

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 666.973.3

DOI: 10.52957/2782-1919-2024-5-3-31-41

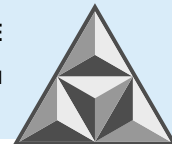
Исследование свойств проницаемого бетона

А.И. Кравцов, А.А. Макаева, И.А. Оденбах

Алексей Иванович Кравцов*, Альмира Абдулхаевна Макаева, Ирина Александровна Оденбах

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Российская Федерация

*alivkr@mail.ru**, *alla_ish@mail.ru*, *79128486201@yandex.com*



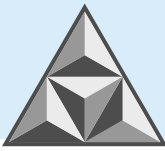
Проницаемый бетон обладает способностью пропускать воду через свою структуру, что эффективно используется при создании дренажных систем и водопроницаемых покрытий. Основное внимание уделяется анализу зависимости физико-механических свойств проницаемого бетона от рецептурных факторов, таких как расход цемента, водоцементное отношение и добавка полипропиленовой фибры. Выполнен полный двухфакторный эксперимент и регрессионный анализ, позволяющие определить влияние каждого из вышеуказанных факторов на плотность, пористость и прочностные характеристики материала. Установлено, что плотность и пористость образцов бетона, прочность на изгиб и сжатие зависят в основном от расхода цемента. Изменение расхода полипропиленовой фибры в бетонной смеси оказывает малое влияние на прочность, но имеет значение для улучшения других эксплуатационных свойств, в частности, морозостойкости. Выявлено, что оптимизация состава проницаемого бетона с учетом расхода цемента и добавления полипропиленовой фибры позволяет получить строительный материал с требуемыми показателями прочности и пористости.

Ключевые слова: проницаемый бетон, полипропиленовая фибра, физико-механические свойства, расход цемента, пористость, прочность на сжатие и изгиб

Для цитирования:

Кравцов А.И., Макаева А.А., Оденбах И.А. Исследование свойств проницаемого бетона // *Умные композиты в строительстве*. 2024. Т. 5, вып. 3. С. 31-41.
URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/5358/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2024-5-3-31-41



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/2782-1919-2024-5-3-31-41

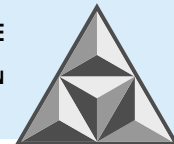
Study of properties of pervious concrete

A.I. Kravtsov, A.A. Makaeva, I.A. Odenbakh

Aleksei I. Kravtsov*, Almira A. Makaeva, Irina A. Odenbakh

Orenburg State University, Orenburg, Russia

*alivkr@mail.ru**, *alla_ish@mail.ru*, *79128486201@yandex.com*



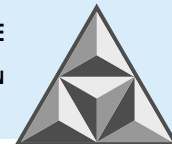
Pervious concrete has the ability to permeate water through its structure, which makes it effective in creating drainage systems and culverts. The authors focus on analyzing the dependence of physical and mechanical properties of pervious concrete on formulation factors such as cement consumption, water-cement ratio and polypropylene fibre addition. The authors performed a complete two-factor experiment and regression analysis. It allows to determine the effect of each of the mentioned factors on the density, porosity and strength characteristics of the material. The results of the study show that the density and porosity of concrete samples, flexural and compressive strengths vary mainly with cement consumption. Changing the consumption of polypropylene fibre in the concrete mix has a negligible effect on strength but is important for improving other performance properties such as frost resistance. The study revealed that optimising the composition of pervious concrete, taking into account cement consumption and the addition of polypropylene fibre, allows the production of a construction material with the required strength and porosity values.

Keywords: pervious concrete, polypropylene fibre, physical and mechanical properties, cement consumption, porosity, compressive and flexural strength

For citation:

Kravtsov A.I., Makaeva A.A., Odenbakh I.A. Study of properties of pervious concrete // *Smart Composite in Construction*. 2024. Vol. 5, Iss. 3. P. 31-41. URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/5358/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2024-5-3-31-41



ВВЕДЕНИЕ

Проницаемый бетон, известный также как «крупнопористый» («дренирующий», «фильтрующий»), представляет собой уникальный и инновационный материал, который позволяет воде проникать в его структуру. Это свойство идеально подходит для использования в системах устойчивого управления сточными водами, таких как дренажные системы и водопрпускные покрытия.

