STRUCTURE AND ENVIRONMENT

ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING, ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND ENERGY

No. 3/2012 vol. 4 PL ISSN 2081-1500 www.sae.tu.kielce.pl KIELCE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Contents



COMPARISON OF PORE CHARACTERISTICS AND WATER ABSORPTION IN CERAMIC MATERIALS WITH FROST RESISTANCE FACTOR, Fc	15
ANNA BRACKA, ZBIGNIEW RUSIN	
THE INFLUENCE OF THE LIQUID LOW-VISCOSITY ADDITIVE (THPP) ON THE SELECTED PROPERTIES OF THE MODIFIED BITUMEN PMB 45/80-55	8
καροι νονλακοννσκι	
VLADIMIR SIDOROV STRUCTURE NUMERICAL MODEL UPDATING ON THE RESULTS OF EXPERIMENTAL DYNAMIC TESTS	5



ANDRZEJ KULICZKOWSKI, KAMIL MOGIELSKI

RESULTS OF LABORATORY TESTS OF CONCRETE, VITRIFIED CLAY AND PVC SEWER PIPES WITH CIPP LINERS	23
PAWEŁ KOSSAKOWSKI	
STRATEGIC NOISE MAPS	35
HOW TO PREPARE THE MANUSCRIPT	45
THE REVIEW PROCESS	46

EDITORIAL BOARD

Main Editor Jerzy Z. Piotrowski Editor Radosław Zaborek Secretary of the Editorial Board Łukasz Orman Sectional Editor STRUCTURE Marek Iwański Sectional Editor ENVIRONMENT Lidia Dąbek

SCIENTIFIC BOARD

STRUCTURE

Chairmanship Jerzy Wawrzeńczyk

Tomasz Arciszewski (USA), Lesław Brunarski, Go Iwahana (Japan), Zbigniew Kowal, Jozef Melcer (Slovakia), Michaił V. Nemchinov (Russia), Victor Proskuriakow, Zbigniew Rusin, Bohdan Rymaszewski, Wacław Seruga, Malgorzata Wilczkiewicz (USA)

ENVIRONMENT

Chairmanship Tomasz Kozłowski

Satoshi Akagawa (Japan), Elżbieta Bezak-Mazur, Dorota Chwieduk, Graham Herbertson (Scotland), Andrzej Kapłon, Andrzej Kuliczkowski, Janusz Łomotowski, Paweł Purgał, Leszek Radziszewski, Anatol Stroy (Ukraine), Maria Żygadło

www.sae.tu.kielce.pl

sae@tu.kielce.pl

The quarterly printed issues of Structure and Environment are their original versions

The Journal published by the Kielce University of Technology

PL ISSN 2081-1500

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2012

25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7 tel. 41 34 24 581 www.tu.kielce.pl/organizacja/wydawnictwo



Kielce University of Technology 2012

structure structure



VLADIMIR SIDOROV Kielce University of Technology Faculty of Civil Engineering and Architecture e-mail: sidorov.vladimir@gmail.com

STRUCTURE NUMERICAL MODEL UPDATING ON THE RESULTS OF EXPERIMENTAL DYNAMIC TESTS

Abstract

The paper presents an algorithm of structure calculation model adjustment by the values of free oscillations frequencies of structures, obtained as a result of experimental research. It is considered that the experimental test of a construction can obtain some values of the natural frequencies of the object and identify the corresponding forms of free oscillations.

Keywords: computational model, natural frequencies, dynamic test, perturbation error

1. Introduction

Consider the problem of the adaptation of computational models of building structures during the dynamic monitoring or on the results of experimental studies of these structures. Suppose that in the experiment we succeeded in obtaining N natural frequencies of the real object \hat{f}_j and in identifying the corresponding forms of free oscillations of the structure Φ_j :

 $\hat{f}_i = \frac{\hat{\omega}_i}{2\pi}$ – *i*-th frequency of free oscillation of structure in a second, the resulting of field tests, measured in *hertz*,

 $\hat{\omega}_i$ – corresponding *i*-th site cyclic (circular) oscillation frequency of structure, i.e. detected *i*-th natural frequency of the structure in 2π seconds.

Calculation model of buildings constructed for its numerical analysis in displacements, for example, based on the finite element method, in general, expressed in a matrix equation of movement:

$$[M] \cdot \{\ddot{u}\} + [C] \cdot \{\dot{u}\} + [K] \cdot \{u\} = \{P\}$$
(1)

Thus, the construction calculation model is numerically represented by its matrix of stiffness [K] and by the mass matrix [M] (and also, in general case of the calculation, by the matrix of dissipative characteristics of structure [C] and by the vector (vectors) of the external force influences on the structure $\{P\}$). Dimensions of square matrices [K], [M] and [C] as well as dimension of vectors $\{P\}$ and of the unknown displacements vectors $\{u\}$ is *n*, where *n* – the number of degrees of freedom assigned to the structure numerical model.

The equation of motion of a discrete numerical model of a mechanical system without internal viscous friction has a matrix form:

$$[M] \cdot \{\ddot{u}\} + [K] \cdot \{u\} = \{P\}, \qquad (2)$$

and in the case of free movement

$$[M] \cdot {\ddot{u}} + [K] \cdot {u} = {0}$$
(2a)

where $\{u\}$ – the displacements vector.

When taking the free vibration as harmonics, i.e. then $\{u\} = \{\Phi\}_i \cdot \cos(\omega_i \cdot t)$, the equations of free oscillations (2a) become

$$\left(-\omega_i^2 \cdot [M] + [K]\right) \cdot \{\Phi\}_i = \{0\}, \qquad (3)$$
$$i = 1, 2, \dots, n,$$

where:

 ω_i – an arbitrary *i*-th site cyclic (circular) vibration frequency of the structure calculation model,

 $\{\Phi\}_i$ – the form of free oscillations of the structure calculation model, corresponding to the its *i*-th natural frequency,

tructure

n – number of degrees of freedom of the calculation model of structure (the order of the stiffness matrix [K] and mass matrix [M]).

2. Technique of adaptation of the computational model

Let's write the system of equations of stationary oscillations (3) in the full matrix form

$$[K] \cdot [\Phi] - [M] \cdot [\Phi] \cdot [J] = \{0\}$$
(4)

where:

 $[\Phi] = [\{\Phi\}_1 \{\Phi\}_2 \dots \{\Phi\}_n]$ – the matrix whose columns are the eigenvectors of the calculation model of the structure.

If we take

$$\left[A\right] = \left[M\right]^{-1} \left[K\right] \tag{5}$$

then the matrix form of the equations of free oscillations (4) can be written as

$$[A] \cdot [\Phi] = [\Phi] \cdot [J] \tag{6}$$

 $[J] = \operatorname{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$, or Jordan form of the matrix [A],

 $\lambda_1 \leq \lambda_2 \leq ... \leq \lambda_n$ – eigenvalues of the matrix $[A] = [M]^{-1} [K]$, corresponding to the eigenvectors $\{\Phi\}_i$, and at the same time $\lambda_i = \omega_i^2$ – is the *i*-th eigenvalue of the structure calculation model, ω_i – the corresponding *i*-th site cyclic (circular) vibration frequency of the structure calculation model, i = 1, 2, ..., n.

Adjustments to the structure computational model arbitrary using N values of frequencies of free oscillations $\hat{\lambda}_j = \hat{\omega}_j^2$, j = 1, ..., N ($N \le n$) identified through field measurements are possible, if in the sequence of eigenvalues $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_n\}$ we substitute the values $\hat{\lambda}_j$ instead of the values λ_j corresponding to natural forms $\{\Phi\}_j$.

Thus, we get the changed sequence of eigenvalues $\hat{\Lambda}$, for example, of some kind $\hat{\Lambda} = \{\hat{\lambda}_1, \hat{\lambda}_2, \dots, \hat{\lambda}_j, \dots, \hat{\lambda}_N, \dots, \hat{\lambda}_n\}$.

Minimizing average "loss" value with regard to the replacement of *N* eigenvalues λ_j of the calculation model for values $\hat{\lambda}_j$ identified from the experiment we carry out with the least squares method, if we at first construct, for example, a polynomial of the form

$$y(x) = \sum_{k=0}^{m} \alpha_k \cdot x^k \tag{7}$$

smoothing the sequence $\hat{\Lambda}(i)$ from the condition

$$S = \sum_{i=1}^{n} \Delta_i^2 \to \min$$

where $\Delta_i = y(x_i) - \hat{\Lambda}_i$, $x_i = i$.

Then by the coefficients α_k , k = 0, 1, 2, ..., m of polynomial (7) obtained as a result we construct the corrected spectrum of eigenvalues $\{\tilde{\lambda}_1, \tilde{\lambda}_2, ..., \tilde{\lambda}_n\}$, calculating its elements by the formula (7):

$$\tilde{\lambda}_i = y(i) \tag{8}$$

The computational model of the structure, adjusted according to the results of experimental studies, we represent by the matrix of the form (5):

$$\begin{bmatrix} \tilde{A} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Phi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{J} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Phi \end{bmatrix}^{-1}$$
(9)

formed according to the submission of its Jordan decomposition:

$$\left[\tilde{J}\right] = \operatorname{diag}\left(\tilde{\lambda}_{1}, \tilde{\lambda}_{2}, \dots, \tilde{\lambda}_{n}\right)$$
(10)

$$\begin{bmatrix} \tilde{J} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Phi \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{A} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Phi \end{bmatrix}$$
(11)

3. Maintaining the structure and the approximation error of the computational model

The matrix [A] (9) adjustments made in such a way by changing the number of its eigenvalues retains the perturbation error of its Jordan form $[J] = \operatorname{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$, but certainly violates its band structure. In turn, maintaining the matrix $[\tilde{A}]$ band structure becomes the essential perturbation to it. However, the conservation of the tape width of the matrix $[\tilde{A}]$ while preserving the original error of perturbation of the initial sequence of eigenvalues $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_n\}$ of the calculation model is an important and, in general, is an integral component of the adjustment procedure of the complicated structure calculation model according to the results of dynamic tests.

To save the band structure of the adjusted matrix $\begin{bmatrix} \tilde{A} \end{bmatrix}$ reduce the sensitivity of the system of equations (2) by its preconditioning with incomplete Cholesky decomposition of the symmetric, positive definite matrix $\begin{bmatrix} A \end{bmatrix}$.

Choose a simple rarefied lower triangular matrix [h], it being "sufficiently similar" to the matrix [g] of the Cholesky decomposition of the matrix [A]:

$$[A] = \{g\} \cdot \{g\}^T \tag{12}$$

The matrix [D], as an incomplete Cholesky decomposition of the matrix [A] becomes the preconditioner of the system (2):

$$\begin{bmatrix} D \end{bmatrix} = \{h\} \cdot \{h\}^T \tag{13}$$

The main criterion in appointing the preconditioner [D] is the fulfillment of the condition:

$$cond(Ad) \ll cond(\tilde{A})$$

where cond(Ad) – is the conditionality number of the matrix

$$\begin{bmatrix} Ad \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{A} \end{bmatrix}, \tag{14}$$

as well $cond(\tilde{A})$ – is the conditionality number of the matrix $\lceil \tilde{A} \rceil$.

