

TEMA 6

Proiectarea fundațiilor tip radier

6.1. Generalități

Fundația tip radier reprezintă tipul de fundație directă, realizată ca un planșeu întors. Radierul poate fi extins pe toată suprafața construcției (radier general) care asigură o suprafață maximă de rezemare pe teren a construcției sau poate fi parțial, sub anumite elemente puternic solicitate ale structurii. Radierul general este soluția de fundare recomandată în zone seismice.

Se recomandă utilizarea radierelor când:

- capacitatea portantă a terenului de fundare este mică și fundațiile continue necesită excavații adânci, spre exemplu pe argile moi, depozite aluvionare, umpluturi compresibile etc.;

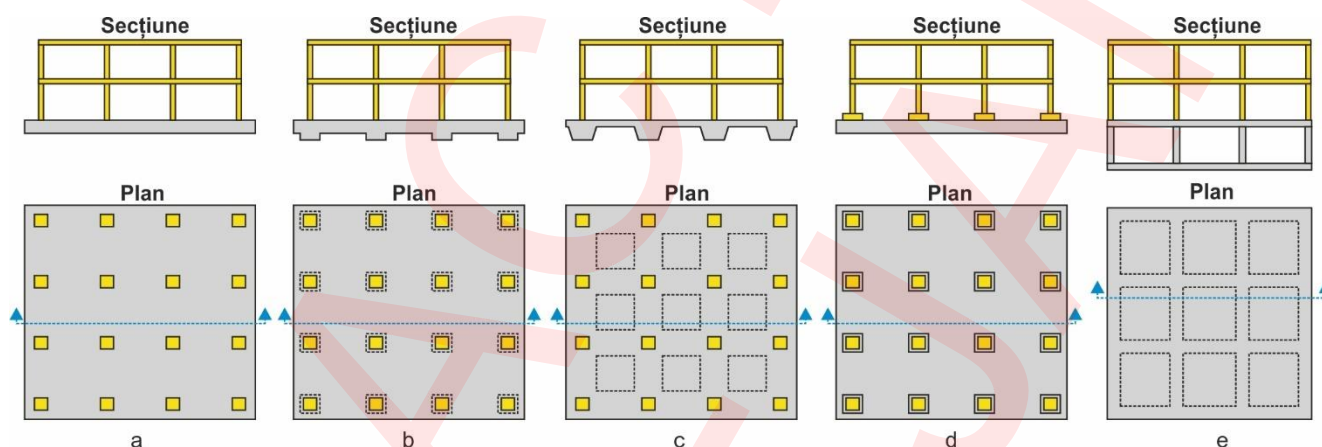


Figura 6.2 Discretizarea radierului prin metoda elementelor finite

6.2. Predimensionarea

Grosimea minimă a radierelor se va lua 1/10 din distanța interax maximă rotunjită la 10 cm dar nu mai puțin de 40 cm.

6.3. Verificarea la starea limită de serviciu SLS

Adâncimea zonei de influență crește odată cu creșterea lățimii fundației. Astfel, pentru un radier zona de influență va fi mult mai mare decât pentru fundații izolate.

Se consideră eforturile corespunzătoare SLS (Gruparea caracteristică).

Valorile de calcul ale parametrilor geotehnici sunt egale cu valorile caracteristice ale acestora deoarece coeficienții parțiali de siguranță au valoare unitară.

Verificarea la SLS necesită satisfacerea următoarelor condiții:

(1) limitarea încărcării transmise terenului de fundare

Pentru determinarea tasărilor probabile ale terenului de fundare folosind metodele teoriei elasticității valorile

- încărcările transmise de suprastructură sunt mari;
- structura sau echipamentele sunt sensibile la tasări diferențiale;
- sunt necesare subsoluri;
- suprafața ocupată de fundațiile continue sau izolate acoperă 50% din amprenta la sol;

Radierul se poate realiza în diverse soluții constructive, cum ar fi:

- placă cu grosime constantă (Figura 6.2.a);
- placă cu grosime mai mare în dreptul stâlpilor (Figura 6.2.b);
- placă și grinzi (drepte sau întoarse) dispuse pe una sau două direcții (Figura 6.2.c);
- placă și pedestale (Figura 6.2.d);
- Subsol casetat: placă și pereți ce au rol de rigidizare a radierului (Figura 6.2.e).

presiunilor transmise terenului de fundare (p_{ef}) trebuie să nu depășească valoarea presiunii plastice (p_{pl}).

