

MMK Szakmai továbbképzés 

HELYI SPEKTRUMOK ALKALMAZÁSA A FÖLDRENGÉSI MÉRETEZÉSBEN

Földrengés számítás a helyi választépek spektrumok alapján

vigh.laszlo.gergely@emk.bme.hu

Vigh László Gergely
egyetemi docens

Mahler András
egyetemi docens

Zsarnóczay Ádám
tudományos munkatárs

Simon József
tudományos munkatárs



BUDAPESTI MŰSZAKI
ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
Építőmérnöki Kar - építőmérnöki képzés 1782 óta

Hidak és Szerkezetek Tanszék

1

MAGYARORSZÁG SZEIZMICITÁSA



Hidak és Szerkezetek Tanszék

Helyi spektrum alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

2

2

MAGYARORSZÁG SZEIZMICITÁSA

Megválaszolandó kérdések:

Mekkora az alapgyorsulás?

Milyen alakú a válaszspektrum?

Mekkora a talaj erősítő hatása?



Hidak és Szerkezetek Tanszék

Helyi spektrumok alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

3

3

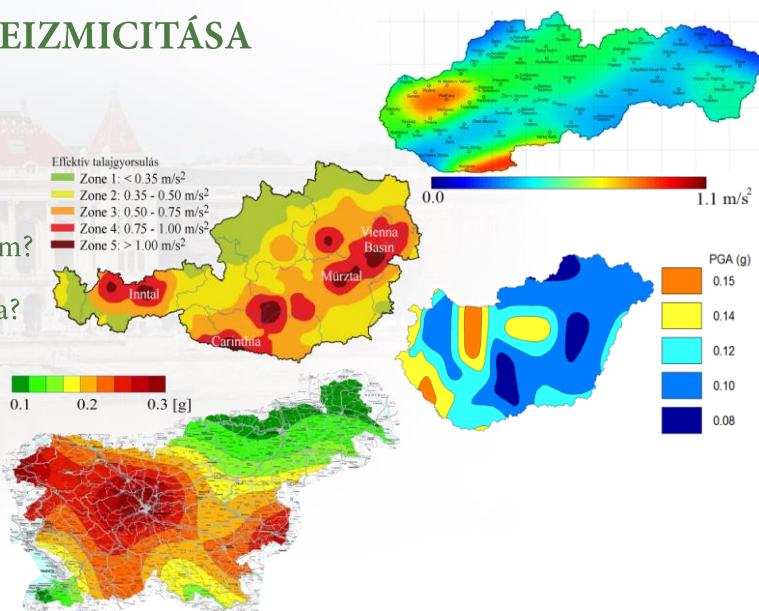
MAGYARORSZÁG SZEIZMICITÁSA

Megválaszolandó kérdések:

Mekkora az alapgyorsulás?

Milyen alakú a válaszspektrum?

Mekkora a talaj erősítő hatása?



Hidak és Szerkezetek Tanszék

Helyi spektrumok alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

4

4

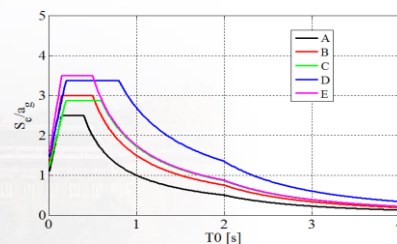
MAGYARORSZÁG SZEIZMICITÁSA

Megválaszolandó kérdések:

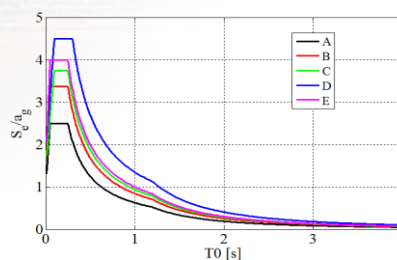
Mekkora az alapgyorsulás?

Milyen alakú a válaszspektrum?

Mekkora a talaj erősítő hatása?



1-es típus



2-es típus



SPEKTRUMOK MEGHATÁROZÁSA SZIKLÁS TALAJRA

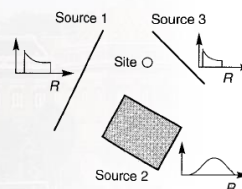


SZEIZMIKUS VESZÉLYEZTETETTSÉGI VIZSGÁLAT

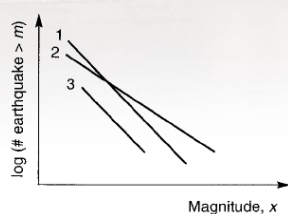
Vizsgálat lépései:

1. földrengésforrások meghatározása
2. magnitúdók eloszlásának meghatározása
3. csillapodás a forrás és a vizsgált helyszín között
4. túllépési valószínűség adott mag. és táv. párra
5. teljes valószínűség

1.



2.



3.



4.

$$P(IM > x | m, r, \theta) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(x) - \overline{\ln(IM)}}{\sigma_{\ln IM}}\right)$$

5.

$$P(IM > x) = \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} P(IM > x | m, r, \theta) f_M(m) f_R(r) dr dm$$



Hidak és Szerkezetek Tanszék

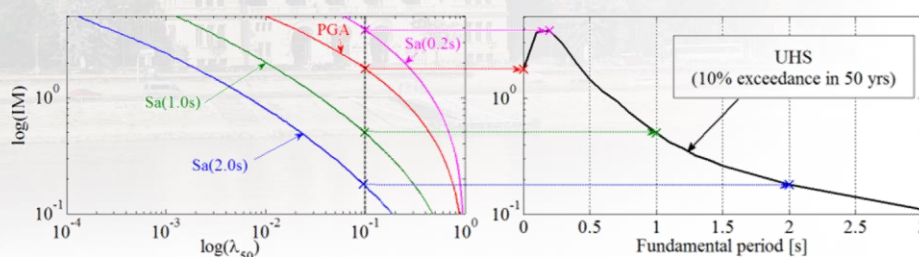
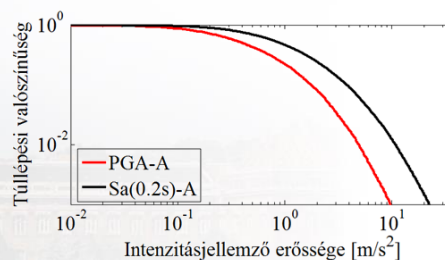
Helyi spektrumok alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

7

7

Eredmények:

- veszélyeztetettségi görbe
- egyenletes veszélyeztetettségi spektrum
- deaggregáció



Egyenletes veszélyeztetettségi spektrum előállítás a veszélyeztetettségi görbék adataiból.
Forrás: Simon, 2016.



Hidak és Szerkezetek Tanszék

Helyi spektrumok alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

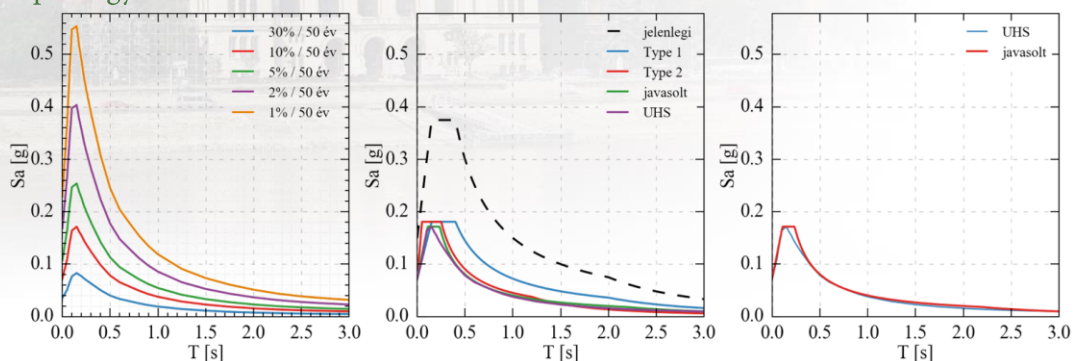
8

8

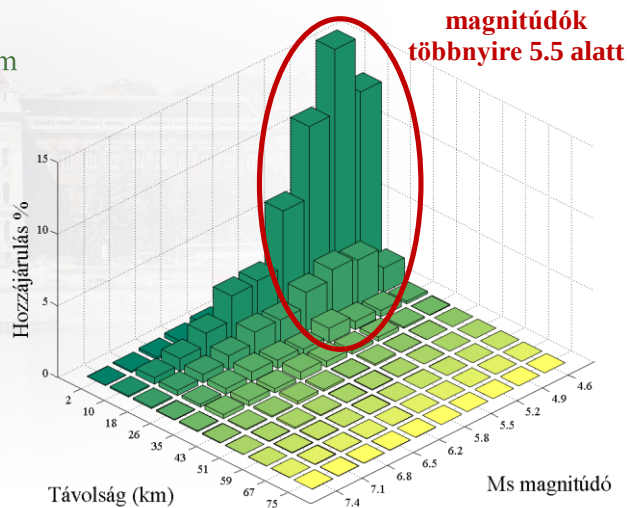
Eredmények:

- veszélyeztetettségi görbe
- egyenletes veszélyeztetettségi spektrum
- deaggregáció

pl. Nagykanizsa

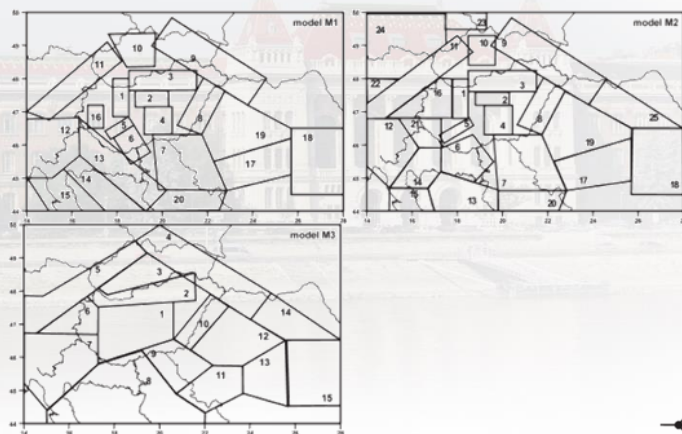
**Eredmények:**

- veszélyeztetettségi görbe
- egyenletes veszélyeztetettségi spektrum
- deaggregáció

