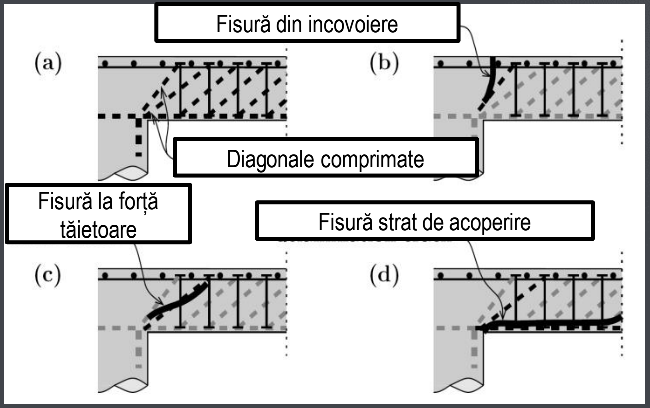
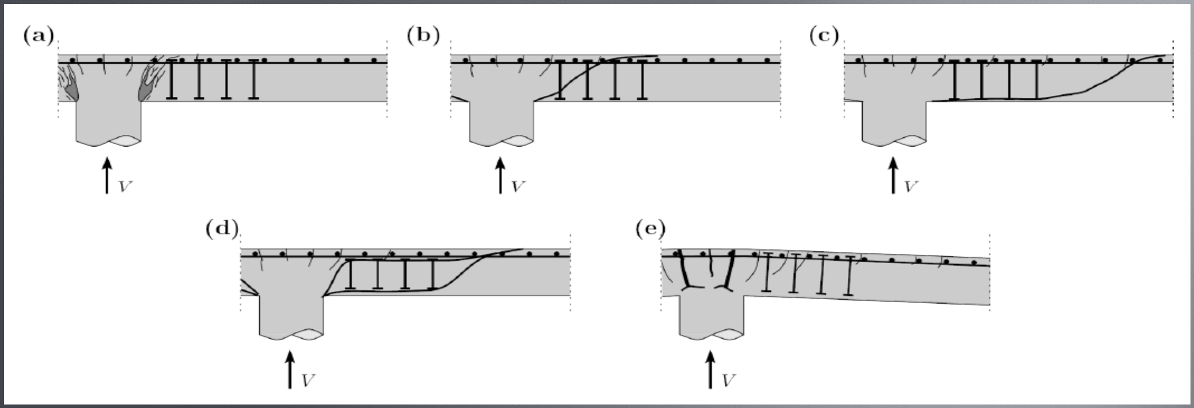
CALCUL LA STRĂPUNGERE RADIER

Calcul conform SR EN 1992-1-1/2004

STAS 10107/0-90





1. Calculul de rezistență la străpungere –SREN 1992-1-1/2004

1.1. Date generale

Verificarea la străpungere se rezumă la o problemă de verificare la forță tăietoare de-a lungul unei linii de rezemare (perimetru de cedare). Modelul de calcul propus în SREN 1992-1-1/2004 urmează formularea din Model Code 1990, parametrii de calcul fiind stabiliți empiric, utilizând mecanismul de grindă cu zăbrele/ strut and tie -'diagonală și tiranți '. Generația nouă de norme va propune un model numeric, matematic-fizic, bazat pe Teoria Forței Tăietoare Critice "Critical Shear Crack Theory", având ca bază modelul strut and tie. Situația mai poate fi gândită ca o problemă de verificare a rezemării sau de verificare a unui nod de cadru.

Principiul general, indiferent de model, urmărește ca de-a lungul unui perimetru (considerat perimetru de cedare/ critic) tensiunile principale (σ_{max}, τ_{max}) maxime să nu depășească rezistențele de proiectare.

Model SREN 1992-1-1/2004

A – secțiunea de calcul

B – aria de calcul A_{cont};

C – perimetru de referință u_1;

D – aria încărcată A_{load};

2d – poziția perimetrului de referință;

c – înălțimea stâlpului;

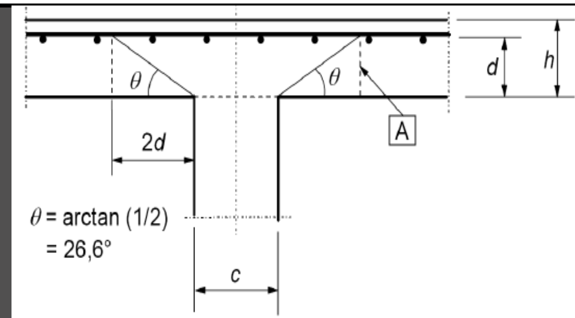
θ – unghiul diagonalei comprimate;

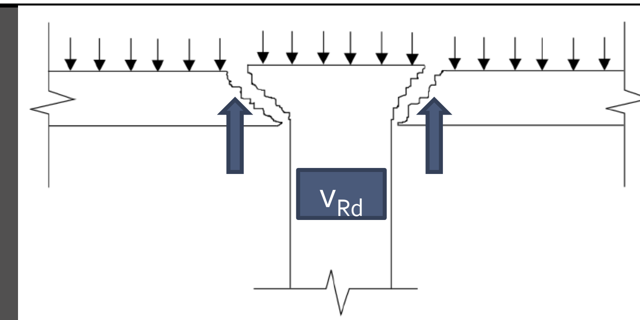
d – înălțimea utilă;

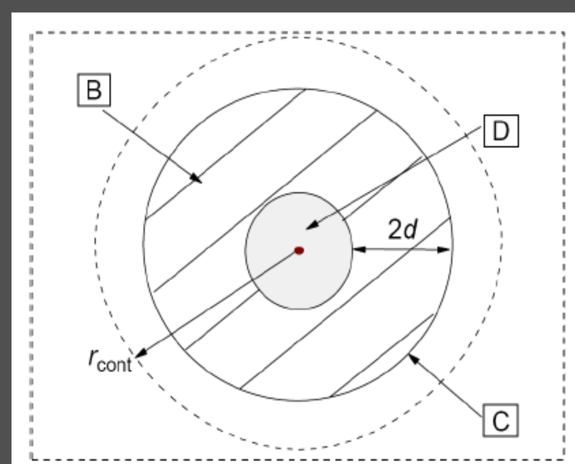
h – înălțimea plăcii;

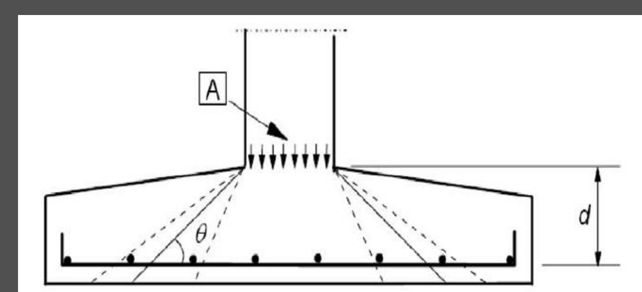
v_{Rd}– rezistența la străpungere;

r_{cont} =2d+0.5c raza perimetrului de referință;

