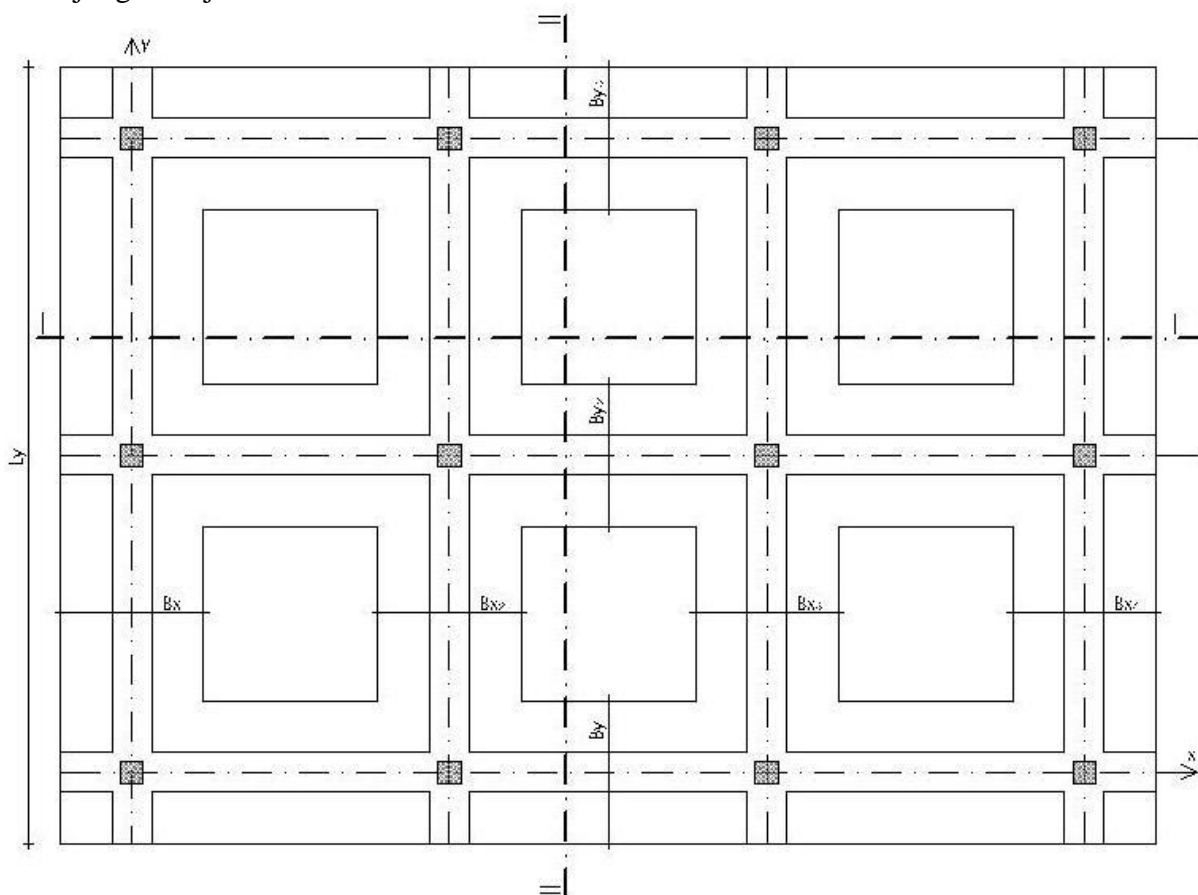


4. Temeljni roštilji

Kao što je već predhodno konstatovano za temeljne nosače, za velika opterećenja stubova raspoređenih u dva upravna pravca i malu otpornost tla, dimenzije kontaktne površine temelja samaca mogu biti velike u odnosu na rastojanja između stubova ili da temelji samci ne obezbeđuju dovoljnu prostornu krutost objekta u pogledu diferencijalnih sleganja. U ovakvim slučajevima umesto pojedinačnih temelja ispod svakog stuba može se predvideti ukršteni temeljni nosači (roštilji) koji leže u istoj ravni, a stubovi se nalaze na mestima gde se temeljni nosači međusobno presecaju (slika IV.1).

Proračun temeljnih roštilja je složeniji od proračuna temeljnih nosača ispod stubova koji se nalaze u nizu. Za proračun temeljnih roštilja postoji više postupaka koji su zasnovani na pretpostavkama o raspodeli pritisaka u kontaktnoj površini ili na pretpostavkama o osobinama i ponašanju tla kao podloge pod opterećenjem.

