ZMMiK Laboratorium 2 - analiza kontaktu

1 Cel laboratorium

Celem ćwiczenia laboratoryjnego jest przeprowadzenie analizy numerycznej sprężystego kontaktu pomiędzy kulą, a płaską powierzchnią. Schemat geometrii i obciążeń przedstawiony jest na Rysunku ??. Rozwiązanie numeryczne tego zagadnienia stanowi punkt odniesienia do weryfikacji zgodności wyników symulacji z analityczną teorią kontaktu Hertza, w szczególności w zakresie rozkładu ciśnienia i rozmiaru obszaru styku. Analizie poddane zostaną dwa modele - osiowosymetryczny oraz trójwymiarowy.

- L = 20 mm, R = 10 mm,
- $E = 2 \cdot 10^5 \,\mathrm{MPa}$, $\nu = 0.3$,
- $P = 1000 \,\mathrm{N}$.





2 Przygotowanie geometrii

1. Zaczynamy od samego modułu Geometry - Rysunek 2: 1. Następnie New SpaceClaim Geometry - 2.



Rysunek 2: Przygotowanie geometrii.

2. W nowym szkicowniku (płaszczyzna XY) zaczynamy od narysowania kwadratu o boku 20 mm, tak aby lewy wierzchołek znajdował się w środku układu współrzędnych - Rysunek 3.



Rysunek 3: Geometria płyty.

- 3. Natępnym krokiem jest narysowanie półokręgu:
 - Przy pomocy funkcji *Sweep Arc* zaczynamy od wskazania środka okręgu w punkcie (0,10) i zaznaczenia promienia okręgu Rysunek 4: **1**.
 - Kreślimy półokrąg zaczynając od górnego punktu Rysunek 4: 2.



Rysunek 4: Geometria kuli.

4. Ostatnim krokiem w szkicowniku jest domknięcie półokręgu funkcją Line - Rysunek 5.



Rysunek 5: Domknięcie szkicu.

Po wyjściu ze szkicu (*Return to 3D mode*) ostatnią czynnością jest podzielenie powierzchni na dwa ciała: PPM na *Surface* → *Detach All* - Rysunek 6: 1. W efekcie powinny powstać dwie oddzielne powierzchnie - Rysunek 6: 2.



Rysunek 6: Podzielenie geometrii.

6. Po ukończeniu szkicu można wyjść z programu *SpaceClaim*. W celu ułatwienia sobie pracy przy modelu trójwymiarowym duplikujemy moduł geometry - Rysunek 7: 1, przy okazji można zmienić nazwy modułów: 2. Następnie należy dodać moduły *Static Structural* i połączyć przygotowaną geometrię z odpowiednim polem: 3.



Rysunek 7: Schemat projektu z przygotowaną geometrią.

3 Model osiowosymetryczny

1. Przed przejściem do *Ansys Mechanical* należy we właściwościach zadania dwuwymiarowego zaznaczyć *Analysis Type* jako 2*D* - Rysunek 8.



Rysunek 8: Zmiana ustawień na analizę 2D.

2. Po otwarciu *Ansys Mechanical* w zakładce *Geometry* powinny widnieć dwie powierzchnie (jest to istotne z punktu widzenia kontaktu) - Rysunek 9: 1. Dodatkowo należy w opcjach zakładki ustawić typ zadania na osiowosymetryczne: 2.

C	B : Static Struct	ural - Mechanical [AN	ISYS Mech	anical En	nterprise]				
1	File Edit View	Units Tools Help		•	🧳 Sol	ve 🔻	- 🔤 New A	nalysis	
Ĵ	戸 Show Vertices	所 Close Vertices	2,2e-002	(Auto Sci	ale) 🤜	÷9	Wireframe	Dx	Show Mesh
J	≹ <mark>1 ()</mark> ← Reset E	xplode Factor: J			As	embl	/ Center	-	📕 Edge
0	Geometry 🕲 Virt	ual Body 🛛 💁 Point	t Mass 🔍	<u>L</u> Distrib	uted Ma	s lí	D Surface Co	ating	* Elerne
0	utline								4
	ilter: Name	•		-					
ł		- Al		-					
D	tails of "Geometer	Geom/Surface Geom/Surface relation relate Systems nections tic Structural (BS) Analysis Settings [Solution Informa	1 tion	•					÷
-	Definition					_			^
	Source								
	Туре	SpaceClaim							2
	Length Unit	Meters							Ζ.
Ι.	Element Control	Program Controlled							
	2D Behavior	Axisymmetric							-
1.	Display Style Body Color								

Rysunek 9: Ustawienia typu zadania na osiowosymetryczne.

- 3. Zadanie kontaktu między krawędziami Rysunek 10:
 - 1 Program powinien sam wykryć i dodać w zakładce *Connections* grupę kontaktową. Jeżeli tak się nie stało: PPM na *Connections* → *Create Automatic Connections*.
 - 2 Jako Contact wskazać krawędź kuli, jako Target wskazać krawędź płyty.
 - **3** Ustawiamy kontakt bez tarcia *Frictionless*.
 - 4 Metoda kontaktu: *Normal Lagrange*.



