

Programové prostředky modelování

Modelling software products

Ondřej Klofáč

Bakalářská práce
2007



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav aplikované informatiky

akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej KLOFÁČ**

Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**

Studijní obor: **Informační technologie**

Téma práce: **Programové prostředky modelování**

Zásady pro vypracování:

1. Vyhledejte v současnosti používané programy pro matematické modelování fyzikálních a chemických dějů.
2. Proveďte jejich porovnání z uživatelského hlediska.
3. Porovnejte možnosti a vybavení jednotlivých programů.
4. Ve vybraných programech vytvořte model a předvedte jeho funkci.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Zimmerman, William B.J.: Process Modelling and Simulation with Finite Element Methods, World Scientific, Singapore, 2004

Zítek, Pavel: Matematické a simulační modely : modely v komplexním oboru.Díl 1., ČVUT, Praha, 2004

Hub, Ludvík: Matematické modelování a simulace chemických procesů,Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2005

Vincenzo Capasso: Mathematical modelling for polymer processing: polymerization, crystallization, manufacturing, Springer,Berlin, 2003

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lubomír Macků, Ph.D.

Ústav elektrotechniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

13. února 2007

Termín odevzdání bakalářské práce:

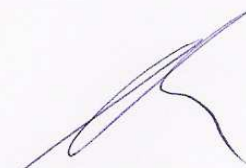
24. května 2007

Ve Zlíně dne 13. února 2007



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

děkan



doc. Ing. Ivan Zelinka, Ph.D.

ředitel ústavu

ABSTRAKT

V práci nalezneme přehled programů v současnosti používaných v oblasti modelování různých fyzikálních či chemických dějů. Je zde provedeno porovnání a popis vlastností programů dostupných v této oblasti. Jedná se o programy FEMLAB, ABAQUS, ANSYS, MIXSIM, PROSIM a FLUENT. V teoretické části je v rámci možností provedeno porovnání simulačních schopností a systémových požadavků těchto programů. V praktické části je pak předvedena funkce programu FEMLAB na konkrétní praktické realizaci.

Klíčová slova: modelování, simulace, fyzikální jevy, software, konečný prvek

ABSTRACT

There is an overview of a software being used for a modeling of various physical and chemical effects in this work. Properties of available programs are described and compared. The programs are FEMLAB, ABAQUS, ANSYS, MIXSIM, PROSIM and FLUENT. In the theoretical part simulation capabilities and system requirements of the programs are compared. The Practical part demonstrates the functionality of FEMLAB on a specific problem.

Keywords: modelling, simulation, physical events, software, finite element

Poděkování:

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Lubomíru Macků, Ph.D. za odborné vedení, rady a připomínky, které mi poskytoval při řešení této práce. Zároveň chci poděkovat všem mým blízkým za morální podporu.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně 20.5.2007

.....
Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	7
I TEORETICKÁ ČÁST	8
1 V SOUČASNOSTI DOSTUPNÉ SIMULAČNÍ PROGRAMY	9
1.1 PŘEHLED PROGRAMŮ	9
1.2 SROVNÁNÍ SIMULAČNÍCH VLASTNOSTÍ TĚCHTO PROGRAMŮ	12
1.2.1 Způsob matematického řešení.....	12
1.2.2 Možnosti tvorby modelů a sítí.....	14
1.2.3 Podporované procesy a fyzikální jevy	16
2 OVLÁDÁNÍ PROGRAMŮ A POŽADAVKY NA SYSTÉM	19
2.1 PRACOVNÍ PROSTŘEDÍ	19
2.2 SYSTÉMOVÉ POŽADAVKY	24
II PRAKTICKÁ ČÁST	27
3 PRÁCE S VYBRANÝMI PROGRAMY	28
3.1 VYTVOŘENÍ 2D MODELU V PROGRAMU FEMLAB	28
3.1.1 Model Navigátor a draw mode.....	28
3.1.2 Nastavení fyzikálních parametrů.....	29
3.1.3 Postprocessing Mode	31
3.2 VYTVOŘENÍ 3D MODELU V PROGRAMU FEMLAB	33
3.2.1 Model Navigátor a draw mode.....	33
3.2.2 Nastavení fyzikálních parametrů.....	35
3.2.3 Postprocessing Mode	35
3.3 PŘEHLED PŘEDDEFINOVANÝCH MODELŮ V PROGRAMU FEMLAB	37
3.3.1 Akustika	37
3.3.2 Problematika srovnávacích testů.....	38
3.3.3 Chemické inženýrství.....	39
3.3.4 Elektromagnetismus	40
3.3.5 Dynamika tekutin	41
3.3.6 Oblast multifyziky.....	41
3.3.7 Další kategorie	43
ZÁVĚR	45
ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ	46
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	47
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	48
SEZNAM OBRÁZKŮ	49
SEZNAM TABULEK	50
SEZNAM PŘÍLOH	51

ÚVOD

V současné době téměř každá významná firma či výrobce zabývající se vývojem nových komponentů a výrobků používá při jejich vývoji programy umožňující modelování a simulaci různých fyzikálních a chemických jevů.

Tyto softwarové nástroje jsou v současné době používány v průmyslové praxi jak při vývoji nových, tak při zlepšování stávajících výrobků. Umožňují snížit čas potřebný k vývoji daných výrobků. Další nezanedbatelnou výhodou je, že nabízejí cenovou alternativu k nákladným experimentům, které bývají prováděné na modelech daného výrobku. Tímto vhodně doplňují experimentální výzkum, který stále hraje nezastupitelnou úlohu v procesu vývoje nových výrobků. V dřívějších dobách bylo třeba vyrobit experimentální prototyp, na kterém byly prováděny zdouhavé experimenty až do té doby, než byl odhalené nedostatky odstraněny. V současnosti dokáží tyto programy velkou část těchto nedostatků odhalit ještě před výrobou prototypu. Poté pak dochází k testování prototypu v reálných podmínkách, neboť stále ještě nejsme schopni všechny reálné vlivy zahrnout do simulací.

Simulační programy jsou v současné době používány v mnoha rozmanitých odvětvích průmyslu, ať už se jedná například o automobilový, letecký či farmaceutický průmysl, výrobu ropných produktů či jiné. V současné době se tyto programy staly nedílnou součástí vývoje takových světoznámých společností jako jsou např. Boeing, General Electric, General Motors, Ericsson, Harley-Davidson a dalších.

Tato práce si klade za cíl vytvořit přehled některých v současné době používaných programů, dále provést srovnání vlastností těchto programů a zhodnotit možnosti jejich dalšího případného využití .

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 V SOUČASNOSTI DOSTUPNÉ SIMULAČNÍ PROGRAMY

Největší vzestup tohoto odvětví nastal v 80. letech dvacátého století, kdy byla založena velká část společností, které se od té doby věnují vývoji těchto programů.

Pro psaní práce, pro užívání jednotek, značek a pro citace použijte následující normy:

- ČSN ISO 5966 (01 0173) *Formální úprava vědeckých a technických zpráv.*
- ČSN ISO 7144 (01 0161) *Dokumentace – Formální úprava disertací a podobných dokumentů.*
- ČSN 01 6910 *Úprava písemností zpracovaných textovými editory nebo psaných strojem.*
- ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura.*
- ČSN ISO 690-2 *Bibliografické citace - Část 2: Elektronické dokumenty nebo jejich části.*
- ČSN ISO 31-11 *Matematické značky.*
- ČSN ISO 1000 *Zákonné měřicí jednotky.*

1.1 Přehled programů

V současné době se na trhu nachází spousta programů umožňující modelování fyzikálních a chemických dějů. Mě se při prohledávání podařilo nalézt programy FEMLAB (Comsol Multiphysics), ABAQUS, ANSYS, FLUENT, MIXSIM a ProSim.

Jedním z těchto programů je program FEMLAB, někdy také nazýván COMSOL (podle názvu společnosti) . Tento program je produktem Švédské společnosti COMSOL, která vznikla v roce 1986 ve Stockholmu. V současné době lze nalézt její pobočky po celém světě.

Tento program se v současné době prodává ve verzi 3.3. Výrobce uvádí že program FEMLAB je určen všem vývojářům, výzkumníkům i vědeckým pracovníkům. Pro širokou nabídku funkcí pro zobrazování výpočetních výsledků je určen taky specializovaným středním a vysokým školám. Dále je uváděno, že systém dokáže modelovat prakticky všechny jevy popsatelné pomocí parciálních diferenciálních rovnic (PDE). Do řešení lze zahrnout několik fyzikálních vlivů najednou (tzv. multifyzikální úlohy) a také provádět komplexnější analýzu modelu. FEMLAB je těsně propojen s univerzálními nástroji MATLAB a COMSOL Skript určenými pro vědecko- technické výpočty. Funkce těchto programů lze využít například při kreslení geometrických tvarů, při vlastním numerickém

řešení atd. Tento program je možné si pořídit u společnosti HUMUSOFT s. r. o sídlící v Praze, která je výhradním zástupcem firmy COMSOL pro Českou republiku a Slovensko. Cena produktu COMSOL Multiphysics 3.3 je pro individuálního uživatele přibližně 293 000 Kč.

Dalším programem, který lze využít pro modelování je program FLUENT, který je produktem Americké společnosti FLUENT, Inc., která se v roce 2006 stala součástí společnosti ANSYS, Inc. Tato společnost má své pobočky po celém světě. Společnost FLUENT, Inc. vznikla v roce 1980 a již o tři roky později byla vydána první verze programu FLUENT. Výrobce uvádí, že FLUENT je unikátní nástroje, které umožňují řešit nejrůznější úlohy z oblastí proudění, přenosu tepla a spalování, efektivně vytvářet výpočetní oblasti na základě geometrických dat získaných z CAD systémů, volit hustotu i tvar buněk podle potřeb řešené úlohy a získávat výsledky vypovídající o zkoumaném problému, teploty, rychlosti, tlaky, koncentrace apod. Program FLUENT řeší stacionární i nestacionární Navier-Stokesovy rovnice metodou konečných objemů.

Dále uvádí, že o kvalitách produktů firmy Fluent Inc. svědčí téměř padesátiprocentní podíl na celosvětovém trhu s CFD softwarem, ale hlavně stovky úspěšných projektů, které umožnily zkvalitnění výrobků a zvýšení zisků řadě firem, které se včas rozhodly jít cestou numerických simulací.

Tento program si lze obédvat prostřednictvím společnosti TECH-SOFT Engineering , spol. s. r. o. sídlící v Praze, která je výhradním dodavatelem tohoto programu pro Českou republiku a Slovensko.

Dalším programem je ABAQUS. Ten je produktem Americké společnosti ABAQUS, Inc., která je dle samotného výrobce společností s vedoucím světovým postavením v oblasti software pro analýzy konečných prvků, nabízí řešení pro lineární, nelineární, explicitní a multi-bodové dynamické problémy s cílem poskytovat v nesrovnatelné kvalitě jednotné prostředí pro komplexní simulace. Tato společnost byla založena v roce 1978 a v roce 2005 se stala součástí společnosti Dassault Systèmes. Společnost ABAQUS uvádím, že program ABAQUS/Standart je vlajkovou lodí společnosti ABAQUS a umožňuje provádět široký okruh lineárních a nelineárních strojírenských simulací. Tyto simulace jsou prováděny efektivně, přesně a spolehlivě. Tento program je plně kompatibilní s dalšími produkty společnosti ABAQUS jako je například ABAQUS/Explicit.

Tento program si lze obédvat u společnosti SYNERM, která tento software distribuuje.

Dalším programem, který spadá do téhle kategorie je program s názvem ANSYS. Ten je produktem stejnojmenné Americké společnosti ANSYS, Inc., která vznikla v roce 1970. Za tuto dobu již prošel program ANSYS dlouhým vývojem.

ANSYS je programový balík založený na metodě konečných prvků, je určen pro řešení rozsáhlých lineárních i nelineárních (fyzikálně i geometricky) úloh mnoha různých kategorií: strukturální, teplotní, teplotně-mechanické, elektromagnetické, akustické atd. Součástí balíku je také ANSYS LS-DYNA, softwarový balík pro explicitní nelineární strukturální simulace. ANSYS je produkt natolik rozsáhlý, že i většina zkušených uživatelů zná a bezprostředně využívá příkazy a funkce, které jsou nezbytné pro řešení jim potřebných úloh. Tento program má více než tisíc příkazů, z nichž většina má ještě řadu parametrů. Tento program je možné si zakoupit u společnosti SVS FEM, která je distributorem software společnost ANSYS u nás.

Jako další lze použít například program MIXSIM, který je produktem společnosti FLUENT. Tento program se od ostatních uvedených programů liší tím, že je to specializovaný program pro analýzu hydrodynamiky v míchaných nádobách. Výrobce uvádí, že díky graficky přehlednému jednoduchému prostředí můžete velmi rychle vytvořit výpočetní model Vašeho míchacího zařízení a předpovídat jeho charakteristiku. MixSim je určen pro navrhování zařízení, zjišťování možných problémů či zvětšování měřítka míchacích zařízení a virtuálních reaktorů. Tím dochází k úspoře času a finančních prostředků vynaložených obvykle na prototypování daného zařízení v laboratorním měřítku. Tento program si lze zakoupit u společnosti TECH-SOFT Engineering, spol. s r. o., která je výhradním dodavatelem produktů firmy FLUENT pro Českou republiku a Slovensko.

Posledním programem, který byl nalezen je program PROSIM PLUS, který byl vyvinut ve Francii. Tento program je zaměřen spíše na simulaci jevů v chemii a uplatnění najde především v oborech, jako je farmaceutika, výroba z ropy, strojírenství a další. Tento program obsahuje bohatý termodynamický balík. Mým pátráním nebyl objeven žádný prodejce, který by tento program distribuoval na území České republiky.

Programy spadající do této skupiny lze rozdělit podle toho, zdali jsou zaměřeny na určitou oblast fyziky či chemie, nebo zdali je možné je použít ke zkoumání širokého pole

problémů spadajících do různých odvětví fyziky. Mnou nalezené programy lze rozdělit následujícím způsobem:

1. Programy pro multi-fyzikální použití:

- FLUENT
- ANSYS Multiphysics
- COMSOL Multiphysics (FEMLAB)
- ABAQUS

2. Programy pro užití v dané oblasti fyziky či chemie:

- MIXSIM
- PROSIM PLUS

Dále do této oblasti spadají ještě programy vytvořené například společnostmi ANSYS nebo COMSOL, které jsou zaměřené jenom na určitou problematiku. Patří sem například ANSYS Mechanical atd.

1.2 Srovnání simulačních vlastností těchto programů

1.2.1 Způsob matematického řešení

Programy FEMLAB, ANSYS, ABAQUS používají k řešení metodu řešení parciálních diferenciálních rovnic (PDE) metodou konečných prvků. U programu FLUENT není z dostupných materiálů použita metoda docela zřejmá, nicméně dá se předpokládat, že program využívá stejný princip řešení jako předchozí programy. Obecně jsou úlohy parciálních diferenciálních rovnic řešitelné na základě definice prostředí, které tato rovnice popisuje a zadáním okrajových podmínek na plochách, hranách nebo bodech v daném geometrickém modelu. Řešený geometrický model, který může znázorňovat např. zatěžovanou strojní součást, reagující prostředí v katalyzátoru, zahříváný tepelný radiátor nebo proud vzduchu v aerodynamickém tunelu je poté zobrazen v grafickém editoru. Uživatel musí být obeznámen se základními fyzikálními vlivy působícími na zobrazenou geometrii (tj. na model). Upravenou PDE pro daný model můžeme nazvat aplikačním režimem.

Například postup při modelování úlohy v programu FEMLAB je obdobný. Jedná-li se o strojní součást, je třeba zvolit PDE z pružnosti a pevnosti, např. Navierovy rovnice. Pokud sledujeme proces zahřívání součásti, je třeba zvolit PDE popisující šíření tepla, atd. Upravenou PDE pro daný model můžeme nazvat aplikačním režimem. Program FEMLAB

obsahuje knihovnu parciálních diferenciálních rovnic, které popisují různé aplikační režimy. Po vybrání daného režimu se uživateli v grafickém prostředí zobrazí přímo dialogová okna pro zadávání oblastí a okrajových podmínek. Při tomto zadávání není nutná zadávat matematické definice, ale jde pouze o vyplňování fyzikálních veličin, jako je například tepelná vodivost, měrná hustota prostředí atd. Program ovšem také umožňuje uživateli, aby si vytvářel své vlastní aplikační úlohy využitím obecného tvaru PDE a slabých formulací pro různé části modelu. Vytváření těchto aplikací již vyžaduje důkladnou znalost řešené úlohy i jejího matematického popisu. Dále tento program umožňuje využít na jeden model několik aplikačních režimů.

