

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS, MATEMATIKOS IR E. STUDIJŲ INSTITUTAS
INFORMATIKOS KATEDRA

Kęstutis Sprainys

Informatikos specialybės IV kurso (V kurso) nuolatinų (iššęstinių) studijų studentas

Srities diskretizavimo baigtiniais elementais galimybių tyrimas

Feasibility Study on the Domain Discretization by Finite Elements

MAGISTRO DARBAS

Darbo vadovas: doc. dr. Sigita Turskienė

Recenzentas: doc. dr. Kęstutis Žilinskas

Šiauliai 2014/2015 m.m.

„Tvirtinu, jog darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota ir paruošta naudojant literatūros sąrašę pateiktus informacinius šaltinius bei savo tyrimų duomenis“

Darbo autorius _____

(vardas, pavardė, parašas)

Darbo tikslai ir uždaviniai

Darbo tikslas: Sukurti programinę įrangą nagrinėjamos srities diskretizavimui baigtiniais elementais

Tikslui pasiekti išsikelti uždaviniai:

1. Srities diskretizavimo programinės įrangos galimybių tyrimas
2. MATLAB sistemos diskretizuoti sritį baigtiniais elementais galimybių analizė.
3. COMSOL programos diskretizuoti sritį baigtiniais elementais galimybių tyrimas.
4. MATLAB sistemos ir COMSOL programos sujungimo galimybės
5. Sukurti programą srities diskretizavimui baigtiniais elementais.

Darbo vadovo _____
(vardas, pavardė, parašas)

Turinys

1 Įvadas.....	5
2 Teorinė dalis.....	6
2.1 Baigtinių elementų metodo esmė.....	6
2.2 Baigtinių elementų tinklelio tipai.....	6
3 Projektinė dalis.....	7
3.1 Darbo vykdymo planas.....	7
3.2 Įrankių ir priemonių pasirinkimo analizė.....	7
3.2.1 Kitos kompiuterinės matematikos sistemos.....	10
3.2.2 Sistemos MATLAB galimybės.....	10
3.2.3 Baigtinių elementų tinklelio generavimas MATLAB sistema.....	11
3.2.4 COMSOL Multiphysics programa.....	13
3.2.5 Baigtinių elementų tinklelio generavimas COMSOL programa.....	14
3.3 Pradinis projektas.....	16
3.3.1 COMSOL modelis.....	16
3.3.2 COMSOL modelio geometrijos kūrimas.....	16
4 Darbo eigos aprašymas.....	18
4.1 Darbų eigos grafas.....	18
4.2 Galutinio projekto būsenos aprašymas.....	19
4.2.1 Grafinė vartotojo sąsaja.....	22
4.2.2 Duomenų saugojimas.....	23
4.3 Rekomendacijos.....	23
5 Išvados.....	24
6 Literatūra.....	25
7 Anotacija.....	27
8 Summary.....	27
9 Priedai.....	28

1 Įvadas

Įvairiose technikos srityse vis dažniau tenka projektuoti sudėtingos formos konstrukcijas, kurios turi dirbti pavyzdžiui, intensyvių šilumos mainų su aplinka sąlygomis. Tokios konstrukcijos vartojamos automobilių pramonėje, aviacijoje ir kitose srityse.

Sprendžiant suformuluotą problemą, pirmiausiai iškyla uždavinys apskaičiuoti temperatūrinį lauką. Analiziniu būdu įvertinti nestacionarųjį šilumos sklidimą kūne sunku, nes nagrinėjamos sudėtingos formos konstrukcijos. Be to, medžiagos savybės gali priklausyti nuo temperatūros, aplinkos temperatūra gali būti koordinačių ir laiko funkcija. Todėl patogiu temperatūros uždavinį spręsti diskretiniu skaitiniu metodu – baigtinių elementų metodu (BEM).

Darbe analizuojamos pirmas uždavinių sprendimo BEM etapas – tai nagrinėjamos srities diskretizavimo baigtiniais elementais galimybės

2 Teorinė dalis

2.1 Baigtinių elementų metodo esmė

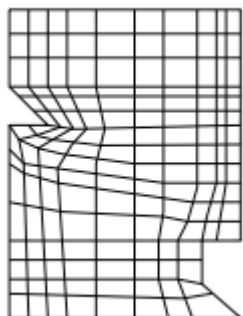
Baigtinių elementų metodas (BEM) yra vienas plačiausiai taikomų metodų, skirtų mechaninių, šiluminių, hidraulinių, elektromagnetinių ir kitokių fizikinių sistemų uždaviniams spręsti bei dinaminiais procesams modeliuoti. Savo esme tai skaitinis metodas, skirtas diferencialinėms lygtims dalinėmis išvestinėmis spręsti.[1]

2.2 Baigtinių elementų tinklelio tipai

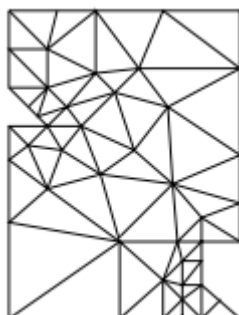
Struktūrinis baigtinių elementų tinklelis yra tinklelis, kurio vidinės viršūnės yra topologiškai panašios (1 pav.).

Nestruktūrinis tinklelis yra toks, kurio vidinės viršūnės nėra topologiškai panašios su šalia esančiomis viršūnėmis (2 pav.).

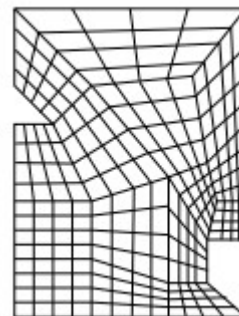
Mišrus baigtinių elementų tinklelis turi struktūrinio tinklelio sritis nestruktūriniame tinklelyje (3 pav.).



1 Pav. Struktūrinis tinklelis[2]



2 Pav. Nestruktūrinis tinklelis[2]



3 Pav. Mišrus tinklelis[2]

Tinklelius taip pat galima klasifikuoti pagal juos sudarančių baigtinių elementų formą. Dažniausiai struktūriniame tinkleliui naudojamas keturkampis (trimačio tinklelio atveju - heksaedras), o nestruktūriniame tinkleliui trikampiai (trimačio tinklelio atveju - tetraedras)[2].

3 Projektinė dalis

3.1 Darbo vykdymo planas

	1	2	3	4	5	6	7	8
2012 rugsėjis	+	+						
2012 spalio	+	+						
2012 lapkritis	+	+						
2012 gruodis	+	+	+					
2013 sausis								
2013 vasaris		+		+				
2013 kovas		+			+	+		
2013 balandis		+			+	+		
2013 gegužė		+					+	
2013 birželis					+	+		
2013 liepa					+	+		
2013 rugpjūtis							+	
2013 rugsėjis		+					+	
2013 spalio		+					+	
2013 lapkritis		+					+	
2013 gruodis		+					+	
2014 sausis								
2014 vasaris		+						+
2014 kovas		+						+
2014 balandis		+						+
2014 gegužė		+						+
2014 birželis		+						+

1 lentelė Darbo vykdymo planas

1. Informacijos paieška ir analizė.
2. Konsultacijos su darbo vadovę.
3. Priemonių pasirinkimas
4. Programos projektavimas.
5. programavimas
6. Programos Testavimas
7. Programos analizė ir tobulinimas
8. skaidrių ruošimas ir aprašymo rašymas

3.2 Įrankių ir priemonių pasirinkimo analizė

Šiluminiams uždaviniams spręsti BEM rinkoje yra daug programinių produktų. Kiekvienas jų turi savitų privalumų ir trūkumų, todėl išsirinkti tinkamą įrangą yra nelengva.

Vienos programos yra labiau specializuotos, kitos universalesnes.

Universalesnės programos leidžia sukurti sudėtingesnius realių uždavinių modelius.