Rysunek 10: Ustawienia typu zadania na osiowosymetryczne.

- 4. Przygotowanie siatki elementów skończonych (PPM na $\mathit{Mesh}
 ightarrow \mathit{Insert}
 ightarrow \ldots$):
 - Rysunek 11 Metoda siatki *Method*: 1. Ustawienia metody: 2.

Outline		4	
Filter: Name -			MultiZone Quad/Tri Method
🛛 🔊 🗛 🕀 🖨 😫	AL		00.03.2023 21:41
Project	*		MultiZone Quad/Tri Method
Model (B4)			
. Geometry			
🗈 📈 🚵 Materials			
E Construction	n Geometry		
Coordinate :	Systems		
L. Age Connections	s		
An Multiz	one Quad/Tri Method		
P. Edge s	sizing		
Edge S	Sizing 3		
Edge S	Sizing 4		
- Static Stru	uctural (B5)		
Display	cement		
G Fixed :	Support	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
Details of "MaultiZene Oue	UTC MARKE IF MARKED		
Scope	a) in method - method		
Scope Scope	Coometry Selection		
Geometry	2 Rodies		
- Definition	2 boules		
Suppressed	No		
Method	MultiZone Quad/Tri		
Surface Mesh Method	Program Controlled		
Element Order	Quadratic		
Free Face Mesh Type	All Quad		
Advanced			
Preserve Boundaries	Protected		
Mesh Based Defeaturing	g On		
Defeature Size	Default(1,043e-002 mm)		
Sheet Loop Removal	No		
Minimum Edge Length	20, mm		
Write ICEM CFD Files	NO		
			Geometry / Print Preview / Report Preview /
			Messages
			Text
			Warning The initializisation of the size functions for the pave mesh method failed. Size controls
1			

Rysunek 11: Metoda siatki.

• Rysunek 12 - Nadanie podziału na średnicy półokręgu *Sizing*. <mark>Uwaga:</mark> chcemy, aby zagęszczenie linii odbywało się w stronę punktu kontaktu, jeżeli program pokazuje zagęszczenie w drugim kierunku należy to zmienić zaznaczając odpowiednią linię w *Reverse Bias*.

🔞 B : Static Structural -	Mechanical [ANSYS Mechanical	Enterprise]					
File Edit View Unit	s Tools Help 🛛 🖸 🥑 🕶	🕴 🦻 Solve 🔻 🔤 New Ar	nalysis 🔻 ?/ Show Errors 🏙	🖄 🛆 🖉 🕶 🗒	🕅 Worksheet in 🗞 🗍 🖤	17 💱 🔓 🖪 🕅	t 🖪 🕲 🕲 🕲 🤣
「「Show Vertices 馬	Close Vertices 4,5e-002 (Auto	Scale) - 🖓 Wireframe	Show Mesh 🎄 🕌 Random	n 🐼 Preferences	L L L L L 🍟	↔ Size ▼ ,	🗖 Convert 👻 🛟 Miscellar
≱† []← Reset Explor	le Factor:	Assembly Center	▼ Edge Coloring ▼ 🔏 ▼	1+ b+ b+	/₂ × ≯ → Thicken		
Mesh 😴 Update 🛛 🖉	🕅 Mesh 👻 🔍 Mesh Control 👻	Mesh Edit ▼uluMetric	Graph III) Probe INO III	•			
Outline		·					
Filter, Mana	-				Edge Sizing		
riter: Name	•				08.05.2025 21:41		
) 🖉 🖉 🕬 🗄 🧕	21				Edge Sizing		
Project				^	a cuge stang		
i ⊕ floace(04)							
🗄 🖓 🧕 Materials							
Construct	ion Geometry						
E Coordinat	e Systems						
B- AB Mesh							
- A Mult	iZone Quad/Tri Method						
, 🦉 Edg	e Sizing						
Edg	e Sizing 3 e Sizing 4						
E de Static St	tructural (B5)						
Ana	lysis Settings						
, Câ, Disp	lacement						
, Age Hixe	d Support			~			
Details of "Edge Sizing" -	- Sizing			4			
Scope	Constant Coloritory						
Scoping Method	Geometry Selection						
- Definition	1 Luge						
Suppressed	No						
Туре	Number of Divisions						
Number of Division	ns 60						
Advanced							
Behavior	Hard						
Capture Curvature	No						
Capture Proximity	No						
Bias Type	Dies Franker						
Bias Option	bias ractor						
Reverse Bias	o, 1 Edge						
	, coge						
		_					
					Contraction (Distribution) De		
				Ľ		port Preview/	
				1	Messages		
				-	Text		
1					Warning The initializisation of th	ne size functions for the pave m	nesh method failed. Size contr

Rysunek 12: Zadanie podziału na średnicy półokręgu.

• Rysunek 13 - Nadanie podziału na płytę.

