Kapitel 29: Schwerlast-Anhänger mit einer Gewichts- und Massenträgheitskraft

Ein Bagger mit 15t Eigengewicht wird mit einem Schwerlast-Anhänger transportiert. Wie hoch sind die Verformungen und Spannungen bei einer Vollbremsung an den Querträgern aus S355 Baustahl.

15t-Bagger mit Schwerlast-Anhänger



Maße für den Schwerpunkt SP und für das Mittelteil



Belastungen

Vollbremsung in Fahrtrichtung bei einer Massenträgheitskraft nach vorne von 2g und einer Gewichtskraft nach unten von 1g.



FEM-Netzgenerierung

Es wird zuerst die CAD-Baugruppe in ein Part umgewandelt da nur ein Teil und keine Baugruppe vernetzt werden kann und exportieren es im STEP-Format.



Starten Sie MEANS V12 über das Desktop-Icon und wählen "Neu" um mit dem ab dem 1.8.2022 zur Verfügung stehenden 3D-Netzgenerator "MEANSMES V2 für komplexe Strukturen" und selektieren die gewünschte STEP-Datei.



🔡 NEUES PROJEKT				×
O 3D-Netzgenerator MEAN	SMES V1 (STEP, IG	iES, STL)		
3D-Netzgenerator GMSH	(STEP)			
Netzgenerator MEANSM	ES V2 für komlexe \$	Strukturen	Ins	stall
O Neues FEM-Projekt mit B	alken-Linien-Modus	erstellen		
O Neues FEM-Projekt mit B	ehälter-Netzgenerat	or		
NE	UES PROJEKT			

nectory.	C:\projekte\	anhaenger\		Browse	er
۲	STEP		O STL/AST(ASCII)	Defau	t
anhaenge	erbaugruppe.st	ер			
carframe. car_trailer	step _part.step				
FRAC TA FRAC TA p1.step	NK_part.step				
20 - 20 -					_
STL Opt	imization and I	Repair			
	L-Datei vomei	opumieren iassen (emp lests	ronien z.b. del Absturz in NG-Solve,		
Start 3D	Mesh General	tor			
Start 3D	Mesh Genera	tor Start 3D Tetrah	nedral Mesh Generator		
Start 3D	Mesh Genera	tor Start 3D Tetrał	nedral Mesh Generator		

Wählen Sie Menü "Netzgenerator mit CAD-File starten" um das STEP-Modell im 3D-Netzgenerator in einem neuen Windows-Fenster darzustellen. Da der Anhänger aus sehr dünnen U-Profilen besteht und ein moderates FEM-Netz aus ca. 450 000 Tetraedern generiert werden soll, muß zuerst mit Menü Mesh/Meshing-Options folgendes Setting eingestellt werden:

Mes	hing Optio	ns		772 6		\times
<u>G</u> eneral	Mesh Size	STL Charts Or	otimizer <u>D</u>	ebug		
		max mesh min mesh mesh-size gra	-size 1000 -size 0 ding 1.0			
	mesh-size	file:]	Brow	vse	
CSG me	sh-size					
		0.2	Elemen	ts per cu ts per ed	irvature r Ige	adius
STL me	sh-size					
		0.2	⊠si∟-	chart di	stance	
-		8.0	STL/I	GES/STE	P - close	edges
		0.25	🗌 STL -	surface	curvatur	e
		0.25	🗆 STL -	edge an	igle	
		0.2	🗌 STL -	surface	mesh cu	rv
	STL - R	ecalc mesh size	for surfac	e optimi	zation	
		Calc N	lew H			
	Apply			Dor	ne	

Wählen Sie "Generate Mesh" um ein FEM-Netz aus 166 054 Knotenpunkten und 457400 Tetraedern zu generieren.



Exportieren Sie das FEM-Netz entweder im Neutral Format mit *.FEM oder im Abaqus Format mit *.INP. Dannach wieder in MEANS V12 wechseln und mit Menü "Einladen" dieses FEM-Netz einladen. Das Flächenmodell wird erst später für das Mittelteil benötigt.



Damit die Maße auf Seite 1 übernommen werden können muß mit dem Icon aus Register Ansicht zuerst ein Knotenbereich der unteren rechten Ecke erzeugt werden um den Eckknoten 87 ablesen zu können, dann mit Menü "Koordinaten-Faktor" eine Nullpunkverschiebung durchführen.