Galimybė įterpti kitos programavimo kalbos kodą dar labiau praverčia kuriant grafinę vartotojo sąsają ar darbui su duomenų baze.

Pagrindinė informacija apie nagrinėtas programines priemones pateikta 1 lentelėje.

	Galimybė sukurti grafinę vartotojo sąsają	Darbas su duomenų bazėmis	Programavimo kalba	Galima įtraukti programavimo kalbą	Programavimo paradigma	Gali būti įtraukta į	Operacinė sistema	Kaina
MatLab	yra	yra	Matlab	C, C++, Fortran, Java, ActiveX	OOP	.NET, Java, ActiveX	Windows, Mac OS X, Linux	Mokama
Scilab	yra	yra	Scilab	Java, .NET	SP	-	Windows, Mac OS X, Linux	Nemokama
Ansys	yra	yra	ADPL	nėra	SP	nėra	Windows, Linux	Mokama
ComSol	yra	yra	MatLab	C, C++ Fortran, Java, ActiveX	OOP	.NET, Java, ActiveX	Windows, Mac OS X, Linux	Mokama
Octave	yra	yra	Octave	C, C++, Fortran	SP	-	Windows, Mac OS X, Linux	Nemokama
Sage	dalinai	yra	Cython	C, C++, Fortran Cython	OOP	-	Virtuali mašina	Nemokama
SVHEAT 2D/3D	nėra	nėra	nėra	nėra	nėra	nėra	Windows	4940 USD
WinTherm	yra	yra	C++	-	OOP	-	Windows, Linux	Mokama
Python ir jo bibliotekos	yra	yra	Python	C	OOP	C++	Windows, Mac OS X, Linux	Nemokama

1. Lentelė Kompiuterinių matematikos sistemų palyginimas [7 8 9 10 11]

3.2.1 Kitos kompiuterinės matematikos sistemos

Scilab yra viena žinomesnių nemokamų alternatyvų MatLab programinei įrangai. Nors Scilab funkcionalumu neprilygsta MatLab, bet tai yra atvirojo kodo nemokama programa ir jos plėtra priklauso nuo bendruomenės.[10]

Octave programa pagal nutylėjimą neturi grafinės vartotojo sąsajos. Grafinė vartotojo sąsaja galima parsisiųsti, kaip atskiras paprogramės. Dalis jų turi panašią į MatLab išvaizdą. Octave turi jai skirtų priedų, kurie yra naudingi sprendžiant šiluminius uždavinius.[11]

Sage veikia gana unikaliu būdu. Jai paleisti reikalinga virtuali mašina, nes kartu su matematiniu paketu pridedama ir apkarpyta fedoros operacinė sistema, kurioje ir veikia. Tai ganėtinai padidina reiklumą kompiuterio resursams.[11]

SVHEAT 2D/3D programa lyginant su kitomis programomis yra mažiau universali. Ji analizuoja gana siaurą spektrą šiluminių uždavinių, tokių kaip grunto ar vamzdynų šilumos perdavimo [5]

WinTherm programa, kaip programavimo kalbą naudoja C/C++. Suderinamumui tarp skirtingų operacinių sistemų užtikrinimui naudojama Qt platforma. Ši programa sugeba analizuoti radiaciją, laidumą ir konvekciją. Trimačius modelius galima importuoti iš Patran Neutral (NTL), Wavefront (OBJ), Stereolithography (STL), AutoCAD (DXF), Rhino3D (3DM) ir Nastran [6]

Nors python ir nėra matematinis paketas, bet bibliotekos SciPy, matplotlib, SfePy suteikia panašias matematinių paketų funkcijas. SciPy biblioteka yra matematinių algoritmų kolekcija. Biblioteka matplotlib yra skirta atvaizduoti dvimačius ir trimačius grafikus. SfePy naudojama norint spręsti baigtinių elementų metodu.

3.2.2 Sistemos MATLAB galimybės

3.2.2.1 *Partial Differential Equation Toolbox*

Įrankis pdetool turi grafinę vartotojo sąsają. Šis įrankis padeda apibrėžti BEM sprendžiama problemą. pdetool galima dirbti keliais režimais

Piešimo režime kuriamas CSG (Constructive Solid Geometry) modelis. Šiame režime galima piešti pilnavidurius objektus kurie gali persidengti. Palaikomi keturi objektų tipai: Apskritimas, Daugiakampis, Stačiakampis, Elipsė. Kiekvienam objektui priskiriamas unikalus

vardas, figūras galima judinti sukinėti įvairiai tarpusavyje kombinuoti.

Kraštų režime, galite nurodyti kraštines sąlygas. Jūs galite turėti skirtingų kraštų įvairių rūšių kraštines sąlygas. Veikiant šiuo režimu, originalus formų yra objektų sudaro ribas tarp modelio subdomenų. Tokios sienos gali būti pašalintos šiuo režimu. Kraštai turi spalvinį kodą nurodyti kraštinių sąlygų tipą. Raudona išorinė riba atitinka DIRICHLĖ kraštines sąlygas, mėlynas - bendrųjų Neumann kraštinėmis sąlygomis, ir žalia - mišrių kraštinių sąlygų.

BEM režime galima apibrėžti BEM problemą ir jos koeficientus. Taip pat galima kiekvienam subdomenui apibrėžti skirtingus koeficientus. Tinklelio režime galima automatiškai sugeneruoti tinklėlį.

Sprendimo režime, galima nurodyti išspręsti parametrus ir spręsti lygtį BEM. Dėl parabolinių ir hiperbolinių lygties sprendimo BEM problemų, taip pat galite nurodyti pradines sąlygas, ir laiko, kada produkcija turėtų būti sukurtos. Dėl savo reikšmės, paieškos diapazonas gali būti nurodytas.

Rezultatų vaizdavimo režime galima rinktis įvairius vizualizavimo būdus. Tokius kaip paviršiaus, tinklelio, kontūrų, vektoriaus laukų. Sprendimą galima rodyti tiek dvimačiu tiek trimačiu grafiku.

3.2.3 Baigtinių elementų tinklelio generavimas MATLAB sistema

MATLAB informacija apie baigtinių elementų tinklėlį saugoma 3 matricose:

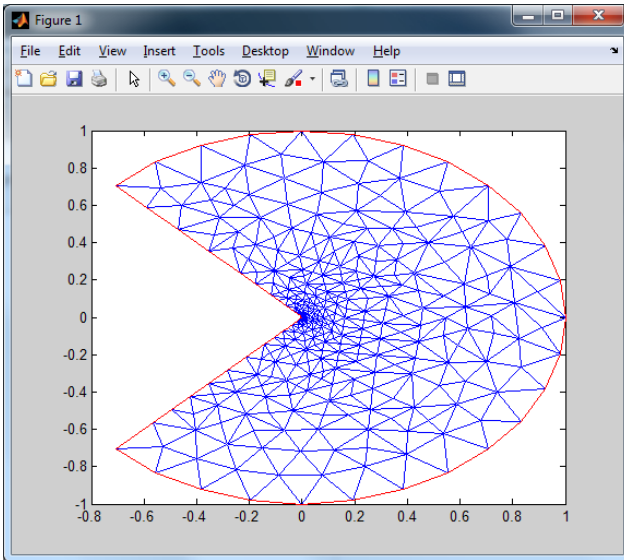
- p - taškų matrica $[2 * n]$, n - taškų skaičius. Pirmoji eilutė saugo taškų x koordinates, o antroji y koordinates.
- e - briaunų matrica $[7 * n]$, n – briaunų skaičius.
 1. Pirmojo briaunos taško rodyklė
 2. Antrojo briaunos taško rodyklė
 3. Pirmojo briaunos taško parametro reikšmė.
 4. Antrojo briaunos taško parametro reikšmė
 5. Segmento numeris
 6. subdomeno numeris briaunos kairėje
 7. subdomeno numeris briaunos dešinėje
- t – trikampių matrica $[4 * n]$, m – trikampių skaičius

`initmesh(g)` funkcija gražina p , e , t matricas, pasinaudojus geometrijos aprašo funkcija g . Baigtinių elementų tinkleliui generuoti naudojamas Delaunay trianguliacijos algoritmas.

