

ОСВРТ НА ПРОРАЧУН ТЕМЕЉА ТОРЊЕВА – ДЕО 1¹

Мирко Д. Петковић²

УДК: 624.151

DOI:10.14415/konferencijaGFS 2016.062

Резиме: Као што је инж. М. Миланковић пре скоро једног века знао тако и данас врсни инжињери знају да у суштини не постоји разлика између основних поставки теорије консолидације и преноса топлоте. Међутим, још мањи број зна да та разлика не постоји само због тога што је у фази формирања механике тла Миланковић подржао свог млађег колегу К. Terzaghi-а да утицај инерцијалних сила занемари и тако изналажење решења једних диференцијалних једначина замени применом постојећих решења других диференцијалних једначина. Тиме је последично и трасиран пут дела ове условно нове науке.

На жалост, то занемаривање и стручна експертиза 5-очлане комисије даровитих школараца и тадашњих ауторитета по питању теорије, буквално су довели њиховог још више даровитог опонента до одлуке да исту заједно са супругом не преживи. На тај начин је Теоријска механика тла постала једина наука која се после експертизе родила смрћу свог опонента. Обично је било обрнуто.

На срећу, иако су данас многе такве и сличне експертизе попримиле особености бизниса, ипак је код врхунских инжењера теоретски резултат био и остао само члан саветодавног тела који не управља њиховим радом и објективношћу.

Рад представља преглед стања и пример како се још један, на изглед сличан проблем етике и струке, а који се односи на практични прорачун ексцентрично оптерећених темеља антенских торњева и сл. објеката, алтернативно поставља и решава без замене сложенејег проблема једноставнијим и приступачнијим.

Кључне речи: Антенски торњеви, темељи, прорачун напона у тлу, добра пракса

1. УВОД

Брзим развојем телекомуникационих система појавила се и потреба за градњом још већег броја конструкција типа антенских торњева и пратећих структура. На тај начин актуализирана су нека стручна питања из области прорачуна челичних конструкција и темеља у сфери нових тржишних односа који бизнис и трансакције стављају изнад струке, а профит не ретко усвајају као основно мерило за оцену квалитета, па тиме и одрживост решења³. Заједно са освртом на такво стање

¹ Извод из необјављених забелешки аутора *Прорачун темеља антенских торњева (2009), Практични поступак за брзо одређивање фреквенције слободних осцилација антенских стубова (2009)*

² KECO Invest Engineering GmbH i KG Int. Exp. Group, mirkopetkovic7@gmail.com, тел: 7 926 623 623 1

³ в. Петковић, М., "Прилог односу струке и бизниса у савременој грађевинарској пракси", GNP (2014).;

ствари у пракси пројектовања темеља антенских торњева у раду су презентирани једноставне и довољно тачне једначине, као и дијаграми за прорачун напона у тла, па тиме и одговарајућих слегања темеља ових и сличних конструкција⁴.

2. ОСНОВНЕ ЈЕДНАЧИНЕ ТЕОРИЈЕ ЕЛАСТИЧНОСТИ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ НАПОНА У ТЛУ И СЛЕГАЊА ТЕМЕЉА⁵

Класично претпостављено решење *Boussinesq-a* за вертикални напон у било којој тачки $M(x,y,z)$ идеално-еластичног, хомогеног, изотропног и бестежинског полу-бесконечног простора услед дејства вертикалне концентрисане силе P на његовој површини је облика (*Boussinesq, 1885*):

$$\sigma_z = \frac{3P}{2\pi} \cdot \frac{z^3}{(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} \quad (2.1)$$

Као што је познато коришћењем тог израза могуће је одредити и решења за σ_z напоне у карактеристичним тачкама правоугаоне савитљиве површи оптерећење вертикалним једнако подељеним оптерећењем на површини споменутог простора (*Schleicher-1926, Steinbrenner-1934, Newmark-1935* и др.).