Najjednostavniji postupak za proračun temeljnih roštilja zasnovan je na pretpostavci da je raspodela pritisaka u kontaktnoj površini pravolinijska. Proračun temeljnih roštilja, zasnovan na pravolinijskoj raspodeli kontaktnih pritisaka, obuhvata određivanje dimenzija kontaktne površine, određivanje presečnih sila i određivanje dimenzija poprečnog preseka nosača temeljnog roštilja.



Slika IV.1

4.1 Određivanje dimenzija kontaktne površine

Dimenzije kontaktne površine se određuju iz uslova da za merodavnu kombinaciju opterećenja pritisak na tlo ne bude veći od proračunske vrednosti nosivosti tla (σ_{Rd}) za usvojenu dubinu fundiranja. Potrebno je da temeljni roštilj bude centrično opterećen, tj. da se napadna tačka rezultante opterećenja podudara sa težištem kontaktne površine. Neophodno je da ovaj uslov bude ispunjen za stalno opterećenje, dok se za povremeno opterećenje u nekim slučajevima može odstupiti od ovog uslova.

Centrično opterećenje temeljnog roštilja može se postići izborom širina odgovarajućih poprečnih i podužnih traka temeljnog roštilja. Širina temeljnog nosača treba da bude konstantna i od tog uslova ne treba odstupiti ako za to ne postoje posebni zahtevi.

Usvajanjem veličine prepusta poprečnih i podužnih traka, određena je ukupna dužina podužnih i poprečnih traka temeljnog roštilja.

Veličine prepusta se mogu usvojiti u granicama

$$a_1 = a_2 \approx 0.25 \cdot l_{xi}, b_1 = b_2 \approx 0.25 \cdot l_{yi} \quad (4.1)$$

gde je:

l_{xi}, l_{yi} najveće rastojanje između stubova koji se nalaze u podužnom i poprečnom pravcu na temeljnom roštilju.

Ukupna dužina podužnih traka temeljnog roštilja je:

$$L_x = a_1 + \sum_{i=1}^{m-1} l_{xi} + a_2 \quad (4.2a)$$

odnosno, ukupna dužina poprečnih traka temeljnog roštilja:

$$L_y = b_1 + \sum_{i=1}^{n-1} l_{yi} + b_2 \quad (4.2b)$$

gde je:

m, n - broj stubova koji se nalaze u podužnom, odnosno poprečnom pravcu na temeljnom roštilju.

Ako je temeljni roštilj centrično opterećen tada potrebnu naležuću površinu možemo odrediti iz izraza:

$$F = \frac{\bar{\gamma}_u \cdot \sum V}{\sigma_{Rd} - \gamma_G \cdot 0.85 \cdot \gamma_b \cdot D_f} \quad (4.3)$$

gde je:

$\sum V$ - ukupno vertikalno opterećenje koje se preko temeljnog roštilja prenosi na tlo,
 $\bar{\gamma}_u$ - zamenjujući parcijalni koeficijent sigurnosti za dejstva, koji se može odrediti prema izrazu za pretpostavljeni odnos stalnog i povremenog opterećenja:

$$\bar{\gamma}_u = 0.75 \cdot \gamma_G + 0.25 \cdot \gamma_Q \quad (4.4)$$

Ostale oznake su poznate od ranije.

Prosečna širina traka temeljnog roštilja u prvom koraku, sa "preklapanjem", može se odrediti prema izrazu:

$$B_{pr}^I = \frac{F}{\sum_{i=1}^n L_x + \sum_{i=1}^m L_y} \quad (4.5)$$

Prosečna širina traka temeljnog roštilja određuje se iterativno. U i -tom koraku, bez "preklapanja", prosečna širina traka temeljnog roštilja data je prema sledećem izrazu:

$$B_{pr}^i = \frac{F}{\sum_{i=1}^n L_x + \sum_{i=1}^m L_y - (m+n) \cdot B_{pr}^{i-1}} \quad (4.6)$$

Usvaja se prosečna širina traka temeljnog nosača $B_{pr} = B_{pr}^i$, kada je prihvatljiva razlika u veličinama sračunatih širina u i-tom i (i-1) koraku. Ukupna širina podužnih traka je $B_{pod} = m \cdot B_{pr}$ i ukupna širina poprečnih traka je određena $B_{pop} = n \cdot B_{pr}$.

