



HIDROTECHNINIS BETONAS SU VIETINIAIS UŽPILDAIS IR JO NAUDOJIMAS MONOLITINIAMS STATINIAMS

Vigantas Antanas Žiogas¹, Svajūnas Juociūnas², Giedrius Žiogas³

^{1,2}*Kauno technologijos universitetas, Studentų g. 48, LT-51367 Kaunas, Lietuva*

³*AB „Pramprojekta“, K. Donelaičio g. 60, LT-44248 Kaunas, Lietuva*

El. paštas: ¹vigantas.ziogas@ktu.lt; ²svajunas.juociunas@ktu.lt; ³ziogas.giedrius@gmail.com

Įteikta 2009 05 21; priimta 2009 06 17

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjami hidrotechninių monolitinių betoninių statinių statybos technologijos ypatumai, vietinių užpildų naudojimo galimybės šių betonų gamybai, betonų nepralaidumo vandeniui nustatymo metodai bei jų vertinimas. Išnagrinėti vandens valymo įrenginių aukštų sienelių statybos technologijos ypatumai ir galimi technologiniai-organizaciniai sprendimai. Atlikta aukštų rezervuaro sienelių galimų betonavimo būdų ir nenutrūkstamos betonavimo technologijos procesų reguliuojančių parametrų bei jų sąveikos analizė. Pateiktos priklausomybės nenutrūkstamo betonavimo apimtims ir leistiniams betonuojamų segmentų ilgiams apskaičiuoti, įvertinant betono struktūros intensyvaus formavimosi pradžią, klodų skaičių betonuojamos sienutės aukštyje ir betonavimo intensyvumą.

Reikšminiai žodžiai: hidrotechninis betonas, vietiniai užpildai, betono nepralaidumas vandeniui, betono struktūra, nenutrūkstamo betonavimo technologija, vandens valymo įrenginiai, aukštos rezervuaro sienutės.

1. Įvadas

Pastaruoju laikotarpiu Lietuvoje statoma įvairios paskirties sudėtingų objektų. Jų statybai reikia papildomų teorinių tyrimų parenkant tinkamas medžiagas, projektuojant betono sudėtis ir kuriant bei pritaikant pažangias ir sparčias statybos technologijas. Statybos technologiniai ir organizaciniai sprendimai įvairios paskirties objektuose būna išskirtiniai. Daugelį metų KTU Statybos technologijų katedra bendradarbiauja su statybos organizacijomis, ruošia joms naujas statybos technologijas ir padeda spręsti kilusias problemas. Sprendžiami vandens nuotekų valymo įrenginių, radioaktyviųjų atliekų laikino sandėliavimo, chemijos pramonės, transporto ir jūros uosto statinių statybose kilę klausimai (Žiogas 1995; Žiogas, Žilinskaitė 2005; Žiogas, Juociūnas 2006). Taip pat sprendžiami betonų modifikavimo šiuolaikiniais superplastikliais ir armavimo įvairiu pluoštu klausimai (Žiogas, Juociūnas 2005). Nustatoma tokių betonų naudojimo technologija ir tikslingumas, įvertinant statybos technologijos spartą bei būsimas konstrukcijų eksploatavimo sąlygas.

Daugelyje objektų kyla problemų įrengiant (betonuojant) masyvias gelžbetonines konstrukcijas. Masyvių gelžbetoninių konstrukcijų nenutrūkstamo betonavimo technologijoms diegti reikia atitinkamo teorinio ir techninio pasirengimo. Reikia spręsti temperatūrų ir deformacijų pokyčių poveikį masyvioje konstrukcijoje, reglamentuoti betono sudėtis, betonavimo technologiją ir atitinkamą priežiūrą kietėjimo metu (Gutsch, Laube 2002; Hosoda, Kishi 2002; Durable... 1991; Žiogas, Juociūnas 2007; Nasir Amin *et al.* 2008; Seyed-Hassan *et al.* 2007; ACI 207.2R-95. 1995).

2. Techniniai ir technologiniai reikalavimai medžiagoms ir betonams

Statant specialios paskirties monolitinius statinius, tenka deramą dėmesį skirti vietinių užpildų naudojimo galimybėms, parinkti tinkamą cemento atmainą ir suprojektuoti betono mišinius atitinkamai betonavimo technologijai. Statant tokius statinius, kyla papildomų reikalavimų betonavimo technologijai, betono mišiniams ir betono savybėms. Statyboms naudojami liejūs

betono mišiniai, o betonai turi atitikti aukštus vandens nepralaidumo, atsparumo šalčiui bei padidinto agresyvumo vandens poveikio reikalavimus. Svarbią reikšmę šių rodiklių užtikrinimui turi užpildų atitiktis keliams techniniams reikalavimams.

Naudojant liejus betono mišinius, užpildai turi atitikti šiuos granulometrijos reikalavimus: užpildų mišinyje smėlio frakcija iki 1,25 mm dydžio turi sudaryti 25–35 %, o frakcija, mažesnė už 0,16 mm, – 3–5 %. Tiekiant betono mišinį siurbliais, rekomenduojama, kad naudojamame smėlyje frakcija 0,16–0,315 mm sudarytų apie 25 %.

Stambiuose užpilduose (frakcija 4/16 mm) turi būti maksimalus stambesnėsios frakcijos (8/16 mm) kiekis, t. y. 65–70 %.

Naudojant užpildus, atitinkančius šiuos reikalavimus arba nežymiai jų netenkinančius, betono mišiniai gaunami tinkamų technologinių parametrų, betonas pasiekia reikalingą stiprį ir vandens nepralaidumą, tačiau išryškėja silpnų dalelių, esančių žvirgždo skaldose, įtaka betono atsparumui šalčiui. Pagal šiuolaikinius reikalavimus silpnų dalelių kiekis skaldose, naudojamoje hidrotechniniams betonams, neturi viršyti 5 %, o skaldos atsparumas šalčiui turi būti F 100, kai respublikos šalčiausio mėnesio vidutinė temperatūra yra iki –10 °C. Kai šalčiausio mėnesio vidutinė temperatūra nuo –10 °C iki –20 °C, skaldos atsparumas šalčiui yra F 200.