Further in a symmetric matrix [Ad] (14) the elements will be taken into consideration only within the band width of the original matrix [A]. The rest of its elements will be taken as zero. We call such a matrix $[A\tilde{d}]$.

Thus, for example, in the case of the static analysis of structures the solution of the original equations system of the form

$$[A] \cdot \{u\} = \{P\} \tag{15}$$

STFU

is replaced with

$$\left[A\tilde{d}\right]\cdot\left\{u\right\}=\left[D\right]^{-1}\left\{P\right\}.$$
(16)

4. Conclusions

An approach is proposed that allows to adjust the structure computational model, using a number of values of natural frequencies obtained from experimental tests of the structure. The method allows to keep the perturbation error of the calculation model when changing the values of its natural frequencies, while maintaining the band structure of the stiffness matrix of the structure calculation model.

References

- Belostotsky A.M., Kalichava D.K.: Adaptive Finite Element Models as the Base of Dynamic Monitoring of Tall Building. Theoretical Basis of the Developed Technique. International Journal for Computational Civil Structural Engineering (2012), Vol. 8-4.
- [2] Tikhonov A.N.: On the Regularization of Incorrectly Stated Problems. Reports of the Academy of Sciences of the USSR, v.153, No. 1 (1963), pp. 49-52.
- [3] Golub G.H., Van Loan Ch.F.: Matrix Computation. The Jon Hopkins University Press, Baltimore-London, 1989.
- [4] Shablinsky G.E., Zubkov D.A.: Full-Scale Dynamic Analyzes of Building Structures. ASV Publishing, Moscow 2009.
- [5] Friswell M.I., Mottershead J.E., Ahmadian H.: Finite Element Model Updating using Experimental Test Data: Parameterization and Regularization. Transactions of the Royal Society of London, s.A, Special Issue on Experimental Modal Analysis, 359 (1778), 01. (2001), pp. 169-186.



KAROL NOWAKOWSKI

Kielce University of Technology e-mail: k.nowakowski@onet.eu

THE INFLUENCE OF THE LIQUID LOW-VISCOSITY ADDITIVE (THPP) ON THE SELECTED PROPERTIES OF THE MODIFIED BITUMEN PMB 45/80-55

Abstract

The main subject of the research introduced in this article is the influence of compaction temperature on lowering the amount of additive during production and installation of asphalt. The research assesses the effect of the addition of tetrachydropirymidupropyly (THPP) on selected properties of modified bitumen PMB 45/80-55. The content of THPP dosed in the range of 0.2 to 0.6% by weight of the adhesive, increasing the concentration by 0.2%. Based on the obtained results and the results of this analysis, conclusions have been drawn regarding the effects on selected parameters of modified asphalt.

Keywords: modified bitumen, compaction temperature lowering, binder, viscosity

1. Introduction

Development of road infrastructure forces the search for new technological solutions, which must have a high economic and energy efficiency. What is more, they should be environmentally friendly. In terms of road materials, particular attention is paid to the bituminous mixtures, which are produced at high temperatures from 160 to 180°C. Now there is a tendency to lower the preparation temperature. Of particular interest are "hot" asphalt mixes produced at around 20-40°C lower temperature comparing to traditional ones. They are characterized by significant energy savings and reduced greenhouse gas emissions. This trend is due to increased awareness and a global initiative about the prevention of global warming. Preparation of "hot" mineral-asphalt is possible through the plasticity of asphalt road, which are cationic active substances. To such substances amine and ammonium salts are included, which enable to reduce the temperature of surrounding mineral mix to 40°C [5]. A traditional bituminous mixtures produced and incorporated in the "hot" technology are prepared at a temperature range from 160 to 180°C, depending on the type of asphalt, and incorporated at the temperature of 140°C [3]. But now the aim is to reduce the temperature of the production and the technologies built using "hot" technology for the temperature range from 110 to 140°C. In order to achieve this effect it is necessary to apply a liquid reducing agent and the viscosity of asphalt binder,

aggregate wetting enhancer at a reduced temperature. The main advantage of this type of technology (THPP) is to reduce the aging of the asphalt.

Furthermore, the additive THPP affects one of the most important parameters, which is the content space, and the rate of compaction build in asphalt. The content of free space must ensure the requirements of the standard DIN EN 13108-1 and EN 13108-5 depending on the type of asphalt and the use of asphalt layers in the package. It translates directly into providing resistance to water and frost, and increased resistance to permanent deformation.

The correct density of asphalt, and consequently the required content of free space is affected by temperature. Associated with bringing the technology of asphalt in which the production of MMA asphalt viscosity is low enough to provide the right environment and the incorporation of aggregates to obtain the required specifications [2].

2. Effect of the binder properties THPP

In order to assess the impact of the chemical agent on lowering the thickening temperature the modified bitumen PMB 45/80-55 was applied. Addition was dosed in the amount from 0.2 to 0.6% by weight of binder PMB 45/80-55 increasing the concentration of 0.2%. The main aim of the study was to determine the effect of the standard selected rheological parameters of the modified asphalt. In order to ensure precision the measurement uncertainly (denote by U) was calculated in compliance with the following formula:

$$U_{(y)} = k \cdot u_{c(y)} \tag{1}$$

where: k – widen factor, $u_{c(y)}$ – assumed measurement uncertainty.

2.1. Effect of the addition to the basic parameters of asphalt

In order to determine the effect of the addition of THPP no changes of the basic parameters, the study was made for the various contents of the weight of the base asphalt. For this purpose, the following tests were performed:

- softening point according to EN 1427
- penetration of asphalt at 25°C according to EN 1426
- Fraass brittleness temperature according to EN 12593.

Results on the effect of the basic parameters of the properties of THPP binder were presented in Figure 1. Uncertainty of measurement for this research fits within the $\pm 2\%$ error bars represent the uncertainty of the drawings.



Fig. 1. The influence of the THPP additive content on basic parameters

The analysis of the softening temperature results (Fig. 1a) reveals that the increase of the concentration of the binder PMB 45/80-55 softening point decreases relative to the reference binder. At the level of 0.2% of THPP the effect is hardly noticeable. When increasing the concentration of the additive to the amount of 0.6% by weight, asphalt softening temperature dropped by only about 3°C. The maximum value of the softening point was obtained with a content of 0.2%, while the minimum – at the maximum amount of agent dispensed. It should also be notedthat all the results obtained meet the requirements for modified bitumen PmB 45/80-55.

structure

The next analyzed parameter in aspect of THPP is bitumen penetration (Fig. 1b), which determines its consistency. The tests were performed at 25° C. They show that with increasing concentration of the additive by weight the value of this parameter increases. Comparing the mean values obtained for the penetration of asphalt, there was only a slight change of penetration with a content of 0.4% which increases the concentration of agent in the tested range. The increase in penetration of approximately 10 units relative to the base bitumen is quite great.

A very important parameter is the temperature brittleness of the binder by Fraass (Fig. 1c). Based on the evaluation of temperature brittleness was found to play no significant role in changing this parameter. The brittleness temperature with increasing amounts of additive falls, but in the range of 0.2 to 0.4% the temperature drop is small and amounts to -0.4 °C, as evidenced by the low impact on the parameter in the tested dosage range. A significant drop in temperature brittleness occurs at the concentration of 0.6% of added THPP and is -3° C. The test results show that the addition has a positive effect on the temperature brittleness. Obtaining a value of -18.7°C shows a low sensitivity of asphalt PmB 45/80-55 0.6% of THPP at low temperatures. Moreover, the minimum value of the output temperature brittleness of asphalt is -12°C with the addition of THPP has brittleness temperature as asphalt PmB 45/80-65.

2.2. Adhesion of binder to sand quartzite

The research of adhesion was performed according to the PN-84 B 06714/22 "designation of bitumen adhesion" to assess the resistance of asphalt to water and frost. To determine the adhesion of the binder to the aggregate strong acidic quartzite sandstone was used. The result of the study is to read the visual surface of the binder aggregate washed out. Therefore,

structure

a series of digital images is produced are analyzed using a computer program. The results referred to the percentage of asphalt aggregate detachment, and the results are shown in Figure 2.



Fig. 2. The influence of THPP additive content on adhesion of bitumen to aggregate

Based on the results, it was found that beneficial effects of the adhesion of THPP addition to asphalt aggregate occur. At the concentration of 0.2% of THPP adhesion increased by about 11%. Adhesion of asphalt to aggregate increases with increasing addition of THPP in the binder. The maximum value is achieved at the content of 0.6% and is 25.6% higher compared to the reference asphalt. The increase in adhesion of the binder to the aggregate is a very advantageous feature and improves resistance of asphalt to water and frost. Adhesion measurement uncertainty does not exceed the value of $\pm 7\%$.

2.3. Penetration Index

Penetration Index (PI) is an indicator of the rheological properties of asphalt determining the viscosity of the elastic state, which is the measure of the thermal sensitivity calculated from measurements of the penetration and softening point of the asphalt. Penetration index is determined in accordance with BS EN 12591 using the following formula:

$$PI = \frac{20 \cdot T_{R\&B} + 500 \lg P - 1952}{T_{R\&B} - 50 \cdot \lg P + 120}$$
(2)

where: $T_{R\&B}$ – asphalt softening point in °C, *P* – penetration asphalt at 25°C.

Effect of the addition of THPP to the penetration index of the modified bitumen PMB 45/80-55 has been shown in Figure 3.

The research have proven that with increasing concentration of additive reduced THPP penetration index value can be seen, and in the dosage range of 0 to 0.2% the decrease is small. However, in the range of 0.4 to 0.6% a significantly larger change in the parameter is observed. With the 0.6% decrease of the

additive penetration index is 0.36 and has a tendency towards negative values. It indicates a tendency to change the state of the pyrasol-adhesive gel in sol.



Fig. 3. The influence of THPP additive content on penetration index

Another important parameter is the temperature range of the calculated point, which is indicated by the formula:

$$TZP = T_{R\&B} - T_{column} \tag{3}$$

where: $T_{R\&B}$ – asphalt softening point, T_{column} – Fraassa temperature brittleness.

The results of determination of temperature range of bitumen PMB 45/80-55 plasticity in terms of the amount of additive THPP have been shown in Figure 4.



Fig. 4. The influence of THPP additive content on temperature range of plasticity

Based on the results, it was found that regardless of the amount of additive the temperature range remains virtually unchanged. A slight decrease in the parameter exists only when the content is 0.4% and 1°C compared to the reference binder. The obtained parameters beneficially affect the viscoelastic properties of the modified binder PmB 45/80-55.

2.4. Elastic recovery of binder

One of the most important parameters characterizing the impact of THPP on the properties of modified bitumen PMB 45/80-55 responsible for the increased surface durability and resistance to permanent deformation is the return of spring. The results mark a return spring made in accordance with BS EN 13398, and is shown in Figure 5.



Fig. 5. The influence of THPP additive on elastic recovery at 15°C

Based on these values, it was found that the addition has a beneficial effect on the tested parameter. Based on the results measurement uncertainty was specified, which does not exceed $\pm 2\%$. THPP additive content in the range to 0.2 to 0.4% leads to higher values by 20% on average. However, with a content of 0.6% the elastic relapse decreased by 5% compared to the concentration of the binder add-on of 0.4%. This may be caused by an excess of THPP, which causes worse cohesion of the composite asphalt. The obtained values of PmB 45/80-55 binder with THPP cause an increase in the analysed parameter required for asphalt of higher modifier concentrations.

