme do prostoru, a tím dostaneme poslední objem 6. Na Obr. 6.33 je znázorněno finální těleso tvořené šesti objemy, které jsou vzájemně spojené.





Obr. 6.31. Definování nové roviny ("Plane8")

Obr. 6.32. Vytvoření pomocné roviny ("Sketch6") v rovině "Plane8"



Obr. 6.33. Finální podoba tělesa tvořeného šesti objemy



# Animace

Vytvoření 3D geometrie oblasti se dvěmi vstupy v programu DesignModeler si může student zobrazit

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_6\ soubor Workbench\_5.exe

# 6.3. Tvorba 3D geometrie proudění v trubce včetně vodivé oblasti stěny trubky





Příklad vytvoření níže uvedené 3D geometrie oblasti proudění v trubce včtně vodivé stěny trubky (Obr. 6.34).



t 🖊

Obr. 6.34. 3D geometrie oblasti proudění v trubce včetně vodivé oblasti stěny

<u>Základní parametry:</u>	
Vnitřní průměr trubky	D=50mm
Tloušťka trubky	t=5mm
Délka trubky	L=100mm

Výsledná geometrie bude tvořena třemi objemy. Jeden objem (Objem 1) bude představovat vnitřní oblast proudění. Další dva objemy (Objem 2 a Objem 3) budou tvořit vodivou stěnu trubky. Schématicky objemy oblasti proudění a vodivých oblasti stěn trubky jsou znázorněné na Obr. 6.35.



Obr. 6.35. Schématicky znázorněné objemy

V prvním kroku spustíme Workbench, ve kterém natáhneme panel "Fluid Flow (Fluent)", který pojmenujeme např. Trubka a spustíme program DesignModeler pomocí záložky "Geometry". Během spuštění DesignModeleru definujeme jednotky v milimetry, protože v zadání máme uvedené rozměry v milimetrech. Postup tvorby jednotlivých objemů bude spočívat ve vytvoření pomocných rovin "New Sketch", ve kterých nakreslíme 2D objekty, které následně vytáhneme do prostoru pomocí příkazu "Extrude".

Prvně si ukážeme vytvoření objemu 1. V pomocné rovině ("Sketch1") si vytvoříme kružnici (Obr. 6.36) v záložce "Sketching-Circle", kterou následně vytáhneme do prostoru příkazem "Extrude" (Obr. 6.37) do vzdálenosti definované v zadáni.



V numerických výpočtech v programu ANSYS Fluent13.0 lze obecně pracovat se dvěmi druhy oblastí nebo taky zónami. Jede typ oblasti je FLUID a druhý je SOLID. Oblast FLUID definuje oblast proudění tekutiny, zatímco oblast SOLID definuje pevnou vodivou oblast nějakého materiálu. V našem příkladě budeme definovat dvě odlišné oblasti, a to pro vnitřní objem trubky (Objem 1) oblast FLUID, a pro stěnu trubky (Objem 2 a Objem 3) oblast solid. V DesignModeleru je přednastaveno, že pro každé objemové těleso je automatický definována oblast SOLID. Změnu typu oblasti pro daný objem lze provést v kořenové struktůře příkazů (panel vlevo), viz. Obr. 6.38. V položce "1 Part, 1 Body" je pojmenována záložka "Solid", která odpovídá vytvořenému Objemu 1, a pokliknutím na ikonu získáme informace o objemu 1, včetně možnosti definovat typ oblasti. Hlavní parametry ikony



"Solid"

- jsou:
- "Volume" velikost objemu
- "Surface Area" velikost povrchu objemu
- "Face" počet ploch (3)
- "Edges" počet hran (2)
- "Vertices" počet bodů (0)
- "FLUID/SOLID" možnost definování oblasti proudění nebo pevné oblasti vedení např. tepla


Obr. 6.38. Definování typu oblastí (FLUID/SOLID)

V našem případě pro objem 1 definujeme oblast FLUID. Obdobným způsobem postupujeme pro objem 2 a objem 3, kdy definujeme typ oblasti SOLID.

V další fázi vytvoříme objem 2 a objem 3. Postup tvorby objemu 2 a objemu 3 bude identický. Prvně tedy vytvoříme objem 2. Nejdříve vytvoříme pomocnou rovinu "Sketch2", ve které nakreslíme polovinu mezikruží pomocí poloměrů a hran, viz. Obr. 6.39. Následně 2D objekt vysuneme příkazem "Extrude" do prostoru s tím, že použijeme funkci "Add Frozen" tzn., že objem 2 bude samostatným objemem, viz. Obr. 6.40.



Obr. 6.39. Polovina mezikruží v pomocné rovině "Sketch2"

Obr. 6.40. Objem 2 vytažením mezikruží do prostoru

prostoru

V případě objemu 3 postupujeme obdobně. Nejdříve vytvoříme pomocnou rovinu "Sketch3" (Obr. 6.41), kterou následně vysuneme příkazem "Extrude" do prostoru a dostaneme objem 3 (Obr. 6.42).



V posledním kroku pro přehlednost předefinujeme názvy jednotlivých objemů podle zadání (Objem 1, Objem 2 a Objem3). V kořenovém adresáři v položce "3 parts, 3 Bodies" přejmenujem jednotlivé 3D tělesa podle zadání, viz. Obr. 6.43.

🕅 A: Trubka - I	DesignModeler								
File Create	Concept Tools View Help								
🖉 📕 📕 🖚 🛛 Olndo @Redo 🛛 Se									
XYPlane 🔻 🛧 Sketch3 💌 🏄									
Generate MSbare Topology									
Tree Outline									
A: Tru	Tree outline 4 →								
Sketching Mod	leling (								
Details View									
Details of Bo	ody								
Body	Objem3								
Volume	43197 mm <sup>3</sup>								
Surface Area	19143 mm²								
Faces	6								
Edges	12								
Vertices	8								
Fluid/Solid	Solid								

Obr. 6.43. Přejmenování jednotlivých 3D těles

"Sketch2"

Poslední operací je vytvoření výsledného celku (neboli pártu) pomocí příkazu "From New Part", jak je patrné z Obr. 6.44. Postup vytvoření nového pártu je totožný jako v kapitole 5.1 a Obr. 5.29.



Obr. 6.44. Vytvoření výsledného celku ("Part") trubky s vodivou oblasti stěny



- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_6\ soubor Workbench\_6.exe

Nyní si ukážeme jednodušší přístup vytvoření 3D geometrie oblasti proudění v trubce včtně vodivé stěny trubky podle zadání na Obr. 6.34. Spustíme si Workbench, do kterého si klasicky natáhneme panel "Fluid Flow(FLUENT)", který přejmenujeme na např. "Trubka-1", a celý projekt pojmenujeme "Trubka-1.wbpj". Následně spustíme DesignModeler z položky Geometry, viz. Obr. 6.45.



Obr. 6.45. Vytvoření projektu "Trubka-1"

Podle zadání z kap. 0. je vnitřní průměr trubky d=50 mm a vnější průměr D=60mm. V tomto postupu nejdříve vytvoříme válec o vnějším průměru D a následně tento válec rozříznem válcem o vnitřním průměru s tím, že tento válec bude mít nulovou tloušťku, a tedy válec rozříznem jako by plochou. Postupné kroky vytvoření výsledného tělesa si nyní ukážeme. Nejdříve vytvoříme novou pomocnou rovinu "New Sketch" v rovině XY, ve které nakreslíme kružnici "Sketching-Draw-Circle". Kružnici následně zakótujeme "Sketching-Dimensions-

Diameter" hodnotou rovnou D=60mm. Poté kružnici vytáhneme do prostoru, tak abychom dostali objemové těleso ("Válec") do délky 100mm. K vysunutí použijeme příkaz "Extrude".



Obr. 6.46. Vytvoření kružnice o průměru D v pomocné rovině ("Sketch")

Nastavení příkazu "Extrude" je patrné z Obr. 6.47. Definujeme operation "Add Frozen" a délku vysunutí 100mm (položka FDI Depth (>0)), viz. Obr. 6.47. Nastavení potvrdíme příkazem Generate, čimž se nám vygeneruje válec, který je patrný z Obr. 6.48.



Obr. 6.47. Definování parametru "Extrude"



Obr. 6.48. Vytvořený válec o vnějším průměru

Další operací bude rozdělení válce vnitřním válcem o nulové tloušťce, a tedy plochou. Nejdříve si vytvoříme novou rovinu ("New Plane") na které se následně vytvoří pomocná rovina ("New Sketch"), a to na jedné z čelních ploch válce. Novou rovinu vytvoříme příkazem "New Plane" kliknutím v horní liště. Následně se nám otevře dialogové okno "Details View", a v položce "Type" zvolíme nabídku "From Face", kdy pomocí myši klikneme na čelní plochu válce. Tím bude vytvořena plocha "Plane 4". Dílči kroky definování a vytvoření plochy "Plane 4" jsou znázorněny na Obr. 6.49. Následným kliknutím na ikonu "Generate" dojde k vytvoření plochy ("Plane 4").



Obr. 6.49. Definování a vytvoření plochy "Plane 4"

V dalším kroku vytvoříme pomocnou rovinu ("Sketch") na rovině ("Plane 4") pomocí příkazu "New Sketch". Klikneme v kořenovém adresáři příkazu ("Tree Outline") na položku "Plane 4" a následně na ikonu "New Sketch" tím bude pomocná rovina ummístěna v rovině "Plane 4". V této pomocné rovině vytvoříme kružnici v záložce "Sketching-Draw-Circle", tak že kurzorem myši se přiblížíme místu průniku os x a y tím se zobrazí písmeno P, což definuje průnik osa, a zároveň to pro nás bude střed kružnice. Druhý bod získáme tažením myši. Následně kružnici zakótujeme pomocí záložky "Sketching-Dimensions-Diameter" a přepíšeme hodnotu průměru na 50mm. Finální podoba zakótované kružnice je patrná z Obr. 6.50. Následně se vrátíme do záložky "Modeling" a provedeme vytažení nové pomocné roviny označené jako "Sketch 3" do prostoru s definovanou nulovou tloušťkou pomocí funkce "Slice" (rozříznutí). Vytažení pomocné roviny ("Sketch 3") provedeme pomocí příkazu "Extrude". Definování parametrů vytažení roviny ("Sketch 3") pomocí příkazu "extrude" je znázornění na Obr. 6.51. Hlavním parametrem rozříznutí v případě vysunutí roviny "Sketch 3" je operace "Slice Material", kterou definujete ze záložky "Details of Extrude2-Operation-Slice Material", jak je patrné z Obr. 6.51. Definované parametry vysunutí potvrdíme příkazem "Generate".



Obr. 6.50. Vytvoření kružnice v pomocné rovině ("Sketch 3")



Obr. 6.51. Definování parametrů vytažení ("Extrude")

Výsledné objemy tělesa, které jsou pojmenovány "Solid, Solid" v záložce "2 Parts, 2 Bodies" jsou patrné z Obr. 6.52. Pro následnou přehlednost je vhodné tyto názvy odpovídajícím způsobem přejmenovat. Další úpravou je předefinovat typ oblasti, které odpovídají jednotlivým objemům. V DesignModeleru je přednastavena typ oblasti "Solid". Z charakteru zadání je jasné, že vnitřní objem představuje oblast proudění tekutiny, a tedy typ "FLUID". Vnější objem naopak představuje pevnou oblast materiálu stěny trubky, a tedy typ "SOLID". Přejmenování názvu jednotlivých objemů a předefinování typů oblastí (FLUID, SOLID) provedeme z kořenového adresáře "Tree Outline" kliknutím v záložce "2 Parts, 2 Bodies" na položku "Solid", viz. Obr. 6.52. Následně se nám otevře okno "Details View", kde změnu názvu předefinujeme v položce "Body" a typ oblasti v položce "Fluid/Solid". V našem případě nadefinujeme název pro vnitřní objem jako "Proudeni" a typ oblasti "FLUID", viz.

Obr. 6.54. Pro vnější objem nadefinujeme název "Teleso-Trubky" a typ "SOLID", viz. Obr. 6.53.



Obr. 6.52. Finální podoba výsledného tělesa tvořeného dvěmi objemy



Obr. 6.53. Definování oblasti stěny trubky jako typu "SOLID"



Obr. 6.54. Definování vnitřní oblasti proudění tekutiny jako typu "FLUID"

Poslední operací je vytvoření jednoho celku (Partu) pomocí příkazu "From New Part". Postup definování a vytvoření jednoho celku je obdobný jako v kap. 5.1 na Obr. 5.29. Výsledná podoba tělesa je patrná z Obr. 6.55.



Obr. 6.55. Finální podoba tělese včetně vytvořeného celku (Partu)



## Shrnutí pujmů 6

Příklad 3D geometrie oblasti proudění skrz clonu, Příklad 3D geometrie se dvěmi vstupy, použití příkazů "New Sketch", "New Plane", "Extrude", "Revolve", "Add Frozen", vytvoření nové roviny "New Plane" pomocí různých metód.



## Animace

Vytvoření 3D geometrie oblasti proudění s vodivou stěnou trubky pomocí rozříznutí příkazem "Slice Material" v programu DesignModeler si může student zobrazit

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_6\ soubor Workbench\_7.exe

## 7. TVORBA VÝPOČETNÍ SÍTĚ V PROGRAMU ANSYS MESHING

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:								
• vhodně se orientovat v prostředí programu ANSYS Meshing								
<ul> <li>používat různé nástroje programu ANSYS Meshing k tvorbě plošné a objemové výpočetní sítě</li> </ul>								
<ul> <li>definovat různé metody vytváření výpočetní sítě v programu ANSYS Meshing</li> </ul>	definovat různé metody vytváření výpočetní sítě v programu     ANSYS Meshing     Budete umět							
definovat a vytvářet mezní vrstvu v programu ANSYS Meshing								
<ul> <li>definovat okrajové podmínky na jednotlivých hranicích 3D modelů v programu ANSYS Meshing</li> </ul>								
<ul> <li>interaktivně přecházet z programu DesignModeler do programu ANSYS Meshing</li> </ul>								

#### 7.1. Grafické prostředí programu ANSYS Meshing a uživatelské nástroje



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- se orientovat v prostředí programu ANSYS Meshing
- používat různé nástroje programu ANSYS Meshing

# J Výklad

Program ANSYS Meshing se spouští z prostředí programu Workbench abdobně jako program DesignModeler. Program Workbench spustíme v systému Windows: "Start – programy – ANSYS 13.0 – Workbench". Program ANSYS Meshing lze spustit z již rozpracovaného projektu, kdy máme vytvořený model v programu DesignModeler, tzn. že samostatně program ANSYS Meshing nelze spustit. Grafické prostředí a uživatelské nástroje si ukážeme na projektu "3D-rozsireni" z kapitoly "Tvorba 3D geometrie náhlého rozšíření". Spustíme Workbench a načteme daný projekt ("File-Open-3D-rozsireni.wbpj"). Po načtení se nám objeví projekt v pracovní ploše Workbenche. Samotný ANSYS Meshing spustíme kliknutím na pološku "Mesh", viz. Obr. 7.1.

🔥 3D-rozsireni - Workbench								
File View Tools Units	Help							
🎦 New 💕 Open 🛃 Save	🔜 Save As	👔 Import	🗳 Reconnect	湕 Refresh Proje	ect 🍠 Upda	ate Proj	ject ( 🔿 Project 🕻	🕜 Compact Mod
Toolbox 👻 👎 🗙 Project Schematic								
Analysis Systems								
🗹 Design Assessment								
Electric		-	A		-		В	
🔝 Explicit Dynamics		1	🔄 Fluid Flow (FL	UENT)	1	<b>C</b>	Fluid Flow (FLUENT)	
🔄 Fluid Flow (CFX)		2	00 Geometry	× .	2	0	Geometry	× .
🖾 Fluid Flow (FLUENT)		2	Mech		3		Mech	<b>a</b>
🔯 Harmonic Response			w non					
😥 Linear Buckling		4	Secup	° .	4		Setup	° 🖌
🔘 Magnetostatic		5	🕼 Solution	P 🖌	5		Solution	P 🖌
👜 Modal		6	😥 Results	2	6	1	Results	2
📶 Random Vibration			3D-rozsire	-		3	D-rozsireni-3-telece	_
📶 Response Spectrum			30-1025116			3	D-10230600-3-080658	
🛃 Rigid Dynamics								
Shape Optimization								

Obr. 7.1. Načtený projekt "3D-rozsireni"

Během spouštění ANSYS Meshing v poslední fázi uživatele dotazuje jakou metódu síťování zvolit jako výchozí volbu (Obr. 7.2). V záložce "Mesh Metod" lze zvolit:

- "Automatic (Patch Conforming/Sweeping)" automatické síťování objektu přizpůsobující se tvaru geometrie,
- "Tetrahedrons (Patch Independent)" nezávislé síťování pomocí čtyřstěnů,
- "Tetrahedrons (Patch Conforming)" přizpůsobující se síťovaní pomocí čtyřstěnů.

V této fázi ponecháme "Mesh Method" jako "Automatic (Patch Conforming/Sweeping)



Obr. 7.2. Spouštění ANSYS Meshingu a definice metódy síťování

Po načtení 3D geometrie náhleho rozšíření do programu ANSYS Meshing se nám zobrazí následující skladba programu, viz. Obr. 7.3. V horní liště (v obrázku je označeno červeně) se nachází celá řada ikon k práci se zobrazením modelu a výpočetní sítě v pracovní ploše. Dále jsou tam nástroje na výběr příslušné entity z modelu (bod, hrana, plocha nebo objem). Následujícími funkcemi jsou ikony k vygenerování výpočetní sítě, vytvoření virtuální geometrie, definování a pojmenování okrajových podmínek, vytvoření řezu, atd.

Definice jednotlivých funkcí ikon:

- S 💠 🔍 🕂 🔍 🔍 🧟 🔍 🚟 🧖 ikony k nastvení zobrazení modelu (rotace, posunutí, zoom, zobrazení do okna, prostorové zobrazení, zobrazení kolmo na plochu) 1000 X,Y,Z
- 🔓 🖻 🖪 🖪 - ikony k výběru entir (bod, hrana, plocha, objem, výběr jedné entity nebo skupiny, zobrazení souřadnic libovolného místa v modelu)
- ジ Generate Mesh | - ikona k vygenerování výpočetní sítě (jsouli definovány všechny • parametry výpočetní sítě)
- 1 - ikona k vytvoření řezu výpočetní sítí, k zjištění kvality výpočetní sítě v daném místě
- ✓QNamed Selection definování okrajových podmínek na jednotlivých hranicích modelu



ikona k zobrazení bodů

- Wireframe ikona k zobrazení plného nebo dráťenného modelu
- Edge Coloring ikona ke grafickému zvýraznění hran modelu

Další důležitou oblastí v prostředí programu ANSYS Meshing je kořenová struktura jednotlivých příkazu síťování, viz. Obr. 7.3 a Obr. 7.4. Strukrura příkazu se nachází v záložce "Outline" vlevo pod horní lištou (označena modře). Dúležitou položkou "Mesh", ve které si uživatel definuje různé parametry a metodu vytvoření výpočetní sítě (Obr. 7.4).



Obr. 7.4. Vložení metody vytvoření výpočetní sítě

Obr. 7.5. Detailní informace o modelu

Další oblastí v prostředí programu ANSYS Meshing je pracovní plocha (Obr. 7.3), ve které uživatel pracuje s modelem. Pod pracovní plochou se následně nacházï informativní pole ("Message", viz. Obr. 7.3), ve kterém se uživateli zobrazují informace k některým krokům, které v rámci tvorby výpočetní sítě provádí (v grafickém prostředí je toto pole označeno žlutou barvou). Následně v tomto poli jsou sdělovány i chybové informace. Poslední oblasti je pole pod strukturou příkazu, tzv. definiční pole, ve kterém se definují parametry tvorby výpočetní sítě viz. Obr. 7.3 (pole označené zelenou barvou), nebo lze tam získat např. detailní informace o samotném modelu (Obr. 7.5). Z detailního výpisu modelu lze zjistit hlavní rozměry ("Bounding Box – X, Y, Z"), typ materiálu ("Solid"), velikost objemu ("Volume"). Výpočetní sítř v programu ANSYS Meshing lze generovat dvěmi postupy. První variantou je vytvoření automatické výpočetní sítě pro celý model. U této varianty se nastaví globální parametry, které budou využity k vysíťování celého modelu. Druhou variantou je postupné síťování, kdy lze dílčí objemy modelu síťovat separátně, a tím dosáhnout různé hustoty výpočetní sítě v dílčích objemech modelu.



Shrnutí pujmů 7

Uživatelské prostředí ANSYS Meshing, Spouštění programu ANSYS Meshing s prostředí Workbench, Nástroje programu ANSYS Meshing, ikony k zobrazení, ikony k výběru entit, ikona k definování okrajových podmínek, přístupy k vytvoření výpočetní sítě



### Otázky 7

- 1. Stručně charakterizujte prostředí ANSYS Meshing?
- 2. Hlavní funkce programu ANSYS Meshing?
- 3. Jakým způsobem se spouští program ANSYS Meshing?
- 4. Jaké jsou možné přístupy k tvorbě výpočetní sítě v programu ANSYS Meshing?



### Animace

Uživatelské prostředí a nástroje programu ANSYS Meshing si může student zobrazit

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_7\ soubor Workbench\_8.exe

# 7.2. Tvorba výpočetní sítě v 3D geometrii náhlého rozšíření – automatické generování výpočetní sítě



Čas ke studiu: 2 hodiny

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Vytvořit objemovou výpočetní síť v 3D objektu náhlého rozšíření
- Vhodně používat a aplikovat různé nástroje k tvorbě automatické objemové výpočetní sítě v 3D geometrie náhlého rozšíření



V této kapitole se seznámite s možnosti vytvoření automatické výpočetní sítě v programu ANSYS Meshing na příkladě 3D geometrie náhlého rozšíření z kapitoly 5.1 (3D-rozsireni.wbpj). V prvním kroku načteme do prostředí ANSYS Workbench projekt "3D-rozsireni.wbpj", viz. Obr. 7.6. Následně spustíme ANSYS Meshing pokliknutím na položkou "Mesh", viz. Obr. 7.6. Během spouštění ANSYS Meshing se program uživatele dotazuje jakou metódu síťování zvolit. V záložce "Mesh Metod" zvolíme "Automatic (Patch Conforming/Sweeping)" – automatické síťování objektu přizpůsobující se tvaru geometrie. Po spuštění programu ANSYS Meshing se zobrazí v prostředí programu model 3D rozšíření jak je patrné z Obr. 7.7. Model 3D rozšíření se nachází v pacovní ploše.

1 3D-rozsireni - Workbench											
File View Tools Units Help											
🎦 New 对 Open 🛃 Save 🔣 Save As	👔 Import		🖗 Reconnect	建 Refresh Pro	oject	🗲 Upda	te Proj	iect 🕒 Project	🕜 Cor	mpac	t Mode
Toolbox 🔻 🕈 🗙	Project Sc	hema	tic								
🖂 Analysis Systems											
M Design Assessment											
Electric	-		A			•		В			
🔝 Explicit Dynamics	1	3	Fluid Flow (FLU	ENT)		1	<b>C</b> 1	Fluid Flow (FLUENT)			
🖸 Fluid Flow (CFX)	2	00	Geometry	<ul> <li>Image: A set of the set of the</li></ul>		2	<b>0</b> 0	Geometry	~	7	
🔀 Fluid Flow (FLUENT)	3		Mesh	4		3		Mesh	2	1	
🔯 Harmonic Response	4		Cabus			-		Tabua		4	
😥 Linear Buckling	-		Secup	ĭ		т		becup		4	
🔘 Magnetostatic	5		Solution	° 🖌		5		5olution	° ?	4	
🕎 Modal	6	1	Results	? 🖌		6	😥 F	Results	?		
📶 Random Vibration			3D-rozsireni				3	D-rozcireni-3-telec:			
📶 Response Spectrum			3D-1023ii Chi						·		
🚾 Rigid Dynamics											
Shape Optimization											

Obr. 7.6. Načtení projektu "3D-rozsireni.wbpj" a spuštění ANSYS Meshing

V levé části programu se nacházi pole se strukturou příkazů a pole k definování parametru síťování (Obr. 7.7). Kliknutím ve struktůře příkazů na položku "Mesh" ( Mesh ) se v položce "Deatils of "Mesh" zobrazí parametry k výtvoření výpočetní sítě.



Obr. 7.7. Prostředí programu ANSYS Meshing po spuštění

Základním parametrem vytvoření automatické sítě je definování velikosti buňky. Velikost buňky definujete v položce "Details of "Mesh"-Sizing" (Obr. 7.7). Nadefinujeme konstantní velikost buňky 0,05m (tzn. za rozšířením je velikost hrany 0,1m), a tedy za rozšířením budou dvě buňky. Nadefinování velikosti buňky je patrné z Obr. 7.8. Kromě velikosti buňky, lze definovat i jiné parametry, např. "Inflation" – zhuštění, atd..

De	tails of "Mesh"		<b>4</b>				
-	Defaults						
	Physics Preference	CFD	)				
	Solver Preference	Flue	ent				
	Relevance	0					
-	Sizing						
	Use Advanced Size Funct	on On:	Curvature				
	Relevance Center	Coa	rse				
	Initial Size Seed	Acti	ve Assembly				
	Smoothing	Med	lium				
	Transition	Slov	Ŷ				
	Span Angle Center	Fine	•				
	Curvature Normal Ang	e Def	Default (18,0 %)				
	Min Size	5,0	-002 m				
	Max Face Size	5,e	•002 m				
	Max Size	5,e	-002 m				
	Growth Rate	Def	ault (1,20 )				
	Minimum Edge Length	1,e	-001 m				
+	Inflation						
-	CutCellMeshing						
	Active	No					
+	Advanced						
Ŧ	Defeaturing						
+	Statistics						

Obr. 7.8. Definování velikosti buňky

Vygenerování výpočetní sítě potvrdíme ikonou "Generate Mesh" v horní liště, a nebo pomocí pravého tlačítka nad položkou "Mesh" v struktuře příkazu se rozbalí podnabídka, ze které lze použít příkaz "Generate Mesh". Jednotlivé postupy jsou znázorněné na Obr. 7.9.



Obr. 7.9. Vygenerování automatické výpočetní sítě

Po vygenerování výpočetní sítě je finální podoba patrná z Obr. 7.10.



Obr. 7.10. Výsledná objemová síť 3D modelu s rozšířením

V záložce "Mesh" (struktura příkazu) kliknutím pravého tlačítka kromě vygenerování výpočetní sítě, lze i vygenerovat pouze náhled na povrchovou síť, a tím získat představu např. o velikosti elementu. Kromě toho pomocí příkazu "Clear Generated Data" lze výpočetní sít smazat a vygenerovat znovu. Další možností je předefinovat parametry výpočetní sítě (např. velikost elementů) a model přesíťovat pomocí příkazu "Update". Všechny tyto příkazy jsou znázorněny na Obr. 7.11.



Obr. 7.11. Různé nástroje k tvorbě výpočetní sítě

Dalším informativním údajem je počet elementů a uzlů. V našem případě jsme vytvořili výpočetní objemovou síť tvořenou pravidelnými šestistěnými elementy. Tyto údaje lze získat v poli "Detail of "Mesh"" a podpoložce "Statistics" (Nodes-počet uzlů = 23343, Elements-počet elementů 20160), viz. Obr. 7.12.

г												
	Ð	Inflation										
	Ð	CutCellMeshing										
L.	Ð	Advanced										
Þ	Ð	Defeaturing										
Μ		Statistics										
		Nodes	23343									
		Elements	20160									
		Mesh Metric	None									
H												

Obr. 7.12. Počet uzlů a elementů výpočetní sítě

V dalším kroku vygenerujem výpočetní síť s menší velikosti buňky (budeme definovat velikost 0,02m).

Physics Preference Solver Preference Relevance Sizing	CFD Fluent 0					
Solver Preference Relevance Sizing	Fluent 0					
Relevance	0					
Sizing	-					
Use Advanced Size Function	On: Curvature					
Relevance Center	Coarse					
Initial Size Seed	Active Assembly					
Smoothing	Medium					
Transition	Slow					
Span Angle Center	Fine					
Curvature Normal Angle	Default (18,0 °)					
Min Size	2,e-002 m					
Max Face Size	2,e-002 m					
Max Size	2,e-002 m					
Growth Rate	Default (1,20)					
Minimum Edge Length	1,e-001 m					
Inflation						
CutCellMeshing						
Advanced						
Defeaturing						



Obr. 7.13. Změna velikosti buňky (0,02m)

Obr. 7.14. Příkaz "Update" k vygenerování nové výpočetní sítě



Obr. 7.15. Finální výpočetní síť s velikosti buňky 0,02m

V poli "Details of Mesh" změníme velikost buňky na 0,02m (Obr. 7.13). Přesíťování modelu provedeme příkazem "Update", kdy na položku "Mesh" klikneme pravým tlačítkem myši (Obr. 7.14). Výsledná objemová síť je zobrzena na Obr. 7.15. V položce "Statistics" lze zjistit počet uzlů (Nodes=334476), a počet elementů (Elements=315000).

Jedním z dalších často používaných nástrojů je vizuální kontrola kvality vytvořené výpočetní sítě uvnitř 3D modelu. K zjištění kvality sítě lze vytvořit řez libovolnou rovinou vedenou výpočetní oblasti, ve které si můžeme prohlédnout jednotlivé elementy v řezu. Vytvoření takovéto roviny provedeme pomocí příkazu "New Section Plane". Příkaz najdeme pod ikonou

(Obr. 7.16), která se nachází v horní liště. Řez můžeme vést libovolnou rovinou, kterou naznačíme pomocí kurzoru myši. Pro rychlou definici roviny řezu lze využít souřadného

systému, který se nacházi v pravém dolním rohu pracovní plochy. Po kliknutí na ikonu se kurzor změní v "terčík" (Obr. 7.16), a levým tlačítkem myši tažením lze model přeříznout v jakémkoliv směru. Výhodné je vést roviny řezu ve směru libovolné souřadné osy. V našem případě si ukážeme rovinu vedenou ve směru souřadné osy x. Kurzorem (tedy "terčíkem") se přiblížíme k souřadnému systému (levý dolní roh, viz. Obr. 7.16) a klikneme na osu x (červeně označená osa).



Obr. 7.16. Definování řezu příkazem "New Section Plane"

Následně pohled přejde do rovinného zobrazení (rovina YZ, viz. Obr. 7.17), a pomocí kurzoru vedeme rovinu v libovolné vzdálenosti osy z. Po naznačení roviny řezu jedna polovina výpočetní oblasti bude odstranění pro následné zobrazení (Obr. 7.18).



Obr. 7.17. Rovinné zobrazení (rovina YZ k vedení řezu)



#### Obr. 7.18. Naznačená rovina řezu

Výsledné zobrazení výpočetní oblasti v rovině řezu je patrné z Obr. 7.19. Po definici řezu se objeví v prostředí ANSYS Meshingu nový panel, který je pojmenovaný "Section Planes" (Obr. 7.19) a řez v panelu je pojmenován jako "Slice Plane 1" (Obr. 7.19). Pokud chcete potlačit zobrazení v řezu, a přejít na zobrazení celého modelu stačí zrušit zatržení u názvu "Slice Planes 1". Pokud vytvoříte další řezy, tak budou pojmenovány "Slice Planes 2, 3,...".



Obr. 7.19. Zobrazení výpočetní oblasti v rovině řezu

V dalším kroku místo pravidelných šestistěných elementů vygenerovaných automaticky vytvoříme výpočetní síť pomocí čtyřstěnných elementů nebo jejich kombinací. Změnu automatické metody vytvoření výpočetní sítě provedeme pomocí příkazu z pole "Outline" kliknutím na položku "Mesh" pravým tlačítkem myši. Vybereme položku "Method" jak je patrné z Obr. 7.20. Poté se v prostředí programu ANSYS Meshing zobrazí nové pole "Details of "Automatic Method" - Method" (Obr. 7.21).



Obr. 7.20. Definování globální metody vytvoření výpočetní sítě

- - -	De	Project Project Model (A3)  Model (A3)  % Sold % Sold % Sold % Auto talls of Automatic Meth Scope	i Systems al Coordinate System matic Method
И		Scoping Method	Geometry Selection
1		Geometry	Apply Cancel
	Ξ	Definition	
V		Suppressed	No
		Method	Automatic
		Element Midside Nodes	Use Global Setting

Obr. 7.21. Definování automatické metody vytvoření výpočetní sítě

V panelu "Details of "Automatic Method" - Method" nejdříve vybereme odpovídající těleso, na které bude aplikována automatická metoda vytvoření výpočtní sítě v záložce "Geometry". Pomocí kurzoru vybereme v našem případě jediné těleso, které se podbarví zelenou barvou, jak je patrné z Obr. 7.22.



Obr. 7.22. Výběr odpovídajícího tělesa k definování automatické metody síťování



Obr. 7.23. Metody vytvoření automatické výpočetní sítě

Z položky "Method" je k dispozici několik automatických metod síťování. Jejich aplikace samozřejmě záleží na úvaze uživatele v průběhu tvorby výpočetní sítě. Celkový přehled možných metod je k dispozici na Obr. 7.23. Základní nabídka je následující:

- "Automatic" (v našem případě se jedná o pravidelné šestistěnné elementy)
- "Tetrahedron" (čtyřstěnné elementy)
- "Hex Dominant" (převažující šestistěnné elementy)
- "Sweep" (vytažení)

V našem případě vybereme položku "Tetrahedron" (čtyřstěny) a "Algorithm" - "Patch Conforming" jak je patrné z Obr. 7.24.

IJ	>> Diriow vertuces @∓ wit	remaine 🛛 💶 Luge Coloning 🔹 🔨 •		
Ī	Mesh 🗦 Update 🛛 🍘 M	lesh 👻 🔍 Mesh Control 👻 🗐 Metric	Graph Bootions	
	Outine Project Model (A3) Solid Solid Solid Solid Mesh Solid Mesh Solid Sol	4 e Systems al Coordnate System h Conforming Method		Vencentiterelal use only
	Details of "Patch Conformin	ng Method" - Method	•	
L	E Scope	Constant Coloritory		
L	Scoping Method	Leonetry selection		
I	Definition	1 6009		
	Suppressed	No		
I	Method	Tetrahedrons		
I	Algorithm	Patch Conforming		
	Element Midside Nodes	Use Global Setting		

Obr. 7.24. Definování čtyřstěnných elementů ("Tetrahedron")

Velikost elementů ponecháme z předchozího síťování pomocí šestistěnných elementů. K výslednému přesíťování výpočetní sítě vytvořené z šestistěnných elementů na čtyřstěnné elementy definované výše lze použit dva přístupy. První variantou je odstranění předchozí výpočetní sítě a následné vysíťování pomocí nové metody ("Tetrahedron"). Druhou možností je provést aktualizací, kdy výpočetní síť bude automaticky přesíťována. Obe tyto možnosti jsou k dispozici z položky "Mesh" použitím pravého tlačítka myši, jak je patrné z Obr. 7.25. Odstranění stávající výpočetní sítě se provede pomocí příkazu "Clear Generated Data" (Obr. 7.25) a aktualizace výpočetní sítě se provede příkazem "Update" (Obr. 7.25). V našem případě provedeme odstanění výpočetní sítě pomocí příkazu "Clear Generated Data". Následně vygenerujem novou výpočetní síť, která bude tvořena čtyřstěny ("Tetrahedron") s algoritmem "Patch Conforming Method".



Obr. 7.25. Odstranění stávající výpočetní sítě (pravidelná šestistěnná výpočetní síť)

Po nadefinování metódy síťování definujeme parametry čtyřstěnných ("Tetrahedron") elementů, tzn. velikosti buňky, jak je patrné z Obr. 7.26. Parametry velikosti buňek ponecháme z předchozí definice šestistěnných elementů, a tedy konstantní velikost elementu 0,05m, viz. Obr. 7.26. Po vytvoření výpočetní sítě zjistíme počet uzlů (Nodes=33194), a počet elementů (Elements=178898) v záložce "Statistics", viz. Obr. 7.26. Výsledná výpočetní síť je patrná z Obr. 7.26.



Obr. 7.26. Definování parametrů čtyřstěnných elementů, výsledná výpočetní síť

Současně pro náhled na vytvořenou výpočetní síť provedeme zobrazení v příčném řezu. Řez definujeme obdobně jako na Obr. 7.17, Obr. 7.18 pomocí příkazu "New Section Plane". Zobrazení výpočetní sítě v příčném řezu je patrné z Obr. 7.27.



#### Obr. 7.27. Zobrazení výpočetní sítě v příčném řezu

Další možností je ověření kvality elementů výpočetní sítě pomocí parametru "Skewness" (kososk elementů). Tento příkaz je aktivní v poli "Detail of "Mesh"-Statistics-Mesh Metric-Skewness", jak je patrné z Obr. 7.28. V tabulce výpisu je uvedená minimální, maximální a střední hodnota. Klíčovou hodnotou k posouzení vhodnosti elementů je maximální hodnota, která by neměla překročit hodnotu 0,9. V našem případě je maximální hodnota rovna 0,8, což je vyhovující. V poli "Mesh Metrics" je zobrazena stupnice s daným rozsahem, a po kliknutí na libovolné místo lze zobrazit elementy s danou hodnotou parametru "Skewness", viz. Obr. 7.28. V našem případě vybereme hodnotu 0,75. V pracovní ploše se nám následně vykreslí elementy s hodnotou parametru "Skewness" 0,75 (Obr. 7.28)



Obr. 7.28. Ověření kvality elementů výpočetní sítě pomocí parametru "Skewness"



Obr. 7.29. Definování čtyřstěnných elementů ("Tetrahedron") algoritmem "Path Independent"

V dalším kroku si ukážeme definování výpočetní sítě pomocí čtyřstěnných elementů ("Tetrahedron") algoritmem "Patch Independent". Algoritm předefinujeme v poli "Outline-Mesh-Algorith-Patch Independent" (Obr. 7.29). Parametry definování algoritmu "Patch Independent" ponecháme v přednastavené formě. Velikost elementů výpočetní sítě definujeme opět konstantní hodnotou 0,05m (Obr. 7.30).



Obr. 7.30. Definování velikosti čtyřstěnných elementů, výsledná výpočetní síť

Po vytvoření výpočetní sítě zjistíme počet uzlů (Nodes=53430), a počet elementů (Elements=297839) v položce "Statistics" (Obr. 7.30). Výsledná výpočetní síť je zobrazena na Obr. 7.30. Následně na Obr. 7.31 je zobrazena výpočetní síť v příčném řezu pro algoritmus "Patch Independent".



Obr. 7.31. Zobrazení výpočetní sítě v příčném řezu

Další možností je definování šestistěnných elementů pomocí metody "Hex Dominant". Parametry definování metody "Hex Dominant" jsou v položce "Details of "Hex Dominant Method" – Method", viz. Obr. 7.32. Definujeme následující parametry:

- Element Midside Nodes Use Global Settings
- Free Face Mesh Type Quad/Tri

Posledním parametrem je definování konstantní velikosti elementů 0,05m stejně jako v předchozích variantách vytvoření výpočetní sítě (Obr. 7.33).



