

## INVESTIGATION INTO LOW DENSITY POROUS CONCRETE PENETRABILITY BY AIR

A. Laukaitis & L. J. Kunskaitė

To cite this article: A. Laukaitis & L. J. Kunskaitė (1996) INVESTIGATION INTO LOW DENSITY POROUS CONCRETE PENETRABILITY BY AIR, *Statyba*, 2:7, 41-45, DOI: [10.1080/13921525.1996.10531654](https://doi.org/10.1080/13921525.1996.10531654)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.1996.10531654>



Published online: 26 Jul 2012.



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



Article views: 55

---

## MAŽO TANKIO AKYTOJO BETONO ORO LAIDUMO TYRIMAI

A. Laukaitis, L.J. Kunskaitė

### 1. Įvadas

Mažo tankio ( $250-350 \text{ kg/m}^3$ ) akytieji betonai pasižymi geromis termoizoliacinėmis savybėmis, be to, juos galima panaudoti ir kaip garsą absorbuojančias medžiagas. Tačiau šilumos laidumo bei garso absorbcijos koeficientų nustatymas yra brangūs ir daug laiko užimantys procesai.

Akytųjų betonų savybės priklauso nuo jų tankio ir gamybos technologinių veiksnių. Šių veiksnių pokyčių įtaką galima įvertinti ištyrus akytojo betono oro laidumą, kurį nustatyti nėra sudėtinga. Todėl labai svarbu nuodugniai ištirti akytųjų betonų oro laidumo priklausomybę nuo jų tankio, porodaros ir rišamosios medžiagos tipų bei nuo formavimo mišinio sudėties. Iš oro laidumo koeficiento dydžio galima spręsti ir apie akytojo betono termoizoliacines bei akustines savybes.

Literatūroje nėra daug duomenų apie akytojo betono oro laidumą. Vadovėliuose [1, 2] pateikta akytojo betono oro varža, tačiau nenurodyta jos priklausomybė nuo gaminių tankio. K.Fokinas [3] ištyrė  $600-700 \text{ kg/m}^3$  tankio putbetonio oro laidumą ir pateikė oro laidumo koeficientų reikšmes. Be to, nurodoma [4], kad  $500 \text{ kg/m}^3$  tankio dujų silikatbetonio oro laidumas yra 2,0-2,2 karto didesnis už  $650 \text{ kg/m}^3$  tankio dujų silikatbetonio oro laidumą. Tiriant  $400 \text{ kg/m}^3$  tankio dujų silikatbetonį, nustatyta [5], kad oro laidumas yra tiesiog proporcingas malto smėlio smulkumui ir atvirkščiai proporcingas vandens ir kietų medžiagų santykiui ( $V/K$ ) formavimo mišinyje.

Šio darbo tikslas yra ištirti  $250-490 \text{ kg/m}^3$  tankio akytųjų betonų, kurių gamybai panaudotas portlandcementis ir kalkių rišamoji medžiaga, oro laidumą.

### 2. Tyrimų metodika

Bandymams naudojome Panerių telkinio kvarcinį smėlį, AB "Akmencementas" 400 markės portlandcementį ir Vilniaus AB "Silikatas" kalcitines gabalines kalkes. Jų cheminė sudėtis pateikiama 1 lentelėje.

Smėlį malėme sausu būdu vibraciniu malūnu M-200 iki  $250-300 \text{ m}^2/\text{kg}$  savitojo paviršiaus. Maltų kalkių aktyvumas - 71%, gesinimosi trukmė 16-20 min, gesinimosi temperatūra -  $54^\circ\text{C}$ .

Portlandcemenčio rišimosi pradžia - 2 val., pabaiga - 5 val. 50 min.

Dujodariu naudojome aliuminio pudrą, kurią hidrofilizavome sulfanoliu ( $20 \text{ g/kg}$ ). Pradinė skiedinio temperatūra -  $40^\circ\text{C}$ . Bandinių kietinimo ciklas - 1,5+8+1,5 val., vandens garų slėgis izoterminio išlaikymo metu - 0,79 MPa.

