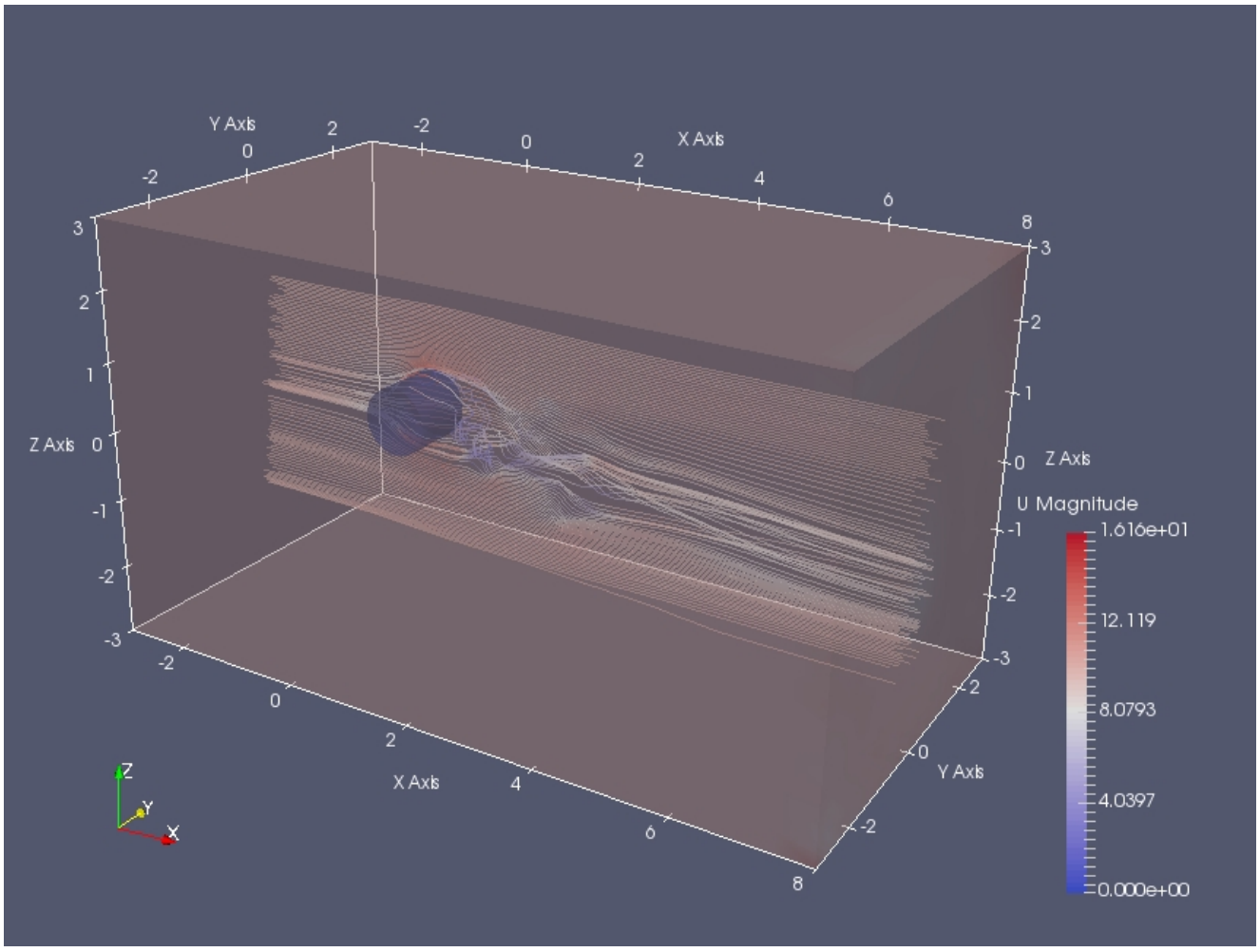
Validatie van simulatiemethode in Open FOAM