Obr. 7.32. Definování parametrů "Hex Dominant" metody



Obr. 7.33. Definování velikosti elementů, výsledná výpočetní síť

Ukázka výpočetní sítě v příčném řezu je znázorněna na Obr. 7.34. Výsledný počet uzlů je 23695, a počet elementů je 21662.



Obr. 7.34. Zobrazení výpočetní sítě v příčném řezu

Poslední variantou je použití metody "Hex Dominant" s parametrem "Free Face Mesh-All Quad" (všechny šestistěnné elementy), viz. Obr. 7.35. Velikost elementů výpočetní sítě definujeme opět konstantní hodnotou 0,05m. Definice velikosti elementů a výsledná výpočetní sít je patrná z Obr. 7.36. Dále na Obr. 7.37 je zobrazení výpočetní sítě v příčném řezu. Výsledný počet uzlů je 23906, a počet elementů je 22003. Z následného porovnání počtů elementů jednotlivých variant vytvoření objemové výpočetní sítě vyplýva, že v případě

použití šestistěnných elementů je výsledný počet elemetů výrazně nižší než-li v případě použití čtyřstěnný elementů.



Obr. 7.35. Definování parametru "Free Face Mesh-All Quad" metody síťování "Hex Dominant"



Obr. 7.36. Definování velikosti elementů, výsledná výpočetní síť



Obr. 7.37. Zobrazení výpočetní sítě v příčném řezu



Vytvoření 3D výpočetní sítě náhlého rozšíření pomocí automaticky vygenerované sítě v programu ANSYS Meshing si může student zobrazit

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_7\ soubor Workbench\_9.exe

# 7.3. Tvorba výpočetní sítě v 3D geometrii náhlého rozšíření – postupné generování výpočetní sítě



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Vytvořit objemovou výpočetní síť v 3D objektu náhlého rozšíření postupným generováním výpočetní sítě
- Vhodně používat a aplikovat různé nástroje k tvorbě postupné objemové výpočetní sítě v 3D geometrie náhlého rozšíření (síťování hran, dílčích

#### objemů)



Výklad

V této kapitole se seznámime s možnosti vytvoření výpočetní sítě v programu ANSYS Meshing na příkladě 3D geometrie náhlého rozšíření, které je tvořeno třemi objemy z kapitoly 5.1, viz. Obr. 5.28. V prvním kroku načteme do prostředí ANSYS Workbench projekt "3D-rozsireni.wbpj". Následně spustíme ANSYS Meshing pokliknutím na položkou "Mesh" v panelu 3D-rozsireni-3-telesa (Obr. 7.38). Během spouštění ANSYS Meshing se program uživatele dotazuje jakou metódu síťování zvolit. V záložce "Mesh Metod" zvolíme "Automatic (Patch Conforming/Sweeping)", viz. Obr. 7.39. Po spuštění programu ANSYS Meshing se zobrazí v prostředí programu model 3D rozšíření jak je patrné z Obr. 7.39. Z modelu je patrné, že se jedná o těleso, které je tvořené třemi objemy.

V	3D-r	ozsire	ni - Wo	rkbencl	h															
	File	View	Tools	Units	- 1	Help														
1	🗋 Ne	w 🞽	Open	🛃 Sav	/e 🚦	🔣 Save	As	👔 Ir	mpor	t	∉φ Reconnect	arresh 🎯	Proje	ct 🍠 Uj	odate	e Proje	ct 🕒 Project	🕜 Co	mpa	ct Mode
Toolbox 🔻 🕈 🗙							Proje	ect S	:hem	natic										
E	] Ana	lysis Sy	stems																	
	🖉 De	esign As	sessmer	nt					_				_							
	🕘 Ele	ectric							•	-	A				•		В			
	📐 Ex	plicit Dy	namics						1		🖇 Fluid Flow (FL	UENT)			1	🕄 Fli	uid Flow (FLUEN			
6	🕄 Flu	uid Flow	(CFX)						2	: 0	🕽 Geometry	<ul> <li>Image: A second s</li></ul>	1		2	🕅 Ge	ometry	~		
	🕄 Flu	uid Flow	(FLUEN	T)					3	6	Mesh	~			3	📦 Me	esh	2		
6	😈 Ha	armonic	Respon:	;e							Cabur		1		4	Каралан			-	
16	🔰 Lir	near Buo	:kling							U	secup		4		-	<b>1</b> 26	cup		-	
	🔘 Ma	agnetos	tatic						5		Solution	?	4		5	🕼 So	lution	2		
	🕑 Mo	odal							e		👂 Results	?			6	😥 Re	esults	?		
	📶 Ra	andom V	ibration								3D-rozcire	ni			-	30.	rozcireni-3-teler	- 2		
	📶 Re	esponse	Spectru	m							30-102316	21.00				50	1023116111-0-06165			
	🜏 Riq	gid Dyn	amics																	
6	🔄 Sh	аре Ор	timizatio	n																
1.6	- c.	-bie Chu	and a second																	

Obr. 7.38. Načtení projektu "3D-rozsireni.wbpj" a spuštění ANSYS Meshing



Obr. 7.39. Geometrie náhlého rozšíření tvořena třemi objemy

Na tomto příkladě si ukážeme definování a vytvoření výpočetní sítě metodou tzv. "sweepovaného" vytažení výpočetní sítě. Metoda "Sweep" spočívá ve vytvoření objemové výpočetní sítě vytažením povrchové sítě s definovaným krokem (počet buněk, velikost elementů) do prostoru. Velmi často se tato metoda používá v případech, že máme k dispozici pravidelnou geometrii. Nejjednodušším příkladem může být geometrie válce, kdy nejdříve definujeme parametry síťování čelních ploch, a následně definujeme počet elementů nebo velikost elemetů po délce válce. Poté metodou "Sweep" dochází k vysouvání elementů od zdrojové plochy do cílové plochy, což u válce jsou čelní plochy. V našem případě si ukážeme definování metody "Sweep" na jednotlivé objemy tělesa (Obr. 7.39), protože jednotlivé objemy představují kvádry, tak metoda je vhodná k aplikací. Metodu "Sweep" budeme postupně definovat na všechny objemy tělesa. V druhém kroku si ukážeme nadefinování rozmístění elementů na jednotlivých hranách čelních ploch k následnému síťování metodou "Sweep". Metodu síťování "Sweep" definujeme z kořenového adresáře "Outline" kliknutím pravého tlačítka myši na ikonu "Mesh" a vybereme nabídku "Insert-Method" jak je patrné z Obr. 7.40. V dalším kroku budeme definovat parametry metody "Sweep".

」 戸 Show Vertices	Wireframe Edge Co	loring マーパマーパマーパマーパマート  +↓  +↓ Thicken Annotations
Mesh 岁 Update	🍘 Mesh 👻 🔍 Mesh Contro	I - III Metric Graph Options
Outine Project  Project  Model ()  Project  Coc	B3) metry ordinate Systems mections	a Besh 30.6.2011 7:35
	Insert	Method
	Update	Q. Sizing
	ジ Generate Mesh	V Contact Sizing
	Preview Show Create Pinch Controls	
	값 Clear Generated Data 에 Rename	trifieton

Obr. 7.40. Definování metody síťování

Základní nabídka metody síťovaní je znázorněna na Obr. 7.41(pole "Details of Automatic Metod" – Method). Přednastavená je automatická metoda síťování, kterou ovšem změníme. V prvním kroku vybereme objem, na který budeme definovat námí zvolenou metodu síťování (položka "Geometry"). Objem vybereme myši kliknutím levým tlačítkem do modelu na objem, ten se nám zabarví zeleně, viz. Obr. 7.41. V dalším kroku v položce "method" vybereme "Sweep", a tím se nám celá nabídka výrazně rozšíři (Obr. 7.42, Obr. 7.43). V položce "Src/Trg" definujeme jakým způsobem budeme zadávat zdrojovou a cílovou plochu pro metodu "Sweep". Z nabídky zvolíme možnost "Manual Source and Target", kdy jednotlivé plochy definujeme manuálné pokliknutím do modelu. Ukázka výběru zdrojové plochy "Source" je patrná z Obr. 7.42. Výběr provedeme obdobně jako u výběru objemu pokliknutím myši, pouze v tomto případě definujeme plochu (opět se zabarví zeleně). Stejným způsobem vybereme cílovou plochu "Target". Pokud jsou plochy vybrány, tak v poli "Details of "Sweep Method" – Method" se u položek "Source" a "Target" objeví "1 Face" (Obr. 7.43). Posledním parametrem který definujeme je počet elementů nebo velikost elemntů při vysouvání ve směru osy z (Obr. 7.42). V našem případě budeme definovat 50 elementů. Elementy definujeme v záložce "Type-Number of Division" (Obr. 7.43), a jejich počet v záložce "Sweep Num Divs" hodnotou 50 (Obr. 7.43).



Obr. 7.41 Výběr objemu k aplikací metody "Sweep"



Obr. 7.42. Definování jednotlivých ploch (zdrojová a cílová) k aplikací metody "Sweep"

De	Details of "Sweep Method" - Method								
Ξ	Scope								
	Scoping Method	Geometry Selection							
	Geometry	1 Body							
Ξ	Definition								
	Suppressed	No							
	Method	Sweep							
	Element Midside Noves	Use Global Setting							
	Src/Trg Selection	Manual Source and Target							
	Source	1 Face							
	Target	1 Face							
	Free Face Mesh Type	Quad/Tri							
	Туре	Number of Divisions							
	📃 Sweep Num Divs	su 🖉							
	Sweep Bias Type	No Bias							
	Element Option	Solid							
	Constrain Boundary	No							

Obr. 7.43 Výsledná definice metody "Sweep"

Stejným způsobem budeme postupovat i v případech zbylých dvou objemů. Opět nadefinujeme metodu "Sweep". Následně vybereme zdrojovou a cílovou plochu a zvolíme počet elementů vysouvání 50. V kořenovém adresáři se ve výsledku objeví tři položky ("Sweep Method, Sweep Method 2, Sweep Method 3"). Před finálním vysíťováním jednotlivých objemů metodou "Sweep" provedeme manuální rozmístění elementů na jednotlivé hrany čelních ploch. Tímto způsobem si nadefinujeme povrchovou síť na čelních plochách jednotlivých objemů v závislosti na rozložení elemnetů na hranách. Toto bude ve výsledku směrodatné pro vytvoření povrchové síťe na jednotlivých čelních plochách. Manuální definování počtu nebo velikosti elementů na jednotlivých hranách vyvoláme z kořenového adresáře "Outline" kliknutím pravého tlačítka myši na ikonu "Mesh" a vybereme nabídku "Insert-Sizing" jak je patrné z Obr. 7.45. Následně v kořenovém adresáři se objeví položka "Sizing" a definiční pole "Details of "Sizing" – Sizing" (Obr. 7.46). V definičním poli nejdříve vybereme příslušné hrany v záložce "Geometry". Před výběrem je nutné změnit výběrový mod z ploch na hrany. Volbu výběrového módu provedeme v horní liště pomocí ikony "Edge" jak je patrné z Obr. 7.46.



Obr. 7.44. Definované metody "Sweep" na jednotlivé objemy



Obr. 7.45. Definování rozmístění elementů na hranách

Details of "Sizing" - Sizing 🛛 🗣									
Scope									
Geometry Selection									
_									

🕅 B : 3D-rozsireni-3-telesa - Meshing [									
	File	Edit	View	Units	To	ols	Help		
	∎e ¥	X,Y,Z R	₽3 -	R	Ŀ			i	
F Show Vertices									
1		1		1.0	_		<b>6</b> 76		

Obr. 7.46. Definování metody "Sizing" a volba výběrového módu hrana

Výběr jednotlivých hran provádíme kliknutím levým tlačítkem myši na příslušnou hranu, kdy při přiblížení se hrana barevně podbarví (Obr. 7.47). Pokud chceme současně vybrat více hran, tak současně přidržíme klávesu "Ctrl".
Pabelo of "Storon" - "Storon	Method 2 Method 3		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	Appl Cancel		
Definition	Les and the second s		
Suppressed	No		
Type	Element Size		<b>X</b>
Liement Size	Derault	-1	200
benavior	100C	0,0 <u>00 0,500 1,0</u> 00 (m)	2
Curvature Normal Angle	Default		
	Derault	0,250 0,750	

Obr. 7.47. Výběr hrany k definici počtu elementů



Obr. 7.48. Výběr všech hran k definování rozmístění definovaného počtu elementů



Obr. 7.49. Zobrazení počtu elementů na příslušných hranách (celkový počet vybraných hran 5)

Celkem vybereme 5 hran jak je znázorněno na Obr. 7.48. Dále definujeme počet elementů v záložce "Type" vybereme "Number of Divisions" a počet "Number of Division" si definujeme 10 elementů (Obr. 7.49). Výsledný náhled rozmístění elementů na jednotlivých hranách je patrny z Obr. 7.49. Stejným způsobem postupuje v případě definování počtu elementů na dvou hranách rozšíření s počtem elementů 5, viz. Obr. 7.50 a na podélných hranách za rozšířením (3 hrany s počtem elementů 80), viz. Obr. 7.51.



Obr. 7.50. Definování počtu elementů na hranách rozšíření



Obr. 7.51. Definování počtu elementů na podélných hranách za rozšířením

Takto nadefinované parametry objemového síťování metodou "Sweep" včetně nastavení odpovídajícího počtu elementů na jednotlivých hranách máme ukončeno. Nyní lze vygenerovat objemovou síť pomocí ikony "Generate Mesh". Výsledná objemová síť je znázorněna na Obr. 7.52.



Obr. 7.52. Výsledná objemová síť v 3D geoemtrii s náhlým rozšířením



Obr. 7.53. Pohled na výslednou objemovou síť ve směru osy x



Obr. 7.54. Pohled na výslednou objemovou síť ve směru osy z



183

Obr. 7.55. Pohled na výslednou objemovou síť ve směru osy y

Pokud si kliknete na jednotlivé osy souřadného systému v grafickém okně (pravý dolní roh), tak získáte náhled na výpočetní síť v jednotlivých směrech souřadného systému (Obr. 7.53, Obr. 7.54, Obr. 7.55).



Pro názornost na daší animaci je ukázka vytvoření 3D geometrie náhlého rozšíření včetně vytvoření výpočetní sítě a následného přetažení do programu ANSYS Fluent13.0.

# **Animace**

Vytvoření 3D geometrie náhlého rozšíření včetně vytvoření výpočetní sítě a následného přetažení do programu ANSYS Fluent13.0:

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_7\ soubor Workbench\_12.exe

# 8. PROGRAMOVÉ PROSTŘEDÍ SOFTWARE ANSYS FLUENT12.1.4

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:	
<ul> <li>pracovat s uživatelským prostředím programu ANSYS Fluent12.1.4</li> </ul>	
<ul> <li>orientovat se v jednotlivých nástrojích programu ANSYS Fluent12.1.4</li> </ul>	
<ul> <li>načíst výpočetní síť z programu Gambit do programu ANSYS Fluent12.1.4</li> </ul>	
<ul> <li>definovat matematický model proudění, vhodně pracovat s databází materiálu</li> </ul>	Budete umět
<ul> <li>nastavit okrajové podmínky na jednotlivých hranicích modelu (vstupy, výstupy, stěny, symetrie,)</li> </ul>	
<ul> <li>nastavit parametry řešiče (relaxační parametry, diskretizační schémata)</li> </ul>	
• vytvářet entity (bod, hrana, plocha) k vyhodnocení řešených veličin proudového pole (tlak, rychlost, teplota, hustota,)	
<ul> <li>vyhodnocovat střední hodnoty proudových veličin na jednotlivých entitách</li> </ul>	

## 8.1. Uživatelské nástroje software ANSYS Fluent12.1.4



Čas ke studiu: 0.5 hodin



- Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět
  - orientovat se v uživatelských nástrojích programu ANSYS Fluent12.1.4
  - vhodně používat uživatelské nástroje programu ANSYS Fluent12.1.4



## Výklad

Numerické modelování mnoha fyzikálních jevů je úzce spojeno s modelováním určité formy pohybu matematickými prostředky. Pohyb tekutin je spojen s řešením nejrůznějších problémů, daných fyzikálním modelem:

• laminární a turbulentní proudění v jednoduchých i složitých 3D geometriích

- stlačitelné a nestlačitelné proudění tekutin (plyny, kapaliny)
- stacionární, nestacionární a přechodové proudění
- přenos tepla, přirozená a smíšená konvekce, radiace
- přenos chemické příměsi včetně chemických reakcí (objemové, plošné reakce)
- vícefázové proudění, proudění s volnou hladinou, proudění s pevnými částicemi, bublinami, resp. kapkami, kavitace
- hoření a chemické reakce
- proudění porézním prostředím, atd.

Matematický model spočívá v definici rovnic výše uvedené děje popisujících. Vzhledem k tomu, že se jedná o děje rovinné dvourozměrné, osově symetrické nebo obecně trojrozměrné a časově závislé, jsou popsány soustavou parciálních diferenciálních rovnic, kterou je nutné řešit numerickými metodami. Jejich využívání je podmíněno rozšířením znalostí z oblasti proudění, turbulence, numerických metod, výpočetní techniky.

K řešení proudění je možno využít komerční programové systémy, jako je ANSYS Fluent12.1 a další. Úkolem uživatele je sestavní správného výpočtového modelu, což obsahuje některé matematické, fyzikální a technické principy. Pro takový model je nutné najít všechny vstupní údaje v platných normách, sestavit vstupní data pro program, kterým lze výpočtový model řešit, provést řešení u terminálu, správně interpretovat výsledky pro další použití a ve všech fázích provádět účinné kontroly všech vstupů a výstupů. Uživatel musí bezpečně rozčlenit všechny informace na údaje geometrické (dvourozměrné nebo třírozměrné útvary, topologie), údaje o působení vnějších sil a fyzikální údaje (informace o proudícím médiu, jeho fyzikálních vlastnostech). Tedy nezastupitelnou úlohou uživatele je znalost hydromechaniky, termomechaniky a dalších věd podle složitosti problému.

Pokud jde o výpočetní metody, na nichž jsou založeny užívané programy, měl by projektant znát jejich podstatu v rozsahu potřebném pro spolehlivé použití ve standardních případech. U programu ANSYS Fluent12.1 je třeba vědět, s jakými tvary konečných objemů se bude pracovat, z toho vyplývá volba hustoty sítě, jaká aproximační schémata bude vhodné použít, u dynamiky mít představu o charakteru časové závislosti jednotlivých veličin a z toho vyplývající velikosti časového kroku, apod.

Neméně významnou částí je vyhodnocení výsledků, které je obzvlášť obtížné u trojrozměrných úloh. Je optimální mít k dispozici alespoň orientační hodnoty počítaných veličin, ideální je srovnání výsledků s experimentem.

Program ANSYS Fluent12.1.4 může být používán na různých výpočetních platformách jako Windows systém nebo Linux/UNIX systém. Seznámení se s uživatelským prostředím programu ANSYS Fluent12.1 bude vysvětleno v prostředí systému Windows XP. Program ANSYS Fluent12.1 spustíte z nabídky start – programy – ANSYS 12.0 – Fluid Dynamics – FLUENT (Obr. 8.1). Po kliknutí na položku FLUENT se spustí okno ("FLUENT Launcher") zobrazené vedle, kde se definují základní parametry jako:

- "Dimension" formát umožňující nastavit výpočet pro 2D nebo 3D úlohu
- "Options" položka "Double Precision" nastavuje výpočet s vyšší přesnosti
- "Processing Options" "Serial, Parallel" položka "Parallel" umožňuje nastavit výpočet na více výpočetních jader (procesorů) pracovní stanice (počítače), položka "Serial" definuje výpočet na jeden pocesor pracovní stanice. Tato položka nabízí tedy možnost paralelizace výpočtu. Tato položka je vhodná zejména u 3D výpočtu složitých geometrii, kdy lze optimálně využít potenciálu pracovní stanice a zkrátit výpočetní čas.
- "General Options Version" verze ANSYS Fluentu (12.0.16, 12.1.4)
- "Working Directory" pracovní adresář

• "FLUENT Root Path" – kmenový adresář programu ANSYS Fluent



Obr. 8.1. Spuštění programu ANSYS Fluent12.1.4 v systému Windows XP

Po potvrzení nastavení tlačítkem "OK" dojde ke spuštění programu ANSYS Fluent 12.1.4. Po správné spuštění programu se objeví následující okno programu (Obr. 8.2).

🖴 PLUENT [3a, ap, p	ons, tamj	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			
File Mesh Define Solve	Adapt Surface Display Report Parallel View Help		MENU		
) 😂 • 🛃 • 🕺 🥘 ]	5 수 및 원 🥒 ] 및 久 🏢 - 🔲 -	ROLLIOVE			
Problem Setup	General	Window 1			
General Models	Mesh				<b>MNSYS</b>
Materials	Scale Check Report Quality				
Phases Cell Zone Conditions	Display				
Boundary Conditions	Solver				
Dynamic Mesh	Type Velocity Formulation				
Reference Values	Opensity-Based Relative				
Solution Methods	_				
Solution Controls Monitors	Steady		GRAF	ICKE	
Solution Initialization	OTransient				
Run Calculation	Gravity Units			NO VI	
Results					
Plots	Help				
Reports					
		Z>	(		
	EFINICNI				
I NA	ASTROJE				<u>^</u>
		Welcome to ANSYS FLUENT 12.	1.4		
		Copyright 2009 ANSYS Inc.			
		All Rights Reserved. Unauth is prohibited. ANSYS and FLUENT	orized use, distrib are trademarks or <mark>i</mark>	ution or duplicati	on
		of ANSYS, Inc. or its subsidiari	es in the United St		
		Loading "C:\PROGRA~1\ANSYSI~1\v1	21\fluent\fluent12	FUPR	
		pone.		PŘÍK	AZOVÉ
		This is a version of FLUENT academic staff, and faculty limited to the terms and co Clickwrap Software License	intended for use l . Usage of studen nditions specified Agreement for stude	O	<b>KNO</b>
					*

Obr. 8.2. Programové prostředí systému ANSYS Fluent12.1.4.

V popisovém okně programu je zmínka o akademické verzi ("This is a version of FLUENT intended for use by students, academic staff"). Pokud se při spuštění programu objeví nějaká informace s "ERROR" sdělením, tak chyba může být v instalaci programu, nastavení verze programu (může být komerční nebo akademická verze) nebo špatná cesta kořenového adresáře programu ANSYS Fluent. Celou pracovní plochu programu ANSYS Fluent lze rozdělit do čtyř oblastí, jak je naznačeno na Obr. 8.2 (GRAFICKÉ OKNO, POPISOVÉ A PŘÍKAZOVÉ OKNO, DEFINIČNÍ NÁSTROJE, ROLETOVÉ MENU).

- GRAFICKÉ OKNO představuje pracovní plochu, na které dochází k zobrazení výsledků numerické simulace, průběhu reziduálu, monitorovacích bodů atd...
- POPISOVÉ A PŘÍKAZOVÉ OKNO slouží k výpisu všech provedených funkcí, zobrazení informativních zpráv, zadávání příkazu pomocí textového menu
- DEFINIČNÍ NÁSTROJE obsahují všechny nástroje k práci v programu ANSYS Fluent12.1.4 (definování modelu, okrajových podmínek, materiálových vlastnostech, typu diskretizačních schémat a parametrů řešiče, vyhodnocení počítaných proudových veličin, atd...)
- ROLETOVÉ MENU zahrnuje všechny příkazy obsažené v definičních nástrojích + další nástroje, které nejsou obsažené v definičních nástrojích

Pod roletovým menu se nacházejí nástroje ikon, které poskytují základní a nejčastějí používané nástroje pro práci v programu ANSYS Fluent12.1.4 jako např. načtení, uložení souboru.

Základní filozofie práce v programu ANSYS Fluent12.1.4. spočívá v načtení před-připravené výpočetní sítě např. z programu Gambit, ale lze načíst i výpočetní sít z jiného programu. Následně definujeme odpovídající matematický model proudění (např. jednofázový model, s příměsi, bez příměsi, vícefázový matematický model, ....), fyzikální vlastnosti jednotlivých médii, okrajové a počáteční podmínky. V dalším kroku nastavíme vlastnosti řešiče (relaxační parametry, diskretizační schémata,...). Po inicializaci řešení provedeme numerický výpočet. V posledním kroku vyhodnotíme výsledky numerické simulace (tedy tzv. postprocesing). Ve výpočetní sítí vygenerujeme příslušné entity (bod, hrana, plocha), na kterých budeme vyhodnocovat počítané veličiny (např. tlak, rychlost, hustota, hmotnostní zlomek, atd...). Kromě záznamu veličin na jednotlivých entitách můžetme vyhodnotit i střední hodnoty.

V dalších kapitolách se postupně seznámíme s jednotlivými nástroji v programovém prostředí programu ANSYS Fluent12.1.4.

## 8.2. Roletové menu programu ANSYS Fluent12.1.4



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- používat roletové menu programu ANSYS Fluent12.1.4
- pracovat s jednotlivými položkami roletového menu
- orientovat se v prostředí programu ANSYS Fluent12.1.4



## Výklad

Po spuštění programu ANSYS Fluent12.1.4 řada položek v roletovém menu není aktivních z důvodu, že není načtená žádná výpočetní síť, proto načteme jako příklad výpočetní síť z kap. 3.4. Výpočetní síť obsahuje šest objemů, které tvoří výslednou oblast. Výpočetní síť načteme pomocí příkazu "File – Read – Mesh" (Obr. 8.3), kdy v příslušném adresáři najdeme soubor "sit-6-objemu.msh". Po úspěšném načtení souboru se objeví výpis včetně zobrazení výpočetní sítě jak je zobrazeno na Obr. 8.4.

💶 FLUENT [3d, dp, pl	bns, lam]
File Mesh Define Solve	Adapt Surface Display Report Parallel View Help
Read	Mesh @、 次 唱 + 🔲 +
Import	Case & Data
Export to CFD-Post	PDF
Solution Files Interpolate FSI Mapping	ISAT Table Check Report Quality DTRM Rays View Factors
Save Picture	Profile
Data File Quantities Batch Options	Scheme O Absolute
RSF	solve-30-7
Exit	solve-29-7
Solution Initialization Calculation Activities Run Calculation	solve-6

Obr. 8.3. Načtení výpočetní sítě vytvořené v programu Gambit



Obr. 8.4. Průběh načtení výpočetní sítě

Jednotlivé nabídky roletového menu jsou znázorněny na schématu níže, celkem se jedná o jedenáct položek, viz. Obr. 8.5.

•	FLUENT [3d, dp, pbns, lam]									
File	Mesh	Define	Solve	Adapt	Surface	Display	Report	Parallel	View	Help

Obr. 8.5 Roletové menu programu ANSYS Fluent

Stručný popis jednotlivých položek roletového menu je následující

- "File" nástroje týkající se práce se soubory (načtení, uložení, export, import,..).
- "Mesh" nabídka týkající se výpočetní oblasti (počet buněk, rozměry oblasti, posun, rotace oblasti, ....).
- "Define" definice matematického modelu proudění, okrajových podmínek (typ, hodnoty), fyzikálních vlastností jednotlivých plynů a kapalin.
- "Solve" parametry týkající se řešiče (relaxační parametry, diskretitační schémata,...).
- "Adapt" položky umožňující zhuštění výpočetní oblasti.
- "Surface" nástroje k vytvoření entit (bod, hrana, plocha), na kterých budou zobrazené počítané veličiny.
- "Display" umožňuje zobrazení počítaných proudových veličin (tlak, rychlost, hustota,...) na jednotlivých entitách (bod, hrana, plocha).
- "Report" výpočet středních a integrálních hodnot na jednotlivých plochách a v objemech.
- "Parallel" nabídka umožňující definovat parametry výpočtu na více výpočetních jádrech.
- "View" nástroje k úpravě prostředí programu ANSYS Fluent.
- "Help" položka umožňující používat funkci nápovědy.

Jednotlivé položky roletového menu budou postupně zobrazené níže.

#### Položka FILE

💶 FLUENT [3d, dp, pbns, lam]				
File Mesh Define Solve	Adapt Surface Disp			
Read 🕨 🕨	Mesh			
Write 🕨	Case			
Import F Export	Data Case & Data			
Export to CFD-Post	PDF			
Solution Files Interpolate FSI Mapping <b>&gt;</b>	ISAT Table DTRM Rays View Factors			
Save Picture	Profile			
Data File Quantities Batch Options	Scheme Journal			
RSF	sit-6-objemu			
Exit	solve-30-7			
Solution Initialization Calculation Activities	solve-29-7 solve-31-5			

- "Read Mesh" načtení výpočetní sítě z programu Gambit (formát souboru \*.msh).
- "Read Case" načtení souboru s nastavením matematického modelu, okrajových podmínek, …
- "Read Data" načtení datového souboru, který obsahuje výsledký numerické simulace.
- "Read Case & Data" načtení souborů s nastavení i výsledky numerické simulace.
- "Read Profile" načtení souboru, který např. obsahuje definovaný rychlostního profilu, který následně bude definován na okrajovou podmínku.

Položky "sit-6-objemu, solve-30-7" zobrazuje naposledy načtené soubory.

Další položkou je ukládání "Write" souborů.

FLUENT [3d, dp, pbns, lam]					
File Mesh Define Solve	Adapt Surface Display				
Read 🕨	▶ <b></b>				
Write 🕨 🕨	Case				
Import  Export Export to CED-Post	Data Case & Data				
Solution Files Interpolate FSI Mapping	ISAT Table Flamelet Surface Clusters Profile Autosave Boundary Mesh				
Save Picture Data File Quantities Batch Options					
RSF	Start Journal Start Transcript				

- "Write Case" uložení nastavení matematického modelu.
- "Write Data uložení výsledků numerické simulace.
- "Write Case & Data" současné uložení nastavení a výsledků numerické simulace.
- "Write Autosave" nabídka umožňující automatické ukládání výsledku v průběhu výpočtu.
- Vasvětlení dalších položek najdeme v manuálu programu ANSYS Fluent12.

Detailní náhled na položku "Autosave" je zobrazen níže.

💶 Autosave	X
Save Data File Every (Iterations)	Data File Quantities
When the Data File is Saved, Save the Case	Retain Only the Most Recent Files
• If Modified During the Calculation or Manually Each Time	Maximum Number of Data Files
	Only Associated Case Files are Retained
File Name	
H:\DATA\Granty-Projekty-ESF\ESF-Sarmanova-Ele	arning\SKRIPTA\Priklad -3D-6-ob Browse
OK Cance	el Help

- "Save Data File Every (Iterations)" definuje počet kroků po kterých bude uložen datový soubor.
- "File Name" definuje cestu, kde datový soubor bude uložen.
- "Retain Only the Most Recent Files" maximální počet datových souborů, které se budou ukládat (např. 5 souboru se bude neustále přepisovat)

Ansys Fluent12.1.4 pracuje se dvěmi formáty souboru (\*.cas,\*.dat). Soubor formátu (\*.cas) obsahuje nastavení matematického modelu, a formát souboru (\*.dat) obsahuje výsledky numerické simulace.



Další položkou v nabídce "File" je příkaz "Import a Export". V nabídce příkazu "Import" je uvedená celá řada možných formátu souborů, které ANSYS Fluent je schopen importovat. Jedná se o software jako: CFX, Gambit, NASTRAN, PATRAN, I-deas,.... Dále je možné importovat i soubory s minulé verze programu Fluent a to Fluent verze 4. Poslední položkou je nabídka CHEMKIN Mechanism pomocí, které lze do programu importovat předpřipravené chemické reakce týkající se spalování. V tomto balíku je definován kompletní reakční mechanismus, který popisuje průběh chemické reakce spalování. Položka "Export" je obdobou příkazu "Import".

Další nabídkou příkazu "File" je možnost ukládání grafických výstupu pořízených v grafickém okně do elektronické formy pomocí obrázku. Příkazové okno je zobrazeno níže. Při ukládání souborů lze využit různé formáty souborů.

Save Picture			×	
Format	Coloring File Type		Resolution Width 960	
O JPEG O PPM O PostScript	<ul> <li>Gray Scale</li> <li>Monochrome</li> </ul>	Vector	Height 720	
	Options	entation Win	dow Dump Command	
Window Dump     White Background     import -window %w       Save     Apply     Preview     Close       Help				

- "Format" formát souboru, ve kterém bude obrázek uložen (JPEG, TIFF,PNG,..).
- "Coloring" zobrazení barevné ("Colour"), šedá stupnice ("Gray Scale", černobíly ("Monochrome").
- "Options" možnosti (např. bílé pozadí - "White Background").
- "Resolution" rozlišení (šířka Width, výška Height)

#### Položka MESH

Položka "Mesh" nabízí informace týkající se sítě, a nástrojů k práci se sítí v programu ANSYS Fluent. Jednotlivé podpoložky příkazu "Mesh" jsou znázorněny níže a často výsledky použití těchto příkazů jsou vypisovány v popisovém a příkazovém okně.

První nabídkou je příkaz "Mesh – Check", který vypisuje informativní údaje týkající se sítě (viz. níže). V popisovém okně jsou rozměry oblasti ( $x_{min}$ ,  $x_{max}$ ,  $y_{min}$ ,  $y_{max}$ ,  $z_{min}$ ,  $z_{max}$ ), a další statistické informace týkající se maximálního a minimálního objemu a plochy.

FLUENT [3d, dp Mesh Define Sol	<mark>, pt</mark> Ive	Domain Extents: x-coordinate: min (m) = -7.5000000e+002, max (m) = 9.000000e+002 y-coordinate: min (m) = -2.000000e+002, max (m) = 2.0000000e+002 z-coordinate: min (m) = -2.000000e+002, max (m) = 5.0000000e+002 Volume statistics: minimum volume (m3): 1.190589e+001
Check		maximum volume (m3): 8.600000e+003
Info	•	TOTAL VOLUME (M3): 1.4804922+008
Polyhedra	•	minimum face area (m2): 8.483019e+000 maximum face area (m2): 4.700917e+002
Merae		Checking number of nodes per cell.
Separate	•	Checking number of faces per cell.
Fuse		Checking thread pointers.
Zone	•	Checking hower of cells per race.
Reorder	•	Checking cell connectivity. Checking bridge faces.
Scale Translate		Checking right-handed cells. Checking face handedness.
Rotate		<
Smooth/Swap		🗃 Sabiona_predm 💶 2 fil214s 🔹 🛄 Gambit Startup 🔀 2 X Server fo 🔹 🔀 3 Microsoft E 🔹 CS 🔇 🔊 1:

Dalším balíkem jsou příkazy ohledně informací o sítí "Mesh – Info":

- "Mesh Info Qaulity" definuje kritické parametry pro danou síť (maximální kososk a pohmoždění buňky).
- "Mesh Info Size" definuje počet buněk, ploch a uzlů dané výpočetní sítě

Další položkou je nabídka "Mesh – Polyhedra", která umožňuje transformaci čtyřúhelníkové/hybridní sítě na sít mnohostěnů. Tato funkce umí pracovat pouze s čtyřúhelníkovou/hybridní sítí. Výhodou této transformace je, že výsledná výpočetní síť bude asi mít třetinový počet buněk, takže se výrazně zkrátí výpočetní čas.

Následující položkou je "Mesh – Merge Zones" – která provádí sloučení jednotlivých typů oblastí, ale pouze jednoho druhu. Ukázka sloučení dvou zón typu fluid je zobrazen níže. Typy jednotlivých oblastí vyplývají z definice nastavení modelu.

💶 Merge Zones		×
Multiple Types Fluid interior mass-flow-inlet wall	Zones of Type oblast-proudeni porezni-oblast	
	1erge Close Help	

Další nabídkou je možnost rozdělení nebo odseparování určité oblasti příkazem "Mesh – Separate – Face Zones" skrz plochy nebo buňky. Ukázka tohoto příkazu bude později vysvětlena v řešených příkladech. Následující nástroje se týkají práce s celou výpočetní oblasti.

"Mesh – Scale Mash" – umožňuje měnit velikost oblasti.

💶 Scale Mesh		×
Domain Extents           Xmin (m)         -750           Ymin (m)         -200           Zmin (m)         -200           View Length Unit In         m	Xmax (m)     900       Ymax (m)     200       Zmax (m)     500	Scaling ● Convert Units ● Specify Scaling Factors Mesh Was Created In Scaling Factors × 1 × 1 Z 1 Scale Unscale
	Close Help	

- "Domain Extents" aktuální rozměry oblasti.
- "Scaling" definování jakým způsobem bude výpočetní oblast změněná ("Convert Units" – např. z jednotek (m) na (mm) automatický budou změněny všechny rozměry).
- "Specify Scaling Factors" lze individuálně měnit jednotlivé rozměry výpočetní oblasti ve směru os x,y,z.
- "Scaling Factors" definujeme násobek, kterým budou jednotlivé rozměry zvětšeny nebo zmenšeny.
- "Mesh Translate Mesh" umožňuje posouvat celou oblast. V této položce definujeme nové souřadnice, kde bude výpočetní oblast umístěna ("Translation Offsets").
- "Mesh Rotate Mesh" umožňuje orotovat výpočetní oblast. V nabídce definujeme úhel rotace ("Rotation angle", v jednotkách radián) a vektor rotace pomocí dvou bodů ("Rotation Origin" a "Rotation Axis", počáteční bod a bod na ose rotace).

Posledním nástrojem práce se sítí je příkaz "Mesh – Smooth/Swap Mesh", který umožňuje upravit výpočetní síť, která obsahuje např. buňky s nevhodnou kososti, tím že jednotlivé uzlové body buňky přesune do lepší polohy, a tím výrazně zlepší kvalitu výpočetní sítě.

#### Položka DEFINE

V této položce se nacházejí základní nástroje k definování všech parametrů jako jsou typ matematického modelu proudění, fyzikální vlastnosti jednotlivých médii, typy a velikosti okrajových podmínek na jednotlivých hranicích výpočetní oblasti. Dále zde definujeme typy jednotlivých oblastí, operační podmínky, dynamické sítě, načtení profilů na jednotlivé hranice, různé funkční předpisy. Kromě toho zde provádíme tzv. kompilaci nebo-li načítání uživatelské funkce, kterou si předem vytvoříme v jazyce C++. Z hlediska typu proudění můžeme definovat jednofázový nebo vícefázový matematický model s přestupem, nebo bez přestupu tepla. Dále můžeme definovat radiaci, proudění pevný částic, ohřev částic a jejich spalování.

Za všimnutí stojí, že po kliknutí na roletové menu položky "Define" se zobrazí podnabídka v roletovém menu i v definičních nástrojích (vlevo), viz. Obr. 8.6.



Obr. 8.6. Roletové menu příkazu "Define"

První položkou je příkaz "Define – General", ve kterém se definují základní parametry řešiče.