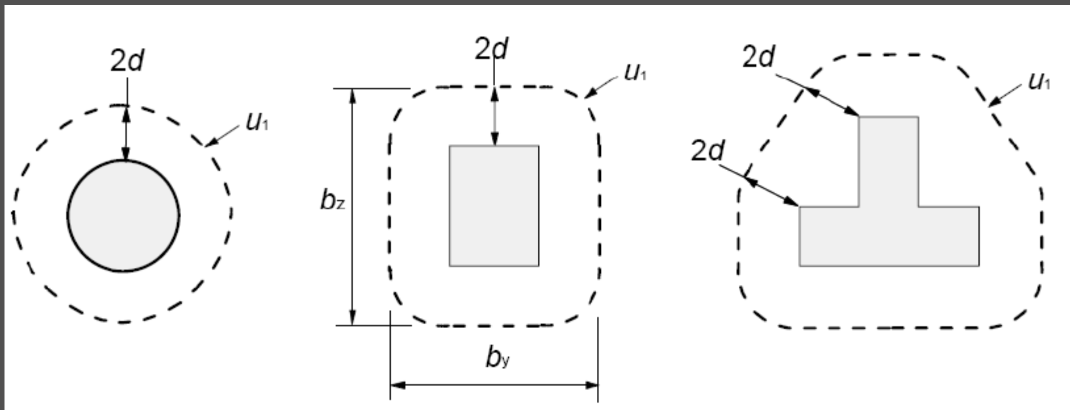


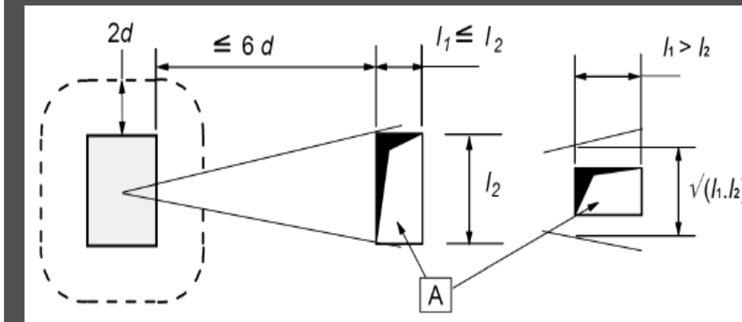


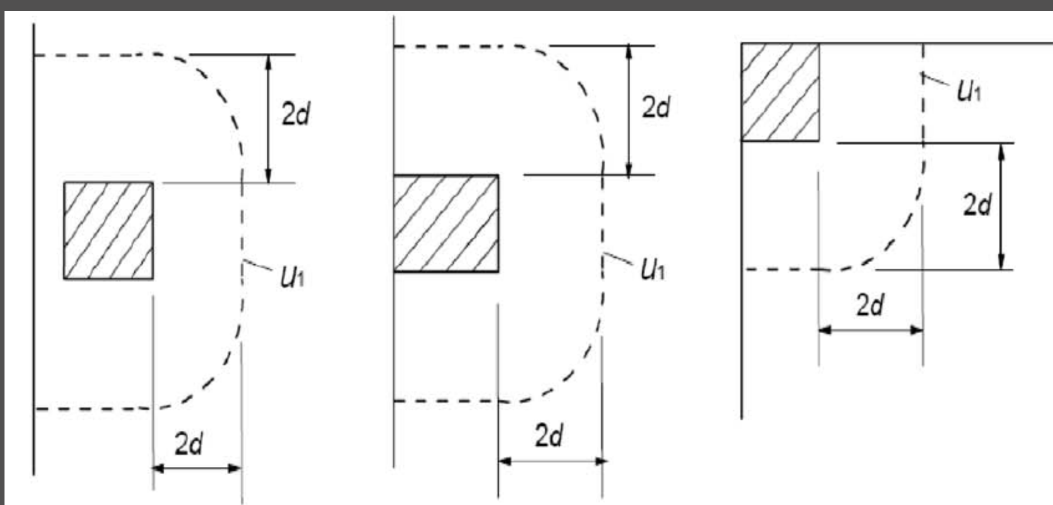




Perimetrul de referință u_1 se va trasa astfel încât acesta să minimizeze aria de calcul B. $d = d_{eff} = \frac{d_y + d_z}{2}$,
d_y, d_z - înalțimile utile pentru armături pe cele două direcții ortogonale.
Prezența golurilor sau a bașelor în cazul radierelor va reduce aria de calcul, de asemenea și în situația elementelor aflate la marginea planșeelor/radierelor.







Metoda de calcul se bazează pe verificări efectuate la faţa stâlpului u_0 şi pe conturul de calcul de referinţă u_1. Dacă sunt necesare armături pentru străpungere, va trebui găsit un alt contur, mai îndepărtat $u_{out,ef}$ dincolo de care nu mai sunt necesare armături pentru străpungere.

$\nu_{Rd,c}$ - este valoarea de calcul a rezistenţei la străpungere a unei dale fără armături de străpungere în lungul secţiunii de calcul considerate;

$\nu_{Rd,cs}$ - este valoarea de calcul a rezistenţei la străpungere a unei dale cu armături de străpungere în lungul secţiunii de calcul considerate;

$\nu_{Rd,max}$ - este valoarea maximă de calcul a rezistenţei la străpungere în lungul secţiunii de calcul considerate.

<u>Se vor efectua următoarele verificări:</u>

(a) În lungul conturului stâlpului sau al conturului ariei încărcate, efortul unitar de străpungere nu trebuie să depăşească valoarea maximă a rezistenţei la străpungere:

$$\boldsymbol{\nu_{Ed} < \nu_{Rd,max}}$$

(b) Nu sunt necesare armături de străpungere dacă:

$$\boldsymbol{\nu_{Ed} < \nu_{Rd,c}}$$

(c) Dacă $\boldsymbol{\nu_{Ed} > \nu_{Rd,c}}$, pentru secţiunea de calcul considerată, se vor prevedea armături de străpungere conform:

$$\mathbf{\nu_{Rd,cs} = 0.75 \cdot \nu_{Rd,c} + 1.5 \cdot \left(\frac{d}{s_r}\right) \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \left(\frac{1}{u_1 \cdot d}\right) \cdot \sin\alpha}$$, unde :

A_{sw} – este aria armăturii de străpungere de pe un rând în jurul stâlpului [mm²];

s_r – este distanţa radială dintre rândurile armăturilor de străpungere [mm];

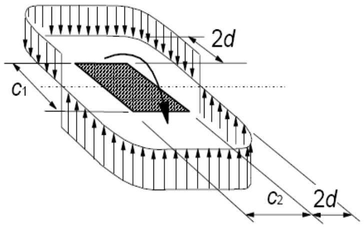
$f_{ywd,ef}$ – este rezistenţa efectivă de calcul a armăturilor de străpungere,

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0.25\,d \le f_{ywd}\ [MPa], d[mm];$$

d – deste media înălţimilor utile în direcţiile ortogonale [mm];

α – este unghiul între armăturile străpungere şi planul dalei. Dacă se prevede un singur rând de bare înclinate, atunci în expresia raportul $\frac{d}{s_r} = 0.67$.

Efortul unitar maxim de străpungere se va lua: $\boldsymbol{\nu_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_i \cdot d}}$



u_i – este perimetrul conturului de calcul considerat (în mod uzual u_1)
β – este factorul ce ține seama de excentricitatea reacțiunii din reazăm în raport cu perimetrul de calcul:

$$\boldsymbol{\beta = 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_1}{W_1}}$$

u_1 – este perimetrul conturului de calcul de referinţă
k – este un coeficient care depinde de raportul dimensiunilor *c*1 şi *c*2 ale stâlpului: valoarea sa este funcţie de proporţia momentului neechilibrat transmis prin forfecare neuniformă şi prin încovoiere şi torsiune.

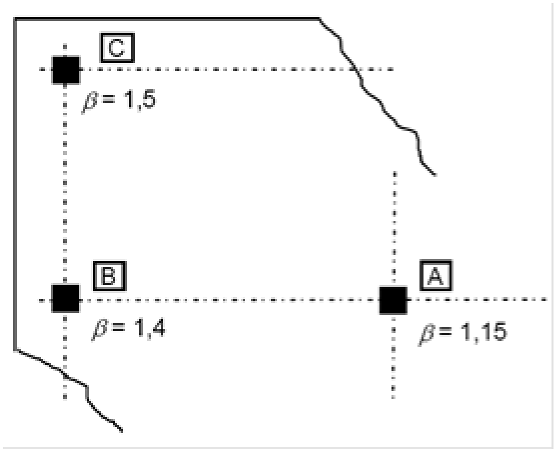
c_1/c_2	≤ 0.5	1.0	2.0	≥ 3.0
k	0.45	0.60	0.70	0.80

W_1 – corespunde unei repartiţii a eforturilor de forfecare aşa cum este reprezentată; este funcţie de perimetrul conturului de calcul de referinţă u_1 :

$$W_1 = \int_0^u |e|\,dl$$

dl – este lungimea elementară a conturului
e – este distanţa lui dl de la axa faţă de care acţionează momentul M_{Ed} .

Pentru structuri la care stabilitatea laterală nu depinde de efectul de cadru între dale şi stâlpi şi unde deschiderea traveilor adiacente nu diferă cu mai mult de 25%, se pot utiliza valori aproximative pentru β. În calcul, pentru β, se pot adopta valorile recomandate de normă conform desenului:
Coeficientul W_1, respectiv β depinde de poziția stâlpului, tipul stâlpului și tipului de solicitare: unidirecțională sau bidirecțională.