Presiunea plastică (p_{pl}) este valoarea corespunzătoare apariției în pământ a unor zone plastice cu extindere limitată (zona plastică este zona pe conturul și în interiorul căreia se îndeplinește condiția de rupere în pământ).

$$p_{med} \leq p_{pl} \quad (6.1)$$

unde

p_{med} – presiunea medie pe baza fundației, calculată pentru grupările de acțiuni (efecte ale acțiunilor) corespunzătoare stării limită de serviciu (SLS) definite conform CR0, după caz (caracteristică, frecvență sau cvasipermanentă);

$$p_{med} = \frac{\sum N_{GK,i} + G_{radier}}{A}$$

$\sum N_{GK,i}$ – suma tuturor forțelor de pe suprafața radierului în gruparea caracteristică;

G_{radier} – greutatea proprie a radierului

$$G_{radier} = A \cdot h \cdot \gamma_{ba}$$

h – grosimea radierului;

$A = B \cdot L$ – suprafața radierului;

γ_{ba} – greutatea specifică a betonului armat (25 kN/m³)

p_{pl} – presiunea plastică determinată folosind Anexa 4.4.

(2) limitarea deplasărilor și/sau deformațiilor

Valorile de calcul limită pentru care se consideră atinsă în structură o stare limită de exploatare.

$$\begin{aligned} \Delta_s &\leq \bar{\Delta}_s \\ \text{sau} \\ \Delta_t &\leq \bar{\Delta}_t \end{aligned} \quad (6.2)$$

unde

Δ_s, Δ_t – orice deplasări sau deformații posibile ale fundației ca efect al deformației terenului datorată unei acțiuni sau combinații de acțiuni **calculate** conform Anexei 4.6;

$\bar{\Delta}_s$ – valorile limită ale deplasărilor fundațiilor sau deformațiilor structurilor, **stabilite** de proiectant sau determinate conform Anexei 4.5;

$\bar{\Delta}_t$ – valorile limită ale deplasărilor fundațiilor și deformațiilor structurilor admise din punct de vedere tehnologic, specificate de proiectantul tehnologic, în cazul construcțiilor cu restricții de deformații în exploatare normală.

6.4. Verificarea la starea limită ultimă SLU-GEO

Se consideră încărcările din gruparea fundamentală.

$$V_{Ed} \leq R_{Ed} \quad (6.3)$$

unde

V_{Ed} – rezultanta forțelor axiale la baza stâlpilor în gruparea fundamentală;

$$V_{Ed} = \sum N_{GFi} + Y_G \cdot G_{radier}$$

G_{radier} – greutatea proprie a radierului;

Y_G – coeficientul parțial de siguranță pentru acțiuni permanente (1,35);

R_{Ed} – capacitatea portantă a terenului de fundare;

$$R_{Ed} = B \cdot L \cdot p_{cr}$$

p_{cr} – presiunea critică a terenului de fundare (Anexa 4.7) calculată cu valorile de calcul a caracteristicilor geotehnice;

L – lungimea grinzii de fundare;

B – lățimea tălpii grinzii de fundare;

6.5. Calculul eforturilor secționale

Calculul eforturilor secționale (M, V) în secțiunile caracteristice ale radierului se efectuează, de regulă, cu programe de calcul care permit modelarea fenomenului de interacțiune structură-fundație-teren.

Dacă în radier apar eforturi axiale de compresiune sau întindere ca efect al conlucrării acestuia cu substructura, la dimensionarea secțiunilor de beton și a armăturii pentru moment încovoietor și forță tăietoare se va considera și efectul acestora.

În calculul radierelor trebuie luați în considerare numeroși factori între care cei mai importanți sunt rigiditatea și geometria radierului, mărimea și distribuția încărcărilor, caracteristicile de deformabilitate și de rezistență ale terenului, precum și etapele de execuție.