Određivanju širine pojedinih podužnih i poprečnih traka temeljnog roštilja može se pristupiti prema kriterijumu pripadajućeg opterećenja:

$$B_{yi} = \frac{\sum V_{xi}}{\sum V} \cdot B_{pod} \quad (4.7a)$$

$$B_{xi} = \frac{\sum V_{yi}}{\sum V} \cdot B_{pop} \quad (4.7b)$$

gde je:

$\sum V_{xi}$, $\sum V_{yi}$ - zbir svih sila u stubovima odgovarajuće podužne, odnosno poprečne trake temeljnog roštilja.

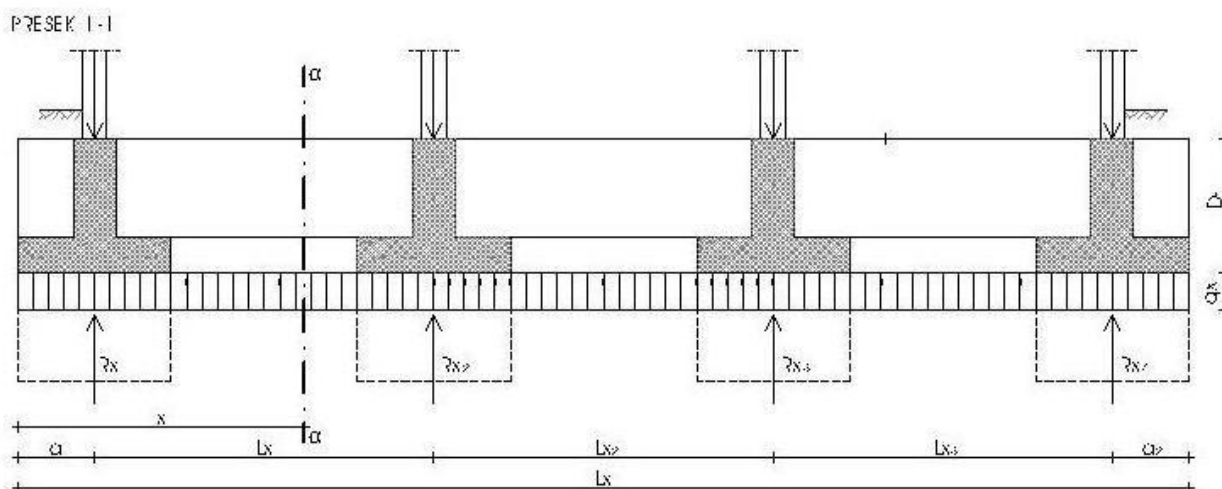
Za ovako određenu naležuću površinu temeljnog roštilja potrebno je proveriti da je obezbeđeno centrično opterećenje temeljnog roštilja, tj. da li se napadna tačka rezultante opterećenja podudara sa težištem kontaktne površine. Ako kriterijum centrisanosti nije ispunjen, potrebno je promenom širina odgovarajućih podužnih i poprečnih nosača temeljnog roštilja taj kriterijum zadovoljiti, tako da veličina prosečne širine traka ostane nepromenjena.

4.2 Proračun statičkih uticaja u trakama temeljnog roštilja

Pri proračunu presečnih sila u podužnim i poprečnim nosačima temeljnog roštilja treba imati u vidu specifičnost konstrukcije temeljnog roštilja u statičkom pogledu.

Način na koji se određuju presečne sile po dužini posmatranog nosača zavisi od usvojenog statičkog sistema za temeljni nosač.

Ako su definisani i sile koje se sa stubova prenose na temeljni roštilj i otpor tla kao posledica delovanja tih sila, tada se temeljni roštilji u statičkom pogledu statički određeni. Temeljni roštilj posmatramo kao statički određen nosač ako je njegova krutost velika u odnosu na krutost konstrukcije iznad temelja, odnosno ako je konstrukcija objekta iznad temelja statički određenog sistema. U ovom slučaju mogu se iz osnovnih ravnotežnih uslova, u ma kom podužnom ili poprečnom preseku temeljnog roštilja, odrediti potrebne presečne sile.



