

UDC 691.327:666.973.2:666.64-492.3:624.041.06
DOI <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2025.35.8>

INVESTIGATION OF CREEP DEFORMATIONS OF KERALITE CONCRETE ON CARBONATE SAND

**Stolevych Igor Anatoliyovych¹, Posternak Oleksandr Oleksiyovych²,
Kovtunencko Oleksiy Volodymyrovych³, Petrash Svitlana Victorivna⁴,
Urazmanova Nadiia Fanisivna⁵**

¹ Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Materials Resistance,
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa, Ukraine,
e-mail: stolevich.i.a@gmail.com, orcid: 0000-0001-6729-8532

² Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Materials Resistance,
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa, Ukraine,
e-mail: alex.bk@ukr.net, orcid: 0000-0002-7016-6941

³ Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Materials Resistance,
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa, Ukraine,
e-mail: akovtunencko@odaba.edu.ua, orcid: 0000-0002-0542-0261

⁴ Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Materials Resistance,
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa, Ukraine,
e-mail: svet_lana_petrash@odaba.edu.ua, orcid: 0000-0002-8567-3962

⁵ Assistant at the Department of Architectural Structures,
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa, Ukraine,
e-mail: nadegdaurazmanova@odaba.edu.ua, orcid: 0000-0002-3415-4150

Abstract. *The aim of the work is to study the creep behavior of keralite concrete on carbonate sand including under the influence of composition factors and the initial relative stress level.*

Methodology. *The study of creep of keralite concrete on carbonate sand was carried out according to the experiment planning technique. Experiments to determine the creep strain were carried out according to the Box-Benken plan of dimension $K=3$. The factors taken as factors are: cement consumption (C), kg/m^3 - X_1 ; the aggregate structural factor r is X_2 ; age of concrete by the time of loading (t_0), days. - X_3 . Creep strains were determined in accordance with the requirements of [10]. The limiting relative and specific creep strains were determined according to the method described in [10]. In accordance with this methodology, to calculate the conditional-limit value of relative creep strains, a regression line should be drawn in coordinates $[\Delta t / \varepsilon_{cc}(t, t_0, \sigma); \Delta t]$. The values of the cotangent of the angle of slope of a line are given by their marginal value at the midpoints of the measurement.*

Results. *To solve applied problems of the theory of reinforced concrete taking into account its creep, it is important to determine the main factors affecting creep and to establish appropriate dependencies that allow predicting these deformations.*

The determining influence on creep deformations is exerted by formulation and technological factors. The peculiarities of concrete on porous aggregates intensify their influence, which was confirmed by our research.

Scientific novelty. Of all the variety of factors influencing creep deformations, on which the formation and establishment of keralite concrete as a material depends, the cement consumption, water consumption and concentration of keralite gravel should be referred to the most significant ones. The age of the keralite concrete at the time of stress application and the initial relative stress level also have a significant influence on these deformations.

One of the objectives of the research was to clarify the influence of formulation factors, age of keralite concrete and initial stress level on the development in time and limiting values of creep deformations.

Practical relevance. Mathematical and static analysis of the given experimental data of development in time of specific relative creep deformations $C(t, t_0, \sigma)$ keralite concrete of investigated compositions, loaded at ages $t=7, 28, 115$ days with initial relative stress levels $\eta(t_0)=\sigma(t_0)/f_{cc}(t_0)=0,2; 0,6; 0,8$, and specific linear creep strains $C(t, t_0)$ of keralite concrete of the same compositions and at the same loading ages, allowed to determine their limiting values. Studies [8,18] have confirmed a high degree of accuracy in predicting the ultimate creep characteristics using this methodology. In addition, in comparison with other methods, it is more universal and less labor-intensive.

Keywords: creep deformation, water, cement, concrete, regression equation, aggregate-structural factor.

INTRODUCTION

The reliability of predicting the creep strain values of keralite concrete on carbonate sand must be increased. For this purpose further research is needed of various factors and, first of all, formulation factors. The influence of formulation factors on the development in time and the magnitudes of creep strains were clarified. The dependencies for calculating the magnitudes of creep strains and their development in time, taking into account the main characteristics of the composition of keralite concrete on carbonate sand were established.