Calculul urmărește determinarea presiunilor de contact și a deformațiilor precum și a momentelor încovoietoare și forțelor tăietoare.

În calcule, radierul poate fi considerat ca rigid sau flexibil.

Pentru radierile generale având forma dreptunghiulară în plan (L, B) și grosimea uniformă (h), indicele de rigiditate, K_G , se determină cu expresia:

$$K_G = \frac{12 \cdot \pi(1 - \nu^2)}{1 - \nu_s^2} \cdot \frac{E_s}{E} \cdot \left(\frac{L}{2h}\right)^2 \cdot \frac{B}{2h} \quad (6.4)$$

unde

$\nu = 0,2$ – coeficientul lui Poisson pentru beton;

$\nu_s = 0,3$ – coeficientul lui Poisson pentru pământ;

E – modulul de elasticitate al betonului;

E_s – modulul de deformație liniară al pământului.

Radierul poate fi considerat rigid dacă este îndeplinită condiția:

$$K_G \leq \frac{8}{\sqrt{\frac{L}{B}}} \quad (6.5)$$

În cazul radierelor încărcate de forțe concentrate din stâlpi dispuși echidistant pe ambele direcții iar încărcările din stâlpi nu diferă cu mai mult de 20% între ele, se definește coeficientul de flexibilitate, λ :

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{k_s \cdot b_f}{4 \cdot EI_f}} \quad (6.6)$$

unde

b_f, I_f – lățimea, respectiv momentul de inerție ale unei fâșii de radier considerată între mijloacele a două deschideri consecutive ale stâlpilor.

Radierul poate fi considerat flexibil dacă este îndeplinită condiția:

$$b_f \geq \frac{1,75}{\lambda} \quad (6.7)$$

6.5.1. Metoda reducerii încărcărilor în centrul de greutate al radierului

Această metodă poate fi folosită pentru calculul radierelor rigide

(a) Se determină centrul de greutate al suprafeței radierului

$$N = \sum N_i$$

$$\bar{X} = \frac{B}{2}$$

$$\bar{Y} = \frac{L}{2}$$

Determinarea excentricității încărcării, e_x și e_y , în direcțiile x și y . Acestea pot fi determinate folosind coordonatele (X', Y')

$$X' = \frac{\sum N_i \cdot x_i}{N}$$

$$e_x = X' - \bar{X}$$

$$Y' = \frac{\sum N_i \cdot y_i}{N}$$

$$e_y = Y' - \bar{Y}$$

(b) Se calculează presiunile pe talpa radierului

$$p_{(1+4)} = \frac{\sum N_i}{A} \pm \sum N_i \cdot \frac{e_y}{I_x} \cdot y \pm \sum N_i \cdot \frac{e_x}{I_y} \cdot x \quad (6.8)$$

(c) Se examinează radierul ca un întreg pe fiecare dintre cele două direcții paralele cu axele x și y :

- forța tăietoare totală acționând în orice secțiune dusă prin radier este egală cu suma aritmetică a tuturor încărcărilor și presiunilor de contact la stânga secțiunii considerate;
- momentul încovoietor total acționând în aceeași secțiune este egal cu suma momentelor aceluiași încărcări și presiuni față de secțiunea considerată.

Metoda nu permite determinarea distribuției forței tăietoare totale și momentului încovoietor total în lungul secțiunii.

6.5.2. Metoda împărțirii radierului în fâșii de calcul

Atunci când încărcările din stâlpi și distanțele dintre stâlpi nu diferă între ele cu mai mult de 20%, radierul poate fi împărțit în fâșii de calcul independente.

Fiecare fâșie de calcul este încărcată de forțele corespunzătoare stâlpilor ce reazemă pe fâșia respectivă.

Se determină diagrama presiunilor de contact, admitându-se o lege de variație liniară de tip Navier

Valorile obținute ale momentelor încovoietoare și forțele tăietoare în secțiunile semnificative pot fi folosite pentru armarea radierului, deși poziția rezultantei încărcărilor din stâlpi nu coincide cu poziția centrului de greutate al rezultantei presiunilor de contact.