Во многих работах приводятся сведения о появлении этого материала [1-4]. В Советском Союзе еще в 30-х годах XX столетия упоминалось о крупнопористом бетоне и его свойствах [5-8]. Особенностью его состава являлось практически полное отсутствие мелкого заполнителя и высокая открытая пористость. Такой бетон применялся в качестве стенового материала, для дренажа и фильтрации [9-11]. В качестве заполнителя чаще использовались пористые породы или искусственно созданные материалы типа керамзита. С введением в 1995 г. жестких требований к теплотехническим характеристикам ограждающих конструкций зданий применение крупнопористого бетона как стенового материала в индустриальном строительстве практически прекратилось.

За рубежом, особенно в странах с мягким и влажным климатом, интерес к крупнопористому бетону возрастал, годовая активность по данной тематике к 2020 году превысила отметку 100 публикаций [12]. В своем обзоре В.Р. Фаликман отмечает, что причиной такого интереса стало возрастающее влияние экологических требований к строительным материалам и изделиям, а основной областью применения проницаемых бетонов явились несущие и дренажные слои покрытия, а также способствующие снижению уровня шума [12].

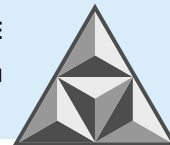
Проницаемый бетон имеет неплохие перспективы для применения в теплицах, на парковочных площадках, пешеходных дорожках и автодорогах с низким трафиком, что связано с его высокой проницаемостью и неплохими механическими характеристиками [13-18].

Структура данного материала может быть модифицирована с целью улучшения его механической прочности и увеличения срока службы, что способствует расширению области его применения в городской инфраструктуре [14].

Использование проницаемого бетона в условиях сельской местности (в частности, на тротуарах) обеспечивает устойчивый уровень грунтовых вод и благоприятствует созданию экономически выгодных систем управления стоками [19, 20].

Для проницаемого бетона, как и для обычных бетонов, главными свойствами являются прочность на сжатие и изгиб, долговечность, истираемость, плотность и пористость. Значимость этих свойств может несколько отличаться от требований к обычным бетонам. На первом месте, по нашему мнению, находится проницаемость, так как именно она является маркером для проницаемого бетона. Другое важное свойство – прочность при изгибе, поскольку проницаемый бетон довольно часто выступает в качестве элемента дорожного покрытия. Разумеется, не менее важны и другие характеристики, которые неразрывно связаны друг с другом.

При обсуждении свойств большинство авторов ссылаются на опубликованный Американским институтом бетона отчет о строительном материале ACI 522-R-10 [21], в котором изложена техническая информация о применении проницаемого бетона, методах проектирования, материалах, свойствах, пропорциях смеси, методах строительства, испытаниях и проверках.



Плотность проницаемого бетона определяется характеристиками и соотношением компонентов в смеси, а также методиками уплотнения, применяемыми во время его укладки. В большинстве случаев плотность варьируется между 1600 и 2000 кг·м⁻³, что позволяет отнести его к категории легких бетонов.

Проницаемость бетона для воды зависит от открытой пористости, физико-химических свойств используемых материалов и технологии укладки. Обычно водопроницаемость бетона составляет 0.2-1.2 см·с⁻¹, а пористость колеблется в диапазоне от 15 до 35%.

Что касается механических свойств, то водопроницаемые бетонные смеси могут достигать прочности на сжатие от 3.5 МПа до 28.0 МПа. Прочность на изгиб для таких бетонов обычно находится в пределах 1.0-3.8 МПа. На этот показатель оказывает влияние множество факторов, в частности, качество уплотнения, уровень пористости и соотношение между цементом и заполнителем.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве исходных материалов для изготовления образцов использовали:

- цемент АККЕРМАНН 400 производства ООО «АККЕРМАНН ЦЕМЕНТ» (г. Новотроицк);
- щебень фракции 5...10 мм производства АО «Орское карьероуправление»;
- фибру полипропиленовую ТУ 2499-007-90557835-2014 (ООО «Цеммикс»).