Vandens ir kietų medžiagų santykį ( $V/K$ ) formavimo mišiniuose keitėme nuo 0,50 iki 0,70, o aliuminio pudros kiekį - nuo 0,1 iki 0,25% kietų medžiagų masės. Dujų betone smėlio ir portlandcemenčio santykis buvo 1:1, o pūtimosi ir rišimosi procesams intensyvinti pridėjome 3% kalkių.

Dujų betonui su mišriąja medžiaga pagaminti formavimo mišinyje, kuriame smėlio ir portlandcemenčio santykis buvo 1:1, 20, 40, 60 ir 80% portlandcemenčio pakeitėme kalkėmis. Kadangi autoklavinio kietinimo metu kalkės yra gerokai aktyvesnės už portlandcementį, jų kiekį mišrioje rišamojoje medžiagoje skaičiavome pagal formulę [6]:

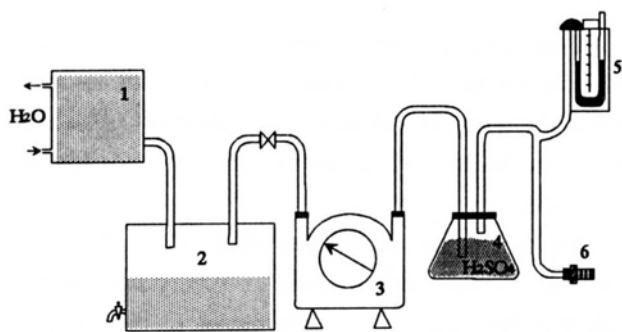
$$K = 45 \frac{C}{A_0}, \quad (1)$$

čia:  $C$  - numatytas pakeisti portlandcemenčio kiekis, kg;  $K$  - kalkių kiekis mišrioje rišamojoje medžiagoje, kg;  $A_0$  - kalkių aktyvumas, %.

1 lentelė. Cheminė žaliavų sudėtis

Table 1. Composition of raw materials

Žaliavų komponentai	Sudėtis, %							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	R <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Kaitmenys
1. Smėlis	89.77	4.55	0.63	3.10	0.25	0.44	0.46	1.35
2. Kalkės	3.13	0.99	0.16	81.83	1.40	0.59	1.03	10.87
3. Portlandcementis	21.41	6.76	4.86	59.33	2.47	-	1.70	1.74



1 pav. Oro laidumo nustatymo aparatūros schema:

1 - vandens bakas, 2 - bakas slėgiui sudaryti, 3 - dujų skaitiklis, 4 - indas oro drėgmei pašalinti, 5 - manometras, 6 - kapsulė su bandiniu

Fig. 1. Air penetrability determination apparatus scheme: 1 - water tank, 2 - pressure tank, 3 - gas meter, 4 - reservoir for removing air moisture, 5 - manometer, 6 - sample capsule

Putbetonio formavimo mišinyje smėlio ir portlandcemenčio santykis - 1:1, putų kiekis - 1,5-3,0 dm<sup>3</sup>/kg, vandens ir kietų medžiagų santykis V/K=0,5-0,8.

Bandinių oro laidumą nustatėme aparatūra, kurios schema pateikta 1 pav., oro laidumo koeficientą skaičiavome pagal formulę:

$$i = \frac{W \cdot \delta}{\Delta p}, \quad (2)$$

čia:  $i$  - oro laidumo koeficientas, m<sup>3</sup>/(m·s·Pa);  $W$  - oro debitas, m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·s);  $\delta$  - bandinio storis, m;  $\Delta p$  - slėgio skirtumas, Pa.

Literatūroje [3, 7] nurodoma, kad akytojo betono oro laidumas priklauso nuo gaminių porose esančio drėgmės kiekio. Todėl prieš nustatydami bandinių oro laidumą, juos džioviname 100±5°C temperatūroje iki pastovios masės.

