

Tema 5. Proiectarea radierelor

5.1. Generalități

Radierul este un tip de fundație de suprafață folosit în cazul clădirilor amplasate pe pământuri cu caracteristici slabe și/sau a celor care transferă încărcări mari terenului de fundare.

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.;
- 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;

De asemenea sunt folosite în cazul construcțiilor speciale cum ar fi rezervoarele, silozurile sau castelele de apă. O fundație tip radier este în esență o placă rigidă care lucrează ca un singur element de fundație ce acoperă întregul plan al structurii.

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

- placă cu grosime constantă (Figura 5.1a);
- placă cu grosime mai mare în dreptul stâlpilor (Figura 5.1b);
- placă și grinzi (drepte sau întoarse) dispuse pe una sau două direcții (Figura 5.1c);
- placă și pedestale (Figura 5.1d);
- subsol casetat: placă și pereți ce au rol de rigidizare a radierului (Figura 5.1e)

La fel ca orice altă fundație de suprafață, un radier trebuie verificat la capacitate portantă și tasare. De asemenea trebuie proiectat structural pentru a rezista la tasările diferențiate și să preia eforturile interne date de forțele de încovoier și forfecare.

Există o varietate mare de metode disponibile pentru analiza structurală a fundațiilor tip radier, pornind de la metodele statice simple la analizele complexe cu elemente finite spațiale. Cea mai folosită metodă folosită în practica actuală este metoda Winkler în care pământul este reprezentat în analiză prin resorturi elastice verticale care susțin radierului. În ciuda simplificării excesive a realității și apariției unor metode mai precise, metoda Winkler este actuală pentru că este aplicată cu ușurință în majoritatea programelor de analiză structurală.

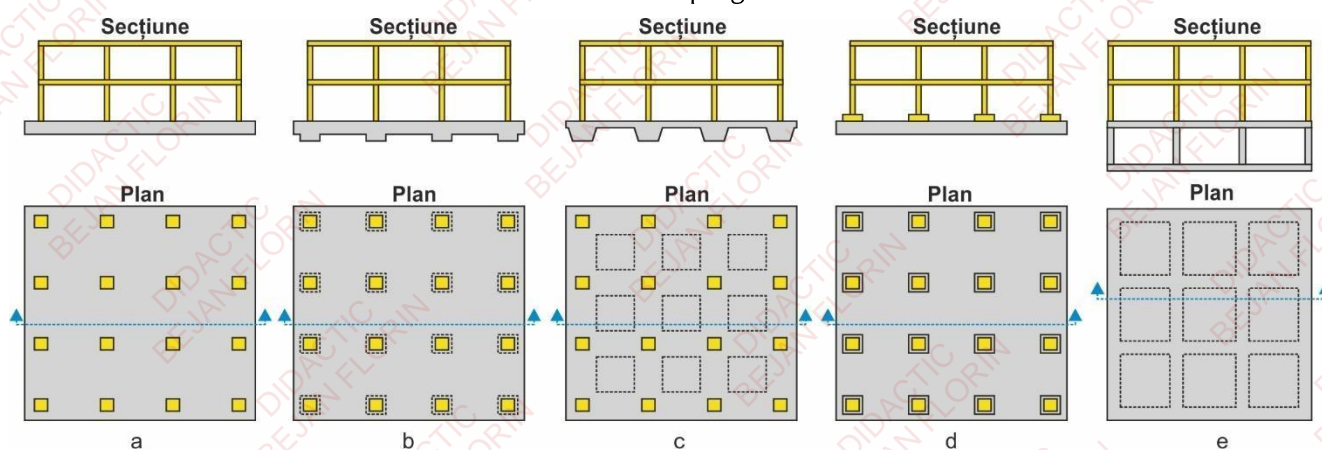


Figura 5.1 Soluții constructive pentru fundații tip radier

5.2. 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.

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

Presiunea plastică este valoarea corespunzătoare apariției în pământ a unor zone plastice cu extindere limitată (zona plastică este zona pe conturul și interiorul căreia se îndeplinește criteriul de cedare Mohr-Coulomb).

$$p_{med} \leq p_{pl} \quad (5.1)$$

unde

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

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

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

G_{radier} – greutatea proprie a radierului

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

A_{radier} – aria radierului

$$A_{radier} = B_{radier} \cdot L_{radier}$$

h – grosimea radierului

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

p_{pl} – presiunea plastică.

(2) Limitarea deplasărilor și/sau deformațiilor

Valorile deplasărilor și deformațiilor calculate ale radierului trebuie să nu depășească valorile admisibile ale deplasărilor fundațiilor și deformațiilor structurii.

$$S_{ef} \leq S_{adm} \quad (5.2)$$

unde

S_{ef} – orice deplasare sau deformație posibilă a fundației ca efect a deformării terenului datorată acțiunilor sau combinațiilor de acțiuni transmise de la suprasaturătură;
 S_{adm} – valori admisibile maxime ale deplasărilor fundațiilor și deformațiilor structurilor.

5.4. Verificarea la starea limită ultimă (SLU-GEO)

Pentru verificarea la starea limită ultimă se consideră încărcările din gruparea fundamentală

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} \quad (5.3)$$

unde

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

$$V_{Ed} = \sum N_{GF,i} + \gamma_G \cdot G_{radier}$$

G_{radier} – greutatea proprie a radierului

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

V_{Rd} – capacitatea portantă a terenului de fundare;

$$V_{Rd} = B' \cdot L' \cdot p_{cr}$$

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

L' – lungimea efectivă a radierului;

B' – lățimea efectivă a radierului;

5.5. Proiectarea structurală

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 de fundare.

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.

Pentru proiectarea radierelor se pot folosi două abordări de calcul:

- **Radier rigid** – metode de calcul care nu iau în considerare natura terenului.
- **Radier flexibil** – metode de calcul care iau în considerare modulul de deformație al terenului sau coeficientul de pat.

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

$$K_G = \frac{12 \cdot \pi \cdot (1 - \nu^2)}{1 - \nu_s^2} \cdot \frac{E_s}{E} \cdot \left(\frac{L}{2h}\right)^2 \cdot \frac{B}{2h} \quad (5.4)$$

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:

$$K_G \leq \frac{8}{\frac{L}{\sqrt{B}}} \quad (5.5)$$

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{k_s \cdot b_f}{4 \cdot E \cdot I_f}} \quad (5.6)$$

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 flexibil dacă este îndeplinită condiția:

$$b_f \geq \frac{1,75}{\lambda} \quad (5.7)$$

5.5.1. Metoda radierului rigid

În metoda radierului rigid, radierul se consideră că se comportă ca o placă infinit rigidă. Presiunea contact dintre radier și pământ se consideră distribuită liniar (Figura 5.4).