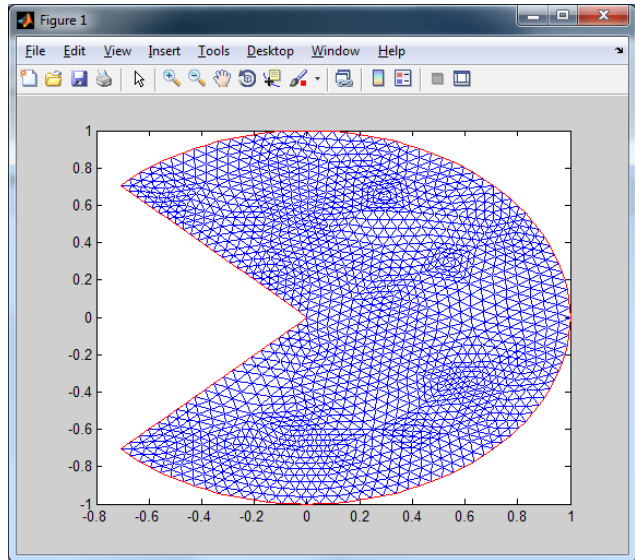
Parametrai	Parametru reikšmės
Hmax	Maksimalus briaunos dydis
Hgrad	Tinklelio augimo koeficientas
Box	Aprėpties langelio iš saugojimo būseną
Init	Krašto trianguliacija
Jiggle	Jigglemesh funkcijos reikalingumas
JiggleIter	Maksimalus iteracijų skaičius naudojant jigglemesh()
MeshVersion	Algoritmas naudojamas generuojant tinklą

Adaptmesh() gražina p, e ir t matricas bei DDL sprendinį

Parametrai	Parametru reikšmės
Maxt	Maksimalus naujų trikampių skaičius
Ngen	Maksimalus trikampių generacijos skaičius
Mesh	Pradinis tinklas
Tripick	Trikampių parinkimo metodas
Par	Funkcijos parametras
Rmethod	Trikampių tobulinimo metodas
Nonlin	Netiesinio sprendėjo reikalingumas
Toln	Netiesinė tolerancija
Init	Netiesinė pradinė reikšmė
Jac	Netiesinė Jacobian'o skaičiavimas
norm	Netiesinė likutinė norma
MeshVersion	Pardinio tinklo generavimo algoritmas



4 Pav. 629 trikampaiai



5 Pav. 3152 trikampaiai

Jigglemesh() - koreguoja baigtinių elementų tinklėli, koreguodamas mazgo taškų pozicijas. Paprastai tinklėlio kokybė pagerėja

Parametrai	Parametrų reikmės
Opt	Optimizacijos metodas
Iter	Iteracijų skaičius

Refinemesh() -grynina baigtinių elementų tinklėlį.

Nors MATLAB turi daug galimybių generuoti tinklėlį, bet tėra tik vienas baigtinių elementų tinklėlio tipas – nestruktūrinis, antras trūkumas - galima dirbti tik su dvimačiais modeliais.

3.2.4 COMSOL Multiphysics programa

COMSOL turi specialų modulį skirta spręsti šiluminiams uždaviniams. Šis modulis sugeba įvertinti laidumą, konvekciją, radiaciją ir kai kurios kitus fizikinius reiškinius. Šilumos perdavimo modulis buvo specialiai parašytas vartotojams, kurie domisi laisvos ir priverstinės konvekcijos proceso projektavimu, fazių kaitos modeliavimu, spindulinės šilumos tiek per skaidrias tiek per pusiau skaidrias laikmenas, taip pat ir visų šių reiškinių kombinacijai. Taip pat pridėdamos specialios formuluotes jei reiktų spręsti šilumos perdavimo uždavinius gyvuose audiniuose. Taip pat šilumos perdavimo modulį galima derinti su kitais COMSOL fizikinių moduliais.

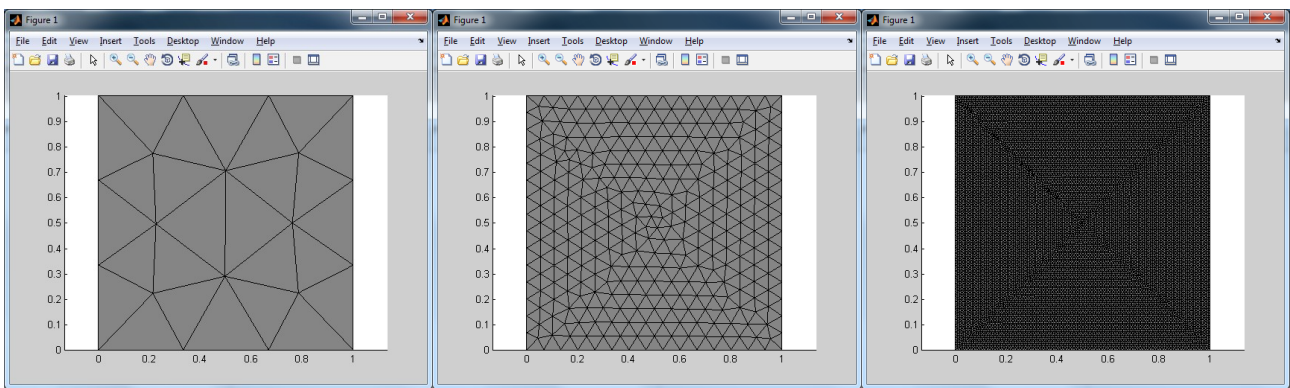
3.2.4.1 LiveLink for MATLAB modulis

Livelink for MATLAB yra COMSOL modulis leidžiantis apjungti MATLAB ir COMSOL programas. Tai veikia serverio kliento režimu. Tam standartiškai naudojamas 2036 prievadas. Iš MATLAB aplinkos galima pasiekti COMSOL modelį ir su juo dirbti.

3.2.5 Baigtinių elementų tinklelio generavimas COMSOL programa

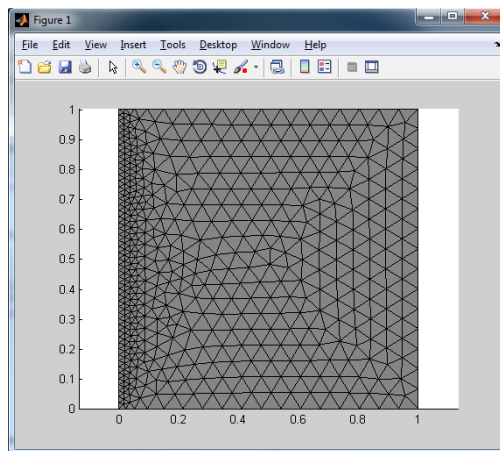
COMSOL galima nurodyti 4 būdais, kaip galima keisti baigtinių elementų tinklelio elementų dydį, nurodant:

- maksimalų arba/ir minimalų elementų dydį
- elementų augimo lygį
- Kreivės raišką (resolution of curvature)
- raišką siauruose regionuose
- 1 iš 9 jau parinktų dydžio nustatymų