Измерение плотности и объема пустот проводили в соответствии со стандартом ASTM C1754 [21]. Для этого бетонные образцы сначала сушили при повышенной температуре (105°C), регистрировали их массу, затем погружали в воду на 30 мин для удаления воздушных пузырьков из пустот. После этой процедуры для каждого образца измеряли массу в погруженном состоянии, что позволяет определить плотность материала и его пористость.

По стандарту ГОСТ 310.4-81 [22], прочность на сжатие определяется как максимальное одноосное сжимающее напряжение, при котором происходит разрушение материала. При испытании использовали металлические прокладки, обеспечивающие площадь нагружения 25 см². В документе ACI 522R [23] указано, что минимальная прочность на сжатие должна быть ≥ 3.0 МПа.

Прочностные испытания на изгиб в соответствии с ГОСТ 310.4-81 [22] включают приложение нагрузки к бетонному образцу в форме балочки с сечением 4×4×16 см, при этом нагрузка прилагается в центре образца. Согласно рекомендациям ACI 522R [23], прочность материала на изгиб должна превышать 1.0 МПа.

Для определения влияния рецептурных факторов на свойства проницаемого бетона реализовали полный двухфакторный эксперимент; параметры представлены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры плана эксперимента

Table 1. Experimental design parameters

Наименование фактора	Код	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования
Цемент, кг·м ⁻³	x1:	280	325	370	45
Фибра, кг·м ⁻³	x2:	0.93	1.85	2.77	0.92

В соответствии с принятой методикой эксперимента изготавливали образцы-балочки размером 4×4×16 см (рис. 1). Водоцементное отношение составляло 0.4, уплотнение смеси осуществлялось трамбованием.

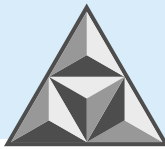


Рис. 1. Экспериментальные образцы для испытаний

Fig. 1. Experimental samples for testing

Образцы выдерживали в течение 1 сут. в нормальных условиях, затем осуществляли тепловую обработку при 80°C еще 3 ч, а после – неконтролируемое остывание. После твердения определяли плотность и пористость образцов, прочность на изгиб и сжатие.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе эксперимента получены уравнения регрессии, отражающие зависимость исследуемых свойств от варьируемых факторов. По уравнениям регрессии построены изолинии исследуемых свойств – плотности (рис. 2), пористости (рис. 3), прочности на изгиб (рис. 4) и сжатие (рис. 5).

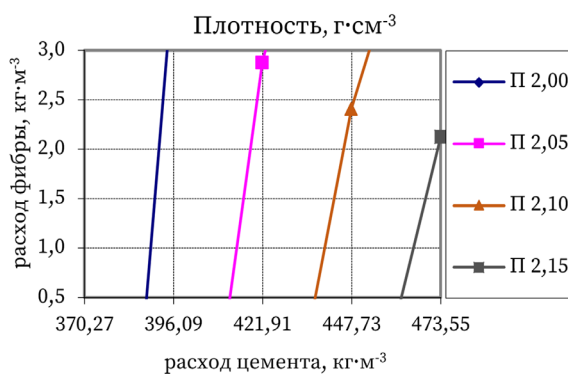


Рис. 2. Изолинии плотности бетонных образцов; г·см⁻³

Fig. 2. Concrete sample density isolines; g·cm⁻³

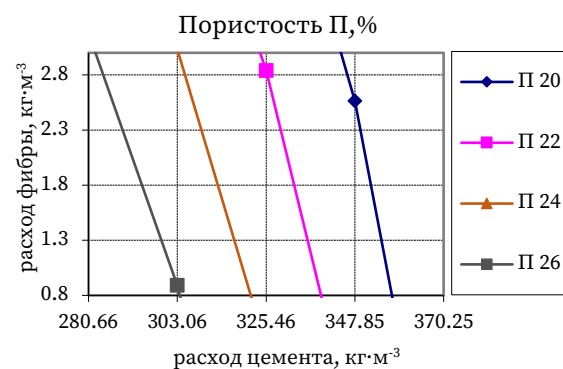


Рис. 3. Изолинии пористости бетонных образцов; %

Fig. 3. Concrete sample porosity isolines; %

На исследуемом факторном пространстве плотность образцов бетона находится в интервале 1.9...2.2 г·см⁻³, пористость колеблется от 18 до 28%. По результатам анализа уравнений регрессии, параметры плотности и пористости бетона зависят только от расхода цемента: с ростом последнего плотность материала увеличивается, а пористость, напротив, снижается (см. рис. 2, 3).

