

## DETERMINATION OF UNIT CHARACTERISTICS OF CONCRETE LINEAR CREEP

R. Balevičius & E. Dulinskas

To cite this article: R. Balevičius & E. Dulinskas (2000) DETERMINATION OF UNIT CHARACTERISTICS OF CONCRETE LINEAR CREEP, *Statyba*, 6:2, 87-96, DOI: [10.1080/13921525.2000.10531571](https://doi.org/10.1080/13921525.2000.10531571)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.2000.10531571>



Published online: 26 Jul 2012.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 57

---

## BETONO TIESINIO VALKŠNUMO VIENETINIŲ RODIKLIŲ NUSTATYMAS

R. Balevičius, E. Dulinskas

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

### 1. Įvadas

Skaičiuojant gelžbetonines konstrukcijas svarbu įvertinti ilgalaikes betono netampriąsias deformacijas bei fizinių ir mechaninių rodiklių kitimą. Daugelio šalių normose, tokiose kaip ENV 1992-1-1 (Euronormos) [1], ACI 209-92 (JAV), AS 3600-1988 (Australija), DIN 4227 (Vokietija) ir kitose, valkšnumo deformacijų ir fizinių bei mechaninių rodiklių kitimas per laiką yra reglamentuojamas. Lietuvoje galiojančios normos SNiT (rus. СНиП 2.03.01-84\*) [2] tokių rodiklių tiesiogiai neaprašo.

Lietuvoje galiojančiose normose SNiT [2] ilgalaikių procesų skaičiavimai nesusiję su vienetinių valkšnumo rodiklių (valkšnumo mato, valkšnumo charakteristikos) bei valkšnumo deformacijų reglamentavimu. Su šiomis charakteristikomis susiję tokie integraliniai rodikliai, kaip armatūros išankstinio įtempimo nuostoliai dėl betono valkšnumo, skaičiuojami pagal empirines formules, kurios gautos eksperimentais patikrinus atskirų elementų įtempimų ir deformacijų būvį.

Tiriant vienetinius tiesinio betono valkšnumo rodiklius, atlikta daug darbų. Darbe [3] siūloma nustatant „jauną“ ir „senų“ betonų vienetinius rodiklius taikyti skirtingas priklausomybes, rekomendacijose [4], kaip nurodo jų autoriai, pateikti rodikliai skirti tik projektavimui, monografijoje [5] pateiktos priklausomybės gerai aprašo „jauno“ betono valkšnumą, normose [6] – reglamentuojamos tik ribinės valkšnumo rodiklių reikšmės. Pagal Euronormas [1] nustatyti rodikliai priklauso nuo pagrindinių valkšnumo deformacijas lemiančių faktorių, tačiau neaiškus jų sąryšis su taikomų Lietuvoje normų [2] nuostatomis.

Todėl šiame darbe buvo pasiūlytos įvairių sunkiojo betono gniuždymo klasių vienetinių valkšnumo rodiklių priklausomybės, aprašančios didelę ilgalaikių deformacijų sritį ir įvertinančios pagrindinių faktorių įtaką betono valkšnumui. Pasiūlytos priklausomybės tenkina ir normų [2] nuostatų sritį.

### 2. Betono valkšnumo vienetinių rodiklių nustatymas

Pradžioje panagrinėsime normų [2] nuostatas apimančią valkšnumo rodiklių sritį. Galiojančios normos [2] priklausomai nuo gelžbetonio gamybos būdo reglamentuoja greitai pasireiškiančio valkšnumo ir po apspaudimo vykstančius armatūros išankstinio įtempimo nuostolius dėl betono valkšnumo. Normų [2] nuostolių skaičiavimo metodika neįvertina armatūros įtempimų atstojamosios kitimo dėl betono valkšnumo. Be to, nuostoliai tiesiogiai nepriklauso nuo betono klasės, armavimo procento, elemento masyvumo bei aplinkos drėgmės faktorių. Pastarieji lemia betono valkšnumą ir reglamentuojami Euronormose (toliau EC-2) [1], tiltų ir pralaidų projektavimo normose [6] bei NIŽB rekomendacijose [4].

Armatūros išankstinio įtempimo nuostolių dėl betono valkšnumo skaičiavimas pagal SNiT [2] reglamentuojamas B15–B60 sunkiojo betono klasės konstrukcijoms. Betono kubelių norminis stiprumas išankstinio apgnūždymo metu  $R_{bp}$  pagal [2] reikalavimus turi būti ne mažesnis kaip pusė betono gniuždymo klasės ir ne mažesnis kaip 11 MPa. Jeigu betono apspaudimas atliekamas po 28 parų nuo jo kietėjimo pradžios, tuomet betono kubelių stiprumas  $R_{bp}$  yra lygus betono klasei  $B$ . Atsižvelgiant į normų [2] reikalavimus, galima nustatyti betono tiesinės valkšnumo srities ribinį apspaudimo intensyvumą, kai ilgalaikės betono valkšnumo deformacijos proporcingos tik įtempimams.

Betono apspaudimo intensyvumas  $\eta_6$  išankstinio apgnūždymo metu ir ilgalaikis apspaudimo intensyvumas  $\eta_9$  pagal normas [2] turi tenkinti sąlygas:

$$\eta_6 = \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} = 0,25 + 0,025R_{bp} \leq 0,8. \quad (1)$$

$$\eta_9 = \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} \leq 0,75. \quad (2)$$

Ryšys tarp betono apspaudimo intensyvumų  $\eta_6$  ir  $\eta_9$  gali būti išreiškiamas taip:

$$\eta_9 = \eta_6 \left( 1 - \frac{\sigma_6}{\sigma_{sp0}} \right), \quad (3)$$

$\sigma_6$  – armatūros išankstinio įtempimo nuostoliai dėl greitai pasireiškiančio betono valkšnumo pagal normas [2];  $\sigma_{sp0}$  – armatūros išankstinis įtempimas.

Pagal (1–2) priklausomybes apskaičiuotos betono tiesinės valkšnumo srities ribinės intensyvumo reikšmės pateikiamos 1 lentelėje.

**1 lentelė.** Tiesinės valkšnumo srities ribinės betono apspaudimo intensyvumo reikšmės

**Table 1.** Limit intensity values of linear concrete creep area

Apspaudimo intensyvumas	Betono klasė		
	B15	B20	B25+B60
$\eta_6$	0,63	0,75	0,8
$\eta_9$	0,75		

Pagal normas [2], esant normaliam aplinkos drėgnumui, tiesinės valkšnumo srities armatūros išankstinio įtempimo nuostoliai dėl greitai pasireiškiančio ir ilgalaikio betono valkšnumo apskaičiuojami:

$$\sigma_6 = 40 \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} = 40\eta_6, \quad (4)$$

$$\sigma_9(t) = \alpha 150 \varphi_I(t) \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} = \alpha 150 \eta_9 \frac{4t}{100 + 3t}, \quad (5)$$

$\alpha$  – koeficientas, kurio reikšmės priklauso nuo betono kietėjimo sąlygų ( $\alpha=1,0$ , jeigu betonas kietėja natūraliomis sąlygomis);  $\varphi_I(t)$  – koeficientas, kuriuo įvertinamas nuostolių kitimas per laiką;  $t$  – laikotarpis nuo konstrukcijos apgniuždymo momento  $t_0$  iki stebėjimo momento  $t = t - t_0$ .

