

Vetknutý nosník zatížený momentem

Robert Zemčík

Západočeská univerzita v Plzni 2014

1

Vetknutý nosník zatížený momentem (s uvažováním velkých posuvů a rotací)

Úkol: Určit velikost momentu, který zdeformuje zadaný nosník. Deformace musí být tak veliká, aby nosník svým ohybem utvořil kruh. Vytvořit počítačový model takového nosníku pomocí SW Abaqus. Porovnat analytické řešení s výsledky modelování.

Zadané rozměry nosníku a materiálové konstanty:

l = 1 m b = 1 cm h = 1 mm E = 210 GPa v = 0,3

Na základě Eulerovo-Bernoulliho teorie nosníků určíme velikost momentu potřebného k požadované deformaci.

Platí:
$$\frac{1}{R} = \frac{M_0}{EJ_z}$$

Nejprve spočteme poloměr:

$$l = 2\pi r$$

$$r = \frac{l}{2\pi}$$

$$r = \frac{1}{2\pi}$$

$$r = 0,159 \text{ [m]}$$

Nyní určíme kvadratický moment:

$$J_z = \frac{1}{12} bh^3 J_z = 8,3e^{-12} [m^4]$$

Vypočteme potřebný moment:

$$\frac{1}{R} = \frac{M_0}{EJ_z}$$
$$M_0 = \frac{EJ_z}{R}$$
$$M_0 = 11,006 [Nm]$$

Moment bude působit ve dvou uzlech, proto při vytváření numerického modelu budeme zadávat hodnotu $\frac{M}{2} = 5,503$ [Nm].

Počítačový model daného nosníku zatížený vypočteným momentem

Počítačový model byl vytvořen pomocí SW Abaqus podle následujícího postupu:



Spustíme Abaqus a vybereme Create Model Database – With Standard/Explicit Model

Na levé straně obrazovky ve stromové struktuře Model-1 vybereme Parts a dvojklikem otevřeme okno Create Part.

🖶 Abaqı	us/CAE	Student I	dition	6.10-2
😑 <u>F</u> ile	<u>M</u> odel	Vie <u>w</u> port	⊻iew	<u>P</u> art
: 🗋 着				
Model	Results Databas	e 🗸 🗅	; Æ	5. ý
	dels (1) lel-1 Parts Mate Profil Section Profil Section Profil Conta	rials ons es mbly s (1) Output Req ry Output R Points Adaptive Me action Prope act Controls action Prope act Controls act Initializat traints ector Sectio s tudes s efined Fields eshing Rules thes thes thes	uests equests sh Consi erties tions ins	traints



V tomto okně postupně:

- 1. pojmenujeme díl, který vytváříme Nosnik
- 2. vybereme 3D, Deformable
- 3. vybereme Shell, Plannar
- 4. nastavíme Approximate size: 1
- 5. klikneme na "Continue"

Vytvoříme požadovanou geometrii nosníku



Dokončíme kliknutím na "Done"

Dále vybereme materiál a nastavíme jeho vlastnosti

Na levé straně obrazovky ve stromové struktuře Model-1 vybereme Materials a dvojklikem otevřeme okno Edit Material.

🔲 Edit Ma	terial		×
Name: Mate	erial-1		
Description			
Description:			Edit
- Mahawal Da			
	enaviors		
Canaval	Markenial Thermal Other		Delate
General	<u>Mechanical Inermai O</u> ther		
	Elasticity	<u>E</u> lastic	
	Damage for Ductile Metals	Hyperelastic	
	Damage for Traction Separation Laws	Low Depsity Foam	
	Damage for Fiber-Reinforced Composites ►	Evroelastic	
	Damage for Elastomers	Porous Elastic	
	Deformation Plasticity	Viscoelastic	
	Damping	7	
	Expansion		
	Brittle Cracking		
	Eos		
	⊻iscosity		
L			
	ОК		Cancel

Vybereme Mechanical – Elasticity – Elastic

🗖 Edit Material	X
Name: Material-1	
Description:	Edit
Material Behaviors	
Elastic	
General Mechanical Inermal Other	Delete
Elastic	
Type: Isotropic	▼ Suboptions
Use temperature-dependent data	
Number of field variables: 0 🚭	
Moduli time scale (for viscoelasticity): Long-term	
No compression	
No tension	
Data	
Young's Poisson's Modulus Ratio	
1 210e9 0.3	
ОК	Cancel

Zadáme příslušné hodnoty a potvrdíme stiskem "OK"

Na levé straně obrazovky ve stromové struktuře Model-1 vybereme Sections a dvojklikem otevřeme okno Create Section.

