
SAVEZ GRAĐEVINSKIH INŽENJERA SRBIJE

DRUŠTVO ZA ZEMLJOTRESNO INŽENJERSTVO SRBIJE
I
SRPSKO DRUŠTVO ZA MEHANIKU TLA I GEOTEHNIČKO
INŽENJERSTVO

U SARADNJI SA INŽENJERSKOM KOMOROM SRBIJE

ZBORNIK RADOVA

MEĐUNARODNO NAUČNO-STRUČNOG SAVETOVANJA

ZEMLJOTRESNO INŽENJERSTVO
I
GEOTEHNIČKI ASPEKTI GRAĐEVINARSTVA

Editor: Prof. emeritus dr Radomir Folić

Vrnjačka Banja, 03. - 05. novembar 2021.

Samardaković, S., Samardaković, M. (2021): Dijagrami za dimenzionisanje plitkih temelja EC7 projektnim pristupom, Zbornik radova međunarodnog naučno-stručnog savetovanja „Zemljotresno inženjerstvo i geotehnički aspekti građevinarstva“, SGIS i dr., Vrnjačka Banja, str.432-439.

Originalni naučni rad
UDK: 624.151.5.04

432

ДИЈАГРАМИ ЗА ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ ТЕМЕЉА ЕС7 ПРОЈЕКТНИМ ПРИСТУПОМ

Слободан Самардаковић*, Мирољуб Самардаковић*

* GeoSol ДОО за грађевинску геотехнику, Б.Крсмановића 29/4 18105 Ниш,
geosolnis@yahoo.com

РЕЗИМЕ

Према националном Правилнику за грађевинске конструкције (2019) престала је важност деценијама примењиваног Правилника (1990) а темеље треба димензионисати према ЕС7 SRPS EN 1997-1:2017 и националном анексу SRPS EN 1997-1/NA:2020. Димензионисање плитких темеља аналитичким методом врши се за ULS STR/GEO пројектним приступом DA3, применом комбинације 1 парцијалних фактора за неповољно дејство оптерећења. За изабрани пројектни приступ, уместо појединачних резултата комерцијалних софтвера, решењем *GeoData2* добијају се дијаграми за димензионисање плитких темеља при ULS (DU=1) или за проверу степена искоришћења (DU) граничног отпора датог тла на одабраној дубини – којима конструктор објекта може да димензионише темеље за накнадно добијене утицаје, користећи дијаграме из геотехничког елабората без примене геотехничког софтвера.

КЉУЧНЕ РЕЧИ: EN 1997-1, SRPS EN 1997-1/NA:2020, DA3, плитки темељи, DU

DIAGRAMS FOR DIMENSIONING FOUNDATIONS WITH EC7 DESIGN APPROACH

ABSTRACT

According to the national Rulebook for Building Structures (2019), the decades-applied Rulebook (1990) has ceased to be valid and the foundations should be dimensioned according to the EC7 SRPS EN 1997-1:2017 and the national annex SRPS EN 1997-1/NA:2020. Dimensioning of shallow foundations by analytical method for ULS STR/GEO is performed by the DA3 design approach, using a combination of 1 partial factors for destabilizing load action. For selected design approach, instead of individual results of commercial software, the *GeoData2* solution provides diagrams for dimensioning shallow foundations at ULS (DU = 1) or for checking the degree of utilization (DU) of the limit resistance of a given soil at a selected depth – by which the constructor of the object can dimension the foundations for the subsequently obtained influences, using diagrams from the geotechnical study without the application of geotechnical software.

KEY WORDS: EN 1997-1, SRPS EN 1997-1/NA:2020, DA3, shallow foundations, DU

УВОД

Ступањем на снагу националног *Правилника за грађевинске конструкције* (2019) престала је важност деценијама примењиваног *Правилника о техничким нормативима за темељење грађевинских објеката* (1990) а геотехнички елаборати и геотехнички делови пројекта конструкције раде се у складу са европским стандардима EC7 и EC8, применом недавно објављених стандарда за геотехничко пројектовање *SRPS EN 1997-1:2017* (Еврокод 7 - Геотехничко пројектовање - Део 1: Општа правила) и *SRPS EN 1997-1/NA:2020* (Еврокод 7 - Геотехничко пројектовање - Део 1: Општа правила - Национални прилог).