Program FLUENT je určen pro řešení vnitřního i vnějšího obtékání, v laminární i turbulentní oblasti, výpočty vícefázového proudění, proudění s volnou hladinou i chemickými reakcemi (například hoření) spolu s přenosem tepla. Program FLUENT řeší stacionární i nestacionární Navier-Stokesovy rovnice. Řešení takto získaných rovnic je prováděno adaptivními multigriddními metodami. Program FLUENT obsahuje již předdefinované diskrétní modely pro ventilátory, výměníky tepla atd., uživatel má ovšem možnost definovat si vlastní uživatelské funkce a vytvářet vlastní fyzikální modely. Program, na rozdíl od FEMLAB, pravděpodobně neumožňuje užít na jeden model více aplikačních režimů. Umožňuje ovšem automatické dělení výpočetní oblasti podle zatížení a výkonnosti procesorů. Další výhodou je možnost zpracování na víceprocesorových strojích a nebo na více strojích propojených v síti .

Program ABAQUS využívá k řešení stejně jako FEMLAB řešení parciálních diferenciálních rovnic (PDE) metodou konečných prvků. Tento program také umožňuje přiřazovat různým oblastem nebo bodům daného modelu odlišné vlastnosti stejně jako u programu FEMLAB.

Program ANSYS Multiphysics zahrnuje celou šíři řešitelných fyzikálních problémů popsatečných metodou konečných prvků. Jak již napovídá název ANSYS Multiphysics, umožňuje tento program řešit problémy tzv. sdružených úloh, což je řešení více problémů na jednom modelu v jednom okamžiku. Tento program také obsahuje již předdefinované modely a materiály. Dále je možné si nadefinovat vlastní model či materiál, pokud není v programu obsažen.

Program MIXSIM je produktem společnosti FLUENT a využívá stejných výpočetních metod jako program FLUENT. Je určen pro komplexní analýzu hydrodynamiky a návrh míchadel a podobných zařízení. Tento program obsahuje rozsáhlou knihovnu obecně používaných míchadel a několika speciálních míchadel. Pokud máme současně s programem MIXSIM i program FLUENT, můžeme využít další vlastnosti obsažené v programu FLUENT.

U programu PROSIM se mi nepodařilo z dostupných zdrojů zjistit, jakou metodu výpočtu tento program používá.

1.2.2 Možnosti tvorby modelů a sítí

U programu FEMLAB lze geometrii zkoumaného modelu vytvořit CAD nástroji v grafickém editoru COMSOL Multiphysics™ nebo funkcemi z příkazové řádky programu MATLAB nebo COMSOL Script™. Lze použít formáty 1D, 2D a 3D, Booleovské operace nebo rotace uživatelem definovaných profilů. K dispozici jsou funkce na vytváření základních geometrických útvarů (např. čtverce, kruhy, elipsy, kvádry, koule, ...). Na vybrané objekty lze použít logické operace sjednocení, průnik, rozdíl. Objekty lze jednotlivě otáčet, přesouvat, měnit. Dále je tu volba, která umožňuje vytvořit jediný objekt, nebo naopak jeden objekt rozdělit na více objektů. Je možné vymazat vnitřní hranice objektu. Další možností u FEMLABu je vložení modelu, který byl vytvořen v jiném CAD programu. FEMLAB podporuje formáty STL (.stl), VRML (.vrl), DXF (2D) (.dxf), GDS (2D) (.gds) a NASTRAN. Rozšíření podporovaných formátů lze dosáhnout přikoupením dalších modulů k tomuto základnímu programu (např. CAD Import Module, CATIA V4 Import Module atd.).

Na rozdíl od programu FEMLAB není z dostupných zdrojů patrné, zdali programy ABAQUS/Standart a FLUENT navrhování modelů přímo v těchto programech umožňují. Pro navrhování vlastních modelů je nutné si pořídit u programu ABAQUS program ABAQUS/CAE, který je pro modelování určen. Veškeré geometrické tělesa je možno nadefinovat do skupin a potom s nimi pracovat jako s celkem. ABAQUS nepodporuje Booleovou algebru jako systém ANSYS. Různé průniky těles se tedy musí tvořit pracněji. Dále je možné, stejně jako u programu FEMLAB importovat do programu již hotový model. Tento program podporuje formáty IGES a ACIS. Popřípadě při přikoupení dalších doplňků je možné importovat geometrii například z programu CATIA. Pro modelování

geometrie pro program FLUENT je nutné si pořídit program GAMBIT, který je nástrojem pro tvorbu geometrie a sítí pro program FLUENT. Tento program také dovoluje importovat geometrii, vytvořenou v jakémkoliv CAD/CAE programu ve formátech Parasolid, ACIS, STEP nebo IGES. Je také možno importovat geometrii přímo z programu CATIA V4 nebo Pro/E (za příplatek). Program GAMBIT dovede také opravovat a vyhledávat nedostatky modelu (např. díry, přesahující plochy atd.).

Program ANSYS umožňuje stejně jako FEMLAB vytváření geometrie přímo v základním programu bez potřeby přikoupit dalších součástí. Stejně jako ostatní programy podporuje tento program tvorbu geometrie v jiných CAD programech a její následný import do programu ANSYS. Mezi tyto programy patří například PRO/ENGINEER, CATIA v4, SolidWorks a další. Podporuje také import ve formátech IGES, Parasolid a SAT.

Program MIXSIM umožňuje stejně jako program FLUENT tvorbu modelů pomocí programu GAMBIT. Umožňuje také tvorbu jednodušších modelů přímo v programu MIXSIM. Dále obsahuje velké množství již vytvořených modelů.

Narozdíl od ostatních programů je program PROSIM určen převážně pro simulace chemických jevů. Model je možné vytvořit přímo v programu, kde máme knihovnu všech možných chemických zařízení.

Další významnou vlastností u programů tohoto typu je schopnost generování sítě. To je důležité, protože v jejich uzlových bodech dochází k výpočtu důležitých dat.

U programu ABAQUS provádí síťování preprocesor, který je u tohoto programu v samostatném modulu a nazývá se ABAQUS/Pre. Preprocesor podporuje vytváření geometrické sítě tělesa dvojím způsobem - síťovou geometrií (meshing) nebo přímou tvorbou prvků. Nejtypičtější způsob je tvorba tělesa (modelu) pomocí sítě. Preprocesor podporuje vytváření, editaci a mazání bodů, křivek, ploch a objemů s některými omezeními, která se týkají ploch a objemů. Plochu musí mít systém ABAQUS ohraničenu 3 nebo 4 hranami, objem 4, 5 nebo 6 stěnami. Plochy o obecném počtu hran a taktéž objemy o libovolném počtu stěn ABAQUS neumí zpracovat. Po vymodelování tělesa se provede jeho vysíťování. Hrany je možno rozdělit lineárně i nelineárně, síť lze různě

zahušťovat, otáčet apod. Mimo síťování je možno elementy generovat, editovat, nahrazovat, mazat, transformovat.

ABAQUS podporuje základní rovinné prvky, kterým lze později přiřadit požadované vlastnosti. Prvky jsou v lineárním a kvadratickém tvaru. Prostorové prvky jsou čtyřstěny, válce a krychle, samozřejmě existují i složitější prvky. Mimo lineární a kvadratické tvary existuje i teplotní prvek, který má ještě jeden stupeň volnosti.

U programu FLUENT je možné geometrii a síť vytvořit pomocí programu Gambit nebo T-Grid. Pro generování sítě a okrajových podmínek lze však obecně použít i jiného preprocesoru: například Patran. Program Gambit dokáže tvořit strukturované a nestrukturované objemové a plošné sítě. Dále umožňuje snadné a rychlé vytváření hybridních sítí s automatickým vytvářením přechodových vrstev. K tvorbě složitějších rozsáhlých 2D a 3D sítí konečných objemů slouží program T-Grid. Ten umožňuje navíc kontrolu, diagnostiku a vyhlazení hotových sítí. FLUENT užívá nestrukturovanou mřížkovou technologii, což znamená, že síť se může skládat z elementů různorodých tvarů, jako čtyřstěny, trojúhelníky pro 2D simulace a šestistěny, čtyřstěny, mnohostěny, hranoly a pyramidy pro 3D simulace.

Na rozdíl od výše uvedených programů je možné u programů ANSYS a FEMLAB tvořit sítě přímo, bez užití dalších programů. Program ANSYS umožňuje tvorbu sítí z čtyřbokých nebo šestibokých ploch. Dovoluje také síť, podobně jako u programu ABAQUS, dále upravovat a modifikovat. U programu FEMLAB může uživatel při generování sítí výslednou síť ovlivnit tak, že nastaví parametry této sítě v dialogovém okně, které je zobrazeno . To je velký rozdíl oproti ostatním programům. Lze tak optimálně nastavit hustotu sítě tam, kde je to pro přesnost výpočtu třeba. Umožňuje upravovat pouze určité části sítě a to například měnit tvar síťových buněk, velikost těchto buněk atd. Tato vlastnost je velkou výhodou pro uživatele.

1.2.3 Podporované procesy a fyzikální jevy

V současné době používané programy umožňují svým uživatelům simulovat velké množství chemických i fyzikálních jevů. Pomocí programů FEMLAB (COMSOL Multiphysics) a ANSYS Multiphysics, jak již napovídá jejich název, a také programem FLUENT lze modelovat multifyzikální děje v inženýrské praxi a v mnoha vývojových

oblastech technických a vědeckých oborů. To nám umožňuje na jednom testovaném geometrickém modelu ve stejný okamžik testovat působení více fyzikálních jevů z různých odvětví fyziky. To přináší uživateli výhodu oproti dalším programům. Na základě dostupných informací bylo zjištěno následující vlastnosti jednotlivých programů.

Jevy z oblasti akustiky lze simulovat pomocí programů FEMLAB, ABAQUS, ANSYS a FLUENT. Je možné provádět harmonické, transcientní a modální analýzy. Dále tyto programy umožňují simulovat přenos tepla. U programů je možné simulovat kondukcii (vedení tepla), konvekci (proudění tepla) a také radiaci (sálání tepla).

Simulace v oblasti proudění tekutin umožňují programy FEMLAB, MIXSIM, ANSYS a FLUENT. U těchto programů je možné simulovat vícefázové proudění tekutin, stlačitelné a nestlačitelné média, laminární a turbulentní proudění, Newtonovské a neneutronovské kapaliny. U programu ABAQUS nebylo zjištěno, zdali simulace z oblasti proudění dovoluje.

Využívat simulovat jevy z oblasti elektromagnetismu, ať již nízkofrekvenční nebo vysokofrekvenční nám umožňují programy FLUENT, ANSYS a FEMLAB.

Simulaci problematiky chemických procesů, např. chemické reakce, spalování atd. umožňují programy FLUENT, FEMLAB a PROSIM. Program PROSIM je zaměřen pouze na simulace chemických reakcí.

Deformaci těles lze simulovat pomocí programů ABAQUS, FLUENT a FEMLAB. Programy ABAQUS a ANSYS pak umožňují simulovat piezoelektriku.

Simulace elektrostatiky, magnetostatiky, vedení a simulaci elektrických obvodů umožňuje program ANSYS a simulaci podzvukové a nadzvukové proudění, vibrace a externí i interní aerodynamiku umožňuje zase program FLUENT. Program FEMLAB umožňuje simulaci jevů v polovodičích.

U programu FEMLAB máme možnost rozšířit možnost simulace jednotlivých jevů tohoto programu tak, že si přikoupíme specializované moduly, které jsou zaměřeny na jednotlivé oblasti. Jedním z těchto modulů je například Chemical Engineering Module. Ten řeší úlohy z oblasti chemie a chemického průmyslu. Modul je určen k navrhování reaktorů, výměníků a dalších zařízení z oblasti chemického průmyslu. Jeho aplikační režimy umožňují modelovat elektrochemické systémy (palivové články) a systémy, kde má elektrické pole vliv na transport látek. Příkladem je elektroforéza a elektrokinetické

proudění. Dalším z modulů je Acoustics Module, což je nový specializovaný modul pro řešení úloh z akustiky. Připravené aplikační režimy zahrnují oblasti tlakové akustiky, aeroakustiky, aeroakustiky v tekutinách, akustiky stlačitelného proudění nebo vlivu zvukových vln na tuhé konstrukce (deformace a napjatost). Mezi další patří AC/DC Module, což je nový modul pro modelování úloh s vlivem střídavého a stejnosměrného proudu v oblasti elektrických a magnetických zařízení, který umožňuje modelovat nízkofrekvenční elektromagnetické systémy, jako jsou motory, magnety, transformátory a další. Těchto přídatných modulů je mnoho a každý z nich dělá z programu FEMLAB univerzálnější program. Ovšem cena každého z modulů se pohybuje od 133 000 Kč do 328 000 Kč.

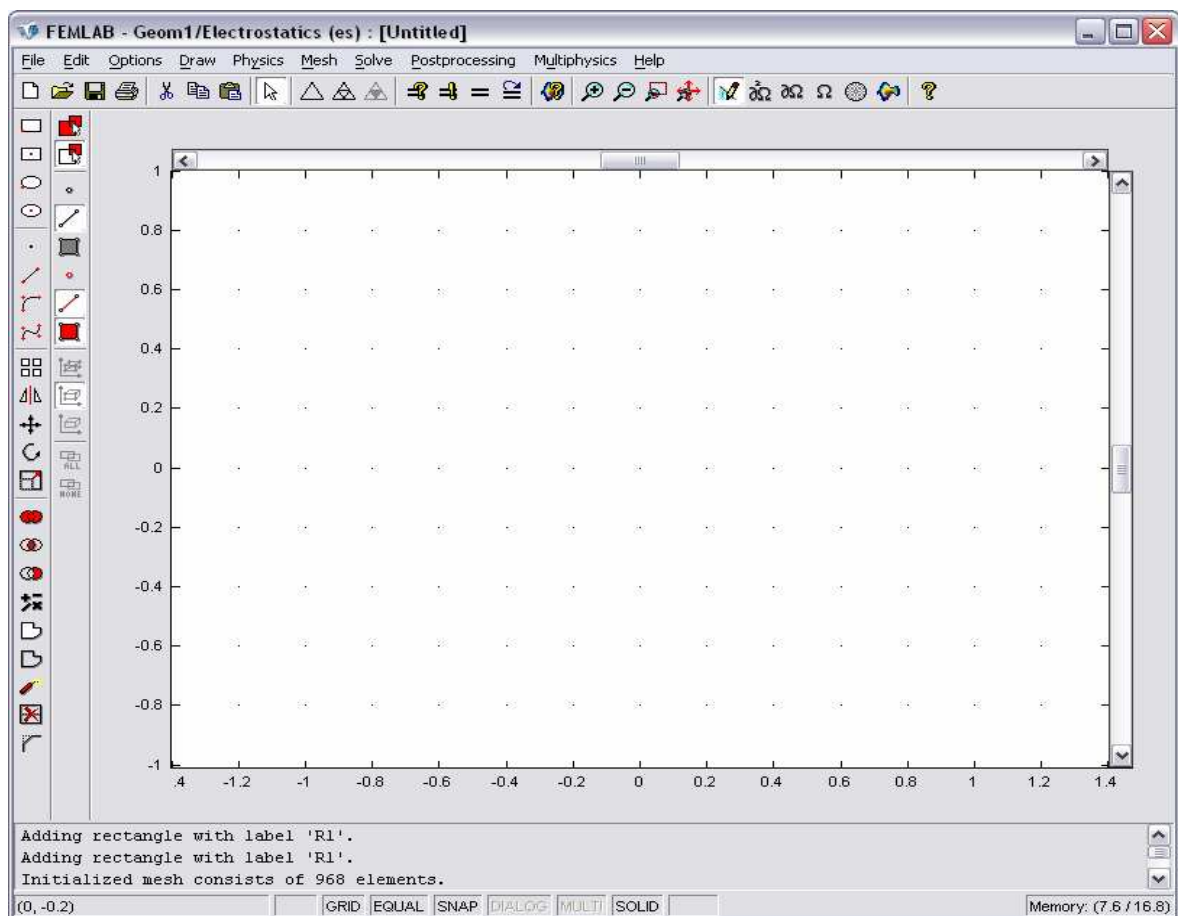
2 OVLÁDÁNÍ PROGRAMŮ A POŽADAVKY NA SYSTÉM

Zhodnocení ovládání a pracovního prostředí bylo provedeno pouze na základě veřejně přístupných zdrojů, nebyly totiž získány žádné zkušební verze těchto programů ani manuály a na přímý dotaz jednotlivé firmy zabývající se distribucí těchto programů nebyly ochotny poskytnout žádné bližší informace. Zřejmě zjištění, že mají co do činění se studentem, nebylo pro ně dostatečně perspektivní. Výjimkou byl pouze program FEMLAB, který Univerzita Tomáše Bati vlastní. Proto bylo možné k tomuto programu získat potřebné podklady a také práci v tomto programu vyzkoušet.