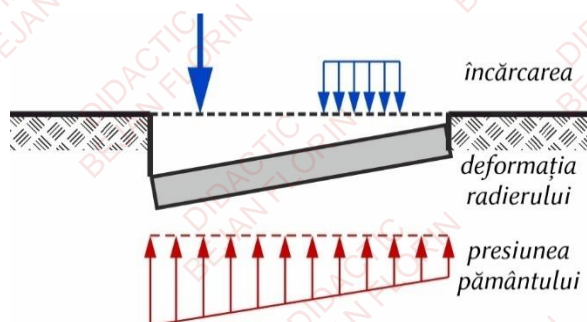


Figura 5.2 Distribuția presiunilor pământului pentru radier rigid

Din cauza acestei ipoteze, tipul de pământ și proprietățile sale nu afectează calculul. Pentru satisfacerea echilibrului forțelor verticale și ale momentelor încovoietoare, se consideră că punctul de aplicare al rezultantei presiunilor sub radier coincide cu punctul de aplicație al rezultantei încărcărilor de la baza stâlpilor. În această metodă se consideră că flexibilitatea radierului nu afectează capacitatea portantă a terenului.

Pentru analiza structurală, radierul este împărțit într-un număr de fâșii în lungul celor două axe principale acționate de încărcările de la un șir de stâlpi la partea superioară și de presiunea pământului la partea inferioară. Aceste fâșii sunt analizate similar cu rețelele de grinzi de fundare. Deși metoda radierului rigid este simplă de utilizat, experiența a arătat că adesea supraestimează atât grosimea radierului cât și cantitatea de armături. În prezent, aplicabilitatea acestei metode este limitată la radier cu dimensiuni reduse în plan și geometrii simple precum și pentru predimensionarea celor complexe.

Pasul 1 – Determinarea centrului de greutate al suprafeței radierului

$$\bar{X} = \frac{B}{2}; \quad \bar{Y} = \frac{L}{2}$$

Excentricitățile încărcării e_x și e_y în direcțiile x și y se pot determina folosind coordonatele X' și Y' .

$$X' = \frac{\sum N_i \cdot x_i}{\sum N_i} \Rightarrow e_x = X' - \bar{X}$$

$$Y' = \frac{\sum N_i \cdot y_i}{\sum N_i} \Rightarrow e_y = Y' - \bar{Y}$$

Pasul 2 – Calculul presiunilor pe talpa radierului

$$p_{1-4} = \frac{\sum N_i}{A} \pm \sum N_i \cdot \frac{e_y}{I_x} \cdot y \pm \sum N_i \cdot \frac{e_x}{I_y} \cdot x$$

Pasul 3 – Determinarea eforturilor secționale

Se împarte radierul în fâșii pe ambele direcții. Fiecare fâșie de calcul este încărcată de forțele corespunzătoare stâlpilor ce reazemă pe fâșia respectivă. Se determină presiunile de contact, admitându-se legea de variație liniară Navier.

Pasul 4 – Armarea radierului

Valorile obținute ale momentelor încovoietoare și forțele tăietoare în secțiunile semnificative sunt folosite pentru armarea radierului.

5.5.2. Metoda radierului flexibil

În metoda radierului flexibil, fundația se consideră flexibilă și comportamentul pământului este încorporat în model, rezultând o distribuție neliniară a presiunilor pământului pe radier.

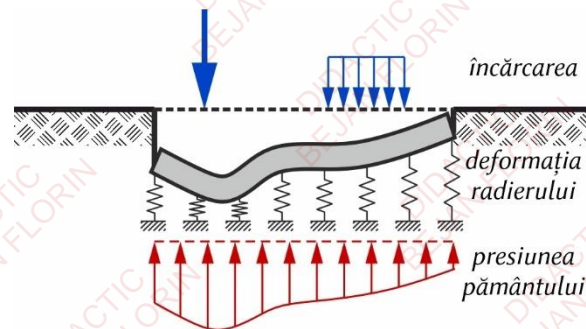


Figura 5.3 Distribuția presiunilor pământului pentru radier flexibil

În acest caz, tasările diferențiate sunt mari comparativ cu cele din metoda radierului rigid, deși momentele încovoietoare și forțele tăietoare rezultate sunt semnificativ mai mici. În prezent, metoda elementului finit (MEF) este folosită pentru rezolvarea problemei radierului flexibil. Modelarea radierului prin această metodă începe prin discretizarea plăcii din beton în elemente tip placă sau învelitoare mici de formă pătrată sau triunghiulară. În dreptul stâlpilor sau a golurilor se folosește o discretizare mai fină. Pământul se poate reprezenta simplu prin resorturi conectate în noduri (Modelul Winkler) sau printr-un semispațiu (model continuu). În metoda Winkler, rigiditatea resorturilor este determinată pe baza ariei aferente asociate fiecărui nod. Dacă pământul este modelat ca un semispațiu, comportamentul acestuia este calculat prin împărțirea suprafeței în regiuni iar elementelor dintr-o regiune specifică li se atribuie

modele constitutive care descriu cel mai bine comportamentul pământului în acel punct. Modelul continuu oferă rezultate mult mai exacte pentru tensiunile și deformațiile din interiorul masei de pământ decât modelul Winkler, dar necesită un efort de calcul mult mai mare.

În ambele cazuri, modelul caracteristic al pământului poate fi definit ca liniar sau neliniar și poate fi cuplat sau necuplat.

5.5.3. Metoda Winkler

Metoda Winkler consideră că radierul stă pe resorturi verticale ce reprezintă pământul deformabil (liniar elastic). Coeficientul de rigiditate al resorturilor Winkler K_s este exprimat ca produs între aria A_s al porțiunii din placă influențată de resort (aria aferentă) și parametrul cunoscut ca modul de reacție sau coeficient de pat al terenului k_s , care este definit prin relația:

$$k_s = \frac{q}{w} \quad (5.8)$$

unde

q – presiunea fundației aplicată pământului
 w – tasarea rezultată

Estimarea lui k_s este dificilă pentru că nu este o proprietate fundamentală a pământului (așa cum este modulul de deformare) ci este o variabilă ce depinde atât de proprietățile elastice ale pământului cât și de caracteristicile geometrice ale fundației (lungimea și lățimea fundației). Deci, k_s este specific proiectului și este în mod normal estimat prin realizarea de calcule ale tasării totale a clădirii considerând că fundația este perfect rigidă și folosind metode bine cunoscute pentru evaluarea tasării fundațiilor. Tasarea fundației rigide (uniformă) este foarte apropiată de tasarea medie a fundației flexibile.

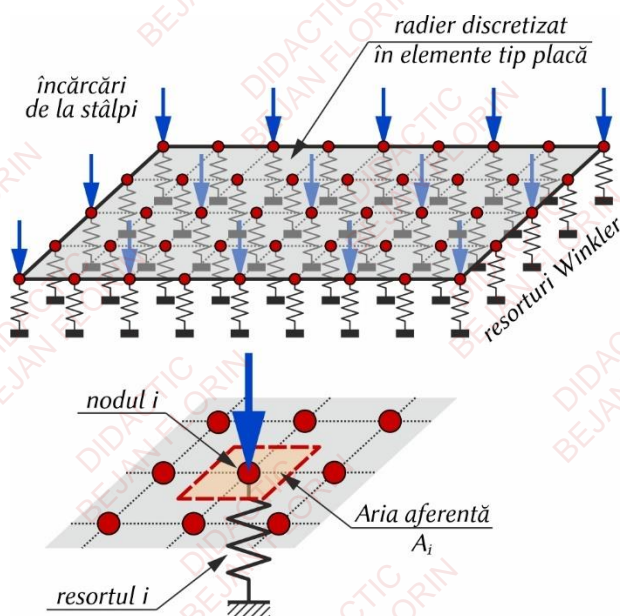


Figura 5.4 Modelul de calcul folosit în metoda Winkler

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

Limitări ale Metodei Winkler:

- Curbele compresiune tasare nu sunt liniare – trebuie făcută o aproximare liniară pentru a folosi modelul Winkler;
- Modelul consideră că un radier încărcat uniform susținut de un pământ uniform se tasează uniform;
- în realitate tasarea va fi mai mare în centru decât pe margini;
- acesta este un motiv pentru a folosi alte metode pentru determinarea tasării;
- Resorturile nu acționează independent. Presiunea terenului influențează și resoartele învecinate, datorită presiunii laterale a pământului;
- O singură valoare k_s nu poate reprezenta în realitate interacțiunea dintre pământ și radier;
- Problema resortului independent este în realitate cea mai mare problemă a modelului Winkler

5.5.4. Metoda resorturilor cuplate

Această metodă este mai precisă decât metoda Winkler. Problema metodei resorturilor cuplate provine din selectarea valorii k_s pentru resorturile cuplate.