Према њима, плитки темељи димензионишу се за *гранично стање носивости* (ULS), на основу *носивог отпора* тла који се одређује *аналитички*, *полумемпиријски* или *искуствено*, и за *гранично стање употребљивости* (SLS), на основу *деформација* темељног тла које се одређују *директно* (прорачунима слегања) или се процењују *индиректно* (као довољно мале ако је и мобилизација носивости довољно мала, искуствено при 'глобалном' фактору сигурности у погледу лома тла већим од 2,5-3).

Најчешће примењиван, аналитички EC 7 метод усклађен је са методима прорачуна конструкције од 'једноставнијих' материјала (бетон и др.) а избором прописаних варијанти *парцијалних фактора* (сигурности) у димензионисање темеља уводе се одговарајуће вредности дејстава и њихових (повољних или неповољних) утицаја, параметара тла и носећег отпора темељног тла, реалније него по Правилнику(1990). Упоредбе 9 аријанти (3.1-3.3) аналитичких *пројектних приступа* (DA 1,2,3) показује да се варијантом 3.1 пројектног приступа DA 3, за плитке темеље прописаног српским стандардом *SRPS EN 1997-1/NA:2020*, добијају највеће (мање економичне али сигурније) ULS димензије плитких темеља (Самардаковић,2021).

У геотехничкој пракси, најчешће, за архитектонско идејно решење (ИДР) темељења ради се елаборат о геотехничким условима изградње у коме се за одабрану погодну дубину темеља у датом тлу и за ИДР димензије срачунају (једна) носивост и слегање за једно (процењено) оптерећење и њихове вредности се, најчешће, оцењују задовољавајућим без обзира на рационалност и величину одступања од граничних дозвољених вредности, а конструктор објекта нема могућност геотехничке анализе са новодобијеним пројектним оптерећењем – како ће се вероватно наставити и применом савремених комерцијалних софтвера са аналитичким EC 7 методом.

У раду је приказана израда и примена *дијаграма за димензионисање плитких темеља* изабраним аналитичким EC 7 пројектним приступом – са *примерима* димензионисања стопе за гранично стање носивости (ULS, степен искоришћења $DU = 1$), провере степена искоришћења носивости (DU) и индиректног SLS димензионисања за довољно мало слегање (када је класични 'глобални' фактор сигурности 3, при $DU_{ULS} = 1/3$ за јединичне вредности свих парцијалних фактора) – које за дату дубину у датом тлу конструктор може применити за било које оптерећење добијено у току прорачуна конструкције, без геотехничког софтвера и/или допуне елабората, како следи.

ИЗРАДА И ПРИМЕНА ДИЈАГРАМА ЗА ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ ТЕМЕЉА

Дијаграми за димензионисање плитких темеља за *било које оптерећење* на *датој* дубини у *датом* тлу, према *Правилнику*(1990), годинама су успешно примењивани у геотехничким елаборатима коришћењем ауторовог софтвера *GeoData2*, са примером примене дијаграма (Слика 2) за новопроектована или претпостављена дејства ексцентричног оптерећења типичног темеља и тла (нпр. као на Слици 1).



Слика 1. Одређивање дејстава на тло, примењених у примерима на Сликама 2-6

Figure 1. Determination of ground load, applied in the examples in Figures 2-6

За примену аналитичких EC7 пројектних приступа дијаграми се добијају слично, варирањем ефективне пројектне ширине (B'_d) и облика (B'_d/L'_d) стопе у очекиваним распонима, у којима се за гранично стање ULS STR/GEO пројектни отпор (R_{vd}) према Анексу Д у SRPS EN 1997-1:2017 мења континуално – без неприродног прелома криве за ширину једнаку дубини темеља према Правилнику(1990) (Слика 2 и нпр. Слика 3).