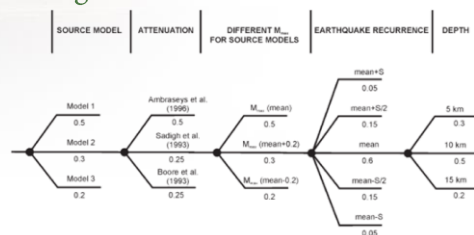


MAGYARORSZÁG ALAPGYORSULÁS-TÉRKÉPE, 2006

forrás modellek



logikai fa



Forrás: Tóth és mtsai, 2006



Hidak és Szerkezetek Tanszék

Helyi spektrum alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

11

11

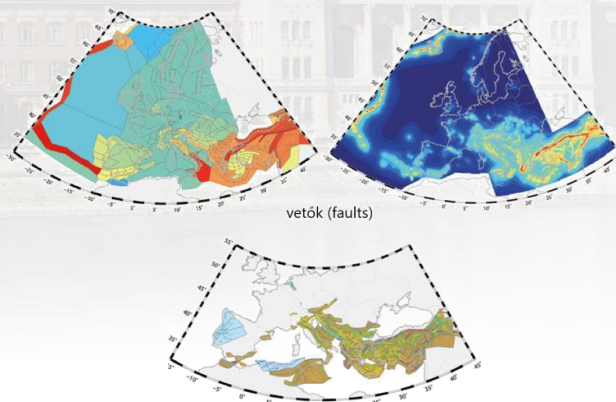
SHARE PROJEKT, 2013

Európai szeizmikus veszélyeztetettség harmonizálása

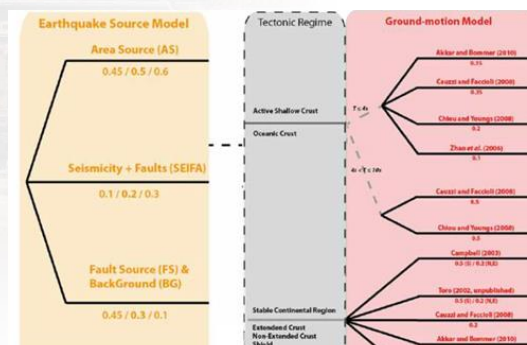
forrás modellek

területi források (area sources)

mikrozónák



logikai fa



Forrás: Woessner és mtsai, 2013



Hidak és Szerkezetek Tanszék

Helyi spektrum alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

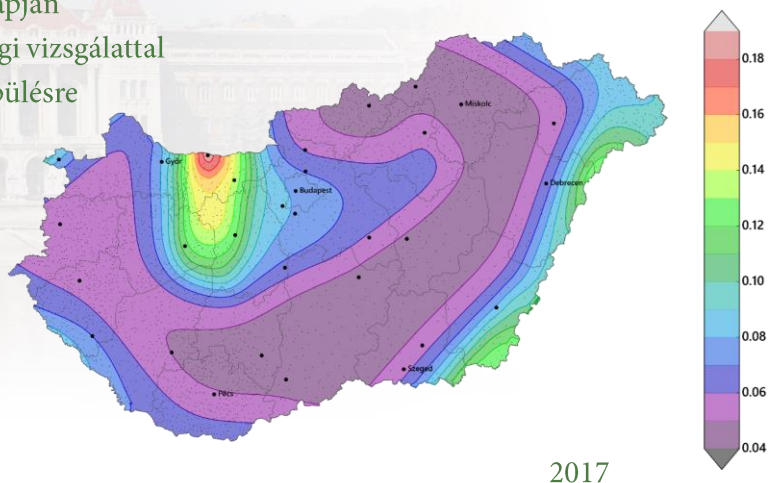
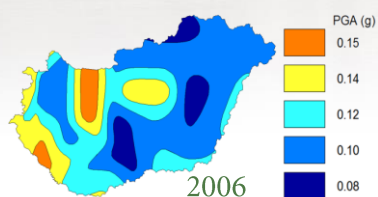
12

12

MAGYARORSZÁG ALAPGYORSULÁS-TÉRKÉPE, 2017

veszélyeztetettségi görbe és helyi spektrum meghatározása

- SHARE projekt javaslatai alapján
- szeizmikus veszélyeztetettségi vizsgálattal
- minden magyarországi településre
- alapgyorsuláson túl a teljes spektrumot meghatároztuk

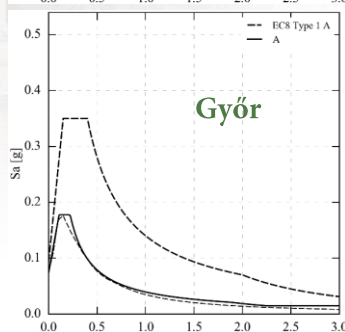
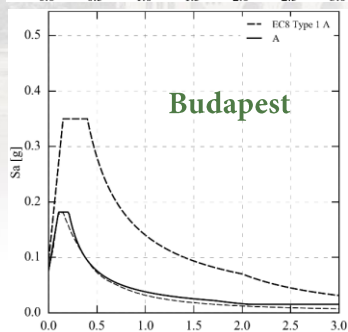
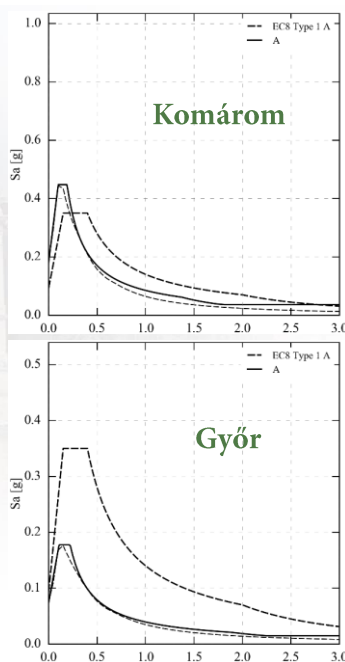
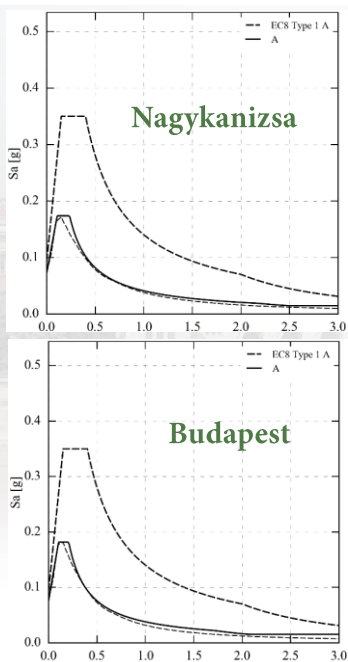


Hidak és Szerkezetek Társaság

Helyi spektrumok alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

13

13



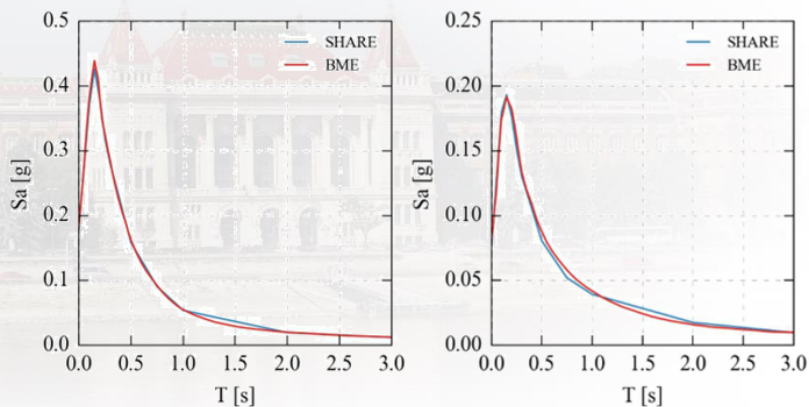
Hidak és Szerkezetek Társaság

Helyi spektrumok alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

14

14

ellenőrzés: SHARE eredmények segítségével



Komáromra és Nagykanizsára kapott UHS-ek összehasonlítása a SHARE eredményeivel.



Hidak és Szerkezetek Tanszék

Helyi spektrumok alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

15

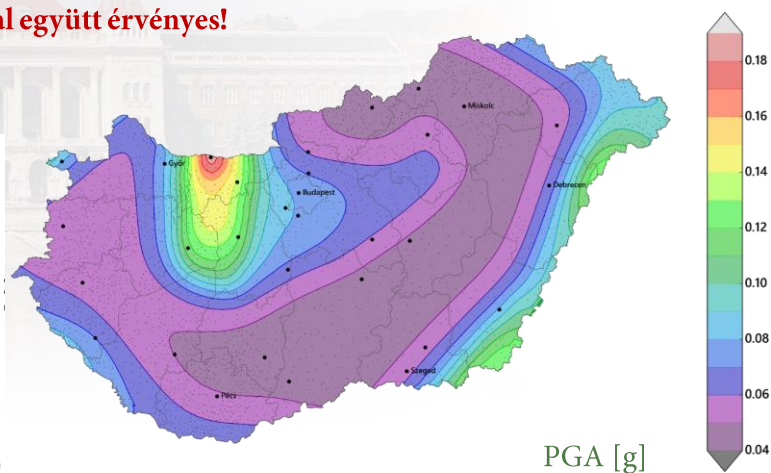
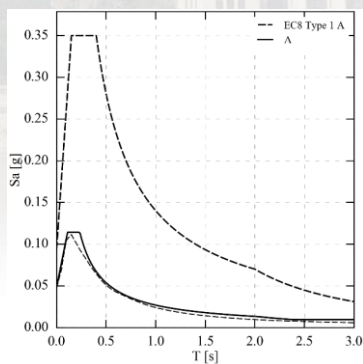
15

Magyarország alapgyorsulás-térképe, 2017

az alapgyorsuláson túl a teljes spektrumot meghatároztuk

**az alapgyorsulást nem szabad önmagában használni,
kizárólag a teljes spektrummal együtt érvényes!**

Kecskemét



PGA [g]



Hidak és Szerkezetek Tanszék

Helyi spektrumok alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

16

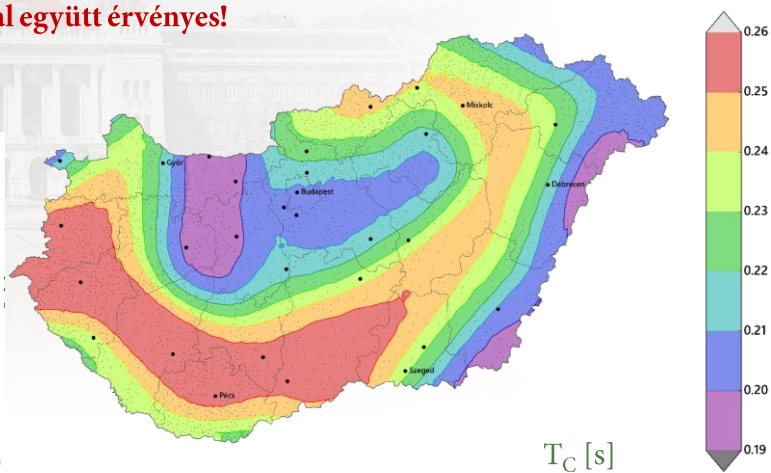
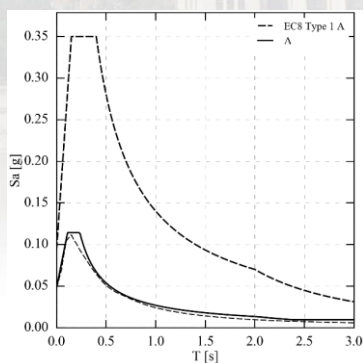
16

az alapgyorsuláson túl a teljes spektrumot meghatároztuk

az alapgyorsulást nem szabad önmagában használni,

kizárólag a teljes spektrummal együtt érvényes!