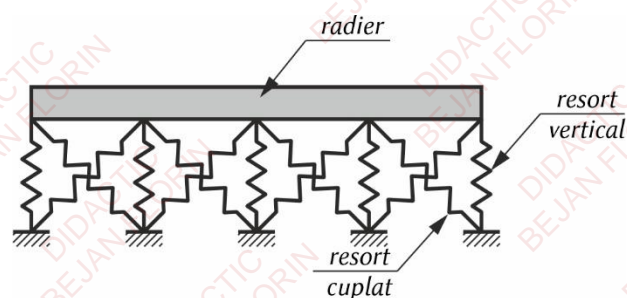


Figura 5.5 Modelul de calcul folosit în metoda resorturilor cuplate

5.5.5. Metoda resorturilor pseudo-cuplate

Această metodă folosește resorturi verticale cu rigiditate diferită în funcție de poziția pe radier. Majoritatea programelor de calcul comerciale folosesc metoda Winkler deci metoda resorturilor pseudo-cuplate poate fi folosită pentru a obține rezultate mai precise.

Radierul se împarte în două sau mai multe zone concentrice. Zona centrală trebuie să fie aproximativ la jumătate din lungimea și lățimea radierului.

Se atribuie o valoare k_s pentru fiecare zonă:

- k_s trebuie să crească progresiv de la centru spre exterior;

- Valoarea lui k_s pe zona exterioară trebuie să fie de două ori mai mare decât cea din mijloc.

Se evaluează forțele tăietoare, momentele încovoietoare și deformațiile folosind metoda Winkler.

5.6. Armarea radierelor



5.6.1. Armături longitudinale

Pentru preluarea momentelor încovoietoare pozitive și negative radierile se armeză cu rețele orizontale de armătură, dispuse pe ambele fețe ale 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.

5.6.2. 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:

$$v_{Fd} \leq v_{Rd,c} \quad (5.9)$$

în care lățimea elementului se va lua egală cu un metru

- pentru calculul la străpungere:

$$v_{Fd} = \beta \cdot \frac{N_{Fd}}{u_i \cdot d} \leq v_{Rd,c} \quad (5.10)$$

unde

N_{Fd} – forța 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 $\varnothing 14$ 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 ($\varnothing = 25 \dots 40$).

Anexa 5.1

Exemplu de calcul

Date de intrare

(1) Caracteristicile terenului de fundare

- Valoarea caracteristică a greutății volumice
 $\gamma_k = 20 \text{ kN/m}^3$
- Valoarea caracteristică a unghiului de frecare internă
 $\phi'_k = 12^\circ$
- Valoarea caracteristică a coeziunii
 $c'_k = 10 \text{ kPa}$
- Modulul de deformație liniară
 $E_s = 6700 \text{ kN/m}^2$

(2) Caracteristicile radierului

- Lungimea radierului
 $L = 2 \cdot 1,30 + 3 \cdot 7,50 = 25,10 \text{ m}$
- Lățimea radierului
 $B = 2 \cdot 1,30 + 2 \cdot 8,10 = 18,80 \text{ m}$
- Grosimea radierului

$$H_r = \frac{L_{\max}}{10} = 80 \text{ cm}$$

Adâncimea de fundare

$$D_f = 2,50 \text{ m}$$

În Figura 5.6 este reprezentat modelul geometric al radierului pe care sunt aplicate încărcările de la baza stâlpilor obținute pentru Gruparea Fundamentală (GF). Pentru simplitate au fost considerate doar forțele axiale de la baza stâlpilor.

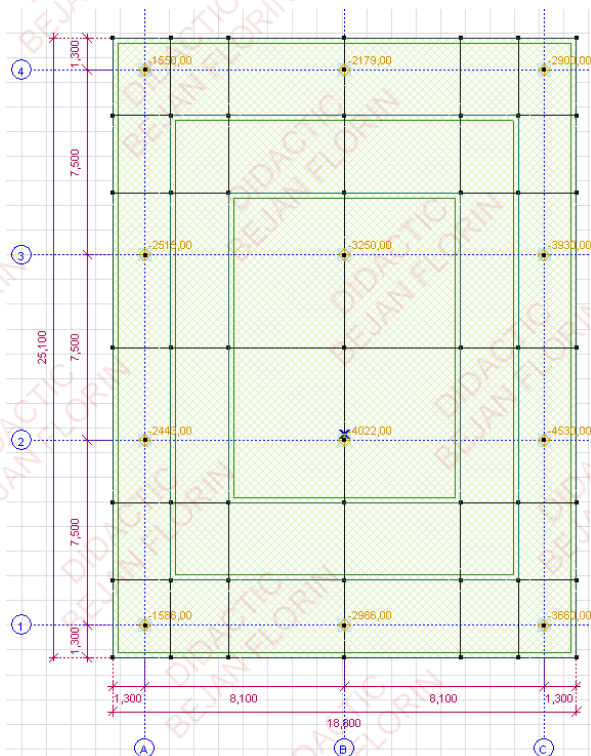


Figura 5.6 Model de calcul radier (din AxisVM)

Verificarea la starea limită ultimă (SLU)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

(1) Presiunea pe talpa radierului

- Greutatea radierului

$$G_r = \gamma_b \cdot B \cdot L \cdot H_r$$

$$G_r = 25 \cdot 18,80 \cdot 25,10 \cdot 0,80 = 9 438 \text{ kN}$$

- Rezultanta forțelor axiale pentru SLU

$$V_{Ed,SLU} = \sum_{i=1}^{12} N_{GF,i} + \gamma_G \cdot G_r$$

$$V_{Ed,SLU} = 43760 + 1,35 \cdot 9 438 = 56501 \text{ kN}$$

- Excentricitatea rezultantei forțelor

Tabelul 5.1 Calculul excentricității rezultantei forțelor axiale

Ax	N _{i,GF}	N _{i,GK}	x _i	y _i	N _{i,GF} · x _i	N _{i,GF} · y _i
1A	2220	1586	-8,1	11,25	-17982	24975
2A	3420	2443	-8,1	3,75	-27702	12825
3A	3520	2515	-8,1	-3,75	-28512	-13200
4A	2170	1550	-8,1	-11,25	-17577	-24412,5
1B	4180	2986	0	11,25	0	47025
2B	5630	4022	0	3,75	0	21112,5
3B	4550	3250	0	-3,75	0	-17062,5
4B	3050	2179	0	-11,25	0	-34312,5
1C	3660	2615	8,1	11,25	29646	41175
2C	4530	3236	8,1	3,75	36693	16987,5
3C	3930	2808	8,1	-3,75	31833	-14737,5
4C	2900	2072	8,1	-11,25	23490	-32625
	43760	31262			29889	27750

$$e_x = \frac{\sum(N_{i,GF} \cdot x_i)}{V_{Ed}} = \frac{29889}{56501} = 0,529 \text{ m} < \frac{B}{6} = 3,133 \text{ m}$$

$$e_y = \frac{\sum N_i \cdot y_i}{\sum N_i} = \frac{27750}{56501} = 0,491 \text{ m} < \frac{L}{6} = 4,188 \text{ m}$$