2.1 Pracovní prostředí

U programu FEMLAB je toto grafické pracovní prostředí nazýváno jako GUI (The Graphical User Interface). Jedná se o soupravu nástrojů, pomocí kterých se vytváří nové modely a manipuluje se s nimi. To lze dvěma způsoby – užitím jednoho z různých předdefinovaných fyzikálních módů, kde se pracuje se známými zákony a vztahy, nebo užitím jednoho z předdefinovaných módů pro parciální diferenciální rovnice, kde se pracuje přímo se základními rovnicemi. Grafické uživatelské prostředí se skládá z pracovní plochy, panelu nabídek a menu obsahujícího mj. nápovědu, stavový řádek a řádek obsahující historii prováděných akcí. Modelovat v grafickém prostředí lze dvojím způsobem – buď přímo „kreslit“ pomocí příslušných nástrojů a nabídek ve FEMLABu, nebo vytvářením matlabovských funkcí a skriptů v příkazovém okně Matlabu. Po spuštění FEMLABu se nám otevře dialogového okna „Model Navigator“. Zde začíná veškerý proces modelování a nastavení prostředí. Můžeme si vybrat z několika možných vstupních hodnot v závislosti na tom, jaký problém chceme modelovat. Je zde také možnost vybrat si již z přednastavených modelů z „ModelLibrary“, nebo ze svých vlastních již vytvořených modelů. Konečné zpracování výsledků může být provedeno mnoha způsoby. Multifyzikální úlohy obsahují různé typy vypočtených proměnných, které lze ve zvolených jednotkách zobrazovat současně pomocí barevných map, izočar, izoploch, proudnic, šipek, částic nebo řezů, což je stejné téměř ve všech programech, zabývajících se touto problematikou. Úlohy řešené v čase lze snadno animovat s možností zápisu do formátu AVI nebo Quick Time. Jakékoliv řešení je možno pro další zpracování exportovat do jednoduchých textových souborů. Ukázka pracovního prostředí programu FEMLAB je uvedena na obrázku č. 1.

Na obrázku je vidět grafické uživatelské prostředí. Největší plochu zde zabírá pracovní plocha, kde lze navrhovat a pracovat s modely. Dole pod pracovní plochou se nachází řádek obsahující historii prováděných akcí. Dále obsahuje hlavní menu a dva panely nástrojů. Jeden horizontální, umístěný pod hlavním menu a jeden vertikální, umístěný na levém okraji okna. Spodní okraj okna je tvořen informačním panelem, který obsahuje v levé části pozici kurzoru na kreslícím plátně, uprostřed je znázornění používaných kreslících funkcí GRID, EQUAL, SNAP, DIALOG, MULTI, SOLID a v pravém rohu se nachází informace o využití/rezervované operační paměti.

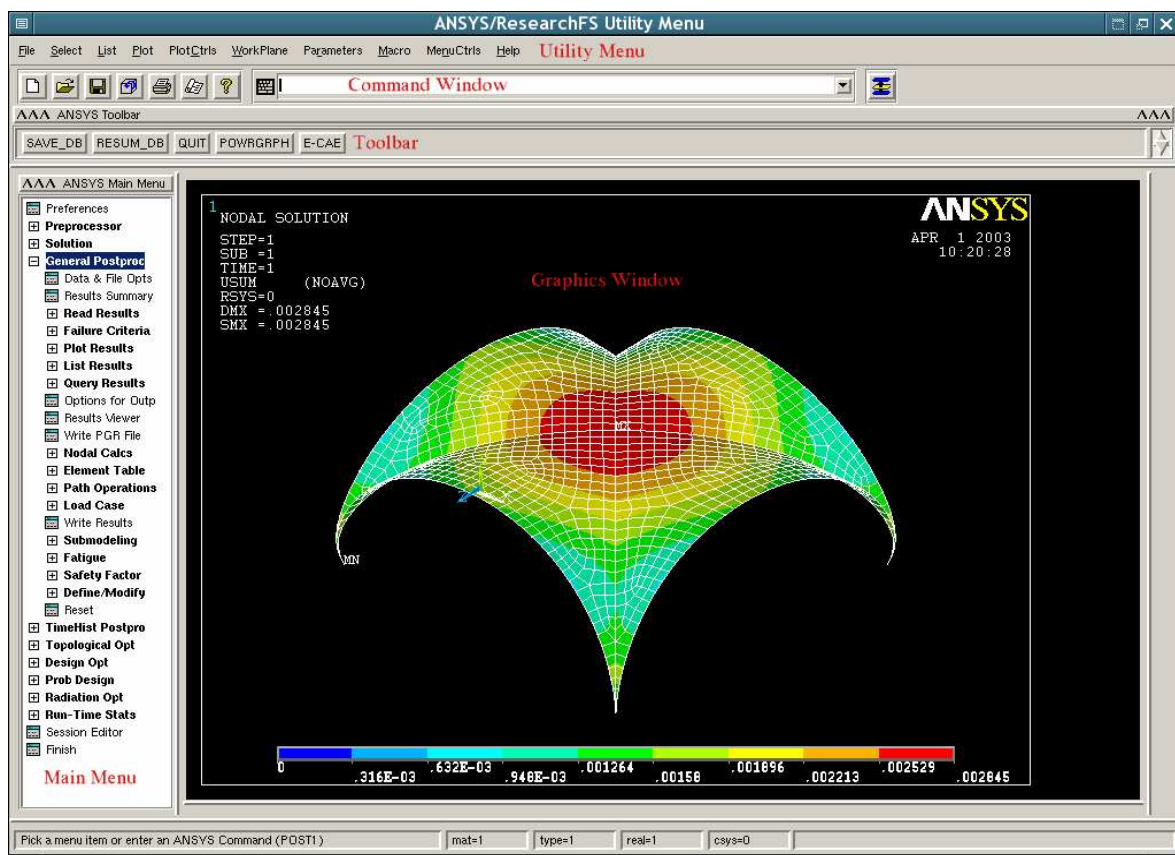


Obr. č. 1 Vzhled Pracovního prostředí programu FEMLAB

U programu ANSYS se pracovní prostředí skládá z těchto částí : hlavní nabídka (Main Menu), grafické okno (Graphic Window), lišta tlačítek (Toolbar), příkazové okno (Command Window), nabídka nástrojů (Utility Menu). Od verze 6.0 jsou jednotlivé části uživatelského rozhraní integrovány do jednotné pracovní plochy. Main Menu je nejdůležitějším ovládacím prvkem grafického prostředí. Poskytuje přístup k funkcím pro

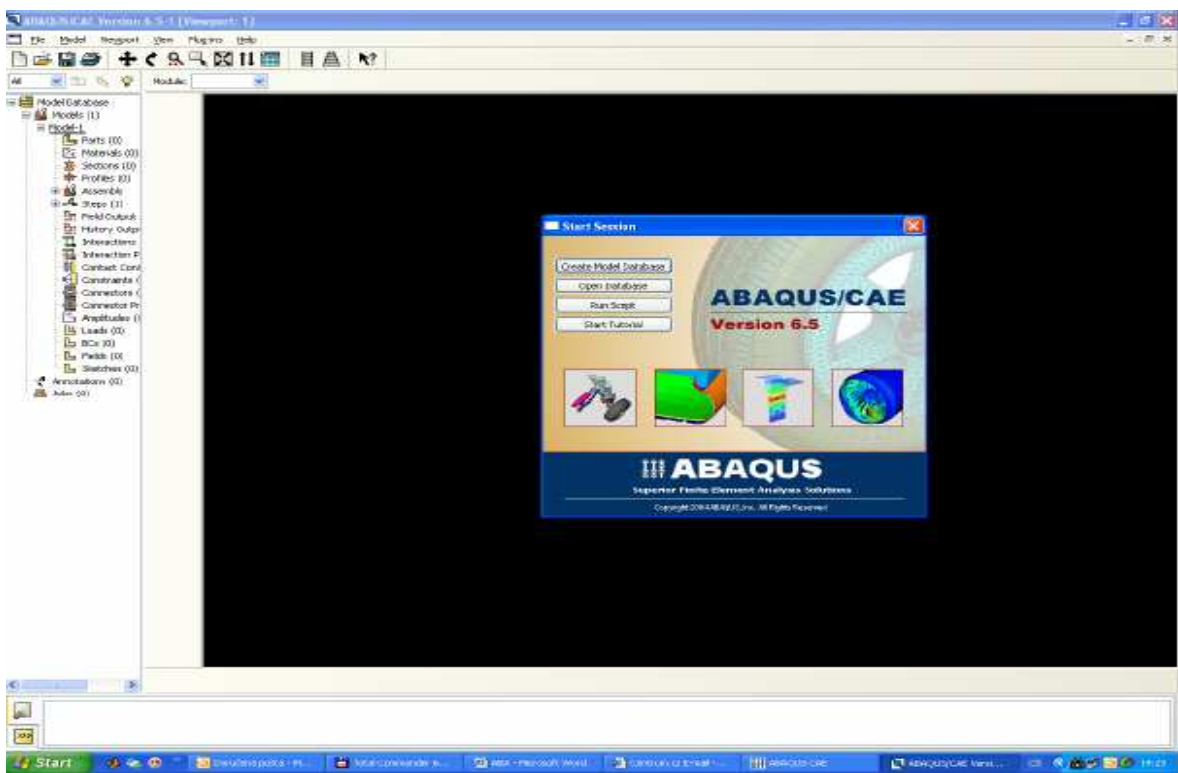
tvorbu výpočtového modelu, výpočet a práci s výsledky. Další možností je psaní příkazu do příkazového řádku Command Windows. Psaní příkazů je mnohdy rychlejší než hledání v položce Main Menu. Jednou z nevýhod tohoto programu oproti FEMLABu je to, že program neumožňuje funkci Zpět (Undo), která nás vrátí o krok zpět. Tvorba modelu a nastavení vlastností je prováděno tak, že „klikáme“ myší na dané body a nastavujeme vlastnosti v zobrazeném dialogovém okně. Výsledky lze stejně jako u ostatních programů získat buď ve formě grafu, vypočtených dat, obrázku nebo vykreslením vektorů. Tyto výsledky lze ukládat do různých výstupních souborů, například obrázky do souborů typu PNG atd. Ukázka vzhledu tohoto programu je uvedena na obrázku číslo 2.

Z obrázku je patrné, že v horní části okna je umístěna lišta Utility Menu a pod touto lištou je umístěn panel nástrojů s polem Command Window, kde je možno zadávat dané operace pomocí příkazů. Pod těmito lištami je umístěna ještě jedna lišta a to lišta tlačítek (Toolbar). V levé části okna máme poté horizontálně umístěné hlavní menu (Main Menu). Největší část okna zabírá opět pracovní plocha. Na našem obrázku je zde zobrazen výsledný vypočítaný model.



Obr. č. 2 Vzhled pracovního prostředí programu ANSYS

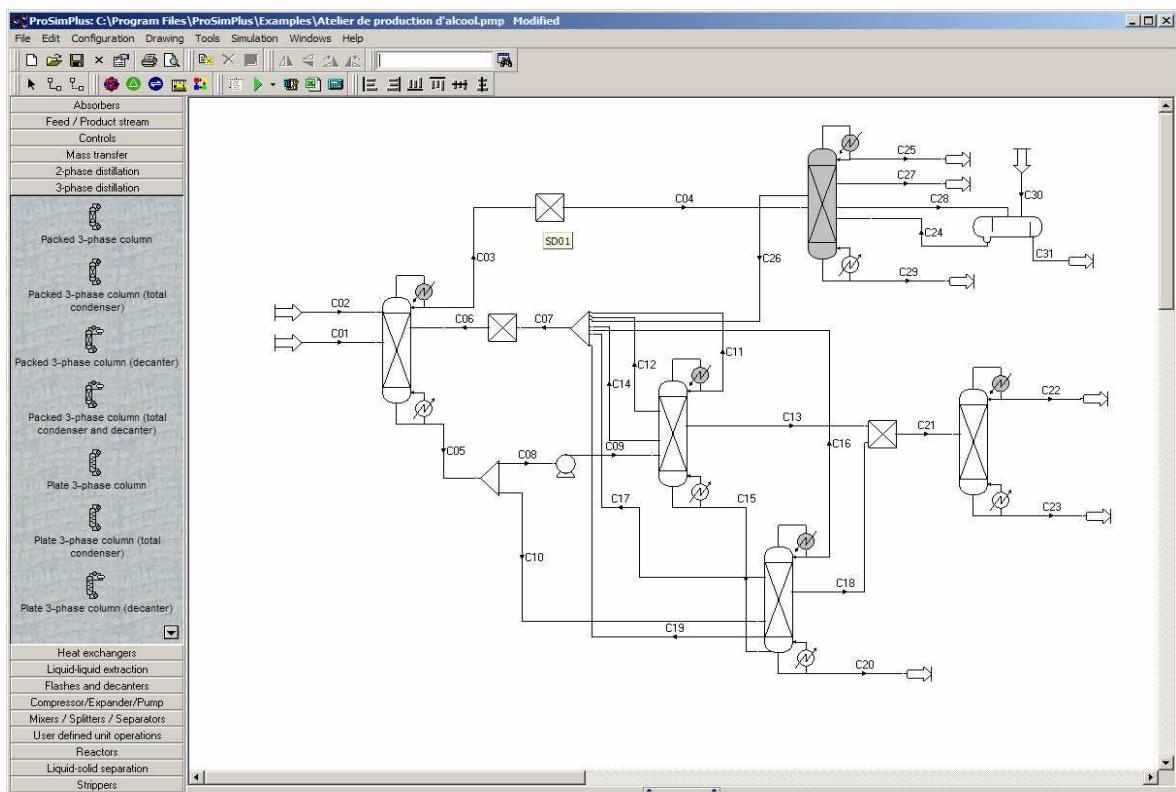
U programu ABAQUS nebyly nalezeny žádné bližší informace o pracovním prostředí. Ovšem nalezený obrázek vypovídá o tom, že pracovní prostředí tohoto programu bude mít podobné ovládání jako předchozí programy. Umožňuje přenos dat do formátu NASTRAN. Vzhled je patrný z obrázku č. 3. Zde je možno vidět, že složení okna programu je opět podobné jako u předchozích programů. V horní části okna se opět nachází hlavní menu a pod ním nalezneme vertikálně uložený první panel nástrojů. Druhý panel nástrojů je umístěn horizontálně na levém okraji okna programu. Největší prostor opět zabírá pracovní plocha. Zde je na našem obrázku ještě otevřeno startovací okno, kde je možné si po zpuštění programu určit, zdali chceme otevřít některou z dokumentací atd.



Obr. č. 3 Pracovní prostředí programu ABAQUS

U programu FLUENT máme možnost tvorby kontur, vektorů rychlostí, proudnic, řezů, animací. Dále nám tento program umožní export výsledků ve formátech použitelných pro další zpracování - ASCII, AVS, Data Explorer, EnSight, FAST, FieldView, TECPLOT. Export souborů dat pro MKP analýzu programy Abaqus, ANSYS, COSMOS, I-DEAS, NASTRAN, PATRAN a možnost získání ASCII souborů s přesně specifikovaným obsahem dat, tabulky, grafy. Podobně tomu bude i u programu MIXSIM, který je produktem stejné společnosti. Ovšem popis pracovní plochy u těchto programů se nepodařilo získat.