Kecskemét



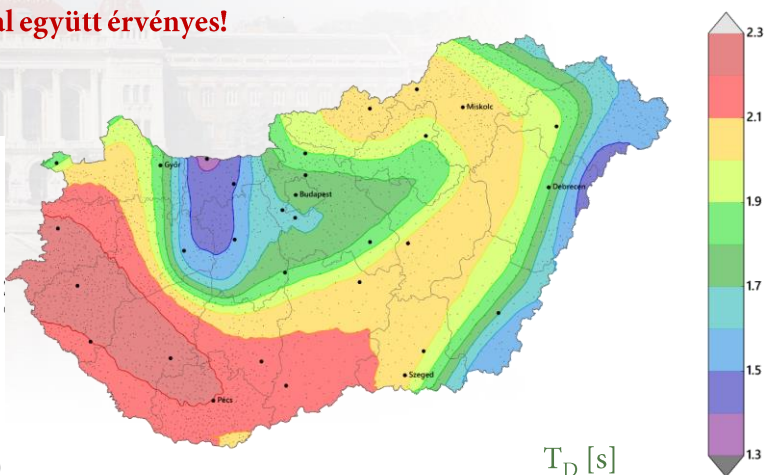
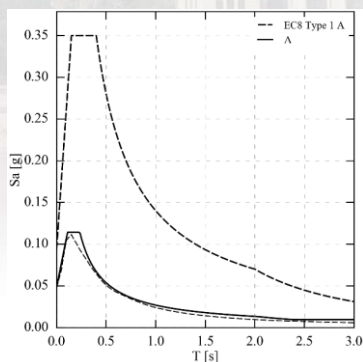
17

az alapgyorsuláson túl a teljes spektrumot meghatároztuk

az alapgyorsulást nem szabad önmagában használni,

kizárólag a teljes spektrummal együtt érvényes!

Kecskemét



18

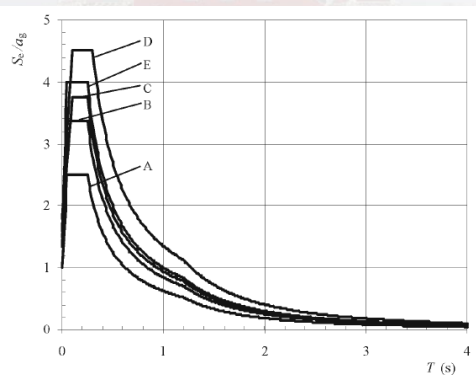
TALAJ ERŐSÍTŐ HATÁSA, TALAJOSZTÁLYOZÁS



19

TALAJ ERŐSÍTŐ HATÁSA, TALAJOSZTÁLYOZÁS

Talaj erősítő hatása



20

Talajosztályok az Eurocode 8-ban

2. táblázat: Talajosztályozási rendszer az EC8 szerint (CEN, 2008a).

Altalaj osztály	A rétegszelvény leírása	Paraméterek		
		$V_{s,30}$	N_{SPT}	c_u (kPa)
A	Szilárd kőzet vagy kőzetszerűen viselkedő geológiai képződmény, amely felett legfeljebb 5 m gyengébb fedőréteg van	> 800	-	-
B	Nagyon tömör homok-, kavics- vagy kemény agyagrétegek legalább több tíz m vastagságban, a mechanikai jellemzők a mélységgel fokozatosan növekednek	360-800	> 50	> 250
C	Tömör vagy közepesen tömör homok-, kavics- vagy merev agyagrétegek több tíz vagy akár több száz m vastagságban	180-360	15-50	70-250
D	Laza vagy közepesen tömör, kohézió nélküli talaj (némi puha kötött réteggel vagy anélkül), vagy túlnyomóan puha gyűrhető kötött talaj	< 180	< 15	< 70
E	Felszíni üledékréteg, amely a vs érték szerint C vagy D osztályú, 5 és 20 m közötti vastagságú, alatta 800 m/s-nál nagyobb nyíróhullámsebességű, merevebb anyag	-	-	-
S1	Puha agyagból/iszapból álló vagy legalább egy 10 m vastag agyagot/iszapot tartalmazó, nagy plaszticitású ($P_l > 40$) és nagy víztartalmú rétegek	< 100 (az érték figyelmeztető)	-	10-20
S2	Folyósodásra hajlamos talajok, érzékeny agyagok vagy más olyan talajrétegek, amelyek nem sorolhatók az AE vagy S1 osztályba	-	-	-

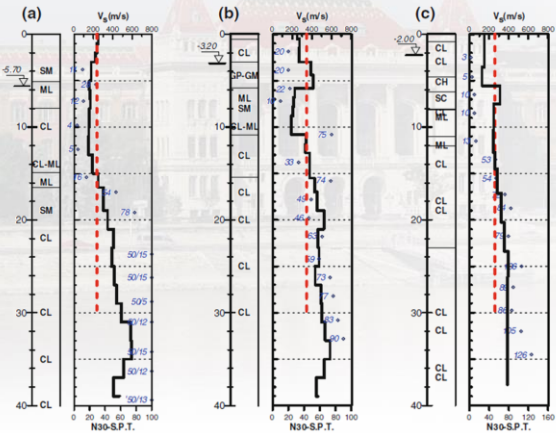
Eurocode 8 (2004)

	$V_{s,30}$ [m/s]	N_{SPT}	$S_{u, min}$ [kPa]
A	800 -		-
B	360 – 800	>50	>250
C	180 – 360	15-50	70-250
D	0 – 180	<15	<70

21

Talajosztályok az Eurocode 8-ban

probléma: jelentősen eltérő talajok azonos osztályba tartoznak



Eurocode 8 (2004)

	$V_{s,30}$ [m/s]	N_{SPT}	$S_{u, min}$ [kPa]
A	800 -		-
B	360 – 800	>50	>250
C	180 – 360	15-50	70-250
D	0 – 180	<15	<70

Az EC8 szerinti C talajosztályba tartozó különféle talajrétegződések (Pitilakis et al., 2013).

22

Pitilakis és mtsai: kibővített talajosztályozási rendszer

Pitilakis (2013)

	talaj	Z [m]	$v_{s,avg}$ [m/s]	$T_{0,max}$ [s]	N_{SPT}	$S_{u,min}$ [kPa]
A2	szikla	-	800 – 1500	0.2	-	-
B1	puha szikla	0 – 30	400 – 800	0.5	> 50	200
B2	sűrű homok	30 – 60		0.8		
C1	kemény agyag	60 -		1.5		
C2	közepesen sűrű homok	20 - 60	200 – 450	1.8	> 20	70
C3	közepesen kemény agyag	60 -				
D1	lágú, vizes agyag	0 - 60	0 – 300	2.0	25 <	-
D2	ritka homok (nem folyós)	0 - 60	0 – 300			

Eurocode 8 (2004)

	$v_{s,30}$ [m/s]	N_{SPT}	$S_{u,min}$ [kPa]
A	800 -	-	-
B	360 – 800	>50	>250
C	180 – 360	15-50	70-250
D	0 – 180	<15	<70

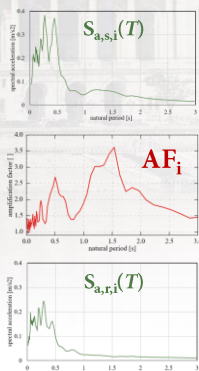
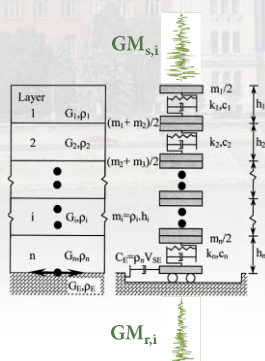
TALAJ ERŐSÍTŐ HATÁSÁNAK MEGHATÁROZÁSA

MÓDSZER

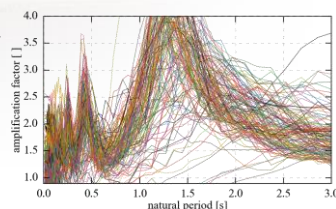
Talaj erősítő hatásának meghatározása

szeizmikus hatás jellemzése: 144 földrengésrekord

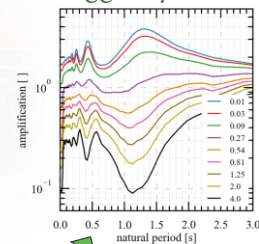
erősítés mértéke: felszíni hatás / alapkőzeti hatás



144x



erősítés T és Sa függvényében



forrás: Hashash, Park 2001



Hidak és Szerkezetek Tanszék

Helyi spektrumok alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

25

25

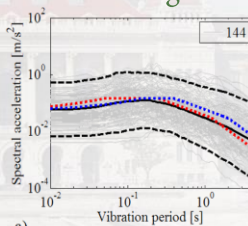
Talaj erősítő hatásának meghatározása

szeizmikus hatás jellemzése: 144 földrengésrekord:

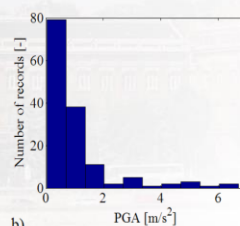
magnitúdó: 6 – 7.5

forrástávolság: 0 – 50 km

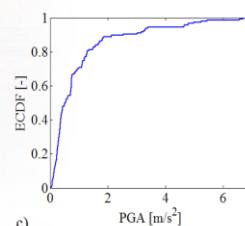
fészekmélység: 0 – 15 km



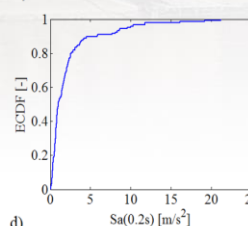
a)



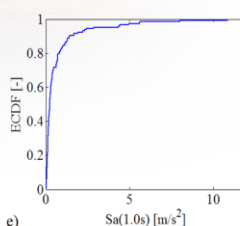
b)



