

LÉPÉSRŐL LÉPÉSRE HALADÓ OKTATÓKÖNYV

Készítette: Inter-CAD Kft.

Ez az oldal szándékosan üres.

TARTALOM

1.	NÉGY SZINTES SÍKBELI KERET DINAMIKAI VIZSGÁLATA	4
2. ́	TÖBBSZINTES, VASBETON SZERKEZETŰ ÉPÜLET FÖLDRENGÉSVIZSGÁLATA MODÁLIS	
VAI	LASZSPEKTRUM-ANALIZISSEL	49

Ez az oldal szándékosan üres.

1. NÉGY SZINTES SÍKBELI KERET DINAMIKAI VIZSGÁLATA

Feladat

Végeselemes

modell ismertetése

Végezzük el az alábbi ábrán látható négy szintes síkbeli acélkeret vizsgálatát különböző dinamikus terhek figyelembevételével.



Bemutató példánkban alkalmazzunk kétféle támaszgyorsulást (földrengési adatsor, szinusz hullámot követő gyorsulás), modellezzük az ipari gép forgómozgásának gerjesztő hatását időben változó nagyságú erővel, illetve vegyünk fel lökésszerű, erő jellegű terhelést. Ezeket a dinamikus terheléseket a feladat megoldása során részletezzük.

Lineáris anyagmodellt alkalmazunk, viszont nemlineáris dinamikai vizsgálatot végzünk a P-D hatást (geometriai nemlinearitás) figyelembe véve.

A feladat során javaslatokat adunk a dinamikai vizsgálatok elvégzéséhez, illetve az eredmények kiértékelésének lehetőségeit a számítás után röviden ismertetjük.

A feladatban nem ismertetjük a végeselemes modell létrehozását, a korábbi példák ismeretanyaga alapján ezt könnyedén elvégezhetjük. A kiindulási fájlt (**Negy_szintes_keret_dinamika_0.axs**) <u>a példához</u> <u>mellékeljük</u>, mely az alábbiakat tartalmazza:

A négy szintes, acélszerkezetű síkbeli keret (X-Z munkasík) teljes geometriai és végeselemes modelljét:

A földszinti oszlopok **HE450 B**, az emeleti oszlopok pedig **HE400 B** szelvénnyel készülnek. A földszint feletti gerendák **HE400 B**, további gerendák szelvénye **HE320 B**. A keretszerkezet szelvényei a következő ábrán láthatók:



A szerkezetet az **Eurocode** szabvány alapján vizsgáljuk, a szelvények anyagminősége egységesen **S275**, rugalmas modellt alkalmazunk.

A csomóponti szabadságfokok beállításánál feltételezzük, hogy a keret oldalirányban (globális **y** irány) megtámasztott, csak a síkbeli (**x-z**) viselkedését vizsgáljuk.

Az alsó szinti oszlopok támaszai befogottak (Rx=Ry=Rz=1E+7 kN/m, Rxx=Ryy=Rzz=1E+7 kNm/rad).

A dinamikai vizsgálatnál figyelembe vett statikus terhelést az önsúly, megoszló teher és koncentrált erő nevű terhelési esetekben definiáltuk.

- A szerkezetre rátettük a saját önsúlyát, melyet a program automatikusan számol a felvett anyag és keresztmetszet alapján.

- Az alsó két szint gerendáin **70 kN/m**, a felső szinti gerendákon **40 kN/m** egyenletesen *megoszló terhelés* működik.

- Az első emeleti gerendák felében **koncentrált erő**ket (3 helyen, egyenként **20 kN** nagyságú erő) helyeztünk el merev testen, a gerendák tengelyétől mérve 0,4 m-es magasságban. Ezek az épületben elhelyezett ipari gépek súlyát modellezik. A terhelt csomópontokat merev testtel kapcsoltuk a gerendákhoz.

- Ezeken felül a keret csomópontokban 70 és 100 kN-os koncentrált erőket alkalmaztunk.

A fent ismertetett terheket a következő ábrán mutatjuk be teheresetenként.

önsúly tehereset:



megoszló teher tehereset:



koncentrált erő tehereset:





A program elindításához kattintsunk a Start menüben az AxisVM X4 mappában az AxisVM X4 ikonra.



A **Megnyitás** ikonra kattintva töltsük be a számítógépünkre lementett kiindulási adatfájlt. A megjelenő ablakban válasszuk ki a fájlt tartalmazó könyvtárat, majd jelöljük ki a kiindulást fájlt. A **Megnyitás** gombra kattintva a program betölti a modellt, a képernyőn a szerkezet végeselemes modellje jelenik meg:



Első lépések A dinamikai modellezés megkezdése előtt ellenőrizzük a geometriát, végeselemeket és beállításokat a fenti ismertetés alapján.

8	AXISVM				
Geometria Elemek	Terhek Háló Statika Kihajlás Rezgés Dinamika Vasbetontervezés Acéltervezés Fa méretezés				
Teherkombiná- ciók Lépjük át a Terhek fülre! A rezgés és dinamikai vizsgálatokhoz állítsunk össze a szükséges teherkombinációt a felv teheresetek alapján. A megoldás menete összetett, mert a bemutató példában több, egyi eltérő dinamikus hatást vizsgálunk.					
	Feladatunkban kétféle módon fogjuk a rezgésvizsgálatot elvégezni: - a földrengés, szinuszos gerjesztés és lökésszerű teher esetén elegendő, ha csak a vízszintes (x) irányú tö- megkomponenst vesszük figyelembe, mert a dinamikai teher csak vízszintes összetevőket tartalmaz. - viszont a gép általi gerjesztésnél a vízszintes irányú tömeg komponenst mellett a függőleges (z) irányúval is számolnunk kell.				

Ugyanazt a statikus teherösszeállítást alkalmazzuk mindegyik dinamikai terhelésnél, viszont a különböző tömegkomponens beállítás miatt a rezgésszámítást eltérő (nevű) kombinációra fogjuk elvégezni. Ennek oka az, hogy a program a rezgésszámítás eredményeit a beállított teheresethez/kombinációhoz köti, különböző beállítások mellett a korábban kiszámított eredményeket a program nem őrzi meg. Technikailag ez úgy hidalható át, hogy két azonos, de eltérő nevű kombinációt állítunk össze és azokra futtatjuk a rezgésszámítást. **Megjegyzés**: ezt a megoldást, akkor is alkalmazhatjuk, ha más, a fentitől eltérő paraméterekkel kell rezgésvizsgálatot végeznünk, de mindegyik számítás eredményét meg akarjuk tartani, fel akarjuk használni (pl. földrengés vizsgálat).

Kattintsunk a Teherkombinációk ikonra, a következő ablak jelenik meg:

💥 Táblázatkezelő						-		×
<u>F</u> ájl Szerkesztés Formátum Dokumentácio	ó <u>S</u> úgó							
Elemek ^ Terhek önsúly (31)	🕂 🗙 🖻 💼 🗐 🖶 🛛 🗄	ként						
megoszló teher (12) koncentrált erő (19)	Név	Típus	önsúly	megoszló teher	koncentrált erő	Megjegyzés		
- Teheresetek (3) - Mértékadó tehercsoport-kombináci E gyedi teherkombinációk - Teheresetek szerint - Teheresoportok szerint E Fügyvények <								
						ОК	Mégs	em

Új adatsor

Kattintsuk az Új adatsor ikonra, majd definiáljuk a 2 teherkombinációt az alábbiak szerint.

A teherkombinációk neve legyen **1. Tk** és **2. Tk**, a típus legyen "- (egyedi kombináció)", mindegyik statikus teheresethez **1.00** kombinációs tényezőt rendeljünk hozzá, a *Megjegyzés* mezőben fűzzünk emlékeztetőt a teherkombinációkhoz - "x irányú rezgéshez", illetve "x, z irányú rezgéshez":

X4 Táblázatkezelő								-		×
<u>F</u> ájl Szerkesztés Formátum Dokumentáció S	Súgó									
Elemek Terhek önsúly (124)	^	+ Egg	• 🗙 🗈 💼 🗐 🖶 🖾 yedi kombinációk teheresetenk	ént						
megoszló teher (12) koncentrált erő (19)			Név	Típus	önsúly	megoszló teher	koncentrált erő	Megjegyzés		
Teheresetek (3)		1	1. Tk	-	1.00	1.00	1.00	x irányú regzéshez		_
Mértékadó tehercsoport-kombinációk (1)		2	2. Tk	-	1.00	1.00	1.00	x, z irányú rezgéshez		
🖃 Egyedi teherkombinációk										
Teheresetek szerint (2)										
- Tehercsoportok szerint										
Függvények	~									
2. Tk, Teherkombináció neve								ОК	Mégs	em

Az ablakot zárjuk az OK gombra kattintva.

Geometr	ia Elemek	Terhek	Háló	Statika	Kihajlás	Rezgés	Dinamika	Vasbetontervezés	Acéltervezés	Fa méretezés
γ			≣∰[$\overline{\mathbf{x}}$	×				

Hálógenerálás

vonalelemekre

A dinamikai (és nemlineáris) számítás előtt a vonalelemeket fel kell osztanunk a helyes számítás érdekében. Lépjünk át a *Háló* fülre, kattintsunk a *Hálógenerálás vonalelemekre* ikonra. Jelöljük ki az összes rúdelemet, majd a megjelenő ablakban állítsuk be a kívánt vonalfelosztást. Minden elemet osszunk fel **4** (egyenlő) részre.

Hálógenerálás kritériuma		
O Maximális eltérés a körívtől	d [m] =	``
 Legnagyobb elemméret 	d [m] =	```
 N részre osztás 	N = 4	`
O Szög szerint	d [°] =	`
Felvesz »>	OK Mé	éasen

Az **OK** gombra kattintva zárjuk be az ablakot.

A **Gyorsgombok** között lévő **Hálózat rajza ki/be** ikonra kattintva tudjuk a hálózást megjeleníteni, illetve a kikapcsolni. Ellenőrizzük a vonalelemek hálózását!

Geometria Elemek Terhek	láló Statika Kih	najlás Rezgés	Dinamika	Vasbetontervezés	Acéltervezés	Fa méretezés	
		-		· ·		~	

Lineáris statikai számítás

°∐,

Végezzünk lineáris statikai számítást a felvett statikus terhekre, ellenőrizve a modell és szerkezet helyességét, illetve a szerkezet teherbírását. Ehhez lépjünk át a **Statika** fülre, és a **Lineáris statikai számítás** ikonra kattintva indítsuk el az analízist.

Ellenőrizzük az eredményeket abból a szempontból, hogy a statikus terhekre nem léptük-e túl a szerkezet teherbírását, illetve a nincs-e a modellben / modellezésben hiba.

Megjegyzés: lehetőleg minden modellben végezzünk ellenőrzést egyszerűbb teheresetek, kombinációk mellett még a bonyolultabb dinamikai/nemlineáris számítások előtt. Lineáris analízisben a nagyobb modellezési hibákat könnyebb kiszűrni.

A következő lépésekben a dinamikus terheket fogjuk definiálni.



Dinamikai terhek definiálása

444

Lépjünk át a Terhek fülre.

ltt kattintsunk a **Teheresetek és teherkombinációk** ikonra. A meglévő, statikus terheket tartalmazó **ST1** eseten túl hozzunk létre **4** dinamikus teheresetet. Kattintsunk a jobb oldali mezőben lévő **Dinamikus teher** ikonra és az új teheresetek neveit az alábbi táblázat szerint adjuk meg:

Dinamikus teher

Tehereset neve	A teheresetben definiálandó teher típusa
DIN-FR	földrengési teher
DIN-SIN	szinusz függvény szerinti gerjesztés
DIN-GÉP	ipari gép gerjesztése
DIN-LÖKÉS	lökésszerű terhelés

Marcsoportok és teheresetek		-		×
	Tehereset <u>Másolás</u> DIN-LÖKÉS nem tartalmaz terhet. Tehercsoport Önálló	Hozzá	iadás <u>-↓-</u> <u>↓</u> <u>↓</u> <u>↓</u> *** **	
	Eurocode [H]			
	Tehercsoport		Hozzáa	dás]]]]]
× Törlés	Mértékadó tehercsoport-kombinációk OK		Még	jsem

A tehereseteket létrehozva a következőt látjuk az ablakban:

A módosításokat az OK gomb megnyomásával zárjuk, majd definiáljuk az egyes teheresetekhez tartozó terheket.

Elsőként a földrengési gerjesztést definiáljuk, válasszuk ki a teheresetek közül a DIN-FR terhelési esetet. (Az csomóponti aktuális terhelési esetről az infó palettán is meggyőződhetünk.) Gyorsulási függvényként a program adatbázisában lévő Bucuresti-1986-EW adatsort fogjuk alkalmazni. támaszgyorsulás



Dinamikus



Kattintsunk a Dinamikus csomóponti támaszgyorsulás ikonra, majd válasszuk ki a földszinti oszlopok támaszait.

Megjegyzés: ha egy parancs aktív, akkor a felhasználótól várt adatokról a képernyő bal alsó, kékesszürke sávban kapunk tájékoztatást:



Fogadjuk el a kijelölést, ekkor megjelenik a Dinamikus csomóponti támaszgyorsulás ablak.

Dinamikus csomóponti támaszgyorsulás X								
Oefiniálás	O Módosítás							
Irány	irányú a	×	az a _x					
	Dir	namikus teherfüggvén	/ek					
$a_{\chi} [m/s^2] = 0$	~ <	->	v 🛩 🛌 🗸					
a _Y [m/s ²] = 0	~ <	->	v 🛩 📐					
a _Z [m/s ²] = 0	~ <	->	<mark>∽</mark> 📽 📐					
Felvesz »		OK	Mégsem					

Betöltés könyvtárból

Definiáljunk globális **x** irányú földrengési gyorsulást. Az **ax [m/s2]** sorában kattintsunk a **Teherfüggvények** ikonra a program adatbázisában lévő függvény betöltéséhez. A megjelenő **Teherfüggvények** könyvtárban a bal oldali listából válasszuk ki a **Bucuresti-1986-EW** földrengési adatsort, ekkor a kiválasztott függvény diagramja megjelenik a jobb oldali ábrán. A görbére felírt számértékek az adatsor főbb minimális, maximális értékeit mutatják.

Teherfüggvények könyvtára	
Dinamikus teherfüggvények	Bucuresti-1986-EW
Bucuresti-1986-E45N Bucuresti-1986-PW Bucuresti-1986-N45W EI-Centro-1940-NS EI-Centro-1940-NS EI-Centro-1940-SJ EI-Centro-1940-SJ EI-Centro-net Mexico-1985-NS Vrancea-1977-SS Vrancea-1977-NS Vrancea-1977-NS Vrancea-1977-SJ	Teherszorzó 1.0913 0.7161 0.4838 0
	0 20.42000 OK Mégsem

Ez az adatsor az 1986-os bukaresti földrengés Kelet-Nyugat irányú földrengési adatsorát tartalmazza. A földrengés adatsora állandó, **0.02 s**-os időlépéshez tartozó adatokat tartalmaz, a teljes gerjesztés időtartama: **20,42 s**. Az adatsor mértékegység nélküli – ún. teherszorzó függvény, a maximális függvény érték: **1.0913**. A számításban figyelembe veendő támaszgyorsulást úgy kapjuk meg, hogy a betöltött adatsort meg kell szorozni az adott irányban megadott (konstans) gyorsulási értékkel. Erre egy konstans gyorsulási paramétert állíthatunk be a programban. Ahhoz, hogy visszakapjuk az eredeti földrengésnél rögzített értékeket, a gyorsulásnál adjunk meg **1 m/s²** -es értéket. Ezt a következő lépésben állítjuk be:

Zárjuk be az ablakot, **OK**-val fogadjuk el a kiválasztott teherfüggvényt. Az **ax [m/s²]** melletti mezőben pedig adjuk meg a gyorsulás konstans értékét: **1.00 [m/s²]**. (Ezzel a konstans paraméterrel a földrengési vagy egyéb típusú függvényt "skálázni" is tudjuk az eredeti adatsor módosítása nélkül.)

Din	Dinamikus csomóponti támaszgyorsulás X								
	Oefiniálás	O Mód	losítás						
	Irány ④ Globális ○ Referend Referen	cia irányú ncia		v Z v Dinamikus teherfüggvé	a _z	a _y a _x			
	a _X [m/s ²] =	1.00	~	Bucuresti-1986-EW	\sim	🖻 📐			
	a _Y [m/s ²] =	0	~	<->	~	🗳 📐			
	a _Z [m/s ²] =	0	~	<->	~	🖻 📐			
	Felvesz »]		ОК		Mégsem			

A síkbeli keretünkhöz most csak globális **x** irányú támaszgyorsulást definiálunk, zárjuk be az ablakot az **OK** gomb megnyomásával (feladatunkban a keret síkbeli viselkedését vizsgáljuk csak). A modell támaszainál a beállított terhelést az ábrán látható talpas nyíl jelzi, a felette lévő érték a konstans gyorsulási értéket jelzi.



Megjegyzés: A felhasználó megadhat egyedi függvényt is, erre a **Függvényszerkesztő** funkcióban van lehetőség. Az egyedi függvények elmenthetők, későbbi modellekben betölthetők ugyanúgy, mint a program adatbázisából felvett földrengés adatsor. Illetve a betöltött függvények adatai is szerkeszthetők, a módosított adatsor elmenthető az adatbázisba. A funkció használatára a későbbiekben térünk ki.

DinamikusMásodik lépésben definiáljunk SZINUSZ hullámot követő támaszgyorsulási függvényt. Válasszuk ki a DIN-
SIN teheresetet, majd ismét aktiváljuk a Dinamikus csomóponti támaszgyorsulástámaszgyorsulása támaszokat.



Függvényszerkesztő

 \mathbb{N}

,

Egyszerű függvényeket (pl.: sin, exp, sqrt, stb..) a program **Függvényszerkesztő**jében könnyen megadhatunk paraméteres képlet segítségével. Globális **x** irányú gyorsulást figyelembe véve aktiváljuk a **Függvényszer-***kesztő* ikont.

<u>×4</u>	Dinar	nikus	teherfi	üggvéi	ny-szer	kesztő							-		2	×
+	×	8	â	f(t)	4	8	1	0	<egyedi></egyedi>	✓ ABC		¥	ОК	1	/légsen	۱
		t [s]		f(t)						Tehersz	orzó					
	1		0		0	t										
															-	
					- 1										-	τįsj



A **Függvényszerkesztő** ablak felső ikonsorában válasszuk ki a **Képlet megadása** ikont. Arra kattintva a megjelenő ablakban definiáljunk harmonikus - sin hullám alakú gerjesztést.



A képletet "*t*" paraméter függvényében kell megadnunk, ügyelve a zárójelezésre, műveleti szabályokra. A következő képletet adjuk meg az *f(t)* melletti mezőben: **sin(.5*6.28*t)**, a **sin (2*_P/T*t)** formula alapján a

A kovetkező kepletet adjuk meg az *f(t)* melletti mezőben: sin(.5*6.28*t), a sin (2*p/1*t) formula alapjan a harmonikus függvény periódusideje T=2 s, azaz a frekvenciája f=0,5 Hz lesz.

A képletben alkalmazható operátorokról a **Felhasználói kézikönyv 4.10.28**-as fejezetében találhatunk bővebb tájékoztatást. A program a függvényt diszkretizálja, ehhez meg kell adnunk az időlépcsőt (**Dt=0.01 s**) és a gerjesztés időbeli hosszát (**Tmax=10 s**). Az ablakot zárjuk be az **OK** gomb megnyomásával, ezzel elfogadjuk a módosítást és visszalépünk a **Dinamikus teherfüggvény-szerkesztő** ablakba.

<u>×4</u> D	inam	ikus teherfi	üggvény-s	szerke	sztő							-		×
+	×	b (2)	f(t) 🛔	-	b 🗊 f	Egyedi>	. 、	ABC 📘	I 🛩		0	К	Mégse	m
		t [s]	f(t)	^				Tehers	szorzó					
1		0	0		1.0000	1.0	000	1.0000		0.9999		0.9999		
2		0.01000	0.0314		îΛ	1	γ	$-\Delta$		$-\Delta$		$-\Delta$		
3		0.02000	0.0628		$ \rangle \rangle$	(1	-1		-1		(Λ)		
4		0.03000	0.0941		H			-++		-++		+		
5		0.04000	0.1253		$ \rangle$							$1 \downarrow$		
6		0.05000	0.1564		$ \rangle$			1		-1		$1 \downarrow$		
7		0.06000	0.1873					+ +				1 1		
8		0.07000	0.2180		$H \rightarrow 1$	((-)		$1 \rightarrow$		I = 1		
9		0.08000	0.2486			1		\downarrow				1 1		
10		0.09000	0.2789					1		1				
11		0.10000	0.3089			1		1 1		1 1				
12		0.11000	0.3386		[]]]	0.0080					_
13		0.12000	0.3679					5.00	000					t[s]
14		0.13000	0.3970							1 1	- 1		1	1
15		0.14000	0.4256											1
10		0.15000	0.4538			1 1	1		1				1	1
1/		0.10000	0.4815											1
10		0.17000	0.5060								$\left\{ \right\}$		+	Н.,
20		0.10000	0.5550			$\lambda = 1$			1 + 1				1	
20		0.20000	0.5010			\mathcal{A}	1 1		11		$\{ \mid l \mid$		$\left\{ 1 \right\}$	
22		0.21000	0.6126			+ $+$ $-$			$\rightarrow +$		+ +		++	
23		0.22000	0.6372			Λ			$\rightarrow 1$		$\Lambda =$		$\rightarrow I$	
24		0.23000	0.6610			\mathcal{M}			-V		\mathcal{N}^{-}		-V	
25		0.24000	0.6843	~		-1.0000	-1.0000		-1.0000		-0.9999		-0.9999	н ⁶ —

Az ablak jobb oldalán láthatjuk a megadott függvényt, bal oldali táblázatban pedig a függvény diszkretizált adatsorát a beállított időlépcső figyelembevételével. A görgető sáv használatával a függvény teljes adatsorát végig tudjuk nézni.

Zárjuk be teherfüggvény-szerkesztő ablakot, ekkor egy újabb ablak ugrik fel, amely felkínálja a megadott teherfüggvény elmentését. Mentsük el a függvényt **SIN** névvel.

?	Új dinamikus teherfüggvény Adja meg a teherfüggvény nevét!
	Név SIN
	<u>O</u> K <u>M</u> égsem

A **Dinamikus támaszgyorsulás** beállító ablakában a teherfüggvényhez rendeljük hozzá a konstans gyorsulás értéket, ez feladatunkban legyen **0.75 m/s²** értékű.

Dinamikus csomóponti ta	ámaszgyorsulás	×
Oefiniálás	O Módosítás	
Irány ④ Globális ○ Referencia irá Referencia	inyú 🗸	z az ay
	Dinamikus teher	függvények
a _X [m/s ²] = 0.75	✓ SIN	🗸 🚔 🗸
$a_{\gamma} [m/s^2] = 0$	~ <->	✓ 🚔 📐
a _Z [m/s ²] = 0	✓ <->	A = A
Felvesz »	OK	Mégsem

Zárjuk be az ablakot az **OK** gomb megnyomásával. A modell támaszainál a beállított terhelést az alábbi ábrán látható talpas nyíl jelzi, a felette lévő érték a beállított konstans gyorsulási érték.



Csomóponti teher

ሑ

Ezt követően definiáljuk az ipari gépek dinamikus hatását. A globális **y** tengely körül forgó mozgást végző gépek gerjesztésének modellezéséhez alkalmazzunk időben változó csomóponti terhet. Ezeket rendeljük a **24**, **25** és **26**-os sorszámú csomópontokhoz. A példában egyidejűleg három gép, azonos fázisú mozgását szimuláljuk.