Slika IV.2

Veličina neto napona, bez uticaja težine temeljnih nosača i težine tla iznad njih, iznosi:

$$q = \frac{\sum_{i=1}^{m+n} V_i}{F} \quad (4.8)$$

Ako hoćemo da odredimo momenat savijanja u nekom preseku $\alpha - \alpha$ za podužni pravac temeljnog roštilja (slika IV.2), koji se nalazi na odstojanju x od leve ivice temeljnog roštilja, momenat savijanja u tom preseku je:

$$M_x = \frac{1}{2} \cdot q_x \cdot x^2 + (R_{xj} - \sum_{i=1}^m V_j) \cdot (x - a_1) \quad (4.9)$$

gde su:

M_x - ukupni moment savijanja svih podužnih nosača,

$$q_x = \frac{\sum_{i=1}^{m+n} V_i}{L_x} \text{ - deo reaktivnog opterećenja svih podužnih nosača temeljnog roštilja,}$$

$\sum_{i=1}^m V_j$ - zbir svih sila u prvoj koloni stubova upravnih na podužne nosače,

$R_{xj} = q \cdot B_{xj} \cdot (L_y - B_{pod})$ - reaktivna sila dela poprečne trake u prvoj koloni stubova, na dužini umanjenoj za ukupnu širinu podužnih traka.

Ukoliko nije postignuta povoljna raspodela momenta savijanja za podužni pravac, potrebno je promenom širina poprečnih traka korigovati dijagram momenata savijanja, uz uslov da temeljni roštilj ostane centrično opterećen i da ukupna širina poprečnih traka ostane ista ($B_{pop} = n \cdot B_{pr}$).

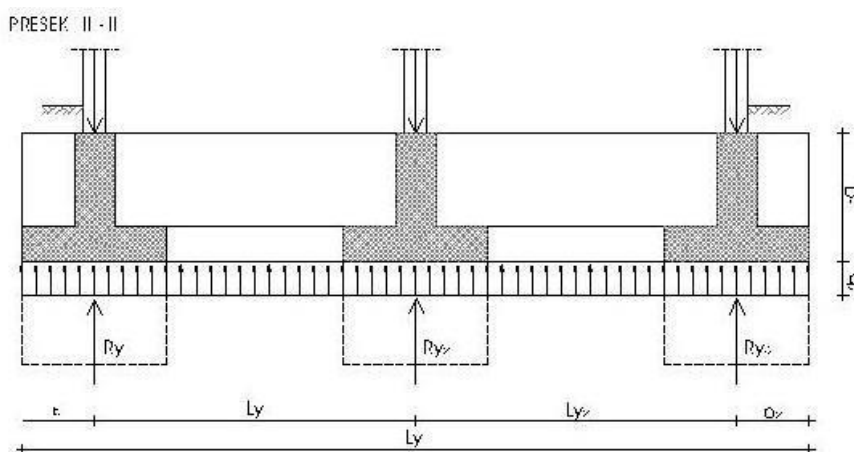
Momenat savijanja se raspodeljuje na nosače podužnog pravca proporcionalno njihovoj krutosti na savijanje, tj. proporcionalan njegovom momentu inercije. Moment savijanja u podužnom nosaču i biće:

$$M_x^i = M_x \cdot \frac{I_i}{\sum_{k=1}^m I_k} \quad (4.9)$$

gde je:

I_i - moment inercije poprečnog preseka posmatranog podužnog nosača,

$\sum_{k=1}^m I_k$ - ukupni moment inercije poprečnog preseka za podužne nosače temeljnog roštilja.



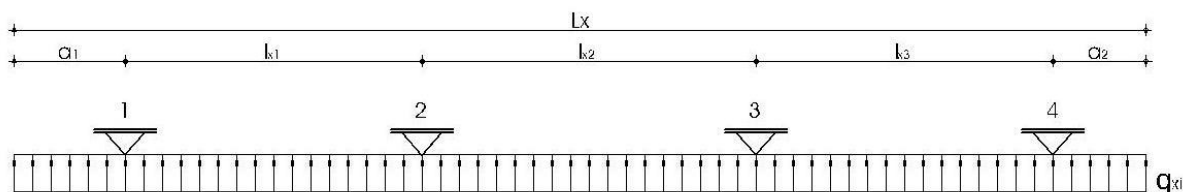
Slika IV.3

Kao što je poznato, transversalne sile u posmatranom podužnom nosaču mogu se odrediti iz odgovarajućeg dijagrama momenata savijanja i reaktivnog opterećenja za taj nosač.

Dalji postupak proračuna za poprečni pravac temeljnog roštilja, kao statički određenog nosača, je u svemu isti kao i za predhodno navedeni podužni pravac (slika IV.3).