U programu PROSIM je pracovní prostředí dle tvrzení výrobce velmi intuitivní. Uživatel při tvorbě modelů postupuje tak, že kliknutím myši a táhnutím dostane danou součást modelu na ním zvolené místo. Toto prostředí je tvořeno na Windowsovských standardech a jak uvádí výrobce, mělo by být ovládání velmi jednoduché i pro nováčky a to bez dlouhého tréninku. Tento program také, stejně jako ostatní programy, dovoluje generovat výsledky do různých výstupních formátů. Je možné generovat výsledky do HTML souborů, Excelu nebo formátů BMP a EMF (například technologická schémata). Vzhled je uveden na obrázku číslo 4. Zde je možné opět vidět obdobné rozložení jako u předchozích programů. Rozdílem je pouze to, že pod hlavním menu se nachází dva panely nástrojů. Na pracovní ploše je možno vidět, jak vypadá navržený model v tomto programu.



Obr. č. 4 Vzhled pracovního prostředí programu PROSIM

Z dostupných dat je tedy patrné, že většina programů, pracujících s touto problematikou, se v uspořádání okna programu téměř neliší. Všechny tyto programy umožňují výstup vypočítaných dat do různých formátů, avšak program FLUENT má nabídku možných

výstupních formátů nejširší. Dále můžeme u programů FEMLAB nebo FLUENT tvořit výstup ve formě animací, což další programy neumožňují. Dalším rozdílem je to že program ANSYS neumožňuje pracovat s funkcí „Zpět“, která vrací námi provedené operace o krok zpět.

2.2 Systémové požadavky

Pro používání těchto programů musí uživatel disponovat počítačem, který odpovídá určitým systémovým požadavkům, které jsou nezbytné pro správnou a plnou funkčnost těchto programů. Při nesplnění všech systémových požadavků se může stát, že program nebude mít funkční všechny součásti nebo nebude fungovat vůbec.

Pro 3D modelování v programu FEMLAB je doporučováno nejméně 1 GB paměti. Pro řešení některých příkladů, umístěných v Model Library je zapotřebí mnohem vyšší paměti než 1GB a navíc ještě 64-bitová platforma operačního systému. Pokud Máme 32-bitovou verzi operačního systému Windows, je nutné mít buďto verzi Windows 2000, Windows XP nebo Windows Vista. Dále je zapotřebí procesor Pentium III nebo novější. Systém musí podporovat OpenGL 1.1 nebo musí být nainstalovaný DirectX verze 8.0 nebo novější. Grafická karta musí mít přinejmenším 32 MB paměti, a počítač, na kterém bude program FEMLAB instalován, musí mít, jak již bylo řečeno výše přinejmenším 1024 MB systémové paměti. 32-bitové COMSOL rozhraní do MATLABu potřebuje přinejmenším verzi MATLABu 6.5, 6.5.1, 7.0, 7.0.1, 7.0.4, 7.1, 32-bitovou verzi MATLAB 2006a, 2006b nebo 2007a.

Pokud používáme 64-bitovou verzi systému Windows, je požadována verze systému Windows XP Professional x64 Edition nebo 64-bitová verze Windows Vista. Počítač musí mít jeden z následujících procesorů: AMD s AMD64 nebo INTEL s EM64T. Požadavky na grafickou kartu a systémovou paměť jsou stejné jako u 32-bitové verze. 64-bitové COMSOL rozhraní do MATLABu potřebuje přinejmenším 64-bitovou verzi MATLAB 2006a, 2006b nebo 2007a.

U systému Linux a Sun jsou požadavky uvedeny v tabulce:

Tab č. 1 Požadavky FEMLABu na systém u platformy Linux a Sun

Platforma	Operační systém	Procesor
32-bit Linux	Linux 2.4.x kernel, glibc-2.2.5 nebo novější	Pentium III nebo novější
64-bit Linux	Linux 2.4.x kernel, glibc-2.3.2 nebo novější	AMD s AMD64, Intel s EM64T
Itanium	Linux 2.4.x kernel, glibc-2.2.5 nebo novější	Itanium 2
Sun	Solaris 8, 9, 10	UltraSPARC II nebo novější

Tento program umožňuje také použití na počítačích Macintosh. Požadavky lze zjistit na stránce výrobce software FEMLAB.

U programu ANSYS Multiphysics jsou podporovány tyto platformy: Hewlett Packard, Hewlett Packard (Compaq) OSF1, IBM, Linux, SGI, Sun, Windows 2000, Windows XP Professional, Windows XP 64-bit a Windows XP Home operační systémy. Další požadavky na systém jsou u systémů Windows, Linux nebo Sun téměř stejné jako u programu FEMLAB.

U programu FLUENT je požadováno minimálně 512 MB systémové paměti. Ovšem na velikosti paměti poté závisí to, jak velké a složité modely budeme schopni odsimulovat. Proto je lepší mít vyšší hodnotu systémové paměti než je tato minimální. Pro instalaci tohoto programu potřebujeme dále 280 až 330 MB paměti na disku pro instalaci programu a dále 400 MB paměti pro instalaci dokumentace. Toto platí jak pro systém Windows, tak pro systém Linux. Tento program potřebuje, stejně jako program FEMLAB, grafickou kartu podporující OpenGL. Další požadavky jsou stejné jako u programu FEMLAB. Program FLUENT, stejně jako program ANSYS, dovoluje instalaci na tyto platformy počítačů: IBM, Microsoft, Fujitsu, SUN, Linux nebo Hewlett-Packard.

U programu ABAQUS jsou požadavky na operační systém stejné jako u programu FEMLAB. Opět běží na platformách od společností Windows, Linux nebo Hewlett-Packard.

U programu PROSIM se mi nepodařilo zjistit žádné systémové požadavky, protože je výrobce mezi dalšími informacemi neuvádí.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 PRÁCE S VYBRANÝMI PROGRAMY

Původním záměrem této práce bylo odzkoušet vytváření modelů a simulace ve více simulačních programech. Nakonec je v této části práce popsáno vytvoření modelů pouze v programu FEMLAB, který má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně k dispozici. Další programy, jejichž vlastnosti popisuje tato práce nebylo možné odzkoušet, protože se nepodařilo získat žádnou zkušební verzi těchto programů. Po dotazu na zkušební (trial) verze výše uvedených programů u distributorů pro ČR, nebyla na dotaz zaslána odpověď.

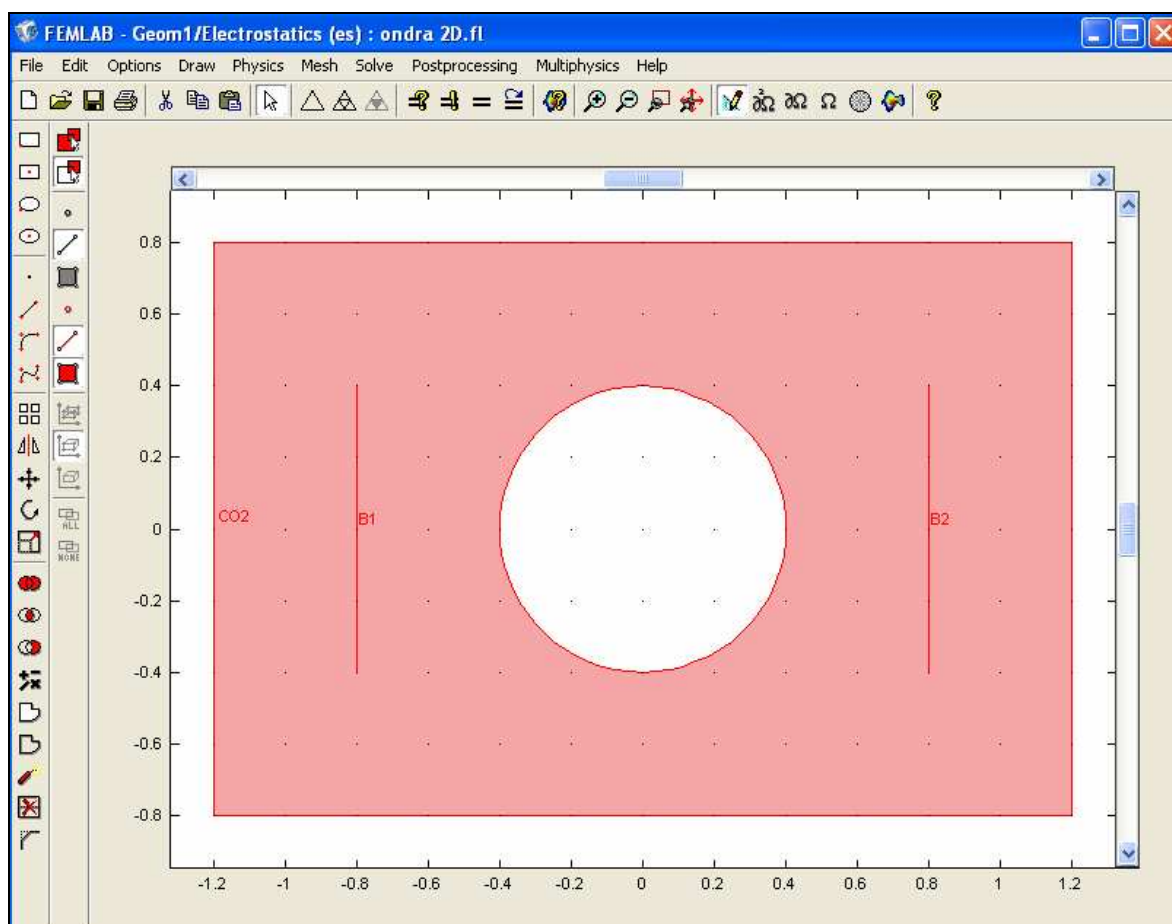
3.1 Vytvoření 2D modelu v programu FEMLAB

Protože autor má nejbližší k oblasti elektrotechniky, spadají do této oblasti i vytvořené modely. Zde je ukázka vytvoření modelu šíření elektrického pole. Geometrický tvar modelu se skládá z obdélníku, uprostřed kterého se nachází kruhový otvor. V modelu jsou umístěny dva zdroje elektrického potenciálu, tyto jsou zobrazeny pomocí dvou přímek. S pomocí tohoto modelu jsme schopni zobrazit působení elektrického pole vytvořeného mezi dvěma zdroji elektrického napětí stejné polarity.

3.1.1 Model Navigátor a draw mode

Vytváření geometrického modelu umožňuje přímo program FEMLAB, proto není nutné mít nějaký jiný program na tvorbu těchto geometrických modelů. Nejdříve si v menu Model Navigátor vybereme záložku new. V této záložce si „klikneme“ na položku FEMLAB a rozbálí se nám menu, kde si vybereme oblast fyziky nebo chemie, do které bude spadat námi simulovaný děj. Zde byla vybrán položka *Elektromagnetics – Electrostatic*. Poté ještě vybereme zobrazení modelu, ať již 2D nebo 3D. Bylo zvoleno zobrazení 2D. Po stisku tlačítka OK se nám otevře pracovní plocha, kde je možné vytvářet model. Ten vytvoříme tak, že si na pravé straně okna v panelu nástrojů vybereme dané těleso, které chceme vytvořit. Nejdříve byl vybrán obdélník. Po „kliknutí“ na tlačítko *Rectangle/Sqere* si pomocí stisknutí a táhnutí myši vytvoříme čtverec nebo obdélník. Jeho vlastnosti lze upravit ještě tak, že dvakrát „klikneme“ na námi vytvořený objekt. Otevře se nám okno, kde lze nastavit vlastnosti našeho obdélníku. Mezi ně patří rozměry, umístění, natočení a jméno tohoto objektu. Po stisknutí tlačítka OK se nám vytvoří nadefinovaný obdélník. Poté byl vložen kruh do středu obdélníku. To uděláme stiskem tlačítka *Ellipse/Circle* a stejným postupem jako u obdélníku. Rozdíl je pouze v tom, že v okně

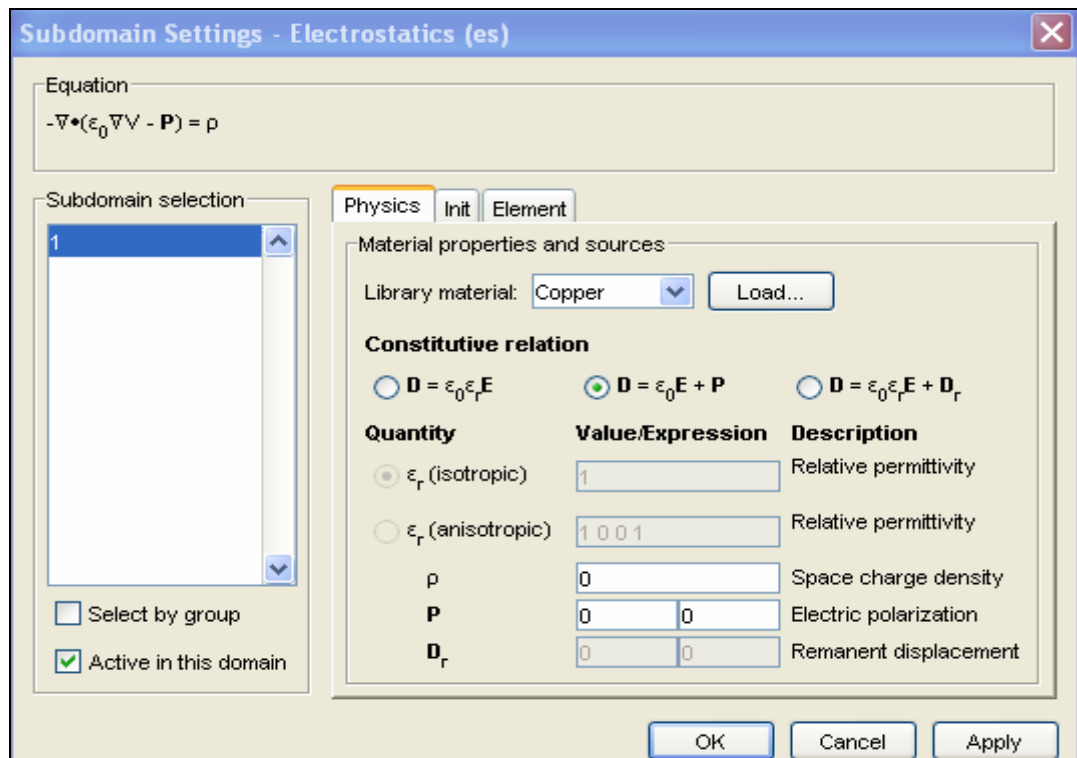
zadáváme poloměr. Díra uprostřed obdélníku byla poté vytvořena tak, že jsme si označili objekty obdélníku a kruhu stisknutím tlačítka Ctrl a „kliknutím“ do těchto objektů pomocí myši. Poté byl udělán rozdíl těchto objektů „kliknutím“ na tlačítko *Difference*. Nakonec byly pomocí tlačítka *Line* vytvořeny 2 úsečky. Výsledný model je zobrazen na obrázku číslo 5.