6.5.3. Metoda elementelor finite

Metoda elementelor finite este o metodă numerică de calcul care ia în considerare interacțiunea dintre fundație și teren.

Radierul este modelat printr-un set de elemente interconectate la noduri, în timp ce pământul se modelează prin resoarte izolate.

Discretizarea poate să cuprindă radierul și restul structurii. Nodurilor structurii li se atribuie un număr de grade de libertate în funcție de tipul analizei.

Figura 6.2 prezintă un exemplu de analiză în care radierul este discretizat printr-un element de tip placă, iar pământul printr-un mediu Winkler. În acest caz gradele de libertate sunt o translație pe direcție verticală (tasarea) și două rotații (după axele din plan).

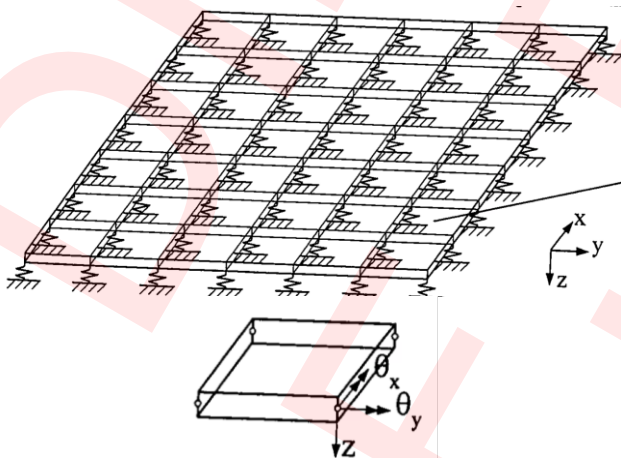


Figura 6.2 Discretizarea radierului prin metoda elementelor finite

6.6. Armarea radierelor

6.6.1. Armături longitudinale

Pentru preluarea momentelor încovoietoare pozitive și negative radierul se armează cu rețelele orizontale de armătură, dispuse pe fețele plăcii.

De asemenea, poate fi necesară și o armare pe zona mediană a plăcii pentru preluarea solicitărilor din contracție, în special atunci când radierul are grosimea mai mare sau egală cu 600 mm. Armarea intermediară pentru contracție se dispune, astfel încât distanța între plasele de armătură să nu depășească 500 mm, și se determină prin calcul.

6.6.2. Armături transversale

Se prevăd armături pentru forță tăietoare sau pentru străpungere în condițiile în care nu se respectă relațiile din SR 1992-1-1, și anume:

- pentru calculul la forță tăietoare:

$$v_{Fd} \leq v_{Rd,c} \quad (6.9)$$

în care lățimea elementului se va lua egală cu un metru (1,00 m)

- pentru calculul la străpungere

$$v_{Fd} = \beta \cdot \frac{N_{Fd}}{u_i \cdot d} \leq v_{Rd,c} \quad (6.10)$$

în care

N_{Fd} - forță axială de străpungere în situația de încărcare considerată la proiectare

u_i - perimetrul conturului de calcul considerat

β - coeficient care ține seama de influența momentului încovoietor

d - înălțimea utilă medie a dalei, care poate fi luată egală cu $(d_x + d_y)/2$, în care d_x și d_y reprezintă înălțimile utile în direcțiile x și y ale secțiunii de calcul;

$v_{Rd,c}$ - rezistența betonului la forță tăietoare

Din valoarea forței axiale de străpungere se poate scădea rezultanta presiunilor pe teren de pe aria mărginită de conturul u_i .

Dacă sunt necesare armături se vor aplica prevederile de la II.6.1.1(1) pct.d) din NP 112:2014.

Armăturile transversale pot fi armături înclinate, minim trei bare $\Phi 14$ pe fiecare direcție, sau armături verticale. Acestea se dispun conform pct. 9.4.3 din SR 1992-1-1.