Мање је познато да се сва та у пракси присутна приближна решења могу добити из *Короткин*-овог општег решења за вредност σ_z напона у било којој тачки површи (*Короткин, 1938*). Наиме, полазећи од елементарног делића $d\xi d\eta$ правоугаоне савитљиве површи димензија $2ax2b$ оптерећене једнако-подељеним вертикалним оптерећењем q на површини тог простора, користећи се при том решењем (2.1.) и вршећи двоструко интегралњење добија се:

$$\begin{aligned} \sigma_z &= \frac{3qz^2}{2\pi} \int_{-a}^{+a} \int_{-b}^{+b} \frac{d\xi d\eta}{[(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + z^2]^{5/2}} = \\ &= \frac{q}{2\pi} \left\{ \operatorname{arctg} \left(\frac{(x+\xi)(y+\eta)}{z\sqrt{(x+\xi)^2 + (y+\eta)^2 + z^2}} \right) \right. \\ &\quad \left. + \frac{z(x+\xi)(y+\eta)[(x+\xi)^2 + (y+\eta)^2 + 2z^2]}{[(x+\xi)^2 + z^2][(y+\eta)^2 + z^2]\sqrt{(x+\xi)^2 + (y+\eta)^2 + z^2}} \right\} \Big|_{-a}^{+a} \Big|_{-b}^{+b} \quad (2.2.) \end{aligned}$$

⁴ Све једначине су проверено тачне што представља врло редак случај - не само у уџбеницима и приручницима, већ такође и у радовима, као и често цитираним референцама из области механике тла.

⁵ Више о поставкама и решењима проблема свих врста померања у тлу у: Петковић, М., *Методологија одређивање контактних услова код лучних брана на бази решавања Boussinesq-овог проблема* (1982)

Тако на пример, сменом $x=0$, $y=0$, $z=z$ добија се σ_z у средишту површи $2ax2b$, а сменом $x=a$, $y=b$, $z=z$ и σ_z у темену површи првог квадранта тј., у тачки $A(a, b, z)$ ⁶,

$$\sigma_z^A = \frac{q}{2\pi} \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{4ab}{z\sqrt{4a^2 + 4b^2 + z^2}} \right) + \frac{4abz(4a^2 + 4b^2 + 2z^2)}{(4a^2 + z^2)(4b^2 + z^2)\sqrt{4a^2 + 4b^2 + z^2}} \right] \quad (2.3.)$$

путем кога и решење *Steinbrenner*-а са одговарајућим графицима за вертикалну деформацију тј., релативно слегање тачке A површи axb (*Steinbrenner, 1934*).⁷

$$s_z^A = \frac{q}{\pi E} (1 - \mu^2) \left[a \ln \frac{(b + \sqrt{a^2 + b^2})}{a(b + R)} \sqrt{a^2 + z^2} + b \ln \frac{(a + \sqrt{a^2 + b^2})}{b(a + R)} \sqrt{b^2 + z^2} \right] + \frac{q}{2\pi E} (1 - \mu - 2\mu^2) \cdot z \cdot \operatorname{arctg} \left(\frac{ab}{zR} \right), R = \sqrt{a^2 + b^2 + z^2} \quad (2.4.)$$

Преуређењем израза (2.3.) се добија и *Newmark*-ов аналитички облик приближног решења (*Newmark, 1935*) са *Fadum*-овим и другим дијаграмима (*Fadum, 1948*)⁸.

Такође мање је познато да се за одређивање σ_z напона поред класичног решења *Boussinesq*-а могу искористити и поставке и решење Математичке теорије еластичности за исто тело са правоугаоним једнако-подељеним оптерећењем (*Love, 1929*) путем кога, уз примену принципа линеарне суперпозиције, се добија:

$$\sigma_z^A = \frac{\sigma_z^S}{4} = \frac{q}{2\pi} \left[\frac{abz(a^2 + b^2 + 2z^2)}{(a^2 + z^2)(b^2 + z^2)\sqrt{a^2 + b^2 + z^2}} + \operatorname{arcsin} \left(\frac{ab}{\sqrt{a^2 + z^2} \cdot \sqrt{b^2 + z^2}} \right) \right] \quad (2.5.)$$

У случају да је једнако подељено оптерећење на површини полубесконечног простора кружног облика изналажење вредности вертикалних напрезања је у свему исти као и за случај правоугаоног једнако-подељеног оптерећења.

