

INFLUENȚA REDUCERII ÎNĂLȚIMII COȘURILOR DE FUM ASUPRA REZISTENȚEI ACESTORA LA ACȚIUNEA SEISMICĂ

D. CREȚU¹, L. NAUM², E. TULEI¹

¹ Universitatea Tehnică de Construcții București, Catedra de Rezistența materialelor

² GIP SA București

NECESITATEA DETERMINĂRII GRADULUI DE ASIGURARE SEISMICĂ

- ACTUALIZAREA CODURILOR ROMÂNEȘTI DE PROIECTARE:
 - creșterea încărcărilor de calcul (permanente, vânt, seism)
- CREȘTEREA FORȚELOR SEISMICE DE COD datorită reducerii înălțimii:
 - crește rigiditatea la încovoiere;
 - scade greutatea coșului;
 - scade T_1 ;
 - crește coeficientul de amplificare dinamică.
- REDUCEREA CAPACITĂȚII DE REZISTENȚĂ LA ÎNCOVOIERE:
 - momentele încovoietoare nu se modifică semnificativ;
 - forța axială scade sub valoarea asociată punctului de balans de pe curba de interacțiune M-N.

PRINCIPALA PROBLEMĂ

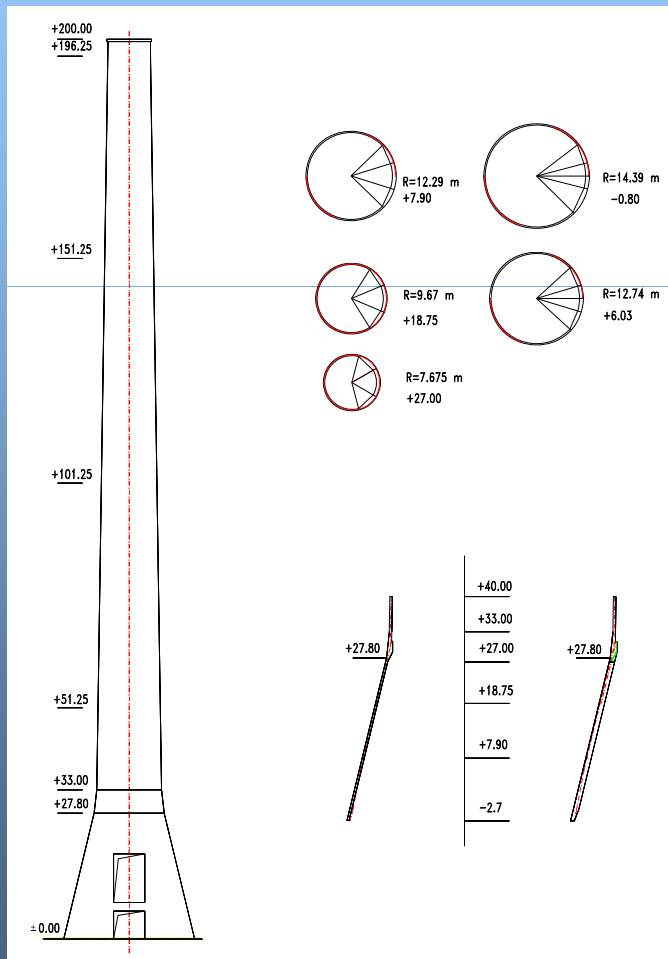
DETERMINAREA ÎNĂLȚIMII OPTIME PENTRU CARE:

- nu sunt necesare măsuri de consolidare;
- $R \cong 1$.

STUDIUL DE CAZ

- Coș de fum din b. a., $H = 200$ m;
- Studiu efectuat în 2003:
 - P100-92 (seism);
 - STAS 10101/20-90 (vânt);
 - P133-93 (proiectarea coșurilor de fum din b. a.).

DESCRIEREA COȘULUI DE FUM



- SUPRASTRUCTURA:

- soclu:

- - 2,7 m ÷ 27,0 m

- trunchi de con, $t_p = 50$ cm;

- $D_e = 30,1$ m jos;

- $D_e = 15,86$ m sus.

- trunchi portant:

- 27,0 m ÷ 33,0 m

- tub cilindric, $t_p = 50$ cm.

- 33,0 m ÷ 200 m

- trunchi de con, $t_p =$ variabil cu 2 cm la fiecare 10 m, de la 50 cm la bază, la 18 cm la vârf.

DESCRIEREA COȘULUI DE FUM

- INFRASTRUCTURA:

- - 2,7 m ÷ - 8 m

- 2 trunchiuri de con,
 $t_p = 50$ cm

- - 8 m ÷ - 11,2 m

- tub cilindric

- INTERIORUL TRUNCHIULUI PORTANT:

- console continue de 18 cm lățime la fiecare 10 m pe verticală;
 - căptușeală de cărămidă;
 - strat de praf de kieselgur, de 2 – 4 cm grosime, între cărămidă și peretele de b. a.

DESCRIEREA COȘULUI DE FUM

- MATERIALE SUPRASTRUCTURĂ: B400 (Bc30), OB37.
- ARMARE LA FAȚA EXTERIOARĂ:
 - armătură verticală continuă $\Phi 20 \div 12 / 17 \div 11$ cm;
 - armătură orizontală $\Phi 12 \div 14 / 11 \div 12,5$ cm.
- ARMARE LA FAȚA INTERIOARĂ:
 - armătura verticală:
 - discontinuă $33 \div 110$ m;
 - continuă > 110 m;
 - $\Phi 10$ (L= 3,4 m) / $32 \div 28$ cm, în zona consolelor.
 - armătura orizontală: $\Phi 10/20$ cm

MODELE DE CALCUL

- METODA ELEMENTULUI FINIT
 - elemente finite de bară / placă curbă subțire;
 - baza încastrată la - 8,2 m;
 - înălțimi deasupra cotei zero:
 - 200 m, 120 m, 100 m, 80 m.