2.5. Dynamic viscosity as a function of temperature

Dynamic viscosity is a fundamental rheological property of the asphalt which describes the internal friction, which occurs due to the existence of cohesion forces when moving one asphalt layer relative to the other [1]. The viscosity studies of the modified asphalt were conducted with the device of coaxial arrangement of cylinders. Studies of PMB 45/80-55 modified bitumen with THPP were made in the range of 60 to 150°C by increasing the temperature by 10°C. Effects of additive concentration on asphalt THPP PmB 45/80-55 are shown in Figures 6 and 7.



Fig. 6. The influence of THPP additive on dynamic viscosity in the temperature range 60 to 90°C



STFUC

Fig. 7. The influence of THPP additive on dynamic viscosity in the temperature 100 to 150°C

Dynamic viscosity for the additive concentration in the range from 0.2 to 0.4% has very small variations with respect to the reference binder, which shows a small influence on the test parameter. The decrease in viscosity was observed in the range of 60 to 90°C at the concentration of 0.6% relative to the bitumen mass, which was 312 Pa × s at 90°C and 10 Pa × s at 60°C. In the range from 100 to 150°C the parameter values for the modified bitumen with THPP are close to the reference binder.

3. Conclusions

Based on obtained results of asphalt 45/0-55 with the THPP addition the following conclusions can be drawn:

- addition of THPP in the tested range from 0.2 to 0.6% has little effect on the softening point, penetration and penetration index of modified binders,
- increasing the THPP concentration above 0.4% by weight of modified bitumen leads to a positive brittleness temperature drop,
- with increasing concentration of the additive adhesion of THPP binder to the aggregate increases,
- an excessive amount of additive THPP may cause harmful interference to the integrity of the composite asphalt,
- an increase in the concentration of additive THPP has little effect on the reduction of dynamic viscosity of modified bitumen PMB 45/80-55, which may suggest that modified asphalt PmB 45/80-55 is responsible for the dominant process of aggregate wetting.

References

- Błażejowski K., Olszacki J., Paciakowski H.: Poradnik Asfaltowy (2011), s. 60-87
- [2] Gaweł I., Kalabińska M., Piłat J.: Asfalty drogowe, WKŁ Warszawa 2001, s. 255.



- [3] Iwański M., Mazurek G.: Zależność temperatury zagęszczania betonu asfaltowego w aspekcie modyfikatora nisko-wiskozowego, IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Poznań 2009, s. 94-102.
- [4] Piłat J., Radziszewski P.: *Nawierzchnie asfaltowe*, WKŁ, Warszawa 2010, s. 218.
- [5] Stefczyński B. Mieczkowski P.: Dodatki, katalizatory i emulgatory w mieszankach mineralno-asfaltowych, WKŁ, Warszawa 2010 s. 49-147.

Karol Nowakowski

Oznaczenie wpływu dodatku (THPP) na wybrane parametry asfaltu modyfikowanego PmB 45/80-55

1. Wprowadzenie

Rozwój infrastruktury drogowej wymusza poszukiwania nowych rozwiązań technologicznych, które przyczyniają się do zmniejszenia degradacji środowiska naturalnego. Szczególnym zainteresowaniem cieszą się mieszanki mineralno-asfaltowe "na ciepło", co jest spowodowane wzrostem świadomości społeczeństwa i ogólnoświatową inicjatywą w celu przeciwdziałaniu globalnemu ociepleniu klimatu. Są one zgodne z poszukiwaniem oszczędności energii w różnych dziedzinach przemysłu.

Duże możliwości w zakresie uplastycznienia asfaltów drogowych wynikają z wykorzystania substancji kationoaktywnych. Do takich dodatków zaliczają się substancje aminowe i amoniowe, które umożliwiają obniżenie temperatury otaczania mieszanki mineralnej nawet o 30°C [5].

Tradycyjne mieszanki mineralno-asfaltowe produkowane i wbudowywane w technologii "na gorąco" wytwarza się w temperaturze od 160 do 180°C w zależności od rodzaju zastosowanego asfaltu, a wbudowywane w temperaturze 140°C. Natomiast obecnie dąży się do obniżenia temperatury wytwarzania oraz wbudowania stosując technologie "na ciepło", dla której zakres temperatury wynosi od 110 do 140°C [3]. W celu uzyskania takiego efektu konieczne jest zastosowanie płynnego środka obniżającego lepkość asfaltu i polepszającego zwilżanie kruszywa lepiszczem w obniżonej temperaturze. Podstawową zaletą środka tetrahydropirymidylopropylu (THPP) jest zmniejszenie wpływu starzenia technologicznego asfaltu.

Ponadto środek THPP wpływa na jeden z najważniejszych parametrów, jakim jest zawartość wolnej przestrzeni oraz wskaźnik zagęszczenia wbudowywanej mieszanki mineralno-asfaltowej. Zawartość wolnych przestrzeni musi spełniać wymagania stawiane przez normy PN-EN 13108-1 i PN-EN 13108-5 w zależności od rodzaju mieszanki mineralno-asfaltowej oraz zastosowania w pakiecie warstw asfaltowych. Przekłada się to bezpośrednio na zapewnienie odporności na oddziaływanie wody i mrozu oraz wzrost odporności na deformacje trwałe.

Na prawidłowe zagęszczenie mieszanki mineralnoasfaltowej, a w konsekwencji uzyskanie wymaganej zawartości wolnej przestrzeni, ma wpływ temperatura – związana z doprowadzeniem asfaltu do technologicznego stanu, w którym podczas wytwarzania MMA lepkość asfaltu jest wystarczająco niska, aby zapewnić właściwe otoczenie kruszywa, a podczas wbudowywania uzyskać wymagane parametry techniczne [2].

2. Wpływ dodatku THPP na właściwości normowe i reologiczne

Do badań oznaczenia wpływu płynnego chemicznego środka obniżającego temperaturę zagęszczania na asfalt modyfikowany zastosowano lepiszcze PMB 45/80-55. Dodatek dozowano w ilości od 0,2 do 0,6% w stosunku do masy asfaltu PMB 45/80-55 zwiększając jego stężenie o 0,2%. Zasadniczym celem badań było określenie wpływu dodatku na standardowe wybrane parametry reologiczne asfaltu modyfikowanego.

W celu zapewnienia poprawności wykonywanych badań określono niepewność rozszerzoną U dla wszystkich pomiarów za pomocą wzoru (1).

2.1. Wpływ dodatku na podstawowe parametry asfaltu

W celu określenia wpływu dodatku THPP na zmianę podstawowych parametrów wykonano badania dla różnych zawartości środka w stosunku do masy asfaltu wyjściowego:

- temperatury mięknienia według PN-EN 1427,
- penetracji asfaltu w temperaturze 25°C zgodnie z PN-EN 1426,
- temperatury łamliwości Fraassa według PN-EN 12593.

Wyniki podstawowych parametrów określających wpływ środka THPP przedstawiono na rysunku 1. Niepewność pomiaru dla powyższych badań mieści się w granicy $\pm 2\%$, słupki błędów reprezentujące niepewność przedstawiono na rysunkach 1a–c.

Analizując uzyskane wyniki badań temperatury mięknienia (rys. 1a), można stwierdzić, że wraz ze wzrostem stężenia dodatku, temperatura mięknienia asfaltu spada w stosunku do wyniku uzyskanego dla lepiszcza referencyjnego. Przy zawartości 0,2% w stosunku do asfaltu wpływ środka THPP jest praktycznie nie zauważalny. Podczas zwiększania stężenia dodatku do ilości 0,6% w stosunku do masy asfaltu występuje spadek temperatury mięknienia jedynie o około 3°C. Maksymalną wartość temperatury mięknienia uzyskano przy zawartości środka 0,2%, natomiast minimalną przy maksymalnej ilości dozowanego środka. Należy również podkreślić, że wszystkie uzyskane wyniki badań spełniają wymagania jak dla asfaltu modyfikowanego PmB 45/80-55.

Kolejnym rozpatrywanym parametrem w aspekcie ilości środka THPP jest penetracja asfaltu (rys. 1b), określająca jego konsystencję. Badania wykonano w temperaturze 25°C. Wykazują one, że w miarę wzrostu stężenia dodatku w stosunku do masy asfaltu występuje wzrost ocenianego parametru. Porównując uzyskane wartości średnie dla penetracji asfaltu, stwierdzono niewielką zmianę penetracji przy zawartości 0,4%, która rośnie wraz ze stężeniem środka w badanym zakresie. Wzrost penetracji o około 10 jednostek w stosunku do asfaltu wyjściowego jest stosunkowo niewielki.

Ostatnim a zarazem bardzo ważnym parametrem jest temperatura łamliwości wg Fraassa. Wyniki oznaczenia temperatury łamliwości asfaltu przedstawiono na rysunku 1c. Na podstawie oceny uzyskanych wartości temperatury łamliwości stwierdzono, że dodatek nie wpływa negatywnie na lepiszcze. Wartość temperatury łamliwości wraz ze wzrostem ilości dodatku spada, jednak w przedziale od 0,2 do 0,4% spadek temperatury jest mały i wynosi -0,4°C, co może świadczyć o małym wpływie na badany parametr w tym przedziale dozowania. Znaczny spadek temperatury łamliwości występuje przy stężeniu 0,6% dodatku THPP i wynosi –3°C. Uzyskane wyniki badań dowodzą, że dodatek korzystnie wpływa na temperaturę łamliwości. Uzyskanie wartości –18,7°C świadczy o małej wrażliwości asfaltu PmB 45/80-55 z dodatkiem 0,6% THPP na działanie niskich temperatur. Ponadto minimalna wartość temperatury łamliwości asfaltu wyjściowego wynosi –12°C, z dodatkiem THPP asfalt uzyskuje temperaturę łamliwości jak asfalt PmB 45/80-65.

2.2. Adhezja lepiszcza do piasku kwarcytowego

Badanie adhezji wykonane zostało zgodnie z PN-84 B 06714/22 "Oznaczenie przyczepności bitumów" w celu oceny odporności mieszanki mineralno-asfaltowej na oddziaływanie wody i mrozu. Aby określić adhezję lepiszcza do kruszywa o silnym odczynie kwaśnym zastosowano piaskowiec kwarcytowy. Wynik badania jest to odczyt wizualny powierzchni odmytej kruszywa. Z uwagi na to do oceny wizualnej wykonano serie obrazów cyfrowych, które poddano obróbce programu komputerowego. Na podstawie uzyskanych wyników określono procentowe odmycie asfaltu z kruszywa, a wyniki przedstawiono na rysunku 2.

Oznaczenie zmian adhezji lepiszcza do piaskowca kwarcytowego przedstawiono na rysunku 2. Na podstawie uzyskanych wyników, stwierdzono korzystny wpływ na badany parametr. Przy stężeniu 0,2% środka THPP adhezja poprawiła się o 11%. Adhezja asfaltu do kruszywa zwiększa się wraz ze wzrostem zawartości dodatku THPP w lepiszczu. Maksymalną wartość osiąga z zawartością 0,6% i jest ona większa o 25,6% w porównaniu do asfaltu referencyjnego. Wzrost adhezji jest bardzo korzystną cechą i świadczy o podniesieniu odporności na oddziaływanie wody i mrozu. Niepewność pomiaru adhezji nie przekraczała wartości ±7%.