FLUENT [3d, dp, pbns, lam]						
File Mesh Define Solve	File Mesh Define Solve Adapt Surface Display Report Parallel View Help					
] 🞯 • 🛃 • 🚳 🎯   [	ᢒᠿ€€♥∥®洗腸・□・					
Problem Setup	General					
Models Materials Phases Cell Zone Conditions Boundary Conditions	Mesh Scale Check Report Quality Display Solver					
Mesh Interfaces Dynamic Mesh Reference Values Solution	Type         Velocity Formulation                • Pressure-Based               • Absolute                 • Density-Based               • Relative					
Solution Methods Solution Controls Monitors Solution Initialization	Time					
Calculation Activities Run Calculation	Gravity Units					
Results						
Graphics and Animations Plots Reports	Help					

- "Mesh" položka práce se síti, totožná jak bylo popsáno výše.
  - "Solver" parametry řešiče ("Velocity Formulation – Absolute" – absolutní vyjadřování rychlosti, "Time – Steady" – ustálené proudění).
- "Gravity" definování tíhového zrychlení (položka není zatržena, takže se neuvažuje)

Po zatržení políčka "Gravity" se nabídka rozšíří o následující položky, a to definováním tíhového zrychlení v příslušném směru souřadného systému (x,y,z)

Grav Grav	ity ional Acceleration	Units
X (m/s	2) 0	
Y (m/s	2) 0	
Z (m/s	2) 0	

Další položkou je nástroj "Define – Models", ve kterém se definují nejdůležitější parametry z hlediska matematického modelu. Podnabídkou příkazu "Models" jsou následující varianty: "Multiphase, Energy, Viscous, Radiation, Heat Exchanger, Species, Discrete Phase, Solidification & Melting, Acustics". Některé výše uvedené příkazy jsou znázorněny na Obr. 8.7. Podrobný popis jednotlivých matematických modelů bude podrobně popsán v dalších kapitolách, kde budou řešeny různé příklady.

😫 FLUENT [3d, dp, pbns, lam]								
File Mesh Define Solve	Adapt S	Surface Display Report Parallel View Hel	p					
] 🖻 🍷 🛃 🕈 🞯 🔘	G ∲ (	2 ⊕ ∥ ∥ 및 洗 腊 • 🗆 •						
Problem Setup	Models	3	1: Mesh 🗸			Radiation Mod	iel 🗙	
General Models Materials	Models Multipha	se - Off	Multiphase Model	Viscous Model	×	Model Off		Noncor
Phases Cell Zone Conditions	Viscous Radiation	- Laminar n - Off	Off	O Inviscid		ORosseland OP1		
Boundary Conditions Mesh Interfaces Dynamic Mesh	Species Discrete	nanger - Orr - Off Phase - Off	Mixture Eulerian	Spalart-Allmaras (1 k-epsilon (2 eqn)	eqn)	O Discrete Transfe	er (DTRM) ace (S2S) :es (DO)	
Reference Values Solution	Solidifica	ition & Melting - Off s - Off	O Wet Steam	<ul> <li>k-omega (2 eqn)</li> <li>Transition k-kl-omega</li> <li>Transition SST (4 equals)</li> </ul>	ga (3 eqn)	Solar Load		
Solution Methods Solution Controls			OK Cancel Help	Reynolds Stress (7     Detached Eddy Sim	eqn) ulation (DES)	Model Off		
Monitors Solution Initialization			Energy X	O Large Eddy Simulati	ion (LES)	O Solar Ray Trac DO Irradiation	ing	
Run Calculation			Energy Equation	OK Cancel	Help	Solar Calculator		
Graphics and Animations Plots	Edit		OK Cancel Help			OK Cancel	Help	
Reports	Help	Discrete Phase Model		×	Species /	Ao de l		×
		Interaction	Particle Treatment		Model		Mixture Prop	erties
		Interaction with Continuous Phase	Unsteady Particle Tracking	1	Off Species Ti	ransport	Mixture Mal	terial View
		Tracking Physical Models UDF Numeric	cs Parallel		O Non-Prem	ixed Combustion Combustion	instant to	Number of Volumetric Species 3
		Tracking Parameters Drag Parameter	ers		O Partially P Compositi	remixed Combustion on PDF Transport		
		Max. Number of Steps Drag Law 500 Spherical	<b>~</b>		Reactions			
		Specify Length Scale			Volumetri	-		
		Step Length Factor			Inlet Diffu	ision		
					Full Multic	Energy Source omponent Diffusion iffusion		
		OK Injection	ns Cancel Help			ок (	Apply Ca	ancel Help

Obr. 8.7. Definice základních nástrojů "Models"

Stručná charakteristika výše definovaných příkazů bude postupně popsána.

Nástroj "Define – Models – Multiphase Model" – umožňuje definovat vícefázové proudění. Program ANSYS Fluent12.1.4 umožňuje definovat tři vícefázové matematické modely ("VOF – Volume of Fluid", "Mixture Model", "Eulerian Model"), které mohou být aplikovány v různých problémech:

- "VOF Model" model s volnou hladinou, typické aplikace např. proudění v kanále, dmýchání plynu na hladinu kapaliny, atd....
- "Mixture model" model, kdy jednotlivé fáze (plyny, kapaliny) mají odlišné hustoty, jednou z aktuálních aplikací je modelování vzniku a vývoje kavitace.
- "Eulerian Model" nejkomplexnější model, který řeší nejvíce aplikací týkající se plynných, kapalných a pevných fázi.

Dalším nástrojem je "Define – Models – Energy", který definuje problematiku proudění s přestupem tepla nebo bez přestupu tepla. Tedy lze definovat izotermní proudění (teplota je konstantní) nebo neizotermní proudění.

Následnou položkou je "Define – Models – Viscous Model" pomocí kterého definujeme laminární nebo turbulentní model proudění. V souvislosti s turbulentním prouděním lze definovat celkem osm turbulentních modelů proudění, které odlišně modifikují výpočet turbulentní viskozity různými přístupy. Jedná se např. o jednorovnicové a dvourovnicové turbulentní modely. Kromě laminárního a turbulentního proudění lze definovat i neviskózní proudění kapalin.

Další položkou je nástroj "Define – Models – Radiation Models", který umožňuje definovat radiaci pomocí pěti matematických modelů. Následný příkaz se týká výměníků tepla "Define – Models – Heat Exchanger". Dalším příkazem je možnost definovat příměsí pomocí nástroje "Define – Models – Species Models". V panelu lze definovat pouze plynné příměsi, kdy se

zavádí pojem hmotnostní zlomek jednotlivé příměsi. V souvislosti se zavedením modelu příměsí bude následně vytvořena plynná směs. Další možnosti modelu plynné směsi je zahnout vliv chemických reakci mezi jednotlivými příměsemi. V programu ANSYS Fluent12.1.4 lze využit tři matematické modely spalování plynných směsi.

Druhou možnosti simulace vícefázového proudění je pomocí příkazu "Define – Models – Discrete Phase Model", který je založen na Lagrangeově přístupu. Typickými aplikacemi "Discrete Phase Model" je unášení pevných částic, dále např. ohřev částic, nebo taky spalování práškového uhlí.

Předposledním nástrojem je "Define – Models – Solidification & Melting, který se týká simulací tuhnutí a tavení. Posledním nástrojem je řešení problematiky akustiky pomocí nástroje "Define – Models – Acoustics".

Další položkou v nabídce "Define" je specifikace jednotlivých materiálu, a to pomocí příkazu "Define – Materials". Obecně v programu ANSYS Fluent lze definovat tekutiny (plyny, kapaliny) pojmenovány jako "Fluid" a pevné látky pojmenovány jako "Solid". Z Obr. 8.8 je patrné, že přednastavené typy materiálů jsou vzduch ("Fluid – Air") a hliník ("Solid – Aluminum"). V dalším kroku je nutné definovat odpovídající fyzikální vlastnosti všech použitých materiálu. Pokud uvažujeme izotermní proudění, tak pro "Fluid" materiál definujeme hustotu a viskozitu. V případě "Solid" materiálu definujeme pouze hustotu. V situacích neizotermního typu proudění navíc specifikujete měrnou tepelnou kapacitu a tepelnou vodivost. Pokud model rozšíříme o proudění příměsí je nutné definovat molekulovou váhou. S toho vyplývá, že jakmile upravujeme a doplňujeme matematický model, tak současně se upravuje nabídka nutných fyzikálních vlastnosti k definici. Kromě definování svých materiálu a hodnot fyzikálních veličin lze využit databází materiálu v programu ANSYS Fluent (Obr. 8.8), která obsahuje velkou řadu materiálu včetně fyzikálních vlastností. Dalším případem může být definování plynné směsi, kdy navíc je nutné specifikovat fyzikální vlastností směsi. Podrobnější informace týkající se fyzikálních vlastnosti budou specifikovány v následujících řešených příkladech.

V pořadí další položkou je nástroj "Define – Cell Zone Conditions" pomocí které definujeme typ dané oblasti, kterou může být "Fluid nebo solid" (Obr. 8.9). Příkladem může být proudění trubkou, kdy je požadavkem řešit proudění uvnitř a zároveň nás bude zajímat přestup tepla skrz stěnu trubky. V tomto případě je nutné vytvořit výpočetní oblast ve vnitřním prostoru trubky, která bude definována jako "Fluid" a v oblasti stěny trubky bude definována jako "Solid".

EUENT [3d, dp, pbns, tam]								
File Mesh Define Solve	Adapt Surface D	isplay Report Parallel View Hel	þ					
) 📸 • 🔛 • 🚳 🔞 🛛	S 💠 Q 🕀 🥕	/ ] @ 洗 腢 - □ -						
Problem Setup	Materials		1: Mesh	~				
General Models Materials Phases Cell Zone Conditions Boundary Conditions Mesh Interfaces Dynamic Mesh	Materials Fluid air Solid aluminum	Create/Edit Materials				×	1	Nonc
Reference Values		Name				Order Materials by		
Solution Methods		air		Material Type fluid	~	Name		
Solution Controls Monitors		Chemical Formula		FLUENT Fluid Materials		Chemical Formula		
Solution Initialization Calculation Activities				air	*	FLUENT Database		
Run Calculation				Mixture	~	User-Defined Database		
Graphics and Animations		Properties		Torio				
Plots Reports		Density (kg/m3) constant		V Edit				
		1.225						
	Create/Edit	Viscosity (kg/m-s)		Edit				
		1.7894e-05					, r	
	Help				E FLUENT Database /	Materials		$\mathbf{X}$
					FLUENT Fluid Materials		Naterial Type	
					acetaidenyde (ch3nco) acetaic-hloryl (h2ccclo) acetone (c3h6o) acetyl-chloride (ch3c <o>c acetyl-chloride (ch3cco) acetylene (c2h2) air</o>	n)	order Materials by O Name Chemical Formula	1 (3d,
		۲ د	ange/Create	Delete Close				
				0eFault-interior:0 default-interior:0 stemy:001 default-interior vstup-1 vystup stema-1 stema-2 stema-3 stemy oblast-proudeni porezni-oblast	Copy Materials from Case Properties	Edt Save Copy	Close Help	

Obr. 8.8. Definování materiálu a fyzikálních veličin jednotlivých látek

💶 FLUENT [3d, dp, j	pbns, lam]			
File Mesh Define Solve	Adapt Surface Display Report Parallel View Hel	4c		
) 🚰 • 🔚 • 📷 🛛	\$		💶 FLUENT [3d, dp, p	obns, lam]
Problem Setup General Models Materials Phases Cel Zone conditions Boundary Conditions Mesh Interfaces Dynamic Mesh Reference Values Solution Solution Methods Solution Controls Monitors Solution Inhibitation Calculation Activities Graphics and Animations Plots Reports	Cell Zone Conditions         Zone         Oblast-provideni         porteri-collor.         porterior.         (porteri-collor)         Display Mesh         Provise Formidation         © Superified Velocity         Physical Velocity		File Mish Define Solve General Models Materials Phases Cell Zone Conditions Boundary Conditions Boundary Conditions Mesh Interfaces Dynamic Mesh Reference Values Solution Solution Initialization Calculation Activities Run Calculation Results Graphics and Animations Plots Reports	Adapt Surface Display Report Parallel View Adapt Surface Display Report Parallel View Solutions Zone default-interior:011 default-interior:013 stena-2 stena-2 stena-2 stena-3 steny:001 vstup:1 vystup Finise Type ID mixture V wal V 4 Edit Copy Profiles Display Mesh Periodc Conditions

Obr. 8.9. Nástroj definice typu oblasti, definování typu okrajové podmínky

Následující položkou je nástroj "Define – Boundary Conditions", ve kterém definujeme typy okrajové podmínky na příslušných hranicích výpočetní oblasti (Obr. 8.9). Pokud uvažujeme 2D výpočetní oblast, tak okrajové podmínky definujeme na jednotlivé hrany modelu. V případech 3D oblasti okrajové podmínky definujeme na plochy. Okrajové podmínky definovány v programu ANSYS Fluent jsou různého typu ("wall" – stěna, "velocity inlet" – vstupní rychlost, "mass – flow rate" – hmotnostní průtok, "pressure outlet" – tlakový výstup,……). Jednotlivé typy okrajových podmínek mohou být editovány, kopírovány a zobrazovány.

File Mesh Define S	olve Adapt Surface Display Report Parallel Vie
Problem Setup General Models Materials Phases Cell Zone Conditions Boundary Conditions Mesh Interfaces	Boundary Conditions Zone Default-Interior def
Dynamic Mesh Reference Values Solution Solution Methods Solution Controls Monitors Solution Initialization Calculation Activities Run Calculation	Pressure Gravity Operating Conditions Gravity Operating Pressure (pascal) 101325 Reference Pressure Location X (m) 0
Results Graphics and Animati Plots Reports	Y (m) 0 Z (m) 0

Následující položkou je "Define – Operating Conditions" (Obr. 8.10), ve které definujeme velikost operačního tlaku "Operating Pressure" (v tomto případě 101325 Pa). Následně definujeme polohu operačního tlaku "Reference Pressure Location pomocí souřadnic x,y a z. Poslední možnosti je specifikace tíhového zrychlení ("Gravity").

Obr. 8.10. Panel definující operační podmínky

Další položkou je nástroj týkající se dynamické sítě pomocí nástroje "Define - Dynamic Mesh". Následující položkou je nástroj "Define – Injections" umožňující definování diskrétní fázi v Lagrangeově pojetí. Více informací bude uvedeno v řešených příkladech.

Další položkou je nástroj "Define – Custom Field Functions" pomocí kterého můžeme vytvořit např. funkční předpis k vyhodnocení veličiny, který nelze vyjádřit přímo z nabídky ANSYS Fluent. Další položkou je příkaz "Define – Profiles", který umožňuje načíst nebo odstranit např. rychlostní profil na nějaké okrajové podmínce. Pak následuje položka "Define – Units", kde lze měnit jednotky jednotlivých veličin (např. SI, BRITISH, CGS jednotky). Poslední položkou v nabídce "Define" je možnost načtení a kompilace uživatelsky definováne funkce (UDF) nástrojem "Define – User-Defined".

#### Položka SOLVE

V této položce definujeme parametry řešiče numerické simulace a zároveň spouštíme samotnou numerickou simulaci. Hlavní parametry numerické simulace jsou metody řešení, diskretizační schémata, relaxační faktory. První nabídkou je nástroj "Solve – Solution Methods" (Obr. 8.11) k definování metody řešení a diskretizačních schémat. Druhou položkou je nástroj "Solve – Solution Controls" (Obr. 8.11).

💶 FLUENT [3d, dp, p	bns, lam]	FLUENT [3d, dp, p	bns, lam]
File Mesh Define Solve	Adapt Surface Display Report Parallel View H	elp File Mesh Define Solve	Adapt Surface Display Report Parallel View Help
] 📸 • 🖬 • 📷  ](	\$\$∲@@∥∥@沈懦-□		\$ቀዒዒ∥ ዺ ኧ ⊯・⊑
Problem Setup	Solution Methods	Problem Setup General Models	Solution Controls Under-Relaxation Factors
Models Materials	Pressure-Velocity Coupling Scheme	Materials Phases	Pressure 0.3
Phases Cell Zone Conditions	SIMPLE	Cell Zone Conditions Boundary Conditions Mesh Interfaces	Densty
Mesh Interfaces Dynamic Mesh	Gradient	Dynamic Mesh Reference Values	Body Forces
Reference Values Solution	Pressure	Solution Methods Solution Controls	* Momentum
Solution Methods Solution Controls	Momentum Eicet Order Linwind	Monitors Solution Initialization Calculation Activities	0.7
Monitors Solution Initialization		Run Calculation Results	
Run Calculation		Graphics and Animations Plots	Equations Limits Advanced
		Reports	

Obr. 8.11. Definování metod řešení, diskretizačních schémat a relaxačních parametrů

Pomocí nástroje "Solution Controls" definujeme relaxační parametry pro všechny počítané veličiny. Další položkou je nástroj "Solve – Monitors".

FLUENT [3d, dp, pbns, lam]				
File Mesh Define Solve	Adapt Surface Display Report Parallel View H			
📂 • 🖬 • 🚳 🕻	3∻ Q Q ∥   Q 九 開・□			
Problem Setup General Models Materials Phases Cell Zone Conditions Boundary Conditions Boundary Conditions Meth Thefrees Dynamic Meth Meth Thefrees Solution Nethods Solution Nethods Solution Nethods Solution Nethods Solution Nethods Solution Nethods Solution Netholastion Calculation Activities Run Calculation Calculation Activities Run Calculation Besults Graphics and Animations Pilots Reports	Monitors Residuals, Statistic and Force Monitors Residuals = Print, Plot Statistic - Off Ure - Off Moment - Off Edt Surface Monitors Create Edt Delete Volume Monitors			

Pomocí nástroje "Monitors" (Obr. 8.12) definujeme monitorovací body pomocí kterých lze vyhodnocovat různé veličiny na různých entitách.

- "Residuals, Statistic and Force Monitors" definujeme monitorování průběhu residuálu, odporového koeficientu ("Drag"), vztlakového koeficientu ("Lift").
- "Surface Monitors" definujeme monitorování veličin na ploše (střední hodnota, maximální hodnota, minimální hodnota, ....).
- "volume Monitors" definujeme monitorování veličin v objemu (střední hodnota, maximální hodnota, minimální hodnota, ....).

Obr. 8.12. Panel nástroje Monitors

Následující položkou je nástroj "Solve – Solution Initialization" (Obr. 8.13) pomocí kterého definujeme počáteční hodnoty veličin před startem numerické simulace.

Ele Mesh Define Solve	bns, lam] Adapt Surface Display Report Parallel View Heir
] 📂 • 🖬 • 📷   [	Ŝ∲ዒዊ∥∥₀ኺ⊪₊∟
Problem Setup General Models Materials Phases Cell Zone Conditions Boundary Conditions Boundary Conditions Mesh Interfaces Dynamic Mesh Solution Solution Methods Solution Controls Monitors Solution Controls Monitors Solution Christies and Monitors Solution Refeates and Results Graphics and Animations Pilots Reports	Solution Initialization Compute from  Reference Frame Reference Reference Frame Reference Fram
	Initialize Reset Patch

• "Compute from" – definování počátečních hodnot ze zadaných veličin na např. vstupní okrajové podmínky.

"Initial Values" – konkrétní počáteční hodnoty veličin ("Gauge Pressure" – přetlak, "X Velocity" – x-ová složka rychlosti, "Y Velocity" – y-ová složka rychlosti, "Z Velocity" – z-ová složka rychlosti).

Obr. 8.13. Nástroj inicializace řešení

Poslední položkou v nabídce je nástroj "Solve – Run Calculation", ve kterém definujeme parametry numerické simulace (Obr. 8.14).

Run Calculation
Check Case Preview Mesh Motion
Number of Iterations Reporting Interval
Profile Update Interval
Data File Quantities Acoustic Signals
Calculate

- "Number of Iterations" počet nastavených iterací.
- "Reporting Interval" krok s jakým budou záznamenany iterace.

Obr. 8.14. Parametry numerické simulace

#### Položka ADAPT

Tato nabídka umožňuje zhuštění (adaptace) výpočetní sítě pomocí různých kritérií. Jednotlivé podnabídky jsou popsány níže.

💶 FLUENT [3d, dp, pbns, lam]			
File Mesh Define Solve	Adapt	Surface	Display
) 📸 • 🛃 • 📷 🗌	Bour Grac Iso-'	h <b>dary</b> Jient Value	
Problem Setup General Models Materials Phases	Region Volume Yplus/Ystar Anisotropic		
Cell Zone Conditions Boundary Conditions Mesh Interfaces Dynamic Mesh Reference Values	Man Conl Geoi Disp	age trols metry lay Option	s
Solution	Smo	oth/Swap.	

- "Adapt Boundary" umožňuje adaptaci výpočetní sítě v oblasti jednotlivých hranic (např. definovat počet řad buněk od hranice, které budou zhuštěny).
- "Adapt Gradient" umožňuje adaptaci výpočetní sítě pomocí počítaných veličin (např. v místech velkých gradientů počítaných veličin).
- "Adapt Region" umožňuje adaptaci v oblasti zadané pomocí rozměrů (např. definování krychle, koule ve výpočetní sítě, která bude zhuštěna).
- "Adapt Volume" umožňuje adaptaci objemu, jehož

velikost definuje uživatel.

- "Adapt Manage" příkaz umožňující náhled na oblast, která je vybrána k adaptaci.
- Položka SURFACE

V této položce uživatel vytváří různé entity, na kterých následně vyhodnocuje počítané veličiny (např. tlakové pole, vektorové pole,....). Následně v této položce lze měnit různé atributy těchto vytvořených entit.

První položkou je "Surface – Zone Surface", v které lze měnit název jednotlivých oblasti a okrajových podmínek (Obr. 8.15).

Zone Surface	×
Zone	Surfaces
default-interior default-interior:011 default-interior:013 oblast-prouderi porezni-oblast stema-1 stema-2 stema-3 stemy stemy. otop-1 testup-2 vystup	default-interior default-interior:011 default-interior:013 stena-2 stena-3 steny steny steny very New Surface Name very-2
Create Manage	Close Help

Obr. 8.15. Nástroj "Zone Surface"

Další položkou je nástroj "Surface – Point Surface" pomocí které definujeme bod (Obr. 8.16).

💶 Point Surface 🛛 🔀			
Options	Coordinates		
Point Tool	x0 (m) 75		
Reset	y0 (m) 0		
	z0 (m) 150		
<u> </u>	ielect Point with Mouse		
New Surface Nam	e		
point-11			
Create M	anage Close Help		

- "Coordinates" souřadnice bodu ve výpočetní oblasti (x0, y0, z0).
- "Select point with Mouse" možnost vybrat bod kliknutím myši do výpočetního modelu.
- "New Surface Name" název bodu.

Obr. 8.16. Nástroj tvorby bodu

Následující nabídkou je příkaz "Surface – Line/Rake Surface" definující úsečku k vyhodnocení (Obr. 8.17).

Line/Rake Surface				
Options Type Line Tool Reset	Number of Points			
End Points				
×0 (m) 1.75	×1 (m) 1.75			
y0 (m) 0.25	y1 (m) 0.25			
z0 (m) 0	z1 (m) 1.5			
Select Points with Mouse				
New Surface Name				
line-16				
Create Manage	Close Help			

- "Type" parametr vytvořené úsečky ("Line" budou vyhodnoceny veličiny v buňkách, kterými úsečka prochází, "Rake" – lze definovat počet bodů, kterými bude úsečka procházet).
- "End Points" koncové body úsečky.
- "Select Points with Mouse výběr bodů pomocí myši kliknutím do modelu.
- "New Surface Name" název úsečky.

Obr. 8.17. Nabídka definování úsečky

Dalším nástrojem je příkaz "Surface – Plane Surface" k vytvoření plochy k vyhodnocení počítaných veličin (Obr. 8.18).

Options		Surfaces	
Aligned with Surface Aligned with View Plane Point and Normal Bounded Sample Points	Edge 1 1 Edge 2 1	default-interior default-interior:011 default-interior:013 stena-1 stena-2 stena-3	
Plane Tool	Select Points	steny steny:001	
	Reset Points	vstup-1	×
oints		Normal	
×0 (m) ×1 (m)	×2 (m)		
75 75	75	1	
y0 (m) y1 (m)	y2 (m)	iy (m)	
-200 -200	200	0	
z0 (m) z1 (m)	z2 (m)	iz (m)	
-200 500	500	0	
New Surface Name			
plane-11			

- "Options" možnosti definování plochy • (např. "Aligned with Surface" – rovnoběžně s plochou).
- "Surface" plocha, se kterou bude nová plocha rovnoběžná.
- "Points" definování souřadnic bodů (pokud definujeme rovinu bez "Options", tak definujeme tři body roviny)
- "New Surface Name" název plochy.

Obr. 8.18. Definování plochy

Následující nabídkou je příkaz "Surface – Iso-Surface", který umožňuje definování roviny rovnoběžné s osou souřadného systému. Pomocí tohoto nástroje lze velmi rychle a účinně tvořit roviny k vyhodnocení proudových veličin. Předposlední položkou je příkaz "Surface -Transform Surface" pomocí které lze například vytvořit kopii roviny se stávající okrajovou podmínkou k vyhodnocení proudových veličin. Poslední příkaz je nástroj "Surface – Mange", který je jakýmsi správcem jednotlivě vytvořených entit, které mohou být mazány.

#### Položka DISPLAY

V položce "Display" jsou obsažené nástroje k zobrazení a vyhodnocení počítaných veličin (např. tlak, rychlost, hustota, hmotnostní zlomek,...). Kromě počítaných veličin lze zobrazit i vytvořené entity (bod, úsečka, plocha) a výpočetní síť.

První položkou je nástroj "Display – Mesh" pomocí kterého lze zobrazit výpočetní síť na jednotlivých oblastech a hranicích jak je znázorněno na Obr. 8.19.

face Display Report Parallel View H	elp	
④ ∥		
	1: Mesh	·
Check Report Quality	-	
Mesh Display		
re- Options Edge Type Solutions /*B   Modes OAI /*B   Oddes OAI /*B   Praces   Praces OAI Shrink Factor Feature Angle Surface Name Pattern Surface Name Pattern Outline Interior Outline Surface Surface Name Pattern Match	ices E ia-1 ia-2 ia-2 ia-3 y y yr001 p-2 up Surface • surf surf aust-fan	
Display Colors	Close Help	x x
	Mesh	ANSYS

Obr. 8.19. Nástroj zobrazení výpočetní sítě

Možnosti příkazu jsou následující

- "Options" zobrazení možných entit ("Nodes" uzly, "Edges" úsečky, "Faces" Plochy, "Partitions" – bloky).
- "Edge Type" nástroj umožňující potlačit zobrazení výpočetní sítě, nebo ponechat zobrazení ("All" bude zobrazena kompletní výpočetní síť, "Feature" zobrazení pouze obrysových hran modelu).
- "Surfaces" oblasti nebo okrajové podmínky, které budou zobrazeny.

Další parametry, které příkaz umožňuje je měnit barvu zobrazení pro jednotlivé entity (položka "Colors"). Na základě zobrazení dle Obr. 8.19 je patrné, že jednotlivé entity mají odlišnou barvu zobrazení. Např. vstupní okrajové podmínky jsou definovány modře, výstupní podmínky červeně a stěny bílou barvou.

Druhou položkou je nástroj "Display – Gaphics and Animations" pomocí kterého lze zobrazit např. vyplněné kontury, vektory, trajektorie nebo animace (Obr. 8.20).

😅 * 📓 * 🞯 🥥 💭 💠 Q 먼 🥕 및 久 แ * 🔲 *				
Problem Setup General Models Materials Phases	Graphics and Animations Graphics Resh Contours - Unavailable Vectors - Unavailable			
Cell Zone Conditions Boundary Conditions Mesh Interfaces Dynamic Mesh Reference Values	Pathlines - Unavailable Particle Tracks - Unavailable			
Solution	Set Up			
Solution Methods Solution Controls Monitors Solution Initialization Calculation Activities Run Calculation	Animations Sweep Surface - Unavailable Scene Animation Solution Animation Playback			
Results Graphics and Animations Plots Reports	Set Up			
	Options Scene Views Lights Colormap Annotate			

Obr. 8.20. Panel nástrojů k zobrazení kontur, vektorů trajektorii...

Jednotlivé podpoložky mají následující charakter

- "Graphics Mesh" příkaz je popsán výše.
- "Graphics Contours" příkaz umožňující zobrazení vyplněných kontur jednotlivých veličin (tlak, rychlost, hustota, hmotnostní zlomek, turbulentní veličiny). V nastavení zobrazení lze definovat automatický rozsah dané veličiny, nebo manuálně určit minimální a maximální hodnotu. Proudové veličiny mohou být vyhodnocené na jednotlivých okrajových podmínkách nebo častěji na plochách, které si uživatel vytvoří pomocí příkazu "Surface".
- "Graphics Vectors" nástroj generující vektorové pole rychlosti v příslušné rovině definované uživatelem. Vektorové pole může být tvořeno složkami rychlosti, které mohou být obarvené počítanými veličinami.
- "Graphics Pathlines" zobrazení trajektorii proudící tekutiny (kapalina, plyn), které mohou být opět obarvené počítanými veličinami.
- "Graphics Particle Tracks" zobrazení trajektorii diskrétní fáze, v případě že je uvažováno vícefázové proudění v Lagrangeove pojetí. Uživatel může vyhodnotit trajektorii částic, jejich rychlosti, úbytek hmotnosti pokud je uvažováno spalování.

Další položkou je nástroj "Display – Plots" zachycující rozložení veličin v rovině XY pomocí grafu, nebo např. zobrazení průběhu rychlosti v řezu jako rychlostní profil.

Další skupinou jsou nástroje k nastavení zobrazení počítaných veličin a grafického okna (Obr. 8.21, červeně označené).



Obr. 8.21. Nástroje k nastavení zobrazení

Postupně budou charakterizovány jednotlivé příkazy nabídky "Display".

Příkaz "Display – Options" definuje parametry zobrazení grafického okna.

tendering	Graphics Window
Line Width 1 Point Symbol (+) Animation Option Wireframe Double Euffering Double Euffering Double Face Culling Hidden Line Removal Hidden Surface Removal Hidden Surface Method Hardware 2-buffer	Active Window Close Color Scheme Workbench Workbench Ughting Attributes Lighting Attributes Lighting Filak V Titles Colormap Colormap Colormap Colormap Colormap

Položka REPORT

- "Graphics Window Active Window 1" parametry nastavení budou aplikována na grafické okno 1. Počet grafických oken není nijak omezován ani limitován.
- "Lighting Attributes" parametry světlosti.
- "Layout" parametry grafického okna ("Title" bude zobrazené logo, "Axes" – bodou zobrezené osy souřadného systému).
- "Animation Option" nástroje k definování parametrů animací.

V této položce jsou vyhodnoceny např. střední hodnoty rychlosti na definovaných okrajových podmínkách (Obr. 8.22). Dále je možné vyhodnotit hmotnostní průtok nebo hustotu hmotnostní průtoku skrz příslušnou entitu (plocha, okrajová podmínka). Pokud uvažujeme neizotermní proudění, tak můžeme vyhodnotit střední hodnotu tepelného toku skrz nějakou entitu (plocha, okrajová podmínka). Druhou položkou v nástrojích "Report" je získání informací o kompletním nastavení výpočetního modelu (definovaný model proudění, jednotlivé typy okrajových podmínek včetně velikosti parametrů, fyzikální vlastnosti jednotlivých médii). Poslední položkou je možnost změny referenčních parametrů.

Report	Parallel	View	Н		
Result Reports					
Input Summary S2S Information					
Reference Values					

Obr. 8.22. Nabídka příkazu z nástroje "Report "

Příkaz "Report – Reports" umožňuje vyhodnocení číselných hodnot (jako jsou např. střední hodnoty, maximální, minimální hodnoty, integrál, atd...)



Obr. 8.23. Nabídka nástrojů příkazu Reports

Jednotlivé podnabídky příkazu "Reports" jsou následující

- "Reports Fluxes" příkaz umožňující výpočet hmotnostního průtoku, tepleného toku, radiačního toku skrz definovanou plochu nebo okrajovou podmínku.
- "Reports Forces" nástroj umožňující výpočet velikosti sil na definované plochy v příslušných směrech souřadného systému (osa x, y, z), dále lze definovat výpočet momentů vůči jednotlivým osám souřadného systému.
- "Reports Projected Areas" výpočet projektované plochy do příslušného směru souřadného systému.
- "Reports Surface Integrals" umožňuje výpočet plošných integrálu. Lze definovat výpočet velikosti plochy, výpočet střední hodnoty veličiny na ploše (střední teplota, rychlost), výpočet maximální a minimální hodnoty veličiny na ploše, výpočet objemového průtoku plochou, atd...
- "Reports Volume Integrals" umožňuje výpočet objemového integrálu. Lze definovat výpočet objemu oblasti, výpočet střední hodnoty v objemu, výpočet maximální a minimální hodnoty veličiny v objemu, atd...

 "Reports – Discrete Phase" – umožňuje výpočet integrálních hodnot veličin diskrétní fáze.

Dalším příkazem je nástroj "Reports – Input Summary" (Obr. 8.24) pomocí kterého lze získat kompletní informace ohledně

- "Models" nastavení matematického modelu.
- "Material Properties" fyzikální vlastností použitých materiálu.
- "Cell Zone Conditions" vlastností jednotlivých oblastí.
- "Boundary Conditions" okrajové podmínky.
- "Solver Settings" nastavení řešiče.

💶 Input Summary	
Report Options Models Material Properties Cell Zone Conditions Boundary Conditions Solver Settings	
Print Save	Close Help

Obr. 8.24. Panel nastavení výpočtového modelu

	5 5
🖳 FLUENT [3d, dp, p	bns, lam]
File Mesh Define Solve	Adapt Surface Display Report Parallel View Help
) 📂 • 🛃 • 📷 🗍	\$∲@∉∥∥@ 沈 ⊪-□
Problem Setup General Models Materials Phases Cell Zone Conditions Boundary Conditions Boundary Conditions Boundary Conditions Mesh Reference Values Solution Solution Methods Solution Methods Solution Controls Monitors Solution Initialization Calculation Activities Run Calculation Results Graphics and Animations Plots Reports	Reference Values         Compute from         Reference Values         Area (m2)         Density (kg/m3)         1.225         Enthalpy (j/kg)         0         Length (m)         1         Pressure (pascal)         0         Temperature (k)         268.16         Velocity (m/s)         Viscosity (kg/m-s)         1.7694e-05
	1.4
	Reference Zone
	×

Pak následuje nástroj referenčních hodnot "Define – Reference Values" (Obr. 8.25)

Referenční hodnoty se týkají následujících veličin ("Area" – plocha, "Density" – hustota, "Enthalpy" – Entalpie, "Lenght" – délka, "Pressure" – tlak, "Temperature" – teplota, "Velocity – rychlost, "Viscosity" – viskozita, "Ratio of Specific Heats – podíl specifických tepel).

Obr. 8.25. Panel nástroje referenčních hodnot

#### Položka PARALLEL

Pomocí příkazu "Parallel" lze realizovat výpočet na více výpočetních jader (procesorech), tzn. paralelizovat výpočet. Tento nástroj je vhodný zejména u složitých 3D výpočetních oblastí s velkým počtem buněk, kdy můžeme optimálně využít kapacitu výpočetní stanice.

#### Položka VIEW

Touto položkou lze potlačit zobrazení jednotlivých nástrojů, které jsou "difoltně" zobrazeny.



- "Toolbars" lišta s nástrojí.
- "Navigation Pane" navigační panel.
- "Task Page" stránka úkolů.
- "Graphic Window" grafické okno.
- "Embed Graphics Window" vložení grafického okna.

Jednotlivé výše popsané nástroje jsou zachyceny na Obr. 8.26.

File Mesh Define Solve	Adapt Surfa	ce Display Report Parallel View Help					
📷 • 🔲 • 🞯 🔞	G 🕂 Q 🖲	&∥ @ 洗 腊・□・					
Problem Setup General Models Materials	Problem South The task page you to perform Additional prof	etup s accessed under Problem Setup allow n the most common problem setup tasks. beim setup tasks.	1: Mesh	×			Noncommercial use only
Phases Cell Zone Conditions Boundary Conditions Mesh Interfaces Dynamic Mesh	through the m	ain menu bar above.	1	Toolbars	Gra	aphic Window	
Reference Values Solution Solution Methods Solution Controls Monitors Solution Initialization Calculation Activities Run Calculation Results Catabitistic and Animabian							
Plots Reports		Task Page		V			
				, Ţ	<i>_</i> *		
			Mesh			ANSYS FLU	Aug 17, 2010 ENT 12.1 (3d, dp, pbns, lam)
				vstup-	·	9	^
				Mass-Weighted Average Static Pressure	(pasca)	.)	
Na	viast	tion Dana		porezni-oblast		0	
	iviyai		Tot	Net al Hass-Weighted Integral Static Pressure	(pascal)(kg/m3)(m3	8	
				porezni-oblast		0	
				Net		0	=
				Hin Static Pressure	(pasca)	)	
				porezni-oblast		8	
			<		Ш		>
📲 start 🔰 🤗 🖗	s 💿 🏉	Trubky	licrosoft Word	• 💶 FLUENT [3d, dp, p	실 Kontakty   KUPEN G 🛛 🕻	🥹 Seznam Slovník - pa 🛛 📜 Z Adobe Read	ar 9.3 🔹 CS 🔗 🗾 13:32

Obr. 8.26. Jednotlivé nástroje pracovního prostředí programu ANSYS Fluent12.1.4.

#### Položka HELP

Touto položkou lze vyhledat nástroje pomocí při práci s jednotlivými položkami programu ANSYS Fluent a jednotlivými příkazy.

Obecný postup práce v prostředí ANSYS Fluentu spočívá v načtení výpočetní sitě a její kontrole (rozměrová kontrola). Následně definujeme matematický model, okrajové podmínky,....Do celé oblasti nastavíme počáteční hodnoty, a spustíte numerický výpočet. Po

dosažení konvergence výpočet přerušíme a uložíme. Následně vyhodnotíte počítané proudové veličiny na příslušných rovinách.

V grafickém okně si můžeme zobrazit počítané proudové veličiny v jednotlivých vytvořených plochách. Práce s myši je následující:

- Otáčení objektu levé tlačítko držet a myši táhnout.
- Zvětšení prostřední tlačítko držet a tažením vytvoříme okno k zvětšení.

Definiční nástroje obsahují všechny příkazy, které jsou popsány v roletovém menu, takže vysvětleny jsou výše.

V popisovém a příkazovém okně se vypisují všechny provedené příkazy včetně komentáře. Zároveň stejné příkazy, které byly popsány v roletovém menu lze vyvolat i v popisovém a příkazovém poli. Po kliknutí na ENTER se objeví nabídka zobrazena na Obr. 8.27. Pak libovolné příkazy, které jsou zobrazeny napíšete a potvrdíte opět příkazem ENTER a dostanete příslušný nástroj.