Dinamikus csomó	ponti terhek		×
Oefiniálás	O Mód	osítás	
Irány ④ Globál ○ Refere Refer	is ncia irányú encia	×	
		Dinamikus teher	függvények
F _X [kN] =	0 ~	<statikus></statikus>	✓
F _Y [kN] =	0 ~	<statikus></statikus>	✓
F _Z [kN] =	0 ~	<statikus></statikus>	✓
M _X [kNm] =	0 ~	<statikus></statikus>	🗸 🛥 🗸
M _Y [kNm] =	0 ~	<statikus></statikus>	🗸 🚘 🧹
M _Z [kNm] =	0 ~	<statikus></statikus>	🗸 🛥 🗸
Felvesz »		ОК	Mégsem

Válasszuk ki a **DIN-GÉP** teheresetet. Kattintsunk a **Csomóponti teher** ikonra, majd jelöljük ki a fent ismertett három csomópontot. A kijelölés befejezése utána a következő ablak jelenik meg:

Feladatunkban az időben változó eredő erőt globális **x** illetve **z** irányú erőkomponensekkel modellezzük. A komponensekhez két eltérő, de összehangolt függvényt kell hozzárendelni, úgy hogy eredő erő állandó legyen: ehhez az **x** irányú erőnél **cos** függvényt, az **y** irányban pedig **sin** függvényt alkalmazunk. A terhelést úgy állítottuk elő, hogy a teherfüggvény az elején monoton, lineárisan növekvő, a közbülső időintervallumban tiszta harmonikus **hullám** (**sin** és **cos**), a végén pedig egy lecsengő, monoton csökkenő szakasszal zárul. A függvényeket az adatsor bonyolultsága miatt **Excel** táblázatkezelőben állítottuk elő **0,01 s** időlépéssel, a teljes időtartam pedig **25 s**. A **sin** és **cos** függvények maximális amplitúdója **1.00** egység, a periódusidő **1,2 s**. A példához szükséges adatsor mellékelt Excel file-ban található. Az fentiek alapján előállított függvények görbéje a következő:



Definiáljuk az Fx és Fz csomóponti erők teherszorzó függvényeit egyenként.

A mesterségesen előállított adatokat (idő és érték oszlopa) másoljuk be a **Függvényszerkesztő** celláiba. Ezt úgy tudjuk megtenni, hogy a 2. adatsortól kezdődően jelöljük ki az adatsort, majd másoljuk a vágólapra (**Ctrl+c**). Ezt követően lépjünk a **t=0 s** cellájához és **Ctrl+v** billentyűkombináció alkalmazásával illesszük be azokat. Figyeljünk arra, hogy a **t=0 s** adatsort ne másoljuk, mert az első cella beillesztéssel nem írható felül. A beillesztés után a jobb oldali ablakban azonnal megjelenik a felvett függvény, ezt hasonlítsuk össze az **Excel** táblázatban szereplő görbével.

A felvett teherfüggvényeket mentsük el **M_cos** (*x* irány) és **M_sin** (*z* irány) névvel. Konstans teher értéknek állítsunk be **7 kN**-t mindkét komponenshez - *Fx*, *Fz* (a dinamikus hatás a beállított teherfüggvény és konstans teherérték szorzata lesz).

Dinamikus csomóp	onti terhek		×
Oefiniálás	O Módo	sítás	
Irány ④ Globáli ○ Referer Refere	s ncia irányú encia	×	
		Dinamikus teh	erfüggvények
F _X [kN] =	7.00 ~	M_cos	✓ ✓
F _Y [kN] =	0 ~	<statikus></statikus>	🖌 🚔 🗸
F _Z [kN] =	7.00 ~	M_sin	✓ 🚔 📐
M _X [kNm] =	0 ~	<statikus></statikus>	✓ 🚔 📐
M _Y [kNm] =	0 ~	<statikus></statikus>	✓ 🚔 📐
M _Z [kNm] =	0 ~	<statikus></statikus>	🖌 🚔 🗸
Felvesz »		O	K Mégsem

Zárjuk be az ablakot az **OK** gombbal. A csomópontoknál a megadott terhelést a globális \mathbf{x} és \mathbf{z} irányú nyilak jelzik, a nyilak mellett lévő számérték a konstans teher érték.



A középső gép által okozott terhelést növeljük meg. Kattintsunk a teherre és **Fx**, **Fz** értékét módosítsuk **10 kN**-ra. A következő eredményt látjuk a **Dinamikus csomóponti terhek** ablak bezárása után:



Megjegyzés: az előzőekben egy lehetséges megoldási módot mutattunk be a forgó mozgást végző gép dinamikai hatásának modellezésére. A konkrét gép dinamikus hatásának modellezéséhez minden esetben kérjük ki a gyártó cég állásfoglalását és adatszolgáltatását!



Válasszuk ki a DIN-LÖKÉS teheresetet, és kattintsunk a Csomóponti teher ikonra. Jelöljük ki a fenti ábrán jelölt csomópontokat, majd az OK-val fogadjuk el a kijelölést. Az adatmegadás a korábban ismertetett eljáráshoz hasonló elven működik: először definiáljuk a teherfüggvényt, majd a konstans erő nagyságát adjuk meg.

4

Végezetül vegyünk fel a 9., 13. és 17. számú csomópontokban alkalmazzunk időben változó nagyságú

Függvényszerkesztő

Globális **x** irányú hatást kiválasztva kattintsunk a **Függvényszerkesztő** ikonra, és a következő adatsor szerint definiáljuk az egyedi teherfüggvényt:

	t [s]	f(t)
1	0	0,00
2	0,1	1,00
3	1,5	1,00
4	4,0	0,00

A törtvonalú függvényt a töréspontokhoz tartozó értékek megadásával definiáljuk. Elegendő csak a töréspontokat definiálnunk, a közbülső értékeket a program elő tudja állítani lineáris interpolálással a dinamikai számításnál beállított időlépcső alapján (ld. később).

Az adatokat lépésenként, új adatsorok beszúrásával ("+" ikonra kattintva) és a megfelelő számértékek beírásával tudjuk megadni. Végeredményként az alábbi függvényt kapjuk:



A teherfüggvény maximális értéke **1** egység, a maximális erő nagyságát majd a teher megadásával érdemes beállítani (ezzel növelni vagy csökkenteni is tudjuk a terhet a függvény módosítása nélkül). Az adatmegadás után zárjuk az ablakot **OK** gomb megnyomásával, a felvett függvényt pedig mentsük el **LÖKÉS** névvel.

Megjegyzés:

Ha olyan teherfüggvényt veszünk fel, melynél a **0**-ik időlépésben a függvény értéke nullától különböző, akkor a program a **0** időlépéshez tartozó terhet statikus teherként működteti a szerkezeten! Ebben az esetben az alábbi figyelmeztetést kapjuk a függvény elmentése előtt:

?	Figyelmeztetés A dinamikus teherfüggvény t=0 időponthoz tartozó értéke statikus teherként rákerűl a szerkezetre. Ez földrengésvizsgálatnál instabilitást okozhat.
	Módosítja f(0) értékét?
	<u>I</u> gen <u>N</u> em

A függvény mentése után a Dinamikus csomóponti terhek ablak jelenik meg újra:



 \wedge

Dynamic nodal loa	ads			×
Oefine	O Modi	fy		
Direction Global Refere Refere	ntial	~		My Y & Mx
		Dynamic Ioa	d functions	
F _X [kN] =	10 ~	SHOCK	~	🗳 📐
F _Y [kN] =	0 ~	<static></static>	~	🗳 📐
F _Z [kN] =	0 ~	<static></static>	~	🗳 📐
M _X [kNm] =	0 ~	<static></static>	~	🗳 📐
M _Y [kNm] =	0 ~	<static></static>	~	🖻 📐
M _Z [kNm] =	0 ~	<static></static>	~	🖻 📐
Pick up »			ОК	Cancel

A konstans teher értéket állítsuk be **10 kN**-ra, majd *OK*-val nyugtázzuk a módosítást. A csomópontoknál a megadott terhelést a nyíl jelzi, a felette lévő érték a konstans teher érték.

Változtassuk meg a 17-es és 9-es csomópontokban felvett teher értékét.

A **17**-es számú csomópontban növeljük meg a teher nagyságát. Kattintsunk a terhet jelképező erőre és felugró ablakban módosítsuk a konstans **Fx** teherértéket **15 kN**-ra.

Ehhez hasonló módszerrel csökkentsük a terhet a **9**-es csomópontban, az **F**x értékét módosítsuk **5 kN**-ra. A következő eredményt láthatjuk a modellen:



Geometria Ele	emek Terhek	Háló	Statika	Kihajlás	Rezgés	Dinamika	Vasbetontervezés	Acéltervezés	Fa méretezés	
<u>"hot</u> 🙏					•	-	-		~	=max min

Rezgésvizsgálat

″∩∵t

Lépjünk át a **Rezgés** fülre és végezzük el a szerkezet rezgésszámítását, melynek több szerepe van. A rezonancia elkerülése érdekében megvizsgálhatjuk, hogy a gerjesztési frekvenciák hogyan viszonyulnak a sajátfrekvenciákhoz. Emellett a dinamikai számításban alkalmazott Rayleigh-féle csillapítási állandókat majd a domináns rezgésalakok alapján tudjuk behangolni.

Kattintsunk a *Rezgésvizsgálat* ikonra, ekkor az alábbi ablak jelenik meg:

Rezgésvizsgálat	×
Elsőrendű rezgés Másodrendű rezgés	Konvergencia kritériumok
	Sajátérték konvergencia 1E-10
	Sajátvektor konvergencia 1E-5
megoszio tener	Diafragma
È Teherkombinációk 	Födémek konvertálása diafragmává
2.Tk	Merevségcsökkentés válaszspektrum-analízishez
	Eredeti merevség Csökkentett merevség <u>Merevségcsökkentés</u>
	Számítás megnövelt támaszmerevségekkel
	Tömegek
1/5	Figyelembe vett tömegkomponensek
Meghatározandó rezgésalakok száma 9 😭	Tömegmátrix típusa
Terhek átalakítása tömegekké Koncentrált tömenek figyelembevétele	 Diagonális Konzisztens (csak indokolt esetben)
Koncentrált tömegek átalakítása teherré	Figyelembe veendő tömegek
○ Csak tõmegek figyelembevétele	 Minden tömeg Z magasság felett
 Szerkezeti tömég rigyelembévétéle Tömegek átalakítása teherré 	O Választott szint felett
	OK Mégsem

Az ablak bal felső részén kiválaszthatjuk, hogy milyen vizsgálatot végzünk. Választhatunk **Első-** és **Másodrendű rezgés** között. Mindkét típusú vizsgálathoz válasszuk a **Másodrendű rezgés**t.

Megjegyzés: a számítás figyelembe veszi az elemekben fellépő nyomó-húzóerők hatását a szerkezet merevségére. A rezgésalakok meghatározásakor a húzóerők merevségnövelő, a nyomóerők merevség-csökkentő hatásúak. Ez a hatás befolyásolja a szerkezet rezgési viselkedését. Ennek megfelelően magát a rezgés-vizsgálatot egy statikai vizsgálat előzi meg.

A beállított **teheresetet/kombinációt** fogja a számítás a rezgésvizsgálatban alapul venni, az abban lévő terheket tömegekké tudjuk konvertálni. A rezgés típusa alatti listában a program automatikusan kiválasztja az **önsúly** statikus teheresetet. Ezt módosítanunk szükséges. Korábban említettük, hogy a bemutató példánkban kétféle rezgésvizsgálatot végzünk a dinamikai tehert típusától függően. Az első vizsgálatnál az **1. Tk**-ot válasszuk ki, majd az eltérő tömegkomponens beállítással a **2. Tk**-ot.

A modellünk **tömegeket nem tartalmaz**, ezért automatikusan felkínálja a **Terhek átalakítása tömegekké** opciót.

A **Meghatározandó rezgésalakok számá**t állítsuk **12**-re az első vizsgálatnál (**1. Tk**), a másodiknál pedig **30**-ra. (Szerkezetünknél a függőleges összetevő bekapcsolása több rezgésalak kiszámítását igényli. A fő rezgésalak mellett sok, kisebb tömegrészesedésű alak is meg fog jelenni – Id. később a rezgéseredményeknél.)

Az Iterációk maximális számánál vegyünk fel 30-at mindkét esetben.

Az első vizsgálatnál csak **x** irányú tömegkomponenst vegyünk figyelembe (globális x-z síkban lévő keretet vizsgálunk, a gerjesztés **x** irányú). A második esetben jelöljük meg az m_z tömegkomponenst is.

Állítsuk be az adatokat az alábbi ábra szerint, majd az **OK** gombra kattintva indíthatjuk el az analízist. Az első számítás futtatása után állítsuk be a második paramétereit és végezzünk új analízist.

Első vizsgálat beállításai:

Elsőrendű rezgés Másodrendű rezgés	Rezgésvizsgálat	×
1/5 Figyelembe vett tömegkomponensek 1/5 m _X m _Y m _Z 1/5 m _X m _Y m _Z 1/5 Ö Terhek åtalaktåsa tömegekké 6 Koncentrålt tömegek figyelembevétele 6 Koncentrålt tömegek átalaktåsa teherré	Elsőrendű rezgés Másodrendű rezgés	Konvergencia kritériumok Iterációk maximális száma 30 Sajátérték konvergencia 1E-10 Sajátvektor konvergencia 1E-5 Diafragma Födémek konvertálása diafragmává Merevségcsökkentés válaszspektrum-analízishez © Eredeti merevség © Csökkentett merevség © Számítás megnövelt támaszmerevségekkel
 ○ Csak tömegek figyelembevétele ○ Szerkezeti tömeg figyelembevétele ○ Tömegek átalakítása teherré ○ Választott szint felett 	1/5 Meghatározandó rezgésalakok száma 12 © Terhek átalakítása tömegekké Koncentrált tömegek átalakítása teherré Csak tömegek figyelembevétele Szerkezeti tömeg figyelembevétele Tömegek átalakítása teherré	Tömegek Figyelembe vett tömegkomponensek

Második vizsgálat beállításai:



A számítás közben nyomon követhetjük a rezgésalakok frekvenciáit és a leglassabban konvergáló alak hibáját az iterációk függvényében:



A számítások után nézzük végig a meghatározott rezgésalakokat, mindkét vizsgálatnál (**1.** és **2. Tk**). Az első és második vizsgálat eredményei a vízszintes irányú rezgésalakok tekintetében közel azonos, a függőleges irányú rezgésalakok a nagyobb frekvenciájú módusokban jelennek meg (**5-30**).

A kétféle vizsgálat alapján az első öt rezgésalak lesz a domináns, az alábbiakban ezek eredményeit mutatjuk. Az alakokhoz tartozó főbb adatok az **Infó-palettá**n láthatók.



1. rezgésalak (1. Tk alapján):

2. rezgésalak (1. Tk alapján):



3. rezgésalak (1. Tk alapján):



4. rezgésalak (1. Tk alapján):



5. rezgésalak (2. Tk alapján):



Táblázatkezelő

A **Táblázatkezelőt** megnyitva az egyes **Rezgésalakok tömegrészesedése** is megtekinthető az összes alakot magába foglaló táblázatban, melyet mindkét rezgésvizsgálatra lekérdezhetjük:

Az 1. Tk-nál beállított paraméterek alapján:

Eáji Szerkesztés F <u>o</u> rmátum <u>D</u> okumentáció <u>S</u> úgó	+ >	< 🖻 💼										
Eredmények	Rezgé	salakok töm	egrészesed	lése (II.) [1. Tk]								
Aásodrendű rezgés		f [Hz]	T [s]	Hiba	εγ	٤٧	٤7	Σιεγ	Σιεγ	Σ, ε,	Akté	,
	1	1 12	0.894	3.65E-12	0 799	. 0	~ 0	0.799	0			,
Sajattrekvenciak (12)	2	3,19	0.313	6.39E-13	0.147	ů ů	0	0.946	0	0	j ,	1
Rezgésalakok tömegrészesedése (12)	3	6.12	0.163	1.35E-13	0.047	0	0	0.993	0	0	ΰ,	1
Megmozgatott tömegek (12)	4	9.09	0.110	6.65E-14	0.005	0	0	0.998	0	0	۰ د	/
- 1. alak (1.12 Hz)	5	19.19	0.052	2.42E-12	0	0	0	0.998	0	0) •	1
2. alak (3.19 Hz)	6	21.29	0.047	6.26E-11	0	0	0	0.998	0	0) •	1
- 3. alak (6.12 Hz)	7	23.57	0.042	1.22E-10	0	0	0	0.998	0	0) •	1
- 4. alak (9.09 Hz)	8	24.90	0.040	3.34E-10	0	0	0	0.998	0	0) •	(
- 5. alak (19.19 Hz)	9	36.53	0.027	1.44E-7	0	0	0	0.998	0	0) .	(
- 6. alak (21.29 Hz)	10	40.16	0.025	9.44E-7	0	0	0	0.998	0	0)	
- 7. alak (23.57 Hz)		40.02	0.022	5.4/E-0	0	0	0	0.998	0			
- 8. alak (24.90 Hz)	12/12	40.27	0.022	0.032-0	0.009	0	0	0.996	U	U	,	-
9. alak (30.35 Hz)					0.330	v						
										ОК	Mégs	em

A 2. Tk-nál beállított paraméterek alapján:

láblázatkezelő										- 0	
Szerkesztés Formátum Dokumentáció Súg	ó										
- 5. alak (19.19 Hz)	+ >	< 🗈 💼	EB 🚔	R 1							
- 6. alak (21.29 Hz)				- 100							
- 7. alak (23.57 Hz)	Rezge	salakok töm	egrészesed	ese (II.) [2. 1k]							
- 8. alak (24.90 Hz)		f [Hz]	T [s]	Hiba	εv	ξų	٤	Σεν	Σεν	Σ.ε.,	Ak
- 9. alak (36.53 Hz)	<u> </u>	1.12	0.004	4.445.10	-^-	-1	-2	-1-X		-1-2	_
- 10. alak (40.16 Hz)		1.12	0.894	4.44E-12	0.799	0	0	0.799	0	0	_
- 11. alak (45.52 Hz)	2	3.19	0.314	5./9E-13	0.140	0	0	0.945	0	0	
- 12. alak (46.27 Hz)		6.10	0.164	1.59E-13	0.047	0	0	0.992	0	0	
– Összes rezgésalak (12)	4	9.06	0.110	6.40E-14	0.005	0	0	0.997	0	0	
🗄 2.Tk		9.20	0.109	5.56E-14	0	0	0.769	0.997	0	0.769	
– Sajátfrekvenciák (30)	0	9.85	0.101	5.14E-14	0	0	0	0.997	0	0.769	
 Csomóponti tömegek 		10.22	0.098	2.02E-14	0	0	0.013	0.997	0	0.782	
Rezgésalakok tömegrészesedése (30)	8	11.73	0.085	4.0/E-14	0	0	0.021	0.997	0	0.803	
Megmozgatott tömegek (30)	9	12.00	0.083	3.30E-14	0	0	0	0.997	0	0.803	
- 1. alak (1.12 Hz)	10	12.28	0.081	6.33E-14	0	0	0.023	0.997	0	0.826	
- 2. alak (3.19 Hz)	11	13.08	0.076	1.60E-14	0	0	0.006	0.997	0	0.832	
- 3. alak (6.10 Hz)	12	13.31	0.075	3.02E-14	0	0	0.013	0.997	0	0.845	
- 4. alak (9.06 Hz)	13	13.41	0.075	3.69E-14	0	0	0	0.997	0	0.845	
- 5. alak (9.20 Hz)	14	14.12	0.071	3.01E-14	0	0	0	0.997	0	0.845	
- 6. alak (9.85 Hz)	15	14.73	0.068	3.66E-14	0	0	0	0.997	0	0.845	
- 7. alak (10.22 Hz)	16	14.95	0.067	3.21E-14	0	0	0.052	0.997	0	0.897	
- 8. alak (11.73 Hz)	17	15.88	0.063	2.64E-14	0	0	0	0.997	0	0.897	
- 9. alak (12.00 Hz)	18	17.83	0.056	2.53E-14	0	0	0.022	0.997	0	0.919	
- 10. alak (12.28 Hz)	19	19.27	0.052	2.54E-14	0	0	0	0.997	0	0.920	
- 11. alak (13.08 Hz)	20	21.30	0.047	2.68E-14	0	0	0	0.997	0	0.920	
12. alak (13.31 Hz)	21	21.51	0.046	1.75E-14	0	0	0	0.997	0	0.920	
- 13. alak (13.41 Hz)	22	23.47	0.043	7.22E-14	0	0	0.005	0.997	0	0.924	
14. alak (14.12 Hz)	23	24.43	0.041	1.00E-13	0	0	0.018	0.997	0	0.943	
- 15. alak (14.73 Hz)	24	25.44	0.039	3.22E-13	0	0	0.023	0.997	0	0.966	
16. alak (14.95 Hz)	25	29.80	0.034	9.12E-10	0	0	0	0.997	0	0.966	
17. alak (15.88 Hz)	26	30.64	0.033	2.88E-9	0	0	0	0.997	0	0.966	
18. alak (17.83 Hz)	27	30.99	0.032	3.86E-9	0	0	0	0.997	0	0.966	
- 19. alak (19.27 Hz)	28	34.89	0.029	4.28E-6	0	0	0.001	0.997	0	0.966	
- 20. alak (21.30 Hz)	29	35.38	0.028	4.88E-6	0	0	0	0.997	0	0.966	
- 21. alak (21.51 Hz)	30	35.75	0.028	2.77E-6	0	0	0	0.997	0	0.966	
22. alak (23.47 Hz)	30/30				0.997	0	0.966				
										ок	Mé

A bal oldali fában ki tudjuk választani a **Sajátfrekvenciák** megjelenítését is, ekkor a táblázatban láthatjuk a kiszámított sajátfrekvenciákat, periódusidőt, körfrekvenciát és az egyes alakokhoz tartozó hibát az alábbi összefoglaló táblázatban:

1. rezgésszámítás eredménye:

🚨 Táblázatkezelő						—	
<u>F</u> ájl Szerkesztés Formátum <u>D</u> okumentáció S	Súgó						
DIN-GÉP (3) DIN-LÖKÉS (3) Toborrotek (7)	^	+ Saia	× 🗈 🗈	🖪 🗐 🧲]	
Mértékadó tehercsoport-kombinációk (1) Egyedi teherkombinációk			f [Hz]	T [s]	ω [rad/s]	S.é.	Hiba
Függvények		1	1.12	0.894	7.03	49.39	3.65E-12
		2	3.19	0.313	20.06	402.23	6.39E-13
Eredmények		3	6.12	0.163	38.47	1479.59	1.35E-13
Másodrendű rezgés		4	9.09	0.110	57.14	3264.77	6.65E-14
- 1.Tk		5	19.19	0.052	120.59	14541.83	2.42E-12
		6	21.29	0.047	133.79	17899.42	6.26E-11
Csomóponti tömegek		- 7	23.57	0.042	148.12	21940.76	1.22E-10
Rezgésalakok tömegrészesedése (12)		8	24.90	0.040	156.48	24486.54	3.34E-10
- Megmozgatott tömegek (12)		9	36.53	0.027	229.49	52667.25	1.44E-7
		10	40.16	0.025	252.30	63657.65	9.44E-7
2. alak (3.19 Hz)		11	45.52	0.022	285.99	81788.66	5.47E-6
- 3. alak (6.12 Hz)	~	12	46.27	0.022	290.75	84535.94	6.83E-6
						ОК	Mégsem

Feladatunkban az **1. Tk** alapján az első négy rezgésalak a domináns, a függőleges tömegkomponenst is figyelembe véve (**2. Tk**) pedig az első **5** alak. A csillapítási állandók felvételét egy meghatározott frekvencia tartományra hangoljuk, melynek határai a domináns alakok legkisebb és legnagyobb frekvenciája:

- az 1. Tk alapján a legkisebb frekvencia 1,12Hz, a legnagyobb pedig f=9.09Hz,
- a 2. Tk a legkisebb frekvencia 1,12Hz, a legnagyobb pedig f=9.20Hz.