- Aria efectivă a radierului

$$B' = B - 2e_x = 18,80 - 2 \cdot 0,529 = 17,74 \text{ m}$$

$$L' = L - 2e_y = 25,10 - 2 \cdot 0,491 = 24,12 \text{ m}$$

$$A' = B' \cdot L' = 427,9 \text{ m}^2$$

- Presiunile în colțurile radierului (ipoteza distribuției liniare)

$$P_{1-4,SLU} = \frac{V_{Ed,SLU}}{A} \pm \frac{M_{x,SLU}}{B \cdot L} \pm \frac{M_{y,SLU}}{B \cdot L^2}$$

$$P_{1,SLU} = \frac{46501}{471,9} + \frac{29889}{18,8^2 \cdot 25,1} + \frac{27750}{18,8 \cdot 25,1^2} = 154,01 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{2,SLU} = \frac{46501}{471,9} + \frac{29889}{18,8^2 \cdot 25,1} - \frac{27750}{18,8 \cdot 25,1^2} = 125,89 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{3,SLU} = \frac{46501}{471,9} - \frac{29889}{18,8^2 \cdot 25,1} + \frac{27750}{18,8 \cdot 25,1^2} = 113,58 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{4,SLU} = \frac{46501}{471,9} - \frac{29889}{18,8^2 \cdot 25,1} - \frac{27750}{18,8 \cdot 25,1^2} = 85,46 \text{ kN/m}^2$$

(2) Capacitatea portantă a terenului de fundare

- Valoarea de calcul a unghiului de frecare internă

$$\phi'_d = \text{atan}\left(\frac{\tan \phi'_k}{1,25}\right) = 9,65^\circ$$

- Valoarea de calcul a coeziunii

$$c'_d = \frac{c'_k}{1,25} = 8,00 \text{ kPa}$$

- Factorii capacității portante

$$N_\gamma = 0,235$$

$$N_q = 2,393$$

$$N_c = 8,194$$

$$s_\gamma = 0,779$$

$$s_q = 1,227$$

$$s_c = 1,390$$

- Presiunea ultimă

$$p_{ul} = 238,15 \text{ kPa}$$

- Capacitatea portantă

$$V_{Rd,SLU} = A' \cdot p_{ul} = 101901 \text{ kN}$$

(3) Coeficientul de utilizare

$$\Lambda_1 = \frac{V_{Ed,SLU}}{V_{Rd,SLU}} \cdot 100 = \frac{56501}{101901} \cdot 100 = 55,4\% < 100\%$$

→ se verifică

Verificarea la starea limită de serviciu

Verificarea tasărilor

Pentru evaluarea tasărilor se folosește metoda însurării tasărilor pe straturi elementare. S-a ales o grosime a straturilor elementare de 1,0 m.

Tabelul 5.2 Evaluarea tasării în centrul radierului folosind metoda însumării tasărilor pe straturi elementare

Strat	Nr. Strat elem	h_i	z_i	γ_i	σ_{gz}	$0,2\sigma_{gz}$	z_i/B	α_0	σ_{zi}	$\sigma_{zi,med}$	E_{si}	s_i
		[m]	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[kPa]	[-]	[-]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[mm]
1		0,00	0,00	18,3	45,75	9,15	0,00	1,000	40,50			
	1	1,00	1,00	18,3	64,05	12,81	0,05	0,999	40,47	40,49	6700	4,83
	2	1,00	2,00	18,3	82,35	16,47	0,11	0,995	40,30	40,39	6700	4,82
	3	1,00	3,00	18,3	100,65	20,13	0,16	0,984	39,86	40,08	6700	4,79
	4	1,00	4,00	18,3	118,95	23,79	0,21	0,965	39,10	39,48	6700	4,71
	5	1,00	5,00	18,3	137,25	27,45	0,27	0,939	38,01	38,55	6700	4,60
	6	1,00	6,00	18,3	155,55	31,11	0,32	0,905	36,64	37,32	6700	4,46
	7	1,00	7,00	18,3	173,85	34,77	0,37	0,865	35,04	35,84	6700	4,28
	8	1,00	8,00	18,3	192,15	38,43	0,43	0,822	33,29	34,17	6700	4,08
	9	1,00	9,00	18,3	210,45	42,09	0,48	0,777	31,46	32,38	6700	3,87
	10	1,00	10,00	18,3	228,75	45,75	0,53	0,731	29,61	30,54	6700	3,65
	11	1,00	11,00	18,3	247,05	49,41	0,59	0,686	27,78	28,69	6700	3,43
	12	1,00	12,00	18,3	265,35	53,07	0,64	0,642	26,00	26,89	6700	3,21
	13	1,00	13,00	18,3	283,65	56,73	0,69	0,600	24,30	25,15	6700	3,00
14	1,00	14,00	18,3	301,95	60,39	0,74	0,560	22,68	23,49	6700	2,80	

$$S = 56,53 \text{ mm}$$

La starea limită de serviciu se verifică dacă presiunile plastice sunt mai mici decât presiunile efective.

$$P_{ef,SLS} \leq P_{pl}$$

(1) Presiunea efectivă pe talpa fundației

- Rezultanta forțelor axiale

$$V_{Ed,SLS} = \sum_{i=1}^{12} N_{GK,i} + G_r$$

$$V_{Ed,SLS} = 31262 \text{ kN}$$

- Presiunea medie pe talpă

$$P_{ef,SLS} = \frac{V_{Ed,SLS}}{A} = \frac{31262}{471,88} = 86,25 \text{ kPa}$$

- Coeficienții presiunii plastice

$$N_1 = 0,235$$

$$N_2 = 1,940$$

$$N_3 = 4,421$$

$$m_1 = 1,40$$

- Presiunea plastică

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

$$p_{pl} = 1,40 \cdot 20 \cdot 18,8 \cdot 0,235 + 2,50 \cdot 20 \cdot 1,940 + 10 \cdot 4,421$$

$$= 299 \text{ kPa}$$

- Verificarea

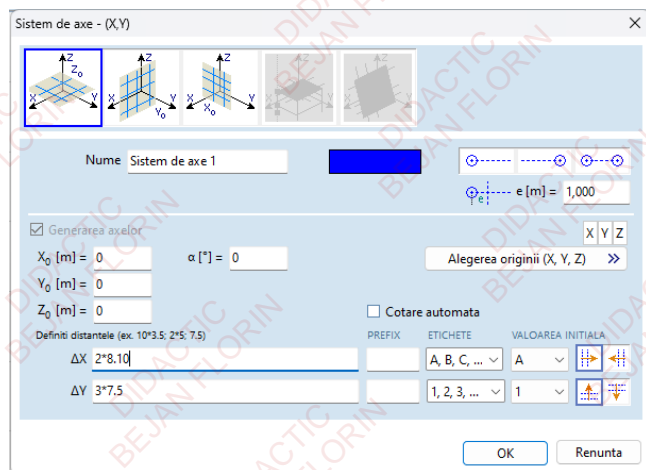
$$\Lambda_1 = \frac{P_{ef,SLS}}{P_{pl}} \cdot 100 = \frac{86,25}{299} \cdot 100 = 17,7\% < 100\%$$

→ se verifică!