MODELE DE CALCUL

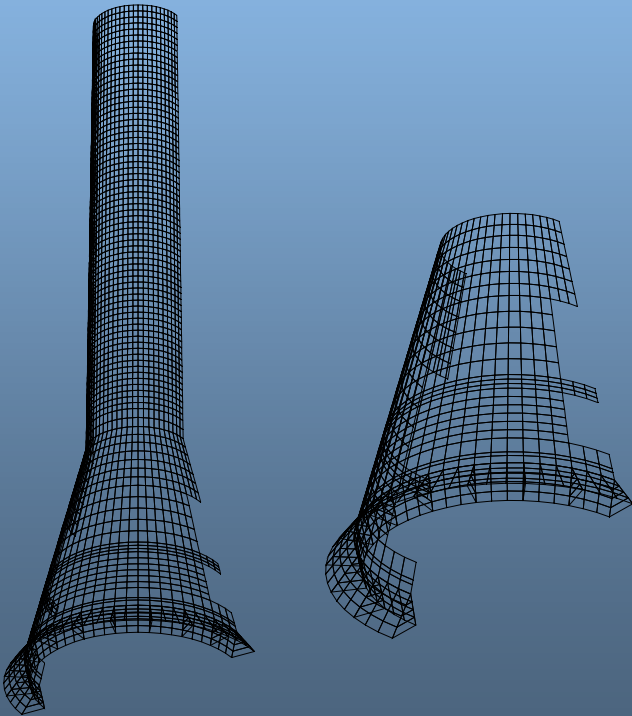
- MODELARE CU EF DE BARĂ
 - bară cu secțiune inelară, cu diametru variabil liniar;
 - comportare de grindă
- Exemplu:
 - 27 EF pt. $H = 208,2$ m



{ 20 EF pe înălțimea trunchiului portant;
7 EF pe înălțimea soclului.

MODELE DE CALCUL

- MODELARE CU EF DE PLACĂ



- respectă dispunerea golurilor în soclu, variația grosimii trunchiului portant pe verticală și în plan orizontal, îmbinarea soclului pe fundația inelară;
- se realizează pe $\frac{1}{2}$ structură; axa de simetrie taie golurile din soclu;
- sunt 30 elemente/semicerc (6° în plan orizontal); înălțimea elementelor variază în funcție de geometria structurii.

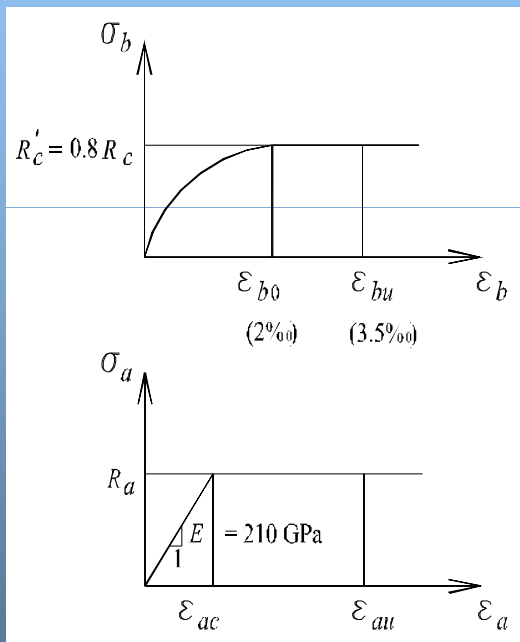
ÎNCĂRCĂRI

- ÎNCĂRCĂRI PERMANENTE:
 - greutate proprie;
 - greutate praf de kiesulgur;
 - greutate căptușeală de cărămidă.
- FORȚE SEISMICE ORIZONTALE:
 - $\alpha = 1,4$ (clasa I de importanță);
 - $\psi = 0,35 + 0,0025(H - 50) \leq 0,6$;
 - $k_s = 0,16$ (regiune seismică D).

CONSTANTE DE MATERIAL

- $E_b^* = k E_b$ (P133-93)
 - $k = 0,6$
 - $E_b = 325000 \text{ daN/cm}^2$
 - $E_b^* = 195000 \text{ daN/cm}^2$
- $\mu = 0,2$

CALCULUL SECȚIUNII INELARE COMPRIMATE EXCENTRIC LA STAREA LIMITĂ ULTIMĂ



- SLU ÎN SECȚIUNILE DE B. A.:

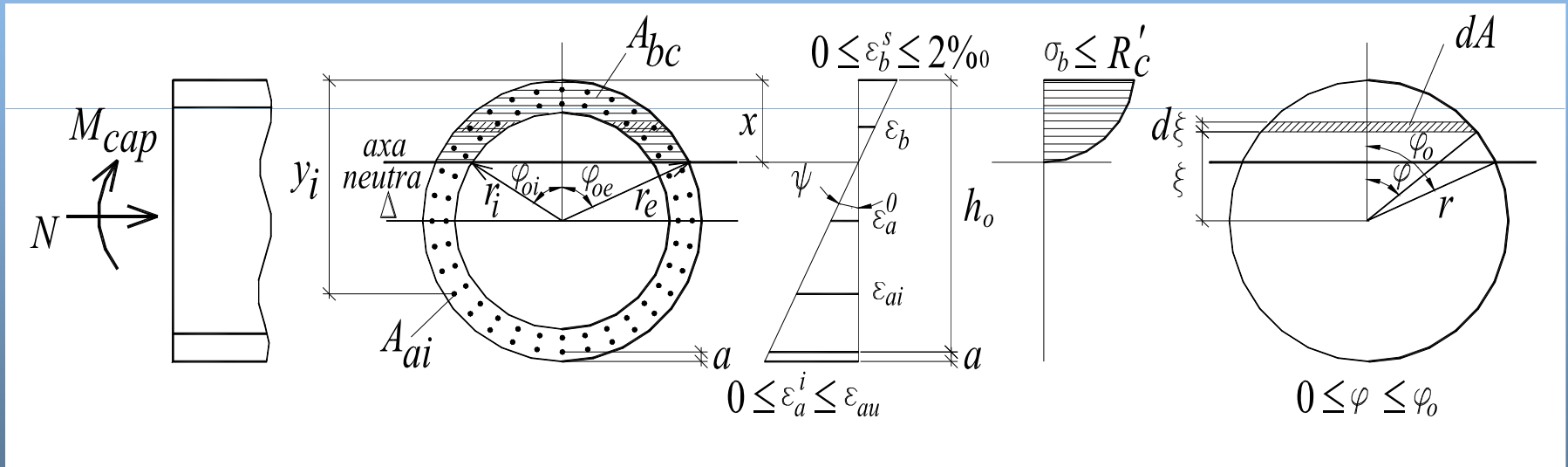
$$\epsilon_b = \epsilon_{bu} \text{ sau } \epsilon_a = \epsilon_{au}$$

- IPOTEZE DE CALCUL:

- ipoteza lui Bernoulli;
- betonul nu rezistă la întindere;
- $\epsilon_{au} = 50 \text{ ‰}$ pt. combinația seismică;
- $\epsilon_{bu} = \epsilon_{b0} = 2 \text{ ‰}$ ($t_p \leq D$).

CALCULUL SECȚIUNII INELARE COMPRIMATE EXCENTRIC LA STAREA LIMITĂ ULTIMĂ

- CALCULUL M_{cap} DIN COMPRESIUNE EXCENTRICĂ

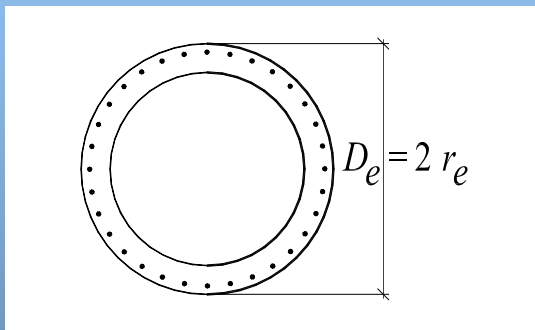


$$N = \int_{A_{bc}} \sigma_b dA + \sum_{i=1}^{n_a} A_{ai} \sigma_{ai} ; N = N_b + N_a$$

$$M_{cap} = \int_{A_{bc}} \sigma_b \xi dA + \sum_{i=1}^{n_a} A_{ai} (y_i - r_e) \sigma_{ai} ; M_{cap} = M_b + M_a$$

CALCULUL SECȚIUNII INELARE COMPRIMATE EXCENTRIC LA STAREA LIMITĂ ULTIMĂ

- CURBE DE INTERACȚIUNE M-N:



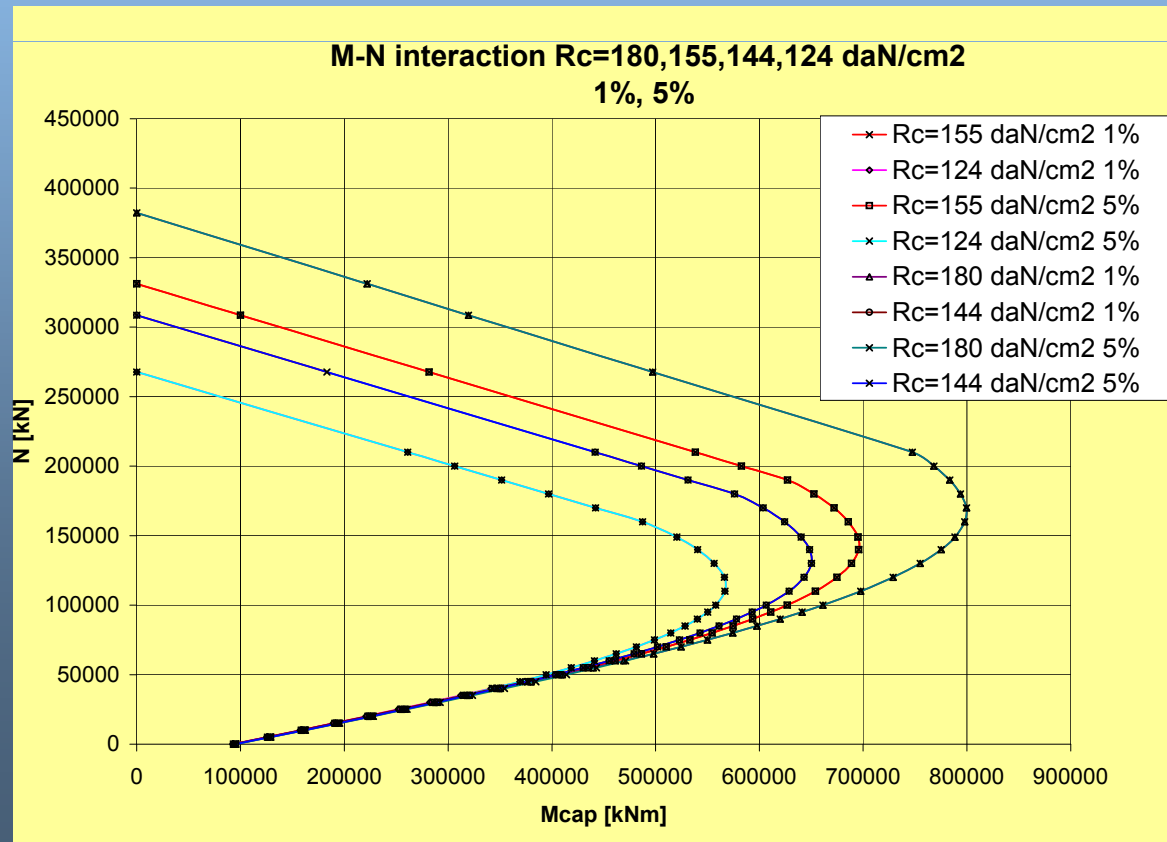
Bc30: $R_c = 155 \text{ daN/cm}^2$
 $E_b = 3,25 \cdot 10^5 \text{ daN/cm}^2$