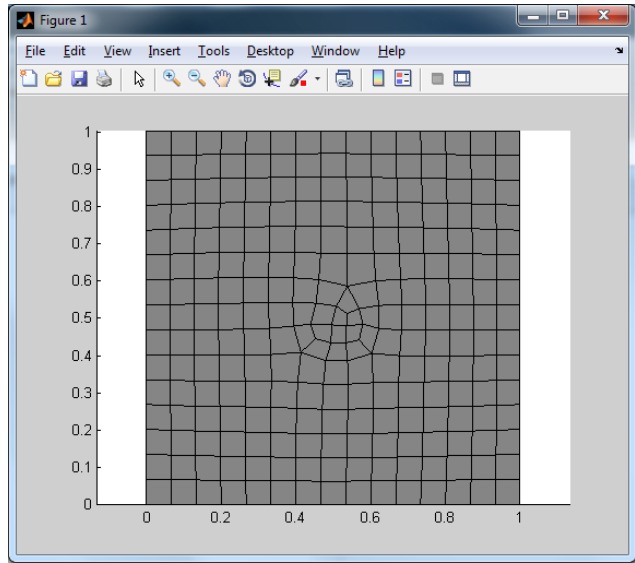
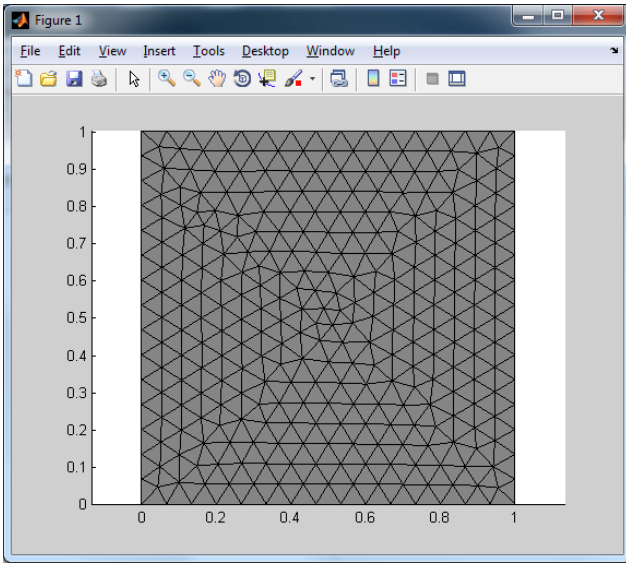
6 pav skirtingų elementų dydžių pavyzdžiai.

Galima nurodyti geometrijos sritį ir joje pritaikyti skirtingą baigtinių elementų dydį 7 paveiksluke buvo pasirinkta kairė briauna ir prie jos generuojami mažesni trikampiai nei likusioje geometrijoje:



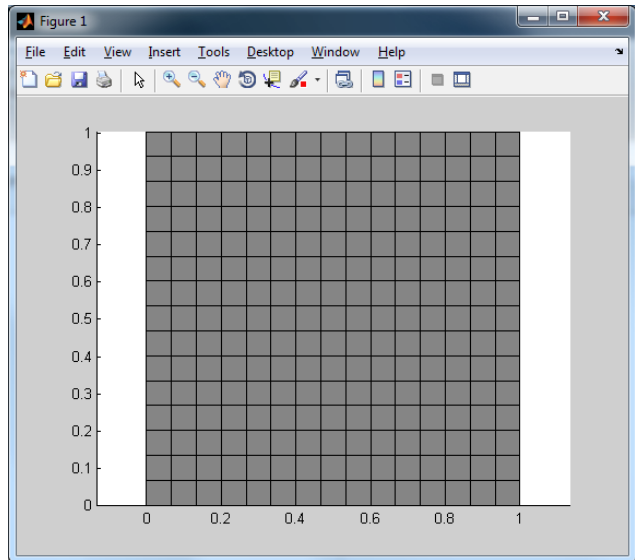
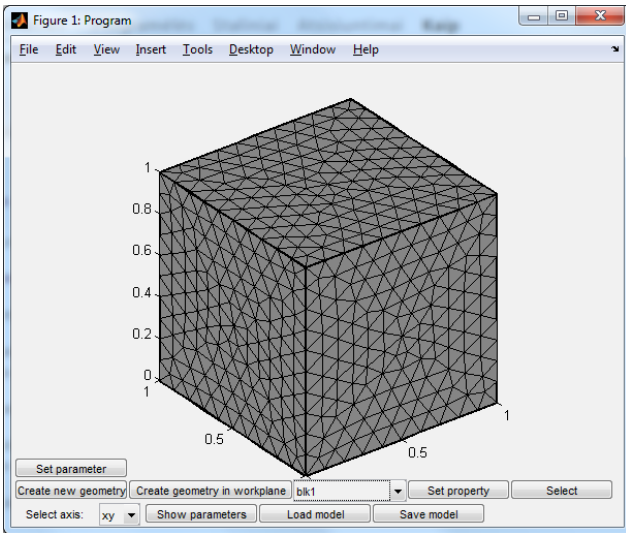
7 pav Skirtingi tinklelio parametrai skirtingose geometrijos vietose

COMSOL programoje galimi 4 baigtinių elementų tinklelio tipai:



8 Pav. Trikampių nestrūktūrinis tinklelis

9 Pav. Keturkampių nestrūktūrinis tinklelis



10 Pav. Tetraedrų nestrūktūrinis tinklelis

11 Pav. keturkampių strūktūrinis tinklelis

3.3 Pradinis projektas

Kadangi MATLAB neleidžia dirbti su trimatėmis modeliais, naudinga naudoti COMSOL programos modelį, pasiekiant MATLAB funkcionalumą. Tai leistų tolimesniems skaičiavimams naudoti MATLAB sistemą.

COMSOL modelio objektas saugomas MATLAB klasės viduje. Darbo plokštuma leidžia vartotojui kurti dvimačius objektus trimatėje erdvėje. Geometrijoje saugomi visi trimatėiai, dvimačiai ir vienmačiai primityvai. Nurodžius baigtinių elementų tinklelio tipą jį galima priskirti modelio geometrijai arba jos daliai ir taip tą sritį padalinti baigtinių elementų metodu.

3.3.1 COMSOL modelis

COMSOL modelis saugo visa su uždaviniu susijusia informacija.

Mano programoje naudoti šie modelio objektai.

- geom objektas saugo informacija apie modelio geometrija.
- material saugoma informacija apie modelyje esančių medžiagų savybes
- param saugomi modelio globalūs kintamieji
- mesh saugoma informacija apie baigtinių elementų tinklelio tipą ir jo savybes.

Model
+ batch
+ coordSystem
+ cpl
+ func
+ geom
+ group
+ init
+ material
+ mesh
+ modelNode
+ opt
+ pair
+ param
+ physics
+ probe
+ result
+ selection
+ sol
+ study
+ unitSystem
+ variable
+ view

3.3.2 COMSOL modelio geometrijos kūrimas

COMSOL modelyje galima kurti šiuos trimatėius primityvus:

- | | | | |
|-------------------------|----------------------|--------------------------|--------------|
| • Bezjė daugiakampis | • Stačiakampis | • Kūgis | • Cilindras |
| • Ekscentriškas kūgis | • gretasienis | • Sraigtas | • Heksaedras |
| • Interpoliacinė kreivė | • Elipsoidas | • Parametrinis paviršius | • Taškas |
| • Daugiakampis | • Parametrinė kreivė | • Sfera | • Tetraedras |
| • Toras | • Piramidė | | |

COMSOL darbo plokštumoje galima kurti šiuos dvimačius primityvus:

- Bezjė daugiakampis
- Interpoliacinė kreivė
- Daugiakampis
- Apskritimas
- Parametrinė kreivė
- Stačiakampis
- Elipsė
- Taškas
- Kvadratas

Galima su primityvais atlikti šias operacijas:

Su darbo plokštuma susiję veiksmai:

- Darbo plokštumos kurimas
- Geometrijos ištempimas iš darbo plokštumos į trimatę erdvę
- Pasukimas iš darbo plokštumos į trimatę erdvę
- Poslinkio

Binarinės operacijos:

- Sukurimo
- Skirtumo
- Persidengimo
- Atspindžio

Tiesinės transformacijos:

- Rikiavimo
- Kopijavimo
- Atspindžio
- Sukimo
- Mastelio keitimo

Objekto tipo konvertavimo:

- Konvertavimas į pilnavidurį
- konvertavimas į paviršių
- Konvertavimas į kreivę
- konvertavimas į tašką

Kitos operacijos:

- Objekto šalinimas
- Objekto koregavimo
- Simetrinis kampų suapvalinimas
- pažymėto kampo suapvalinimas
- Objekto pažymėjimas
- Skėlimas
- Liestinė

Su operacijomis galima dirbti taip pat, kaip ir su geometrijos primityvais. Juos kurti ir keisti jų parametrus galima tais pačiais būdais, bet kol nesuformuojama operacijas negalima atvaizduoti modelio. Dėl šio atvejo nebuvo galima atlikti modelio vaizdavimo atnaujinimo kiekviena kartą kai vartotoja atlieka veiksmą su primityvais ar operacijomis.

