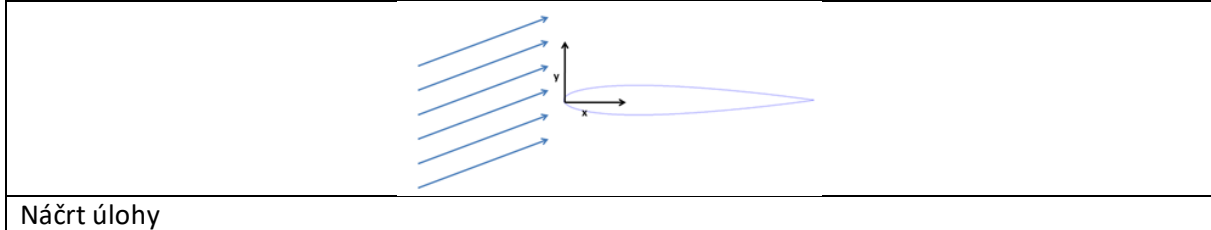


Simulácia prúdenia okolo profilu krídla – 2D

Na tomto príklade si ukážeme vytvorenie profilu krídla, vytvorenie štruktúrovanej siete a numerickú simuláciu prúdenia okolo profilu krídla NACA 0021 s dĺžkou tetivy 0,5m, pri uhloch nábehu $\alpha = 0^\circ$ a 8° , pri rýchlosti prúdu 20 m/s. Sledovať budeme základné aerodynamické parametre – koeficient vztlaku a odporu.

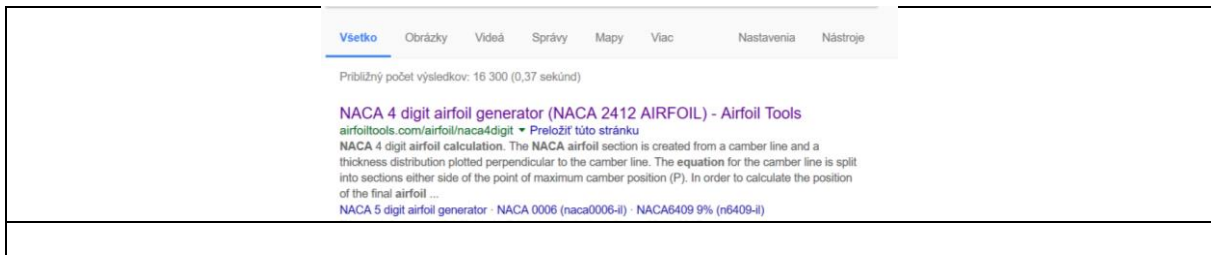


Náčrt úlohy

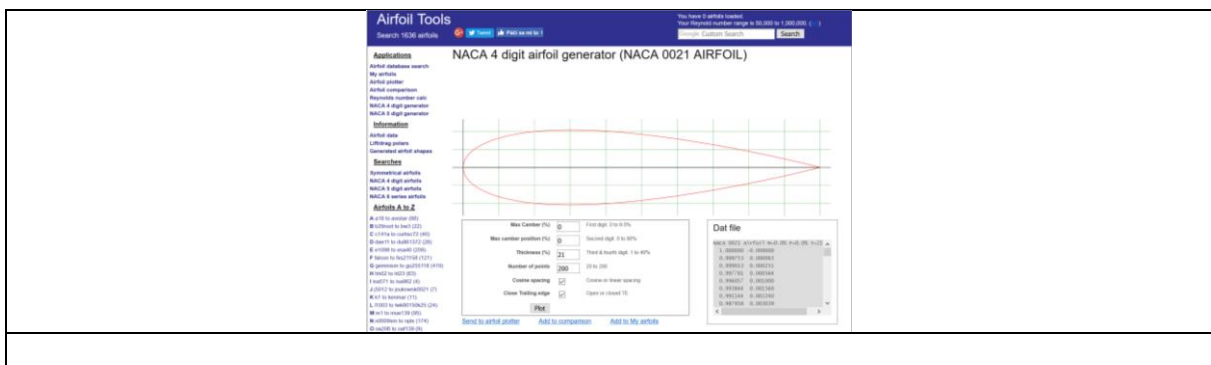
Vytvorenie geometrie

Otvoríme si ANSYS postupom už vyššie uvedeným. Spustíme ANSYS Workbench. Dvojklikom na Fluid Flow (Fluent) sa v pracovnom prostredí WB zobrazí tabuľka. Dvojklikom na Geometry sa spustí DM. Ako jednotky vyberieme metre. Ak nám program túto možnosť nedáva, ideme do roletového menu *Unit* a zaškrtneme metre. Vyberieme si 1. XYPlane, 2. kolmý pohľad na rovinu.

Potrebujeme si najprv vytvoriť dátový súbor s koordinátami profilu (x, y, z - súradnice). Tento súbor načítame do DM a vytvoríme 3D krivku, ktorá bude reprezentovať profil krídla. Zadáme do internetového vyhľadávачa napr. výraz „naca airfoil calculator“ a otvoríme si nasledovný odkaz vid' Obr. XXX



Otvorí sa nám NACA generátor, kde si vygenerujeme súradnice profilu. Do poľa pre *Max Camber (%)* napíšeme 0. Do poľa pre *Max camber position (%)* tiež dáme 0. Do poľa pre *Thickness (%)* napíšeme 21. Takto máme nadefinovaný profil 0021. Number of points dáme 200. Zaškrtneme *Cosine spacing* aj *Close Trailing edge*. Klikneme na *Plot*. Vpravo v okne *Dat file* sa nám vytvorí súradnice požadovaného súboru.



Označíme všetky údaje v okne *Dat file* a skopírujeme ich. Otvoríme Poznámkový blok (Notepad) a vložíme ich. Vymažeme prvý riadok, kde sú informácie o profile - NACA 0021 Airfoil M=0.0% P=0.0% T=21.0%. Súbor bude vyzeráť nasledovne, vid'. Obr. XXX.

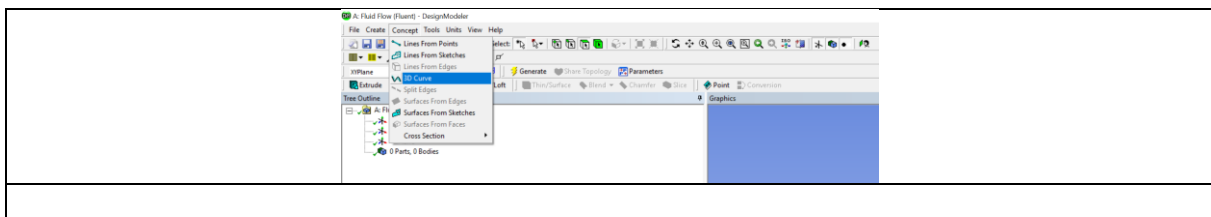
```

Bez názvu - Poznámkový blok
Súbor Úpravy Formát Zobrazení Nápověda
1. 0.000000 -0.000000
0.999753 0.000063
0.999013 0.000251
0.997781 0.000564
0.996057 0.001000
0.993844 0.001560
0.991144 0.002240
0.987958 0.003039
0.984292 0.003955
0.980147 0.004986
0.975528 0.006127
0.970440 0.007377
0.964888 0.008732
0.958877 0.010188
0.952414 0.011742
0.945503 0.013389
0.938153 0.015125
0.930371 0.016946
0.922164 0.018848
0.913540 0.020825
    
```

Tento súbor uložíme ako napr. NACA0021.txt a zavrieme. Otvoríme si program MS Excel, vyhľadáme uložený textový súbor a otvoríme ho. Pri otváraní v okne Oddelovače (Delimiters) zaškrtneme Medzera (Space). Vložíme dva riadky a jeden stĺpec. Na pozíciu A2 napíšeme #group, B2 #point, C2 #x_cord, D2 #y_cord, E2 #z_cord. Do stĺpca *group* vložíme číslo 1. Do stĺpca *point* dáme poradie od 1 do 200. Posledné číslo po 200 bude 0. Do stĺpca #z_cord dame 0. Výsledný súbor by mal vyzeráť nasledovne, vid' obr. XXX

	A	B	C	D	E	F
1						
2	#group	#point	#x_cord	#y_cord	#z_cord	
3	1	1	1.000000	-0.000000	0	
4	1	2	0.999753	0.000063	0	
5	1	3	0.999013	0.000251	0	
6	1	4	0.997781	0.000564	0	
7	1	5	0.996057	0.001000	0	
8	1	6	0.993844	0.001560	0	
9	1	7	0.991144	0.002240	0	
10	1	8	0.987958	0.003039	0	
11	1	9	0.984292	0.003955	0	
12	1	10	0.980147	0.004986	0	
13	1	11	0.975528	0.006127	0	
14	1	12	0.970440	0.007377	0	
15	1	13	0.964888	0.008732	0	
16	1	14	0.958877	0.010188	0	
17	1	15	0.952414	0.011742	0	
18	1	16	0.945503	0.013389	0	
19	1	17	0.938153	0.015125	0	
20	1	18	0.930371	0.016946	0	
184	1	182	0.913540	-0.020825	0	
185	1	183	0.922164	-0.018848	0	
186	1	184	0.930371	-0.016946	0	
187	1	185	0.938153	-0.015125	0	
188	1	186	0.945503	-0.013389	0	
189	1	187	0.952414	-0.011742	0	
190	1	188	0.958877	-0.010188	0	
191	1	189	0.964888	-0.008732	0	
192	1	190	0.970440	-0.007377	0	
193	1	191	0.975528	-0.006127	0	
194	1	192	0.980147	-0.004986	0	
195	1	193	0.984292	-0.003955	0	
196	1	194	0.987958	-0.003039	0	
197	1	195	0.991144	-0.002240	0	
198	1	196	0.993844	-0.001560	0	
199	1	197	0.996057	-0.001000	0	
200	1	198	0.997781	-0.000564	0	
201	1	199	0.999013	-0.000251	0	
202	1	200	0.999753	-0.000063	0	
203	1	0	1.000000	0.000000	0	
204						

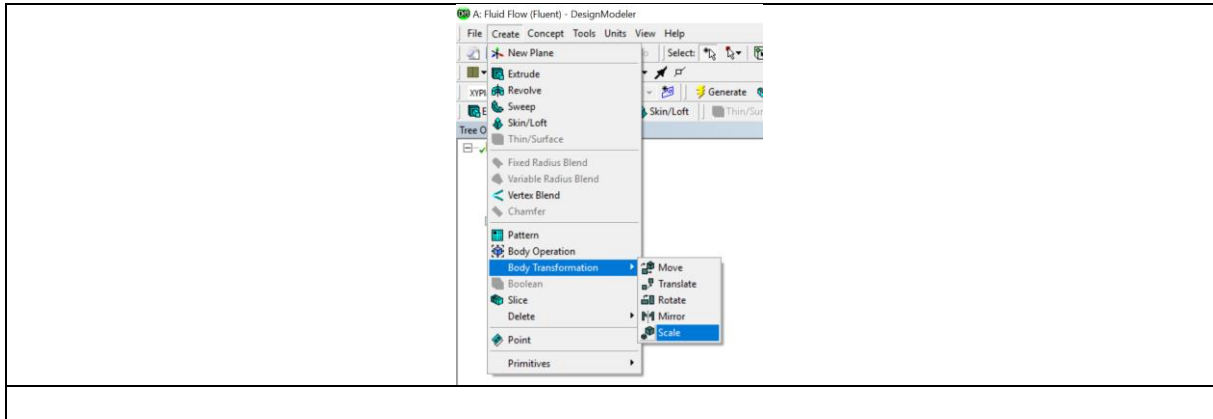
Súbor uložíme ako textový. V tejto chvíli sa môžeme vrátiť k programu Design Modeler. Z roletového menu vyberieme Concept>3D Curve.



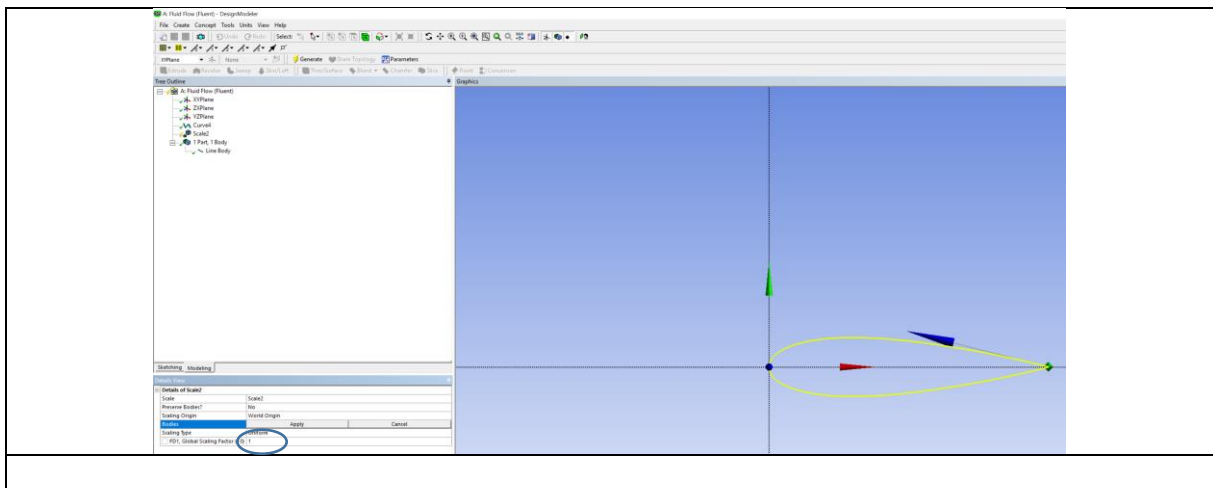
V okne Details View ľavým tlačidlom klikneme na žltým podsvietené Not selected pri Coordinates File a načítame uložený textový súbor NACA0021.txt. Po načítaní sa nám zobrazí krivka profilu svetlomodrou farbou. Klikneme na tlačidlo Generate a farba profilu sa zmení na sivú. Náš profil má

dĺžku tetivy 1 m. Vzhľadom k tomu, že v zadaní úlohy máme určenú dĺžku profilu 0,5 m, je potrebné tento adekvátne zmenšiť.

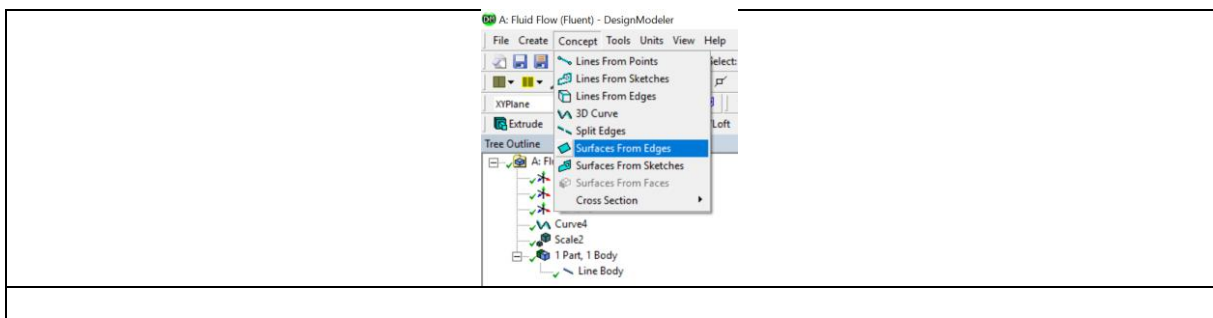
Z roletového menu vyberáme *Create>Body Transformation>Scale* vid'. Obr. XXX.



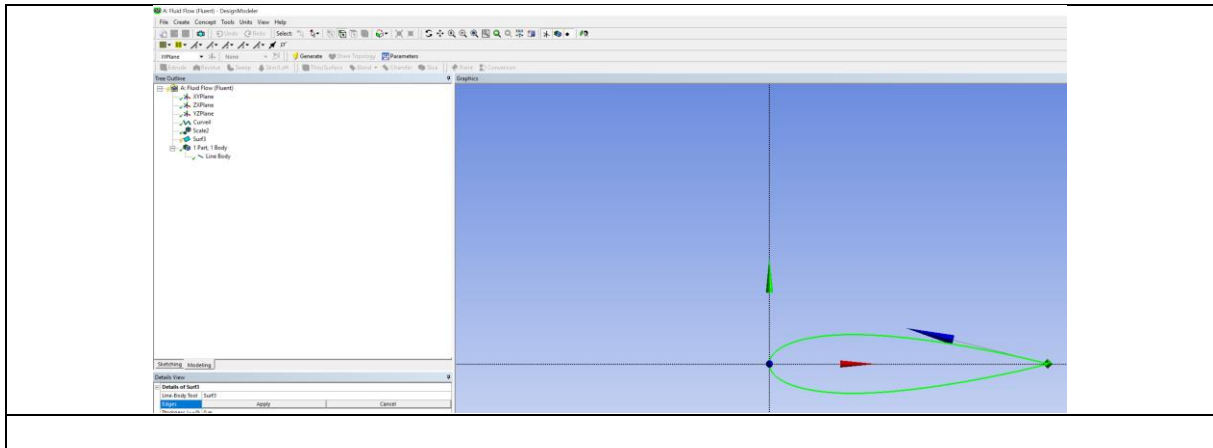
Priložíme kurzor myši na krivku profilu a ľavým tlačidlom na ňu klikneme. Zmení sa farba na žltú. V okne Details View ľavým tlačidlom klikneme na Apply pri Bodies.



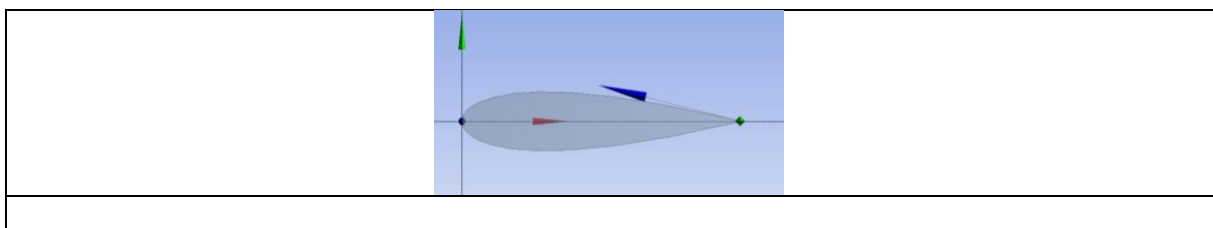
Do políčka ku Global Scaling Factor namiesto 1, napíšeme 0,5, čím zabezpečíme zmenšenie celého profilu na polovicu. Klikneme na Generate. Nasledujúci krok je vytvorenie plochy z krivky, čo urobíme nasledovne. Z roletového menu vyberáme *Concept>Surface From Edges*.