	ANSYS FLOENT 12.1 (3d, dp, pons, lam)
Surface group = steny, id = 10, name = steny	<u>^</u>
Surface group = steny, id = 10, name = steny	
Surface group = steny, id = 10, name = steny	
Surface group = steny, id = 10, name = steny	
Surface group = steny, id = 10, name = steny	
Surface group = steny, id = 10, name = steny	
Surface group = steny, id = 10, name = steny	
Surface group = steny, id = 10, name = steny	
adapt/ file/ define/ mesh/ display/ parallel/ exit plot/	report/ solve/ sufface/ views/
>	
<	
crosoft Word 🔹 💶 FLUENT [3d, dp, p 🔮 Kontakty   KUPEN G	😢 Seznam Slovník - e 📙 2 Adobe Reader 9.3 🔹 CS 🔍 🔊 13:58

Obr. 8.27. Popisové a příkazové okno

## Animace

Ukázky prostředí ANSYS Fluent12.1.4 si může student zobrazit

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře **Animace\Kapitola\_8**\ soubor **Fluent\_1.exe**
- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_8\ soubor Fluent\_2.exe
- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_8\ soubor Fluent\_3.exe



# Shrnutí pojmů 8

Uživatelské prostředí programu ANSYS Fluent12.1.4, roletové menu, okrajové podmínky, matematický model, fyzikální vlastnosti, grafické okno, popisové a příkazové okno, adaptace sítě, paralelizace výpočtu



## Kontrolní otázky 8

- 1. V jaké položce roletového menu by jste hledali definování diskrétní fáze?
- 2. V jaké položce roletového menu by jste hledali příkaz k zobrazení vektorů rychlostí?
- 3. V jaké položce roletového menu by jste hledali načtení výpočetní sítě?

# 9. PŘÍKLADY K ŘEŠENÍ V PROSTŘEDÍ SOFTWARE FLUENT12

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:	
<ul> <li>aktivně používat software Gambit2.4.6 a ANSYS Fluent12.1.4 n konkrétních příkladech</li> </ul>	a
<ul> <li>definovat matematický model, fyzikální vlastností a okrajov podmínky na konkrétních příkladech</li> </ul>	é
<ul> <li>odpovídajícím a vhodným způsobem vyhodnocovat výsledk numerických simulací</li> </ul>	y
<ul> <li>řešit izotermní turbulentní proudění v 3D geometrii s náhlý rozšířením</li> </ul>	n Budete umět
<ul> <li>testovat vliv turbulentních modelů a různých typů okrajovýc podmínek na proudění v 3D geometrii s náhlým rozšířením</li> </ul>	h
<ul> <li>řešit problematiku proudění plynných příměsí v 3D geometri s náhlým rozšířením</li> </ul>	ii
<ul> <li>definovat problematiku proudění v trubce, vhodně aplikovat různ typy okrajových podmínek na stěně trubky</li> </ul>	é
<ul> <li>definovat problematiku vícefázového proudění v 3D geometr s náhlým rozšířením</li> </ul>	ii

## 9.1. 3D laminární izotermní proudění v mezeře s náhlým rozšířením



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- vytvořit 3D geometrii a výpočetní síť oblasti s náhlým rozšířením v programu Gambit2.4.6
- definovat matematický model laminárního a izotermního proudění
- nastavit odpovídající typ okrajových podmínek
- vyhodnotit výsledky numerické simulace 3D proudění v oblasti s náhlým rozšířením



# Výklad

**D** Popis úlohy

V tomto příkladě se seznámíme s konkrétní aplikací trojrozměrného proudění vzduchu v mezeře s náhlým rozšířením. V programu Gambit 2.4.6 vytvoříme odpovídající geometrii oblasti (Obr. 9.1) a výpočetní síť oblasti s náhlým rozšířením. Dále budeme definovat odpovídající typ okrajových podmínek. Následně budeme definovat laminární a izotermní matematický model proudění v programu ANSYS Fluent12.1.4. Cílem této úlohy bude vizualizace proudového pole a sledování zavíření v rozšířující se části řešené oblasti.



#### **D** Popis geometrie

Obr. 9.1 Schéma výpočetní oblasti

#### **D** Rozměry oblasti a okrajové podmínky

Délka oblasti L [m]	3.5	Proudící tekutina	Vzduch
Výška oblasti D [m]	0.5	Rychlost na vstupu $v \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$	0.01
Výška schodu d [m]	0.1	Výstup (Pressure outlet)	Nulový přetlak
Délka schodu $L_s$ [m]	0.7		
Šířka oblasti B [m]	1.5		

Tah	91	Rozměrv	oblasti a	okrajové	nodmínky
1 a.	7.1.	KOZIIICI Y	oblasti c	i Okrajove	рошшку

# 9.1.1. Geometrie a výpočetní síť 3D oblasti s náhlým rozšířením v programu Gambit 2.4.6

K tvorbě výpočetní sítě a oblasti použijeme program Gambit2.4.6. Postup tvorby geometrie a výpočetní sítě je popsán v kap. 2 a 3. Rozměry oblasti jsou definovány v Tab. 9.1. Po spuštění programu Gambit 2.4.6. postupujme podle popisu, který je uveden v následující kapitole.



Obr. 9.2. Schéma výpočetní oblasti z programu Gambit2.4.6, specifikace jednotlivých entit

Postup tvorby je následující: vytvoření jednotlivých bodů čelní plochy (O), spojení bodů pomocí hran a vytvoření čelní plochy, vytažení plochy do prostoru a vznik objemu, Obr. 9.2.

V oblasti náhlého rozšíření lze předpokládat vznik zavíření, a z tohoto důvodu budeme vytvářet jemnější síť v této oblasti. Proto budeme odlišně síťovat hrany 1 a 2. Následně tomuto síťování musí odpovídat i síťování hrany 3. Předpokladem je úprava geometrie, a to rozdělením hrany 3 ve stejném poměru jak hrany 1 a 2. Úpravu provedeme pomocí dvou příkazu "Geometry – Vertex – Project vertices on edge" – projekce bodu na hranu, "Geometry – Edge – Split Edge – rozdělení hrany), které jsou zobrazené na Obr. 9.3, Obr. 9.4.



Obr. 9.3. Aplikace příkazu "Project vertices on edge"

Příkaz "Project vertices on edge" – z nabídky "Geometry – vertex" Příkaz "Split edge" – z nabídky "Geometry – edge"

	Split Edge
	Type Real connected
	Split With Vertex
By Gz	Vertex Tolarance 1 de-6 Split-edge Position Interpolate Praserve writes location Praserve adge strape
	Apply Reset Close

Obr. 9.4. Aplikace příkazu "Split edge"

Výsledkem operace "Split edge" je rozdělení hrany 3 pomocí projektovaného bodu, tak že objem zůstane beze změn.

Tvorbu sítě realizujeme postupnými kroky od síťování hran, ploch a objemu. Vytvořme odlišnou hustotu rozdělení bodů na hranách 4,5,6,7 (Obr. 9.5) od zbylých hran modelu z důvodu zachycení oblasti zavíření.



Obr. 9.5. Schéma síťování hran 4,5,6,7

Vzdálenost mezi body na hranách 4,5,6,7 budeme definovat 0,01 ("intervale size"), a pro zbylé hrany modelu použijeme vzdálenost 0,04 ("intervale size") pomocí příkazu "Mesh – Edge – Mesh edges". Následně vytvořme pravidelnou čtyřúhelníkovou plošnou síť na čelní ploše pomocí příkazu "Mesh – Face – Mesh faces" (Obr. 9.6). Poté provedeme vytažení plošné sítě do prostoru, a tím vytvoříme objemovou síť příkazem "Mesh – Mesh Volumes" (Obr. 9.7). Použijeme schéma "Cooper", jak je to popsáno v kapitole 1 s hustotou síť ování 0,04 ("intervale size"). Výsledná objemová síť je patrná z Obr. 9.7.



Obr. 9.6. Čtyřúhelníková povrchová síť



Obr. 9.7. Výsledná objemová síť

Poté definujeme okrajové podmínky oblasti proudění a hraniční plochy oblasti (vstup, výstup, stěny) pomocí postupu definovaného v kapitole 1, které jsou tam popsány pouze okrajově. Oblast proudění definujeme příkazem "Zones – Specify Boundary Types". V položce "Action" zvolme "Add" (vytvoření nové zóny). Pak v položce "Name" uvedeme název zóny, pod kterým pak bude vedena i v programu ANSYS Fluent12.1.4. Následně zvolme příslušný typ zóny "Type" ("Fluid" – oblast proudění) a v položce "Entity" vybereme objem (Obr. 9.8).



Obr. 9.8. Definování oblasti proudění (zóna)

V druhé fázi definujeme hraniční oblasti (plochy) jako okrajové podmínky, které jsou specifikovány podle zadání. Z problematiky vyplývá, že jedna plocha představuje vstup, druhá výstup a zbylé plochy definujeme jako stěny. Okrajové podmínky definujeme pomocí příkazu "Zones – Specify – Boundary Types". Postup zadávání okrajových podmínek je obdobný jako specifikace jednotlivých zón. Pouze v položce "Type" je k dispozici celá řada různých typu okrajových podmínek. Na Obr. 9.9 je ukázka definice okrajové podmínky na vstupní ploše, která je definována jako "VELOCITY\_INLET" (Rychlostní okrajová podmínka). Obdobně pro výstupní plochu definujeme okrajovou podmínku typu "PRESSURE\_OUTLET" (tlaková okrajová podmínka), a zbylé plochy oblasti definujeme jako "WALL" (stěna).



Obr. 9.9. Definování okrajových podmínek

Výslednou geometrii včetně výpočetní sítě uložme do souboru příkazem "File – Save As" z roletové nabídky. Výsledný export výpočetní sítě včetně okrajových podmínek do programu ANSYS Fluent12.1.4 provedeme příkazem "File – Export – Mesh" z roletové nabídky a zrušme přepínač "Export 2-D(X-Y) Mesh", který používáme v případě, že definujeme 2D model. Výsledný soubor pro ANSYS Fluent12.1 je ve tvaru např. 3D-rozsireni.msh.

# 9.1.2. Numerická simulace 3D oblasti s rozšířením v programu ANSYS Fluent12.1.4.

Před samotným spuštěním programu ANSYS Fluent12.1.4 je nutné provést rozvahu z hlediska definování odpovídajícího matematického modelu a všech parametrů. Na základě definované vstupní rychlosti, známe velikosti vstupní plochy a hustoty proudícího média určete v prvním kroku velikost Reynoldsova čísla:

$$Re = \frac{u \cdot d_h}{v}$$
(9.1)

kde  $d_h$  je charakteristický rozměr  $d_h = \frac{4 \cdot S}{O}(S - je velikost vstupní průtočné plochy a <math>O$  je obvod této plochy), u je rychlost a u je kinematické viskozita vzduchu

obvod této plochy), u je rychlost a v je kinematická viskozita vzduchu.

$$\operatorname{Re} = \frac{u \cdot d_h}{v} = \frac{u \cdot \frac{4 \cdot S}{O}}{v} = \frac{u \cdot \frac{4 \cdot (D - d) \cdot b}{2(D - d + b)}}{v} = \frac{0.05 \cdot \frac{4 \cdot (0.5 - 0.1) \cdot 1.5}{2(0.5 - 0.1 + 1.5)}}{15.15 \cdot 10^{-6}} = 2031$$

Na základě výpočtu Reynoldsova čísla definujeme laminární model. Není uvažován přestup tepla, a tedy definujeme izotermní proudění (Konstantní teplota). Dále uvažujeme nestlačitelné proudění.

Po spuštění programu ANSYS Fluent12.1.4 načtěme výpočetní síť příkazem "File – Read – Mesh" (soubor 3D-rozsireni.msh). Výsledné uživatelské prostředí po načtení výpočetní sítě je zobrazeno na Obr. 9.10. V grafickém okně je zobrazena výpočetní sít (barevně jsou odlišeny jednotlivé typy okrajových podmínek). V průběhu načítání souboru se v příkazovém a popisovém okně postupně vypisují informace ohledně výpočetní sítě a okrajových podmínek. Z výpisu (Obr. 9.10) je například vidět okrajové podmínky (vstup, vystup, stena, proudeni) což odpovídá definování v programu Gambit. Pokud se v průběhu načítání neobjeví nějaká "Error" informace tak načtení proběhlo v pořádku.



Obr. 9.10. Uživatelské prostředí po načtení výpočetní sítě

Základní operací všech úloh je rozměrová kontrola výpočetní oblasti. Protože v programu Gambit lze konstruovat výpočetní oblast v různých jednotkách. V programu ANSYS Fluent12.1.4 kontrolu rozměrů provedeme pomocí příkazu "Mesh – Scale". Na Obr. 9.11 lze vidět rozměry oblasti v jednotkách (m), které odpovídají zadání, takže není nutné provádět žádné korekce. V opačném případě by jsme museli oblast zvětšovat nebo zmenšovat pomocí nástroje "Scaling" (Obr. 9.11), a to zadáním parametrů "Scaling Factors" (X,Y,Z). Tím lze měnit rozměry výpočetní oblasti ve všech směrech (x,y,z).

💶 Scale Mesh		X
Domain Extents		Scaling
Xmin (m)         0           Ymin (m)         0           Zmin (m)         0	Xmax (m)         3.5           Ymax (m)         0.5           Zmax (m)         1.5	Convert Units Specify Scaling Factors Mesh Was Created In Select> Scaling Factors
View Length Unit In	J <u> </u>	X 1 V 1 Z 1 Scale Unscale
	Close Help	

Obr. 9.11. Rozměrová kontrola výpočetní oblasti ("Mesh - Scale")

Informativním příkazem "Mesh Info" (Obr. 9.12) můžeme získat informace týkající se elementů výpočetní oblasti ("Cells" – počet buněk, "Faces" – počet ploch, "Nodes" –počet uzlů). Informace se zobrazují v příkazovém a popisovém okně.

Mesh	Aug 18, 2010 ANSYS FLUENT 12.1 (3d, dp, pbns, lam)
default-interior vstup vystup stena proudeni Done. Preparing mesh for display Done. Mesh Size	
Level Cells Faces Nodes Partitions Ø 60040 185804 65871 1 1 cell zone, 4 face zones.	~
<ul> <li>Image: A second s</li></ul>	> .::

Obr. 9.12. Informace týkající se elementů výpočetní oblasti

Následným krokem definujeme základní parametry numerického řešiče (zda se jedná o časově nezávislou, nebo časově závislou úlohu, zda vyjádření rychlosti bude absolutní nebo relativní) pomocí příkazu "Define – General", Obr. 9.13. V našem případě definujeme časově nezávislou úlohu (ustálené proudění) a vyjádření rychlosti v absolutním tvaru.

💶 FLUENT [3d, dp, pbns, lam]		
File Mesh Define Solve	Adapt Surface Display Report Parallel View Help	
┌┌┌┌┌┌┌┌┌┌┌┌┌┌ � � � ♥ 🖉 🖉 🐨 🐨		
Problem Setup Senaral Models Materials Phases Cell Zone Conditions Boundary Conditions Mesh Interfaces Dynamic Mesh Reference Values Solution	General Mesh Scale Check Report Quality Display Solver Type Velocity Formulation OPressure-Based Relative	
Solution Methods Solution Controls Monitors Solution Initialization Calculation Activities Run Calculation	Time Steady Transient Gravity Units	
Results		

Obr. 9.13. Základní parametry řešiče

V následujícím kroku definujeme matematický model proudění pomocí příkazu "Define – Models", viz. Obr. 9.14. V našem případě definujeme pouze laminární matematický model
proudění, který je přednastavený ("Models - Viscous – Laminar"). Zbylé nabídky jako vícefázové proudění, proudění s přestupem tepla, radiaci, příměsí,…. Neuvažujeme.



Obr. 9.14. Definování matematického modelu proudění

Dále definujeme proudící tekutinu (kapalinu, plyn). V našem případě se jedná o vzduch. K definici použijeme příkaz "Define – Materials", Obr. 9.15. Kromě tekutin "Fluid" můžeme definovat i pevné látky "Solid" (ocel, měď,...). Přednastavenou tekutinou při spuštění ANSYS Fluentu12.1.4 je vzduch ("air), takže nemusíme provádět korekci. Protože uvažujeme izotermní proudění (T=konst), definujeme z fyzikálních vlastností pouze hustotu ("density") a dynamickou viskozitu ("viscosity"). Fyzikální vlastností můžeme editovat tlačítkem "Create/Edit Materials" a současně můžeme i vytvářet své vlastní tekutiny. V našem případě použijeme přednastavené hodnoty fyzikálních vlastností pro vzduch, Obr. 9.15. Hodnoty fyzikálních vlastností můžeme použit jiné médium, tak můžeme použit vnitřní databázi NASYS Fluentu12.1.4. příkazem FLUENT Database (Obr. 9.15), kde příslušné médium nakopírujeme do nabídky Materials. Podrobný popis jednotlivých položek je znázorněn na Obr. 9.16.

	Create/Edit N	laterials			$\mathbf{X}$
	Name		Material Type		Order Materials by
	air		fluid	~	Name
	Chemical Formula		FLUENT Fluid Materials		Chemical Formula
			air	<b>~</b>	FLUENT Database
			Mixture		User-Defined Database
			none	~	
	Properties				
	Density (kg/m3)	constant	🗸 Edit		
_		1.225			
FLUENT [3d, dp, pbns, lam]	Viscosity (ka/m-s)				
File Mesh Define Solve Adapt Surface Display Report Parallel View	(ingriti s)	constant	Cedit		
📴 - 🚽 - 🞯 🥝 💭 🕂 🔍 🕀 🥕 🔍 🔍 📜 - 🔲 -		1.7894e-05			
Pushing Column Materiale					
Concerned and Co					
Materials					
Materials Fluid					
Phases Solid					
Cell Zone Conditions aluminum				~	
Boundary Conditions					
Mesh Interfaces		Change/Create	Delete Close	e Help	

Obr. 9.15. Definice materiálu ("Fluid, Solid" a fyzikální vlastnosti vzduchu)



Obr. 9.16. Panel definování médii (tekutiny, plyny, pevné látka,...)

V dalším kroku definujeme operační podmínky pomocí příkazu "Define-Operating Conditions", viz. Obr. 9.17. V této nabídce můžeme definovat operační tlak, který má význam zejména při nadzvukovém proudění a dále jeho polohu vůči souřadnému systému. Definujeme hodnotu referenčního tlaku jako tlak atmosférický (101325Pa). Dále zadejme gravitační zrychlení v příslušném směru pomocí souřadnic X,Y,Z. Nejdříve se zorientujeme pomocí grafického okna, ve kterém směru budeme zadávat tíhové zrychlení ("Gravitational Acceleration",  $y(m/s^2)$ =-9.81.

Operating Conditions	
Pressure Operating Pressure (pascal) 101325 Reference Pressure Location X (m) 0 Y (m) 0 Z (m) 0	Gravity Gravity Gravitational Acceleration X (m/s2) 0 Y (m/s2) -9,81 Z (m/s2) 0 Variable-Density Parameters Specified Operating Density
ок с	ancel Help

Obr. 9.17. Definování operačních podmínek

Dalším krokem je definování okrajových podmínek na jednotlivých hranicích oblasti pomocí příkazu "Define – Boundary Conditions". V druhé fázi definujeme oblast proudění pomocí příkazu "Define – Cell Zones Conditions". Okrajové podmínky definujeme na jednotlivých

hranicích, které jsme pojmenovali v programu Gambit, viz. Obr. 9.18. V programu Gambit jsme definovali "stena, vstup a vystup", které v programu ANSYS Fluent12.1.4 budeme podrobně specifikovat. Typ okrajových podmínek lze v ANSYS Fluentu12.1.4 měnit položkou "Type". Jednotlivé okrajové podmínky lze editovat pomocí položky "Edit"



Obr. 9.18. Definování okrajových podmínek

Nastavení vstupní okrajové podmínky "vstup" jako "velocity-inlet", viz. Obr. 9.19. Kliknutím na tlačítko "Edit" nastavíme parametry okrajové podmínky. V panelu "Velocity inlet" definujeme nejdříve metodu specifikace rychlosti ("Velocity Specification Method") pomocí velikosti rychlosti a vektoru rychlosti působícího ve směru kolmém na vstupní plochu ("Magnitude, Normal to Boundary". Velikost rychlosti definujeme hodnotou v = 0.05m/s. Další možnosti specifikace rychlosti jsou:

• velikost rychlosti a složky jednotkového vektoru (i,j,k), ("Magnitude and direction")

File Mesh Define Solve Adapt Surface Display Report Parallel View Help						
🗃 • 🚽 • 🗑 🖉 💲 💠 🔍 🗶 渊 🔍 茨 🏢 • 🗖 •						
Problem Setup	Boundary Conditions	1: Mesh				
Problem Setup General Models Materials Phases Cell Zone Conditions <u>Soundary Conditions</u> <u>Soundary Conditions</u> <u>Solution</u> Solution Methods Solution Methods Solution Initialization Calculation Initialization Calculation Activities Run Calculation Results Graphics and Animations Black	Zone defauk-interior	Velocity Inlet      Zone Name      Zone Name      Velocity Specification Method Magnitude, Normal to Boundary      Velocity Specification Method Magnitude, Normal to Boundary      Velocity Magnitude (m(s) 0.05      OK Cancel Help				
Reports	Edit Copy Profiles Parameters Operating Conditions Display Mesh Periodic Conditions					

• složky rychlosti  $(v_x, v_y, v_z)$ , ("Components")

Obr. 9.19. Definování parametrů vstupní okrajové podmínky ("Velocity Inlet")

Zbylé nabídky v panelu "Velocity Inlet" jako "Thermal, Radiation, Species,…" nejsou aktivní s ohledem, že neuvažujeme přestup tepla, radiaci, příměsí,…

Na výstupu z oblasti definujeme okrajovou podmínku "Pressure Outlet" (tlatová podmínka, definováním absolutního tlaku (atmosférický tlak + přetlak)) s tím, že na výstupu uvažujeme pouze atmosférický tlak (tzn. nulový přetlak). V operačních podmínkách jsme zadali operační (atmosférický) tlak  $p_0$ =101325Pa a tedy do panelu okrajové podmínky zadáme 0Pa, viz. Obr. 9.20. Opět zbylé nabídky příkazu nejsou aktivní s ohledem na nastavený matematický model

Pressure Outlet
Zone Name vystup
Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS
Gauge Pressure (pascal) 0 constant
Backflow Direction Specification Method Normal to Boundary
Radial Equilibrium Pressure Distribution     Target Mass Flow Rate
OK Cancel Help

Obr. 9.20. Definování výstupní tlakové okrajové podmínky ("Pressure Outlet")

Poslední okrajovou podmínkou je stěna, tzn. podmínka typu "Wall" (Obr. 9.21), kterou definujeme na všechny zbylé plochy modelu. Všechny stěny oblasti mají totožné vlastnosti, a tím definujeme stejné podmínky pro všechny stěny, protože v zadání nejsou specifikovány odlišné parametry pro jednotlivé stěny. Pokud by byly zadány odlišné podmínky pro různé stěny, pak musíme definovat odlišné stěny v programu Gambit (např. stena1, stena2, stena3, ....). V našem případě nedefinujeme žádné podmínky pro stěny, uvažujeme stacionární stěny. Další parametry týkající se přestupu (tepla, radiace, příměsí,....) nedefinujeme.

Boundary Conditions	1: Mesh
Zone	
default-interior	
stena	
vystup	🗳 Wall
	Zone Name
	stena
	Adjacent Cell Zone
	proudeni
	Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS
	Wall Motion Motion
	Stationary Wall     Moving Wall
Phase Type	Shear Condition
mixture 💉 wall	💽 No Slip
Edit Copy	O Specified Shear Specularity Coefficient
Parameters Operating Co	Marangoni Stress
Display Mesh Periodic Cor	·
	OK Cancel Help

Obr. 9.21. Definování okrajové podmínky stěna ("Wall")

V následné kroku definujeme oblasti proudění pomocí příkazu "Define – Cell Zone Conditions", Obr. 9.22. Parametry oblasti proudění můžeme modifikovat pomocí tlačítka "Edit". V nabídce "Fluid" definujeme proudící médium. V našem případě v nabídce "Material name" máme definován pouze vzduch, takže již máme automaticky přednastaven. Pokud by jsme měli definováno více médii, tak v nabídce "Materian Name" můžeme vybrat jiné médium. Dále můžeme definovat řadu parametrů (proudící oblast jako porézní prostředí; pohyb oblasti – přímočarý pohyb, rotační pohyb; v dané oblasti lze definovat další zdrojové členy, příslušné chemické reakce a řadů další parametrů ….)

Problem Setup	Cell Zone Conditions	1: Mesh
General Models	Zone proudeni	
Phases		🗳 Fluid 🛛 🗙
Cell Zone Conditions Boundary Conditions		Zone Name
Mesh Interfaces Dynamic Mesh		proudeni
Reference Values		Material Name air 🗸 Edit
Solution		Porous Zone
Solution Controls		Fixed Values
Monitors Solution Initialization		Motion Porous Zone Reaction Source Terms Fixed Values
Calculation Activities Run Calculation		Retation Avic Origin Retation Avic Direction
Results		
Graphics and Animations	Phase Type ID	
Reports		Y (m) 0 Y 0
	Edit Copy Profiles	Z (m) 0 Z 1
	Parameters Operating Conditions	
	Display Mesh	Motion Type Stationary
	Superficial Velocity	
	O Physical Velocity	OK Cancel Help

Obr. 9.22. Definování oblasti proudění

Tímto krokem byl nadefinován matematický model, okrajové podmínky a fyzikální vlastnosti proudícího média, a proto provedeme uložení nastavení příkladu k samotnému řešení pomocí příkazu "File – Write – Case" (např. nastaveni-3D-rozsireni.cas).

Dalším krokem je inicializace (definování počátečních hodnot) výpočetní oblasti příkazem "Solve – Solution Initialization" (definování velikosti tlaku a složek rychlosti  $(v_x, v_y, v_z)$  v celé oblasti), viz. Obr. 9.23. Můžeme definovat nulové velikosti těchto veličin, přibližné hodnoty a nebo velikosti odvozené z jedné z okrajových podmínek, např. z okrajové podmínky vstupu do oblasti (v tomto případě ze vstupu, Obr. 9.23). Inicializace provedená z vstupní okrajové podmínky umožní lepší rozběh výpočtu a stabilnější průběh řešení. V tomto případě vybereme inicializaci z nabídky "Compute from" podmínku vstup a tím se předefinuje hodnota složky rychlosti ("X Velocity") na hodnotu odpovídající zadání a tedy 0.05 [m/s].

File Mark Define Solve	Adapt Surface Display Deport Davailed View Hel
🥁 - 🛃 - 👀 🛞	S
Problem Setup General Models Materials Hears Fuels Exactlery Conditions Hearth Interfaces Exactlery Conditions Hearth Interfaces Exactlery Conditions Hearth Interfaces Exactlery Conditions Hearth Interfaces Solution Methods Solution Centrols Solution Activities Manu Calculation Results Results Results Results	Solution Initialization Computer from Patterners Frank Prederance Frank Prederance Frank Prederance Frank Prederance Frank Computer to Cel Zone Absolute Souge Pressure (sacial) O X Velocity (m(s) O Z Velocity (m(s)) O Z Veloci
	Initialize Reset Patch

Obr. 9.23. Definování počátečních hodnot (inicializace řešení)

Důležitý parametr, který sledujeme v průběhu numerického řešení, je průběh "REZIDUÁLU" definující chybu výpočtu jako střední kvadratickou odchylkou jednotlivých počítaných veličin (v tomto případě reziduál složek rychlosti  $v_x$ ,  $v_y$ ,  $v_z$  a tlaku p). Uživatel definuje přesnost výpočtu jako hranici pro konvergenci úlohy. Pro běžné inženýrské úlohy se doporučuje přesnost  $1.10^{-4}$ . V tomto případě ponechejme hodnotu na  $1.10^{-4}$ . Kriterium konvergence definujeme příkazem "Display – Residual Monitors".

Residual Monitors				×
Options  Print to Console  Plot  Window  1  Curves  Iterations to Plot  1000  Axes	Equations Residual continuity x-velocity y-velocity	Monitor Check Converger	ce Absolute Criteria 0.001 0.001 0.001 0.001	
Iterations to Store	Residual Values Normalize Iterations 5 Scale	Convergence Criteri absolute	on	
OK Plot	Renormalize	Cancel He	lp	

Obr. 9.24. Parametry definice reziduálů

Kriterium konvergence můžeme definovat i odlišně pro jednotlivé veličiny změnou hodnot v položce "Absolute Criteria". Průběh residuálu můžeme nechat vypisovat v příkazovém a popisovém okně (položka "Options – Print to Console") prostředí ANSYS Fluent12.1.4., a také vykreslovat v grafickém (položka "Options – Plot") okně, Obr. 9.24.

Tím jsme provedli kompletní nastavení modelu včetně inicializace a nastavení průběhů reziduálů před samotnou numerickou simulaci, proto se doporučuje provést opětovné uložení nastavení modelu příkazem "File – Write – Case" (přepsáním souboru nastaveni-3D-rozsireni.cas).

Numerický výpočet spustíme příkazem "Solve – Run Calculation", Obr. 9.25. V tomto okně definujeme počet iterací ("Number of Iterations"), a krok s kterým se iterace budou vypisovat ("Reporting Interval"). Numerický výpočet spustíme tlačítkem "Calculate".



Obr. 9.25. Spuštění výpočtu

Po spuštění numerického výpočtu se v grafickém okně vykreslují průběhy reziduálů jednotlivých počítaných veličin, a v příkazovém a popisovém okně se vypisují hodnoty reziduálů veličin ("continuity" – tlak, "x-velocity" – x-ová složka rychlosti, "y-velocity" – y- ová složka rychlosti, "z-velocity" – z-ová složka rychlosti), viz. Obr. 9.26.



Obr. 9.26. Průběh reziduálů počítaných veličin

Numerický výpočet můžeme kdykoliv v průběhu simulace přerušit tlačítkem "Cancel" v okně "Working", viz. Obr. 9.26. Pokud dojde ke splnění kritérii konvergence u všech počítaných veličin, tak úloha je numericky vyřešená, a objeví se informace "Calculation complet" v okně "Information", viz. Obr. 9.27 (po 95 iteracích).



Obr. 9.27. Splnění kritérii konvergence

Po úspěšném výpočtu je vhodné uložit výsledek numerické simulace pomocí příkazu "File – Write – Data" s názvem např. (solve-3D-rozsireni.dat).

## 9.1.3. Postprocessig (vyhodnocení) numerické simulace 3D oblasti s rozšířením

Vyhodnocení numerické simulace je nedílnou součásti samotné práce v programu ANSYS Fluent12.1.4. Zejména v případech složitých prostorových 3D výpočetních oblastí je důležité vytvořit odpovídající entity, a to zejména plochy nebo hrany, ve kterých je možné následně vyhodnocovat žádané veličiny (tlak, rychlost, hustota, teplota, turbulentní veličiny, hmotnostní zlomek, atd...). V případech řešení časově závislých úloh je často žádoucí vyhodnocovat např. průběh rychlosti v určitém místě, a tedy je nutné vytvořit odpovídající bod ve výpočetní oblasti, a pomocí něho definovat záznam příslušné veličiny v čase (tzn. monitorování veličiny, která se bude měnit s časem).

V našem příkladě definujeme dva řezy (Rez 1, Rez 2), ve kterých následně budeme vyhodnocovat příslušné veličiny, viz. Obr. 9.28.



Obr. 9.28. Schéma řezů (Rez 1, Rez 2) k vyhodnocení numerické simulace

Rez 1 a Rez 2 vytvoříme příkazem "Surface – Iso surface, Obr. 9.29. Tímto příkazem lze definovat roviny ve směrech souřadných os x,y,z v libovolné vzdálenosti skrz celou výpočetní oblast. Kromě toho lze definovat i rovinu např. 3 body, nebo rovnoběžně s jednou z hranic v definované vzdálenosti. V našem případě použijeme příkaz "Surface – Iso Surface" (Rez 1 definujeme ve směru osy z, ve vzdálenosti z=0,75m, Rez 2 definujeme ve směru osy x ve vzdálenosti x=1m). Ukázka vytvoření řezu (Rez 1) je zobrazena na Obr. 9.29. Na obrázku jsou navíc jednotlivé položky doplněné o komentář k definování.

💶 Iso-Surface	×	Plocha ve směru osy z
Surface of Constant	From Surface	
Mesh	default-interior stepa	Rozsah vzdálenosti
Z-Coordinate	vstup	(zobrazí se po kliknutí
Min (m) Max (m)	VVSrup	na tlačítko "Compute"
0 1.3		
Iso-Values (m)		Define vindéleneet
0.75	From Zones	umístění řezu)
New Surface Name		Νάζεν řεζι
rez-1		1102011020
Create Compute Manage	Close Help	

Obr. 9.29. Definice řezů příkazem "Iso - Surface"

Příkazem "Create" se Rez 1 vytvoří, a pomocí příkazu "Manage" můžeme Rez 1 odstranit nebo přejmenovat a nebo sloučit s jinou plochou. Obdobným způsobem vytvoříme Rez 2. K zobrazení vytvořených řezů, zda-li jsou v pořádku (Rez 1, Rez 2) použijeme příkaz "Display – Mesh", Obr. 9.30.



Obr. 9.30. Zobrazení řezů příkazem "Display Mesh"

Příkazem "Display – Mesh" můžeme zobrazit síť na jednotlivých hranicích (vstup, výstup, stěny), plochách (surfaces), a můžeme také zobrazit objemovou síť. K zobrazení můžeme použit řadu přepínačů "Options" a "Type", viz. Obr. 9.30. Jednotlivé entity lze pro názornost i graficky odlišit příkazem "Colors". Můžeme zobrazit body ("Nodes"), hrany ("Edges"), plochy ("Faces") a celky ("Partitions"). Pokud zvolíme jeden z nástrojů "Options" např. "Edges" následně můžeme použít z podnabídky "Edge Type" další upřesňující nástroje.

V našem případě chceme zobrazit ohraničující hrany vytvořených řezu Rez1 a Rez2 v celé oblasti. Zvolíme "Options – Edges" a "Edge Type – Feature" a v nabídce "Surfaces" vybereme příslušné řezy (Rez 1, Rez 2) a okolní stěny oblasti, tzn. stena (Obr. 9.30). Pokud použijeme možnost "All" tak zobrazíme hrany na příslušných plochách (tedy povrchovou síť).

Grafické vyhodnocení výsledků numerické simulace provádíme příkazy z nabídky "Display". Obecně můžeme vyhodnocovat vyplněné izočáry proudových veličin (rychlost, tlak, teplota,..) a nebo vektorové pole. Kromě toho lze např. zobrazit trajektorie proudění pevných částic. V našem případě provedeme vyhodnocení vyplněných izočár tlaku a vektorové pole rychlosti v příslušných řezech Rez 1 a Rez 2. K vyhodnocení vyplněných izočár tlaku použijeme příkaz "Display – Graphics and Animations – Contours", Obr. 9.31. V příkazovém okně volíme řadu parametrů (zobrazovanou veličinu, možnost zobrazení vyplněných kontur, atd…), viz. popis níže.



Obr. 9.31. Zobrazení vyplněných kontur tlaku

Položka zobrazení sítě ("Draw Mesh") je často používanou položkou, protože lze výsledek zobrazení doplnit o výpočetní oblast, tak aby uživatel měl představu, kde vyhodnocuje příslušné veličiny. V tomto případě je zobrazení doplněno o stěny oblasti (Obr. 9.32).

💶 Mesh Displa	y		×
Options t Nodes Partitions Shrink Factor F 0 Surface Name Patt Outline Interio	Edge Type All Feature Outline eature Angle 20 tern Match	Surfaces Idefaulk-interior rez-1 rez-2 Surface Vystup New Surface ▼ Surface Types Avis cilp-surf exhaust-fan Tan	
Display Colors Close Help			

Obr. 9.32. Zobrazení výpočetní oblasti

Výsledek vyhodnocení vyplněných kontur tlaku je znázorněn na Obr. 9.33. Z obrázku je patrné, že se jedna o vyhodnocení statického tlaku ("Contours of Static Pressure") v jednotkách (pascal). Rozsah hodnot je patrný z legendy, kdy maximum odpovídá červené barvě a minimum modré barvě (Obr. 9.33).



Obr. 9.33. Vyplněné kontury tlaku v řezech (Rez 1, Rez 2)

K vyhodnocení vektorů rychlosti použijeme příkaz "Display – Graphics and Animations – Vectors", Obr. 9.34. V příkazovém okně volíme řadu parametrů (zvolíme zobrazovanou veličinu,atd...), viz. popis níže. Např. lze vektory obarvit nějakou veličinou (velikosti rychlosti, složkou rychlosti, statickým tlakem, dynamickým tlakem,...) Stejně tak lze zobrazit síť k přehlednosti. Parametrem "Scale" definujeme velikost zobrazeného vektoru a parametrem "Skip" hustotu zobrazovaných vektorů. Na Obr. 9.34 je vyhodnocené vektorové pole, které je obarvené velikosti rychlosti.



Obr. 9.34. Zobrazení vektorového pole příkazem "Vectors"

Na dalších grafických výstupech je vyhodnoceno vektorové pole obarvené velikosti rychlosti v "Rez 1" (Obr. 9.35) a v "Rez 2" (Obr. 9.36). Z "Rez 1" je vidět zavíření za náhlým rozšířením a z "Rez 2" je vidět tvar rychlostního profilu napříč oblasti.



Obr. 9.35. Vektorové pole obarvené velikosti rychlosti v řezu Rez 1



Obr. 9.36. Vektorové pole obarvené velikosti rychlosti v řezu Rez 2

Změnu zobrazení (tzn. pohled na grafický výstup) lze provádět myši nebo pomocí příkazu "Display – Views". V nabídce můžeme měnit pohledy ("back, bottom, front, left, right, top nebo isometric") a potvrdit tlačítkem "Apply". Také můžeme použít možnost "Auto Scale" do celého okna, viz. Obr. 9.37.

Views		×	
Views back bottom front isometric left right top	Actions Default Auto Scale Previous Save Delete	Mirror Planes	
Save Name front Apply Camera	Read Write	Periodic Repeats Define Help	

Obr. 9.37. Nastavení pohledu ("Views")



#### Animace

Ukázka vytvoření geometrie a výpočetní sítě 3D oblasti s rozšířením v programu Gambit a následná definice matematického modelu včetně vyhodnocení v programu ANSYS Fluent12.1.4 si může student zobrazit

(vytvoření geometrie a výpočetní sítě 3D oblasti s rozšířením)

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_9\ soubor Fluent\_priklad\_1.exe

(definice matematického modelu včetně vyhodnocení v programu ANSYS Fluent12.1.4)

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_9\ soubor Fluent\_priklad\_1\_1.exe

#### 9.2. Testování turbulentních modelů v 3D oblasti v mezeře s náhlým rozšířením



Čas ke studiu: 2 hodiny

Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- definovat různé turbulentní matematické modely proudění
- definovat hodnoty okrajových podmínek •
- vyhodnotit turbulentní modely s hlediska oblasti zavíření



#### Výklad

#### Popis úlohy

Cíl

V této kapitole se seznámíme se základními modely turbulence v aplikaci na příkladu trojrozměrného proudění vzduchu v mezeře s náhlým rozšířením, viz. Obr. 9.38. Budeme definovat různé matematické modely turbulentního proudění. Cílem této úlohy je vizualizace proudového pole a sledování zavíření v rozšiřující se části řešené oblasti. Dále budeme vyhodnocovat turbulentní veličiny a tlakový spád v oblasti. Turbulentní modely budeme testovat na geometrii náhlého rozšíření, kterou převezmeme z kap. 9.1.