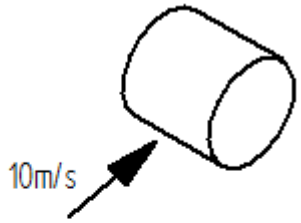
Samenvatting

Dit verslag gaat over of een simulatie uitgevoerd in Open FOAM voldoende nauwkeurigheid bied en tevens uitvoerbaar is op een gewone computer. Er is een simulatie uitgevoerd van een object die in een luchtstroom staat waardoor er een kracht ten gevolge van de luchtstroom op het object ontstaat. Die kracht is vergeleken met een gewone hand berekening van stromingsweerstand dat zelfde object.

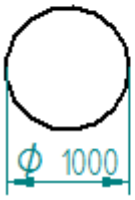
Onderzoeksvraag

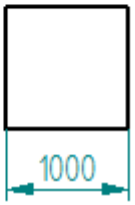
Van een cilinder met een diameter van 1m en een lengte van 1m is de stromingsweerstand uit te rekenen doormiddel van een eenvoudige analytische berekening. Voor complexere vormen is dit lastiger. Door stroming simulatie wordt dit enig sinds eenvoudiger. Voordat er complexere vormen geanalyseerd kunnen worden dient de simulatie methode eerst gevalideerd te worden voor een eenvoudige vormen, zo als een cilinder. De vraag bij dit onderzoek is of de mesh en simulatie methode voldoende nauwkeurigheid bied.

Uitgangspunten



Het uitgangspunt is het simuleren van de stroming om een cilinder van 1m in diameter en 1 m lang. De simulatie wordt uitgevoerd met het simulatie programma Open FOAM. Uit verkregen waarden uit de simulatie wordt de stromingsweerstand bepaald. De verkregen waarde uit de simulatie wordt dan vergeleken met een analytische berekening gebaseerd op praktijktesten.





Typering van stroming

Voordat een simulatie uitgevoerd kan worden dient het Reynolds getal (Re) berekend te worden om te bepalen of het een laminaire stroming is $Re<10^5$ of turbulent $Re>10^5$ of hoog turbulent $Re>10^7$.

Snelheid van lucht langs object $u := 10\,\frac{m}{s}$

Referentie lengte voor turbulentie $l_{rep} := 1\,m$

Kinematische viscositeit van lucht $\nu := 1.8 \cdot 10^{-5}\,\frac{m^2}{s}$

Renolds getal op basis van representatieve contact lengte

$$Re := \frac{u \cdot l_{rep}}{\nu} = 5.5556 \cdot 10^5$$

Lengte van cylinder $l_h := 1\,m$

Diameter van cylinder $d := 1\,m$

Geprojecteerde oppervlakte $A := l_h \cdot d$

Omtrek van cylinder $p := \pi \cdot d = 3.1416\,m$

Hydrauliche diameter van object.(benaderings diameter voor niet ronde contouren)

$$d_h := \frac{4 \cdot A}{p} = 1.2732\,m$$

Renoldsgetal gebaseerd op hydraulische diameter

$$Re_h := \text{round}\left(\frac{u \cdot d_h}{\nu}, 4\right) = 7.0736 \cdot 10^5$$

