ДИЗАЈН ПОДСИСТЕМА ГРАЂЕВИНСКИХ И РУДАРСКИХ МАШИНА

ПРИРУЧНИК ЗА ПРЕДАВАЊА

ПРОРАЧУН ПРОСТЕ ГРЕДЕ

(Упоређење резултата МКЕ анализе са аналитичким прорачуном)

Према слици 1.1 и задатим подацима, потребно је извршити прорачун чврстоће и деформације: а) аналитичком методом и б) Методом коначних елемената - МКЕ.

Улазни параметри просте греде:

Распон греде је **4** m, израђена је од челика **S235JR**, а њен пресек је I профил, ознаке **IPE 120** (по EURONORM 19-57 стандарду). Греда је оптерећена сопственом тежином и теретом масе **500** kg на средини распона. За овај пример усваја се убрзање земљине теже **9,81** m/s².



Слика 1.1 - а) скица модела просте греде; b) геометријске карактеристике пресека греде

АНАЛИТИЧКИ ПРОРАЧУН ПРОСТЕ ГРЕДЕ

На основу улазних параметара греда је оптерећена сопственом тежином:

$$q = A_{\text{IPE120}} \cdot \rho_{\text{S235JR}} \cdot g = 13,2 \text{ cm}^2 \cdot 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0,001 \frac{\text{kN}}{\text{cm}}$$

и тежином терета:

$$Q_{\rm t} = m_{\rm t} \cdot g = 500 \, {\rm kg} \cdot 9,81 \frac{{\rm m}}{{\rm s}^2} = 4,905 \, {\rm kN}$$

При деловању терета на средини распона вредност трансверзалне силе на средини износи:

$$F_T = \frac{Q_t}{2} = \frac{4,905 \text{ kN}}{2} = 2,4525 \text{ kN}$$

док вредност момента савијања на истом месту износи:

$$M_f = M_f^{Q_t} + M_f^q = \frac{Q_t \cdot L}{4} + \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{4,905 \cdot 400}{4} + \frac{0,001 \cdot 400^2}{8} = 490,5 + 20 = 510,5 \text{ kNcm}$$

Максимална вредност напона од савијања у греди износи:

$$\sigma_{max} = \frac{M_f}{I_x} \cdot y_{max} = \frac{510,5 \text{ kNcm}}{318 \text{ cm}^4} \cdot 6 \text{ cm} = 9,63 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Док је допуштена вредност напона за материјал греде S235JR:

$$\sigma_{dop} = \frac{R_e}{\nu} = \frac{235 \text{ MPa}}{1.5} = 156.7 \text{ MPa} = 15.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

где су: $R_e = 235 \text{ MPa}$ - напон течења за материјал S235JR.

ν = 1,5 - степен сигурности за први случај оптерећења.

Угиб на средини греде износи:

$$f_{max} = f_{1/2}^{Q_t} + f_{1/2}^q = \frac{1}{48} \cdot \frac{Q_t \cdot L^3}{E \cdot I_x} + \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{E \cdot I_x} = 0.98 + 0.05 = 1.03 \text{ cm}$$

Допуштени угиб за овај тип конструкције износи:

$$f_{dop} = \frac{L}{400} = 1 \text{ cm}$$

ПРОРАЧУН ПРОСТЕ ГРЕДЕ МЕТОДОМ КОНАЧНИХ ЕЛЕМЕНАТА

Формирање КЕ модела.



Да би се формирао модел за КЕ анализу прво мора да се креира ЗД модел.

Креирање ЗД модела

Корак 1.1 - Улазак у мод за креирање основних ЗД модела - Part Design

Korak 1.2 - Дефинисање попречног пресека греде - Sketch

Након активирања алатке за цртање основне контуре у овом случају попречног пресека, неопходно је изабрати раван у којој желите да цртате. (Напомена: да би вам било лакше



касније изаберите раван уz). Алатком Profile исцртати једну половину попречног пресека I профила без радијуса. Како би вам пресек био 100% симетричан нацртану половину прекопирати алатком Mirror преко вертикалне осе (Напомена: симетричним цртањем ЗД модела смањујемо могућност да софтвер аутоматским формирањем мреже КЕ направи асиметричан модел). Коришћењем алатке Line затворите контуру профила цртањем горње и доње ивице горњег и доњег појаса. Ради довођења пресека у симетричан положај неопходно је да све ивице појасева буду симетричне преко хоризонталне осе, ово се постиже алатком Constraints/Symmetry.