Kai armatūra ir betonas dirba kartu, betono plastinės deformacijos  $\varepsilon_{b,pl6}(t_0)$  ir  $\varepsilon_{b,pl9}(t, t_0)$ , atsiradusios dėl atitinkamai greit pasireiškiančio ir ilgalaikio betono valkšnumo, apskaičiuojamos taip:

$$\varepsilon_{b,pl6}(t_0) = \varepsilon_{sp6}(t_0) = \frac{\sigma_6}{E_{sp}}, \quad (6)$$

$$\varepsilon_{b,pl9}(t, t_0) = \varepsilon_{sp9}(t, t_0) = \frac{\sigma_9(t)}{E_{sp}}, \quad (7)$$

$E_{sp}$  – įtemptosios armatūros tamprumo modulis.

Bendrosios netampriosios betono deformacijos laiko momentu  $t$ :

$$\varepsilon_{b,pl}(t, t_0) = \frac{\sigma_6}{E_{sp}} + \frac{\sigma_9(t)}{E_{sp}}. \quad (8)$$

Esant betono įtempimų  $\sigma_b(t)$  pokyčiui tiesinio valkšnumo srityje, jo deformacijos laikotarpiu  $t-t_0$  nustatomos taikant žinomas valkšnumo teorijos priklausomybes [3, 5, 7–9]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_b(t) &= \sigma_b(t_0) \delta(t, t_0) + \int_{t_0}^t \frac{\partial \sigma_b(\tau)}{\partial \tau} \delta(t, \tau) \partial \tau = \frac{\sigma_b(t)}{E_b(t)} - \\ &- \int_{t_0}^t \sigma_b(\tau) \frac{\partial \delta(t, \tau)}{\partial \tau} \partial \tau = \frac{\sigma_b(t)}{E_b(t)} + \sigma_\xi(t, t_0) C^*(t, t_0) = \\ &= \varepsilon_{b,el}(t) + \varepsilon_{b,pl}(t, t_0), \end{aligned} \quad (9)$$

čia  $\sigma_b(t_0)$  – per laiką  $t_0$  apkrauto betono įtempimai armatūros svorio centro lygyje;  $\delta(t, t_0)$  ir  $\delta(t, \tau)$  – betono vienetinės bendrosios deformacijos laikotarpiu  $t-t_0$  ir  $t-\tau$ ;  $E_b(t)$  – betono tamprumo modulis nagrinėjamu laiko momentu  $t$ ;  $\sigma_\xi(t, t_0)$  – vidutiniai ekvivalentiniai betono įtempimai armatūros svorio centro lygyje per laiko intervalą  $t-t_0$ , sukelti tokias pačias betono valkšnumo deformacijas, kaip ir kintami betono įtempimai  $\sigma_b(t_0) \leq \sigma_b(\tau) \leq \sigma_b(t)$ ;  $C^*(t, t_0)$  – betono grynasis valkšnumo matas [4, 5].

Įvertinus (9) priklausomybėje esančias betono plastines deformacijas  $\varepsilon_{b,pl}(t, t_0)$ , apskaičiuojamas grynojo valkšnumo matas:

$$C^*(t, t_0) = \frac{\varepsilon_{b,pl}(t, t_0)}{\sigma_\xi(t, t_0)} = C(t, t_0) + \frac{1}{E_b(t_0)} - \frac{1}{E_b(t)}. \quad (10)$$

Skaičiuojant armatūros išankstinio įtempimo nuostolius [4] dėl betono valkšnumo, taikomas ne betono valkšnumo matas  $C(t, t_0)$ , o grynojo valkšnumo matas, kuris įvertina betono tamprųjų deformacijų mažėjimą dėl betono tamprumo modulio didėjimo per laiką  $t$ . Įvertinus (8) ir (10) priklausomybes, grynojo valkšnumo matas apskaičiuojamas taip:

$$C^*(t, t_0) = \frac{\sigma_6 + \sigma_9(t)}{\sigma_\xi(t, t_0) E_{sp}}. \quad (11)$$

Centriškai armuoto elemento betono įtempimai išankstinio apgniuždymo metu apskaičiuojami taip:

$$\sigma_b(t_0) = \sigma_{bp} = R_{bp}\eta(t_0) = \sigma_{sp0} \left( \frac{\mu}{1 + \alpha(t_0)\mu} \right). \quad (12)$$

Armatūros išankstiniai įtempimai, įvertinus (12) priklausomybę, nustatomi pagal formulę:

$$\sigma_{sp0} = \frac{1}{k_{\alpha\mu}(t_0)} R_{bp}\eta(t_0), \quad (13)$$

čia 
$$k_{\alpha\mu}(t_0) = \frac{\mu}{1 + \alpha(t_0)\mu}, \quad (14)$$

kur 
$$\alpha(t_0) = \frac{E_{sp}}{E_b(t_0)}, \quad (15)$$

$k_{\alpha\mu}(t_0)$  – koeficientas, kurio reikšmė priklauso nuo betono tamprumo modulio apgniuždymo momentu  $t_0$  ir armatūros kiekio.

Betono įtempimai  $\sigma_b(t)$  priklauso nuo armatūros išankstinio įtempimo nuostolių dėl betono valkšnumo kitimo per laiką  $t$ . Įvertinus (4–5), (9), (12), (14–15) priklausomybes, šie įtempimai laiko momentu  $t$  apskaičiuojami taip:

$$\begin{aligned} \sigma_b(t) &= \eta(t)B_p(t) = \frac{\mu}{1 + \alpha(t)\mu} (\sigma_{sp0} - \sigma_\xi(t, t_0) \times \\ &\times C^*(t, t_0)E_{sp}) = k_{\alpha\mu}(t) (\sigma_{sp0} - \sigma_6 - \sigma_9(t)) = \\ &= k_{\alpha\mu}(t) (\sigma_{sp0} - 40\eta_6 - \varphi_I(t)150\eta_9). \end{aligned} \quad (16)$$

Reikia pažymėti, kad betono gniuždymo klasė elemento apspaudimo metu  $R_{bp}$ , betono tamprumo modulis  $E_b(t)$  ir koeficientas  $k_{\alpha\mu}(t_0)$  laiko atžvilgiu nėra pastovūs dydžiai. Pagal normų [2] nuostatas jų kitimas nevertinamas, todėl  $k_{\alpha\mu}(t)$  apskaičiuojamas taip:

$$k_{\alpha\mu}(t) = k_{\alpha\mu} = \frac{\mu}{1 + \alpha(t_{28})\mu}. \quad (17)$$

Įvertinus (3), (13–17) priklausomybes, vidutiniai ekvivalentiniai betono įtempimai  $\sigma_\xi(t, t_0)$  per laiko intervalą  $t-t_0$  apskaičiuojami taip:

$$\begin{aligned} \sigma_\xi(t, t_0) &= \frac{0}{t-t_0} = \frac{\eta_6}{t-t_0} \int_0^{t-t_0} \left[ R_{bp} \frac{1}{k_{\alpha\mu}} - 40 - \right. \\ &\left. - \left( \frac{4(t-t_0)}{3(t-t_0)+100} \right) \left( 1 - \frac{40k_{\alpha\mu}}{R_{bp}} \right) \right] k_{\alpha\mu} d(t-t_0). \end{aligned} \quad (18)$$

Išsprendus (18) priklausomybės integralą kintamojo  $0 \leq t-t_0 \leq 100$  atžvilgiu ir įvertinus (11) išraišką, gaunama