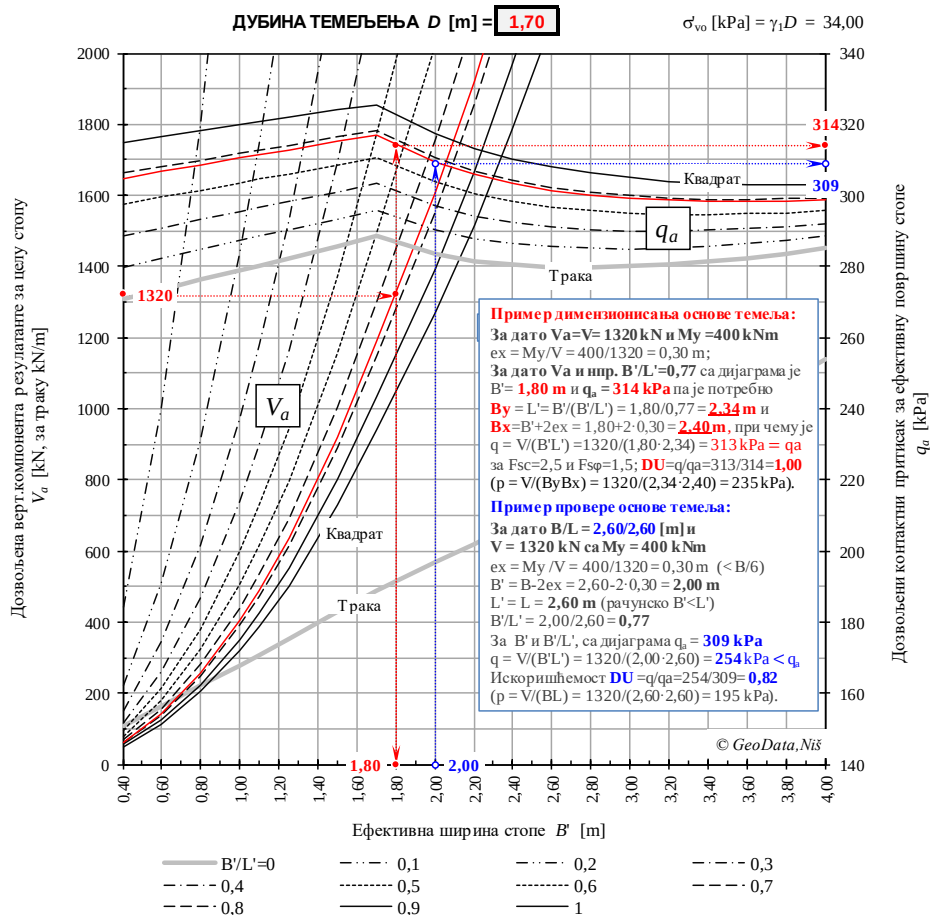
Дијаграми (Слике 3-6) се креирају за напред наведене граничне дренаране услове, за табеларно унету дубину темељења, карактеристичне ефективне параметре тла поред и испод темеља и парцијалне факторе за одабрани пројектни приступ (нпр. Табела 1 за приступ DA 3.1, у складу са SRPS EN 1997-1/NA:2020) а према решењу тестираном рачунским примерима водећих аутора EC7 (Frank et al.,2004, ***,2006, Bond et al.,2013).

Тако, *Слика 3* представља дијаграм за неведене услове темељења (као у Табели 1) са примером одређивања потребне физичке *ширине квадратне стопе* за *степен искоришћења* $DU = 1$ ULS граничног отпора у директној зависности од одабраног карактеристичног ексцентричног оптерећења тла (као на Слици 1).

(Програмски систем GeoData2, у складу са Правилником [Сл.лист СФРЈ бр.15/1990] и др.)

V [kN] *	k_{ϕ} [1]	0	γ_1 [kN/m ³]	20,00	F_{sc} [1]	2,50	N_q [1]	3,97
H_B [kN]	H_L [kN]		γ_2 [kN/m ³]	10,10	F_{sn} [1]	1,50	N_v [1]	2,68
M_B [kNm]	M_L [kNm]		c [kPa]	16	c_m [kPa]	6,40	N_c [1]	11,02
$\max H_B/V$	0,000	$\max H_L/V$	0,000	φ [°]	22	φ_m [°]	15,07	Дуб. НПВ 1,70 m
$e_B = M_B/V$		$e_L = M_L/V$		$(Z/B)_{\min}$	0,63	Физичка основа стопе		$A = B \times L$
$B' = B - 2e_B$		$L' = L - 2e_L$		$(Z/B)_{\max}$	1,68	Ефективна основа стопе		$A' = B' \times L'$

* За траку ($B'/L'=0$) је V, H [kN/m], M [kNm/m], по дужном метру траке.



