



WETENSKAPLIKE BYDRAES VAN DIE PU VIR CHO

Reeks H: Intreerede nr. 130

DIE ROL WAT UNIVERSITEITE KAN SPEEL IN DIE TOEKOMSTIGE ONT- WIKKELING VAN BEREKENINGS- VLOEIMEGANIKA

Josua Petrus Meyer

Departement Sentrale Publikasies

Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys

Potchefstroom

1992

Die Universiteit is nie aanspreeklik vir menings in die publikasies uitgespreek nie.

Navrae in verband met die Wetenskaplike Bydraes moet gerig word aan:

Departement Sentrale Publikasies
Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys
Potchefstroom 2520
Suid-Afrika

© 1992

ISBN 1-86822-130-X

Ter inleiding wil ek noem dat die menings wat in hierdie rede vervat is, my eie is en nie noodwendig die standpunte van my kollegas of van die Departement Meganiese Ingenieurswese verteenwoordig nie.

Ook omdat Berekeningsvloeimeganika (waarna ek van nou af kortliks sal verwys as BVM) deesdae so 'n wye toepassing het, is dit goed om nou al te noem dat die perspektief waarop ek vanaand gaan konsentreer, uit die lugvaartkunde sal wees - wat dan ook een van die kursusse is wat ek op voorgraadse vlak aanbied. My perspektief op die lugvaartkunde sal ook nie net beperk wees tot 'n Suid-Afrikaanse gesigspunt nie, maar wel 'n meer globale visie open. Dit sal dus veral die Amerikaanse perspektief insluit, aangesien Amerika die grootste van alle lugvaartindustriëe het. Ek gaan ook nie die invloed van die wapenboikot in ag neem nie en maak gevolglik die aanname dat die verhouding tussen Suid-Afrika en die VSA binnekort genormaliseer sal wees.

Aangesien daar sommige van u in die gehoor is wat nie weet wat BVM is nie, is dit miskien gepas om dit eers kortliks te verduidelik:

Berekeningsvloeimeganika of BVM is die oplos van probleme ten opsigte van vloeimeganika, hitte-oordrag en chemiese reaksie met behulp van 'n rekenaar. 'n Tipiese voorbeeld is die oplossing van snelhede en drukke oor en om 'n vliegtuig. Indien hierdie waardes bekend is, is dit moontlik om die kragte op die vliegtuig en dus ook die gedrag van die vliegtuig tydens vlug te bepaal.

'n Ander voorbeeld is die vloei en verbranding deur die enjins van 'n vliegtuig. Per rekenaar kan die vloei van lugpartikels deur die kompressor van die vliegtuig bepaal word. Die vermenging en verbranding van lug en brandstof in die verbrandingskamer kan dan bepaal word voordat die mengsel deur die turbine van die vliegtuig uitsit. Die vloei deur die kompressor, verbrandingskamer en turbine is belangrik, omdat dit die stukrag wat die enjin ontwikkel, bepaal.

'n Derde voorbeeld is die voorsiening van vars lug aan passasiers gedurende vlug. Met BVM is dit moontlik om te bepaal hoeveel lug, en by watter toestand en temperatuur die lug voorsien moet word om te verseker dat die passasiers 'n behaaglike omgewing ervaar.

Die metodologie wat gevolg word, is dat die gebied van belang gediskretiseer word. Dit behels die verdeling van die relevante ruimte in duisende klein volumes. Oor elkeen van hierdie klein volumes word die beheervergelykings toegepas. Die beheervergelykings is gewoonlik die vergelyking wat die behoud van kontinuïteit verseker, die vergelykings wat die behoud van momentum verseker (of wat dan ook bekend staan as Newton se tweede wet) en laastens die energievergelyking (wat ook bekend staan as die tweede wet van termodinamika).

Hierdie vergelykings is hoogs nie-lineêr en beskik tans oor geen analitiese oplossing nie. Daarom word hierdie vergelykings tipies geïntegreer in terme van omliggende volumes oor die gediskretiseerde rooster, wat dan 'n stelsel van vergelykings lewer. Hierdie stelsel van vergelykings is dan oplosbaar met 'n stelsel van randwaardes. Randwaardes is die een of ander bekende veranderlike op die rand van die rooster, soos byvoorbeeld

die snelheid van die vliegtuig. Die oplossing lewer ten opsigte van elke volume van die rooster veranderlikes soos die snelheid in drie komponente, druk, temperatuur, digtheid, Machgetal en waardes wat die graad van turbulensie aandui indien 'n turbulensiemodel gebruik is. Indien chemiese reaksies ter sprake is, soos in die verbrandingsruim van 'n enjin, kan addisionele waardes soos gaskonsentrasie of molfraksie ook bereken word.