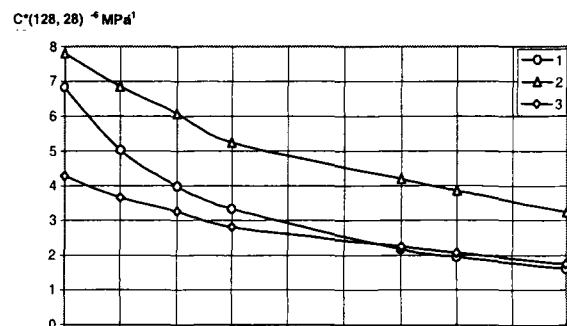
grynojo valkšnumo mato priklausomybė, kuri tenkina normų SNirT [2] armatūros išankstinio įtempimo nuostolių dėl betono valkšnumo skaičiavimo nuostatas:

$$\begin{aligned} C^*(t, t_0) &= \frac{120(600k_{\alpha\mu} - 19R_{bp})}{E_{sp}} \times \\ &\times \frac{1}{(-12R_{bp}^2 + 1771k_{\alpha\mu}R_{bp} + 44360k_{\alpha\mu}^2 - 3600k_{\alpha\mu})}. \end{aligned} \quad (19)$$

Kaip rodo (19) priklausomybė, norminis [2] grynojo valkšnumo matas priklauso nuo armatūros tamprumo modulio, betono gniuždymo klasės apgniuždymo metu ir koeficiento  $k_{\alpha\mu}$ . Kai išankstinis apgniuždymas atliekamas esant  $t_0=28$ , tuomet  $R_{bp}=B$ . Išanalizavus normų [2] įtemptojo gelžbetonio konstrukcijoms taikomus B20 – B60 betono klasių ir tamprumo modulių kitimo intervalų bei konstrukcijų armavimui reglamentuojamų 0,5% – 3% armavimo ribų įtaką grynojo valkšnumo matui (19), koeficientas  $k_{\alpha\mu} \approx 0,009327$ . Armatūros tamprumo modulis įtemptojo gelžbetonio konstrukcijoms kinta nežymiai, todėl pagal normų [2] nuostatas  $E_{sp} \approx 200000$  MPa. Įvertinus nustatytus dydžius, grynojo valkšnumo matas (19) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$C^*(t, t_0) = C_n^*(128, 28) = \frac{2280B - 671,54}{(2,40B^2 - 3,30B + 5,94) \cdot 10^6}. \quad (20)$$

1 pav. pateikiamas grynojo valkšnumo mato, apskaičiuoto pagal (20) priklausomybę, palyginimas su normų EC-2 [1] grynojo valkšnumo matu, esant santykinei aplinkos drėgmei  $RH=70\%$  ir  $h=50$  mm,  $h=600$  mm bei sąlyginiams skerspjūvio matmenims.



1 pav. Grynojo valkšnumo matų  $C^*(128, 28)$  palyginimas: 1 – apskaičiuotas pagal (20) priklausomybę, 2 – apskaičiuotas pagal normų EC-2 [1] metodiką, kai sąlyginis matmuo  $h=50$  mm, 3 – tas pats, kai sąlyginis matmuo  $h=600$  mm

Fig 1. Comparison of pure specific creep  $C^*(128, 28)$ : 1 – calculated by relationship (20), 2 – calculated by code EC-2 [1] method when conventional dimension  $h=50$  mm, 3 – the same when  $h=600$  mm

Kaip rodo 1 pav. grafikas, grynojo valkšnumo matas, apskaičiuotas pagal (20) priklausomybę, pakankamai sutampa tik su masyvių konstrukcijų valkšnumo matu (kai  $h=600$  mm), apskaičiuotu pagal normas [1]. Todėl grynojo valkšnumo matą, apskaičiuotą pagal normų [2] nuostatas, tikslinga taikyti tik masyvioms arba izoliuotoms nuo drėgmės praradimo konstrukcijoms. Mažesnio masyvumo konstrukcijoms mastelio faktoriaus įtaką siūloma įvertinti analogišku normų [6] koeficientu  $\xi_3^*$ . Įvertinant santykinės aplinkos drėgmės faktoriaus įtaką taip pat taikytinas normų [6] koeficientas  $\xi_4$ . Tuomet grynojo valkšnumo matas apskaičiuojamas taip:

$$C_n^*(128,28) = \left( \frac{2280B - 671,54}{(2,40B^2 - 3,30B + 5,94) \cdot 10^6} \right) \xi_3^* \xi_4. \quad (21)$$

$$\xi_3^* = \xi_3 / 0.64, \quad (22)$$

kur  $\xi_3^*$  – koeficientas, kuriuo įvertinamas elemento masyvumas;  $\xi_3$  – koeficientas, kuriuo įvertinama elemento mastelio faktoriaus įtaka valkšnumo deformacijoms priklausomai nuo sąlyginės skerspjuvio charakteristikos pagal [6];  $\xi_4$  – koeficientas, kuriuo įvertinama aplinkos santykinės drėgmės įtaka valkšnumo deformacijoms pagal [6].

Grynojo valkšnumo charakteristika apskaičiuojama taip:

$$\varphi_n^*(128,28) = \frac{(2280B - 671,54) \xi_3^* \xi_4 E_b}{(2,40B^2 - 3,30B + 5,94) \cdot 10^6}, \quad (23)$$

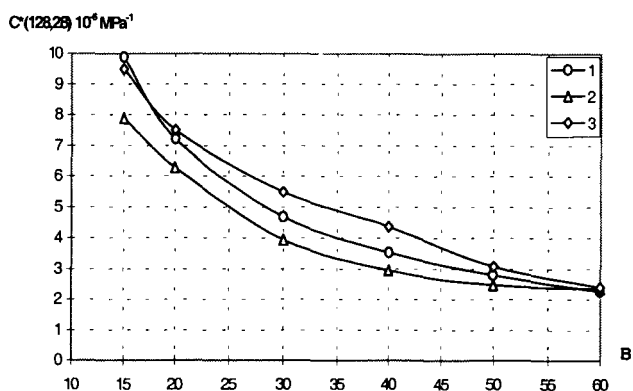
$E_b$  – pradinis betono tamprumo modulis, praėjus 28 paroms nuo betono kietėjimo pradžios pagal [2].

Įvertinus elemento masyvumo ir drėgmės įtakos koeficientus pagal (21) formulę, apskaičiuotas grynojo valkšnumo matas buvo palygintas su rekomendacijų [4] reglamentuotu grynojo valkšnumo matu priklausomai nuo mišinio slankumo (2 pav.). Pagal [4] nuostatas grynojo valkšnumo mato reikšmės apskaičiuotos, kai sąlyginės skerspjuvio charakteristika  $r=3,75$  cm ( $15 \times 15$  cm).

2 pav. pateiktas grafikas rodo, kad, įvertinus konstrukcijos mastelio bei drėgmės faktorių įtakos koeficientus, apskaičiuotas pagal (21) formulę valkšnumo matas neišeina iš valkšnumo mato, nustatyto pagal NIIŽB-o rekomendacijų [4] metodiką, kitimo ribų priklausomai nuo betono mišinio slankumo.

Taikant siūlomą metodiką taip pat galima apskaičiuoti betono valkšnumo vienetinius rodiklius remiantis įtemptojo gelžbetonio elementų eksperimentinių tyrimų

rezultatais [10]. Tuo šis metodas pranašesnis už NIIŽB-o rekomendacijų [4] metodiką, kuri skirta tik projektavimui.