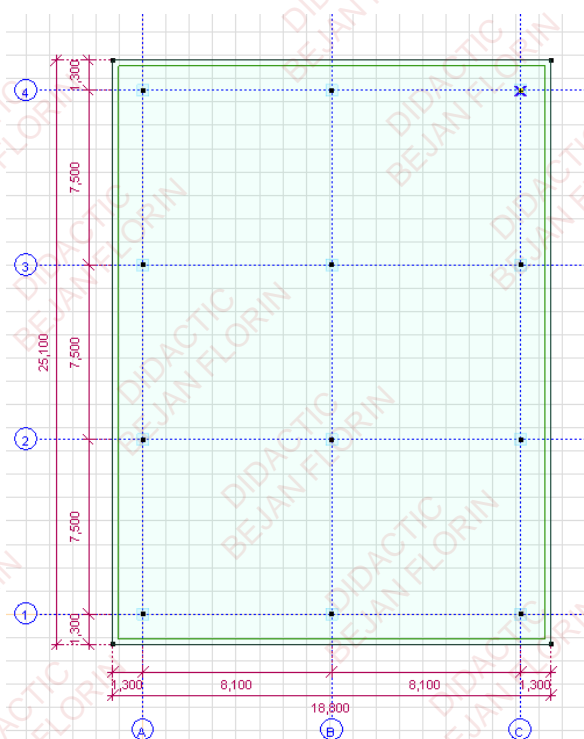
Calculul structural al radierului

Pentru stabilirea ariilor de armare necesare se folosește programul de calcul cu elemente finite AxisVM. În continuare sunt prezentați principalii pași utilizați pentru rezolvarea problemei.

(1) Generarea sistemului de axe



(2) Realizarea modelului geometric al radierului sub forma unei plăci cu grosimea de 80 cm din beton de clasă C30/37.



(3) Introducerea încărcărilor de la suprastructură din gruparea fundamentală și a încărcărilor permanente și variabile la nivelul radierului (greutatea proprie a radierului, încărcarea permanentă din pardoseală, încărcarea utilă etc.).

(4) Introducerea coeficientului de pat. Valoarea coeficientul K_z se va selecta astfel încât deformația pe

direcție z a radierului să fie identică cu valoarea tasării obținută din calculul terenului de fundare.

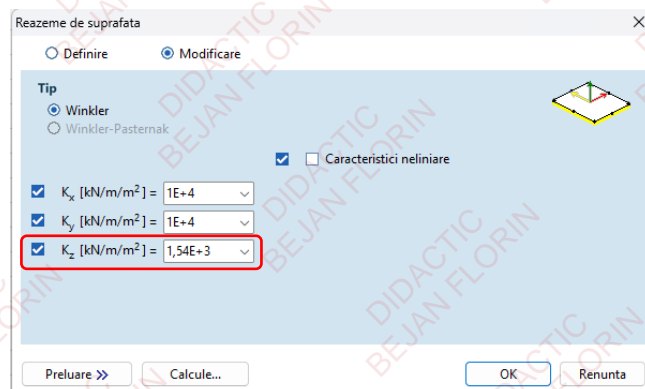
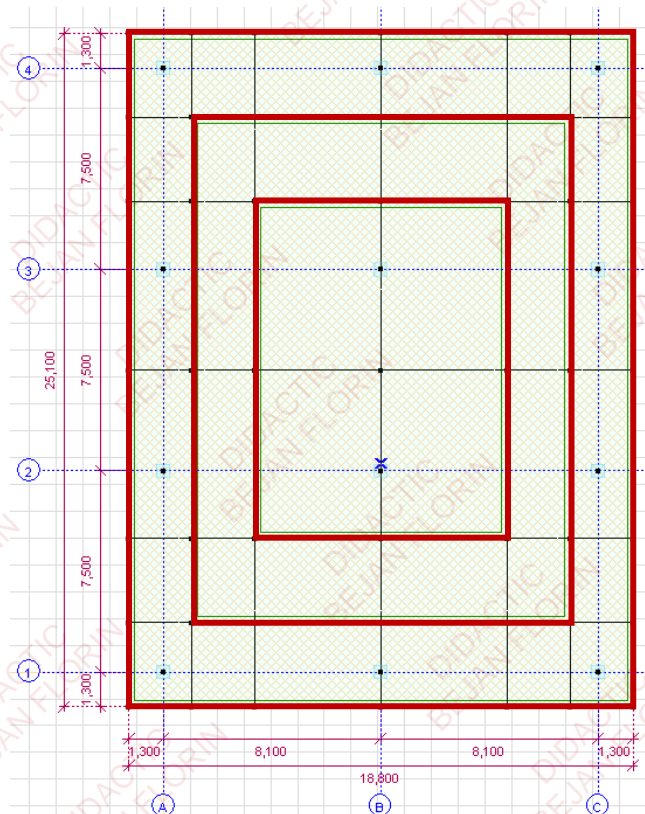
$$K_z = \frac{P_{ef,SLS}}{S} = \frac{86,25 \text{ kPa}}{0,056 \text{ m}} = 1540 \text{ kN/m/m}^2$$

Se împarte radierul în trei zone concentrice. Valoarea K_z pentru zona marginală va fi dublă față de valoarea K_z pentru zona centrală.

$$K_{z1} = 1540 \text{ kN/m/m}^2$$

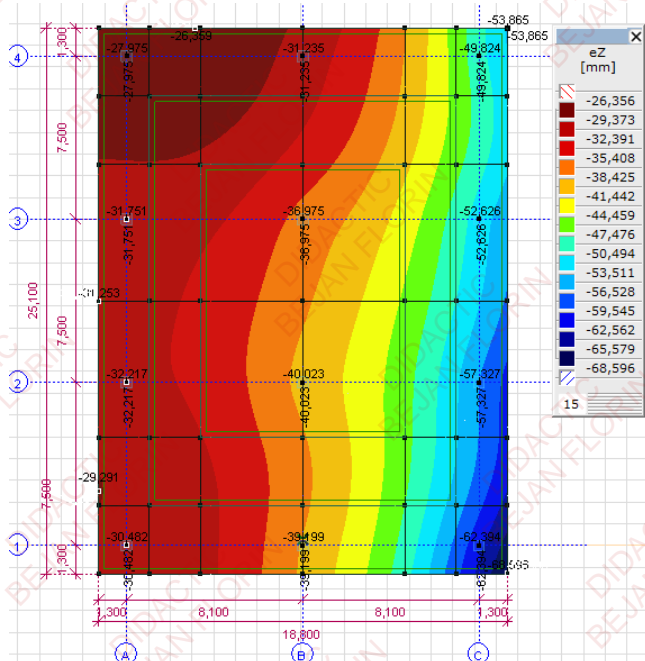
$$K_{z2} = 2310 \text{ kN/m/m}^2$$

$$K_{z3} = 3080 \text{ kN/m/m}^2$$



(5) Discretizarea modelului în elemente finite și calcul static al structurii.