1.2. Rezistența la străpungere fără armături pentru forță tăietoare

Valoare de calcul a rezistenţei la străpungere este dată de:

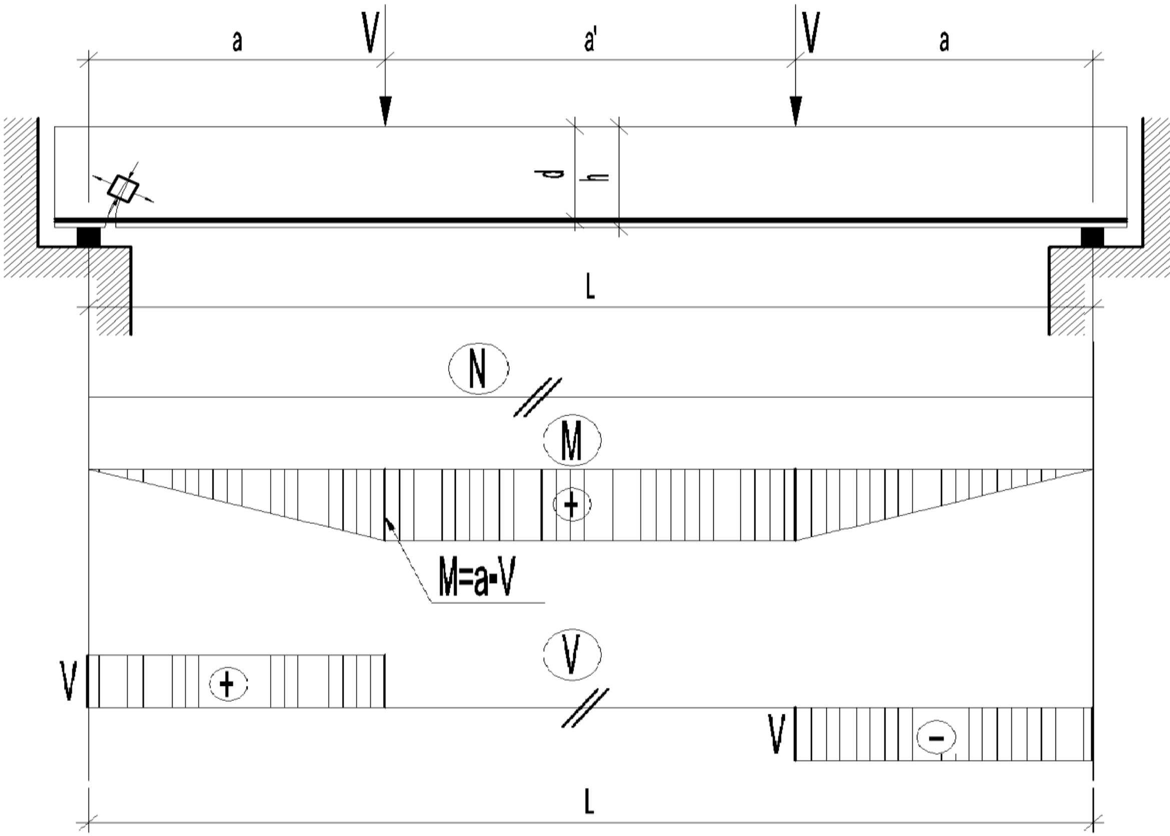
$$\boldsymbol{V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \geq \left(V_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}\right) [MPa]}$$

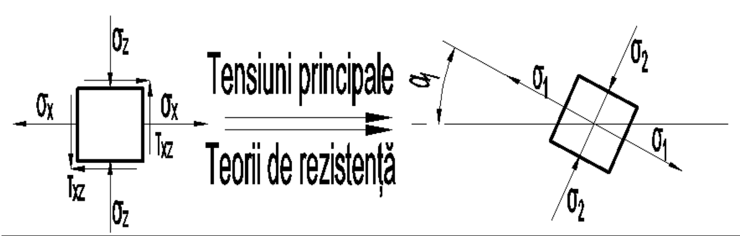
- **Explicitarea termenilor:**

$\mathrm{C_{Rd,c}} = 0.18/\gamma_c -$ coeficient ce ține seama de modul de solicitare;
$\mathrm{f_{ck}} -$ este în $[\mathrm{MPa}]$
$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.00, d[mm]$, coeficient ce ține seama de înălțimea elementului;
$\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \cdot \rho_{lz}} \leq 0.02(2\%)$, coeficentul armării longitudinale întinse; ρ_{ly}, ρ_{lz} se referă la armăturile întinse aderente în direcţile y şi z respectiv. ρ_{ly} şi ρ_{lz} se vor calcula ca valori medii pe o lăţime de placă egală cu lăţimea stâlpului plus $3d$ de o parte şi de alta;
$\sigma_{cp} = \frac{\sigma_{cy}+\sigma_{cz}}{2}$ $[MPa]$, efort unitar ce ține seama de prezența încărcărilor exterioare aplicate şi/sau precomprimării ;
$\sigma_{cy} = \frac{N_{Ed,y}}{A_{cy}}, \sigma_{cz} = \frac{N_{Ed,z}}{A_{cz}}$ $[MPa]$ eforturile normale în beton în secţiunea critică în direcţiile y şi z (pozitive la compresiune)
$N_{Ed,y}, N_{Ed,z} -$ forţele axiale ce acţionează pe lăţimile de placă asociate stâlpilor. Forţa axială poate rezulta dintr-o încărcare exterioară sau din precomprimare;
$A_{cy}\ sau\ A_{cz} -$ aria secţiunii de beton care corespunde forţei $N_{Ed,y}\ sau\ N_{Ed,z}$ luate în calcul;
$\boldsymbol{k_1 = 0.10} -$ factor ce reduce aportul precomprimării, tensiunilor normale σ_{cy}, σ_{cz}.

- **Elemente de RM și TE, ipoteze de calcul:**

Prin relația propusă a rezistenței la străpungere fără armături pentru forță tăietoare, din SREN 1992, s-a dorit o acoperire cât mai mare pentru situațiile curente, aceasta cuprinzând variabile multiple, cum ar fi: armare longitudinală, tipul de element (grosimea acestuia), tipul și modul de solicitare, contribuția elementelor favorabile etc. Astfel relațiile putând să acopere un spectru foarte larg de situații.





Tensiunile principale sau echivalente sunt utilizate în verificările de rezistență pentru elementele cu solicitare complexă (N+M+V+T). Rezistențele de calcul pentru materiale sunt stabilite pentru tensiuni principale, în solicitare simplă, compresiune sau întindere. Pentru situația dată, având de a face cu o situație complexă (solicitare M+V, sau N+M+V), nu este suficient ca tensiunile generate de eforturi să se compare cu rezistențele de calcul. Tensiunile principale:

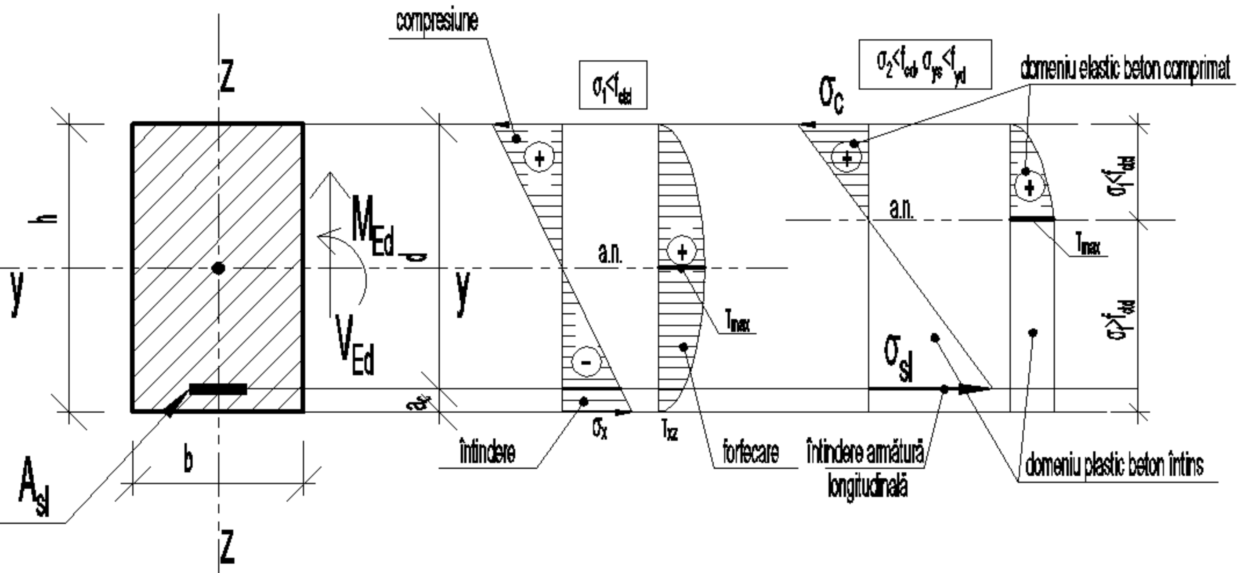
$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x+\sigma_z}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x-\sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2},$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2\cdot\tau_{xz}}{\sigma_x-\sigma_z},$$

$$r^2 = (\sigma_x-\sigma_z)^2 + \tau_{xz}^2;$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{2}\cdot\operatorname{tg}^{-1}\frac{\sigma_x-\sigma_z}{2\cdot\tau_{xz}}, \alpha_2 = \alpha_1 + \frac{\pi}{2}$$

$$|\tau_{max}| = \frac{\sigma_1-\sigma_2}{2} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x-\sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{x,z}^2}, C\left(\frac{|\sigma_x|+|\sigma_z|}{2}; 0\right)$$



Pentru înțelegere și o mai simplă utilizare acestea s-au reprezentat grafică, cunoscut sub nume de cercul lui Mohr. Modul de determinare a tensiunilor principale respectă reguli din geometria vectorială.