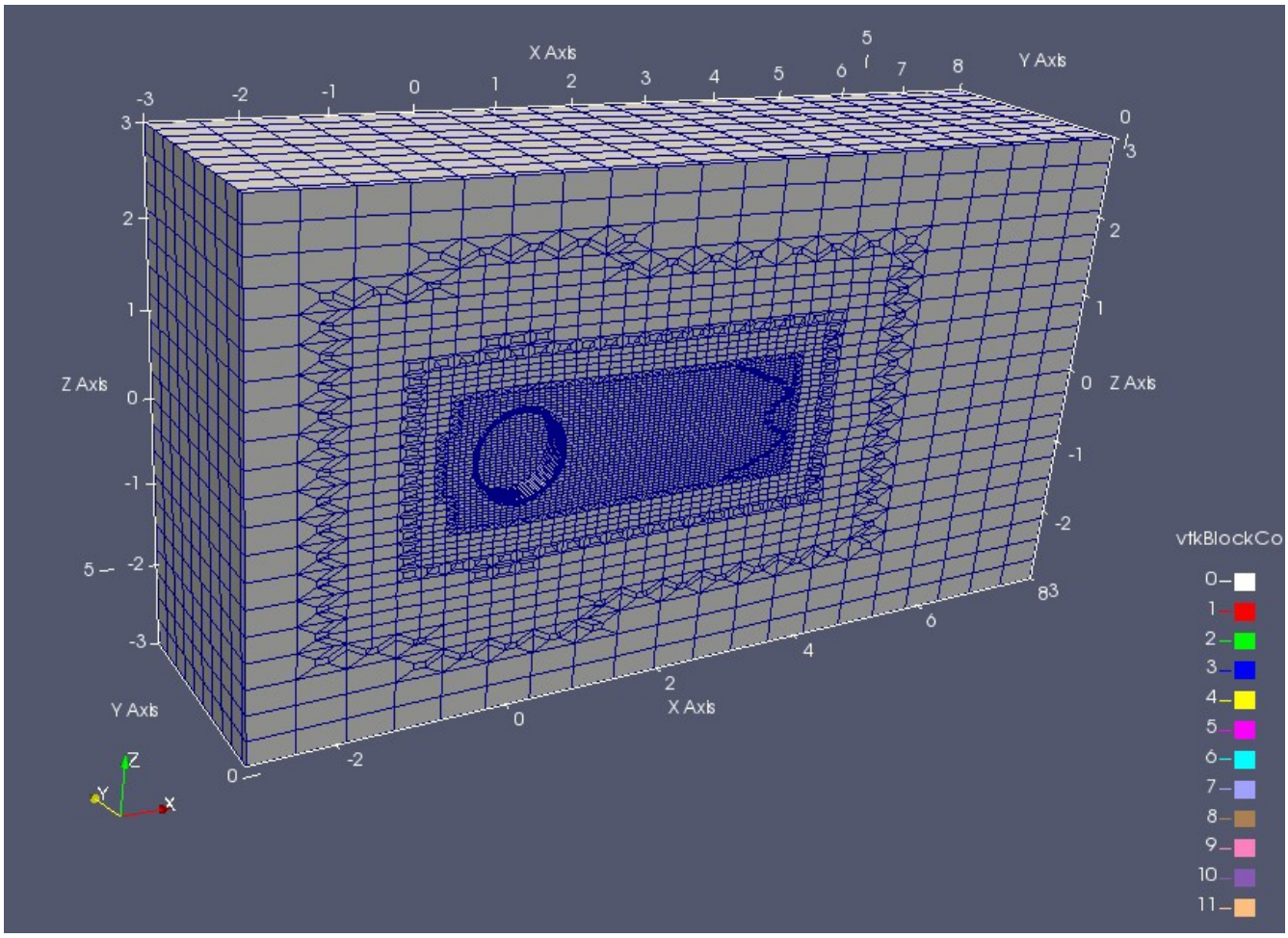
Het Reynolds getal is $5x10^5$ of hoger en daarmee is het een turbulente stroming. De simulatie dient rekening te houden met de effecten van turbulentie.

Soort rekenmodel

Het rekenmodel wat gekozen is voor deze simulatie is RANS, Reynolds Averaged Naviers Stokes. Het type RANS model is k-ε. Dit model houdt rekening met turbulentie. Het k-ε model is het meest eenvoudige turbulentiemodel die turbulentie simuleren kan met niet al te hoge Reynolds getallen.

Het medium dat langs de cilinder stroomt is lucht met ideale eigenschappen. Niet samendrukbaar en isotherm. Dit met een relatieve gemiddelde snelheid van 10m/s.