(6) Se verifică dacă deformațiile e_z obținute din program sunt similare cu valoarea tasării terenului de fundare. Dacă nu sunt identice se va modifica coeficientul K_z .



Valoarea deformației radierului în centru este aproximativ 40 mm. Deformația radierului este neuniformă variind de la 26 mm la 38 mm (în gruparea caracteristică).

(7) Armarea longitudinală

Pentru preluarea momentelor încovoietoare pozitive și negative radierul se armează cu rețele orizontale de armătură dispuse pe ambele fețe. Determinarea ariilor de armare s-a realizat folosind modulul „Dimensionare-Beton” din AxisVM.

Din procent minim de armare se stabilește rețeaua de bare care se va distribui continuu pe ambele direcții și pe ambele fețe ale radierului. În acest caz $A_{s,min} = 1118 \text{ mm}^2/\text{m}$. Se va folosi o armare $\text{Ø}20/200 \text{ mm}$ ($A_{s,ef} = 1571 \text{ mm}^2/\text{m}$).

Pentru preluarea eforturilor suplimentare care apar în câmp se va suplimenta cu bare în zonele centrale la partea superioară.

(a) Armarea radierului pe direcția x la partea superioară

$$A_{s,max} = 2800 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow \left. \begin{array}{l} \text{Ø}20/200 \text{ mm } (A_{s,ef} = 1571 \text{ mm}^2/\text{m}) \\ \text{Ø}18/200 \text{ mm } (A_{s,ef} = 1272 \text{ mm}^2/\text{m}) \end{array} \right\}$$

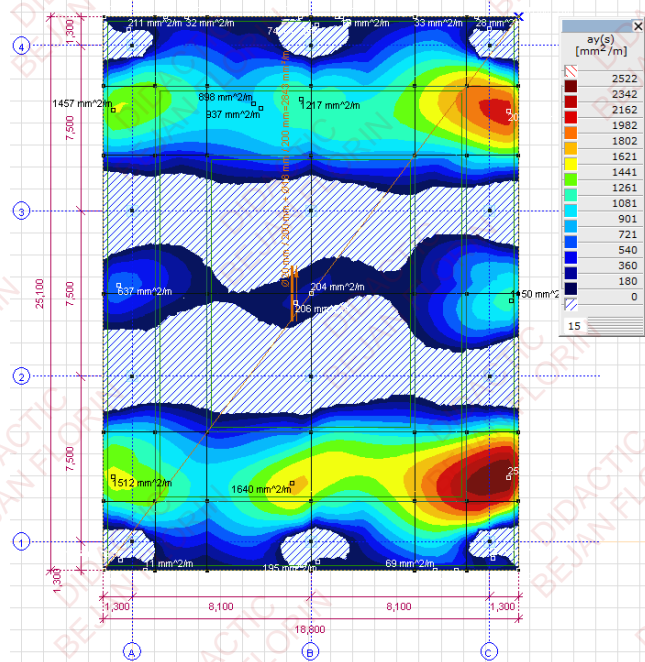
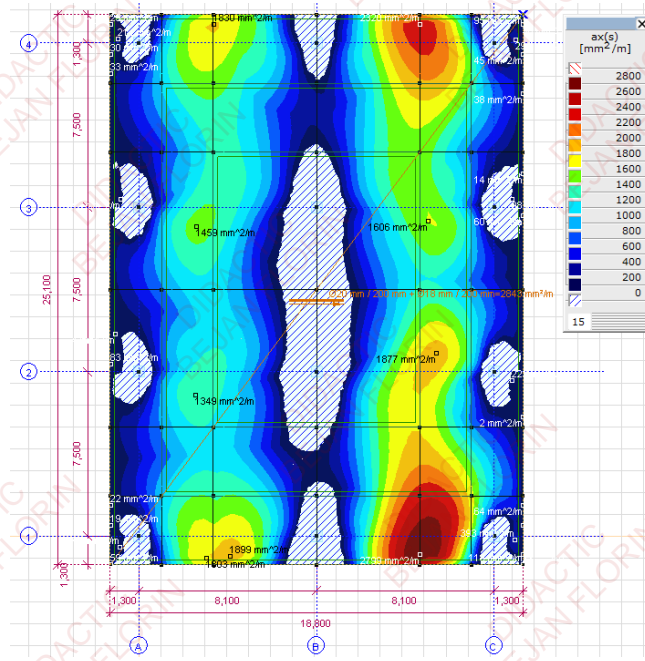
$$\text{total } A_{s,ef} = 2843 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(b) Armarea radierului pe direcția y la partea superioară

$$A_{s,max} = 2522 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow \left. \begin{array}{l} \text{Ø}20/200 \text{ mm } (A_{s,ef} = 1571 \text{ mm}^2/\text{m}) \\ \text{Ø}20/200 \text{ mm } (A_{s,ef} = 1571 \text{ mm}^2/\text{m}) \end{array} \right\}$$

$$\text{total } A_{s,ef} = 2843 \text{ mm}^2/\text{m}$$



Pentru preluarea eforturilor suplimentare care apar în reazeme se va suplimenta cu bare în stâlpilor la partea superioară.

(c) Armarea radierului pe direcția x la partea inferioară

$$A_{s,max} = 4897 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow \left. \begin{array}{l} \text{Ø}20/200 \text{ mm } (A_{s,ef} = 1571 \text{ mm}^2/\text{m}) \\ \text{Ø}32/200 \text{ mm } (A_{s,ef} = 4021 \text{ mm}^2/\text{m}) \end{array} \right\}$$