2 pav. Grynojo valkšnumo matų palyginimas: 1 – apskaičiuotas pagal (21) priklausomybę, 2 – nustatytas pagal NIIŽB-o rekomendacijų [4] metodiką, esant minimaliam mišinio slankumui, 3 – tas pats, kai mišinio slankumas yra maksimalus

Fig 2. Comparison of pure specific creep values: 1 – calculated by relationship (21), 2 – calculated by NIIZHB recommended method [4] at the minimum slump, 3 – the same when the slump is maximum

### 3. Vienetinių tiesinio valkšnumo rodiklių matematinis aprašymas

Betono valkšnumo vienetinėms deformacijoms aprašyti yra pasiūlyta nemaža matematinių modelių, tenkinančių įvairias valkšnumo teorijas [3, 5, 7, 11–14]. Atlikus įvairių priklausomybių analizę, grynojo valkšnumo matui (21) aprašyti pritaikytas S. Aleksandrovsio pasiūlytas tampriai valkšnaus kūno skaičiavimo modelis [5], kurį mes modifikavome visai tiesinio valkšnumo sričiai:

$$C^*(t, t_0) = \frac{1}{E(t_0)} - \frac{1}{E(t)} + \psi(t_0) - \psi(t) \left[ \frac{e^{0,02t_0} - 0,3}{e^{0,02t} - 0,3} \right] + \Delta(t_0) e^{-3(t-t_0)}. \quad (24)$$

$$\Delta(t_0) = (11,2 + 34e^{-0,125t_0}) 10^{-6}, \quad (25)$$

$$\psi(t_0) = \varphi(t_0) - \Delta(t_0), \quad (26)$$

$$\varphi(t_0) = (24,5 + 10e^{-0,023t_0} + 43,2e^{-0,1275t_0} - 36e^{-0,35t_0}) 10^{-6}, \quad (27)$$

$$E_b(t) = E_b(\infty)(1 - 0,575e^{-0,072t}), \quad (28)$$

$E_b(t_0)$  – betono pradinis tamprumo modulis apkrovimo metu  $t_0$ ;  $E_b(t)$  – betono pradinis tamprumo modulis stebė-

jimo momentu  $t$ ;  $E_b(\infty)$  – „seno“ betono tamprumo modulis pagal [3];  $\Delta(t_0)$  – greitai pasireiškiančio valkšnumo deformacijų dalis,  $\text{MPa}^{-1}$ .

Priklausomybės (24) modifikavimas normų [2] nuostatų apibrėžtai sričiai išplečia jos taikymo diapazoną „seniems“ ir „jauniems“ betonams. Koeficientas  $k_6$ , įvertinantis betono klasę ir greitai pasireiškiantį betono valkšnumą, gali būti išreikštas santykinu dydžiu:

$$k_6 = \frac{E_{b,p/6}(t_0)}{\sigma_{\xi}(t, t_0)\Delta(t_0)}. \quad (29)$$

Atsižvelgiant į (6) ir (18) išraiškas bei 2 skirsnyje nustatytus dydžius ( $E_{sp}=200000$  MPa,  $k_{\alpha\alpha} \approx 0,009327$ ,  $t_0=28$  paros,  $R_{bp}=B$ ,  $t=128$  paros,  $t-t_0=128-28=100$  parų), koeficientas  $k_6$  apskaičiuojamas pagal formulę:

$$k_6 = \frac{480B}{29B^2 - 40B + 7,3}. \quad (30)$$

Įvertinantis betono klasę ir ilgalaikės betono valkšnumo deformacijas koeficientas

$$k_9 = \frac{1}{C_{a,9}^*(t, t_0)} \frac{E_{b,p/9}(t, t_0)}{\sigma_{\xi}(t, t_0)}. \quad (31)$$

Čia  $C_{a,9}^*(t, t_0)$  – betono vienetinių valkšnumo deformacijų (24) ilgalaikė dalis:

$$C_{a,9}^*(t, t_0) = \frac{1}{E_b(t_0)} - \frac{1}{E_b(t)} + \Psi(t_0) - \Psi(t) \left[ \frac{e^{0,02t_0} - 0,3}{e^{0,02t} - 0,3} \right] - \Delta(t_0)e^{-3(t-t_0)}. \quad (32)$$

Kai  $t_0 < 28$ , koeficientas  $k_9$  apskaičiuojamas atsižvelgiant į apkrovimo laiką  $t_0$ :

$$k_9 = \frac{(2,7B-1)(-0,27t_0^3 + 14,51t_0^2 - 225,5t_0 + 1661,9)}{(2,4B^2 - 3,30B + 5,94) \left( \frac{0,083}{E_b(\infty)} + 1,72 \cdot 10^{-5} \right) \cdot 10^6}. \quad (33)$$

Kai  $t_0 \geq 28$ , koeficientas  $k_9$  apskaičiuojamas taip:

$$k_9 = \frac{1800B - 671,54}{(2,4B^2 - 3,30B + 5,94) \left( \frac{0,083}{E_b(\infty)} + 1,72 \cdot 10^{-5} \right) \cdot 10^6}. \quad (34)$$

Taikant (30–34) priklausomybes koeficientams  $k_6$  ir  $k_9$  skaičiuoti, gauta fenomenologinė valkšnumo teorijos grynojo valkšnumo mato išraiška, įvertinanti pagrindinius faktorius: betono klasę, apkrovimo ir stebėjimo laikus, mastelį ir aplinkos drėgmę:

$$\begin{cases} C^*(t, t_0) = [C_{a,9}^*(t, t_0)k_9 + \Delta(t_0)k_6] \xi_3^* \xi_4, \\ \text{esant } t - t_0 \leq 100, \\ C^*(t, t_0) = C^*(z + t_0, t_0)\Omega(t), \quad t - t_0 > 100, \\ z = t - t_0 = 100. \end{cases} \quad (35)$$

Šios priklausomybės koeficientas  $\Omega(t)$  apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\Omega(t) = 1 + 0,333 \left[ 1 - 1,9^{-0,055(t-t_0-100)} \right]. \quad (36)$$

Koeficientu  $\Omega(t)$  įvertinamos ilgalaikės betono valkšnumo deformacijos, kai stebėjimo laikas  $t$  kinta  $100 < t - t_0 < \infty$  intervalu. Pagal normų [2] reikalavimus  $\Omega(t) = \varphi_1(t) = 1,34$ , kai  $t - t_0 \rightarrow \infty$ .

Remiantis (35) priklausomybe, grynojo valkšnumo charakteristika apskaičiuojama taip:

$$\begin{cases} \varphi^*(t, t_0) = [C_{a,9}^*(t, t_0)k_9 + \Delta(t_0)k_6] \times \\ \times E_b(t_0) \xi_3^* \xi_4, \quad \text{esant } t - t_0 \leq 100, \\ \varphi^*(t, t_0) = C^*(z + t_0, t_0)E_b(t_0)\Omega(t), \\ \text{esant } t - t_0 > 100, z = t - t_0 = 100. \end{cases} \quad (37)$$

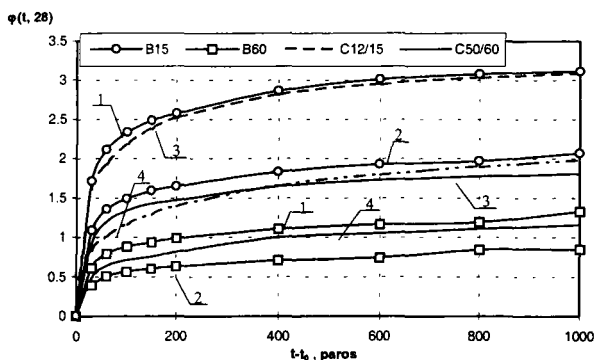
Valkšnumo charakteristika, tenkinanti normų [1] nuostatas, apskaičiuojama pagal formulę:

$$\varphi(t, t_0) = C(t, t_0)E_b(t_0) = \varphi^*(t, t_0) + \frac{E_b(t_0)}{E_b(t)} - 1. \quad (38)$$

Jeigu faktinis konstrukcijos apkrovimo laikas  $t_{01}$  nesutampa su apskaičiuotu pagal (39) laiku  $t_0$ , tai išraiškose (35) ir (37) esantis betono apspaudimo laikas  $t_0$  nustatomas priklausomai nuo betono stiprumo  $R_{bp}$  apkrovimo metu pagal žinomą B. G. Skramtajevo formulę:

$$\begin{cases} t_0 = 10^{\frac{R_{bp}}{0,7B}}, \quad \text{kai } t_{01} < 60, \\ t_0 = t_{01}, \quad \text{kai } t_{01} \geq 60. \end{cases} \quad (39)$$

Pateikta grynojo valkšnumo mato (35) priklausomybė leidžia ilgalaikius procesus, skaičiuojant gelžbetonines konstrukcijas, įvertinti valkšnumo teorijos metodais, tenkinant ir normų [2] apibrėžtos srities nuostatas. Armatūros išankstinio įtempimo nuostoliai dėl betono valkšnumo, apskaičiuoti pagal [10, 15] metodiką ir taikant (35) priklausomybę, kai kuriais atvejais iki 10% [16] skiriasi nuo nuostolių reikšmių, nustatytų pagal normų [2] metodiką.