4 Darbo eigos aprašymas

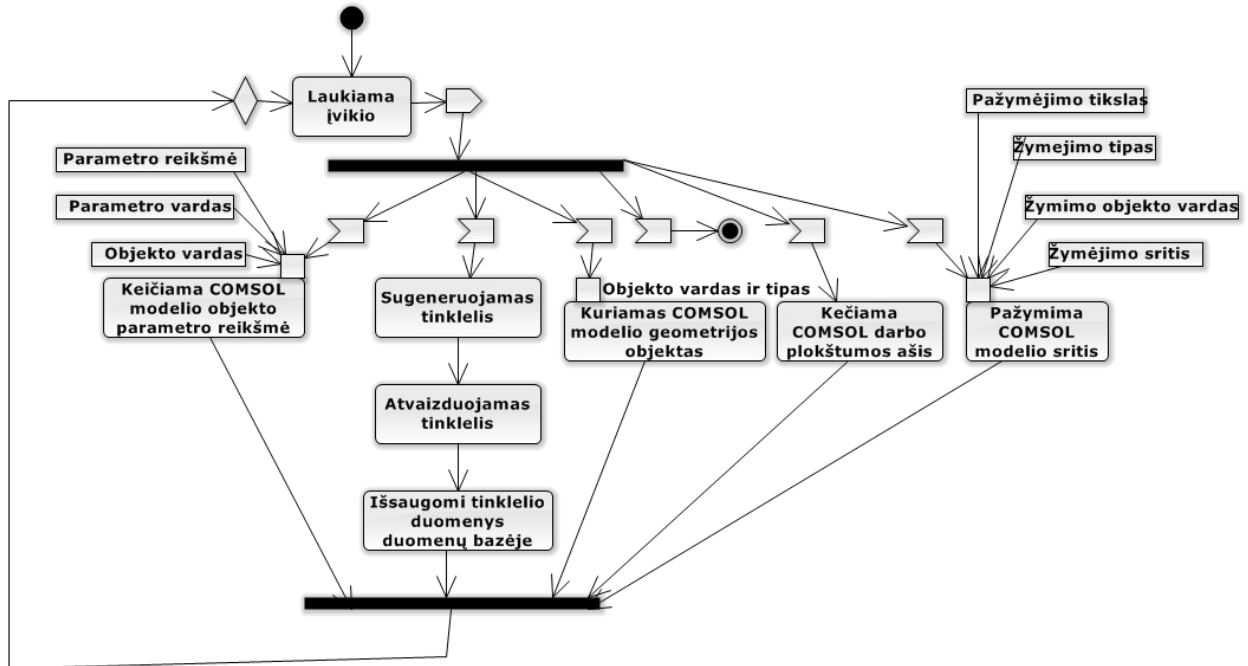
4.1 Darbų eigos grafas

	1	2	3	4	5	6	7	8
2012 rugsėjis	+	+						
2012 spalio	+	+						
2012 lapkritis	+	+						
2012 gruodis	+	+	+					
2013 sausis								
2013 vasaris		+		+				
2013 kovas		+			+	+		
2013 balandis		+			+	+		
2013 gegužė		+					+	
2013 birželis					+	+		
2013 liepa					+	+		
2013 rugpjūtis							+	
2013 rugsėjis		+					+	
2013 spalio		+					+	
2014 liepa							+	
2014 rugpjūtis							+	
2014 rugsėjis								+
2014 spalio								+

1. Informacijos paieška ir analizė.
2. Konsultacijos su darbo vadovę.
3. Priemonių pasirinkimas
4. Programos projektavimas.

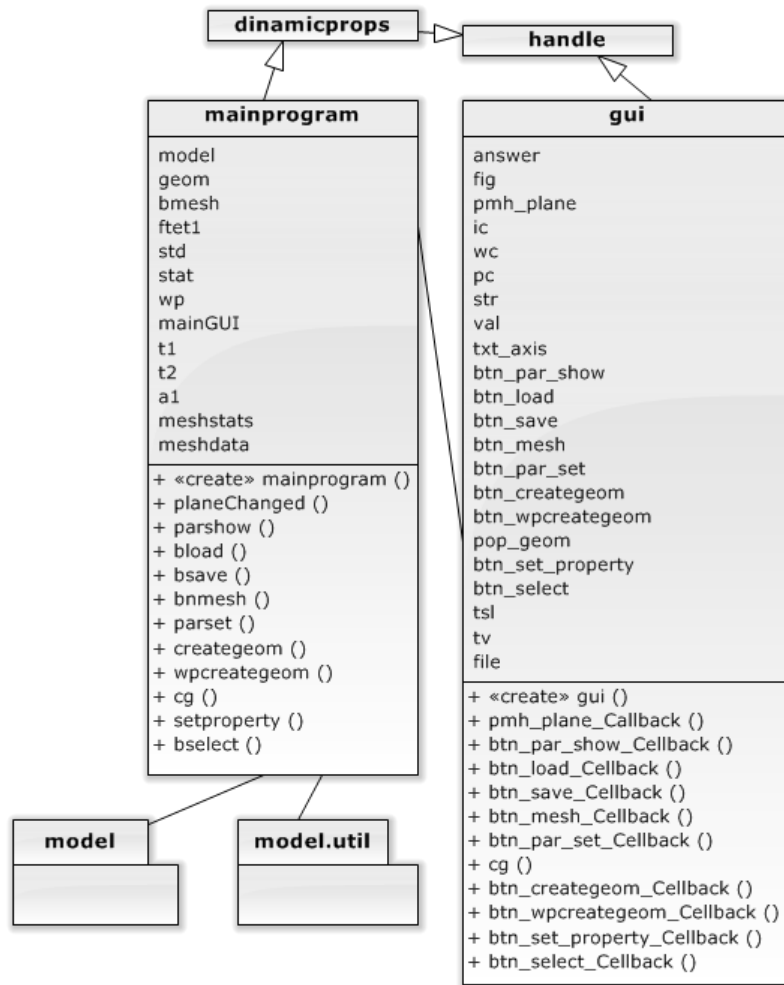
5. Programavimas
6. Programos Testavimas
7. Programos analizė
8. Skaidrių ruošimas ir aprašymo rašymas

4.2 Galutinio projekto būsenos aprašymas



13 pav. programos veiksmų diagrama

Vartotojas gali kurti ir keisti geometrijos primityvus ar jų operacijas jam tinkama tvarka. Kaskart sugeneravus tinklėlį jo duomenys išsaugomi duomenų bazėje bei grąžinama tinklėlio informacija į MATLAB darbo aplinką. Kadangi COMSOL modelis yra atvaizduojamas MATLAB diagramoje, veikia visos MATLAB diagramai skirtos funkcijos kaip modelio sukūnėjimas, taškų pažymėjimas koordinacių rodymas ir kt.