De mesh



De geometrie is in het 3D CAD en mesh programma Salome gegenereerd en een ruimtelijke 2D driehoeksmesch om een .stl bestand aan te maken waarop de 3D mesh gegenereerd kan worden.
De basis mesh is gegenereerd met het Open FOAM blockMesh commando en verfijnd met het snappyHexMesh comando. De Mesch bestaat uit 4 graderingen in verfijning en heeft om de cilinder een grenslaag mesh. Het gebied waar turbulentie op treed is ook fijn gemodelleerd om de interactie tussen object een turbulentie nauwkeuriger te kunnen bepalen.

K-ε waarden

In Smath is een rekensheet opgesteld waar de constanten berekend worden die nodig zijn voor de simulatie. De k- ε waarden geven de mate van turbulentie voor het simulatie model. En worden bepaald aan de hand van de Reynolds nummer en grote van object en snelheid van van medium

Berekening van K-ε factoren t.b.v het RANS model

Intensiteit van turbulente bijbehorend bij het Re getal

$$I := 0.16 \cdot Re^{\left(\frac{-1}{8}\right)} = 0.0306$$

Eenheidsloze snelheid

$$u_c := \frac{u}{\frac{m}{s}} = 10 \qquad l_r := \frac{l_{rep}}{m}$$

Factor voor de kenitische energie

$$k := \frac{3}{2} \cdot \left(u_c \cdot I\right)^2 = 0.1407$$

Epsilon is de turbulentie dissipatie

$$\varepsilon := \frac{0.164 \cdot k^{1.5}}{0.07 \cdot l_r} = 0.1236$$

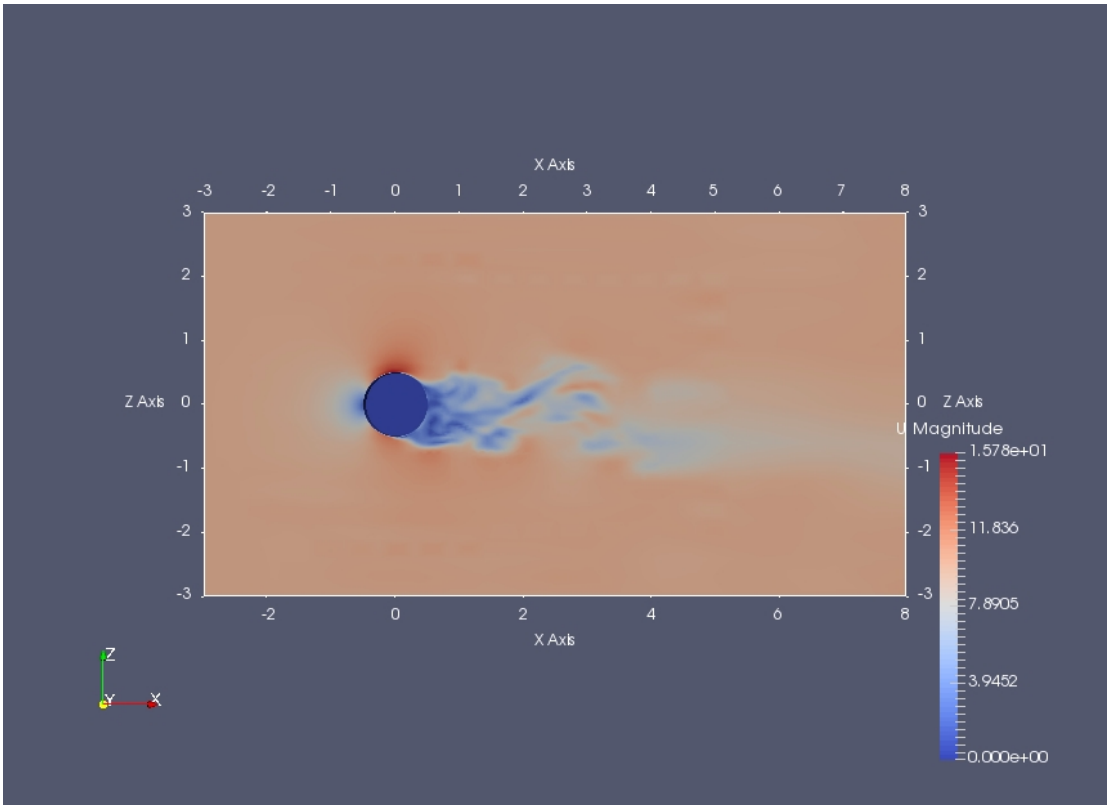
Deze waarden zijn ingevuld in de de des betreffende bestanden die benodigd zijn voor de simulatie.