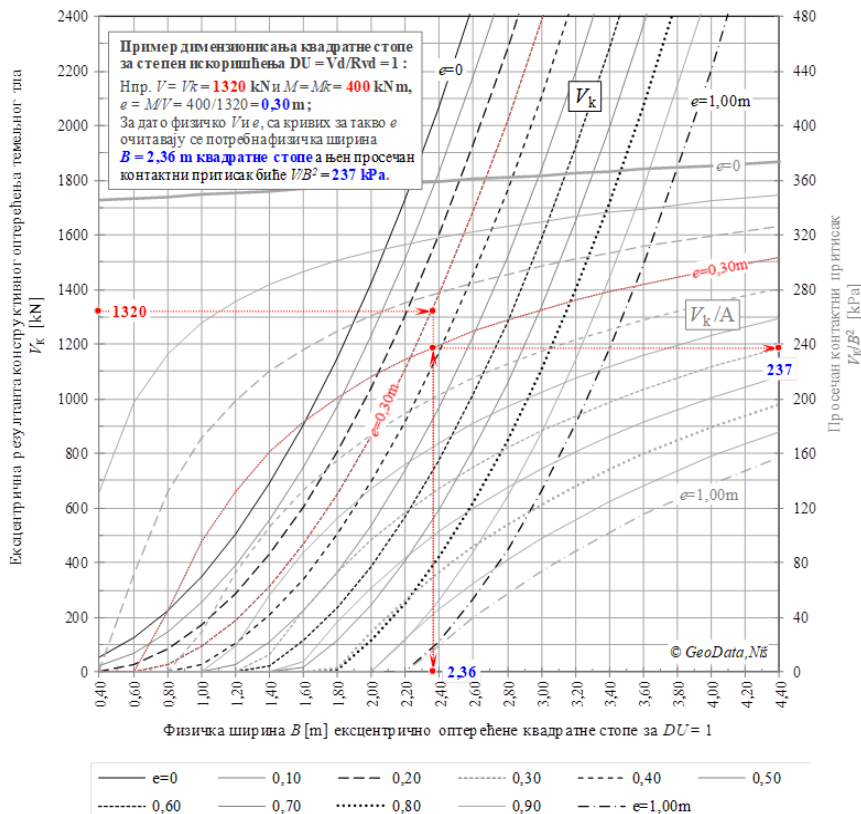
Слика 2. Дијаграм носивости тла према Правилнику(1990) са примерима примене
 Figure 2. Bearing capacity diagram according to the Rulebook(1990) with examples of application

Слика 4 представља дијаграм за неведене услове темељења (као у Табели 1) са примером одређивања потребних физичких димензија правоугаоне стопе за степен искоришћења $DU = 1$ ULS граничног отпора датом ексцентричном оптерећењу тла (као на Слици 1), за претпостављени (или жељени) облик B'/L' .

Табела 1. Дубина темељења, показатељи тла и парцијални фактори за одабрани приступ
Table 1. Foundation depth, soil parameters and partial factors for the selected EC7 approach