⁶ Због линеаризације односа у склопу равног стања напона је $\sigma_z^A = \sigma_z(a, b, z) = 1/4 \sigma_z^S = \sigma_z(0, 0, z)$

⁷ Истовремено уз услов $z \rightarrow \infty$, добија се и решење за апсолутно слегање тачке A у облику $\max s_z^A = \frac{q}{\pi z} (1 - \mu^2) \left[a \ln \frac{b + \sqrt{a^2 + b^2}}{a} + b \ln \frac{a + \sqrt{a^2 + b^2}}{b} \right]$ које у свему одговара *Schleicher*-овом решењу за апсолутно слегање средишне тачке правоугаоне површи $2ax2b$ оптерећене вертикалним једнако подељеним оптерећењем (*Schleicher, 1926*) $w_{(0,0)} = \frac{q}{\pi z} (1 - \mu^2) \left[a \ln \frac{b + \sqrt{a^2 + b^2}}{\sqrt{a^2 + b^2} - b} + b \ln \frac{a + \sqrt{a^2 + b^2}}{\sqrt{a^2 + b^2} - a} \right]$

⁸ У односу на *Steinbrenner*-ов аналитички и графички облик *Fadum*-ови дијаграми су код торњева и сличних конструкција практично неподесни. Разлог лежи пре свега у облицима и димензијама темеља.

Дакле, полазећи од елементарног делића кружне савитљиве површи полупречника $r=D/2$ оптерећене вертикалним једнако-подељеним оптерећењем q , користећи се поново претпостављеним решењем *Boussinesq*-а, при чему је $P=qrdrd\theta$, а $R=(r^2+b^2+z^2-2br\cos\theta)^{1/2}$, и вршећи двоструко интегралчење добија се израз за вредност σ_z напона у било којој тачки површине простора (*Egorov*, 1958),

$$\sigma_z = \frac{3qz^3}{2\pi} \int_0^a \int_0^{2\pi} \frac{rdrd\theta}{(r^2+b^2+z^2-2br\cos\theta)^{5/2}} = q \left\{ A - \frac{2m}{\pi\sqrt{4m^2+(1+t)^2}} \left[\frac{4m^2-1+t^2}{4m^2+(1-t)^2} E(k) + \frac{1-t}{1+t} \Pi_0(k, p) \right] \right\}$$

а преко њега и вредност σ_z напона у ободној тачки $A(r, z)$

$$\sigma_z^A = q \left(0.5 - \frac{mE(k)}{\pi\sqrt{m^2+1}} \right) \quad (2.6.)$$

односно, у средишту $S(0, z)$ кружне савитљиве површи (*Schleicher*, 1926)

$$\sigma_z^S = q \left(1 - \frac{8m^3}{(1+4m^2)^{3/2}} \right) \quad (2.7.)$$

где је $E(k)$ - елиптични интеграл друге врсте са модулом $k^2=1/(m^2+1)$, $m=z/D$.⁹

3. ПРОРАЧУНСКА ОПТЕРЕЋЕЊА И УТИЦАЈИ У ТЛУ

Статички прорачуни и контрола стабилности темеља антенских торњева и сличних конструкција (Слика 1.) се уобичајено врше за 2 од 10-ак изабраних случајева тј., 2 од 10-ак изабраних комбинација основног оптерећења:

1. стално оптерећење (вертикално оптерећење од тежине конструкције и опреме)
2. стално и повремено оптерећење (вертикално оптерећење од тежина конструкције и опреме заједно са вертикалним оптерећењем од тежине леда на конструкцији и опреми, као и хоризонталним оптерећењем од дејства ветра)

Због зависности прорачунских али и нормативних напона и деформација, као и параметара стабилности од димензија темеља, код антенских торњева, као и код многих других конструкција, геомеханички прорачуни су sukcesивно-итеративног карактера. Наиме, са претпостављеним димензијама, дубином фундарања и карактеристикама темеља, као и карактеристикама тла, у првом кругу се путем реактивних оптерећења од торња добијају полазни напони у темељној спојници путем којих се, после резултата геомеханичких истражних радова, изналазе дозвољена оптерећења (носивост тла) и релативна слегања темеља. У наредном

⁹ У ком циљу се користи и одговарајућа графичка интерпретација решења (*Foster u Ahlvin*, 1954)

кругу врши се коначна корекција димензија темеља, нормативне носивости и релативних слегања, као и прецизније контролише стабилност темеља¹⁰.



Слика 1. Неке међусобно сличне структуре изложене дејству V и H - оптерећења

Не улазећи у проблематику и метод прорачуна (или прецизније, изналажења или процене) реактивних оптерећења од торња¹¹, јасно је да се као резултат дејства сталног основног оптерећења на контактної спојници јавља само притисак тј., вертикално једнако подељено оптерећење (реда 50kN/m^2) које се даље користи за варијантни прорачун носивости тла, напона у тлу и одговарајућих слегања.