ANALYSIS OF PREVIOUS STUDIES

The results of creep studies can be expressed in relative strains, measures and creep characteristics. Depending on the formulation of the research problem, experimenters use different quantities. In the most perfect phenomenological theory of creep – the theory of elastic creep – the specific relative creep strains are taken as the main index characterizing the creep of concrete. Therefore, for the convenience of general analysis of the conducted creep studies, construction of dependencies for prediction of creep strains, as well as comparing the obtained results with the studies of other authors, in this paper the data are presented in specific creep strains.

OBJECTIVE

Identification of the nature and degree of influence of the factors of composition, age at the time of loading and initial relative stress level on creep deformations.

RESULTS AND DISCUSSION

Relative creep deformations $\varepsilon_{cc}(t, t_0, \sigma)$ from the action of constant compression stresses σ applied at time t_0 were determined as an algebraic difference of total strains of loaded and unloaded twin specimens. Specific relative creep strains $C(t, t_0, \sigma)$ were determined as the ratio of relative creep strains $\varepsilon_{ss}(t, t_0, \sigma)$ to stresses $\sigma(t_0)$ in the specimens at a given initial stress level. The required initial relative stress level was determined from the relationship $\sigma(t_0)/R_{in}(t_0)$.

Analysis of the experimental data $C(t, t_0, \sigma)$ and $C(t, t_0)$ shows that the development in time of deformations of keralite concrete on carbonate sand obeys the laws inherent in other types of concrete [2–4; 7; 11–14] and is characterized by a sufficiently high initial velocity in the first hours after loading with subsequent slow decay over time.

The regression of specific relative and specific linear creep strains on cement consumption, aggregate-structural factor and age of keralite concrete by the moment of loading was evaluated by mathematical models built on the basis of their limiting values. Verification by Fisher's F-criterion showed the adequacy of the models ($F_{ad} < F_{table}$) and their information value ($F_{inf} > F_{table}$).

The average coefficient of variation C_{vc} , characterizing the error of the experiment, is calculated from the results of determining $C(\infty, t_0, \sigma)$ and $C(\infty, t_0)$ on samples with zero levels of the studied factors. Its values indicate a sufficiently high homogeneity of $C(\infty, t_0, \sigma)$ and $C(\infty, t_0)$ and insignificant influence on these

characteristics of factors not taken into account in the study. The null hypothesis of homogeneity of the series of mean values of the coefficient of variation $H_0: C_{vc}(0)=C_{vc}(0,2)=C_{vc}(0,6)=C_{vc}(0,8)$ is not rejected. Hence, the initial relative stress levels $\eta(t_0)=\sigma(t_0)/R_v(t_0)$ have a statically significant effect on the scatter of the experimental values of the limiting values of $C(\infty, t_0, \sigma)$ and $C(\infty, t_0)$.

As can be seen from the numerical values of the regression coefficients, at any relative stress levels, the aggregate-structural factor is the most significant. An increase in the relative volume content of carbonate sand in the aggregate mixture and, consequently, an increase in the volume of the mortar part of the concrete leads to an increase in creep. This can apparently be explained by the decrease in the restraining effect that keralite gravel granules have on the creep of the mortar part of the concrete. Similar results of the effect of expanded clay gravel concentration on creep strains were obtained in [17]. The dependence of creep strains on this factor, regardless of the initial relative stress levels, is linear. Changing the relative volume content of carbonate sand in the range of 0.25-1 leads to an increase in the limiting values of $C(\infty, t_0, \sigma)$ at the age of loading $t_0=28$ days. at cement consumption 250 and 550 kg/m³ respectively in 5.8 and 3.6 times, and limit values $C(\infty, t_0)$ under the same conditions in 5.5 and 4.2 times. At the ages of keralite concrete loading $t_0=7$ and 115day, the variation of r within the same limits at a cement consumption of 400 kg/m³ leads to an increase in $C(\infty, t_0, \sigma)$ by 4 and 5.8 times, respectively, and $C(\infty, t_0)$ by 3.4 and 4.8 times.

The second most important factor in

influencing creep deformations is cement consumption. Numerous studies of heavy and light-weight concrete [1,5,6,9,15,16,19,20] have established that there is a clear relationship between creep deformations and cement consumption: increasing cement consumption reduces creep deformations.