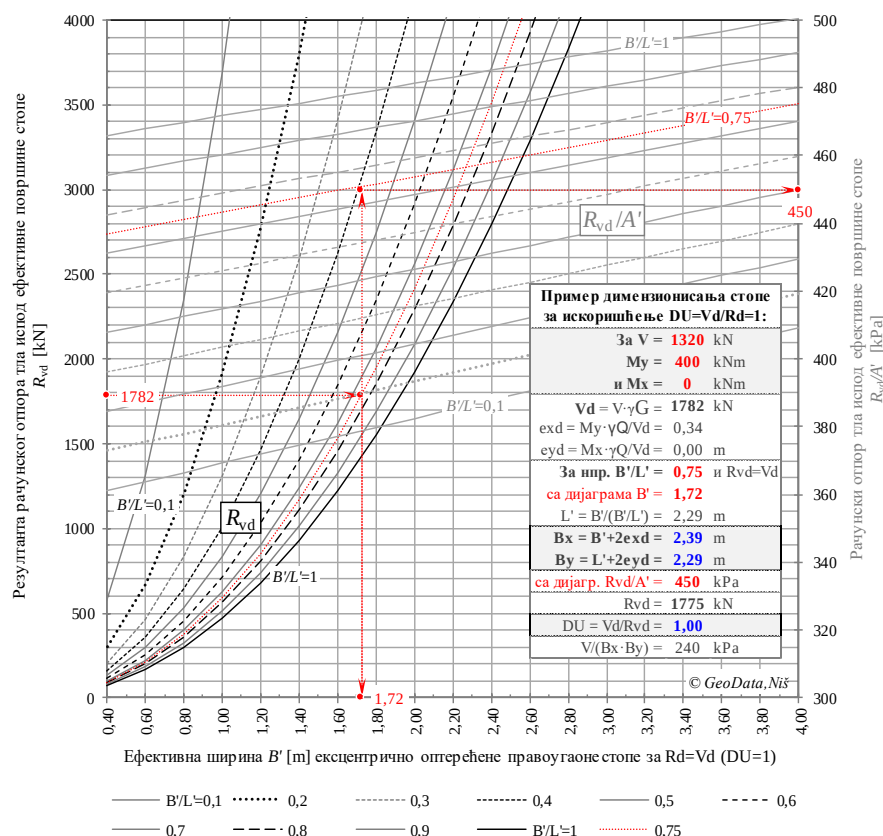
Пројектни приступ: ППЗ (DA3)		Физичка основа стопе: КВАДРАТ В/В		
Комб.1, неповољно V	$H = 0$	$A = B \cdot B$	D [m] = 1,70	
A1	$\gamma G = 1,35$	$V_k = V$	$V_d = V \cdot \gamma G$	$\gamma_{\text{def}} [\text{kN/m}^3] = \mathbf{20,0}$
	$\gamma Q = 1,5$	$M_k = M$	$M_d = M \cdot \gamma Q$	$\gamma_{\text{def}} D [\text{kPa}] = 34,00$
M2	$\gamma \varphi = 1,25$	$\varphi [^\circ] = \mathbf{22}$	$\varphi_d [^\circ] = 17,91$	$N_c = 13,03$
	$\gamma c = 1,25$	$c [\text{kPa}] = \mathbf{16}$	$c_d [\text{kPa}] = 12,80$	$N_q = 5,21$
	$\gamma_{\text{gamma}} = 1$	$\gamma_{\text{ef}} [\text{kN/m}^3] = \mathbf{10,1}$	$\gamma_{2\phi} [\text{kN/m}^3] = 10,10$	$N_{\gamma} = 2,72$
R3	$\gamma R_v = 1$	$e = MV$	$e_d = M_d V_d$	$L' = B'$
	$\gamma R_h = 1$	$B_k' = B - 2e$	$B' = B_d' = B - 2e_d$	$A' = B' \cdot L'$

ПОТРЕБНА КВАДРАТНА ОСНОВА ТЕМЕЉА ЗА СТЕПЕН ИСКОРИШЋЕЊА НОСИВОСТИ $DU = V_d/R_v d = 1$



Слика 3. Потребне димензије квадратне стопе за $DU=1$ у зависности од V_k и e_k
Figure 3. Required dimensions of the square foot for $DU = 1$ depending on V_k and e_k