S-au reprezentat două situații a poziției punctului analizat:

1. - $\tau_{xz} \neq 0, \sigma_x = \sigma_z = 0$ (“doar V”);
2. - $\tau_{xz} \neq 0, \sigma_x \neq 0,\ \sigma_z = 0$ ("V+M”);

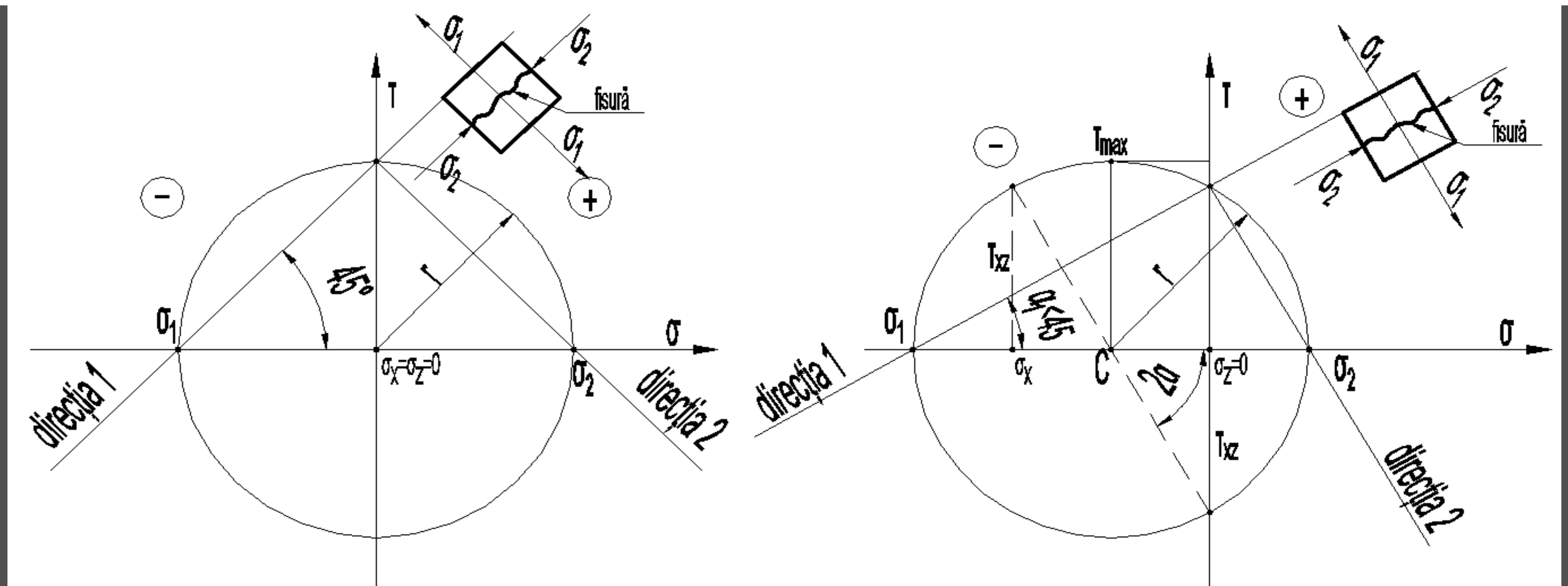
Când σ_1 atinge $f_{ctm}(f_{ctd}$ sau capacitatea la întindere a betonului) se inițiază deschiderea fisurii și aceasta va fi orientată normal la tensiunea principală σ_1. Direcția efortului σ_1 depinde de mărimea tensiunii normale σ_x și de tensiunea tangențială τ_{xz}.

Dacă punctul analizat se află în zona întinsă, tensiunile preluate de beton sunt nule ($\sigma_x = \sigma_z = 0$), atunci direcția principală este situată la 45deg. Dacă punctul analizat se află în zona comprimată $\tau_{xz} \neq 0, \sigma_x \neq 0,\ \sigma_z = 0$, unghiul este mai mic de 45 deg., cu cât tensiunile σ_x cresc, cu atât unghiul se micșorează. Astfel se poate explica modul de fisurare a unui element de beton armat simplu rezemat (ca în desenul expus), fisuri verticale în zona centrală și înclinate către marginea grinzii.

Observații:

$a)$ σ și τ nu preprezintă axe carteziene (X,Y), sunt tensiuni; relațiile în care se află se pot reprezenta grafic, respectând ecuația unui cerc și elemente din geometria Euclidiană. Trecerea de la parametrii geometrici la cei de tensiune se realizează prin argumentul 2α.

$b)$situațiile analizate se referă la elementele de beton ce nu dispun de armătură pentru forță tăietoare, tensiunile τ_{xz} sunt preluate de beton.



Relații de calcul din rezistența materialelor: $I_y = \frac{b \cdot h^3}{12}, S_y = \frac{b \cdot h^2}{2};\ \sigma_x = \frac{M}{2 \cdot I_y} \cdot h;\ \tau_{xz} = \frac{V \cdot S_y}{b \cdot I_y}$

Pentru betonul fisurat se poate scrie: $\tau_{xz} = \frac{V}{b \cdot d}$, astfel se poate pune condiția de rezistență $\sigma_1 \leq \mathbf{R}_t$

În STAS 10107/0-90, pentru calculul la străpungere a elementelor de beton fără armare de străpungere se utiliza relația:

$$\boldsymbol{Q \leq C \cdot U_{cr} \cdot h_0 \cdot R_t}$$

Q −forța de străpungere de calcul;

$h_0\ (d)$ − înălțimea utilă a plăcii;

R_t − rezistența de calcul la întindere a betonului.

Coeficent de calcul C=0.35...0.75, 0.75 pentru placă.

Relația propusă, nu ține seama de procentul de armare longitudinală, iar coeficientul C are o distribuție foarte variabilă Aster, Koch (1974), argumente utilizate în favoarea relațiilor din SREN 1992. Relațiile propuse în STAS 10107 urmăreau elementele din RM, dar nu beneficiau de un număr mare de încercări și nu se putea aplica mai multor tipuri de situații, iar rezultatele difereau foarte mult. Așa s-a ajuns la propunerea din SREN, dar aceasta a urmat pe cât posibil prevederile din CEB 1990 la început, cum de altfel și stasurile românești.

Coeficentul $\mathrm{C_{Rd,c}} = \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12(0.15)$ − solicitari permanente sau variabile (accidentale). Acesta a fost stabilit în baza mai multor încercări. S-au variat parametrii de input (ρ_l, f_{ck}, d, b, a/d respectiv k) și s-a observat distribuția lognormală raportului z;

$V_{calcul} = k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}}, V_{experiment}\ (determint),\ z = \frac{V_{calcul}}{V_{experiment}}$, atfel s-a ajuns la valoarea de 0.12. Pentru a ține seama de tipul de solicitare, toate încercările fiind în regim static (considerat ca acțiune permanentă) s-a adoptat $\frac{0.18}{\gamma_c} = \frac{0.18}{1.50} = 0.12.$

Exprimarea în rădăcină cubică a capacității la străpungere a elementelor ce nu dispun de armare transversală este datorată caracteristicilor de material și de solicitare, $f_{ctm} = f_{ck}^{\frac{2}{3}}$, stare triaxială de eforturi.

Limitarea inferioară a capacității prin coeficientul $\boldsymbol{V_{min}}$ s-a pus datorită elementelor de beton simplu, ce nu dispun de armătură longitudinală. Evaluarea coeficientului $\boldsymbol{V_{min}}$ a avut ca ipoteză următoarea situație: **de la ce distanță “a” valoarea forței “V” nu se transmite direct la reazăm, transferul se realizează prin încovoiere, dar în același timp valoarea forței tăietoare este redusă.** Prin această ipoteză se va determina valoarea coeficientului ρ_l.