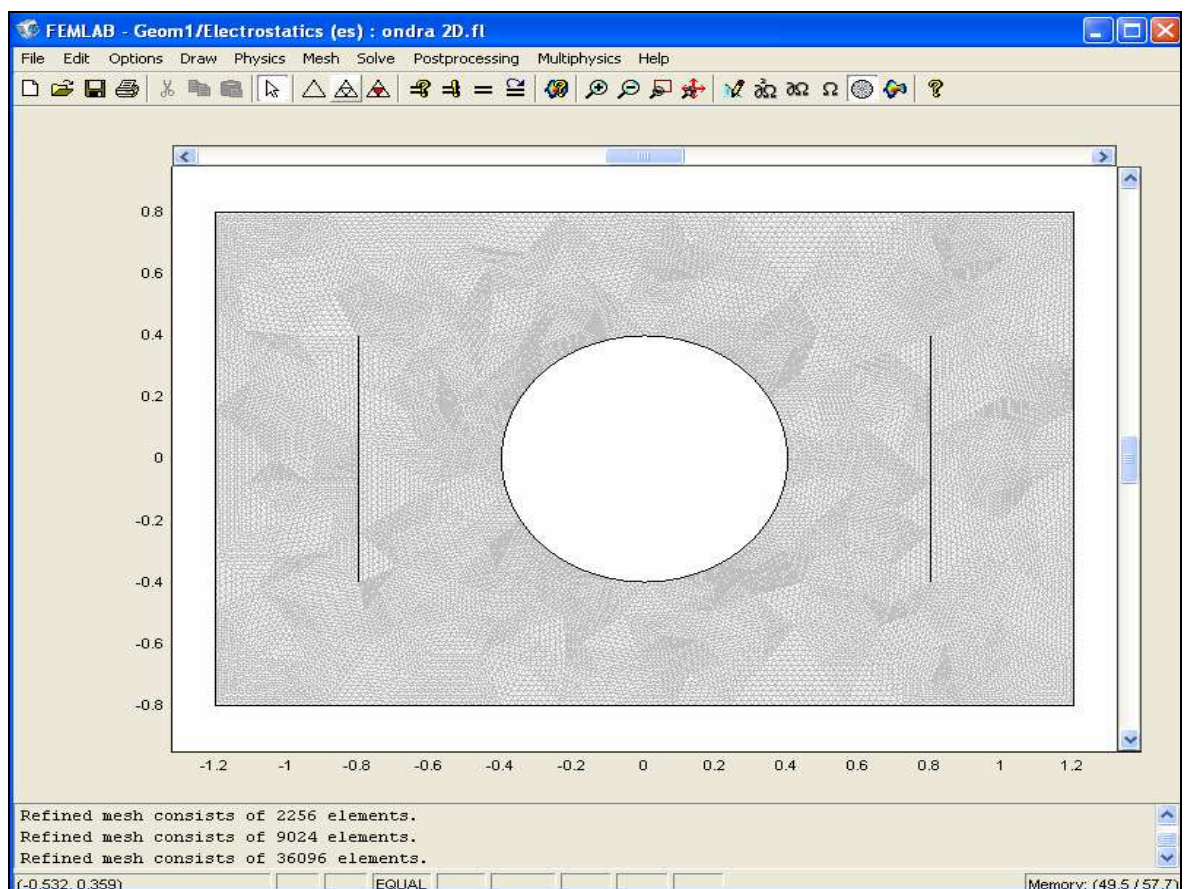
Obr. č. 5 Zobrazení vytvořeného modelu v Draw mode

3.1.2 Nastavení fyzikálních parametrů

Pokud již máme vytvořený geometrický model, je nutné zadat parametry daných objektů našeho modelu. To uděláme tak, že v ovládacím menu „klikneme“ na tlačítko *Physics* a v zobrazené liště vybereme možnost *Subdomain Settings*. Zobrazí se nám okno, které je zobrazeno na obrázku číslo 6. V tomto okně nastavujeme dané parametry pro obdélník. U našeho modelu byl nastaven materiál *Copper* (měď), který byl načten z materiálové knihovny *Material Library*, kde je předdefinován. Na závěr byl ještě pomocí *Boundary Settings* u úseček nastaven potenciál V , a to u obou stejný 10 V.



Obr. č. 6 Okno pro nastavení vlastností objektů

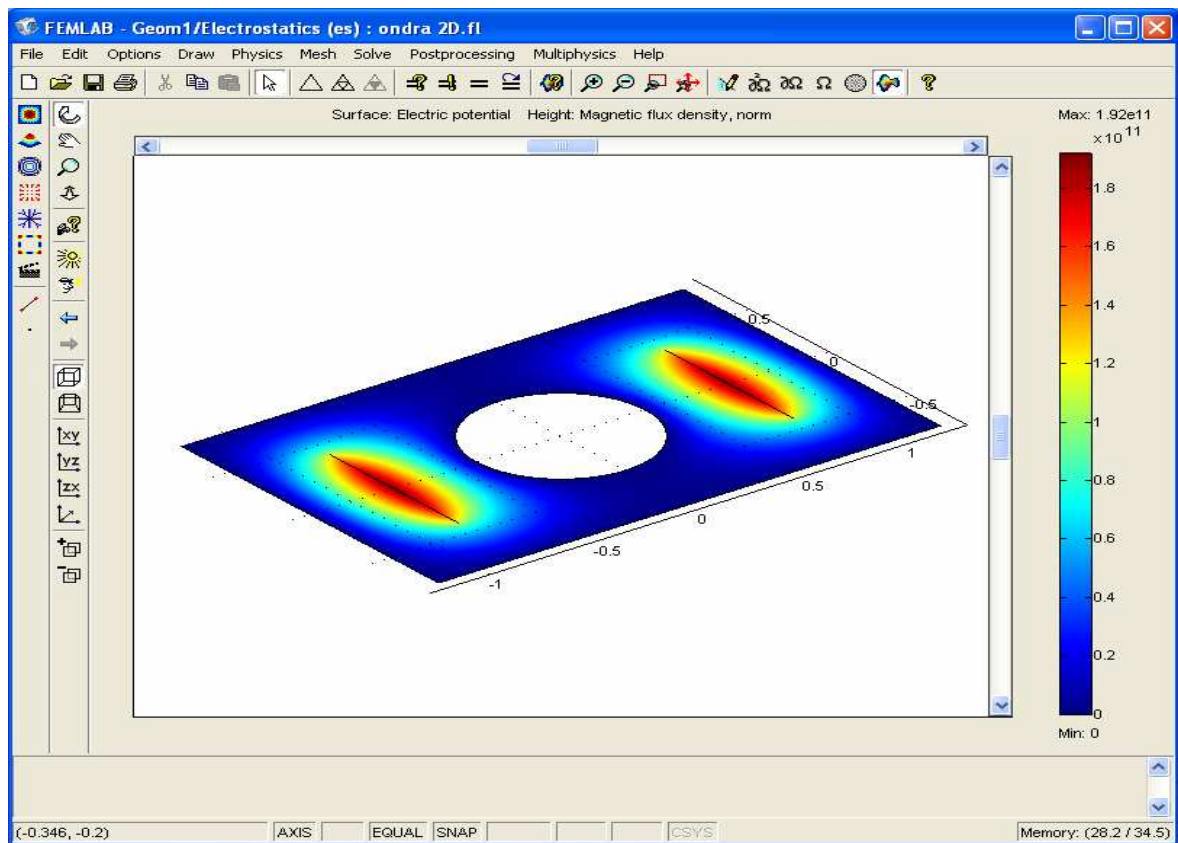


Obr. č. 7 Vygenerovaná síť v programu FEMLAB

Poté byla vygenerována síť pomocí tlačítka *Initialize Mesh* a pomocí tlačítka *Refine Mesh* byla síť zahuštěna, aby byly výpočty přesnější. Síť je patrná z obrázku č. 7. Nyní již nic nebránilo zpuštění výpočtu našeho modelu pomocí tlačítka *Solve*.

3.1.3 Postprocessing Mode

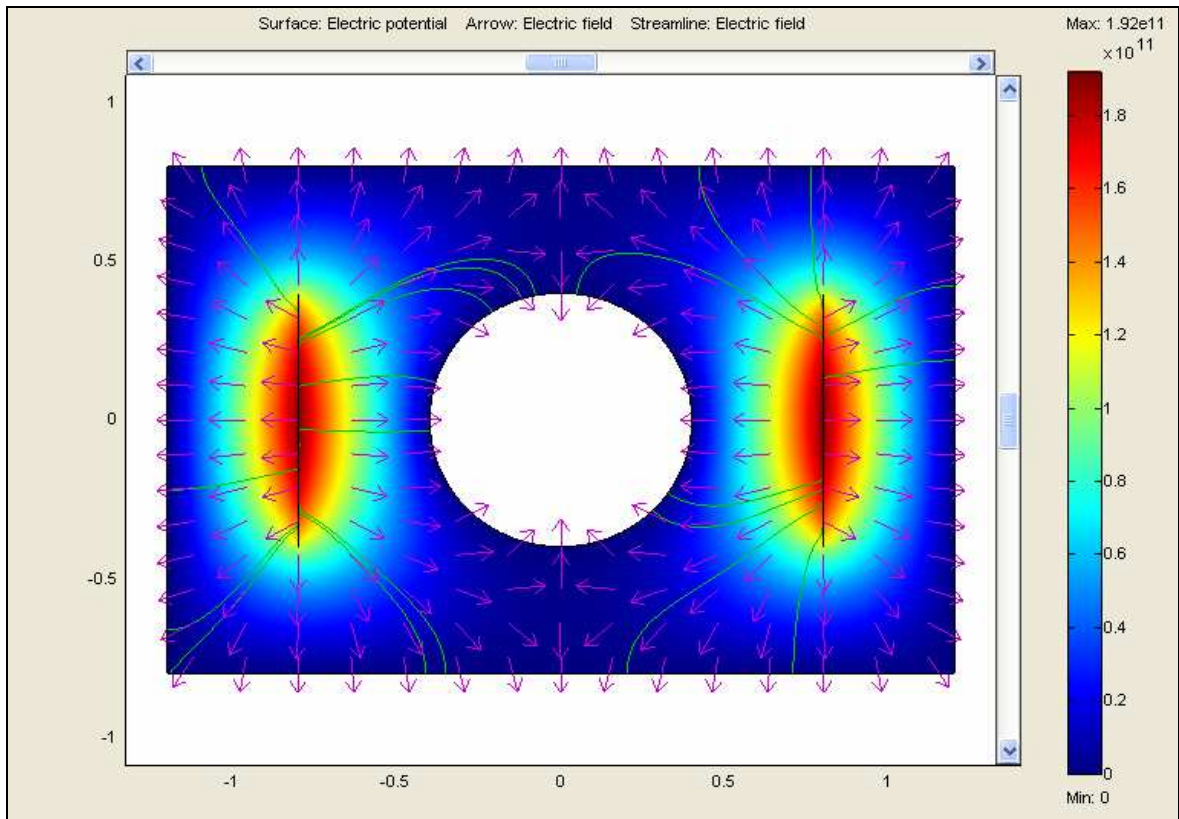
Po ukončení výpočtu se nám zobrazí výsledný graf, který odpovídá nastavení při poslední simulaci. Je možné si typy grafů přepínat. Patří sem 2D Plošný graf (2D Surface Plot), 3D Plošný graf (3D Surface Plot) zobrazený na obrázku číslo 8., Graf Kontur (Contour Plot), Graf šipek, které znázorňují směr působení elektrického pole a další.



Obr. č. 8 Ukázka zobrazení 3D plošného grafu

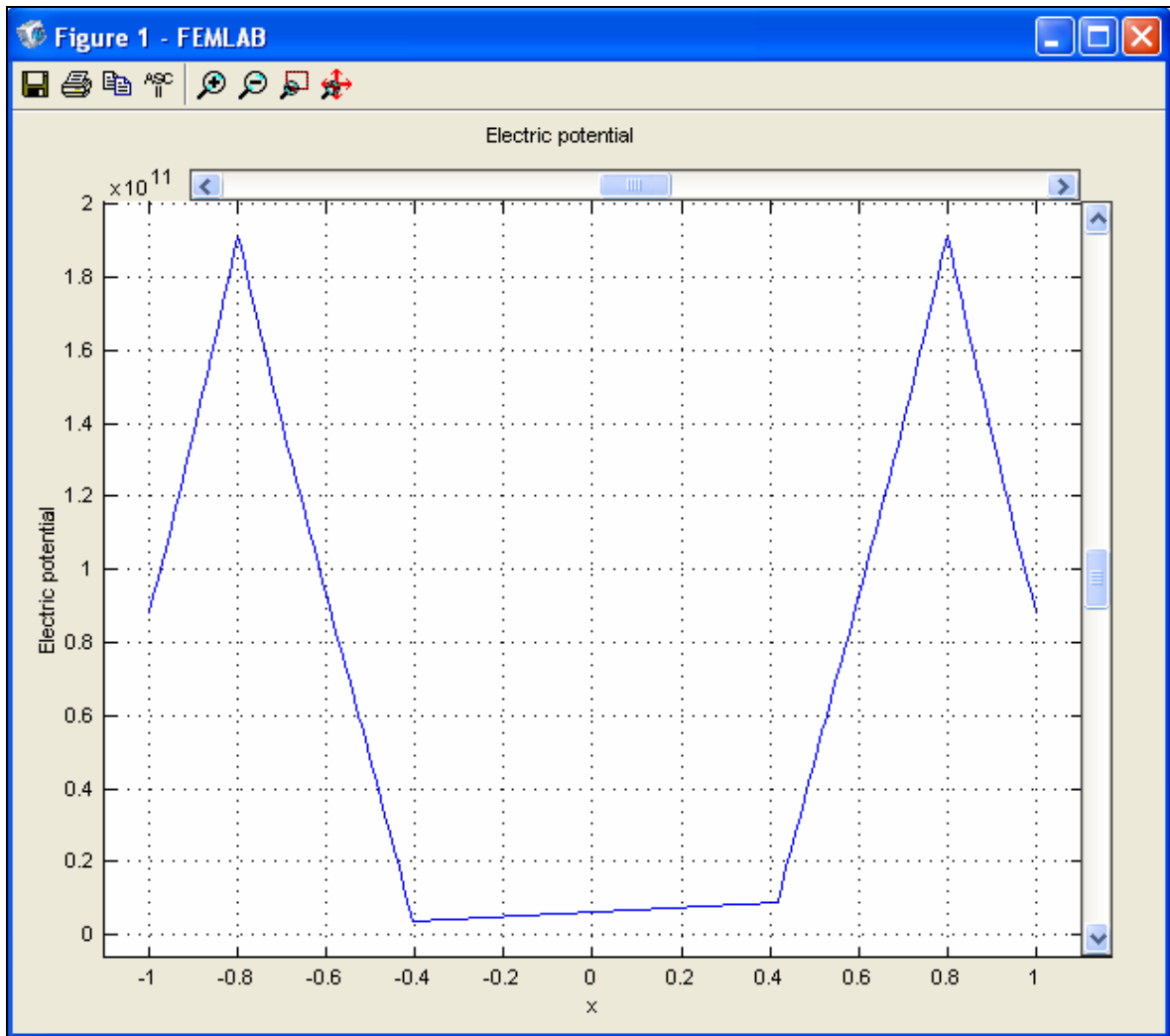
Je možné si také graf přizpůsobit požadavkům uživatele a to tak, že „klikneme“ na ikonu *Plot Parameters*. Zobrazí se nám okno. V tomto okně lze volit jednotlivé parametry našeho grafu. Přepínáním horních záložek lze dále nastavovat parametry jako je například barva a velikost zobrazených šipek a další. Je možné zde také nastavit, jak bude daná fyzikální veličina v grafu zobrazovat. Je možné si například nastavit, aby nám šipky ukazovaly směr

působení elektrického pole. To je vidět v obrázku č.9 . Na tomto obrázku bylo nastaveno zobrazení šipek na normovanou velikost a byla nastavena fialová barva šipek.