De simulatie.

Met een stapgrote van 0.0015 seconden is de simulatie uitgevoerd met het icoFoam algoritme en duurde ongeveer 20 uur. Dit op een xeon E5550 processor met 8 cores waarvan er 4 in in een hyper thread. De mesh is is opgedeeld in 8 stukken, voor elke processor 1.

Resultaten

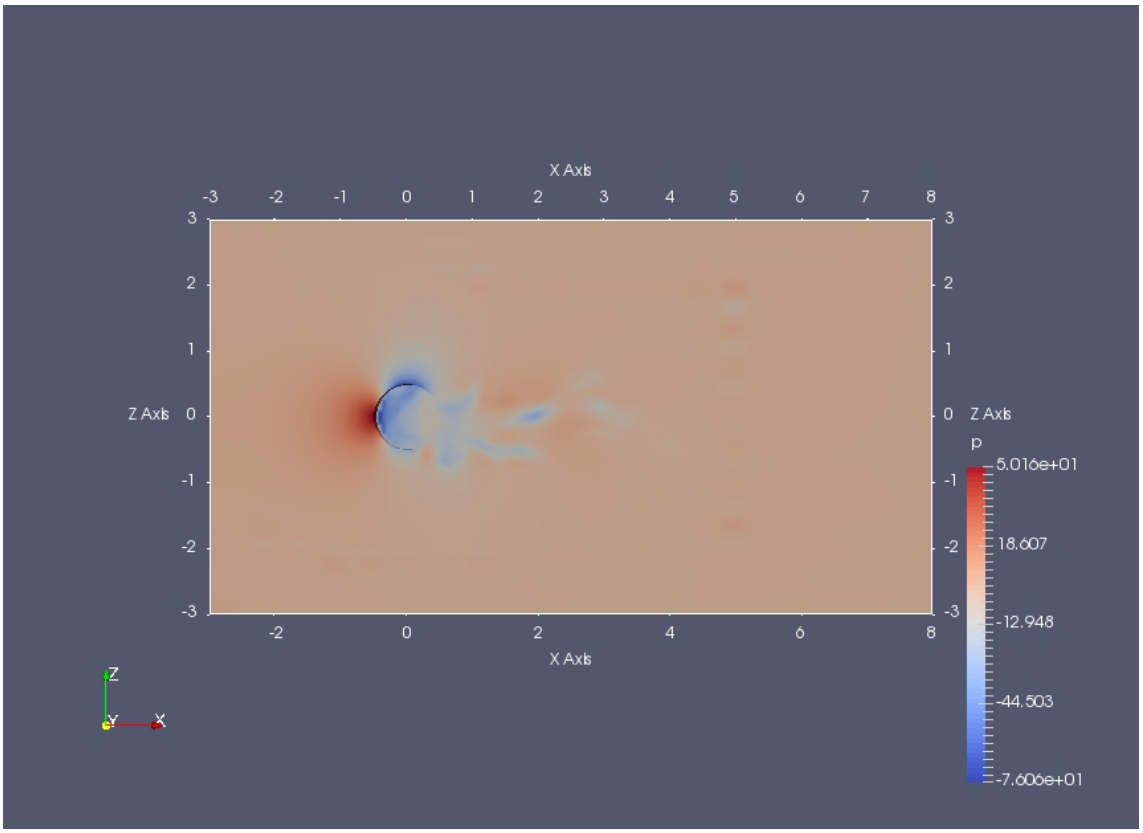
Snelheidsbeeld



Het snelheisbeeld laat zien dat er redelijk wat turbulentie optreed. Echter is dit turbulentie in de berekening. Typeerend voor een RANS model is dat er een diffuus beeld eigenlijk zou moeten zien. Omdat het naar een gemiddelde waarde dient te convergeren. De stapgrote en de mesh zijn nog wat aan de grove kant. Bij vervijning zal er een wat effener beeld ontstaan. Verder doet deze in-convergentie wel wat recht aan het von Karman effect. Door het ontstaan van draaikolken die afwisselend tegengesteld draaien. Dit zorgt er voor dat er afwisselend een hoge stromingssnelheid boven en dan weer onder de cilinder laat ontstaan.