### 3. Rezultatai ir jų aptarimas

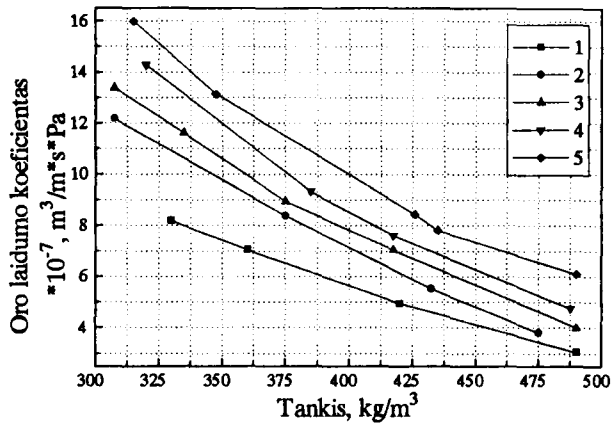
Dujų betono oro laidumo priklausomybės nuo tankio tyrimo rezultatai pateikti 2 pav. Nustatyta, kad mažėjant bandinių tankiui, jų oro laidumas didėja. Pavyzdžiui, esant V/K=0,6 ir sumažėjus gaminių tankiui nuo 490 iki 310 kg/m<sup>3</sup>, oro laidumo koeficientas padidėjo nuo 2,5·10<sup>-7</sup> iki 13,1·10<sup>-7</sup> m<sup>3</sup>/m·s·Pa. Didinant V/K, dujų betono oro laidumas taip pat didėja (2 pav., 1-5 kreivės).

Esant gaminių tankiui 350 kg/m<sup>3</sup> ir keičiantis V/K nuo 0,5 iki 0,7, oro laidumas padidėja nuo 6,6·10<sup>-7</sup> iki 12,8·10<sup>-7</sup> m<sup>3</sup>/m·s·Pa. Tačiau V/K kitimas didesnės įtakos turi mažesnio tankio akytojo betono oro laidumui. Tai galima paaiškinti tuo, kad panaudojus akytojo betono gamybai lėtai besihidratuojančią rišamąją medžiagą - portlandcementį, besipučiančio formavimo mišinio temperatūra yra neaukšta, o skiedinys rišasi ir kietėja labai lėtai. Didesnio tankio gaminių porėjai struktūrai toks lėtas rišimosi procesas įtakos neturi, joje vyrauja mažesnio skersmens ir taisyklingesnės sferinės formos poros. Padidinus formavimo mišinyje vandens kiekį, keičiasi gaminių porėtoji struktūra, nes susidaro didesnių matmenų deformuotos ir tarpusavyje susisiekiiančios poros, dėl to ir padidėja oro laidumas.

Dujų betono oro laidumo koeficientas yra aprašomas šia regresine lygtimi (koreliacijos koeficientas 0,973 reikšmingas pagal Stjudento kriterijų 0,05, regresinė lygtis adekvati su tikimybe 0,95, vidutinis kvadratinis nuokrypis - 5,83, procentinis - 9,8):

$$i = e^{0.319} \cdot \rho^{-3.546} \cdot \left(\frac{V}{K}\right)^{2.33}, \quad (3)$$

čia:  $i$  - oro laidumo koeficientas, m<sup>3</sup>/(m·s·Pa);  $\rho$  - tankis, kg/m<sup>3</sup>; V/K - vandens ir kietų medžiagų santykis.



2 pav. Dujų betono oro laidumo priklausomybė nuo tankio, kai V/K: 1 - 0,50; 2 - 0,55; 3 - 0,60; 4 - 0,65; 5 - 0,70

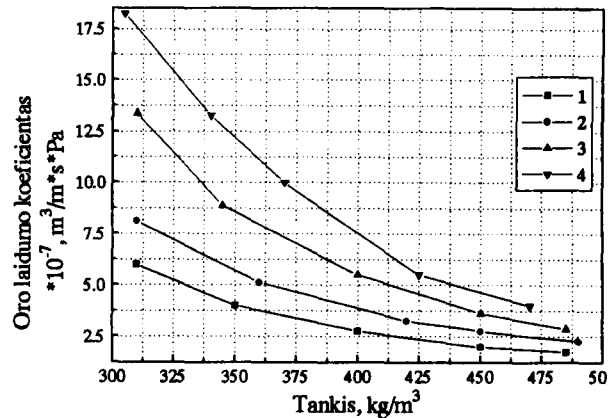
Fig. 2. Porous concrete air penetrability dependency at water/solids ratio (V/K): 1 - 0,50; 2 - 0,55; 3 - 0,60; 4 - 0,65; 5 - 0,70

Dujų betono su mišria rišamąja medžiaga oro laidumo koeficientai pateikti 2 lentelėje ir 3 pav.