Create Section			
Name: Section-1			
Category	Туре		
🔘 Solid	Homogeneous		
💿 Shell	Composite		
🔘 Beam	Beam Membrane		
O Fluid			
Other			
Continue Cancel			

Vybereme - Shell, Homogeneous a potvrdíme kliknutím na "Continue".

Nyní zadáme minimální tloušťku nosníku 0.001(zanedbáváme ji) a potvrdíme stisknutím "OK"

Edit Section	×
Name: Section-1	
Type: Shell / Continuum Shell, Homogeneous	
Section integration: 💿 During analysis 🔘 Before analysis	
Basic Advanced	
Shell thickness: Value: D.001	
C Element distribution:	
○ Nodal distribution:	
Material: Material-1 Create	
Thickness integration rule: 💿 Simpson 🔘 Gauss	
Thickness integration points: 5 📚	
Options: Rebar Layers	
OK Cancel	

Na levé straně obrazovky ve stromové struktuře Model-1 rozbalíme Parts – Nosnik, vybereme Section Assignments, dvakrát klikneme a poté klikneme na nákres nosíku, ten se zbarví červeně.



Následně potvrdíme stiskem "Done". Otevře se okno Edit Section Assignment, potvrdíme kliknutím na "OK"

Edit Section	Assignment 🛛 🔀
Region Region: (Picked)	
Section Section	-1 Creste
Note: List conta applicable Type: Shell, H	ins only sections to the selected regions. Homogeneous
Material: Materi	From section O From geometry
Shell Offset	
Definition: Mic	Idle surface 💽 Create
ОК	Cancel

Na levé straně obrazovky ve stromové struktuře Model-1 vybereme Assembly, kliknutím rozbalíme, vybereme Instances a dvojklikem otevřeme okno Create Instance. Potvrdíme stiskem "OK".

🗖 Create Instance 🛛 🛛 🔀		
Parts		
Nosnik		
Instance Type		
 Dependent (mesh on part) 		
 Independent (mesh on instance) 		
Note: To change a Dependent instance's mesh, you must edit its part's mesh.		
Auto-offset from other instances		
OK Apply Cancel		

Na levé straně obrazovky ve stromové struktuře Model-1 vybereme Steps a dvojklikem otevřeme okno Create Step.

Create Step	×
Name: Step-1	
Insert new step after	
Initial	
Procedure type: General	~
Dynamic, Explicit	^
Dynamic, Temp-disp, Explicit	
Geostatic	
Heat transfer	
Mass dirrusion Soile	
Static, General	
Static, Riks	~
Continue Cancel	

Vybereme Static, General a potvrdíme stiskem "Continue".

Otevře se okno Edit Step. Na záložce Basic zaškrtneme Nlgeom – on (tím zapneme velké defomace, pokud bychom při analýze uvažovali malé deformace, zaškrtneme Nlgeom – off).

🗖 Edit Step 🛛 🔀
Name: Step-1
Type: Static, General
Basic Incrementation Other
Description:
Time period: 1
Nlgeom: Off (This setting controls the inclusion of nonlinear effects of large displacements and affects subsequent steps.)
Automatic stabilization: None
Include adiabatic heating effects
OK Cancel

Na další záložce upravíme inkrementaci následujícím způsobem:

Edit Step					×
Name: Step-1					
Type: Static, Gei	neral				
Basic Increme	ntation Oth	er			
Type: 💿 Autor	matic 🔘 Fixed	ł			
Maximum numbe	r of increments	s: 100000]	
	Initial	Minimum	Maximum		
Increment size:	0.001	1E-005	0.01		
	ОК			Cancel	

Potvrdíme stiskem "OK".

Dalším nezbytným krokem je nastavení okrajových podmínek.

Nejprve nastavíme vetknuti nosníku.

Na levé straně obrazovky ve stromové struktuře Model-1 vybereme BCs a dvojklikem otevřeme okno Create Boundary Condition.

🗖 Create Boundary Condition 🛛 🛛 🔀				
Name:	BC-1			
Step:	Step-1	✓		
Proced	ure: Static,	General		
Cate	gory	Types for Selected Step		
💿 Me	chanical	Symmetry/Antisymmetry/Encastre		
() Flu	uid	Displacement/Rotation		
Oot	her	Velocity/Angular velocity Connector displacement Connector velocity		
Continue Cancel				

Vybereme Mechanical – Displacement/Rotation a potvrdíme stisknutím "Continue".