Dit is nie ongewoon om in die lugvaartindustrie roostergrottes van 100 000 tot een miljoen punte op te los nie. In 'n verbrandingsruim sal dit dus beteken dat daar in totaal ongeveer 1 tot 10 miljoen waardes beskikbaar sal wees, wat geïnterpreteer moet word deur die menslike brein. Omdat dit 'n feitlik onmoontlike taak is, is dit gebruikelik om die resultate grafies in kleure voor te stel. Die konvensie wat gewoonlik gebruik word, is dat groot waardes van 'n sekere veranderlike in rooi aangetoon word en kleiner of laer waardes in blou.

Meneer die Visekanselier, die rol wat universiteite kan speel in die toekomstige ontwikkeling van BVM, moet geëvalueer word in die lig van die faktore wat die ontwikkelings tempo en toekomstige uitdagings bepaal. Daarom is 'n redelik omvangryke bespreking van sommige van hierdie faktore ook gepas.

Faktore wat al geïdentifiseer is wat in gebruik behoort te wees voordat aërodinamiese simulaties op 'n roetinebasis opgelos kan word, sluit in roostergenerering, geometrie-oppervlakte-omskrywing, oplossing-aanpasbare roosters, meer effektiewe tyd-akkurate simulaties, modellering van nie-ideale gaseffekte, voorspelling van transisie vanaf laminêre na turbulente vloei en turbulensiemodellering.

Daar is min meningsverskil oor watter items op die lys bygevoeg moet word, maar daar is 'n aansienlike betoeg oor die volgorde waarin die items aangepak moet word en tot watter vlak.

Turbulensie, byvoorbeeld, is duidelik 'n gewigtige vloeiëmekanika probleem. Maar moet groot en omvangryke BVM-hulpbronne nou al bestee word ten opsigte van die modellering of simulering van turbulensie, terwyl areas wat oor die algemeen meer invloed uitoeven - soos byvoorbeeld geometriese faktore en die akkurate simulering van ongestadigde vloei -, tans nog nie op 'n roetinebasis uitgevoer word nie?

Indien 'n groot belegging in 'n tegnologie te vroeg gemaak word, kan dit baie duur wees sonder dat dit 'n noemenswaardige opbrengs lewer; maar indien 'n tegnologie ryp is, kan dit vinnig en goedkoop deur baie geoes word. Byvoorbeeld, akkurate Godonov-eindige volumeskemas vir die Navier-Stokes vergelyking is alreeds in die laat-sestigerjare ontwikkel voor die ontwikkeling van transoniese potensiaalvergelings. Maar Navier-Stokes simulaties met eindige volumeskemas op rekenars van daardie era was eenvoudig nie lewensvatbaar nie. Dit was te rekenaarintensief, te duur en te tydzaam. En lugvaartmaatskappye wat hierdie metode gebruik het, het gevind dat die geld wat bestee word en die ingenieurspoging, 'n te klein opbrengs lewer.

Die transoniese potensiaalvergelings egter, kon prakties opgelos word met behulp van rekenars van daardie tyd en het gevolglik gehelp om 'n vraag na BVM te skep. Aan

die ander kant het NASA en universiteite in die sestigerjare belê in Navier-Stokesalgoritmes met eindigevolumeskemas wat vandag gereed is vir hedendaagse rekenaars en waarop die Godonovskema redelik prakties toegepas kan word. Die geskilpunt, in tye van beperkte hulpbronne, is dus om te identifiseer in watter volgorde, tot watter vlak en deur wie die faktore wat die ontwikkelingstempo van BVM bepaal, ondersteun moet word.

Sekerlik is daar 'n aantal areas in BVM wat met mekaar om ondersteuning meeding. Byvoorbeeld, om komplekse geometriese probleme te hanteer, kan 'n ongestruktureerde roosterbenadering gevolg word, of samestellings van gestruktureerde roosters, of 'n kombinasie van beide. Ongestruktureerde en saamgestelde gestruktureerde roosterskemas het voordele ten opsigte van mekaar. 'n Keuse van een benadering bo die ander mag lei tot verkeerde keuses, een waarvan die negatiewe effekte kan voortbestaan. Beskou byvoorbeeld die interne verbrandingsenjien wat miskien nie die korrekte keuse vir motors was nie. Met so baie ontwikkeling daaragter, sou dit moeilik wees om dit vandag met iets anders te vervang.

Nog 'n moeilike keuse is die besteding van alreeds skaars geld tussen algoritme-ontwikkeling en rekenaarontwikkeling - veral massiewe parallelle rekenaars. Die verloop van gebeurtenisse in die veld van superrekenaars het 'n kardinale invloed op BVM-aktiwiteite. Superrekenaars, een van die basiese gereedskapstukke van BVM, is belangrik om twee redes: spoed en simulasie. Deur massiewe berekeninge vinnig uit te voer kan hierdie hoëwerkverrigtingmasjiene fisiese eksperimente en toetsing vervang.