3 pav. Valkšnumo charakteristikos  $\varphi(t, t_0)$ , apskaičiuotos pagal (37–38) priklausomybes ir pagal normų EC–2 nuostatas: 1 – pagal (37–38), kai sąlyginis skerspjūvio matmuo  $h=50$  mm ( $r=2,5$  cm), 2 – kai  $h=600$  mm ( $r>20$  cm), 3 – pagal EC–2 [1], sąlyginis skerspjūvio matmuo  $h=50$  mm, 4 – EC–2 [1],  $h=600$  mm

Fig 3. Creep coefficients  $\varphi(t, t_0)$  calculated according to (37–38) relationships and according to the code EC–2 [1] regulations: 1 – by (37–38) when conventional cross-sectional dimension  $h=50$  mm ( $r=2.5$  cm), 2 – when  $h=600$  mm ( $r>20$  cm), 3 – by EC–2 [1] with conventional dimension  $h=50$  mm, 4 – EC–2 [1], with  $h=600$  mm

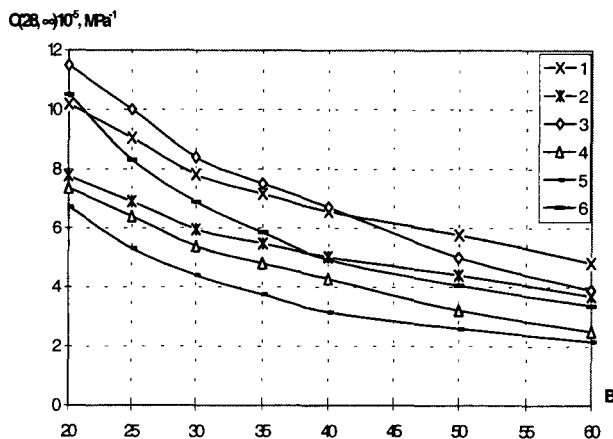
Apskaičiuotų pagal (37–38) priklausomybes ir pagal normas EC–2 [1] valkšnumo charakteristikos  $\varphi(t, t_0)$  palygintos 3 pav.

Kaip rodo 3 pav., grafikai, B15 gniuždymo klasės betono valkšnumo charakteristikos reikšmės, apskaičiuotos pagal (37–38) priklausomybes, yra 1,05–1,10 kartų didesnės už nustatytas pagal normas EC–2 [1], o B60 klasės betono – 1,25–1,34 karto mažesnės. Šis skirtumas atsiranda dėl normų SNiT [2] įvertinamo nuostolių dėl betono valkšnumo mažesnio didėjimo per laiką. 1–2 pav. pateikti grafikai rodo, kad šios deformacijos, praėjus 100 parų po apkrovimo mažai skiriasi nuo deformacijų, apskaičiuotų pagal NIIŽB–o [4] rekomendacijas ir normas EC–2 [1]. Ta pati tendencija pastebima lyginant ribinių valkšnumo matų (kai  $t \rightarrow \infty$ ) reikšmes (4 pav.).

Kaip rodo 4 pav. grafikai, normos [1] ir [6] panašiai įvertina tik vidutinių betono klasių ribinius valkšnumo matus. Priklausomai nuo mastelio faktoriaus aukštų betono klasių B50–60 ribinis valkšnumo matas, apskaičiuotas pagal normų EC–2 [1] metodiką, gali būti iki 1,23–1,47 karto didesnis už valkšnumo matą, kurį reglamentuoja normos [6].

Ribinių valkšnumo matų reikšmės, apskaičiuotos pagal normų [2] nuostatas, remiantis (10) ir (35) priklausomybėmis, yra 0,96–1,40 karto mažesnės už normų [1] reglamentuojamą valkšnumo matą, kai sąlyginė skerspjūvio charakteristika  $r=2,5$  cm ir 1,15–1,60 karto mažesnės,

kai  $r>20$  cm (4 pav.). Šių matų reikšmės, nustatytos pagal normų [2] nuostatas, įvertinant (10) ir (35) priklausomybes, yra 1,09–1,15 karto mažesnės už atitinkamas normų [6] nustatytas reikšmes (4 pav.). Atsižvelgiant į normų [1, 2, 6] reikalavimus, betono ribinių valkšnumo matų reikšmės turi tenkinti ir šių normų ilgalaikių įlinkių skaičiavimo metodikos nuostatas.



4 pav. Ribiniai valkšnumo matai  $C(28, \infty)$ , nustatyti pagal (10) ir (35) priklausomybes, normų EC–2 [1] ir normų [6] metodikas: 1 – pagal EC–2 [1], kai sąlyginis skerspjūvio matmuo  $h=50$  mm, 2 – EC–2 [1], kai  $h=600$  mm, 3 – pagal [6], kai sąlyginė skerspjūvio charakteristika  $r=2,5$  cm, 4 – [6], kai  $r>20$  cm, 5 – pagal (10) ir (35), kai  $r>20$  cm, 6 – tas pats, kai  $r=2,5$  cm

Fig 4. Limit values of specific concrete creep  $C(28, \infty)$ , calculated according to relationships (10) and (35), code EC–2 [1] and code [6] methods: 1 – according to EC–2 [1] when cross-sectional dimension  $h=50$  mm, 2 – EC–2 [1], when  $h=600$  mm, 3 – according to [6] when conventional cross-sectional characteristic  $r=2.5$  cm, 4 – [6] when  $r>20$  cm, 5 – according to (10) and (35) when  $r>20$  cm, 6 – the same when  $r=2.5$  cm

#### 4. Cementinės tešlos kiekio ir vandens cemento santykio įtaka betono valkšnumui

Vienetinių valkšnumo rodiklių eksperimentinių tyrimų rezultatų analizė parodė, kad betono ilgalaikės deformacinės savybės priklauso ne tik nuo betono valkšnumą lemiančių faktorių, aptartų 2–3 skyriuose, bet ir nuo kai kurių betono mišinio parametrų: vandens cemento santykio  $v/c$  ir cementinės tešlos kiekio mišinyje  $p_{ct}$  [14, 17]. Šių faktorių normos nevertina. Priklausomai nuo etaloninio betono modelio šie faktoriai gali būti įvertinami koeficientais, pateiktais darbuose [3, 14].