Pakeitus rišamojoje medžiagoje 20% portlandcemenčio kalkėmis ir padidinus formavimo mišinio V/K nuo 0,52 iki 0,65, to paties tankio akytojo betono oro laidumo koeficientas padidėja 3 kartus (2 lentelė). Padidinus kalkių kiekį rišamosi medžiagoje nuo 20% iki 80%, labiausiai (virš 3 kartų) padidėjo oro laidumas bandinių, kurių formavimo mišinio V/K=0,52. Esant formavimo mišinio V/K=0,62-0,65, dujų betono oro laidumas, padidinus kalkių kiekį rišamojoje medžiagoje, sumažėja.

Dujų betono, pagaminto naudojant mišrią rišamąją medžiagą, oro laidumas taip pat priklauso nuo jo tankio ir formavimo mišinio V/K. Esant V/K=0,52, visų tankių akytojo betono oro laidumas mažiausias, o esant V/K=0,65 - didžiausias (3 pav., 1-4 kreivės).

Putbetonio oro laidumas taip pat priklauso nuo formavimo mišinio V/K ir gaminių tankio. Tačiau skirtingai nuo dujų betono, putbetonio oro laidumo koeficientas didėjant V/K mažėja. Tai priklauso nuo gaminių struktūros. Putbetonio poros yra uždaros ir, esant didesniai V/K, jos skiedinyje yra mažesnio skersmens bei taisyklingsnės sferinės formos. Nepriklausomai nuo putbetonio tankio gaminių oro laidumas mažėja didinant formavimo mišinio V/K (4 pav., 1-7 kreivės).



3 pav. Dujų betono, pagaminto naudojant mišrią rišamąją medžiagą (20% portlandcemenčio pakeista kalkėmis), oro laidumo priklausomybė nuo tankio ir V/K: 1-0,52; 2 - 0,58; 3 - 0,62; 4 - 0,65

Fig. 3. Porous concrete, made using a mixed binder 20% Portland cement replaced by lime, air penetrability dependency on density and water/solids ratio (V/K): 1 - 0,52; 2 - 0,58; 3 - 0,62; 4 - 0,65

Putbetonio oro laidumo koeficiento priklausomybė nuo gaminių tankio ir V/K aprašoma šia regresine lygtimi (koreliacijos koeficientas 0,976 reikšmingas pagal Stjudento kriterijų, regresinė lygtis adekvati su tikimybe 0,95, vidutinis kvadratinis nuokrypis - 5,83, procentinis - 9,8):

$$i = 4.68 \cdot 10^{-8} \cdot \rho^{-1.393} \cdot \left(\frac{V}{K}\right)^{-1.118} \quad (4)$$

Iš tyrimo rezultatų, pateiktų 2, 3 ir 4 paveikluose, matome, kad akytojo betono oro laidumas priklauso nuo jų gamybai panaudotos porodaros tipo. Nepriklausomai nuo tankio putbetonio oro laidumas yra gerokai mažesnis už dujų betono oro laidumą. Pavyzdžiui, tokio pat dydžio oro laidumo koeficientu pasižymi 300-350 kg/m³ tankio dujų betono ir 275-325 kg/m³ tankio putų betono gaminiai.

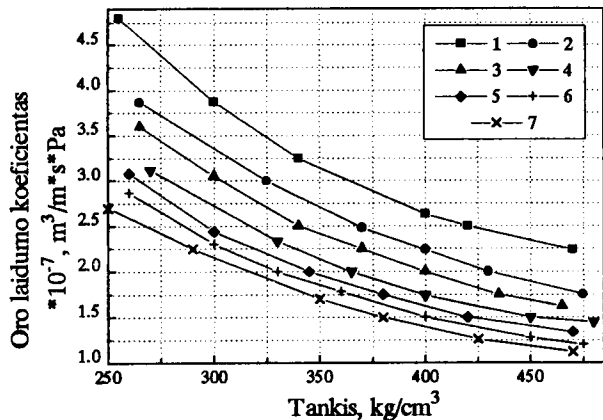
#### 4. Išvados

1. Akytojo betono oro laidumą galima reguliuoti keičiant jo gamybos technologinius veiksnius. Oro laidumo koeficiento dydis priklauso nuo panaudotos porodaros tipo, rišamosios medžiagos sudėties bei vandens ir kietų medžiagų santykio (V/K) formavimo mišinyje. Išvestos šios priklausomybės regresinės lygtys.