Šiuo metu užpildų atsparumas šalčiui nediferencijuotas pagal hidrotechninio betono eksploatacijos sąlygas, o V/C santykis diferencijuotas priklausomai nuo betono eksploatacijos sąlygų ir reikalaujamo atsparumo šalčiui. Vadovaujantis šiuo metu naudojamų standartų reikalavimais, negalima daugumos vietinių stambių užpildų naudoti hidrotechninėje statyboje.

Dėl žvirgždo skaldos galimybių diferencijuotai naudoti hidrotechninių statinių statyboje (konstrukcijose po vandeniu ir po žeme, vandens lygio kitimo zonoje ir virš vandens) atlikti skaldos ir betonų su ja specialūs tyrimai.

Toliau pateikiami mūsų atliktų žvirgždo skaldos pavyzdžių tyrimo duomenys (1 lentelė).

Skaldos atsparumas šalčiui buvo nustatomas pagal standartų reikalavimus šaldymo kameroje (2 lentelė). Tuo pačiu metu buvo nustatytas ir silpnų dalelių atsparumas šalčiui. Tam tikslui iš žvirgždo skaldos pagal standarto reikalavimus išrinktos silpnos dalelės ir atitinkami jų kiekiai cikliška šaldomi ir atšildomi (3 lentelė).

Pagal 2 lentelės tyrimo duomenis žvirgždo skaldos atsparumo šalčiui markė F 50. Pagal 3 lentelės tyrimo

duomenis atrinktos silpnos dalelės po 50 ciklų praranda apie 25 % masės. Tai reiškia, kad šaldant žvirgždo skaldą (2 lentelė) faktiškai silpnų dalelių masės nuostoliai nuo bendros užpildų masės yra nedideli ir visuminiai skaldos masės nuostoliai gaunami dėl skaldytų dalelių mikroįtrūkių. Tokios dalelės su mikroplyšiais praktiškai neturi įtakos betono atsparumui šalčiui iki F 200.

1 lentelė. Žvirgždo skaldos fr. 4/16 tyrimo duomenys

Table 1. Crushed gravel fraction 4/16 research data

Band. Nr.	Pilna liekana % ant sietų			Silpnų dalelių kiekis, %
	D_{max}	0,5 ($D_{max} \div D_{min}$)	D_{min}	
1	2	3	4	5
1	9,5	73,3	95,3	8,8
2	9,9	82,8	96,4	5,25
3	8,7	78,7	95,7	4,32
4	9,7	74,7	98,7	5,4
5	11,45	50,25	85,15	4,69

2 lentelė. Žvirgždo skaldos atsparumas šalčiui

Table 2. Crushed gravel frost resistance

Band. Nr.	Frakcija, mm	Masė prieš bandymą, g	Šaldymo ir atšildymo ciklų sk.	Masė po bandymo	Masės nuostoliai, %	Atsparumo šalčiui markė
1	4/8	1000	50	960	4,0	F 50
2	4/8	1000	50	950	5,0	
3	8/6	1500	50	1430	4,66	
4	8/16	1500	50	1425	5,0	

3 lentelė. Atrinktų silpnų dalelių atsparumas šalčiui

Table 3. Frost resistance of selected weak particles

Frakcija, mm	Sauso bandinio masė, g	Vandens įgeriamumo % po 48 h	Masės nuostoliai po šaldymo ir šildymo ciklų		
			po 25 ciklų	po 50 ciklų	po 75 ciklų
4/8	300	5,0	16,6	27,1	33,6
8/16	700	5,0	13,6	24,0	30,5
Vidutiniai pokyčiai		5,0	14,5	25,5	32,5

Remdamiesi 3 lentelės tyrimo duomenimis ir teigdami, kad ant sieto 0,5 ($D_{max} \div D_{min}$) liekana sudaro 70 %, silpnų dalelių skaldose yra 5; 7,5; 10 % (atitinkamai frakcijose 4/8 ir 8/16 mm santykiu 2:1), apskaičiuoti žvirgždo skaldos nuostoliai šaldant ir kokiai markei pagal atsparumą šalčiui skaldą galima priskirti (4 lentelė).

4 lentelė. Apskaičiuoti žvirgždo skaldos masės nuostoliai šaldant

Table 4. Calculated crushed gravel mass loss when subjected to freezing

Esant silpnų dalelių, %	Nuostoliai % po šaldymo ir šildymo ciklų			
	po 25 ciklų	po 50 ciklų	po 75 ciklų	po 100 ciklų
5	0,357	0,547	0,688	0,865
7,5	0,487	0,826	0,990	1,20
10	0,664	1,25	1,42	1,65

Nuostoliai Δm po atitinkamo šaldymo ciklų skaičiaus surandami:

$$\Delta m = \frac{a_{I\delta} \cdot m_{I\delta}}{100} \cdot n_1 + \frac{m_{2g} \cdot m_{2\delta}}{100} \cdot n_2 \quad (1)$$

čia: $m_{I\delta}$ – silpnų dalelių kiekis, frakcijoje 4/8 mm; $m_{I\delta}$ – frakcijos 4/8 mm silpnų dalelių kasės nuostoliai šaldant; n_1 – frakcijos 4/8 mm kiekis vieneto dalimis užpildų mišinyje; m_{2s} , $m_{2\delta}$ ir n_2 analogiškai frakcijai 8/16 mm.