Pentru $a = 2.5 \cdot d$, obținem $M = 2.5 \cdot d \cdot V$

$M_{Rd} \approx 0.9 \cdot d \cdot A_{sl} \cdot f_{yk}; V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b \cdot d;\ \rho_l = \frac{A_{sl}}{b \cdot d}$, se poate scrie:

$$2.5 \cdot d \cdot \left(0.15 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b \cdot d\right) \cong 0.9 \cdot d \cdot A_{sl} \cdot f_{yk} \rightarrow k \cdot 100^{\frac{1}{3}} \cdot \rho_l^{\frac{1}{3}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{3}} = 2.4 \cdot \rho_l \cdot f_{yk} \rightarrow$$

$$\rho_l^{\frac{2}{3}} = \frac{k \cdot 100^{\frac{1}{3}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{3}}}{2.4 \cdot f_{yk}} \rightarrow \rho_l = \frac{10}{2.4^{\frac{3}{2}}} \cdot \frac{k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}}}{f_{yk}^{\frac{3}{2}}}$$

$V_{min} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} = 0.12 \cdot k \cdot \left(100 \cdot \frac{10}{2.4^{\frac{3}{2}}} \cdot \frac{k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}}}{f_{yk}^{\frac{3}{2}}} \cdot f_{ck}\right)^{\frac{1}{3}}$; Pentru $f_{yk} = 500MPa$, fiind cel mai uzual, aplicând operații algebrice se obține: $V_{min} = 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}}$.

1.3. Valori de proiectare pentru calcul la străpungere radier

Rezistenţa la străpungere a bazelor de stâlp se va verifica în lungul unor contururi de calcul situate la cel mult **2d** de la fața stâlpului.
În cazul unei încărcări centrice, valoarea netă a forţei ce acţionează este:

$$\boldsymbol{V_{\mathrm{Ed},red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed}}, \textbf{ unde :}$$

$\mathrm{V_{Ed}}$ – este forţa tăietoare aplicată
$\Delta\mathrm{V_{Ed}}$ – este valoarea netă a forţei de reacţiune verticală din interiorul conturului de calcul considerat, adică reacţiunea solului mai puţin greutatea proprie a fundaţiei.

$$\boldsymbol{\Delta V_{Ed} = p_{ef} \cdot u_i;}$$

$\mathrm{p_{ef}} = \mathrm{p_{med}}$ –presiunea medie calculată față de $\mathrm{u_i}$, $\mathrm{u_i}$ – este perimetrul conturului de calcul considerat

$\nu_{Ed} = \frac{\mathrm{V_{Ed,red}}}{\mathrm{u_i} \cdot d}$,$\mathrm{u_i}$ –perimetru de calcul considerat , determinat de $a \leq 2d$ – ce reprezintă distanţa de la faţa stâlpului la conturul de calcul considerat.

Valoare de calcul a rezistenţei la străpungere fără armături pentru forță tăietoare este dată de:

$$\boldsymbol{V_{Rd} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{2 \cdot d}{a} \geq V_{min} \cdot \frac{2 \cdot d}{a}}\ [\boldsymbol{MPa}]$$

În cazul unei încărcări excentrice:

$$\boldsymbol{\nu_{Ed}} = \frac{V_{\mathrm{Ed},red}}{u_i \cdot d} \cdot \left(1 + \mathrm{k} \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{\mathrm{Ed},red}} \cdot \frac{u_i}{W}\right)$$

unde k este definit mai sus după cazul considerat şi W este similar lui W_1, dar pentru conturul u_i.

În vecinătatea stâlpului rezistența la străpungere se limitează la:

$$\nu_{Ed} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{u_0 \cdot d} \le \nu_{Rd,max} = 0.5 \cdot \left(1 - \frac{250}{f_{ck}}\right) \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c};\; f_{ck}[MPa]$$

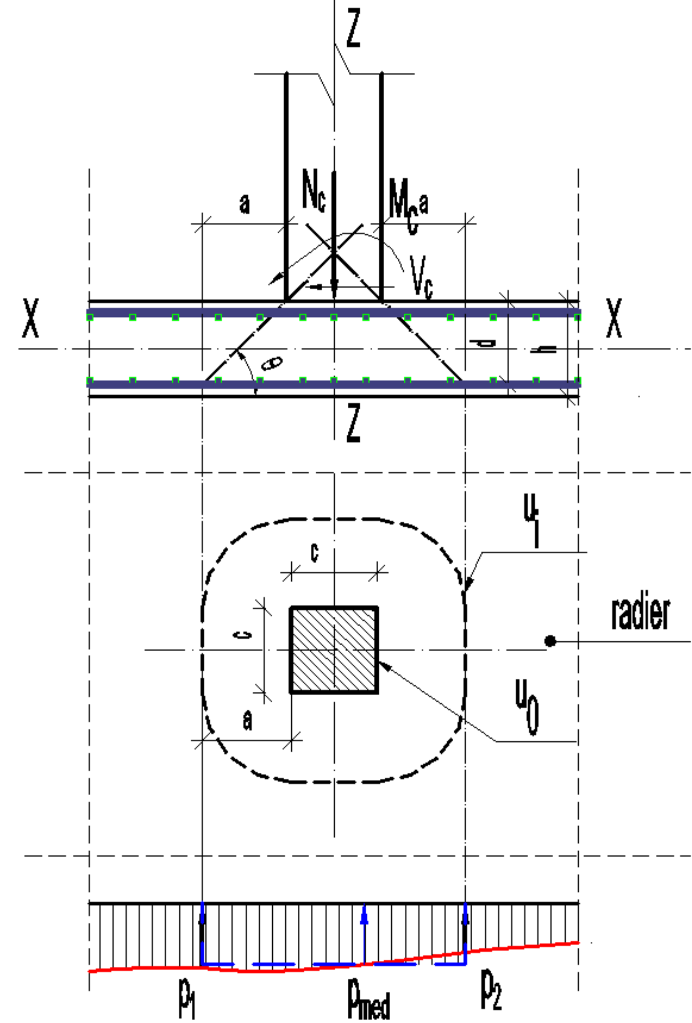
u_0 – perimetrul stâlpului pentru stâlp interior;
$u_0 = c_2 + 3d \le c_2 + 2c_1$ – pentru stâlp marginal;
$u_0 = 3d \le c_2 + c_1$ – pentru stâlp de colț.

Pentru secţiunea de calcul considerată, se vor prevedea armături de străpungere conform:

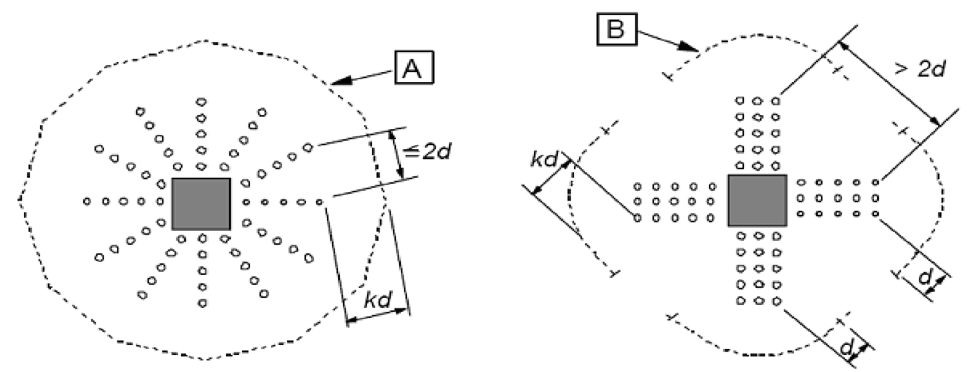
$$\mathbf{v_{Rd,cs}} = \mathbf{0.75} \cdot \mathbf{v_{Rd,c}} + \mathbf{1.5} \cdot \left(\frac{\mathbf{d}}{\mathbf{s_r}}\right) \cdot \mathbf{A_{sw}} \cdot \mathbf{f_{ywd,ef}} \cdot \left(\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{u_1 \cdot d}}\right) \cdot \mathbf{\sin\alpha}$$

Conturul de calcul $u_{out,ef}$ de la care nu mai sunt necesare armături de străpungere

$$u_{out,ef} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{\nu_{Rd,c} \cdot d}$$



Cel mai îndepărtat perimetru al armăturii de străpungere va fi plasat la o distanţă mai mică sau egală cu kd în interiorul lui $u_{out,ef}$. Valoarea lui k ce se utilizează într-o ţară dată poate fi furnizată de Anexa Naţională. Valoarea recomandată este k = 1.5.