ПОТРЕБНА ПРАВОУГАОНА ОСНОВА ТЕМЕЉА ЗА СТЕПЕН ИСКОРИШЋЕЊА НОСИВОСТИ $DU = V_d/R_{vd} = 1$

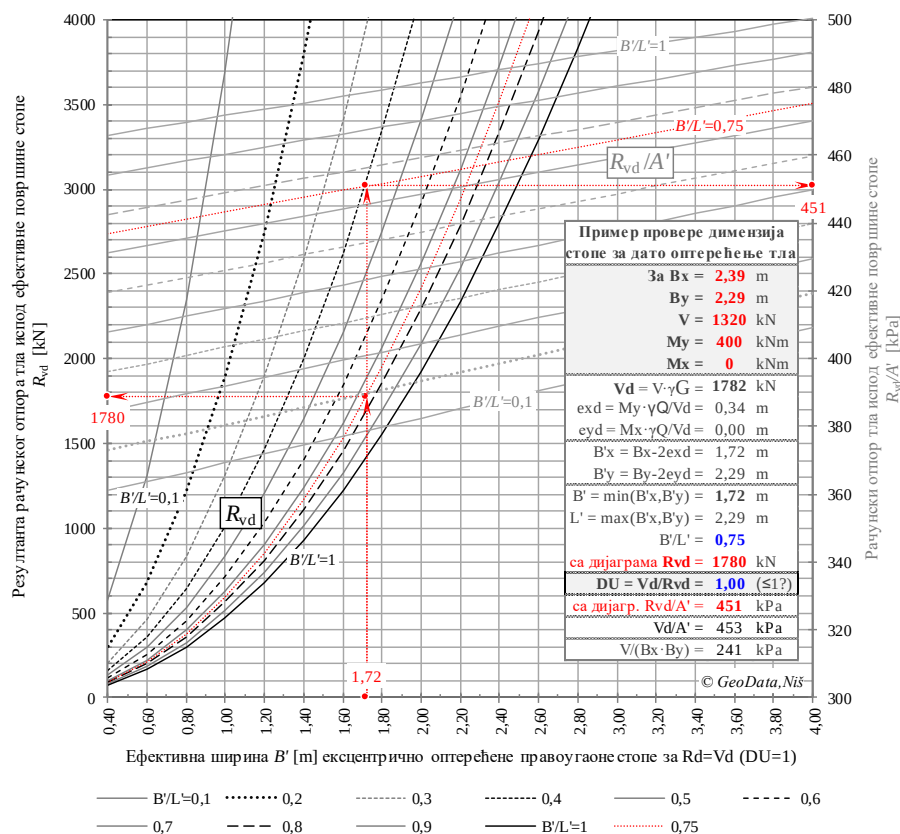


Слика 4. Потребне димензије правоугаоне стопе при $DU = 1$ за дато оптерећење и B'/L'
 Figure 4. Required dimensions of a rectangular foot at $DU = 1$ for a given load and B'/L'

Слика 5 представља дијаграм за неведене услове темељења (као у Табели 1) са примером провере степена искоришћења $DU = V_d/R_{vd}$ ULS граничног отпора тла испод правоугаоног темеља датих димензија и датог ексцентричног оптерећења (као на Слици 1).

Слика 6 представља дијаграм за неведене услове темељења (као у Табели 1) са примером одређивања потребних физичких димензија правоугаоне стопе за 'глобални' степен искоришћења $DU = 1/3 = 0,33$ ULS граничног отпора датом ексцентричном оптерећењу тла (као на Слици 1), за претпостављени (или жељени) облик B'/L' али за пројектни приступ са јединичним вредностима свих парцијалних фактора, када се према чл. 2.4.8(4) и 6.6.2(16) EN 1997-1:2004 може очекивати да ће слегање темеља бити довољно мало – што представља индиректни SLS метод димензионисања темеља (Frank et al., 2004, ***, 2006).

СТЕПЕН ИСКОРИШЋЕЊА НОСИВОСТИ $DU = V_d/R_{vd}$ ИСПОД ТЕМЕЉА ДАТИХ ДИМЕНЗИЈА И ОПТЕРЕЋЕЊА



Слика 5. Провера $DU = V_d/R_{vd}$ тла за правоугаони темељ датих димензија и оптерећења
 Figure 5. Check $DU = V_d / R_{vd}$ for a rectangular foundation of given dimensions and loads