2.3. Indeks penetracji

Indeks penetracji (IP) to reologiczny wskaźnik asfaltu określający właściwości asfaltu w zakresie stanu lepkosprężystego, który jest miarą jego wrażliwości termicznej, obliczanej na podstawie pomiarów temperatury mięknienia i penetracji asfaltu. Zmianę indeksu penetracji (rys. 3) określono zgodnie z PN-EN 12591 za pomocą wzoru (2).

Wpływ dodatku THPP na indeks penetracji asfaltu modyfikowanego PMB 45/80-55 przedstawiono na rysunku 3. Badania wykazały, że wraz ze wzrostem stężenia dodatku THPP spada indeks penetracji, przy czym w przedziale od 0 do 0,2 jest niewielki. Natomiast w przedziale od 0,4 do 0,6% występuje spadek bada-

structure

nego parametru. Przy zwiększaniu zawartości dodatku do 0,6% spadek indeksu penetracji wynosi 0,36, co powoduje tendencje do zmiany stanu z zolo-żelowego w zolowy, ponieważ zaobserwować można spadek parametru w kierunku wartości ujemnych.

Kolejnym istotnym parametrem obliczonym jest temperaturowy zakres plastyczności przedstawiony na rysunku 4. Obliczony za pomocą wzoru (3).

Na podstawie wyników badań temperatury mięknienia i temperatury łamliwości wg Fraassa obliczono temperaturowy zakres plastyczności (TZP). Na podstawie uzyskanych wyników badań temperaturowego zakresu plastyczności stwierdzono, że wszystkie badane próbki posiadają wartość większą od 60°C. Nieznaczny spadek badanego parametru występuje jedynie przy zawartości 0,4% i wynosi 1°C w stosunku do asfaltu referencyjnego. Uzyskane parametry korzystnie wpływają na właściwości lepko-sprężyste lepiszcza modyfikowanego PmB 45/80-55.

2.4. Nawrót sprężysty

Jednym z ważniejszych parametrów charakteryzujących wpływ środka THPP na właściwości asfaltu modyfikowanego PMB 45/80-55 odpowiadającym za zwiększenie trwałości i odporności nawierzchni na deformacje trwałe jest nawrót sprężysty. Wyniki oznaczenia nawrotu sprężystego wykonano zgodnie z PN-EN 13398 i przedstawiono na rysunku 5.

Na podstawie uzyskanych wartości stwierdzono, że dodatek ma korzystny wpływ na badany parametr. Na podstawie uzyskanych wyników określono niepewność pomiaru, która nie przekracza wartości $\pm 2\%$. Zawartość dodatku THPP w przedziale do 0,2 do 0,4 powoduje wzrost badanej cech średnio o 20%. Natomiast przy zawartości 0,6% wartość nawrotu sprężystego spada o 5% w stosunku do lepiszcza ze stężeniem 0,4% dodatku. Spowodowane to może być przez nadmiar środka THPP, który powoduje zakłócenia spójności kompozytu asfaltowego. Uzyskane wartości dla lepiszcza PmB 45/80-55 z THPP powodują wzrost badanego parametru wymaganego dla asfaltu o większym stężeniu modyfikatora.

2.5. Lepkość dynamiczna w funkcji temperatury

Lepkość dynamiczna jest jedną z podstawowych właściwości reologicznych asfaltu. Opisuje ona tarcie wewnętrzne, które występuje w wyniku istnienia sił kohezji przy przesuwaniu jednej warstwy asfaltu względem drugiej [1]. W badaniach lepkości asfaltu modyfikowanego z dodatkiem zastosowano urządzenie o współosiowym układzie cylindrów. Badania asfaltu modyfikowanego PMB 45/80-55 z dodatkiem THPP został wykonane w przedziale temperatur od 60 do 150°C zwiększając temperaturę o 10°C. Wpływ stężenia dodatku THPP na asfalt PmB 45/80-55 przedstawiono na rysunkach 6 i 7.

Dla lepkości dynamicznej w zakresie stężenia dodatku od 0,2 do 0,4% stwierdzono bardzo małe różnice w stosunku do asfaltu referencyjnego, co może świadczyć o małym wpływie na badany parametr. Spadek lepkości zanotowano w przedziale od 60 do 90°C przy stężeniu 0,6% środka w stosunku do masy asfaltu, który wynosił w 60°C 312 Pa·s a w 90°C 10 Pa·s. W przedziale temperatur od 100 do 150°C wartości badanego parametru dla asfaltu modyfikowanego z dodatkiem THPP są zbliżone do wartości lepiszcza podstawowego.

3. Podsumowanie

Na podstawie analizy wyników badań asfaltu 45/0-55 z dodatkiem środka THPP można sformułować następujące wnioski:

- zastosowanie środka THPP w badanym zakresie od 0,2 do 0,6% ma nieznaczny wpływ na temperaturę mięknienia, penetrację i indeks penetracji,
- zwiększanie zawartości dodatku THPP powyżej 0,4% w stosunku do masy asfaltu modyfikowanego powoduje korzystny spadek temperatury łamliwości,
- wraz ze wzrostem stężenia dodatku wzrasta adhezja lepiszcza do kruszywa,
- nadmierna ilość dodatku THPP, może powodować zakłócenia w integralności kompozytu asfaltowego,
- wzrost stężenia dodatku THPP ma niewielki wpływ na obniżenie lepkości dynamicznej asfaltu modyfikowanego PMB 45/80-55, co może sugerować, że za dominujący proces zwilżania kruszywa odpowiada asfalt modyfikowany PmB 45/80-55.



ANNA BRACKA¹ ZBIGNIEW RUSIN²

Kielce University of Technology

¹e-mail: akotrys@tu.kielce.pl ²e-mail: Zbigniew.Rusin@tu.kielce.pl

COMPARISON OF PORE CHARACTERISTICS AND WATER ABSORPTION IN CERAMIC MATERIALS WITH FROST RESISTANCE FACTOR, F_c

Abstract

The paper presents the results of ceramic products testing for water absorption, water absorption under vacuum, specific density, and pore size and volume distributions by mercury intrusion porosimetry. The test results were compared against the F_c frost resistance number. It was found that there is no simple correlation between selected physical properties and F_c factor.

Keywords: ceramics, porosity, water absorption, frost resistance, MIP

1. Introduction

Frost resistance depends upon pore geometry and, specifically, upon the proportion of larger pores, which do not fill up with water readily, to smaller pores, which absorb water susceptible to freezing under operating conditions. The relationship between frost resistance and specific pore properties such as water absorption (measured using different methods), specific surface, MIP characteristics, etc., has been described in numerous publications.

One of the most interesting classifications of pores in ceramic materials is the method developed by Maage [3], in which the potential frost resistance is evaluated with a single numerical quantifier determined according to the following formula:

$$F_c = 3.2/PV + 2.4*P3 \tag{1}$$

where: F_c – frost resistance number, PV – pore volume in cm³/g, P3 – percentage of the pores with diameters larger than 3 µm.

The analysis of comparative test results of direct frost durability of ceramic samples with the pore size and volume distribution determined using mercury porosimetry allowed Maage to find that the ratio of pores with cross - sections bigger than 3 μ m to the total intruded pore volume as well as the inverse value of the total pore volume is an important factor affecting the frost durability index, F_c . Figure 1 shows selected areas in the system of PV and P3, which correspond to durable ceramic materials, non durable ceramic materials and those of uncertain durability.





The method proposed by Maage attracted attention of many researchers [5]. Some scientists questioned the practical suitability of the method [1] or suggested that the critical value of F_c , determining whether the ceramic material is durable or not, should be different [2, 4].

The authors of this paper, in an attempt to develop their own position in this matter, conducted a number of tests that included determining such basic physical parameters as porosity and water absorption.

structure

2. Own research

Thirty four brick specimens were used for testing, including new bricks and old ones removed from demolished buildings. The tests aimed at determining:

- density and volume density
- water absorption
- water absorption under vacuum
- pores size and volume distribution by mercury intrusion porosimetry (MIP).

The specimens used in absorption and density tests and MIP were dried at a temperature of 105° C. Mercury intrusion with a porosimeter was set to the maximum pressure of about 413 MPa. The value of contact angle was 130 degrees. The tests were conducted at two levels (low and high pressure), which allowed the evaluation of pore size distribution in the range from about 350 µm to 3 nm.

Density tests (LeChatelier) and volume density tests helped calculate total porosity values of the specimens. Water absorption levels were measured by gradually immersing the specimens in water to constant mass. Absorption under vacuum measurement was conducted after 15-minute evacuation and then pouring hot, degassed (pre boiled) water over the specimens.

3. Test results analysis

Figures 2-7 compile the results attained from the tests and compare selected factors.

The values of water absorption of the specimens are compared with F_c values in Figure 2. The squares designate the test results for water absorption under normal circumstances, whereas the diamonds designate the results for the specimens saturated under vacuum. No clear relationship between F_c and the water absorption was found. The shift of the cloud of the vacuum saturated specimens results to the right side of the chart is understandable and expected.



Fig. 2. Distribution of F_c values in relation to water absorption

Figure 3 presents the correlation between F_c and the ratio of the volume absorption (under normal circumstances and under vacuum) to the total porosity of the specimens. The relation of n_{oz} and n_{op} to the total porosity expresses a significant attribute of microstructure in terms of possible pore saturation range.

It is reasonable to suppose that the increased content of water in the specimens soaked under vacuum relates to the largest pores. By virtue of capillary pressure, whose value is inversely proportional to the dimensions of pore cross-sections, it is quite unlikely that small pores remain empty or only partially filled with water after ordinary soaking.



Fig. 3. Relation between F_c and the degree of pore-filling



Fig. 4. Relation between F_c and the degree of saturation

The degree of pore-filling during ordinary saturation ranged from 65 to 93% of the total porosity, whereas vacuum saturation raised this parameter to more than 80%. Here as well a general trend can be observed but it seems impossible to precisely define the relationship between F_c and n_c/p .

The degree of material saturation with water, n_{oz}/n_{op} , is the widely used index for potential frost durability evaluation of concrete. For the group of bricks investigated here, the relationship of F_c number and n_{oz}/n_{op} ratio is presented in Figure 4. The lower the n_{oz}/n_{op} value, the bigger numbers of

large pores able to absorb water are present. Theoretically, the lower the n_{oz}/n_{op} factor value, the higher the durability of the material. Similar effect can be observed in air entrained cement matrices in mortars and concretes. The scatter of points in Figure 4 shows no clear relation between the degree of saturation and frost durability F_c .

Information displayed in Figures 2-4 may attest to the inability to predict the durability using the F_c number or the inability to use for that purpose simple indices related to water absorption (under natural environment and under vacuum) and porosity.

Frost resistance number F_c depends to the highest degree on the volume percentage of pores with diameters bigger than 3 µm in the total porosity level determined by MIP. Figures 5 and 6 show a cumulative and a differential pore size distribution for three out of 34 specimens. Table 1 compiles characteristic data of the specimens presented in Figures 5 and 6.