😰 B : Static Structural - M	lechanical [ANSYS Mechanical Enterp	rise]					
File Edit View Units	Tools Help 🛛 🗔 🥥 ன 🍦	Solve 🔻 🚾 New A	nalysis 🔻 ? / Show Errors	🏥 👪 🖄 🔺	💓 🔻 [9Worksheet in 🤆	📎 😤 🕂 🦎 🖏 ד 🖻 💽 💽 🕲 🕲 🕷
」 戸 Show Vertices 姪 C	lose Vertices 4,5e-002 (Auto Scale)	→ ¹ Wireframe	🖞 📩 Show Mesh 🛛	Random 🔣 Prefe	erences		$[] \rightarrow Size \bullet $ Size $\bullet $ $(] Convert \bullet $
<u>≷</u> † (← Reset Explode	Factor:	Assembly Center	👻 📕 Edge Coloring	· /1 /1 /2	- /3-	1 💉 🖻 🖻	Thicken
Mesh ジ Update 🛛 🚳 🛙	Mesh 🔻 🍭 Mesh Control 👻 🌚 Me	sh Edit 👻 🔐 Metric	Graph 123 Probe 188) EN) 💼 🗸			
Outline		,			4		
Filter: Name 🗸						Edge Sizing 3 08.05.2025 21:41	
] 🛃 🖉 🐎 🕀 🗟 🎍	<u>)</u>					Educ Ciria a D	
Project Model (84) Project Model (84) Project Project	n Geometry Systems in Biologia				~	tage sizing s	
Details of "Edge Sizing 3" -	Sizing				д		
Scope							
Scoping Method	Geometry Selection						
Geometry	2 Edges						
E Definition							
Suppressed	No						
Туре	Number of Divisions						
Number of Divisions	50						
E Advanced							
Behavior	Hard						
Capture Curvature	No						
Capture Proximity	No						
Bias Type							
Bias Option	Bias Factor						
Bias Factor	5,						
Reverse Bias	1 Edge						
						Gaamatay (Drint Dr	rouinus \ Donart Drouinus /

Rysunek 13: Zadanie podziału na krawędziach płyty.

• Rysunek 14 - Nadanie podziału na obwodzie półokręgu.



Rysunek 14: Zadanie podziału na obwodzie półokręgu.

• Wynikowa siatka powinna prezentować się następująco:





- 5. Nadanie warunków brzegowych Rysunek 16 (PPM na Static Structural \rightarrow Insert \rightarrow ...):
 - A Displacement na dwóch krawędziach znajdujących się na osi symetrii: X:0, Y:Free.
 - **B** *Fixed Support* na dolnej krawędzi.
 - C Remote Force na obwodzie półokręgu Rysunek 17.

🙆 B : Static Structural - Mechan	nical [ANSYS Mechanical Enterprise]		
File Edit View Units Tool	s Help 🛛 🖸 📲 🦸 Solve 👻 🔤 New Analysis 🕶 🦓 Show Errors 🏥 👪 🔯 🛆 🎯	• 🌒 Worksheet 🏷 🐘 🗞 👫 🥵	k- 🕅 🕅 🖬 📾 📾 📾 🗗 🗗 🐨 🤤 🤆
🖉 Show Vertices 🛛 🞢 Close V	/ertices 4,5e-002 (Auto Scale) - 🎇 Wireframe 🔤 Show Mesh 🎄 📕 Random 🔗 Preference	es L, L, L, L, L, 🖓 ↔ Size	▼
≱†]← Reset Explode Facto	n J Assembly Center V Edge Coloring V Av Av Av	k - k - ★ → Thicken	
Environment @ Inertial - @	Loads + 9 Supports + 9 Conditions + 1 Direct FE + 1		
Outline		P	
Filter Name		B: Static Structural	
		Static Structural	
		08.05.2025.21:44	
Project		00.05.202521.44	
E- Model (b4)		A Displacement	
Materials		B Eixed Sunnort	
E Construction Geor	netry	Remote Former 1000 N	
Coordinate System	ns	Kennoce Force: Tubb, IV	
E Connections		0	
🗈 🗸 🖓 Mesh			
E	al (B5)		
Analysis Set	tings		
Displacemen	t		
Pixed Support	rt		
Remote Ford	10 16		
E Solution (a	(0)		
Details of "Static Structural (B5)"	•	4	
Definition			
Physics Type	Structural		
Analysis Type	Static Structural		
Solver Target	Mechanical APDL		
Options			
Environment Temperature	22, °C		
Generate Input Only	No		
			B
1			

Rysunek 16: Warunki brzegowe.

D	etails of "Remote Fo	rce"	д
-	Scope		
	Scoping Method	Geometry Selection	
	Geometry	1 Edge	
	Coordinate System	Global Coordinate System	
	X Coordinate	0, mm	
	Y Coordinate	10, mm	
	Location	Click to Change	
Ξ	Definition		
	ID (Beta)	103	
	Туре	Remote Force	
	Define By	Components	
	X Component	0, N (ramped)	
	Y Component	-1000, N (ramped)	
	Suppressed	No	
	Behavior	Deformable	
Ŧ	Advanced		

Rysunek 17: Ustawienia Remote Force.