Coeficienții minim de armare pentru placa radierului sunt 0,0020 pentru fiecare față și direcție și 0,00075 pentru armătura intermediară. Distanța între axele barelor se va lua între 150 mm și 400 mm. Diametrul minim este 14 mm pentru barele rețelelor de pe cele două fețe și minim 12 mm pentru barele intermediare.

Înnădirea barelor se face prin petrecere sau prin sudare pentru barele cu diametre mari ($\Phi = 25 \div 40$).

ANEXA 6.1

Exemplu de calcul

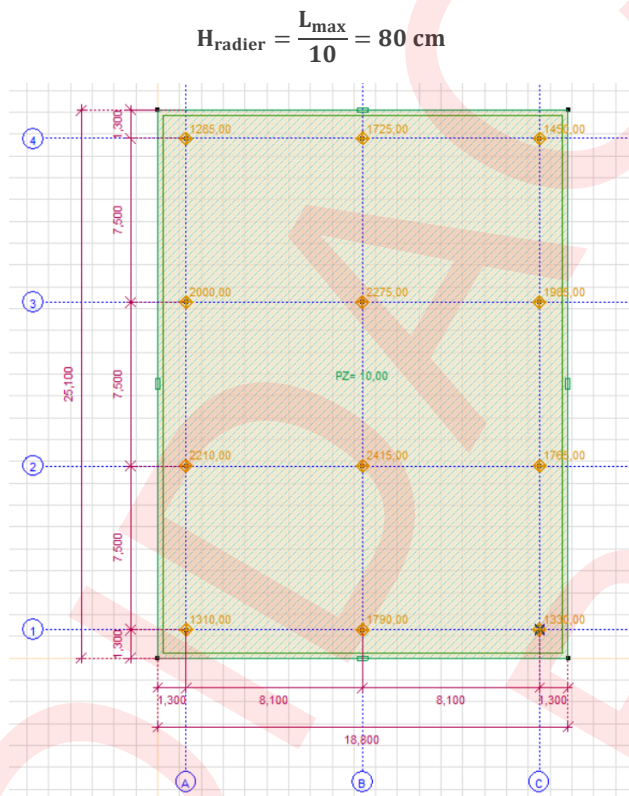
Date de intrare

(1) Caracteristicile terenului de fundare

- o Valoarea caracteristică a greutateii volumice
 $\gamma_k = 20 \text{ kN/m}^3$
- o Valoarea caracteristică a unghiului de frecare internă
 $\phi_k = 12^\circ$
- o Valoarea caracteristică a coeziunii
 $c_k = 10 \text{ kPa}$
- o Coeficientul de pat
 $k_s = 10000 \text{ kN/m}^2/\text{m}$

(2) Caracteristicile radierului

- o Lungimea radierului
 $L = 25,10 \text{ m}$
- o Lățimea radierului
 $B = 18,80 \text{ m}$
- o Grosimea radierului
 $H_{\text{radier}} = \frac{L_{\text{max}}}{10} = 80 \text{ cm}$



Verificarea la starea limită de serviciu (SLS)

(3) Presiunea efectivă pe talpa fundației

- o Rezultanta forțelor axiale

$$V_{Ed} = \sum_{i=1}^{12} N_{i(GK)} = 905 + 1230 + 1035 + 1430 + 1625 + 1420 + 1580 + 1725 + 1260 + 935 + 1280 + 950 = 15375 \text{ kN}$$

- o Presiunea medie pe talpă

$$p_{\text{ef,med}} = \frac{V_{Ed} + G_{\text{radier}}}{A}$$

$$p_{\text{ef,med}} = \frac{15375}{18,80 \cdot 25,10} + 25 \cdot 0,80 = 53 \text{ kPa}$$

- o Coeficienții presiunii plastice

$$N_1 = 0,235$$

$$N_2 = 1,940$$

$$N_3 = 4,421$$

$$m_1 = 1,40$$

- o Presiunea plastică

$$p_{pl} = m_1 \cdot (\gamma \cdot B \cdot N_1 + q \cdot N_2 + c \cdot N_3)$$

$$p_{pl} = 1,40 \cdot (20 \cdot 18,8 \cdot 0,235 + 1,50 \cdot 20 \cdot 1,940 + 10 \cdot 4,421) = 267 \text{ kPa}$$