#### **D** Popis geometrie

Obr. 9.38. Schéma výpočetní oblasti

#### Rozměry oblasti a okrajové podmínky

Tab. 9.2. Rozměry oblasti a okrajové podmínky

Délka oblasti L [m]	3.5	Proudící tekutina	Vzduch
Výška oblasti D [m]	0.5	Rychlost na vstupu $V$ [m.s <sup>-1</sup> ]	3
Výška schodu d [m]	0.1	Výstup (Pressure outlet)	Nulový přetlak
Délka schodu $L_s$ [m]	0.7	Intenzita turbulence / [%]	2
Šířka oblasti <i>B</i> [m]	1.5	Charakteristický rozměr <i>L</i> [m]	0.4

V prvním kroku načteme výpočetní síť příkladu (3D laminární izotermní proudění v mezeře s náhlým rozšířením, kap. 9.1, 3D-rozsireni.msh). Úvodní parametry definujeme stejně jako v příkladě dle kap. 9.1 (rozměrová kontrola oblasti, definování fyzikálních vlastností proudícího média, operační podmínky, tíhové zrychlení, typy okrajové podmínky). Nové nástroje budeme posléze postupně definovat v této kapitole.

Výpočet Reynoldsová čísla Re

$$\operatorname{Re} = \frac{v \cdot d_h}{v} = \frac{v \cdot \frac{4 \cdot S}{O}}{v} = \frac{v \cdot \frac{4 \cdot (D - d) \cdot b}{2(D - d + b)}}{v} = \frac{3 \cdot \frac{4 \cdot (0.5 - 0.1) \cdot 1.5}{2(0.5 - 0.1 + 1.5)}}{15.15 \cdot 10^{-6}} = 121848 = \text{turb. proudění.}$$

Charakteristický rozměr *L* definujeme jako L = D - d.

Turbulentní modely definujeme příkazem "Define – Models – Viscous", Obr. 9.39. Otestujeme dvourovnicové modely k-epsilon (Standard, RNG, Realizable) a k-omega (Standard, SST), Obr. 9.39. V nabídce "Model" vybereme odpovídající turbulentní model, v tomto případě "K-epsilon (2egn). Následně můžeme definovat řadů parametrů, které jsou popsány na Obr. 9.39. Vybereme "k-epsilon Model Standart" se standartní stěnovou funkcí, která definuje výpočet veličin u stěny. Konstanty modelu ("Model Constants") nechme v přednastaveném tvaru.



Obr. 9.39. Nabídka matematických modelů proudění, definice "k – epsilon – Standard" turbulentního modelu

V dalším kroku definujeme okrajové podmínky obdobně jak v kapitole 9.1.2. Okrajové podmínky na stěně definujeme totožně jak v kapitole 9.1.2. Na vstupu do oblasti definujeme rychlostní okrajovou podmínku ("Velocity – Inlet", Obr. 9.40). Ve srovnání s laminárním prouděním definujeme navíc turbulentní veličiny na vstupu v položce "Turbulence – Specification Method", Obr. 9.40. Podle zadání vybereme položku "Intensity and Hydraulic Diameter" (intenzita a charakteristiký rozměr) a definujeme intenzitu turbulence 2% a charakteristický rozměr 0.4. Kromě definování intenzity turbulence a charakteristického rozměru můžemee definovat turbulentní kinetickou energii k a rychlost disipace  $\varepsilon$ , nebo intenzitu turbulence I a délkové měřítko I, a nebo intenzitu turbulence I a poměr turbulentní viskozitě  $\mu$ . Dále definujeme výstupní tlakovou okrajovou podmínku jako "pressure outlet" s nulovým přetlakem, Obr. 9.41.

🗳 Velocity Inlet 🛛 🔀
Zone Name
vstup
Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS
Velocity Specification Method Magnitude, Normal to Boundary
Reference Frame Absolute
Velocity Magnitude (m/s) 3 constant
Turbulence
Specification Method Intensity and Hydraulic Diameter
Turbulent Intensity (%)
Hydraulic Diameter (m)
OK   [Cancel] [ Help ]

Obr. 9.40. Rychlostní okrajová podmínka pro k-epsilon standard turbulenzní model

Turbulentní veličiny na výstupu nechte jako přednastavené hodnoty ("Backflow Turbulent Kinetic Energy – 1, Backflow Turbulent Dissipation Rate – 1"), Obr. 9.41. Hodnoty veličin definovány na výstupní okrajové podmínce jsou brány v úvahu pouze v případech zpětného proudění, jinak tyto hodnoty jsou počítány Fluentem.

🖴 Pressure Outlet 🛛 🔀
Zone Name
vystup
Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS
Gauge Pressure (pascal) 0 constant
Backflow Direction Specification Method Normal to Boundary
Radial Equilibrium Pressure Distribution
Target Mass Flow Rate
Turbulence
Specification Method K and Epsilon
Backflow Turbulent Kinetic Energy (m2/s2) 1 constant
Backflow Turbulent Dissipation Rate (m2/s3) 1 constant
OK Cancel Help

Obr. 9.41. Výstupní tlaková okrajová podmínka

Následně provedeme inicializací výpočetní oblasti pomocí hodnot z vstupní okrajové podmínky ("compute From") příkazem "Solve – Solution Initialization". Vidíme, že jednotlivé položky byly automaticky předefinovány, viz. Obr. 9.42.

Problem Setup	Solution Initialization
General Models Materials	Compute from vstup
Phases Cell Zone Conditions Boundary Conditions Mesh Interfaces Dynamic Mesh	Reference Frame           Relative to Cell Zone           Absolute   Initial Values
Dynamic Mesh Reference Values Solution Solution Methods Solution Controls Monitors Solution in Controls Monitors Solution in Controls Results Graphics and Animations Pols Reports	Trible Values           Gauge Pressure (pascal)           0           X Velocity (m(s))           3           Y Velocity (m(s))           0           2           2           2           0           0           2           0           2           0
	Turbulent Dissipation Rate (m2/s3) 0.002328705 Initialize Reset Patch

Obr. 9.42. Inicializace řešení

Následně spustíme numerický výpočet příkazem "Run – Calculation". Kritéria konvergence jsou splněna po 78 iteracích (Obr. 9.43). Výpočet opakujeme pro turbulentní matematické modely (k-epsilon-RNG, k-epsilon-Realizable, k-omega-standard a k-omega SST).Jendotlivé varianty uložíme příkazem "File – Write – Cas&Data.



Obr. 9.43. Průběh residuálu pro "k-epsilon standard" matematický model

Následně provedeme porovnání oblasti zavíření pro jednotlivé turbulentní matematické modely pomocí vektorového pole v oblasti náhlého rozšíření. Během zobrazení vektorového pole vykresleme detail oblasti náhlého rozšíření, a uložme daný pohled pomocí příkazu "Display – Views". V nabídce vytvořme nový pohled, který následně uložíme funkcí "Write".



Obr. 9.44. Vektorové pole (k-epsilon-standard model, k-epsilon-RNG model)



Obr. 9.45. Vektorové pole (k-epsilon-realizable model, k-omega-standard model)



Obr. 9.46. Vektorové pole (k-omega-SST model)

Následně vyhodnotíme počet iterací, kdy dojde ke splnění podmínky konvergence v závislostí na použitém turbulentním modelu.

TURBULENTNÍ MODEL	POČET ITERACÍ
k-epsilon-standard	78
k-epsilon-RNG	187
k-epsilon-realizable	113
k-eomega-standard	65
k-epsilon-SST	88

#### Uvyhodnocení bodu odtržení a profilů rychlosti

Bodem odtržení se myslí místo, kde dochází k odtržení proudu vzduchu a vzniku zavíření (zpětné proudění). Jedná se o oblast za rozšířením, což je zřejmé z Obr. 9.44. Z obrázku je viditelné, že vektory rychlosti za rozšířením mají opačný směr do určité vzdálenosti. Pohybujeme-li se více vpravo, pak vektory rychlosti od určité vzdálenosti mají kladný směr (směr proudění). Pomocí profilu v blízkosti horní stěny můžeme bod odtržení zjistit, a to vyhodnocením složky rychlosti ve směru proudění. Bod odtržení je charakterizován nulovou složkou rychlosti. Profil k vyhodnocení je definován na Obr. 9.47.



Obr. 9.47. Definování profilu v blízkosti horní stěny

Vytvoření profilu provedeme příkazem "Surface – Line/Rake Surface" definováním počátečního a koncového bodu na základě schématu (Obr. 9.47).



Obr. 9.48. Vytvoření profilu příkazem "Line/Rake"

V tomto panelu definujeme souřadnice počátečního a koncového bodu profilu (BOD 1, BOD2), a pro následnou přehlednost profilu zadejme odpovídající název (např. line-1), viz. Obr. 9.48. Profil složky rychlosti  $v_x$  vyhodnotíme příkazem "Display – Plots – XY Plot" dle schématu Obr. 9.49.



Obr. 9.49. Panel příkazu XY PLOT



Tlačítkem "Plot" vykreslíme příslušný profil rychlosti (Obr. 9.49).

Obr. 9.50. Profil složky rychlosti  $V_x$ 

Průběh rychlosti v daném profilu uložíme do externího souboru příkazem "Write to File" (Obr. 9.49). Následně vyhodnocujeme průběh rychlosti ve stejném profilu u všech turbulentních modelů (k-epsilon standard, k-epsilon RNG, k-epsilon realizable, k-omega standard, k-omega SST. Výsledky profilů složky rychlosti uložme do externího souboru a následně výsledky načteme příkazem "Load File" ke zkreslení a porovnání (Obr. 9.51).



Obr. 9.51. Porovnání profilu složek rychlosti  $V_x$  v blízkosti horní stěny

- k-epsilon-standard turbulentní model (bíle body)
- k-epsilon-RNG turbulentní model (červené body)
- k-epsilon-realizable turbulentní model (zelené body)
- k-omega-standard turbulentní model (modré body)
- k-omega-SST turbulentní model (světle modré body)

Obdobným způsobem vyhodnotíme turbulentní kinetickou energii k v profilu ve vzdálenosti x=0.8 m od vstupu v oblasti podle schématu Obr. 9.52.







Obr. 9.53. Porovnání turbulentní kinetické energie v profilu vedeném ve vzdálenosti x=0.8 m pro různé turbulentní matematické modely

- k-epsilon-standard turbulentní model (bíle body)
- k-epsilon-RNG turbulentní model (červené body)
- k-epsilon-realizable turbulentní model (zelené body)
- k-omega-standard turbulentní model (modré body)
- k-omega-SST turbulentní model (světle modré body)

#### Animace

Ukázka řešení turbulentního proudění v 3D oblasti s rozšířením v programu ANSYS Fluent12.1.4 si může student zobrazit

(turbulentního proudění v 3D oblasti s rozšířením)

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_9\ soubor Fluent\_priklad\_2.exe

(turbulentního proudění v 3D oblasti s rozšířením)

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_9\ soubor Fluent\_priklad\_2\_1.exe

# **9.3. Definování různých okrajových podmínek na vstupu do 3D oblasti s náhlým rozšířením v aplikaci na turbulentní k-epsilon-standard model**



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- definovat různé typy okrajových podmínek na vstupu do 3D oblasti s náhlým rozšířením
- určit střední hodnoty počítaných veličin na vstupní a výstupní okrajové podmínce



#### Výklad

#### Popis úlohy

V této kapitole se seznámíme s průtokovou okrajovou podmínkou a tlakovou podmínkou na vstupu do 3D oblasti s náhlým rozšířením, viz. Obr. 9.54. Dále budeme definovat okrajovou podmínku symetrie. Cílem této úlohy bude porovnat výsledné proudové pole pro různé okrajové podmínky, a to vyhodnocením základních proudových veličin. Následně budeme vyhodnocovat střední hodnoty veličin na jednotlivých okrajových podmínkách. Okrajové podmínky budeme definovat pro turbulentní model k-epsilon-standard.

#### Popis geometrie



Obr. 9.54. Schéma výpočetní oblasti

#### **Rozměry oblasti a okrajové podmínky**

Tab. 9.3. Rozměry oblasti a okrajové podmínky

Délka oblasti L [m]	3.5	Proudící tekutina	Vzduch
Výška oblasti D [m]	0.5	Rychlost na vstupu $V$ [m.s <sup>-1</sup> ]	3
Výška schodu d [m]	0.1	Výstup (Pressure outlet)	Nulový přetlak
Délka schodu $L_s$ [m]	0.7	Intenzita turbulence / [%]	2

Šířka oblasti <i>B</i> [m]	1.5	Charakteristický rozměr / [m]	0.4
	1.0		0.1

Výpočet Reynoldsová čísla Re

$$\operatorname{Re} = \frac{v \cdot d_h}{v} = \frac{v \cdot \frac{4 \cdot S}{O}}{v} = \frac{v \cdot \frac{4 \cdot (D - d) \cdot b}{2(D - d + b)}}{v} = \frac{3 \cdot \frac{4 \cdot (0.5 - 0.1) \cdot 1.5}{2(0.5 - 0.1 + 1.5)}}{15.15 \cdot 10^{-6}} = 121848 = \text{turbulentní model}$$

Kromě definování rychlosti na vstupu v budeme definovat hodnotu hmotnostního průtoku odpovídajícího vstupní rychlosti  $Q_m = \rho \cdot S \cdot v = 1.225 \cdot 0.4 \cdot 1.5 \cdot 3 = 2.205 kg \cdot s^{-1}$ . Další variantou budeme definovat celkový tlak ( $p_t$ ) na vstupu do oblasti. Celkový tlak je dán následujícím vztahem  $p_t = p_s + \frac{1}{2}\rho v^2 = p_s + p_d$  (statický tlak + dynamický tlak). Hodnotu celkového tlaku získáme z varianty řešení použití rychlostní podmínky na vstupu, kdy vyhodnotíme střední tlak na okrajových podmínkách. Na výstupu u všech variant definujeme hodnotu statického tlaku odpovídajícího nulovému přetlaku.

#### Varianty použitých okrajových podmínek

	OKRAJOVÁ PODMÍNKA	OKRAJOVÁ PODMÍNKA		
	NA VSTUPU	NA VÝSTUPU		
	Rychlostní podmínka	Tlaková podmínka		
Varianta1	(VELOCITY INLET)	(PRESSURE-OUTLET)		
		Nulový přetlak		
	Průtoková podmínka	Tlaková podmínka		
Varianta2	(MASS-FLOW-INLET)	(PRESSURE-OUTLET)		
		Nulový přetlak		
	Tlaková podmínka	Tlaková podmínka		
Varianta3	(PRESSURE-INLET)	(PRESSURE-OUTLET)		
		Nulový přetlak		

Tab. 9.4. Varianty okrajových podmínek

Výsledky jednotlivých variant porovnávejme pomocí středních hodnot (tlak, rychlost) vyhodnocených na vstupu a výstupu z 3D oblasti. Dále vyhodnotíme ztrátový součinitel celé

oblasti pomocí vztahu 
$$\zeta = \frac{p_{t-vstup} - p_{t-vystup}}{p_{d-vstup}}$$
.

## 9.3.1. Rychlostní okrajova podmínka na vstupu do 3D oblasti s rozšířením

Načteme výsledek řešení z kapitoly 0 pro turbulentní k-epsilon standard model příkazem "File – Read – Case&Data" (\*.cas, \*.dat).

Vyhodnocení středních hodnot proudových veličin (tlak a rychlost) na vstupu a výstupu z oblasti provedeme pomocí příkazu "Report – Result Report – Surface Integral" (Obr. 9.55). Kromě středních hodnot v příslušných řezech a okrajových podmínek můžeme určit např. hmotnostní průtok plochou, obsah dané plochy,... Následně v příkaze "Report" můžeme

vyhodnotit toky tepla v důsledku konvekce a radiace, objemové integrály anebo síly na plochy a momenty.

Surface Integrals		Vvhodnocována
Report Type	Field Variable	veličina
Area-Weighted Average	Pressure	Venenia
Surface Types 🔳 🖃	Total Pressure	
axis clip-surf	Phase	
exhaust-fan	mixture	
l fan	Surfaces 🔳 🖃	Tvp vyhodnocení
Surface Name Pattern Match	default-interior line-1 line-2 re2-1 re2-2 stena	
	vstup vystup	Místo vyhodnocení
Save Output Parameter	Area-Weighted Average (pascal) 4.277769	Hodnota vyhodnocované veličiny

Obr. 9.55. Vyhodnocování integrálních hodnot (např. střední hodnota)

Ukázka vyhodnocení střední hodnoty ("Area-Weighted Average") celkového tlaku ("Total Pressure"  $p_t$ ) na vstupu je zobrazena na Obr. 9.55. s hodnotou  $p_t = 4.277769$  Pa. Střední hodnotu libovolné veličiny vyhodnotíme příkazem "Report - Result Report – Surface Integraf – Report Type – Area Weighted – Average" pomocí následujícího vztahu:

$$v_{s} = \frac{1}{A} \int \vec{v} \cdot d\vec{A}$$

Postupně vyhodnocujeme střední hodnoty celkového tlaku  $p_t$  "Total Pressure", dynamického tlaku  $p_d$  "Dynamic Pressure" a rychlosti v na vstupu a výstupu oblasti. Vyhodnocené veličiny jsou uvedené v Tab. 9.5.

1 ab. 9.5. Stream hodnoty na vstupu a vystupu					
VELIČINA	VSTUP	VÝSTUP			
$p_t$ [Pa]	4.277769	3.578404			
$p_d$ [Pa]	5.511441	3.577008			
$v [{\rm m.s}^{-1}]$	3	2.400027			

Tab. 9.5. Střední hodnoty na vstupu a výstupu

Určení	ztrátového	součinitele	pomocí	vztahu	$\zeta = \frac{p_{t-vstup} - p_{t-vystup}}{p_{t-vystup}} = $
			-		$p_{d-vstup}$

 $\frac{4.277769 - 3.578404}{5.511441} = 0.126893.$ 

#### 9.3.2. Průtokové okrajové podmínky na vstupu do 3D oblasti s rozšířením

Načteme výsledek řešení z kapitoly 0 pro turbulentní k-epsilon standard model příkazem "File – Read – Case&Data" (\*.cas, \*.dat). Velikost hmotnostního průtoku vstupní plochou je definován vztahem:

 $Q_m = \rho \cdot S \cdot v = 1.225 \cdot 0.4 \cdot 1.5 \cdot 3 = 2.205 kg \cdot s^{-1}$ 

V prvním kroku provedeme změnu typu vstupní okrajové podmínky z "Velocity Inlet" na "Mass – Flow Inlet" v nabídce okrajových podmínek ("Define – Boundary Conditions"). Parametry okrajové podmínky jsou uvedené na Obr. 9.56.



Obr. 9.56. Definování průtokové okrajové podmínky ("Mass - Flow Inlet")

Zbylé parametry včetně výstupní okrajová podmínka zůstávají stejné jako v kap. 9.2. Následně provedeme inicializaci proudového pole a spustíme numerický výpočet. Ke splnění podmínky konvergence dojde po 79 iteracích. Poté vyhodnotíme střední hodnoty celkového tlaku  $p_t$  "Total Pressure", dynamického tlaku  $p_d$  "Dynamic Pressure" a rychlosti v na vstupu a výstupu oblasti (Tab. 9.6) obdobně jako v kap. 9.3.1.

Tah	96	Střední	hodnoty	na	vstuni	ı a	výstunu
1 au.	1.0.	Sucum	nounoty	ma	vstupt	ιa	vystupu

VELIČINA	VSTUP	VÝSTUP
$p_t$ [Pa]	4.278815	3.578693
$p_d$ [Pa]	5.511441	3.57729
$v [{\rm m.s}^{-1}]$	3	2.400026

Určení ztrátového součinitele pomocí vztahu  $\zeta = \frac{p_{t-vstup} - p_{t-vystup}}{p_{d-vstup}} =$ 

 $\frac{4.278815 - 3.578693}{5.511441} = 0.127031.$ 

#### 9.3.3. Tlaková okrajová podmínka na vstupu do 3D oblasti s rozšířením

Načtěme výsledek řešení z kapitoly 0 pro turbulentní k-epsilon standard model příkazem "File – Read – Case&Data" (\*.cas, \*.dat).

V prvním kroku provedeme změnu typu vstupní okrajové podmínky z "Velocity Inlet" na "Pressure – Inlet". Změnu typu okrajové podmínky definujeme v položce "Define –

Boundary Conditions". V nabídce okrajové podmínky "Pressure-inlet" definujeme velikost celkového tlaku ( $p_t = 4.277769Pa$ ). Na výstupu ponecháme tlakovou okrajovou podmínku ("Pressure - Outlet"). Podrobná definice vstupní tlakové okrajové podmínky je uvedena na Obr. 9.57.



Obr. 9.57. Definice vstupní tlakové okrajové podmínky ("Pressure – Inlet")

Zbylé parametry včetně výstupní okrajová podmínka zůstavají stejné jako v kap. 0. Následně provedeme inicializaci proudového pole a spustíte numerický výpočet. Ke splnění podmínky konvergence dojde po 100 iteracích. Poté vyhodnotíme střední hodnoty celkového tlaku p.

"Total Pressure", dynamického tlaku  $p_d$  "Dynamic Pressure" a rychlosti v na vstupu a výstupu oblasti (Tab. 9.7) obdobně jako v kap. 9.3.1.

Tab. 9.7 – Strední nodnoty na vstupu a vystupu												
VELIČINA	VSTUP	VÝSTUP										
$p_t$ [Pa]	4.277769	3.645408										
$p_d$ [Pa]	5.608729	3.644344										
$v [{\rm m.s}^{-1}]$	3.026069	2.420813										

Určení	ztrátového	součinitele	pomocí	vztahu	$\zeta = \frac{P_{t-vstup}  P_{t-vystup}}{P_{t-vystup}} =$
					$p_{d-vstup}$

4.277769 - 3.645408 = 0.112746.5.608729



#### Animace

Ukázka řešení turbulentního proudění v 3D oblasti s rozšířením (různé okrajové podmínky na vstupu) v programu ANSYS Fluent12.1.4 si může student zobrazit

(turbulentního proudění v 3D oblasti s rozšířením - tlaková podmínka)

- odkazem ANIMACE
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_9\ soubor Fluent\_priklad\_3.exe

(turbulentního proudění v 3D oblasti s rozšířením - průtoková podmínka)

- odkazem ANIMACE
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_9\ soubor Fluent\_priklad\_3\_1.exe

#### 9.4. Použití okrajové podmínky symetry v 3D oblasti s náhlým rozšířením



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- definovat okrajovou podmínku SYMETRY pro 3D oblast s náhlým rozšířením
- nastavit a vyřešit matematický model 3D oblasti s náhlým rozšířením

### **II** Výklad

#### Popis úlohy

Příklad použití okrajové podmínky SYMETRY. Uvažujeme proudění vzduchu v 3D geometrii s náhlým rozšířením dle Obr. 9.58, kde vstupní průřez je definován plochou  $S = 2 \cdot (D-d) \cdot B$ . Z charakteru proudění vyplývá, že se jedná o symetrické proudění vůči ploše procházející středem oblasti (označená je modrým šrafováním). Výpočetní oblast použijeme stejnou jak v kap. 9.1, pouze dolní plochu budeme definovat okrajovou podmínkou SYMETRY. Tento postup nám umožní použít menší počet prvků, a tím pádem i zkrátit strojový čas numerického výpočtu.

#### **D** Popis geometrie



Obr. 9.58. Schéma 3D výpočetní oblasti

Délka oblasti L [m]	3.5	Proudící tekutina	Vzduch
Výška oblasti D [m]	0.5	Rychlost na vstupu $V$ [m.s <sup>-1</sup> ]	3
Výška schodu d [m]	0.1	Výstup (Pressure outlet)	Nulový přetlak
Délka schodu $L_s$ [m]	0.7	Intenzita turbulence / [%]	2
Šířka oblasti <i>B</i> [m]	1.5	Charakteristický rozměr <i>L</i> [m]	0.4

#### **D** Rozměry oblasti a okrajové podmínky

Úpravu okrajových podmínek provedeme v programu Gambit2.4.6. Načteme výpočetní síť z kap. 9.1 (soubor 3D-rozsireni.msh) a pomocí příkazu "Operation – Zones – Specify Boundary Types" vybereme příslušnou okrajovou podmínku "stena", pak se automaticky zapne přepínač "Modify". V nabídce "Entity" přesuneme příslušnou plochu z pravé strany na levou stranu okna "Face List" (Obr. 9.59). Následně vytvoříme novou okrajovou podmínku pod názvem např. symetrie, která bude typu "Symetry". Výsledný soubor pak uložíme a vyexportujeme výpočetní síť do programu FLUENT (např. 3D-rozsireni-symetry.msh).



Obr. 9.59. Úprava okrajových podmínek v programu GAMBIT2.4.6

Příslušný soubor (3D-rozsireni-symetry.msh) načteme do ANSYS Fluentu12.1.4. Po načtení výpočetní sítě je nová okrajová podmínka zobrazena žlutou barvou, viz. Obr. 9.60. Výsledná výpočetní sít je tedy polovinou celkové oblasti Provedeme rozměrovou kontrolu, definujeme turbulentní matematický model "k-epsilon-standard". Vstupní i výstupní okrajovou podmínku definujeme (vstup - "velocity inlet", výstup – "pressure outlet") dle kapitoly 9.2.



Obr. 9.60. Načtení výpočetní sítě s okrajovou podminkou "symetrie" do programu ANSYS Fluent12.1.4

Novou okrajovou podmínkou je podmínka symetrie, kterou definujeme pomocí příkazu "Define – Boundary Conditions". Nová okrajová podmínka je pojmenována "symetrie" a typu "Symetry", viz. Obr. 9.61.



Obr. 9.61. Definována okrajová podmínka "Symetry"

Následně provedeme inicializaci proudění a spustíme numerický výpočet. Ke splnění podmínky konvergence dojde po 80 iteracích, viz. Obr. 9.62.



Obr. 9.62. Průběh numerického výpočtu 3D oblasti s okrajovou podmínkou "Symetry"

Výsledky numerické simulace vyhodnotíme ve dvou řezech (Rez 1, Rez 2), viz. Obr. 9.28 . Na Obr. 9.63 je zobrazeno vektorové pole v řezech Rez 1 a Rez 2. Z výsledků je patrné, že je zobrazena pouze polovina výpočetní oblasti.



Obr. 9.63. Vektorové pole v řezech (Rez 1, Rez 2)

Pokud chceme zobrazit výsledky numerické simulace v celé oblasti 3D náhlého rozšíření použijeme příkaz "Display – Views" (Obr. 9.64). V nabídce "Mirror Planes" označme položku "symetrie" a klikněte na tlačítko "Apply". Výsledkem je zobrazení vektorového pole v celé oblasti 3D náhleho rozšíření, viz. Obr. 9.65. Obdobným způsobem vyhodnotíme vyplněné kontury absolutního tlaku v rovině Rez 1, viz. Obr. 9.66.



Obr. 9.64. Panel možnosti zobrazení "Views"

	Graphics and Animations	1: Velocity	Vectors Colored B 💌			
ns yns Views Dack bott bott top left right top	Graphics Graphics Mesch Vactors Vactors Pathines Particle Tracks  ews Actions Mirror Planes Periodic Repeats Define Previous Save Delete Previous Define Previ		3.09e+00 2.94e+00 2.79e+00 2.48e+00 2.33e+00 2.33e+00 2.33e+00 1.36e+00 1.57e+00 1.42e+00 1.42e+00 1.42e+00 9.66e-01 8.14e-01 6.63e-01 5.11e-01 3.59e-01 2.07e-01 5.51e-02	× z		

Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s)

Obr. 9.65. Zobrazení vektorového pole ve dvou řezech (Rez 1, Rez 2) v celéch oblasti



Obr. 9.66. Kontury absolutního tlaku v řezu Rez 1

## Animace

Ukázka řešení turbulentního proudění v 3D oblasti s rozšířením (okrajová podmínka symetry) v programu ANSYS Fluent12.1.4 si může student zobrazit

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_9\ soubor Fluent\_priklad\_4.exe

#### 9.5. Teplotní podmínky na vodivých stěnách trubky a použití tenkých stěn



Čas ke studiu: 1 hodina

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- definovat teplotní podmínky na okrajových podmínkách stěn trubky
- nastavit různé druhy okrajových podmínek na stěnách
- vyhodnotit odlišný materiál stěn trubky (ocel, měď)



#### Výklad

#### Popis úlohy

V této kapitole budeme modelovat turbulentní proudění vody v trubce s definovanou tloušťkou stěny, Obr. 9.67. Voda do trubky vstupuje o konstantní teplotě T = 300 K. Stěna trubky je tloušťky s = 1.5mm (Obr. 9.68). Použijeme různé materiály trubky a různé teplotní okrajové podmínky na vnější stěně trubky. Dále vodivou stěnu trubky nahradíme tenkou stěnou odpovídající tloušťky s = 1.5mm, a definujeme stejné teplotní okrajové podmínky jak pro vodivou stěnu. Pro proudění v trubce můžeme definovat dvourozměrný matematický model s definovanou osou symetrie (Obr. 9.68).



#### **D** Rozměry oblasti a okrajové podmínky

Tab.	9.8.	Rozměrv	oblasti	a okraiové	podmínky
I uo.	<i>.</i>	rozinery	ooiusti	u omujo ve	pounning

Délka trubky <i>L</i> [m]	0.9	Proudící médium	voda (H <sub>2</sub> O)
Vnitřní průměr trubky <i>d</i> [mm]	25	Rychlost na vstupu $V$ [ms <sup>-1</sup> ]	0.5
Tloušťka stěny trubky s [mm]	1.5	Teplota na vstupu $T$ [K]	300
Intenzita turbulence / [%]	2	Materiál trubky	ocel, měď
Charakteristický rozměr d [m]	0.05	Výstup (Pressure outlet)	Nulový přetlak

#### D Řešená oblast (2D plocha)



teplota stěny, hustota tepelného toku, součinitel přestupu tepla



#### Fyzikální vlastnosti vody:

$\rho = 998.2 \text{ kg/m}^3$
$C_p = 4182 \text{ J/kg} \text{*} \text{K}^{-1}$
$\lambda = 0.6 W/m^* K^{-1}$
$\eta = 0.001003 \text{kg/m*s}^{-1}$

#### Fyzikální vlastnosti oceli:

Hustota:	$\rho = 8030 \text{ kg/m}^3$
Měrná tepelná kapacita:	$C_p = 502.48 \text{ J/kg} \text{*} \text{K}^{-1}$
Tepelná vodivost:	$\lambda = 16.27 \text{ W/m} \text{*} \text{K}^{-1}$

#### Fyzikální vlastnosti mědi:

Hustota:	$\rho = 8978 \text{ kg/m}^3$
Měrná tepelná kapacita:	$C_p = 381 \text{ J/kg} \text{*}\text{K}^{-1}$
Tepelná vodivost:	$\lambda = 387.6 \text{ W/m} * \text{K}^{-1}$

Výpočet Reynoldsová čísla Re

Re =  $\frac{v \cdot d_h}{v} = \frac{v \cdot d}{\frac{\eta}{\rho}} = \frac{0.5 \cdot 0.05}{\frac{0.001003}{998.2}} = 12440 =$ turbulentní proudění

Výpočetní geometrii a výpočetní síť vytvoříme v programu GAMBIT2.4.6. Geometrii vytvoříme pomocí bodů nebo ploch, tak aby výsledkem byly dvě plochy, jak je znázorněno na Obr. 9.69.



Obr. 9.69. Geometrie výpočetní oblasti

Následně provedeme zhuštění výpočetní sítě v oblasti proudění směrem ke stěně, z důvodů přestupu tepla z oblasti proudění do vodivé stěny. Zhuštění a síťování odpovídajících hran je znázorněno na Obr. 9.70.



Obr. 9.70. Zhuštění výpočetní sítě ke stěně trubky

Dále vygenerujeme čtyřúhelníkovou výpočetní síť, která je znázorněna na Obr. 9.71.

					_	_		-	-	-	=			=				-	-	-	==			_	_	_						_	_		=	_	_						=	
					=									=											=	_																	=	
+			=	=	_	_	_						_	_	_									_	_	_	_					_	_		_		_					_	=	
									-										-																								=	
						_																				_							_											
									-		-			_					-			-																						
								-	-										-																									
	-							-	+	+	+	-					-		+	+	-	-+-						-	-	-								-					=	
								-	+	-									+	-				- Ri																				
																		1							1																			
																								A																				
																								4Þ.																				
																								ь.	_		0																	
	-							+	+	-							-		+	-				- 12	-	≫	-6X		-	-													=	
	-	-			_	_		-	+	-	-	-				-			+	-	_	-	-	_	_			-	-	-	-		_	-	_			-	-		-		_	
									+										+																									
	-							-	+	-							-		+	-								-			-									-				
	-				_	_		+	+	-		-				-	-		+	-		-+-	-		_			-	-	-	-			-				-		-	-		=	

Obr. 9.71. Výsledná povrchová síť

#### Definování okrajových podmínek (Obr. 9.72)

- vstupní okrajová podmínka ("Velocity Inlet")
- výstupní okrajová podmínka ("Pressure Outlet")
- okrajová podmínka symetrie ("Axis")
- okrajové podmínky na stěnách ("Wall"), vnější stěna trubky (stena 3), dvě čelní plochy (stena 1, stena 2)
- definování oblastí ("Zones") oblast proudění "Fluid", oblast trubky "Solid"

Vnitřní stěnu trubky (mezi oblasti proudění a vodivou oblasti) nedefinujeme žádnou okrajovou podmínkou, protože ANSYS Fluent12.1.4 při načtení geometrie automaticky generuje tzv. dvoustrannou hranici. Jedná se o dvě tenké stěny ("Wall, Wall-Shadow"), kdy jedná je součástí vodivé oblasti a druhá součástí oblasti proudění.



Obr. 9.72. Definice okrajových podmínek a oblasti proudění

Výpočetní síť včetně okrajových podmínek uložíme např. pod názvem (trubka.msh). Následně soubor načteme v programu ANSYS Fluent12.1.4, který spustíme jako 2D. Po načtení souboru trubka.msh se zobrazí následující výpis v popisovém a příkazovém okně, viz. Obr. 9.73. Ve výpisu se zobrazuje informace o změně modelu na osově – symetrický nebo změně okrajové podmínky symetry na wall.

File Mesh Define Solve	Mesh Define Solve Adapt Surface Display Report Parallel Wew Help												
) 🗃 • 📓 • 🚳 🎯 🗍	େ∰0.€∥!@्८ ात• □ •												
Problem Setup Sendo Models Materials Chanse Conditions Conditions Conditions Conditions Conditions Conditions Solution Methods Solution Controls Monitors Solution Tethalastoin Calculation Cartholis Solution Intellistation Calculation Cartholist Run Calculation Results Graphics and Animations Peters Reports	General       Neah       Solver       Type       Oresk       Report Quality       Solver       Type       Operasy-Based       O Relative       Time       2D Space       O Relative       Tarasient       Assymmetric Swell       Gravity       Units	1: Mach V											
		Mesh Aug 22, 2010 ANSYS FLUENT 12.1 (2d, dp, pbns, lam) stema_2 stema_3 wall oblast-proudeni trubka Note: Slitting wall zone 4 into a coupled wall. creating wall-shadow Done. Preparing mesh for display Done. Warding: the use of axis boundary conditions is not appropriate for a 20/30 flow problem. Please consider changing the zone type to symmetry or wall, or the problem to axisymmetric. Warding: the use of axis boundary conditions is not appropriate for a 20/30 flow problem. Please consider changing the zone type to symmetry or wall, or the problem to axisymmetric.											
🛃 start 🔰 😢	Všechnopá 🍋 Priklad-2D 👿 2 Microso 🔻	- 🔀 Gambit Sta 🐹 2 X Serve 🔀 Microsoft E 💶 FLLENT [ ] Search Desktop 🖉 🖉 🤌 19:59											

Obr. 9.73. Načtení výpočetní sítě (trubka.msh)

Úpravu matematického modelu na osově – symetrický model provedeme pomocí příkazu "Define – General – 2D Space – Axisymetric", viz. Obr. 9.74.


Obr. 9.74. Definice osově – symetrického matematického modelu

Dále provedeme rozměrovou kontrolu výpočetní oblasti ("Mesh – Scale Mesh"), definujeme turbulentní k-epsilon-standard model ("Define – Models – Viscous Model". Ve výpočtech uvažujeme s přestupem tepla, takže zatrhneme výpočet rovnice energie (Obr. 9.75).



Obr. 9.75. Definování rovnice enrgie

V dalších variantách budeme definovat různé typy nastavení okrajových podmínek a oblastí.

## 9.5.1. Numerická simulace stěny trubky pomocí vodivých buněk (živé buňky)

Uvažujme proudění vody (H<sub>2</sub>O) (vstupní rychlost v=0,5m/s, vstupní teplota T=300K, teplota vnější stěny (stena 3) T=400K a její nulová tloušťka ( $\Delta x$ =0m), nulová hustota tepelného toku q=0W/m<sup>2</sup> na stěnách (Stena 1 a Stena 2), na výstupu podmínka nulového přetlaku) ocelovou a měděnnou trubkou. Tenkou stěnu (Stena 3) si lze představit jako stěnu na Obr. 9.76. Výpočetní elementy oblasti stěny trubky jsou živé buňky typu solid (vodivé buňky), které představují ocelovou nebo měděnou trubku. Uvažujme nulovou tloušťku tenké stěny, pak platí T<sub>b-inner</sub>=T<sub>b-outer</sub>=400K a tedy neuvažujeme vedení tepla tenkou stěnou. V případě dvoustranné hranice (Obr. 9.77), kdy se jedná o dvě tenké stěny ("Wall, Wall-Shadow"), pak jedna je součástí vodivé oblasti (ocelová nebo měděná trubka) a druhá součástí oblasti proudění.



Obr. 9.76. Charakteristika tenké stěny



Obr. 9.77. Charakteristika dvoustranné hranice (dvě tenké stěny)

Pro dvoustrannou hranici platí stejná pravidla jak pro tenkou stěnu. Pokud definujeme nulové tloušťky obou stěn pak uvažujeme klasický přestup tepla mezi oblasti proudění a trubkou, což je i náš případ.

V prvním kroku definujeme příslušné proudící médium (voda –  $H_2O$ ) a materiály trubky (ocel a měď) příkazem "Define – Materials" pomocí databáze "FLUENT Database". Z nabídky materiálů vybereme následující materiály:

- "water liquid" (voda)
- "steel" (ocel)
- "cooper" (měď)

Příslušné materiály nakopírujeme tlačítkem "Copy". Ukázka výběru materiálu (voda) je zobrazena na Obr. 9.78. Obdobným způsobem nakopírujeme "solid" materiály (ocel, měď).