OB37: $R_a = 2100 \text{ daN/cm}^2$
 $E_a = 2,1 \cdot 10^6 \text{ daN/cm}^2$

$r_e = 7,05 \text{ m}$; $r_i = 6,57 \text{ m}$

260 Φ 18; $a = 4 \text{ cm}$

$\varepsilon_{b0} = 2\text{‰}$; $\varepsilon_{ac} = 1\text{‰}$; $\varepsilon_{au} = 5\text{‰}$



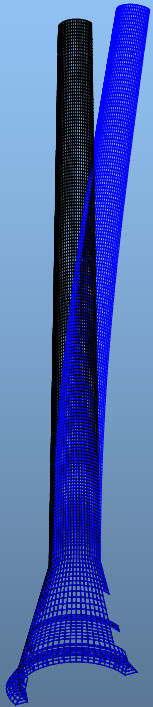
ANALIZA DINAMICĂ

- P100-92: metoda spectrului de răspuns
- $\xi = 5\%$

H (m)	Model	Perioade de vibrație (sec)			Factori de echivalență		
		T_1	T_2	T_3	ε_1	ε_2	ε_3
200	<i>bară</i>	3,685	0,865	0,368	0,368	0,19	0,112
	<i>placă</i>	3,621	0,867	0,3748	0,3125	0,1623	0,1073
120	<i>bară</i>	1,472	0,333	0,1495	0,413	0,227	0,12
	<i>placă</i>	1,3318	0,3163	0,1207	0,3362	0,2238	0,1622
100	<i>bară</i>	1,025	0,243	0,111	0,427	0,244	0,107
	<i>placă</i>	0,909	0,2363	0,1251	0,3421	0,2673	0,1194
80	<i>bară</i>	0,659	0,171	0,0776	0,45	0,253	0,0893
	<i>placă</i>	0,5682	0,1766	0,0938	0,361	0,301	0,0887

ANALIZA DINAMICĂ

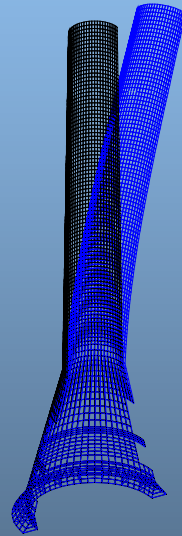
H = 200 m



$T_1 = 3,621 \text{ sec}$

$\varepsilon_1 = 0,3125$

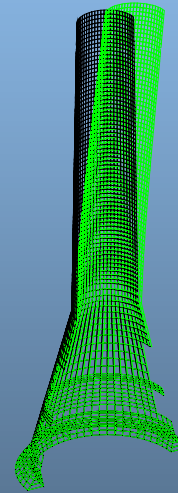
H = 120 m



$T_1 = 1,3318 \text{ sec}$

$\varepsilon_1 = 0,3362$

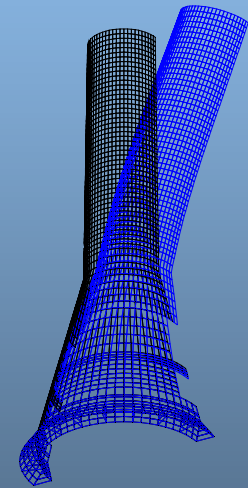
H = 100 m



$T_1 = 0,90896 \text{ sec}$

$\varepsilon_1 = 0,3421$

H = 80 m



$T_1 = 0,56817 \text{ sec}$

$\varepsilon_1 = 0,3610$

ANALIZA DINAMICĂ

Eforturi la bază

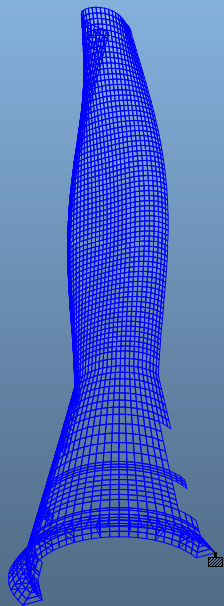
Deplasări
elastice maxime



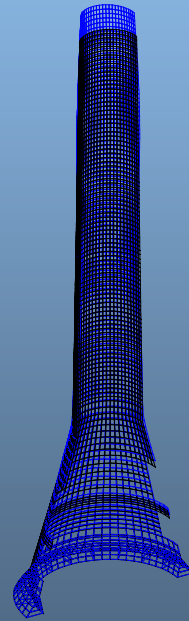
H (m)	Model	S_b (kN)	M_b (kNm)	N_b (kN)	$\Delta_{\max,e}$ (m)
200	<i>bară</i>	10402	950729	123541	0,8414
	<i>placă</i>	10634	946087		0,802
120	<i>bară</i>	12293	1049022	99543	0,2548
	<i>placă</i>	12941	1001685		0,222
100	<i>bară</i>	10355	753045	90968	0,10996
	<i>placă</i>	9468	720590		0,09349
80	<i>bară</i>	8572	507512	81226	0,04
	<i>placă</i>	9468	493169		0,0332