- o Verificarea

$$\Lambda_1 = \frac{p_{\text{ef,med}}}{p_{pl}} \cdot 100$$

$$\Lambda_1 = \frac{53}{267} \cdot 100 = 20\% < 100\% - \text{se verifică!}$$

Verificarea la starea limită ultimă (SLU)

(2) Presiunea medie pe talpa fundației

- o Greutatea radierului

$$G_{\text{radier}} = \gamma_b \cdot B \cdot L \cdot h$$

$$G_{\text{radier}} = 25 \cdot 18,80 \cdot 25,10 \cdot 0,80 = 9438 \text{ kN}$$

- o Rezultanta forțelor axiale

$$V_{Ed} = \sum_{i=1}^{12} N_{i(GF)} + \gamma_G \cdot G_{\text{radier}}$$

$$V_{Ed} = 21520 + 1,35 \cdot 9438 = 34261 \text{ kN}$$

- o Presiunea efectivă medie

$$p_{\text{ef,med}} = \frac{V_{Ed}}{B \cdot L} = \frac{34261}{18,8 \cdot 25,10} = 73 \text{ kPa}$$

(3) Capacitatea portantă a terenului de fundare

- o Valoarea de calcul a unghiului de frecare internă

$$\phi_d = \text{atan} \left(\frac{\tan \phi_k}{1,25} \right) = 9,65^\circ$$

- o Valoarea de calcul a coeziunii

$$c_d = \frac{c_k}{1,25} = 8,00 \text{ kPa}$$

- o Factorii capacității portante

$$N_\gamma = 0,235$$

$$N_q = 2,393$$

$$N_c = 8,194$$

- o Presiunea critică

$$p_{cr} = 182 \text{ kPa}$$

- o Capacitatea portantă

$$R_d = B \cdot L \cdot p_{cr} = 85682 \text{ kN}$$

(4) Coeficientul de utilizare

$$\Lambda_2 = \frac{V_{Ed}}{R_d} \cdot 100$$

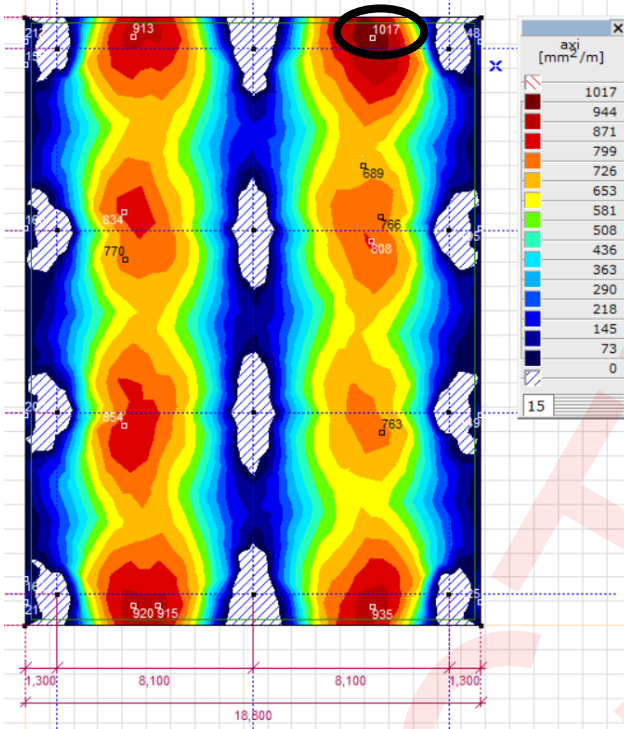
$$\Lambda_2 = \frac{34261}{85682} \cdot 100 = 40\% < 100\% - \text{se verifică!!!}$$

Calculul structural al radierului

Pentru stabilirea ariilor de armare necesare se folosește programul de calcul cu elemente finite AxisVM. În continuare sunt prezentate rezultatele obținute.