Korak 1.3 - Задавање дужине греде - Pad

Након изласка из цртања у равни и преласка у ЗД окружење, неопходно је моделу задати дубину, односно у овом случају дефинисати дужину греде. Ово радимо преко алатке **Раd.**



Korak 1.4 - Задавање материјала греде - Apply Material

Додељивање врсте материјала од ког је израђен модел је врло значајно за КЕ анализу јер овај део ЗД модела носи информацију о: модулу еластичности, поасоновом коефицијенту, као и о густини материјала од кога је део израђен. Материјала са апликује на ЗД модел селекцијом назива модела (прва линија стабла) и избором адекватног материјала из палете материјала који нам се отвори након селекције команде **Аррју Material**. (Напомена: у већини примера којима се бавимо на овом курсу бирамо материјал **Steel**)



Након одабира материјала неопходно је да се измене параметри материјала како би вредности биле у складу са почетним условима и аналитичким моделом.

Part1	Properties	? ×
xy plane yz plane zx plane zx plane	Current selection : Steel/Part1/Part1 Rendering Inheritance Feature Properties Analysis Composites Drawing Material Isotropic Material Structural Properties Young Modulus 210000MPa	*
Parameters	Poisson Ratio 0.3 Density 7850kg_m3 Thermal Expansion 0.0000117_Kdeg Yield Strength 250MPa	
Bilde/Show Bilde/Show Bilde/Show Bilde/Show Copen_Sub-Tree Cut Ctrl+X Bilder Cut Cut Ctrl+X Bilder Copy Ctrl+C Baste		
Paste <u>Special</u> <u>Delete</u> Del Steel object Copy Rendering Data Replace Material Link Edjt Rendering Data	• OK • App	More ly Close

Korak 1.5 - Подешавање референтних тачака и координатних система

Како бисмо унели оптерећења и касније пратили резултате КЕ анализе неопходно је да на ЗД моделу поставимо просторне тачке и локалне координатне системе. Прво се помоћу алатке **Point** уносе просторне тачке на модел, што се најбрже изводи уношењем координата тачака. Неопходно је унети З тачке, по једну на сваки крај греде и једну на средину горњег појаса (Напомена: уколико греду нисте цртали симетрично око основног координатног система, параметри координата тачака биће вам другачије.)



Point D	efinitior	1	?	x
Point	type: C	oordinates		- 10
X = 2	2000mn	n		+
Y = 0)mm			÷
Z = 0)mm			÷
Refere	ence -			
Point:		Default (Orig	jin)	
Axis S	ystem:	Default (Abs	olute)	
Com	ipass Lo	ocation		

Након уноса тачака помоћу алатке Axis System у тачке 1 и 2 уносимо локалне координатне системе. Ови локални системи и тачке представљаће ослонце греде.

Припремљен модел за КЕ анализу треба да изгледа овако:





Корак 2.1 - Почетак рада у моду за КЕ анализу - Generative Structural Analysis

На првом кораку при уласку у мод за КЕ анализу неопходно је да дефинишете коју врсту анализе желите да радите. Изаберите као на слици **Static Analysis** и потврдите избор притиском на **OK**. Овим избором прелази се у нови мод и видећете разлику у боји модела и изгледу стабла које ће добити нове групе извршених модификација.



Корак 2.2 - Ослањање модела и дефинисање ослонаца - Restrains

Један од најважнијих корака у постављању КЕ модела јесте дефинисање ослонаца модела. Основна разлика између аналитичког модела и КЕ модела је што се први посматра у равни савијања греде, док је други тродимензионални модел. Једино правилним постављањем ослонаца можемо 100% да будемо сигурни да се наш КЕ модел деформише у равни и само тада да га упоређујемо са аналитичким моделом. Да би било који модел могао да буде анализиран неопходно је да модел буде непокретан, односно да му сва кретања буду спречена. (*Напомена: у тродимензионалним анализама модели могу да се крећу транслацијом и ротацијом око три осе*). Спречавање кретања уношењем више ослонаца у модел може врло лако да искриви слику понашања модела при оптерећивању.

Корак 2.2.1 - Ослањање модела и дефинисање ослонаца - Virtual Part

Важан међу корак у уносу ослонаца на модел је постављање Virtual Part-ова, ови елементи служе да на површинама модела посматрамо понашање у једној тачки и тиме још више КЕ модел приближимо аналитичком. Има пуно врста Virtual Part-ова, при решавању овог модела користићемо **Rigid Virtual Part** и они се уносе на површинама греде на местима ослонаца.



Носач виртуелног елемента мора да буде површина док за центар ("Handler") бирате центар локалног координатног система.

Корак 2.2.2 - Ослањање модела и дефинисање ослонаца - User-defined Restrains

Сада, након уноса Virtual Part-ова, можемо да формирамо ослонце греде и на једној страни поставићемо непокретни зглобни ослонац, док ћемо на супротном крају поставити покретни зглобни ослонац. Зарад лакшег и јаснијег дефинисања ослонца користићемо User-defined Restrains тип ослонаца. Носилац ослонца биће Rigid Virtual Part, а координатни систем ослонца биће припадајући локални систем који смо поставили у кораку 1.5.