Table 1. Sample data of three selected bricks

Spec. No.	p, %	р _{мір} , %	n _{oz} , %	n _{。p} , %	F,	n _{oz} /p	n _{op} /p	n _{oz} /n _{op}
24	26.8	28.0	18.6	25.0	229.1	0.69	0.93	0.75
18	28.7	29.8	23.4	26.5	149.7	0.82	0.93	0.88
31	27	28.2	25.2	26.1	52.3	0.93	0.96	0.96



Fig. 5. Examples of cumulative pore size distributions of three selected bricks



Fig. 6. Examples of differential pore size distributions of three selected bricks

As shown in charts 5-6, specimen 24 had most of its pores larger than 3 μ m in diameter, and the value of *P*3 (acc. to Maage) was 86.4%, whereas for specimens 18 and 31, with a smaller amount of large pores, P3 values were 22.7% and 12.9%, respectively.

Although specimens 24, 18 and 31 prove the interrelation between F_c and relative water absorption $(n_{o2}/p, n_{o2}/n_{op})$, Figures 2, 3 and 4 indicate that many of the investigated 34 bricks did not follow that relation.

4. Summary

Lack of clear relationship between frost durability number, F_c , and indices related to porosity and water absorption may indicate that mechanisms of much more complex nature contribute to freeze/thaw damage of ceramic material. Those mechanisms need to be explained using other methods for determining the relations between water phase change and the deterioration process leading to the failure of the material. The recommended methods may include determining linear and volume deformations, calorimetric analysis, water phase change evaluation and the direct frost resistance test.

References

- Koroth S.R., Fazio P., and Feldman D.: Comparative study of Durability Indices for Clay Bricks, Journal of Architectural Engineering ASCE, March (1998), pp. 26-33.
- [2] Koroth S.R., Fazio P., and Feldman D.: Development of New Durability Index for Clay Bricks, Journal of Architectural Engineering ASCE, September (1998), pp. 87-93.
- [3] Maage M.: Frost resistance and pore size distribution in bricks.
- [4] Winslow D.: Predicting the Durability of Paving Bricks, Journal of Testing and Evaluation, JTEVA. Vol. 19, No. 1 (1991), pp. 29-33.
- [5] Żygadło M.: Trwałość eksploatacyjna wyrobów ceramiki budowlanej w warunkach działania mrozu. Politechnika Świętokrzyska, Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej Budownictwo, 27, Kielce 1988.



Anna Bracka Zbigniew Rusin

Porównanie wskaźnika mrozoodporności ceramiki F_c z charakterystyką porów i nasiąkliwością

1. Wprowadzenie

Mrozoodporność jest w głównym stopniu zależna od charakterystyki geometrycznej porów, a w szczególności proporcji porów większych, nie wypełniających się łatwo wodą do porów mniejszych, które pochłaniają wodę zdolną do zamrażania w warunkach eksploatacyjnych. W literaturze można odnaleźć wiele publikacji odnoszących się do związków mrozoodporności ze specyficznymi cechami porów, np. nasiąkliwością (badaną różnymi sposobami), powierzchnią właściwą porów, charakterystyką MIP itp.

Jednym z ciekawszych sposobów klasyfikacji porów w materiałach ceramicznych, jest metoda opracowana przez Maaga [3], w której do opisu potencjalnej mrozoodporności wykorzystuje się pojedynczy wskaźnik liczbowy, określony zgodnie z formułą (1).

Na podstawie analizy wyników badań porównawczych bezpośredniej mrozoodporności próbek materiałów ceramicznych z rozkładem wielkości i objętości porów określonych metodą porozymetrii rtęciowej Maag stwierdził, że decydującymi parametrami wpływającymi na wartość F_c są stosunek objętości porów o wymiarach przekroju powyżej 3 µm do całkowitej objętości porów zajętych przez rtęć w metodzie MIP oraz odwrotność całkowitej porowatości. Na rysunku 1 przedstawiono wydzielone obszary w układzie *PV* i *P*3, które odpowiadają materiałom ceramicznym mrozoodpornym, niemrozoodpornym oraz należącym do strefy przejściowej, o niepewnej trwałości.

Propozycja przedstawiona przez Maaga była analizowana w różnych opracowaniach [5]. Część autorów podawała w wątpliwość praktyczną przydatność metody [1]. Przy czym, niektórzy z nich sugerowali zmiany wartości kryterium F_c oddzielającego ceramikę trwałą od nietrwałej [2, 4].

Autorzy próbując wypracować własne stanowisko w tej kwestii podjęli szereg badań, z których oznaczenie podstawowych cech fizycznych, takich jak porowatość i nasiąkliwość uznali za podstawowe.

2. Opis badań własnych

Do badań wykorzystano 34 próbki nowych i starych cegieł pobranych z rozbieranych obiektów. Wykonano następujące testy:

- oznaczenie gęstości i gęstości objętościowej,
- oznaczenie nasiąkliwości zwykłej,
- oznaczenie nasiąkliwości pod próżnią,
- rozkładu wymiarów porów i ich objętości metodą porozymetrii rtęciowej (MIP).

Próbki do badań MIP, nasiąkliwości i gęstości były suszone w temperaturze 105°C. Penetracja rtęci wykonana przy użyciu porozymetru została określona przy maksymalnym ciśnieniu ok. 413 MPa. Do obliczeń przyjęto wartość kąta zwilżalności na poziomie 130 stopni. Badania wykonano dwustopniowo (niskie i wysokie ciśnienie), które umożliwiły ocenę rozkładu wymiarów porów w zakresie od około 350 µm do 3 nm.

Na podstawie badań gęstości (LeChatelier) i gęstości objętościowej obliczono wartości całkowitych porowatości poszczególnych próbek. Badania nasiąkliwości zwykłej wykonano przez zanurzanie stopniowe próbek w wodzie, do momentu stabilizacji ich masy. Nasiąkliwości pod próżnią wykonano po 15 minutach próżniowania i zalaniu próbek odgazowaną (wcześniej przegotowaną) gorącą wodą.

3. Wyniki pomiarów i ich analiza

Na rysunkach 2-7 przedstawiono uzyskane rezultaty oraz porównanie wybranych wskaźników. Na rysunku 2 porównano nasiąkliwości próbek ceramicznych z wartościami F_c . Kwadratami oznaczono wyniki badań nasiąkliwości zwykłej, romby oznaczają wyniki badań próbek nasączonych próżniowo. Nie stwierdzono jednoznacznej zależności pomiędzy F_c a nasiąkliwością. Przesunięcie chmury wyników próbek nasączonych próżniowo w prawą stronę wykresu jest zrozumiałe i zgodne z oczekiwaniami.

Na rysunku 3 przedstawiono analogicznie zależność F_c od stosunku wartości nasiąkliwości objętościowej (zwykłej i pod próżnią) do porowatości całkowitej próbek. Stosunek n_{cr} i n_{op} do porowatości całkowitej

wyraża istotną cechę mikrostruktury w kontekście zakresu możliwego wypełnienia porów wodą.

Należy przypuszczać, że zwiększona zawartość wody przy nasączaniu próżniowym dotyczy porów o największych średnicach. Raczej mało prawdopodobne jest, by pory małe pozostały puste lub częściowo tylko wypełnione wodą po nasączaniu zwykłym ze względu na specyfikę ciśnienia kapilarnego, którego wartość jest odwrotnie proporcjonalna do wymiarów przekroju porów.

Można stwierdzić, że stopień wypełnienia porów wody podczas nasączania zwykłego zawierał się w grupie badanych materiałów od 65% do 93% ogólnej porowatości, natomiast nasączanie próżniowe zwiększyło ten wskaźnik do poziomu powyżej 80%. Także w tym przypadku poza stwierdzeniem ogólnej tendencji nie jest możliwe określenie precyzyjnej zależności $F_c - n_c/p$.

Wskaźnikiem, który z powodzeniem wykorzystywany jest w technologii betonów do opisu potencjalnej mrozoodporności jest stopień nasączenia materiału wodą: n_{oz}/n_{op} . W grupie badanych cegieł zależność wskaźnika F_c od stosunku n_{oz}/n_{op} przedstawiono na rysunku 4. Im niższa jest wartość n_{oz}/n_{op} , tym więcej w materiale jest porów o dużych wymiarach w porównaniu do wszystkich porów zdolnych do pochłaniania wody. Teoretycznie im niższa wartość wskaźnika n_{oz}/n_{op} , tym wyższa powinna być trwałość materiału. Zjawisko o podobnym charakterze jest obserwowane w napowietrzonych matrycach cementowych w zaprawach i betonach. Rozproszenie wyników badań na rysunku 4 wskazuje, że pomiędzy stopniem nasączenia a F_c nie ma jednoznacznej zależności.

Przedstawione na rysunkach 2-4 informacje mogą świadczyć o braku możliwości oszacowania prognozy trwałości za pomocą wskaźnika F_c lub braku możliwości wykorzystania do tego celu prostych wskaźników powiązanych z nasiakliwością (zwykłą i pod próżnią) i porowatością ogólną.

Wartość wskaźnika F_c w największym stopniu zależy od procentowego udziału w ogólnej porowatości określonej z wykorzystaniem MIP, porów o wymiarach przekroju powyżej 3 µm. Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono skumulowany i różniczkowy wykres rozkładu wymiaru porów trzech próbek z pośród 34 badanych. W tabeli 1 zamieszczono dane charakterystyczne próbek przedstawionych na rysunkach 5 i 6.

Jak widać na rysunkach 5-6 próbka nr 24 zawiera najwięcej porów o wymiarach przekroju powyżej 3 μ m, wartość *P*3 (wg Maaga) wynosi dla niej 86,4%, natomiast próbki nr 18 i 31 mają mniej tych porów, a wartości P3 dla nich wynoszą odpowiednio 22,7% oraz 12,9%. O ile w próbkach 24, 18 i 31 występuje związek pomiędzy F_c i nasiąkliwością względną $(n_{oz}/p, n_{oz}/n_{op})$ to z rysunków 2, 3 i 4 wynika, że pośród 34 badanych cegieł wiele od tej relacji odstaje.

4. Podsumowanie

Brak jednoznacznego związku pomiędzy wskaźnikiem F_c oraz wskaźnikami zależnymi od porowatości i nasiąkliwości może świadczyć o bardziej skomplikowanej naturze mechanizmów niszczących ceramikę podczas zamrażania. Ich wyjaśnienie wymaga dodatkowych badań przy użyciu innych metod określających związki pomiędzy przemianą fazową wody a procesem odkształceniowym i w efekcie uszkodzeniami materiału. Do tych badań między innymi należą oznaczenia odkształceń objętościowych i liniowych, kalorymetrycznych, ocena procesu przemiany fazowej wody oraz mrozoodporność bezpośrednia.

environment environment



ANDRZEJ KULICZKOWSKI¹ KAMIL MOGIELSKI²

Kielce University of Technology

¹e-mail: akulicz@tu.kielce.pl ²e-mali: kamil.mogielski@gmail.com

RESULTS OF LABORATORY TESTS OF CONCRETE, VITRIFIED CLAY AND PVC SEWER PIPES WITH CIPP LINERS

Abstract

Results of load capacity tests of concrete pipes DN 200 and 300 and vitrified clay pipes DN 200, 250 and 300 with liners and without them were shown together with results of ring stiffness tests of PVC pipes DN 200, 250 and 315 and CIPP liners DN 200, 250 and 315. All pipes and liners used to produce samples were brand new. The tested liners were made of polyester tube saturated with epoxy resin. Preliners were not installed between liners and pipes. The liners were introduced to the pipes using compressed air and cured with hot water. Main aim of the research was to find out if there is any correlation between roughness of the pipe surface (depending on the pipe material) and load capacity growth after pipe rehabilitation due to the sticky properties of the resin used for tube impregnation. Another subject discussed in this paper is the influence of adhesion level between liner and PVC pipe to ring stiffness growth of this pipe. Relationship between adhesion level and growth of load capacity/ring stiffness will be proven. Adhesion level should be taken into consideration when designing the reconstructive liner designed not only to seal and protect the pipeline, but also to strengthen construction of the pipe.