6. Ustawienia analizy nieliniowej - Rysunek 18:

D	etails of "Analysis Settir	ngs"		Р			
	Step Controls						
	Number Of Steps	1,					
	Current Step Number	1,					
Ι.	Step End Time	1, s					
	Auto Time Stepping	On					
	Define By	Substeps					
	Initial Substeps	20,					
	Minimum Substeps	10,					
	Maximum Substeps	100,					
E	Solver Controls	-					
	Solver Type	Program Contro	lled				
	Weak Springs	Off					
	Solver Pivot Checking	Program Contro	lled				
	Large Deflection	Off					
	Inertia Relief	Off					
Ŧ	Rotordynamics Contro	ols					
Ŧ	Restart Controls						
Ð	Nonlinear Controls						
Ð	Output Controls						
Ð	Analysis Data Manage	ement					
Ð	Visibility						
M	Manage Views 🛛 🕂 🗙						



- 7. Prezentacja wyników:
 - Naprężenia zredukowane w strefie kontaktu:



Rysunek 19: Naprężenia zredukowane w strefie kontaktu.

• Naprężenia na kierunku *X* w strefie kontaktu:





Rysunek 20: Naprężenia na kierunku X w strefie kontaktu.

8. Dodanie narzędzia do wyświetlania wyników w elementach kontaktowych - PPM na Solution → Insert → Contact Tool → Contact Tool - Rysunek 22: 1. Należy dodać (PPM na Contact Tool → Insert → ...) dwa typy rozwiązań: Status oraz Pressure 2.





Rysunek 21: Dodanie narzędzia kontaktu.

• Status kontaktu:



Rysunek 22: Status kontaktu.

• Nacisk w strefie kontaktu:

File Edit Vere Units Tools Hudge P Show Vertices # Convertices # Conver	B : Static Structural - N	Mechanical [ANSYS Mechanical Enterprise]								
If "bow Vertices # (2-box Vertices * 4.5-002 (bid 0 Said) - * Werdmane ************************************	File Edit View Units	Tools Help 🛛 🖂 💀 🕴 🥬 Solve 💌 🔤 New Analysis 💌	?√ Show Errors	🏥 😥 🔯 A 🥥	👻 🎒 Worksheet 🛛 🗼	8 Pr 1	জি 🔥 🖬 জি জি	n 🖿 🖬 🖬	🗑 🖗 🖌 🖸 🔆 🍭 🔍	🍭 🔍 🔍 🔍 🎇
It fur Carlet Default Return Lot Truts Caling Return Lot Truts Caling If the function If the function If the function If the function If the function If the function If the function If the function If the function If the function Default Strest S	F Show Vertices	Close Vertices 4,5e-002 (Auto Scale) - Wireframe	/Mesh 🎄	Random 🕜 Preference	es L. L. L. L.	. L 🍟 🛛	→ Size ▼ , , Location ▼	Convert - <	Miscellaneous 🔻 🛞 Tolerances	Clipboard - [Emp
Retuel 10 frue Statel		Factor: Assembly Center	Edge Colorin	· k+ k+ k+	1 - 1 - 1 1	+ Thicken	_	_		
Teach includes and	Perult 1.0 (True Scale)	- 📾 - 🗖 - 🕲 - 🖓 🖃 💷 💷 Distriction Distriction	nlav consid	9 90 91 92 s	// //					
Detail Bit is Static Structural Bit is Static Str	Nesure 1.0 (The Scale)		scoped	bodies •						
Filter Persue Persue Persue <td< td=""><td>Outline</td><td></td><td>B: Static</td><td>Structural</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></td<>	Outline		B: Static	Structural						
Type: Pressure	Filter: Name	•	Pressure							
Beth Unit MPs Beth Skitch Structural (ts) Beth Fersure Bype Persure	🛛 🛃 🖉 🏷 🗄 <u>ठ</u>	<u>\$</u>	Type: Pr	essure						
Betallor Concettors Box Discrete Box Discrete Box Discrete Concettors Box Discrete <td>🗄 🛵 Coordinate</td> <td>Systems</td> <td>Unit: MF</td> <td>)a</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>	🗄 🛵 Coordinate	Systems	Unit: MF)a						
Details of "Pressure" Pressure Implementation Pressure Impleme	⊕,√ Connection	16	09.05.20	25.22.06						
Details of Pressue 0	⊞,488 Mesh		CONSTRUCT							
Details of "Pressure" 2072 Subto (160) 1953,4 Display of them 1953,4 Display of them 1953,4 Display of them 1935,4 Display of them 1935,4 Display of them 1935,4 Display of them 1935,4 Display of them 1935,5	Analy Analy	rsis Settinos	29	33,1 Max						
Details of Pressure 0 Optimizing 0	Displa	acement	260	7,2						
Image: Solution (Second Control 1955.4 Solution (Second Control 1955.4 Solution (Second Control 1953.5 Solution (Second Control 1953.5 Solution (Second Control 1933.5	, 🔍 Fixed	Support	- 228	1,3						
Image: Contract Tot Signer P	🖓 Remo	te Force	195	5,4						
Deals of Pressure 0 Orbitration Pressure Type 0 Obtained newsged 0 Brand of Ressure 0 Infinition 0 <tr< td=""><td></td><td>tion (B6) Solution Information</td><td>162</td><td>9,5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr<>		tion (B6) Solution Information	162	9,5						
Ordination Private Defails of Pressure 0 Opportunities 0 Immuno (hind) Annum Opportunities 0 Informuno (hind) Annum Supported No Informuno (hind) Annum Statisting Statisting Informuno (hind) Annum Supported No Supported Supported		Equivalent Stress	130	13,6						
Beaks of Pressure 0 Detaile of Pressure 0 Pressure 0 Opfingto Pressure 0 Status 0 Status 0 Suppressor 0<		Normal Stress	977	.01						
Details of "Pressure 0 Obtails of "Pressure 0 Opportune 0	ė , 😥	Contact Tool	325	,01						
Details of Prissue 0 Details of Prissue 0 Prime Prime Prim Prime		Status .	0.0	lin						
Details of "Pressure" Q © Infinition Image: Second Secon		An Penetration								
Definition Pressure Type Persure Type Persure Opply Time Last Calculate Time Hitsitony Vers Calculate Time Hitsitony Vers Gentifier Sopperssed Opplay Jointon Point Resurts Calculate Time Hitsitony Vers Opplay Time Averaged Endition Point Resurts Calculate Time Hitsitony Vers Monormon 253,31 Moh Monormon SCOUT On StonStatted: Monormon SCOUT On StonStatted:	Dataily of "December"	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •								
Imple Persure Imple Imme Imme Imme	Details of Pressure		~							
By Time Opsday Time Lat Opsday Time Lat Catulate Time Hintony Ka Gatafiate Time Hintony Ka Suppressid No Opsday Time Results Compressid Opsday Time Results Compressid Opsday Time Results Compressid Mammum 2933, MBA Mammum Octor On General/Grafes Compressid	Type	Pressure	-1							
Chudata Time Muonoy Yein Chudata Time Muonoy Yein Genther Supprissad Information Point Results Dipulsy Option Results Monitoring 2003 Moh Statument	By	Time	-1							
Catulate Time Hinkoy Hs Gehrlier Hs Guppersd No Orpsty Option Avraget Orpsty Option Avraget Infinium Q.MPa Mammum Octoro Desta Sal Ma Ammum Octoro Desta Generalizate	Display Time	Last	-1							
Identifier Identifier Suppressed No Interpretation Point Results Interpretation Point Results Dippley Option Point Results Interpretation Point Results Interpretation Point Results Interpretation Point Results	Calculate Time History	Yes								
Suppresd No Cipstpo Film Seraged Dipty Option Avraged Dimmun Cipstpo Film Minimum Cipstpo Film Manimum S203,1 Mb Ammun Grante#	Identifier									
Integration Foint Results Averaged Dipplay Option Averaged Internation Networks Averaged Minimum 0,MPA Minimum Occurs On Sensitivitie Minimum Occurs On Sensitivitie Minimum Occurs On Sensitivitie	Suppressed	No								
Otpsty Option Avraged © Reuts Minimum 0, MPa Maximum 2933, MPa	Integration Point Result	lts								
© Results Infinitum 0, M/B Minitum 2033, M/B Average 54033 M/B Minitum 020207 Dn GeomState/e Minitum 020207 Cn GeomState/e Minitum 020207 Cn GeomState/e	Display Option	Averaged								
Minimum 0, MPa Maximum 253,1 MPa Jercega 543,3 MPa Jercega 543,3 MPa Jercega 543,3 MPa	Results		_							
Maximum 2253, Mma Average 540,33 Mma Minimum Occurs On General Science Minimum Occurs On General Science	Minimum	0, MPa	-							
I Average 340,33 MMa Minimum Occurs On GeomStarkee	Maximum	2933,1 MPa	-							
Minimum uccus un jeemuurate	Average	540,53 MPa	-							
	Minimum Occurs On	Geom/Surface			,					