Geometria	Elemek	Terhek	Háló	Statika	Kihajlás	Rezgés	Dinamika	Vasbetontervezés	Acéltervezés	Fa méretezés	
° <mark>₩₩</mark> •t					Ŧ			· ·		~	

Dinamikai számítás

Γ<mark>φφγ</mark>•τ

A rezgésszámítás után térjünk át a dinamikai vizsgálatra, váltsunk át a **Dinamika** fülre. Kattintsunk a **Dinamikai számítás** ikonra és végezzük el a számítást mind a négy dinamikus teherestre, a beállításoknál a következőket vegyük figyelembe:

Teheresetek:

A program a sorban legelső, **önsúly** teheresetet választotta ki automatikusan. Ezt állítsuk át a szükséges teherkombinációra! A dinamikai hatás mellett működtessük a szerkezeten az **1. Tk** statikus terheit mindegyik dinamikus hatásnál. (A rendelkezésre álló két teherkombináció ugyanazt a teher összeállítást tartalmazza. A **2. Tk**-ra csak a rezgésszámításnál volt szükségünk, hogy a dinamikai tehernek megfelelő rezgésalakokat meghatározzuk.)

Megjegyzés: ha nincs kijelölve statikus tehereset/ kombináció, úgy csak a szerkezeti tömeget vehetjük figyelembe, vagy a megadott tömegeket kovertálhatjuk terhekké.

Ez alatt válasszuk ki a futtatni kívánt **Dinamikus tehereset**et is, majd mind a négy teheresetre végezzük el a számítást.

Megoldásvezérlés:

Az időnövekmény beállítása függ az adott gerjesztéstől és a szerkezet válaszától is, azt a rezgésben előforduló legnagyobb frekvencia függvényében tudjuk behangolni. Figyeljünk arra, hogy az időnövekmény növelése kihat az eredmények minőségére és pontosságára is, a kapott eredmények numerikus hibája növekszik.

Az időnövekmény a teherfüggvénynél megadott időlépcsőtől eltérhet, a program lineáris interpolálással határozza meg a szükséges közbülső értékeket.

Az eredmény ellenőrzéséhez adjuk meg a modellünk egy csomópontját, ahol nagyobb/jellemző elmozdulás várható. Tájékoztatásként ennek a pontnak a meghatározott irányú mozgását, sebességét, gyorsulását tudjuk követni a számítás futása közben grafikonokon. Állítsunk be **X** irányú komponenst, mivel ez lesz a szerkezet jellemző elmozdulásának iránya, és válasszuk ki a keretszerkezet felső **17**-es számú csomópontját.

A lineáris vagy nemlineáris egyensúlyi egyenleteket a program a **Newmark-beta** módszerrel oldja meg. A **C** mátrix meghatározása a Rayleigh csillapítási állandók segítségével történik: **C** = a**M** + b**K**, amelyben **M** a tömegmátrix és **K** a merevségi mátrix. Az "**a**" és "**b**" konstansokat a csillapítás által befolyásolt (**f**_i és **f**_j közötti) frekvenciatartomány és a csillapítási arány alapján kell felvenni.

A csillapítási függvényt az alábbi ábra magyarázza, az alkalmazandó képleteket az ábra alatt olvashatjuk.



$$\begin{aligned} a &= \xi \frac{2\omega_i \cdot \omega_j}{\omega_i + \omega_j} \\ b &= \xi \frac{2}{\omega_i + \omega_j} \\ ahol \ \xi \ a \ csillapítási arány és \ \omega_i és \ \omega_j \ az \ f_i \ -hez \ és \ f_j \ -hez \ tartozó körfrekvencia: \\ \omega_i &= 2\pi \cdot f_i \\ \omega_j &= 2\pi \cdot f_j. \end{aligned}$$

Részletes útmutatást a Felhasználói kézikönyv 5.3-as fejezetében találunk.

A csillapítási függvény paramétereinek felvétele erősen függ a domináns rezgésalakoktól, a gerjesztés típusától és frekvenciájától. Az \mathbf{f}_i -nél kisebb és \mathbf{f}_j frekvenciánál nagyobb frekvenciáknál a függvény jellegéből adódóan jelentősen nagyobb csillapítás várható, ezért annak megválasztása elsődleges a számításban, és tapasztalatot igényel.

A tényezők felvételénél a földrengés, szinuszos és lökésszerű tehernél az **1. teherkombináció** eredményeire hagyatkozunk részletes vizsgálat nélkül: az **f**_i és **f**_j frekvenciákat az **1**-es és **4**-es rezgésalak (**f**_i =**1.12 Hz** és **f**_j=**9.12 Hz**) alapján vegyük fel a vizsgálatunkban, a csillapítási arányt legyen **5%** (**x**=**0.05**). A fenti képletek eredményeként **a**=**0,6265 [1/s]** és **b**=**0.0016 s** értékeket kapunk.

A gép általi gerjesztésnél a **2. teherkombináció** eredményeit vesszük alapul: az f_i és f_j frekvenciákat az **1**-es és **5**-ös rezgésalak (f_i = **1.12 Hz** és f_j =**9.20 Hz**) alapján vegyük fel a vizsgálatunkban, a csillapítási arányt legyen **5%** (**x**=**0.05**). A beállítandó csillapítási tényezők a következők: **a**=**0,6273** [**1**/s] és **b**=**0.0015 s**.

Megjegyzés: a feladatban a csillapítási tényezők között minimális eltérést találunk, de ez függ a szerkezet merevségétől, terhelésétől, annak eloszlásától is. A példa azt demonstrálja, hogy a dinamikus teher függvényében végezhetünk egyszerűsítéseket a tömegkomponensek figyelembevételénél.

Segítségül, a felvett **f**_i és **f**_j frekvenciák alapján ábrázoltuk a beállított csillapítási függvényt (**1**. *rezgésszámítás*, a földrengés, szinuszos és lökésszerű terhekhez):



Az ábrán megjelöltük az első négy lengésalakhoz tartozó csillapítási értékeket. Az első és negyedik sajátfrekvenciánál a csillapítás megegyezik a megadott csillapítási aránnyal (**5%**), a köztes frekvenciánál az értéke ennél pedig ennél kisebb lesz, **3-4%** között.

Megjegyzés:

A csillapítási tényezők beállítása függ a dinamikus tehereset gerjesztő hatásától, annak frekvenciájától/frekvenciáitól és a szerkezet válaszától. Ennek felvétele tapasztalatot igényel, vagy a különböző beállítások hatását érdemes megvizsgálni, összehasonlítani. A szerkezet válasza, jellemző domináns rezgésalakja segítséget nyújt a csillapítási tényezők behangolásában (mely rezgésalak dominál a gerjesztés hatása során, mely sajátfrekvenciákra kell illeszteni a csillapítási függvényt).

A csillapítás számításnál a Statikus terhek és csomóponti tömegek figyelembevételét kapcsoljuk be.

Az **Eredmények mentése** szabályozható, kérhetjük minden időlépésben vagy ettől eltérő, meghatározott időközönként is.

Előzetes tesztelésnél megadhatunk nagyobb időközt is, mivel már az eredmények mentése is jelentős időt igényelhet egy bonyolultabb / nemlineáris anyagmodellt is tartalmazó feladatnál a modell méretétől függően.

A mentés időköze a numerikus hibát nem befolyásolja. Ha a mentési időközt növeljük, akkor ritkább "betekintést" kapunk a kiszámított eredményekbe, vagyis egy eredmény függvény valahányadik pontjait látjuk csak.

Kapcsoljuk be a **Terhek átalakítása tömegekké** és a **Geometriai nemlinearitás figyelembevétel rúd**, **rácsrúd-, borda-, és héjelemekre** opciókat.

Az iterációk maximális számának állítsunk be **20**-at, a konvergencia kritériumokat hagyjuk meg az alapbeállítás szerint.

Végezzük el a számításokat az instrukciók szerint, példaként az alábbit tekintsük:

Dinamikai számítás	×
Teheresetek Statikus tehereset vagy kombináció Dinamikus tehereset DIN-FR	Csomóponti tömegek © Terhek átalaklása tömegekké Choncentrált tömegek figyelembevétele Koncentrált tömegek átalakítása teherré
Megoldásvezérlés Időnövekmény [s] = 0.02000 Teljes időtartam [s] = 21.00000 21.0000 0 1050	Csak tömegek figyelembevétele Szerkezeti tömeg figyelembevétele Tomegek átalaktása teherré Tomegmátrix típusa
Követett csomópont » 17 v Irány: X v	Nemlinearitás Anyagok nemlinearitásának figyelembevétele ✓ Geometriai nemlinearitás figyelembevétele rúd-, rácsrúd-, borda- és héjelemekre
Rayleigh csillapítási állandók a [1/s] = 0.6265 b [s] = 0.0016 ☑ Statikus terhek és csomóponti tömegek figyelembevétele	Konvergencia kritériumok Iterációk maximális száma Z Elmozdulás Erő 0.001 Z Erő 0.001
Eredmények mentése	Le Munka IE-b OK Mégsem

Minden (dinamikus) teheresethez állítsuk be a szükséges időtartamot (ld. **Teljes időtartam**). Ez meghaladhatja a gerjesztési teher időtartamát, mely hasznos lehet akkor, ha a szerkezet szabad lengését is vizsgálni kívánjuk. Ebben az esetben a program figyelmeztető üzenetet ad a számítás megkezdése előtt:

?	Figyelmeztetés A beállított dinamikus tehereset némelyik teherfüggvényének az értelmezési tartománya tövidebb a vizsgálat időtartamánál. A program a függvényt a megadott tartományon túl nullának tekinti. Folytatja a számítást?
	<u>I</u> gen <u>N</u> em

A számításokat mi az alábbi idő beállításokkal végeztük:

	Gerjesztés	adatsora	Számítás			
Dinamikai teher	Dt [s]	gerjesztés idő- tartama [s]	időnövek- mény [s]	teljes idő- tartam [s]	eredmények mentése	
DIN-FR	0,02	20,42	0,02	21,00	minden lépésben	
DIN-SIN	0,01	10,00	0,01	10,00	minden lépésben	
DIN-GÉP	0,01	24,99	0,05	25,00	minden lépésben	
DIN-LÖKÉS	fv. töréspontokban	4,00	0,02	20,00	minden lépésben	

Amennyiben a számítógép kapacitása korlátozott, úgy a gyakorló példánkban szűkíthetjük a vizsgálat időtartamát, és/vagy szabályozhatjuk az eredmények mentésének időközét. Az időnövekményt csak körültekintően változtassuk, annak növelése kihathat az eredményekre, a numerikus hibát növelheti.

A szükséges beállítások után az **OK** gombra kattintva indíthatjuk el a számítást. A számítás menetéről az **Üzenetek** mezőben és a követett csomópont **aX**, **vX** és **eX** diagramjáról tájékozódhatunk.

A következőkben az eredmények kiértékelésére térünk ki.

Geometria Elemek Terhek Háló	Statika Kihajlás Rezgés	Dinamika Vasbetonter	vezés Acéltervezés	Fa méretezés	
[₽] ₩₩+t : : : : : : : : : : : : : : : : : : :	▼ eZ [m	im] 🔻	Diagram	✓ 1 ★ **********************************	₩ ¥

Eredmények értékelése A program az eredményeket a beállított időlépcső figyelembevételével határozza meg, illetve az elmentett idő intervallumban kérdezhetjük le azokat. A program az egyes időlépések eredményeit külön teheresetekbe helyezi – például: **DIN-FR [358] (7.14)**, melynek értelmezése: **DIN-FR** tehereset **358.** időlépcsője, **7.14 s**. A szokásos módon kérdezhetjük le a szerkezet igénybevételeit, eredményeit az elmentett időlépcsőkben, ezekre külön nem térünk ki. A dinamikai vizsgálatoknál az eredménykomponensek kiegészülnek a csomóponti sebesség és gyorsulás adatokkal.

Az egyes időlépcsőket a legördülő listából tudjuk kiválasztani, ha a szükséges, azok között a billentyűzet le-föl nyilaival tudunk lépegetni. A lépegetések között a képernyőn látszó eredmények is frissülnek.

(**Megjegyzés:** az egyes dinamikus teheresetek a felvett statikus tehereset/teherkombináció (itt **1. Tk**) és a gerjesztés együttes hatását tartalmazzák az adott lépcsőben/időpillanatban.



A szokásos igénybevétel lekérdezés menetére nem térünk ki a gyakorló példánkban. A továbbiakban csak néhány jellemző kiértékelési, megjelenítési módot mutatunk be.

Video készítése

A dinamikai eredmények látványos bemutatására készíthetünk videó felvételt is!

Válasszuk ki a **DIN-FR** teheresetet, az *ex* eredmény komponenst, a *Diagram* ábrázolás léptékét pedig állítsuk **4**-re. A modellt igazítsuk középre, mert az animációban a képernyőablakban elrendezése szerinti modellt fogjuk látni. Kattintsunk az *Animáció* ikonra!



A videó paramétereit a jobb alsó sarokban lévő **Paraméterek** ikonra kattintva tudjuk beállítani (lejátszás típusa: lejátszás egyirányban/ oda-vissza, fázisok száma, video file képkockáinak időtartama, stb...).

Paraméterek		×
Animáció	Videofájl	
11 O	Fázisok generálása Fázisok száma 1051 💭 🗹 Fázisonként színezés	
	Színskála-paletta Becsült (gyorsabb) Tényleges	
	OK Mégsem	1

A nagyobb felbontás érdekében az **Animáció**s ablak méretét maximalizáljuk. A fázisok generálását a bal alsó sarokban lévő **Lejátszás** ikonra kattintva indíthatjuk el.

Miután a videó képkockái elkészültek az animációt **AVI** videó, vagy animált **GIF** fájl formátumban tudjuk elmenteni. A példánkhoz mellékeltük a **DIN-FR** tehereset videóját.

A **Videofájl** mentés ikon mellett lévő csúszkával a program ablakában megjelenített animáció sebességét is szabályozni tudjuk.

Ha szükséges, úgy a fő ablakban kérhetjük az (egyes) eredmények feliratozását is, az értékek az animáción is látszódni fognak.

Diagram ábrázolás

Az eredmények kiértékelésénél hasznos segítséget nyújthat a Diagram ábrázolás funkció. A lekérdezhető eredményeket megjeleníthetjük többféle komponens függvényében (idő, növekmény, iteráció, eredmény komponens, stb...) is, illetve egy ábrán két típusú diagramot is meg tudunk jeleníteni.

Nézzünk meg néhány példát a funkció használatára!

Első lépésben ellenőrizzük a támaszok gyorsulását az idő függvényében a földrengési teheresetben. Ennek meg kell egyeznie a beállított gerjesztési függvénnyel.

A teheresetek/teherkombinációk közül válasszuk ki a **DIN-FR [1] (0)** teheresetet (ez a nulladik időlépéshez tartozó tehereset, de a függvényábrázoló a teljes időtörténeti vizsgálat eredményeit ábrázolni fogja).

Kattintsunk a Diagram ábrázolás ikonra, az alábbi Diagramrajzolás ablak jelenik meg:



Alapbeállításként a Növekmény – Idő [s] diagram függvényét láthatjuk az ablakban.

Diagram paraméterek

Állítsuk be az ábrázolandó függvényt, ehhez kattintsunk a **Diagram paraméterek** ikonra! A következő ablak jelenik meg:

Diagram ábrázolási pa	araméterek	×
✓ <u>x</u> 1-y1 diagram	✓ Töréspontok ☐ Grid	
X1 Komponens:	Növekmény Elem csomópont	•
Y1 Komponens:	Idő [s] Elem csomópont	•
□ x2- <u>y</u> 2 diagram	✓ Töréspontok Grid	
X2 Komponens:	Idő [s] Elem csomópont	~
Y2 Komponens:	Növekmény Elem csomópont	Ţ
	ОК	Mégsem

Megadhatunk két tetszőleges diagrammot, melyeket a program egy ábrán jelenít meg (az **x** és **y** koordináta tengelyeken alkalmazandó komponensek eltérőek is lehetnek).

Először csak egyetlen függvényt (**x1-y1 diagram**) jelenítsünk meg, az **1**-es jelű csomópont (támasz) gyorsulását az idő függvényében. A vízszintes tengelyen az időt vegyük fel, ehhez **X1 komponens**nek válasszuk ki az **Idő [s]** komponenst. Az **Y1 komponens**nél keressük meg a legördülő listában az **aX [m/s2]** vízszintes, globális **X** irányú gyorsulást. Ezután kattintsunk a **Csomópont** gombra és a modelltérben jelöljük meg az **1**-es számú csomópontot. Kérjük a **Töréspontok** megjelenítését, de a **Grid** (segéd háló) funkciót kapcsoljuk ki.

Diagram ábrázolási paraméterek X						
✓ <u>x</u> 1-y1 diagram	✓ Töréspontok ☐ Grid					
X1 Komponens:	Idő [s] Elem csomópont	•				
Y1 Komponens:	aX [m/s2] Csomópont »	▼ 1. cspt.				
□ x2- <u>y</u> 2 diagram	✓ Töréspontok Grid					
X2 Komponens:	ldő [s] Elem csomópont	*				
Y2 Komponens:	Növekmény Elem csomópont	T				
	ОК	Mégsem				

A módosításokat az **OK** gombra kattintva fogadjuk el.

A Diagramrajzolás ablakban a következő ábrát láthatjuk:



A legalsó, függvény alatti tengelyen (amely most az **x** tengelyen beállított időt jeleníti meg) lévő **fekete jelölő**t mozgatva láthatjuk az aktuális pozíciója szerint a függvény értékeket a diagramon feliratozva. A **zöld jelölő**k módosításával az ábrázolandó függvény tartományt tudjuk beállítani. Az alábbi ábrán a **zöld** és **fekete jelölők** mozgatásának hatását láthatjuk:



Automatikus skálázás X irányban

÷

Az ábrán megjelenített függvény tartományt "széthúzhatjuk", ha az **Automatikus skálázás X irányban** ikonra kattintunk.





A **Táblázat** ikonra kattintva a függvény mellett megjeleníthetjük a kiszámolt pontok függvény értékeit is. Ha szükséges, ezeket az adatokat vágólapra másolhatjuk további feldolgozásra (pl. Excel, adat fájlba kimentés, stb...).



Ha a táblázat valamely sorára kattintunk, úgy az ahhoz tartozó időlépéshez tartozó függvény értékhez ugrik az eredmény felirat és annak értékét jeleníti meg (az alsó tengelyen lévő fekete jelölő ekkor szürkévé válik).



Jelenítsük meg diagramon a **27**-es rúdelem **5**-ös csomópontjában az **My** nyomatéki igénybevételt az idő függvényében. Segítségül a következő ábrán jelöltük a vizsgálandó csomópontot és az ahhoz kapcsolódó rúdelemet:



Kattintsunk a Diagram paraméterek ikonra!

Az **x1-y1 diagram X1 komponens**énél jelöljük meg az **Idő**-t, **Y1 komponens**énél pedig az **My [kNm]** eredmény komponenst.

Ezt követően válasszuk ki a csomópontot (5.) és a csomóponthoz tartozó rúdelemet (27.) az alábbi instrukciók szerint:

Kattintsunk az *Elem* nyomógombra, ekkor a fő ablak jelenik meg.

Egy kattintással jelöljük ki az 5-ös csomópontot, ezt követően a program automatikusan kijelöli (lila színnel jelzi) az egyik, csomóponthoz kapcsolódó rudat – az alábbi állapotot látjuk:


A program automatikusan az **1**-es rúdelemet "felső szakaszát" jelölte meg (a rúdelemet végeselemekre osztottuk, a program a csomóponthoz közvetlenül kapcsolódó végeselemet jelöli csak ki), viszont mi a **27**-es rúdelem csomóponti igénybevételeit szeretnénk lekérdezni. A csomóponthoz tartozó rudak között a *Tab* billentyűvel válthatunk. Nyomjuk meg a *Tab* billentyűt annyiszor, hogy a kijelölés a kívánt rúdelemre váltson, most elegendő egyszer megnyomni. Végeredményként az alábbi kijelölést kapjuk:



Kattintsunk újra az 5-ös jelű csomópontra, ekkor a kijelölés befejeződik, majd a **Diagram ábrázolási paraméterek** ablak jelenik meg újra:

Diagram ábrázolási pa	araméterek	×
<mark>⊻</mark> 1-y1 diagram	✓ Töréspontok ☐ Grid	
X1 Komponens:	Idő [s] Elem csomópont	•
Y1 Komponens:	My [kNm]	•
	Elem csomópont »	5. cspt. 27. rúd
□ x2- <u>y</u> 2 diagram	✓ Töréspontok ☐ Grid	
X2 Komponens:	Idő [s] Elem csomópont	~
Y2 Komponens:	Növekmény Elem csomópont	~
	ОК	Mégsem

Az **OK** gombra kattintva fogadjuk el a módosításokat, ekkor a **Diagramrajzolás** ablakban megjelenik a felvett függvény. A teljes függvény (0-21 s) ábrázolásához húzzuk ki az alsó, diagram alatti tengelyen lévő zöld jelölőket a végállásokba:



Diagram paraméterek éppen csak egy részletet látunk), hogy a teljes függvényt láthassuk: Jelenítsük meg a diagramon az **1**-es (támaszponti) és **17**-es csomópont (legfelső szint) elmozdulását az idő függvényében, hogy a kiválasztott csomópontok relatív eltolódást vizsgálhassuk.

Kattintsunk a Diagram paraméterek ikonra!

Az **x1-y1 diagram X1 komponens**énél jelöljük meg az **Idő**-t, **Y1 komponens**énél pedig az **eX [mm]** komponenst, és válasszuk ki az **1**-es csomópontot.

Egy pipával aktiváljuk az **x2-y2 diagram**ot. Az **X2 komponens**t hagyjuk az alapbeállítás szerint (**Idő [s]**), az **Y2 komponens**nél válasszuk ki ugyancsak az **eX [mm]** elmozdulás komponenst, és vegyük fel a **17**-es csomópontot.

A paraméter ablakban a következőt fogjuk látni a beállítások után:

Diagram ábrázolási pa	araméterek		×
⊻ <u>x</u> 1-y1 diagram	✓ Töréspontok ☐ Grid		
X1 Komponens:	Idő [s] Elem csomópont	•	
Y1 Komponens:	eX [mm] Csomópont »	▼ 1. cspt.	
✓ x2- <u>y</u> 2 diagram	✓ Töréspontok ☐ Grid		
X2 Komponens:	Idő [s] Elem csomópont	*	
Y2 Komponens:	eX [mm] Csomópont »	▼ 17. cspt.	
	ОК	Mégsem	

Az **OK** gombra kattintva fogadjuk el a módosításokat.