Iš tyrimų, atliktų pagal šią metodiką, matome, kad žvirgždo skalda atitinka atsparumo šalčiui reikalavimus.

Naudojant tirto karjero užpildus buvo suformuoti betono bandiniai (liejus betono mišinys, skirtas hidrotechninei statybai) ir po 28 parų kietėjimo atlikti šaldymo ir atšildymo ciklai. Vidiniai betono struktūros pakitimai periodiškai buvo sekami ultragarsu.

Tiriant betono bandinių atsparumą šalčiui, pastebėta, kad po 15–50 ciklų pradeda išbyrėti paviršiuje esančios silpnos dalelės (mergelingas ir sucementuotas smiltainis). Pavojingesni yra stambiosios frakcijos (8/16 mm) silpnieji užpildai. Betonų struktūros didesnių pokyčių, matuojant ultragarso sklidimo greitį po 50, 100, 150 ir 200 ciklų, nepastebėta, atsparumo šalčiui koeficientas $K_{\xi} > 1$.

Kai silpnų dalelių kiekis neviršija 5 % ir tame kiekyje mergelingo ir sucementuoto smiltainio dalelės tesudaro apie trečdalį, tyrimo metu nepasitaikė betono paviršiaus suardymo atvejų dėl silpnų dalelių išbyrėjimo cikliška šaldant betoną. Atlikus tyrimo duomenų analizę galima apibendrinti:

- žvirgždo skaldą rekomenduojama naudoti vandens valymo įrenginių požeminių ir kitų konstrukcijų betonams, kurių neveikia kintamas vandens lygis ir nevyksta vandens perpylimas;
- žvirgždo skaldos atsparumo šalčiui markę ir jos tinkamumą hidrotechniniams betonams rekomenduojame nustatyti, įvertinant silpnų dalelių kiekį ir jų atsparumą šalčiui;
- standartuose reikėtų numatyti diferencijuotą vietinės skaldos naudojimą hidrotechniniams betonams, įvertinant jų eksploatacijos sąlygas.

Statant specialiosios paskirties monolitinius statinius, dažnai reikia naudoti nelaidžius vandeniui betonus. Betonų nelaidumas vandeniui yra vienas iš svarbių veiksnių, nusakančių betonų ilgalaikiškumą. Betonų nelaidumas vandeniui, taip pat ir ilgalaikiškumas priklauso nuo suformuotos struktūros. Betono struktūra pradeda formuotis sumaišius betono mišinį, ji baigia formuotis kietėjimo metu ir, priklausomai nuo aplinkos poveikio, kinta eksploatacijos metu.

Betonų nelaidumas vandeniui reglamentuojamas toms gelžbetoninėms konstrukcijoms, kurios sąveikauja su vandeniu arba yra veikiamos drėgnos agresyvosios aplinkos.

Priklausomai nuo konstrukcijos paskirties ir eksploatacijos sąlygų praktikoje naudojamos šios nepralaidumo vandeniui markės: W2, W4, W6, W8, W10, W12. Betonų nepralaidumo vandeniui markė konkrečioms konstrukcijoms nustatoma atsižvelgiant į reikalavimus padidintam tankiui, nepralaidumui ir atsparumui korozijai. Konkreti nepralaidumo vandeniui markė nustatoma pagal projektavimo normas, standartus ir technines sąlygas.

Pagal statybos normas ir taisykles, priklausomai nuo aplinkos agresyvumo laipsnio ir panaudotos armatūrinio plieno grupės, gelžbetoninių konstrukcijų betonai turi atitikti W4, W6 ar W8 nepralaidumo vandeniui markes. Silpnai agresyvioje aplinkoje naudojamas W4 markės betonai, o stipriai agresyvioje aplinkoje W8 nepralaidumo markės betonai.

Šiuo metu betonai pagal LST EN 206-1 standartą skirstomi į nepralaidžius ir pralaidžius vandeniui. Betonai nepralaidūs vandeniui, kai vidutinis įsiskverbimo gylis, bandant pagal LST EN 12390-8, yra mažesnis negu 20 mm, o didžiausia reikšmė neviršija 50 mm. Nelaidaus vandeniui betono vandens cemento santykis turi neviršyti 0,55. Pažymėtina, kad eksploatacijos metu vandenyje plyšiai betone savaime užsi-
traukia ir betonai tampa labiau nepralaidūs vandeniui (Corola... 1996) ir atsparesnis korozijai (Матвиенко et al. 1984).

Pagal švedų betonų asociacijos rekomendacijas (Durable... 1991) iš betonų nebus išplaunami $\text{Ca}(\text{OH})_2$ junginiai, kai betono nelaidumas vandeniui neviršys 10^{-11} m/s. Tokie betonai atitiks B2/A2 naudojimo aplinkos sąlygų kategorijos reikalavimus. Pagal LST 1974:2005 tai turėtų būti markė $W > 4$ ($2 \cdot 10^{-9}$ – $7 \cdot 10^{-9}$ m/s).

Galiojant griežtesnėms B3/A3 eksploatacijos sąlygoms, betono nelaidumas turi neviršyti 10^{-12} m/s (pagal LST 1974:2005 tai būtų $W \geq 10$).

Įvairios paskirties statinių projektuose betonų nepralaidumas reglamentuojamas nepralaidumo marke arba betono pralaidumo rodikliu (pagal LST EN 206-1). Betonų nepralaidumo markės ir pralaidumo rodiklio naudojimas sukelia keblumų projektuotojams ir statybos objektų vykdytojams, nes iki šiol nėra nustatytų analitinių priklausomybių ir eksperimentinių lyginių tarp šių dydžių. Be to, nepralaidumo ir pralaidumo terminai dažnai neatitinka faktinės padėties tiriant betono savybes šiais minėtais metodais.