ANALIZA DINAMICĂ

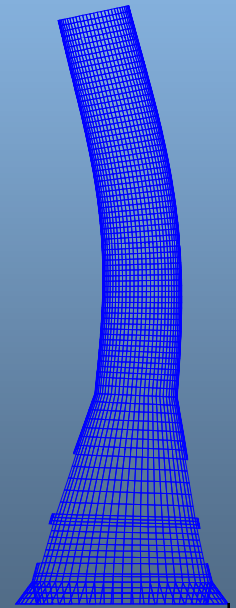
- FORME DE VIBRAȚIE SPECIFICE MODELELOR SPAȚIALE CU EF DE PLACĂ



vibrații simetrice datorate încovoierii în zone locale



vibrații axiale datorate oscilațiilor verticale ale terenului



vibrații din încovoiere globală, datorate oscilațiilor orizontale ale terenului

excluse din analiză

VERIFICAREA GRADULUI DE ASIGURARE SEISMICĂ

- FACTORUL DE SIGURANȚĂ ÎN COMBINAȚIA SEISMICĂ, LA SLU:

$$r = \frac{M_{cap}}{M} \geq 1$$

$$M = M_o + N e_a$$

M_o – moment încovoietor în secțiunea verificată
dat de forțele orizontale;

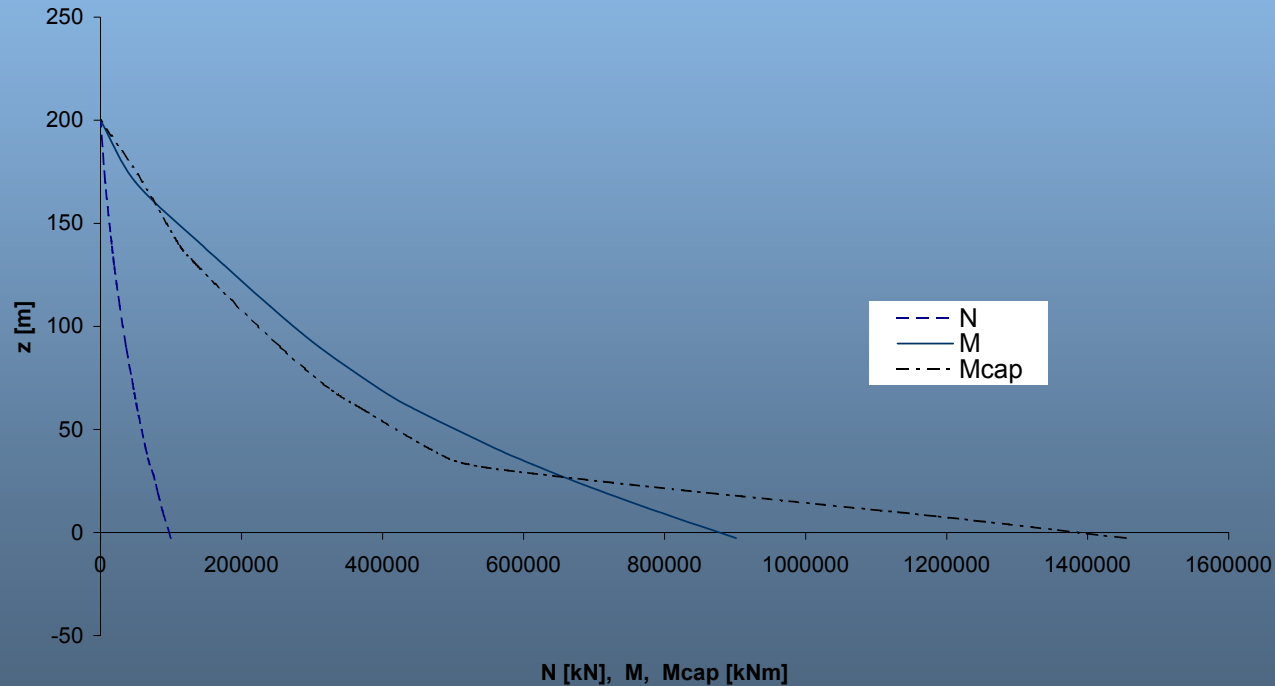
N – forța axială din secțiunea verificată;

e_a – excentricitatea adițională, $e_a = \frac{D_e}{50}$.

VERIFICAREA GRADULUI DE ASIGURARE SEISMICĂ

- DIAGramele N , M , M_{cap}

H=200 m N, M, Mcap BEAM MODEL (BM)