Die Shuttle-lanseertuig byvoorbeeld, wat in die vroeë tot middel-sewentigerjare ontwikkel is, se primêre databron was meer as 60 000 uur se windtonneltoetse. Gedurende dieselfde tyd is die Northrop YF-17-vliegtuig ontwikkel met meer as 50 000 uur se windtonneltoetse en ongeveer 10 uur se BVM-simulasies. Die YF-23, 'n meer komplekse aërodinamiese konfigurasie, ontwikkel in die middel-tagtigerjare, het 5 500 uur se windtonneltoetse en 15 000 uur rekenaartyd gebruik. Om dit in perspektief te plaas, let daarop dat 15 000 uur se rekenaartyd in die middel-tagtigerjare ooreenstem met 'n beraamde 100 tot 200 uur rekenaartyd in die negentigerjare. Die Pegasus-lanseertuig is ontwerp en gelanseer sonder enige windtonneltoetse en met 'n beraamde 200 tot 400 uur se rekenaartyd.

Indien ontleed word watter soort inligting verkry is, byvoorbeeld uit die 60 000 uur se windtonneltoetse van die Shuttle-lanseertuig, kan dieselfde inligting, en nog baie meer, vandag verkry word uit ongeveer 10 uur se rekenaartyd. 'n Mens sou dus kon argumenteer dat indien jy bereid is om vandag 60 000 uur se superrekenaartyd te bestee aan die ontwikkeling van die Shuttle, dit oor die waarde van ten minste meer as 360 duisend miljoen jaar se aanhoudende windtonneltoetse sou beskik.

Waar die superrekenaars wat hierdie tipe BVM-probleme so vinnig kan oplos, meestal in Amerika deur Cray ontwikkel is, het drie Japannese reuse - NEC, Fujitsu en Hitachi - ook superrekenaars begin ontwikkel. Dit het aanleiding gegee tot die vinnigste enkelprosesseerder-superrekenaar wat al ontwikkel is. Beide die Amerikaanse en Japannese regering het hulle superrekenaarindustrie ondersteun. Alhoewel, waar die Amerikaners dit primêr as verdedigingsstelsel gehanteer het, beskou die Japannese die

superrekenaarindustrie as 'n sleuteltegnologie wat gebruik kan word in die ingenieursektor om met die wêreld mee te ding.

Die oorgrote meerderheid superrekenaars wêreldwyd geïnstalleer, is tans Cray-produkte, alhoewel die Japanese produkte besig is om van dag tot dag hulle marktaandeel te verhoog met rekenaarsnelhede van 22 Gwops en meer. Aangesien ek nog baie gaan verwys na rekenaarspoed, is dit gepas om te noem dat 'n wops 'n wisselpuntoperasie per sekonde is. In Engels is dit flops, wat staan vir "floating operations per second". 22 Gwops is dus 22 maal 10^9 wisselpuntoperasies per sekonde, wat gelyk is aan 22 000 miljoen wops.

'n Belangrike ontwikkeling in superrekenaars is die verskyning van parallelle prosesseerders. Huidige hoëwerkverrigtingrekenaars kan verdeel word in drie tipes. Die eerste tipe is growwegreinvektormasjiene, wat die vinnigste moontlike individuele komponente op 'n konserwatiewe argitektuur gebruik. Hierdie masjiene, soos byvoorbeeld die NEC-, Fujitsu- en Cray-modelle, funksioneer alreeds teen 10^9 wops en sal 10^{10} wops behaal teen die laat-negentigerjare.

Die Hypercube, met 128 prosesseerelemente, is die tweede tipe mediumgrein parallellemasjiene met relatief goedkoop element-, maar redelike komplekse prosesseereenhede. Die derde tipe is die fyngrein-massiewe parallellemasjiene. Dit gebruik relatief goedkoop elemente op 'n aggressiewe en oorspronklike argitektuur. Alreeds by 10^{10} wops kan hierdie masjiene 10^{13} wops teen die einde van hierdie dekade bereik.

Parallele prosessering word benodig vir data-intensiewe toepassings wat hoë toevoer benodig. 'n Data-intensiewe toepassing is een wat 'n gigagreep (10^9 greep) of meer kan prosesseer in 'n enkele lopie. 'n Lugvloei-simulasie om 'n vevliegertuig wat 'n stelsel van linieêre vergelykings met 'n 100 000 by 100 000 samestelling moet oplos, sal 160 gigagreep benodig. 'n Probleem wat 10 uur sal neem op 'n 10^8 -wops-rekenaar, sal 30 sekondes neem op 'n 10^{11} -wops-rekenaar. 'n Groot probleem wat 100 uur sal neem om op te los, sal dan binne slegs 6 minute op 'n 10^{11} -wops-rekenaar opgelos kan word.