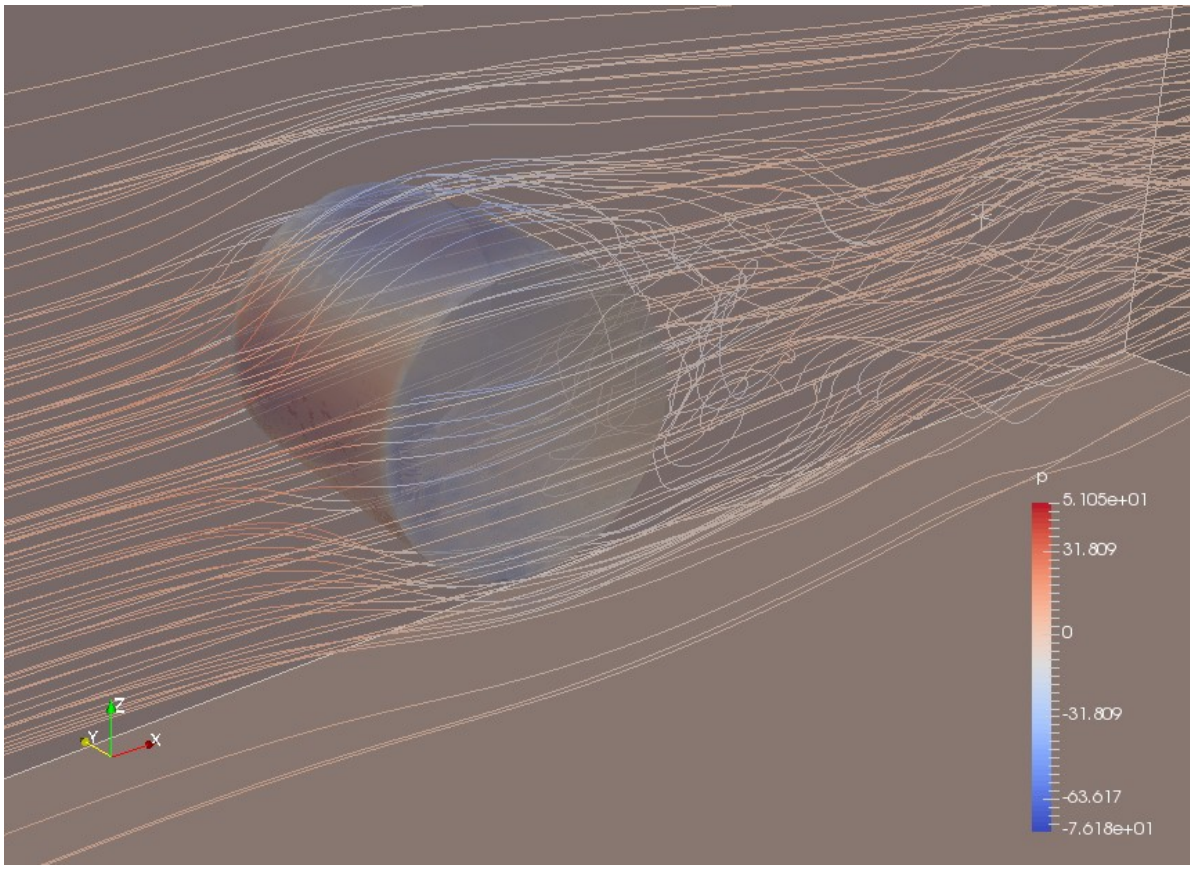
Het drukbeeld

het drukbeeld dient een tegenovergesteld beeld te laten zien van het snelheidsbeeld. Omdat de energie zich uitwisselt tussen druk en snelheid. Daar waar de snelheid hoog is zal de druk laag zijn. Door het Karman effect dat de snelheid nu hoog is aan de bovenzijde van de cilinder is de druk aan