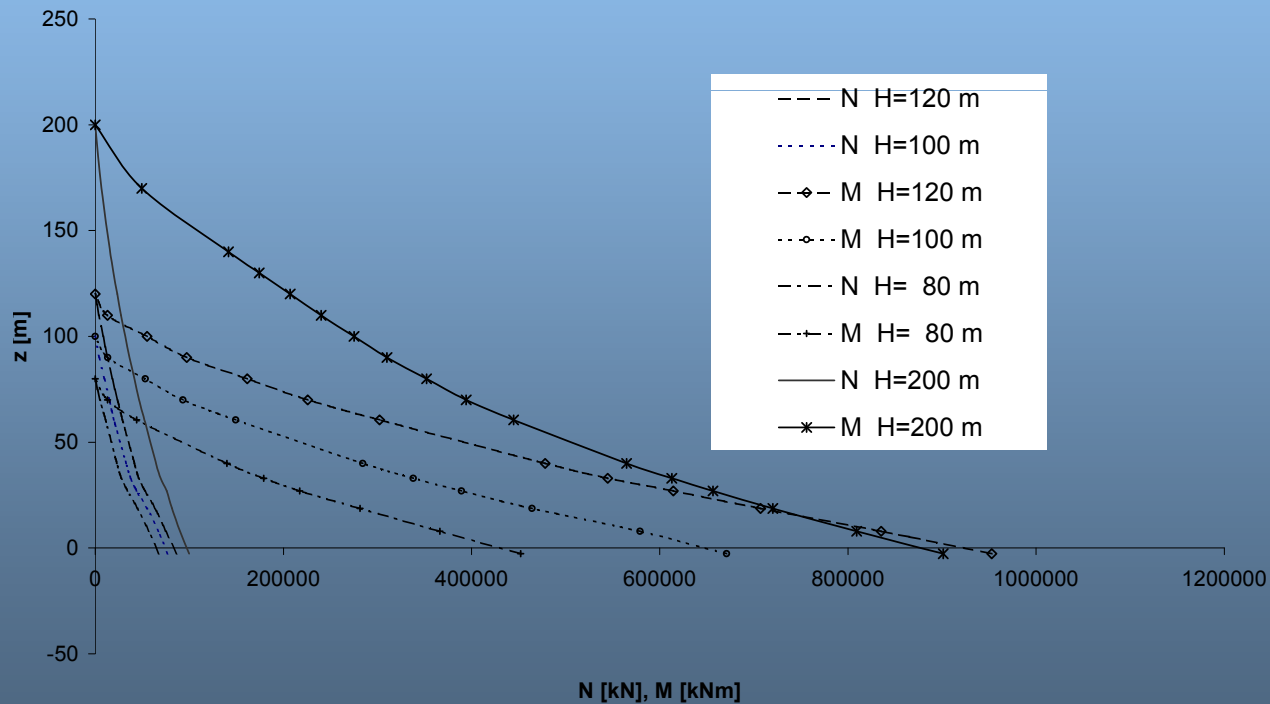


model cu EF de bară
H = 200 m

VERIFICAREA GRADULUI DE ASIGURARE SEISMICĂ

- DIAGramele N , M

SHELL MODEL (SM) $H = 200, 120, 100, 80$ m

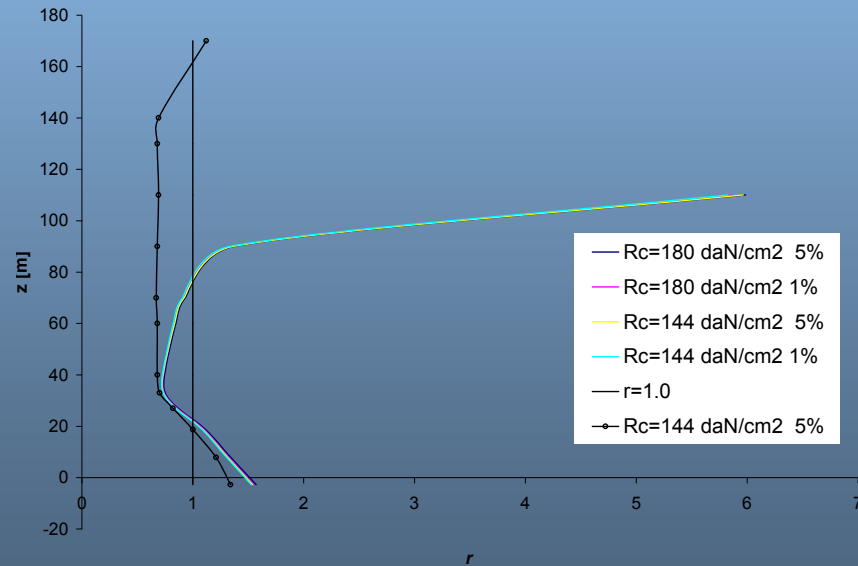


model cu EF de placă
 $H = 200, 120, 100, 80$ m

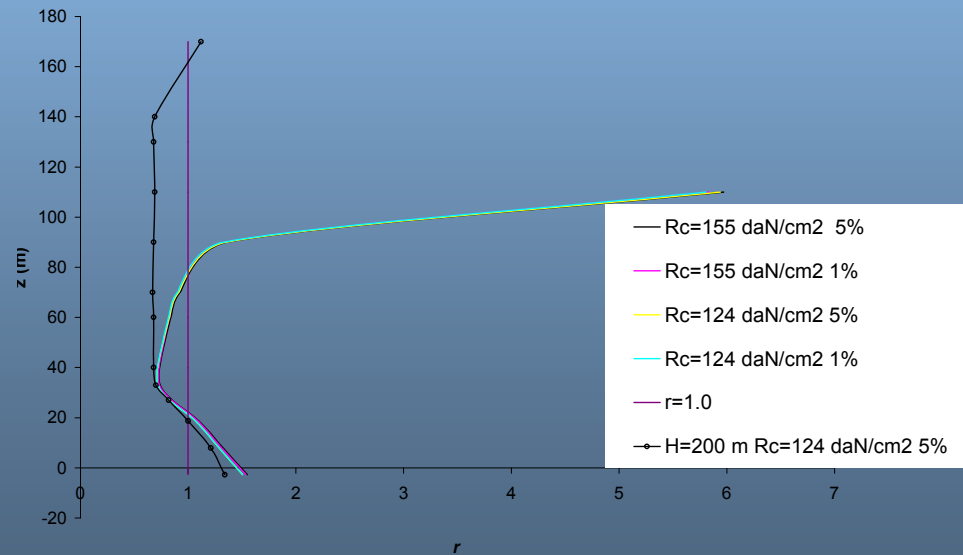
VERIFICAREA GRADULUI DE ASIGURARE SEISMICĂ