Indien hierdie ontwikkelinge in rekenaarsnelheidtoenames geëvalueer word, kan daar gevra word: Wat veroorsaak hierdie toenames? Die antwoord is dat daar sekere kragte is wat tans die ontwikkeling van parallelle prosessering bepaal, naamlik:

- Die afname in koste van prosesseertegnologie en die vraag na hoër toevoer.
- Grosh se Wet, wat sê dat die koste van 'n rekenaar in 'n gegewe tegnologie direk eweredig is aan die vierkantswortel van die spoed - 'n verband wat waargeneem is sedert die veertigerjare. Dus, 'n rekenaar 100 keer vinniger as 'n sekere masjien, kos ongeveer 10 keer soveel.
- Die nie-linieêre verwantskap tussen die grootte van 'n probleem en die rekenaarkrag benodig om dit op te los. Byvoorbeeld, vermenigvuldiging van twee n by n -samestellings benodig ongeveer n^3 -bewerkings. Dus 'n probleem 10 keer so groot benodig 'n prosesseerder 1 000 keer vinniger om in dieselfde tyd opgelos te word.

- Fisiese limiet (of die snelheid-van-lig-argument). 'n Driesentimeter silikonvlokkie kan 'n sein propageer binne ongeveer 10^9 sekondes. Dus, 'n seriale vlokkie kan op die meeste 10^9 wops hanteer, en daar word nie verwag dat die spoed hiervan dramaties verbeter kan word nie.

Vandag se vektorsuperrekenaars neig na die limiet van spoed. Byvoorbeeld, die prosesseerders op die huidige CRAY Y-MP is slegs ongeveer 20 % vinniger as dié van die vorige generasie, die X-MP. Navorsers het hoër uitsette met behulp van die Y-MP verkry deur die aantal prosesseerders te verhoog na agt. Vir sekere probleme - byvoorbeeld 'n gedetailleerde Navier-Stokes-model van 'n volledige vliegtuigkonfigurasie - sal honderde sulke prosesseerders benodig word vir 'n praktiese simulasie.

Dramatiese toenames in rekenaarvermoëns sal die gebruik van skalaar-parallelle rekenaarargitektuur benodig. Hierdie argitektuur sluit in beide samestellings van prosesseerelemente in harmonie met 'n enkele program (SIMD) en samestellings van medewerkende rekenaars wat onafhanklik loop met onderskeidende rekenaargeheues (MIMD). Tans is SIMD-samestellings met meer as 64 000 prosesseerders en MIMD-samestellings met meer as 500 rekenaars beskikbaar. Navorsers het alreeds aangetoon dat sulke samestellings baie meer vermoëns het as die vektorsuperrekenaars wat tans bestaan en/of ontwikkel word.

Aangesien parallelle BVM in sy kinderskoene staan, is hierdie omvang van rekenaarvermoë beide verfrissend en belowend. Studies toon aan dat gedurende die 20-jaar-periode vanaf 1970, rekenaarhardewareverbetering die programme van 1970 meer as 1 000 keer vinniger gemaak het. Terselfdertyd het verbeteringe in rekenaarsagteware en algoritmes oplossings verseker 3 000 keer vinniger as gedurende die sewentigerjare. Daar word verwag dat hierdie neigings sal voortduur soos wat grootskaalse BVM-oplossings gebruik maak van parallelle prosessering.

Die gevolgtrekking kan dus gemaak word dat algoritmeontwikkeling ongeveer in pas gebly het met rekenaarontwikkeling. Maar kan dit in pas bly met 'n 64 000-prosesseerder wat byvoorbeeld in parallel geskakel is? Slegs deur 'n geloofsprong in menslike vindingrykheid kan ja geantwoord word. Kan 'n 64 000 parallelle prosesseerder effektief parallel gebruik word voordat heelwat werk in algoritme-ontwikkeling gedoen is? Selfs met minder prosesseerders en 'n vereenvoudigde probleem, moet daar tans baie tyd bestee word om goeie effektiwiteit te verkry.

Universiteite, menseer die Visekanselier, het per definisie die dubbele taak van onderrig en navorsing. Hulle produkte is opgevoede studente, die ontwikkeling van akademiese dissiplines en diens aan die gemeenskap.

Met verwysing na onderrig in BVM: Universiteite het in hierdie opsig die verantwoordelikheid op hulle geneem en die grootste rol gespeel. In soverre BVM 'n essensiële deel van lugvaartkundige ingenieurswese geword het, moes gespesialiseerde BVM-kursusse deel geword het van die ingenieurskurrikulum - en gewoonlik is dit so. Op nagraadse vlak is BVM gewoonlik 'n afsonderlike kursus of selfs meer as een kursus. Op voorgraadse vlak word dit gewoonlik 'n deel van 'n vloeimeganika- of 'n numeriese analisekursus.

Terwyl universiteite onderrig gee in BVM as 'n dissipline, begin hulle nou ook BVM-oplossings en naverwerkingsagteware gebruik om onderrig te gee in vloeimeganika en lugdinamika. Vloeimeganika was nog altyd 'n visuele kursus. Begrippe van vorteksverskynsels is verkry deur rook, kleurstof en damp in 'n vloeiveld in te spuit, terwyl skadubeeldgrafika en schlierenfotoografie ons gehelp het om skokverskynsels te verstaan.