2 lentelė. 350 kg/m<sup>3</sup> tankio dujų betono oro laidumo koeficientai

Table 2. Porous concrete air penetrability density 350 kg/m<sup>3</sup>

Rišamosios medžiagos sudėtis: kalkėmis pakeistas portlandcemenčio kiekis, %	Oro laidumo koeficientas $\times 10^{-7}$ , m <sup>3</sup> /m·s·Pa, kai V/K			
	0.52	0.58	0.62	0.65
20	4.0	5.6	8.5	12.9
40	5.1	6.9	7.9	8.2
60	8.3	8.2	7.4	5.3
80	12.2	8.7	5.9	3.9



4 pav. Putbetonio oro laidumo priklausomybė nuo tankio ir V/K: 1-0,50; 2- 0,55; 3- 0,60; 4- 0,65; 5- 0,70; 6- 0,75; 7- 0,80

Fig. 4. Cellular concrete air penetrability dependency on density and water/solids ratio (V/K): 1- -0,50; 2 - 0,55; 3 - 0,60; 4 - 0,65; 5 - 0,70; 6 - 0,75; 7 - 0,80

2. Putbetonio oro laidumas yra mažesnis už tokio pat tankio dujų betono oro laidumą, nes putbetonio gaminių porėtojoje struktūroje vyrauja uždarnos ir tolygiau pasiskirsčiusios poros. 275-325 kg/m<sup>3</sup> tankio putbetonio ir 300-350 kg/m<sup>3</sup> tankio dujų betono gaminių oro laidumo koeficientas yra vienodas.

3. Didinant formavimo mišinyje vandens ir kietų medžiagų santykį (nuo 0,52 iki 0,65), 300-400 kg/m<sup>3</sup> tankio dujų betono oro laidumas padidėja 2 kartus, o 275-400 kg/m<sup>3</sup> tankio putbetonio oro laidumas sumažėja 1,45 karto.

4. Dujų betono gamybai panaudojus mišrią medžiagą (20% kalkių ir 80% portlandcemenčio) ir padidinus formavimo mišinio V/K (nuo 0,52 iki 0,65), oro laidumo koeficientą galima padidinti 3 kartus.

Didinant kalkių kiekį rišamojoje medžiagoje nuo 20% iki 80%, dujų betono oro laidumas esant V/K=0,52 padidėja 3,2 karto, o esant V/K=0,65 sumažėja apie 3 kartus.

## Literatūra

1. В.М.Ильинский. Строительная теплофизика. М.: Высшая школа, 1974. 309 с.
2. Б.Т.Елагин. Основы теплофизики ограждающих конструкций зданий. Киев-Донецк: Изд. Выща школа, 1977, с. 59-62.
3. К.Ф.Фокин. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: Стройиздат, 1973, с. 144-158.
4. А.Т.Дворядкин. Исследование физико-механических и деформативных свойств ячеистых бетонов в зависимости от основных технологических параметров: Автореф. дис... канд. техн. наук. М., 1967. 14 с.
5. А.Е.Биховскис. Исследование технологических факторов формирования теплофизических свойств газосиликата для промышленного термоизоляции труб бесканальных тепловых сетей: Автореф. дис... канд. техн. наук. Каунас: КПИ, 1967. 13 с.
6. К.Станявичене. Влияние гидравличности основного компонента на физико-механические свойства ячеистых бетонов: Автореф. дис... канд. техн. наук. Каунас: КПИ, 1970. 8 с.
7. G.Bave, N.J.Bright, F.N.Leitch, W.Rottau, G.Svanholm, V.P.Trambovetsky, J.M.Weber. Автоклавный ячеистый бетон. М.: Стройиздат, 1981, с. 9-10 (пер. с англ.).