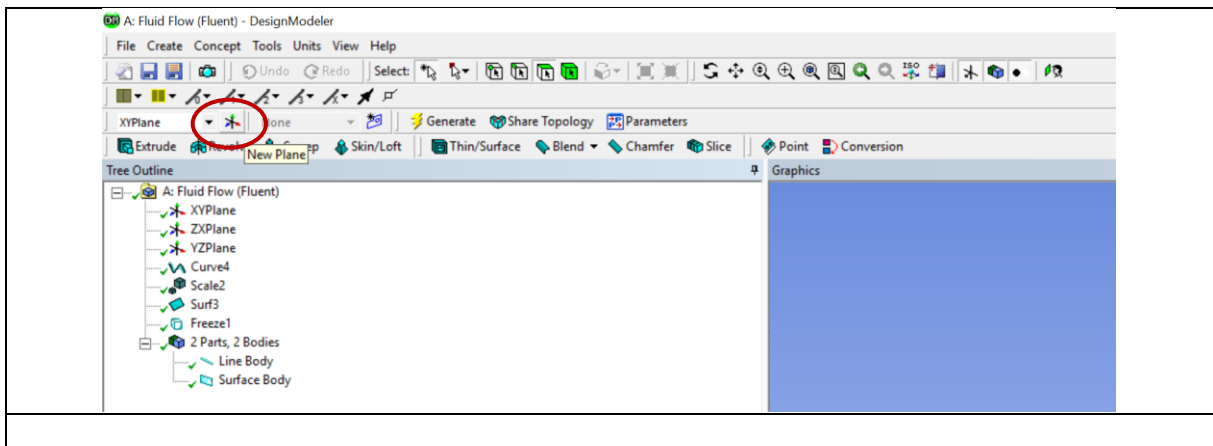
Priložíme kurzor myši na krivku profilu a ľavým tlačidlom na ňu klikneme. Zmení sa farba na zelenú. V okne Details View ľavým tlačidlom klikneme na Apply pri Edges.



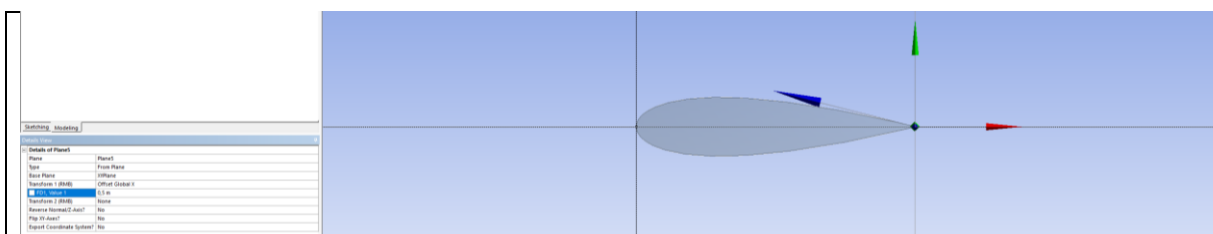
Klikneme na tlačidlo Generate a vytvorí sa nám šedá plocha profilu krídla vid' obr.XXX.



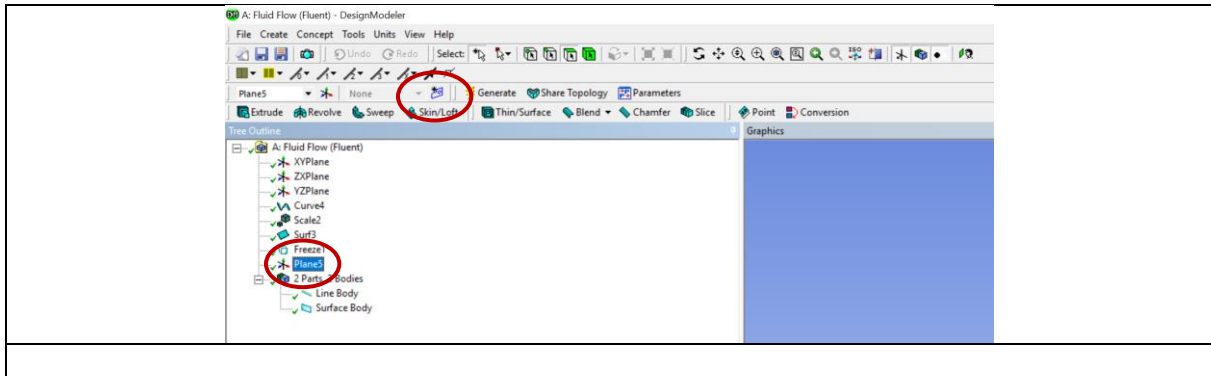
Nasleduje vytvorenie tzv. domény, čiže priestoru prúdenia vzduchu. Aby sa nám dve plochy, tj. priestor prúdenia a plocha profilu vzájomne neovplyvňovali, použijeme príkaz z roletového menu *Tools>Freeze*. Vytvoríme si teraz novú rovinu s počiatkom súradnicového systému, ktorý bude v odtokovom bode profilu krídla. To zrealizujeme tak, že klikneme na ikonu tlačidla *New Plane*.



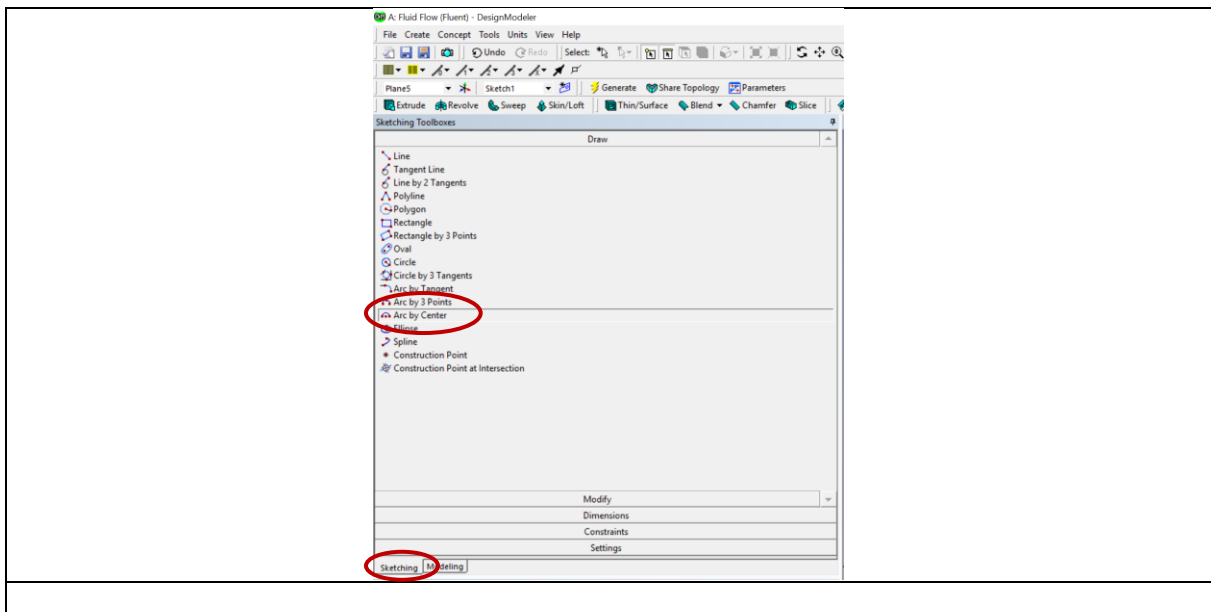
V okne Details View pri Transform1 nastavíme Offset Global X a pri políčku FD1, Value 1 napíšeme 0,5. Týmto sme vytvorili novú rovinu so súradnicovým systémom, ktorý je oproti pôvodnému posunutý v smere osi x o 0,5 m. Potvrdiť to je potrebné kliknutím na tlačidlo Generate.



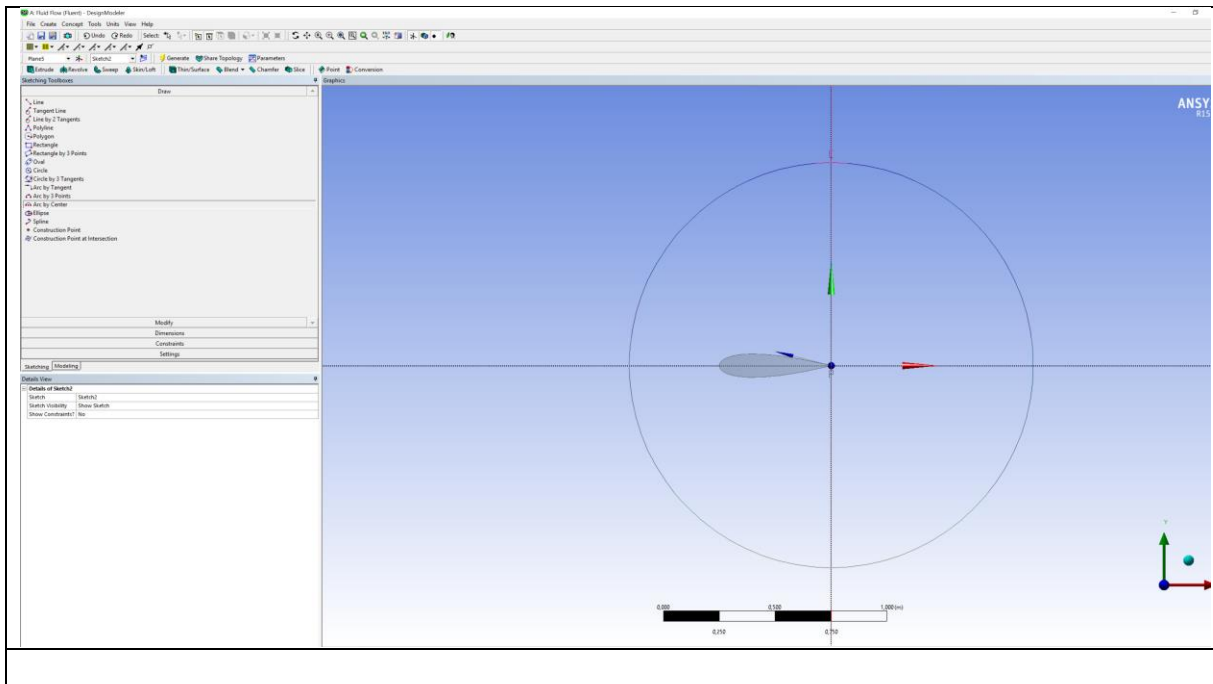
V Tree Outline klikneme najprv na novovytvorenú rovinu Plane 5 a potom klikneme na tlačidlo New Sketch.



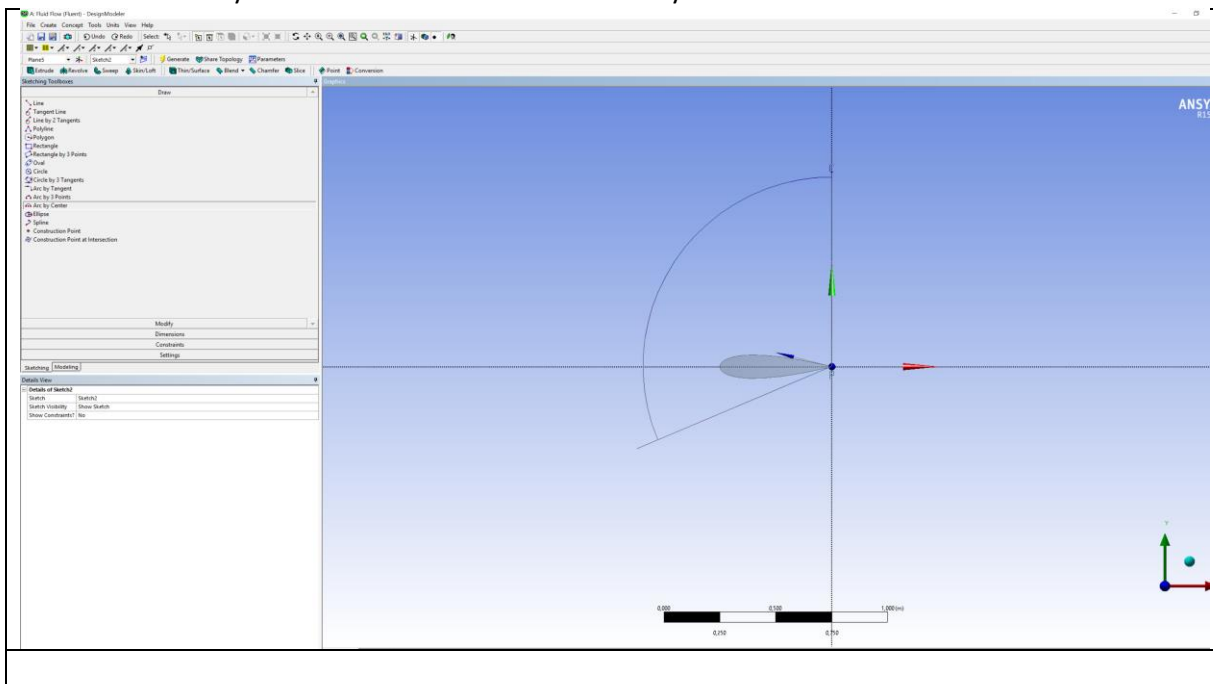
Prepneme sa na záložku Sketching a vyberiem si z ponuky kreslenia Arc by Center.



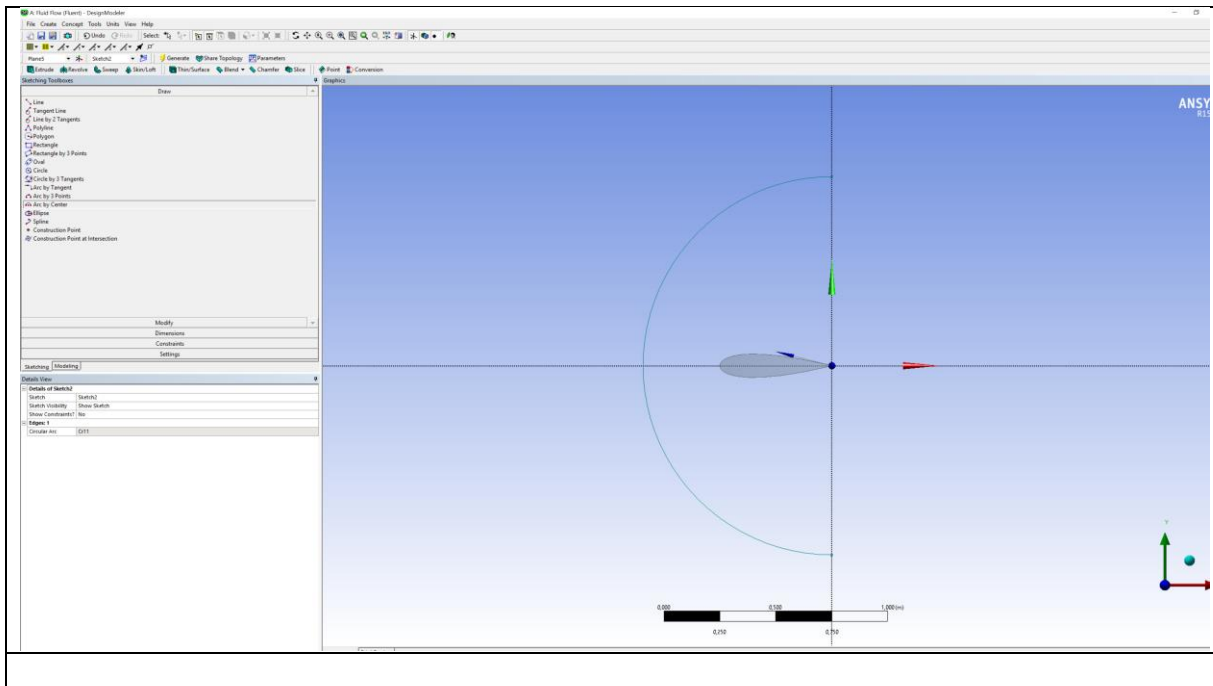
Nastavíme sa do stredu súradnicového systému klikneme ľavým tlačidlom myši a ťaháme kurzor myši po osi y nahor. Popri osi sa nám zobrazuje písmeno C a vidíme tvar kružnice.



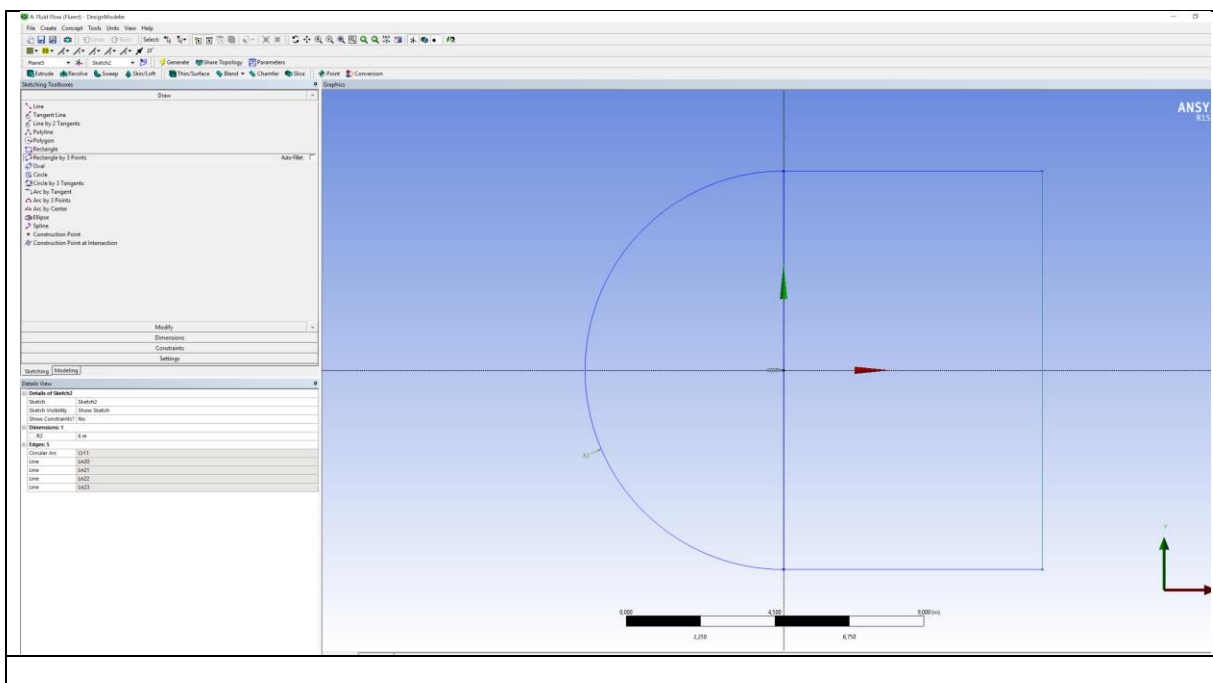
Odklikneme na osi y na ľubovoľnom mieste a ťaháme myšku doľava a nadol.