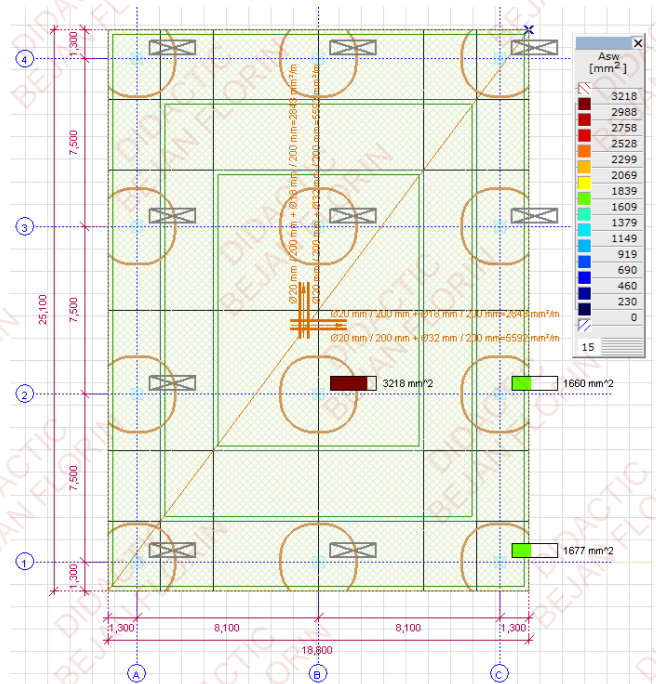
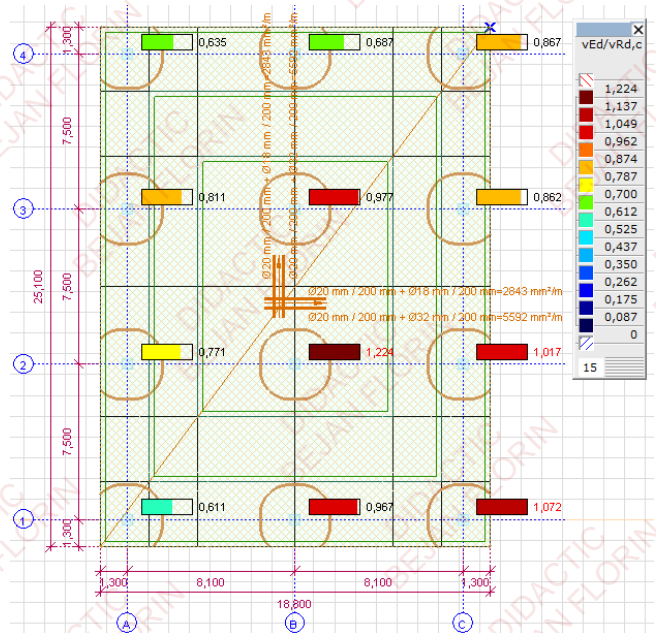
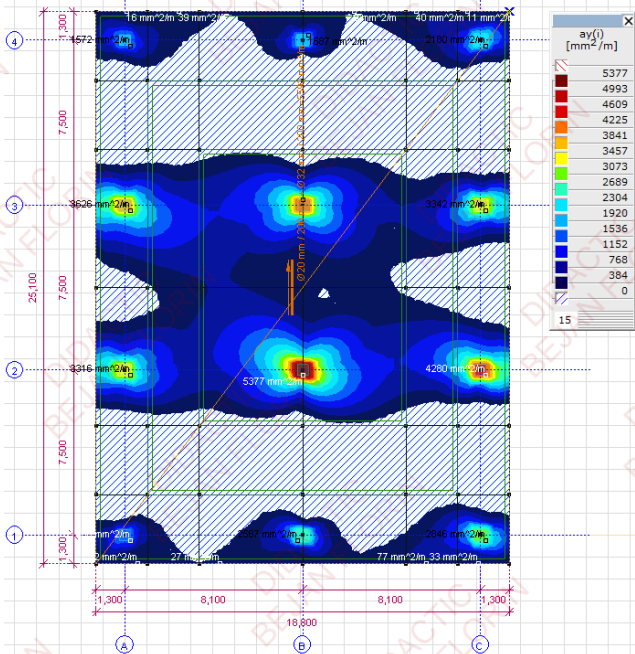
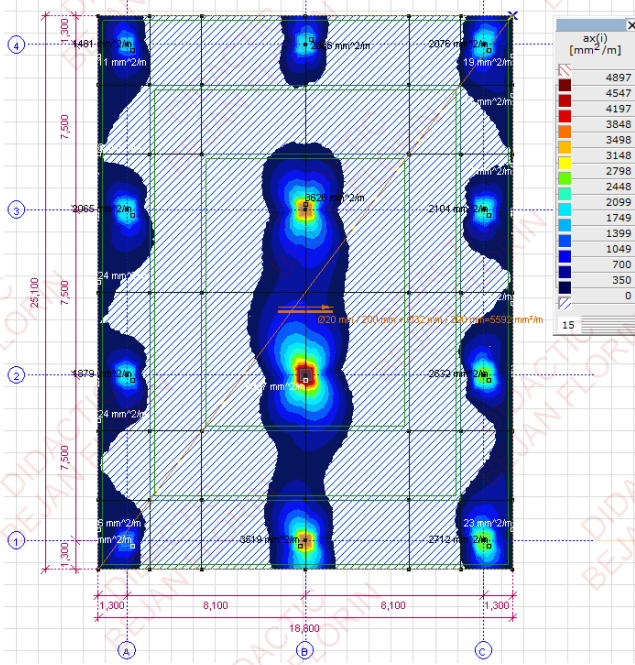
$$\text{total } A_{s,ef} = 5592 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(d) Armarea radierului pe direcția y la partea inferioară

$$A_{s,max} = 5474 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow \left. \begin{array}{l} \text{Ø}20/200 \text{ mm } (A_{s,ef} = 1571 \text{ mm}^2/\text{m}) \\ \text{Ø}32/200 \text{ mm } (A_{s,ef} = 4021 \text{ mm}^2/\text{m}) \end{array} \right\}$$

total $A_{s,cf} = 5592 \text{ mm}^2/\text{m}$



(8) Armături transversale.

Pentru zonele corespunzătoare stâlpilor din axele 2B, 2C și 1C sunt necesare armături suplimentare pentru preluarea forțelor pentru străpungere.

$$\frac{vEd}{vRd,c} > 1,00$$

Numarul perimetrelor de armare la străpungere:

$$n_{sr,min} = \frac{1,5 \cdot d}{s_r} = \frac{1,5 \cdot 0,718}{0,5} = 2,15 \rightarrow n_{sr,min} = 3 \text{ buc.}$$