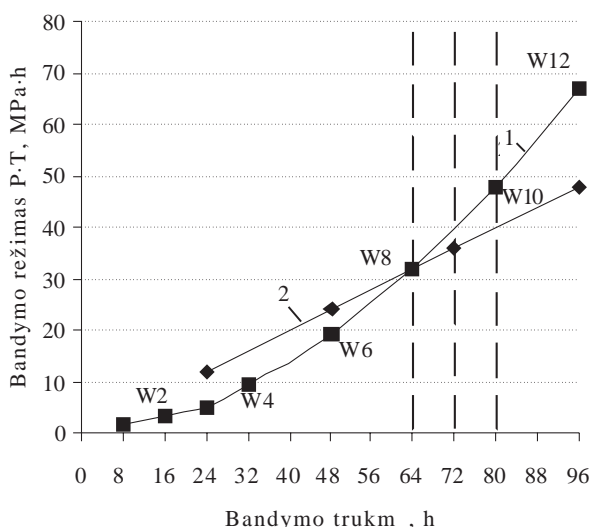
Gelžbetoninėms konstrukcijoms, betono gaminiams ir prekiniam betonui sertifikuoti respublikoje šiuo metu taikomi du betono nepralaidumo vandeniui nustatymo būdai, tai LST 1974:2005 „drėgnos dėmės“ metodas ir LST EN 12390-8 vandens įsiskverbimo gylio metodas.

3. Bandiniai tyrimams ir bandymo režimai

Lyginamiesiems tyrimams buvo panaudoti įvairių betono sudėčių (su skirtinga cemento atmaina, mažų, vidutinių ir aukštų stiprio klasių betonai, betonai su nepralaidumą vandeniui didinančiais priedais, suformuoti iš plastiškų ir liejū betono mišinių), standartiniai bandiniai – cilindrai 150 mm skersmens ir 150 mm aukščio.

Tyrimai buvo atliekami pagal režimus, pateiktus 1 pav.

Bandant bandinius iki 0,8 MPa (W8 nepralaidumo markė), slėgio ir laiko sandaugų suma $\Sigma P \cdot T = 32$ ir tai atima bandymo pagal LST EN 12390-8 reži-



1 pav. Bandymų režimų kreivės pagal LST 1974:2005 (1 kreivė) ir LST EN 12390-8 (2 kreivė)

Fig. 1. Experimental mode graphs according to LST 1974:2005 (graph 1) and LST EN 12390-8 (graph 2)

mui – $\Sigma P \cdot T = 36$. Pagal LST 1974:2005 bandymo trukmė 8 h trumpesnė už bandymo režimą pagal LST EN 12390-8.

Bandant bandinius iki 1,0 MPa slėgio (W10 nepralaidumo markė), slėgio ir laiko sandaugų suma $\Sigma P \cdot T = 48$ ir bandymo trukmė 8 h trumpesnė už režimą pagal LST EN 12390-8. Kaip matome, bandymo režimas pagal LST EN 12390-8 yra ne toks intensyvus, o bandymo trukmė ilgesnė.

Atlikdami lyginamuosius tyrimus LST EN 12390-8 pagrindiniu režimu ėmėme betono nepralaidumo markės W8 bandymo režimą pagal LST 1974:2005.

Remiantis mūsų atliktais tyrimais ir rekomenduojama priklausomybe (Khatri, Sirivivantnanon 1997), apskaičiuoti vandens įsiskverbimo (penetracijos) dydžiai d pagal formulę:

$$d^2 = \frac{2K_p \cdot T \cdot h}{V}, \tag{2}$$

čia: d – vandens įsiskverbimo gylis, m; K_p – filtracijos koeficientas, m/s; T – bandymo trukmė, s; h – vandens slėgis, m; V – betono poringumas, apskaičiuotas remiantis Khatri ir Sirivivantnanon (1997).

Vandens įsiskverbimo gylis d nustatytas pagal (2) priklausomybę, kai kapiliarinių porų kiekis V_k apskaičiuotas pagal žinomą priklausomybę:

$$V_k = \frac{V_0 - 2 \cdot W_s \cdot C}{1000}, \tag{3}$$

čia: V_0 – vandens kiekis 1 m³ betono mišinio; W_s – cemento surištas vandens kiekis; C – cemento kiekis, kg 1 m³ betono.

Apskaičiuoti vandens įsiskverbimo teoriniai gyliai pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė. Vandens įsiskverbimo teoriniai gyliai betonuose
Table 5. Theoretical water penetration depths in concretes

Betono nepralaidumo vanileniui markė	Filtracijos koeficientas K_p , m/s (teorinis)	Cemento kiekis, kg	V/C	Vandens įsiskverbimo gylis, mm (teorinis)	
				pagal (2)	pagal (2) ir (3)
W6	2·10 ¹¹ –6·10 ¹²	350	0,45	12,5–6,86	22,9–12,56
			0,55	12,23–6,73	15,04–8,24
W8	6·10 ¹² –1·10 ¹²	350	0,45	8,85–3,61	16,21–6,62
			0,55	8,68–3,54	10,63–4,34
W10	1·10 ¹² –6·10 ¹³	350	0,45	4,43–3,43	8,11–6,28
			0,55	4,34–3,36	5,35–4,12
Pagal LST EN 12390-8	6·10 ¹² –1 ¹⁰⁻¹² (imtas palyginimui)	350	0,45	8,41–3,43	13,7–6,3
			0,55	8,21–3,36	10,1–4,12
				Vid. ≤ 20, Maks. 50	

Remiantis bandymo režimais ir apskaičiuotais vandens įsiskverbimo teoriniais gyliais galima teigti, kad LST EN 12390-8 bandymas artimas betono bandymui nustatant W8 markę pagal LST 1974:2005.