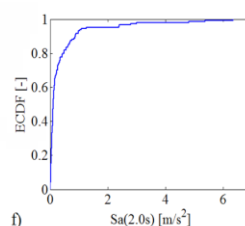
c)



d)



e)



f)



Hidak és Szerkezetek Tanszék

Helyi spektrumok alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

26

26

HELYI SPEKTRUMOK MAGYARORSZÁGON



27

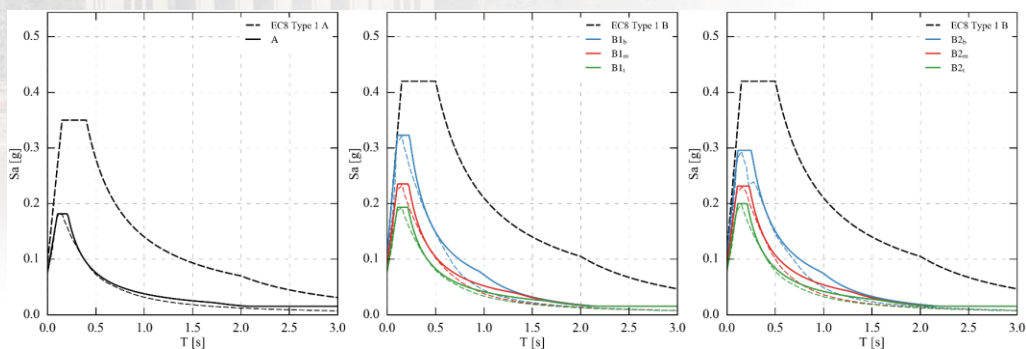
HELYI SPEKTRUMOK TALAJOSZTÁLYOKRA

Spektrum alapkőzet

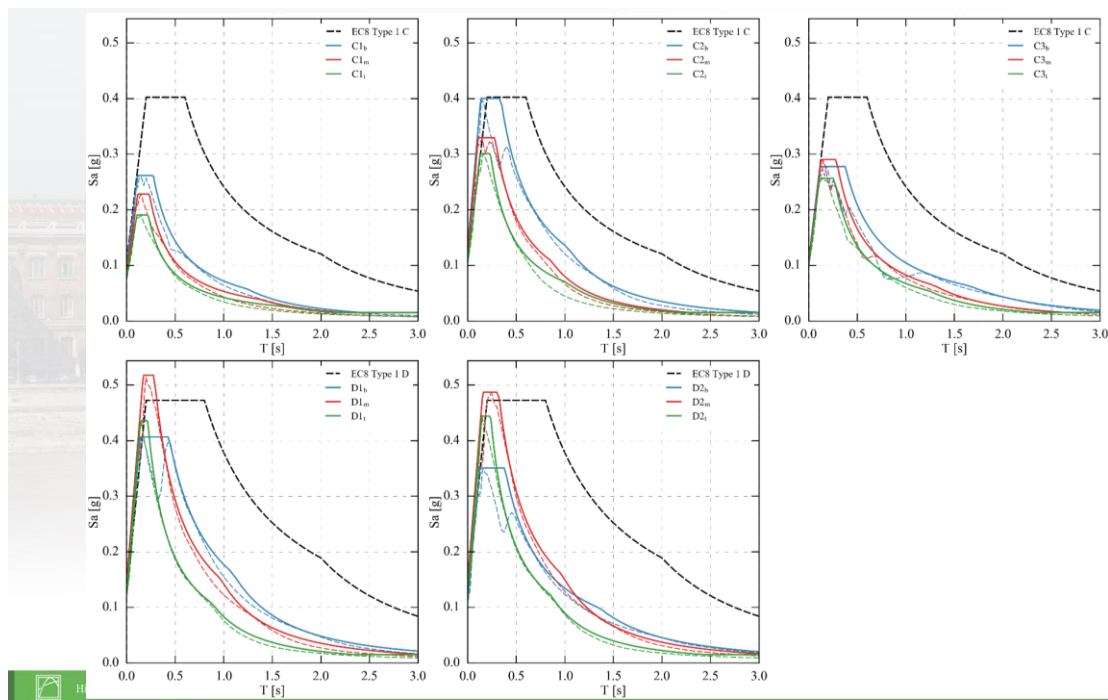
Talaj erősítő hatásának meghatározása

eredmény: **helyi válaszspektrumok minden magyarországi településre 22 talajtípusra**

pl. Budapest



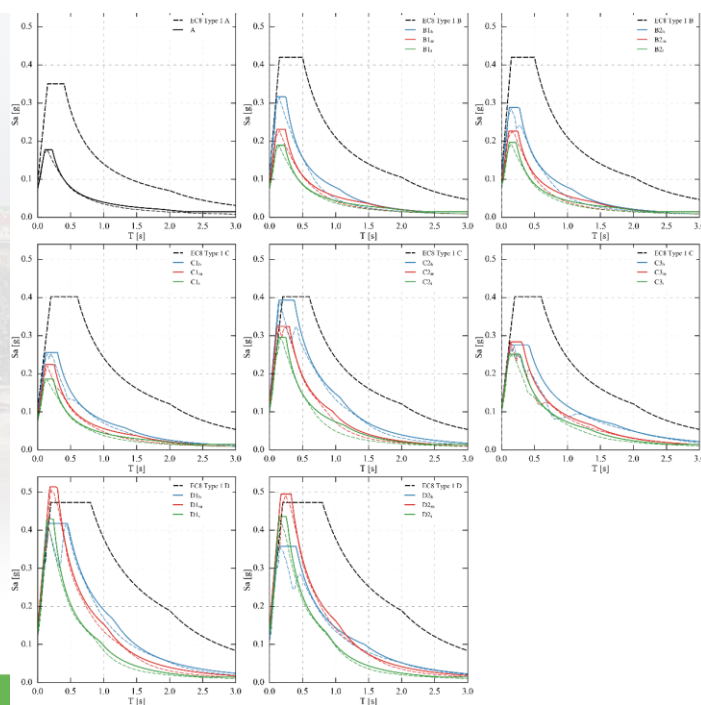
28



továbbképzés 29

29

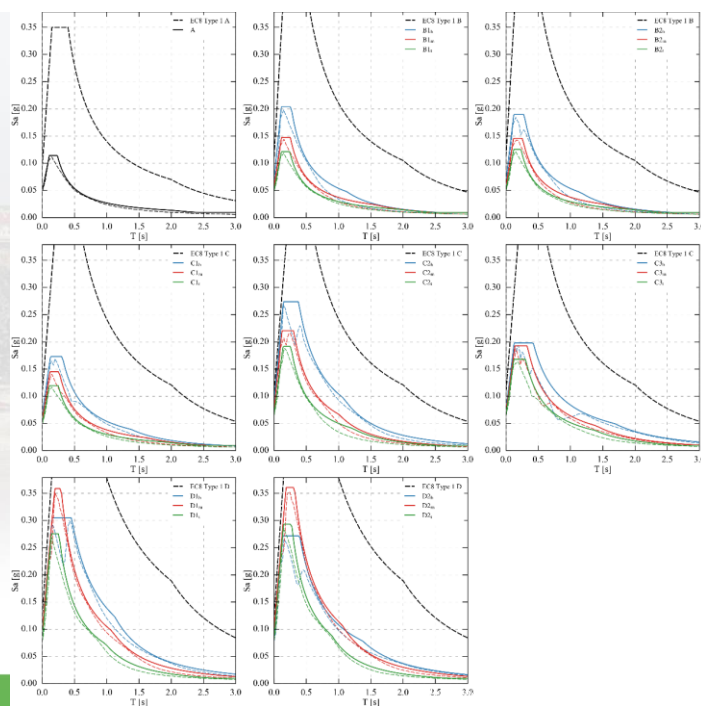
pl. Győr



tervezésben - MMK Szakmai továbbképzés 30

30

pl. Kecskemét



tervezésben - MMK Szakmai továbbképzés

31

31

HELYI SPEKTRUMOK HASZNÁLATA

Paraméterek táblázatosan, térképek formájában lesznek elérhetőek

rugalmas gyorsulási válaszspektrum

$$0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_g S \left[1 + \frac{T}{T_B} (\eta \cdot F_0 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \frac{T_C}{T}$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \frac{T_C T_D}{T^2}$$

Budapest – $a_g = 0,076 \text{ g}$

talaj	v_s	F_0	S	T_B	T_C	T_D
A	2,39	1,00	0,103	0,208	1,72	
	b	2,89	1,47	0,105	0,230	0,97
B1	m	2,56	1,21	0,107	0,221	1,34
	t	2,47	1,03	0,106	0,214	1,63
B2	b	2,78	1,40	0,113	0,254	0,99
	m	2,56	1,19	0,108	0,232	1,28
C1	t	2,53	1,04	0,112	0,210	1,58
	b	2,57	1,34	0,113	0,274	1,24
C2	m	2,59	1,16	0,114	0,233	1,38
	t	2,46	1,02	0,105	0,221	1,62
C3	b	2,96	1,78	0,134	0,340	1,03
	m	2,78	1,56	0,108	0,282	0,86
D1	t	2,87	1,38	0,127	0,234	1,02
	b	2,52	1,45	0,114	0,376	1,66
D2	m	2,71	1,41	0,128	0,285	1,29
	t	2,56	1,32	0,112	0,262	1,24
D1	b	2,99	1,79	0,138	0,435	1,09
	m	3,51	1,94	0,170	0,283	0,97
D2	t	3,56	1,61	0,141	0,217	0,88
	b	3,14	1,47	0,123	0,383	1,36
D2	m	3,27	1,96	0,155	0,317	0,97
	t	3,52	1,66	0,146	0,235	0,86