На прочностные характеристики материала – прочность на изгиб (рис. 4.) и сжатие (рис. 5) – также в наибольшей степени влияет расход цемента: с увеличением его расхода прочность на изгиб и на сжатие закономерно возрастают.

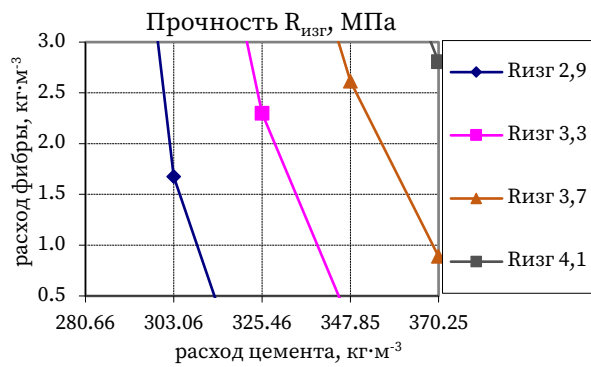
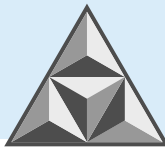


Рис. 4. Изолинии прочности бетонных образцов на изгиб, МПа

Fig. 4. Isolines of flexural strength of concrete samples; МПа

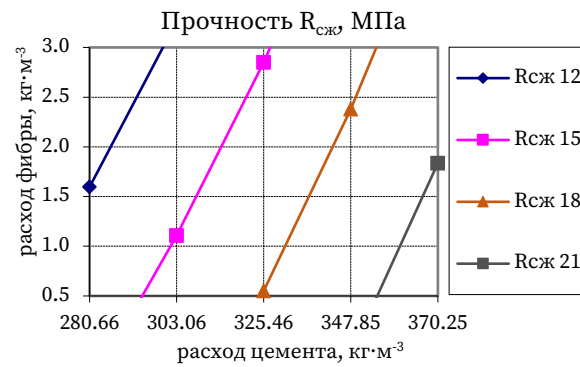


Рис. 5. Изолинии прочности бетонных образцов на сжатие, МПа

Fig. 5. Isolines of compressive strength of concrete samples; МПа

Оптимизация физико-механических свойств проницаемого бетона является важной задачей, которая часто рассматривается как приоритетная. Исследуется взаимосвязь прочностных характеристик бетона между собой [24] и их зависимость от пористости [25] и рецептурных факторов [26]. В [27], в частности, обобщены особенности влияния расхода цемента и водоцементного отношения, песчаной фракции и специальных добавок на свойства проницаемого бетона. Также распространено модифицирование структуры бетона с помощью дисперсного армирования и введения микродобавок [27-30], благодаря чему удается достичь требуемых прочностных характеристик строительного материала.

Ранее [31] при исследовании влияния на прочностные свойства проницаемого бетона добавок дисперсных полимерных волокон было выявлено значительное увеличение прочности. Однако в отдельных источниках [27] отмечается, что содержание волокна в составе бетона на прочностные характеристики влияет незначительно, но оказывается важным для повышения морозостойкости материала. Также представляется, что фиксированное увеличение прочности бетона при введении полипропиленового волокна может наблюдаться только для материала с изначально невысокими характеристиками [29, 31]. Для более прочного проницаемого бетона этот эффект нивелируется, а определяющим фактором в данном случае является расход вяжущего.

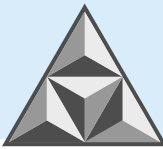
ВЫВОДЫ

Полученные экспериментальные данные позволяют установить взаимосвязь прочностных характеристик проницаемого бетона и его рецептурных факторов. Изменение содержания в проницаемом бетоне полипропиленового волокна слабо влияет на его прочность при изгибе и сжатии; значимым фактором является расход цемента.