		≝ - ⊔ ×
💀 Koordinaten-Faktor — 🗆 🖂	K	Rächen Knoten Linien
Faktor setzen :	1	Anzahl Eckknoten = 166054
multiplizieren O dividieren		Kanten ~
O addieren O ersetzen		von: 1
Achsen vertauschen		DIS: 00027
O X-Werte mit Y-Werte vertauschen		Knoten anzeigen
○ X-Werte mit Z-Werte vertauschen		Knotenbereich erzeugen
O Y-Werte mit Z-Werte vertauschen		Flächenknoten
Koordinaten mit Faktor verändem		Flächen-Randknoten
🗹 X-Koordinaten 🔽 Y-Koordinaten 🗹 Z-Koordinaten		Knotenbereich löschen
		Knotenbereich löschen
verwenden im Knotenmodus verwenden		Knotenbereich ändern
von Knotenpunkt: 1		Koordinaten-Faktor
bis Knotenpunkt: 166054		Knoten: 87 EDIT
Koordinatenfaktor: 1		X: -3082
		Y: -175
Nullpunktsverschiebung durch Knotenpunkt: 87		Z: 712.4
Koordinaten mit Faktor verändem		Knoten numerieren
		Elemente numerieren
		Elementgruppen numerierer
Verformungen mit Faktor zu den Koordinaten addieren:		Lastwerte anzeigen N
Verformungs-Faktor: 1		Knoten-Size editieren:
		• • • •
CANCEL		
		-

MEANS-Version

Für den Anwender mit einer MEANS-LITE-Version bis 400 000 Knotenpunkten und Elementen ist dieses Modell leider zu gross. Er müßte im CAD versuchen den Anhänger an nicht relevanten Teilen zu dezimieren oder auf eine höhere MEANS-Version wie MEANS DESIGN bis 999 000 Knotenpunkten und Elementen oder MEANS HIGH END mit unbegrenzten Knotenpunkten und Elementen zu wechseln.

Elementgruppe 2 erzeugen

Es wird jetzt nur der am stärksten belastete Mittelteil von X= 1392 mm bis X= 4208 mm bearbeitet. Dazu wird vom Mittelteil die Elementgruppe 2 erzeugt und der Rest des Anhängers wird ausgeblendet. Wählen Sie das Register "FEM-Projekt bearbeiten" und Menü "Elementgruppen" und erzeugen die Elementgruppe 2 über einen Koordinatenbereich zu erzeugen

🙀 FEM-System MEANS V12 - Strukturdatei	C:\projekte\heavy duty trailer\tet4.fen	i		
C 0 î 🛛 -				
Datei Ansicht Netzgenei	FEM-Projekt bearbeiten	FEM-Analyse	Ergebnisauswertung	Training
Elastungen Belastungen darstellen	Randbedingungen I. Randbed Randbedingungen Randbedi	lingungen 🕞 ngungen darstellen ichen-Modus aktivie	Elementgruppen rt - Fläche= 42	Materialdat
EG= 2				
ON EG= 1	₩ EG = 2	_		
☑ ON EG= 2	Elementgruppen erzeugen			
⊡ ON EG=3	Elementgruppe erzeugen: 2			
☑ ON EG=4	 EG mit aufgespannten Rechted EG mit allen angezeigten Knote 	x und einer Tiefe erzei en erzeugen	ugen	
☑ ON EG=5	O Elementgruppe aus mehreren F	lächen erzeugen		
⊡ ON EG=6	Elementgruppe mit Koordinaten	bereich erzeugen		
⊡ ON EG=7	O Elementgruppe mit Kreisbogen	erzeugen		
Für neue Farbe auf Farbrahmen klicken als Drahtgitter sichtbar Refresh Hidden-Line	O Z-Tiefe O Y-Tiefe von: -100000	e () X-Tiefe bis: 100000		
Gruppen 1 - 7 🗸	Erzeuge Ele	mentgruppe		
Neue Elementgruppen erzeugen	Elementgruppen ändem Anzahl Elementgruppen ändem: 2 Elementgruppe ändem von: 45 Anzahl Elemente ändem: 45	auf: [.7480 And		



Definieren Sie den Koordinatenbereich mit folgenden Grenzen zuzüglich Toleranz:

Anschließend blenden Sie zuerst Elementgruppe 1 aus und erzeugen das Flächenmodell der Elementgruppe 2 mit Register "Ansicht" und Flächen-Modus.



Flächenlast erzeugen

Die Gewichtslast von 15t kann als Flächenlast erzeugt werden. Wählen Sie das Register "FEM-Projekt bearbeiten und "Flächenbelastung" und geben den Wert der Belastung mit "150000" N ein und wählen Menü "Belastung erzeugen" und klicken auf die Surface 33.