A **Diagramrajzolás** ablakban kapcsoljuk ki a **Táblázat**ot, majd a zöld jelölőket húzzuk ki a végpozícióba (ha éppen csak egy részletet látunk), hogy a teljes függvényt láthassuk:



A kék görbe az **1**-es, a piros görbe a **17**-es csomópont eltolódását (vízszintes *eX* komponens) mutatja. Erről a bal és jobb oldali tengelyek feliratozásából és színéből tájékozódhatunk.

Azonos skálák Y irányban

Láthatjuk, hogy a program a függőleges tengelyen eltérő skálát alkalmazott. Ezen módosíthatunk - azonos skálát állíthatunk be, ha kattintunk az **Azonos skálák Y irányban** ikonra.



Az alsó tengelyen a fekete jelölőt a kívánt pozícióba mozgatva láthatjuk az egyes időlépésekhez tartozó értékeket. Az eredmények különbségét véve kapjuk a csomópontok relatív eltolódását.

Ha a **Táblázat** ikonra kattintunk, úgy a bal oldali táblázatban az idő függvényében az **1.** és **2.** függvény értékei (könnyebben) kiolvashatók. Ezeket az adatokat másolhatjuk, más programban (pl. Excel) is kiértékelhetjük szükség szerint.

A **Diagramrajzolás** ablak további funkcióinak részletes leírása a **Felhasználói kézikönyv**ben található. Zárjuk be a **Diagramrajzolás** ablakot az **OK** gombra kattintva.

Diagram ábrázolás

Diagram paraméterek

A következőkben az ipari gépek gerjesztett csomópontjainak síkbeli (*x-z*) mozgását fogjuk követni a beállított függvényen. A fő ablakban válasszuk ki a teheresetek közül **DIN-GÉP** [1] (0) teheresetet. Kattintsunk a *Diagram ábrázolás* ikonra, majd a megjelenő ablakban *Diagram paraméterek* ikonra is.

Csak egy diagramot szeretnénk ábrázolni, kapcsoljuk ki az **x2-y2 diagram** opciót (ekkor a paraméterei inaktívvá válnak).

A **24**-es csomópont mozgását fogjuk megjeleníteni oly módon, hogy a vízszintes tengelyen az **eX**, a függőleges tengelyen pedig az **eZ** komponenst fogjuk felmérni. A **X1 komponens**nél az **eX** eredményt megjelölve az alatta lévő **Csomópont** gombra kattintva jelöljük meg a **24**-es sorszámú csomópontot. Ugyanezt tegyük az **Y1 komponens**nél is.

A fentieket elvégezve az alábbi beállításokat fogjuk látni az ablakban:

Diagram ábrázolási pa	araméterek	×
<mark>⊻</mark> 1-y1 diagram	✓ Töréspontok ☐ Grid	
X1 Komponens:	eX [mm] Csomópont »	▼ 24. cspt.
Y1 Komponens:	eZ [mm] Csomópont »	▼ 24. cspt.
□ x2- <u>y</u> 2 diagram	☑ Töréspontok	
X2 Komponens:	Idő [s]	*
Y2 Komponens:	eX [mm] Csomópont	▼ 17. cspt.
	ОК	Mégsem

Az **OK** gombra kattintva a következő eredményt kapjuk:



A gerjesztésből és a szerkezet mozgásából adódóan egy ellipszishez hasonló állandósult mozgás alakul ki. Az **OK**-val zárjuk a **Diagramrajzolás** ablakot.

Diagram paraméterek

Vizsgáljuk meg a **17**-es csomópont vízszintes irányú eltolódását a függvényábrázolóban! Kattintsunk a **Diagram paraméterek** ikonra és az alábbiakat állítsuk be, kérjük a **Grid** (segéd háló) megjelenítését is.

Diagram ábrázolási p	araméterek	×
<mark>⊻</mark> <u>x</u> 1-y1 diagram	 Töréspontok Grid 	
X1 Komponens:	ldő [s] Elem csomópont	•
Y1 Komponens:	eX [mm] Csomópont »	▼ 17. cspt.
□ x2- <u>y</u> 2 diagram	☑ Töréspontok □ Grid	
X2 Komponens:	Idő [s] Elem csomópont	*
Y2 Komponens:	eX [mm] Csomópont	▼ 17. cspt.
	ОК	Mégsem

Az **OK**-val zárjuk be az ablakot.

A vizsgálat teljes időtartamának eredményét megjelenítve az alábbi diagramot kapjuk:



Szűkítsük az eredményábrázolás tartományát közbülső, két teljes hullámra az alábbi ábrához hasonlóan (idő intervallum: **5,35...8,00 s**):



A példában az idő függvényében egy közel harmonikus mozgás alakul ki a gerjesztés hatására. Ha a számításnál alkalmazott időlépcső vagy az elmentett időlépcsők száma nem elegendő, úgy a függvény "darabos" lesz, illetve a megoldás pontossága sem lesz megfelelő.

Ha visszatekintünk, láthatjuk, hogy a gerjesztő függvény megadásánál **0,01 s** időlépcsőben adtuk meg az adatsort, a számítást viszont csak **0,05 s** időlépéssel végeztük, az eredményeket is ennek megfelelően mentettük. Az időlépcső megválasztását a függvény görbéjének vizsgálatával és az egy "hullámhoz" tartozó közbülső pontok megszámolásával is ellenőrizhetjük. (Az alkalmazandó időlépcsőt a gerjesztés típusa és a legkisebb periódus összetevő határozza meg. Tapasztalatunk szerint egy sin/cos hullámnak legalább 10 közbülső pontot kell tartalmaznia, hogy még elfogadható eredményt kapjunk. Bonyolultabb / nagy meredekségű gerjesztési függvénynél érdemes teszteket végezni, a szerkezet válaszát a diagram ábrázolóban ellenőrizni.)

Összehasonlításként az alábbiakban egy szándékosan rossz beállítás eredményét mutatjuk. A számítást **0,2** s-os időlépcsőben végeztük. A minimum és maximum értékben jelentős hiba van és függvény alakja is hibát sejtet.



Diagram ábrázolás

₩ × Végezetül nézzük meg a **DIN-LÖKÉS** gerjesztés után bekövetkező csillapító hatást (a gerjesztés időtartama **4 s**, de a vizsgálatot **20 s** időtartamig futtattuk). Válasszuk ki a **DIN-LÖKÉS** [1] (0) teheresetet, majd újból lépjünk be a **Diagramrajzolás** ablakba. Csak **x1-y1 diagram**ot ábrázolunk, azon állítsuk be a **17**-es csomópont idő-vízszintes eltolódás diagramjának ábrázolását az alábbiak szerint:

Diagram ábrázolási paraméterek			×
✓ <u>x</u> 1-y1 diagram	 Töréspontok Grid 		
X1 Komponens:	Idő [s] Elem csomópont	Ŧ	
Y1 Komponens:	eX [mm] Csomópont »	▼ 17. cspt.	
□ x2- <u>y</u> 2 diagram	✓ Töréspontok Grid		
X2 Komponens:	Idő [s] Elem csomópont	*	
Y2 Komponens:	eX [mm] Csomópont	▼ 17. cspt.	
	ОК	Mégsem	

Kapcsoljuk ki a **Töréspontok** funkciót, ellenben kérjük a **Grid** megjelenítését. **A Diagram ábrázolási paraméterek** ablakot **OK**-val bezárva a következő eredményt kapjuk.



(Narancssárga függőleges vonallal jelöltük az ábrán azt az időpillanatot, amikor a csomóponti gerjesztő erő zérussá válik.)

Eredményábrázolási paraméterek

Sok esetben szükségünk lehet arra, hogy több dinamikai tehereset eredményeit együttesen értékeljük, az eredmények alapján egyedi burkoló ábrát készítsünk. Jelenítsük meg az **Sminmax** eredményeket a **DIN-GÉP** és **DIN-LÖKÉS** terhelési esetek burkolójaként.

Válasszuk ki a legördülő menüből a **Rúdelem feszültség** alatt az **Sminmax** eredménykomponenst. Hozzunk létre egyedi burkoló esetet. Kattintsunk az **Eredményábrázolási paraméterek** ikonra! Az **Ábrázolási paraméterek** ablak jelenik meg ekkor:

Lineáris vizsgálat Nemlineáris vizsgálat Dinamikai vizsgálat Eset Burkoló Mértékadó		
Tehereset IN-LÖKÉS [1] (0) ✓	Komponens Sminmax [N/mm2] • Lépték 1 • Ábrázolási mód Ďiagram • Ábrázolási alak Eredmény felírás Ceremény felírás Ceremény felírás Ceremény felírás Ceremény felírás Ceremény felírás Ceremény felírás Ceremény felírás Ceremény felírás Ceremény felírás Myomatski csácsock levágása oszlopok felétt	Metszetek Megjelenítés az elemek silájában Metszősik kontúr rajzolása
	Minden ablakban	OK Mégsem

Kattintsunk a felső sorban a Burkoló kapcsolóra.

Ábrázolási paraméterek				
Lineáris vizsgálat Nemlineáris vizsgá	lat Dinamikai vizsgálat Eset Burkoló Me	irtékadó	Min Max Min, Max	
	Burkoló: Teheresetek → √ Oszee → √ Diszer → √ Din-FR [2] (0.0400) → √ Din-FR [2] (0.0400) → √ Din-FR [2] (0.0400) → √ Din-FR [2] (0.0400) → √ Din-FR [3] (0.0400) → √ Din-FR [3] (0.0400) → √ Din-FR [3] (0.1400) → √ Din-FR [13] (0.2400) → √ Din-FR [13] (0.2400) → √ Din-FR [13] (0.2400) → √ Din-FR [14] (0.2600) → √ Din-FR		Komponens Sminmax [N/mm2] Lépték 1 2 Ábrázolási mód Diagram Ábrázolási alak Eredeti Elmozdult Eredeti Elmozdult Csak szélsőértékek Goomópontra Vonalra Csak szélsőértékek Egyéb beallítások Vyomatéki csúcsok levágása oszlopok felett	Metszetek Megjelenités az elemek silýában ⊠ Megjelenités az elemek rajzolása
Összes burkoló ~	<	>	Minden ablakban	OK Mégsem

Új burkolóösszeállítás

+

Kattintsunk a bal oldali fehér mező feletti **Új burkoló-összeállítás** ikonra. Ennek hatására létrejön egy új **Burkoló összeállítás**, melyet az ikon alatti mezőben láthatunk. Kattintsunk a nevére és nevezzük át "**Egyedi**" névvel.

Ábrázolási paraméterek			×
Lineáris vizsgálat Nemlineáris vizsgá	at Dinamikai vizsgálat Eset Burkoló Mértékadó	Min Max Min, Max	
	Burkoló: Egyedi	Komponens Sminmsx [N/mm2] • Lépték 1 ÷ Ábrázolási mód Diagram • Abrázolási alak Eredeti: Elmozdult Eredeti: Elmozdult Eredeti: Elmozdult Csomópontra Vonais C Felületre C Sak szelscértékek Egyéb beállítások M Nyomatéki csúcsok levágása oszlopok felett	Metszetek Megjelentés az elemek skjában Metszősik kontúr rajzolása
Összes burkoló v	<	Minden ablakban	OK Mégsem

Az új burkoló automatikusan tartalmazni fogja az összes teheresetet. Ezt módosítsuk a következők szerint. A **Burkoló** listában csak a **DIN-GÉP** és **DIN-LÖKÉS** tehereset csoportokat jelöljük meg, a többinél vegyük ki a "pipát". Ha szükséges a tehercsoportokat a nevük előtt lévő "–" gombbal tudjuk összezárni. Az ablakban **Ábrázolási mód**nál váltsunk át **Diagram**ról **Kitöltött diagram**ra.

Abrazolasi parameterek			
Lineáris vizsgálat Nemlineáris vizsgála	at Dinamikai vizsgálat Eset Burkoló Mértékad	6 Min Max Min, Max	
	Burkoló: Burkoló 1	Komponens Sminmaz [N/mm2] • Lépték 1 ÷ Ábrázolási mód Diagram • Ábrázolási alak Eredeti Elmozdult Eredeti Elmozdult Eredeti Elmozdult Gas kzelőőrtékek Egyéb beállítások Nyomatéki csúcsok kvágása oszlopok felett	Metszetek Megjelenítés az elemek síjájában Metszösi kontúr rajzolása
Összes burkoló		Minden ablakban	OK Mégsem

A beállításokat fogadjuk el, az OK gomb megnyomásával zárjuk az ablakot.

Megjegyzés: az egyes teheresetek időlépései között is szelektálhatunk, ki-be tudjuk kapcsolni az egyes időlépésekhez tartozó eredményeket a **Burkoló** összeállításánál, szemléltető példaként ld. a következő ábrát:

Ábrázolási paraméterek			×
Lineáris vizsgálat Nemlineáris vizsgá	at Dinamikai vizsgálat Eset Burkoló Mértékadó	Min Max Min, Max	
	Burkoló: Burkoló 1	Komponens Sminmax [N/mm2] • Lépték 1 Diagram • Ábrázolási indó Ábrázolási alak tredet: Elmozdult Eredmény felírás O Vonaira Vonaira Felületre C Csak szélsőétékek Egyéb beállhások ¶ Nyomakék csúcsok levšajása oszlopok felett	Metszetek Megjelenňés az elemek skjában Metszősik kontúr rajzolása
Megjelenített burkolók	- Z DIN-LÖKÉS [18] (0.34000)	Minden ablakban	
Usszes burkoló V	< >>		OK Mégsem

A teheresetek/teherkombinációk között válasszuk ki az **Egyedi** elnevezésű burkolót, illetve a **Burkoló Min, Max** eredmények megjelenítését:

44



Az **Egyedi** burkolót kiválasztva bármely eredménykomponenst lekérdezve a beállított teheresetek burkolóját láthatjuk eredményként.



Keresztmetszeti feszültségek Jelenítsük meg a **27**-es rúdelem keresztmetszeti feszültségeit (*Sminmax*, *Vminmax*, *Sominmax*) a **DIN-FR** dinamikus teheresetben.

A főablakban válasszuk ki a teheresetek közül **DIN-FR [1] (0)** teheresetet és kattintsunk egyszer a gerendára. A következő eredmény látjuk:



A bal oldali sávban lévő ábrákon láthatjuk az aktuális időlépéshez tartozó eredményeket a rúd tengelye mentén ábrázolva.

A középső sávban a program a keresztmetszeten jeleníti meg a feszültségeket és annak jellemző értékeit a kiválasztott keresztmetszeti helyen. A jobb felső sarokban lévő táblázatból pedig a keresztmetszet feszültségpontjaihoz tartozó konkrét értékeket olvashatjuk ki. A rúd egyes keresztmetszeteihez tartozó eredményét úgy tudjuk lekérdezni, hogy a bal oldali ábrákon lévő egyik függőleges tengelyt a kívánt pozícióba mozgatjuk. A jobb alsó sarokban lévő ábrán láthatjuk a sematikus rúdtengelyt, a végpontjainak csomóponti sorszámát és az aktuális pozíciót (**x[m]=2.500**). A fenti ábrán jelenleg az **5 m** hosszúságú rúd középső keresztmetszetéhez tartozó eredményeket látjuk.

Jelenítsük meg a gerenda **4.50 m**-es pozíciójához tartozó keresztmetszet eredményeit is. Ezt megtehetjük úgy is, hogy a függőleges tengelyt húzzuk a kívánt pozícióba vagy a keresztmetszeti hely értékét felülírjuk a jobb alsó ablakban. Az utóbbi funkció kényelmesebb konkrét pozíció felvételére. A pozíció beállításával az alábbi eredményt kapjuk:



Az egyes időlépésekhez tartozó eredmények között a legördülő menüben válthatunk: a konkrét időlépésre kattintva, vagy a billentyűzet le-fel gombjával navigálva. Utóbbi esetben az eredmények automatikusan frissülnek a háttérben, ezzel a változás folyamatában követhető.



2. TÖBBSZINTES, VASBETON SZERKEZETŰ ÉPÜLET FÖLDRENGÉSVIZSGÁ-LATA MODÁLIS VÁLASZSPEKTRUM-ANALÍZISSEL

Feladat

Végezzük el az alábbi ábrán látható többszintes vasbeton szerkezetű irodaház földrengésvizsgálatát modális válaszspektrum-analízis használatával. Az épület kiinduló modellje a <u>kézikönyvhöz mellékelt fájlban</u> található (Vasbeton_epulet_MVSA_0.axs).



A földrengési vizsgálatot az érvényes **MSZ EN 1998-1:2008** szabvány és annak nemzeti mellékleteinek figyelembevételével végezzük. A feladatban az ún. **MVSA** (modális válaszspektrum-analízis) eljárást alkalmazzuk: a földrengésterheket a szabványos eljárás szerint a szerkezetre jellemző sajátrezgésalakok alapján generáljuk. Az egyes rezgésalakokhoz tartozó szeizmikus választ lineáris statikai számítás eredményeként kapjuk oly módon, hogy a rezgésalakok ordinátái és a tömegek eloszlása alapján generált tehereloszlást veszünk figyelembe a számításban. A tervezési igénybevételeket és elmozdulásokat az egyes rezgésalakok eredményeinek szabványos összegzésével (pl. **SRSS, CQC**) állítjuk elő.

Az épület a magyarországi földrengési zóna térképe alapján a **2.** zónába sorolandó, ehhez a figyelembe veendő talaj csúcsgyorsulási érték **0,10 g**. Az épület fontossági osztálya: **I**. A nemzeti melléklet szerint ajánlott **1. típusú válaszspektrumot** alkalmazzuk, **C típusú talajosztályt** figyelembe véve. A viselkedési tényezőt **1,5**-nek vegyük fel.

Végeselemes modell, terhek ismertetése A feladatban nem ismertetjük a végeselemes modell létrehozását, a korábbi példák ismeretanyaga alapján ezt könnyedén elvégezhetjük. A példa elsősorban a modálanalízis alapvető lépéseit mutatja be a program funkcióit alkalmazva. Az előbbiekben említett kiindulási fájl (**Vasbeton_epulet_modalanalizis_0.axs**) az alábbiakat tartalmazza:

A többszintes, vasbeton szerkezetű térbeli irodaház teljes geometriai és végeselemes modelljét, földrengési terhek és számítási eredmények nélkül.

Az épület földszint + 5 emelet kialakítású, a fő funkciója irodaház. Az épület főbb szerkezeti méretei – alaprajzi méret: **23 x 22 m**, teljes magasság: **22,5 m**. A földszint és a felette lévő 4 emelet monolit vasbeton szerkezettel készül (monolit vasbeton falak, pillérek és fejnélküli gombafödém). A 4. emelet felett egy acélszerkezetű gépészeti egység található.

A vasbeton szerkezet merevségét monolit vasbeton falak biztosítják, míg a gépészeti egység acélszerkezetét ferde rácsrudak merevítik. A monolit vasbeton falak **20 cm**, a födémek **22 cm**-es vastagságúak. A vasbeton oszlopok szelvénye az igénybevételekhez igazodva változó. A közbülső oszlopok körszelvénnyel készülnek, míg a széleken lévő oszlopok négyszög keresztmetszetűek.

Az acélszerkezetű gépészeti tér oszlopai **HE 160A**, a gerendái **HE 200A** szelvénnyel készülnek. A merevítő rácsrudak szelvénye pedig: **N80x80x4,5 mm** zártszelvény.

A gépészeti egység feletti tetőszerkezetet külön nem modelleztük, feltételezzük, hogy merev tárcsát alkot. Ennek megfelelően a tetősíkot egyszerűsítve merev diafragmaként vettük figyelembe. A tetőfödém terheit ún. teherpanelre tettük rá, mely szétosztja az alatta lévő szerkezetre a ráhelyezett terheket.

Megjegyzés: A teljes épület földrengésvizsgálata kapcsán a legfelső szint acélszerkezetének a szerepe alárendelt. Ez lehetővé teszi, hogy egyszerűsítéséket végezzünk, egyben bemutatva a merev diafragma használatának lehetőségét is.

A felhasználónak minden esetben mérlegelnie kell, hogy mely elemek modellezésénél lehet egyszerűsítéseket alkalmazni.

A szerkezetet vizsgálatához az **Eurocode-H** szabványt vettük fel (ld. **AxisVM Szabvány** ablakában). A monolit vasbeton szerkezet **C30/37** szilárdságú betonból készül, az acélszelvények anyagminősége egységesen **S235**. Rugalmas anyagmodellt alkalmazunk.

A csomóponti szabadságfokok beállításánál minden csomópontot szabadnak veszünk.

A földszinti oszlopok támaszai befogottak, a globális irányban definiált támaszok merevsége: **Rx=Ry=Rz=1E+6 kN/m**, illetve **Rxx=Ryy =7.5E+6 kNm/rad**. A földszinti falak támaszmerevségét élhez relatív definiáltuk, melyek merevsége: **Rx=Ry=Rz=5E+5 kN/m/m** és **Rxx= 5E+5 kN/m/rad/m**.

Megjegyzés: a földrengési méretezés eredményét jelentősen befolyásolja a felvett támaszmerevség, ennek részletes vizsgálatára azonban a példánkban külön nem térünk ki. A támaszok merevségét a talajfizikai jellemzők alapján tudjuk becsülni, dinamikai hatást figyelembe véve (a statikus terhekre számolt merevségek eltérőek lehetnek!).

A vizsgálathoz szükséges állandó és esetleges terheket a modellben már létrehoztuk, tehercsoportokba sorolva. A felvett terheket ún. karakterisztikus értékkel adtuk (részletesen ld. a mellékelt modellben.)

A földrengés vizsgálatnál parciális terhelést nem végzünk, a teljes terhet figyelembe véve határozzuk meg a földrengési terheket, ugyanis ez szolgáltatja a legnagyobb tömeget és nagy valószínűséggel ezáltal ez a mértékadó szeizmikus tervezési helyzetben.

Meteorológiai terheket (szél és hó) nem alkalmaztunk, mert azok a földrengési teherrel nem egyidejűek (y2=0)

A rezgésszámításhoz külön kell definiálnunk a figyelembe veendő teherkombinációt. Ezt a feladat megoldása során hozzuk létre.

A földrengési terheket és tehereseteket a program automatikusan generálja a feladatban beállított földrengési paraméterek és a rezgésszámítás eredménye alapján.

A program a mértékadó min-max. eredményeket automatikusan fogja előállítani a teheresetek típusa, illetve a tehercsoporthoz tartozó biztonsági tényezők alapján, ezért egyedi teherkombinációkat nem definiálunk.

Részletek A modell könnyebb átláthatósága, kezelhetőségének érdekében *részletek*et hoztunk létre (szerkezet típusok, falak, pillérek, födémek, ...) a modellben, melyeket külön könyvtárstruktúrába is rendszereztünk.



Tippek

Ha részleteket használunk a megjelenítésnél és bekapcsoljuk a **Beállítások/Alapbeállítások/Részletek** menüben a **Méretezés csak a látható részletekre történjen** funkciót, akkor a részeredmények számítása (pl. vasalás aktualizálás) mindig csak az éppen bekapcsolt aktuális részletre kerül kiszámításra, nem pedig a teljes modellre. Ezzel a funkcióval időt takaríthatunk meg nagyobb méretű modelleknél, melyeknél a származtatott eredmények teljes számítása jelentős időt igényel,

Alapbeállítások	×
 Adatbiztonság Színek Gráfikus szimbólumok Betűtípusok Dialógusablakok Szerkesztés Halógenerálás Eszköztár Ábrázolás Fersités Dokumentáció Frissítés 	 ✔ Részletek Logikai részletek bekapcsolása régebbi verzióval készült modellek betöltősekor ✓ A tartomány belső vonalai automatikusan bekerülnek a részletbe Ha részletek megjelenítése van beállítva de nincs bekapcsolt részlet ○ Jelenjen meg üzenet ○ Kapcsolódjon be a teljes modell Teherpanel megjelenítése a részletben, ha van elem ④ A teherpanel belsejében ○ A teherpanel belsejében ○ A teherpanel sikjában ✓ Méretezés csak a látható részletekre történjen
	OK Mégsem



A program elindításához kattintsunk a Start menüben az AxisVM X4 mappában az AxisVM X4 ikonra.