14 pav programos klasių diagrama

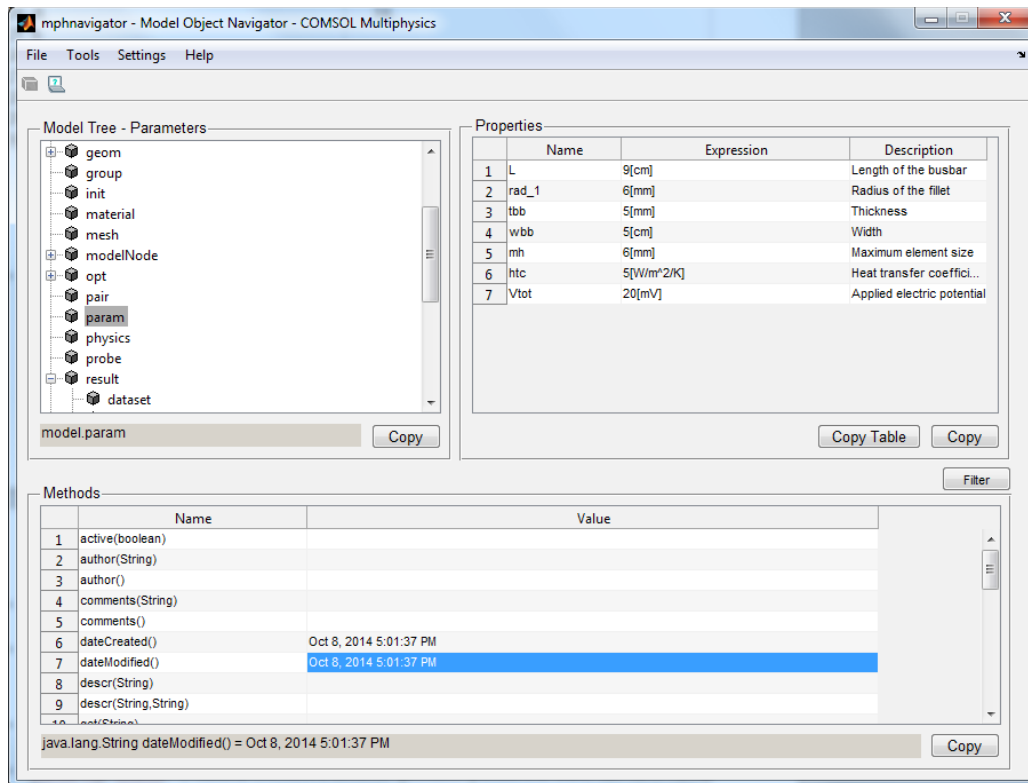
Kadangi MATLAB sistemos programavimo kalba leidžia kurti programas laikantis objektinio programavimo paradigmos, tai programa buvo suskirstyta į kelias dalis[2].

Gui klasėje saugomi grafinės vartotojo sąsajos elementai, kurias pasinaudojus per įvykių sistemą kviečiami mainprogram metodai.

Kadangi dirbama per MATLAB diagramą (atvaizduojamas COMSOL modelis) gui klasė turi paveldėti handle klasę. Mainprogram klasė importuoja COMSOL modelį ir reaguoja į sukurtus įvykius. Kadangi vartotojas gali kurti naujus objektus reikia galimybes juos dinamiškai kurti klasės viduje. Tai padeda atlikti dinamicprops klasė.

- *mainprogram()* - klasės konstruktorius. Jame prisijungiama prie COMSOL serverio ir importuojamas modelio objektas. Sukuriamas modelio trimatis geometrijos objektas ir darbo plokštuma. Sugeneruojamas baigtinių elementų tinklelis ir priskiriamas jam tipas. Sujungiami visi įvykiai su atitinkamais klasės metodais.

- *planeChanged(mp,source,~)* keičia darbo plokštumos ašį ir atnaujina vaizdą.
- *parshow(mp, ~, ~)*- leidžia iškviesti COMSOL grafinės vartotojo sąsajos langą kuriame galima peržiūrėti visus modelio laukus bei išsaugoti patį modelį.



15 pav COMSOL modelio objektų langas

- *load(mp, source, ~)*- dabartinį modelį pakeičia įkrautu.
- *bnmesh(mp, source, ~)* - Sukuria tinklę priskiria tinklę modeliui susijungia ir išsaugo tinklės duomenis duomenų bazėje Taip pat prie tinklės informacijos galima prieiti ir MATLAB darbo aplinkoje
- *parset(mp, source, ~)* sukuria COMSOL modelio globalius parametrus kurie turi savo vardą, dydį matavimo vienetus bei aprašymą.
- *creategeom(mp, source, ~)* metodo pagalba galima kurti trimačius objektus modelio aplinkoje pagal vartotojo nurodytą primityvo tipą. Tuo tarpu *wpcreategeom(mp, source, ~)* kuriami dvimačiai objektai darbo plokštumoje. *cg(mp)* metode yra iškelti bendros *creategeom* ir *wpcreategeom* komandos.
- *setProperty(mp, source, ~)*- pasirinktame modelio geometrijos objekte gali pakeisti vartotojo nurodyta savybę ir savybes reikšmę.

- *bselect(mp, source, ~)* metodas pažymi vartotojo nurodytą sritį, kurioje vėliau galės atlikti kitus veiksmus. Tarkime pažymėjus stačiakampio gretasienio sritį galima nurodyti jam suapvalinti kampus

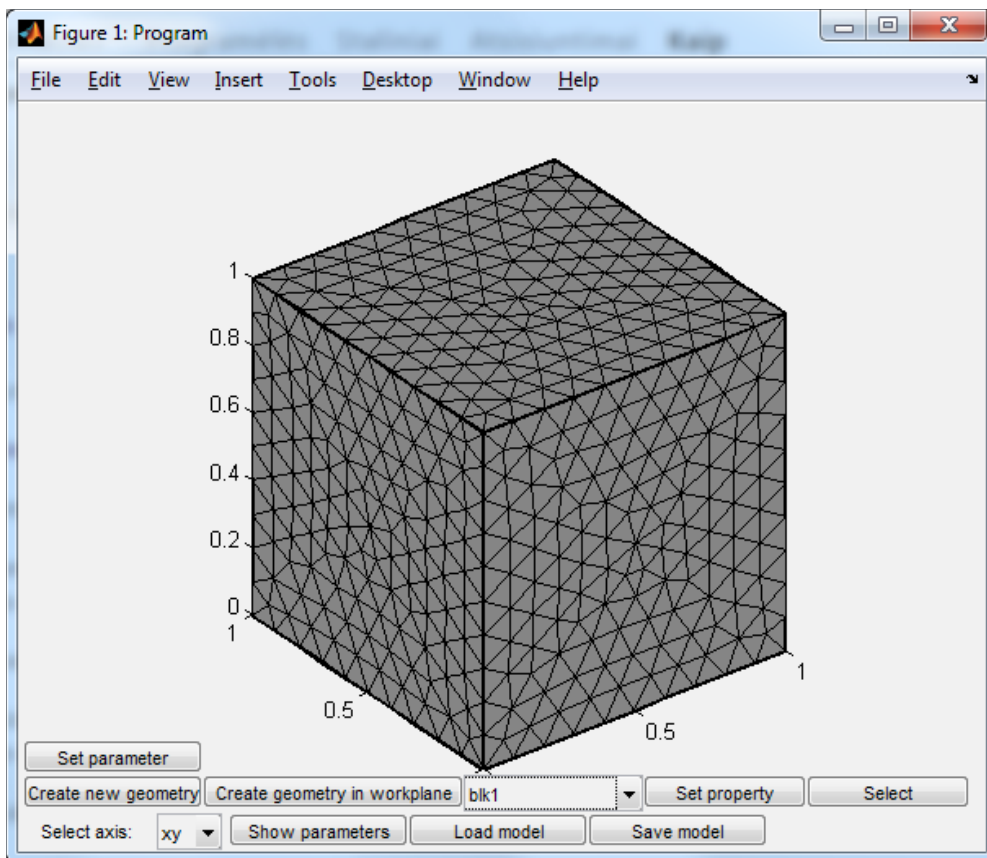
Kadangi vartotojas gali kurti naujus geometrijos objektus reikėjo, kad klasė paveldėtų *dynamicprops* ir būtų galima kurti klasės laukus dinamiškai.