BVM - wat ook deur sommige beskryf word as die kuns van gekleurde prentjies - is in baie opsigte beter as eksperimentele metodes om vloeimeganika nog duideliker te maak. Met BVM, byvoorbeeld, kan parameters gekontroleer word en verskynsels kan gesimuleer word wat nie geredelik deur eksperimentele fasiliteite gedupliseer kan word nie.

Moderne ingenieurswerkstasies en selfs 486 persoonlike rekenaars het baie koste-effektief geword, en die afgelope dekade het NASA en die Amerikaanse industrie superrekenaars gebruik om gedetailleerde viskeuse vloeisituasies om 'n verskeidenheid eenvoudige en komplekse geometrieë mee op te los. Baie van hierdie oplossings is in die publieke domein, en alhoewel tekortkominge bestaan, is daar desnieteenstaande groot hoeveelhede nuttige inligting.

Met moderne werkstasies en grafiese sagteware begin studente interaktiewe grafika gebruik om vloei fisies te bestudeer. Vloeivelde kan daarmee individueel bestudeer word, partikels kan gelos word in 'n vloeiveld en gevolg word om vloeipatrone mee waar te neem, kontoere kan vertoon word om vortekskerne mee te identifiseer, vloeiegbreking kan vergroot word, ensovoort.

Die viskeuse vloeiveld om 'n F-16A vliegtuig teen hoë invalshoeke, byvoorbeeld, kan ondersoek word deur enigiemand wat toegang het tot 'n genoegsaam kragtige werkstasie. Deur te kommunikeer met ongestadigde databasisse, kan 'n student die tipe intuïtiewe gevoel van ongestadigde vloei verkry wat nog slegs deur 'n paar top-akademië bemeester is. Deur 'n werkstasie te gebruik, is dit moontlik om tranoniese stampe en periodieke afwerping van vortekse waar te neem, en selfs om die vloei terugwaarts te laat plaasvind in gesimuleerde tyd, om partikels te volg tot by 'n oorsprong.

Hierdie tipe onderrigproses begin plaasvind. Baie huidige kommersiële sagteware en hardware is egter nog steeds te duur vir universiteite om te installeer op batterye van 10 tot 20 werkstasies, 'n getal wat gebruik kan word in 'n onderriglaboratorium.

Op 'n soortgelyke manier het baie universiteite BVM-kodes wat gebruik kan word om 'n vliegtuigvlerk of vleuelprofiel mee te ontwerp. Hierdie tipe proses hou aan om te ontwikkel, en die vleuelprofiel kan nou geëvalueer word by ontwerp- en nie-ontwerpkondisies. Dit kan geïntegreer word in 'n vlerk-romp-konfigurasie, wat data sal voorsien van driedimensionele effekte. Dieselfde werkstasie of persoonlike rekenaar wat die student kan gebruik om vloeimeganika mee te visualiseer en te verstaan, kan gebruik word vir analisedoeleindes en selfs om die verslag mee te skryf wat die studie beskryf.

Enige dissipline word inisieel ontwikkel deur amateurs; met verloop van tyd tree professionalisme en rigorisie in. Universiteite beweeg nou met BVM in hierdie fase

in en sal hopelik hierdie vakgebied se aantrekkingskrag laat voortduur. Teenswoordig is BVM-metodologie, soos ingenieurswese, 'n mengsel van wetenskap en kuns. Om BVM werklikwaar die berekenbare gereedskapstuk te maak wat dit moet wees, sal die kunskomponent verminder moet word ten gunste van die wetenskapkomponent. Gelukkig sal daar altyd 'n kuns-element oorbly, aangesien die behoudsvergelykings van BVM nie-lineêr is - en met nie-lineariteite kan die onverwagse verwag word.

Vanaf die aanvang van BVM het universiteite bygedra tot navorsing op hierdie vakgebied. Hierdie navorsing moet aanhou om: onderrig te versterk en aan te dryf, BVM te verbeter as 'n dissipline, toekomstige navorsers op te lei, kennis in die publieke domein te hou, areas te verken wat kommersieel ongedefinieerd is, en om dosente en studente te motiveer. Dat universiteite navorsing in BVM moet doen, is duidelik. Dié tipe navorsing is egter onderhewig aan debat, soos waargeneem kan word in die aanhoudende meningsverskil oor oop teenoor geklassifiseerde navorsing.

Om die vlakke van navorsingsfondse te regverdig word pogings aangewend om die navorsingsrol van universiteite, regeringsinstansies en die industrie te katagoriseer. In sulke pogings word aan universiteite gewoonlik die rol van fundamentele navorsing toegeken, industrie dié van toegepaste navorsing en regeringsinstansies dié van rigtingaanwysers.