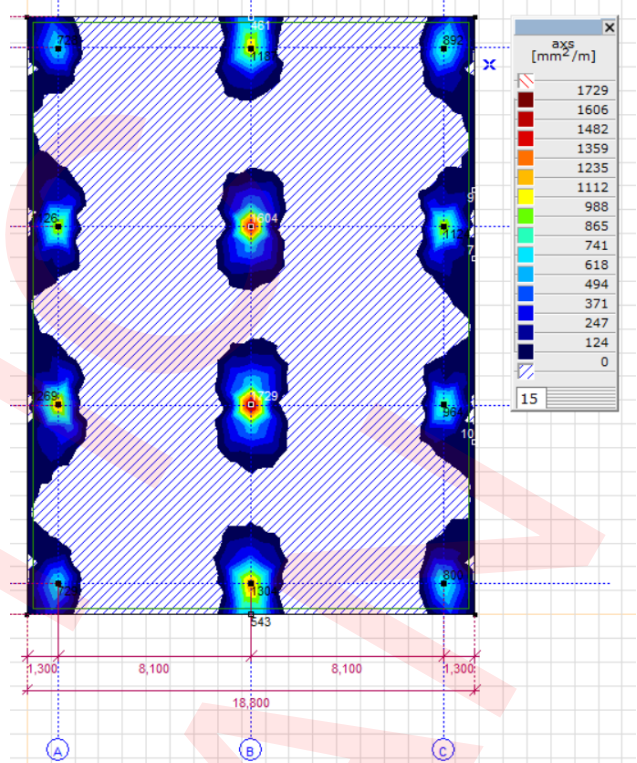
(1) Armare radier pe direcția x la partea inferioară

$$A_{s,\text{max}} = 1017 \text{ mm}^2 \rightarrow \Phi 16/180 (A_{s,\text{ef}} = 1117 \text{ mm}^2)$$



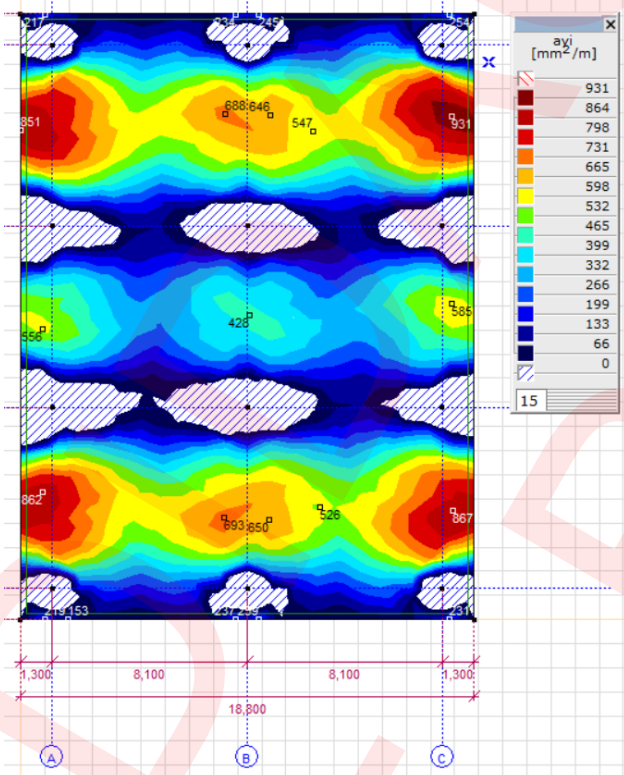
(2) Armare radier pe direcție y la partea inferioară

$$A_{s,max} = 931 \text{ mm}^2 \rightarrow \Phi 16/200 \text{ (} A_{s,ef} = 1005 \text{ mm}^2 \text{)}$$



(4) Armare radier pe direcție y la partea superioară

$$A_{s,max} = 1932 \text{ mm}^2 \rightarrow \Phi 20/160 \text{ (} A_{s,ef} = 1963 \text{ mm}^2 \text{)}$$



(3) Armare radier pe direcția x la partea superioară

$$A_{s,max} = 1729 \text{ mm}^2 \rightarrow \Phi 20/180 \text{ (} A_{s,ef} = 1745 \text{ mm}^2 \text{)}$$