Rysunek 23: Nacisk w strefie kontaktu.

- 9. Przygotowanie ścieżek do przedstawienia wyników:
 - Dodanie geometrii konstrukcyjnej Rysunek 24.

B : Static Structural - Mechanical [ANSYS Mechanical Enterprise]
] File Edit View Units Tools Help ⊡ 🤡 📑 孝 Solve 🔻 🔤 New Analysis ▼ ?√ Show
」 ௺ Show Vertices 勇 Close Vertices 4,5e-002 (Auto Scale) → 않 Wireframe Bhow Mesh
j ≹i 0 ← Reset Explode Factor: J Assembly Center 🔹 🗍 🏭 Edge C
Model 🔍 Construction Geometry 🛛 🛱 Virtual Topology 🛛 🏝 Symmetry 🖉 Remote Point 🖾
Outline 7
Filter: Name
(a) 2n t>→ ⊞ (a) \$
Project ^
⊡ 🚱 Model (84)
Hamilton Generation
E Construction Geometry
Hand A Street CAFRep Files (Beta)
E Summetry
Symmetry
Show Graph Connectivity (Beta)
🖉 🖉 Clear Generated Data 🚳 Fracture
in the second for the
S Disable Filter
Refresh Materials 🚳 Mesh Edit
Details of "Model 🖉 Update Geometry from Source 🚳 Mesh Numbering
Filter Options
Control Enabled
E Lighting
Ambient 0,1
Diffuse 0,6
Specular 1

Rysunek 24: Dodanie geometrii konstrukcyjnej.