4. Betonų nepralaidumo vandeniui lyginamieji tyrimai

Lyginamieji betonų nepralaidumo vandeniui tyrimai atlikti naudojant betonus nuo C16/20 iki C50/60 stiprio klasės. Bandiniai tyrimams suformuoti naudojant S2 ir S3 slankumo markės betono mišinius. Dalis tyrimo duomenų pateikta 6 lentelėje.

Remiantis teoriniais vandens įsiskverbimo gyliais betonuose (5 lentelė) ir eksperimentiniais tyrimais (6 lentelė), galima teigti, kad betonai C25/30, suformuoti iš S3 slankumo mišinių ir žemesnių stiprio klasių, yra pralaidūs vandeniui pagal LST EN 12390-8 reikalavimus. C25/30 stiprio klasės betonai gali būti ir nepralaidūs vandeniui, kai jie suformuoti iš S1 ar S2 slankumo markės mišinių ir juose naudoti plastikliai.

Teoriškai LST EN 12390-8 bandymo metodas atitinka W8 bandymo režimą pagal LST 1974:2005. Eks-

perimentinių tyrimų duomenys rodo, kad betonus tikslinga bandyti pagal LST EN 12390-8 metodą, kai jų nepralaidumo markė $W \geq 8$. LST EN 12390-8 metodas pagal eksperimentinius duomenis yra artimas W10 nepralaidumo markei pagal LST 1974:2005 nustatymo metodą.

Nepralaidžių vandeniui betonų struktūros poringumo rodiklis daugelį atvejų yra 1–1,1, o aukštų nepralaidumo markių betonų $\lambda < 1,0$. Struktūros poringumo rodiklis nustatomas pagal A. E. Šeikino metodiką (Шейкин *et al.* 1979).

Atliekant produkcijos sertifikavimą, LST EN 12390-8 pralaidumo nustatymo metodas taikytinas C25/30 ir aukštesnių gniuždomojo stiprio gniuždant klasių betonams, kurių nepralaidumo vandeniui markė $W \geq 8$. Rekomenduotina nustatyti C25/30 ir žemesnių klasių betonų, kurių $W \leq 8$, nepralaidumą vandeniui pagal LST 1974:2005

Remiantis atliktais tyrimais galima teigti, kad hidrotechninės paskirties statiniams be rekomenduojamo 40 mm storio apsauginio betono sluoksnio, būtina padidinti betonų nepralaidumo vandeniui reikalavimus.

6 lentelė. Betonų nepralaidumo vandeniui lyginamieji duomenys

Table 6. Comparative data of water impermeability

Eil. Nr.	Betono stiprio klasė	Maksimalus slėgis, MPa	Vandens įsiskverbimo gylis, mm, ir markė pagal LST 1974:2005	Vandens įsiskverbimo gylis, mm, ir pralaidumo rodiklis pagal LST EN 12390-8	Betono struktūros poringumo rodiklis λ
1(1)	C16/20	0,6	133, W6	100/85, pralaidus	
2	C16/20*	0,6	63, W8	32/20, pralaidus	
3	C16/20	0,7	W8	52/43, pralaidus	
4	C20/25*	0,6	35, W8	30/20, pralaidus	
5	C20/25	0,7	W8	77/60, pralaidus	
6	C25/30*	0,6	40, W > 8	30/17, nepralaidus 45/40, pralaidus	
7	C25/30	0,7	W > 8	50/33, pralaidus	
8	C25/30*	0,7	W > 8	pralaidus	1,31
9(1)	C25/30	0,8	52, W > 8	85/82, pralaidus	1,37
10(1)	C25/30*	0,8	130, W8		
11	C30/37*	0,7	W > 10	19/15, nepralaidus	
12	C30/37*	0,7	W > 10	11.4/9, nepralaidus	
13	C30/37	0,8	W \geq 10	25/18, nepralaidus 80/60, pralaidus	
14(1)	C30/37*	0,8	94, W8	pralaidus	1,03
15(1)	C30/37	0,8	80, W8		
16	C35/45	0,8	15–20, W10	nepralaidus	0,932
17	C35/45*	0,7	W > 10	19/16, nepralaidus 11,5/9, nepralaidus	1,06
18	C35/45*	0,7	W > 10	nepralaidus	0,84
19	C40/50**	1,0	W > 10	10/5, nepralaidus	0,937
20	C50/60**	1,6	W16	20/6, nepralaidus	0,652

*betonai su plastiklio priedu, ** betonai su plastikliu ir SiO₂ priedu, (1) – betonai iš liejū betono mišinių

Vietoje W6 bei W8 nepralaidumo vandeniui markių betonų atskiriems hidrotechninių statinių konstruktyvams rekomenduojama projektuoti nelaidžius vandeniui betonus pagal LST EN 12390-8 reikalavimus.

Hidrotechninių betonų projektavimo pagrindinės nuostatos ir ypatumai pateikti ankstesniuose tyrimuose (Žiogas 1999).

5. Vandens nuotekų valymo įrenginių aukštų sienelių statybos technologijos ypatumai

Vandens valymo įrenginių statybos technologijos, jų techninis-ekonominis vertinimas nagrinėtas ankstesniuose mūsų darbuose (Žiogas 1995; Žiogas, Žilinskaitė 2005; Žiogas, Juočiušas 2006; Žiogas 1999).

Šiame straipsnyje nagrinėjami vandens biologinio valymo talpyklų ir rezervuarų, turinčių aukštas sienutes, betonavimo ypatumai ir galimi technologiniai bei organizaciniai sprendimai.