Keywords: CIPP, cured-in-place-pipe, epoxy resin, sewer pipes, renovation, reconstruction

1. Introduction

One of the most common approaches for the rehabilitation of pipelines is to line their internal surfaces with one of the various types of liners. Among these the most common form of lining is CIPP. In this technology an impregnated tube is placed inside the hostpipe using winching or inversion. Then the impregnated liner is pressed against the wall of the host-pipe and cured by circulating hot water or steam through it or via UV light source [1]. Liner thickness, tube material and type of resin are the factors that determine the ring stiffness of the liner.

Three following design guidelines are used to designate minimal thickness of the liner:

- American: ASTM F 1216, Standard practice for rehabilitation of existing pipelines and conduits by the inversion and curing of a resinimpregnated tube, ASTM International Standard;
- Danish: Static calculations and dimensioning of the gravity sewer pipe renovation. Collective work developed by the Research Centre for

Pipes Danish Technological Institute for Trenchless Team No-Dig;

 German: ATV-DVWK – M127P Part 2, Static strength calculations for technical rehabilitation of sewer lines by introducing liners or using installation methods.

To select the optimum liner thickness, damage degree of the pipe should be determined together with loads acting on it. None of these three methods takes into consideration a factor related to the surface roughness of the pipe and adhesion level between pipe and liner. This factor has a big influence on the load capacity growth of the concrete and vitrified clay pipes. This factor also has a big influence on ring stiffness growth of the PVC pipes, as shown in this paper.

2. Preparation of test samples

In total, we examined load capacity or ring stiffness of 76 samples made of concrete, vitrified clay and PVC pipes with liners of different thickness and without liners. Samples made of cured liner only were examined too. Every sample made of cured liner

Table 1. Test matrix

	Nominal diameter/liner thickness [mm]								
Sample material	200/0	200/3	200/4	200/6	250/0	250/4	300/0 315/0*	300/4 315/4*	
Concrete pipe	1	4	4	4	-	-	2	4	
Vitrified clay pipe	1	4	4	4	2	6	2	6	
PVC pipe	1	4	4	4	1	4	1	4	
Resin liner **	-	1/3	1/3	1/3	-	1/3	-	1/3	
TOTAL	76 samples								
* PVC pipes DN 315 were tested. Internal diameter of this pipes is 299.6 mm. ** Each sample made of resin liner only was tested three times. 86 tests were made in total									

was examined three times. These studies took place at Division of Water Supply and Sewage Systems at Kielce University of Technology, Kielce, Poland.

All tested samples had a circular shape without footer and they were 30 cm long in accordance with the standards: PN-EN 1916 "Concrete pipes and fittings, unreinforced, steel fiber and reinforced" and PN-EN 295-3 "Vitrified clay pipes and fittings and pipe joints for drains and sewers – Part 3: Test methods".

Table 1 lists the types of samples with their parameters: pipe material, nominal diameter of pipe and thickness of resin liner.

Tubes made of polyester with outer diameters equal to the inner diameters of the pipes and with thicknesses as shown in Table 1 were saturated in situ with thermosetting epoxy resin.



Fig. 1. Preparation of the test samples [2]

Then, the resin impregnated tubes were introduced in series, into the concrete, vitrified clay and PVC pipes. Liners were introduced to the pipes with inversion drum, by using compressed air. After that resin liners were cured with hot water. Subsequently all devices were removed, pipes cooled and cut into 30 cm long samples. Excessive amount of the cured liner has been removed. Figure 1 shows the samples preparation site.

3. Test procedure

Samples made of concrete pipes were tested in accordance with the standard PN-EN 1916. Tests were made on the universal testing machines MTS and Zwick/Roell. Figure 2 shows Zwick/ Roell machines owned by Kielce University of Technology.

To perform the tests in accordance with the standard PN-EN 1916, samples were placed in the universal testing machine at the duralumin, V-shaped lower bearing element with spread angle of 150°. Length of lower bearing element was equal to the length of the samples (300 mm), width of 120 mm and maximum height of 40 mm. The load was applied by the upper compression plate and spread by steel upper bearing element with length of 300 mm, height of 50 mm and width of 45 mm. Straps made of elastomeric material with a hardness of 50 IRHD were inserted between the pipe and both bearing elements.

A control group of samples without liners were tested because of differences between the manufacturer's specification and actual data about load capacity. Those samples were tested to determine base load capacities. Base load capacities were compared with test results of samples reinforced with liners. One of the samples from the control group – made of concrete pipe DN 300 – is shown in Figures 3a (before test) and 3b (after test). Both groups of concrete samples (DN 200 and DN 300) with liners were tested four times. A sample made of concrete pipe DN 300 with 4 mm thick liner is shown in Figures 3c (before test) and 3d (after test).



Fig. 2. Universal testing machines Zwick/Roell: a) Z20 and b) Z100









Fig. 3. Concrete DN 300 pipe sample without liner: a) before test and b) after test. Concrete DN 300 pipe sample with 4 mm thick liner: c) before test and d) after test [2]

Samples made of vitrified clay pipes were tested in accordance with the standard PN-EN 295-3. Samples were not soaked before testing. To perform the tests using this standard, samples were placed in the universal testing machine at the steel, V-shaped lower bearing element with spread angle of 170°. Lower bearing element was 300 mm-long, 140 mm-wide and had maximum height of 38 mm. The load was applied by the upper compression plate and spread by steel upper bearing element with length of 300 mm, height of 37 mm and width of 65 mm. Straps made of elastomeric material with a hardness of 50 IRHD were inserted between the pipe and both bearing elements.





Fig. 4. Vitrified clay DN 200 pipe sample without liner:a) before test and b) after test. Vitrified clay DN 200 pipe sample with 4 mm thick liner:c) before test and d) after test [2]

Samples without liners were tested one or two times and samples with liners were tested four or six times. Samples made of vitrified clay pipes DN 200 without liner and with 6 mm-thick liner, before and after test end are shown in Figures 4a–4d.

During the test, the universal testing machine was recording the values of deformation and applied force every 0.01 seconds. Data were collected and stored in three-column table in DAT files on a computer connected to the machine. Figure 5 shows a graph that illustrates steady and slow force growth applied to the sample made of concrete and vitrified clay, both DN 200 and with 3 mm-thick liner. During the tests of concrete and clay pipes, deflections from about 6 to about 13 mm were observed. Those deflections were a result of deformation of elastomeric belts placed between the samples and bearing elements.

Samples made of PVC pipes with and without liners were tested in accordance with the standard PN-EN ISO 9969 "Thermoplastic pipes – Determination of ring stiffness", and samples made of liner only were tested in accordance with the Standard PN-EN 1228 "Plastic piping systems – Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes – Determination of initial specific ring stiffness".

Samples made of PVC pipes and/or liners were placed in testing machine directly and symmetrically on the lower compression plate. The load was applied directly from the upper compression plate. Both compression plates were 100 cm long and wide.



Fig. 5. Quasi-linear graphs showing load applied to the top of the concrete pipe (in gray) and vitrified clay pipe (in orange) in the function of time. Graphs are based on the data obtained during the tests

PVC pipe with and without liners were tested to compress the sample in three points at 120° spacing around the circumference by 3% of diameter and then release the test load. Force value was recorded at the moment of the maximum load and deformation of the sample. Force value was used to determine ring stiffness of the sample. Data summary for those tests in accordance with the standard PN-EN ISO 9969 are shown in Table 2.

Table 2. Data summary for PVC pipe tests in accordance with the Standard PN-EN ISO 9969

Pipe diameter, mm	3% deformation, mm	Speed of deformation, mm/min	Test time, s	Initial force, N
200	6.00	5	72	15.00
250	7.50	10	45	18.75
315	9.45	10	57	22.50

Liner test was to compress the sample in three points at 120° spacing around circumference by 3% of it diameter in 60 seconds. Then the compression plate was kept in position for 120 seconds. After 180 seconds from the test beginning and after relaxation effect, force interacting to the sample was recorded. Figure 6 shows a graph that illustrates organization of test.



Fig. 6. Graph showing applied load in the function of time, generated during the test in accordance with the Standard PN-EN 1228

4. Load capacity tests results of concrete and vitrified clay pipes

environm

After the test of the concrete pipes, the liners were still well adhered to the pipes in spite of the complete destruction of the samples. This is shown in Figure 7a (red arrows). Liner was still well adhered even if the pipe burst along the surface parallel to the inner wall of the pipe, which is also presented in Figure 7a (yellow arrow).

After the tests of the vitrified clay pipes and complete destruction of the samples, the liners were detached from the inner wall of the pipes for a substantial part of the circumference. This is shown in Figure 7b (red arrows).



Fig. 7. Samples after the test made of a) concrete and b) vitrified clay, both with resin liners [2]

Figures 8a, 9a and 10a show the sample made of concrete DN 200 pipe with 6 mm-thick liner after the test and Figures 8b, 9b and 10b show the sample made of vitrified clay DN 200 pipe with 3 mm-thick liner also after the test. Those pictures show previously described good sticking effect between concrete pipes and epoxy liners. Liners were not stuck to the vitrified clay pipes so completely.

Figure 8 shows external surfaces of epoxy liners, from which parts of the pipes were detached. Figure 9 shows a close-up of those samples. For the liner installed in the concrete pipe, stuck pieces of concrete

are easily visible. Glued epoxy resin is visible at the part of detached concrete. Liner installed in vitrified clay pipe is nearly cleanly separated from the pipe. Between the liner and the pipe a small gap is visible.



Fig. 8. Samples after the test: a) concrete pipe with liner and b) vitrified clay pipe with liner

Figure 10a shows concrete sample after the test. Epoxy resin is well joined with the concrete pipe at the boundary line. There is also a crack along the inner pipe wall – concrete pipe was burst but the liner did not separate from it. Figure 10b shows the gap between epoxy liner and vitrified clay pipe – it proves the weak bonding degree of these two elements.



Fig. 9. Close-up of samples after the test: a) concrete pipe with liner and b) vitrified clay pipe with liner



28



Fig. 10. Samples after the test: a) concrete pipe with liner and b) vitrified clay pipe with liner

All data collected during the tests were used to make diagrams and tables showing the different load capacity growth level of concrete and vitrified clay pipes with liners compared to the pipes without liners. Table 3 and the left side of Figure 11 show data collected during the tests of eleven samples made of concrete DN 200 pipes. Data collected during the tests of thirteen samples made of vitrified clay DN 200 pipes is shown in Table 4 and on the right side of Figure 11. Summary of data collected during the tests of concrete pipes DN 300 and vitrified clay pipes DN 250 and DN 300 is presented in Table 5.