C	🕜 📍 🕑 🤤 Datei Ansic	÷ ht Netzgen	erierung	FEM-Projekt bea	irbeiten	FEM-Analyse	Ergebnisauswertu	ng Training		
F Belast	3. Fläch tungen ☑ Belasti	ienbelastung ungen darstellen	+ Randbed		Randbe Randbeo	edingungen 👻 dingungen darstelle Infoz	n Elementgrupper	n Materialdaten	6. Belastur	ngen Temperatur
	🖳 Flächenlast erz	eugen	15	- 0	×					
	Aktueller Lastfall: Anzahl Lastwerte:	1 9259	- + Neu				_	\swarrow		
	Wert der Flächenk	ast: .2208386	O N/	/mm² () oder ir	n N		\sim	\geq		
	Freiheitsgrad:	O X-Richtung	O Z-Ri	ichtung		\ll	\ge		\ll	
	Selektion:	O Y-Richtung	() senk	krecht zur Fläche	_					
	 Rächenmodu: einzelne Knote Koordinatenbe 	s en anklicken ereich definieren	 Rechteck alle ange alle ange 	k aufspannen zeigten Knoten zeigten Surfaces			\gg			
	Flächenlast-Wer	t (N/mm²) aus Bela	astung (N)	FL-Farbe:		$\mathbf{\langle}$			\sim	
	Cancel	Editor	Belast	tung erzeugen		>	\mathbf{X}		///	
			Belas	stung löschen		\succ				
Ļ							\searrow	\sim		
							//		\searrow	
										C.
				-						
				1			And			
	Ă	x			7					
		7					K			

Einspannung erzeugen

Der Anhänger ist an den unteren Flächen fest eingespannt. Wählen Sie Register "FEM-Projekt bearbeiten" und erzeugen die Einspannung an Surface 38 und 64.



Materialdaten

Der Werkstoff Stahl S355 ist mit einem E-Modul von 210 000 N/mm² und einer Poisson-Zahl von 0.3 wie auch alle anderen Stahl-Sorten immer voreingestellt.

FEM-Analyse

Nach Abspeicherung des FEM-Modells unter einem beliebigen Namen wählen Sie das Register "FEM-Analyse" und Menü "Statik" um mit dem Quick-Solver die Verformungen und Spannungen zu berechnen.

C:\projekte\heavy duty trailer\tet4.fen	1
Select Solver O MEANS-Solver	Quick-Solver
Schritt 1: FEI	M-Solver starten
Schritt 2: Postp	rocessing starten
Schritt 3: Na	chverfeinerung
FEM-Solver auswählen	Ergebnisgrößen einstellen

Ergebnisauswertung

Mit Register "Ergebnisauswertung" und dem Icon und die Spannungen grafisch ausgewertet.



werden die Verformungen

Verformungen

Die max. Verformungen in Y-Richtunng betragen -4.06 mm



v.Mises-Vergleichsspannungen

Die max. v.Mises-Spannungen liegen bei 380 N/mm² an den Schweißübergängen. Die Spannungen dort werden aber durch die realen Schweißraupen niederer, weil mehr Querschnitt als hier vorhanden ist. Der Baustahl S355 ist also noch zulässig.



Massenträgheitskräfte erzeugen

Die Massenträgheitskräfte greifen im Schwerpunkt SP an und müßen über MPC-Elemente gleichmäßig auf das Mittelteil des Anhängers projiziert werden. Die Y-Massenträgheitskräfte nach unten betragen 1g mit F_{Gy} = -150 000 N und die X-Massenträgheitskräfte nach vorne betragen 2g mit F_{Gx} = 300 000 N.



Zuerst wird der Knotenbereich der Flächenlast mit Register "Ansicht" und Menü "Knoten-Modus" sowie Seitenmenüs "Belastung" und "Knoten anzeigen" dargestellt.



Mit Register "FEM-Projekt bearbeiten" sowie "Biege- und Torsionsmoment"



werden alle Knoten des Knotenbereiches aufgelistet. Mit "Innenknoten" werden nur die 4798 Innenknoten dargestellt. Anschließend muß mit Menü "Reduzieren" die Innenknoten auf 100 Knoten reduziert werden da immer nur 100 Knoten mit einem MP-Knotenpunkt im FEM-Solver berechnet werden können.

Geben Sie eine "Knotenlast" in Y-Richtung von "-150000 N" und einen MP-Abstand in Y-Richtung = 1000 mm ein und wählen Menü "Schritt 2 MP- und Abstand berechnen" sowie Menü "Schritt 3 - Knotenlast ohne Hebelarm erzeugen".



Es wird eine Knotenlast von -150000 N am MP-Knotenpunkt erzeugt die mit den 100 selektierten Knotenpunkten über MPC-Elemente verbunden ist.



Die MPC-Elemente können aber auch im Linien-Modus einzeln erzeugt werden indem man die 100 Knotenpunkte über Linien mit dem MP-Knotenpunkt verbindet.

Wiederholen Sie die Eingabe und erzeugen mit einem zweiten MP-Knotenpunkt an gleicher Stelle den Lastfall 2 mit einer Knotenlast von "300 000 N" in X-Richtung und führen eine FEM-Analyse mit dem Quick-Solver durch.

Als Ergebnis erhält man Lastfall 2 mit den überlagerten Lastfällen 1+2 mit folgender v.Mises-Spannungsverteilung:

