

Setzungsberechnung eines kreisförmigen Silofundaments

Programm: FEM

Datei: Demo_manual_22.gmk

Ziel dieses Handbuchs ist es, die Setzung eines kreisförmigen Silofundaments mit der Finite-Elemente-Methode und dem Modul der Achsensymmetrie zu berechnen.

Eingabe der Aufgabe

Bestimmen Sie die Setzung des kreisförmigen Silofundament (Dicke 0,5 m und Durchmesser 20,0 m), die durch seine Gesamtfüllung verursacht wird, d.h. durch die Auflast mit der Größe q = 150 kPa. Bestimmen Sie außerdem die Gesamtsetzung des Silos nach der anschließenden Entleerung. Das geologische Profil einschließlich der Bodenparameter ist das gleiche wie in der vorherigen Aufgabe (*21. Berechnung der Geländesetzung von der Streifenlast*). Verwenden Sie für diesen Fall die **Achsensymmetrie**. Das kreisförmige Silofundament besteht aus bewehrtem Stahlbeton der Klasse C 20/25.



Schemaskizze der Eingabe der Aufgabe - kreisförmiges Silofundament aus Stahlbeton

Die Werte der gesamten vertikalen Verformung, d.h. der Setzung $d_z [mm]$, werden hier nur für das Mohr-Coulomb-Materialmodell betrachtet. Ein Vergleich anderer Materialmodelle mit unterschiedlichen Netzdichten wurde im vorherigen Kapitel durchgeführt (*21. Berechnung der Geländesetzung von der Streifenlast*).

Lösung

Um diese Aufgabe zu berechnen, verwenden wir das Programm GEO 5 - FEM. Im folgenden Text werden wir schrittweise die Lösung des Beispiels beschreiben:

- Topologie: Einstellung und Modellierung der Aufgabe (freie Punkte)
- Bauphase 1: primäre geostatische Spannung,
- Bauphase 2: Modellierung und Belastung von Balkenelementen, Setzungsberechnung,
- Bauphase 3: Berechnung der Geländesetzung (Verformung) nach der Entlastung, innere Kräfte.
- Auswertung der Ergebnisse: Vergleich, Schlussfolgerung.

Hinweis: Um dieses Aufgabe zu berechnen, wählen wir das Modellierungsverfahren unter Verwendung von Balkenelementen, wobei das Fundament des kreisförmigen Silos als Stahlbetonbalken ohne zusätzliche Kontakte betrachtet wird. Das Problem der Kontaktelemente wird in Kapitel 24 Numerische Lösung einer Verbaukonstruktion näher erläutert wird.

Topologie: Eingabe der Aufgabe

Wählen Sie im Fenster "Einstellung" der Aufgabengeometrie mit der Option "Achsensymmetrisch" aus. Wir werden die anderen Daten unverändert lassen.

— Aufgabeneigenscha	ften	— Berechnungsn	ormen	_	Erweiterung der Programmoptionen —
Aufgabengeometrie :	Achsensymmetrisch 🔹	Betonbauten :	EN 1992-1-1 (EC2) -		Detailparameter der Netzerzeugung
Berechnungstyp :	Spannungszustand 🗸	— Berechnung de	es Primärspannungszustandes (1. Phase) —		Detailbodenparameter
Wasser mithilfe de	r Berechnung der stationären Strömung eingeben zu ermöglichen	Berechnungsart :	Geostatischer Spannungszustand 🔹		Erweiterte Bodenmodelle Detaillierte Ergebnisse

Fenster "Einstellung"

Hinweis: Die **Achsensymmetrie** eignet sich zur Lösung rotationssymmetrischer Aufgaben. Sowohl die geometrische Anordnung der Konstruktion als auch die Belastung müssen diese Voraussetzung erfüllen. Ein geeignetes Beispiel ist daher die Lösung dieser Aufgabe - ein kreisförmiges Silofundament.

GEO5

Die Lösung bezieht sich auf 1 rad der Länge des Bogens mit einem Radius von x(r). Die Symmetrieachse repräsentiert immer den Ursprung der Koordinate x(r). Scherkomponenten der Verformung in Drehrichtung können vernachlässigt werden. Neben den Spannungs- und Verformungskomponenten in der Schnittebene wird auch die Bildung einer umlaufenden Normalspannungs- und Verformungskomponente betrachtet (weitere Informationen finden Sie in der Hilfe - F1).

Stellen Sie im Fenster "Schnittstelle" zuerst die neuen Weltdimensionen ein und geben Sie dann die Koordinaten des ersten Punkts der Schnittstelle **[10,0]** ein. Das Programm wird den nächsten Schnittstellenpunkt (am Rand) bereits automatisch ergänzen.



Fenster "Schnittstelle" + Dialogbox "Weltdimensionen"

Dann definieren wir die Parameter des Bodens und ordnen diesen dem Bereich der Grenzfläche Nr. 1 zu. In diesem Fall werden wir keine starren Körper oder Kontakttypen betrachten.

Bodeneigenschaften bearbeiter	ı							×
- Identifikation			- Modell Mohr - Coulomb				? -	- Darstellung
Name :	Boden 1		Modul der Entlastung/Auflast : E	ur =	45,00	[MPa]		Probenkategorie :
			Winkel der inneren Reibung : ϕ_{e}	ef =	29,00	[°]		GEO 👻
— Materialmodell —		? -	Kohäsion des Gesteins : ce	ef =	8,00	[kPa]		Suchen :
Materialmodell :	Mohr - Coulomb		Dilatationswinkel :	ψ =	0,00	[°]		Untergruppe :
- Grunddaten		? -						Boden (1 - 16) -
Wichte :	γ = 19,00 [kN/m ³]							Muster :
Elastizitätsmodul :	E = 15,00 [MPa]							1
Steifigkeit mit der Tiefe :	konstant 👻							n - ten stander ten -
								5 Sandton
Poissonzahl :	v = 0,35 [-]							Farbe :
— Auftrieb —		? -						•
Art der Auftriebsberechnung :	standard 👻							Hintergrund :
Wichte des gesättigten Boden	s: γ _{sat} = 21,00 [kN/m ³]							automatisch 🔻
								Sättigung <10 - 90> : 50 [%]
Klassifizieren Löschen								V OK X Abbrechen

Für die Netzgenerierung werden wir zunächst die Kantenlänge der Netzelemente 2,0 m betrachten.



Fenster "Netzerzeugung" - dreieckiges Netz mit einer Elementkantenlänge von 2,0 m

Nach der Netzglättung und Netzerzeugung folgern wir, dass das Netz aufgrund des Umfangs der Aufgabe zu grob ist, weshalb wir die Kantenlänge der Netzelemente auf 1,0 m anpassen.





Fenster "Netzerzeugung" – Dreieckiges Netz mit einer Elementkantenlänge von 1,0 m

Hinweis: Für den gelösten Bereich unterhalb dem kreisförmigen Silofundament wäre es geeignet, die Linienverfeinerung bzw. die Punktverfeinerung durchzuführen (weitere Informationen finden Sie unter Hilfe - F1). Diese Funktion wird im folgenden Kapitel 23 Beanspruchung der Wandung des Kollektors ausführlicher beschrieben.

Bauphase 1: primäre geostatische Spannung

Nach der FE-Netzerzeugung schalten wir in die 1. Bauphase um und führen dann die Berechnung der primären geostatischen Spannung durch. Wir behalten die Berechnungseinstellung als "Standard" bei (weitere Informationen finden Sie unter Hilfe - F1).



Fenster "Berechnung" – Bauphase 1

Bauphase 2: Modellierung und Belastung der Balkenelemente

Im nächsten Schritt werden wir die 2. Bauphase hinzufügen. Dann definieren wir im Fenster "Balken" die folgenden Parameter - Position des Balkens, Material und Klasse des Betons, Höhe des Querschnitts (0,5 m) und Lagerung der Enden des Balkens (weitere Informationen finden Sie unter Hilfe - F1).



GEO5	5 2020 - FEM (Tunn	el, Strömung, Ko	nsolidierung) [C:\Users\Pub	blic\Documents\Fine\GE(05 2020 Příklady\Demo_	_manual_22.gm	k*]			– 🗆 ×
Datei B	earbeitungen Eir	igabe Ausgabe	e Einstellung Hilfe							
Datei	- 🕒	🗲 🖌	Schab	(Topo) [1]	[2]					
<u>ب</u> ل	-14,00 -12,0	0 -10,00 -8,00 - - - - -	-6,00 -4,00 -2,00	0,00 2,00 4,00 6,	00 8,00 10,00 12 	2,00 14,00 1	3,00 18,00 20,00 22,00 24,00 :	26,00 28,00 30,00 32,00 34,00	36,00 38,00 40,00 [m]	Modi _
·†,	8-							1		Aktivierung
0				1						Zuordnung
~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~			Bearbeitung der Balkene	eigenschaften				×		Wasser
$\sim$	8		- Topologie		Name					🚌 Balken
	·* -		Positionierung :	Geländeabschnitt 👻	Name :					🗯 Kontakte
	9.4		Geländeabschnitt :	Geländeshschnitt Nr 🔻	— Lagerung					🖌 Punktstützen
			- Parameter		Anfang :		•			Linienstützen
	9- -		Figengewicht hetr	rachten	Ender		•			🗲 Anker
	0.1		- Ouerschnitt und Ma	torial	1					🚝 Nägel
	7 -		Querschnittetung	analytical Wand		- Matari	Datas			Aussteifungen
	00.01		Querschnittstyp:	recriteckige wand		• Materia	ntyp: Beton			J= Bewehrungen
	<u>.</u>		Querschnittshöhe :	h	= 0,50 [m]	Name	C 20/25			Auhast
	à-						Katalog	Definieren		H Flactische Pereiche
	0.									
										Berechnung
	16,00			L = 1.04E=02	$m^4/m$ : A = 5.00F=01 m ²	/m: E = 30000.0	0 MPa: G = 12500 00 MPa			Graphen
	8		Kontakte	y = 1,012 02		,, ב = 566666,6	o milito, e e 12500,00 milito			
	, [#] -		Des Kestelt Sala	hater altern		Der Ker	and a surface because and as			
	20'00		Kontaktivn :	betrachten		Kontakthun	itakt rechts betrachten			
	9-		Kontakttyp.			Kontakttyp		· .		
	- 22'(									
~~~	8						✓ OK	¥ Abbrechen		
र्	°-							Abbrechen		
1	🖉 Grafik hinzufüg	en 📥 🗐 Text	hinzufügen	neiten (Nummer 1)	X Löschen (Nummer	1)				
Num	p ordink finizorog	alkan		Auflagen		Patrachtan	Quarachnitt	Material	Ka	
Num	neu	abgeändert	Positionierung	Anfang	Ende	Eigengewicht	Queischnitt	Wateria	links	Auranha
	1 Ja		Geländeabschnitt Nr. 1	—	F	 Image: A start of the start of	1,00 (b) x 0,50 (h) m	C 20/25	(nicht eingegeben)	Reld hinzufügen
										Balken: 0
										Gesamt : 0
										📲 Abbildungsverzeichnis
s										
Balke	4								•	B ¹ → Ansicht kopieren

Dialogbox "Neue Balken" – Bauphase 2

Dann gehen wir zum Fenster "Balkenbelastung", wo wir die Größe der Belastung f = 100 kN/m eingeben, die wir als das Gewicht der Wände des kreisförmigen Silos betrachten, das auf seiner Fundament wirkt.

GEO5 2020 - FEM (Tunnel, Strömung, Konsolidierung) [C:\Users\Publi	c\Documents\Fine\GEO5 2020 Příklady\Der	mo_manual_22.gmk *]					- 🗆 ×
Datei Bearbeitungen Eingabe Ausgabe Einstellung Hilfe	_						
Date Sch - 🤟 - 🍆 - 🤟 -							
-14,00 -12,00 -10,00 -8,00 -6,00 -4,00 -2,00 0,0	10 2,00 4,00 6,00 8,00 10,00	12,00 14,00 16,00 18,00 20,00	22,00 24,00 26,00	28,00 30,00 3	2,00 34,00 36,00	38,00 40,00 [m]	Modi _
▼ <u>ŝ</u> :							Hereit Aktivierung
0				1			Zuordnung
	>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>	Bearbeitung der Balkenbelastung			×		Wasser
	*	Belasteter Balken					🚌 Balken
	<u>ŝ</u>	Positionierung : Balken Nr. 1		•			#Kontakte
9:		- Belastungseigenschaften					Punktstützen
8-		Belastungstyp : Einzelkraft		-			Cimenstutzen
*		Belastungsrichtung : senkrecht zu	m Balken	• /	*		Anker
8- -		Winkel : $\alpha =$	0,00 [*]	1	•a		Aussteifungen
8		Angriffsnunkt : v =	0.00 [m]	₹ x \	+f		E Bewehrungen
^e			0,00 [111]				📇 Auflast
§- ID							📇 Balkenbelastung
		— Belastungsgröße					🐲 Elastische Bereiche
\$		Große: f =	-100,00 [kN/m]				🛱 Berechnung
8-							Monitoren
72							Z Graphen
8			•	OK 🗙 Abbre	chen		
		L					
<u> </u>				i i			
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·							
🕂 🕐 Grafik hinzufügen 🕂 👘 Text hinzufügen 📝 Bearbei	ten (Nummer 1) 🚬 Köschen (Numm	ner 1)					
Nummer Balkenbelastung Balken	Belastungstyp	Belastungsrichtung	Winkel Urspru	ing Länge	6	Größe	
1 Ja Balken Nr. 1	Einzelkraft	senkrecht zum Balken	α.[⁻] x[m 0.00	J [[m] 0.00	f, m, q, q ₁ -100.00	q ₂ Einl [kN/r	Ausgabe _
							E* Bild hinzufügen
							Gesamt: 0
							Abbildungsverzeichnis
sturi							
nbelastun							
alkenbelastum						Þ	Bla Ansicht kopieren

Dialogbox "Neue Balkenbelastungen" – Belastung der Wände auf das kreisförmige Silofundament

Weiterhin werden wir hier eine gleichmäßig stetige Belastung mit einem Wert $q = -150 \ kN/m^2$ eingeben, die die Füllung des kreisförmigen Silos darstellt und auf dessen Boden bzw. auf die Oberkante des Fundaments wirkt.



GE05 2020 - FEM (Tunnel, Strömung, Konsolidierung) [C:\Users\Public\Document	nts\Fine\GEO5 2020 Příklady\Demo	o_manual_22.gmk *]							– 🗆 X
Datei Bearbeitungen Eingabe Ausgabe Einstellung Hilfe									
tropr	po] [1] [2]								
-14,00 -12,00 -10,00 -8,00 -6,00 -4,00 -2,00 0,00 2,00	4,00 6,00 8,00 10,00	12,00 14,00 16,00 18,00 20,00	22,00 24,00	26,00 28,00	30,00 32, 1 1 1 1 1	10 34,00 36,00 - - - - - -	38,00 40	.0C [m]	Modi _
∓ ₈ :									Aktivierung
D					i.				Zuordnung
									Wasser
									💻 Balken
									🗯 Kontakte
	Rearbeitung der Pall	kanhalartung		×					Punktstützen
8-	Dearbeitung der ban			^					Linienstützen
* <u>-</u>	Belasteter Balker	n			21				🔊 Anker
8 <u>8</u> -	Positionierung :	Balken Nr. 1	-						😂 Nägel
	Belastungseigen	schaften							Aussteitungen
000	Belastungstyp :	gleichmäßig auf den ganzen Ball	en 🔻						μ Dewennungen → Δuflast
8	Belastungsrichtung	g : senkrecht zum Balken	•						📇 Balkenbelastung
N	Winkel :	α = 0,00 [°]		The state					Elastische Bereiche
8 <u>-</u>			<u> </u>	Jahr +q V					Pressbauer
				Z	4				Monitoren
\$1 R	— Belastungsgröße								Graphen
8	Größe		21						
*=	Grobe.	d = (kia/i							
	0	K + 🏫	ОК	Abbrechen					
1 to 1									
<u></u>									
📩 🕂 🛷 Grafik hinzufügen 🛛 🕂 🗮 Text hinzufügen 🛛 😁 🖊 Bearbeiten (Numm	ner 2) Coschen (Nummer	r 2)							
Nummer- Balkenbelastung Balken	Belastungstyp	Belastungsrichtung	Winkel	Ursprung	Länge		Größe	_	
neu Anderung	allundt	seelisesht zum Palkee	α[°]	x [m]	l [m]	f, m, q, q ₁	q ₂	Einl	Ausgabe _
2 Ja Balken Nr. 1 gleic	chmäßig auf den ganzen Balken	senkrecht zum Balken	0,00	0,00		-100,00		[kN/r	E* Bild hinzufügen
									Balkenbelastung: 0
									Desamt : 0
6 un									a rissing reserventing
pelast									
aike								•	B1 Ansicht konieren
									-Bousieur robieren

Dialogbox "Neue Balkenbelastungen" – Belastung der kreisförmigen Fundament durch Füllung des

Silos

In dieser Bauphase führen wir die Berechnung erneut durch und betrachten die Ergebnisse für die Setzung $d_z [mm]$ an. Die Abbildung zeigt, dass die maximale vertikale Verformung 101,7 mm beträgt. Zur besseren Vorstellung des Verhaltens der Konstruktion werden wir ein deformiertes Netz bildlich darstellen. (Schaltfläche oben auf dem Bildschirm).



Fenster "Berechnung" – Bauphase 2 (vertikale Verformung d_{τ} mit der Setzungsmulde)

Zur Visualisierung der Setzungsmulde klicken wir auf die Schaltfläche "Einstellung" und in der Tabelle "Setzungsmulde" kreuzen wir die Option "Werte" (weitere Informationen finden Sie unter Hilfe - F1).



Bauphase 3: Geländesetzung nach Entlastung, innere Kräfte

Im nächsten Schritt werden wir die 3. Bauphase hinzufügen. In dieser Bauphase entfernen wir eine gleichmäßig stetige Belastung. Darüber hinaus betrachten wir nur die Belastung des Balkens von den Wänden des kreisförmigen Silos, die dieselbe wie in der vorherigen Bauphase ist, d. h. $f = 100 \ kN/m$.



Fenster "Balkenbelastung" – Bauphase 3

Dann führen wir die Berechnung erneut durch und stellen wir die Werte der Verformungen fest. Die Gesamtsetzung nach der Entlastung der Geländeoberfläche beträgt 69,6 mm.



Fenster "Berechnung" – Bauphase 3 (vertikale Verformung d_{τ} mit der Setzungsmulde)

Wir werden nun die Verläufe der radialen Momente $M_r [kNm/m]$ für die 2. bzw. 3.Bauphase analysieren (über die Schaltfläche "Anzeigen" in der Tab "Verläufe") und die Größe lokaler Extreme werden in der Tabelle aufgezeichnet. Diese Werte können in jedem statischen Programm (z. B. FIN EC - BETON 2D) eingegeben und die erforderliche Haupttragbewehrung des kreisförmigen Silofundaments ermittelt werden.