Оног тренутка када се конструкција изложи дејству леда и ветра долази не само до сразмерног увећања напона притиска на контактної спојници, већ и увећања и смањења тих истих напона у односу на тежиште пресека, при чему су резултујући максимални прорачунски напони на темељној спојници око $100\text{-}150\text{kN/m}^2$, док минимални око $10\text{-}20\text{kN/m}^2$, са могућношћу појаве затезања истога реда.¹²

¹⁰ Иако овако генерално дефинисан проблем суштински не одудара од било ког прорачуна грађевинских конструкција, у пракси се приликом конкретизације и даље разраде могу десити и толерисати такве аномалије које последично доводе до нарушења инжењерски и нормативно исправних поставки и решења тог проблема.. Свему томе треба додати и стручне ревизије, пре свега у сфери бизниса и трансакција тј., одговарајућих *network* мрежа, које се за те потребе врше не ретко од стране недовољно искусних инжењера и школараца са врло скромним практичним знањем и референцама.

¹¹ Проблем своје врсте, поготову у *Staad*-у, *Tower*-у и сличним програмима, је примена са недовољно осећаја за интеракцију тла и конструкције, тако дискутабилног параметра као што је то модуо реакције тла тј., коефицијенат постељнице – као основна карактеристика *Fuss-Winkler*-овог модела. Нешто мањи проблем је коришћење у оквиру једног истог прорачуна поступака који се базирају на међусобно различитим крутостима једне те исте конструкције. При томе се, због ограничења која резултирају из поставки изабраних на самом почетку рада, свесно занемарују неки други много значајнији проблеми.

¹² За разлику од дејства леда чије се оптерећење у целом свом износу преноси на контактну спојницу пропорционално увећавајући прорачунско вертикално једнако подељено оптерећење, дејство ветра, без обзира у ком поједностављеном облику да је приказано, се због амортизујућих механизма проистеклог рада практично никада у целом свом износу не преноси на ту спојницу.

Другим речима, без обзира на стварну расподелу и величину контактнoг оптерећења, положај резултанте реактивног оптерећења¹³, условне крутости темеља, усвојени поступак трансформисања напона затезања, интеракциона дејства, коришћени поступак за прорачун носивости тла и др., резултујуће вертикално прорачунско оптерећење на темељној спојници је увек трапезоидног или троугаоног облика. Оно представља суперпозицију утицаја од претежно централног дејства тежине конструкције, опреме и леда (једнако подељено оптерећење) и ексцентричног дејства силе ветра (условно симетрично троугаоно оптерећење), нормативно умањену за притисак тла изнад темељне спојнице.

Као и оно од сталног оптерећења, тако се и ово даље користи као *input* за процену носивости тла, напона и одговарајућих слегања, при чему су, у карактеристичним тачкама, слегања од суперпонираних утицаја меродавна за димензионисање.

У складу са тим, без дубљег улажења у проблематику стабилности темеља и тзв. "претурања"¹⁴, као и проблематику појединих нормативно допуштених апсолутних и релативних величина, одређивање напона у тлу испод карактеристичних тачака темеља представља срж прорачуна у Теоријској механици тла тј., рачунске процене величине слегања путем коришћења поставки и закономерности Теорије еластичности. Тим више што величине утицаја и искоришћеност материјала, на супрот многим расправама и свеобухватнијим математичко-физичким моделима, још увек оправдавају њену практичну примену¹⁵, а такође и коришћење појединих интуитивно-искуствених поштапалица.

У наставку текста се наводе решења за обе изабране комбинације оптерећења.

4. ЈЕДНАЧИНЕ ТЕОРИЈЕ ЕЛАСТИЧНОСТИ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ НАПОНА У ТЛУ ИСПОД ТЕМЕЉА АНТЕНСКИХ ТОРЊЕВА

У случају разматрања утицаја само вертикалног оптерећења (стално оптерећење или изабрана комбинација сталног и повремениг вертикалног оптерећења) за практично одређивање напона у тлу у случају темеља квадратног облика као основа се могу искористити напред дато решење (2.5.). Усвајајући $a=b$ и вршећи неопходне операције добија се:

$$\sigma_z^A = k_c \cdot \frac{q_0}{2\pi} \left[\frac{2m}{(1+m^2)\sqrt{2+m^2}} + \arcsin \frac{1}{1+m^2} \right] = k_c \cdot \frac{q_0}{2\pi} \cdot I_{z,c}^A, \quad (4.1)$$

¹³ Важно не само са аспекта класичног приступа проблему процене носивости плитких темеља, већ и разних методологија и норматива за контролу њихове стабилности (в. нпр. *DIN 1054: Baugrund – Sicherheitshenachweise im Erd- und Grundbau - Grenzstand 1*, који је пуно инжењерски садржајнији од *Eurocode 7*, као и од скраћене верзије из 2007.