In our studies, we found that it has an ambiguous effect on $C(\infty, t_0, \sigma)$ and $C(\infty, t_0)$, depending on the levels of aggregate-structural factor r . Figure 1 shows as an example the dependence of specific linear relative strains $C(\infty, 28)$ on cement flow rate at different values of aggregate-structural factor. This figure shows that when keralite gravel is absent in the mixture (curve $r=1$ in Fig. 1) or its low concentration (at $r > 0.65$), increasing cement consumption lowers the limiting values of $C(\infty, t_0)$. Increasing the concentration of keralite gravel in the mixture (at $r > 0.65$) causes an ambiguous dependence of $C(\infty, t_0)$ on cement flow rate. We noticed that at any value of r in the range from 0.25 to 0.65 there is an optimal cement flow rate $T_{s_{opt}}$ at which $C(\infty, t_0)$ take the minimum possible values. Thus, at $r = 0.25$ the optimum cement consumption $T_{s_{opt}}$ is 390 kg/m³, and at $r = 0.625$ $T_{s_{opt}}$ is 510 kg/m³. In these cases, an increase in cement consumption from 250 kg/m³ to $T_{s_{opt}}$ causes a decrease in $C(\infty, t_0)$, and its increase from $T_{s_{opt}}$ to 550 kg/m³ causes an increase in this characteristic. The analysis of the equations showed that the qualitative character of the dependence of $C(\infty, t_0)$ on cement consumption is preserved for specific relative creep strains $C(\infty, t_0, \sigma)$. Apparently, this character of dependence is caused by the active influence of aggregates on creep strains.

In many works [11; 12], the age of

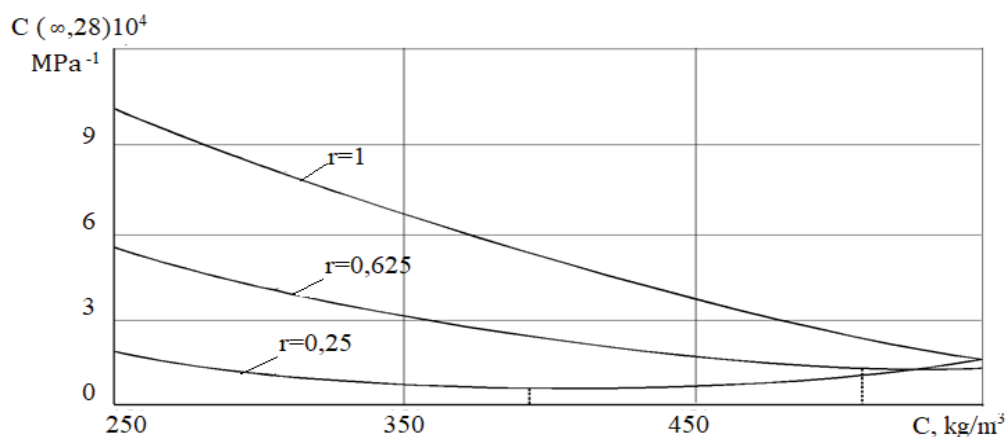


Fig.1. Dependence of ultimate linear relative creep strains on cement consumption at the age of loading of keralite concrete $t_0=28$ days

concrete at the time of loading with a long-term load is considered as one of the most important factors affecting its creep deformation. The vast majority of researchers come to the conclusion that as the age of concrete increases at the time of loading, its creep strain decreases. This is mainly due to the hardening of the concrete structure over time and the consequent reduction in the level of acting stresses. Although there are studies [17], the results of which show that when loading specimens of different ages with the same stress levels, the creep of concrete loaded at a later age is greater than at a younger age. This is mainly due to the significant increase of concrete strength over time observed in these experiments. The effect of the age of concrete by the time of loading with a long-term load on the development of creep deformations can be smoothed out.

In our studies, the effect of the age of keralite concrete on carbonate sand at the time of loading with a long-acting load on creep strains obey the basic laws inherent in other types of concrete, although the quantitative estimates are different. Earlier loading of concrete with the same stress level leads to higher creep strain limits. Evaluating the influence of the age of concrete at the time of loading, it can be concluded that of all the factors considered, it has the least influence on creep strains. The dependence of $C(\infty, t_0, \sigma)$ and $C(\infty, t_0)$ on $\lg t_0$ is almost linear at all loading levels $\eta(t_0)$. The effect of age of concrete by the time of loading on creep strains is independent of the levels of other factors except cement consumption (X_1) at $\eta(t_0)=0.6$ and 0.8. Loading of keralite concrete with the

accepted stress levels at ages from $t_0=7$ to 115 days. leads to a change in the limiting values of $C(\infty, t_0, \sigma)$ and $C(\infty, t_0)$ by an average of $\pm 28\%$ with respect to these characteristics of concrete loaded at ages $t_0=28$ days.