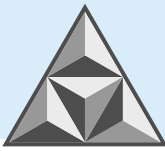
На исследуемом факторном пространстве получены проницаемые бетоны с пористостью 18-28%, прочностью на изгиб 2.5-4.0 МПа и на сжатие 10.0-22.0 МПа.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Obla, K.H.** (2010) 'Pervious concrete – An overview' // *Ind. Concrete J.* Vol. 84, no. 8. P. 9.
2. **Bakshi P., Malik A., Parihar A.S., Ahamad A.** (2016). Pervious Concrete // *Int. J. Sci. Res.* Vol. 5, no. 4. P. 98-103.
3. **Dash S., Kar B.** Environment friendly pervious concrete for sustainable construction // *IOP Conf. Ser.: Mat. Sci. Eng.* IOP Publ., 2018. Vol. 410, no. 1. P. 012005.



4. **Tennis P.D., Leming M.L., Akers D.J.** Pervious concrete pavements. 2004. Vol. 8. Skokie, IL: Portland Cement Association.
5. **Скрамтаев Б.Г.** Новый вид теплого бетона. В кн.: Александрин И.П., Скрамтаев Б.Г. Теплый бетон. Л.: Изд. ин-та бетонов. 1931. С. 26-35.
6. **Скрамтаев Б.Г.** Бетоны различных видов. М.: Стройиздат. 1933.
7. **Попов Н.А.** Крупнопористые бетоны. В кн.: Строительная индустрия: Справ. руководство. Т. IV. М., 1934. С. 373-374.
8. **Коноров А.Б.** Опыт работы с крупнопористым бетоном // *Строитель*. 1935. № 3. С.5-14.
9. **Щербина И.Н.** Сборные дренажи из пористых блоков. // *Информ. сб. Гидропроекта*. № 2. М., 1953.
10. **Минас А.И., Печикин О.Я.** Дренажные трубы из крупнопористого бетона для использования в агрессивных средах // *Гидротехника и мелиорация*. 1973. № 10. С. 83-86.
11. **Диковский И.А.** Стены промышленных зданий из крупнопористого бетона // *Промышл. строительство*. 1960. № 4. С. 54-56.
12. **Фаликман В.Р., Сиротин П.Н.** Проницаемый бетон: новые вызовы в эпоху устойчивого развития // *Промышл. и гражд. строительство*. 2020. № 5. С.28-35.
13. **Nguyen D., Sebaibi N., Boutouil M., Leleyter L., Baraud F.** A modified method for the design of pervious concrete mix // *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 73. P. 271-282. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2014.09.088>.
14. **Zhong R., Wille K.,** Material design and characterization of high performance pervious concrete // *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 98. P. 51-60. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2015.08.027>.
15. **Sabnis G.** Pervious Concrete for Sustainable Development. 2007. P. 167-190. <https://doi.org/10.1201/B11376-12>.
16. **Guntakal S., Selvan, S.,** 2017. Application of pervious concrete for pavements: A rev. <https://doi.org/10.7324/RJC.2017.1011533>.
17. **Padate S., Rakshe P., Waghmare A., Pachore S., Mudawat V.** Feasibility of Pervious Concrete in Pavement // *Imper. J. Iinterdiscipl. Res.* 2017. Vol. 3.
18. **Kováč M., Sičáková A.,** 2017. Pervious concrete as a sustainable solution for pavements in urban areas. <https://doi.org/10.3846/ENVIRO.2017.031>.
19. **Kuskiwala A.** A Study on Pervious Concrete: A Rev. // *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Techn.* 2018. Vol. 6. P. 3415-3417. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2018.1476>.
20. **Ab Latif A., Putrajaya R., Ing D.S.** (2023). A Review of Porous Concrete Pavement: Compressive Strength and Clogging Investigation // *J. Adv. Res. Appl. Sci. Eng. Tech.* Vol. 29, no. 3. P. 128-138. DOI: <https://doi.org/10.37934/araset.29.3.128138>.
21. American society for testing and materials. ASTM C1754 / C1754M-12, Standard Test Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.
22. ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения пределов прочности при изгибе и сжатии. М.: ИПК Изд-во стандартов. 2006.
23. American Concrete Institute. ACI 522R-10: Report on pervious concrete // Farmington Hills, MI. 2010.
24. **Ahmed F.B., Mitu S.M., Biswas R.K., Ahsan K.A., Mim S.M., Ahmed S.** Forecast flexural strength of pervious concrete by SVR. *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 45. P. 5277-5284.
25. **Joung Y.** Evaluation and optimization of pervious concrete with respect to permeability and clogging. 2010. Doctoral dissertation, Texas A & M University.
26. **Hamoodi A.Z., Kadim J.A., Chkheiwier A.H.** Properties of pervious concrete made from graded and single size crushed coarse aggregate // *Period. Eng. Nat. Sci.* 2021. Vol. 9, no. 1. P. 361-376.
27. **Seeni B.S., Madasamy M.** A review of factors influencing performance of pervious. *Građevinar*. 2021. Vol. 73, no. 10. P. 1017-1030.
28. **Paganggi W.R., Makmur A., Rachmansyah R.** Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene terhadap Kuat Tekan dan Nilai Permeabilitas pada Beton Berpori // *Media Komunikasi Teknik Sipil*. 2021. Vol. 27, no. 1. P. 3135-142. doi: mkts.v27i1.31536
29. **Baskar I., Thiruvannamalai M., Theenathayalan R.** Experimental study on mechanical properties of polypropylene fiber reinforced pervious concrete // *Int. J. Civ. Eng. Tech.* 2019. Vol. 10, no. 2. P. 977-987.