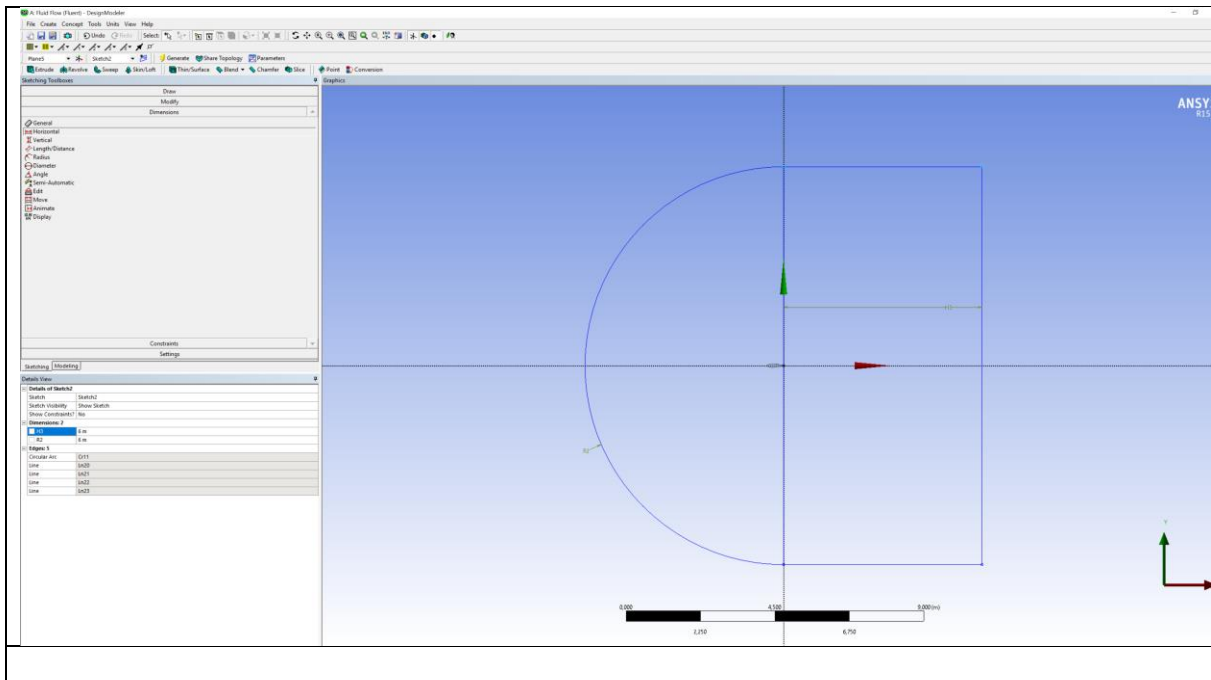
Dostaneme sa na os y pod súradnicovým systémom, znova sa objaví písmeno C a odklikneme a vytvoríme tak poloblúk.



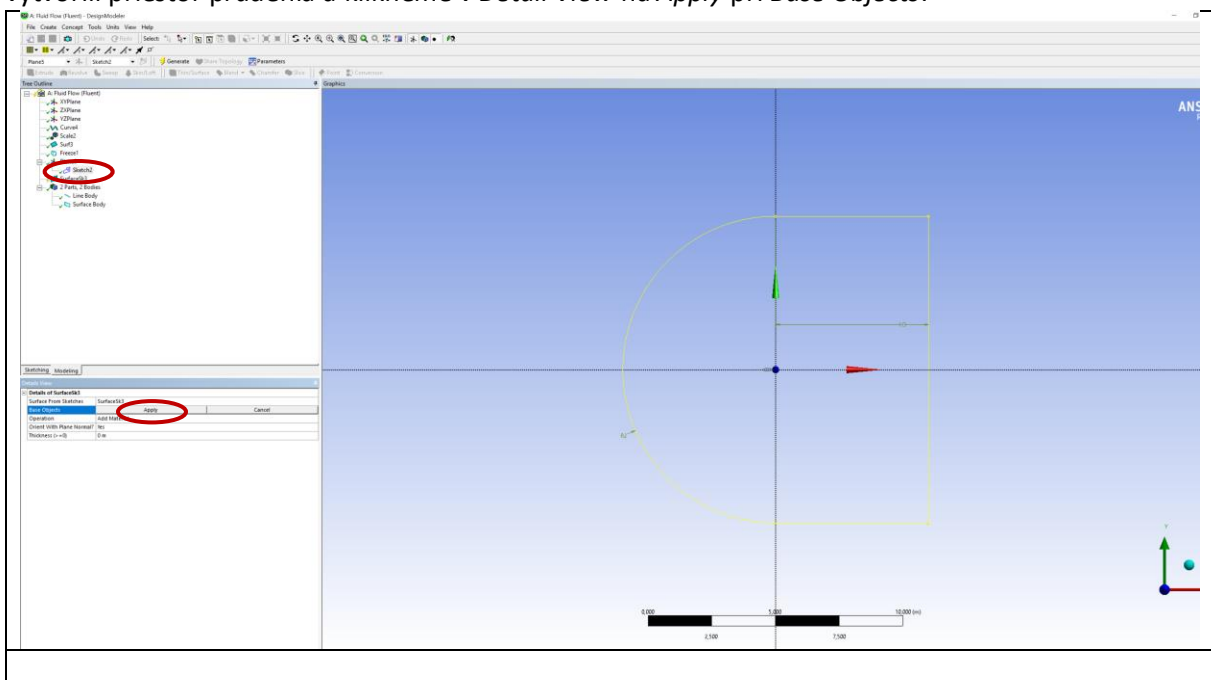
Prepneme sa zo záložky *Draw* do záložky *Dimensions*. Vyberieme *Radius* a klikneme na poloblúk. Klikneme ľubovoľne do priestoru kreslenia. V okne *Details View* dáme polomer 6 m pri *Dimensions 1*, *R1*. Prepneme sa do záložky *Draw* a zvolíme *Rectangle by 3 Points*. Kurzorom myši sa priblížime k hornému bodu na osi y, pokiaľ sa objaví písmeno P, odklikneme. Ťaháme kurzor k dolnému bodu na osi y pokiaľ sa objaví písmeno P, odklikneme. Ťaháme kurzor doprava a ľubovoľne v priestore kreslenia odklikneme. Nakreslený obrázok vyzerá nasledovne.



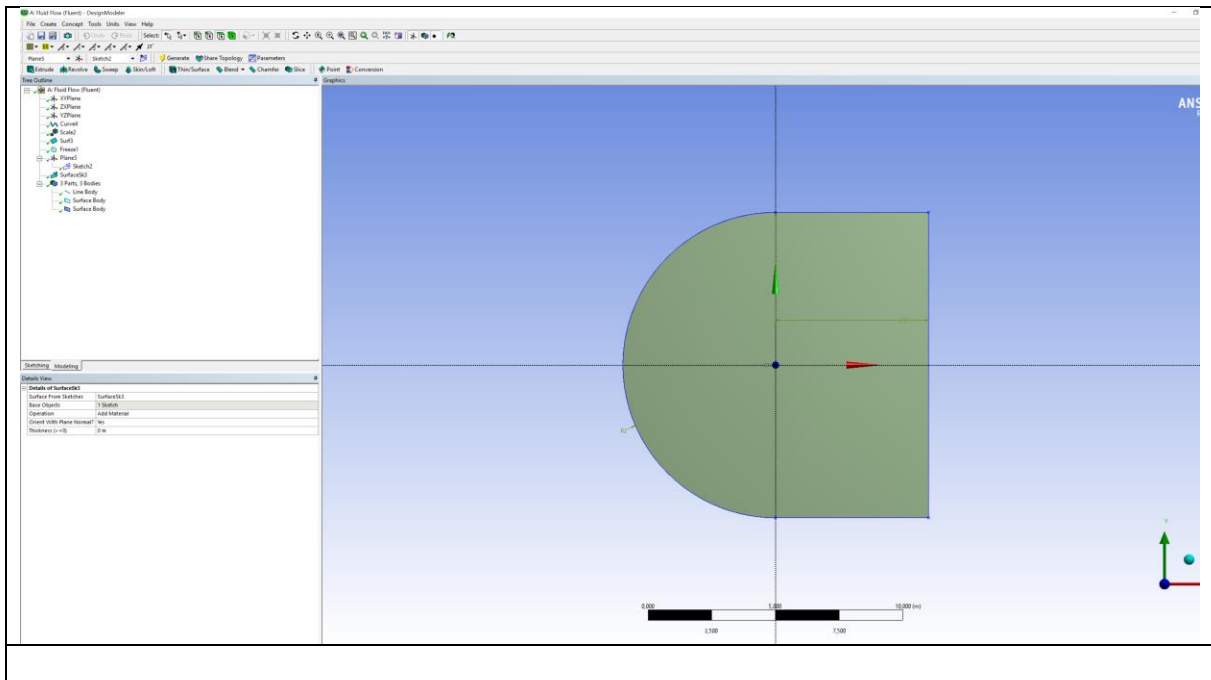
Ešte nie je zakótovaná vzdialenosť medzi osou y a vertikálou na pravej strane. Prepneme sa zo záložky *Draw* do záložky *Dimensions*. Vyberáme *Horizontal* a klikneme na os y a vertikálu na pravej strane. Odklikneme kdekoľvek v priestore kreslenia. Zadáme dĺžku 6m.



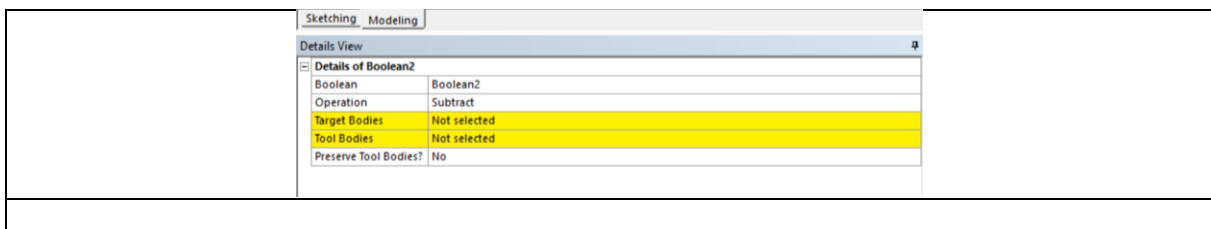
Odstránime pre nás v tejto chvíli vertikálne čiary, ktoré sa prekrývajú s osou y. Prepne sa zo záložky *Dimensions* do záložky *Modify*. Zvolíme *Trim* a klikneme na vrchnú a na spodnú čiaru, ktorá prekrýva os y. Tieto čiary sa stratia. Môžeme teraz vytvoriť plochu prúdenia. Z roletového menu vyberáme *Concept>Surface from Sketches*. V stromovom menu *Tree Outline* klikneme na *Sketch* ktorým sme vytvorili priestor prúdenia a klikneme v *Detail View* na *Apply* pri *Base Objects*.



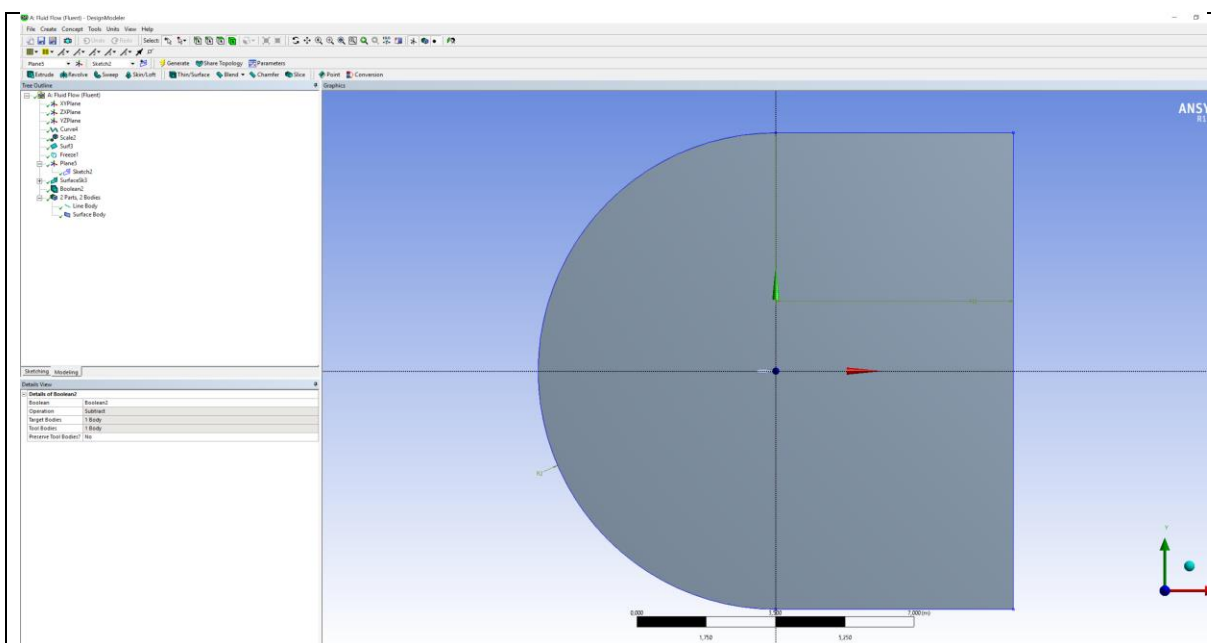
Klikneme na tlačidlo *Generate*. Mali by sme mať nasledovný obrázok



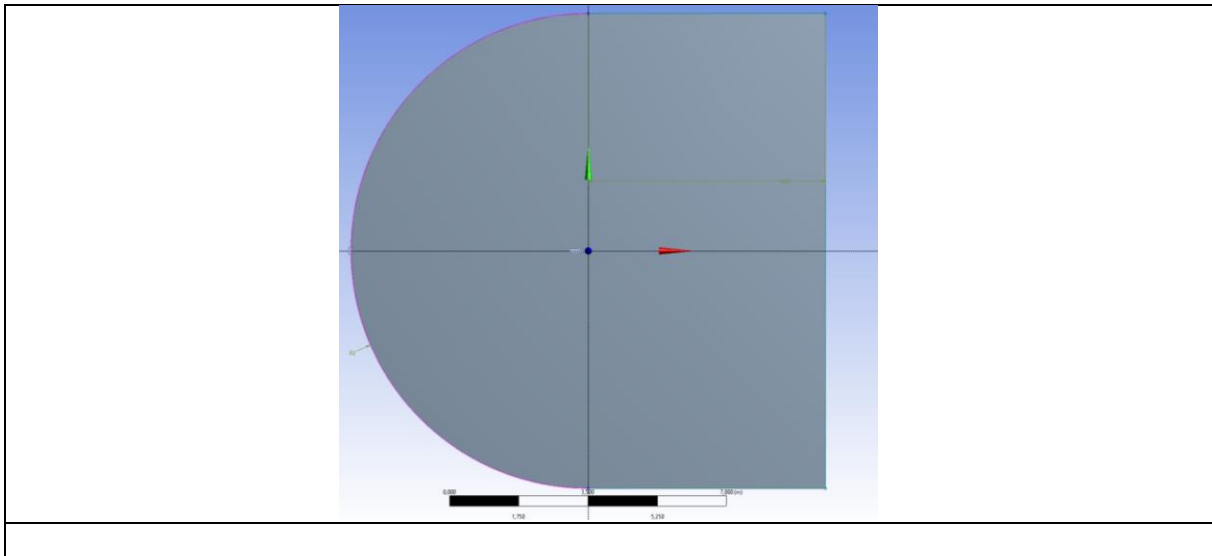
V nasledujúcom kroku urobíme prienik dvoch plôch a z domény vlastne vyrežeme plochu profilu. Prepne sa na záložku *Modeling*. Z roletového menu vyberáme *Create>Boolean* a v *Details View* klikneme vedľa poľa *Operation* a vyberieme *Subtract*.



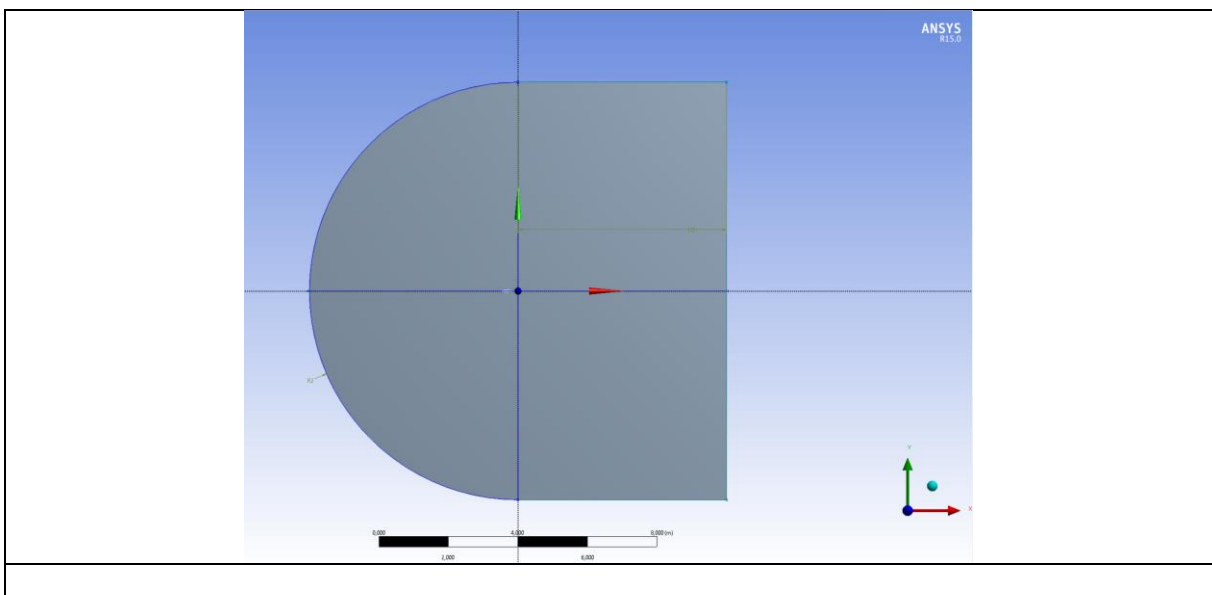
Klikneme do poľa vedľa *Target Bodies* a vyberieme plochu domény. Klikneme na *Apply*. Klikneme do poľa vedľa *Tool Bodies* a vyberieme plochu profilu. Klikneme na *Apply* a na *Generate*. Výsledný obrázok by mal vyzeráť nasledovne.