In all specimens on which creep was investigated, accelerated development of deformations was observed during holding time at the stages and in the first day after loading with a long-term load. These rapidly flowing plastic deformations determine the nonlinearity and account for a significant fraction of the total strains.

The analysis of the values of creep strain limits suggests that the creep strain nonlinearity may depend on the level of acting stresses, the composition of keralite concrete and its age at the moment of loading. The ratio $f_c = C(\infty, t_0, \sigma) / C(\infty, t_0)$ is taken as a characteristic of creep deformation nonlinearity.

The values of $C(\infty, t_0, \sigma)$ and $C(\infty, t_0)$ were used to obtain the numerical characteristics of the nonlinearity. The values of f_c determined in this way are given in Table 1. A clear enough dependence of f_c value on the level of acting stresses and composition of keralite concrete is traced.

The results of statistical parameters given in Table 2 show that at all loading levels the following condition is fulfilled: $t_{\text{calcul.}} < t_{\text{table.}}$. Consequently, the age of the keralite concrete at the time of loading with a long-term load has no statically significant effect on the creep strain nonlinearity. This allows us to consider the data on the creep strain nonlinearity independently of the loading time of the specimens.

Table 1

Experimental values of nonlinearity characteristic f_c

№ lines plan	№ composition	Age of loading t_0 , days	f_c at $\sigma(t_0) / f_{cd}(t_0)$			
			0	0,2	0,6	0,8
1	I	28	1	1,09	1,57	2,42
2	II	28	1	1	1,16	1,25
3	III	28	1	1,02	2,15	2,85
4	IV	28	1	1	1,11	1,50
5	V	115	1	1	1,57	1,97
6	V	7	1	1	1,15	1,32
7	VI	115	1	1,01	1,17	1,45
8	VI	7	1	1,21	1,99	2,31
9	VII	115	1	1,17	1,73	2,19
10	VII	7	1	1,18	1,55	1,87
11	VIII	115	1	1	1,30	2,37
12	VIII	7	1	1,06	1,17	1,59
13	IX	28	1	1,04	1,16	1,49
14	IX	28	1	1,01	1,16	1,48
15	IX	28	1	1,02	1,13	1,52

Table 2

Statistical parameters f_c												
No. of the plan line	Composition number	Age of loading t_0 , days	$\sigma(t_0)/ f_{cd}(t_0)$									Tabular value of Student's criterion
			0,2			0,6			0,8			
			f_c	S_{fc}^2	t_{calc}	f_c	S_{fc}^2	t_{calc}	f_c	S_{fc}^2	t_{calc}	
6 8 10 12	V VI VII VIII	7	1,11	0,010	0,88	1,47	0,157	0,23	1,77	0,179	0,74	2,447
5 7 9 11	V VI VII VIII	115	1,05	0,007		1,44	0,065		1,99	0,422		

CONCLUSIONS

1. Creep deformations of keralite concrete on carbonate sand obey the basic laws inherent in concrete on other types of aggregates. The available dependencies for predicting creep deformations of concrete do not fully take into account the peculiarities of keralite concrete on carbonate sand and cannot provide the required reliability of the calculation.

2. Creep strains are statistically significantly dependent on formulation factors, age of loading and time of observation, and level of acting stresses.

3. The basic dependencies of the hereditary theory of aging form the basis of the methodology for predicting creep deformations of keralite concrete on carbonate sand.

BIBLIOGRAPHY

[1] Chandra S., Berrtsson L. Lighttight Aggregate Concrete Science, Technology and Applications. Norwich, UK, USA. Noyes Publications/William Andrew Publishing. 2002. 100 p.

[2] Kravchenko S.A., Stolevich I.A., Kostyuk A.I., Urazmanova N.F. Study of the effect of crack formation on the performance of wall panels. IX International Scientific-Practical Conference "Actual Problems Of Engineering Mechanics" (APEM-2022), P. 118–119.