30. **Patidar R., Yadav S.** Experimental study of pervious concrete with polypropylene fiber // *Int. Res. J. Eng. Technol.* 2017. Vol. 4, no. 12. P. 22-27.
31. **Маршинская О.А.** К вопросу о повышении прочности крупнопористого бетона // *Шаг в науку.* 2023. №. 4. С. 64-69.

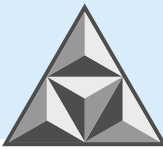
Поступила в редакцию 10.05.2024

Одобрена после рецензирования 19.08.2024

Принята к опубликованию 05.09.2024

REFERENCES

- Obla, K.H.** (2010), "Pervious concrete – An overview", *Ind. Concrete J.*, Vol. 84, no. 8, p. 9.
- Bakshi, P., Malik, A., Parihar, A.S. and Ahamad, A.** (2016), "Pervious Concrete", *Int. J. Sci. Res.*, Vol. 5, no. 4, pp. 98-103.
- Dash, S. and Kar, B.** (2018), "Environment friendly pervious concrete for sustainable construction", *IOP Conf. Ser.: Mat. Sci. Eng.* IOP Publ., Vol. 410, no. 1, pp. 012005.
- Tennis, P.D., Leming, M.L. and Akers, D.J.** (2004), "Pervious concrete pavements", Vol. 8. Skokie, IL: Portland Cement Association.
- Skramtaev, B.G.** (1931), A new type of warm concrete. In: Alexandrii, I.P., Skramtaev, B.G. Warm Concrete. Leningrad: Publishing Institute of Concrete, pp. 26-35 (in Russian).
- Skramtaev, B.G.** (1933), Concretes of Various Types, Stroyizdat, Moscow (in Russian).
- Popov, N.A.** (1934), Porous Concretes, Construction Industry: Reference Guide, 4, Moscow, pp. 373-374 (in Russian).
- Konorov, A.B.** (1935), Experience with porous concrete, 'Stroitel' [Constructor], no. 3, pp. 5-14 (in Russian).
- Shcherbina, I.N.** (1953), "Prefabricated Drains from Porous Blocks", *Inform. Bull. of Gidroproekt [Hydroproject's information book]*, no. 2, Moscow (in Russian).
- Minas, A.I. and Pechikin, O.Ya.** (1973), "Drainage pipes from porous concrete for use in aggressive environments", *Gidrotekhnika i melioratsiya [Hydraulic engineering and melioration]*, no. 10, pp. 83-86 (in Russian).
- Dikovskiy, I.A.** (1960), "Walls of industrial buildings from porous concrete", *Promyshlennoe stroitel'stvo [Industrial construction]*, no. 4, pp. 54-56 (in Russian).
- Falikman, V.R. and Sirotin, P.N.** (2020), "Pervious concrete: new challenges in the era of sustainable development", *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil engineering]*, no. 5, pp. 28-35 (in Russian).
- Nguyen, D., Sebaibi, N., Boutouil, M., Leleyter, L. and Baraud, F.** (2014), "A modified method for the design of pervious concrete mix", *Construction and Building Materials.*, Vol. 73, pp. 271-282. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2014.09.088> (accessed 28.04.2024).
- Zhong, R. and Wille, K.** (2015), "Material design and characterization of high performance pervious concrete", *Construction and Building Materials.*, Vol. 98, pp. 51-60. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2015.08.027>. (accessed 10.04.2024).
- Sabnis, G.** (2007), "Pervious Concrete for Sustainable Development", pp. 167-190. Available at: <https://doi.org/10.1201/B11376-12> (accessed 10.04.2024).
- Guntakal, S. and Selvan, S.** (2017), "Application of pervious concrete for pavements: A rev." Available at: <https://doi.org/10.7324/RJC.2017.1011533> (accessed 10.04.2024).
- Padate, S., Rakshe, P., Waghmare, A., Pachore, S. and Mudawat, V.** (2017), "Feasibility of Pervious Concrete in Pavement", *Imper. J. Interdiscipl. Res.* Vol. 3.
- Kováč, M. and Sičáková, A.** (2017), "Pervious concrete as a sustainable solution for pavements in urban areas", Available at: <https://doi.org/10.3846/ENVIRO.2017.031> (accessed 02.05.2024).
- Kuskiwala, A.** (2018), "A Study on Pervious Concrete: A Rev.", *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Techn.*, Vol. 6, pp. 3415-3417. Available at: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2018.1476> (accessed 10.04.2024).
- Ab Latif, A., Putrajaya, R. and Ing, D.S.** (2023), "A Review of Porous Concrete Pavement: Compressive Strength and Clogging Investigation", *J. Adv. Res. Appl. Sci. Eng. Tech.*, Vol. 29, no. 3, pp. 128-138. Available at: DOI: <https://doi.org/10.37934/araset.29.3.128138> (accessed 09.04.2024).