Alhoewel hierdie tipe rolverdeling nodig is, is dit in baie gevalle prakties onuitvoerbaar. Industrie moet 'n bietjie fundamentele navorsing doen om bekwaam te wees ten opsigte van toegepaste navorsing. Universiteite aan die ander kant, moet betrokke wees by toegepaste navorsing of anders die risiko dra om 'n luilekkerland te word. Regeringsinstansies kan nie 'n beleid stel en nasionale missies probeer uitvoer sonder self-ontwikkelde kundigheid nie.

Dit is in almal se belang om die kontak tussen universiteite en regeringsinstansies te koester en aan te moedig. Daar is net sulke groot voordele wat verkry kan word vanuit meer direkte kontakte en nouer samewerking tussen universiteite en die industrie. Universiteite word bevoordeel deur die blootstelling aan probleme wat in die industrie ondervind word; die industrie weer, word bevoordeel uit die massiewe kundigheid en poel van talent wat by universiteite beskikbaar is.

Die les hier is duidelik dat BVM tot nou toe bevoordeel is deur die mengsel van kompetisie en samewerking tussen universiteite, industrie en regeringsinstansies. Om te floreer, moet BVM koste-effektiewe en aanvaarbare oplossings lewer tot praktiese industriële probleme, maar die belangrikheid van "klein akademiese" probleme moet ook beklemtoon word. Ervaring het telkemale aangetoon dat voordat ingenieurstudente blootgestel word aan praktiese industriële probleme, hulle eers blootgestel moet word aan die fundamentele en modelprobleme.

Verskynsels kan baiekeer geïsoleer en apart ondersoek word ten opsigte van hulle fisiese meganismes en beheerfaktore. Byvoorbeeld, vorteksonbinding in 'n driedimensionele vloeiveld om 'n F-18-vliegtuig, soos getoon in 'n komplekse simulatie, mag wegbreek en kan ondersoek word in 'n omgewing wat beide numeries en eksperimenteel vereenvoudig is. Die gebruik van so 'n idealistiese probleem is nie net 'n goeie opvoedkundige metode

nie, maar help ook om die hoofelemente in werking te identifiseer en maak die verskynsel vatbaar vir verdere analise.

Alhoewel studies van geïsoleerde of vereenvoudigde probleme waardevol is, kan dit ook misleidend wees. In BVM is algoritmes gekonstrueer en geëvalueer wat gebaseer is op eendimensionele konsepte wat bekend is daarvoor dat dit nie in die algemeen van toepassing is op multidimensionele vloei nie. Net so, mag 'n eindelose stroom van artikels oor gevorderde skokvanging meer kritieke driedimensionele effekte uit die oog verloor. Dus, akademië, net soos industrie en regeringsinstansies, moet ook betrokke wees by realistiese driedimensionele toepassings en hulle probleme.

As gevolg van vorige beleggings deur NASA en die National Research Council in die VSA in hoëspoedrekenaar-netwerke en superrekenaar-fasiliteite, kan universiteite daar by hierdie fasiliteite inskakel met eenvoudige werkstasies en BVM-navorsing doen wat eers vir regeringsinstansies gereserveer was. Uitstekende grafiese werkstasies is beskikbaar aan universiteite teen tussen sestig- en eenhonderdduisend rand. Gevolglik kan akademië voortgaan om 'n belangrike rol te speel in die ontwikkeling van BVM met die oog op algemene toepassings of grootskaalse fundamentele studies.

Gegee 'n goed geformuleerde wiskundige model en 'n stabiele akkurate numeriese skema word die struikelblokke van implementering in 'n rekenaarprogram totaal onderskat. Soos wat simulاسies toenemend kompleks word, word BVM-sagteware moeiliker om te ontwikkel en te onderhou. Selfs met 'n enkele ontwikkelaar of programmeerder is dit moeilik om programmeerfoute te elimineer. Wanneer kodeontwikkeling deur 'n aantal ontwikkelaars onderneem word, wat miskien oor tyd varieer, mag daar later nie meer een wees wat presies weet wat vervat is in 'n groot sagtewarepakket nie. Gestruktureerde, versigtige, gekontroleerde programmeertegniese word dan essensieel. Andersins kan ongekontroleerde veranderinge nuwe foute in die program invoer.

Kodevalidering word toenemend erken as 'n deurslaggewende faktor om vertroue in BVM te laat toeneem. In die beskouing van hierdie argument is dit belangrik om te onderskei tussen die korrektheid van die program en die geskiktheid van die wiskundige model wat byvoorbeeld verbranding beskryf. Om eenvoudig eksperimentele data met numeriese resultate te vergelyk, voorsien geen manier om te bepaal waar die bron van diskrepansie is nie. Is dit as gevolg van foutiewe numeriese benaderings, programmeringfoute, deviasies tussen die wiskundemodel en die ware fisiese verskynsels, of is die metings onakkuraaf of versteur?