[3] Kravchenko S.A., Posternak O.O., Kostyuk A.I., Stolevich I.A., Urazmanova N.F. The effect of crack formation on the performance of wall panels. IX міжнародна науково-практична конференція «Актуальні проблеми інженерної механіки» 17–20 травня 2022 року.

[4] Kim M. O., Qian X., Lee M. K., Park W-S., Jeong S. T., Oh N. S. Determination of Structural Lightweight Concrete Mix Proportion for Floating Concrete Structures. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*. 2017. Vol. 29. Iss. 6. P. 315–325.

[5] Małgorzata Rodacka, Lucyna Domagała, Rafał Szydłowski. Assessment of Properties of Structural Lightweight Concrete with Sintered Fly Ash Aggregate in Terms of Its Suitability for Use in Prestressed Members. *Materials (Basel)*. 2023 Aug 2. 16(15). 5429. doi: 10.3390/ma16155429.

[6] Petr Havlásek, Vít Šmilauer, Lenka Dohnalová, Radoslav Sovják. Shrinkage-induced deformations and creep of structural concrete: 1-year measurements and numerical prediction. *Cement and Concrete Research*. Volume 144, June 2021, 106402. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106402>.

[7] Zareef M. A. E. An Experimental and Numerical Analysis of the Flexural Performance of Lightweight Concrete Beams reinforced with GFRP Bars. *Engineering, Technology & Applied Science Research*. 2023. vol. 13. no. 3. pp. 10776–10780.

[8] Агафонова І. П., Постернак О. О., Кравченко С. А., Агаєва О. А., Столевич І. А. Дослідження міцнісних і деформативних властивостей керамзитобетону на цементно-зольному в'язучому. *Нові технології в будівництві : науково-технічний журнал*. Київ. НДІБВ. 2021. № 40. С. 38–43. DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2021.40.5>.

[9] Дворкін Л. Й., Житковський В. В., Марчук В. В., Степасюк Ю. О., Скрипник М. М. Ефективні технології бетонів із застосуванням техногенної сировини: монографія. Рівне : НУВГП. 2017. 424 с. ISBN 978-966-327-362-4.

[10] ДСТУ Б В.2.7-216:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення деформацій усадки та повзучості. [Чинний від 01.09.2010]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 21 с.

[11] Кравченко С. А., Постернак О. О., Зінченко С. В., Агаєва О. А., Столевич І. А. Дослідження міцнісних і деформативних властивостей керамзитобетону на цементно-зольному в'язучому. *Нові технології в будівництві : науково-технічний журнал*. Київ : НДІБВ. 2021. № 39. С. 54–60. DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2021.39.8>.

[12] Кравченко С. А., Постернак О. О. Несуча здатність та деформативність згинальних елементів з керамзитобетону на багатокомпонентному в'язучому при довготривалій дії навантаження. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць*. Рівне. УДУВГП. 2018. № 35. С. 85–94.

[13] Кравченко С.А., Постернак О.О. Основні деформативні властивості керамзитобетонів. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць*. Рівне : УДУВГП. 2018. № 36. С. 47–54.

[14] Кравченко С. А., Постернак О. О., Столевич І. А. Конструкційні та конструкційно-теплоізоляційні легкі бетони на пористих заповнювачах.

Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. Рівне. УДУВГП. 2015. № 31. С. 213–221.

[15] Кравченко С. А., Постернак О. О., Столевич І. А. Несуча здатність та деформативність елементів і конструкцій з керамзитобетону на багатокомпонентному в'язучому. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві* : зб. наук. праць. Луцьк. Луцький національний технічний університет. 2021. № 16. С. 85–92. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6\(16\)-11](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6(16)-11).

[16] Очеретний В. П., Ковальський В. П., Машницький М. П., Діденко А. Ф. Використання відходів промисловості для виробництва ефективних будівельних матеріалів. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві* : науково-технічний збірник. Вінниця : ВНТУ. 2010. № 2. С. 53–55.

[17] Проектування керамзитобетонів з урахуванням рецептурно-технологічних факторів і конструкцій на їх основі для монолітного будівництва : монографія / В. С. Дорофєєв, А. І. Костюк та ін. Одеса : ОДАБА. 2014. 176 с.

[18] Столевич І. А., Постернак О. О., Костюк А. І., Уразманова Н. Ф., Кравченко С. А. Деформативні властивості керамзитобетону на карбонатному піску та цементно-зольному в'язучому в залежності від впливу чинників складу. *Збірник наукових праць «Теорія та практика дизайну»*. 2023. № 28. С. 96–103. URL: <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.28.10>.