Pasirinkus etaloninio betono modelį, tenkinantį LST 1330:1995 reikalavimus, cementinės tešlos kiekio įtaka

betono valkšnumui įvertinama koeficientu  $\xi_1(p_{ct})$ , kuris gali būti apskaičiuotas pagal [14] pateiktą priklausomybę:

$$\xi_1(p_{ct}) = 5p_{ct}. \quad (40)$$

Vandens cemento santykio įtakos betono valkšnumo deformacijoms įvertinančio koeficiento  $\xi_2(v/c)$  išraiška, gauta matematiškai aprašant [3] pateiktus duomenis, kurie buvo modifikuoti pasirinktam etaloninio betono modeliui:

$$\xi_2(v/c) = 2,74(v/c)^{1,69} + 0,12. \quad (41)$$

Cementinės teslos kiekis  $p_{ct}$  betono mišinyje taip pat gali būti apskaičiuotas pagal [14] formulę:

$$p_{ct} = 0,00042v \left( 1 + \frac{c}{v} \right). \quad (42)$$

Žinant  $1 \text{ m}^3$  betono gamybai panaudoto vandens ir cemento kiekį, betono valkšnumo vienetiniai rodikliai, nustatyti pagal (35), (36) priklausomybes, dauginami iš koeficientų  $\xi_1(p_{ct})$  ir  $\xi_2(v/c)$ . Šie koeficientai apskaičiuojami pagal (40–42) formules.

## 5. Tiesinio valkšnumo vienetinių rodiklių vertės palyginimas su eksperimentinių tyrimų rezultatais

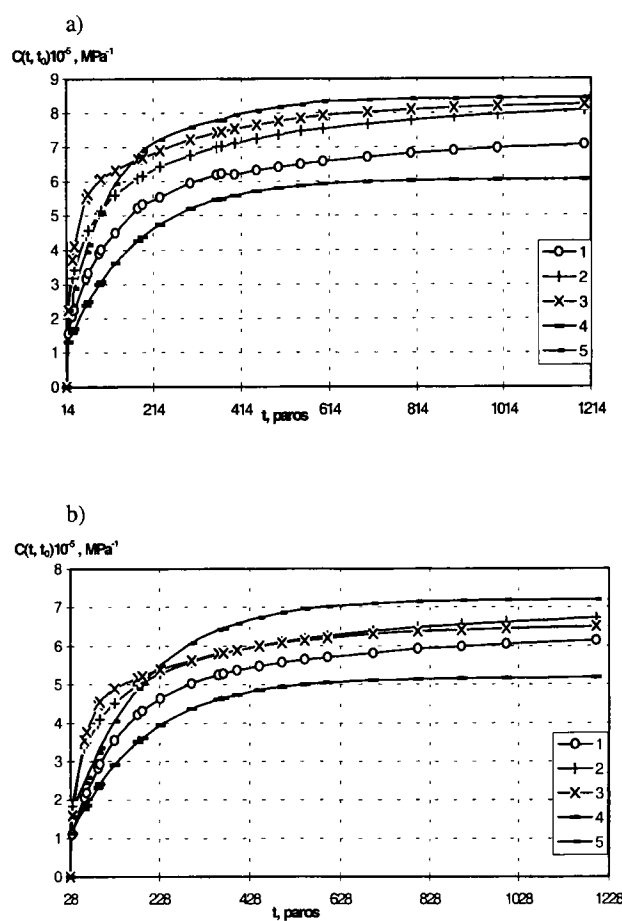
Statistiškai apdorojus daugelio eksperimentinių betono vienetinių valkšnumo deformacijų tyrimų rezultatus, gauta etaloninio betono valkšnumo matavimo kreivė, kuri pateikta [3]. Šių ir apskaičiuotų pagal (35) priklausomybę, įvertinant (40–41) koeficientus, kreivių grafikai pateikti 5 pav.

S. V. Kirejevos ir I. A. Rusinovo [18] atliktų eksperimentinių betono valkšnumo matavimo tyrimų rezultatai palyginti su valkšnumo matu, apskaičiuotu pagal (35) priklausomybę, įvertinant (40–41) koeficientus (6 pav.).

Lyginant eksperimentinių betono valkšnumo deformacijas su deformacijomis, nustatytomis pagal mūsų siūlomą metodiką ir normas [1], apskaičiuoti vidutiniai santykiai  $\kappa = C_{eksp}(t, t_0) / C(t, t_0)$ , jų vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai  $\sigma_\kappa$  bei variacijos koeficientai  $\delta_\kappa$  (2 lent.). Toks statistinis vertinimas rodo visus teorinių priklausomybių nuokrypius nuo per laiką  $t$  atliktų valkšnumo deformacijų matavimų ir yra griežtesnis negu pateikiamas [12, 14], kur lyginami tik ribinių valkšnumo matų santykių statistiniai įverčiai.

Kaip rodo valkšnumo deformacijų teorinių ir eksperimentinių reikšmių statistinės analizės rezultatai, valkšnumo matavimo reikšmės, nustatytos pagal (35) formulę, įvertinant (40–41) koeficientus, ir reikšmės, apskaičiuotos

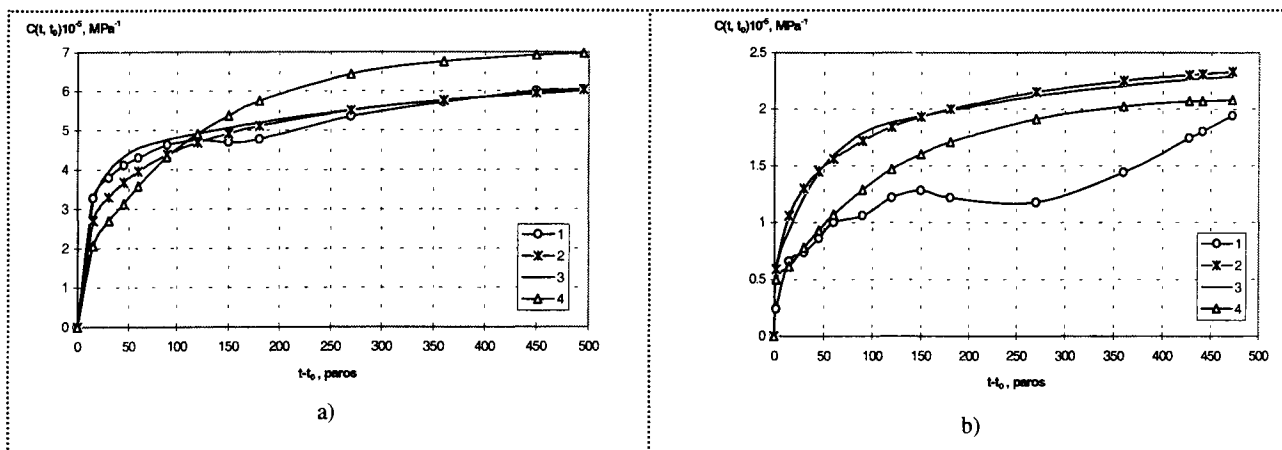
taikant normų EC-2 metodiką [1], vidutiniškai vienodai ( $\kappa=0,89$  karto) skiriasi nuo eksperimentinių tyrimų rezultatų. Palyginus teorinių valkšnumo matų variaciją su eksperimentiškai nustatytais rezultatais, gauta, kad mūsų siūloma valkšnumo vienetinių rodiklių nustatymo metodika geriau aprašo eksperimentinių tyrimų rezultatus (variacijos koeficientas  $\delta_\kappa=27,7\%$ ), negu normos EC-2 [1] (variacijos koeficientas  $\delta_\kappa=31,9\%$ ). Be to, pasiūlyta metodika leidžia įvertinti ir faktinių betono mišinio parametrų įtaką betono deformatyvumui.