de bovenzijde ook lager. Er zal dan ook een kracht naar boven werken op de cilinder.

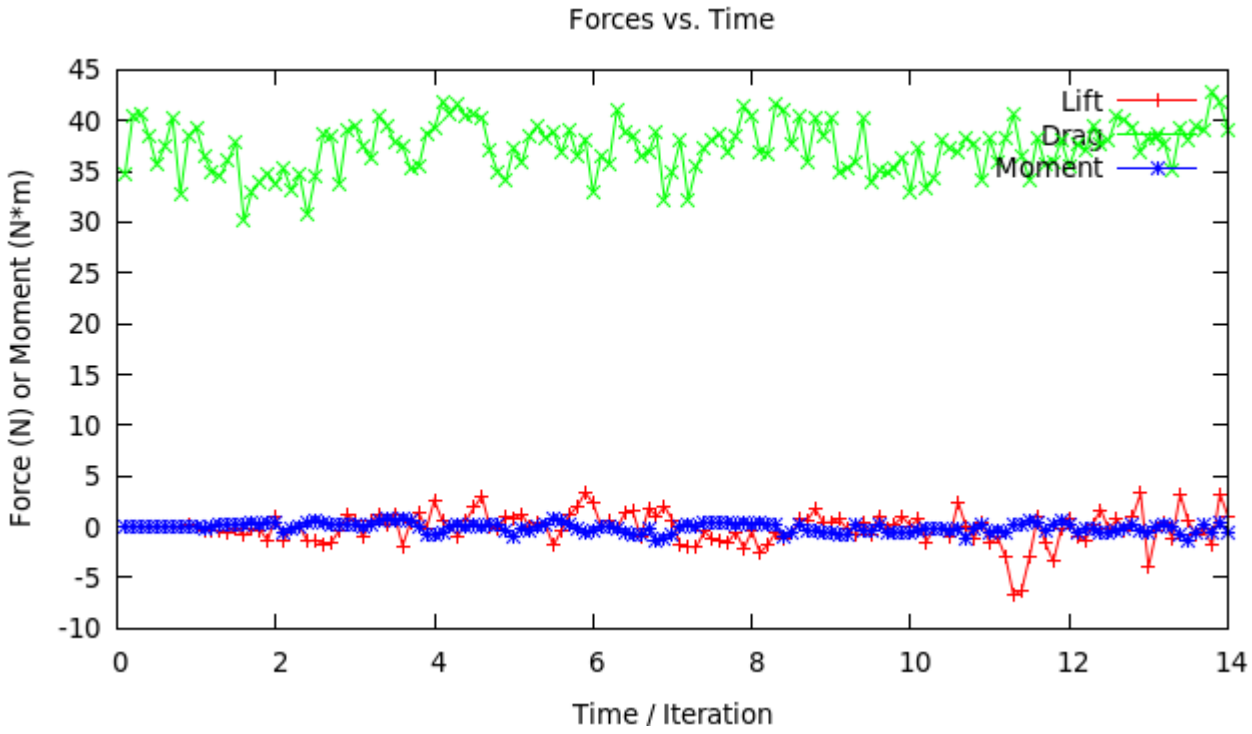


Oppervlaktedruk op cilinder en stromingslijnen

De druk is aan de voorzijde het hoogste. De onderdruk treed op waar de lucht snelheid het hoogst is.
De stromingslijnen geven weer hoe de stromingsrichtingen kunnen zijn.