Vyberem příslušnou hranu nosníku na které uvažujeme vetknutí (v našem případě kratší kolmá hrana na levé straně) a kliknutím tuto hranu označíme. Potvrdíme stiskem "Done". Otevře se okno Edit Boundary Conditions. Označíme všechny posuvy a rotace U1, U2, U3, UR1, UR2, UR3.

🔲 Edit Bo	undary Condition		
Name: BC-	1		
Type: Dis	placement/Rotation		
Step: Ste	p-1 (Static, General)		
Region: (Pic	ked)		
CSYS: (G1	obal) Edit 🙏 Crea	ate	
Distribution:	Uniform 🔽	Create	
🔽 U1:	0		
🔽 U2:	0		
🗹 U3:	0		
🔽 UR1:	0	radians	
🔽 UR2:	0	radians	
🔽 UR3:	D	radians	
Amplitude:	(Ramp) 💌	Create	
Note: The displacement value will be maintained in subsequent steps.			
OK Cancel			

Potvrdíme stiskem "OK". Na nosníku se následně objeví vetknutí.



Musíme nastavit ještě jednu okrajovou podmínku. Je zapotřebí zabránit rotacím ve směru os *x* a *z* po celé délce nosníku. Postupujeme stejně jako v předešlém případě. Na levé straně obrazovky ve stromové struktuře Model-1 vybereme BCs a dvojklikem otevřeme okno Create Boundary Condition.

Opět vybereme Mechanical – Displacement/Rotation a potvrdíme stisknutím "Continue".

Vyberem obě vodorovné dlouhé hrany nosníku a označíme je. Potvrdíme stiskem "Done". Otevře se okno Edit Boundary Conditions. Označíme rotace UR1, UR3.



Potvrdíme stiskem "OK".

V dalším kroku připojíme působící moment.

Na levé straně obrazovky ve stromové struktuře Model-1 vybereme Loads a dvojklikem otevřeme okno Create Load.

🗖 Create Load 🛛 🔀				
Name:	Load-1			
Step:	Step-1	~		
Procedure: Static, General				
Category Types for Selected St		Types for Selected Step		
💿 Mechanical		Concentrated force		
🔿 Thermal		Moment		
 Acoustic Fluid Electrical Mass diffusion Other 		Pressure		
		Shell edge load		
		Surface traction Pipe pressure		
		Body force		
		Line load		
Ŭ		Gravity		
		Bolt load 🛛 🗸 🗸		
	Continue	Cancel		

Vybereme Mechanical – Moment a potvrdíme kliknutím na "Continue".

Na nosníku vybereme příslušné body, kde bude moment působit, klikneme na ně (pokud potřebujeme označit více bodů najednou musíme před kliknutím zmáčknout Shift) a potvrdíme zmáčknutím "Done". Otevře se okno Edit Load.

🔲 Edit Loa	ad 🛛 🔀			
Name: Loa	d-1			
Type: Mor	ment			
Step: Step-1 (Static, General)				
Region: (Picked) Edit Region				
CSYS: (Global) Edit 🔔 Create				
Distribution:	Uniform 🛛 Create			
CM1:	0			
CM2:	5.503			
СМЗ:	0			
Amplitude:	(Ramp) Create			
✓ Follow nodal rotation				
Note: Moment will be applied per node.				
OK Cancel				

Zdáme hodnotu působícího momentu ve směru osy *y*, tedy CM2: 5.503. Potvrdíme stiskem "OK". Na nosníku se objeví působící moment.



Nyní je zapotřebí vytvořit síť pro analýzu problému.

Na levé straně obrazovky ve stromové struktuře Model-1 vybereme Parts, kliknutím rozbalíme, vybereme Mesh (Empty) a dvakrát klikneme. Nosník se zbarví růžově.



Klikneme na ikonku Seed Part (viz obrázek):

Otevře se okno Global Seeds. Nastavíme Approximate global size: 0.1

🗖 Global Seeds	X			
Sizing Controls Approximate global size: 0.1				
Curvature control Maximum deviation factor (0.0 < h/L < 1.0): 0.1 (Approximate number of elements per circle: 8)				
Minimum size factor (as a fraction of global size):				
OK Apply Defaults Cancel				

Potvrdíme stiskem "OK". Na nosníku se naznačí vybrané (resp. zadané) body.