- VARIAȚIA FACTORULUI DE SIGURANȚĂ r
PE ÎNĂLȚIMEA COȘULUI DE FUM

H=120 m Safety factor r SHELL MODEL Rc=180 daN/cm²



H=120 m Safety factor r SHELL MODEL Rc=155 daN/cm²

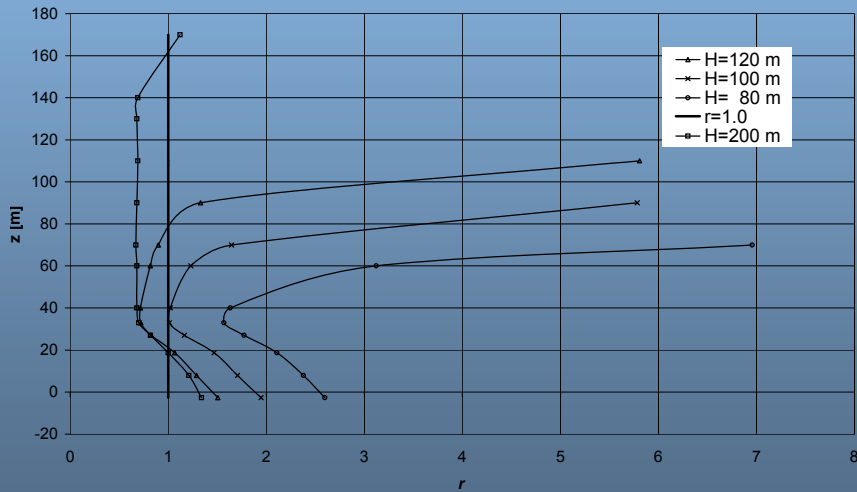


model cu EF de placă
H = 120 m

VERIFICAREA GRADULUI DE ASIGURARE SEISMICĂ

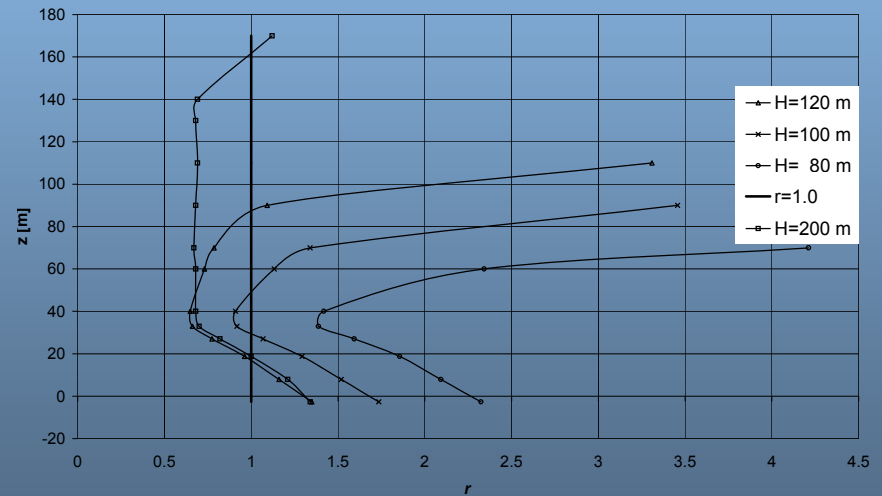
- VARIAȚIA FACTORULUI DE SIGURANȚĂ r
PE ÎNĂLȚIMEA COȘULUI DE FUM

H=200, 120, 100, 80 m Safety factor r SHELL MODELS $R_c=0.8*155$ daN/cm²
1%



model cu EF de placă

H=200, 120, 100, 80 m Safety factor r BEAM MODELS $R_c=0.8*155$ daN/cm²
1%



model cu EF de bară

VERIFICAREA GRADULUI DE ASIGURARE SEISMICĂ

- VALORILE FACTORULUI DE SIGURANȚĂ r
ÎN SECȚIUNEA CEA MAI SOLICITATĂ ($z = 40$ m)