Aukštos sienutės gali būti betonuojamos šiais būdais:

1. Sienutės betonuojamos naudojant betono mišiniui kloti ir giluminių vibratorių galvutėms nuleisti teleskopinius vamzdžius.
2. Aukštos sienutės betonuojamos paduodant betono mišinį ir įkišant giluminius vibratorius per klojinuose paruoštas angas.
3. Aukštos sienutės betonuojamos iš vienos pusės visiškai nesurenkant klojinių ir sudarant tinkamas sąlygas betono mišiniui kloti ir sutankinti. Paklojus betono mišinį numatytame sienutės aukštyje, surenkami likę klojiniai ir betonavimo procesas baigiamas.
4. Sienutės betonuojamos atskirais vertikaliais segmentais, įrengiant tarp jų horizontalias siūles.
5. Nevibracinio betonavimo būdu, naudojant susitankinančius liejus betono mišinius.

Dideli vandens nuotekų biologinio valymo rezervuarai (sienelių ilgis – apie 100 m) yra sudalyti temperatūrinėmis ir konstrukcinėmis-technologinėmis siūlėmis į atitinkamo ilgio segmentus. Tokių rezervuarų statyba vykdoma pagal pertraukiamą segmentinę betonavimo technologiją. Atstumas tarp konstrukcinių-technologinių siūlių segmentuose priklauso nuo konstrukcijos armavimo laipsnio, aplinkos temperatūros ir naudoto betono deformacinių savybių (ACI 350R-6. 2006; Žiogas, Juočiušas 2006). Be minėtų konstrukcinių sąlygų, segmento dydį lemia betonavimo darbų intensyvumas I_b , betono mišinio slėgis į klojinius ir sukloto betono mišinio kietėjimo kinetika (betono struktūros intensyvaus formavimosi pradžia $t_{st.f}$).

Galima betonuojamo segmento apimtis (m^3) nustatoma taip:

$$Q = I_b \cdot t_{st.f}. \quad (4)$$

Kai rezervuaro sienelių aukštis daugiau kaip 4 m, būtina įrengti sandarią horizontalią siūlę ir sienutę betonuoti dviem etapais. Aukštos sienutės betonavimas dviem etapais sumažina darbų spartą (apatinis klotas turi pasiekti (0,3–0,5) R_{pr} ir tik tada galima montuoti viršutinės dalies klojinius bei detonuoti), reikia įrengti brangiai kainuojančią horizontalią siūlę ir ją kokybiškai sujungti su vertikalia sandarinamąja segmento juosta, pailgėja darbų atlikimo trukmė. Be to, padidėja darbo sąnaudos klojiniams įrengti (nuo 0,245 žm. val./ m^2 iki 0,43 žm. val./ m^2). Šių problemų galima išvengti taikant nenutrūkstamo sienelių betonavimo būdą visu aukščiu. Tačiau projektuojant nenutrūkstamą betonavimo technologiją, reikia išspręsti šiuos klausimus:

- suprojektuoti šiai technologijai tinkamas betono sudėtis;
- išspręsti betono mišinio padavimo ir sutankinimo technologiją žemutinėje sienutės dalyje, kad nevyktų betono mišinio segregacija klojimo metu ir sluoksniavimasis sutankinant;
- įvertinti sukloto ir sutankinto betono mišinio slūgimo deformacijas, numatant klotų aukštį ir atitinkamas pertraukas užbetonavus klotus;
- plonesnių sienelių ($b < 0,4$ m) ir esant nepakanamai standžiai surinktų klojinių sistemai (per betonuojamo segmento ilgį ir plotį), betonavimo procesas turi būti atliktas iki betono mišinio struktūros intensyvaus formavimosi pradžios $t_{st.f}$.

Įvertinant pirmiau minėtus technologinius veiksnius, betonavimo apimtis apskaičiuojama taip:

$$Q = (t_{st.f} - 0,5(n_{kl.} - 1)) \cdot I_b. \quad (5)$$

Iš (5) priklausomybės surandame leistiną betonuojamo segmento ilgį $l_{seg.}$:

$$l_{seg.} = \frac{t_{st.f} - 0,5(n_{kl.} - 1)}{b \cdot h} I_b, \quad (6)$$

čia: Q – betonuojamo segmento tūris, m^3 ; $t_{st.f}$ – betono struktūros intensyvaus formavimosi pradžia, val.; $n_{kl.}$ – klotų skaičius betonuojamos sienutės aukštyje; b – sienutės plotis, m; h – sienutės aukštis, m; I_b – betonavimo intensyvumas, m^3 /val.

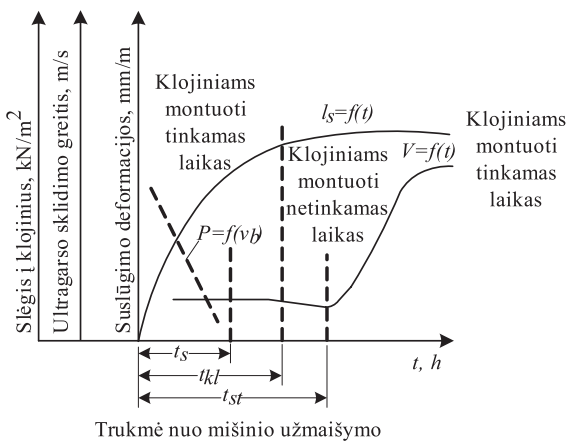
Betonuojamos sienutės segmento ilgis neturi viršyti leistinų atstumų tarp siūlių l_s (t. y. $l_{seg.} \leq l_s$) (ACI 350R-6. 2006).

Betono mišinį paduodant į klojinius siurbliu, reikalingos siurblio sąnaudos imamos 0,1–0,15 val./m³. Aukštomis sienutėms betonuoti siurblio darbo sąnaudos padidinamos apie 25 %.

Betonavimo technologijos procesą reguliuojančių išvestinių parametrų sąveika pateikta 2 pav.