A Contur u_{out} B Contur $u_{out,ef}$

1.4. Armături de străpungere

Când sunt necesare armături de străpungere, acestea trebuie dispuse în interiorul conturului dincolo de care nu mai este necesară armătură de străpungere, între suprafaţa încărcată sau stâlpul de reazem până la distanţa **kd** la interiorul conturului de la care nu mai este necesară armătură de forţă tăietoare. Trebuie prevăzute cel puţin două rânduri de etrieri periferice, distanţate cu cel mult 0.75d.

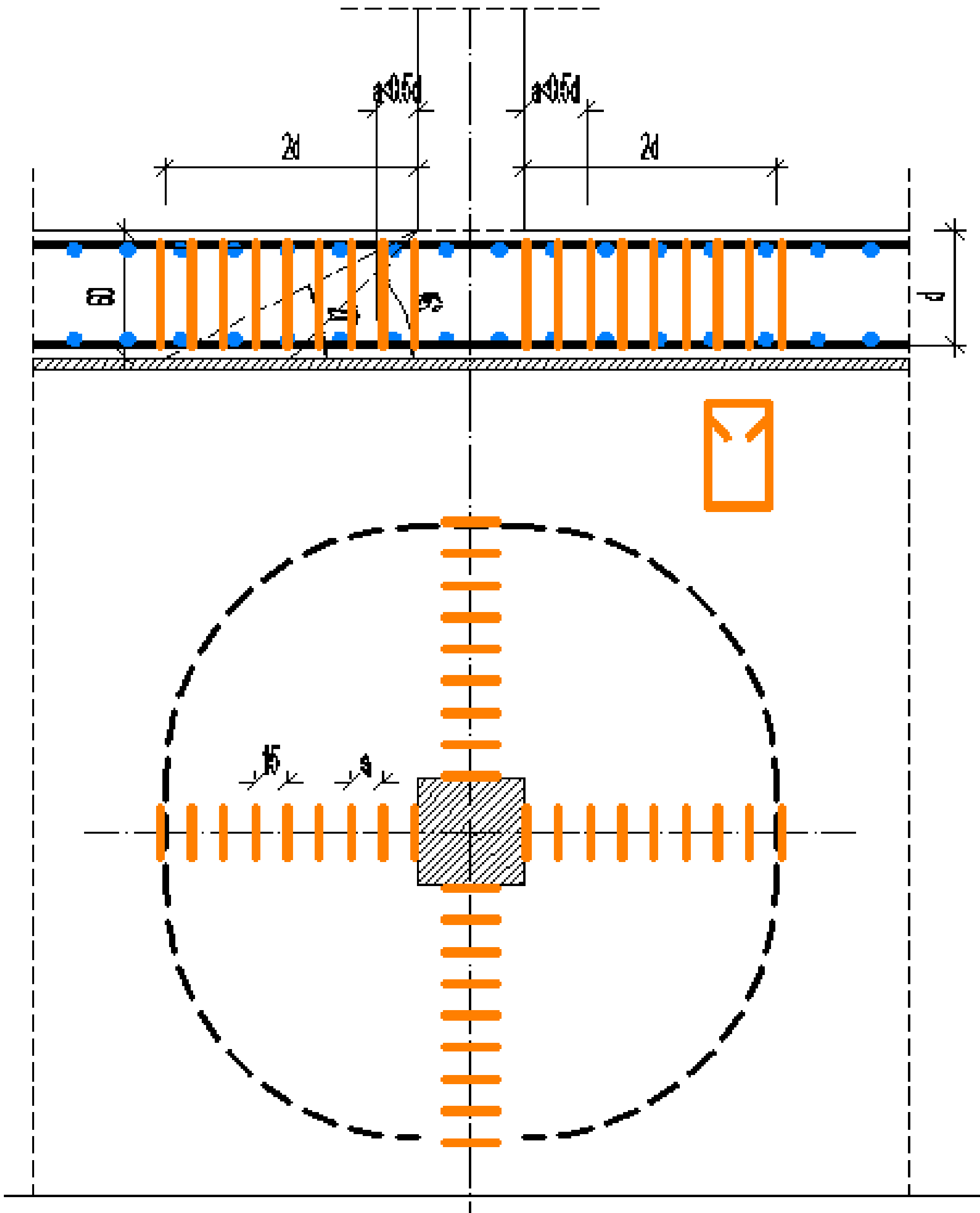
Distanţa între etrieri de-a lungul unui contur nu trebuie să fie mai mare decât 1.5d, când acesta este în interiorul conturului de control de referinţă (situat la mai puţin de 2d de suprafaţa încărcată). La exteriorul primului contur unde etrierii sunt necesari pentru rezistenţa la forţă tăietoare, distanţa dintre aceştia de-a lungul conturului care face obiectul verificării trebuie să nu fie mai mare decât 2d.

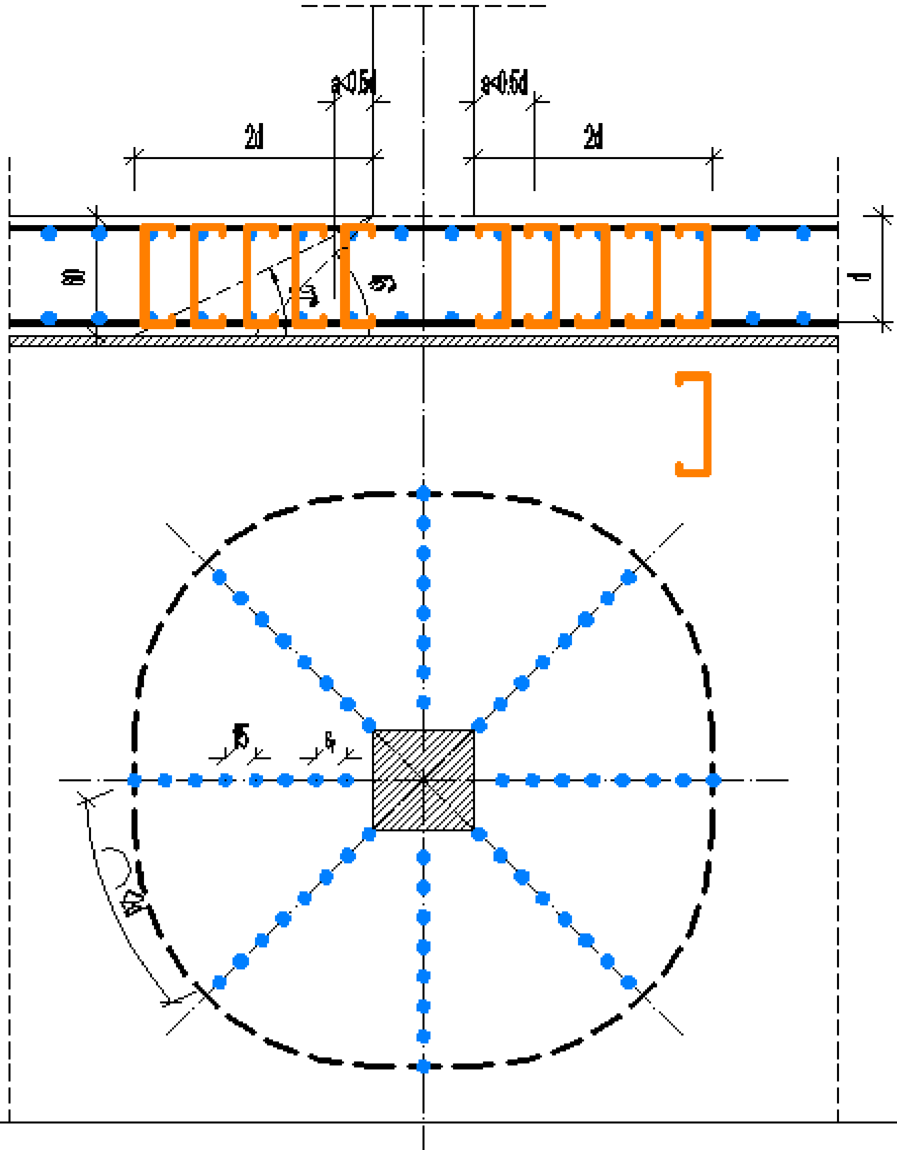
Barele ridicate care traversează suprafaţa încărcată sau se găsesc la o distanţă mai mică de 0,25d de aceasta pot fi utilizate ca armături de străpungere.

Distanţa dintre faţa reazemului, sau circumferinţa suprafeţei încărcate, şi armăturile de străpungere cele mai apropiate luate în calcul trebuie limitată la 0.5d. Această distanţă trebuie măsurată la nivelul armăturilor întinse.