Obr. č. 9 Zobrazení působení elektrického pole pomocí šipek v 2D grafu

Další možností je zobrazení bodového grafu. To lze provést tak že na pravé straně okna „klikneme“ na tlačítko *Draw Line for Cross-section line plot*. Poté „kliknutím“ myši na libovolné dva body se nám vytvoří přímka, která ukazuje, ze jaké oblasti je v novém okně zobrazený graf. Ten je patrný z obrázku č.10 a znázorňuje závislost velikosti elektrického potenciálu na pozici na ose X



Obr. č. 10 Zobrazení grafu závislosti elektrického potenciálu na poloze na ose X

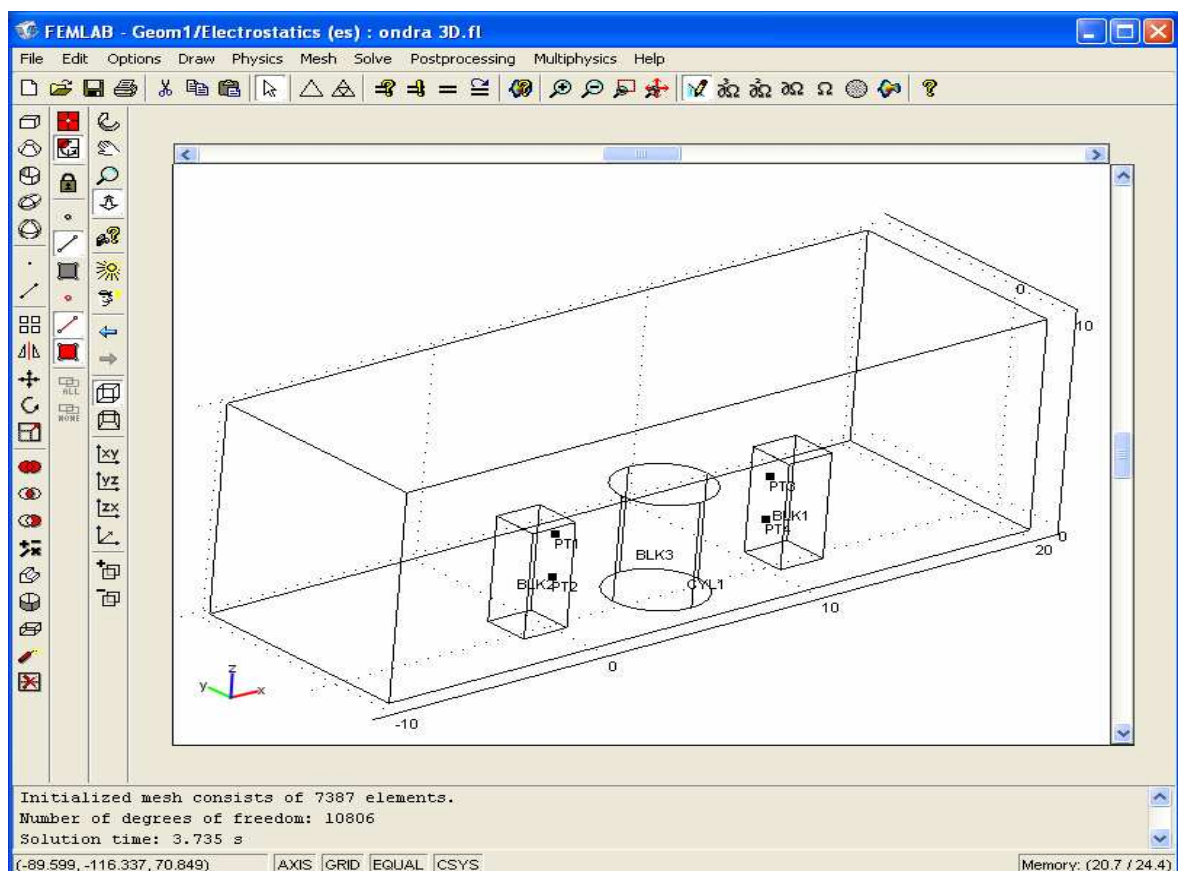
3.2 Vytvoření 3D modelu v programu FEMLAB

Zde je vytvářen opět model z oblasti elektrostatiky. Je to opět modelu šíření elektrického pole. Geometrický tvar modelu se skládá z kvádrů, v jehož těle se nachází dva menší kvádry, které obsahují zdroje elektrického napětí, ovšem opačné polarity. Mezi těmito kvádry je umístěn válec vyrobený z PVC. Tento model nám simuluje, jak se bude chovat elektrické pole vytvořené zdroji elektrického napětí, pokud mu do cesty postavíme těleso vyrobené z elektricky izolujícího materiálu.

3.2.1 Model Navigátor a draw mode

Práce v Modelu Navigátor je stejná jako u předchozího příkladu pouze si zvolíme typ modelu jako 3D. Byla tedy opět vybrána položka *Elektromagnetics – Electrostatic..* Po

stiskem tlačítka *OK* se nám otevře pracovní plocha, kde můžeme započít navrhování našeho 3D modelu. Ten vytvoříme obdobným způsobem jako u 2D modelu a to tak, že si na pravé straně okna vybereme požadovaný tvar tělesa, který chceme vytvořit. Při tvorbě tohoto geometrického modelu byl nejdříve vybrán válec. Po „kliknutí“ na tlačítko *Cylinder* se nám otevře okno, ve kterém zadáme parametry našeho válce. Zde vybereme *Styl - Solid*, dále zadáme *Cylinder parameters* a to *Radius* (poloměr) a *Height* (výška). Dále zadáme souřadnice *Axis base point*, na které chceme válec umístit. Nakonec ještě můžeme vyplnit jméno tohoto objektu a navíc ještě souřadnice směrového vektoru. Po stisknutí tlačítka *OK* se nám vytvoří válec. Poté byly vloženy ještě dva kvádry. Postup je podobný jako u tvorby válce. Stiskneme tlačítko *Block* a zobrazí se nám okno pro zadání parametrů. Opět zadáme stejné parametry jako u válce. Rozdíl je pouze v tom, že zde zadáme rozměry kvádrů na osách x,y a z. Navíc si můžeme určit, zdali chceme zadávat středový nebo krajní rohový bod pro určení umístění kvádrů. Na tyto dva kvádry byly ještě pomocí tlačítka *Point* umístěny 4 body. Nakonec byl vytvořen velký kvádr, který obsahoval výše popsané tři objekty. Na obrázku č. 11 je zobrazen vytvořený model.



Obr. č. 11 Zobrazení vytvořeného modelu v 3D

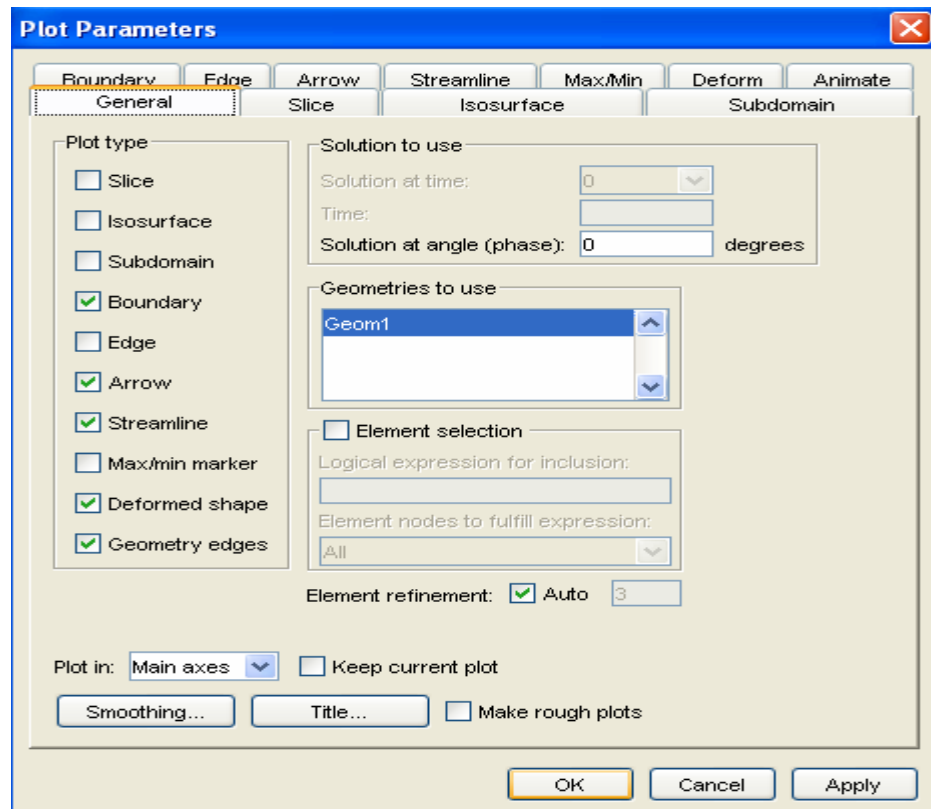
3.2.2 Nastavení fyzikálních parametrů

Poté, co byl vytvořen model, je nutné zadat parametry daných objektů našeho modelu. To uděláme tak, že v ovládacím menu „klikneme“ na tlačítko *Physics* a v zobrazené liště vybereme možnost *Subdomain Settings*. Zobrazí se nám okno, ve kterém nastavujeme dané parametry. U našeho modelu byl nastaven pro dva menší kvádry materiál *Iron*, který je předdefinován v *Material library*. U bodů byl pomocí *Point Settings* nastaven potenciál, a to u každých dvou bodů na daném kvádru s opačným znaménkem. U válce byl nastaven opět předdefinovaný materiál z PVC. Nakonec byl ještě nastaven materiál u velkého kvádru jako *Glass (sklo)*.

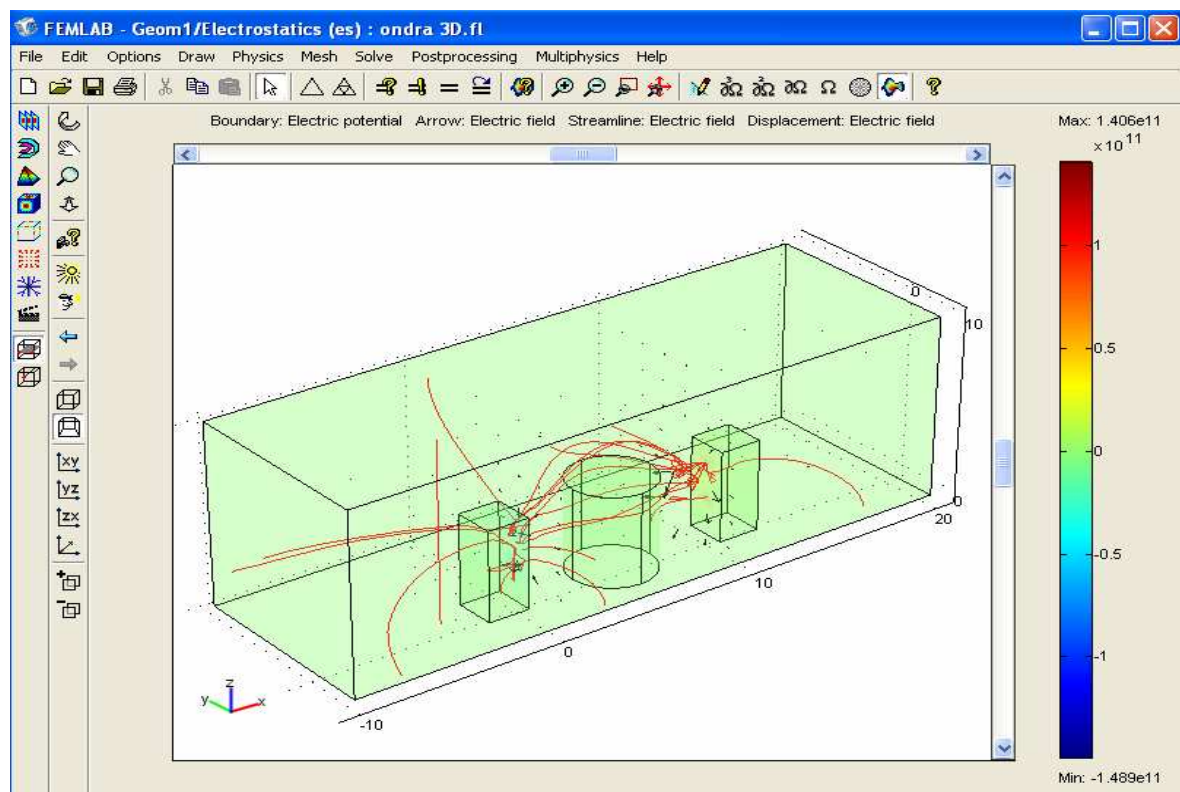
Poté byla vygenerována síť pomocí tlačítka *Initialize Mesh*. Zde je možnost ještě pomocí tlačítka *Refine Mesh* síť zahustit. Nakonec byl pomocí tlačítka *Solve* zpuštěn výpočet našeho modelu.

3.2.3 Postprocessing Mode

Po ukončení výpočtu je automaticky zobrazen model s barevně znázorněnými výsledky výpočtu. Je možné přepínat mezi jednotlivými typy zobrazení, tj. můžeme např. zobrazit graf okrajových bodů, graf zobrazující magnetické siločáry, či třeba směr působení elektrického pole. Dále je možné nadefinovat vlastní typ zobrazení grafu, který obsahuje pouze námi zvolené vlastnosti. To se provede „kliknutím“ na ikonu *Plot Parameters*. Zobrazí se nám okno, které je patrné z obrázku č.12. V tomto okně lze volit jednotlivé parametry našeho grafu. Přepínáním horních záložek lze dále nastavovat vlastnosti jako je například barva a velikost zobrazených šipek a další. Dále lze v Postprocessing Mode lze vytvořit animace „kliknutím“ na tlačítko *Animation* na levé straně okna.



Obr. č. 12 Okno pro nastavení parametrů grafu



Obr. č. 13 Výsledné zobrazení modelu v 3D

Výsledný graf pak může vypadat například jako na obrázku číslo 13 . Je na něm vidět, že elektrické pole kolem válce z PVC pouze obchází. Je to proto, že PVC působí jako izolant. Pomocí tlačítek umístěných na levé straně okna lze přepínat pohled na 2D zobrazení. Dalšími tlačítky lze nastavit například průhlednost těles, ze kterých se skládá náš model.

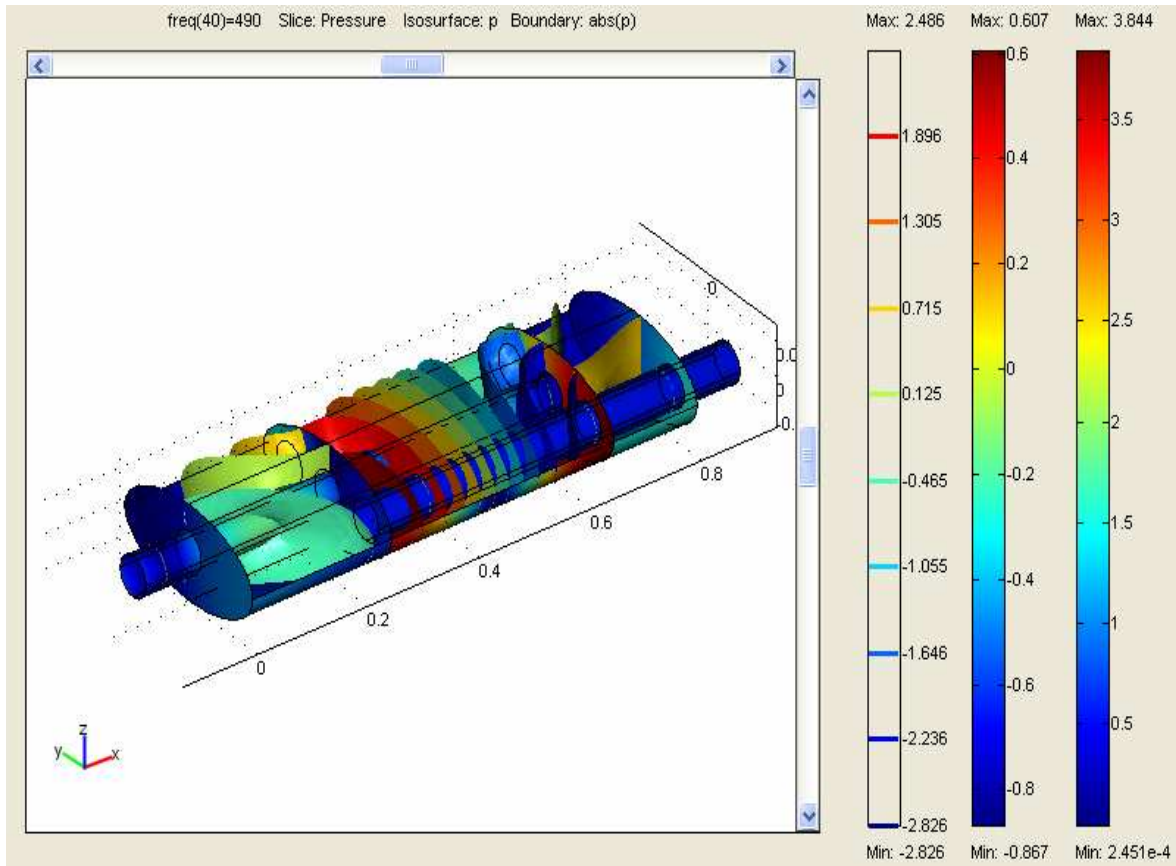
3.3 Přehled předdefinovaných modelů v programu FEMLAB

Program FEMLAB obsahuje také velké množství již předdefinovaných modelů, na kterých lze sledovat funkci programu. Tyto modely je možné případně upravit podle našich představ. Modely nalezneme v sekci *Model Navigátor*, kde přepnutím horní záložky z *New* na *Model Library* (knihovna modelů) se nám zobrazí jejich seznam. Modely nalezneme seřazeny podle jednotlivých fyzikálních oblastí, do kterých spadají.