**5 pav.** Valkšnumo matų kitimą vaizduojantys grafikai, kai apkrovimo laikas  $t_0=14$  parų (a) ir  $t_0=28$  parų (b): etaloninio betono pagal [3] – 1, pagal normas [1] – 2, pagal (35), įvertinant (40) ir (41) formules – 3, pagal NIIZB-o rekomendacijų [4] metodiką, esant minimaliam betono mišinio slankumui – 4, tas pats, esant maksimaliam slankumui – 5

**Fig 5.** Diagrams representing variation of specific creep when load is applied at  $t_0=14$  days (a) or  $t_0=28$  days (b): standard concrete according to [3] – 1, according to the code [1] – 2, according to (35) with consideration of formulas (40) and (41) – 3, according to the method recommended by NIIZHB [4] for the minimum concrete mixture slump value – 4, the same for the maximum slump value – 5





6 pav. Valkšnumo matai pagal S. V. Kirejevos ir I. A. Rusinovo [18] eksperimentinių tyrimų rezultatus – 1, pagal normas [1] – 2, pagal (35) priklausomybę, įvertinant (40) ir (41) formules – 3, pagal NIIZB-o rekomendacijas [4] – 4. Apkrovimo laikas: a)  $t_0 = 7$  paros (I – serija), b)  $t_0 = 384$  paros (IVe – serija)

Fig 6. Specific creep values according to the test results of S. V. Kirejeva and I. A. Rusinov [18] – 1, according to the code [1] – 2, according to relationship (35) with allowance for formulas (40) and (41) – 3, according to the recommendations of NIIZHB [4]. Load application time: a)  $t_0 = 7$  days (series – I), b)  $t_0 = 384$  days (series – IVe)

2 lentelė. Eksperimentinių valkšnumo matų reikšmių ir apskaičiuotų pagal (35) įvertinus (40–41) priklausomybes ir normas [1] statistinės analizės rezultatai

Table 2. Results of statistical analysis of experimental values of specific creep and these values calculated according to (35) with consideration of (40–41) relationships and according to the code [2]

Eksperimentinių tyrimų autorius	Prizmių skaičius	$t_0$ , pa-ros	$t$ , pa-ros	Imties dydis	Pagal (35), įvertinus (40–41)			Pagal normų EC-2 [1] metodiką		
					$\kappa_c$	$\sigma_c$	$\delta_c$	$\kappa_c$	$\sigma_c$	$\delta_c$
Etaloniškas betonas pagal [3]		7	1200	25	0,656	0,045	0,068	0,744	0,044	0,060
		14	1200	23	0,722	0,139	0,193	0,821	0,077	0,094
		28	1200	22	0,832	0,123	0,148	0,839	0,108	0,128
		60	1200	23	0,796	0,144	0,181	0,742	0,127	0,172
		90	1200	18	0,791	0,139	0,176	0,748	0,121	0,162
		180	1200	18	0,795	0,142	0,166	0,751	0,132	0,160
		360	1200	11	0,745	0,157	0,211	0,749	0,155	0,207
A. D. Ross [5]		8	200	18	0,949	0,067	0,071	0,952	0,091	0,10
		28	200	14	1,108	0,059	0,053	1,185	0,120	0,101
		60	200	10	1,129	0,136	0,121	1,192	0,114	0,096
		90	200	6	1,238	0,134	0,108	1,05	0,20	0,191
N. I. Katinas [19]		28	128	9	0,807	0,094	0,116	0,587	0,071	0,121
		140	300	10	0,742	0,168	0,226	0,506	0,124	0,247
		50	190	10	0,634	0,054	0,075	0,463	0,047	0,103
S. V. Kirejeva, I. A. Rusinovas I – serija [18]	3	7	502	12	0,971	0,036	0,035	1,04	0,081	0,078
	3	18	1023	20	0,887	0,111	0,125	1,015	0,092	0,090
	3	30	1125	20	1,053	0,146	0,139	1,079	0,119	0,110
	3	60	1155	20	1,129	0,247	0,219	1,113	0,217	0,195
	3	90	1185	20	1,248	0,331	0,267	1,232	0,308	0,249
	3	383	1478	20	1,243	0,204	0,164	1,525	0,247	0,162
S. V. Kirejeva, I. A. Rusinovas IVe – serija [18]	3	15	456	13	0,679	0,063	0,092	0,715	0,087	0,122
	3	29	456	13	0,970	0,124	0,128	0,888	0,139	0,157
	3	60	696	17	0,616	0,075	0,121	0,623	0,082	0,132
	3	90	696	17	0,601	0,098	0,163	0,523	0,082	0,158
	3	383	856	14	0,649	0,106	0,163	0,631	0,100	0,158
O. J. Bergas, A. I. Roškovas [20]		3	253	10	0,964	0,062	0,064	0,912	0,038	0,049
		28	278	10	0,968	0,084	0,087	0,789	0,083	0,104
		90	340	10	0,911	0,049	0,054	0,969	0,056	0,057
Bendras pagal visus eksperimentus				433	0,881	0,244	0,277	0,886	0,283	0,319

## 6. Išvados ir rekomendacijos

1. Atlikta galiojančių normų SNiT [2] armatūros įtempimo nuostolių dėl betono valkšnumo skaičiavimo metodikos analizė, pasiūlytos B15–B60 klasių betonų tiesinio valkšnumo mato priklausomybės, tenkinančios praktinių skaičiavimų tikslumą normų [2] nuostatų srityje.

2. Pasiūlytos valkšnumo mato priklausomybės įvertina svarbiausius valkšnumo deformacijas lemiančius faktorius: betono klasę, apkrovimo ir stebėjimo laikus, mastelį ir aplinkos drėgmę bei cemento ir cementinės tešlos kiekį.

3. Nustatyta, kad teorinės valkšnumo matų reikšmės, apskaičiuotos pagal pasiūlytą metodiką, geriau sutampa (variacijos koeficientas  $\delta_x=27,7\%$ ) su pateiktų eksperimentinių tyrimų rezultatais, negu normos EC-2 [1] (variacijos koeficientas  $\delta_x=31,9\%$ ).

4. Pasiūlytos valkšnumo vienetinių charakteristikų priklausomybės ir betono rodiklių kaitos įvertinimo metodika gali būti taikoma ilgalaikių apkrovų veikiamų gelžbetoninių konstrukcijų skaičiavimams.

## Literatūra

1. ENV 1992-1-1. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1: General rules and rules for buildings, 1991. 114 p.
2. СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции. М.: Госстрой СССР. 1989. 80 с.
3. И. Е. Прокопович, В. А. Зедгендзе. Прикладная теория ползучести. М.: Стройиздат, 1980. 240 с.
4. Рекомендации по учету ползучести и усадки бетона при расчете бетонных и железобетонных конструкций. М.: НИИЖБ Госстроя СССР. 1988. 122 с.
5. С. В. Александровский. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменения температуры и влажности с учетом ползучести. М.: Стройиздат, 1973. 432 с.
6. СНиП 2.05.01-84. Мосты и трубы. М.: Госстрой СССР, 1988. 199 с.
7. Н. Х. Арутюнян, А. А. Зевин. Расчет строительных конструкций с учетом ползучести. М.: Стройиздат, 1988. 256 с.
8. Г. В. Марчюкайтис, Е. Ю. Дулинскас. Напряженно-деформированное состояние преднапряженных железобетонных конструкций при теплообработке. Вильнюс, 1975. 122 с.
9. Beton - Kalender 1993. Taschenbuch für Beton - Stalbeton - und Spannbetonbau sowie die verwandten Facher. Teil II. Schriftleitung o. Professor Dr. -Ing. J. Eibl Karlsruhe. Verlag für Architektur und technische Wissenschaften. Berlin: Ernst & Sohn. 1993. 815 S.
10. E. Dulinskas, R. Balevičius. Armatūros išankstinio įtempimo nuostolių dėl betono valkšnumo skaičiavimo ypatumai, taikant galiojančių Lietuvoje ir Euronormų nuostatas // VI tarp. konf. „Naujos statybinės medžiagos, konstrukcijos ir

technologijos“, įvykusios Vilniuje 1999 m. gegužės 19–22 d., straipsniai. III tomas. V.: Technika, 1999, p. 121–126.