Statički određen sistem temeljnog roštilja daje male vrednosti momenata savijanja ispod unutrašnjih stubova. Ako se pretpostavi da su na mestima stubova nepomerljivi oslonci, tada je temeljni roštilj statički neodređen i u statičkom smislu predstavlja kontinualne nosače u podužnom i poprečnom pravcu. Ovako usvojen statički sistem je realniji ukoliko je konstrukcija iznad temeljnog roštilja kruća. Presečne sile po dužini posmatranog nosača temeljnog roštilja mogu odrediti kao i za svaki drugi kontinualni nosač.

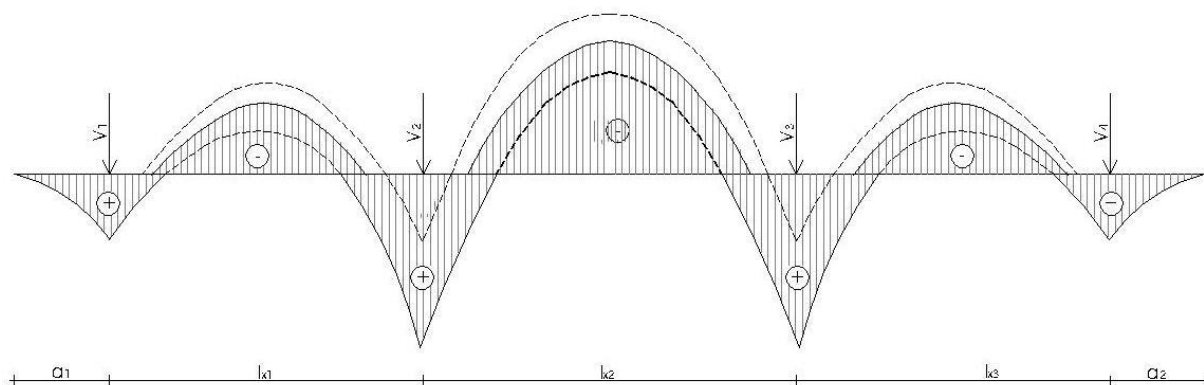
Na slici IV.4 prikazan je statički sistem i-tog podužnog nosača temeljnog roštilja i opterećenje koje deluje na temeljni nosač.



Slika IV.4

Dalji postupak proračuna i dimenzionisanja je u svemu isti kao i za temeljne nosače ispod stubova u nizu.

Za momente savijanja u poljima treba uzeti srednje vrednosti momenata savijanja dobijenih iz uslova da je posmatrani nosač temeljnog roštilja statički određen i iz uslova da posmatrani nosač predstavlja kontinualni nosač. Momenti savijanja ispod stubova određuju se iz uslova da posmatrani nosač temeljnog roštilja predstavlja kontinualni nosač sa nepomerljivim osloncima na mestu stubova.



Slika IV.5

Za poprečni presek temeljnog roštilja usvaja se ploča ojačana rebrom. Dimenzije rebra se određuju prema merodavnim presečnim silama. Kao što je već rečeno kod zajedničkih temelja, iz konstruktivnih razloga širina rebra treba da bude veća od širine stuba za 10 do 20 cm. U slučaju mogućeg odstupanja temelja od projektom predviđenog položaja, na taj način se omogućava da se stubovi izvedu na predviđenim mestima. Prema maksimalnoj veličini momenta savijanja ispod stubova određuje se potrebna visina temeljnog nosača.

Proračunska vrednost merodavnog momenta savijanja je:

$$M_{Ed} = \bar{\gamma}_u \cdot M_{max} \quad (4.10)$$

Proračunska vrednost čvrstoće betona na pritisak za usvojenu klasu betona je:

$$f_{cd} = \alpha \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (4.11)$$

Potrebna statička visina temeljnog roštila određuje se prema proračunskoj vrednosti merodavnog momenta savijanja:

$$d_M \geq k \cdot \sqrt{\frac{M_{Ed}}{b_0 \cdot f_{cd}}} = 2.311 \cdot \sqrt{\frac{M_{Ed}}{b_0 \cdot f_{cd}}} \quad (4.12)$$

gde je

b_0 - usvojena širina rebra temeljnog nosača.

Statičku visinu temeljnog roštila treba odrediti i prema merodavnim transverzalnim silama, odnosno glavnim naponima zatezanja.