- Rysunek 25: 1 Dodanie ścieżki.
- Rysunek 25: 2 Zdefiniowanie ścieżki poprzez krawędź.
- Rysunek 25: **3** chcemy, żeby ścieżki miały początek w punkcie (0,0) (czyli w miejscu styku półokręgu z kwadratem), jeżeli z programu wynika, że ten kierunek jest odwrócony to należy użyć *Flip Path Orientation*.

🙆 B : Static Structu	ıral - Mechanical [A	NSYS Mechani	cal Enterprise	2]				
File Edit View	Units Tools Hel	o 🛛 🖂 🥥	••• 🗧 💋 Sc	olve 🔻 🚾 New Ar	nalysis 🔻	?/		
戶 Show Vertices	匠 Close Vertices	4,5e-002 (Au	to Scale)	→ → Wireframe	□ <mark>a</mark> Sh	ow M		
≹ <u>†</u> ()← Reset E	xplode Factor: 🛛 🖯		A	ssembly Center	•	📕 Ec		
Construction Geor	netry 🦯 Path 📘	Surface 🛞	Solid 🛛 👔 ST	L				
Outline						4		
Filter: Name								
<u>-</u> 🗟 🔊 🐎 म				-				
Project □ Wodel (B4) □ W Geometry □ W Geometry								
🕂 🖳 🖄 Mate	erials Insert		×.	C Path				
E Coor	dinate Sy			↓ Surface				
⊡, 🥸 Mesh	n <mark>∦ Cut</mark>							
i⊡_√iii Stat	tic Struc Analysis টি⊉ Copy	To Clipboard (B	leta)	STL SIL				
	Displace Fixed Su Remote alb Renar Solution (Do)	e me (F2) nation						
	🖓 Equivalent Str	ess				~		
Details of "Construc	tion Geometry"					д		
🗔 Disnlav		2	•					
Details of "Path"						- ф		
Definition								
Path Type	Edge							
Suppressed	No					_		
Scoping Method	Geometry Selection	•				$- \parallel$		
Geometry	At	ylad		Cancel				
						-		



Rysunek 25: Sposób przygotowania ścieżek.

• W tym zadaniu należy przygotować dwie ścieżki - jedną na kierunku x i jedną na kierunku y zaczynające się w punkcie kontaktu, tak jak na Rysunek 26.



Rysunek 26: Przygotowanie dwóch ścieżek.

10. Aby zaprezentować wyniki na ścieżce należy po dodaniu rozwiązania (*Solution* \rightarrow *Insert* \rightarrow ...). Następnie w *Scoping Method* wybrać *Path* i zaznaczyć ścieżkę po nazwie - Rysunek 27.

		tion (B6) Solution Information Equivalent Stress Normal Stress Contact Tool Tool Status Too Pressure Too Penetration Normal Stress 2		*
De	tails of "Normal Stress	2"		ą
Ξ	Scope			^
	Scoping Method	Path	▼	
	Path	х		
	Geometry	All Bodies		
Ξ	Definition			
	Туре	Normal Stress		
	Orientation	Y Axis		
	Ву	Time		
	Display Time	Last		
	Coordinate System	Global Coordinate S	/stem	
	Calculate Time History	Yes		
	Suppressed	No		
Ξ	Integration Point Resul	lts		
	Display Option	Averaged		
	Average Across Bodies	No		
	Results			

Rysunek 27: Opcje wyświetlania na ścieżkach.



Rysunek 28: Naprężenie na kierunku X na ścieżce x.

- 11. Przygotowanie wykresu kilku składowych na kierunku Y (Chart) Rysunek 29 :
 - W pierwszym kroku należy przygotować rozwiązania naprężeń zredukowanych **SEQV**, naprężeń na kierunku *X* **SX**, naprężeń na kierunku *Y* **SY** oraz naprężeń stycznych **SXY**. Robimy to tak samo jak w poprzednim zadaniu z tą różnicą, że tym razem wyniki prezentowane są na ścieżce y. Uwaga: nazwy rozwiązań można zmieniać przy pomocy klawisza F2.
 - Po dodaniu Chart w Outline Selection zaznaczamy wspomniane rozwiązania.

	E-/L Chart	SEQV SX SY SY SY Contact Tool	~					
De	tails of "Chart"		Р					
-	Definition							
	Outline Selection	Apply	Cancel					
-	Chart Controls							
	X Axis	Length						
	Plot Style	Both						
	Scale	Linear						
	Gridlines	Both						
-	Axis Labels							
	X-Axis							
	Y-Axis							
-	Report							
	Content	Chart And Tabular Data						
	Caption							
-	Input Quantities							
	Length	X Axis						
-	Output Quantities							
	[A] SEQV	Display						
	[B] SX	Display						
	[C] SY	Display						
	[D] SXY	Display						

Rysunek 29: Przygotowanie wykresu.

 Fragment wykresu można przybliżyć. Należy najpierw zaznaczyć interesujący zakres i następnie PPM → *Zoom To Range* - Rysunek 30:



Rysunek 30: Wykres na ścieżce y.