21. American society for testing and materials. ASTM C1754 / C1754M-12, Standard Test Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete (2012), ASTM International, West Conshohocken, PA.
22. GOST 310.4-81. Cements. Methods for determining the limits of strength in bending and compression. (2006), Introduced 1983-07-01. Moscow: IPK Publishing Standards (in Russian).
23. American Concrete Institute. ACI 522R-10: Report on pervious concrete (2010), Farmington Hills, MI.
24. **Ahmed, F.B., Mitu, S.M., Biswas, R.K., Ahsan, K.A., Mim, S.M. and Ahmed, S.** (2021), "Forecast flexural strength of pervious concrete by SVR", *Materials Today: Proceedings*, Vol. 45, pp. 5277-5284.
25. **Joung, Y.** (2010), Evaluation and optimization of pervious concrete with respect to permeability and clogging. Doctoral dissertation, Texas A & M University.
26. **Hamoodi, A.Z., Kadim, J.A. and Chkheiw, A.H.** (2021), "Properties of pervious concrete made from graded and single size crushed coarse aggregate", *Period. Eng. Nat. Sci.*, Vol. 9, no. 1. pp. 361-376.
27. **Seeni, B.S. and Madasamy, M.** (2021), "A review of factors influencing performance of pervious", *Gradevinar*, Vol. 73, no. 10, pp. 1017-1030.
28. **Paganggi, W.R., Makmur, A. and Rachmansyah, R.** (2021), "Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene terhadap Kuat Tekan dan Nilai Permeabilitas pada Beton Berpori", *Media komunikasi Teknik Sipil*, no. 27(1), pp. 135-142. doi: mkts.v27i1.31536.
29. **Baskar, I., Thiruvannamalai, M. and Theenathayalan, R.** (2019), "Experimental study on mechanical properties of polypropylene fiber reinforced pervious concrete", *Int. J. Civ. Eng. Tech*, Vol. 10, no. 2, pp. 977-987.
30. **Patidar, R. and Yadav, S.** (2017), "Experimental study of pervious concrete with polypropylene fiber", *Int. Res. J. Eng. Technol.*, Vol. 4, no. 12, pp. 22-27.
31. **Marshinskaya, O.A.** (2023), "On the issue of increasing the strength of porous concrete", *Shag v nauku [Step into science]*, no. 4, pp. 64-69 (in Russian).

Received 10.05.2024

Approved 19.08.2024

Accepted 05.09.2024