Nasleduje posledný krok v tvorbe geometrie, ktorým je rozdelenie domény na kvadranty. Toto nám uľahčí vytvorenie mriežky. Zvolíme vytvorenú rovinu v *Tree Outline* a klikneme na ikonu tlačidla *New Sketch*. Prepne sa na záložku *Sketching*, kde sa otvoria nástroje pre 2D kreslenie. V menu kreslenia vyberieme príkaz priamka *Line*. Nakreslíme na osiach jednu vodorovnú a zvislú čiaru. Priblížime sa kurzorom k osi x, kde táto pretína poloblúk. Pri osi je písmeno C a poloblúk zmení farbu na červenú. Klikneme a ťaháme čiaru cez doménu po osi x k pravej zvislej čiare, pokiaľ táto zmení farbu na červenú. Odklikneme.

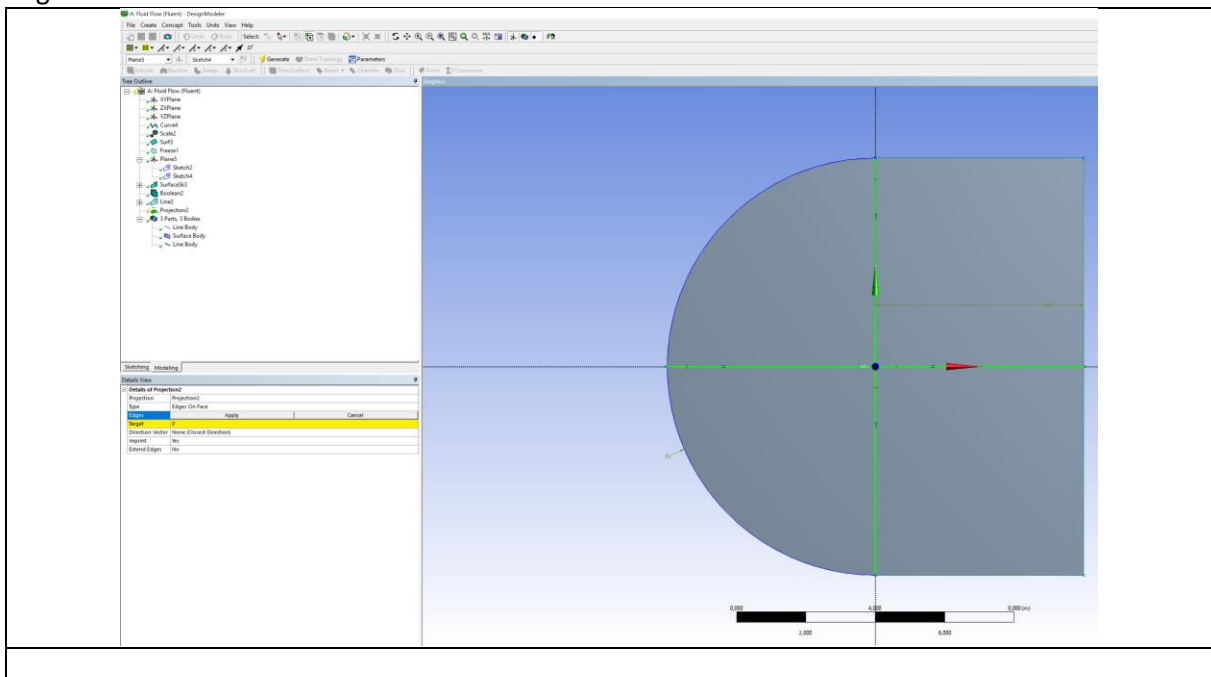


To isté urobíme zhora nadol. Tu je to jednoduchšie, lebo na osi y máme horný aj dolný bod, kde os pretína doménu. Výsledný obrázok má vyzerať nasledovne.

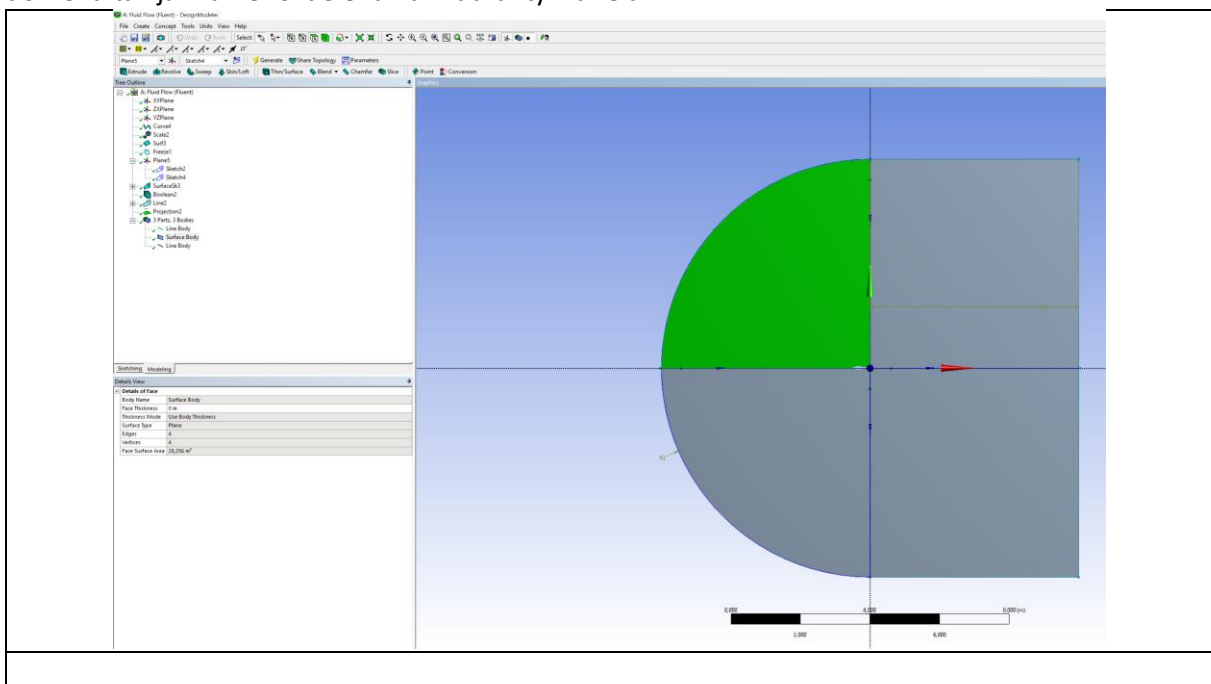


Prepne sa na záložku *Modeling* a z roletového menu vyberáme *Concept>Lines from Sketches*. Vyberiem *Sketch* kde sú vytvorené 2 čiary a v *Details View* klikneme na *Apply* pri *Base Objects*. Klikneme na tlačidlo *Generate*. Urobíme projekciu týchto čiar do domény. Vyberieme z roletového menu

Tools>Projection. Klikneme pomocou pomocou CTRL na 4 čiary a v Details View stlačíme Apply pri Edges.



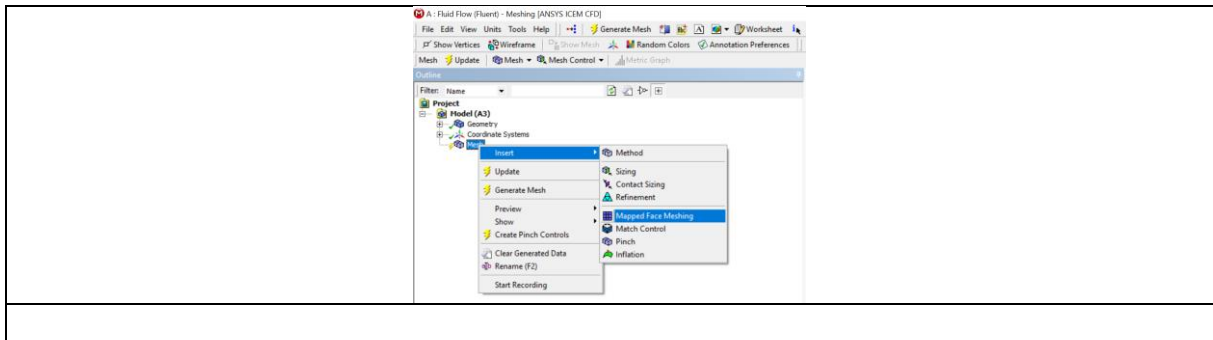
Označíme doménu a v Details View stlačíme Apply pri Target. Klikneme na Generate. Keď klikneme na doménu tak ju máme rozdelenú na kvadranty vid'. Obr XXX.



V Tree Outline vidíme že máme vytvorené 2 Line Body a 1 Surface Body. Nám do ďalšej práce postačuje doména (surface body), prebytočné časti odstránime. Vyberáme z roletového menu Create>Delete>Body Delete. Z Tree Outline vyberiem obidve Line Body (pomocou CTRL) a stlačíme tlačidlo Apply pri Bodies v Detail View. Generate. Týmto je časť tvorby geometria ukončená.

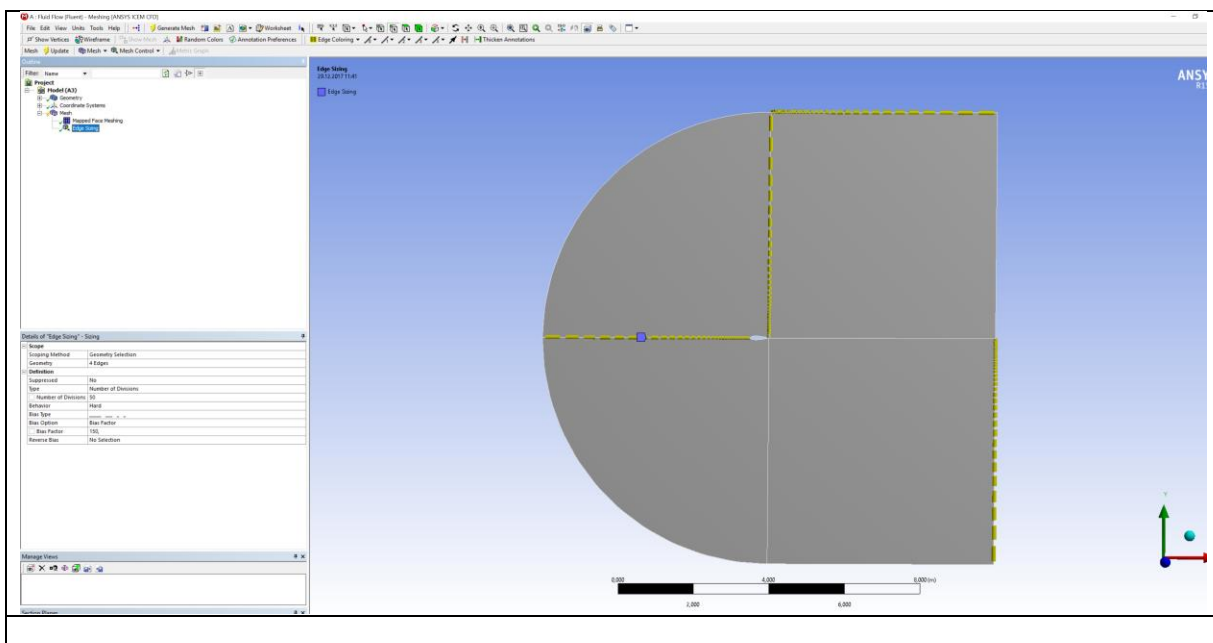
Vytvorenie výpočtovej siete

V prostredí ANSYS Workbench dvojklikom na *Mesh* sa spustíme program Meshing. Začneme príkazom na vytvorenie štruktúrovanej siete. V okne *Outline* klikneme na *Mesh*, vyvoláme kontextovú ponuku, vyberieme *Insert>Mapped Face Meshing*, vid' (obr. XXX)

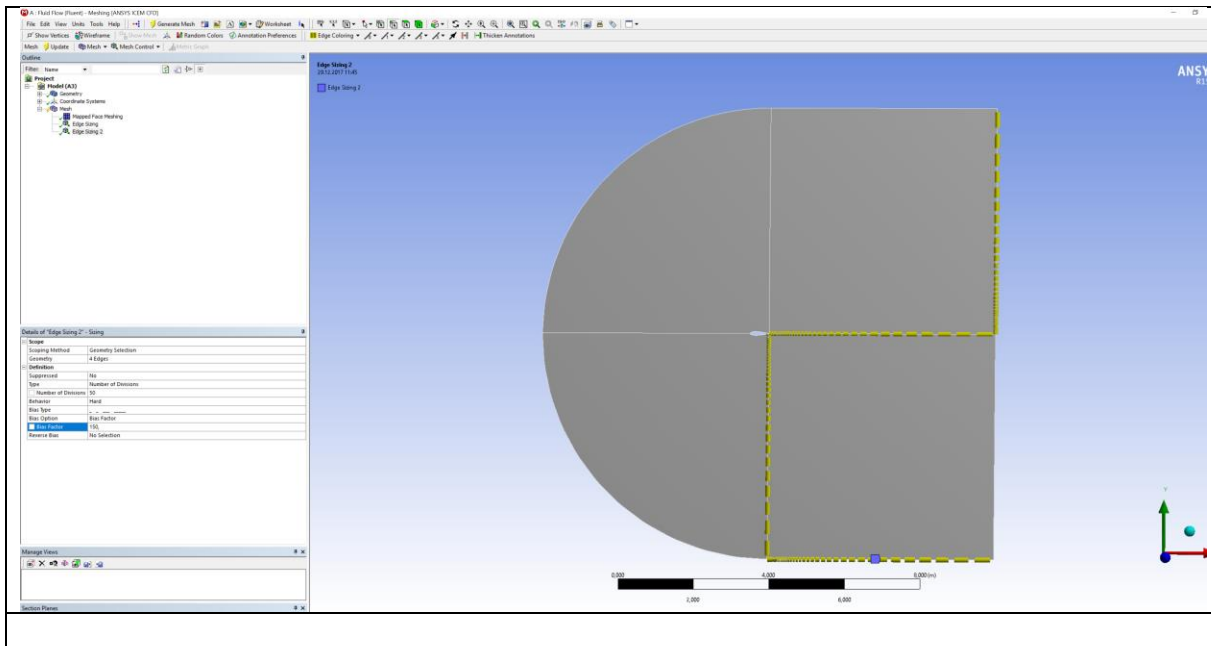


Vyberieme všetky kvadranty domény (CTRL) a klikneme na tlačidlo *Apply* pri poli *Geometry* v *Details of*. Doména je sfarbená na modro. V tejto chvíli ak by sme nechali vygenerovať sieť, bola by štruktúrovaná ale podľa algoritmu softvéru a nám nemusí vyhovovať. Z toho dôvodu my určíme počet buniek na hranách kvadrantov aj zahusenie siete smerom k profilu.

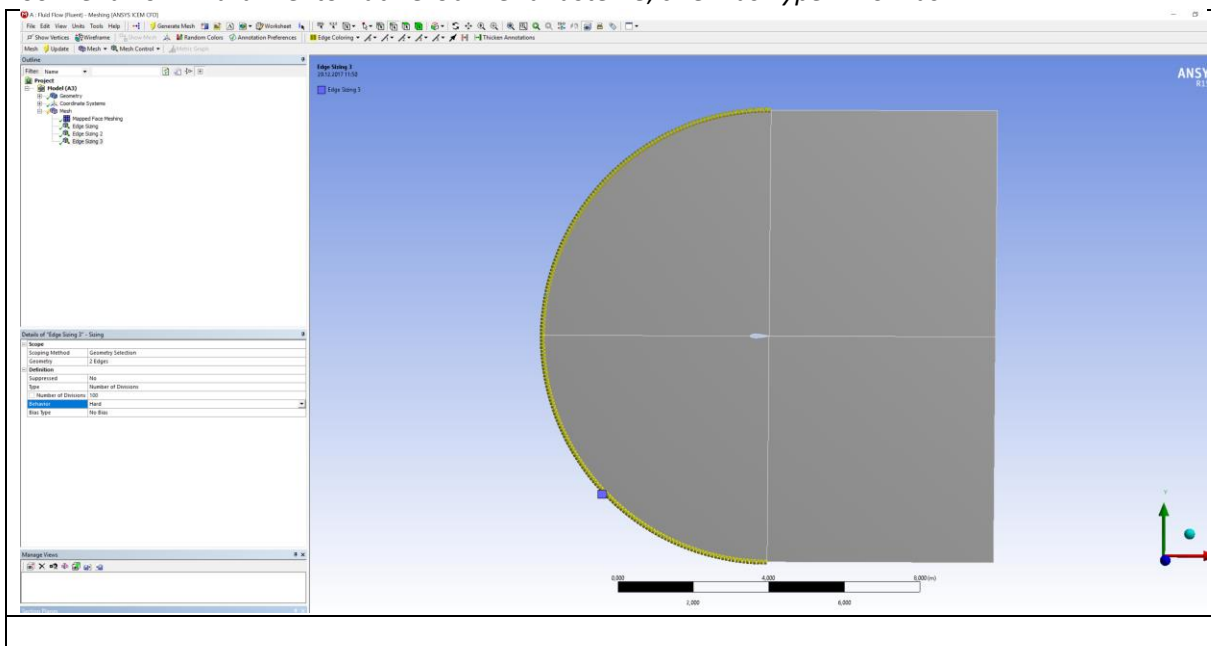
Obdobným spôsobom ako je vyššie uvedené v okne *Outline* klikneme na *Mesh*, vyvoláme kontextovú ponuku, vyberieme *Insert>Sizing*. Vyberieme 4 hrany podľa obrázka a klikneme na tlačidlo *Apply* pri poli *Geometry* v *Details of*. (Tento postup môžeme robiť aj pre každú hranu osobitne, čiže nemusíme naraz 4). V okne *Details of* pri poli *Type* vyberieme *Number of Divisions*. Znamená to, že sme stanovili, že hrana bude rozdelená na určitý počet úsekov (počet buniek na hrane). Vedľa poľa *Number of Divisions* dáme 50. Vedľa poľa *Behavior* nastavíme *Hard*. Znamená to, že to bude presne určený počet buniek. Ak by sme ponechali *Soft*, tak softvér to berie ako približnú hodnotu počtu buniek. V poli pri *Bias Type* zvolíme *----- - - - -*. Znamená to zhutnenie buniek na jednom smerom. Do poľa vedľa *Bias Factor* dáme 150. Znamená to nárast (pokles) veľkosti bunky na hrane s uvedeným faktorom.