[19] Столевич І. А., Постернак О. О., Петраш С. В., Костюк А. І., Уразманова Н. Ф. Бетони на пористих заповнювачах в будівництві. *Збірник наукових праць «Теорія та практика дизайну»*. 2024. № 32. С. 63–69. DOI <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2024.32.8>.

[20] Столевич І. А., Постернак О. О., Петраш С. В., Ковтуненко О. В., Уразманова Н. Ф. Research and analysis of the influence of recipe and technological factors on the strength of expanded clay concrete on quartz sand. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2024. № 21. С. 235–243. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-25](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-25)

REFERENCES

[1] Chandra, S., & Berrtsson, L. (2002). *Lightweight Aggregate Concrete Science, Technology and Applications*. Norwich, UK, USA. Noyes Publications/William Andrew Publishing [in English].

[2] Kravchenko, S.A., Stolevich, I.A., Kostyuk, A.I., & Urazmanova, N.F. (2022). Study of the effect of crack formation on the performance of wall panels. *IX International Scientific-Practical Conference «Actual Problems Of Engineering Mechanics»*. (Vol. 2840), <https://doi.org/10.1063/5.0169189> [in English].

[3] Kravchenko, S.A., Posternak, O.O., Kostyuk, A.I., Stolevich, I.A., & Urazmanova, N.F. (2022). The effect of crack formation on the performance of wall panels. Study of the effect of crack formation on the performance of wall panels. *IX International Scientific-Practical Conference «Actual Problems Of Engineering Mechanics» (APEM-2022)*, (pp. 118–119) [in English].

[4] Kim, M. O., Qian, X., Lee, M. K., Park, W.-S., & Jeong, S. T., & Oh, N. S. (2017). Determination of Structural Lightweight Concrete Mix Proportion for

Floating Concrete Structures. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*. (Vol. 29), (pp. 315–325) [in English].

[5] Małgorzata Rodacka, Lucyna Domagała & Rafał Szydłowski. (2023). Assessment of Properties of Structural Lightweight Concrete with Sintered Fly Ash Aggregate in Terms of Its Suitability for Use in Prestressed Members. *Materials (Basel)*. (16). <https://doi.org/10.3390/ma16155429> [in English].

[6] Petr Havlásek, Vít Šmilauer, Lenka Dohnalová & Radoslav Sovják (2024). Shrinkage-induced deformations and creep of structural concrete: 1-year measurements and numerical prediction. *Cement and Concrete Research*. (Vol.144). <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106402> [in English].

[7] Zareef, M. A. E. (2023). An experimental and numerical analysis of the flexural performance of lightweight concrete beams reinforced with GFRP bars. *Engineering, Technology & Applied Science Research*. 13, 10776–10780 [in English].

[8] Ahafonova, I.P., Posternak, O.O., Kravchenko, S.A., Ahaieva, O.A., & Stolevych, I.A. (2021). Doslidzhennia mitsnisnykh i deformatyvnykh vlastyvoستي keramzytobetonu na tsementno-zolnomu viazhuchomu [Research of durability and deformation properties of keramzite concrete on cement-ash astringent]. *Novi tekhnologii v budivnytstvi – New technologies in building*, 40, 38–43. DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2021.40.5>. [in Ukrainian].

[9] Dvorkin, L.I., Zhytkovskiy, V.V., Marchuk, V.V., Stepasiuk, Yu.O., & Skrypnyk, M.M. (2017). *Efektivni tekhnologii betoniv iz zastosuvanniam tekhnolohnoi syrovyny : monohrafiia [Effective technologies of concrete with the use of made raw materials: monograph]*. Rivne: NUVHP. [in Ukrainian].

[10] Budivelni materialy. Betony. Metody vyznachennia deformatsii usadky ta povzuchosti [Building materials. Concrete. Methods for determining shrinkage and creep deformations]. (2010). *DSTU B V.2.7-216:2009 from 1st September 2010*. Kyiv : Minrehionbud Ukraine [in Ukrainian].