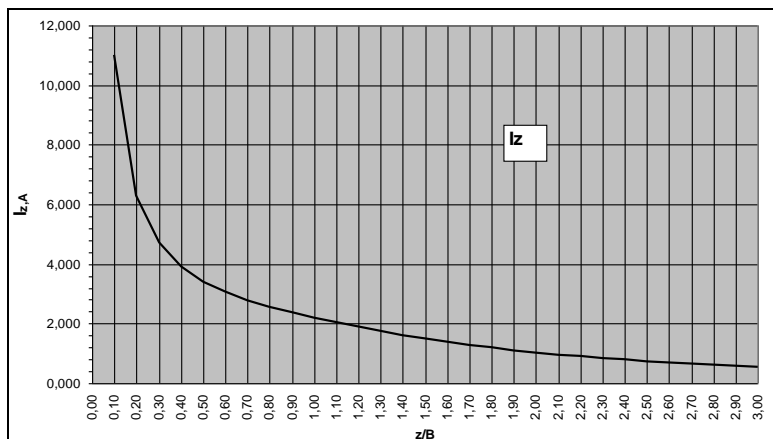
¹⁴ Тај појам и одговарајући рачунски поступак онако како се он примењује у пројектантским бироима појединих компанија приликом израде пројеката антенских торњева, је подложен преиспитивањима, обзиром да управо он доводи до предимензионисања темеља конструкција (у пракси слом по правилу настаје у делу изнад темеља). Слично важи и за пројекте челичних конструкција у којима исти појам, као и појам дозвољена обртања, стабилност конструкције, потребне висине-коте антена, врста материјала, величине рупа у носачима и разни на изглед врло чудни параметри директно "пумпају пројекат" тј., одређују и оправдају употребу непотребно великих пресека и скуких ино-материјала.

¹⁵ Додатни разлог томе су и улазне величине, понекад чак и излазне, на које се не ретко неадекватна пажња поклања, иако исте најдиректније одређују практичну одрживост добијеног решења.

$$\sigma_z^S = k_c \cdot \frac{2q_0}{\pi} \cdot I_{z,c}^A, \quad m = \frac{z}{b} \quad (4.2)$$

где је:

- q_0 – резултујуће прорачунско оптерећење (*netto* или ефективно)
- k_c – корекциони фактор (за најједноставнији случај $k_c = K_c = 1.0$)
- $I_{z,c}$ – утицајни коефицијент за вертикалне напоне у тачки А (Слика 2.).



Слика 2. Дијаграм $I_{z,c}^A$ коефицијента – једначине (4.1) и (4.2)

Слично томе, уколико се ради о темељу кружног облика, за одређивање σ_z - напона испод ободне контуре се може искористити једначина (2.6) у складу са којом је:

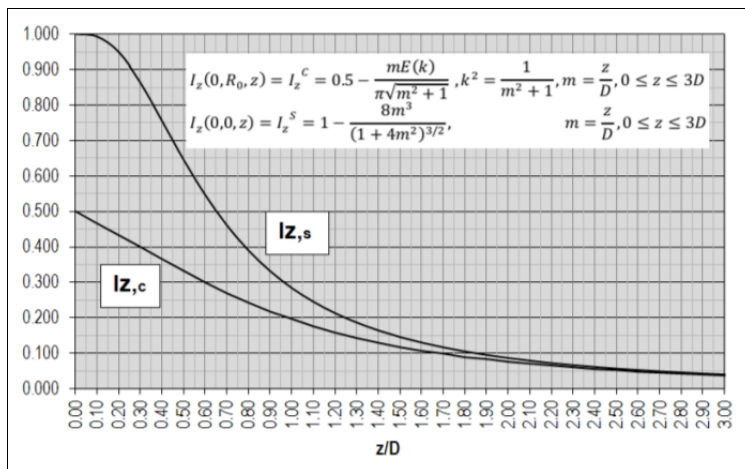
$$\sigma_z^A = k_c \cdot q_0 \left(0.5 - \frac{mE(k)}{\pi\sqrt{m^2 + 1}} \right) = k_c \cdot q_0 \cdot I_{z,c}^A, \quad m = \frac{z}{D} \quad (4.3)$$