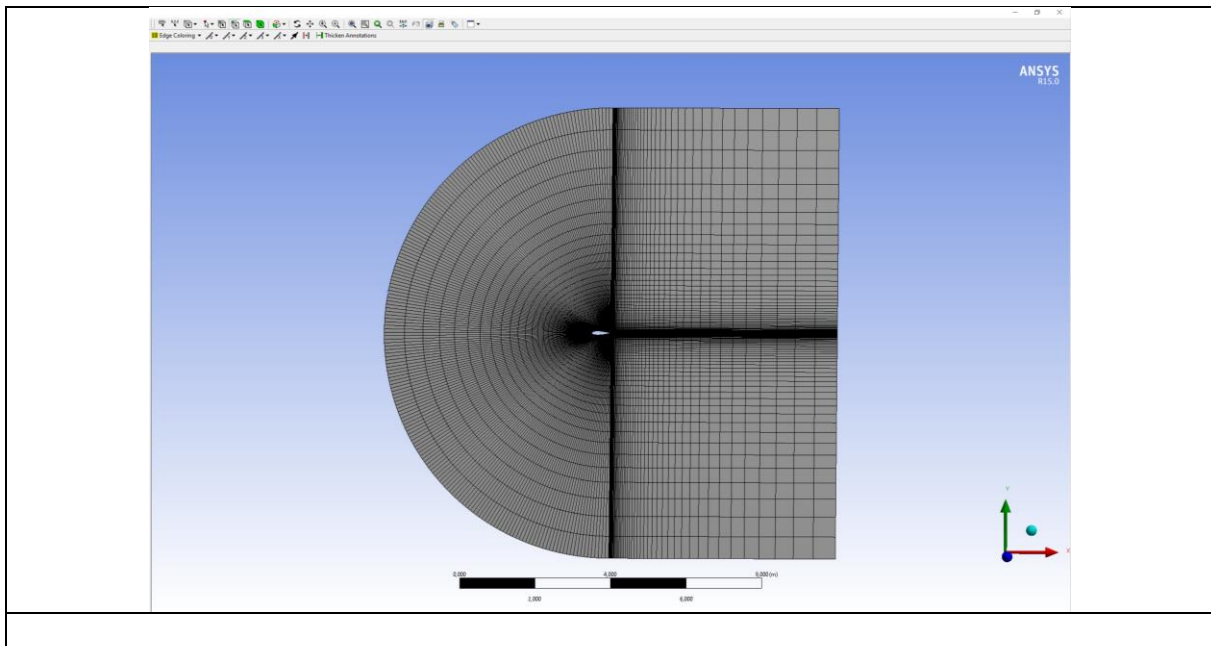
Postup opakujeme, čiže v okne *Outline* klikneme na *Mesh*, vyvoláme kontextovú ponuku, vyberieme *Insert>Sizing* a vyberieme ďalšie hrany podľa obrázka a klikneme na tlačidlo *Apply* pri poli *Geometry* v *Details of*. Nastavenie rovnaké až na *Bias Type*. Ten bude *- - - - -*.



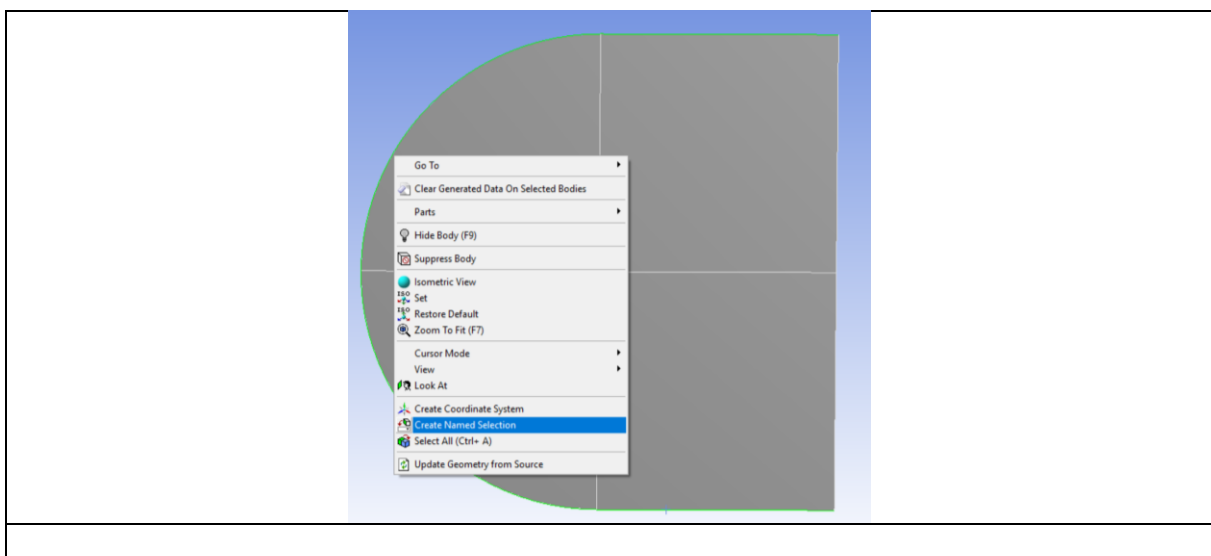
Ostali nám ešte hrany poloblúka, takže opäť v okne *Outline* klikneme na *Mesh*, vyvoláme kontextovú ponuku, vyberieme *Insert>Sizing* a vyberieme hrany poloblúka. Vedľa poľa *Number of Divisions* dáme 100. *Behavior* – *Hard*. Tentokrát nerobíme zahusťovanie, čiže *Bias Type* – *No Bias*.



Odklikneme *Generate Mesh* a po kliknutí na *Mesh* v okne *Outline* by sme mali vidieť nasledovnú sieť.

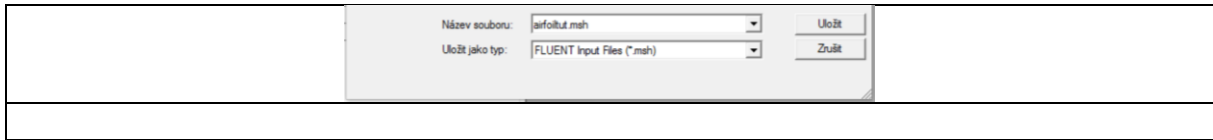


Sieť je vytvorená a je potrebné určiť okrajové podmienky. Klikneme postupne na obidve hrany poloblúka, spodnú aj hornú vodorovnú čiaru a vyvoláme kontextovú ponuku. Odtiaľ vyberieme *Create Named Selection*.



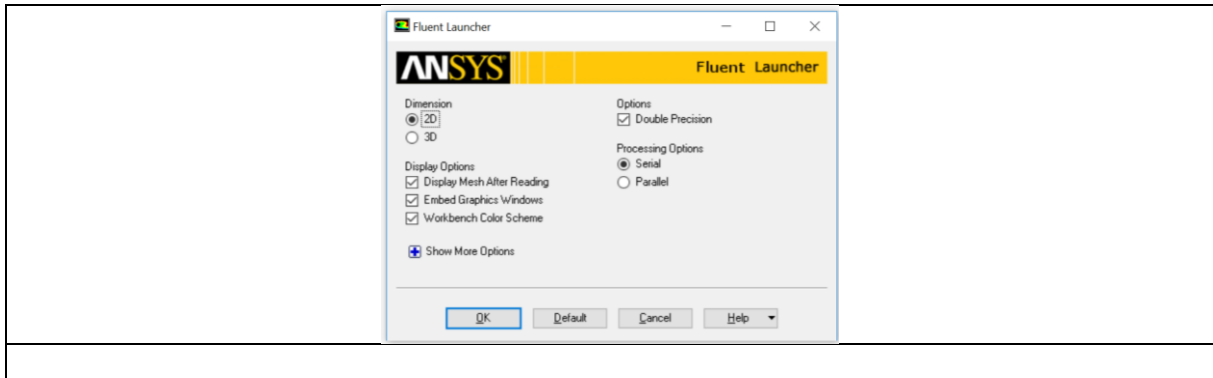
Tadiaľ bude prúd vzduchu vchádzať do domény stanovenou rýchlosťou, čiže to bude okrajová podmienka – rýchlostný vstup. Do poľa pre *Selection Name* píšeme *Velocity Inlet*. Postup opakujeme. Dve zvislé čiary na konci domény označíme ako tlakový výstup, čiže napíšeme do poľa pre *Selection Name* – *Pressure Outlet*. Ďalej si obdobným spôsobom označíme spodnú hranu profilu ako *wall_PS*. PS bude znamenať tlakovú hranu (Pressure Side). Hornú časť profilu označíme ako *wall_SS*, čo znamená sacia hrana (Suction Side). Sieť máme vytvorenú a sme pripravená na nastavenie a spustenie simulácií. V tejto chvíli máme na výber či sa vrátíme do ANSYS Workbench a dvojklikom na *Setup* (predtým je potrebné kliknúť na *Update Project*), alebo vyexportovať súbor *.msh a načítať ho do programu ANSYS Fluent.

Na základe skúseností odporúčam druhu možnosť a to v programe *Meshing*, vyberieme z roletového menu *File>Export*. Súbor si ľubovoľne pomenujeme ale uložíme ho ako typ: FLUENT Input Files (*.msh).

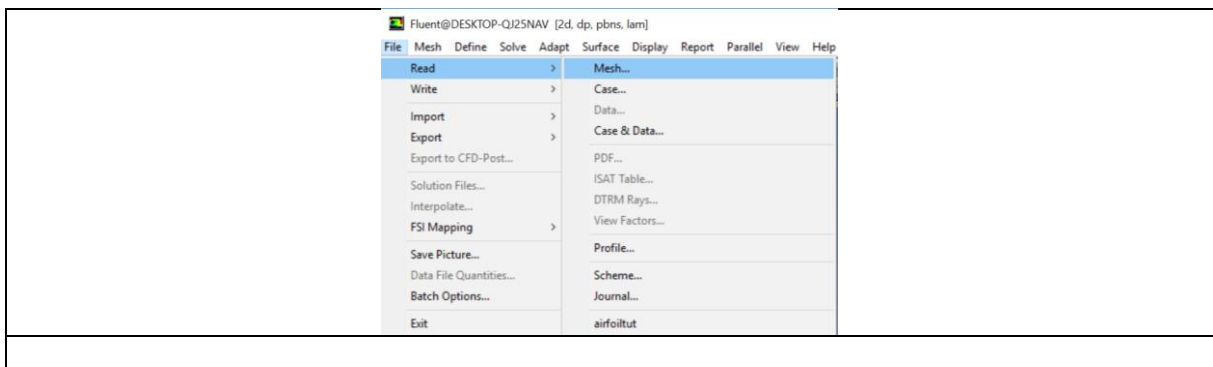


Nastavenie a spustenie simulácie

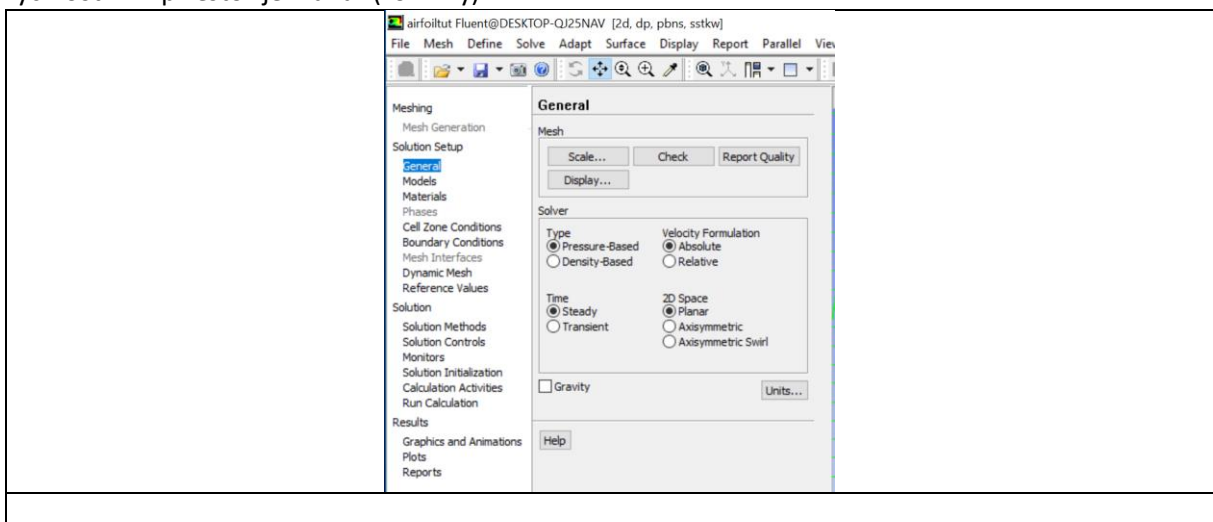
Otvoríme si program ANSYS Fluent. V otváracom okne označíme Dimension – 2D a pri Options – Double Precision.



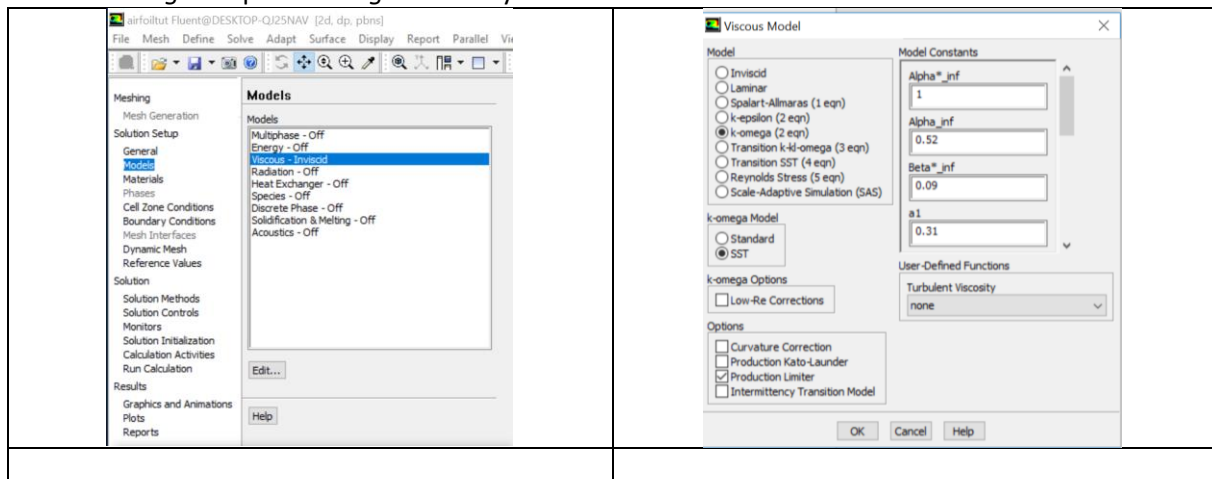
Z roletového menu vyberáme príkaz File>Read>Mesh a načítame vytvorený súbor.



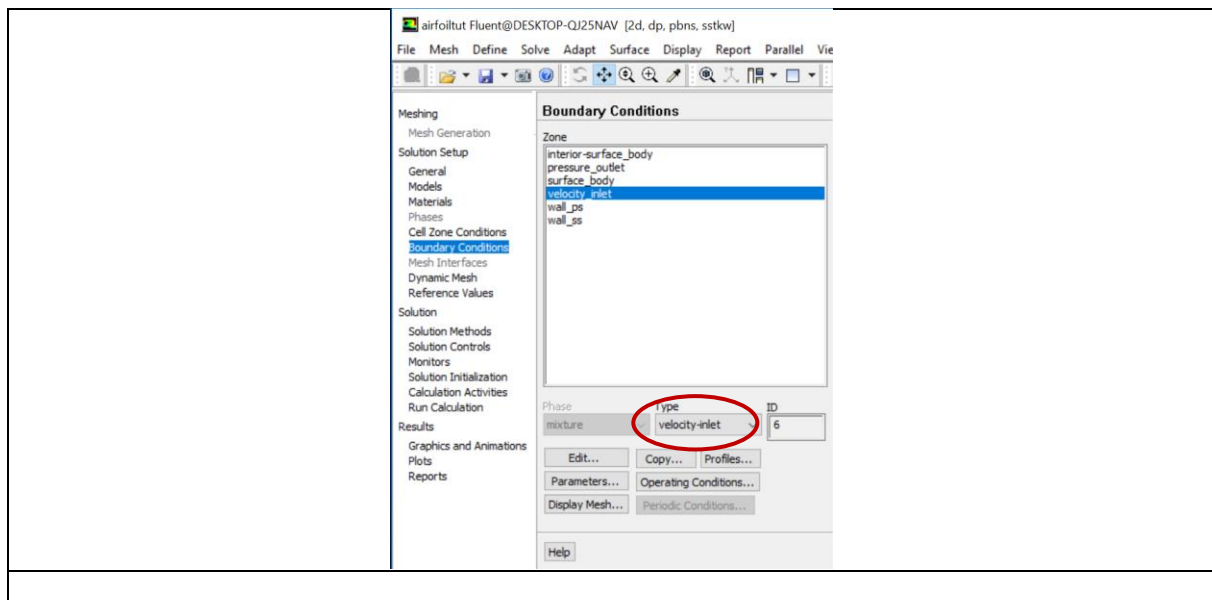
Nastavíme teraz simuláciu. Klikneme na *General* pod *Solution Setup*. Tu ponecháme všetky nastavenia ako sú. Solver (riešič) bude *Pressure Based*. Budeme riešiť stacionárnu úlohu s absolútnou formuláciou rýchlosti. 2D priestor je Planar (rovinný).