Table 5. Concrete DN 200 pipes research summa	Table	3.	Concrete	DN	200	pipes	research	summar
---	-------	----	----------	----	-----	-------	----------	--------

Sample number	Liner thickness	Destructive force	Load capacity	Load capacity growth compared to control group	Average load capacity growth for the group
	mm	N	kN/m	%	%
1	without liner	20020	66.73	_	_
2		37070	123.57	85.2%	
3	3	36340	122.77	84.0%	79.9%
4		33431	113.71	70.4%	
5		33784	112.61	68.8%	
6	4	38002	126.67	89.8%	87,5%
7		40421	136.10	103.9%	
8		40229	134.10	100.9%	
9	6	37329	124.43	86.5%	02 50/
10		38662	130.61	95.7%	%כ,כל
11		37060	127.35	90.8%	

Sample number	Liner thickness	Destructive force	Load capacity	Load capacity growth compared to control group	Average load capacity growth for the group
	mm	Ν	kN/m	%	%
12	without liner	20794	69.32	0	0
13		21320	71.07	2.5%	
14	3	25633	85.44	23.3%	10.20/
15		22559	76.21	9.9%	10.2%
16		21944	72.90	5.2%	
17		23322	77.74	12.2%	
18		27713	92.38	33.3%	22.00/
19	4	25411	84.42	21.8%	22.0%
20		25237	83.84	21.0%	
21		31204	104.01	50.1%	
22	6	30707	102.36	47.7%	20 70/
23	0	27840	95.02	37.1%	30. /%



83.06

19.8%

27660

24

Fig. 11. Load capacities of concrete and vitrified clay DN 200 pipes with and without liners

Table 5. Average load capacity growth for the samples with liners compared to the samples without liners

Pipe DN/	Average load capacity growth of:				
liner thickness	concrete pipes	vitrified clay pipes			
mm	%	%			
250/4	_	19.3			
300/4	103.6	9.4			

Table 4. Vitrified clay DN 200 pipes research summary

5. Ring stiffness tests results of PVC pipes and epoxy liners

Figure 12 shows the ring stiffness tests results of liners, PVC pipes and PVC pipes with liners. PVC pipes are marked in blue color and other colors represent different thicknesses of epoxy liners. Hatched bars show ring stiffness of PVC pipes with liners. It is clear that the ring stiffness of PVC pipes with liners is greater than total ring stiffness of PVC pipes and liners separately. The increased stiffness is from about 81% to over 128%.



Fig. 12. Ring stiffness of liners, PVC pipes and PVC pipes with liners

Liner detachment from the pipe phenomenon was observed during the tests of PVC pipes with liners. It occurred with characteristic crack, during which the force applied to the tube sharply decreased. Figure 13 shows the graph obtained during this test. This phenomenon proves that adhesion level have big influence on ring stiffness growth.



Fig. 13. Force applied to the PVC DN 200 pipe with 4 mm thick liner as a function of time. After about26 seconds sharply decreased applied force is visible. It is caused by separation of liner from the PVC pipe

6. Conclusions

After installing CIPP liners there was a greater destructive force increase of concrete pipes than clay pipes although there was similar destructive force (load capacity) in both kinds of pipes without liners (see Figure 11). These observations partially support conclusions that liners reduce the strain of concrete pipes, thus loading capacity increases. Vitrified clay pipe and liner work separately or common work of those two elements is limited due to the glazing of the pipe. Because of that the strain of vitrified clay pipes is not reduced or it is reduced less than in concrete pipes.

Ring stiffness of PVC pipe with liner was greater than total ring stiffness of PVC pipe and liner separately. Additionally, the separation of the liner from the inner wall of the pipe causes a sharp decrease of the ring stiffness (see Figure 13). It proves that the liner stuck with PVC pipe has greater ring stiffness than total ring stiffness of PVC pipe and liner separately.

The analysis and its results confirm the hypothesis presented in the introduction that the pipe material and wall roughness should be considered during CIPP liner designing. In most popular CIPP liner design methods, the material of renewed pipe is not taken into consideration [3, 4]. This research can contribute to the correction of current design methods of CIPP liners. The tests performed (because of limited funds) are only an introduction to a full analysis, which should be done to further refine these correlations and to correct design methods. To broaden the analysis and strengthen conclusions, more tests should be done. Additional research should take into account many variations of CIPP technology, including different resin compositions, types and materials of tube and liner curing methods.

References

- Kuliczkowski A. et al.: *Technologie bezwykopowe* w inżynierii środowiska. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa 2010, s. 405-466.
- [2] Dańczuk P.: *The results of concrete and vitrified clay pipes load capacity tests and the results of PVC pipes and CIPP liners ring stiffness tests*, 2008.
- [3] Kuliczkowski A.: Rury kanalizacyjne, t. II, Projektowanie konstrukcji, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2004, s. 392-456.
- [4] Kuliczkowski A., Kubicka U., Parka A.: The comparative analysis of standards used in Poland for trenchless rehabilitation of sewage pipes and the problems in design of resin lines, Tunnelling and Underground Space Technology (2010), No. 25, pp. 795-801.



ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the MC-Bauchemie for the preparation of the samples examined in the study presented in the article and Keramo Steinzeug N.V., P.V. Prefabet Kluczbork S.A. and Pipelife Polska S.A. for providing the pipes that were used to prepare the samples.

Andrzej Kuliczkowski Kamil Mogielski

Wyniki badań laboratoryjnych przewodów kanalizacyjnych betonowych, kamionkowych i z PVC z powłokami CIPP

1. Wstęp

Jedną z najpopularniejszych technologii rehabilitacji rurociągów jest pokrywanie ich wewnętrznych powierzchni różnego rodzaju powłokami. Stosowana najczęściej w tym celu technologia CIPP, polega na wprowadzeniu do rury powłoki nasączonej żywicą poprzez jej wciąganie lub inwersję. Potem następuje jej dociśnięcie do ściany rury i utwardzenie za pomocą gorącej wody, pary wodnej lub promieni UV [1]. Grubość powłoki, rodzaj tkaniny oraz rodzaj stosowanej żywicy stanowią o sztywności utwardzonej powłoki.

W celu wyznaczenia minimalnej grubości powłoki żywicznej korzysta się najczęściej z następujących trzech wytycznych do projektowania:

- amerykańskiej: ASTM F 1216, Standard practice for rehabilitation of existing pipelines and conduits by the inversion and curing of a resin-impregnated tube, ASTM International Standard,
- duńskiej: Static calculations and dimensioning of the gravity sewer pipe renovation. Collective work developed by the Research Centre for Pipes Danish Technological Institute for trenchless Team No-Dig;
- niemieckiej: ATV-DVWK M127P part
 2, Static strength calculations for technical rehabilitation of sewer lines by introducing liners or using installation methods.

W celu doboru optymalnej grubości ścianki powłoki należy ustalić stopień uszkodzenia rury oraz obciążenia na nią oddziałujące. Żadna z wymienionych metod nie uwzględnia jednak czynników związanych z chropowatością ścianki rury i stopniem przylegania do niej powłoki. Czynniki te mają istotny wpływ na wzrost nośności rur betonowych i kamionkowych oraz wzrost sztywności obwodowej rur z PVC, co zostało dowiedzione w dalszej części artykułu.

2. Przygotowanie próbek do badania

Łącznie zbadano nośność lub sztywność obwodową 76 próbek rur betonowych, kamionkowych i z PVC z powłokami o różnej grubości i bez powłok, a także wycinków powłok żywicznych o różnych grubościach i średnicach. Próbki powłok żywicznych badane były trzykrotnie. Badania te zostały wykonane w Kielcach, w Katedrze Sieci i Instalacji Sanitarnych Politechniki Świętokrzyskiej.

Wszystkie badane próbki miały kształt kołowy bez stopki i – zgodnie z wytycznymi zawartymi normach PN-EN 1916 "Rury i kształtki z betonu niezbrojonego, betonu zbrojnego włóknem stalowym i żelbetowe" oraz PN-EN 295-3 "Rury i kształtki kamionkowe i ich połączenia w sieci drenażowej i kanalizacyjnej - Metody badań" – długość około 30 cm. W tabeli 1 zestawiono zakres badań, czyli parametry zbadanych próbek (średnicę wewnętrzną rury, materiał z jakiego wykonana jest próbka i grubość utwardzonej powłoki żywicznej).

Powłoki poliestrowe o średnicach zewnętrznych równych średnicom wewnętrznym rur i o odpowiednich grubościach (patrz tab. 1) zostały nasączone termoutwardzalną żywicą epoksydową w miejscu wykonywania próbek.

Następnie tkaniny nasączone żywicą zostały wprowadzone do ułożonych w szeregu rur betonowych,

kamionkowych i z PVC za pomocą bębna inwersyjnego, przy użyciu sprężonego powietrza. W następnej kolejności powłoki żywiczne zostały utwardzone za pomocą gorącej wody. Po odłączeniu urządzeń i ostudzeniu rur, zostały one pocięte na próbki o długości około 30 cm a nadmierna ilość utwardzonej powłoki żywicznej została usunięta. Na rysunku 1 pokazano stanowisko do przygotowania próbek badawczych.

3. Przebieg badań

Fragmenty rur betonowych zostały zbadane zgodnie z normą PN-EN 1916. Badanie zostało wykonane na maszynach wytrzymałościowych firmy MTS i Zwick/Roell (rys. 2), będących w posiadaniu Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach.

W celu przeprowadzenia badań zgodnie z normą PN-EN 1916 próbki układane były w maszynie wytrzymałościowej na wykonanym z duraluminium dolnym elemencie nośnym w kształcie litery V o kącie rozwarcia równym 150°. Dolny element nośny miał długość równą długości próbek (300 mm), szerokość 120 mm i wysokość maksymalną 40 mm. Obciążenie było przykładane od góry i równomiernie rozkładane za pomocą wykonanego ze stali górnego elementu podpierającego o długości 300 mm, wysokości 50 mm i szerokości 45 mm. Pomiędzy rurę a elementy górny i dolny wstawiono pasy wykonane z materiału elastomerowego o twardości 50 IRHD.

Z uwagi na często występujące rozbieżności między danymi producenta a danymi rzeczywistymi, zbadano również próbki bez zainstalowanej powłoki. Próbki te, nazwane grupą kontrolną, badane były w celu ustalenia nośności bazowej, która została użyta do porównania z nośnością próbek wzmocnionych powłokami. Jedna z tych próbek – betonowa o średnicy 300 mm – została pokazana na rysunku 3a (przed zniszczeniem) i 3b (po zniszczeniu). W przypadku próbek z zainstalowanymi powłokami badanie zostało wykonane czterokrotnie dla każdego rodzaju próbki. Fragment rury betonowej o średnicy 300 mm z zainstalowaną powłoką o grubości 4 mm został zaprezentowany na rysunku 3c (przed zniszczeniem) i 3d (po zniszczeniu).

Próbki rur wykonane z kamionki zostały zbadane zgodnie z wytycznymi znajdującymi się w normie PN-EN 295-3. Przed badaniem nie wykonano moczenia elementów.