Module: Mesh Model: Model-1 ¥ Model Results 🚝 Model Database 阳 £. 9 🗏 🎎 Models (1) 🖻 <u>Model-</u>1 h 🎁 🖨 🦺 Parts (1) 🚊 <u>Nosnik</u> 🖻 📇 Features (1) 👉 Sets B. 📰 旜 Surfaces Skins ٧ <u>"</u> 4. 1 Stringers 🗄 🥵 Section Assignments (1) Ý 🌆 Orientations 📥 Composite Layups R 🗄 🕮 Engineering Features Hesh (Empty) 🖻 🔀 Materials (1) 🗄 🤹 Sections (1) 🖶 Profiles

Vybereme a klikneme na ikonku Assign Element Type (viz obrázek):

Otevře se okno Element Type. Nemusíme nic měnit.

Element Type	×
Element Library Standard Explicit Geometric Order Linear Quadratic Ouad Tri	
Reduced integration Element Controls Manufactor design	
Membrane hourglass stiffness: Use default Specify Bending hourglass stiffness: Use default Specify	
S4R: A 4-node doubly curved thin or thick shell, reduced integration, hourglass control, finite membrane strains.	
Note: To select an element shape for meshing, select "Mesh->Controls" from the main menu bar. OK Defaults	

Potvrdíme stiskem "OK".

Dále klikneme na ikonku Mesh Part (viz obrázek):



Ve spodní části obrazovky potvrdíme "OK to mesh part?" kliknutím na "Yes". Nosník se následně přebarví zpět na zeleno a vyznačí se na něm zadaná síť.



Nyní můžeme přistoupit k samotné analýze.

Na levé straně obrazovky ve stromové struktuře Analysis vybereme Jobs a dvojklikem otevřeme okno Create Job.

Create Job	×
Name: Dob-1	
Source: Model 💌	
Model-1	
Continue Can	:el

Potvrdíme stisknutím "Continue". Otevře se okno Edit Job.

🖬 Edit Job 🔀		
Name: Job-1		
Model: Model-1		
Analysis product: Abaqus/Standard		
Description:		
Submission General Memory Parallelization Precision		
Job Type		
⊙ Full analysis		
O Recover (Explicit)		
◯ Restart		
Run Mode		
Background Queue: Type:		
Submit Time		
Immediately		
O Wait: hrs. min.		
C At: Tip		
OK Cancel		

Potvrdíme stisknutím "OK".

Na levé straně obrazovky ve stromové struktuře Analysis rozbalíme kliknutím Jobs (1) označíme Job-1, klikneme pravým tlačítkem myši a vybereme možnost Submit.



Program provede kontrolu zadaných údajů a zároveň data zanalyzuje. Tato operace může zabrat několik minut.

Po dokončení této operace opět klikneme pravým tlačítkem myši na Job-1 (Completed) a vybereme možnost Results.





V nové záložce Results se zobrazí výsledky analýzy.

Pro znázornění deformací a působících sil klikneme na ikonku Plot Contours on Both Shapes (viz obrázek):



Výsledek:



K dispozic je celá řada údajů a grafických interpretací výsledků vzešlých z provedené analýzy.

V poslední řadě nesmíme zapomenout celý model uložit a to zcela standardním způsobem. Na horní liště vybereme File – Save As...

Porovnání výpočtu s výsledky počítačového modelování

Z počítačového modelu je zcela zřejmé, že nosník se nezdeformoval úplně podle našich představ. Očekávali jsme, že původně protilehlé konce zadaného nosníku se budou nyní dotýkat. Skutečnost je však odlišná.

Při analýze počítačového modelu zjistíme, že volný (zatížený) konec nosníku se nachází na souřadnicích [x, z] = [-0,874103 -0,027063]. My jsme ho však očekávali na souřadnicích [x, z] = [-0,78 0].

Posun na ose x tedy činí 0,094103 m a na ose z potom 0,027063 m. Pomocí Pythagorovy věty snadno zjistíme, že rozdíl mezi očekávanou pozicí a skutečnou činí 0,0979 m. Tento rozdíl můžeme označit jako *d*.

Nyní můžeme numericky vyjádřit chybu:

$$r = \frac{l}{2\pi}$$

$$r = \frac{1}{2\pi}$$

$$r = 0,159 \text{ [m]}$$

$$r' = \frac{l+d}{2\pi}$$

$$r' = \frac{1,0979}{2\pi}$$

$$r' = 0,175 \text{ [m]}$$

Chyba v poloměru: $\Delta = r' - r$ $\Delta = 0,016 [m], což představuje zhruba 10,1 %.$







INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Poděkování

Investice do rozvoje vzdělávání.

Tento dokument je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky v rámci projektu č. CZ.1.07/2.2.00/28.0206 "Inovace výuky podpořená praxí".