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



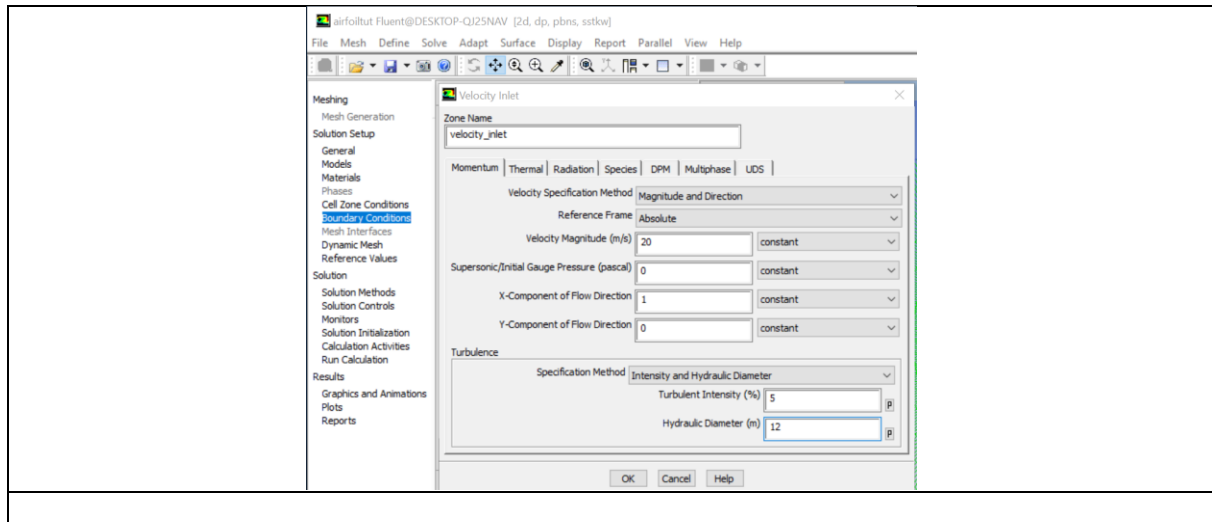
Nastavíme sa na *Materials*. Vzhľadom k tomu, že je ako *Fluid* prednastavený vzduch (*Air*) nepotrebuje nič nastavovať a nič nebudeme meniť ani v *Cell Zone Conditions*. Kliknutím na *Boundary Conditions* sa nám v okne *Zone* zobrazia okrajové podmienky, ktoré sme definovali v ešte v programe *Meshing*. Je vhodné skontrolovať či pod *Type* je vysvietená požadovaná okrajová podmienka. Ak to tak nie je, tak je to tu potrebné zmeniť, kliknutím a vybratím správnej. Čiže *velocity inlet* – *velocity inlet*, *pressure outlet* – *pressure outlet*, *wall_ps* – *wall* a *wall_ps* – *wall*. Okrem definovaných okrajových podmienok sa nám objavili ďalšie okrajové podmienky, ktoré vyjadrujú interiér, čiže vnútro priestoru prúdenia a nijakým spôsobom neovplyvňujú prúdenie. *Interior-surface_body* je vnútro domény a *surface_body* sú štyri priamky, ktorými sme doménu delili na kvadranty.



Klikneme na *velocity inlet* a stlačíme *Edit....* Otvorí sa okno *Velocity Inlet*. V tejto úlohe budem pracovať len s možnosťami na záložke *Momentum*. Klikneme na roletové menu pri *Velocity Specification Method* a vyberieme *Magnitude and Direction*. To znamená, že stanovíme rýchlosť a smer prúdenia na profil. Do okna *Velocity Magnitude* (m/s) napíšeme 20. *Supersonic/Initial Gauge Pressure* (pascal) sa nás netýka, pretože neriešime stlačiteľnosť. Smer prúdenia na profil, teda uhol nábehu zadefinujeme pomocou nasledovných dvoch okien. Do okna *X-Component of Flow Direction* vpišeme kosínus uhla nábehu. V našom prípade je uhol nábehu 0° , teda vpišeme 1, pretože $\cos 0^\circ = 1$. Do okna *Y-Component*

of *Flow Direction* vpíšeme sínus uhla nábehu. V našom prípade je uhol nábehu 0° , teda vpíšeme 0, pretože $\sin 0^\circ = 0$.

V sekcii *Turbulence* je ešte potrebné nastaviť *Specification Method*. Klikneme na rolovacie menu a vyberieme *Intensity and Hydraulic Diameter*. Intenzita turbulencia sa pri modelovaní prúdenia na veterných zariadeniach stanovuje maximálne na 15%. V našom prípade môžeme ponechať 5%. *Hydraulic diameter* (hydraulický priemer) pri 2D simuláciách, je rovný šírke domény, čo je u nás 12 m. Okrajovú podmienku rýchlostného vstupu máme nastavenú, klikneme tlačidlo *OK*.

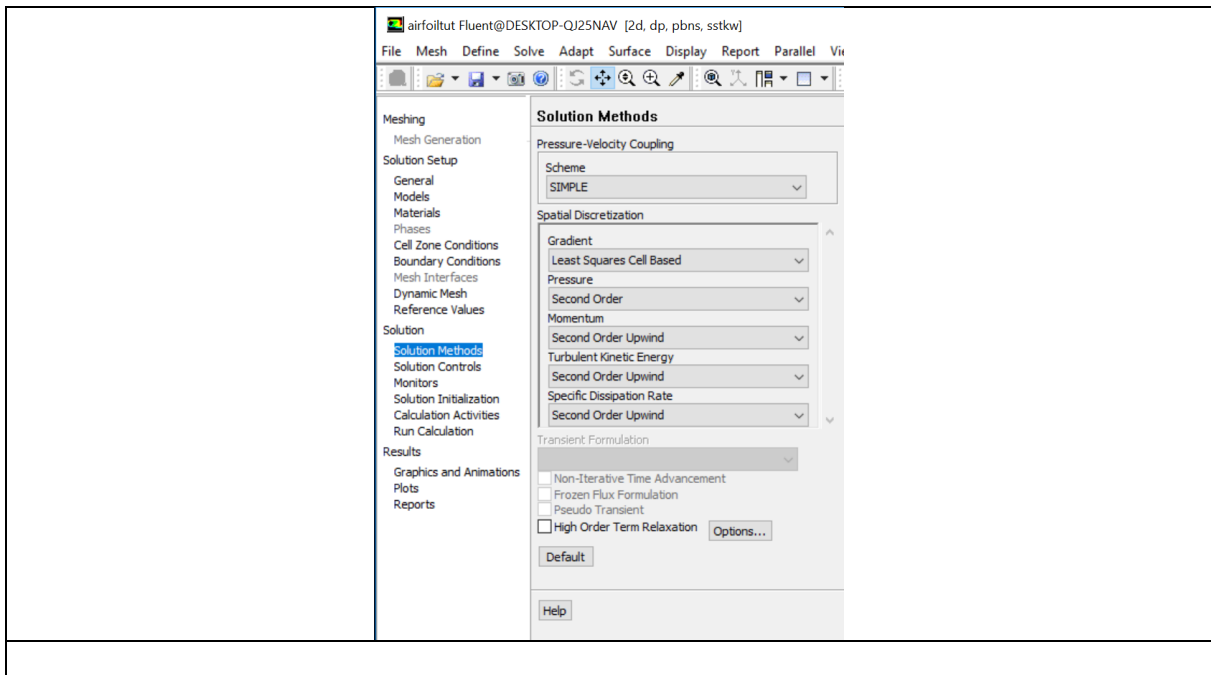


Klikneme na *pressure outlet* a stlačíme *Edit...* V sekcii *Turbulence* je takisto potrebné nastaviť *Specification Method*. Klikneme na rolovacie menu a vyberieme *Intensity and Hydraulic Diameter*. Zadáme rovnaké hodnoty ako na vstupe. *Backflow Turbulent Intensity* 5% a *Backflow Hydraulic diameter* 12 m. *OK*.

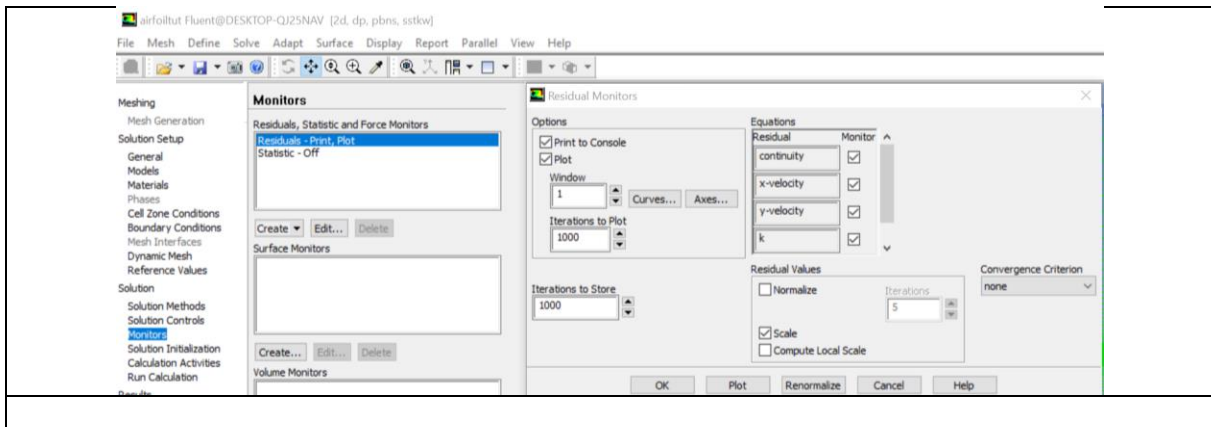
Položku *Dynamic Mesh* nebudeme nastavovať, pretože nepracujeme s pohyblivou alebo deformujúcou sa sieťou.

Klikneme na *Reference Values*. Do okna *Area (m2)*, vpíšeme dĺžku tetivy, čiže 0,5. Ak by sme mali 3D krídlo, tak dávame plochu krídla. Do okna *Velocity (m/s)* dáme rýchlosť prúdenia, čiže 20.

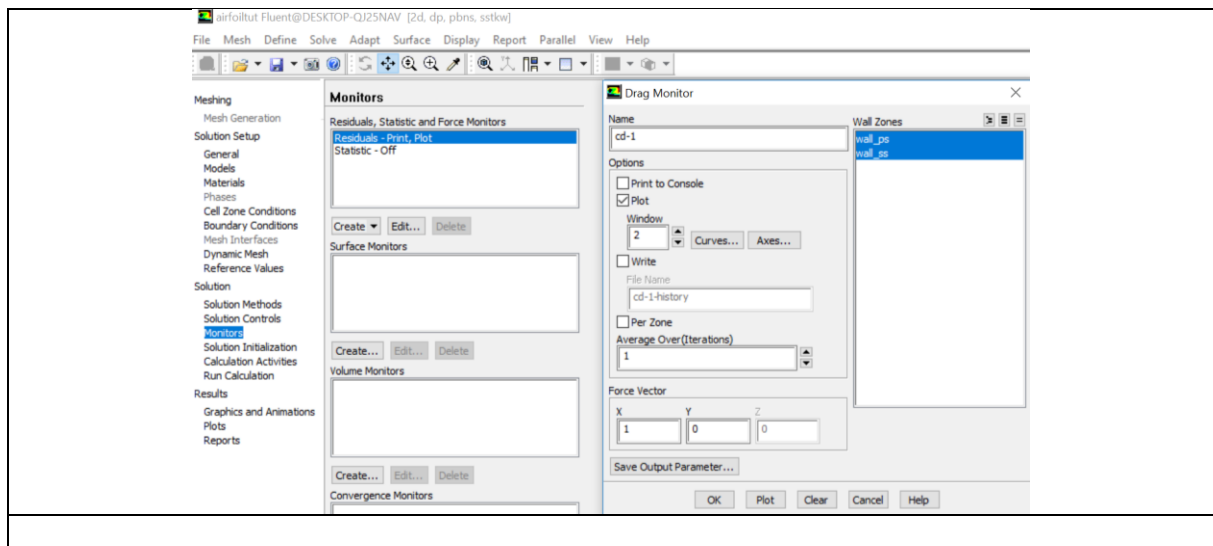
Pod *Solution* klikneme na *Solution Methods*. Nastavenia urobíme podľa obrázku XXX. *Pressure Velocity Coupling: Scheme* – *SIMPLE*, *Spatial Discretization: Gradient* – *Least Squares Cell Based*, *Pressure* – *Second Order*, *Momentum* – *Second Order Upwind*, *Turbulent Kinetic Energy* – *Second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



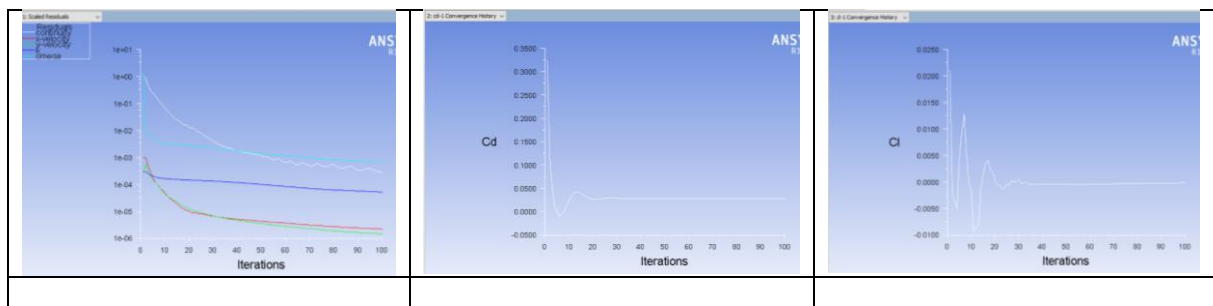
Na položke *Solution Controls* nenastavujeme nič. Klikneme na *Monitors*, nastavíme sa v okne *Residuals, Statistic and Force Monitors* na *Residuals – Print, Plot* a klikneme na tlačidlo *Edit*. Otvorí sa nám okno *Residuals Monitor*, kde ponecháme zaškrtnuté *Print to Console* a *Plot* a v rolovacom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



Aby sme mohli vidieť ustálenie síl pôsobiacich na profil v okne *Residuals, Statistic and Force Monitors* klikneme na rolovacie okno *Create* a odklikneme *Drag...* Týmto sa nám otvorí okno *Drag Monitor*. V okne *Wall Zones* vyberieme *wall_ps* aj *wall_ss* a v okne *Options* zaškrtneme *Plot* a vo *Window* dáme 2. Týmto sme zadefinovali, že v okne 2 budeme sledovať pôsobenie sily v smere osi x na profil krídla.



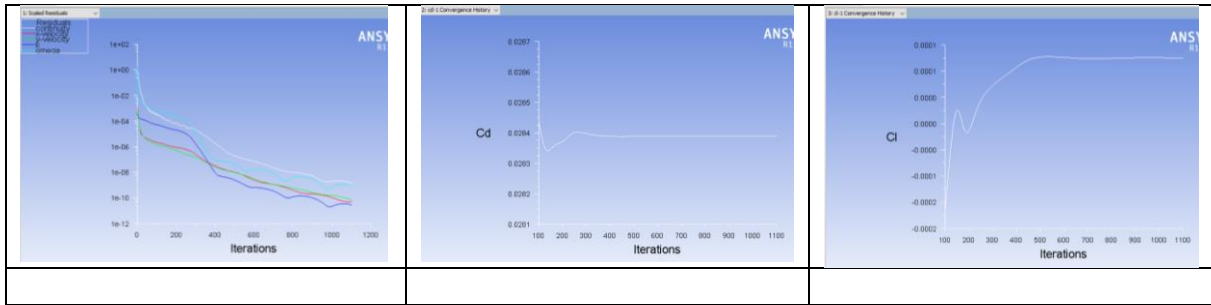
Tento postup zopakujeme s tým, že v okne *Residuals, Statistic and Force Monitors* klikneme na rolovacie okno *Create* a odklikneme *Lift*. Otvorí sa okno *Lift Monitor*. V okne *Wall Zones* vyberieme *wall_ps* aj *wall_ss* a v okne *Options* zaškrtneme *Plot* a vo *Window* dáme 3. Kliknem na tlačidlo *OK*. Týmto sme zadefinovali, že v okne 3 budeme sledovať pôsobenie sily v smere osi *y* na profil krídla. Nastavíme sa na *Solution Initialization* a klikneme na tlačidlo *Initialize*. Týmto sa nám simulácia inicializuje. Ďalšiu položku *Calculation Activities* preskočíme, pretože nebudeme nastavovať automatické ukladanie. Ostáva len spustenie simulácie a to tak, že klikneme na položku *Run Calculation* a v okne *Number of Iterations* nastavíme predpokladaný počet iterácií. Dajme 100 a klikneme na tlačidlo *Calculate*. Po ukončení výpočtu sa pozrieme na priebeh iterácií. Mali by sme mať nasledovné výsledky.



Z uvedených priebehov rezíduí a priebehu odporu a vztlaku, by sme mohli nadobudnúť dojem, že je výpočet konvergovaný. Rezíduá klesli pod 10^{-3} a priebehy odporu a vztlaku sú ustálené. Nie je to však tak.

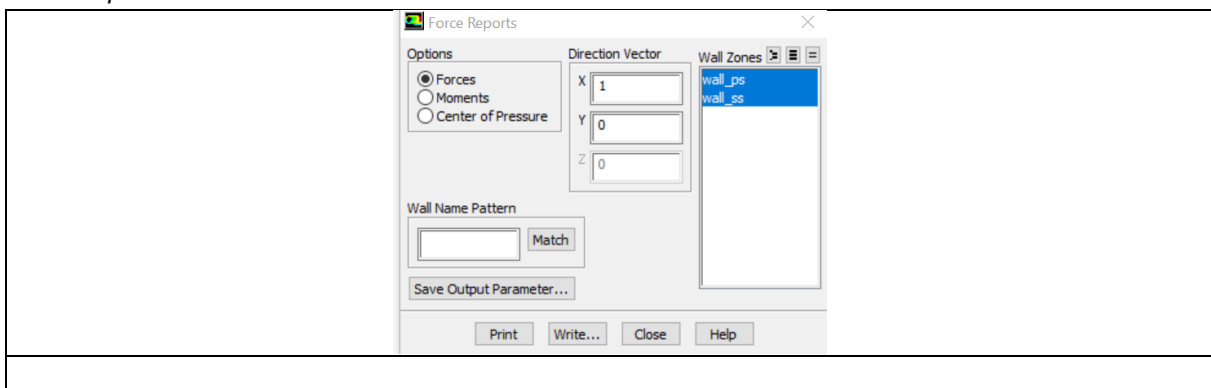
Nastavíme sa na položku *Monitors* pod *Solution* a v okne *Residuals, Statistic and Force Monitors* sa nastavíme na *cd-1 -Plot*. Klikneme na tlačidlo *Edit*. Klikneme na tlačidlo *Clear*. Zobrazí sa okno s otázkou *Ok to discard Drag monitoring data?* Potvrdíme *Yes*. *OK*. Nastavíme na *cl-1 -Plot*. Klikneme na tlačidlo *Edit*. Klikneme na tlačidlo *Clear*. Zobrazí sa okno s otázkou *Ok to discard Lift monitoring data?* Potvrdíme *Yes*. *OK*. Týmto sme vymazali priebehy odporu a vztlaku. To sme urobili preto, lebo v skutočnosti sa tieto priebehy naďalej pohybujú, ale my to vzhľadom na veľké úvodné výkyvy nevidíme.