односно, једначина (2.7) за одређивање истог напона испод средишта темеља

$$\sigma_z^S = k_c \cdot q_0 \left(1 - \frac{8m^3}{(1 + 4m^2)^{\frac{3}{2}}} \right) = k_c \cdot q_0 \left(1 - \frac{n^3}{(1 + n^2)^{\frac{3}{2}}} \right) = k_c \cdot q_0 \cdot I_{z,c}^S \quad (4.4)$$

где је:

- k_c – корекциони фактор (за најједноставнији случај $k_c = K_c = 1.0$)
- $I_{z,c}^A, I_{z,c}^S$ – утицајни коефицијенти за σ_z напоне у тачки А и S (Слика 3.)



Слика 3. Дијаграм $I_{z,c}^A$ и $I_{z,c}^S$ коефицијената – једначине (4.3) и (4.4)

У случају разматрања комбинованог утицаја сталног и повременог оптерећења за изналажење вертикалних напона у тлу се могу такође искористити једначине (4.1) и (4.2) односно, (4.3) и (4.4), водећи при том рачуна да се ради о приближно трапезном или троугаоном, а не једнако подељеном оптерећењу темељне спојнице, меродавним за даље прорачуне¹⁶.

То значи да је практична примена споменутих решења и образаца за вертикално једнако подељено оптерећење за решавање проблема са вертикалним троугаоним оптерећењем могућа само путем свођења троугаоног оптерећења на једнако подељено оптерећење тј., путем нумеричке интеграције изведених једначина. Међутим таква једна процедура са дискретизацијом конструкције и оптерећења је повезана са превеликим бројем срачунавања утицајних коефицијената, што је без коришћења готових програма у инжењерској пракси тешко прихватљиво¹⁷

¹⁶ На супрот томе у стотине до сада урађених геотехничких елабората за потребе KONSING-а, са прорачунима носивости тла и слегања и исто толико пројеката темеља торњева урађених од стране KONSING-а за потребе VIP-а, Telekom-а и других корисника ретко постоји онај који на инжењерски исправан начин третира ту проблематику. Изузимајући пословне разлоге у сфери бизниса и трансакција одговарајућих затворених network-а основни разлог такве појаве у Србији је нешто што је у пракси присутно, а у делу свету незамисливо, а то је да се код нас још увек геолози, а не пројектанти конструкција и специјализовани грађевински инжењери баве геомеханичким прорачунима. Посебно је трагично у појединим бироима за пројектовање где и поред тзв. спољних сарадника не постоји потребан ниво знања и воље да би се успоставила стручна сарадња између пројектаната и геолога или, уколико постоји, онда се користе разне интерно нормативне мере како се не би одржао или унапредило тај неопходни ниво инжењерске сарадње (стање ствари 2010. на бази најнепосреднијег искуства аутора)

¹⁷ Уколико са n означимо број еквидистантних појасева површи оптерећене троугаоним оптерећењем, а са m – број карактеристичних пресека, онда ће укупан број утицајних коефицијената за прорачун напона испод тачака А и С, на пример квадратног темеља димензија 5.0x5.0m (веће димензије од 5.0x5.0m су код антених торњева подложне преиспитивањима!), бити: $r = [(n-1)x2+1]x2 = [(5-1)x2+1]x2 = 18$, што практично значи 20-пута више прорачунског времена за сваку карактеристичну дубину у тлу у односу на потребно време за случај вертикалног, једнако подељеног оптерећења. Иако се тај проблем на први поглед превазилази применом или израдом одговарајућих програма ипак у није

На другој страни инжењерски некритично коришћење постојећих једначина из Механике тла за трапезно тј., троугаоно оптерећење носи са собом одређени ризик. Тај ризик резултира не само из некад практично неприхватљивих апроксимација, већ и могућих грешака у препорученим изразима и њиховој примени за решавање проблема темеља торњева.