4.2.1 Grafinė vartotojo sąsaja

Dauguma grafinės vartotojo sąsajos klasės metodai sukuria dialogo langus, kurios vartotojui užpildžius, išskviečiami įvykiai į kurias reaguoja tam skirti *mainprogram* klasės metodai.

Grafinę vartotojo sąsaja galima kurti dvejopai: programiniu būdu arba naudojant GUIDE įrankį. Dėl didesnio funkcionalumo buvo pasirinktas programinis būdas.

Grafinė vartotojo sąsaja atrodo šitaip:



16 grafinė vartotojo sąsaja

Lange matome sukurtą trimatį bloko primityvą, kuris yra dalijamas į baigtinius elementus.

4.2.2 Duomenų saugojimas

MATLAB per įrankį Database leidžia dirbti su Oracle®, MySQL®, Sybase®, Microsoft® SQL Server® ir Informix® trečiosios šalies biblioteka mksqlite leidžia dirbti su SQLite duomenų bazėmis MATLAB aplinkoje. Norint vykdyti SQLite komandas reikia prisijungti biblioteka ir naudoti *mkslite()* funkciją.[13, 14]

Pradinis pasirinkimas buvo naudoti SQLite tai būtų leidę su duomenų baze dirbti, kaip su paprasta išsaugojimo byla, kiekvieną kartą leidžiant vartotojui kurti naują ar koreguoti esamą duomenų bazę. Vėlesniuose projekto stadijose nutrūko įskiepio palaikymas, todėl teko atsisakyti šio sprendimo.

Sekantis pasirinkimas - buvo naudoti MySQL duomenų bazę. Ši duomenų bazė palaiko Database Explorer, kurios dėka galima importuoti duomenis iš DB į MATLAB darbo aplinką Taip pat MATLAB programavimo kalba leidžia jungtis su DB ir joje atlikti užklausas.

Sukurta duomenų bazė, kurioje saugoma baigtinių elementų taškų koordinatės, informacija apie elementus.

4.3 Rekomendacijos

Norint pagreitinti darbą su programa galima MATLAB ir COMSOL Sujungimą išskaidyti per tinklą, taipogi galima naudoti įvairius būdus skirtus gerinti darbui su Java VM tokius, kaip papildomos operatyvios atminties skyrimas (MATLAB programavimo kalba yra paremta Java) . Taipogi galima naudoti MATLAB darbo optimizavimo funkcijas

5 Išvados

Remiantis šio darbo rezultatais galima daryti šias išvadas:

1. Atlikta programinės įrangos skirtos srities diskretizavimo į baigtinius elementus analizė
2. Iš atliktos analizės seka MATLAB sistema turi modulį ir funkcijas leidžiančius diskretizuoti į baigtinius elementus dvimatį modelį.
3. Iš atliktos analizės matyti, kad COMSOL programa leidžia diskretizuoti į baigtinius elementus trimatį modelį.
4. Atliktas sujungimas COMSOL programos ir MATLAB sistemos. MATLAB diagramoje galima atvaizduoti COMSOL modelį
5. Sukurta objektinė programa diskretizuojanti naudojant sritį į baigtinius elementus ir išsaugojanti tinklelio informacija į duomenų bazę.

6 Literatūra

1. Barauskas, R.,(20XX) *Baigtinių elementų metodas su MATLAB ir COMSOL Multiphysics* [interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. sausio 9 d.] prieiga per internetą:
<http://prof.if.ktu.lt/rimantas.barauskas/books>
2. Šimkus A., Turskiene S.,(2013) *MATLAB kalbos objektinio programavimo galimybių lyginamoji analizė*, Jaunųjų mokslininkų darbai, [interaktyvus] [žiūrėta 2014 m. rugsėjo 2 d.] prieiga per internetą: http://vddb.library.lt/obj/LT-eLABa-0001:J.04~2013~ISSN_1648-8776.N_1_39.PG_148-151
3. Bern M., Plassmann P., *Mesh Generation*[interaktyvus] [žiūrėta 2014 m. rugsėjo 2 d.] prieiga per internetą: <http://www.cs.berkeley.edu/~jrs/meshpapers/BernPlassmann.pdf>
4. *ANSYS 14.0 Capabilities Brochure* [interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. sausio 9 d.] prieiga per internetą:
<http://www.ansys.com/staticassets/ANSYS/staticassets/resourcelibrary/brochure/ansys-capabilities-14.0.pdf>
5. *Heat Transfer Module* [interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. sausio 9 d.] prieiga per internetą:
<http://www.comsol.com/products/heat-transfer/>
6. *SVHEAT 2D / 3D Detailed Description* [interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. sausio 9 d.] prieiga per internetą:
http://www.scisoftware.com/environmental_software/detailed_description.php?products_id=186
7. *WinTherm Heat Transfer Simulation Software* [interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. sausio 9 d.] prieiga per internetą: <http://www.thermoanalytics.com/products/wintherm/index.html>
8. *ANSYS 12.1 Workbench Hosted Architecture and Operating System* [interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. sausio 9 d.] prieiga per internetą:
<http://www.ansys.com/Support/Platform+Support/ANSYS+12.1+Workbench+Hosted+Architecture+and+Operating+System+support>
9. *ANSYS Mechanical APDL Programmer's Manual* [interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. sausio 9 d.] prieiga per internetą:
http://www1.ansys.com/customer/content/documentation/130/ans_prog.pdf

10. *HOW TO DEVELOP A GRAPHICAL USER INTERFACE (GUI) IN SCILAB*. [interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. sausio 9 d.] prieiga per internetą:
http://www.openeering.com/sites/default/files/LHY_Tutorial_Gui.pdf
11. *Free Your Numbers*[interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. sausio 9 d.] prieiga per internetą:
<http://www.gnu.org/software/octave/octave.pdf>
12. *Database Toolbox* [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 m. birželio 28 d.]. Prieiga per internetą:
<http://www.mathworks.se/products/database/>
13. *mksqlite documentation* [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 m. birželio 28 d.]. Prieiga per internetą: http://mksqlite.berlios.de/mksqlite_eng.html
14. *pdetool* [interaktyvus]. [žiūrėta 2013 m. birželio 28 d.]. Prieiga per internetą:
<http://www.mathworks.se/help/pde/ug/pdetool.html>
15. *How can I interface MATLAB code with C, C++, or FORTRAN?*[interaktyvus]. [žiūrėta 2013 m. birželio 28 d.]. Prieiga per internetą:
<http://www.mathworks.se/support/solutions/en/data/1-GQC9NF/index.html>

7 Anotacija

Autorius: Kęstutis Sprainys

Tema: Srities diskretizavimo baigtiniais elementais galimybių tyrimas

Šiame darbe buvo analizuojama programinė įranga skirta diskretizuoti sritį į baigtinius elementus. Analizuotos MATLAB sistemos ir COMSOL programos diskretizavimo galimybės. Sukurta programa sujungianti COMSOL ir MATLAB, kuri leidžia diskretizuoti sritį į baigtinius elementus

Keywords: Baigtinis elementų metodas, MATLAB, COMSOL, srities diskretizavimas.