32

HELYI SPEKTRUMOK HASZNÁLATA

Paraméterek táblázatosan, térképek formájában lesznek elérhetőek

tervezési gyorsulási válaszspektrum

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_g S \left[1 + \frac{T}{T_B} \left(\frac{F_0}{q} - 1 \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{F_0}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{F_0}{q} \cdot \frac{T_C}{T}$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{F_0}{q} \cdot \frac{T_C T_D}{T^2}$$

$$S_d(T) \geq \beta \cdot a_g$$

Budapest – $a_g = 0,076 \text{ g}$						
talaj	v_s	F_0	S	T_B	T_C	T_D
A		2,39	1,00	0,103	0,208	1,72
B1	b	2,89	1,47	0,105	0,230	0,97
	m	2,56	1,21	0,107	0,221	1,34
	t	2,47	1,03	0,106	0,214	1,63
B2	b	2,78	1,40	0,113	0,254	0,99
	m	2,56	1,19	0,108	0,232	1,28
	t	2,53	1,04	0,112	0,210	1,58
C1	b	2,57	1,34	0,113	0,274	1,24
	m	2,59	1,16	0,114	0,233	1,38
	t	2,46	1,02	0,105	0,221	1,62
C2	b	2,96	1,78	0,134	0,340	1,03
	m	2,78	1,56	0,108	0,282	0,86
	t	2,87	1,38	0,127	0,234	1,02
C3	b	2,52	1,45	0,114	0,376	1,66
	m	2,71	1,41	0,128	0,285	1,29
	t	2,56	1,32	0,112	0,262	1,24
D1	b	2,99	1,79	0,138	0,435	1,09
	m	3,51	1,94	0,170	0,283	0,97
	t	3,56	1,61	0,141	0,217	0,88
D2	b	3,14	1,47	0,123	0,383	1,36
	m	3,27	1,96	0,155	0,317	0,97
	t	3,52	1,66	0,146	0,235	0,86

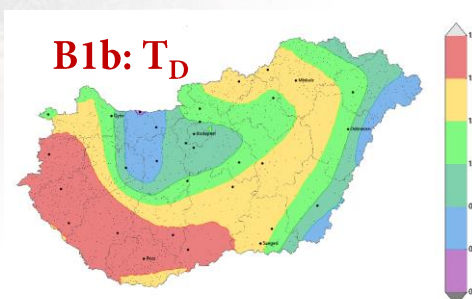
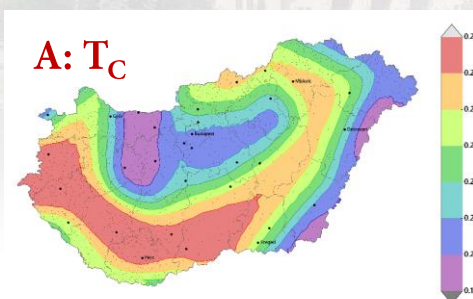
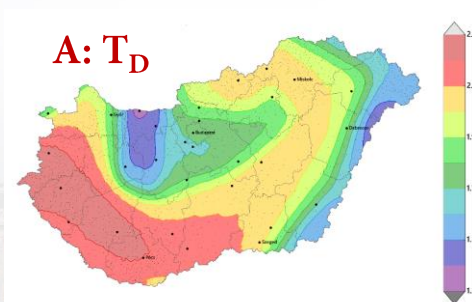
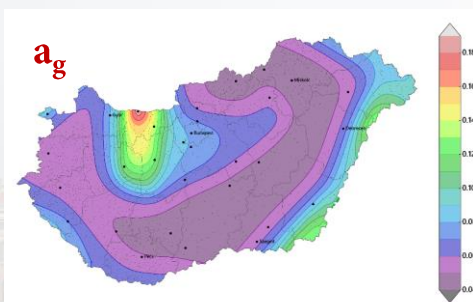


Hidak és Szerkezetek Tanszék

Helyi spektrumok alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

33

33



Hidak és Szerkezetek Tanszék

Helyi spektrumok alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

34

34

MÉRÉSEN ALAPULÓ HELYI SPEKTRUMOK



35

MÉRÉSEN ALAPULÓ HELYI SPEKTRUMOK

Inhomogén talaj, talajrétegződés

- 1 UHS spektrum előállítása PSHA eljárással;
- 2 Helyi talajviszonyok elemzése, **helyszíni (pl. MASW) mérés és a nyíróhullám-sebesség profil** előállítása;
- 3 **Pontosított numerikus talajmodell** kidolgozása;
- 4 A talajerősítő hatás számítása numerikus talajmodellen végrehajtott nemlineáris dinamikai időtörténeti analízis segítségével;
- 5 Helyszín specifikus, a **tényleges talajrétegződéshez** tartozó, beépítetlen területre vonatkozó szabadfelszíni válaszspektrum meghatározása.

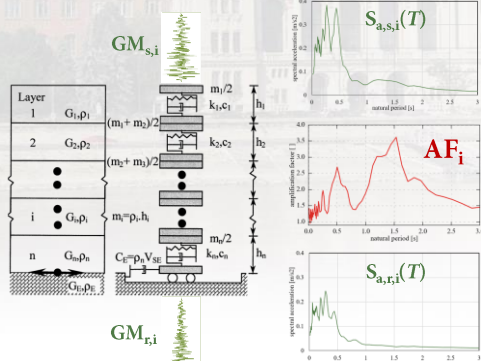
forrás: Hashash, Park 2001



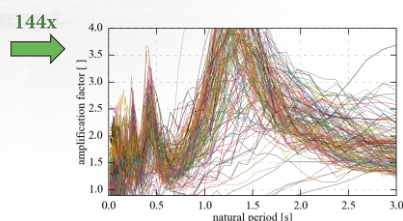
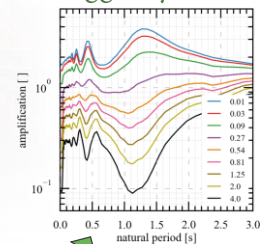
36

MÉRÉSEN ALAPULÓ HELYI SPEKTRUMOK

Inhomogén talaj, talajrétegződés



erősítés T és S_a függvényében



forrás: Hashash, Park 2001



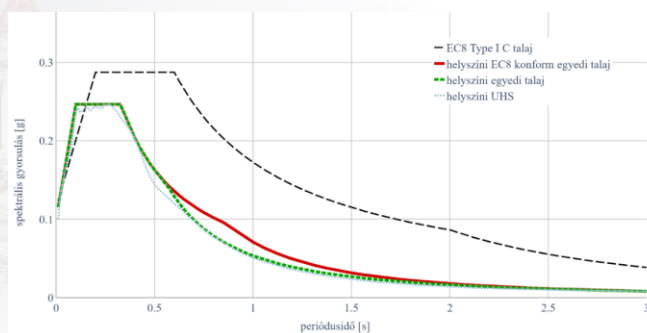
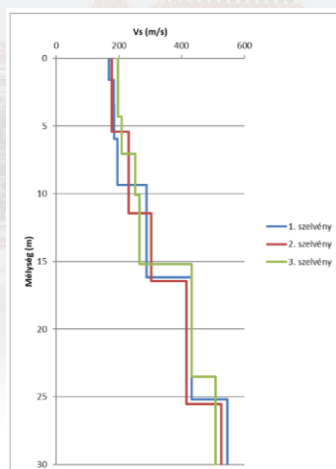
Helyi spektrum alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

37

37

MÉRÉSEN ALAPULÓ HELYI SPEKTRUMOK

Példa



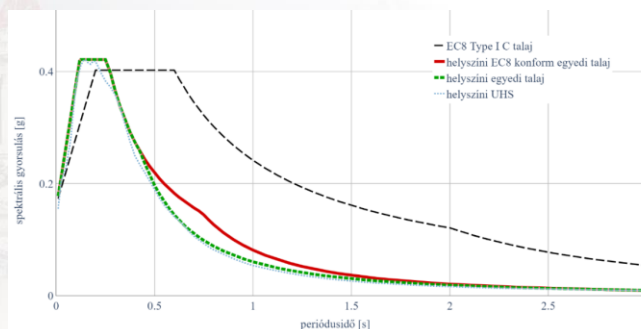
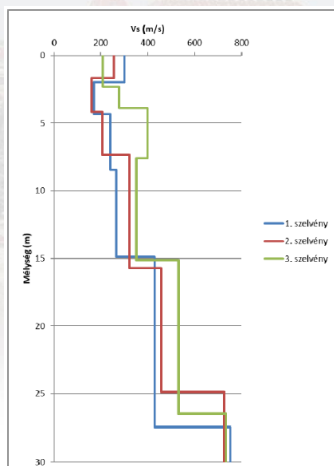
Helyi spektrum alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

38

38

MÉRÉSEN ALAPULÓ HELYI SPEKTRUMOK

Példa



MINTAPÉLDÁK

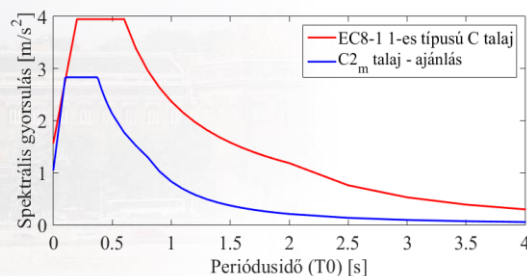
MINTAPÉLDÁK

Szerkezetek analízise - hatályos vs. helyi spektrum

helyszín: Budapest, C2 talaj

szerkezetek:

- egyszintes falazott családi ház
- háromszintes acél irodaépület
- sűrűbordás vasbeton gerendahíd
- öszvér gerendahíd



41

1) EGYSZINTES, FALAZOTT CSALÁDI HÁZ

10x10 m alapterület

falazóelem: $f_b = 7 \text{ MPa}$

M1 falazóhabarcs ($f_m = 1 \text{ MPa}$)

nyomószilárdság karakterisztikus értéke:

$$f_k = K \cdot f_b^a \cdot f_m^b = 1,37 \text{ MPa},$$

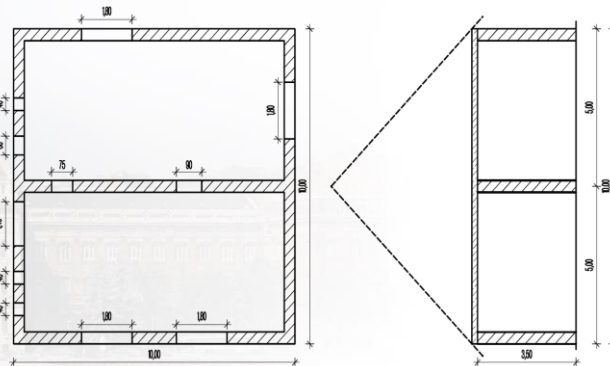
nyírási modulus:

$$G = 0,27 \text{ GPa}$$

periódusidő (a gyengébb irányban):

$$T_0 = 4 \cdot \sqrt{\frac{1,2MH}{GA}} = 0,08 \text{ s.}$$

viselkedési tényező: $q=1,5$



spektrális gyorsulás:

$$\text{rég: } Sa_1 = 3,94/1,5 = 2,62 \text{ m/s}^2$$

$$\text{új: } Sa_2 = 2,81/1,5 = 1,82 \text{ m/s}^2$$

$$T_0 = 4 \cdot \sqrt{\frac{1,2MH}{GA}} = 0,08 \text{ s.}$$



42

1) EGYSZINTES, FALAZOTT CSALÁDI HÁZ

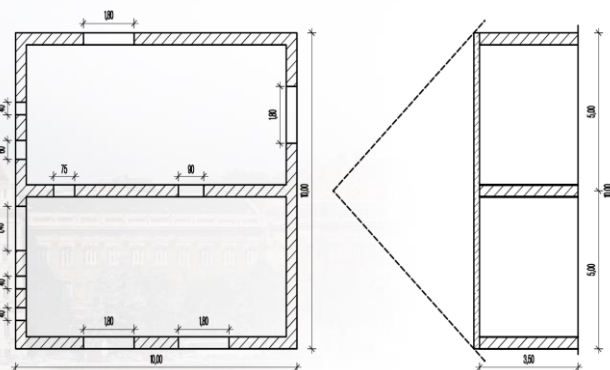
10x10 m alapterület

falazóelem: $f_b = 7 \text{ MPa}$

M1 falazóhabarcs ($f_m = 1 \text{ MPa}$)

nyírószilárdság tervezési értéke:

$$f_{v,Rd} = \gamma_M \cdot f_{v,k} = \mathbf{0,067 \text{ MPa}},$$



spektrális gyorsulás:

régi: $S_{a1} = 3,94/1,5 = 2,62 \text{ m/s}^2$

új: $S_{a2} = 2,81/1,5 = 1,82 \text{ m/s}^2$

alapnyíróerő:

$V_1 = 380 \text{ kN}$

$V_2 = 271 \text{ kN}$

mértékadó nyírófeszültség:

$\tau_{Ed1} = \mathbf{0,073 \text{ MPa}}$

$\tau_{Ed2} = \mathbf{0,052 \text{ MPa}}$

(M5 habarccsal a régi spektrummal is megfelel)



Hidak és Szerkezetek Tanszék

Helyi spektrumok alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

43

43

2) HÁROMSZINTES ACÉL IRODAÉPÜLET

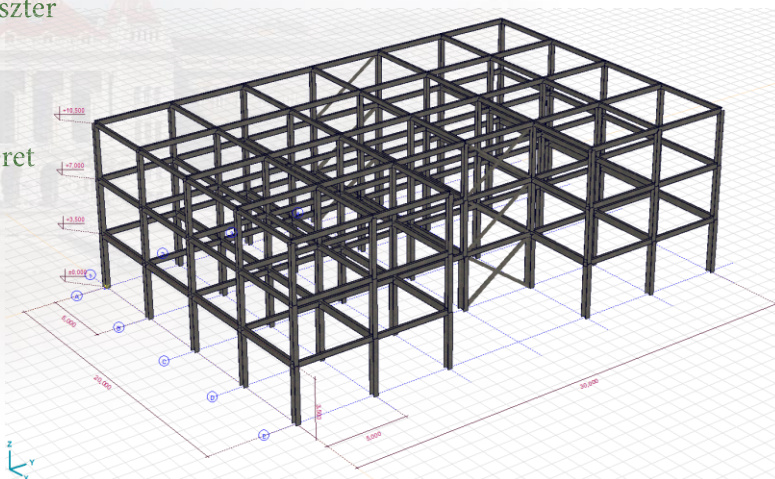
20x30 m alapterület, 5x5 m raszter

szabálytalan alaprajz

monolit vb födém

hosszirány: X rácsozás

keresztirány: nyomatékíró keret



Hidak és Szerkezetek Tanszék

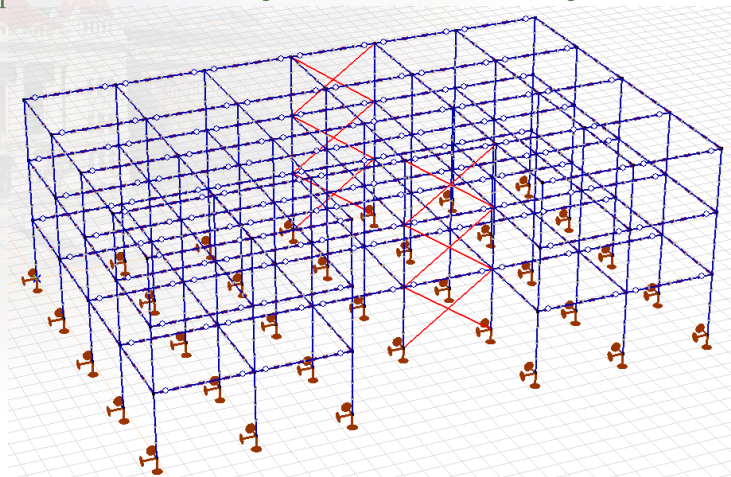
Helyi spektrumok alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

44

44

20x30 m alapterület, 5x5 m raszter
szabálytalan alaprajz
monolit vb födém
hosszirány: X rácsozás
keresztirány: nyomatékbíró keret

térbeli végeselemes modell szükséges



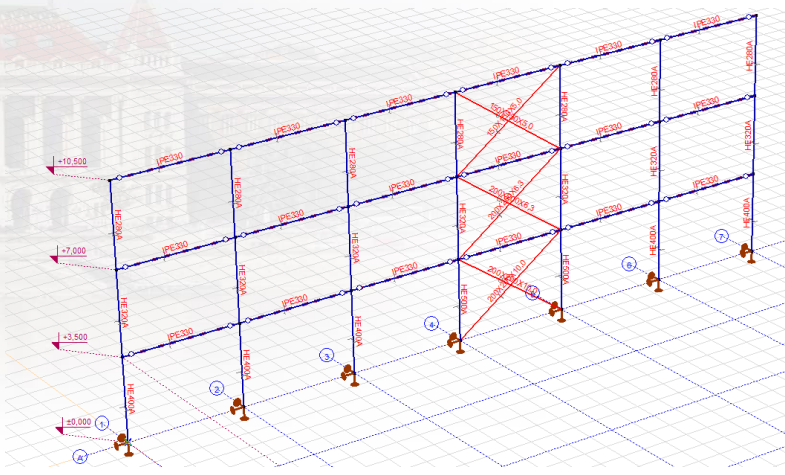
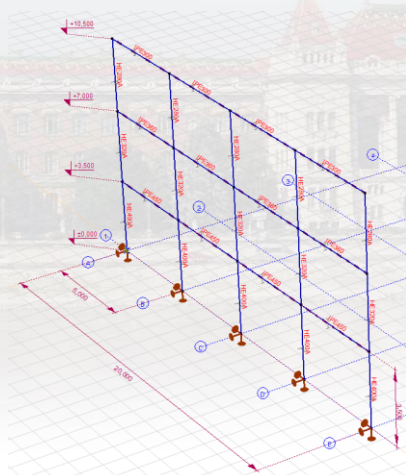
Hidak és Szerkezetek Tanszék

Helyi spektrumok alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

45

45

2A) Méretezés hatályos (régi) spektrum szerint Szelvények



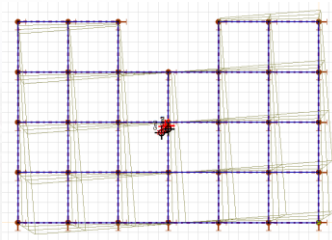
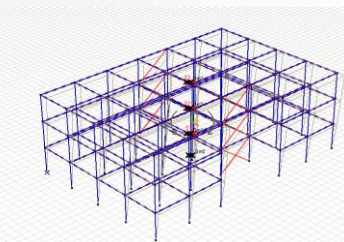
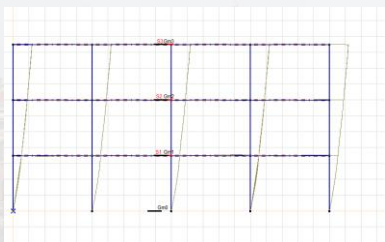
Hidak és Szerkezetek Tanszék

Helyi spektrumok alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

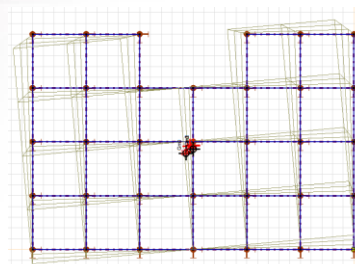
46

46

Rezgésvizsgálat



	f [Hz]	ϵ_X	ϵ_Y
1	1,05	0,907	0
2	1,44	0	0,349
3	1,81	0	0,436
4	3,11	0,075	0
5	4,04	0	0,068
6	5,01	0	0,095
7	6,38	0,015	0
8	7,14	0	0,031
9	8,71	0	0,018
9/9		0,997	0,997



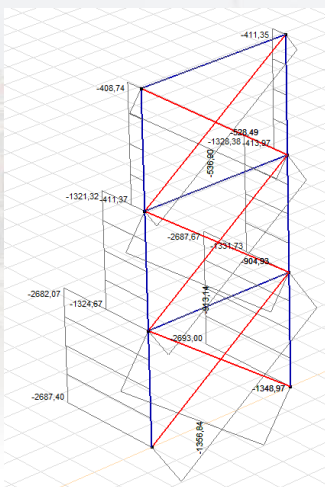
Hidak és Szerkezetek Tanszék

Helyi spektrum alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

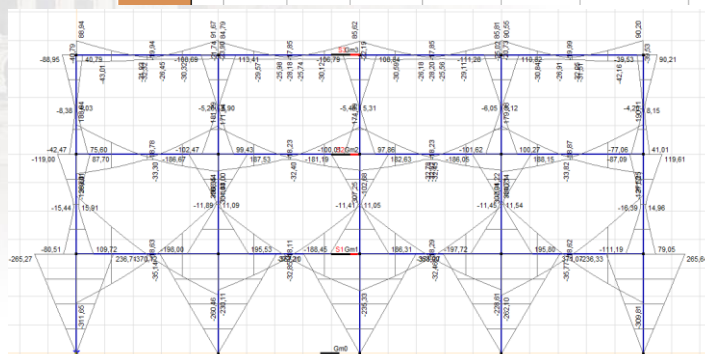
47

47

Mértékadó igénybevételek



Szintek	X/Y	Z [m]	h [m]	Θ_{max}	P_{tot} [kN]	V_{tot} [kN]	V_{tot}/P_{tot}	d_{max} [mm]
3. szint	X	10,500	0	0,024	5374,06	1260,72	23%	19,717
	Y			0,015		1386,76	26%	13,835
2. szint	X	7,000	3,500	0,035	11464,69	2164,34	19%	22,822
	Y			0,019		2221,49	19%	12,983
1. szint	X	3,500	3,500	0,062	17621,29	2771,90	16%	33,921
	Y			0,018		2623,29	15%	9,132
Földszint	X	0	3,500	—	—	—	—	—
	Y			—	—	—	—	—