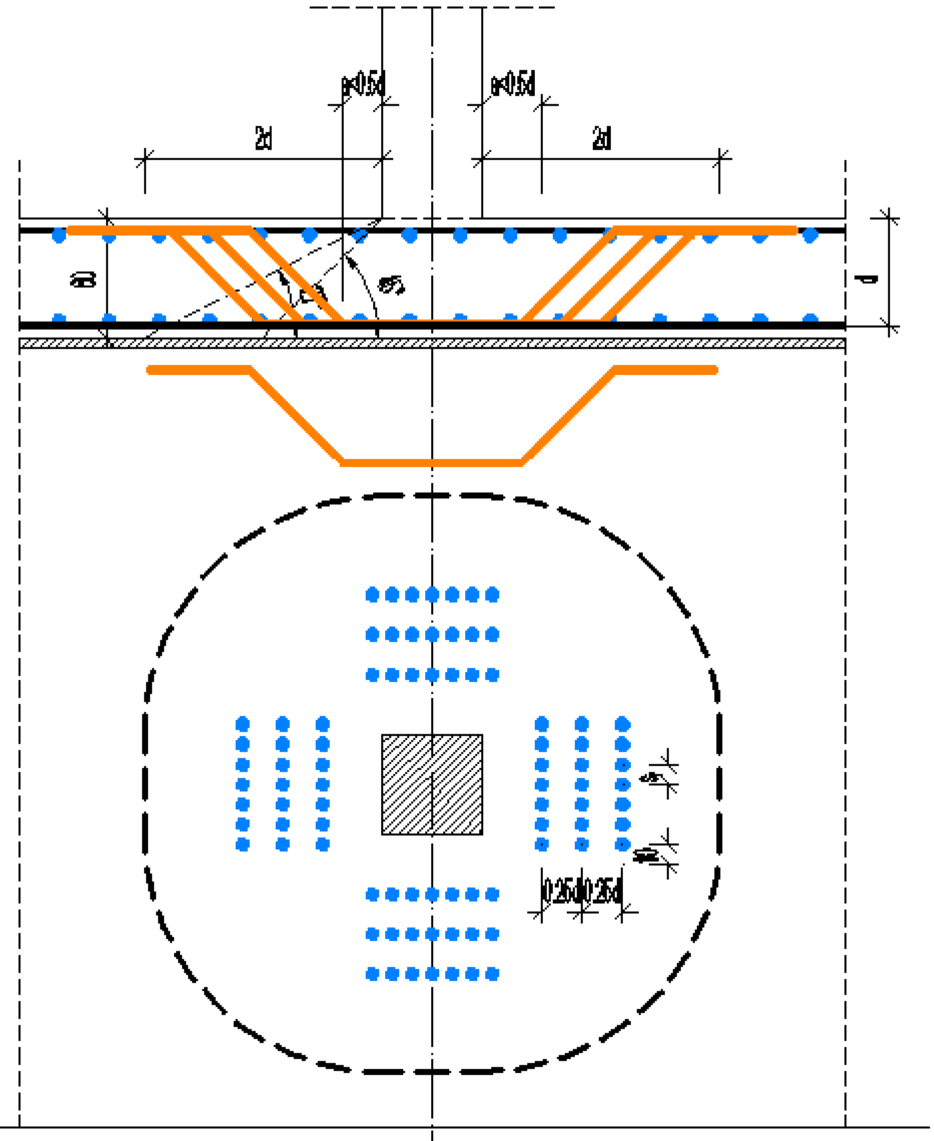
Când este prevăzut un singur rând de bare ridicate, unghiul lor de îndoire poate fi redus la 30°.

Pentru bare înclinate diametrul minim va fi Ø12, iar pentru bare verticale și etrieri va fi Ø10. Diametrul barelor va depinde și de înălțimea radierului, diametrul se poate lua aproximativ 0.02h. Barele verticale drepte vor fi de tip C, cu lungimea ramurei > 12d. Etrierii vor fi cu ramuri duble, similar celor de torsiune.





s<0.5d
s<0.5d
2d
2d
d



s<0.5d
s<0.5d
2d
2d
d
0.25d
0.25d

2. Calcul numeric

Se va detalia calculul pentru cele 3 tipuri de armare. Câmpurile cu galben sunt cele ce se modifică/completează.

Se vor avea în vedere 3 perimetre, astfel:

u_0 – perimetrul la fața stâlpului;

u_i – este perimetrul conturului de calcul considerat (la $\theta = 30deg$);

u_1 – este perimetrul conturului de calcul de referinţă – la distanța 2d (la $\theta = 26.56\text{deg}$);

u_i - se poate considera și la $\theta = 45deg$, dar în acest caz forța tăietoare este preluată doar de barele verticale, condiție foarte restrictivă.

$f_{ywd,ef} \leq f_{ywd}$ acesta condiție s-a pus datorită distribuției neuniforme a tensiunilor în armătură pentru SLU (nu toate barele ating rezistența de curgere în momentul cedării).

$\mathbf{1.5} \cdot \left(\frac{\mathbf{d}}{\mathbf{s_r}}\right)$ – numărul de bare verticale din relația de calcul $\boldsymbol{\nu}_{\mathbf{Rd,cs}}$, este stabili pentru un $\theta \cong 30 \ldots 35deg$. Se recomandă ca numărul de armături considerat în calcul să fie cel determinat de intersecția fisurii înclinate considetară pe înălțimea h-2a cu ramurile de bare verticale din perimetrul determinat de aceasta.

5. Armatură de străpungere

- **5.1.Armatură de străpungere cu bare inclinate:**

Se alege un singur rând de armături înclinate: $\alpha_{arm} := 30deg$ $\quad 0.75d_{eff} = 39.75 \cdot cm$

armătură înclinată de diametru: $d_{bL} := 28$ $\quad s_y := 10cm$ $\quad s_z := 10cm$

d_{bL}-diametru armăturii în mm (nu se trece unitatea de măsură)

- **numărul de rânduri:** $n_{r\_i} := 1$
- **numărul de bare de pe un rând:** $N_{r\_i} := 8$

$$A_{sw} := 4\left(N_{r\_i} \cdot n_{r\_i} \cdot \Phi_{d_{bL}}\right) = 197.041 \cdot cm^2$$

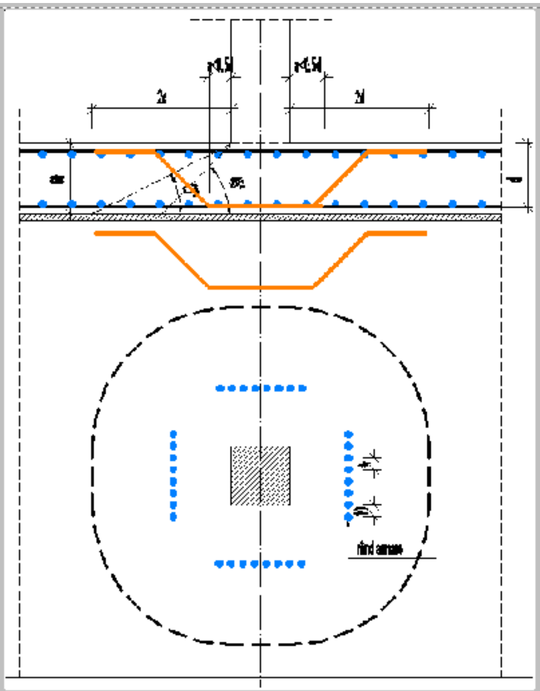
$$f_{ywd\_ef} := \left(250 + 0.25 \cdot \frac{d_{eff}}{mm}\right) MPa = 382.5 \cdot MPa$$

$$v_{Rd\_s} := A_{sw} \cdot f_{ywd\_ef} \cdot \frac{\sin(\alpha_{arm})}{(u_{c2} \cdot d_{eff})} = 0.961 \cdot MPa$$

$$v_{Rd\_cap} := 0.75 \cdot v_{Rd\_c} + v_{Rd\_s} = 1.273 \cdot MPa$$

verificare := if$\left(v_{Ed2_{0,0}} \wedge v_{Ed2_{0,1}} > v_{Rd_cap}, \text{"nk"}, \text{"k"}\right) = \text{"k"}$

Numărul de bucăți: $\frac{h_{z\_z}}{s_y} + 2 = 8$ $\quad \frac{h_{y\_y}}{s_z} + 2 = 8$



- **5.2. Armatură de străpungere cu bare dreaptă:**

$s_{r\_r} := 10cm$ $\alpha_{arm\_r} := 90deg$ $d_{bL\_r} := 16$

- **numărul de raze:** $N_r := 8$

- **numărul de bare pe o rază:** $n_r := \frac{1.5 d_{eff}}{s_{r\_r}} = 7.95$ $n_{r\_ef} := 7$