3.3.1 Akustika

V této kategorii se nachází modely simulující jevy z oblasti akustiky, mezi které patří například model automobilového výfuku. Je zde simulován tlak šíření vln ve výfuku pro spalovací motory. Model je řešen ve frekvenční oblasti a s jeho pomocí jsme schopni zobrazit výsledný útlum zvuku ve výfukovém potrubí. Zobrazení je možné provést v rozsahu frekvencí 100 až 1000 Hz. Tento model je zobrazen na obrázku č.14.

V dalším modelu je zobrazeno šíření akustických vln místností vybavenou nábytkem. Na tomto modelu je vidět, že v této místnosti dochází k daleko menšímu odrazu akustických vln , než by tomu bylo u prázdné místnosti. Dále je zde model, který nám simuluje zvuky vznikající uvnitř elektromotorů. Při otáčení motoru dochází k deformaci jeho částí. Periodickým pohybem motoru pak dochází ke vzniku tlakových vln. Rozvedení této problematiky představuje obdobný model, který se od předcházejícího liší tím, že je zde přidána překážka do cesty těmito tlakovým vlnám.

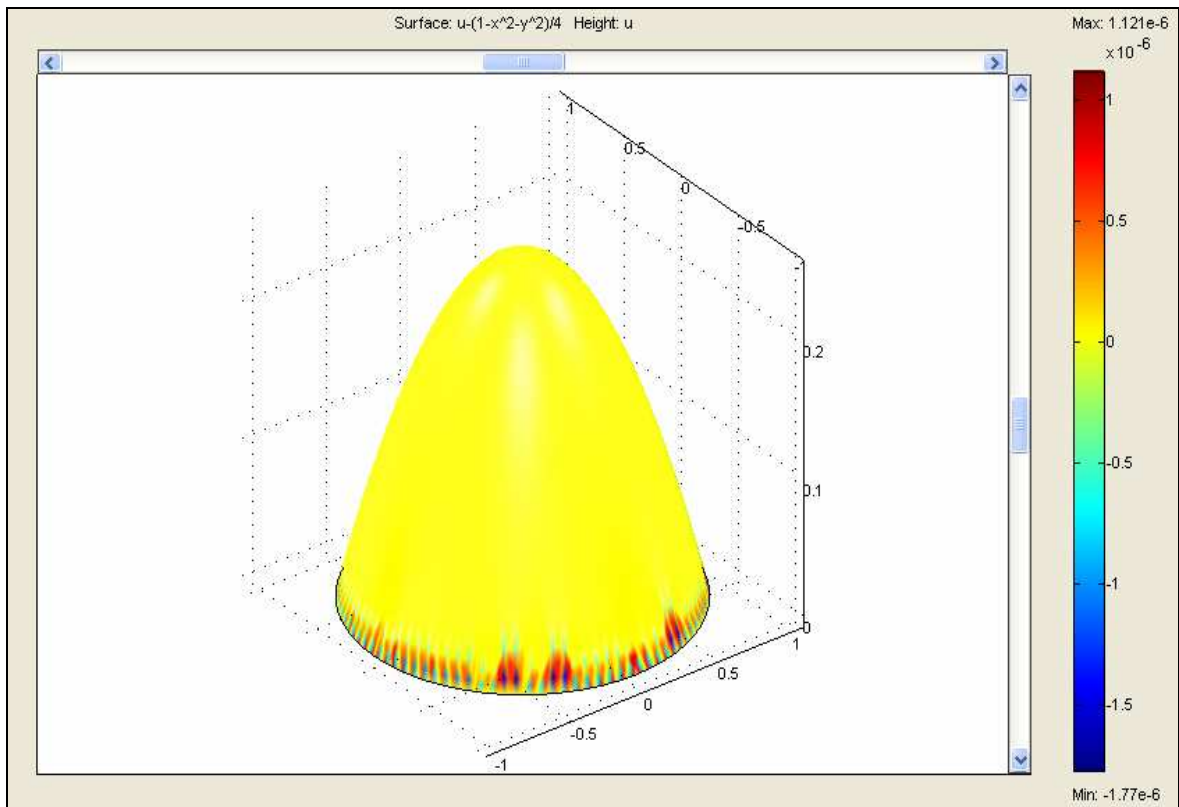


Obr. č. 14 Simulace automobilového výfuku

3.3.2 Problematika srovnávacích testů

V této kategorii jsou uvedeny ukázky různých srovnávacích testů. Je zde uvedena například The Black-Scholesova rovnice, která popisuje časový vývoj ceny derivátu akcie na finančním trhu. Problematiku je možno sledovat jak v jednorozměrném grafu, tak i ve dvourozměrném grafu. Následující dva modely se zabývají problematikou bubnů. Teoreticky platí, že lze podle vydávaného zvuku bubnu určit jeho geometrický tvar. Zde jsou ovšem uvedeny dva příklady tvarů bubnů, u kterých nelze poznat podle vydávaného zvuku jejich tvar i přesto, že se od sebe tvarem liší. Jako další je zde model simulující bodový zdroj. Řeší se zde Poissonova rovnost na jednotkovém disku s bodovým zdrojem ve středu tohoto disku. Výsledek nám zobrazuje porovnání přesnosti řešení mezi programem FEMLAB a analytickým řešením. Na dalším grafu je zobrazen výsledek porovnání přesnosti řešení řešitele programu FEMLAB s jiným externím řešitelem, který je zde považován za velmi přesný. Z tohoto grafu je patrné, že řešení v programu

FEMLAB je velmi přesné. Rozdíly je možné spatřit pouze v okrajových bodech tohoto grafu. Tyto rozdíly jsou vyznačené červenou a modrou barvou podle odchylky výsledku. Porovnání je možné vidět na obrázku číslo 15.



Obr. č. 15 Porovnání výsledků řešitele programu FEMLAB a přesného řešitele

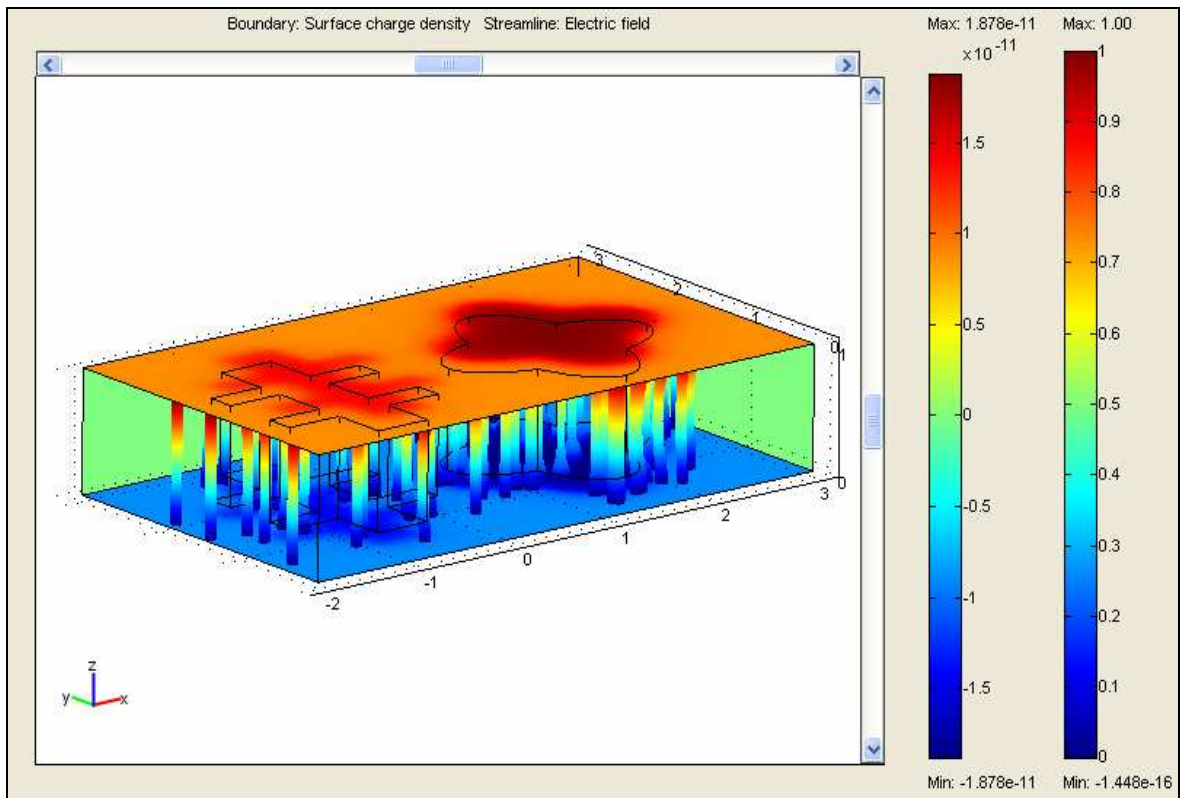
3.3.3 Chemické inženýrství

Zde jsou ve verzi FEMLABu, kterou má k dispozici Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, pouze dva modely. Další je možné získat přikoupením daného speciálního modulu. Nachází se zde model trubkovitého plynového reaktoru. Tento jednorozměrný model nám ukazuje, že v trubkovém plynovém reaktoru probíhá chemická reakce, zatímco reagující složky jsou nesené v plynovém toku od vstupního otvoru k výstupnímu otvoru.

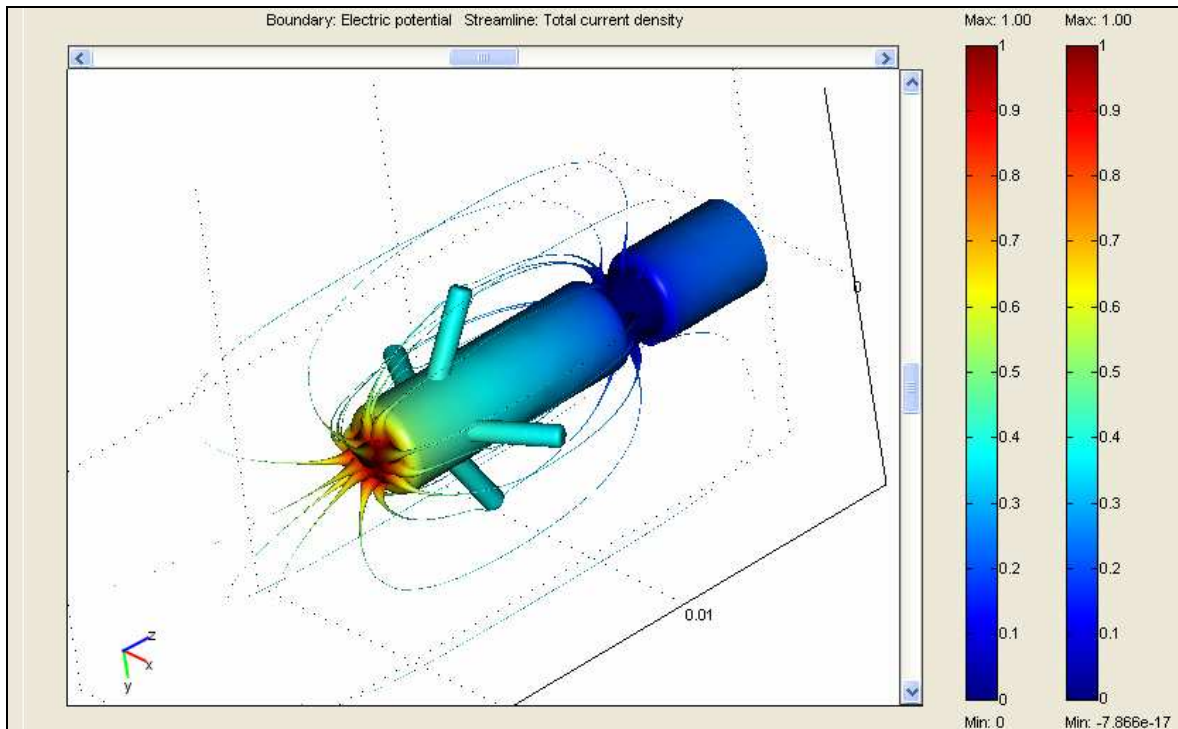
Druhý model nám simuluje chlazení tohoto trubkového reaktoru z vnějšího prostředí.

3.3.4 Elektromagnetismus

Následující kategorií modelů jsou modely simulující jevy z oblasti Elektromagnetismu. Nachází se zde například ukázka modelu elektrického senzoru. Ten je možné vidět na obrázku číslo 16. Dále je zde model elektrody kardio-stimulátoru. Je zde možné vidět, jak je elektrický proud distribuován kolem elektrody kardio-stimulátoru uvnitř lidského srdce. Tyto impulsy stejnosměrného elektrického proudu jsou přenášeny na srdeční svalovinu. To má za následek, že srdce poté pracuje ve vnuceném rytmu. Tuto elektrodu je možné vidět na obrázku číslo 17. Mezi další modely v této kategorii patří například model permanentního magnetu, model ukazující povrchový jev u vedení střídavého proudu a další modely.



Obr. č. 16 Ukázka zobrazení elektrického senzoru



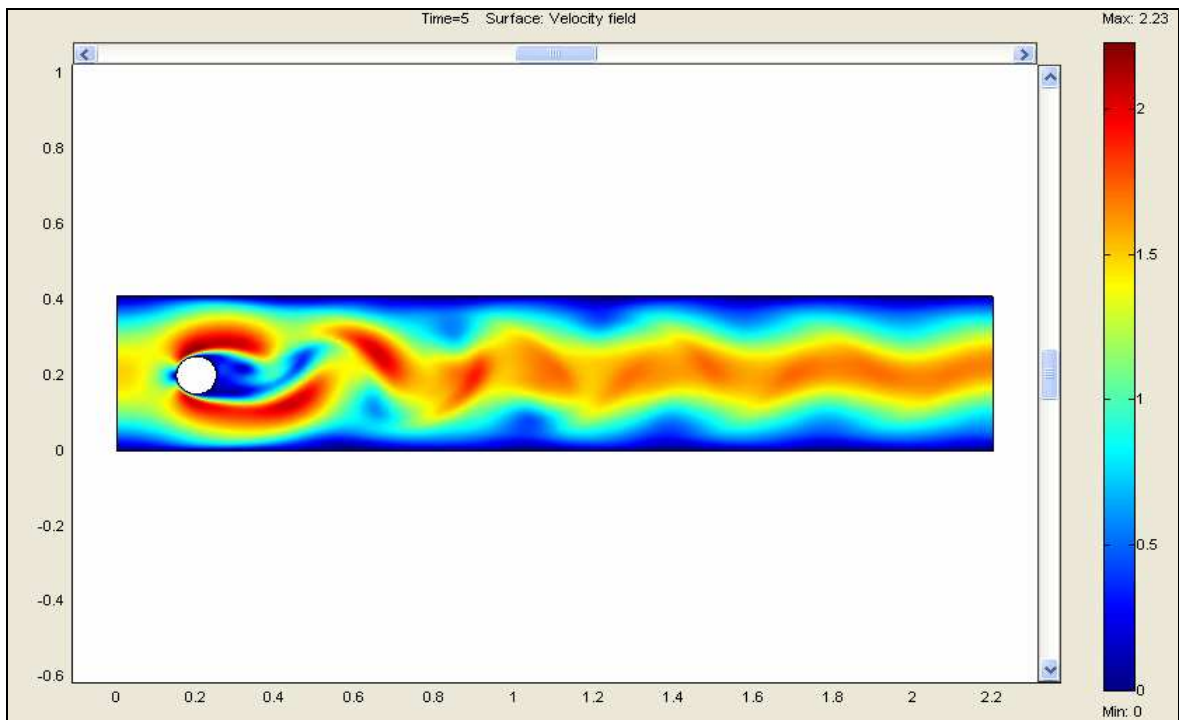
Obr. č. 17 Simulace elektrody kardio-stimulátoru