м	aterials	1: Mesh 🗸	
Ma	aterials		
F	Create/Edit Materials		×
ľ	Name	Material Tune	Order Materials by
	aluminum	solid	Databáze materiálu
	Chemical Formula	ELLIENT Colid Makaziala	O Chemical Formula
	al	aluminum (al)	FLUENT Database
		Mixture	User-Defined Database
	Duraukia	FLUENT Database Materials	
	Properties	FLUENT Fluid Materials	Material Type
	Density (kg/m3) constant	vinyl-silylidene (h2cchsih)	Fluid V
	2719	vinylidene-chloride (ch2ccl2)	Order Materials by
	Cp (Specific Heat) (1/kg-k)	water-liquid (h2o <l>) water-yapor (h2o)</l>	O Name
	constant	wood-volatiles (wood_vol)	
	871	<	
5	Thermal Conductivity (w/m-k)		
l	202.4	Copy Materials from Case Delete	
		Properties	×
0		Density (kg/m3) constar	ant View
		998.2	
	1	Cp (Specific Heat) (i/kg-k)	
	Change/Create	constar	int Yew
	(anango) aroato	4182	
		Thermal Conductivity (w/m-k) consta	
		0.6	materiálu (voda) do
		viscosity (kg/m-s) constar	ant view Meetu
		0.0010	003
		]	
		New Edit Sav	re Copy Close Help

Obr. 9.78. Databáze materiálu programu ANSYS Fluent12.1.4

V druhém kroku definujeme jednotlivé oblasti (zóny) výpočetní sítě pomocí příkazu "Define – Cell Zone Conditions" (Obr. 9.79). Pro oblast proudění definujeme typ zóny "Fluid" a materiál "Material Name – water liquid". Pro oblast trubky nastavme typ zóny "Solid" a materiál " Material Name – steel nebo cooper".

Problem Setup	Cell Zone Conditions		
General Models Materials	Zope oblast-proudeni	🗳 Fluid 🛛 🗙	
Phases End Zone Conditions Boundary Conditions Mesh Interfaces Dynamic Mesh Reference Values Solution Methods Solution Methods Solution Initialization Calculation Activities Run Calculation	TUDA	Zone Name	Solid Zone Name Trubka Material Name Steel Source Terms Fixed Values Motion Source Terms Fixed Values
Results Graphics and Animations Plots Reports	Phase Type ID mixture V Solid V 2 Edit Copy Profiles	Motion Type Stationary	Motion Type Stationary
	Display Mesh	OK Cancel Help	OK Cancel Help

Obr. 9.79. Definování jednotlivých oblasti (zón)

V dalším kroku nastavme jednotlivé okrajové podmínky. Na vstupu definujeme rychlostní okrajovou podmínku ("Velocity Inlet", Obr. 9.80) podle parametrů (Tab. 9.8). Na výstupu z trubky definujeme tlakovou okrajovou podmínku ("Pressure Outlet", Obr. 9.81) podle parametrů (Tab. 9.8).

🗳 Velocity Inlet 🛛 🗙	
Zone Name	T=300K – teplota
vstup	vody na vstupu
Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS	
Velocity Specification Method Magnitude, Normal to Boundary	
Reference Frame Absolute	Velikost rychlosti
Velocity Magnitude (m/s)	
Turbulence	Turbulantaí valičiav
Specification Method Intensity and Hydraulic Diameter	Turbulentin venciny
Turbulent Intensity (%) 2	
Hydraulic Diameter (m) 0.25	
OK Cancel Help	

Obr. 9.80. Rychlostní okrajová podmínka na vstupu

Hodnoty definované na tlakové výstupní okrajové podmínce jsou hodnoty, které jsou brány v úvaze pouze v případě zpětného proudění.

Pressure Outlet					
Zone Name					
vystup					
Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS					
Gauge Pressure (pascal) 0 constant					
Backflow Direction Specification Method Normal to Boundary					
Target Mass Flow Rate					
Turbulence					
Specification Method Intensity and Hydraulic Diameter					
Backflow Turbulent Intensity (%)					
Backflow Hydraulic Diameter (m) 0.025					
OK Cancel Help					

Obr. 9.81. Tlaková okrajová podmínka na výstupu

## 9.5.2. Definování teplotních okrajových podmínek pro tenkou stěnu

Okrajové podmínky pro jednotlivé stěny výpočetní oblasti jsou definovány na základě popisu v kap. 9.5.1. Pro stěnu (Stena 1, Stena 2) definujme nulovou hodnotu hustoty tepelného toku (izolována stěna) a zvolte příslušný materiál (ocel nebo měď), Obr. 9.82.

Zone Name	Livetete
stena_1	Hustota
Adjacent Cell Zone	tepelného toku
trubka	topeniene toka
Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS	
Thermal Conditions	
⊙ Heat Flux (w/m2) 0 constant ✓	Tlouětka otěmu
O Temperature Wall Thickness (m)	Tioustka steriy
O Convection	
Mixed Heat Generation Rate (w/m3) 0 constant	
Material Name	Materiál et Xurra
steel 💟 🔛 Edit	Material steny

Obr. 9.82. Definování parametrů stěn (Stena 1, Stena 2) - izolované stěny

😃 Wall		×	
Zone Name			
stena_3			
Adjacent Cell Zone			
trubka			Teplota stěny
Momentum Thermal Radiation Species	s DPM Multiphase UDS		
Thermal Conditions			Tloušťka stěny
Heat Flux	Temperature (k) 450	nstant 🗸	Houstka story
O Temperature	Wall Thickness (	m) 0	
Radiation	t Concration Pate (w/m2)		
		nstant	
Material Name			Materiál stěny
steel	J		
	OK Cancel Help		

Pro stěnu (Stena 3) definujeme konstantní hodnotu teploty T=400K, Obr. 9.83.

Obr. 9.83. Definování parametrů stěny Stena 3

V nabídce dvoustranné stěny ("Wall a Wall-Shadows) definujeme pouze příslušný materiál (ocel nebo měď), Obr. 9.84.

🖴 Wall
Zone Name
wall
Adjacent Cell Zone
trubka
Shadow Face Zone
wall-shadow
Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS
Thermal Conditions       Heat Flux     Wall Thickness (m)       O Temperature     Heat Generation Rate (w/m3)       O Coupled     Constant
Steel Edit
OK Cancel Help

Obr. 9.84. Definování parametrů dvoustranné stěny ("Wall, Wall-Shadow")

Stejná nabídka je i pro stěnu WALL-SHADOW. Následně provedeme inicializaci (Obr. 9.85) a spustíme numerický výpočet. Ke splnění podmínky konvergence dojde po 164 iteracích v případě ocelové trubky, viz. Obr. 9.86.

nitial Values	
Gauge Pressure (pascal)	^
0	
Axial Velocity (m/s)	
0.5	
Radial Velocity (m/s)	
0	
Turbulent Kinetic Energy (m2/s2)	
0.00015	
Turbulent Dissipation Rate (m2/s3)	
1.724967e-05	
Temperature (k)	
300	
	× .

bns, ske]		
Adapt Surface Display Report Parallel View Help	o la companya de la c	
> ⊉@ @ ∥  @ 次 懦・□・		
Solution Initialization	1: Scaled Residuals	
Compute from		tial use only
×	pnergy 1+00	
Reference Frame	ensuon	
Absolute	1e+04	
Initial Values	1e+02	
Gauge Pressure (pascal)		
0	1e+00	
Axial Velocity (m/s)		
0.5	16-02	
Radial Velocity (m/s)		
0		
Turbulent Kinetic Energy (m2/s2)	10.05	
0.00015		
Turbulent Dissipation Rate (m2/s3)	1+00	
1.724967e-05	0 20 40 60 80 100 120 140 160 180	
Temperature (k)	Iterations	
300		
Initialize Reset Patch	Scaled Residuals Aug 2 ANSVS FLUENT 12.1 (axi do ptr	3,2010 ns.ske)
Reset DPM Sources Reset Statistics	Herbit Cobert 12.1 (and ap, par	10, 0107
	148 1.2248e-03 1.0383e-05 8.4076e-08 7.1838e-08 1.6398e-04 8.5094e-05 0:01:50 9852 149 1.2225e-03 9.7422e-06 7.9685e-08 6.9880e-08 1.5913e-04 8.2961e-05 0:01:28 9851	<b>^</b>
Help	150 1.2279e-03 9.1580e-06 7.5897e-08 6.7860e-08 1.5417e-04 8.0833e-05 0:01:11 9850	
	151 1.2017e-03 8.6263e-06 7.2765e-08 6.5875e-08 1.4908e-04 7.8538e-05 0:00:56 9849 152 1.2578e-02 0.1226e-06 7.0178e-09 6.2850e-09 1.5205e-04 7.8538e-05 0:20:56 9849	
	152 1.24/36/06 05 1.32/06/00 7.017/06/08 0.38476/08 1.43756/04 7.02406/05 0.33.35 7848	
	154 1.2234e-03 7.2568e-06 6.5975e-08 6.0029e-08 1.3352e-04 7.1555e-05 0:21:29 9846	
	155 1.2055e-03 6.9009e-06 6.4639e-08 5.7943e-08 1.2827e-04 6.9149e-05 0:17:11 9845	
	156 1.1631e-03 6.5689e-06 6.3497e-08 5.5824e-08 1.2298e-04 6.6684e-05 0:13:45 9844	
	157 1.1500e-03 6.2043e-06 6.2060e-08 5.3085e-08 1.1779e-04 6.4231e-05 0:11:00 9843 158 1.1358e-03 6.0060e-06 6.2060e-08 5.1534e-08 1.1256e-04 6.1755e-05 0:08:48 9842	
	159 1.1079e-03 5.7821e-06 6.1775e-08 4.9174e-08 1.0740e-04 5.9254e-05 0:07:02 9841	
	100 1.1122003 5.5012000 0.1775000 4.7047008 1.02310-04 5.08170-05 8:05:38 9840 161 1.09000-03 5.40210-06 6.15090-08 4.49960-08 9.72930-05 5.43990-05 0:04:30 9839	
	162 1.0512e-03 5.2567e-06 6.1748e-08 4.2988e-08 9.2334e-05 5.1956e-05 0:03:36 9838	
	103 1.01486-03 5.13/10-00 0.20//e-08 4.0984e-08 8.7490e-05 4.9585e-05 0:02:53 9837	
	164 9.7226e-04 5.0365e-06 6.2556e-08 3.9034e-08 8.2719e-05 4.7210e-05 0:02:18 9836	-
		~
		2

Obr. 9.85. Inicializace řešení ze vstupní okrajové podmínky

Obr. 9.86. Průběh reziduálu pro variantu s ocelovou trubkou

V dalším kroku změňme typ materiálu zóny "trubka" na měď ("Cooper") pomocí příkazu "Define – Cell Zone Conditions". Stejně tak změňme i materiál jednotlivých stěn (Stena 1, Stena 2, Stena 3, "Wall a Wall – Shadow") oblasti na měď ("Cooper") pomocí příkazu "Define – Boundary Conditions". Následně provedeme inicializací výpočetní oblasti a spustíme numerický výpočet. Ke splnění podmínky konvergence dojde stejně jak ve variantě s ocelovou trubkou po 164 iteracích.

Výsledky vyhodnotíme pomocí teplotního pole v podélné rovině oblasti trubky. Vzájemně porovnejme přestup tepla pro variantu ocelové i měděné trubky. K zobrazení teplotního pole v celé oblasti (tedy i v osově symetrické polovině, obdobně jak v případě použití okrajové podmínky symetry) použijeme příkaz ("Display – Views", a v položce "Mirror Planes" označte položku "osa"), Obr. 9.87. Teplotní pole v celé oblasti trubky (ocelová trubka) je znázorněno na Obr. 9.88 pomocí příkazu "Display – Graphics and Animations – Contours" (vyplněné kontury teploty).



Obr. 9.87. Zobrazení celé oblasti



258

Obr. 9.88. Teplotní pole v celé oblasti (ocelová trubka)



Obr. 9.89. Teplotní pole v celé oblasti (měděná trubka)

Pro lepší názornost přestupu tepla celou oblasti včetně stěny trubky zobrazíme kontury teploty ve výstupní části trubky. Vytvoříme řez ve vzdálenosti 0.1m od konce trubky pomocí příkazu "Surface – Iso Surface" (na Obr. 9.90 a Obr. 9.91 jsou řezy znázorněné černou úsečkou) a od této vzdálenosti zobrazíme teplotní pole pro varianty použití ocelové nebo měděné trubky, viz. Obr. 9.91.



Contours of Static Temperature (k)

Aug 23, 2010

Obr. 9.90. Teplotní pole konce trubky (ocelová trubka) - vzdálenost 10cm



Obr. 9.91. Teplotní pole konce trubky (měděná trubka) - vzdálenost 10cm

## 9.5.3. Definování tenké ocelové a měděné stěny trubky tloušťky Ax=3mm

Definujeme proudění vody (H<sub>2</sub>O) v ocelové trubce za stejných podmínek jak pro variantu 9.5 (Tab. 9.9). Nastavíme vodivou oblast trubky tenkou stěnou nenulové tloušťky ( $\Delta x$ =1.5mm). Na vnější ploše tenké stěny definujeme teplotu T=400K=T<sub>b-inner</sub> a tím budeme simulovat vedení tepla tenkou stěnou. Výsledky porovnejme s předchozí variantou (kap. 9.5.2). Jedním z důvodů použití tenké stěny je snížení počtu buněk a tedy zkrácení strojového času, zejména u složitých úloh.

#### Ď Řešená oblast (2D plocha)



Obr. 9.92. 2D výpočtová oblast k numerické simulací

#### **Rozměry oblasti a okrajové podmínky**

Tab. 9.9. Rozměry oblasti a okrajové podmínky

Délka trubky <i>L</i> [m]	0.9	Proudící médium	voda (H <sub>2</sub> O)
Vnitřní průměr trubky <i>d</i> [mm]	25	Rychlost na vstupu $V$ [ms <sup>-1</sup> ]	0.5
Tloušťka stěny trubky $\Delta x$ [mm]	1.5	Teplota na vstupu $T$ [K]	300
		Materiál trubky	ocel, měď
		Wistup (Program outlat)	Nulový
		v ystup (Flessure outlet)	přetlak

V prvním kroku načteme výsledné řešení s kapitoly 9.5.2 (např. pro ocelovou trubku, \*cas. \*.dat soubory). Následně upravíme výpočetní oblast, tak že oblast trubky odstraníme, tak že výsledkem bude model odpovídající Obr. 9.92. Odstranění oblasti provedeme příkazem "Mesh – Zone – Delete – Cell – Zones", viz. Obr. 9.93.



Obr. 9.93. Osdstranění oblasti ("trubka")

Výsledek odstranění oblasti ("trubka") je patrný např. po vykreslení sítě příkazem "Display – Mesh", kdy je vidět oblast proudění, osu symetrie, stěnu trubky a výstupní okrajovou podmínku (Obr. 9.94).

💶 Mesh Display	X	
Options     Edge Type     Surfaces       Image: Nodes     O All     Gefault-interior:001       Image: Pecture     Options     Options       Image: Pecture     Outline     Options       Image: Pecture     Options     Options       Image: Pecture     Options     Options       Image: Pecture     Options     Options       Image: Pecture     Image: Pecture     Image: Pecture       Image: Pecture     Image: Pecture<		

Obr. 9.94. Zobrazení upravené výpočetní oblasti

Následně definujeme osově symetrický turbulentní matematický k-epsilon standard model včetně rovnice energie. Vstupní a výstupní okrajové podmínky opět definujeme stejně jak v kapitole 9.5.1. Po provedení úpravy oblasti je patrné, že byla vytvořena pouze jedna okrajová podmínka typu "wall" (Obr. 9.94), která nahrazuje vodivou oblast (zóna) trubky. Definice parametrů této okrajové podmínky "Wall", je znázorněna na Obr. 9.95.



Obr. 9.95. Definice parametrů okrajové podmínky stěna ("Wall")

Následně provedeme inicializací výpočetní oblasti a spustíme numerické řešení. Pro variantu s ocelovou stěnou trubky dojde ke splnění podmínky konvergence po 165 iteracích. Stejný výpočet realizujeme i pro měděnou trubku. Následně vyhodnotíme teplotní pole v oblasti proudění (0.1m od konce trubky) stejně jako v kapitole 9.5.2.

💶 FLUENT (axi, dp. p			💶 🗗 🗙
File Mesh Define Solve	Adapt Surface Display Report Parallel View Help		
🥶 • 🖬 • 🗟 🔒	유민연원 🖊 🔍 🎘 🖪 - 🗌 -		
Problem Setup	Run Calculation	1: Scaled Residuals	
General Models	Check.Case Preview Mesh Hotion		< ANSYS
Materials Phases	Number of Iterations Reporting Interval	nergy ' 1e+06	
Cell Zone Conditions Boundary Conditions	Profile Lindente Interval	1e+04	
Dynamic Mesh Reference Values	1	14477	
Solution	Data Nie Quantities Acrustic Signals		
Solution Controls Monitors	Calculate	16400	
Solution Initialization Calculation Activities		1002	
Pun Colculation Results	(rep)		
Graphics and Animations Plots			_
Reports		1e.06	
		1e08	
		U 2U 4U 6U 8U 10U 12U 14U 16	U 18U
	x		
		Scaled Residuals ANSYS FLUENT 12	Aug 23, 2010 1 (axi, dp, pbns, ske)
		WY         22397-80         1.1027-8         0.7156-8 <th0.7156-8< th="">         0.7156-8         0.</th0.7156-8<>	
🐴 start 🔰 🤮 🖗	🗢 🖉 👘 Student - FRO JEKT 🛛 🕅 Sab	ona_predmetu 😫 Microsoft Excel - S 😰 PLUENT (jest, dp 🚭 Gambit Startup 🛛 👯 🛙 X Server for xid 🔹	CS (0) 0 10.51

Obr. 9.96. Průběh reziduálu pro variantu tenké ocelové stěny nenulové tloušťka

3.00e+(	02	3.08e+02	3.15e+02	3.23e+02	3.30e+02	3.38e+02	3.45e+02	3.53e+02	3.60e+02	3.68e+02	3.75e+02

Contours of Static Temperature (k)

Aug 23, 2010

Obr. 9.97. Teplotní pole konce trubky (ocelová trubka) – vzdálenost 10cm



Obr. 9.98. Teplotní pole konce trubky (měděná trubka) – vzdálenost 10cm

Z výsledků numerických simulací je patrné, že v případě použití měděné trubky je maximální teplota proudící vody kolem  $T_{max}$ =399K. Zatímco při použití ocelové trubky je dosaženo maximální teploty vody kolem  $T_{max}$ =375K. Tento závěr odpovídá skutečnosti, protože měď je výrazně lépe vodivým materiálem než-li ocel. V následné kapitole budeme oba přístupy řešení této problematiky (použití vodivé oblasti nebo tenké stěny definované tloušťky) vyhodnocovat a porovnávat.

## 9.5.4. Porovnání varianty definování vodivé oblasti stěny trubky s variantou použití tenké stěny trubky s definovanou tloušťkou

K porovnání obou variant, kdy prakticky řešíme stejnou úlohou, ale použitím dvou přístupu vyhodnotíme teplotní profily (průběhy teplot) v příčném směru středem oblasti proudění. Profily teploty vyhodnotíme a porovnáme pro řešení s kapitol 9.5.2 a 9.5.3. Pokud vyhodnocujeme průběh teploty pro variantu 9.5.2, tak vyhodnotíme rozložení teploty v příslušném řezu oblasti proudění i oblasti trubky. Pro nás je, ale určující průběh teploty v oblasti proudění tekutiny pro následné porovnání s výsledkem varianty 9.5.3 K vyhodnocení průběhu teploty v příčném řezu středem oblasti (x = 0.9/2 = 0.45m) musíme vytvořit příslušný příčný řez. V případě 2D úlohy se jedná o profil zobrazen na Obr. 9.99. Příčný řez vytvoříme pomocí příkazu "Surface - Line/Rake", Obr. 9.100. Definujeme 2 body ohraničující hranu podle rozměru geometrie.



Obr. 9.99. Schéma definování příčného řezu oblasti



Obr. 9.100. Definice příčného řezu ve 2D geometrii

Vyhodnocení proudových veličin pomocí profilu provedeme příkazem "Display – Plots – XY Plots". Opět máme možnost definovat celou řadu parametrů a nástrojů v definičním okně příkazu "XY Plot". Zejména definujeme veličinu, kterou chcete zobrazit. Dále vybereme

entitu (ve vašem případě vytvořený profil), na které veličinu vyhodnotíme, a v jakém směru (x,y,z). Ukázka definice profilu teploty v příčném směru středem oblasti je znázorněna na Obr. 9.101.

Solution XY Plot			X	Veličina k vyhodnocení
Options           Image: Option State           Image: Option Option Option Option           Image: Option Opticoption Opticoption Option Option Option Opticoptic Optic	Plot Direction	Y Axis Function Temperature • Static Temperature	•	Směr vyhodnocení (příčný směr)
Write File	Z O	X Axis Function Direction Vector	▼	Zapsání vyhodnoceného průběhu do externího souboru
File Data 🔳 😑		Surfaces default-interior:001 line-stred osa		Entita k vyhodnocení (příčný řez)
	Load File	vstup vystup wall x-coordinate-0.1 x-coordinate-0.8		Pomocné nastavení zobrazení
	Free Data	New Surface 🔻		
Plot	Axes		Help	

Obr. 9.101. Definice profilu teploty pomocí příkazu "XY Plot"

Výsledek zobrazení teploty v příčném řezu ve vzdálenosti x=0,45m celou oblastí pro variantu dle kapitoly 9.5.3 (tenká měděná stěna s definovanou tloušťkou) je na Obr. 9.102.



Obr. 9.102. Profil teploty ve středu oblasti pro variantu měděnnétrubky

Současně můžeme vyhodnocovat průběh veličiny na více řezech (výběrem řezů z nabídky "Surfaces"). Dále můžeme zobrazit průběhy veličin z jiných externích souboru, a to jejich načtením příkazem "Load File". Tyto externí soubory s průběhy dostaneme uložením příkazem "Write to File". Uložené soubory s průběhy veličin kromě ANSYS Fluentu12.1.4 můžeme následně načíst i v jiných programech např. Microsoft Excel. Načtením v programu Excel dostaneme tabulku hodnot ze které můžeme vytvořit graf.

Nyní si vyzkoušejme vyhodnocení teploty v příčném řezu středem oblasti pro variantu řešení z kapitoly 9.5.2 jak pro ocelovou, tak měděnou trubku. Nejdříve profily teploty vyhodnotíme samostatně a následně je zkreslete do jednoho grafu.

Prvně načteme např. řešení (příslušný \*.cas a \*.dat soubor) pro ocelovou trubku s kapitoly 9.5.2 (vodivá oblast trubky). Následně vytvoříme příčný řez středem oblasti dle Obr. 9.99 a Obr. 9.103. Dále pomocí příkazu "Display – Plots – XY Plots" vyhodnotíme průběh teploty v příčném řezu středem oblasti a zobrazené veličiny zapišeme do externího souboru k následnému použití popř. úpravě (Obr. 9.104).



Obr. 9.104. Definování a vyhodnocení průběhu teploty v příčném směru středem oblasti a zápis hodnot do externího souboru

Definování zobrazení průběhu dané veličiny v řezu je podrobně popsáno na začátku kapitoly. Zápis vyhodnocených hodnot do externího souboru se provádí kliknutím na políčko "Write to File" v nástrojích "Options". Po kliknutí vybereme odpovídající adresář, kde bude soubor

uložen a jeho název (přípona souboru je \*.xy). Tím pádem můžeme ukládat výsledky průběhu teploty pro různé varianty (získáte soubory hodnot). Následně všechny takto uložené soubory můžeme načíst v jedné variantě pro porovnání, a to příkazem "Load – File" (Obr. 9.105). Obdobným způsobem postupujeme u varianty měděné trubky (vodivá oblast trubky). Pro přehlednost máme spočtené čtyři varianty řešení ve dvou kapitolách:

- Kapitola 9.5.2 (vodivá oblast trubky):
  - Materiál vodivé oblasti trubky ocel
  - Materiál vodivé oblasti trubky měď
- Kapitola 9.5.3 (tenká stěna s definovanou tloušťkou (1.5mm) nahrazující vodivou oblast trubky):
  - Materiál tenké stěny trubky ocel
  - Materiál tenké stěny trubky měď

Postupně načteme jednotlivé varianty, a vytvoříme příčný řez středem oblasti. V tomto řezu vyhodnotíme profil teploty, a ten zapíšeme do souboru. Ve výsledku budeme mít čtyři soubory, která následně můžeme společně nebo odděleně načíst a zobrazit (Obr. 9.105).



Obr. 9.105. Použití příkazu "Load File" k načtení jednotlivých profilů teploty

Po výběru jednotlivých souborů (Obr. 9.105) budou načtené do položky "File Data", a následně budou k dispozici k zobrazení v grafickém okně. Takže následně můžeme různě kombinovat zobrazení jednotlivých profilů. Pro ukázku jsou na Obr. 9.106 a Obr. 9.107 vyhodnocené teplotní profily pro různé varianty.

File Mesh Define Solve	Adapt Surface Display Report Parallel View Help			
📄 • 🛃 • 🗟 🔞	\$ ⊕€€ ↗   € 次 膿・□・			
Problem Setup	Plots	1: Static Temperature		
General Models Materials Phases Cell Zone Conditions Boundary Conditions Mesh Interfaces	Plots Ivy Flot Histoyram File first: Profile Data Interpolated Data	ine-stred	4.00e+02 3.90e+02 3.80e+02	12 12 12
Solution XY Plo	Dist Divertion V Avia Function		3.70e+02	•
So Options	Plot Direction Y Axis Function es X 0 Temperature Y		3.60e+02	12 -
Position on X Axis     Position on Y Axis     Write to File     Order Points	Y         1         Static Temperature           Z         0         Direction Vector	Static mperature (k)	3.50e+02 3.40e+02	12 - 12 -
Re File Data E ( Static Temperature (H Static Temperature (H Static Temperature (H	Surfaces Gefault-interior:001		3.30e+02 3.20e+02	2 - 2 -
	vystup wall x-coordinate-0.1		3.10e+02 3.00e+02	
	Free Data		5.000 102	0 0.002 0.004 0.006 0.008 0.01 0.012 0.014 Position (m)
Plot	Axes Curves Close Help	Static Temperature		Aug 2: ANSYS FLUENT 12.1 (axi, dp, pbn

Obr. 9.106. Teplotní profily v příčném řezu středem oblasti pro variantu použití tenké stěny (kap. 9.5.3)



Obr. 9.107. Teplotní profily v příčném řezu středem oblasti pro variantu vodivé oblasti stěny trubky (kap. 9.5.2)

#### 9.5.5. Definování hustoty tepelného toku na tenké stěně tloušťky Ax=3mm

Definujme proudění vody (H<sub>2</sub>O) v ocelové trubce tloušťky ( $\Delta x=1.5$ mm). Na vnější ploše tenké stěny definujeme hustotu tepelného toku q (W/m<sup>2</sup>). Průběh definované hustoty tepelného toku vyhodnotíme z předchozí varianty 9.5.3. Následně porovnáme průběh teploty na vnitřní a vnější ploše tenké stěny s variantou 9.5.3 dle definice tenké stěny OBRTTT. V tomto příkladě místo teplotní okrajové podmínky (kap. 9.5.3) na tenké stěně definujeme hustotu tepelného toku.

## D Řešená oblast (2D plocha)



Obr. 9.108. 2D výpočtová oblast k numerické simulací

## **D** Rozměry oblasti a okrajové podmínky

Tab. 9.10. Rozměry oblasti a okrajové podmínky

Délka trubky <i>L</i> [m]	0.9	Proudící médium	voda (H <sub>2</sub> O)
Vnitřní průměr trubky <i>d</i> [mm]	25	Rychlost na vstupu $V$ [ms <sup>-1</sup> ]	0.5
Tloušťka stěny trubky $\Delta x$ [mm]	1.5	Teplota na vstupu $T$ [K]	300
		Materiál trubky	ocel, měď
		Výstup (Pressure outlet)	Nulový přetlak

V prvním kroku načteme řešení varianty s kapitoly 9.5.3 ("File Read – Case&Data, tenká ocelová stěna trubky s definovanou tloušťkou stěny). Vygenerujeme průběh hustoty tepelného toku na tenké stěně ocelové trubky do externího souboru jako profil pomocí příkazu "File – Write – Profile". Nejdříve v příslušném okně vybereme entitu, na které vyhodnotíme hustotu tepelného toku ("Surface" – "wall"). Dále vybereme veličinu, kterou budeme vyhodnocovat ("Values" – "Total Surface Heat Flux"). Zápis profilu do souboru provedeme tlačítkem "Write" (Obr. 9.109) pod libovolným názvem (např. profil-tok-tepla.prof).



Obr. 9.109. Zápis hustoty tepelného toku na stěně do externího souboru

Výstupní soubor (\*.prof) představuje textový soubor vyhodnocené veličiny na dané hranici. Pro názornost lze tento soubor načíst např. do programu Excelu (Obr. 9.110). Z hlavičky je patrné, že soubor obsahuje souřadnice x a y, které odpovídají geometrii (y – je konstantní – odpovídá průřezu), a dále jsou tam hodnoty hustoty tepelného toku "Heat flux" (Obr. 9.110).

	1	1		,,		5			2		2	1			0		\[			/
<b>N</b>	Aicrosoft E	xcel - pro	fil-tepel <mark>ny</mark> -t	ok. prof																- X
8	<u>S</u> oubor Ú	Jpr <u>a</u> vy <u>Z</u> ob	orazit Vļožit	Eormát	<u>N</u> ástroje <u>D</u> a	ata <u>O</u> kno	Nápo <u>v</u> ěda										Nápov	ĕda – zadejte	e dotaz 💌 💶	₽×
D	😂 🔛 🔓	3 🔁 🎒	🗟 🍄 🐰	Ba 🖻 -	🚿 🔊 -	CH + 🍓	Σ - 2↓	KI 🛍 🦧	100% -	😨 🗸 🛛 Aria	al	<b>-</b> 10	- B /	<u>n</u> ≣≞		🗑 % OC	0 ,00 ,00	信信日	🛛 • 🦄 • 🕻	<u>A</u>
	P31	-	fx																	
	A	В	0	Ð	E	F	G	Н		J	K	L	M	N	0	P	Q	R	S	-
1	((wall	point	300)				<u> </u>													
Q	(x		(y																	
3	0.0015		0.0125		(heat-flux	-														
4	0.0045		0.0125		408206.5															
5	0.0075		0.0125		396282.1															
6	0.0105		0.0125		385846															
7	0.0135		0.0125		377379.8															
8	0.0165		0.0125		370845.7															
9	0.0195		0.0125		365879.6															
10	0.0225		0.0125		362030.8															
11	0.0255		0.0125		358933.4															
12	0.0285		0.0125		356340.9															
13	0.0315	i	0.0125		354099.7															
14	0.0345	i	0.0125		352115.5															
15	0.0375	i	0.0125		350328.5															
1. 1. 10			I 040EL		I DOCOD															

Obr. 9.110. Načtený profil hustoty tepelného toku na stěně v programu Excel

Vytvořený profil hustoty tepelného toku na stěně následně musíme načíst do programu ANSYS Fluent12.1.4 pomocí příkaz "Define – Profiles", Obr. 9.111. Zvolíme položku "Read" a najdeme příslušný soubor (\*.prof).



Obr. 9.111. Načtení profilu do souboru programu FLUENT

Následně načtený soubor s profilem hustoty tepelného toku definujeme na okrajovou podmínku tenké stěny (místo nastavení teploty, budeme definovat hustotu tepelného toku) pomocí příkazu "Define – Boundary Conditions". Vybereme okrajovou podmínku "wall", a

typ tepelné okrajové podmínky ("Thermal Conditions – Heat Flux"). Z nabídky "Heat Flux" vybereme možnost "wall heat-flux", viz. Obr. 9.112.

Wall		$\mathbf{X}$
one Name		
wall		
djacent Cell Zone		
oblast-proudeni		
Momentum Thermal Radiation Species	DPM Multiphase UDS	
Thermal Conditions		
💽 Heat Flux 🗨	Heat Flux (w/m2)	wall heat-flux 💌
Convection		Wall Thicknes
Radiation		wal x
O Mixed Heat	Generation Rate (w/m3)	wall beat-flu <
Material Name		
	$\mathbf{N}$	
	Cancel He	qle
Materiál tenké	Hustota	
stěny	tepelného	
Sterry	toku	definovana profile

Obr. 9.112. Načtení profilu do okrajové podmínky (do stěny)

Dále vyhodnotíme průběh teploty v oblasti konce trubky (vzdálenost 10cm od konce), viz. Obr. 9.113. a porovnejme s variantou dle kapitoly 9.5.3, kdy je definována teplota jako okrajová podmínka na tenké stěně trubky.



Obr. 9.113. Teplotní pole konce trubky (ocelová trubka) – vzdálenost 10cm – okrajová podmínka hustoty tepelného toku

3.00e+02	3.08e+02	3.15e+02	3.23e+02	3.30e+02	3.38e+02	3.45e+02	3.53e+02	3.60e+02	3.68e+02	3.75e+02

Obr. 9.114. Teplotní pole konce trubky (ocelová trubka) – vzdálenost 10cm – okrajová podmínka teploty na stěně



- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_9\ soubor Fluent\_priklad\_5\_1.exe

# 9.6. Proudění plynných příměsí (vzduch, oxid uhličitý), transportní rovnice pro přenos hmotnostních zlomků příměsí

V tomto příkladě definujeme proudění příměsi oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) ve vzduchu (plynná směs) v 3D geometrii s náhlým rozšířením, viz. Obr. 9.115. Zdroj plynné příměsí oxidu uhličitého definujeme v horní stěně geometrie oddělením určitého počtu buněk. Budeme definovat hmotnostní průtok  $Q_m = 0.00079kg \cdot s^{-1}$  oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) pomocí rychlostní okrajové podmínky. Definujeme turbulentní 3D matematický model směsi oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) a vzduchu (k-epsilon-standard) a gravitační zrychlení v záporném směru osy y. Vyhodnotíme rozložení hmotnostních zlomků jednotlivých plynných složek příměsí v příslušných řezech.

#### **D** Popis geometrie



Parametry geometrie a okrajové podmínky

Tab.	9.11.	Parametry	geometrie a	okrajové	podmínky
	/		8		p o monorely

PARAMETRY GEOM	ETRIE	OKRAJOVÉ PODMÍNKY				
Délka oblasti L [m]	3.5	Proudící tekutina	Vzduch			
Výška oblasti D [m]	0.5	Rychlost na vstupu v [m.s <sup>-1</sup> ]	1			
Výška schodu d [m]	0.1	Intenzita turbulence / [%]	2			
Délka schodu L <sub>s</sub> [m]	0.7	Charakteristický rozměr L [m]	0.4			
Šířka oblasti <i>B</i> [m]	1.5	Výstup (Pressure outlet)	Nulový přetlak			
		Proudící tekutina	Oxid uhličitý			
			(CO <sub>2</sub> )			
		Hmotnostní průtok Q <sub>m</sub> [kg.s <sup>-1</sup> ]	0.00079			

## 9.6.1. Fyzikální vlastnosti plynů a jejich směsí

Pokud uvažujeme proudění plynné směsi, tak nejdříve je nutno definovat fyzikální vlastnosti jednotlivých plynů tvořících směs. Pokud se řeší izotermní proudění (míchání látek o konstantní teplotě), pak tyto vlastnosti mohou být konstantní. V případě neizotermního

proudění je možno uvažovat jednotlivé vlastnosti jako funkce teploty. Teprve potom se určí celková vlastnost směsi.

#### Hustota

Pro izotermní proudění plynů s konstantní hustotou, nebo neizotermní s hustotou vyjádřenou jako funkce teploty (ne jako ideální plyn), je hustota definována

$$\rho = \frac{1}{\sum_{i'} \frac{Y_{i'}}{\rho_{i'}}}$$
(9.2)

kde  $Y_{i'}$  je hmotnostní zlomek příměsi i' ve směsi  $\rho_{i'}$  je hustota příměsi i' ve směsi

Hustotu pro neizotermní proudění je také možno zadat polynomem nebo po částech lineární funkcí

$$\rho_{i'}(T) = A_1 + A_2 T + A_3 T^2 + \dots \text{ pro } T_{\min} < T < T_{\max}$$

$$\rho_{i'}(T) = \rho_{i',n} + \frac{\rho_{i',n+1} - \rho_{i',n}}{T_{n+1} - T_n} (T - T_n)$$
(9.3)

Je také možno definovat vlastní závislost pomocí UDF (User Defined Function). Pokud je hustota plynu základního proudění a všech příměsí zadána stavovou rovnicí

$$\rho_{i'} = \frac{\left(p_{op} + p\right)}{rT} \tag{9.4}$$

pak hustota směsi je dána v daném objemu součtem hustot příměsí modifikovaných podílem hmotnostního zlomku a molekulové hmotnosti (což odpovídá objemovému zlomku)

$$\rho = \frac{p_{op} + p}{RT \sum_{i'} \frac{Y_{i'}}{M_{i'}}}$$
(9.5)

kde  $M_{i'}$  je molekulová váha příměsi i' ve směsi.

Shrnutí možnosti definice hustoty pro plynné příměsi a směs jsou definovány v Tab. 9.12.

Jenning F. J. F. J.	
hustota $i'$ -té příměsi	hustota směsí
$\rho_{i'} = konst$ $\rho_{i'}(T) = A_1 + A_2 \cdot T + A_3 \cdot T^2 + \dots$ $\rho_{i'}(T) = \rho_{i',n} + \frac{\rho_{i',n+1} - \rho_{i',n}}{T_{n+1} - T_n} (T - T_n)$	$\rho = \frac{1}{\sum_{i'} \frac{Y_{i'}}{\rho_{i'}}}$
$\rho_{i'} = \frac{\left(p_{op} + p\right)}{rT}$	$\rho = \frac{p_{op} + p}{RT \sum_{i'} \frac{Y_{i'}}{M_{i'}}}$

Tab. 9.12. Definice hustoty plynné příměsi a směsi

#### Viskozita

Kinematická viskozita jednotlivých plynných látek může být konstantní, tj. nezávisí na teplotě, nebo je vyjádřena funkcí teploty (např. jako polynom n-tého řádu, po částech lineární funkce nebo jiná funkční závislosti na teplotě).

viskozita i' -té příměsi	viskozita směsí
$\mu_{i'} = konst$ $\mu_{i'}(T) = A_1 + A_2 \cdot T + A_3 \cdot T^2 + \dots$ $\mu_{i'}(T) = \mu_{i',n} + \frac{\mu_{i',n+1} - \mu_{i',n}}{T_{n+1} - T_n} (T - T_n)$	$\mu = \sum_{i'} Y_{i'} \mu_{i'}$
ldeální plyn	$\mu = \sum_{i'} \frac{\overline{X_{i'} \cdot \mu_{i'}}}{\sum_{j'} X_{i'}} \frac{\left[1 + \left(\frac{\mu_{i'}}{\mu_{j'}}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{M_{j'}}{M_{i'}}\right)^{1/4}\right]^2}{\left[8 \cdot \left(1 + \frac{M_{i'}}{M_{j'}}\right)\right]^{1/2}}$

kde  $X_{i'}$  je molový zlomek příměsi i' (počet molů příměsi v jednom molu směsi).