У наставку текста наводе се изабране и контролисане једначине које оба наведена проблема елиминису, са одговарајућим дијаграмима за прорачун вертикалних напона у односу на дубину z испод карактеристичних тачака темељне спојнице оптерећене троугаоним оптерећењем.

Као полазна основа су послужиле једначина *Love*-а и модификоване једначине *Vitone*-а и *Valsangkar*-а изведене на бази разматрања *Boussinesq*-овог проблема (*Vitone* и *Valsangkar*, 1986)¹⁸, а које за случај тачке M на дубини z испод карактеристичних тачака A и C квадратних и кружних темеља оптерећених троугаоним вертикалним оптерећењем ($q^A=0$, $q^C=q_0$), увођења корекционог фактора и после одговарајућих трансформација добијају облик:

$$\sigma_{z,\varepsilon}^A = k_\varepsilon \cdot \frac{q_0}{2\pi} \cdot \frac{m}{\sqrt{1+m^2}} \left(1 - \frac{m^2}{\sqrt{(1+m^2)(2+m^2)}} \right) = k_\varepsilon \cdot \frac{q_0}{2\pi} \cdot I_{z,\varepsilon}^A \geq \sigma_{z,\min} \quad (4.5)$$

$$\sigma_{z,\varepsilon}^C = k_\varepsilon \cdot \frac{q_0}{2\pi} \left[\frac{m}{\sqrt{1+m^2}} \left(\sqrt{\frac{2+m^2}{1+m^2}} - 1 \right) + \arcsin \frac{1}{1+m^2} \right] = k_\varepsilon \cdot \frac{q_0}{2\pi} \cdot I_{z,\varepsilon}^C \leq \sigma_{z,\max} \quad (4.6)$$

где је:

b – ефективна ширина темеља

z – релативна дубина

q_0 – резултујуће прорачунско оптерећење (*netto* или ефективно)

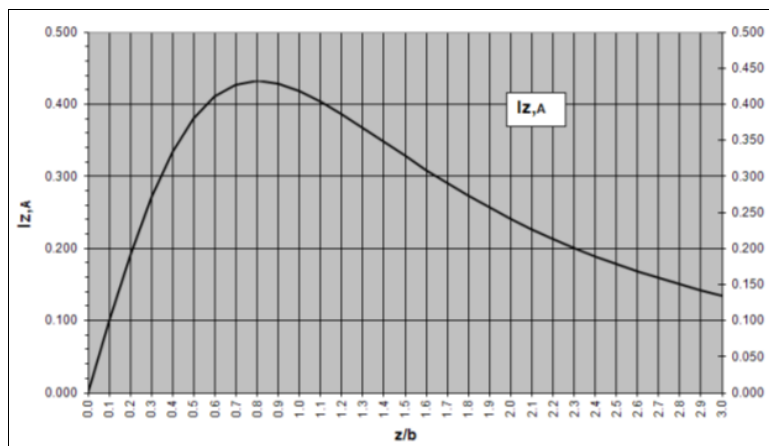
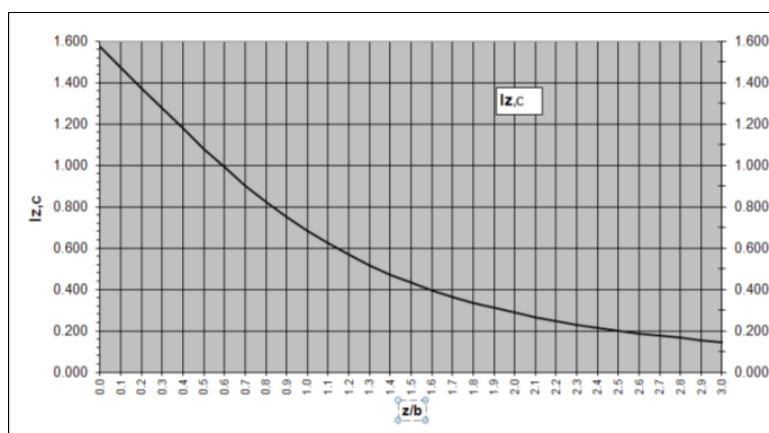
k_c – корекциони фактор (за најједноставнији случај $k_c = K_c = 1.0$)

$I_{z,\varepsilon}^A$ – утицајни коефицијент за напоне у тлу испод тачке A (Слика 4.)