Megnyitás



A *Megnyitás* ikonra kattintva töltsük be a programba a lementett modell fájt. A megjelenő ablakban válasszuk ki a fájlt tartalmazó könyvtárat, majd keressük meg a modell fájlt (*Vasbeton_epulet_MVSA_0.axs*). A *Megnyitás* gombra kattintva a program betölti a modellt, a képernyőn a szerkezet végeselemes modellje jelenik meg:



Első lépések

Mentsük el a modellt más néven (ha szükséges, akkor a későbbiekben vissza tudunk lépni az eredeti fájlhoz). A **Fájl** menüben keressük meg a **Mentés névvel** funkciót és kattintsunk rá (**Vasbeton_epulet_MVSA.axs**).

A földrengési vizsgálat megkezdése előtt ellenőrizzük a fent ismertetett geometriát, végeselemeket és beállításokat.

Szintek

±0.00

Első lépésben definiáljunk **Szintek**et (az épület jellemző födémszintjeit), ennek többféle szerepe lehet. Egyrészt megkönnyítheti a szerkesztést és a modell átláthatóságát. A részletekhez hasonlóan tudjuk az egyes szinteket külön-külön megjeleníteni.

Emellett a szinteket fel tudjuk használni a földrengésvizsgálat során a csavaróhatás számításához is. Erre a későbbiekben még visszatérünk.

A funkció további előnyét és lehetőségeit részletesebben ld. a *Felhasználói kézikönyv*ben.

Kattintsunk a bal oldali függőleges eszköztáron található Szintek ikonra! A következő ablak jelenik meg:

X4 Szintek	-		×
1 🗄 🔚 🕞	Ø,	× 🗄	
Z [m] = 0	•	+ 📩	
Szintek	1	Z[m]	
Z Azonnali fris	sítés		
Minden von	iban al és eler	n látható	vá
tétele	intekből	csak fala	k és
oszlopok			
szintre vetite	5		
ОК		Mégser	n

Keresés



A szinteket megadhatjuk egyenként, a szint magassági értékét beírva, de használhatunk automatikus kereső funkciót is. Kattintsunk a *Keresés* ikonra, ennek hatására a program megkeresi a különböző magasságokban lévő *vízszintes födémtárcsákat*. A következő eredményt láthatjuk az ablakban:

X4 Szintek	– 🗆 X				
월 📕 🔓	🗟 🗙 🗎 🗎				
Z [m] = 19.000	+				
5. szint	+ 19.000				
 4. szint 	+15.500				
3. szint	+12.000				
 2. szint 	+8.500				
 1. szint 	+ 5.000				
 Földszint 	0				
 Azonnali frissítés Összes ablakban Minden vonal és elem láthatóvá tétele Szomszéd szintekből csak falak és oszlopok Szintre vetítés 					
ОК	Mégsem				

Hozzáadás



Az acélszerkezeti tető síkját (**+22,50 m**) nem találta meg a kereső, mert azt egyszerűsítve, merev diafragma elemet használva modelleztük, nem pedig födémtárcsával. Adjuk hozzá ezt a szintet is. Írjuk be a magassági adatot (**22,50 m**) a *Z* **[***m***] =** beviteli mezőbe, majd kattintsunk a **Hozzáadás** ikonra:

X4 Szintek	-		×			
월 📒 🔓	Ø.	× ≝				
Z [m] = 22.5	•	+ +				
6. szint 5. szint 4. szint 3. szint 2. szint 1. szint Földszint		+22.5 +19.0 +15.5 +12.0 +8.5 +5.0				
 Azonnali frissítés Összes ablakban Minden vonal és elem láthatóvá tétele Szomszéd szintekből csak falak és oszlopok Szintre vetítés 						
ОК		Mégser	n			

Ezzel végeztünk a szintek megadásával, az **OK** gombra kattintva zárjuk be az ablakot.

Geometria Elemek Terhe	ek Háló Statika Kihajlás Rezgés Dinamika Vasbetontervezés Acéltervezés Fa méretezés
≞ • ≝* 本 本 .	∠ == @ @ @ @ @ X 🛠 ﷺ ⊑ G щ.↓ 🔤 🖉 🖑 == == ± № ± № ± 🥵 💧
Teherkombinációk	A földrengési terheket a rezgésszámítás eredményei alapján tudjuk felvenni. Ezért első lépésben egy line-
*	áris rezgésszámítást végzünk a szabvány által meghatározott szeizmikus teherkombinációt figyelembe véve (a rezgésszámításhoz szükséges tömegeket a kombinációban szerepelő terheket konvertálva kapjuk

meg). Ezt a teherkombinációt egyedileg kell létrehoznunk a következők szerint. Váltsunk át a **Terhek** fülre és kattintsunk a **Teherkombinációk** ikonra. A megjelenő ablakban kattintsunk

Valtsunk at a **Terhek** fulre és kattintsunk a **Teherkombinaciók** ikonra. A megjelenő ablakban kattintsunk az **Új adatsor** ikonra, ennek hatására a program létrehoz a táblázatban egy új sort. Az új kombináció neve legyen **SZEIZMIKUS**, a kombináció típusa pedig legyen **"- (egyedi kombináció)**". Az egyes tehereseteknél egyenként adjuk meg a hatás kombinációhoz tartozó tényezőket a szabványi előírást alapul véve:

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} "+" \sum_{i\geq 1} \varphi \cdot \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}.$$

Az állandó terheket karakterisztikus értékükkel, az esetleges terheket és hatásokat a kváziállandó értékükkel kell számításba venni, a **£** értéke általában (biztonság javára történő közelítéssel) **1.00**-re vehető fel. **Megjegyzés**: ezt a kombinációt csak a rezgésszámításhoz használjuk fel, amelyben a földrengésből származó vízszintes terhek nem szerepelnek.

Az alábbi áttekintő táblázatban kigyűjtöttük a beírandó kombinációs tényezőket:

Tehereset neve	kombinációs tényező
önsúly	1.00
burkolat	1.00
álmennyezet	1.00
homlokzat	1.00
lépcsőház	1.00
1em-iroda	0.30
2em-iroda	0.30
3em-iroda	0.30
4em-iroda	0.30
1em-erkély	0.30
2em-erkély	0.30

Új adatsor

3em-erkély	0.30
4em-terasz	0.30
5em-tető	0.30
1em-válaszfal	1.00
2em-válaszfal	1.00
3em-válaszfal	1.00
4em-válaszfal	1.00
5em-gépészet	1.00
6em-acélszerk tető	0.00
lépcsőház	0.30

Ha befejeztük a teherkombináció definiálását, az **OK** gomb megnyomásával fogadjuk el a változtatásokat és egyben zárjuk be az ablakot.

Geometria	Elemek	Terhek	Háló	Statika	Kihajlás	Rezgés	Dinamika	Vasbetontervezés	Acéltervezés	Fa méretezés
\sum		■■			$\overline{\mathbf{x}}$	×				

Hálógenerálás

tartományokra

A dinamikai (és nemlineáris) számítás előtt a tartományokat és vonalelemeket hálózással kell ellátnunk. A feladatban elegendő csak a tartományokat felosztanunk. A pilléreket nem szükséges hálózással ellátni, mert a tömeg számottevő része a födémeken koncentrálódik, a fő regésalakokban pedig nem a pillérek magasabb rendű módusai dominálnak.

Megjegyzés: ha egy vonalelemet nem osztunk fel, akkor az azon lévő terheket (melyeket tömegekké konvertálunk) a program szétosztja a két végcsomópont között a rezgésszámítás során.

Az épület méreteitől, típusától függően alkalmazhatunk eltérő méretű/sűrűségű hálót is. Földrengés vizsgálatnál sokszor elegendő lehet, ha csak a függőleges merevítő falszerkezeteket látjuk el sűrűbb hálóval, a kvázi merev tárcsaként működő födémeken pedig ritkább hálót alkalmazunk. A fő rezgésalakokat elsősorban a merevítő falrendszerek határozzák meg, a födémek sok esetben merev tárcsának tekinthetők (*ld. szabvány erre vonatkozó részeit*). Emellett a földrengés függőleges összetevője sok esetben elhanyagolható a statikus terhekhez viszonyítva. A hálóméret(ek) optimális megválasztásával spórolhatunk a végeselemek számával, mely időmegtakarítást eredményezhet a számításnál és az eredmények kiértékelésénél is.

Modellünknél az eltérő hálóméret nem okoz jelentős megtakarítást az épület kis méreteiből adódóan, így most **egységes hálót alkalmazunk**.

Lépjünk át a *Háló* fülre, kattintsunk a *Hálógenerálás* ikonra és jelöljük ki a teljes modellt a * (*Mindenre alkalmaz*) ikonnal.

Hálógenerálási paraméterek X					
O Definiálás					
A háló típusa					
Átlagos végeselem oldalhossz [m] = 0.800 🗸					
Háló terhekhez illesztése					
$\square \qquad Pontterhek \ge [kN] = 0$					
□ Vonalmenti terhek ≥ [kN/m] = 0					
$\square \qquad Felületi terhek \ge [kN/m^2] = 0$					
Háló oszlopfejekhez illesztése (a nyomatéki csúcsok levágásához)					
A kontúr követésének módja					
 Elemméret rugalmas változtatása 					
Simítás					
and the second se					
☐ Csak a háló nélküli tartományok behálózása ☐ Tartományok áthatásának számítása ☐ Generált segédvonalak megőrzése sikertelen hálózás után					
Felvesz » OK Mégsem					

Alkalmazzunk háromszög alakú végeselemet tartalmazó hálót, **0,8 m**-es átlagos végeselem oldalhoszszúsággal. Kérjük az *Egyenletes elemméretet alkalmazásá*t és jelöljük meg a *Háló oszlopfejekhez illesztése* funkciót. Az *OK* gomb megnyomásával indítsuk el a hálózási folyamatot.



Miután elkészült, ellenőrizzük a tartományok hálózását! Forgassuk körbe a modellt, nézzük végig a háló geometriáját.

Hálózat rajza ki/be

A **Gyorsgombok** között lévő **Hálózat rajza ki/be** ikonra kattintva tudjuk a hálózást megjeleníteni, illetve kikapcsolni.

Merevségcsökkentés

A számítás során a vasbetonszerkezeteknél kérhetünk ún. merevségcsökkentést is, mellyel figyelembe tudjuk venni azt, hogy a repedések megjelenésével a vasbeton szerkezetek merevsége csökken (erre az **MSZ EN 1998-1:2008** szabvány **50%**-os merevség csökkentést javasol). A program ezt a csökkentést a rezgésszámításnál, majd az azt követő statikai számításnál is figyelembe veszi.

A merevségcsökkentést szabályozó ablakot elérjük a felső menüből, vagy később, a rezgésvizsgálat paraméterei között is.

Most állítsuk be a merevségcsökkentést még a **Rezgésvizsgálat** előtt! A funkciót a **Beállítások** menüpont alatt tudjuk elérni, a menüt lenyitva kattintsunk a **Merevségcsökkentés** funkcióra. Ennek hatására a következő ablak jelenik meg:

Merevségcsökkentés válaszsp	ektrum-analízishez		×		
 Teljes szerkezet Bekapcsolt részletek Kijelölt elemek 					
$ \begin{array}{c} \hline \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ $	Gerendák (65) $k_A = 1$ $k_I = 1$ Födémek (16) k = 1				
Legyen ez az alapértelmezett beállítás OK Mégsem					

Az ablakban csökkentett merevséget állíthatunk be a **Bekapcsolt részletek**re, a **Teljes szerkezet**re, vagy csak a **Kijelölt elemek**re vonatkozóan. Ha a funkció indításánál a teljes szerkezet be van kapcsolva a modelltérben, ill. nincsenek kijelölt elemek, akkor a **Bekapcsolt részletek** és **Kijelölt elemek** inaktívak, ahogy ez a fenti ábrán is látszódik.

Az **Oszlopok**, **Gerendák** és **Más** (gerenda) **elemek** esetén kétféle opció van: csökkenthetjük az összenyomódási és húzási merevséget (**A**) és/vagy az inerciát (**I**) is.

Falak, Födémek és Más tartományok esetén csak egyféle paramétert adhatunk meg, ez viszont egységesen csökkenti a végeselem hajlító, nyíró és membrán merevségét is.

Az egyes elemek mellett a zárójelben lévő szám azt mutatja, hogy a modellünk/részletünk/kijelölt elemeink hány elemet tartalmaznak az adott típusból.

Az alábbi ábra szerinti beállítást vegyük alapul: csökkentsük felére minden elem merevségét, de az oszlopoknál, gerendáknál és más elemeknél **csak a hajlító merevséget (k_i) csökkentsük**.

Merevségcsökkentés válaszs	pektrum-analízishez	×			
 Teljes szerkezet Bekapcsolt részletek Kijelölt elemek 	c				
$ \begin{array}{c c} \hline $	 ☑ Gerendák (65) k_A = 1 k_I = 0.5 ☑ Födémek (16) k = 0.5 	$Más elemek (8)$ $k_{A} = 1$ $k_{I} = 0.5$ $Más tartományok$ $k = 1$			
Legyen ez az alapértelmezett beállítás OK Mégsem					

Ha fentieket beállítottuk, akkor **OK**-val fogadjuk el a változtatást.

Geometria	Elemek	Terhek	Háló	Statika	Kihajlás	Rezgés	Dinamika	Vasbetontervezés	Acéltervezés	Fa méretezés	
" ∿t ∦						Ŧ		· ·		~	-max min

A földrengés terhek meghatározásához szükséges a szerkezetre jellemző rezgésalakok és a hozzájuk tartozó sajátrezgés-frekvenciák ismerete. Ezért a földrengésszámítás kellően nagy számú rezgésalak meghatározásával kezdődik.

Lépjünk át a Rezgés fülre és végezzük el a szerkezet rezgésszámítását.

Rezgésvizsgálat





A megjelenő ablakban állítsuk be a szükséges paramétereket, tekintsük át ezeket:

Az ablak bal felső részén kiválaszthatjuk, hogy milyen vizsgálatot végzünk, alapértelmezés szerint a kapcsoló **Elsőrendű rezgés** vizsgálaton áll. Ez most a vizsgálatunkhoz megfelelő.

Megjegyzés: másodrendű rezgésnél a számítás figyelembe veszi az elemekben fellépő nyomó-húzóerők hatását a szerkezet merevségére. A rezgésalakok meghatározásakor a húzóerők merevségnövelő, a nyo-móerők merevség-csökkentő hatásúak. Ez a hatás befolyásolja a szerkezet rezgési viselkedését, ennek megfelelően magát a rezgés-vizsgálatot egy statikai vizsgálat előzi meg.

Az alatta lévő listában ki kell választunk a földrengés vizsgálathoz szükséges teheresetet/teherkombinációt. A program automatikusan a legelső (önsúly) **Tehereset**et jelöli ki. Ezt kapcsoljuk ki, majd keressük meg a lista végén, **Teherkombinációk** között szereplő **SZEIZMIKUS** nevű egyedi teherkombinációt és jelöljük meg.

A rezgésvizsgálathoz tömegeket kell definiálnunk a kiválasztott teherkombináció alapján, ehhez a program automatikusan felkínálja a **Terhek átalakítása tömegekké** opciót (tömeget nem definiáltunk a modellben, így a tömegeket csak a terhek alapján tudjuk konvertálni).

A **Meghatározandó rezgésalakok számá**t állítsuk **20**-ra. Ennek száma erősen függ a modellünk bonyolultságától, az épület méreteitől, szintjeinek számától. Feladatunkban bőven elegendő lesz, ha csak **20** alakot határozunk meg, ezek alapján el tudjuk érni a vizsgált főirányokban a modális tömegre vonatkozó minimum **90%**-os előírást.

Az **Iterációk maximális számá**t vegyük fel **30**-ra! Ha a modellünk nem megfelelően konvergál ezen esetleg változtatnunk kell. A **Sajátérték** és **Sajátvektor konvergenciá**t hagyjuk az alapbeállítás szerint.

Diafragma: a (tényleges) **Födémek konvertálása diafragmává** bekapcsolása esetén a program a födémeket alkotó végeselemeket a rezgésszámítás idejére diafragmával (merev tárcsa) helyettesíti (minden esetben ellenőrizzük, hogy a szabvány erre vonatkozó feltételei teljesülnek-e, csak akkor szabad alkalmazni!) Ezzel a beállítással a számítási idő csökkenthető, ha a térbeli modell csak oszlopokat és födémeket tartalmaz. Amennyiben merevítő falak is vannak, a megoldandó egyenletek száma ugyan csökken, azonban az egyenletrendszer sávszélessége jelentősen növekedhet, ezért végül a számítási idő is megnőhet. Ha olyan bordák, támaszok vannak a modellben, melyek csak a diafragmává alakítandó födémhez kapcsolódnak, akkor a **Diafragma** funkció nem használható! Ha ilyen modellt akarunk futtatni a funkció használatával, akkor a rezgésszámítás elején hibaüzenetet kapunk:

8	Számítási probléma Az egyenletrendszer mátrixa nem pozitív definit. A szerkezet modellje instabilitásokat tartalmaz. Ellenőrizze a megadott szabadságfokokat, támaszokat, illetve rúdszerkezet esetén a csuklók beállításait. Ellenőrizze, nincsenek-e olyan elemek (bordák, támaszok) a modellben, melyek csak diafragmához kapcsolódnak!
	<u>K</u>

Megjegyzés: ha olyan födém/alaplemezt is tartalmaz a modell, melyhez támasz (pl. felületi,..) kapcsolódik, azokat a program nem alakítja át merev tárcsává.

Merevségcsökkentés: itt tudjuk a vasbeton szerkezetű elemek merevségét csökkenteni. A korábbiakban beállítottuk az erre vonatkozó paramétereket, ezt a beállítást **nem kell újra elvégeznünk**, de jelöljük meg, hogy **Csökkentett merevség**gel számolunk!

Számítás megnövelt támaszmerevséggel opció bekapcsolása esetén a csomóponti, vonalmenti, felületi támaszmerevségek a rezgésvizsgálat során (a valósághűbb modellezés érdekében) az alapértelmezett ("merev") értékekkel fognak szerepelni tehát 10¹⁰ kN/m, 10⁷ kN/m/m, illetve 10⁴ kN/m² merevségekkel. *Ezt a feladatunkban ne kapcsoljuk be, a beállított támaszmerevségek már a földrengési igénybevételek számításához lettek meghatározva.*

A számításnál csak **x** és **y** irányú **tömegkomponens**t vegyük figyelembe (a földrengés függőleges **z** irányú hatása elhanyagolható a Magyarországra jellemző földrengések tekintetében, ezért a függőleges irányú tömegkomponenst elhanyagoljuk).

A Figyelembe vett tömegeknél legyen Minden tömeg bekapcsolva.

Beállítható, hogy a rezgésvizsgálat mely tömegeket vegye figyelembe, ez mereven megtámasztott szerkezeti elemek esetében segíti a modális tömegek biztosítását. **Minden tömeg** bekapcsolása esetén a szerkezet teljes tömege részt vesz a rezgésvizsgálatban. **Z magasság felett** opció választása esetén megadható egy **Z** koordináta, ennek hatására a rezgésvizsgálatban kizárólag csak az e szint feletti tömegek vesznek részt. Amennyiben a modell szinteket tartalmaz, a **Választott szint felett** kapcsoló segítségével is kiválasztható, mely szint feletti tömegek legyenek figyelembe véve a rezgésvizsgálatban. (pl. önsúly és egyéb terheket a talajszint alatt ne vegyünk figyelembe, beleértve az alaplemezt is).

A fentiekben nem részletezett beállításokról bővebben a **Felhasználói kézikönyv** vonatkozó részeiben találunk tájékoztatást!

Állítsuk be az adatokat az alábbi ábra szerint, majd az **OK** gombra kattintva indítsuk el az analízist.

Rezgésvizsgálat	×
Elsőrendű rezgés Másodrendű rezgés Szezs Hardin Teheresetek SzelzMIKUS SzelzMIKUS	Konvergencia kritériumok Iterációk maximális száma Sajátérték konvergencia IE-10 Sajátvektor konvergencia IE-5 Diafragma Födémek konvertálása diafragmává Merevségcsökkentés válaszspektrum-analízishez Eredeti merevség © Csökkentett merevség Számítás megnövelt támaszmerevségekkel
1/22 Meghatározandó rezgésalakok száma 20 🝃 © Terhek átalakítása tömegekké Concentrált tömegek figyelembevétele Csak tömegek figyelembevétele Szerkezeti tömeg figyelembevétele Tömegek átalakítása teherré	Tömegek Figyelembe vett tömegkomponensek

A számítás közben nyomon követhetjük a **rezgésalakok frekvenciái**t és a **leglassabban konvergáló** alak hibáját is az iterációk függvényében.





A számítás a beállított **30** iteráció előtt, a **22**-nél lezárult, mert ennél a számítási lépésnél a beállított konvergencia kritériumok már teljesültek.

A számítást az **OK** gombra kattintva zárjuk.

Minden esetben nézzük végig a kapott rezgésalakokat. Ha a modellünkben hiba van, akkor az egyes alakok segíthetnek az esetleges modellezési hibák megtalálásában is (pl. instabilitás, kapcsolati elemek és elemek hiányos merevsége, stb...), emellett tisztább képet nyerünk a modellünk dinamikai viselkedéséről is (pl.: mely fő alakok dominálnak, a szerkezetünk érzékeny-e a csavaró hatásokra, stb...).

Az első három alakot az alábbi ábrákon bemutatjuk, elmozdult alakot kérve, 10-es nagyítási léptéket alkalmazva:

1. rezgésalak:



2. rezgésalak:







A bal oldalon lévő *Info-palettá*n számos hasznos információt találunk, mely a kiértékelésnél segítségünkre lehet.

Vegyük ezeket végig az 1. rezgésalak eredményeit lekérve:

	×					
Rezgésvizsgálat						
– Merevségcsökkentés –						
Szabvány	Eurocode-H					
Eset	: SZEIZMIKUS					
Alak	: 1 / 20					
f	: 1.43 Hz					
т	: 0.701 s					
ω	: 8.96 rad/s					
S.é.	: 80.37					
Hiba	: 4.80E-8					
Iterációk	: 22					
Tömeg	prészesedés					
εχ	: 0.003					
εγ	: 0.811					
Állapot	: Aktív					
Σ _i ε _X	: 0.986					
Σίελ	: 0.985					
Komp.	: eX					

A **Rezgésvizsgálat** címszó alatt láthatjuk, hogy a számítást ténylegesen bekapcsolt **Merevségcsökkentés** mellett végeztük (a funkció működését ld. korábban).

Ez alatt láthatjuk az aktuálisan alkalmazott **Szabvány**t, alatta pedig azt az esetet (tehereset/teherkombináció), melyre a kiválasztott rezgésvizsgálatot végeztük (most **SZEIZMIKUS**).

Az Alak az éppen megjelenített rezgésalak sorszámát mutatja (az 1. a kiszámított 20 rezgésalak közül).