Proračunska vrednost merodavne transverzalne sile je:

$$V_{Ed} = \bar{\gamma}_u \cdot T_{max} \quad (4.13)$$

Potrebna statička visina temeljnog roštilja prema proračunskoj vrednosti transverzalne sile:

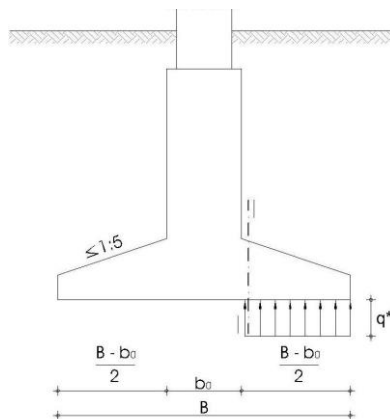
$$v_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] \cdot f_{cd} \quad (4.14)$$

$$d_T \geq \frac{2 \cdot V_{Ed}}{0.9 \cdot b_0 \cdot v_{Rd,max}} \quad (4.15)$$

Za statičku visinu temeljnog roštilja usvaja se veća vrednost od sračunatih statičkih visina prema merodavnim proračunskim vrednostima momenta savijanja i transverzalne sile.

Pri usvajanju ukupne visine temeljnog roštilja debljinu zaštitnog sloja treba odrediti tako da odstojanje armature od donje ivice temelja ne bude manje od 5 cm. Gornja ivica temeljnog roštilja treba da bude najmanje 15 cm ispod poda objekta ili površine terena, osim ako nije nekim posebnim zahtevima drugačije usvojeno. Ispod armiranobetonskog temelja obavezan je tamponski sloj od nearmiranog betona debljine 5-10 cm.

Debljinu temeljne ploče treba odrediti prema momentima savijanja. Posmatra se traka širine jednake jedinici i za najnepovoljniji presek odredi vrednost momenat savijanja (slika IV.6). Prema ovom momentu savijanja odredi se statička visina temeljne ploče.



Slika IV.6

Momenat savijanja je dat sledećim izrazom:

$$M_{I-I} = \frac{q^* \cdot (B - b_0)^2}{8} \quad (4.16)$$

gde je:

$$q^* = 1.0 \cdot q \quad (4.17)$$

Potrebna statička visina temeljne ploče prema proračunskoj vrednosti merodavnog momenta savijanja:

$$d_M^{ploce} \geq 2.311 \cdot \sqrt{\frac{\bar{\gamma}_u \cdot M_{I-I}}{1.0 \cdot f_{cd}}}, \quad (4.18)$$

Transverzalna sila data je sledećim izrazom:

$$T_{I-I} = \frac{q^* \cdot (B - b_0)}{2} \quad (4.19)$$

dok je proračunska vrednost transverzalne sile:

$$V_{Ed}^{I-I} = \bar{\gamma}_u \cdot T_{I-I} \quad (4.20)$$

Potrebna statička visina temeljne ploče iz uslova nosivosti ploče pri smicanju:

$$V_{Ed}^{I-I} \leq V_{Rd} = V_{Rd,c} = \max \left\{ \begin{array}{l} C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot 1.0 \cdot d_T^{ploce} \\ 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \cdot 1.0 \cdot d_T^{ploce} \end{array} \right. \quad (4.21)$$

Prema izrazu (4.19) određivanje potrebne visine temeljne ploče na osnovu nosivosti pri smicanju izvršeno je na osnovu proračunske sile smicanja V_{Ed}^{I-I} u preseku I-I. Ovakav postupak je na strani sigurnosti, s obzirom da EC2 dozvoljava da se proračun nosivosti za smicanje sprovodi za V_{Ed} na rastojanju jednakom d od ivice oslonca.

Pri proračunu temeljnih roštilja, zasnovanih na pretpostavkama o mehaničkim osobinama podloge pod opterećenjem, u proračunu se vodi računa i o torzionim momentima. Uticaj torzionih momenata na deformacione linije nosača temeljnog roštilja je mali, ako se na mestima ukrštanja podužnih i poprečnih traka deluju samo koncentrisane sile. Značajniji uticaj torzionih momenata javlja se samo ako u pravcima podužnih ili poprečnih traka deluju i veliki koncentrisani momenti.

Temeljni roštilj ima relativno veliku krutost u odnosu na utrošak materijala, dok je potreban veći i komplikovaniji rad jer je izrada oplata i postavljanje armature složenije. Roštilji se često koriste u visokogradnji i industriji za "prekrivanje" većih osnova.