$I_{z,\varepsilon}^C$ – утицајни коефицијент за напоне у тлу испод тачке C (Слика 5.)

редак случај да се од стране врхунских практичара радије користе класични инжењерски поступци са одговарајућим табелама и графиконима као поштапалицама уместо готових пакета.

¹⁸ Као што је аутор још 2009. експлицитно показао у овом раду *Vitone* и *Valsangkar*-а, као и напред споменутом раду не само *Newmark*-а већ и других, се заправо не ради о било којим новим једначинама већ једноставно о само преуређеним постојећим једначинама Теорије еластичности и немачке школе механике тла (*Schleicher, Fröhlich, Steinbrenner, Kögler, Scheidig, Jäger, Terzaghi, Jelinek* и др.). Чак више, и поред силних дискретизационих модела и пројекционо-варијационих метода и техника, стиче се утисак да мимо те школе мало шта је у свету значајније и фундаменталније дато из механике тла. Тако на пример, користећи се *Boussinesq*-овим решењем, уз услов $\sigma_{z,\varepsilon}^C = \sigma_{z,\max}$ $k_c = K_c = 1.0$ из једначине (4.6) добија се једначина *Jelinek*-а за тачку C (*Jelinek, 1960*), $\sigma_{z,\varepsilon}^C = \frac{q_0}{2\pi} \left[\arctg \frac{1}{m\sqrt{1+m^2}} + \frac{m(\sqrt{1+m^2}-\sqrt{1+m^2})}{1+m^2} \right]$, а уз исти услов и одговарајућа једначина *Vitone* и *Valsangkar*-а. Такође, као што је аутор показао (*Петковић, 2009*) за одређивање напона испод квадратног или кружног темеља торњева оптерећеног троугаоним вертикалним оптерећењем у пракси се може искористити и процедура из *footnote*-а 18 са провлачењем одговарајућих интерполационих и *spline*-функција.

Слика 4. Дијаграм $I_{z,e}^A$ коефицијента – једначина (4.5)Слика 5. Дијаграм $I_{z,e}^C$ коефицијента - једначина (4.6)

5. УМЕСТО ЗАКЉУЧКА

На тај начин рачунске процене вредности напона и слегања тла централно и ексцентрично оптерећених темеља, које се, у зависности од врсте тла, у пракси добијају коришћењем и знатно већих вредности реактивних оптерећења од условно стварних, се могу једноставније довести у стручно прихватљивије оквире. Тим више што су коректнија примена Теорије еластичности и изведених једначина, као и прецизност рада у одређивању прорачунских параметара додатно подржани стварним величинама оптерећења и степеном искоришћења материјала, На страну то што се у геомеханичким извештајима не ретко усвајају максималне вредности коефицијента сигурности, које, не само што понекад скривају скромне

надокнаде стручних извршилаца, већ крију и читаву лепезу могућих погрешки и алќавост у раду – како у истражним радовима тако и у каснијим прорачунима. Иако се на тај начин пројектантски рад поједностављује и своди на *copy-paste* рутину тиме се губи не само страх од погрешки, који и те како практично помаже, већ и потреба за проициљивошћу и креативношћу. Другим речима, губи се потреба за високостручним кадровима у многим данашњим пословима и *network-*групацијама тј., у више него икад затворених и централизованих група. Нешто слично важи и за данас популарне конструкције врло високих торњева и облакодера са пуно стручних изазова али и шарених лажи и то утолико више уколико су скупљи пројекти односно, веће трансакције. У свему томе нису изузетак ни ветрењаче, не само по питању темеља већ и погонских делова, где се из мање-више истих разлога недовољно стручне пажње поклања стварним и коначним показатељима, па тиме и оправданости изградње тих структура под датим условима.

COMMENT TO ECCENTRIC LOADED FOUNDATION ANALYSIS OF STEEL TOWER – PART 1

Summary: By the rapid development of telecommunication systems, came the need to build as many types of steel towers and supporting structures. In this way some professional questions in designing of steel structures and eccentric loaded foundations are actualized in the field of new market requirements, which place business and profits above the legal professionalism and quality of solutions.

In the paper is considered one part of these problems, observed from the closely-professional point of view, which is related to the estimation of stresses in soil and settlement under the centric and eccentric loaded foundation of steel towers

Keywords: Steel tower, shallow foundations, bearing capacity, settlement, good praxis