3.3.5 Dynamika tekutin

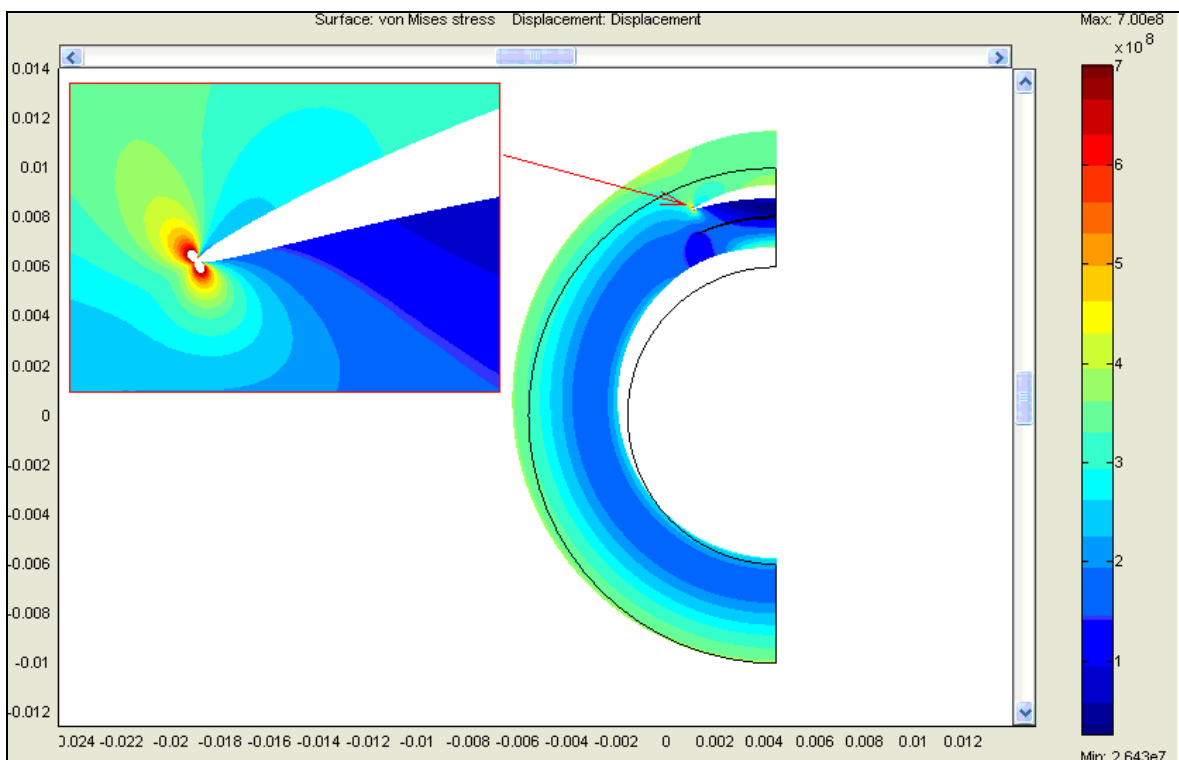
V této kategorii můžeme nalézt například model, který nám simuluje časově závislé proudění kolem válce. Tento válec je umístěn mírně asymetricky v trubce, kterou proudí tekutina. Z výsledku je patrné, že za válcem vznikají vířivé proudy. To je patrné z obrázku č.18. Nachází se zde i modelem, kterým lze simulovat ventil řídící tok tekutin do jednoho z dvou kanálů. Velmi velká viskozita je specifikována v oblasti umístění ventilového válečku, který se snaží zabránit vtékání kapaliny do jednoho z kanálů.

3.3.6 Oblast multifyziky

Jednou z dalších oblastí je oblast multifyziky. Zde je možné na jednom modelu simulovat i více jevů z různých oblastí fyziky či chemie. Nachází se zde například model ocelových trubek umístěných ve výměníku teplé vody. Ze simulace je patrné, že při použití trubek těchto rozměrů z daného materiálu dojde k vzniku trhliny mezi trubkami. Je to zapříčiněno velkými tepelným namáháním. To lze spatřit na obrázku č. 19. Detailní zobrazení trhliny bylo provedeno s pomocí výřezu vytvořeném v programu *Malování*.

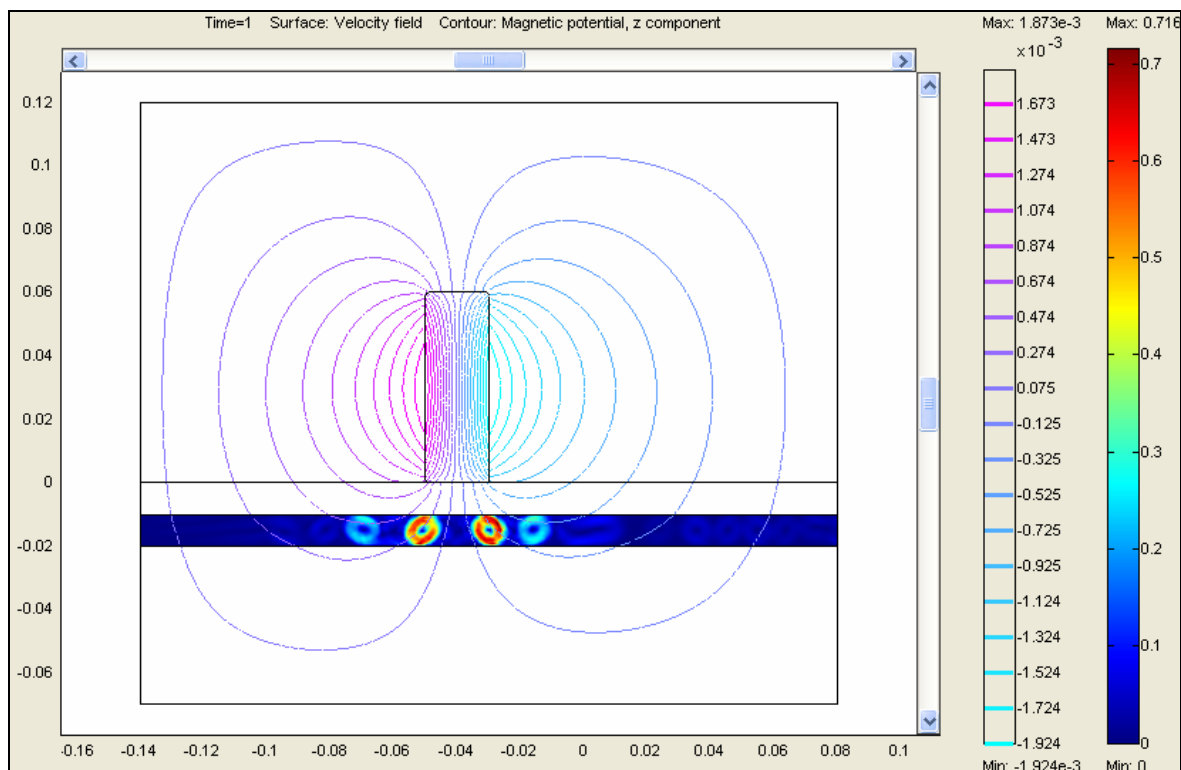


Obr. č. 18 Vznik vířivých proudů za překážkou



Obr. č. 19 Vznik trhlinky mezi trubkami ve výměníku teplé vody

Jedním z následujících modelů je i model, který nám simuluje způsob zjištění drog v krvi pomocí vystavení této krve vnějšímu magnetickému poli. Vzájemné působení magnetického pole a krevního toku způsobí odhalení drog v krvi. Teorie je založen na Maxwellově rovnici a Navier-Stockově rovnici. Ferrohydrodynamika krve je studována pomocí chemoterapeutického vyhodnocování. Tato simulace je patrná z obrázku č. 20. V této kategorii je obsaženo ještě velké množství dalších zajímavých předdefinovaných modelů.



Obr. č. 20 Ukázka simulace odhalení drog v krvi

3.3.7 Další kategorie

Model Library obsahuje ještě mnohem víc modelů z různých oblastí fyziky a chemie. Lze zde nalézt modely z oblasti kvantové mechaniky, strukturální mechaniky, šíření vln, přenosu tepla či Geofyziky. Při zakoupení dalšího modulu získáme velké množství dalších modelů. V námi testované verzi byl k dispozici *Chemical Engineering Modul*, který navýšil rozsah modelů v *Model Library* o dalších 45 modelů z různých kategorií spadajících do chemického inženýrství. Jsou to modely z oblasti elektrochemického inženýrství, jako například model znázorňující elektrochemickou léčbu nádoru. Dále jsou zde modely z oblasti elektroforézy a chromatografie, jejichž výstupem jsou ukázkové grafy

znázorňující například separaci určité látky pomocí chromatografických metod (HPLC-High performance liquid chromatography). Nachází se zde i modely zabývající se tepelnými výměníky, či např. mikrofluidikou, která se zabývá prouděním tekutin v malých kanálcích, a velké množství dalších chemických modelů.

ZÁVĚR

Závěrem této práce lze říci, že její tvorba byla provázena velkým nedostatkem a nedostupností podrobnějších materiálů. Zdá se, že materiálů zabývajících se hlouběji touto problematikou je, ať již v knižní podobě či na internetu, velký nedostatek. Při pokusu o získání detailnějších informací přímo od distributorů těchto programů bylo třeba řešit problém s neochotou většiny těchto firem poskytnout jakékoliv rozšiřující informace o daných produktech.

V teoretické části byla snaha vytvořit ucelený přehled a srovnání programů, které se zabývají touto problematikou. Na základě dostupných materiálů byly popsány základní vlastnosti programů, jako je např. vybavenost programů, přímá podpora vytváření geometrického modelu v těchto programech, jejich systémové a hardwarové požadavky a mnoho dalších.

V praktické části byl vytvořen model a otestovány možnosti zobrazení výsledků. Protože se nepodařilo získat žádnou další zkušební verzi programů popisovaných v teoretické části této práce, byl otestován pouze program FEMLAB. Byly otestovány základní postupy tvorby geometrických modelů a možnosti zobrazení výsledků simulací ve dvourozměrném i trojrozměrném zobrazení. Na závěr byl vytvořen přehled některých předdefinovaných modelů dostupných v Model Library.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

As a conclusion we can say that there has been an lack of detailed materials. There isn't enough resources dealing with this problems in printed version neither the internet offers detailed resources. During attempts to acquire informations directly from distributors we have to face an unwillingness to share any extending knowledge about their products.

There was made a compact overview and comparison of programs used for modeling in the theoretical part. Based on available resources basic properties of the programs were described, for example an complexity, possibility of creating geometrical models, system and hardware requirements etc.

There was created a model and were tested possibilities of results presentation in the practical part. Only the FEMLAB program was tested, because we were unable to get any other trial version of programs mentioned in the theoretical part of this work. Basic procedures of creating geometrical models and means of simulation results presentation in two-dimensional and also three-dimensional view were tested. There was made an overview of selected predefined models from Model Library in the end.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] NUX s.r.o. *TechSoft Engineering, spol. s r.o.* [online]. c2006-2007 [cit. 2007-04-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.techsoft-eng.cz>>.
- [2] ProSim S.A. *ProSim* [online]. c2002-2007 [cit. 2007-04-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.prosim.net/english.html>>.
- [3] WebStep, s.r.o.. *SVS FEM s.r.o.* [online]. 2002 [cit. 2007-04-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.svsfem.cz>>.
- [4] *Humusoft s.r.o.* [online]. 2002 [cit. 2007-04-27]. Dostupný z WWW: <<http://www.humusoft.cz>>.
- [5] *Comsol - Multiphysics Modeling* [online]. c1997-2007 [cit. 2007-04-27]. Dostupný z WWW: <<http://www.femlab.com>>.
- [6] *ABAQUS Inc.* [online]. c2004-2006 [cit. 2007-04-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.abaqus.com/>>.
- [7] *ANSYS Inc.* [online]. c2007 [cit. 2007-04-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.ansys.com>>.
- [8] *Fluent Inc.. Fluent Inc.* [online]. c1995-2007 [cit. 2007-04-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.fluent.com>>.
- [9] *Centrum pro intenzivní výpočty CVUT* [online]. [1995] [cit. 2007-04-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.civ.cvut.cz/info/>>.
- [10] *MKP snadno a rychle* [online]. c2004-2007 [cit. 2007-04-23]. Dostupný z WWW: <<http://fast10.vsb.cz/ansys/obsah.html>>.
- [11] ZIMMERMAN, WILLIAM, B.J. *Process Modelling and Simulation with Finite Element Methods*. Singapore : World Scientific, 2004.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CFD	Computation Fluid Dynamics – Výpočet dynamiky tekutin
PDE	Parciální diferenciální rovnice.
CAD	Počítačem podporované projektování
CAE	computer-aided engineering – automatizované inženýrství
1D	Jednorozměrný prostor
2D	Dvourozměrný prostor
3D	Trojrozměrný prostor
AC/DC	AC - střídavý proud nebo napětí DC - stejnosměrný proud nebo napětí
GUI	Graphical User Interface – Grafické uživatelské rozhraní
MKP	Metoda konečných prvků
STL	Stereolithography - formát souborů určený pro popis pouze trojrozměrných dat
VRML	Virtual Reality Modeling Language – formát souborů pro užití v aplikacích virtuální reality
DXF	Drawing Interchange File Format - formát souborů, do kterého lze uložit dvourozměrné i trojrozměrné data.
IGES	Formát souborů umožňující přenos dvou i třírozměrných modelů
STEP	Formát souborů umožňující přenos dvou i třírozměrných modelů
ASCII	American Standard Code for Information Interchange – mezinárodně využívané kódování znaků, obsahuje 128 znaků
PVC	zkratka pro plasty z polyvinylchloridu

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr č. 1</i> Vzhled Pracovního prostředí programu <i>FEMLAB</i>	20
<i>Obr č. 2</i> Vzhled pracovního prostředí programu <i>ANSYS</i>	21
<i>Obr č. 3</i> Pracovní prostředí programu <i>ABAQUS</i>	22
<i>Obr č. 4</i> Vzhled pracovního prostředí programu <i>PROSIM</i>	23
<i>Obr č. 5</i> Zobrazení vytvořeného modelu v <i>Draw mode</i>	29
<i>Obr č. 6</i> Okno pro nastavení vlastností objektů	30
<i>Obr č. 7</i> Vygenerovaná síť v programu <i>FEMLAB</i>	30
<i>Obr č. 8</i> Ukázka zobrazení 3D plošného grafu.....	31
<i>Obr č. 9</i> Zobrazení působení elektrického pole pomocí šipek v 2D grafu.....	32
<i>Obr č. 10</i> Zobrazení grafu závislosti elektrického potenciálu na poloze na ose X.....	33
<i>Obr č. 11</i> Zobrazení vytvořeného modelu v 3D.....	34
<i>Obr č. 12</i> Okno pro nastavení parametrů grafu	36
<i>Obr č. 13</i> Výsledné zobrazení modelu v 3D.....	36
<i>Obr č. 14</i> Simulace automobilového výfuku	38
<i>Obr č. 15</i> Porovnání výsledků řešitele programu <i>FEMLAB</i> a přesného řešitele	39
<i>Obr č. 16</i> Ukázka zobrazení elektrického senzoru.....	40
<i>Obr č. 17</i> Simulace elektrody kardio-stimulátoru	41
<i>Obr č. 18</i> Vznik vířivých proudů za překážkou.....	42
<i>Obr č. 19</i> Vznik trhlinky mezi trubkami ve výměníku teplé vody	42
<i>Obr č. 20</i> Ukázka simulace odhalení drog v krvi	43

SEZNAM TABULEK

<i>Tab č. 1 Požadavky FEMLABu na systém u platformy Linux a Sun</i>	<i>25</i>
---	-----------

SEZNAM PŘÍLOH

CD:

Model šíření elektrického pole vytvořený v 3D soustavě

Model šíření elektrického pole vytvořený v 2D soustavě