[11] Kravchenko, S.A., Posternak, O.O., Zinchenko, S.V., Ahaieva, O.A., & Stolevych I.A. (2021). Doslidzhennia mitsnisnykh i deformatyvnykh vlastyvoستي keramzytobetonu na tsementno-zolnomu viazhuchomu [Research of durability and deformation properties of keramzite concrete on cement-ash astringent]. *Novi tekhnologii v budivnytstvi – New technologies in building*, 39, 54–60. DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2021.39.8>. [in Ukrainian].

[12] Kravchenko, S.A., & Posternak, O.O. (2018). Nesucha zdattist ta deformatyvnist zghynalnykh elementiv z keramzytobetonu na bahatokomponentnomu viazhuchomu pry dovhotryvalii dii navantazhennia [Bearing capacity and deformability of flexural elements made of expanded clay concrete on a multi-component binder under long-term load action]. *Resursoekonomni materialy, konstruktzii, budivli ta sporudy – Resource-saving materials, constructions, buildings and structures*, 35, 85–94 [in Ukrainian].

[13] Kravchenko, S.A., & Posternak, O.O. (2018). Osnovni deformatyvni vlastyvoستي keramzytobetoniv [The basic deformation properties of claydite concretes].

Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy – Resource-saving materials, constructions, buildings and structures, 36, 47–54 [in Ukrainian].

[14] Kravchenko, S.A., Posternak, O.O., & Stolevych, I.A. (2015). Konstruktsiini ta konstruktsiino-teploizoliatsiini lehkii betony na porystykh zapovniuvachakh [Structural and structural and heat-insulating lightweight concretes on porous aggregates]. *Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy – Resource-saving materials, constructions, buildings and structures*, 31, 213–221 [in Ukrainian].

[15] Kravchenko, S.A., Posternak, O.O., & Stolevych, I.A. (2021). Nesucha zdattist ta deformatyvni elementiv i konstruktsii z keramzytobetonu na bahatokomponentnomu viazhuchomu [Load-bearing capacity and deformability of expanded clay concrete elements and structures on multicomponent binder]. *Suchasni tekhnologii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi – Modern Technologies and Methods of Calculations in Construction*, 16, 85–92. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6\(16\)-11](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6(16)-11). [in Ukrainian].

[16] Ocheretnyi, V. P., Kovalskyi, V. P., Mashnytskyi, M. P., & Didenko, A. F. (2010). Vykorystannia vidkhodiv promyslovosti dlia vyrobnytstva efektyvnykh budivelnnykh materialiv [Use of industrial waste for the production of effective building materials]. *Suchasni tekhnologii, materialy i konstruktsii v budivnytstvi – Modern Technology, Materials and Design in Construction*, 2, 53–55 [in Ukrainian].

[17] Dorofiev, V.S., Kostyuk A.I., Stolevych, I.A., Posternak, O.O., & Pushina, N.V. (2014). *Proektuvannia*

keramzytobetoniv z urakhuvanniam retsepturno-tekhnologichnykh faktoriv i konstruktsii na yikh osnovi dlia monolitnoho budivnytstva : monohrafiia [Design of expanded clay concrete taking into account recipe-technological factors and constructions based on them for monolithic construction: monograph]. Odesa: ODABA [in Ukrainian].

[18] Stolevych I.A., Posternak O.O., Kostyuk A.I., Urazmanova N.F., & Kravchenko S.A. (2023). Deformatyvni vlastyvoli keramzytobetonu na karbonatnomu pisku ta tsementno-zolnomu viazhuchomu v zalezhnosti vid vplyvu chynnykh skladu [Deformation properties of expanded clay aggregate concrete on carbonate sand and cement-ash astringent depending on the influence of composition factors]. *Teoriia ta praktyka dyzainu – Theory and practice of design*. 28, 96–103. <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.28.10> [in Ukrainian].

[19] Stolevych, I.A., Posternak, O.O., Petrash, S.V., Kostyuk, A.I., & Urazmanova, N.F. (2024). Betony na porystykh zapovniuvachakh v budivnytstvi [Concretes on porous aggregate in building]. *Teoriia ta praktyka dyzainu – Theory and practice of design*. 32, 63–69. <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2024.32.8>. [in Ukrainian].

[20] Stolevych, I.A., Posternak, O.O., Petrash, S.V., Kovtunencko, O.V. & Urazmanova, N.F. (2024). Research and analysis of the influence of recipe and technological factors on the strength of expanded clay concrete on quartz sand. *Suchasni tekhnologii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi – Modern technologies and methods of calculations in construction*. 21, 235–243. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-25](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-25).