Nastavíme sa na *Run Calculation*. Do okna *Number of Iteration* dáme 1000 a klikneme na tlačidlo *Calculate*. Po ukončení výpočtu sa znova pozrieme na priebehy.



Rezíduá sú pod 10^{-8} a priebehy odporu a vztlaku sa môžu hýbať na úrovni ôsmeho desatinného miesta. Z toho dôvodu budeme považovať výpočet za konvergovaný a môžeme sa pozrieť na dosiahnuté výsledky.

Pod položkou *Results* sa nastavíme na *Reports* a v okne *Reports* na *Forces*, *Set Up...* Otvorí sa okno *Force Reports*.



Klikneme na *Set Up...* Vo *Wall Zones* máme označené *wall_ps* aj *wall_ss*. V okne *Direction Vector* je v okne X číslo 1 a v okne Y 0. Klikneme na *Print* a zobrazia sa nám sily pôsobiace na profil v smere osi X. (Ak by sme klikli na tlačidlo *Write...* výsledky by sa nám zapísali do textového súboru).

Program ANSYS Fluent vypíše výsledky v nasledovnom formáte. *Forces – Direction Vector (1 0 0)* označuje, že výsledky sú vyjadrené k smeru osi X, tj. ide o výsledky odporových síl. Prvé 3 stĺpce s výsledkami sú sily (v newtonoch) - *Forces (n)*. Pod stĺpcom *Pressure* sú výsledky tlakovej sily pôsobiacej na hornú a dolnú stranu profilu. Riadok *Net* označuje sumu. Pod stĺpcom *Viscous* sú výsledky trecej sily. Stĺpec *Total* je súčet tlakovej a trecej sily. Ďalšie 3 stĺpce sú výsledky koeficientov (tlakového, trecieho a celkového). Pre nás je dôležitá celková odporová sila s hodnotou 3,4775676 N a koeficient odporu 0,028388307.

Forces - Direction Vector (1 0 0)						
Zone	Forces (n)			Coefficients		
	Pressure	Viscous	Total	Pressure	Viscous	Total
wall_ps	1.0381243	0.70115067	1.739275	0.0084744843	0.0057236789	0.014198163
wall_ss	1.036933	0.7013596	1.7382926	0.0084647589	0.0057253845	0.014190143
Net	2.0750573	1.4025103	3.4775676	0.016939243	0.011449063	0.028388307

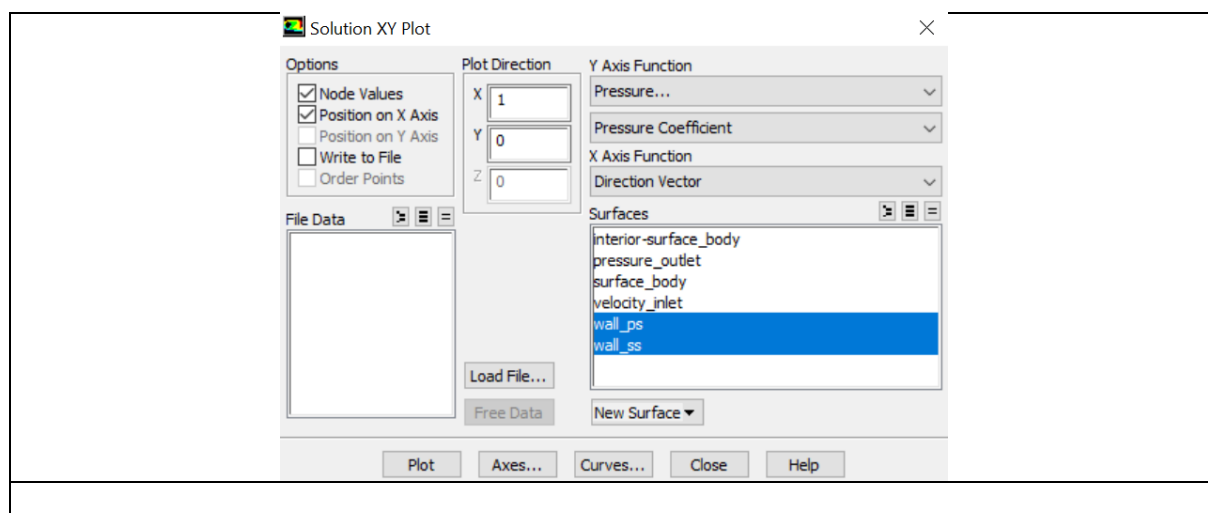
Obdobným spôsobom sa pozrieme na výsledky sily v smere osi Y, tj. vztlak. V okne *Direction Vector* je v okne X číslo dáme 0 a v okne Y 1. Klikneme na *Print*. Celková vztlaková sila má hodnotou 0,015339669 N a koeficient vztlaku 0,00012522179.

Forces - Direction Vector (0 1 0)						
Zone	Forces (n)			Coefficients		
	Pressure	Viscous	Total	Pressure	Viscous	Total
wall_ps	-39.149495	-0.027423775	-39.176919	-0.31958771	-0.00022386755	-0.31981158
wall_ss	39.164865	0.02739376	39.192258	0.31971318	0.00022362253	0.3199368
Net	0.015369684	-3.0014407e-05	0.015339669	0.00012546681	-2.4501556e-07	0.00012522179

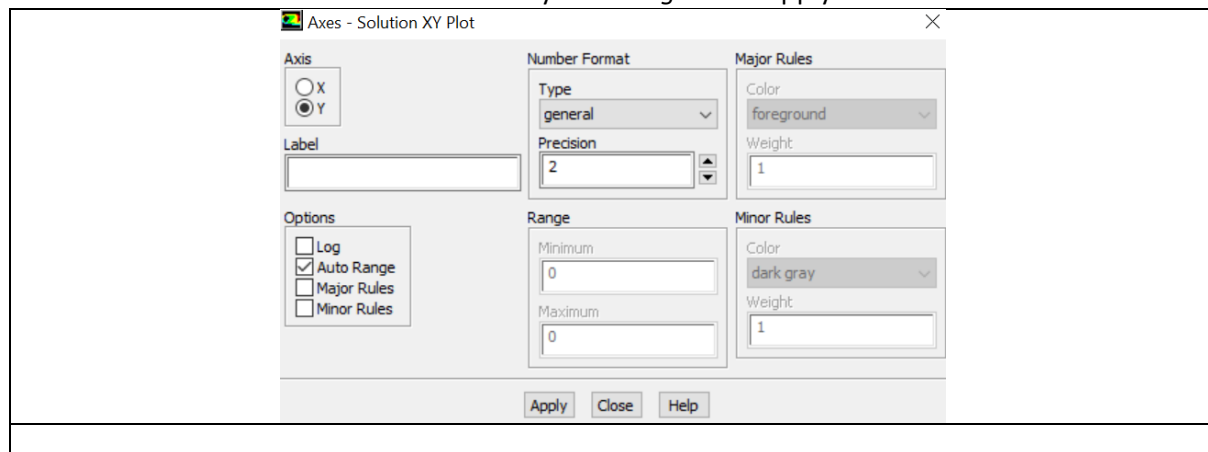
Dosiahnuté výsledky sú logické. Vztlková sila je veľmi malá a vzhľadom k tomu, že je obtekaný symetrický profil s uhlom nábehu 0° , tak vztlková sila by mala byť veľmi blízka nule.

V okne *Force Reports* je možné kliknúť na *Moments* a zistiť otáčavý moment ktorý vyvolá prúdiaci vzduch okolo profilu krídla. Je tu však potrebné zadefinovať súradnice x, y, voči ktorým chceme moment určiť. Ďalej sa pozrieme na priebeh tlakového koeficientu.

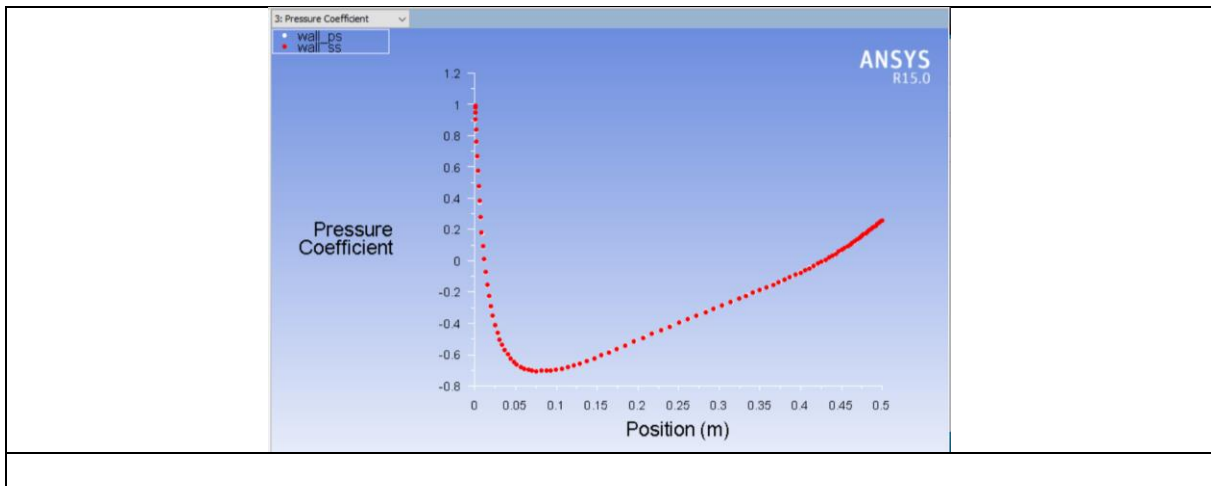
Pod položkou *Results* sa nastavíme na *Plots* a v okne *Plots* na *XY Plot, Set Up...*. Otvorí sa okno *Solution XY Plot*. V okne *Surfaces* máme označené *wall_ps* a *wall_ss*. V *Plot Direction* máme v okne X 1 a v okne Y 0. V roletovom menu *Y Axis Function* si pod *Pressure* vyberieme *Pressure Coefficient*.



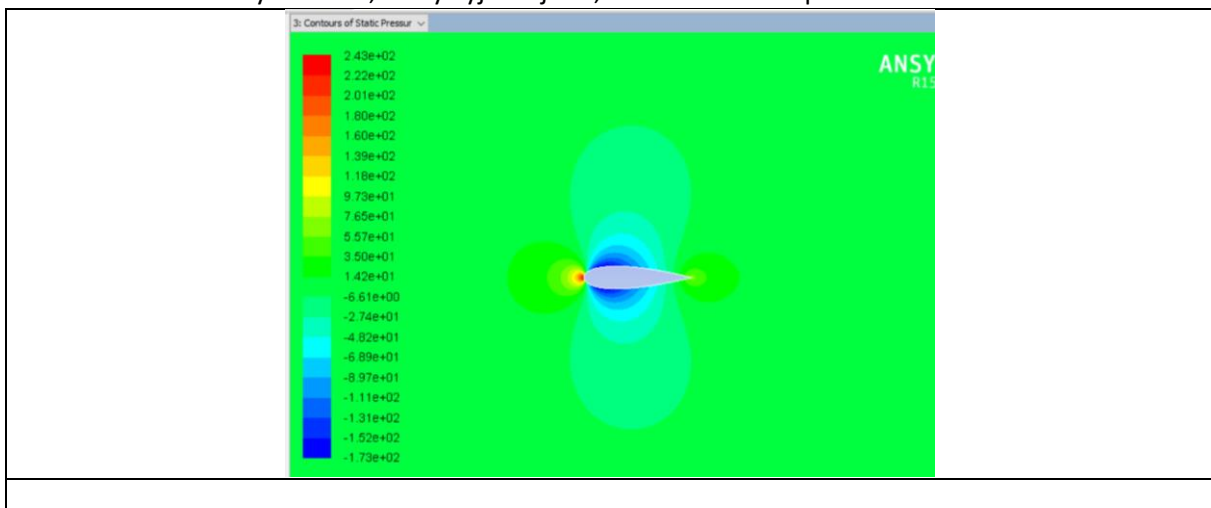
Klikneme na tlačidlo *Axes...*. Otvorí sa okno *Axis – Solution XY Plot* a v okne *Axis* sa prepne na Y. V okne *Number Format* z roletového menu vyberieme *general*. *Apply*> *Close*> *Plot*.



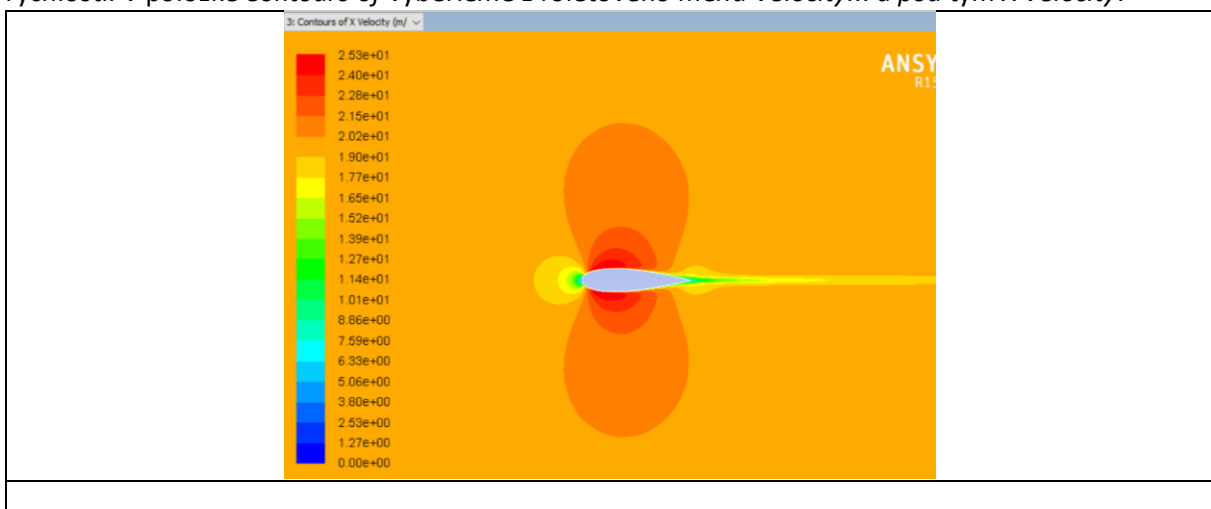
Zobrazí sa nasledovný priebeh. Výsledky tlakového koeficientu sa na tlakovej aj sacej strane prekrývajú, pretože tlakové pomery sú pri obtekaní symetrického profilu s uhlom nábehu 0° rovnaké. Na nábehovej hrane (nábehovom bode) profilu je bod stagnácie. Je tam najvyšší tlak. Hodnota tlakového koeficientu je rovná 1. Hodnota tlaku za nábehovou hranou smerom k odtokovej hrane najprv klesá a prechádza do záporných hodnôt. A od pozície 0,07m od nábehovej hrany stúpa, stále však vyjadruje podtlak, až do vzdialenosti 0,4 m od nábehovej hrany. Čiže 10 cm pred odtokovou hranou je okolo profilu pretlak.



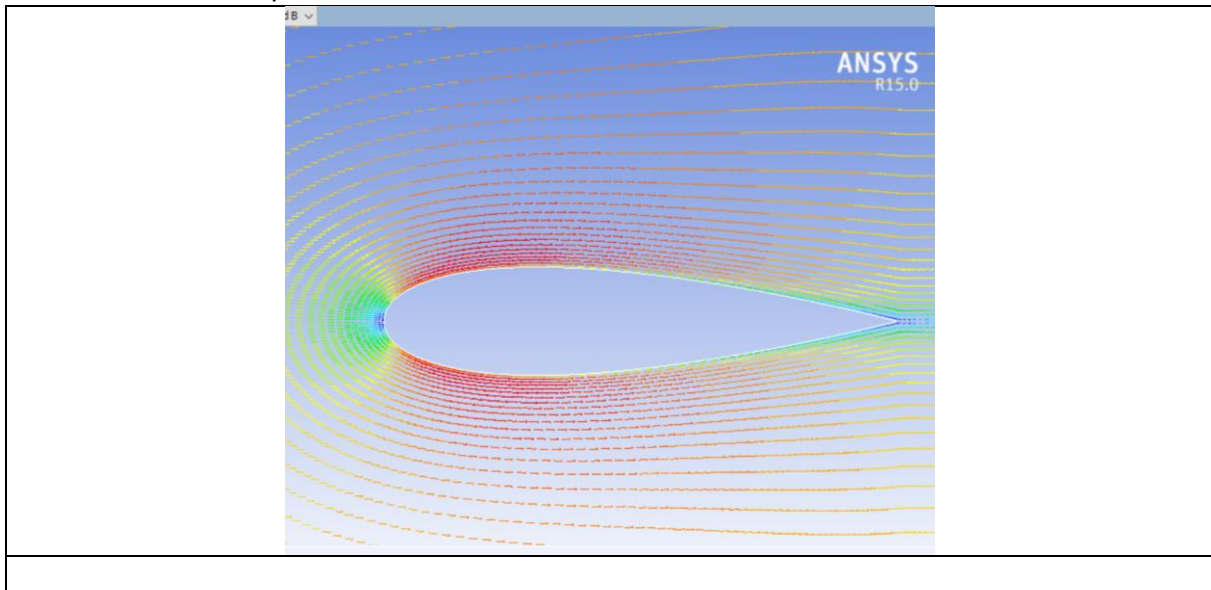
Zobrazíme si distribúciu tlaku okolo profilu krídla pomocou izoplôch. Pod položkou *Results* sa nastavíme na *Graphics and Animations* a v okne *Graphics* na *Contours, Set Up...* Zaškrtneme *Filled* a v položke *Contours of* ponecháme *Pressure* a *Static Pressure*. Klikneme na tlačidlo *Display*. Zobrazí sa nasledovný obrázok, ktorý vyjadruje to, čo sme videli na priebehu tlakového koeficientu.