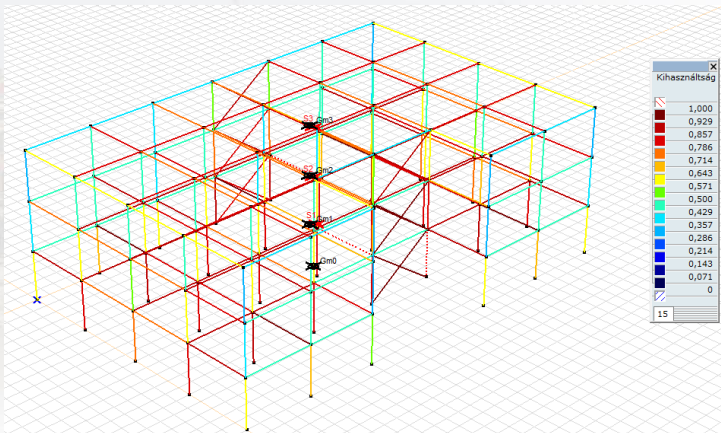
Hidak és Szerkezetek Tanszék

Helyi spektrum alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

48

48

Kihasználtságok



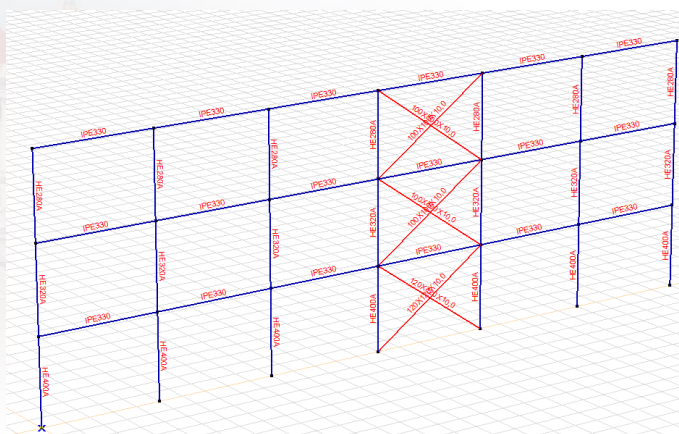
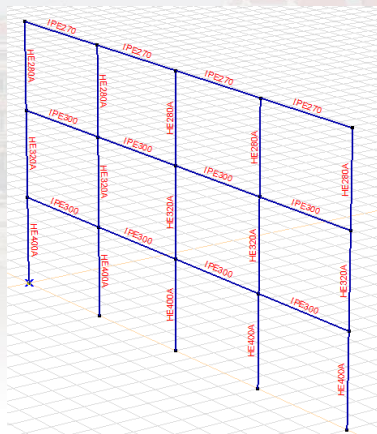
Szerkezeti elem	Szelvény	Kihasználtság	Mértékadó kombináció
Gerenda			
Y irány	IPE 330	92%	ULS
X irány	1. szint IPE 450	93%	EQ
	2. szint IPE 360	88%	EQ
	3. szint IPE 300	81%	EQ
Keretoszlopok			
1. szint	HEA 400	87%	EQ
2. szint	HEA 320	65%	EQ
3. szint	HEA 280	61%	EQ
Merevítőrendszer - D keretállás			
1. szint	200x8	94%	EQ
rácsrudak	2. szint 160x6,3	99%	EQ
	3. szint 140x5	92%	EQ
	1. szint HEA 550	100%	EQ
oszlopok	2. szint HEA 320	86%	EQ
	3. szint HEA 280	61%	EQ
Merevítőrendszer - A keretállás			
1. szint	200x10	83%	EQ
rácsrudak	2. szint 200x6	86%	EQ
	3. szint 150x5	87%	EQ
	1. szint HEA 500	90%	EQ
oszlopok	2. szint HEA 320	74%	EQ
	3. szint HEA 280	56%	EQ



49

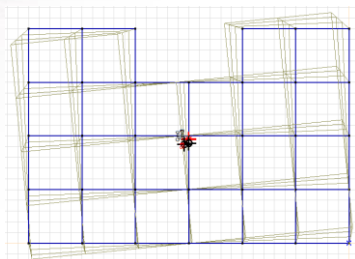
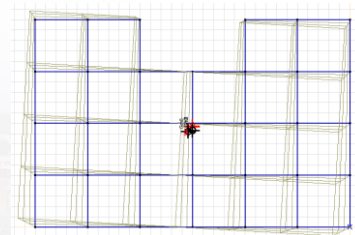
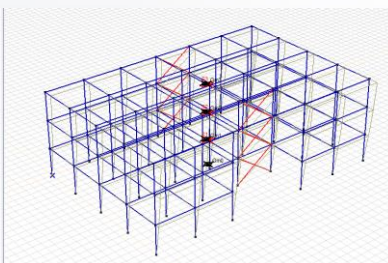
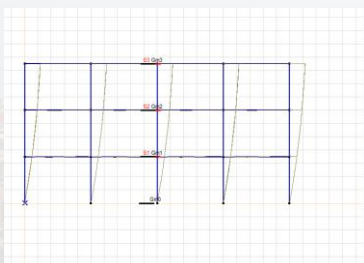
2B) Méretezés helyi spektrum szerint

Szelvények



50

Rezgésvizsgálat

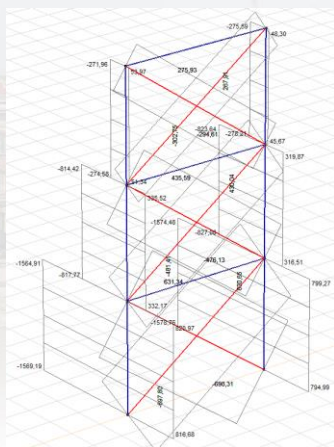


	f [Hz]	ε_x	ε_y
1	0,71	0,918	0
2	1,18	0	0,211
3	1,55	0	0,642
4	2,75	0,062	0
5	3,76	0	0,040
6	4,66	0	0,086
7	6,15	0,018	0
8	6,86	0	0,012
9	8,00	0	0,006
9/9		0,997	0,997

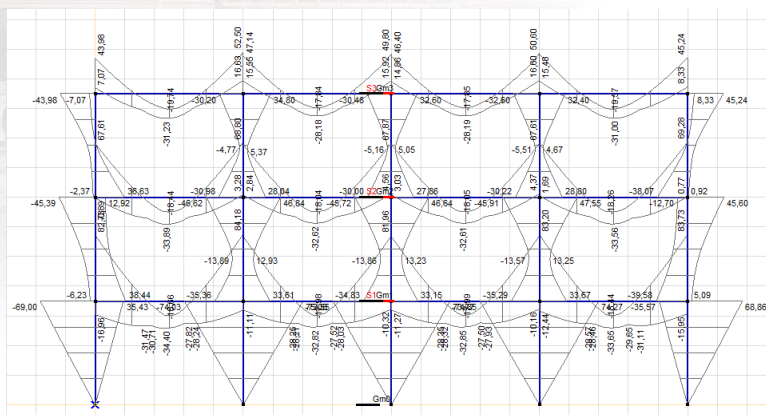


51

Mértékadó igénybevételek

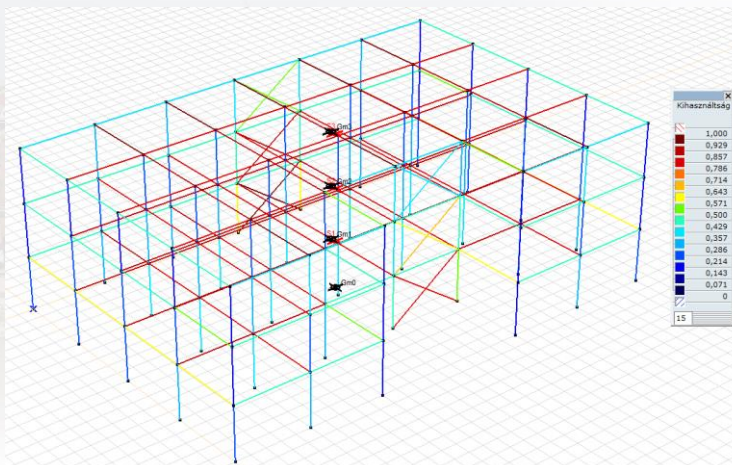


Szintek	X/Y	Z [m]	h [m]	Θ_{max}	P_{tot} [kN]	V_{tot} [kN]	V_{tot}/P_{tot}	d_{max} [mm]
3. szint	X	10,500	0	0,024	5366,60	371,52	7%	5,854
	Y			0,013		686,19	13%	6,004
2. szint	X	7,000	3,500	0,071	11437,56	406,38	4%	8,819
	Y			0,021		1113,60	10%	7,169
1. szint	X	3,500	3,500	0,125	17539,72	524,89	3%	13,136
	Y			0,024		1373,62	8%	6,540
Földszint	X	0	3,500	—	—	—	—	—
	Y			—	—	—	—	—



52

Kihasználtságok



Szerkezeti elem	Szelvény	Kihasz- náltság	Mértékadó kombináció
Gerenda			
Y irány	IPE 330	92%	ULS
1. szint	IPE 300	87%	ULS
X irány	IPE 300	82%	ULS
3. szint	IPE 270	96%	ULS
Keretszlopok			
1. szint	HEA 400	77%	ULS
2. szint	HEA 320	97%	ULS
3. szint	HEA 280	77%	ULS
Merevítőrendszer - D keretállás			
1. szint	100x10	83%	EQ
2. szint	100x10	65%	EQ
3. szint	100x10	45%	EQ
1. szint	HEA 400	61%	ULS
2. szint	HEA 320	78%	ULS
3. szint	HEA 280	65%	ULS
Merevítőrendszer - A keretállás			
1. szint	120x10	96%	EQ
2. szint	100x10	89%	EQ
3. szint	100x10	55%	EQ
1. szint	HEA 400	63%	EQ
2. szint	HEA 320	64%	ULS
3. szint	HEA 280	67%	ULS



2C) Összehasonlítás

helyi spektrummal:

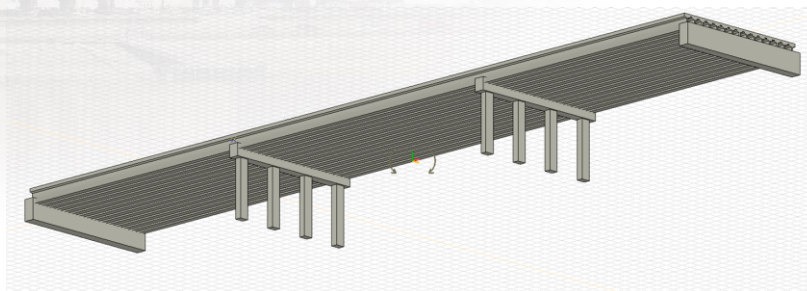
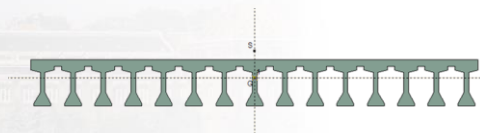
- jelentős szelvényméret és súlycsökkenés
- kevésbé merev szerkezet
- csökkenő szeizmikus igénybevételek
- sok elemnél a földrengés nem mértékadó

szabványos spektrumra			helyi spektrumra		
Szerkezeti elem	Szelvény	Mértékadó kombináció	Szerkezeti elem	Szelvény	Mértékadó kombináció
Gerenda			Gerenda		
Y irány	IPE 330	ULS	Y irány	IPE 330	ULS
1. szint	IPE 450	EQ	1. szint	IPE 300	ULS
X irány	IPE 360	EQ	2. szint	IPE 300	ULS
3. szint	IPE 300	EQ	3. szint	IPE 270	ULS
Keretszlopok			Keretszlopok		
1. szint	HEA 400	EQ	1. szint	HEA 400	ULS
2. szint	HEA 320	EQ	2. szint	HEA 320	ULS
3. szint	HEA 280	EQ	3. szint	HEA 280	ULS
Merevítőrendszer - D keretállás			Merevítőrendszer - D keretállás		
1. szint	200x8	EQ	1. szint	100x10	EQ
2. szint	160x6,3	EQ	2. szint	100x10	EQ
3. szint	140x5	EQ	3. szint	100x10	EQ
1. szint	HEA 550	EQ	1. szint	HEA 400	ULS
2. szint	HEA 320	EQ	2. szint	HEA 320	ULS
3. szint	HEA 280	EQ	3. szint	HEA 280	ULS
Merevítőrendszer - A keretállás			Merevítőrendszer - A keretállás		
1. szint	200x10	EQ	1. szint	120x10	EQ
2. szint	200x6	EQ	2. szint	100x10	EQ
3. szint	150x5	EQ	3. szint	100x10	EQ
1. szint	HEA 500	EQ	1. szint	HEA 400	EQ
2. szint	HEA 320	EQ	2. szint	HEA 320	ULS
3. szint	HEA 280	EQ	3. szint	HEA 280	ULS
Teljes szerkezeti tömeg			Teljes szerkezeti tömeg		
83,2 t			74,6 t		



3) SŰRŰBORDÁS VASBETON GERENDAHÍD

3 nyílású, előregyártott I gerendás híd
 25-30-25 m fesztáv, 14 m szélesség
 többtámaszúsított, folytonos felszerkezet
 közbenső támaszok: 4-4 db 5,5 m magas pillér
 pillér keresztmetszet: 0,6 x 0,9 m
 hídfők: 2 m magasak, 1 m vastagok
 cölöpalapozás



Hidak és Szerkezetek Tanszék

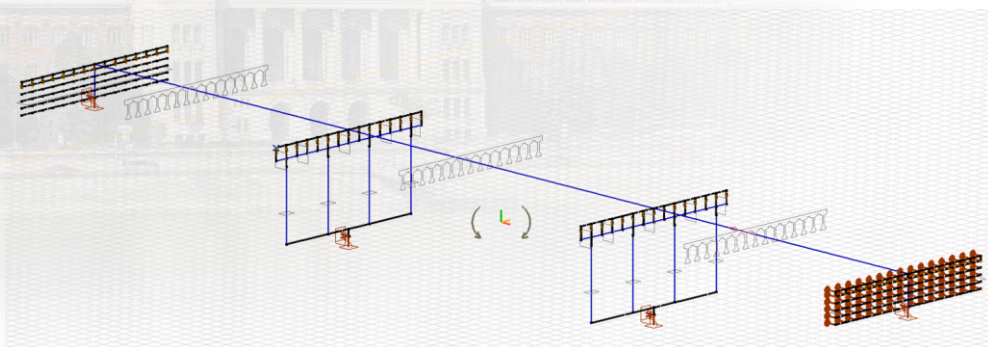
Helyi spektrumok alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

55

55

Numerikus modell:

- térbeli viselkedés
- rugalmas alapozás és háttöltés hatása
- külpontosság modellezése merev elemekkel



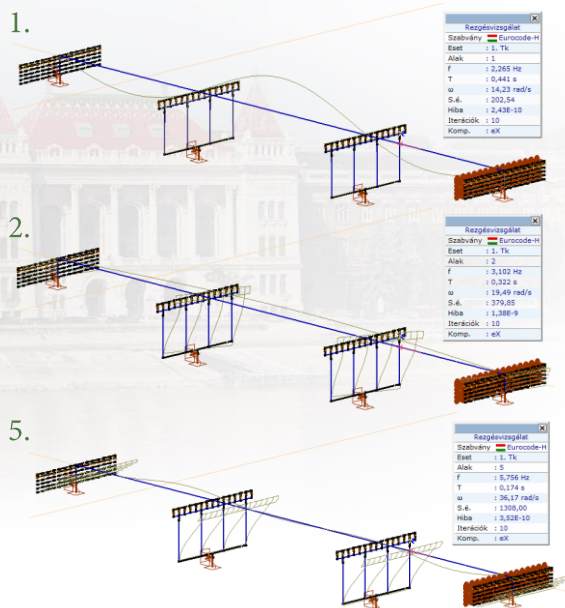
Hidak és Szerkezetek Tanszék

Helyi spektrumok alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

56

56

Rezgésalakok



Hidak és Szerkezetek Tanszék

Helyi spektrumok alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

57

57

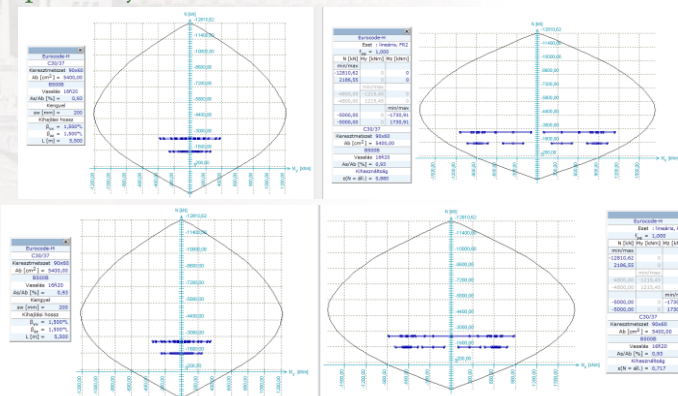
Méretezés

mértékadó nyíróerő

Jelenlegi spektrum				
	F_x	F_y	F_{Ed}	F_{Rd}
Hídfo kapcsolat	280	160	322	135
Pillér kapcsolat	30	366	367	270
Pillér nyírás	36	322	324	300

Ajánlott spektrum				
	F_x	F_y	F_{Ed}	F_{Rd}
Hídfo kapcsolat	250	110	273	135
Pillér kapcsolat	10	220	220	270
Pillér nyírás	25	230	231	300

pillér hajlítás – nem mértékadó



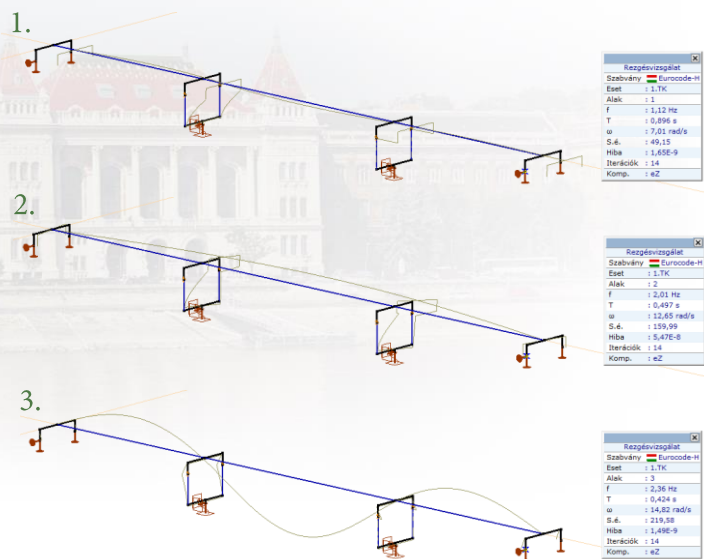
Hidak és Szerkezetek Tanszék

Helyi spektrumok alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

58

58

Rezgésalakok



Hidak és Szerkezetek Tanszék

Helyi spektrumok alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

61

61

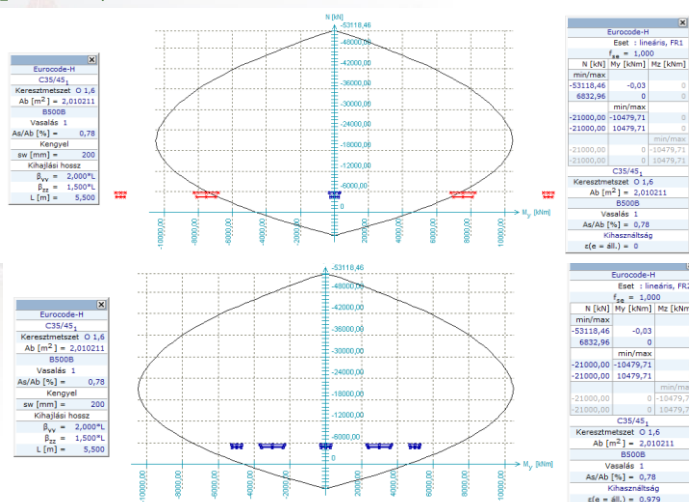
Méretezés

mértékadó nyíróerő

Jelenlegi spektrum				
	F_x	F_y	F_{Ed}	F_{Rd}
Saru	3435	2055	4003	1200
Pillér nyírás	3435	2055	4003	1160

Ajánlott spektrum				
	F_x	F_y	F_{Ed}	F_{Rd}
Saru	1365	1125	1769	1200
Pillér nyírás	1365	1125	1769	1160

pillér hajlítás



Hidak és Szerkezetek Tanszék

Helyi spektrumok alkalmazása a földrengési méretezésben - MMK Szakmai továbbképzés

62

62

Köszönöm a megtisztelő figyelmet!

Vigh László Gergely

vigh.laszlo.gergely@emk.bme.hu



BUDAPESTI MŰSZAKI
ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
Építőmérnöki Kar - építőmérnöki képzés 1782 óta
Hidak és Szerkezetek Tanszék