GEO5 2020 - FEM (Tunnel, Strömung, Konsolidierung) [C:\Users\Public\Documents\Fine\GEO5 2020 Priklady\Demo_mail	anual_22.gmk *]		– 🗆 X
Datei Bearbeitungen Eingabe Ausgabe Einstellung Hilfe			
Werte : gesamt Größe : Verschiebung d _z Uetaillierte Ergebnie	sse Flächig: (nicht anzeigen) 🔻 Netz: (nicht anzeigen)	✓ unverformt	✓ Modi
-2,00 0,00 2,00 4,00 6,00 8,00 10,00 12,00 14,00 16,00	18,00 20,00 22,00 24,00 26,00 28,0	0 30,00 : [m]	Aktivierung
0.			Zuordnung
			wasser
1 🔀 1 1 8 a			🚌 Balken
8-1 b			🗯 Kontakte
Danaanaarteetteetteetteetteetteetteetteetteett			Y Punktstützen
8			Linienstützen
			🔊 Anker
			🚈 Nägel
			≒ Aussteifungen
			J= Bewehrungen
\$. ⊫			- Balkenbelastung
			Hastische Bereiche
8 10			Parachauna
		41	Monitoren
8		41	Graphen
\$ ⁴			
		△ <-3,0 m	m
<u> </u>			101,7 mm>
Balkenwerte Beschreibungen und Sch	raffungen	- Gespeicherte Ein	stellungen
Vollfarbe Vollfarbe Radialmoment (M,)	Grautöne	▼ <kein></kein>	Mr [kNm/m]
Werte auf der Fläche radiale Normalkraft - Druck (N _r -)	Abgrenzung des Umfangs	🕂 Speichern	Verwalter Ausgabe -
- G Aufgelegte Schnitte radiale Normalkraft - Zug (N,+)	Horizontaler Maßstab		E* Bild hinzufügen
Schubkraft (q,)	Vertikaler Maßstab		Berechnung: 0
Setzungsmulde			Gesamt : 0
Alle Einstellungen der Ergebnisse zeichnen sich korrekt aus.	,		E Abbitteringsverzetetillis
Sen Vertikale Verformung (D)			Grund 🖨 🖨
cenar	.		Schließen
	•		Ansicht kopieren

Fenster "Berechnung" – Bauphase 2 (Verläufe der Radialmomente $\,M_{\,r}$)





Fenster "Berechnung" – Bauphase 3 (Verläufe der Radialmomente M_r)

Auswertung der Ergebnisse:

Die folgende Tabelle zeigt die Werte der Gesamtsetzung $d_z [mm]$ und der Radialmomente $M_r [kNm/m]$ für die 2. und 3. Bauphase, in denen wir die Belastung oder Entlastung des kreisförmigen Fundament modelliert haben. Wir haben diese Berechnung für das Mohr-Coulomb-Materialmodell mit einer Netzkantenlänge der dreieckigen Elemente von 1,0 m durchgeführt.

	Phase 2	Phase 3	Phase 2	Phase 3	
Materialmodell	d_{z} [mm]	d_{z} [mm]	$M_r [kNm/m]$	$M_r [kNm/m]$	
Mohr-Coulomb	101.7	69.6	+ 169,0	+66	
(1,0 m)	,		- 31,2	- 80,9	

Ergebnisse der Gesamtsetzung d_z und der Radialmomente M_r für jede Bauphase



Schlussfolgerung

Aus den Ergebnissen der untersuchten Variablen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Bei der Füllung des Silos (aufgrund der Wirkung einer gleichmäßigen stetigen Belastung) überwiegt entlang der Länge des Balkens ein positives Biegemoment (Zug an der Unterseite)
- Wenn das Silo geleert wird (aufgrund des anschließenden Entlastung), wird das kreisförmige Fundament nur durch die Wirkung seiner Wände belastet. Entlang der Länge des Balkens überwiegt ein negatives Biegemoment, d.h. die Spannung tritt in seinen oberen Fasern auf (Zug an der Oberseite).