A következő egységben az adott rezgésalak főbb eredményeit láthatjuk (frekvencia, periódusidő, körfrekvencia, sajátérték, hiba). A sor az iterációk számával zárul (**22**): a program a **22. lépéssel** zárta az iterációt.

A Tömegrészesedés szakasz az alábbiakról tájékoztat:

- egyfelől látjuk az adott rezgésalak irányonként számított (ex és ey) tömegrészesedését (ha Z irányú tömeget is figyelembe veszünk, akkor az is megjelenik a sorban).
- az Állapot az adott rezgésalak aktív vagy inaktív állapotáról tájékoztat ennek részletesebb magyarázatát ld. később.
- az Állapot alatti két sorban pedig az aktívnak jelölt rezgésalakokkal elért összes tömegrészesedést láthatjuk irányonként (ez meghaladja a szabvány szerinti 90%-os követelményt mindkét számított irányban, tehát a kiszámított 20 rezgésalak elegendő, nem kell több alakot kérnünk).

A Komp. pedig az éppen megjelenített eredménykomponenst mutatja (eX).

Táblázatkezelő A re

A rezgésvizsgálat eredményei a **Táblázatkezelő**ben **a Rezgésalakok tömegrészesedése** táblázatban tekinthetőek meg. Kattintsunk a **Táblázatkezelő** ikonra.

A modális össztömegre vonatkozóan az **MSZ EN 1998-1:2008** szabvány két általános feltételt fogalmaz meg:

(1) az összegzett modális tömegrészesedésnek minden irányban el kell érnie a 90%-ot;
 (2) minden olyan alakot figyelembe kell venni, mely legalább 5% tömegrészesedéssel rendelkezik.

Az irányonként összegzett modális tömegrészesedést a táblázat alsó sora mutatja. A fenti feltétel első pontja a rendelkezésre álló rezgésalakok alapján teljesül.

Táblázatkezelő											o x
Szerkesztés Formátum Dokumentáció Súg	jó										
SZEIZMIKUS	+>	< 🗈 💼		R 1							
– Sajátfrekvenciák (20)											
 Csomóponti tömegek 	Rezge	salakok tom	egreszesed	ese (I.) [SZEIZ	MIKUSJ						
 Rezgésalakok tömegrészesedése (20) 		f [Hz]	T [s]	Hiba	tv.	εv	87	Σ.ev	Σ.ev	Σ. 8-7	Aktív
Megmozgatott tömegek (20)		1.42	0.701	4 905 9	0.002	0.011	- 0	0.002	0.011	12	
- 1. alak (1.43 Hz)		2.00	0.701	4.002-0	0.005	0.011	0	0.005	0.011	0	4
- 2. alak (2.00 Hz)	2	2.00	0.300	1.032*0	0.759	0.004	0	0.742	0.010	0	
- 3. alak (3.03 Hz)		5.03	0.330	2.245.0	0.003	0.126	0	0.010	0.017	0	
- 4. alak (5.97 Hz)	- 4	6.87	0.108	1 085-0	0.001	0.130	0	0.011	0.953	0	,
- 5. alak (6.82 Hz)		7.55	0.147	1.305-9	0.130	0.001	0	0.947	0.954	0	
- 6. alak (7.55 Hz)	7	9.12	0.135	2.035-10	0.018	0.012	0	0.965	0.966	0	<u> </u>
- 7. alak (9.12 Hz)		9.43	0.106	1.66E-10	0.010	0	0	0.966	0.966	0	5
- 8. alak (9.43 Hz)	9	10.50	0.095	1 30F-9	0.001	0.014	0	0.966	0.981	0	j.
9. alak (10.30 Hz)	10	11.90	0.084	1.015-10	0.003	0.011	0	0.968	0.981	0	÷
10. alak (11.90 Hz)	11	12.63	0.079	1 33E-10	0.012	0	0	0.981	0.981	0	Ĵ
12 July (12 00 LL)	12	13.00	0.077	5.59E-10	0	0.003	0	0.981	0.984	0	j.
- 12. alak (15.00 Hz)	13	14.70	0.068	7.06E-10	0	0.001	0	0.981	0.985	0	j.
14 alak (14.70 Hz)	14	15.30	0.065	4.36E-9	0	0	0	0.981	0.985	0	ý.
14. dlak (15.50 Hz)	15	16.07	0.062	4.45E-9	0.003	0	0	0.983	0.985	0	Ĵ
16 alak (17.07 Hz)	16	17.07	0.059	5.36E-7	0	0	0	0.983	0.985	0	4
17 alak (17.45 H+)	17	17.45	0.057	4.64E-8	0.002	0	0	0.986	0.985	0	4
18 alak (17.69 Hz)	18	17.69	0.057	2.10E-6	0	0	0	0.986	0.985	0	4
19 alak (17.79 Hz)	19	17.79	0.056	7.32E-7	0.001	0	0	0.986	0.985	0	1
20. alak (18.21 Hz)	20	18.21	0.055	3.04E-6	0	0	0	0.986	0.985	0	1
Öcczes reznésalak (20)	20/20				0.986	0.985	0				
ajätfrekvencia										ОК	Mégsem
											-

A táblázat soraiban az egyes alakok eredményeit látjuk a hozzájuk tartozó tömegrészesedéssel. A **S**i ex ; Si ey és Si ez jelzésű oszlopok pedig az irányonként összesített össztömegrészesedést mutatják (de csak az **Aktív** állapotúnak jelölt rezgésalakok eredményei összegződnek).

A kiszámított alakok között több olyan is van, amelyek tömegrészesedése elhanyagolhatóan kicsi, kisebb mint a szabványi feltételben megadott **5%**-os korlát (pl. kisebb mint **1%**). Ha az összes tömegrészesedés nem megy **0.90** (**90%** alá), akkor ezek kikapcsolhatók, de vegyük figyelembe, hogy ezzel a figyelembe vett földrengési teher is csökken!

Minden egyes bekapcsolt rezgésalak irányonként (X, Y és Z) egy, illetve két - a csavaróhatást figyelembevételétől függően - földrengési teheresetet fog eredményezni. Így a "felesleges" rezgésalakok szűrése nagy számú módus mellett javasolt, mert jelentősen csökkentheti a modálanalízis során vizsgált teheresetek számát és ezzel a vizsgálathoz szükséges számítási időt is.

Az egyes rezgésalakokat többféle módon kapcsolhatjuk ki/be. Végig mehetünk a táblázat sorain és a sorok végén az **Állapot (aktív)** mezőre kattintva tudjuk ki vagy bekapcsolni az alakokat. Ezen felül az egérrel a táblázaton állva jobb kattintással felugrik egy menü, amiben aktiválni tudjuk a **Rezgésalakok** *ki/be* kapcsolása funkciót:



A megjelenő ablakban a többféle lehetőségünk van, kérhetünk valamely küszöbérték szerinti szűrést is (például az **1%** alatti tömegrészesedéseket kikapcsolhatjuk). Használjuk ezt a szűrés funkciót, az alábbiak szerint állítsuk be a küszöbértéket, mely legyen 1%, azaz **0.01** (elegendő csak a vizsgálat szerinti **x** és **y** irányban megadnunk):

Rezgésalakok ki/be kapcsolása 🛛 🗙					
 Összes rezgésalak bekapcsolása Összes rezgésalak kikapcsolása Kijelölt rezgésalakok bekapcsolása Kijelölt rezgésalakok kikapcsolása Küszöbértékek alatti rezgésalakok kikapcsolása ε_XΛ 0.010 ε_YΛ 0.010 ε_XΛ 					
Minden rezgésszámítás után automatikusan					
OK Mégsem					

Jelöljük meg a *Minden rezgésszámítás után automatikusan* jelölőnégyzetet is. Ha új számítást végzünk, akkor a beállított szűrést a program automatikusan elvégzi, de minden esetben ellenőrizzük az összes tömegrészesedést!

Kattintsunk az **OK** gombra és nézzük meg a végeredményt, ellenőrizzük, hogy a beállított feltételek mellett teljesül-e az irányonként szükséges tömegrészesedés:

Szerkesztés Formátum Dokumentáció Súgó											
SZEIZMIKUS	+	< 🖻 💼	問 🖨	E							
– Sajatfrekvenciak (20) – Csomóponti tömegek	Rezgé	salakok töm	egrészesed	lése (I.) [SZEIZI	MIKUS]						
Rezgésalakok tömegrészesedése (20)		f (Hz]	TIG	Hiba	- 8	£.,	2-	5.8.	Σ.ε.,	Σ.ε.	Aktív
 Megmozgatott tömegek (20) 		111111	1.101		*X	۹Ŷ	*2	~1~X	-1-1	~1~2	
- 1. alak (1.43 Hz)	1	1.43	0.701	4.80E-8	0.003	0.811	0	0.003	0.811	0	 ✓
- 2. alak (2.00 Hz)	2	2.00	0.500	1.63E-8	0.739	0.004	0	0.742	0.816	0	~
- 3. alak (3.03 Hz)	3	3.03	0.330	1.81E-9	0.069	0.001	0	0.810	0.817	0	×
- 4. alak (5.97 Hz)	4	5.97	0.168	2.34E-9	0.001	0.136	0	0.811	0.953	0	1
- 5. alak (6.82 Hz)	5	6.82	0.147	1.98E-9	0.136	0.001	0	0.947	0.954	0	-
- 6. alak (7.55 Hz)	6	7.55	0.133	1.29E-9	0	0.012	0	0.947	0.966	0	
7. alak (9.12 Hz)	7	9.12	0.110	2.03E-10	0.018	0	0	0.965	0.966	0	•
- 8. alak (9.43 Hz)	8	9.43	0.106	1.66E-10	0.001	0	0				
9. alak (10.50 Hz)	9	10.50	0.095	1.30E-9	0	0.014	0	0.965	0.980	0	-
- 10. alak (11.90 Hz)	10	11.90	0.084	1.01E-10	0.003	0	0				
11. alak (12.63 Hz)	11	12.63	0.079	1.33E-10	0.012	0	0	0.977	0.980	0	
12. alak (13.00 Hz)	12	13.00	0.077	5.59E-10	0	0.003	0				
- 13. alak (14.70 Hz)	13	14.70	0.068	7.06E-10	0	0.001	0				
- 14. alak (15.30 Hz)	14	15.30	0.065	4.36E-9	0	0	0				
15. alak (16.07 Hz)	15	16.07	0.062	4.45E-9	0.003	0	0				
16. alak (17.07 Hz)	16		0.059	5.36E-7	0	0	0				
17. alak (17.45 Hz)	17	17.45	0.057	4.64E-8	0.002	0	0				
18. alak (17.69 Hz)	18	17.69	0.057	2.10E-6	0	0	0				
19 alak (17 79 Hz)	19	17.79	0.056	7.32E-7	0.001	0	0				
20. alak (18.21 Hz)	20		0.055	3.04E-6	0	0	0				
Összes rezgésalak (20)	9/20				0.977	0.980	0				
- Osszes rezgésalak (20)	9/20				0.977	0.980	U				

A feltétel teljesül a 9 aktívnak jelölt rezgésalak alapján.

Ha úgy ítéljük további alakokat is kikapcsolhatunk, a szabvány szerinti előírások már az első öt rezgésalak figyelembevételével is teljesül (ld. alábbi ábra). Ettől az egyszerűsítéstől most tekintsünk el!

	^ _	× Ba m.	63 🖂	121 I							
- Sajátfrekvenciák (20)		× 1	E:S ()								
 Csomóponti tömegek 	Reze	gésalakok töm	egrészesed	ése (I.) [SZEIZI	MIKUS]						
 Rezgésalakok tömegrészesedése (2) 	0)	f (Hz)	TIN	Hiba	8.1	8.	2-	5.8.	Σ.ε.,	5.8-	Aktó
Megmozgatott tömegek (20)		10.00	1.101		*X	۹Ŷ	*2	-1-X	-1 °Y	m1*2	
- 1. alak (1.43 Hz)		1 1.43	0.701	4.80E-8	0.003	0.811	0	0.003	0.811	0	•
- 2. alak (2.00 Hz)		2 2.00	0.500	1.63E-8	0.739	0.004	0	0.742	0.816	0	•
- 3. alak (3.03 Hz)		3 3.03	0.330	1.81E-9	0.069	0.001	0	0.810	0.817	0	•
- 4. alak (5.97 Hz)		4 5.97	0.168	2.34E-9	0.001	0.136	0	0.811	0.953	0	
- 5. alak (6.82 Hz)		5 6.82	0.147	1.98E-9	0.136	0.001	0	0.947	0.954	0	
- 6. alak (7.55 Hz)		6 7.55	0.133	1.29E-9	0	0.012	0				
- 7. alak (9.12 Hz)		7 9.12	0.110	2.03E-10	0.018	0	0				_
- 8. alak (9.43 Hz)		8 9.43	0.106	1.66E-10	0.001	0	0				
9. alak (10.50 Hz)		9 10.50	0.095	1.30E-9	0	0.014	0				
- 10. alak (11.90 Hz)		10 11.90	0.084	1.01E-10	0.003	0	0				
- 11. alak (12.63 Hz)		12.63	0.079	1.33E-10	0.012	0	0				
12. alak (13.00 Hz)		12 13.00	0.077	5.59E-10	0	0.003	0				
- 13. alak (14.70 Hz)		13 14.70	0.068	7.06E-10	0	0.001	0				
14. alak (15.30 Hz)		14 15.30	0.065	4.36E-9	0	0	0				
- 15. alak (16.07 Hz)		15 16.07	0.062	4.45E-9	0.003	0	0				
- 16. alak (17.07 Hz)		16 17.07	0.059	5.36E-7	0	0	0				
- 17. alak (17.45 Hz)		17.45	0.057	4.64E-8	0.002	0	0				
- 18, alak (17,69 Hz)		18 17.69	0.057	2.10E-6	0	0	0				
- 19. alak (17.79 Hz)		19 17.79	0.056	7.32E-7	0.001	0	0				
20. alak (18.21 Hz)		20 18.21	0.055	3.04E-6	0	0	0				
Összes rezgésalak (20)	v 5/2	20			0.947	0.954	0				

A bal oldali fában ki tudjuk választani a **Sajátfrekvenciák** megjelenítését, ekkor a táblázatban láthatjuk a kiszámított sajátfrekvenciákat, periódusidőt, körfrekvenciát, sajátértéket és az egyes alakokhoz tartozó hibát is.

<u>X4</u>	Táblázatkezelő						-	
<u>E</u> ájl	Szerkesztés Formátum Dokumentáció	<u>S</u> úgó						
		~	+	× 🗈 1	n. 69 A	占 🗖 👔	1	
	 Sajátfrekvenciák (20) 						J	
	 Csomóponti tömegek 		Saja	atfrekvenciá	k (I.) [SZEIZ	MIKUS]		
	Rezgésalakok tömegrészesedése (2)	0)		f [H=1	T [c]	(a) [rad/s]	Sé	Hiba
	Megmozgatott tömegek (20)			1 [112]	1 (3)	w [100/3]	5.0.	11100
	- 1. alak (1.43 Hz)		1	1.43	0.701	8.96	80.37	4.80E-8
	2. alak (2.00 Hz)		2	2.00	0.500	12.55	157.60	1.63E-8
	3. alak (3.03 Hz)		3	3.03	0.330	19.06	363.42	1.81E-9
	- 4. alak (5.97 Hz)		4	5.97	0.168	37.49	1405.72	2.34E-9
	- 5. alak (6.82 Hz)		5	6.82	0.147	42.82	1833.68	1.98E-9
	6. alak (7.55 Hz)		6	7.55	0.133	47.41	2247.49	1.29E-9
			7	9.12	0.110	57.27	3280.17	2.03E-10
	- 8. alak (9.43 Hz)		8	9.43	0.106	59.24	3508.85	1.66E-10
	9. alak (10.50 Hz)		9	10.50	0.095	65.96	4350.80	1.30E-9
	10. alak (11.90 Hz)		10	11.90	0.084	74.76	5588.71	1.01E-10
	11. alak (12.63 Hz)		11	12.63	0.079	79.36	6297.36	1.33E-10
	12. alak (13.00 Hz)		12	13.00	0.077	81.68	6672.15	5.59E-10
	13. alak (14.70 Hz)		13	14.70	0.068	92.36	8531.23	7.06E-10
	14. alak (15.30 Hz)		14	15.30	0.065	96.15	9245.05	4.36E-9
	15. alak (16.07 Hz)		15	16.07	0.062	100.95	10190.95	4.45E-9
	16. alak (17.07 Hz)		16	17.07	0.059	107.24	11501.03	5.36E-7
			17	17.45	0.057	109.63	12018.31	4.64E-8
	18. alak (17.69 Hz)		18	17.69	0.057	111.12	12347.85	2.10E-6
	19. alak (17.79 Hz)		19	17.79	0.056	111.78	12495.41	7.32E-7
	20. alak (18.21 Hz)		20	18.21	0.055	114.40	13086.24	3.04E-6
	Összes rezgésalak (20)	~						
							ОК	Mégsem

Zárjuk be a *Táblázatkezelő*t, kattintsunk az *OK* gombra, ezzel a rezgésalakokra beállított szűrést is jóváhagyjuk.

Nyissuk le a rezgéseredményeket tartalmazó eredménylistát, ekkor látni fogjuk, hogy egyes alakok halvány szürkével jelennek meg a listában, amelyek az **inaktív** állapotú alakok (a földrengésterhek generálásához ezeket az alakokat hanyagoljuk el).

Ezen felül, az egyes alak *aktív* vagy *inaktív* állapotát, a bal oldali *Info-paletta* is jelzi.

Geometria	Elemek	Terhek	Háló	Statika	Kihajlás	Rezgés	Dinamika
" ∿ •t ੈ		^₀ 1. ala	k (1.43 ł	Hz)		▼ e	X
		🖃 🕒 Els	őrendű	rezgés			
		ė. 🗅	SZEIZN	IIKUS /M	erevségcs	ökkenté	s
			-∧ ₂ 1. ali	ak (1.43 H	lz)		
			-∧₀ 2. ali	ak (2.00 H	z)		
			Ay 3. ali	ak (3.03 H	lz)		
			-∧ ₂ 4. ali	ak (5.97 H	lz)		
			Ay 5. ali	ak (6.82 H	lz)		
			Ay 6. ali	ak (7.55 H	lz)		
			-∧ ₂ 7. ali	ak (9.12 H	z)		
			-Ay 8. ali	ak (9.43 H	lz)		
			-∧ ₂ 9. ali	ak (10.50 I	Hz)		
			.Ay 10. a	lak (11.90) Hz)		
			-∧ ₂ 11. a	lak (12.63	Hz)		
			.Ay 12. a	lak (13.00) Hz)		
			.Ay 13, a	lak (14.70) Hz)		
			.∧ _v 14. a	lak (15.30) Hz)		
			-Ay 15. a	lak (16.07	'Hz)		
			-∧ ₂ 16. a	lak (17.07	'Hz)		
			-Ay 17. a	lak (17.45	i Hz)		
			-∧ ₂ 18. a	lak (17.69	Hz)		
			-Ay 19. a	lak (17.79	Hz)		
			-∧ ₂ 20. a	lak (18.21	Hz)		

A rezgésalakok szűrése után lépjünk vissza a **Terhek** fülre, hogy beállítsuk a földrengésteher paramétereit.



A program még további tehereseteket fog létrehozni, ha a földrengési paramétereket beállítjuk. Fogadjuk el a módosítást az **OK** gombbal.

A program automatikusan az **FR X** teheresetet teszi aktuálissá, illetve a **Terhek** eszköztáron aktívvá válik a **Földrengésterhek** ikon (ez a funkció csak akkor elérhető, ha földrengés típusú tehereset van kiválasztva).



Földrengésterhek

A paraméterek beállításához kattintsunk a **Földrengésterhek** ikonra. A program ekkor figyelmeztető üzenetet jelenít meg:



Mentsük el a modellt, kattintsunk az OK gombra.

A mentés után az alábbi paraméter beállító ablak jelenik meg:

Földrengésterhek		×
_	<u>V</u> izsgálat	<u>E</u> set
	Lineáris ~	SZEIZMIKUS ~
Paraméterek (Eurocode [H])		$\gamma_1 = 1$ $q_d = 1.5$
Spektrum (vízszintes) Spektrum (függőleges)	Csavaróhatás Kombi	inációs módok
X és Y irányban eltérő q tényező	<u>T</u> ervezési spektrum	
a _{gR} [m/s ²] = 1.000	<paraméteres alak=""></paraméteres>	
$\begin{array}{c} T_{\underline{a} \underline{a} \underline{i} \underline{f} \underline{f} \underline{f} \underline{f} \underline{f} \underline{f} \underline{f} f$		S _d [m/s ²]
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	0.767	<u>0.200</u> T[s] 4.000
		OK Mégsem

Tekintsük át és állítsuk be a feladathoz szükséges paramétereket:

- a Vizsgálatnál szelektálhatunk a már elvégzett rezgésszámítások típusai között: ez lehet Lineáris / Nemlineáris (a nemlineáris vizsgálat értelmezését ld. korábban, illetve a Felhasználói kézikönyvben!). Ez a funkció most inaktív, mert csak lineáris vizsgálatot végeztünk egyetlen teherkombináció alapján, ezért nincs választási lehetőségünk.
- mellette kiválaszthatjuk azt az esetet, melyre a kiválasztott típusú (*lineáris/nemlineáris*) rezgésszámítást elvégeztük és amely alapján a földrengési terheket szeretnénk automatikusan generáltatni. Csak egy rezgésszámítást végeztünk (a SZEIZMIKUS teherkombinációt figyelembe véve), így a program automatikusan kiválasztja ezt az esetet. Emiatt ez is szürke, inaktív állapotban van, azaz most nincs választási lehetőségünk.
- Az *Eset* alatt állíthatjuk be a *fontossági osztály*t (g_I). Ennek alapértelmezett értéke 1. Ez a kiindulási paraméterünkkel megegyező, ezen nem kell módosítanunk.
- A fontossági osztály mellett jobbra az *elmozdulási viselkedési tényező* található (*MSZ EN* 1998-1:2008-1 4.3.4 (1)P). Ennek az értéke legyen 1,50, ezt vegyük azonosnak a *viselkedési tényező* vel. Utóbbi beállítását ld. alább.
- a Spektrum (vízszintes) fülön definiáljuk az alkalmazandó válaszspektrumot. A Tervezési spektrum címszó alatt többféle választási lehetőségünk van:
 - a) a válaszspektrumot megadhatjuk a szabványban szereplő paraméteres alak formájában,
 - b) definiálhatunk egyedi spektrumot,
 - c) betölthetünk korábban elmentett spektrumot is (az ábrán pl. a Spektrum1 nevű):

<u>T</u> ervezési spektrum	
<paraméteres alak=""></paraméteres>	~
<paraméteres alak=""></paraméteres>	
<egyedi></egyedi>	
Spektrum1	

Spektrumszerkesztő...

Egyedi spektrumot a spektrum-szerkesztőben adhatunk meg, alkalmazhatunk paraméteres függvényt, vagy egy meglévő adatsort is be tudunk illeszteni (pl. **Excelből**) a táblázat formátumát figyelembe véve. Ezt a szerkesztő funkciót ebben a példában nem mutatjuk be, bővebb információt találunk erről a **Felhasználói kézikönyv**ben.

A következőkben paramétereivel definiált spektrumot < Paraméteres alak> fogunk használni.

Spektrum

névvel...

Segéd vonalak

H

A diagramtól balra találhatjuk azokat a paramétereket, melyeket meg kell adnunk (ha egyedi spektrumot definiálunk vagy meglévőt töltünk be, úgy ezek az adatmezők szürkévé válnak, nem szerkeszthetők):

az *a_{gR}* csúcsgyorsulás értéke az alapadatok alapján legyen 1,0 m/s², a *q* viselkedési tényező értéke pedig 1,50.