НЕПОКРЕТНИ ОСЛОНАЦ

ПОКРЕТНИ ОСЛОНАЦ

Корак 2.3 - Подешавање и детаљно уређивање КЕ мреже модела

Софтвер аутоматски додељује величину коначних елемената. Како би резултати анализе били квалитетнији, неопходно је да смањимо величину коначних елемената и одступање од идеалне геометрије модела. (Напомена: величину КЕ мреже изаберите на основу хардверских карактеристика вашег рачунара)

Analysis Manager	OCTREE Tetrahedron Mesh
🕂 📆 Links Manager.1	Global Local Quality Others
- A Finite Element Model.1	Size: 10mm 🖼
- Nodes and Elements	Absolute sag: 2mm 🗮
OCTREE Tetrahedron Mesh.1 : Greda	Proportional sag: 0.2
- Rigid Virtual Mesh.1	
Rigid Virtual Mesh.2	Element type
+-😴 Properties.1	
🔶 👼 Materials.1	
- Static Case	OK Cancel

Након подешавања глобалних параметара мреже ("Size and Sag" увек у односу Sag = Size/5), неопходно је подесити и одређени локални параметар мреже. У овом случају додаћемо уметнути чвор помоћу функције **Imposed Points**, овим смо трећој формираној тачки у кораку 1.5 задали да ће увек бити део КЕ мреже модела и да је можемо користити за читање резултата или, као у овом случају, као носиоца улазног оптерећења *Q*.



Корак 2.4 - Унос оптерећења у модел



Корак 2.4.1 - Унос оптерећења од сопствене тежине - Acceleration

Оптерећење од сопствене тежине се врло лако уноси у модел, користи се само једна функција убрзање ("Acceleration").

Корак 2.4.2 - Унос оптерећења од терета - Distributet Force

Оптерећење од терета Q_t уноси се помоћу функције Distributet Force. Овде треба само обратити пажњу да се ово оптерећење у овом конкретном случају уноси у трећу формирану тачку, уколико ова тачка није формирана као Imposed Points, модел неће видети задато оптерећење.

Distributed Force	
Name Distributed Force.1	
Supports 1 Point	
Axis System	
Type Global	
Display locally	
Force Vector	
Norm 4905N	
X ON	
Y ON	
z -4905N	
Handler 1 Point	
OK Cancel	

Корак 2.5 - Подешавање сензора модела

Да би смо квалитативно и брзо добили резултате који нам могу рећи колико нам је тачан формирани модел, неопходно је да формирамо одређене сензоре на моделу. Увек треба формирати сензоре који прате вредности силе у ослонцима. Такође, глобални сензор грешке даје нам поприлично добру и корисну информацију колико нам КЕ модел греши при преношењу оптерећења кроз модел. Ове операције се изводе у стаблу модела:



Корак 3.0 - Пуштање прорачуна - Compute

Ово је врло једноставан корак али има детаља на које треба обратити пажњу. Приликом покретања калкулације неопходно је искључити Preview, овај међу корак је добар када нисте сигурни у хардверске способности рачунара јер ће вам рећи колико ће вам меморије и времена требати за прорачун.





Корак 3.1 - Провера тачности модела - Sensors Report

Прва провера тачности модела треба да буде контрола оптерећења у ослонцима уколико овде постоји велика разлика од аналитичког прорачуна, а глобална грешка је ниска испод 10% у том случају нешто на моделу није урађено како треба. Уколико је грешка велика а и одступање веће треба покушати са смањивањем величине КЕ како би се приближили тачнијем решењу.





Корак 3.2 - Провера вредности напона - Von Mises Stress

Активирањем функције **Von Mises Stress** позива се приказ расподеле упоредног напона на моделу. Селекцијом чворова на било ком делу модела можете очитати вредност напона.



🤹 🚺





Активирањем функције **Displacement** позива се приказ деформисане греде. Селекцијом чворова на било ком делу модела можете очитати вредност померања тог чвора.





ПРИМЕРИ ЗА ВЕЖБАЊЕ:

- 1. Анализирати греду оптерећењу асиметричним концентрисаним оптерећењем и/или континуалним оптерећењем које делује на једном или више сегмената греде.
- 2. Анализирати греду направљену од специфичног профила не стандардног попречног пресека, као на пример греда од два U профила окренута леђима на растојању од 50mm.
- 3. Такође је могуће и формирати модел по сопственој жељи, али уз консултације...