#### Měrná tepelná kapacita

Podobně jako předchozí vlastností i měrná tepelná kapacita plynů je vyjádřena např. funkcí teploty jako polynom n-tého řádu

$$c_{p,i'}(T) = A_1 + A_2 \cdot T + A_3 \cdot T^2 + \dots \text{ pro } T_{\min} < T < T_{\max}$$
(9.6)

a tepelná kapacita směsí je dána vztahem

$$c_{p} = \sum_{i'} Y_{i'} c_{p,i'}$$
(9.7)

#### Tepelná vodivost

Tepelná vodivost jednotlivých plynných látek je konstantní nebo je vyjádřena funkcí teploty jako polynom n-tého řádu

 $\lambda_{i'}(T) = A_1 + A_2 \cdot T + A_3 \cdot T^2 + \dots \text{ pro } T_{\min} < T < T_{\max}$ (9.8) pak při definici hustoty pro ideální plyn je tepelná vodivost směsí je dána vztahem

$$\lambda = \sum_{i'} \frac{X_{i'} \cdot \lambda_{i'}}{\left[1 + \left(\frac{\lambda_{i'}}{\lambda}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{M_{j'}}{M}\right)^{1/4}\right]^2}$$

$$\sum_{j'} X_{i'} \frac{\left[1 + \left(\frac{1}{\lambda_{j'}}\right)^{-1} \cdot \left(\frac{1}{M_{i'}}\right)^{-1}\right]}{\left[8 \cdot \left(1 + \frac{M_{i'}}{M_{j'}}\right)\right]^{1/2}}$$
(9.9)

#### **Standardní slučovací entalpie a entropie**

V případech, kdy se řeší proudění s uvažováním chemické reakce, je nutné definovat standardní slučovací entalpii (slučovací teplo)  $h_{j'}^0$  pro každou příměs j'. Tato vlastnost slouží k definování entalpie směsi

$$H = \sum m_{j'} \left[ h_{j'}^0 + \int_{T_{ref,j'}}^T c_{p,j'} dT \right]$$
(9.10)

kde  $T_{ref,j'}$  je referenční teplota, za které je definována  $h_{j'}^0$ .

Jestliže se uvažuje vratná chemická reakce, je nutné definovat standardní slučovací entropii  $s_{j'}^0$  pro každou příměs j'. Entropie směsi je definována

$$S = \sum_{j'} m_{j'} \left[ s_{j'}^0 + \int_{T_{ref,j'}}^T \frac{c_{p,j'}}{T} dT \right]$$
(9.11)

Hodnoty standardní slučovací entalpie a entropie lze vyhledat v tabulkách.

Na základě parametrů geometrie a okrajových podmínek nejdříve spočtěte Reynoldsovo číslo Re:

$$\operatorname{Re} = \frac{v \cdot d_h}{v} = \frac{v \cdot \frac{4 \cdot S}{O}}{v} = \frac{v \cdot \frac{4 \cdot (D - d) \cdot b}{2(D - d + b)}}{v} = \frac{1 \cdot \frac{4 \cdot (0.5 - 0.1) \cdot 1.5}{2(0.5 - 0.1 + 1.5)}}{15.15 \cdot 10^{-6}} = 67105 = \text{turbulentní proudění.}$$

Na základě Reynoldsova čísla definujeme k-epsilon-standard turbulentní model. Nejdříve načteme výpočetní síť z kapitoly 9.1 (**3D-rozsireni.msh**) do prostředí programu ANSYS Fluentu12.1.4.

Po načtení výpočetní sítě zobrazíme geometrii příkazem "Display – Mesh", viz. Obr. 9.116. V zobrazené výpočetní síti je orientačně znázorněno místo vstupu plynné příměsi oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>). Poloha vstupu není přesně zakótována, stejně i v zadání (Obr. 9.115).



Obr. 9.116. Zobrazená výpočetní síť

Oddělení vstupu pro oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) provedeme příkazem "Adapt – Region", Obr. 9.117. Tímto příkazem vybereme oblast k oddělení a následně oblast fyzicky odseparujeme. Výsledkem můžou být odseparované buňky nebo plochy. Takto vytvořené oblasti představují novou okrajovou podmínku (zóna nebo hranice).

💶 Region A	daption 🛛 🔀	Oddělená oblast (uvnitř. navenek)
Options	Input Coordinates	
⊙ Inside ○ Outside	x Center (m) X Max (m) 1.5 0	Typ oblasti (šestihranná, kulová, válcová)
Shapes Hex Sobere	Y Center (m) 0.5	Příslušné souřadnice
	Z Center (m) Z Max (m)	Zobrazení oblasti před oddělením
Controls	Radius (m) 0.04	Provedení oddělení oblasti (ne fyzické oddělení)
	Select Points with Mouse	
Ada	ot Mark Close Help	

Obr. 9.117. Použití výběru oblasti příkazem Region Adaption

Možnosti definování oblasti k odseparování je několik. Oblasti může být krychle, hranol, koule nebo válec, kdy definujeme geometrické rozměry těchto oblastí. V našem případě definujeme kouli v horní stěně, pomocí které oddělíme určitý počet buněk, respektive ploch. Koule je definována středem (souřadnice (x,y,z) –,, Center")) a poloměrem "Radius (m)", viz. Obr. 9.117. Příkazem "Adapt – Region" lze provádět i zhuštění výpočetní sítě v takto zvolené oblasti. Vydělenou oblast zobrazíme položkou "Manage" v okně "Region Adaption", Obr. 9.118. Nabídkou "Options – Draw Mesh" můžeme pro přehlednost doplnit zobrazení o okolní geometrii.



Obr. 9.118. Zobrazení odseparované oblasti

Fyzické odseparování vyčleněné oblasti provedeme příkazem "Mesh – Separate –Faces", viz. Obr. 9.119.



Obr. 9.119. Příkaz odseparování oblasti

V nabídce "Options" vybereme položku "Mark", a tím se nám prosvětlí oblast, kterou jsme vytvořili k odseparování ("sphere-r0") v nabídce "Registers", Obr. 9.119. Takto zvolenou oblasti oddělíme několik buněk v okrajové podmínce "stena", a tím vytvoříme novou okrajovou podmínku. Takto vytvořená nová okrajová podmínka bude následně použita jako podmínka pro vstup oxidu uhličitého ( $CO_2$ ).

Po provedení operace "Separate" se zobrazí následující okno, viz. Obr. 9.120.



Obr. 9.120. Okno po oddělení vybrané oblasti

Příkazem "Display – Mesh" si můžeme zobrazit nově vytvořenou okrajovou podmínku pro vstup oxidu uhličitého do oblasti, viz. Obr. 9.121.



Obr. 9.121. Zobrazení odseparované oblasti (nový vstup)

## 9.6.2. Definice rovnice příměsí, definování směsi dvou médii

Rovnici pro hmotnostní zlomky příměsí definujeme příkazem "Define – Models – Species – Species Transport", Obr. 9.122.

Species Model	×	
Model Off	Mixture Properties Mixture Material	Předdefinována směs tři příměsí "Number of Volumetric Species=3"
Species Transport     Non-Premixed Combustion     Premixed Combustion     Partially Premixed Combustion     Composition PDF Transport	Mamber of Volumetric Species 3	Model příměsí
Reactions		Modely spalování (chemické reakce)
Inlet Diffusion     Diffusion Energy Source     Full Multicomponent Diffusion     Thermal Diffusion	<	Definování chemických reakce příměsí
ОК	Apply Cancel Help	Možností difúze

Obr. 9.122. Příkaz definice rovnice plynné příměsi

Prvně definujeme model pro výpočet transportních rovnic hmotnostního zlomku plynných příměsí. Následně definujeme plynnou směs, která bude tvořena jednotlivými plynnými složkami. V našem případě definujeme směs o dvou složkách (vzduch a oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>)) pomocí příkazu "Define-Materials". Po provedení příkazu se v nabídce materiálu objeví položka "Mixture" (směs), kterou lze modifikovat podle žádosti uživatele. Předdefinována směs je tvořena dusíkem ("nitrogen"), kyslíkem ("oxygen") a vodní párou ("water-vapor"), viz. Obr. 9.123.

Materials				
Materials				
Mixture				
mixture-template				
nitrogen				
oxygen				
water-vapor				
Fluid				
air				
Solid				
aluminum				

Obr. 9.123. Typy médii pomocí příkazu "Materials"

Nadefinování vlastní směsi tvořené oxidem uhličitým (CO<sub>2</sub>) a vzduchem provedeme tlačítkem "Create/Edit Materials". Můžeme použít předdefinovanou směs nebo použít příměsí z databáze. V našem případě nakopírujeme z databáze oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>), viz. Obr. 9.124.



Obr. 9.124. Definování plynné směsi

V panelu "Create/Edit Materials" zvolíme typ materiálu "Material Type – Mixture". Požadovanou příměs nakopírujeme z databáze ANSYS Fluentu pomocí tlačítka "FLUENT Database" (v tomto případě oxid uhličitý), viz. Obr. 9.124. Následně definujeme složení směsi v položce "Mixture Species" (Obr. 9.125). Výsledné složení plynné směsi je definováno prvky, které jsou uvedené v položce "Selected Species" (co2, air). Libovolně můžeme jednotlivé plynné příměsi přesouvat mezi položkami "Available Materials" a "Selected Species". Výsledné složení je znázorněno na Obr. 9.125. Pořadí příměsí by mělo odpovídat tomu že příměs, která ve směsi převláda by měla být uvedena jako poslední (v tomto případě je to vzduch – air).

Species	X
Mixture mixture-template	
Available Materials	Selected Species
oxygen (o2) nitrogen (n2) water-vapor (h2o)	co2 air
Selected Site Species	Selected Solid Species
Add Remove	Add Remove
ОК Са	ncel Help

Obr. 9.125. Definice složení směsi

V dalším kroku definujeme funkční předpisy nebo konstantní hodnotu k výpočtu fyzikálních vlastností směsi (Obr. 9.126). K definování fyzikálních vlastností směsi použijeme následující vztahy:

 Hustota: výpočet pomocí stavové rovnice pro nestlačitelný plyn ("incompressibleideal-gas")

$$\rho = \frac{p_{op}}{RT \sum_{i} \frac{Y_{i}}{M_{o,i}}}$$
(9.12)

R je univerzální plynová konstanta,  $Y_i$  hmotnostní zlomek příměsí i a  $M_{\omega,i}$  je molekulová váha příměsí i.

 $\Box \quad \mathbf{M} \check{\mathbf{e}} \mathbf{r} \mathbf{n} \check{\mathbf{a}} \mathbf{t} \mathbf{e} \mathbf{p} \mathbf{e} \mathbf{n} \check{\mathbf{a}} \mathbf{k} \mathbf{a} \mathbf{p} \mathbf{a} \mathbf{c} \mathbf{i} \mathbf{a} \mathbf{c}^{*} \mathbf{p} \mathbf{e} \mathbf{n} \mathbf{e}^{*} \mathbf{e}^{*}$ 

Viskozita a tepelná vodivost: jsou definovány také pomocí směšovacích zákonů ("mass-weighted-mixing –law")

$$\mu = \sum_{i} Y_i \mu_i \quad k = \sum_{i} Y_i k_i \tag{9.14}$$

Create/Edit Materials						×
Name mixture-template		Material Type mixture			~	Order Materials by
Chemical Formula		FLUENT Mixture Mate	rials			Chemical Formula
		mixture-template			~	FLUEINI Database
		Mixture				User-Defined Database
		none			~	
Properties						
Density (kg/m3)	incompressible-ideal	l-gas	V Ed	dit	<u>^</u>	
Cp (Specific Heat) (j/kg-k)	mixing-law		Ed	dit		
Thermal Conductivity (w/m-k)	mass-weighted-mixi	ing-law	Ed	dit		
Viscosity (kg/m-s)	mass-weighted-mixi	ing-law	Ed Ed	dit		
					~	
(	Change/Create	Delete	Close		Help	

Obr. 9.126. Definování fyzikálních vlastností směsi

V dalším kroku definujeme okrajové podmínky pomocí příkazu "Define – Boundary – Conditions". Na vstupu do oblasti pro oxid uhličitý definujeme rychlostní okrajovou podmínku ("velocity – inlet"). Po odseparování je tato oblast pojmenována "stena:006" a typu "wall". V prvním kroku změníme typ "wall" na "velocity inlet", viz. Obr. 9.127.

Boundary Conditions	1: Mesh 💌	
Zone default-interior stena		
stena:006 vstup vystup	Velocity Inlet Zone Name	
	Stena:006	
	Velocity Specification Method Magnitude, Normal to Boundary	~
	Velocity Magnitude (m/s) 0 constant	¥
Phase Type ID mixture Velocity-inlet 6		
Edit Copy Profiles Parameters Operating Conditions	OK Cancel Hep	

Obr. 9.127. Změna typu okrajové podmínky

K definování velikosti rychlosti na okrajové podmínce potřebujeme provést přepočet definovaného hmotnostního průtoku  $Q_m = 0.00079 kg \cdot s^{-1}$  na rychlost pomocí vztahu:

$$v = \frac{Q_m}{\rho \cdot S} \tag{9.15}$$

Hustotu  $\rho$  (oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>)) zjistíme z nabídky fyzikálních vlastností ("Materials")  $\rho = 1.7878 kg \cdot m^{-3}$  a velikost plochy *S* vyhodnotíme příkazem "Report – Result Reports – Surface Integrals". viz. Obr. 9.128.

Surface Integrals		X
Report Type	Field Variable	
Area	Pressure	$\sim$
Surface Types	Static Pressure	~
axis clip-surf	Phase	
exhaust-fan	mixture	~
iran 💌	Surfaces	
Surface Name Pattern	default-interior	
	stena:006	
Match	vstup	
	vystup	
	Area (m2)	
Save Output Parameter	0.006315786	
Compute Write	. Close Help	

Obr. 9.128. Panel vyhodnocení středních hodnot

Velikost rychlosti je definována na základě následujícího vztahu:

$$v = \frac{Q_m}{\rho \cdot S} = \frac{0.00079}{1.7878 \cdot 0.0063158} = 0.07m/s \tag{9.16}$$

Následně definujeme dvě vstupní okrajové podmínky pro vzduch (air) a oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) typu "celocity inlet", a zbylé okrajové podmínky jsou stejné jak u základní úlohy (typ "wall"), viz. Obr. 9.129.



Obr. 9.129. Definování okrajové podmínky oxidu uhličitého a vzduchu

Okrajovou podmínkou vstupu oxidu uhličitého ("Velocity – Inlet", Obr. 9.130) do oblasti definujeme velikost rychlosti na vstupu, teplotu (uvažujeme konstantní teplotu T=300K),

hmotnostní zlomek oxidu uhličitého ("Species – Species Mass Fractions)  $Y_{CO_2} = 1$  a turbulentní veličiny (Turbulentní kinetickou rychlost k = 0 a rychlost disipace  $\varepsilon = 0$ ), viz. Obr. 9.130.

Velocity Inlet	×
Zone Name	🗳 Velocity Inlet 🛛 🛛 🔀
stena:006	Zone Name   stena:006
Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS	Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS
Velocity Specification Method Magnitude, Normal to Boundary	Sperify Speries in Mole Franting
Reference Frame Absolute	Species Mass Fractions
Velocity Magnitude (m/s)	co2 1 constant 💌 🗠
Turbulence	
Specification Method K and Epsilon	
Turbulent Kinetic Energy (m2/s2)	/ /
Turbulent Dissipation Rate (m2/5) 0 constant	
OK Cancel Help	OK Cancel Help
Velikost Turbulentní	Hmotpostní zlomok příměsí
rvchlosti	
Venciny	(oxidu uhliciteho)

Obr. 9.130. Parametry okrajové podmínky vstupu oxidu uhličitého

Stejným způsobem definujeme okrajovou podmínku pro vstup vzduchu do oblasti ("velocity inlet"), viz. Obr. 9.131.

🗳 Velocity Inlet 🛛 🔀	
Zone Name Vstup	Velocity Inlet
Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UD5	vstup
Velocity Specification Method Magnitude, Normal to Boundary  Reference Frame Absolute Velocity Magnitude (m/s) 1 constant	Momentum     Thermal     Radiation     Species     DPM     Multiphase     UDS       Specify Species in Mole Fractions       Species Mass Fractions       co2     0
Turbulence Specification Method Intensity and Hydraulic Diameter Turbulent Intensity (%)	
OK Cancel Help	OK Cancel Help

Obr. 9.131. Definování vstupní okrajové podmínky pro vzduch

Stěny oblasti uvažujeme nevodivé a stacionární. Na výstupu definujeme tlakovou okrajovou podmínku "Pressure outlet" (nulový přetlak). Následně provedeme inicializaci řešení a spustíme numerický výpočet. Ve výpisu reziduálu se navíc objeví veličina hmotnostního zlomku oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), protože matematický model je rozšířen o transportní rovnici pro hmotnostní zlomek oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>). Ke splnění podmínky konvergence dojde po 90 iteracích.



Obr. 9.132. Průběh reziduálu

Výsledky numerické simulace vyhodnotíme pomocí hmotnostních zlomků vzduchu a oxidu uhličitého v příčných řezech ve vzdálenosti x=2m; 2.5m; 3m a na výstupu (Obr. 9.133, Obr. 9.134). Dále vyhodnocení provdeme v podélných řezech ve vzdálenosti z=0.5m; 0.75 a 1m. Hmotnostní zlomky jsou vyhodnocené v rozsahu  $0\div1$ . Hodnota 1 odpovídá 100% dané příměsí a 0 odpovídá 0% příměsí.



Obr. 9.133. Hmotnostní zlomek oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) v příčných řezech ve vzdálenosti x=2m; 2.5m; 3m a na výstupu



Obr. 9.134. Hmotnostní zlomek vzduchu (air) v příčných řezech ve vzdálenosti x=2m; 2.5m; 3m a na výstupu



Obr. 9.135. Hmotnostní zlomek oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) v podélných řezech ve vzdálenosti z=0.5m; 1m



Obr. 9.136. Hmotnostní zlomek vzduchu (air) v podélných řezech ve vzdálenosti z=0.5m; 1m



Obr. 9.137. Hmotnostní zlomek oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) v podélném řezu ve vzdálenosti z=0.75m





У ЧК	Animace
	Ukázka řešení turbulentního proudění plynných příměsí v 3D oblasti s náhlým rozšířením v programu ANSYS Fluent12.1.4 si může student zobrazit
	<ul> <li>(turbulentního proudění plynných příměsí v 3D oblasti s náhlým rozšířením)</li> <li>odkazem ANIMACE</li> </ul>
	<ul> <li>spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola_9\ soubor Fluent_priklad_6.exe</li> </ul>
	<ul> <li>(turbulentního proudění plynných příměsí v 3D oblasti s náhlým rozšířením-zdroj)</li> <li>odkazem <u>ANIMACE</u></li> </ul>
	<ul> <li>spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola_9\ soubor Fluent_priklad_6_1.exe</li> </ul>

## 9.7. Unášení pevných částic ve spojité fázi, definování diskrétní fáze

#### **D** Popis úlohy

V tomto příkladě budeme definovat unášení pevných částic uhlíku (carbon) v proudu vzduchu (spojitá fáze) v 3D oblasti s náhlým rozšířením s uvažováním gravitačního zrychlení, viz. Obr. 9.139. Definujeme turbulentní matematický model k-epsilon standard a proudění uvažujeme jako izotermní. Vstup částic uhlíku je stejný jak v případě vstupu plynné příměsi (oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>)) v kapitole 9.6.2.



Obr. 9.139. Schéma výpočtové oblasti

#### **D** Rozměry oblasti a okrajové podmínky

Tab. 9.13. Rozměry oblasti a okrajové podmínky
--

Délka oblasti L [m]	3.5	Proudící tekutina	Vzduch
Výška oblasti D [m]	0.5	Rychlost na vstupu $V$ [m.s <sup>-1</sup> ]	1
Výška schodu d [m]	0.1	Výstup (Pressure outlet)	Nulový přetlak
Délka schodu $L_s$ [m]	0.7	Intenzita turbulence <i>I</i> [%]	2
Šířka oblasti <i>B</i> [m]	1.5	Charakteristický rozměr <i>L</i> [m]	0.4
		Pevné částice	uhlík (C)
		Hmotnostní průtok $Q_m$ [kg.s <sup>-1</sup> ]	0.0003145
		Průměr částic <i>d</i> [m]	$1.10^{-5}$

Výpočet Reynoldsová čísla Re

$$\operatorname{Re} = \frac{v \cdot d_{h}}{v} = \frac{v \cdot \frac{4 \cdot S}{O}}{v} = \frac{v \cdot \frac{4 \cdot (D - d) \cdot b}{2(D - d + b)}}{v} = \frac{1 \cdot \frac{4 \cdot (0.5 - 0.1) \cdot 1.5}{2(0.5 - 0.1 + 1.5)}}{15.15 \cdot 10^{-6}} = 67105$$

Definujeme turbulentní model (k-epsilon-standard). Simulaci proudění částic uhlíku uvažujeme jako samovolné sypání částic do oblasti (tedy bez vnější hybnosti uhlíku) kolmo na vstupní průřez jak je patrné z Obr. 9.139.

Nejdříve načteme výpočetní síť z kapitoly 9.1 (3D-rozsireni.msh) do prostředí programu ANSYS Fluentu12.1.4 a odseparujeme vstupní plochu pro částice uhlí stejně jako v případě vstupu plynné příměsi (oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>)), viz. kapitola 9.6.2. Výsledkem jsou okrajové podmínky zobrazené na Obr. 9.140.

Boundary Conditions		
Zone		
default-interior		
stena stena:006		
vstup		
vystup		
Phase	Type ID	
mixture	Velocity-inlet	
Edit	Copy Profiles	
Parameters	Operating Conditions	
Display Mesh	Periodic Conditions	

Obr. 9.140. Okrajové podmínky

V následné kapitole budeme definovat diskrétní fázi pevných částic uhlí. Výsledné proudění lze charakterizovat jako vícefázové proudění spojité fáze (vzduch) a diskrétní fáze (sekundární fáze).

## 9.7.1. Definice diskrétní fáze (Discrete Phase Model)

Modelování pohybu částic je jedním z typů vícefázového proudění, kdy částice jsou unášeny proudem v Lagrangeově pojetí. Tato druhá fáze obsahuje kulové částice (také kapky nebo bubliny). Částice nejsou modelovány jednotlivě, ale jsou definovány vzorky, charakterizující dostatečně proudění. Je možno řešit následující varianty:

- výpočet trajektorie diskrétní fáze užitím Lagrangeovy formulace, přitom se zahrnuje diskrétní fáze pevných částic, hydrodynamický odpor a gravitační síly pro stacionární i nestacionární případ
- vliv turbulentních vírů na rozložení částic
- ohřívání a ochlazování částic
- hoření částic
- vznik kapek

Celkový průtok částic je modelován tak, že se sleduje malý počet částic pohybujících se ve spojité fázi. Částice se pohybuje z bodu, ze kterého je vypuštěna (injection), až do opuštění oblasti. Pohyb částic (prachových částic, kapek, bublin) je ovlivňován hydrodynamickým odporem a gravitací. Pohyb částic a zároveň přestup tepla a hmoty mezi nimi je definován soustavou obyčejných diferenciálních rovnic dle času, obsahující rovnice pro pohyb, rychlost, teplotu a hmotnost částic. Tyto rovnice jsou integrovány relativně jednoduchými integračními metodami, aby se vypočetlo chování částic napříč oblastí. Částice i spojitá fáze se mohou vzájemně ovlivňovat.

#### **Rovnice pohybu částic**

Rovnováha sil při použití Lagrangeova přístupu je dána vztahem

$$\frac{du_{P}}{dt} = F_{D}\left(u - u_{P}\right) + \frac{g_{x}}{\rho_{P}}\left(\rho_{P} - \rho\right) + F_{X}$$
(9.17)

kde  $F_x$  je vnější objemová síla

 $F_{D}(u-u_{p})$  je síla hydrodynamického odporu vztažená na jednotku hmotnosti částice.

$$F_D = \frac{18\mu}{\rho_P D_P^2} \frac{C_D \operatorname{Re}}{24}$$

u – rychlost kapaliny,  $u_p$  – rychlost částic, řešená integrací podle času,  $\mu$  - molekulární viskozita kapaliny,  $\rho$  - hustota kapaliny,  $\rho_p$  – hustota částic,  $D_p$  – průměr částic

Re – Reynoldsovo číslo  $Re = \frac{\rho D_{P} |u_{P} - u|}{\mu}$ C – koeficient hydrodyn, odporu C – a +  $\frac{a_{2}}{\mu}$  +  $\frac{a_{3}}{\mu}$  kd

 $C_D$  - koeficient hydrodyn. odporu  $C_D = a_1 + \frac{a_2}{Re} + \frac{a_3}{Re^2}$  kde  $a_{1,2,3}$  jsou konstanty pro určitý rozsob Po, definované Mersim a Alexandrem

konstanty pro určitý rozsah Re, definované Morsim a Alexandtem.

#### Rozptyl částic v důsledku turbulence

Jestliže proudění je turbulentní, pak se počítá trajektorie částice pomocí střední rychlosti  $\overline{u}$ . ANSYS Fluent12.1.4 používá stochastické metody (RANDOM WALK MODEL) k určení fluktuační složky rychlosti, pak  $u = \overline{u} + u(t)$ . Výpočet trajektorií umožňuje sledovat vliv turbulence na jejich rozptyl.

## **Okrajové podmínky na stěně pro DPM**

Pokud se částice setkají se stěnou, mohou nastat následující varianty:

- odraz částice od stěny s uvažováním pružné kolize (reflected)
- částice projdou hranicí a již se v řešené oblasti nevyskytují (escape)
- částice se přichytí na stěně (trapped)
- částice projde vnitřní zónou jako je radiátor nebo porézní prostředí (pass)
- částice může klouzat podél stěny (slide)

Model diskrétní fáze definujeme příkazem "Define – Models – Discrete Phase Model" (Obr. 9.141), kde zatrhneme interakci se spojitou fází "Interaction with Continuous Phase" (diskrétní a spojitá fáze se budou vzájemně ovlivňovat). Numericky se bude řešit 20 iterací spojité fáze a jedna iterace pro rovnici diskrétní fáze.
Discrete Phase Model				
Interaction Interaction with Continuous Phase Update DPM Sources Every Flow Iteration Number of Continuous Phase Iterations per DPM Iteration Tracking Physical Models UDF Numerics F	Particle Treatment Unsteady Particle Tracking arallel	[	Počet iterací spojité fáze	
Tracking Parameters       Max. Number of Steps     Drag Parameters       500     spherical       Specify Length Scale     Spherical			Definování od součinitele pi tvar čá	dporového ro kulovitý stic
Step Length Factor			Definice diskrétní fáze	]
OK Injections	Cancel Help			

Obr. 9.141. Panel definice diskrétní fáze

Dále příkazem "Injections" definujem diskrétní fázi (uhlík), viz. Obr. 9.142.

Set Injection Properties				×
Injection Name				
injection-0				
Injection Type	Release From Surfaces			
surface	default-interior	^		
	stena:006			
	vstup			
Particle Type			Laws	
🔘 Massless 🛛 💿 Inert	🔿 Droplet 💦 🔿 0	Combusting OMulticompone	ent Custom	
Material	Diameter Distribution	Oxidizing Species	Discrete Phase Domain	
carbon 🔽	uniform	✓	none	*
Evaporating Species	Devolatilizing Species	Product Species		
	Γ		Y	
Point Properties   Turbulent Dispers	ion   Wet Combustion   Com	nponents   UDF   Multiple Read	tions	
Z-Velocity (m/s)				
0				
Diameter (m)				
1e-05				
Total Flow Rate (kg/s)				
0.0003145				
<u>∨</u>				
Scale Flow Rate by Face Area				
Inject Using Face Normal Direction	n			
	UK			

Obr. 9.142 Parametry diskrétní fáze

- INJECTION TYPE): možnosti definování uvolnění diskrétní fáze do oblasti ("Surface" z plochy, "Single" uvolnění z bodu, "Group" ohraničená oblast souřadnicemi (x,y,z), "Cone" kuželové uvolnění,….)
- Zvolme možnost "Surface" pak definujeme plochu, ze které budou částice uvolňovány. V našem případě je to okrajová podmínka "stena:006".

- PARTICLE TYPE: typ částic ("Inert" inertní, "Droplet" kapky , "Combustion" spalování částic,…). V našem případě definujeme pevné částice "Inert".
- MATERIAL: vybereme odpovídající materiál ("Carbon")
- DIAMETER DISTRIBUTION: rozložení průměru částic ("Uniform" definujeme konstantní průměr, kromě toho lze definovat např. "Rosin-Rammler" distribuční křivka…). V našem případě definujeme konstantní průměr částic "Uniform".
- POINT PROPERTIES: definujeme parametry diskrétních částic na vstupu do oblasti (počáteční hybnost  $v_x = v_y = v_z = 0m/s$ , průměr částic d = 1e 05m, hmotnostní průtok  $Q_m = 0.0005145kg/s$ ).

Fyzikální vlastností uhlíku ("carbon") můžeme měnit v nabídce "Define – Materials". V nabídce se objeví nová položka odpovídající materiálu diskrétní fáze ("Inert Particle"), viz. Obr. 9.143. Protože neuvažujeme přestup tepla, tak definujeme pouze hustotu. Kromě již definovaného materiálu můžeme použít i jiný materiál z databáze "FLUENTU Database".

\$ ∲ @ ⊕ ↗   @ 洗 情 - □ -	Create/Edit Materials			
Materials	Name carbon	Material Type	Order Materials by	
Materials Fluid water-vapor oxygen nitrogen carbon-dioxide	Chemical Formula		Chemical Formula	
air Solid a <u>luminum</u> Inert Particle carbon	Properties Density (kg/m3) Constant 2000	Edit		
Create/Edit	Change/Create	Delete     Close     Help		

Obr. 9.143. Definování typu materiálu diskrétní fáze

Fyzikální vlastností (hustota, viskozita) vzduchu uvažujeme konstantní. Hodnoty definujeme v nabídce "Define – Materials" (ponecháme přednastavené hodnoty).

Okrajové podmínky definujeme příkazem "Define – Boundary Conditions". Pro vstup vzduchu definujeme typ "Velocity Inlet" na základě Tab. 9.13. Stěny oblasti uvažujeme jako stacionární bez teplotních podmínek typu "Wall". Na výstupu definujeme tlakovou okrajovou podmínku "Pressure Outlet" opět na základě Tab. 9.13. Parametry diskrétní fáze jsme definovali v předchozích krocích.

Následně nastavme turbulentní "k-epsilon standard" model a tíhové zrychlení v záporném směru osy y pomocí příkazu "Define – Operating Conditions". Uložme nastavení matematického modelu, provedeme inicializaci výpočetní oblasti a spustíme výpočet. Ke splnění podmínky konvergence dojde po 279 iteracích, viz. Obr. 9.144.



Obr. 9.144. Průběh reziduálů

K vyhodnocení trajektorie částic použijeme příkaz "Display – Graphics and Animations -Particle Tracks", Obr. 9.145. Trajektorie částic můžeme obarvit např. složkami rychlosti, velikosti rychlosti, časem a dalšími fyzikálními veličinami.

Hodnoty v uzlech, automatický						_		_
	rozsah, zobrazení geometrie						eličina, kterou obarvujete	
							trajektorii částic (velikost	
	-						rychlosti)	
Particle	e Track	S			<u> </u>			
Options		Style	Color by					
Node Va	alues	line 🔷 😽	Velocity	~			Tvar vyhodnocované	
Auto Ra	ange est	Attributes	Velocity Magnitude	~			trajektorie	
XY Plot	0311		Min (m/s) Ma	ax (m/s)	-			
Write to	o File	Pulse Mode	0 1	.030027				
		Continuous	Update M	in/Max	ī r	F	Parametr určující počet	1
		💽 Single				vvh	odnocovaných trajektorii	l
Reporting			Track Single Particle St	ream _		(0	– isou whodnocovány	l
Report Typ	)e	Report to	Stream ID Skip	Coarsen		tra	ajetorie ze všech buněk	
Summar	ry	Console					vstupu)	
O Step by	Step		Release from Injections				1010000	1
			injection-0					
							Vybodnocována	
Display	Pulse	e Track	Axes Curves	Close Help			diskrátní fázo	
							UISKIELIII Idze	

Obr. 9.145. Panel k vyhodnocení trajektorie diskrétní fáze

Na Obr. 9.146 a Obr. 9.147 jsou zobrazené trajektorie pevných částic uhlí. Rychlost pohybu částic v závislosti na jejich poloze je patrná z Obr. 9.146, kdy trajektorie částic jsou obarvené velikosti rychlosti. Následně na Obr. 9.147 je znázorněna doba setrvání částice v oblasti, kdy jsou opět vyhodnocené trajektorie pohybu částic, které jsou obarvené časem.



Particle Traces Colored by Velocity Maanitude (m/s) Obr. 9.146. Trajektorie částic obarvené velikosti rychlosti



Obr. 9.147. Trajektorie částic obarvené časem (Doba setrvání částice v oblasti)



Obr. 9.148. Vektorové pole v podélném řezu středem oblasti

V dalším kroku definujeme menší množství uhlíku ("Carbon") pomocí hmotnostního průtoku  $Q = 0.0001145 kg \cdot s^{-1}$  v nabídce "Define – Models – Discrete Phase – Injections – Set" a větší

množství uhlíku ("Carbon") na vstupu do oblasti Q = 0.0007145 kg/s. Vzájemně porovnejme trajektorie částic pomocí příkazu "Display – Graphics and Animations - Particle Tracks".



Particle Traces Colored by Velocity Magnitude (m/s)



1.03e+00 9.89e-01	Noncomm
9.58e-01 9.27e-01	
8.96e-01 8.65e-01	
8,34e-01 8,03e-01	
7,73e-01 7,42e-01 7,11-01	
6.80e-01	
6.18e-01 5.070 01	
5.56e-01 5.55e-01	
4.94e-01 4.64a-01	
4.3 <del>3e-01</del> 4.02e-01	
3.71e-01 3.40e-01	
3.09e-01 2.78e-01	
2.47e-01 2.16e-01	
1.85e-01 1.55e-01	
1.24e-01 9.27e-02	
6.18e-02 3.09e-02 Z—X	
0.00e+00	
article Traces Colored by Velocity Magnitude (m/s)	Au

Obr. 9.150. Trajektorie částic obarvené velikosti rychlosti ( $Q = 0.0001145 kg \cdot s^{-1}$ )



Obr. 9.151. Trajektorie částic obarvené velikosti rychlosti  $Q = 0.0003145 kg \cdot s^{-1}$ 

### Animace

Ukázka řešení turbulentního proudění pevných částic v 3D oblasti s náhlým rozšířením v programu ANSYS Fluent12.1.4 si může student zobrazit

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_9\ soubor Fluent\_priklad\_7.exe

# 9.7.2. Definice liniového zdroje částic uhlíku na vstupu do oblasti pro diskrétní fázi

#### **D** Popis úlohy

V tomto příkladě budeme definovat unášení pevných částic uhlíku (carbon) v proudu vzduchu (spojitá fáze) v 3D oblasti s náhlým rozšířením s uvažováním gravitačního zrychlení. Definujeme turbulentní matematický model k-epsilon standard a proudění uvažujeme jako izotermní. Vstup částic uhlíku definujeme jako liniový zdroj částic, tak jak je naznačen na Obr. 9.152. Definice diskrétní fáze je obdobná jako v kapitole 9.7.1. Výpočetní síť použijte z kapitoly 9.1.1.





#### **D** Parametry geometrie a okrajové podmínky

Tab.	9.14.	Parametry	geometrie a	okrajové	podmínky
------	-------	-----------	-------------	----------	----------

Délka oblasti L [m]	3.5	Proudící tekutina	Vzduch
Výška oblasti D [m]	0.5	Rychlost na vstupu $V$ [m.s <sup>-1</sup> ]	1
Výška schodu <i>d</i> [m]	0.1	Výstup (Pressure outlet)	Nulový přetlak
Délka schodu $L_s$ [m]	0.7	Intenzita turbulence / [%]	2
Šířka oblasti <i>B</i> [m]	1.5	Charakteristický rozměr <i>L</i> [m]	0.4
		Pevné částice	uhlík (C)
		Hmotnostní průtok $Q_m$ [kg.s <sup>-1</sup> ]	0.0005145

	Průměr částic <i>d</i> [m]	1.10-5

Výpočet Reynoldsová čísla Re

 $\operatorname{Re} = \frac{v \cdot d_{h}}{v} = \frac{v \cdot \frac{4 \cdot S}{O}}{v} = \frac{v \cdot \frac{4 \cdot (D - d) \cdot b}{2(D - d + b)}}{v} = \frac{1 \cdot \frac{4 \cdot (0.5 - 0.1) \cdot 1.5}{2(0.5 - 0.1 + 1.5)}}{15.15 \cdot 10^{-6}} = 67105 = \text{turbulentní proudění}$ 

Na základě výpočtu Reynoldsova čísla definujeme turbulentní model (k-epsilon-standard). Neuvažujeme rovnici energie, tzn. bez vedení tepla. Tíhové zrychlení definujeme v záporném směru osy y. Okrajovou podmínku na vstupu pro vzduch definujeme typu "Velocity Inlet" a výstup jako "Pressure Outlet" dle tab. Tab. 9.14. Stěny oblasti uvažujeme stacionární, bez teplotních podmínek.

Definici diskrétní fáze provedeme příkazem "Define – Models – Discrete Phase Model" obdobně jako v kapitole 9.7.1, odlišně definujeme vstup částic uhlí. V nabídce "Set Injection Properties" definujeme typ vstupu jako ("Group" – skupina, počet proudnic částic "Number of Particle Streams" – 10), viz. Obr. 9.153. Následně v položce "Point Properties" definujeme souřadnice liniového zdroj podle schématu na Obr. 9.154.



Obr. 9.153. Definování diskrétní fáze pomocí liniového zdroje



Obr. 9.154. Schéma vstupu diskrétní fáze do oblasti

Hmotnostní průtok částic uhlí a velikost průměru částic zadejme dle Tab. 9.14. do položky "Point Properties" (Obr. 9.153). Po nadefinování matematického modelu nastavení uložíme. Provedeme inicializací výpočetní oblasti a spustíme numerický výpočet. Ke splnění podmínky konvergence dojde po 580 iteracích. Výsledky vyhodnotíme pomocí trajektorie částic použitím příkazu "Display – Graphics and Animations - Particle Tracks".