Ha a szerkezeti kialakítás miatt indokolt, **X** és **Y** irányokban alkalmazhatunk eltérő **q tényező**t is. Ekkor az aktuális fül bal felső sarkában lévő jelölőnégyzetet ki kell pipálnunk, hogy megjelenjenek a bővebb adatbevitelhez szükséges mezők.

A feladatunkban most csak azonos viselkedési tényezőt használunk.

bal oldalt ki tudjuk választani a szabvány besorolása alapján a *Talajtípus*t, illetve a földrengési válaszspektrum típusát (*Type 1* vagy *Type 2*) is egyben. A feladat kiindulási adatai szerint 1-es típusú görbét alkalmazunk, C talajosztály figyelembevételével. Válasszuk ki az ennek megfelelő sort: C Type 1.

A megadott paramétereket beállítva (módosítva) a program megjeleníti a válaszspektrumot a jobb oldali grafikonon, feltüntetve a görbéhez tartozó jellemző **Sd** gyorsulási értékeket is.



mentése A spektrum főbb paraméterei (**S**, **T**_B, **T**_C, **T**_D, **b**) a viselkedési tényező alatt láthatóak. Szükséges esetben ezeket is módosítani tudjuk, illetve a beállított spektrumot el is tudjuk menteni a **Spektrum mentése névvel** ikonra kattintva.

A görbén megjelenő piros függőleges **segédvonalak** az **aktív** rezgésalakok periódus idejét jelölik. Támpontot adnak arról, hogy a válaszspektrum mely tartománya alapján generálódnak a földrengési terhek. A segédvonalakat ki tudjuk kapcsolni a **Spektrum mentése** mellett jobbra lévő ikonra kattintva.

Ha végeztünk a fentiek beállításával, akkor kattintsunk a második, **Spektrum (függőleges)** fülre. Amenynyiben a földrengés tervezési adatok és az alkalmazott szabvány indokolttá teszi, figyelembe vehetjük a földrengés függőleges irányú gyorsulását is. Az előzőhez hasonlóan tudjuk megadni a figyelembe veendő válaszspektrumot.

Feladatunkban a földrengés függőleges gyorsulásából adódó terhelés nem mértékadó, így ezt nem használjuk.

Földrengésterhek						×
		<u>V</u> izsgálat		<u>E</u> set		
		Lineáris		SZEIZMIKUS		
Paraméterek (Eurocod	ie [H])			γ1 = 1	q _d = 1.5	
Spektrum (vízszintes)	Spektrum (függőleges)	Csavaróhatás	Kombi	nációs módok		
Függőleges gyorsula	ás	<u>T</u> ervezési spekti	rum			
a _{vy}	_{gR} [m/s ²] = 0.900	< Paraméteres	alak>			
T <u>a</u> lajtípus A Type 1 B Type 1	q _v = 1.5					
D Type 1 E Type 1	S = 1 T _P [s] = 0.050					
B Type 2 C Type 2	$T_{\rm C} [s] = 0.150$					
D Type 2 E Type 2	$T_{D}[s] = 1.000$ $\beta = 0.2$					
	FUIL					
					ОК	Mégsem

Lépjünk át a következő – Csavaróhatás - fülre, és állítsuk be az alábbiakat:

A hatás figyelembevételéhez tegyünk egy pipát a **Csavaróhatás számításá**hoz a fül bal felső sarkában. A **Külpontossági koefficiens** alapértéke a szabványban rögzített **0,05** értékkel megegyező. Ezt a vizsgálatunkhoz ne írjuk felül.

A **Szintek**et, melyhez a külpontosság alapján meghatározott csavarónyomaték-rendszert rendeljük, definiálnunk szükséges:

Ha a modellünkben már létrehoztunk szinteket (ld. korábban), úgy a program automatikusan feltölti az ablakban látható listát. Ha szükséges tovább szinteket is be tudunk szúrni (a *Hozzáadás* vagy a *Felvesz* funkcióval), illetve törölni (*Törlés*) tudunk a lista elemeiből. (Az esetleges módosítások csak itt érvényesek, a szerkesztéshez beállított szinteket a program nem módosítja.)

A szinteket manuálisan az alábbiak szerint tudjuk hozzáadni a listához:

A szint magassági adatát a **Z[m]** = adatbeviteli mezőjébe beírva, a **Hozzáadás** gombra kattintva egyesével tudjuk a listához adni a szinteket. A **Felvesz** funkcióval a modelltérben kell megjelölnünk az egyes födémsíkok magassági pontjait (egyszerre többet is ki tudunk jelölni).

Földrengésterhek					>	×
		<u>V</u> izsgálat		<u>E</u> set		
		Lineáris		SZEIZMIKUS		
Paraméterek (Eurocod	le [H])					
				γ ₁ = 1	q _d = 1.5	
Spektrum (vízszintes)	Spektrum (függőleges)	Csavaróhatás	Kombi	nációs módok		
Csavaróhatás számí	tása		Külpo	ntossági koefficier	ns = 0.05	
		Szintek		Z[m]		
		6. szint		+22.500	Z [m] = 22,500	
		5. szint		+19.000		
		4. szint		+15.500	<u>H</u> ozzáadás	
		3. szint	-	+ 12.000		
		2. szint	-	+0.000	Tö <u>r</u> lés	
		Földszint		0		
					Felvesz >>	
					OK Mégsem	

A korábban definiált szintek megfelelőek a számításhoz, ne módosítsuk azokat. Lépjünk tovább a következő fülre!

Kattintsunk a **Kombinációs módok** fülre, és állítsuk be a teheresetekhez tartozó eredmények kombinálásának módját. A modális válaszok összegzéséhez alapvetően két módszer közül választhatunk:

Négyzetösszegek gyöke (Square Root of Sum of Squares – SRSS),

Teljes kvadratikus kombináció (Complete Quadratic Combination – CQC).

Az **Automatikus** lehetőség választása esetén a program a rezgésvizsgálat eredményei alapján automatikusan eldönti, hogy szükséges-e a **CQC** módszer alkalmazása. Ehhez akkor tekintjük a rezgésalakokat jól szétválasztottnak, ha $T_i/T_i < 0.9$ minden $T_i > T_i$ -re. Ez utóbbi az alapbeállítás, ezen ne módosítsunk feladatunkban.

Ugyancsak itt megadhatjuk a *viszkózus csillapítás*t **x'** értékét is. Az alapbeállítás szerint ez **0,05** értékű, ezen ne módosítsunk feladatunkban.

Szeizmikus hatás összetevőinek kombinációja: a két vízszintes és a függőleges irányhoz tartozó eredmények összegzésére két különböző megközelítés terjedt el a mérnöki gyakorlatban. Ezek közül választhatunk az ablak alsó részében. Ezt is hagyjuk az alapbeállítás szerint:

Földrengésterhek			×
Paraméterek (Eurocode [H])	<u>V</u> izsgálat Lineáris		Eset SZEIZMIKUS V
Spektrum (vízszintes) Spektrum (függőleges)	Csavaróhatás	Kombi	$\gamma_{l} = 1.5$
Modális válaszok kombinációja	(a) Automati (b) $E = \sqrt{\sum_{i} E}$ (c) $E = \sqrt{\sum_{i,j} E}$	kus $\overline{i_i^2}$ $\overline{E_i r_{ij} E_j}$	(SRSS) (CQC) ξ' = 0.05
Szeizmikus hatás összetevőinek kombinációja	• $E_{\max} = \sqrt{E}$ • $E_{\max} = ma$	$E_X^2 + E_Y^2 + E_X^2 + C_X^2 + C_X^$	$ \begin{array}{c} \overline{E_{Z}^{2}} \\ 0.3E_{Y} + 0.3E_{Z} \\ + E_{Y} + 0.3E_{Z} \\ + 0.3E_{Y} + E_{Z} \end{array} $
			OK Mégsem

Ha végeztünk az adatmegadással, úgy zárjuk a **Földrengésterhek** ablakot az **OK** gomb megnyomásával. Ekkor egy figyelmeztető üzenetet kapunk a **Z** irányú tömegrészesedésre vonatkozóan (a rezgésvizsgálatban nem vettük figyelembe a függőleges irányt, ezért látunk **0%**-ot).



Mivel a globális **Z** irányú földrengési terhekkel nem számolunk, úgy ezt az üzenetet figyelmen kívül hagyhatjuk. Lépjünk tovább az **OK** gombra kattintva.

A földrengési paraméterek beállítása után a program generálja a szükséges földrengési tehereseteket és azokban a terheket. Nézzük végig a földrengési tehereseteket a legördülő listában:
Geometria Elemek	Terhek	Háló	Statika	Kiha
● • 豊* 今 /	<u>t.</u>		3 5	•
FR Xa FR Xb FR Ya FR Ya in onsúly in onsúly burkolat idmennyezet homlokzati terhek ilejcsöházi teher ii 1em-iroda ii 2em-iroda iii 3em-iroda iii 4em-iroda iii 2em-erkély iii 2em-válaszfal iii 2em-válaszfal iii 2em-válaszfal iii 2em-válaszfal iii 2em-válaszfal iii 2em-válaszfal iii 4em-válaszfal iii 4em-válaszfal iii 5em-qépészet ii 6em-acélszerk tető ii FR 1- ii FR 2- ii FR 3- ii FR 4- ii FR01X		R01tX R02X R02Y R02X R02Y R02X R02tY R03X R03tY R03X R03tY R03X R03tY R04X R04tX R04tY R04tX R04tY R04tX R04tY R05tY R05tY R05tX R05tY R05tX R05tY R05tX R05tY R05tX R05tY R05tX R05tY R06tX R05tY R06tX R05tY R06tX R07Y R07tX R07t		

A földrengés hatást helyettesítő statikus terheket a **01X**, **02X**,**nX**, **01Y**, **02Y**,**nY**, **01Z**, **02Z**,**nZ** karakterekre végződő teheresetek tartalmazzák. **X**, **Y** és **Z** jelöli a földrengés irányát, az előtte álló számok pedig a terhek alapjául szolgáló rezgésalakot azonosítják. A véletlen külpontosságból származó csavarás hatását a **01tX**, **02tX**,**ntX**, **01tY**, **02tY**,**ntY** karakterekre végződő teheresetek tartalmazzák.

Megjegyzés: feladatunkban **9** rezgésalakot jelöltünk *aktív*nak, az **X** és **Y** irányú földrengési terheket és a csavaróhatás figyelembe véve alakonként **2x(1+1)=4** teheresettel kell számolnunk, összesen **9x4=36** földrengési tehereset generálódott.

(Korábban említettük, hogy **5** rezgésalak is elegendő lenne a szabvány előírások alapján, akkor csak **20** tehereset generálódott volna.)

Kattintsunk az **FR01Y** földrengési teheresetre és kapcsoljuk be a terhek megjelenítését is!

A program megjeleníti a teheresethez rendelt földrengési terheket, a csomópontokra (belső hálópontok is) helyezett koncentrált erőket:



Ha a szétosztott földrengési koncentrált teher nagyon "kicsi", előfordulhat, hogy a csomópontokra helyezett koncentrált teher nullának "tűnik" a megjelenített tizedesjegyek számától függően. Ha szükséges, módosítsunk a mértékegységhez (*Terhek/Koncentrált erő*) rendelt tizedes beállításon, hogy több tizedes értéket lássunk. Ennek beállítását itt találjuk: *Beállítások/Mértékegységek/Terhek/Koncentrált erő*).

lértékegységek				>
Mértékegység-rendszer	Egyedi beállítás v	-		
Geometria	Terhek	Mértékegység	Tiz.	
Keresztmetszet	Koncentrált erő	kN ~	2 ~	1
Anyagjellemzök Tulsidansénak	Koncentrált nyomaték	kNm v	2 2	
 Iulajdonsagok Moreuség 	Koncentrate Hyomatek	×	<u> </u>	
Terbek	Vonalmenti ero	kiv/m ~	2 ~	
Statika	Vonalmenti nyomaték	kNm/m ~	2 ~	
 Kihailás 	Felületi erő	kN/m ² ∨	2 ~	
 Rezgés / Dinamika 	Hőmérséklet	°C v	1 ~	1
 Vasbetontervezés 	Hőmérséklet-változás	°C V	1 ~	
 Acéltervezés 	Dessiélie téruseő		2	
 Fa méretezés 	Parcialis tenyezo	~	3 ~	
 Kótázás 	Teherkombináció szorzó	~	2 ~	
	Teherpozíció arány	~	3 ~	
	Tűzterhelés tervezési értéke	MJ/m ² v	3 ~	1
	Fajhő	J/kq/°C ∨	3 ~	1
	Hővezetési tényező	W/m/°C v	3 ~	
	Saakién tényező	1/m	1	
	Szeivenytenyező	1/m V		
	Tűzidőtartam	perc ~	1 ~	
] Legyen ez az alapértelmezett beállítá:	:			

Megjegyzés: ha a hálót bármely módosítás miatt törölnünk szükséges, úgy a földrengési terhek is törlődnek!

A többi földrengési tehereset a lineáris statikai számítás után nyer tartalmat, az alábbi szolgál magyarázatukra:

A lineáris statikai számítást követően a **Statika** fülön számos földrengés teheresetnél érhető el számítási eredmény. Az eredmények csoportosításához a következő elnevezési rendszert alkalmazzuk: az önálló teheresetek eredményeit a teheresetek nevével jelöljük. Ezeken felül kétféle eredményt jelenítünk meg.

Az **X**, **Y** vagy **Z** betűre végződő teheresetek az adott irányhoz tartozó összegzett modális eredményeket tartalmazzák. Ha számolunk véletlen külpontossággal, akkor a csavarónyomaték irányától függően irányonként két eredményt kapunk. A pozitív vagy negatív irányú csavarással terhelt szerkezet eredményeit rendre **a** és **b** betűvel különböztetjük meg egymástól. Az **Ya**-ra végződő tehereset például az **Y** irányú modális terhek és az ezek véletlen külpontosságából származó pozitív értelmű csavaróhatás kombinált eredményeit tartalmazza.

Az X, Y, Z irányokra számított eredmények összegzését is automatikusan elvégzi a program. Ha nincs véletlen külpontosság, akkor az összegzés végeredménye egyetlen tehereset, melynek neve megegyezik a földrengés esetnek a felhasználó által meghatározott névvel. Véletlen külpontosság esetén nem egyértelmű, hogy az X és Y irányban melyik értelmű csavarónyomatékokat használjuk a kombinációhoz, ezért négy különböző eredményt kapunk. A négy eredményt arab számokkal jelölve a következő módon számítjuk ki (az összeadás itt kombinálásra utal, nem a számszerű eredmények összeadását értjük alatta!):

1	=	Ха	+	Ya	+	Ζ
2	=	Ха	+	Yb	+	Ζ
3	=	Xb	+	Ya	+	Ζ
4	=	Xb	+	Yb	+	Ζ

Az **MVSA** eredményeinek a számítás jellegéből adódóan csak abszolút értékét ismerjük, ezért a fenti eljárással kapott teheresetek csak pozitív értékeket tartalmaznak. A legkedvezőtlenebb, a méretezés szempontjából mértékadó teherkombináció keresését a földrengésből származó igénybevételek pozitív és negatív értékével is el kell végezni. Ezt segíti a kombinált földrengésterhek + és – jellel ellátott változata, melyekkel a terhek kombinálása általában egyszerűen elvégezhető. A különböző előjellel ellátott teheresetek csak a teherkombináció egyszerűsítését szolgálják, a hozzájuk tartozó eredmények abszolút értéke megegyezik. Bizonyos esetekben (például összetett csomópontok tervezésekor) a program által automatikusan létrehozott tisztán pozitív és tisztán negatív igénybevételeket tartalmazó esetek mellett egyéb, vegyes előjelű igénybevételek hatása is mértékadóvá válhat!

Megjegyzés: A **Statika** fülön az elmozdulásokat a nagyított értékükkel (azaz a lineáris statikai számításból kapott eredményeket a q_d elmozdulási viselkedési tényezővel felszorozva) mutatja a program.

Táblázatkezelő

Ezt követően lépjünk be a **Táblázatkezelő**be, ellenőrizzük a beállított földrengési paramétereket. Kattintsunk a **Táblázatkezelő** ikonra, a felugró ablak bal oldali listájában keressük meg a **Földrengési paraméterek**et:

Tablazatkezelo		- U
Szerkesztés Formátum Dokumentáció	Súgó	
FR01tX (8390)	^ + × № € 問 🖨 🖸 🗿	
FR01tY (8394)	Californa és a seren étamolo	
	Foldrenges parameterek	
		Paraméterek
	E	Imozdulási viselkedési ténvező: a., = 1.5
EPO2V (8490)	- Spektrum (vízszintes)	
EP02V (8465)	P	araméteres alak
ER031X (8394)	A	z épület fontossági tényezője: γ, = 1
ER034V (8393)	Ta	alajtípus: C Type 1
	Ti	ervezési talajgyorsulás: a _n = 1.000 m/s ²
FR04Y (8474)	Vi	iselkedési tényező: q = 1.5
FR04tX (8385)	Ta	alajparaméter: S = 1.15
FR04tY (8394)	A	z állandó spektrál-gyorsulási szakasz kezdete: T _B = 0.200 s
FR05X (8480)	A	z állandó spektrál-gyorsulási szakasz vége: T _C = 0.600 s
FR05Y (8344)	A	z állandó elmozdulás spektráltartományának kezdete: T _D = 2.000 s
FR05tX (8394)	St	pektrum alsó határának szorzója: β = 0.2
	Kombinációs módok	
- Teheresetek (53)	M	lodális válaszok kombinációja: Automatikus
- Tehercsoportok (8)	Vi	iszközus csillapítás: ξ ′ = 0.05
 Mértékadó tehercsoport-kombinációk (1) 	Sa	zeizmikus hatás összetevőinek kombinációja: SRSS
Egyedi teherkombinációk	Csavaróhatás	ale stand i la faire 0.05
Számított mértékadó kombinációk	- Crintel 7	upontossagi koemiciens = 0.05
 Földrengés paraméterek 	Szintek 2	[m] 2 500
iii Függvények	5 spint 10	2,000
Súlyelemzés		5.000
KONYVIARAK	4. szint 1.	2,000
H Anyagtar	2. szint 8.	500
Szeivenytar	1, szint 5,	.000
	Földszint 0	
		OK Még

A jobb oldali táblázatban a korábban megadott paramétereket látjuk összefoglalva.

A földrengési terhek definiálása után lineáris statikai számítást kell végeznünk. Lépjünk át a **Statika** fülre. Egy figyelmeztető ablak ugrik fel, mely figyelmeztet a modell mentésére, és tájékoztat arról, hogy a vonatkozó eredmények törlődni fognak (korábbi statikai számítás eredményei):

				×
X4	Mode	ll mentés	e	
	Módos eredmé Kéri a n	ított a mode nyek törlőd nodell adato	II bemenő adatain, ezért a nek. k mentését?	vonatkozó
<u>l</u> ge	n	<u>N</u> em	M <u>e</u> ntés más néven	<u>M</u> égsem

Kattintsunk az Igen gombra, kérjük a modell mentését.

Lineáris statika számítás

₽**↓**__

Ezt követően kattintsunk a Lineáris statikai számítás ikonra, melynek hatására a számítás elindul.

(x64) Lineáris számítás - Vasbeton_epulet_modalanalizis.axs		×
Együtthatómátrix kitöltődésének számítása		
41%		
4%		
Bezárás a számítás végén	<u>M</u> egsza	kítás
Üzenetek		;
15:04:50 Optimalizálás előkészítése 15:04:50 A modell optimalizálása 15:04:50 Csomópont kapcsolatok felépítése 15:04:50 Csomópont kapcsolatok felépítése		^
15:04:50 Egyenletrendszer méretének optimalizálása 15:04:54 Együtthatómátrix kitöltődésének számítása		~
Statisztika		:
Egyenlet 199731	Rácsrúd Rúd	8 86
Becsült teljes memóriaigény - Egyenletrendszer-blokk mérete -	Borda Rugó	412
Legnagyobb szabad memoriablokk: 8.009 G Számítási blokk mérete – Szabad fizikai memória: 10.18 G	Kontakt Kapcsolati elem	-
Teljes fizikai memória: 15.94 G CPU Intel(R) Core(TM) i5-6500 CPU	Élmenti csukló Tárcsa	-
8 szál / 4 mag 3192 MHz A modell optimalizálása 00:05	Lemez Héj	- 16300
Számítás előkészítése	Tehereset	53
Számítás	Teherkombináció	1

Számítás közben a szokásos módon értesülünk a számítás állapotáról, az egyenletrendszer méretéről, a rendelkezésre álló memóriáról, stb... Ha a program végzett a számítással, úgy az **OK** gombra kattintva zárjuk az ablakot.