Die stappe wat onder andere gedoen kan word om programkorrektheid te verseker, is: modulêre programmering wat substitusie in staat stel om logies identiese maar onafhanklik geprogrammeerde weergawes te gee van elke module wat identiese resultate lewer. Roosterverfyningsstudies - gee die program definitiewe antwoorde soos wat die roostergrootte aanhoudend verfyn word? En konsekwente nagaan van bestaande wiskunde eienskappe. Byvoorbeeld, gee 'n simmetriese vliegtuigvlerk nul hefkrag by 'n invalshoek van nul grade? Ideaal gesproke kan die numeriese skema en rekenaarprogram nagegaan word en intern gekontroleer word deur toetse soos hierdie tot by 'n punt waar foute toegeskryf kan word aan die ontoereikendheid van die

wiskundemodel en nie aan die program self nie.

BVM mag nou beskou word asof 'n punt bereik is waar die kernvraagstukke vir nie-viskeuse vloeiprobleme goed verstaan word. 'n Verskeidenheid hoëresolusie- nie-ossillerende skokvangingsmetodes is beskikbaar, byvoorbeeld, multirooster- en ander versnellende metodes verseker konvergensie in 10 tot 50 siklusse. Terselfdertyd is effektiewe tegnieke ontwikkel wat komplekse konfigurasies met beide gestruktureerde en ongestruktureerde roosters kan oplos. Ongestruktureerde roosters bied die plooibaarheid om arbitrêre komplekse konfigurasies te hanteer sonder die nodigheid om maande te bestee aan die ontwikkeling van 'n aanvaarbare rooster.

Daarteenoor, viskeuse vloeisimulasies van volledige vliegtuigkonfigurasies is tans nog te duur vir ingenieurstoepassings, en die vertrouensvlak in die resultate van viskeuse vloeiberekening is laag. Die grootste hindernis op hierdie oomblik is weggebreekte en turbulente vloei. Bruikbare resultate kan genereer word mits die resultate versigtig geïnterpreteer word.

Vir die voorspelling van weggebreekte vloei moet 'n universeel betroubare turbulensiemodel ontwikkel word. Turbulensie behou sy geheimsinnigheid met 'n hardnekkigheid vergelykbaar met die genetiese kode van 'n langkettigmolekule. Totdat 'n goeie turbulensiemodel beskikbaar is, sal die afwesigheid daarvan 'n groot struikelblok in die weg van die ontwikkeling van BVM-kodes wees. Alhoewel 'n nuwe benadering tot die afleiding van 'n turbulensiemodel gebaseer op hernormaliserings-groep-teorie tans ontwikkel word en belowende resultate lewer, word 'n beter begrip van fisiese turbulensie benodig vir die simulering van groot werwels. Dit is 'n area waar universiteite 'n sterk rol kan speel. Vordering mag afhanklik wees van gekoördineerde numeriese studies en versigtig gekontroleerde eksperimente.

Aangesien dié mense wat geassosieer word met BVM, primêr 'n ingenieursagtergrond het, is daar 'n neiging om te dink dat die uitvloeisel primêr tegniese is. Daar is ook tegniese uitvloeiels, soos turbulensie, grenslaageffekte, driedimensionaliteit en tydgemiddelde waardes. Daar is ongelukkig te min begrip vir die onsekerhede in beide BVM-modelle en eksperimentele data wat gebruik kan word vir vergelykings en bevestiging. Daar is 'n gebrek aan kwaliteitargiefstukke wat gebruik kan word om BVM-kodes mee te toets en te kalibreer. Op die oomblik is daar nie eens 'n definisie van wat 'n voldoende toetsproses is nie.

Die meganika van die oplossing van die verteenwoordigende vergelykings, gegewe goeie wiskundige modelle, is 'n aspek wat die vraag na beter metodes van roostergenerering, oppervlakdefinisie en numeriese algoritmes onderstreep. Sulke verbeterings vra tipies meer van 'n rekenaar. "It's a poor workman who blames his tools", maar daar is 'n universele uitroep uit die BVM-gemeenskap wat vra om meer rekenaarspoed en -geheue ten opsigte van die rekenaargereedskap wat tans gebruik word.

Alhoewel sulke tegniese vraagstukke moeilik is om uit te ken - en uitdagend is om aan te pak -, miskien nog belangriker en meer uitdagend is die ander vraagstukke soos personeel, ekonomiese en politiese vraagstukke. Op die personeel/politiese front verwys knap jong ingenieurs na die "pioniers van BVM". Hulle is neerhalend oor die feit dat

indien jou naam nie alreeds erken is in assosiasie met 'n paar wêreldleiers op die gebied van BVM nie, jou werk nie aanvaar sal word nie. Verder sal jy nie eers hoor van belangrike seminare en werksinkels nie, en nog minder sal jy daarheen uitgenooi word. Aan die ander kant moet erken word dat hierdie pioniers BVM vandag gekry het waar dit tans is.