11. Е. Н. Львовский. Статистическое моделирование деформаций ползучести бетона на ЭВМ // Бетон и железобетон, № 11. М.: Издательство литературы по строительству, 1992, с. 18–19.
12. Е. Н. Щербаков. Физические и феноменологические основы прогнозирования механических свойств бетона для расчетов железобетонных конструкций // Автореферат дис... доктора технических наук. М.: ВЗИСИ, 1987, 49 с.
13. Z. P. Bažant, Y. – P. Xi, S. Baveja, I. Carol. Preliminary guidelines and recommendation for characterising creep and shrinkage in structural design codes // Creep and shrinkage of concrete. Proceedings of the fifth international RILEM symposium. Barcelona, Spain, September 6–9, 1993, p. 805–829.
14. Е. Н. Щербаков. О прогнозе величин деформаций ползучести и усадки тяжелого бетона в стадии проектирования конструкций // Исследование деформаций, прочности и долговечности бетона транспортных сооружений. Труды ВНИИТС. Вып. 70. М.: Транспорт, 1969, с. 39–84.
15. E. Dulinskas, R. Balevičius, L. Kairytė. Įtemptojo gelžbetonio centriškai armuotų elementų betono ilgalaikių netamprių deformacijų ir fizinių mechaninių rodiklių kitimo įvertinimas // Statyba ir architektūra: Konferencijos medžiaga. Kaunas, 1998, p. 145–152.
16. E. Dulinskas, R. Balevičius, L. Kairytė. Gelžbetoninių konstrukcijų betono netamprių deformacijų ir fizinių mechaninių rodiklių kitimo įvertinimas // V tarp. konf. „Naujos statybinės medžiagos, konstrukcijos ir technologijos“, įvykusios Vilniuje 1997 m. gegužės 21–24 d., straipsniai. III tomas. V.: Technika, 1997, p. 45–56.
17. И. Н. Ахвердов. Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. 463 с.
18. С. В. Киреева, И. А. Русинов. Влияние возраста бетона в момент загрузки на его ползучесть. Киев: Госстройиздат УССР, 1970. 64 с.
19. Н. И. Катин. Исследование ползучести бетона при высоких напряжениях // Исследование свойств бетона и железобетонных конструкций. Труды ВНИИЖБ. Вып. 4. М.: Госстройиздат, 1959, с. 74–153.
20. О. Я. Берг, А. И. Рожков. Исследование неупругих деформаций и структурных изменений высокопрочного бетона при длительном действии сжимающих напряжений // Исследование деформаций, прочности и долговечности бетона транспортных сооружений. Труды ВНИИТС. Вып. 70. М.: Транспорт, 1969, с. 3–38.

Įteikta 2000 02 29

## DETERMINATION OF UNIT CHARACTERISTICS OF CONCRETE LINEAR CREEP

R. Balevičius, E. Dulinskas

## Summary

It is very important to take into account time-dependent non-elastic deformations and variation of concrete mechanical characteristics in analysis of concrete structures. In codes of many countries, such as ENV 1992-1-1 (Eurocode) [1], ACI 209-92 (USA), AS 3600-1988 (Australia), DIN 4227 (Germa-

ny) and others, variation of creep deformations and physical mechanical characteristics with time is specified. The Code acting in Lithuania SNIТ (Russ. СНиП 2.03.01–84\*) [2] does not describe these characteristics directly.

Calculation of time-dependent processes in the code acting in Lithuania SNIТ [2] is associated with specific creep characteristics (specific creep, coefficient of creep) and with regulation of creep deformations. Such integral characteristics as steel prestress losses due to concrete creep associated with these specific characteristics are determined by empirical formulas which are obtained by tests with verification of stress and strain state of individual members.

There are many investigations for determination of concrete creep characteristics. In the investigation [3], different relationships for determining specific characteristics of „young” and „old” concrete are proposed to apply, in recommendations [4] characteristics are presented according to their authors only for design, relationships presented in monograph [5] describe very well the creep of „young” concrete, code [6] regulates only limit values of creep characteristics. Characteristics determined by Eurocode [1] depend on the main factors influencing creep deformations but their relationship with regulations of the code [2] used in Lithuania is not clear.

Therefore in this investigation relationships of specific creep characteristics for various compression grades of normal weight concrete describing great area of long-term deformations and taking into account the main factors influencing concrete creep were proposed. The proposed relationships also comply with regulation area of the code [2].

Analysis of specific concrete creep deformations based on steel prestress loss due to concrete creep calculation method [2] is presented in Chapter 2. Relationships for pure concrete specific creep (20–21) and for creep coefficient (23) were obtained. Comparison of these expressions with specific creep calculated according to code EC–2 [1] and recommended in [4] methods is shown in Figs 1–2.

In Chapter 3, mathematical description of pure specific concrete creep (21) and of pure creep coefficient (23) based on theory of elastic plastic body is presented. Comparison of specific concrete creep characteristics determined by (35) and (37) relationships with analogous characteristics applied in codes [1, 4] is shown in Figs 3–4.

In Chapter 4–5, coefficients (40), (41) evaluating the influence of water–cement ratio and quantity of cement paste on concrete creep deformations are presented. Analysis of experimental results of investigations of specific creep characteristics shows that time-dependent deformation properties depend not

only on factors by which concrete creep is specified in codes and discussed in Chapters 3–4, but also on quantity of cement paste and water–cement ratio. Conformity of specific creep values determined by relationships (35) proposed by us taking into account coefficients (40–41) with standard concrete [3] and experimental creep investigation results [18] are shown in Figs 4–5. Statistical analysis of experimental and theoretical concrete creep deformation values determined according to the method proposed by us and by the code [1] is presented in Table 2. Mean ratios  $\kappa = C_{eksp}(t, t_0) / C(t, t_0)$ , mean square deviations  $\sigma_\kappa$  and coefficient of variation  $\delta_\kappa$  were calculated. It was determined that theoretical values of specific creep calculated by the proposed method comply better (coefficient of variation  $\delta_\kappa=27.7\%$ ) with presented test results than code EC–2 [1] (coefficient of variation  $\delta_\kappa=31.9\%$ ) (Table 2).

Analysis of method of calculation of steel prestress loss due to concrete creep according to the acting code SNIТ [2] was made and relationships for linear specific creep of concrete B15 – B60 grade were proposed to satisfy the accuracy of practical calculations in the area of regulations of the code [2]. Specific creep relationships presented take into account the most important factors effecting creep deformations: concrete grade, times of loading and observation, scale and ambient humidity, quantity of cement and cement paste. These relationships of specific creep characteristics and the method of evaluation of variation of concrete characteristics can be applied for analysis of concrete structures under the action of long-term loads.

.....  
**Robertas BALEVIČIUS**, PhD student. Dept of Reinforced Concrete and Masonry Structures. Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al. 11, LT–2040 Vilnius, Lithuania.

MSc (1996). Co-author of 5 scientific articles. Research interests: evaluations of time-dependent non-elastic concrete deformations in concrete structures.

.....  
**Eugedijus DULINSKAS**, Doctor, Assoc Professor. Dept of Reinforced Concrete and Masonry Structures. Director of Research Laboratory of Buildings, Structures and Materials. Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al. 11, LT–2040 Vilnius, Lithuania.

Doctor (1974, engineering sciences), Assoc Professor (1980). In 1986–1990 joint research of concrete structures and probations in Germany. Author of 81 articles and 5 monographs. Research interests: mechanics of concrete, concrete and masonry structures, time-dependent actions, construction work in railway transport, renovation and strengthening of buildings and construction work.