• Wykres po przybliżeniu:

Rysunek 31: Wykres na ścieżce y - widok w pobliżu strefy kontaktu.

4 Model trójwymiarowy

- 1. Wracamy do geometrii przygotowanej na początku instrukcji Moduł C \rightarrow Edit Geometry in SpaceC-laim.
- Home ∱ Spin ∰ Plan View ∲ Pan ↑ ﷺ Q Zoom 、□○うこう×○
 >□○うこう×○
 >□○うこう×○ Combine Split Body Split Body Split Project 1 1 1 1 1 Cylinder . • Σ Pull S P Ľ, Sele Fill uation 🔘 Sphere 1. is to rotate about ☑ 🍐 R 4. 2. Structure Layers Se Options - Pull 1 General Add **M** V 🗊 🗶 5. 2 Revolve Options Options - Pull Camera Options Арр 6. ARGB: 255, 143, By Layer, By Style Style Face Type Plane False Chamfer 90 22
- Obrócenie geometrii Rysunek 32



- **1** Wybranie opcji *Pull*.
- 2 Zaznaczenie obu powierzchni.
- 3 Uwaga: Opcja *No merge* musi być zaznaczona.
- 4 Wybranie opcji obrotu wokół osi.
- **5** Zaznaczenie osi *Y* jako osi obrotu.
- 6 Aby obrócić model o zadaną wartość wpisujemy 90 i zatwierdzamy klawiszem Enter.

• Model po obrocie:



Rysunek 33: Geometria modelu 3D.

2. Zadanie parametrów kontaktu - Rysunek 34: **1** . Zasada jest taka sama jak w zadaniu 2D. Jedyna różnica to model kontaktu - ustawiamy *Augmented Lagrange*: **2**.



Rysunek 34: Parametry kontaktu - zadanie 3D.

- 3. Zadanie symetrii Rysunek 35
 - 1 Dodanie zakładki związanej z symetrią *Insert* \rightarrow *Symmetry*.
 - 2 Wprowadzenie typu symetrii jako obszaru *Insert* → *Symmetry Region*. Będą potrzebne dwa takie obszary.
 - **3** Pierwszy obszar związany jest z osią *Z*. Najpierw należy zaznaczyć dwie powierzchnie, a następnie odpowiednią oś normalną do tych powierzchni.
 - 4 Ta sama czynność jak w poprzednim punkcie, ale dla powierzchni z normalną na Y.



Rysunek 35: Wprowadzenie symetrii.

- 4. Przygotowanie siatki nadanie parametrów globalnych Rysunek 36:
 - 1 Globalne ustawienia siatki elementy drugiego rzędu.
 - 2 Metoda: *Hex Dominant*.
 - **3** *Sizing*: 1 mm dla obu ciał.

Comment Method Comment	
Details of "Meth" Display Display (Display Syste Use Geometry Setting Display Syste Use Geometry Setting Paylos Performer Mechanical Financial Codes (Stranget Codes) (Stra	<u> </u>
O : Static Structural - Mechanical [ANSYS Mechanical Enterprise] File Edit View Units Tools Help] □ ② ↔ ∮ Solve ▼ @ New Ana F Show Vertices 死 Close Vertices 4,9e-002 (Auto Scale) ▼ @ Wireframe	hysis ▼ ?/ Show Errors 🏥 📷 🔯 🛆 🐼 ♥ 🕼 Worksheet i⊾ 🗞 🗍 🍟 🌴
	▼ ■ Edge Coloring ▼ パマ パマ パマ パマ ★ • + Thicken
J Mesh 3 Update @g Mesh ▼ @k Mesh Control ▼ @g Mesh Edit ▼ Meth Co Outline	iraph (22) Probe (199) (199) (199)
Filter: Name	Hex Dominant Method 09.05.2025 16:05
2 2 t> ⊞ 2 1	Hex Dominant Method
Implet Implet <t< th=""><th></th></t<>	
- Scope	
Scoping Method Geometry Selection Geometry 2 Bodies	
Definition	
Method Hex Dominant	
Element Order Use Global Setting Free Face Mesh Type All Quad	
Control Messages No	
	Geometry (Print Dreview) Report Dreview
O D: Static Structural - Mechanical LANY'S Mechanical Enterprise] File Edit View Units Tools Help □ 0 + 1 5 Sole • 6 New Al Jr Show Versices _ gri Close Verlies: 4.9+0.02 Julus Salet • QRWireframe ĝi [De Resice Explode Faston - Assembly center Moch j Update @Mech • @ Mesh Control • @Mech Edit • Juli Merin	nalysis = ?/Show Errors ()
Filter: Name	Body Sizing
🖉 🕢 🗠 🗉 🛊	
🔋 Project 🗄 🎯 Model (D4)	Body sizing
ie) Geometry ie) Materials	
Coordinate Systems Symmetry	
We Connections	
Hex Dominant Method Hex Sizing	
Details of "Body Sizing" - Sizing 4	
Scope Scoping Method Geometry Selection	
Geometry 2 Bodies	
Suppressed No	
Type Element Size Element Size 1, mm	
Advanced	and the second
Behavior Hard	and the second
	Geometry / Print Preview / Report Preview /

Rysunek 36: Wprowadzenie globalnych parametrów siatki.