Op die politieke/ekonomiese front is die saak nie of ons BVM kan bekostig nie, maar dit is soos met baie ander kritieke tegnologieë of ons die ekonomiese voordeel van BVM sal pluk. Die balans tussen internasionale samewerking en internasionale kompetisie moet behou word, en soos altyd op 'n manier wat wedersyds voordelig is.

Terwyl die kernvraagstukke baie is en verskil, is daar ook onverskrokke siele wie se lewens daaraan toegewy is om hierdie vraagstukke op te los. Soos wat hierdie vraagstukke mettertyd opgelos word, sal daar miskien iemand wees wat sal dink om te sê soos Sir Isaac Newton: "If I have seen farther, it is because I stood on the shoulders of giants".

Sommige navorsers is van mening dat die kernvraagstukke wat nog opgelos moet word, so groot is dat die toekoms van BVM taamlik onaantreklik is. Meneer die Visekanselier, ek deel nie hierdie mening nie. Eerder sal ek sê dat hierdie vraagstukke 'n uitdaging bied soos geen ander uitdaging in die wetenskaplike gemeenskap nie. Geen ander komplekse dissipline het sulke vordering gemaak deur die gebruik van rekenaars as BVM nie.

Die tegniese uitdagings wat deur BVM aangepak is, strek baie verder as die gebied van BVM en raak selfs abstrakte wiskunde, programmeertale en fundamentele fisika. Inderdaad, die rol van BVM hou aan om te groei, in so 'n mate dat dit binnekort nodig mag wees om die naam daarvan te verander (miskien berekeningsfisika of in Engels "computational physics").

Alhoewel toetsing en kalibrering aanhou om 'n groot behoefte te bevredig, is daar aanhoudende pogings deur regeringsinstansies, akademici en die privaatindustrie om kriteria daar te stel vir argiverings- vergelykende data. Sulke data sal nie net gebruik word vir nuwe standaarde van akkuraatheid en kredietwaardigheid ten opsigte van BVM-kodes nie, maar dit sal ook dien as standaard vir die eksperimentele gemeenskap. Geen ander numeriese wetenskap het standaardisering bereik tot die vlak wat BVM bereik het nie; ook het geen ander dit reggekry om so baie te vermag deur die gebruik van die ingenieurswesevakgebied nie. Desnieteenstaande is die mees treiterende vrae wat by BVM spook sedert die ontstaan van hierdie dissipline:

- Waarvoor kan dit gebruik word; en
- Hoe goed is dit?

"Waarvoor kan BVM gebruik word?" Die antwoord op hierdie vraag is: "Omtrent vir enigiets". Vanaf fundamentele analises tot konseptuele ontwerp, tot finale ontwerp en konstruksie, tot toets en evaluering. Op al hierdie gebiede is BVM besig om al die ou metodes te vervang van uitvind en van sake doen. Regdeur vanaf regeringsinstansies tot

by die industrie word BVM beskou as 'n "kritieke tegnologie" - een waarvan die toekomstige ekonomie afhanklik is.

"Hoe goed is dit?" Vir die ingenieurs, wetenskaplikes en bestuurders wat BVM gereeld gebruik, is die antwoord:... "Nog nie goed genoeg nie". Omdat daar nog steeds vraagstukke is vir dié wat BVM gebruik, voel hulle dat daar 'n behoefte is om dit verder te verbeter en kyk hulle dieper in die toekoms wanneer fisiese verskynsels akkuraat beskryf kan word en numeries bereken kan word.

Dit kom voor asof die lugvaartkunde-industrie in die besonder en die industrie in die algemeen groot ekonomiese voordele haal uit BVM in terme van verhoogde produktiwiteit, verminderde ontwerptyd en verminderde toetskoste. Tog is dit oteenseglik so dat wat bereik is, slegs die puntjie is van die ysberg vergeleke met wat nog bereik kan word.

In beide onderrig en navorsing sal BVM moet aanhou groei binne die universiteit as deel van die ingenieurskurrikulum. Dié vakgebied kan ons kennis en begrip vermeerder van fisiese vloeï en die gepaardgaande geassosieerde wiskunde, insluitende uitvloeiels van bestaan en uniekheid. In verhouding tot eksperimentele pogings is navorsing ten opsigte van BVM nie duur nie. Die vraag na rekenaarsimulasies van alle tipes is besig om toe te neem. Dit wil ook voorkom asof BVM positiewe probleemoplossingservaringe sowel as innoverende, bruikbare en opwindende navorsingsgeleenthede verskaf.

Onder diegene in die BVM-gemeenskap het dit 'n gewoonte geword om te streef na verbetering in BVM. En soos wat Aristoteles eenmaal gesê het. "Ons is wat ons herhaaldelik doen. Uitnemendheid is dus nie 'n daad nie, maar 'n gewoonte."