$A_{sw\_r} := N_r \cdot n_{r\_ef} \cdot \phi_{d_{bL\_r}} = 112.595 \cdot cm^2$

$v_{Rd\_s\_r} := A_{sw\_r} \cdot f_{ywd\_ef} \cdot \frac{\sin(\alpha_{arm\_r})}{(u_{c2} \cdot d_{eff})} = 1.099 \cdot MPa$

$v_{Rd\_cap\_r} := 0.75 \cdot v_{Rd\_c} + v_{Rd\_s\_r} = 1.411 \cdot MPa$

$verificare\_ := if\left(v_{Ed2_{0,0}} \wedge v_{Ed2_{0,1}} > v_{Rd\_cap\_r}, "nk", "k"\right) = "k"$

- **5.3. Armatură de străpungere cu etrieri (bare drepte):**

$s_{r\_e} := 15cm$ $\alpha_{arm\_e} := 90deg$ $d_{bL\_e} := 14$

- **numărul de rânduri de etrieri:** $N_{r\_e} := 4$

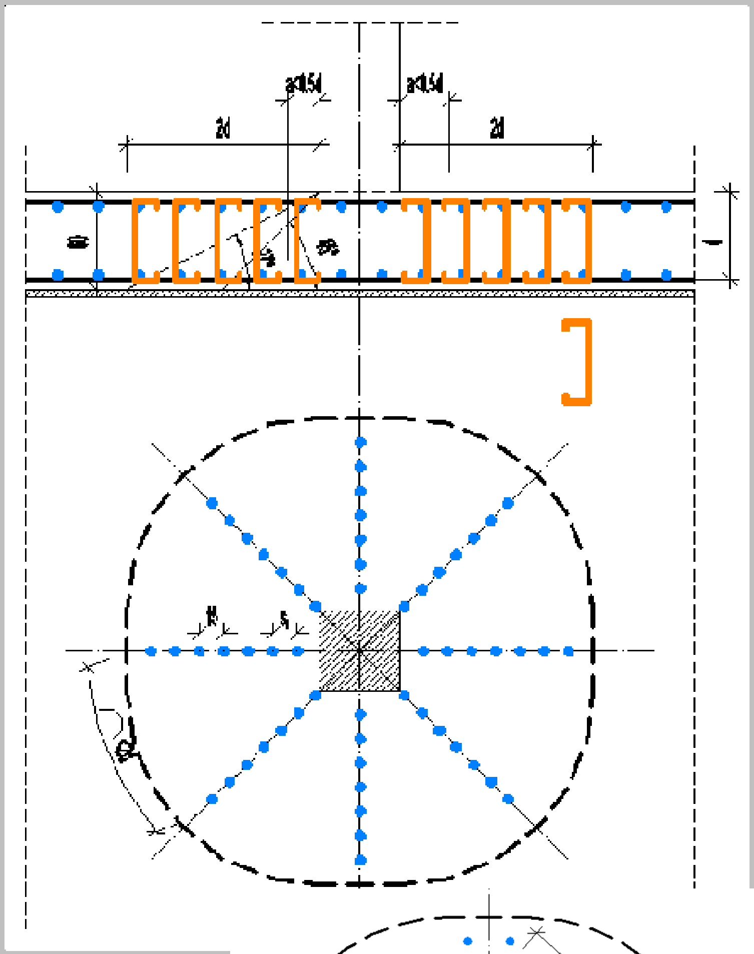
- **numărul de etrieri pe un rând:** $n_e := \frac{1.5 d_{eff}}{s_{r\_e}} = 5.3$ $n_{r\_eef} := 8$

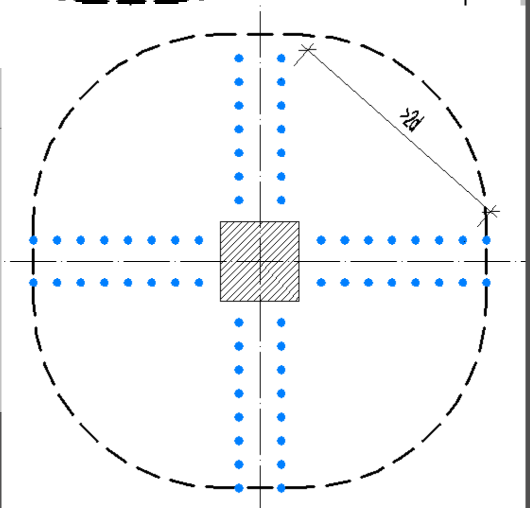
$A_{sw\_e} := 2N_{r\_e} \cdot n_{r\_eef} \cdot \phi_{d_{bL\_e}} = 98.52 \cdot cm^2$

$v_{Rd\_s\_e} := A_{sw\_e} \cdot f_{ywd\_ef} \cdot \frac{\sin(\alpha_{arm\_r})}{(u_{c2} \cdot d_{eff})} = 0.961 \cdot MPa$

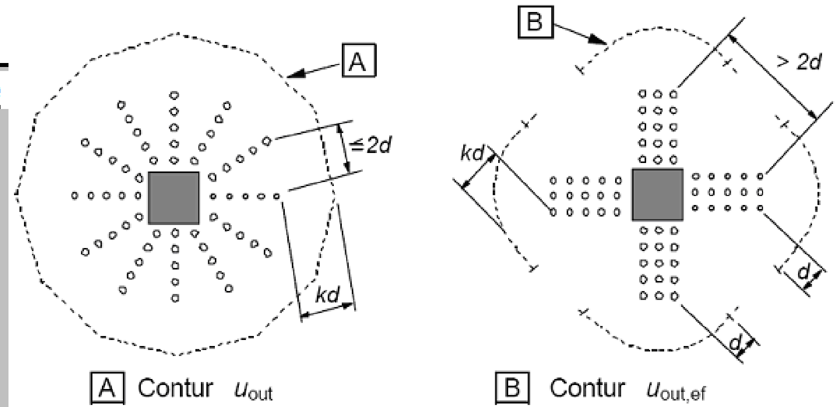
$v_{Rd\_cap\_e} := 0.75 \cdot v_{Rd\_c} + v_{Rd\_s\_e} = 1.273 \cdot MPa$

$verificare\_e := if\left(v_{Ed2_{0,0}} \wedge v_{Ed2_{0,1}} > v_{Rd\_cap\_e}, "nk", "k"\right) = "k"$





Cel mai îndepărtat perimetru al armăturii de străpungere va fi plasat la o distanţă mai mică sau egală cu **kd** în interiorul lui $u_{out,ef}$. Valoarea lui k ce se utilizează într-o ţară dată poate fi furnizată de Anexa Naţională. Valoarea recomandată **este k = 1.5. Un mod de abordare pentru a realiza acest lucru îl constituie modificarea pasului și numărul armăturilor verticale.**



6. Perimetrul de la care nu mai sunt necesare armaturi de strapungere

$u_{out\_ef} := \beta \cdot \frac{N_{Ed\_red}}{v_{Rd\_c} \cdot d_{eff}} = (19.216 \quad 19.216) \cdot m$

$u_{c2} = 7.395\,m$

$r_{out\_ef} := \frac{u_{out\_ef}}{2\pi} = (3.058 \quad 3.058)\,m$

$k_{AN} := 1.5$

$R_{out} := n_{r\_ef} \cdot s_{r\_r} + h_{y\_y} + k_{AN} \cdot d_{eff} = 2.095\,m$

$p\_out := 2 \cdot \pi \cdot R_{out} = 13.163\,m$

$Verificare\_R := \text{if}\left(r_{out\_ef_{0,0}} \le R_{out}, \text{"k"}, \text{"se mărește n.r\_ef"}\right) = \text{"se mărește n.r\_ef"}$

- Dacă Verificare_R nu este îndeplinită se va dispune suplimentar față de perimetrul de calcul bare pe distanța $\left|r_{out\_ef_{0,0}} - R_{out}\right| = 0.963\,m$

- pasul pentru barele suplimentare: $s_{r\_r2} := 35cm$

$verif\_2 := \text{if}\left(s_{r\_r2} \le 0.75 \cdot d_{eff}, \text{"k"}, \text{"se scade s.r"}\right) = \text{"k"}$

- numărul de buncăți suplimentar: $\frac{\left|r_{out\_ef_{0,0}} - R_{out}\right|}{s_{r\_r2}} = 2.752$

$verif\_ := \text{if}\left(s_{r\_r} \le 0.75 \cdot d_{eff}, \text{"k"}, \text{"se scade s.r"}\right) = \text{"k"}$

$0.75 \cdot d_{eff} = 39.75 \cdot cm$