АНОТАЦІЯ

Столевич І., Постернак О., Ковтуненко О., Петраш С., Уразманова Н. Дослідження деформацій повзучості кERALІТОБЕТОНУ НА КАРБОНАТНОМУ ПІСКУ

Метою роботи є дослідження повзучості кERALІТОБЕТОНУ НА КАРБОНАТНОМУ ПІСКУ, зокрема, під впливом факторів складу й початкового відносного рівня напружень.

Методологія. Дослідження повзучості кERALІТОБЕТОНУ НА КАРБОНАТНОМУ ПІСКУ проводилося за методикою планування експерименту. Досліди з визначення деформації повзучості проводилися за планом Бокса – Бенкена розмірності $K=3$. Як фактори прийняті: витрата цементу (C), кг/м^3 – X_1 ; агрегатно-структурний фактор r – X_2 ; вік бетону до моменту завантаження (t_0), діб – X_3 . Деформації повзучості визначені відповідно до вимог [8]. Граничні відносні та питомі деформації повзучості визначені відповідно до методики, описаної у [8], відповідно до якої для обчислення умовно-граничного значення відносних деформацій повзучості варто побудувати лінію регресії в координатах $[\Delta t / \varepsilon_{cc}(t, t_0, \sigma); \Delta t]$. Значення котангенса кута нахилу прямої дає їх граничне значення по середніх точках вимірювання.

Результати. Для розв'язання прикладних задач теорії залізобетону з урахуванням його повзучості важливо визначити основні фактори, що впливають на повзучість, і встановити відповідні залежності, що дають змогу прогнозувати ці деформації. Визначальний вплив на деформації повзучості надають рецептурні й технологічні фактори. Особливості бетонів на пористих заповнювачах посилюють їх вплив, що підтвердили наші дослідження.

Наукова новизна. З усього різноманіття факторів, що впливають на деформації повзучості, від яких залежить формування й становлення кералітобетону як матеріалу, до найбільш значущих варто зарахувати витрату цементу, води й концентрацію кералітового гравію. Вік кералітобетону до моменту прикладажння напружень та початковий відносний рівень напружень також мають значний вплив на ці деформації.

Одне із завдань досліджень – з'ясувати вплив рецептурних факторів, віку кералітобетону та початкового рівня напружень на розвиток у часі й граничні значення деформацій повзучості.

Практична значущість. Математико-статичний аналіз наведених дослідних даних розвитку в часі питомих відносних деформацій повзучості $C(t, t_0, \sigma)$ кералітобетону досліджених складів, навантажений у віках $t = 7, 28, 115$ діб з початковими відносними рівнями напружень $\eta(t_0) = \sigma(t_0)/f_{cd}(t_0) = 0,2; 0,6; 0,8$, а також питомих лінійних деформацій повзучості $C(t, t_0)$ кералітобетону однакових складів і за однакового віку навантаження, дали б змогу визначити їх граничні значення. Дослідження [4; 5] підтвердили високий ступінь точності прогнозування кінцевих характеристик повзучості за допомогою цієї методики. Крім того, порівняно з іншими методами, він більш універсальний і менш трудомісткий.

Ключові слова: деформація повзучості, вода, цемент, бетон, рівняння регресії, агрегатно-структурний фактор.

АВТОРСЬКА ДОВІДКА:

Столевич Ігор, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри опору матеріалів, Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, Україна, e-mail: stolevich.i.a@gmail.com, orcid: 0000-0001-6729-8532.

Постернак Олександр, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри залізобетонних конструкцій і транспортних споруд, Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, Україна, e-mail: alex.bk@ukr.net, orcid: 0000-0002-7016-6941.

Ковтуненко Олексій, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри опору матеріалів, Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, Україна, e-mail: akovtunenکو@odaba.edu.ua, orcid: 0000-0002-0542-0261.

Петраш Світлана, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри опору матеріалів, Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, Україна, e-mail: svet_lana_petrash@odaba.edu.ua, orcid: 0000-0002-8567-3962.

Уразманова Надія, асистент кафедри архітектурних конструкцій, Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, Україна, e-mail: nadegdaurazmanova@odaba.edu.ua, orcid: 0000-0002-3415-4150.

Стаття подана до редакції 30.01.2025р.