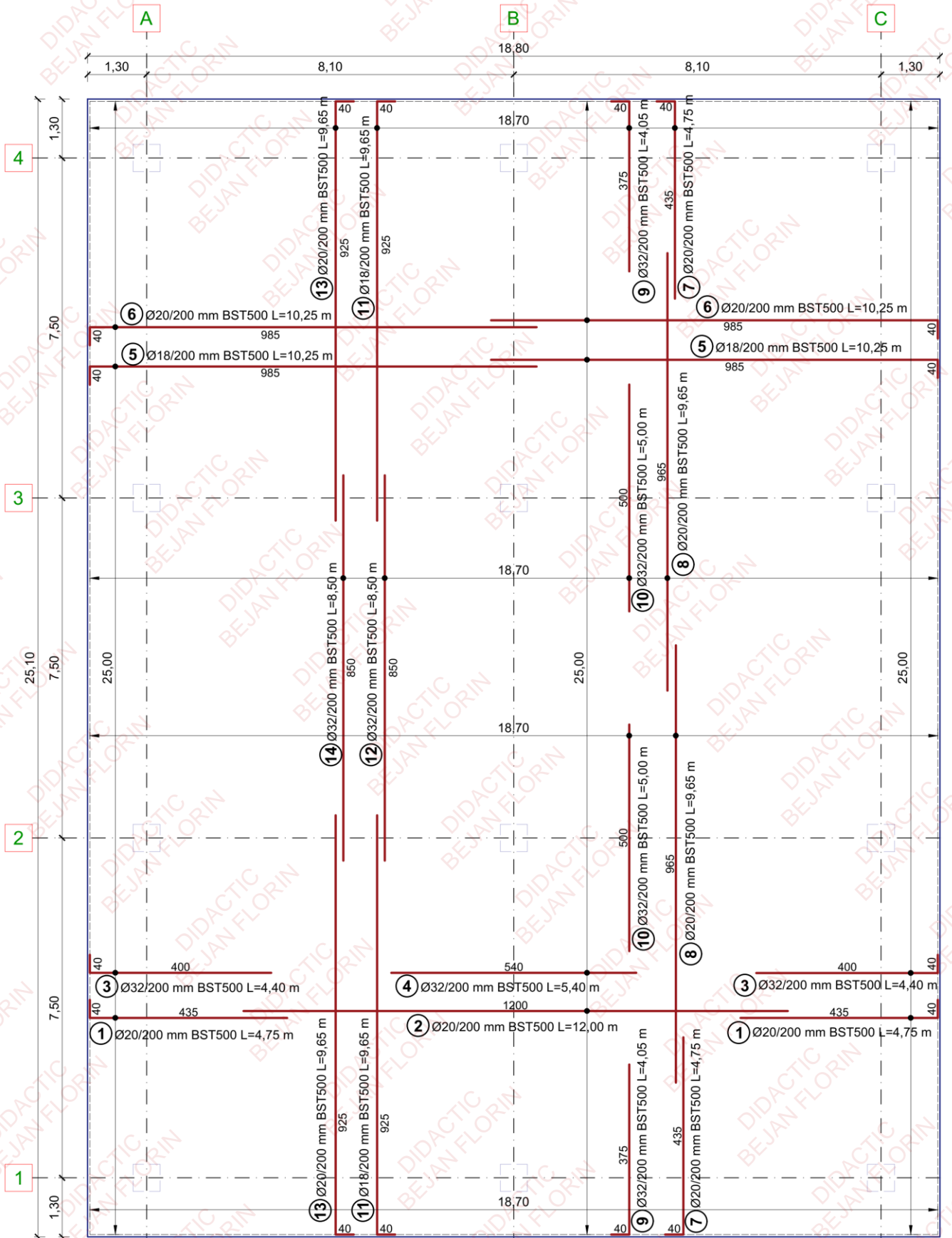
$$n_{sr} = \frac{a_{out} - 1,5 \cdot d - s_0}{s_r} + 1 = \frac{1,74 - 1,5 \cdot 0,718 - 0,25}{0,5} + 1 = 1,82 \rightarrow n_{sr} = 2 \text{ buc.}$$

$$n_{sr} = 2 \text{ buc.} < n_{sr,min} = 3 \text{ buc.} \rightarrow n_{sr} = n_{sr,min} = 3 \text{ buc.}$$

Detalii despre armatura pentru străpungere

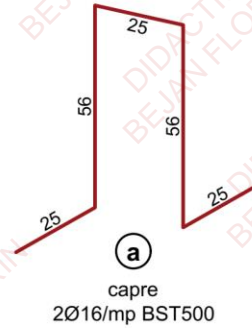
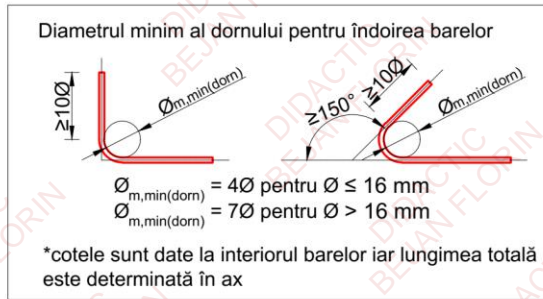
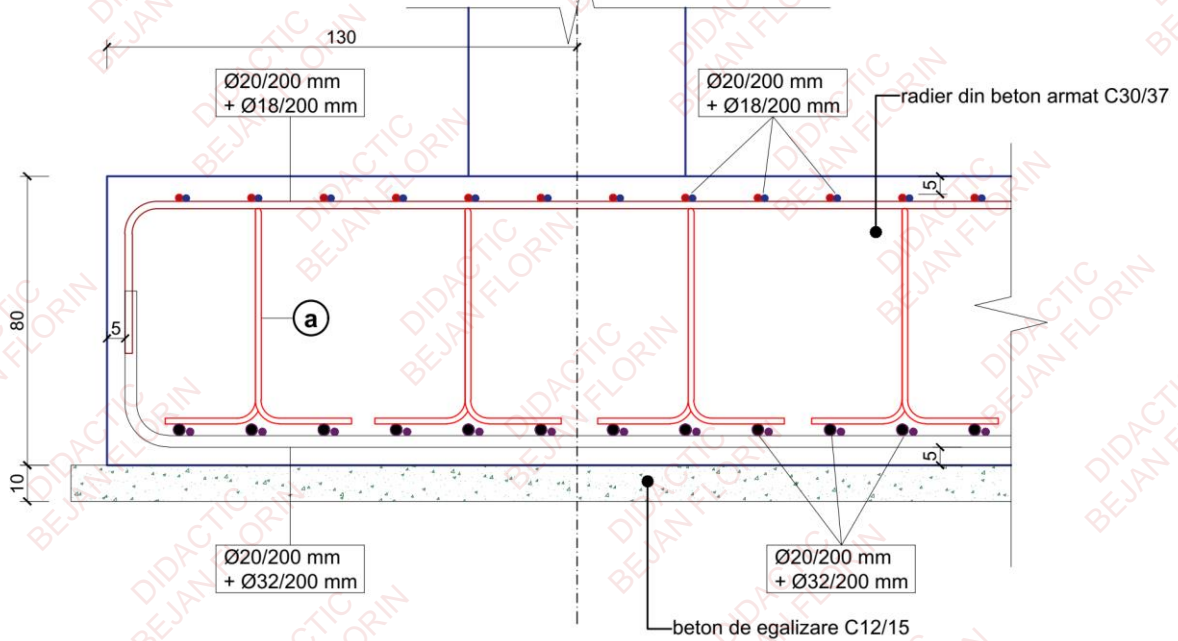
Perimetru	$a_{i,j}$ [mm]	$u_{i,j}$ [mm]	$A_{sw,i}$ [mm ²]
1.	250,0	3569,7	3218
2.	750,0	6709,0	3218
3.	1250,0	9848,4	3218
Total			9654

Se dispun etrieri $\text{Ø}22/100 \text{ mm}$ ($A_{sw,ef} = 3801 \text{ mm}^2$).



DETALIU ARMARE RADIER

SCARA 1:20



EXTRAS ARMARE RADIER

nr elemente		1						
Marca	Diametru (mm)	Număr bare		Lungime (m)	Lungime pe diametre BST500C			
		în elem.	total		16	18	20	32
a	16	944	944	1,87	1765,3			
1	20	250	250	4,75			1187,5	
2	20	125	125	12,00			1500,0	
3	32	250	250	4,40				1100,0
4	32	125	125	5,40				675,0
5	18	250	250	10,25		2562,5		
6	20	250	250	10,25			2562,5	
7	20	187	187	4,75			888,3	
8	20	187	187	9,65			1804,6	
9	32	187	187	4,05				757,4
10	32	187	187	5,00				935,0
11	18	187	187	9,65		1804,6		
12	18	94	94	8,50		794,8		
13	20	187	187	9,65			1804,6	
14	20	94	94	8,50			794,8	
TOTAL PE DIAMETRU					1765	5162	10542	3467
MASA PE METRU (kg/m)					1,578	1,998	2,466	6,313
TOTAL MASĂ PE DIAMETRE (kg)					2786	10311	25998	21891
TOTAL GENERAL (kg)					60986			

Beton de egalizare C12/15 47,19 mc
 Beton armat C30/37 377,50 mc