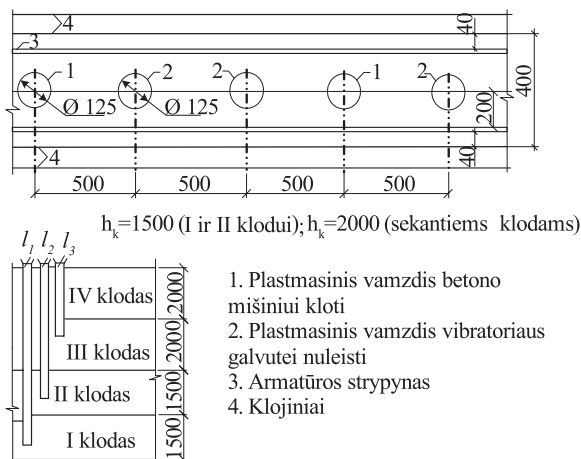
Įvertinus nenutrūkstamos betonavimo technologijos techninius reikalavimus, buvo parengtos rekomendacijos Kauno miesto vandens nuotekų biologinio valymo įrenginių statybai.

Rezervuaro aukštų sienučių nenutrūkstamos betonavimo technologijos sprendimo schema pateikta 3 pav.



2 pav. Betonavimo procesą reguliuojančių parametrų sąveika: t_s – betono mišinio suklojimo sluoksniais trukmė; t_{kl} – betono mišinio klotų intensyvaus slūgimo trukmė; t_{st} – sukloti ir sutankinto betono struktūros intensyvaus formavimosi pradžia

Fig. 2. Interaction of key parameters controlling the concreting process



3 pav. Aukštų sienučių betonavimas betono mišiniui kloti ir vibratoriams nuleisti naudojant plastmasinius vamzdžius

Fig. 3. Concreting high walls by means of plastic tubes for placing the mix and lowering vibrators

Reikalingas teleskopinių arba atitinkamų ilgių vamzdžių skaičius parenkamas įvertinant betonavimo segmento ilgį l_{seg} ir aukštį h .

Betono mišinys klojamas teleskopiniais arba išardomais vamzdžiais, kurie išdėstomi 1,5–2 m atstumais. Giluminiai vibratoriai nuleidžiami į apatinę dalį per vamzdžius, kurie išdėstyti įvertinant vibratorių veikimo zoną. Apatinių klotų aukštis projektuojamas iki 1,5 m, o viršutinių gali būti didesnis. Paskutinis klotas (IV) betonuojamas nenaudojant plastmasinių vamzdžių. Rezervuaro aukštos sienutės nenutrūkstamas betonavimas parodytas 4 pav.



4 pav. Rezervuaro aukštos sienutės nenutrūkstamas betonavimas

Fig. 4. Continuous concreting of reservoir's high walls

6. Išvados

1. Žvirgždo skaldos atsparumo šalčiui markę ir jos tinkamumą hidrotechniniams betonams rekomenduojama nustatyti, įvertinant silpnų dalelių kiekį ir jų atsparumą šalčiui. Žvirgždo skaldą su didesniu silpnų dalelių kiekiu (5–7 %) rekomenduojama naudoti vandens valymo įrenginių požeminių ir kitų konstrukcijų betonams, kurių neveikia kintamas vandens lygis ir nevyksta vandens perpylimas.
2. Betonų C25/30 ir žemesnių stiprio klasių nepralaidumą vandeniui rekomenduojama nustatyti pagal LST 1974:2005 metodą, o aukštesnių klasių betonų – pagal LST EN 12390-8.
3. Vandens nuotekų valymo įrenginių statyboms nenutrūkstamos betonavimo technologijos pritaikymas yra kompleksinis procesas, apimantis mokslinius tyrimus, projektavimą, naujų sprendimų bei technikos naudojimą.

4. Aukštų sienūčių betonavimo būdas turi būti parenkamas įvertinant vykdytojų patirtį, turimą techniką, statybos laiką ir terminus. Naudojama technologija turi užtikrinti projektines betono savybes ir jų stabilumą visoje konstrukcijoje.
5. Betonuojant aukštas rezervuarų sienutes reikia naudoti stabilių reologinių savybių betono mišinį, įvertinti betonuojamų klodų skaičių, betonavimo intensyvumą, šviežiai sutankinto betono mišinio sėdimo deformacijas ir kietėjimo kinetiką pradinio etapu.