De stromingsweerstand volgens de simulatie



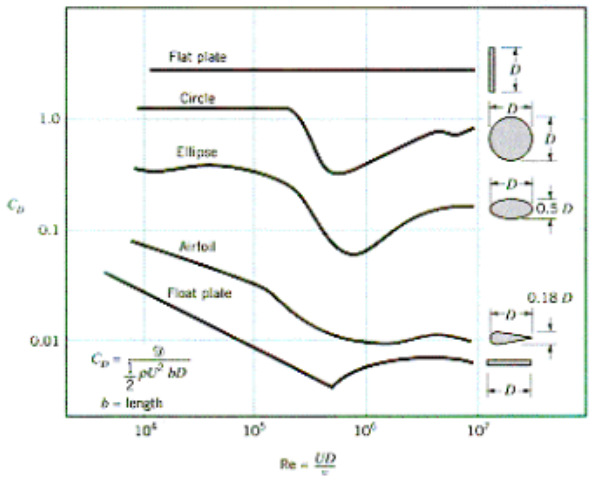
Hier boven staat een grafiek van de totale som van krachten op de cilinder.
-“Drag” is de stromingsweerstand uitgedrukt in [N] in de horizontale richting.
-“Lift” som van de verticale krachten uitgeoefend door de druk verschillen.
-“Moment” is het moment rondom het centrum van de cilinder.
Deze grafiek laat zien dat er niet een volledige convergentie is bereikt omdat de waarden nog enigszins gespreid liggen. De waarden hebben wel allemaal een orde grote die heel dicht bij elkaar liggen.
De stromingsweerstand van de cilinder is ongeveer 40 N de lift fluctueert tussen 5 en -5 N . het moment moment fluctueert tussen de 1 a 2 Nm positief of negatief.

Stromingsweerstand volgens de analytische berekening

De stromingsweerstand wordt doorgaands berekende aan de hand van de snelheid van het medium en de Cw waarde die gebaseed is op wind tunnel metingen. In Smath is een rekenblad opgesteld waar de stromingsweerstand berekend wordt.

Stromingsweerstand volgens algemene theorie

De stromingsweerstand is afhankelijk van het Renoldsgetal. Op basis van vele testen zijn er curves opgesteld die de relatie tussen stromingsweerstand en het turbulentie getal Renolds geven.



Indicatieve Cd waarden voor bjecten

Renolds getal $Re = 5.5556 \cdot 10^5$

Oppervlakte $A = 1\ m^2$

Reative snelheid tussen lucht en object $u = 10 \frac{m}{s}$

Airodynamische vrijvingsfactor voor deen cylinder $C_d := 0.65$

Dichtheid van de lucht $\rho := 1.29 \frac{kg}{m^3}$

Kracht die op het object ontstaat door de stroming van de lucht.

$$F := C_d \cdot A \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u^2 = 41.925\ N$$

In de grafiek is af te lezen dat bij een Reynolds getal van 5 x 10^5 een Cw waarde van ongeveer 0.6 gevonden wordt. Wanneer een Cw waarde van 0.65 ingevuld wordt in de berekening wordt een weerstand berekend van 42N. Deze berekende stromingsweerstand komt overeen met de gesimuleerde stromingsweerstand.

Conclusie

De simulatie is succesvol uitgevoerd en geeft een beeld dat overeenkomt met de verwachting. De gesimuleerde druk en de bijbehorende snelheden komen met elkaar overeen. De gesimuleerde weerstand van c.a. 40N komt overeen met de berekende weerstand van 42N.
Een simulatie die uitgevoerd wordt met deze meshgrote en Reynolds getal levert voor een RANS k-ε simulatie acceptabele waarden. Deze meschgrote kan voldoende nauwkeurige waarden opleveren in Open FOAM.