Šiaulių universitetas 2014/2015

8 Summary

Author: Kęstutis Sprainys

Subject: Feasibility Study on the Domain Discretization by Finite Elements

In this work was done study of software for domain discretization by finite elements. Created program that connects MATLAB and COMSOL, which allows domain discretization by finite elements

Keywords: Finite elements method, MATLAB, COMSOL, domain discretization.

Šiauliai university 2014/2015

9 Priedai

Diskų turiniai

1. Diskas
 - Aprašymas pdf ir odt formatu
 - instrukcijos kaip įsirašyti
 - testiniai failai
2. Diskas
 - COMSOL 4.3
3. Diskas
 - MATLAB 2014a 1 dalis
4. Diskas
 - MATLAB 2014a 2 dalis

Vartotojo gidas

1. Norint pradėti dirbti su programa reikia paleisti Livelink for MATLAB.

Paleidus Livelink For MATLAB pirma kartą reikia susikurti vartotoją.

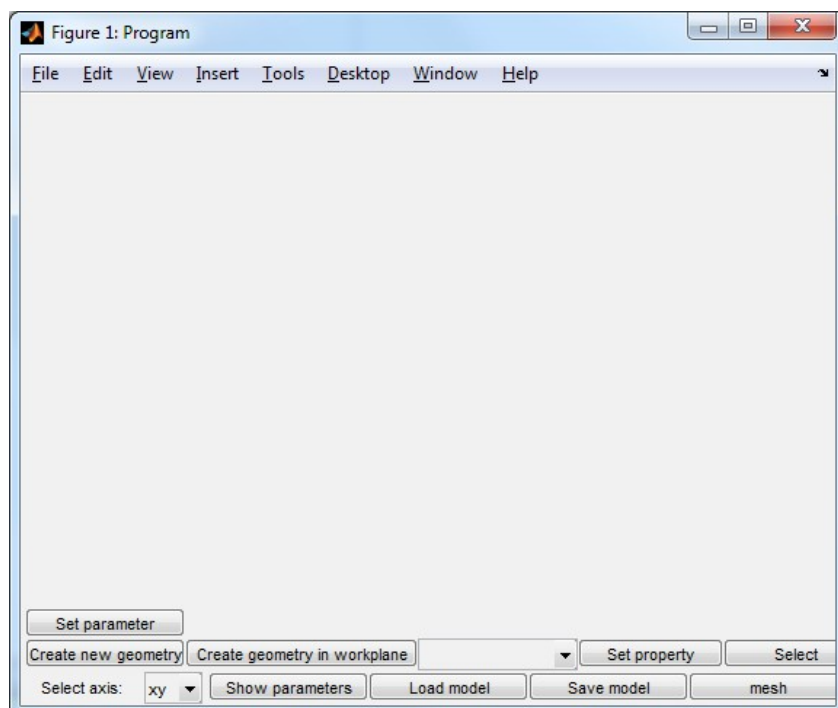
2. Livelink for MATLAB paleidus MATLAB KMS reikia paleisti main.m bylą.

(ji išvalo MATLAB darbo aplinką taip išvengdama konfliktų jeigu prieš tai būtų kintamųjų tais pačiais vardais)

Viršuje yra standartinė Matlab

Diagramos meniu juosta.

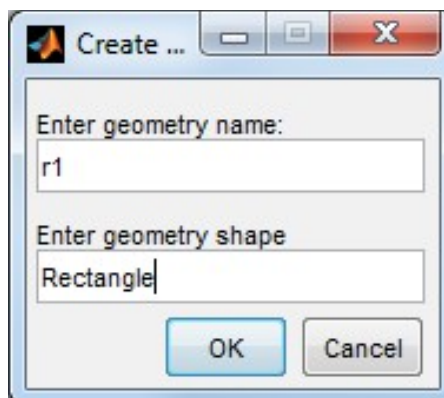
Jeigu norima sukurti dvimatį primityvą reikia spustelėti Create Geometry in workplane, trimačiui primityvui Create new geometry



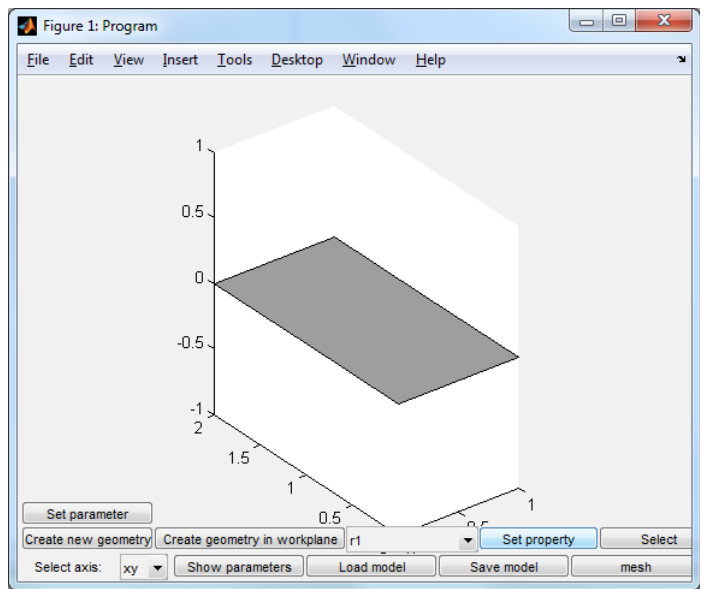
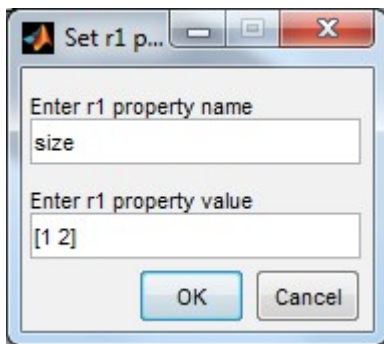
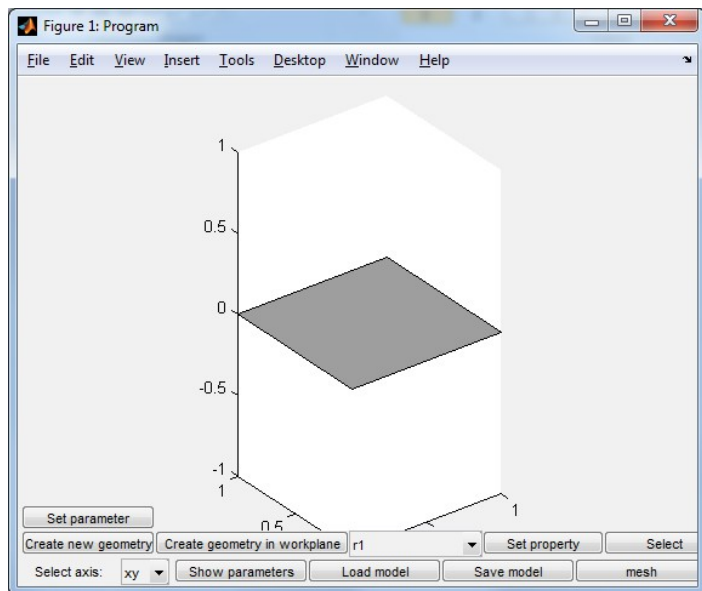
paspaudus mygtuką programa išskviečia dialogo langą:

Viršutiniame langelyje įvedame primityvo vardą apatiniame vedame primityvo tipą.

Vaizdą atnaujinti galima keičiant darbo plokštumą.



Pažymėjus išsiskleidžiančiam meniu primityvo vardą galima pakeisti jo savybes. Kokias savybės turi objektas galima pamatyti spustelėjus Show parameters.



Kaip ir primityvą galima sukurti operaciją.

Sukurus operacija galima jai priskirti modelio sritį kuriai taikome.



Matome kampų suapvalinimo operacija Geometrijai galima priskirti baigtinių elementų tinklą