Literatūra

- ACI 207.2R-95. 1995. *Effect of restraint, volume change and reinforcement on cracking of mass concrete*. American Concrete Institute, Detroit. 26 p.
- ACI 350R-6. 2006. *Environmental engineering structures*. American Concrete Institute, Farmington Hills. 484 p.
- Corola Edvardsen Lyngby. 1996. Water penetrability and autogenous healing of separation cracks in concrete, *Betonwerk-Fertigteil-Technik* 11: 77–85.
- Durable Concrete Structures*. 1991. Swedish Concrete Association. Stockholm. 55 p.
- Gutsch, A. W.; Laube, M. 2002. *Crack control for the massive concrete structures of new central railway station in Berlin*. Lisse, Abingdon, Exton (PA), Tokyo: A. A. Balkema publishers.
- Hosoda, A.; Kishi, T. 2002. *Crack resistant mechanism of expansive concrete in early ages*. Lisse, Abingdon, Exton (PA), Tokyo: A. A. Balkema publishers.
- Khatri, R. P.; Sirivivannanon, V. 1997. **Methods for the determination of water permeability of concrete**, *ACI Materials Journal*: May–June, 257–261.
- Nasir Amin M.; Jeong-Su Kim; Lee Y.; Jin-Keun Kim. 2008. Simulation of the thermal stress in mass concrete using a thermal stress measuring device, *Cement and Research* 39 (2009). Elsevier, 154–164.
- Seyed-Hassan Bagheri-Zadeh; Hyongkwan, K.; Hounsell, S.; Charles, R. W.; Soleymen, H.; King, M. 2007. Field study of concrete maturing methodology in cold water, *Journal of Construction Engineering and Management (ASCE)* 133(11): 827–835. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:11(827)
- Žiogas, V. 1995. Plastiškų ir liejū betono mišinių panaudojimas vandens valymo statinių betonams [Using plastic and flowing concrete mixes for water treatment plant concretes], iš *4-osios tarptautinės konferencijos „Naujos statybinės medžiagos, konstrukcijos ir technologijos“ medžiaga*. Vilnius, 115–121.
- Žiogas, V. 1999. Hidrotechninių betonų savybių ir panaudojimo monolitiniame statyboje ypatumų tyrimai [Analysis of properties hydrotechnical concretes and their using peculiarities in monolithic construction], iš *6-osios tarptautinės konferencijos „Naujos statybinės medžiagos, konstrukcijos ir technologijos“ medžiaga*. Vilnius: Technika, 76–81.
- Žiogas, V.; Juočiušas, S. 2005. Monolitinių betoninių grindų įrengimo ypatumai naudojant plaušinį armavimą [Peculiarities of installation monolithic concrete floors using fiber reinforcement], iš *Pažangioji statyba. Konferencijos pranešimų medžiaga*. Kaunas: Technologija, 187–192.
- Žiogas, V.; Juočiušas, S. 2006. Pažangių technologijų taikymas specialios paskirties objektų statyboje [Application of the Advanced Technology in Process of Construction the Special Objects], iš *Pažangioji statyba. Konferencijos pranešimų medžiaga*. Kauno technologijos universitetas. Kaunas, 177–182.
- Žiogas, V.; Juočiušas, S. 2007. Continuity concreting technology of massive foundation slab on piles, in *Modern Building Materials, Structures and Techniques: Selected Papers of the 9th International Conference*, May 16–18, 2007. Vilnius, Lithuania. Vilnius Gediminas Technical University, Lithuanian Academy of Science, International Association for Bridges and Structural Engineering, European Council of Civil Engineers. Vol. 1. Vilnius: Technika, 453–459 [ISI Proceedings].
- Žiogas, V.; Žilinskaitė, A. 2005. Vandens valymo įrenginių statybos technologijų analizė [Analysis of construction technologies of water treatment plants], iš *Pažangioji statyba. Konferencijos medžiaga*. Kaunas, 193–200.
- Матвиенко, В. А.; Дрозд, Г. Я.; Затолокин, Н. Е. 1984. Коррозия цементного камня в очистных сооружениях. [Matvijenko, V. A.; Drozd, G. J.; Zatulokin, N. J. Corrosion of hardened cement paste in water treatment plants], *Бетон и железобетон* 8: 40–41.
- Шейкин, А. Е.; Чеховский, Ю. В.; Бруссер, М. И. 1979. Структура и свойства цементных бетонов [Sheikin, A. E.; Chechovskij, J. V.; Brusser, M. J. Structure and properties of cement concretes]. Москва: Стройиздат. 344 с.

HYDROTECHNICAL CONCRETE WITH LOCAL AGGREGATES AND THEM USING FOR MONOLITHIC STRUCTURES

V. A. Žiogas, S. Juočiušas, G. Žiogas

Abstract. The article discusses the technological peculiarities of construction monolithic hydrotechnical concrete structures, use of local aggregates for producing special concretes, methods of determining water impermeability of concretes as well as the evaluation of the methods mentioned above. The article presents the requirements for the granulometric composition of aggregate mixes for the production of flowing concrete mixes used for the construction of monolithic hydrotechnical structures. The possibilities and expediency of using local crushed gravel with increased amounts of weak particles for hydro-

technical structures are discussed. The mass loss of weak particles is slight compared with the whole mass of aggregates, and the total mass loss of crushed gravel it occurs due to micro-cracks present in particles. The frost resistance mark of crushed gravel and its suitability for hydrotechnical concretes should be determined by evaluating the amount of weak particles and their frost resistance. The article discusses concrete impermeability data received by means of two methods (according to LST 1974:2005 and LST EN 12390-8 requirements). Theoretical water penetration depths have been calculated. Determination of water impermeability according to LST 1974:2005 is recommended for C25/30 and lower compressive strength class concretes with $W \leq 8$. The LST EN 12390-8 water impermeability determination method is recommended for C25/30 and higher compressive strength class concretes whose water impermeability mark is $W \geq 8$. For the construction of certain hydrotechnical structures water impermeable concretes whose water penetration depth should not exceed 20mm are recommended for use instead of the W6 and W8 concretes. Technological peculiarities and potential technological-organizational solutions for high walls of a water treatment plant have been discussed. The analysis of potential concreting methods of the reservoir's high walls has been made as well as that of the key parameters of the continuous concreting process and their interaction. Dependences for the estimation of continuous concreting volumes and permissible concreted segment lengths have been proposed by evaluating the beginning of the intensive formation structure of concrete, number of layers in the height of the concreted wall and concreting intensity.

Keywords: hydrotechnical concrete, local aggregates, concrete impermeability, structure of concrete, technology of continuous concreting, water treatment plants, reservoir's high walls.

Vigantas Antanas ŽIOGAS. Doctor, Associate Professor, Head of the Dept of Civil Engineering Technologies at Kaunas University of Technology (KTU). Research interests: massive building technologies, monolithic concrete floors arranging technologies, repair and strengthening technologies of concrete and reinforced concrete buildings, design composition of concrete mixes with special requirements, improvement the technology in monolithic building, research the special building technologies.

Svajūnas JUOČIŪNAS. Lecture of the Dept of Civil Engineering Technologies at Kaunas University of Technology (KTU). Research interests: technologies of installation monolithic concrete floors, optimization of construction processes.

Giedrius ŽIOGAS. Master of Civil Engineering. Civil Engineering AB Pramprojektas.