Įteikta 1996 02 15

## INVESTIGATION INTO LOW DENSITY POROUS CONCRETE PENETRABILITY BY AIR

A. Laukaitis, L.J. Kunskaite

### S u m m a r y

Low-density (250-350 kg/m<sup>3</sup>) porous concrete has good thermal insulation and acoustical properties. However, the determination of these properties requires a lot of time and is rather costly.

Changes in these properties can be determined, if the porous concrete air penetrability, which can be simply found, is known.

This paper deals with porous concrete made using Portland cement binder and a binder mixture (lime + Portland cement), as well as with foam concrete air penetrability coefficient value dependency on its density and water/dry solids ratio V/K.

The raw materials composition is given in Table 1. Fig. 1 represents the air penetrability determination apparatus scheme.

Air penetrability increases with a decrease of density in porous concrete sample. For example, when  $V/K=0.6$  and product density decreases from  $490$  to  $310 \text{ kg/m}^3$ , the air penetrability coefficient increases from  $2.5 \cdot 10^{-7}$  to  $13.1 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{S} \cdot \text{Pa}$ .

Porous concrete air penetrability increases with an increase in  $V/K$  (Fig. 2.). The air penetrability coefficient increases from  $6.6 \cdot 10^{-7}$  to  $12.8 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{S} \cdot \text{Pa}$  when the product density is  $350 \text{ kg/m}^3$  and  $V/K$  changes from  $0.5$  to  $0.7$ . Changes in  $V/K$  have a greater influence on low density porous concrete air penetrability. That is why, when slowly hydrating Portland cement is used for porous concrete production, foaming formation mixture temperature is not high, it binds and is cured very slowly. For higher density product pore structures such a slow curing process does not have any effects, because small, spherical pores prevail.

When the water content is increased in the formation mixture, a change in product porous structure is observed, because larger deformed coupled pores are formed and therefore the air penetrability increases. An air penetrability dependency on product density and  $V/K$  regression equation (3) is given.

Air penetrability coefficients of porous concrete made using a mixed binder (lime + Portland cement) are given in Table 2. It has been established, that a 20% Portland cement equivalent amount of lime in the binder mixture according to equation 1 and when the  $V/K$  ratio increased from  $0.52$  to  $0.65$ , the some density product air penetrability coefficient of equal density products increased by 3 times, while the lime content in the binder increased from 20 to 80% from formation mixture samples with  $V/K$  ratio  $=0.52$ .

Air penetrability of porous concrete made using a mixed binding material also depends on concrete density and formation mixture  $V/K$  ratio (Fig. 3.).

Cellular concrete air penetrability coefficient values are given in Fig. 4. Cellular concrete differs from porous concrete, because its air penetrability coefficient values decrease with an increase in  $V/K$  ratio. This is the reason why cellular concrete air penetrability coefficients are lower than those of porous concrete. Cellular concrete air penetrability coefficient dependency on product density and  $V/K$  ratio is expressed by equation 4.

**Antanas LAUKAITIS.** Doctor of technical sciences. Director of Institute Termoizoliacija. Institute Termoizoliacija, 28 Linkmenų St, 2600 Vilnius, Lithuania.

A graduate of Kaunas Polytechnical Institute (1967), industrial engineer. Doctor's degree in 1975 (the thesis on acoustical products of porous concrete). In 1992 A.Laukaitis worked as a researcher at Swedish universities. Author of 76 papers, 16 inventions and 4 patents. Research interests: thermal insulating and acoustical products made of porous concrete, their technology; heat insulating and acoustical materials.

**Laima Juzė KUNSKAITĖ.** Doctor of natural sciences. Secretary of Institute Termoizoliacija. Institute Termoizoliacija, 28 Linkmenų St, 2600 Vilnius, Lithuania.

A graduate of Moscow Lomonosov University (1964). Doctor's degree (chemistry) at Vilnius University (1971). Author of 18 papers, 3 inventions. Research interests: industrial wastes, lignosulfonates, their use in building materials industry; porous concrete and its additives.