ЗАКЉУЧАК

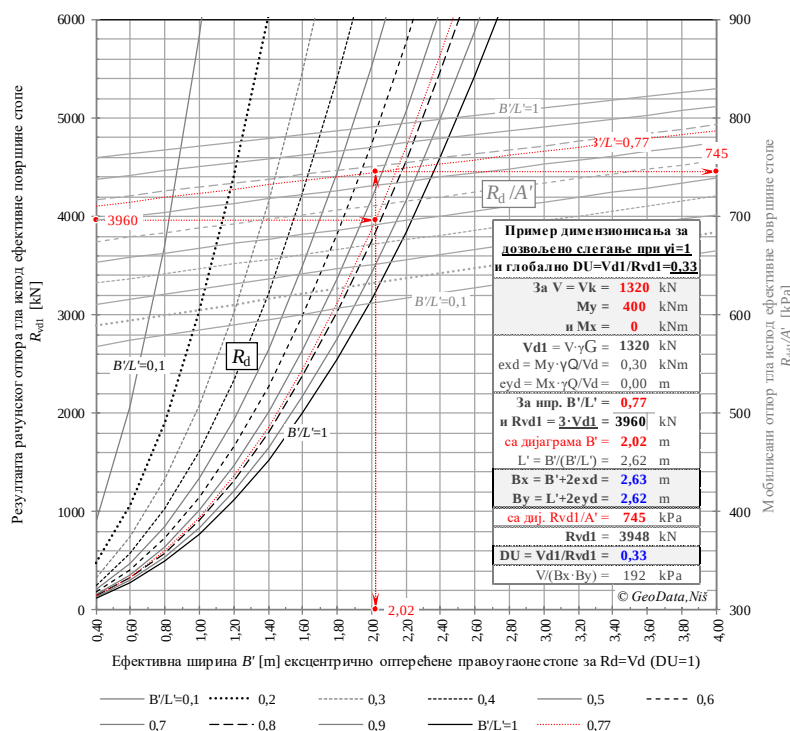
Како се може видети, приказаним дијаграмима задовољене су све потребе за димензионисањем плитких темеља на одабраној дубини у датом тлу (предложеној у геотехничком елаборату), за било која оптерећења која ће конструктор објекта (накнадно) добити током пројектовања конструкције – чиме се употребљивост елабората са 1-2 вредности срачунате носивости знатно надмашује. Димензије стопа одређују се као минималне потребне за ULS степен искоришћења $DU=1$ или као претпостављене веће уз проверу $DU \leq 1$, без геомеханичког софтвера.

Израдом елабората о геотехничким условима темељења објекта са оваквим дијаграмима и сличним (за процену слегања, димензионисање шипова, какви постоје) геотехничко пројектовање се унапређује рационалнијим темељењем према ЕС 7.

Проектни приступ: ПП1 (DA1) Основа стопе: ПРАВОУГАОНИК Bx/By

Комб.1, повољно V,M	H = 0	A = Bx·By	D [m] = 1,70
A1'	$\gamma G = 1$	$V_k = V$	$V_d = V \cdot \gamma G$
	$\gamma Q = 1$	$My_k = My$	$My_d = My \cdot \gamma Q$
M1	$\varphi = 22$	$\varphi d [^\circ] = 22,00$	$N_c = 16,88$
	$\gamma c = 1$	$c [kPa] = 16$	$cd [kPa] = 16,00$
	$\gamma_{\text{def}} = 10,1$	$\gamma_{2d} [kN/m^3] = 10,10$	$N_q = 7,82$
	$\gamma_{\text{def}} = 10,1$	$\gamma_{2d} [kN/m^3] = 10,10$	$N_\gamma = 5,51$
R1	$\gamma R_v = 1$	$ex = My/V$	$exd = My_d/V_d$
	$\gamma R_h = 1$	$Bx' = Bx - 2ex$	$Bxd' = Bx - 2exd$

ПОТРЕБНА ОСНОВА ТЕМЕЉА ЗА ДОВОЉНО МАЛО СЛЕГАЊЕ ПРИ $DU = V_k/R_{vd1} = 1/3$



Слика 6. Потребне димензије стопе за довољно мало слегање при глобалном $DU=1/3$
Figure 6. Required foot dimensions for sufficiently small settlement at global $DU = 1/3$

ЛИТЕРАТУРА

- ***(2006): *A Designers' Simple Guide to BS EN 1997*, Department for Communities and Local Government: London, Crown Copyright, London.
- Bond, A.J. et al.(2013): *Eurocode 7: Geotechnical Design - Worked examples*, Worked examples presented at the Workshop "Eurocode 7: Geotechnical Design", Dublin, 13-14 June, 2013, Publications Office of the European Union.
- Frank, R. et al.(2004): *Designers' guide to EN 1997-1: Eurocode 7: Geotechnical design - General rules*, Thomas Telford, London.
- Самардаковић, С.(2021): Избор ЕС7 пројект.приступа за димензионисање темеља, овај Зборник. SRPS EN 1997-1:2017 и EN 1997-1/NA:2020, Институт за стандардизацију Србије, Београд.