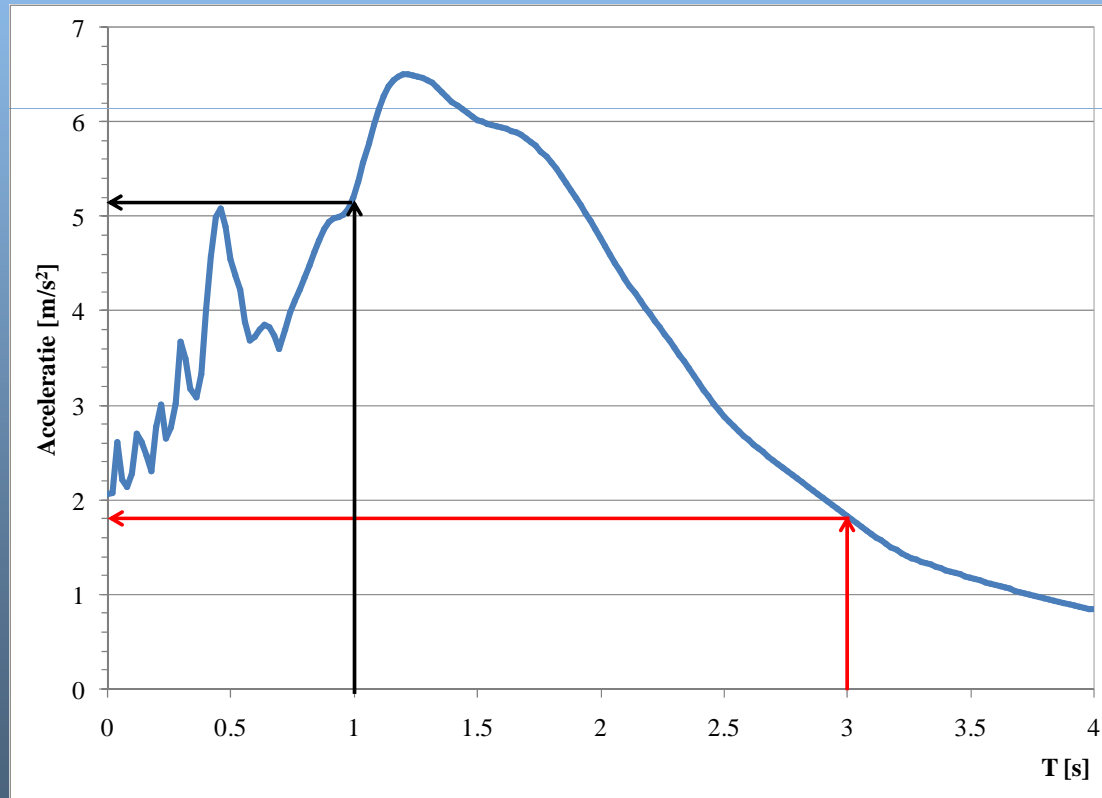
H (m)	Model	$R_c = 180 \text{ daN/cm}^2$				$R_c = 155 \text{ daN/cm}^2$			
		$R'_c = R_c$		$R'_c = 0.8 R_c$		$R'_c = R_c$		$R'_c = 0.8 R_c$	
		$\varepsilon_{au} = 5\%$	$\varepsilon_{au} = 1\%$	$\varepsilon_{au} = 5\%$	$\varepsilon_{au} = 1\%$	$\varepsilon_{au} = 5\%$	$\varepsilon_{au} = 1\%$	$\varepsilon_{au} = 5\%$	$\varepsilon_{au} = 1\%$
120	<i>bară</i>	0,673	0,664	0,661	0,656	0,666	0,659	0,650	0,649
	<i>placă</i>	0,744	0,734	0,730	0,725	0,735	0,728	0,717	0,716
100	<i>bară</i>	0,941	0,925	0,928	0,916	0,933	0,919	0,917	0,909
	<i>placă</i>	1,058	1,040	1,044	1,030	1,049	1,034	1,031	1,022
80	<i>bară</i>	1,465	1,437	1,452	1,427	1,457	1,430	1,441	1,418
	<i>placă</i>	1,687	1,655	1,673	1,643	1,678	1,647	1,660	1,634

CONCLUZII

- Nu se poate stabili **a priori** înălțimea optimă care să asigure verificarea condițiilor de siguranță la seism.
- Reducerea înălțimii nu este o soluție viabilă datorită:
 - creșterii factorului de amplificare dinamică;
 - **reducerii capacității de rezistență la încovoiere (M_{cap}).**

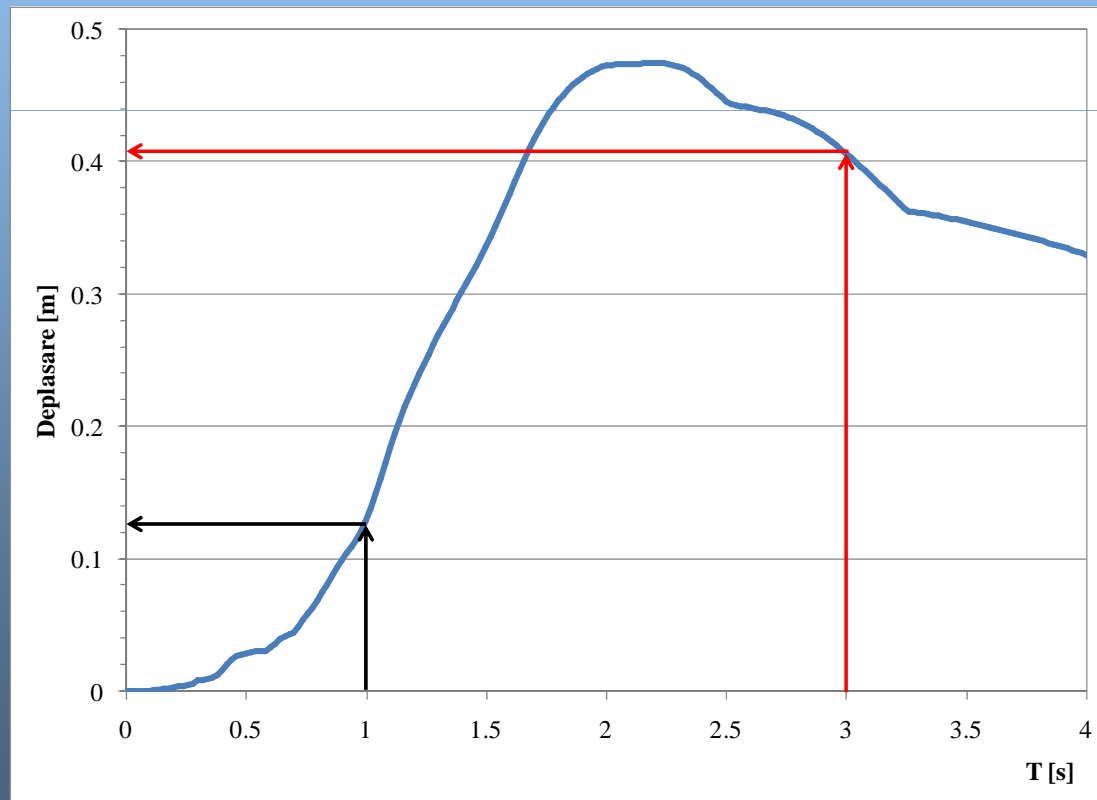
CONCLUZII

- EFECTUL REDUCERII ÎNĂLȚIMII ASUPRA ACCELERAȚIILOR



CONCLUZII

- EFECTUL REDUCERII ÎNĂLȚIMII ASUPRA DEPLASĂRILOR



CONCLUZII

- EFECTUL REDUCERII ÎNĂLȚIMII ASUPRA CAPACITĂȚII DE REZISTENȚĂ