Particle Traces Colored by Particle Residence Time (s)

Obr. 9.155. Trajektorie částic obarvené časem (Doba setrvání částice v oblasti)

Pro názornost si vyzkoušejme situaci, kdy zanedbáme vliv tíhového zrychlení v nabídce "Define – Operating Conditions". Po úpravě provedeme inicializaci výpočetní oblasti a spustíme numerický výpočet. Ke splnění podmínky konvergence dojde po 149 iteracích. Výsledek takto modifikované varianty je uvede na Obr. 9.156.



Obr. 9.156. Trajektorie částic obarvené časem (Doba setrvání částice v oblasti), bez uvažování tíhového zrychlení



### Animace

Ukázka řešení turbulentního proudění pevných částic v 3D oblasti s náhlým rozšířením v programu ANSYS Fluent12.1.4 si může student zobrazit

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_9\ soubor Fluent\_priklad\_8.exe

# **9.8.** Vícefázové proudění v 3D oblasti s náhlým rozšířením, aplikace vícefázového matematického modelů Euler-Mixture

#### Popis úlohy

V tomto příkladě budeme řešit vícefázové proudění dvou fázi pomocí vícefázového matematického modelu "Euler – Mixture" dvou různých fázi (voda-vzduch, voda-olej a vodachladící kapalina) v 3D oblasti s náhlým rozšířením, viz. Obr. 9.157. Primární fázi je voda a sekundární fázi jsou vzduch, olej nebo chladicí kapalina. Sekundární fázi budeme postupně definovat na oddělené ploše na vstupu do oblasti. Oddělení plochy provedeme příkazem "Mesh – Separate". Vyhodnocovat budeme rozložení objemových zlomků jednotlivých fázi pro různé varianty.

#### **D** Popis geometrie





#### Parametry geometrie a okrajové podmínky

Tab.	9.15.	Parametry	geometrie a	okrajové	podmínky
			0		·· J

Délka oblasti L [m]	3.5	Proudící tekutina	Voda
Výška oblasti D [m]	0.5	Rychlost na vstupu $V$ [m.s <sup>-1</sup> ]	1
Výška schodu <i>d</i> [m]	0.1	Intenzita turbulence / [%]	2
Délka schodu $L_s$ [m]	0.7	Charakteristický rozměr <i>L</i> [m]	0.4
Šířka oblasti <i>B</i> [m]	1.5	Výstup (Pressure outlet)	Nulový přetlak
		Sekundární fáze	Vzduch, olej,
			chladící kapalina
		Rychlost na vstupu $V$ [m.s <sup>-1</sup> ]	1

	$\mathbf{D}_{m}$ $\mathcal{S}_{m}$	1 10-5
	Průměr bublin, kapek <i>d</i> [m]	1.10 5

Výpočet Reynoldsová čísla Re:

$$\operatorname{Re} = \frac{v \cdot d_{h}}{v} = \frac{v \cdot \frac{4 \cdot S}{O}}{\frac{\eta}{\rho}} = \frac{v \cdot \frac{4 \cdot (D - d) \cdot b}{2(D - d + b)}}{\frac{\eta}{\rho}} = \frac{1 \cdot \frac{4 \cdot (0.5 - 0.1) \cdot 1.5}{2(0.5 - 0.1 + 1.5)}}{\frac{0.001003}{998.2}} = 1038484 = \operatorname{turbulentni} \operatorname{prouděni}$$

Z výpočtu Reynoldsova čísla vyplývá, že se jedná o turbulentní proudění, a proto definujeme turbulentní "k-epsilon standard" model. Prvně načtěme výpočetní geometrii z kapitoly 9.1.1 (3D-rozsireni.msh). Dále provedeme rozměrovou kontrolu, definujeme gravitační zrychlení v záporném směru osy y.

Následně definujeme vstupní okrajovou podmínku pro sekundární fází, jak je znázorněno na Obr. 9.157. Oddělení vstupní plochy pro sekundární fázi provedeme nejdříve výběrem oblasti příkazem "Adapt – Region Adaption" (Obr. 9.158) a fyzické oddělení provedeme pomocí příkazu "Mesh – Separates – Faces". Výsledná vstupní plocha pro sekundární fází je zobrazena na Obr. 9.158.



Obr. 9.158. Výběr oblasti k definování vstupu sekundární fáze

### 9.8.1. Definice vícefázového matematického modelu a okrajových podmínek

#### □ Vícefázové modely obecně

Velké množství aplikací v přírodě a v průmyslových technologiích se týká směsí fází. Fázemi se předpokládá:

- plyn
- kapalina
- pevná látka

Ale koncepce fází je aplikována v širším smyslu. V multifázovém proudění je fáze definována jako identifikovatelná třída materiálu, která má částečnou inertní odezvu na interakci s prouděním a potenciálem pole, ve kterém se vyskytuje. Např. pevné částice různých

velikostí téhož materiálu mohou být považovány za různé fáze, protože každé seskupení částic o téže velikosti má podobné dynamické vlastnosti v proudovém poli. Do vícefázového proudění zahrnujeme řešení následujících problémů: kavitace, aerace, nukleární reaktory, bezpečnost nukleárních reaktorů, vlnění vodní hladiny, extrakce, emulsifikace, separace, homogenizace, promíchávání, hydraulická doprava, sedimentace, flotace, cyklony, pneumatická doprava, fluidizační pole reaktoru, sila, spalování, odpařování aj.

Prakticky se lze setkat s různými variantami vícefázových systémů, které jsou upřesněny v následujícím přehledu:

- plyn kapalina nebo kapalina kapalina
- proudění bublin plynu nebo velkých kapek kapaliny ve spojitém prostředí
- proudění kapek ve spojité fázi plynu
- pomalé proudění velkých bublin
- proudění s volnou hladinou, s jasně definovanou hladinou
- plyn pevná látka
- proudění pevných částic v plynu
- pneumatická doprava
- fluidizační pole
- □ kapalina pevná částice
- proudění kalu
- sedimentace
- **třífázové proudění**
- kombinace výše uvedených variant



proudění s částicemi, bublinami, kapkami proudění s volnou hladinou Hydraulická a pneumatická doprava

Obr. 9.159. Přiklady vícefázového proudění

#### Vícefázové matematické modely

Vícefázové modely umožňují modelování většího počtu oddělených, ale vzájemně se ovlivňujících fází. Fáze mohou být kapalné, plynné a pevné v různých kombinacích (plyntekutina, tekutina-tekutina, plyn-pevná látka, kapalina-pevné částice, trojfázové proudění (kombinace předchozích)). Software ANSYS Fluent12.1.4 nabízí tři multifázové modely, jsou to:

- VOF model
- Model směsi
- Eulerův model

Každý z těchto modelů má své typické aplikace a také své klady i zápory. Proto v následujících odstavcích je uveden krátký přehled těchto modelů.

#### **VOF MODEL**

je vhodný pro stratifikované (vrstvené) proudění a proudění s volnou hladinou. Tímto modelem se může řešit proudění dvou a více nesmísitelných kapalin řešením pohybové rovnice a sledováním objemového zlomku každé kapaliny v oblasti. Typické aplikace zahrnují předpověď odtržení proudu, pohyb velkých bublin v kapalině, pohyb kapaliny za hrází a ustálené nebo neustálené sledování jakýchkoliv rozhraní kapalina - plyn.

#### **D** MODEL SMĚSI (MIXTURE MODEL)

je zjednodušený vícefázový model, který lze použít k modelování vícefázového toku, kde se jednotlivé fáze posouvají různou rychlostí. Předpokládá se ale lokální rovnováha na krátkém prostorovém délkovém měřítku. Vazba mezi fázemi musí být silná. Toho se může využít také k modelování homogenního vícefázového proudění s velmi silnou vazbou a fázemi pohybujícími se stejnou rychlostí. Model směsi může modelovat n-fází (tekutina nebo částice) řešením pohybové rovnice, rovnice kontinuity a rovnice energie pro směsi, rovnice objemového zlomku pro druhou fázi (dispergovanou) a algebraického výrazu pro relativní rychlosti. Typická aplikace zahrnuje sedimentace, cyklónové separátory, částice s nízkým zatížením a bublinkovité proudění, kde objemový zlomek plynu je nízký.

#### **D** EULERŮV MODEL

dovoluje modelování vícenásobných oddělených interaktivních fází. Fáze mohou být tekutina, plyn a pevné látky v nějaké kombinaci. U Eulerova multifázového modelu je počet dalších fází limitován pouze požadavky na paměť a konvergenci řešení. To znamená, že lze modelovat libovolný počet dalších fází, pokud je k dispozici dostatečná paměť počítače.

V dalším textu je uvedena krátká rozvaha, kdy a za jakých podmínek je vhodnější použit model směsi a kdy Eulerův model.

- Pokud se očekává velký výskyt dispergované fáze, pak je preferován model směsi kvůli menší náročnosti na výpočet. Je-li dispergovaná fáze koncentrována jen v určité oblasti, je lepší použít Eulerův model.
- Je-li nutno aplikovat odpor proti pohybu v systému (buď přímo ve Fluentu nebo pomocí uživatelem definovaná funkce UDF), pak Eulerův model může obvykle poskytovat přesnější výsledky než model směsí. Jestliže nejsou známy interfázové odporové koeficienty nebo jejich použitelnost na zkoumaný systém, pak model směsi může být lepší volbou.
- Pokud se řeší jednodušší problém, který požaduje menší výpočtovou náročnost, je model směsi lepší volbou, jelikož řeší menší počet rovnic než model Eulerův. Když přesnost je důležitější než výpočtová náročnost, pak Eulerův model zaručí kvalitnější výsledek. Musí se však pamatovat na to, že komplexnost Eulerova modelu může být příčinou menší stability řešení než u modelu směsi.

Pro snazší identifikaci multifázového proudění se zavádějí pojmy jako je:

**hmotnostní konzistence** je definována parametrem  $\beta = \frac{\alpha_d \rho_d}{\alpha_c \rho_c}$  (mass density

ratio), kde d je index dispergované fáze, c je index nosné fáze,  $\alpha$  je objemový zlomek,  $\rho$  je hustota.

**podíl hustot**  $\gamma = \frac{\rho_d}{\rho}$  (material density ratio), který je větší než 1000 pro fáze plyn - pevná látka, kolem 1pro fáze kapalina - pevná látka a menší než 0.001 pro fáze

**D** průměrná vzdálenost mezi částicemi  $\frac{L}{d_d} = \left(\frac{\pi}{6}\frac{1+\kappa}{\kappa}\right)^{\frac{1}{3}}$ , kde  $\kappa = \frac{\beta}{\gamma}$ .

Informace o těchto parametrech je důležitá pro určení chování dispergované fáze. Např. pro směs plyn - částice s  $\beta \approx 1$  je prostor mezi částicemi  $\frac{L}{d_d} \approx 8$ . Částice se tedy bude chovat jako izolovaná.

plyn - kapalina.

Interakce mezi fázemi se pak dělí na tři kategorie:

- Pro malé hodnoty  $\beta$  je vztah mezi fázemi jedním směrem, tj. spojitá fáze ovlivňuje • částice přes odpor a turbulenci, ale částice neovlivňují spojitou fázi. Model diskrétní fáze, směsi a Eulerův se vypořádá s tímto typem velmi dobře. Protože Eulerův model je velmi náročný, je možno použít model diskrétní fáze nebo model směsi.
- Pro střední hodnoty  $\beta$  je vztah mezi fázemi dvousměrný, tj. spojitá fáze ovlivňuje částice přes odpor a turbulenci a částice ovlivňují spojitou fázi pomocí středního momentu a turbulence. Modely diskrétní fáze, směsi a Eulerův jsou vhodné pro řešení, ale pro výběr modelu je nutné uvážit další parametry, jako je Stokesovo číslo.
- Pro vyšší hodnoty  $\beta$  je vztah mezi fázemi dvousměrný a navíc se uvažuje tlak a viskózní napětí z důvodu existence částic (čtyřsměrný vztah). Pro tento typ je vhodný Eulerův model.

Stokesovo číslo je definováno jako vztah mezi časovou odezvou částic a časovou odezvou systému:

$$\mathsf{S}t = \frac{\tau_d}{t_s} \tag{9.18}$$

kde  $\tau_d = \frac{\rho_d d_d^2}{18\mu_c}$  a  $t_s$  je založeno na charakteristické délce  $L_s$  a charakteristické rychlosti  $V_s$  a platí  $t_s = \frac{L_s}{V_s}$ . Pro  $St \langle \langle 1 \rangle$  budou částice unášeny proudem a všechny tři modely budou

použitelné. Je tedy vhodné vybrat rychlejší a levnější variantu modelu, tj. model směsi (mixture model). Pro St se částice budou pohybovat nezávisle na proudu a je možno použít model diskrétní fáze a Eulerův model. Pro  $St \approx 1$  je možno vybrat kterýkoliv ze tří modelů.

#### Vícefázový model směsi (mixture model)

Mixture model je zjednodušený vícefázový model, který může být použit pro proudění, kde fáze se pohybují odlišnými rychlostmi, ale předpokládá se rovnováha při krátkém prostorovém měřítku. Vazba mezi fázemi je velmi silná. Tímto modelem lze také modelovat homogenní multifázové proudění s velmi silnou vazbou mezi fázemi pohybujícími se stejnou rychlostí. Model je navíc schopen modelovat i proudění neNewtonských kapalin.

Model může řešit proudění *n* fází kapalinných nebo částic řešením pohybové rovnice a rovnice kontinuity pro směs, rovnice pro objemový zlomek druhých fází a algebraického vztahu pro relativní rychlosti. Typickými aplikacemi jsou sedimantace, cyklóny, proudění s částicemi o malém zatížení a proudění bublin o malém objemovém zlomku.

Model umožňuje řešit prolínání fází. Za tím účelem jsou definovány objemové zlomky fáze q a p pro daný konečný objem označené jako  $\alpha_q$  a  $\alpha_p$ , jejichž hodnota je mezi nulou a jedničkou a závisí na velikosti objemu, který zabírá daná fáze. Fáze se mohou pohybovat různými rychlostmi, přitom se aplikuje koncepce relativních (slip) rychlostí.

Rovnice kontinuity pro směs je dána vztahem

$$\frac{\partial \rho_m}{\partial t} + \frac{\partial (\rho_m u_{m,j})}{\partial x_j} = 0$$
(9.19)

kde  $U_{m,i}$  jsou složky rychlosti zprůměrované podle hmotnosti

$$u_{m,j} = \frac{\sum_{k=1}^{n} \alpha_k \rho_k u_{k,j}}{\rho_m}$$
(9.20)

a  $\rho_m$  je hustota směsi

$$\rho_m = \sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k \tag{9.21}$$

kde  $\alpha_k$  je objemový zlomek fáze k.

Rovnice zachování hybnosti pro směs je získána sečtením rovnic zachování hybnosti pro jednotlivé fáze

$$\frac{\partial(\rho_{m}u_{m,i})}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_{j}}(\rho_{m}u_{m,i}u_{m,j}) = -\frac{\partial\rho}{\partial x_{i}} + \frac{\partial}{\partial x_{j}}\left(\mu_{m}\left(\frac{\partial u_{m,i}}{\partial x_{j}} + \frac{\partial u_{m,j}}{\partial x_{i}}\right) - \mu\delta_{ij}\frac{2}{3}\frac{\partial u_{m,i}}{\partial x_{i}}\right) + \rho f_{i} + \frac{\partial}{\partial x_{i}}\left(\sum_{k=1}^{n} \alpha_{k}\rho_{k}u_{dr,km,i}u_{dr,k,j}\right)$$

$$(9.22)$$

kde *n* je počet fází,  $f_i$  jsou složky vnějších hmotnostních sil,  $\mu_m$  je dynamická viskozita směsi

$$\mu_m = \sum_{k=1}^n \alpha_k \mu_k \tag{9.23}$$

a  $U_{dr,k,i}$  je složka unášivé rychlosti

$$U_{dr,k,i} = U_{k,i} - U_{m,i}$$
(9.24)

Relativní (slip) rychlost je definována jako rychlost sekundární fáze p k rychlosti sekundární fáze q

$$U_{p,q,i} = U_{p,i} - U_{q,i} \tag{9.25}$$

Jestliže hmotnostní zlomek fáze k je dán vztahem

$$\boldsymbol{c}_{k} = \frac{\alpha_{k} \rho_{k}}{\rho_{m}} \tag{9.26}$$

pak unášivá rychlost a relativní (slip) rychlost jsou ve vztahu

$$U_{dr,p,i} = U_{p,q,i} - \sum_{k=1}^{n} c_k U_{k,q,i}$$
(9.27)

Upřesnění unášivé rychlosti je závislé na definování odporových sil částic atd.

Rovnice objemového zlomku sekundární fáze je dána rovnicí:

$$\frac{\partial(\alpha_{p}\rho_{p})}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha_{p}\rho_{p}u_{m,j})}{\partial x_{j}} = -\frac{\partial(\alpha_{p}\rho_{p}u_{dr,p,j})}{\partial x_{j}} + \sum_{q=1}^{n} Q_{m,qp} - Q_{m,pq}$$
(9.28)

K dispozici máme tedy tři vícefázové Eulerovy modely ("VOF-Volume of Fluid", "Mixture – model" a "Euler – model" ), které definujeme pomocí příkazu "Define – Models – Multiphase" (Obr. 9.160). V našem případě definujeme "Mixture – model", kdy voda je primární fázi a sekundární fázi jsou bublinky vzduchu, kapky oleje nebo kapky tekutého křemíku. Následně definujeme dvě fáze ("Number of Eulerian Phases"), viz. Obr. 9.160.



Obr. 9.160. Definování vícefázového modelu proudění

V dalším kroku definujeme materiály jednotlivých fázi pomocí příkazu "Define – Materials". Vybereme příslušné tekutiny s databáze ANSYS Fluentu12.1.4 (voda – water liquid, vzduch – air, olej – engine oil), které následně budeme definovat pro jednotlivé fáze (primární a sekundární fázi). Chladicí kapalinu vytvoříme manuálně jako nový materiál. Fyzikální vlastnosti jednotlivých materiálu jsou uvedené v Tab. 9.16.

Tab. 9.10. Fyzikalili vlastilosti jeullotlivych materialu	Tab.	9.16.	Fyzikální	vlastnosti	jednotlivých	materiálů
---	------	-------	-----------	------------	--------------	-----------

Water liquid – voda	Hodnota
Hustota $\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	998.2
Viskozita η [kg.m <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> ]	0.001003
Air - vzduch	
Hustota ρ [kg.m <sup>-3</sup> ]	1.225
Viskozita η [kg.m <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> ]	$1.7894.10^{-5}$
Engine oil – motorový olej	
Hustota $\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	889
Viskozita η [kg.m <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> ]	1.06
Chladící kapalina	
Hustota $\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	2000
Viskozita η [kg.m <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> ]	1.72.10 <sup>-5</sup>

Typ tekutiny (materiálu) pro jednotlivé fáze definujeme pomocí příkazu "Define – Phases", Obr. 9.161. Pro primární a sekundární fázi definujeme odpovídající typ tekutiny v závislosti na zadání a název. V případě primární fáze ("primary – phase") vybereme vodu ("Phase material, water – liquid") a pojmenování ("Name" – voda), viz. Obr. 9.161. Pro sekundární fázi ("secondary – phase") vybereme vzduch ("Phase material, air") a pojmenování ("Name" – vzduch), viz. Obr. 9.162.

Phases	1	: Mesh	*
Phases		Primary Phase	
voda - Primary Phase phase-2 - Secondary Phase		me oda	
Jednotlivé fáze	Ph	ase Material water-liquid	Cdit
		ОК	Cancel Help
		K	
Edit			

Obr. 9.161. Definování typu fáze (primární fáze)

Phases		1: Mesh	*
Phases voda - Primary Phase vzduch - Secondary Ph	ase Secondary Phase Name Vaduch		
	Phase Material air	🖌 Edit	
	OK C	ancel Help	
Edit	ction] ID 3		

Obr. 9.162. Definování typu fáze (sekundární fáze)

Následně definujeme vzájemnou interakci mezi fázemi a parametry sekundární fáze pomocí příkazu "Define – Phases" tlačítkem "Edit".

Adapt Surface Display Report Parallel View He	💶 Secondary Phase 🛛 🛛 🛛 🛛
\$\$∲��∦∥�次⊪-□-	Name vzduch
Phases	Phase Material air
Phases voda - Primary Phase vzduch - Secondary Phase	Granular Interfacial Area Concentration Properties Diameter (m) constant Ie-05
Help	OK Cancel Help

Obr. 9.163. Definování parametrů sekundární fáze

V případě sekundární fáze definujeme velikost průměru bublin vzduchu (d = 0.00001m), Obr. 9.163. Kromě toho lze měnit název sekundární fáze, a definovat další parametry. V případě primární fáze můžeme modifikovat pouze fyzikální vlastnost. Dále tlačítkem "Interaction" (Obr. 9.164) můžeme definovat odporové, vztlakové a virtuální síly. Kromě toho lze zahrnout vliv přenosu tepla a hmotnosti mezi fázemi, anebo uvažovat např. kavitaci. V našem případě neuvažujeme žádné vlivy.

Phases	1: Mesh 👻	
Phases		
voda - Primary Phase vzduch - Secondary Phase	Phase Interaction	X
	Drag   Lift   Collisions   Slip   Heat   Mass   Reactions   Surface Tension	
	Surface Tension Coefficients (n/m)	
	vzduch voda none Cdit	
Edit Interaction		
		~
Help	OK Cancel Help	

Obr. 9.164. Definování vzájemné inerakce mezi fázemí

V dalším kroku nejdříve definujeme turbulentní "k-epsilon standard" model a následně okrajové podmínky pomocí příkazu "Define – Boundary Conditions". Definujeme čtyři typy okrajových podmínek (Obr. 9.165):

- stena okrajová podmínka typu "wall"
- vstup okrajová podmínka typu "velocity inlet" (vstup primární fáze voda)
- vstup:006 okrajová podmínka typu "velocity inlet" (vstup sekundární fáze vzduch, motorový olej, chladicí kapalina)
- vystup okrajová podmínka typu "pressure outlet" (výstup směsi fází)

Parametry jednotlivých okrajových podmínek definujeme pro primární fázi ("voda"), sekundární fázi (např. "vzduch") a pro směs fázi ("mixture"), viz. Obr. 9.165. Hodnoty jednotlivých veličin definujeme na základě Tab. 9.15.

Boundary Cor	ditions
Zone	
default-interior	
stena	
vstup	
Vstup:006	
wyscup	
·	
Phase	Type ID
mixture	Velocity-inlet V 5
ania da una	
woda	Energy Description
vzduch	upy Promes
Parameters	Operating Conditions
Display Mesh	Periodic Conditions

Obr. 9.165. Definování okrajových podmínek

Definování okrajové podmínky vstup (odpovídající vstupu primární fáze) typu "velocity inlet" provedeme pomocí příkazu "Define – Boundary Conditions" (Obr. 9.166). Postupně

definujeme parametry pro jednotlivé fáze (primárni, sekundárni a směs). V případě směsi definujeme pouze turbulentní veličiny. Pro primární fázi definujeme velikost rychlosti v = 1m/s a pro sekundární fázi velikost rychlosti v = 0m/s a objemový zlomek sekundární fáze  $\alpha = 0$  (Obr. 9.166).

Boundary Conditions					
Zone					
default-interior					
vstup					
vstup:006					
	Parametry	pro směs	Param	etry pro	
	(mixti	iro)	nrimárni f	ázi (voda)	
		urc)	prindirin		
	Velocity Inlet	Phase .	Velocity Inlet		×
	vstup	mixture	Zone Name	Phase	
	Momentum Thermal Radiation Species	DPM Multinbase LIDS	vstup	voda	2
			Momentum Thermal Radiation Spec	ties DPM Multiphase UDS	
mixture velecity-inlet v 5	Specification Method Intensity and Hydrauli	ic Diameter	Velocity Specification Method Magnitude	e, Normal to Boundary	~
mixture	Turbulent In	tensity (%) 2	Reference Frame Absolute		~
voda vzduch	Hydraulic Di	iameter (m) 0.4	Velocity Magnitude (m/s)	constant	~
Parameters Operating Conditions					
Display Mesh Periodic Conditions	OK Cance	el Help	OK	Cancel Help	
$\langle \rangle$					
Velocity Inlet	×	Velocity Inlet			
Zone Name	Phase	Zone Name		Phase	
vstup	vzduch	vstup		vzduch	
Momentum Thermal Radiation Species DPM Mu	Itiphase UD5	Momentum Thermal Radi	ation Species DPM Multiphase	UDS	
Velocity Specification Method Magnitude, Normal to Bour	idary 🗸	Volume Fraction	constant	~	
Reference Frame Absolute	✓	L			
Velocity Magnitude (m/s)	constant			Parametry p	oro
				sekundárni f	ázi
				() aduch)	~~i
OK Cancel He	lp		OK Cancel Help	(vzauch)	

Obr. 9.166. Definování okrajové podmínky "vstup"

Obdobně definujeme okrajovou podmínku "vstup:006" (odpovídající vstupu sekundární fázi) typu "velocity inlet" provedeme pomocí příkazu "Define – Boundary Conditions". Dále definujeme tíhové zrychlení v záporném směru osy y pomocí příkazu "Define – Opearating Condition" a inicializujeme výpočetní oblast na základě veličin na okrajové podmínce "vstup" pomocí příkazu "Solve – Solution Initialization", viz. Obr. 9.167. Na počátku výpočtu bude v celé oblasti definována primární fáze (voda). V položce "Vzduch Volume fraction" je proto uvedená hodnota 0.

Problem Setup	Solution Initialization				
General	Compute from				
Models	vstup 🗸				
Phacec	Reference Frame				
Cell Zone Conditions Boundary Conditions Mesh Interfaces	Relative to Cell Zone     Absolute				
Dynamic Mesh	Initial Values				
Reference Values	X Velocity (m/s)				
Solution	1				
Solution Methods					
Solution Controls	Y Velocity (m/s)				
Monitors Solution Initialization	0				
Calculation Activities	Z Velocity (m/s)				
Run Calculation	0				
Results					
Graphics and Animations	Turbulent Kinetic Energy (m2/s2)				
Plots	0.0006				
Reports	Turbulent Dissipation Rate (m2/s3)				
	8.624833e-05				
	v2duch Volume Fraction				
(					
	· · ·				
	Initialize Reset Patch				

Obr. 9.167. Inicializace výpočetní oblasti

Ke splnění podmínky konvergence dojde po 204 iteracích. Následně provedeme vyhodnocení numerického výpočtu směsi (voda + vzduch) pomocí rozložení objemového zlomku jednotlivých fází příkazem "Display – Graphics and Animations – Contours". Rozložení objemových zlomků jednotlivých fázi vygenerujeme v podélném řezu ve vzdálenosti z=0.5m; 0.75m; 1m (Obr. 9.170, Obr. 9.171), a v příčném řezu x=0.1m; 0.5m; 1m; 1.5m; 2m; 2.5m; 3m (Obr. 9.168, Obr. 9.169).



Contours of Volume fraction (vzduch)





Contours of Volume fraction (vzduch)

Obr. 9.169. Objemový zlomek sekundární fáze (vzduch) v příčném řezu (x=1m; 1.5m; 2m; 2.5m; 3m; 3.5m)



Contours of Volume fraction (vzduch)





Contours of Volume fraction (vzduch)

V dalším kroku předefinujeme tekutinu sekundární fáze (místo vzduchu nastavme motorový olej) pomocí příkazu "Define – Phases – Secondary Phase – Edit". V nabídce místo vzduchu vybereme motorový olej. Provedeme inicializaci výpočetní oblasti a spustíme numerický výpočet. Ke splnění podmínky konvergence dojde po 142 iteracích. Následně vyhodnotíme numerickou simulací pomocí rozložení objemových zlomků sekundární fáze (motorový olej) v příčných (Obr. 9.172, Obr. 9.173) a podélných (Obr. 9.174, Obr. 9.175) řezech.

Obr. 9.171. Objemový zlomek sekundární fáze (vzduch) v podélném řezu (z=0.5m; 1.5m)



Contours of ∀olume fraction (motorovy-olej)





Contours of Volume fraction (motorovy-olej)

Obr. 9.173. Objemový zlomek sekundární fáze (motorový olej) v příčném řezu (x=1m; 1.5m; 2m; 2.5m; 3m; 3.5m)



Contours of Volume fraction (motorovy-olei)

Obr. 9.174. Objemový zlomek sekundární fáze (motorový olej) v podélném řezu (z=0.75m)



Contours of Volume fraction (motorovy-olej)

Obr. 9.175. Objemový zlomek sekundární fáze (motorový olej) v podélném řezu (z=0.5m; 1.5m)

Obdobným způsobem definujme "chladící kapalinu" jako sekundární fázi a výsledky numerické simulace vyhodnotíme pomocí rozložení objemového zlomku sekundární fáze.

	-	-
אע	אא	A

### Animace

Ukázka řešení vícefázového proudění (Mixture model, Euler model) v 3D oblasti s náhlým rozšířením v programu ANSYS Fluent12.1.4 si může student zobrazit

(vícefázového proudění - Mixture model)

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_9\ soubor Fluent\_priklad\_9.exe

(vícefázového proudění - Euler model)

- odkazem <u>ANIMACE</u>
- spustit ručně z adresáře Animace\Kapitola\_9\ soubor Fluent\_priklad\_9\_1.exe



### Shrnutí pojmů 9

Laminární proudění v 3D oblasti s rozšířením, turbulentní proudění (k-epsilon modely), Reynoldsovo číslo, rychlostní okrajová podmínka, tlaková okrajová podmínka, průtoková okrajová podmínka, podmínka symetry, definice fyzikálních vlastností, transportní rovnice pro hmotnostní zlomky, stlačitelné, nestlačitelné proudění, definování diskrétní fáze, vícefázové pruodění, mixture matematický model, hmotnostní zlomek, objemový zlomek, ztrátový součinitel, statický tlak, dynamický tlak, celkový tlak, střední rychlost, objemový průtok, hmotnostní průtok, vyplněné izočáry, vektorové pole, inicializace řešení, reziduály, konvergence.



Kontrolní otázky 9

- 1. Jak je definováno Reynoldsovo číslo?
- 2. Jaká je hodnota kritického Reynoldsova čísla pro proudění v trubce?
- 3. Jaké jsou jednotky kinematické a dynamické viskozity?
- 4. Co vyjadřuje turbulentní viskozita?
- 5. Co vyjadřuje turbulentní kinetická energie?
- 6. Jaký je vztah mezi objemovým a hmotnostním průtokem?
- 7. Vysvětlete rozdíl mezi okrajovými podmínkami (rychlostní, průtoková a tlaková)?
- 8. Jak je definován celkový tlak?
- 9. Jak je definován dynamický tlak?
- 10. Jaké turbulentní veličiny je nutné definovat na vstupní okrajové podmínce?
- 11. Co vyjadřuje okrajová podmínka Symetry a jaké je její použití?
- 12. Jaký je rozdíl mezi izotermní a neizotermním prouděním?
- 13. Kdy definujeme rovnici energie?
- 14. Jaké tepelné veličiny můžeme definovat na okrajové podmínce stěna?
- 15. Jak by jste charakterizovali vodivé stěny na konkrétní aplikací?
- 16. Jak je definován hmotnostní zlomek příměsi?
- 17. Jaké jsou možnosti definice výpočtu hustoty v případě směsi?
- 18. Jaké jsou možnosti definice výpočtu měrné tepelné kapacity v případě směsi?
- 19. Jaké fyzikální vlastností musíme definovat pokud uvažujeme izotermní proudění?
- 20. Jaké fyzikální vlastností musíme definovat pokud neuvažujeme izotermní proudění?
- 21. Jaké jsou matematické modely k řešení problematiky vícefázového proudění?
- 22. Jak by jste definovali pojem diskrétní fáze?
- 23. Jaké typy fázi lze v programu ANSYS Fluent definovat?
- 24. Jaký je rozdíl mezi modelem VOF a MIXTURE?
- 25. V jakých aplikacích lze použit VOF vícefázový matematický model?
- 26. Jak je definován objemový zlomek?
- 27. Jaké parametry je nutné definovat pro diskrétní fázi?
- 28. Jaké můžou nastat situace v případě, kdy se částice diskrétní fáze setkají se stěnou?
- 29. Jaké jsou možnosti definování vstupu diskrétních částic do oblasti proudění?
- 30. Lze v programu ANSYS Fluent12.1.4 řešit chemické reakce?
- 31. Co vyjadřuje pojem zdrojový člen?
- 32. Co vyjadřuje pojem UDF (uživatelský definována funkce)?

### 9.9. Testovací příklady k jednotlivým kapitolám



Úlohy k řešení

### 9.9.1. Trojrozměrné laminární proudění v mezeře s náhlým rozšířením

Příklady ke kapitole 9.1.

- Definujte vodu jako proudící médiem, určete hodnotu Reynoldsova čísla (Re) pro stejné okrajové podmínky jak v základní úloze (popřípadě upravte podmínky na vstupu s ohledem na laminární proudění).
- Příkazem "SCALE" zvětšete dvojnásobně výpočetní oblast, uvažujte proudění vzduchu, vyhodnoť te Reynoldsovo číslo (Re), rozhodněte o typu proudění, popřípadě proveď te změnu podmínek na vstupu s ohledem na požadavek laminárního proudění.
- Pro základní úlohu vyhodnoťte složky rychlosti v Rezu1 a Rezu2, vytvořte další podélné a příčné řezy oblasti, ve kterých vyhodnoťte základní proudící veličiny.
- Pro základní úlohu určete hmotnostní průtok vzduchu na vstupu do oblasti a definujte průtokovou okrajovou podmínku na vstupu, porovnejte výsledky numerické simulace se základní úlohou.

# 9.9.2. Testování turbulentních modelů v trojrozměrné oblasti v mezeře s náhlým rozšířením

Příklady ke kapitole 9.2.

- Porovnejte velikost turbulentní viskozity pro jednotlivé modely, vyhodnoť te význam turbulentní viskozity ve srovnání s molekulovou viskozitou u jednotlivých modelů.
- Zvyšte velikost vstupní rychlosti o řád a porovnejte význam turbulentní viskozity ve srovnání s molekulovou viskozitou u jednotlivých turbulentních modelů, vyhodnoť te Reynoldsovo číslo (Re).
- Vyhodnoť te turbulentní kinetickou energii a rychlost disipace pro jednotlivé turbulentní matematické modely.
- Definujte příčné řezy oblasti s krokem 0.5m a vyhodnoť te velikost střední rychlosti v jednotlivých řezech a porovnejte pro různé turbulentní matematické modely.

# 9.9.3. Definování okrajových podmínek na vstupu do oblasti s náhlým rozšířením v aplikaci na turbulentní k-epsilon-standard model

Příklady ke kapitole 9.3.

 Pro různé okrajové podmínky na vstupu (rychlostní okrajová podmínka, průtoková okrajová podmínka, tlaková okrajová podmínka) zvyšte rychlost na trojnásobek, vyhodnoť te Reynoldsovo číslo, porovnejte velikosti ztrátových součinitele a stanovte procentuální odchylku, obdobným způsobem postupujte pro dvojnásobně nižší rychlost na vstupu.

- Vyhodnoť te turbulentní viskozitu pro jednotlivé okrajové podmínky na vstupu (rychlostní okrajová podmínka, průtoková okrajová podmínka, tlaková okrajová podmínka) dle základního zadání.
- použijte vodu jako proudící médium, vyhodnoť te Reynoldsovo číslo (Re) a definujte odpovídající matematický model pro jednotlivé varianty okrajových podmínek na vstupu (rychlostní okrajová podmínka, průtoková okrajová podmínka, tlaková okrajová podmínka).

# 9.9.4. Definování teplotních podmínek na vodivých stěnách trubky a použití tenkých stěn

Příklady ke kapitole 9.5.

- Změňte typ materiálu vodivé stěny (hliník, nikl) a vyhodnoť te přestup tepla (průběh teploty) vodivou stěnou (živými buňkami) trubky v příčném profilu středem oblasti příkazem "PLOT XY", výsledky porovnejte s ocelovou a měděnou trubkou.
- Pro předchozí varianty (vodivých stěn) vyhodnoť te průběh teploty po délce trubky v oblasti proudění v blízkosti stěny v podélném řezu příkazem "PLOT XY".
- Měňte okrajové podmínky na vstupu a teplotní podmínky pro stěnu definovanou jako vodivá oblast a tenkou stěnu stejné tloušťky, porovnejte výsledky.
- V Gambitu změňte tloušťku stěny  $\Delta x=5$ mm, definujte okrajové podmínky dle základní úlohy, porovnejte výsledky (průběhy teplot).

# 9.9.5. Proudění směsi dvou plynů (vzduch, oxid uhličitý), aplikace rovnice pro přenos hmotnostních zlomků příměsí

Příklady ke kapitole 9.6.

- Definujte větší množství oxidu uhličitého na vstupu (+5%) a menší množství (-5%), výsledky porovnejte se základní úlohou, vyhodnoť te průběh hmotnostního zlomku oxidu uhličitého v příčných a podélných řezech.
- Definujte oxid uhličitý na okrajové podmínce vstupu do oblasti (vstup vzduchu) ve variantách hmotnostního zlomku (5%, 10%, 15%), na výstupu z oblasti vyhodnoťte množství oxidu uhličitého, porovnejte proudové pole v příčných a podélných řezech.
- Z databáze materiálu ANSYS Fluentu12.1.4 vyberte jinou příměs, definujte stejné okrajové podmínky jak pro základní úlohu, výsledky porovnejte.
- Použijte dvě příměsí z databáze materiálu ANSYS Fluentu12.1.4, upravte směs v panelu materiálu, množství jednotlivých složek na vstupu definujte podle základní úlohy a výsledky vyhodnoťte.

### 9.9.6. Unášení pevných částic ve spojité fázi, definování diskrétní fáze

Příklady ke kapitole 9.7.

- Definujte jiný materiál pevných částic, hmotnostní průtok částic definujte dle základní úlohy, vyhodnoť te trajektorie pohybu pevných částic, porovnejte hustoty jednotlivých částic a srovnejte proudové pole v příčných a podélných řezech.
- Definujte různé možností uvolnění pevných částic v horní ploše před rozšířením (liniový a plošný zdroj).

• Definujte různé množství pevných částic různých materiálů a vyhodnoť te trajektorie pohybu částic v oblasti proudění.

# 9.9.7. Vícefázové proudění v oblasti s náhlým rozšířením, aplikace vícefázového matematického modelů Euler-Mixture

Příklady ke kapitole 9.8.

- Porovnejte vektorové a tlakové pole v podélném a příčném řezu oblasti pro jednotlivé varianty zadání základní úlohy (voda-vzduch, voda-olej, voda-tekutý křemík).
- Definujte sekundární fázi na celé vstupní ploše do oblasti ve stejném množství jak v případě základní úlohy.
- Vytvořte jinou směs, vyberte jiné média pro sekundární fázi tak aby měly podobnou hustotu jak média sekundární fáze v základní úloze, a výsledky porovnejte.
- Definujte vyšší a menší množství sekundárních fázi pro základní úlohu, porovnejte průběh objemových zlomků sekundární fáze v příčných a podélných řezech oblasti.