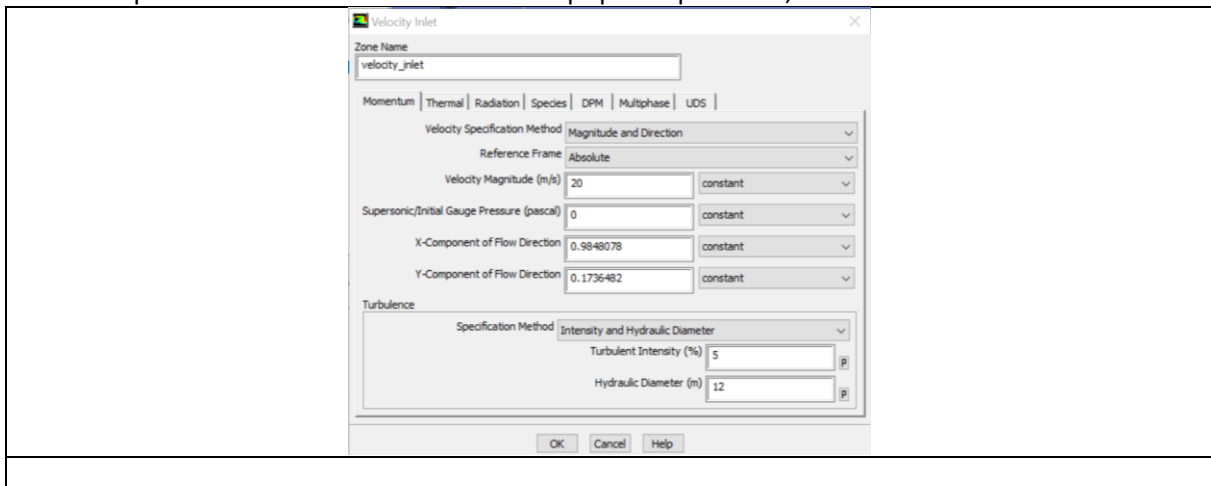
V prípade, že chceme jemnejšie prechody farieb, v okne *Levels* nastavíme vyššiu hodnotu ako 20, maximálne 100. Obdobným spôsobom môžeme zobrazíť aj priebehy iných veličín okolo profilu, napr. rýchlosti. V položke *Contours of* vyberieme z roletového menu *Velocity...* a *pod tým X Velocity*.



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



Simuláciu s prúdením s uhlom nábehu 10° riešime obdobne ako predchádzajúcu. Klikneme na *Boundary Conditions>velocity inlet>Edit*. Do okna *X-Component of Flow Direction* vpíšeme kosínus uhla nábehu. V našom prípade je uhol nábehu 10° , teda vpíšeme 0,9848078. Do okna *Y-Component of Flow Direction* vpíšeme sínus uhla nábehu. V našom prípade vpíšeme 0,1736452. OK.



Ostatné nastavenia ponecháme z predchádzajúcej simulácie. Nastavíme sa na *Solution Initialization* a klikneme na tlačidlo *Initialize*. Ak sme predchádzajúcu simuláciu neuložili. Zobrazí sa otázka *The current data has not been saved. Ok to discard? OK*. Spustíme simuláciu. *Run Calculation*. Do okna *Number of Iterations* dáme napr. 1100 a klikneme na tlačidlo *Calculate*. Po ukončení výpočtu pod položkou *Results* sa nastavíme na *Reports* a v okne *Reports* na *Forces, Set Up...* Otvorí sa okno *Force Reports*. V okne *Direction Vector* je v okne X číslo 1 a v okne Y 0. Klikneme na *Print* a zobrazia sa nám sily pôsobiace na profil v smere osi X.

Forces - Direction Vector (1 0 0)						
Zone	Forces (n)			Coefficients		
	Pressure	Viscous	Total	Pressure	Viscous	Total
wall_ps	8.7948198	0.64945643	9.4442762	0.071794447	0.0053016852	0.077096133
wall_ss	-17.757135	0.46888492	-17.28825	-0.1449562	0.003827632	-0.14112857
Net	-8.9623151	1.1183413	-7.8439737	-0.073161756	0.0091293171	-0.064032439

Obdobným spôsobom sa pozrieme na výsledky sily v smere osi Y. V okne *Direction Vector* je v okne X číslo dáme 0 a v okne Y 1. Klikneme na *Print*.

Forces - Direction Vector (0 1 0)						
Zone	Forces (n)		Coefficients			
	Pressure	Viscous	Total	Pressure	Viscous	Total
wall_ps	-2.8519498	0.046578698	-2.8053711	-0.023281223	0.00038023427	-0.022900989
wall_ss	84.549847	0.13837646	84.688224	0.69020283	0.0011296038	0.69133244

Net	81.697897	0.18495516	81.882852	0.66692161	0.001509838	0.66843145

Máme výsledky, ale treba mať na pamäti ako je definovaná odporová a vztlaková sila. Odporová sila pôsobí, proti smeru prúdenia a vztlaková sila je kolmá na smer prúdenia. Lenže uvedené výsledky nám toto nezobrazujú. Sú to výsledky síl v smere osí X a Y, čiže z uvedených výsledkov vieme hodnoty axiálnej (A) a normálovej (N). Výsledky odporovej sily (D) a vztlakovej (L) si môžeme dopočítať, alebo vo *Force Report*, do okna *Direction Vector* pri smere X vpišeme údaj ktorý sme zadávali pri *velocity inlet*, čiže 0,9848078 a do smeru Y 0,1736452. *Print*. Zobrazia sa výsledky odporovej sily a koeficient odporu.

Forces - Direction Vector (0.9848078 0.1736452 0)						
Zone	Forces (n)		Coefficients			
	Pressure	Viscous	Total	Pressure	Viscous	Total
wall_ps	8.1659836	0.64767823	8.8136618	0.066661091	0.0052871693	0.07194826
wall_ss	-2.8056912	0.48579016	-2.319901	-0.022903601	0.003965634	-0.018937967

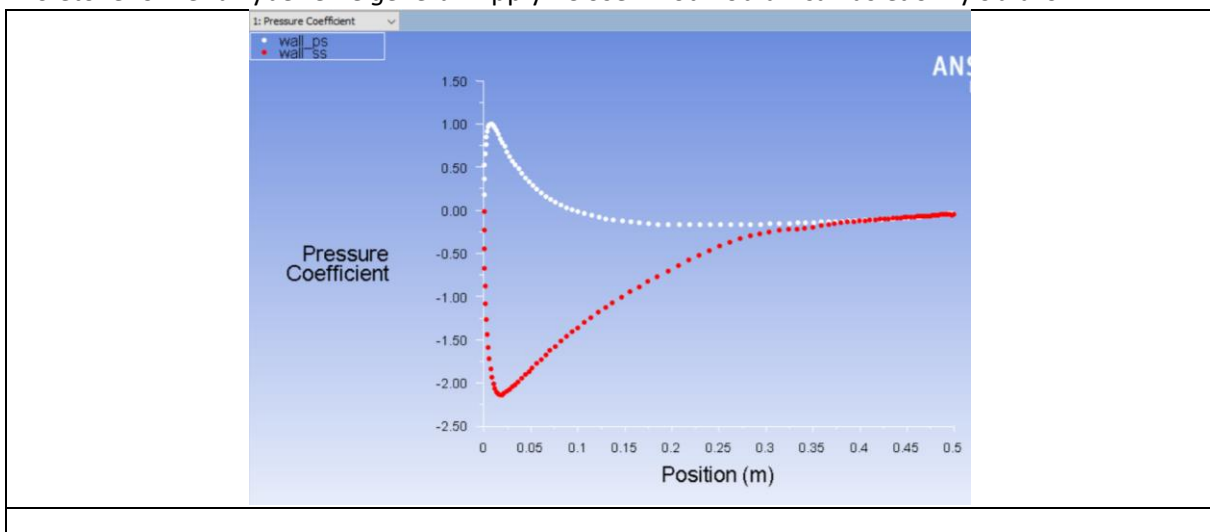
Net	5.3602924	1.1334684	6.4937608	0.043757489	0.0092528032	0.053010292

Do okna *Direction Vector* pri smere X vpišeme -0,1736452 a do smeru Y 0,9848078. *Print*. Zobrazia sa výsledky vztlakovej sily a koeficient vztlaku.

Forces - Direction Vector (-0.1736452 0.9848078 0)						
Zone	Forces (n)		Coefficients			
	Pressure	Viscous	Total	Pressure	Viscous	Total
wall_ps	-4.3358027	-0.066903959	-4.4027067	-0.035394308	-0.00054615477	-0.035940463
wall_ss	86.348831	0.054854631	86.403685	0.70488841	0.0004477929	0.70533621

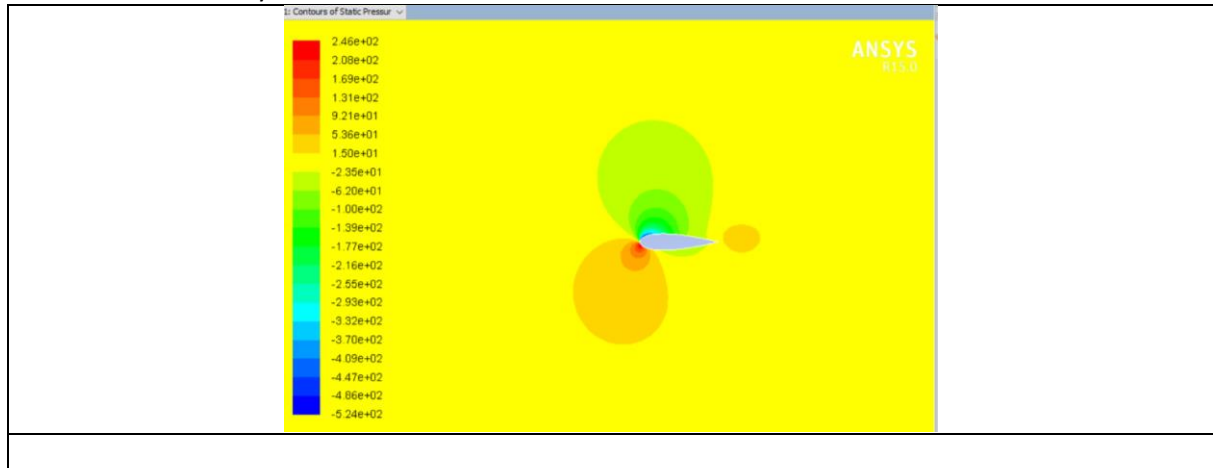
Net	82.013028	-0.012049328	82.000979	0.66949411	-9.8361863e-05	0.66939574

Tak ako v predchádzajúcom prípade, pozrieme na priebeh tlakového koeficientu. Pod položkou *Results* sa nastavíme na *Plots* a v okne *Plots* na *XY Plot, Set Up...* Otvorí sa okno *Solution XY Plot*. V okne *Surfaces* máme označené wall_ps a wall_ss. V *Plot Direction* máme v okne X 1 a v okne Y 0. V roletovom menu *Y Axis Function* si pod *Pressure* vyberieme *Pressure Coefficient*. Klikneme na tlačidlo *Axes...* . Otvorí sa okno *Axes - Solution XY Plot* a v okne *Axis* sa prepne na Y. V okne *Number Format* z roletového menu vyberieme *general*. *Apply*> *Close*> *Plot*. Zobrazí sa nasledovný obrázok.

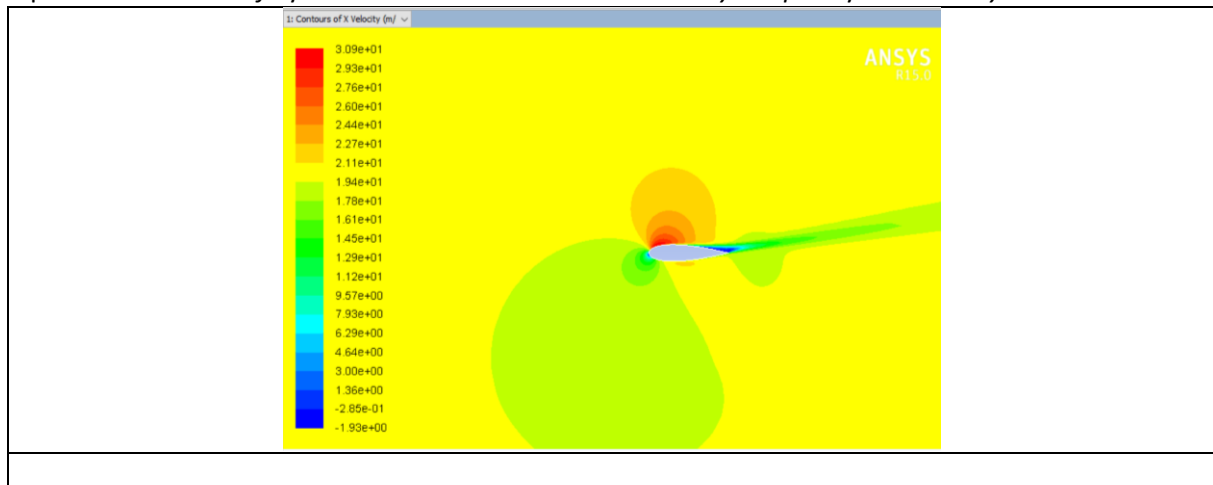


Vieme z priebehu stanoviť to, že bod stagnácie, čiže miesto s najvyšším pôsobením tlaku je na tlakovej strane vo vzdialenosti 7 mm od nábehovej hrany (nábehového bodu) v smere osi X. Od vzdialenosti 10 cm od nábehovej hrany je tlak na tlakovej strane záporný a smerom k odtokovej hrane sa blíži k nule. Na sacjej strane ide priebeh do podtlaku. Podtlak sa najme posledných 10 cm blíži nule. Takýto priebeh tlakového koeficientu hovorí o tom, že úsek profilu pri odtokovej hrane nevyvíja vztlak.

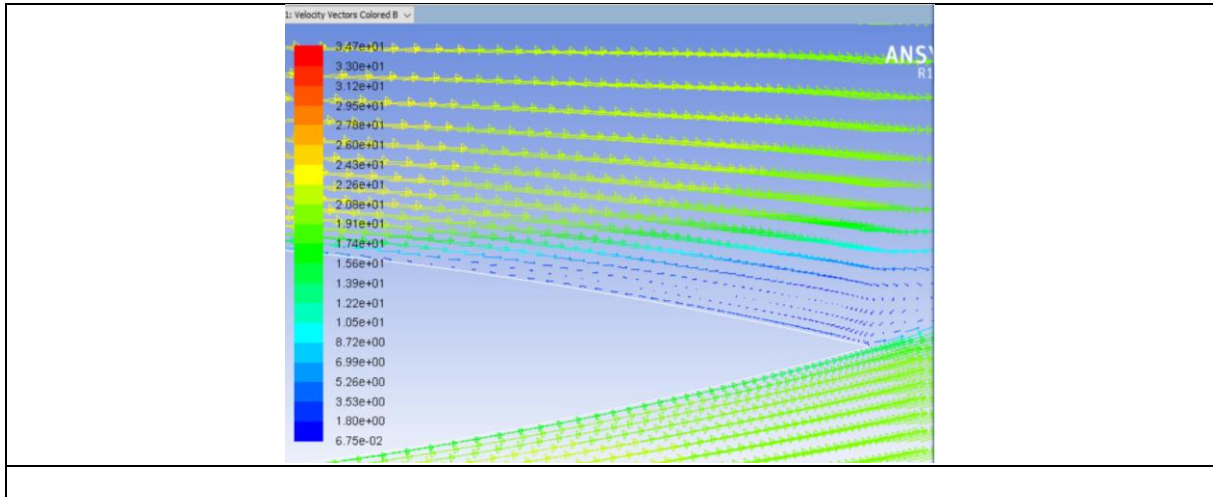
Z dôvodu vizualizácie si zobrazíme distribúciu tlaku okolo profilu. Pod položkou *Results* sa nastavíme na *Graphics and Animations* a v okne *Graphics* na *Contours, Set Up...* Zaškrtneme *Filled* a v položke *Contours of* ponecháme *Pressure* a *Static Pressure*. Klikneme na tlačidlo *Display*. Zobrazí sa nasledovný obrázok.



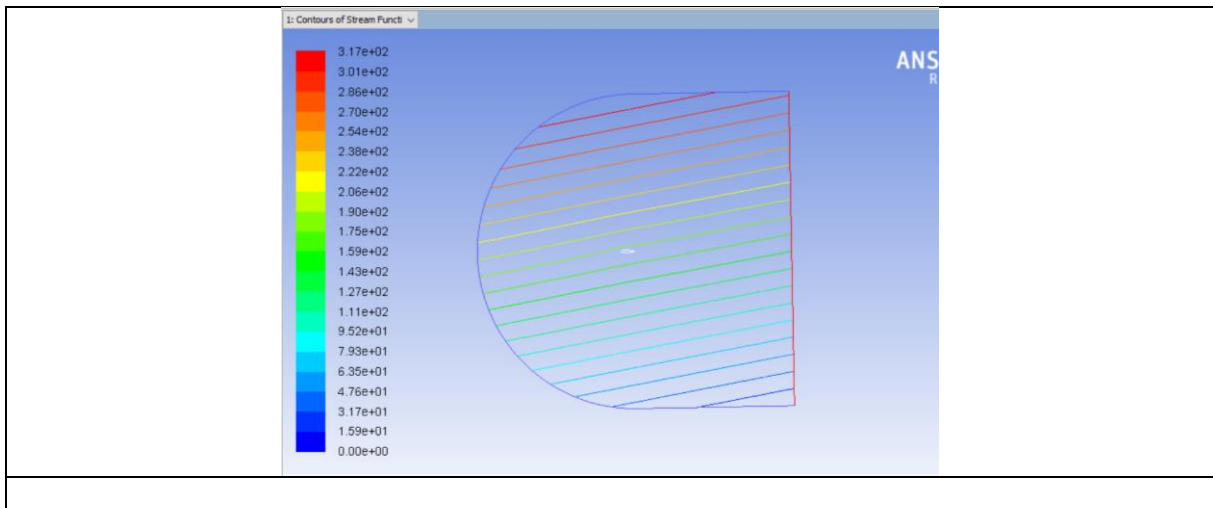
V položke *Contours of* vyberieme z roletového menu *Velocity...* a pod tým *X Velocity*.



Tieto obrázky nám ukazujú, že nad sacou stranou pri odtokovej hrane je oblasť spätného prúdenia, teda separácie prúdu od profilu. To je aj vysvetlením prečo hodnoty tlakového koeficientu sú blízke nule. Pod položkou *Results* sa nastavíme na *Graphics and Animations* a v okne *Graphics* na *Vectors, Set Up...* , *Display*. Po priblížení k odtokovej hrane profilu dostaneme nasledovný obrázok.



Pod položkou *Results* sa nastavíme na *Graphics and Animations* a v okne *Graphics* na *Contours, Set Up...* Odškrtneme *Filled* a v položke *Contours of* dáme *Velocity...* a *Stream Function*. Klikneme na tlačidlo *Display*. Zobrazí sa nám obrázok, kde vidíme akým smerom prúdi na profil vzduch.



My sa však chceme pozrieť na prúdenie okolo profilu detailnejšie, preto *Levels* nastavíme na 50 a odškrtneme *Auto Range*. Do okien *Min* a *Max* dáme 168 a 173. *Display*.