- 5. Przygotowanie siatki lokalne zagęszczenie w strefie kontaktu Rysunek 37:
 - 1 Należy wprowadzić dwa elementy *Sizing*, które zostaną przypisane do wierzchołków jeden związany z kulą oraz jeden związany z płytą.
 - 2 W każdym z nich należy w Geometry zaznaczyć wierzchołki.
 - **3 Uwaga:** oba wierzchołki zajmują to samo miejsce w przestrzeni. Żeby zaznaczyć konkretny wierzchołek należy zaznaczyć na płaszczyźnie w rogu ekranu odpowiedni element. Kolor płaszczyzny odpowiada kolorowi ciała.
 - 4 parametry elementów w strefie zagęszczenia.



Rysunek 37: Wprowadzenie zagęszczenia w strefie kontaktu.

• Siatka elementów skończonych powinna ostatecznie wyglądać następująco:



Rysunek 38: Wynikowa siatka.

- 6. Warunki brzegowe w zadaniu Rysunek 39:
 - A Fixed Support na dolnej powierzchni płyty.
 - B Remote Force na fragmencie sfery. Parametry siły 1, uwaga: tym razem przykładamy 250 N.



Rysunek 39: Warunki brzegowe w zadaniu 3D.

7. Ustawienia analizy nieliniowej - Rysunek 40:

Details of "Analysis Settings" 4				џ
Ξ	Step Controls			~
	Number Of Steps	1,		
	Current Step Number	1,		
	Step End Time 1. s			
	Auto Time Stepping	On		
	Define By	Substeps		
	Initial Substeps	10,		
	Minimum Substeps	5,		
	Maximum Substeps	200,		
 Solver Controls 				
	Solver Type Program Controlled			
	Weak Springs Off			
	Solver Pivot Checking Program Controlled			
Large Deflection Off				
	Inertia Relief	Off		
Ŧ	Rotordynamics Controls			ļ
Ŧ	Restart Controls			
Ŧ	Nonlinear Controls			- I
Ŧ	Output Controls			
+	+ Analysis Data Management			×
М	Manage Views 🛛 🖓			×

Rysunek 40: Ustawienia analizy 3D.

- 8. Prezentacja wyników:
 - Naprężenia zredukowane w strefie kontaktu:



Rysunek 41: Naprężenia zredukowane w strefie kontaktu - zadanie 3D.

• Naprężenia na kierunku *X* w strefie kontaktu:



Rysunek 42: Naprężenia na kierunku X w strefie kontaktu - zadanie 3D.

• Contact Tool - nacisk w strefie kontaktu:





Rysunek 43: Nacisk w strefie kontaktu - zadanie 3D.

9. Wprowadzenie ścieżek w zadaniu - Rysunek 44: 2 - podobnie jak w zadaniu poprzednim kierunki ścieżek należy ustawić tak, aby zaczynały się one w strefie kontaktu.



Rysunek 44: Ścieżki x i y w zadaniu 3D.

• Wykres naprężeń na kierunku Y na ścieżce x:



Rysunek 45: Naprężenie na kierunku X na ścieżce x.



• Wykres SEQV, SX, SY oraz SXY na ścieżce y. 1 - cały wykres oraz 2 - przybliżony fragment.

Rysunek 46: Wykresy na ścieżce y.

5 Zadania do wykonania

5.1 Obliczenia analityczne

W przypadku mechaniki kontaktu pomiędzy dwoma ciałami (1 i 2) głównymi wielkościami teoretycznymi, do których możemy odnieść wartości numeryczne to maksymalne ciśnienie styku p_0 promień kontaktu a oraz całkowite wgniecenie δ .

W pierwszym kroku należy policzyć moduł zastępczy E^* :

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \tag{1}$$

oraz promień zastępczy R^* :

$$a = \sqrt[3]{\frac{3PR}{4E^*}}.$$
 (2)

Z tego mamy rozkład ciśnienia styku p(r):

$$p(r) = p_0 \sqrt{1 - \left(\frac{r}{a}\right)^2}$$
 dla $0 \le r \le a$, (3)

który osiąga maksimum p_0 równe:

$$p_0 = \frac{3P}{2\pi a^2}.$$
 (4)

Całkowite wgniecenie:

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{9P^2}{16R(E^*)^2}}.$$
 (5)

W naszym przypadku promień płyty $R_2 = \infty \Rightarrow R^* = R_1 = R.$



Rysunek 47: Teoretyczny schemat zadania.

5.2 Zadania

- 1. Przperowadzić analizę kontaktu odkształcalnej płyty z nieodkształcalną kulą: $E_1 = \infty$, $E_2 = E$, $\nu_2 = \nu$. W tym celu w ustawieniach *Remote Force* w zakładce *Behavior* zmienić z *Deformable* na *Rigid*. Rysunki 17 i 39.
- 2. Sprawdzić wpływ gęstości siatki na dokładność wyników.
- 3. Sprawdzić wpływ metody kontaktu na dokładność wyników. Rysunki 10 i 34.