Vasbeton_epulet_modalanalizis.axs számítása kész. Bezárás a számítás végén OK Úzenetek * 15:06:25 Simított felület igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 15:06:25 Simított felület igénybevétel kombinációk számítása * 15:06:25 Simitott felület itámasz igénybevétel kombinációk számítása * 15:06:25 Simitott felület itámasz igénybevétel kombinációk számítása * 15:06:25 Simitott felület itámasz igénybevétel kombinációk számítása * 15:06:25 Vasbeton_epulet_modalanalizis.axs számítása kész. * Statisztika * Egyenlet 199731 * Egyenletrendszer mérete 461 M * Legnagyobb szabad memóriaigóng 4.153 G Becsült teljes memóriaigóng 4.153 G Egyenletrendszer-blokk mérete 461 M * Legnagyobb szabad memóriai 8.183 G * CPU Intel(R) Core(TM) i5-6500 CPU * B szál / 4 mag 3192 MHz * A modell optimalizálása 00:11 * Számítás előkészítése 00:05 * Számítás 01:03 * Eredményfile mére	🔀 (x64) Lineáris számítás - Vasbeton_epulet_modalanalizis.axs			×	
Bezárás a számítás végén OK Üzenetek V 15:06:25 Simított felület igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 15:06:25 Simított felület igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 15:06:25 Simított felület itámasz igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 15:06:25 Simított felület itámasz igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 15:06:25 Vamaszigénybevétel-kombinációk számítása 15:06:25 15:06:25 Vamaszigénybevétel-kombinációk számítása 15:06:25 15:06:25 Vamaszigénybevétel-kombinációk számítása V Statisztika V Statisztika Vézeyenletrendszer mérete 461 M Legnagyobb szabad memóriablokk 6.955 G Számítási blokk mérete 401 M Szabad fizikai memória: 15.94 G CPU Intel(R) Core(TM) i5-6500 CPU 8 szál / 4 mag 3192 MHz A modell optimalizálása 00:11 Számítás 01:03 Eredményfile mérete: 718 M. 00:14	Vasbeton_epulet_modalanalizis.axs számítása kész.				
Bezárás a számítás végén OK Úzenetek × 15:06:25 Simított felületi igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 15:06:25 Simított felületi igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 15:06:25 Simított felületi támasz igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 15:06:25 Simított felületi támasz igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 15:06:25 Támaszigénybevétel-kombinációk számítása 15:06:25 15:06:25 Vabeton_epulet_modalanalízis.axs számítása kész. V Statisztika V Egyenlet 199731 Kegyenletrendszer mérete 461 M Kegyenletrendszer-blokk mérete 461 M Legnagyobb szabad memóriablokk: 6.955 G Számítási blokk mérete 461 M Kapcsolati elem Legnagyobb szabad memórias 8.133 G CPU CPU Intel(R) Core(TM) i5-6500 CPU Tárcsa Heig 16300 Diafragma 1 Tehereset 53 Számítás 01:03 1 Részíl / 4 mag 3192 MHz - A modell optimalizálása 01:03 1 </th <th></th> <th></th> <th></th> <th></th>					
Bezárás a számítás végén OK Úzenetek V 15:06:25 Simított felület igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 Simított felület igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 Simított felület igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 Simított felületi támasz igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 Simított felületi támasz igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 Vasbeton_epulet_modalanalizis.axs számítása kész. Statisztika V Egyenletrendszer mérete 461 M V Egyenletrendszer mérete 461 M V Legnagyobb szabad memóriaiblokk: 6.955 G Számítási blokk mérete 461 M Szabad fizikai memória: 15.94 G CPU Intel(R) Core(TM) i5-6500 CPU 8 szál / 4 mag 3192 MHz A modell optimalizálása 00:11 Számítás előkészítése 00:05 Számítás 01:03 Eredményfile mérete: 718 M. 00:14					
Úzenetek V Úzenetek V 15:06:25 Simított felületi igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 Felületi támasz igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 Simított felületi támasz igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 Simított felületi támasz igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 Támaszigénybevétel-kombinációk számítása 15:06:25 V Statisztika V Kácsrúd 8 Rúd 86 Becsült teljes memóriaigény 4.153 G Egyenletrendszer mérete 461 M Legnagyobb szabad memóriablokk: 6.955 G Számítási blokk mérete 461 M Szabad fizikai memória: 15.94 G CPU Intel(R) Core(TM) i5-6500 CPU 8 szál / 4 mag 3192 MHz A modell optimalizálása 00:11 Számítás előkészítése 00:05 Számítás 01:03 Eredményfile mérete: 718 M. 00:14	Bezárás a számítás végén		OK		
Üzenetek × 15:06:25 Simított felület igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 15:06:25 Simított felület igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 15:06:25 Simított felületi támasz igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 15:06:25 Támaszigénybevétel-kombinációk számítása * 15:06:25 Vasbeton_epulet_modalanalizis.axs számítása kész. * Statisztika * Egyenlet 199731 * Egyenletrendszer mérete 461 M * Becsült teljes memóriaigény 4.153 G 8 Egyenletrendszer mérete 461 M * Legnagyobb szabad memóriaigény 4.153 G Rugó Számítási blokk mérete 461 M * Számítási blokk mérete 401 M * Számítási blokk mérete 401 M * Számítási blokk mérete 401 M * Számítás előkészítése 00:01 Ö * <th>_ beaus a seamas regen</th> <th></th> <th></th> <th>·</th>	_ beaus a seamas regen			·	
15:06:25 Simított felület igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 Simított felület igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 Simított felület itámasz igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 Támaszigénybevétel-kombinációk számítása 15:06:25 Támaszigénybevétel-kombinációk számítása 15:06:25 Támaszigénybevétel-kombinációk számítása 15:06:25 Vasbeton_epulet_modalanalizis.axs számítása kész. V Egyenlet 199731 Egyenletrendszer mérete 461 M Becsült teljes memóriaigény 4.153 G Egyenletrendszer mérete 461 M Számítási blokk mérete 461 M Legnagyobb szabad memóriaiblokk: 6.955 G Számítási blokk mérete 461 M Számítási blokk mérete 461 M Számítási blokk mérete 461 M Számítási blokk mérete 461 M Számítási blokk mérete 461 M Számítási blokk mérete 461 M Számítási blokk mérete 461 M Számítási blokk mérete 401 M Számítási blokk mérete 461 M Számítási előkészítése OPU Inte	Üzenetek			×	
15:06:25 Simitott felület igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 Simitott felületi támasz igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 Simitott felületi támasz igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 Támaszigénybevétel-kombinációk számítása 15:06:25 Támaszigénybevétel-kombinációk számítása 15:06:25 Támaszigénybevétel-kombinációk számítása 15:06:25 Vasbeton_epulet_modalanalizis.axs számítása kész. v Statisztika Statisztika Egyenlet Egyenlet Egyenlet gyenletrendszer mérete A modell optimalizálása OD:11 Számítás előkészítése Számítás Számítás Számítás OD:11 Számítás Számítás OD:11 Számítás OD:11 Számítás OD:11 Számítás OD:01	15:06:25 Simított felület igénybevétel kombinációk számítása			^	
15:06:25 Felületi támasz igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 Simitott felületi támasz igénybevétel kombinációk számítása 15:06:25 Támaszigénybevétel-kombinációk számítása 15:06:25 Y Statisztika V Statisztika Statisztika Statisztika Statisztika Statisztika Statisztika Statisztika: Statisztika: Statisztika: Statisztika: Statisztika: Statisztika: Statisztika: Statisztika: Statisi colspan="2"Stati	15:06:25 Simított felület igénybevétel kombinációk kiírása				
15:00:23 Simitoti feluleti tamasz igénybevétel kombinaciók számítása 15:00:25 Támaszigénybevétel-kombinációk számítása 15:00:25 Vasbeton_epulet_modalanalizis.axs számítása kész. Statisztika V Statisztika Egyenlet 199731 Egyenletrendszer mérete 461 M Becsült teljes memóriaigény 4.153 G Borda Egyenletrendszer-blokk mérete 461 M Legnagyobb szabad memóriaiblokk: 6.955 G Kontakt Számítási blokk mérete 461 M Szabad fizikai memória: 8.183 G CPU Intel(R) Core(TM) i5-6500 CPU 8 szál / 4 mag 3192 MHz A modell optimalizálása 00:11 Számítás előkészítése 00:05 Számítás 01:03 Eredményfile mérete: 718 M. 00:14	15:06:25 Felületi támasz igénybevétel kombinációk számítása				
15:06:25 Vasbeton_epulet_modalanalizis.axs számítása kész. V Statisztika Egyenlet 199731 Egyenletrendszer mérete 461 M Becsült teljes memóriaigény 4.153 G Egyenletrendszer mérete 461 M Legnagyobb szabad memóriaigény 4.153 G Egyenletrendszer-blokk mérete 461 M Legnagyobb szabad memóriai (bok mérete 461 M Számítási blokk mérete 461 M Számítás előkészítése OPU Intel(R) Core(TM) i5-6500 CPU Berez - Héj 16300 Diafragma 1 Számítás előkészítése <td colspan="</th> <th>15:06:25 Simitott feluleti tamasz igenybevetel kombinaciók szamítása 15:06:25 Támaszigénybevétel-kombinációk számítása</th> <th></th> <th></th> <th></th>	15:06:25 Simitott feluleti tamasz igenybevetel kombinaciók szamítása 15:06:25 Támaszigénybevétel-kombinációk számítása				
Statisztika × Egyenlet 199731 X44 Egyenletrendszer mérete 461 M X44 Becsült teljes memóriaigény 4.153 G Rúd 86 Egyenletrendszer-blokk mérete 461 M X45 Legnagyobb szabad memóriaiblokk: 6.955 G Kontakt - Szamítási blokk mérete 461 M Kacsrúd 8 Szamítási blokk mérete 461 M Kacsrúd 8 Szamítási blokk mérete 461 M Kapcsolati elem - Szamítási blokk mérete 461 M Kapcsolati elem - Élmenti csukló - Tárcsa PU Intel(R) Core(TM) i5-6500 CPU Lemez 8 szál / 4 mag 3192 MHz A modell optimalizálása 00:11 Számítás előkészítése 00:05 Számítás 01:03 Eredményfile mérete: 718 M. 00:14	15:06:25 Vasbeton epulet modalanalizis.axs számítása kész.			~	
Egyenlet199731Egyenletrendszer mérete461 MBecsült teljes memóriaigény4.153 GEgyenletrendszer-blokk mérete461 MLegnagyobb szabad memóriaiblokk:6.955 GSzámítási blokk mérete461 MSzabad fizikai memória:8.183 GTeljes fizikai memória:15.94 GCPU Intel(R) Core(TM) i5-6500 CPU8 szál / 4 mag3192 MHzA modell optimalizálása00:11Számítás előkészítése00:05Számítás01:03Eredményfile mérete:718 M.	Statisztika			×	
Egyenlet199731Rácsrúd8Egyenletrendszer mérete461 MRúd86Becsült teljes memóriaighy4.153 G8Egyenletrendszer-blokk mérete461 M86Legnagyobb szabad memóriaiblokk6.955 G8Szabad fizikai memóriai8.183 G1Teljes fizikai memóriai15.94 G1CPUIntel(R) Core(TM) i5-6500 CPU18 szál / 4 mag3192 MHz16300A modell optimalizálása00:111Számítás előkészítése00:051Számítás01:031Eredményfile mérete: 718 M.00:14				•	
Egyenletrendszer mérete461 MRúd86Becsült teljes memóriaigény4.153 GBorda412Egyenletrendszer-blokk mérete461 MRugó-Legnagyobb szabad memóriaiblokk:6.955 GKontakt-Számitási blokk mérete461 MKapcsolati elem-Szabad fizikai memóriai15.94 G-Kapcsolati elem-CPUIntel(R) Core(TM) i5-6500 CPUTárcsa8 szál / 4 mag3192 MHzHéj16300Számítás előkészítése00:05Diafragma1-Számítás01:03Tehereset53-Eredményfile mérete: 718 M.00:14	Egyenlet 199731	XA	Rácsrúd	8	
Becsült teljes memóriaigény4.153 GBorda412Egyenletrendszer-blokk mérete461 MRugó-Legnagyobb szabad memóriaiblokk:6.955 GKontakt-Számítási blokk mérete461 MKapcsolati elem-Szabad fizikai memóriai15.94 G-Kapcsolati elem-Teljes fizikai memóriai15.94 G-Tárcsa-QPUIntel(R) Core(TM) i5-6500 CPU-Tárcsa-8 szál / 4 mag3192 MHzHéj16300Számítás előkészítése00:05-Tehereset53Számítás01:03Eredményfile mérete:718 M.00:14-	Egyenletrendszer mérete 461 M		Rúd	86	
Egyenletrendszer-blokk mérete461 MRugó–Legnagyobb szabad memóriablokk:6.955 GKontakt–Számítási blokk mérete461 MKapcsolati elem–Szabad fizikai memória:15.94 GElmenti csukló–Teljes fizikai memória:15.94 GTárcsa–QPUIntel(R) Core(TM) i5-6500 CPUTárcsa–8 szál / 4 mag3192 MHzLemez–A modell optimalizálása00:011Diafragma1Számítás előkészítése00:05Tehereset53Számítás01:03Teherkombináció1Eredményfile mérete:718 M.00:14	Becsült teljes memóriaigény 4.153 G		Borda	412	
Légnagyobb szabad memoriabloki: 0.955 G Kontakt – Számítási blokk mérete 461 M Kapcsolati elem – Szabad fizikai memória: 15.94 G – Élmenti csukló – Teljes fizikai memória: 15.94 G – Élmenti csukló – 8 szál / 4 mag 3192 MHz – Lemez – A modell optimalizálása 00:011 Diafragma 1 Számítás 01:03 Tehereset 53 Eredményfile mérete: 718 M. 00:14 –	Egyenletrendszer-blokk mérete 461 M		Rugó	-	
Szahnitás blok meméria: 8.183 G Kapcsolati elem - Szabad fizikai memória: 8.183 G - Élmenti csukló - Teljes fizikai memória: 15.94 G - Tárcsa - Szabad lizikai memória: 3192 MHz - Lemez - A modell optimalizálása 00:011 Diafragma 1 Számítás 01:03 Tehereset 53 Számítás 01:03 Teherkombináció 1	Legnagyobb szabad memoriablokk: 0.955 G		Kontakt	-	
Elimenti i stos oTeljes fizikai memória:15.94 GCPU Intel(R) Core(TM) i5-6500 CPUTárcsa8 szál / 4 mag3192 MHzA modell optimalizálása00:11Számítás előkészítése00:05Számítás01:03Eredményfile mérete:718 M.00:141	Szahad fizikai memória: 8,183 G		Kapcsolati elem	-	
CPU Intel(R) Core(TM) i5-6500 CPUTárcsa–8 szál / 4 mag3192 MHzLemez–A modell optimalizálása00:11Diafragma1Számítás előkészítése00:05Tehereset53Számítás01:03Teherkombináció1Eredményfile mérete: 718 M.00:14	Telies fizikai memória: 15.94 G		Élmenti csukló	-	
8 szál / 4 mag3192 MHzLemez-A modell optimalizálása00:11Diafragma1Számítás előkészítése00:05Tehereset53Számítás01:03Teherkombináció1Eredményfile mérete: 718 M.00:14	CPU Intel(R) Core(TM) i5-6500 CPU		Tárcsa	-	
A modell optimalizálása00:11Héj16300Számítás előkészítése00:05Diafragma1Számítás01:03Tehereset53Számítás01:03Teherkombináció1Eredményfile mérete: 718 M.00:141	8 szál / 4 mag 3192 MHz		Lemez	-	
Számítás előkészítése Diafragma 1 Számítás 00:05 Tehereset 53 Számítás 01:03 Teherkombináció 1 Eredményfile mérete: 718 M. 00:14 00:14	A modell optimalizálása	00:11	Héj	16300	
Számítás 01:03 Tehereset 53 Eredményfile mérete: 718 M. 00:14	Számítás előkészítése	00:05	Diafragma	1	
Eredményfile mérete: 718 M. 00:14	C-fundin	04.03	Tehereset	53	
Eredményfile mérete: 718 M. 00:14	Szdffillds	01:03	leherkombináció	1	
	Eredményfile mérete: 718 M.	00:14		_	

A számítási ablak bezárása után, a program figyelmeztető üzenetet ad a statikai számítás érvényessége kapcsán, mivel *merevség csökkentés*t alkalmaztunk a vasbeton elemekre vonatkozóan:

Figyelmeztetés Lineáris számítás beállított merevségcsökkentéssel.
A számított eredmények kizárólag földrengésterhet tartalmazó kombinációkban érvényesek, földrengéssel szembeni megbízhatóság igazolására alkalmasak. További ULS és SLS vizsgálatokhoz merevségcsökkentés és földrengésterhek nélkül futtatott statikai számítás szükséges.
<u>Q</u> K

Lépjünk tovább az OK gombra kattintva.

Eredmény ábrázolási paraméterek



A fenti üzenetet figyelembe véve hozzunk létre egy **földrengési mértékadó kombináció**t a földrengési eredmények értékeléséhez! Kattintsunk az **Eredményábrázolás paraméterek** ikonra, ekkor az alábbi ablak jelenik meg:

Ábrázolási paraméterek		×
Lineáris vizsgálat Nemlineáris vizsgálat Dinamikai vizsgálat Eset Burkoló Mértékadó		
Tehereset I onsúly ~	Komponens eX [mm] Lépték 1 Ďiagram Åbrázolási mód Ďiagram Åbrázolási alak Ercedmény fellírás C csomópontra D teluletre Eluletre Č csak szélsőéttékek Egyéb beálltások Myomatki csucicok levégása oszlopok felett	Metszetek
	🗌 Minden ablakban	OK Mégsem

Itt kattintsunk a felső sorban található **Mértékadó** gombra, ekkor megjelenik a mértékadó igénybevételek összeállítására vonatkozó módszer. Az alapbeállítás szerint a program **Automatikus - ULS kombinációt** számol, melyben minden **ULS** kombináció benne foglaltatik, nem választja külön a földrengési vagy statikus terhekből származó eredményeket a lekérdezésnél.

Ábrázolási paraméterek		
Lineáris vizsgálat Nemlineáris vizsgálat Dinamikai vizsgálat Eset Burkoló Mértékadó	Min Max Min, Max	
Az őszes lehetzéges kombináció figyelembevétele a maximumoknál Mértékado kombináció képletének kiválssztása Kombinációs mód Tardós 5 idéljenes tervezési helyzetben: ULS dszese ULS (Foldrengés) ULS (Rendkruli) Gestechnikai kombinációk A2 Gestechnikai kombinációk A2	Komponens eX [mm] Lépték Disgram Kőd Körézolási nöd Körézolási alak Eredett Elmozdult Eredmény felírás Csomópontra Vonara Felületre	Metszetek
$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + P_k + \sum_{\ell\geq 1} \Psi_{2,\ell} \mathcal{Q}_{k,\ell}$	 Csak szélsőértékek Egyéb beállítások Nyomatéki csúcsok levágása oszlopok felett 	 Megjelenítés az elemek sítýában Metszősík kontúr rajzolása
Legyen ez az alapértelmezett beállítás	🗀 Minden abiakoan	OK Mégsem

Kérjünk **Egyedi** kombinációt, ezzel a program létrehozza a lehetséges *mértékadó kombinációk*at (**ULS**, **SLS**, ...), köztük az **ULS (Földrengés)** típusút is.

Tartós és ideiglenes tervezési helyzetben két választási lehetőségünk van, kérhetünk **ULS** és **ULS (a,b)** kombinációt is. Az alapbeállítás szerinti **ULS**-t válasszuk ki:

Kombinációs mód			_
Tartós és ideiglenes tervezési helyzetben:	ULS	~	
ULS összes	ULS		
○ ULS	ULS (a, b)		ztikus

A kombinációs módok között (ez az **Egyedi** kapcsoló hatására válik aktívvá) jelöljük meg az **ULS (Földrengési)** kombinációt. Az utóbbi csak annyit eredményez, hogy ez lesz az aktív kombinációs mód az eredmény lekérdezésnél miután ebből az ablakból kilépünk.

Kombinációs mód Tartós és ideiglenes tervezési helyzetben:	ULS ~
	SLS Karakterisztikus
 ULS (Földrengés) 	 SLS Gyakori
O ULS (Rendkívüli)	 SLS Kváziállandó
 Geotechnikai kombinaciók A1 Geotechnikai kombinációk A2 	
🔾 Geotechnikai kombinációk EQU	

Az **OK** gombra kattintva zárjuk az ablakot.

A fentiek eredményeként a tehereseteket és kombinációkat tartalmazó listában megjelennek a különböző mértékadó kombinációk, köztük a földrengési is, melyet az automatikusan összeállított eredmények lekérdezéséhez használhatunk – (ULS(Földrengés)) Mértékadó Min; Max és Min, Max.



Az eredmények kiértékelése a korábbi példák statikai számításaihoz hasonlóan történik, ennek menetét külön nem részletezzük.



Kattintsunk a **Táblázatkezelő** ikonra, nézzük meg a **Szintek földrengésérzékenységé**t (ez a táblázat csak akkor elérhető, ha földrengési paramétereknél kértük a csavaróhatás figyelembevételét).



A fenti táblázat jelenik meg, melyben összegezve láthatjuk a szinteket, az egyes szintek közötti távolságot és az alábbi, számított adatokat:

 θ_{max} – a képlékeny stabilitásindex, vagy ún. relatív szinteltolódás-érzékenységi tényező az **MSZ EN 1998-1:2008 -1 4.4.2.2 (2)** alapján. Ha $\theta \leq 0,1$, akkor nem szükséges a másodrendű hatásokat (**P-D hatás**) figyelembe venni. Ha **0,1** < $\theta \leq 0,2$, akkor a másodrendű hatásokat szabad úgy figyelembe venni, hogy az adott szeizmikus igénybevételt vagy más hatást egy **1/(1 -** θ) tényezővel megszorozzuk. A θ együttható értéke nem haladhatja meg a **0,3**-at. Részletesen Id. a vonatkozó szabvány fejezetben!

Ptot – az összegzett gravitációs teher a vizsgált szint felett,

Vtot – az összegzett nyíróerő a vizsgált szinten,

d_{max} – a relatív szinteltolódás tervezési értéke, melyet a szintek súlypontjainak eltolódása alapján határoz meg a program,

S – a nyírási középpont helye. Ez egy közelítő számítás eredménye: a program a nyírási középpontot a szintet jellemző magasságon a falak metszeteit meghatározva állapítja meg, a vékonyfalú szelvényeknél használt módszerrel.

G_m – a súlypont helye,

M - a vizsgált szint tömege,

Imz – a szint Z tengelyre vonatkoztatott másodrendű nyomatéka,

Zárjuk be a **Táblázatkezelő**t. A nyírási középpont és súlypont helyét a program a statikai modellen is megjeleníti:

- nyírási középpont: S1...n (piros színű + jelre rajzolt kereszt Si felirattal, ahol i a szint sorszáma)
- súlypont: *Gm1...n* (fekete színű körbe jelre rajzolt kereszt *Gmi* felirattal, ahol *i* a szint sorszáma).



A könnyebb áttekinthetőség kedvéért jelenítsük meg csak a födémek részleteit:



Ha a modellen nem látszódik a nyírási középpont és súlypont jele, akkor a **Megjelenítés**nél kapcsoljuk be a láthatóságát (**Szint tömegközéppontja**, **Szint nyírási középpontja**):

Megjelenítés	×
Szimbólumok Feliratozás Kapcsolók	
Számozás Csomópont Rácsrúd Rúd Borda Virtuális rúd Felület Tartomány Támasz Kapcsolati elemek Merev test Diafragma Rugó Contakt Anyag Szelvény Méretezési elem Optimalizációs csoport Teherpanel Referencia ARBO/CRET elemek Végeselem-sorszámok használata	Tulajdonságok ABC Csomópont koordináták Anyagnév Szelvénynév Csavarozott kapcsolat Oszlopvasalás Gerendavasalás Gerendavasalás Kúdhossz Vstagság Tartomány területe Merevségcsökkentés COBIAX feliratok Z Teherintenzítás Šnsúly Vonalmenti Önsúly Vonalmenti Šnsúly Felületi Egyéb Hőmérséklet Töregintenzítás Mértékegységek Eredmény felírás Csomópontra Csak szélsőértékek Vonalra Felületre
 Szint tömegközéppontja Szint nyírási középpontja Tengelyirányból nézett vonalak feliratozása Átlátszó feliratok Feliratok átfedésének kiküszöbölése 	✓ Alkalmazott vasalás Szimbólumok Feliratozás ✓ axa ✓ axa ✓ aya ✓ aya ✓ aya ✓ aya ✓ ayf ✓ ayf ✓ ayf ✓ ayf Feliratozás ✓ ④ Vaskiosztás + Vasmennyiségek ✓ ✓ Vaskiosztás + Darabszám x (Hossz) ✓ ✓ A megjelenített eredménykomponens függvényében
 Azonnali frissités Összes ablakban Ez legyen az alapbeállítás 	OK Mégsem

További lehetőségek

A földrengés vizsgálat eredményeit a statikus eredményekhez hasonlóan az egyes tervezési modulokban is értékelhetjük, az elemek tervezését ezek alapján is elvégezhetjük. A példánkban erre külön nem térünk ki.

Amennyiben a másodrendű hatások miatt indokolt (ld. **Szintek földrengésérzékenysége**), a földrengésből származó igénybevételek felszorzása könnyen elvégezhető a program moduljaiban az **f**_{se} tényező értékének megadásával.

Vasbeton gerendák és oszlopok esetén disszipatív tervezést is végezhetünk, **ha a q viselkedési tényező nagyobb mint 1,50** (**Eurocode [RO]** szabványban **q**≥**1,50** a programban beállított feltétel). A tervezési nyíróerőt ilyenkor a kapacitástervezési szabállyal összhangban, az elem (oszlop/gerenda) egyensúlya alapján határozzuk meg a szeizmikus terhelésből kialakuló képlékeny csuklóknak megfelelő $M_{i,d}$ végnyomatékokból.

Jegyzet

Jegyzet