W celu przeprowadzenia badań zgodnie z ww. normą badane próbki układane były w maszynach wytrzymałościowych firmy MTS i Zwick/Roell na wykonanym ze stali dolnym elemencie nośnym w kształcie litery V o kącie rozwarcia równym 170°. Długość dolnego elementu nośnego miała długość próbek (300 mm), szerokość 140 mm i wysokość maksymalną 38 mm. Obciążenie było przykładane od góry i równomiernie rozkładane za pomocą wy-konanego ze stali górnego elementu podpierającego o długości 250 mm, wysokości 37 mm i szerokości 65 mm. Pomiędzy rurę a elementy górny i dolny wstawiono pasy wykonane z materiału elastomero-wego o twardości 50 w skali IRHD.

Próbki bez zainstalowanej powłoki badane były jedno- lub dwukrotnie a próbki z zainstalowanymi powłokami cztero- lub sześciokrotnie. Fragmenty rury kamionkowej DN 200 bez powłoki żywicznej i z powłoką o grubości 6 mm na początku badania i po jego zakończeniu zostały pokazane na rysunkach 4a – 4d.

Po rozpoczęciu badania maszyna wytrzymałościowa rejestrowała wartości odkształcenia i przyłożonej siły co 0,01 sekundy. Dane były zbierane i zapisywane w formie trójkolumnowej tabeli w formacie DAT na komputerze podłączonym do zgniatarki. Wykres przedstawiający jednostajny i powolny wzrost siły przykładanej do próbki betonowej i kamionkowej DN 200 z zainstalowanymi powłokami o grubości 3 mm został przedstawiony na rysunku 5. Podczas badań rur sztywnych odnotowano odkształcenia rzędu 6–13 mm. Ugięcia te były efektem odkształcania się pasów wykonanych z elastomeru umieszczanego między próbką a elementami podpierającymi.

Próbki rur z PVC z zainstalowanymi powłokami i bez powłok zostały zbadane zgodnie z normą PN--EN ISO 9969 "Rury z tworzyw termoplastycznych. Oznaczanie sztywności obwodowej", natomiast same linery żywiczne zbadano zgodnie z wytycznymi zamieszczonymi w normie PN-EN 1228 "Rury z termoutwardzalnych tworzyw sztucznych wzmocnionych włóknem szklanym (GRP)".

Tak jak w przypadku rur sztywnych próbki układane były w maszynach wytrzymałościowych firmy MTS i Zwick/Roell. Próbki układane były bezpośrednio na dolnej płycie ściskającej i z zachowaniem symetrii. Obciążenie było przykładane od góry i równomiernie rozkładane za pomocą górnej płyty ściskającej. Obie płyty ściskające miały wymiary 100 x 100 cm.

Badania wykonywane na próbkach rur z PVC i próbkach rur z PVC z zainstalowanymi w nich linerami żywicznymi polegały na uginaniu próbek w trzech punktach o 3% ich średnicy a następnie zwolnieniu obciążenia badawczego. Siła odczytywana była w momencie maksymalnego obciążenia i odkształcenia próbki. Na tej podstawie obliczono sztywność obwodową każdego z badanych odcinków

rur. Dane dotyczące badań zostały przedstawione w tabeli 3. Są one zgodne z normą PN-EN ISO 9969.

Badania wykonywane na samych linerach wykonywane były zgodnie z normą PN-EN 1228. Polegały one na przyłożeniu obciążenia powodującego odkształcenie względne (3% w ciągu 60 sekund) i utrzymaniu go przez 120 sekund. Siła odkształcająca próbkę odczytywana była w 180 sekundzie od rozpoczęcia badania, po wystąpieniu zjawiska relaksacji. Przykładowy wykres przedstawiający przebieg badania pokazano na rysunku 6.

4. Wyniki badań rur betonowych i kamionkowych

Po zakończeniu badania zaobserwowano, że w przypadku rur betonowych, mimo całkowitego zniszczenia próbek, powłoki żywiczne nadal dobrze przylegały do ich wewnętrznych powierzchni, co zostało pokazane na rysunku 7a (czerwone strzałki). Powłoka nie odrywała się także w przypadku pęknięcia próbki wzdłuż powierzchni stycznej do ścianki wewnętrznej próbki, co zostało również zaprezentowane na rysunku 7a (żółta strzałka).

W przypadku rur kamionkowych, po całkowitym zniszczeniu próbki zarejestrowano zjawisko odspajania się zewnętrznej powierzchni powłoki żywicznej od wewnętrznej powierzchni rury na znacznej części obwodu. Zostało to pokazane na rysunku 7b (czerwone strzałki).

Na rysunkach 8a, 9a i 10a pokazano próbkę betonową o średnicy 200 mm z powłoką o grubości 6 mm a na rysunkach 8b, 9b i 10b próbkę kamionkową o średnicy 200 mm z powłoką o grubości 3 mm. Widoczne jest wcześniej opisane zjawisko dobrego przyklejania się żywicy epoksydowej do powierzchni betonu. Powłoki przyklejały się do rur kamionkowych w mniejszym stopniu.

Na rysunku 8 widoczne są zewnętrzne powierzchnie powłok epoksydowych, od których częściowo zostały oderwane fragmenty rur. Na rysunku 9 znajdują się zbliżenia tych próbek. Na powłoce zainstalowanej w próbce betonowej widoczne są przyklejone resztki betonu. Na rysunku 9a widoczna jest również żywica epoksydowa, która ciągle przylega do wewnętrznej powierzchni rury betonowej. W przypadku próbek kamionkowych powierzchnia powłoki jest prawie czysta, a między powłoką a rurą widoczna jest niewielka szczelina.

Na rysunku 10a pokazano próbkę betonową po zniszczeniu. Na styku rury z powłoką epoksydową widoczny jest dobrze przylegający do żywicy beton. Zauważalne jest również pęknięcie wzdłuż powierzchni stycznej do ścianki rury – rura betonowa pękła, ale powłoka nie oderwała się od niej. Na rysunku 10b dostrzec można szczelinę miedzy rurą kamionkową a powłoką żywiczną – świadczy ona o słabym sklejeniu się tych dwóch elementów.

Na podstawie danych zebranych podczas badań opracowano tabelaryczne zestawienia i wykresy obrazujące w jak różnym stopniu wzrasta nośność próbek betonowych i kamionkowych po montażu w nich powłok epoksydowych. Tabela 3 i lewa strona rysunku 11 zawierają dane dotyczące jedenastu próbek betonowych o średnicy nominalnej 200 mm, natomiast tabela 4 i prawa strona rysunku 11 dotyczą trzynastu próbek rur kamionkowych o tej samej średnicy. Zestawienie danych uzyskanych podczas badania rur betonowych DN 300 i kamionkowych DN 250 i DN 300 zostały zaprezentowane w tabeli 5.

5. Wyniki badań rur z PVC

Na rysunku 12 podano wyniki badań sztywności obwodowej rur z PVC. Kolorem niebieskim oznaczono rury z PVC, inne kolory reprezentują powłoki żywiczne o różnych grubościach. Słupki kreskowane pokazują wartości sztywności obwodowych rur z powłokami żywicznymi. Widoczne jest, że nośność rury PVC z zainstalowaną powłoką przewyższa nośność rury PVC i powłoki oddzielnie. Wzrost ten wynosi w przypadku badanych próbek od około 81% do ponad 128%.

Podczas badania części próbek obserwowano zjawisko odrywania się powłoki od ścianki wewnętrznej rury. Objawiało się ono charakterystycznym trzaśnięciem, podczas którego siła przyłożona do rury z powłoką gwałtownie spadała. Wykres uzyskany podczas jednego z takich badań został przedstawiony na rysunku 13. Zjawisko to potwierdza wpływ stopnia przylegania powłoki do rury na wzrost sztywności obwodowej.

6. Wnioski

Badania wytrzymałości na zgniatanie rur betonowych i kamionkowych z wewnętrznymi linerami żywicznymi wykazały, że rury betonowe mają większą wytrzymałość na zgniatanie mimo, że siły niszczące obu rodzajów rur bez powłok były zbliżone (rys. 11). Na podstawie tych obserwacji można częściowo założyć, że liner ogranicza odkształcenia betonu w wierzchołku i dnie rury, przez co jej nośność wzrasta. W przypadku szkliwionych rur kamionkowych oba te elementy pracują oddzielnie lub ich współpraca jest ograniczona, przez co nie dochodzi do ograni-

czenia odkształceń lub występuje ono w mniejszym zakresie niż w rurach betonowych.

W przypadku rur z PVC zaobserwowano, że sztywność obwodowa rury i powłoki jest większa od sumy sztywności obwodowych rury i powłoki badanych oddzielnie. Dodatkowo oderwanie się powłoki od ścianki wewnętrznej rury powoduje nagły spadek wartości sztywności obwodowej (rys. 13). Jest to dowód na to, że układ rura – powłoka ma większą sztywność obwodową od tych dwóch powłok pracujących oddzielnie.

Przedstawiona analiza i jej wyniki dają podstawę do przedstawionego we wstępie twierdzenia, iż materiał rurociągu macierzystego powinien być uwzględniany podczas dobierania grubości powłoki żywicznej. Czynnik ten nie jest brany pod uwagę w najczęściej stosowanych metodach projektowania powłok typu CIPP [3, 4]. Prowadzone badania mogą przyczynić się do ich korekty. Ze względu na ograniczone środki finansowe zrealizowano badania będące jedynie wstępem do analizy, którą należy wykonać celem dokładnego opisania tych zjawisk i korekty stosowanych metod obliczeniowych. W celu wyciągniecia dalej idacych wniosków należy przeprowadzić więcej badań, podczas których uwzględnić powinno się fakt, że technologia CIPP stosowana jest w bardzo wielu wariantach, różniących się m.in. składem żywicy, rodzajem tkaniny czy sposobem utwardzenia linera.

PODZIĘKOWANIA

Autorzy artykułu pragną podziękować firmie MC-Bauchemie za przygotowanie próbek do badań, których wyniki zostały zaprezentowane w niniejszym artykule oraz firmom Keramo Steinzeug N.V., P.V. Prefabet Kluczbork S.A. i Pipelife Polska S.A. za dostarczenie rur, które zostały użyte do wykonania próbek.



PAWEŁ KOSSAKOWSKI Kielce University of Technology e-mail: kossak@tu.kielce.pl

STRATEGIC NOISE MAPS

Abstract

The paper presents the issue of noise maps preparation. Noise indicators and requirements for strategic noise maps are given. The overall process of noise mapping (including acoustic model stage, gathering data on the noise sources and noise map calculation) is also presented in the article together with examples of a noise map.

Keywords: noise mapping, noise pollution.

1. Introduction

Achieving a high level of health and environmental protection is a one of the basic elements of the policy in the European Union. Noise is one of significant factors, which pollutes the natural environment. Therefore, protection against noise has been a fundamental objective in many European countries for many years, as well as in Poland. In order to harmonize the rules to prevent and reduce the adverse effects of noise pollution, the so-called Environmental Noise Directive 2002/49/EC [1] was adopted in 2002 by European Parliament and the Council. General requirements, applied noise indicators and assessment methods related to the protection against noise are presented in [2].

One of the primary regulations of the Directive [1] is the obligation to draw up strategic noise maps which enable a noise exposure assessment and predictions in an area due to different noise sources. In the paper the overall requirements and determinations methods used for noise mapping are presented.

2. Strategic noise maps

According to the definition given in the Environmental Noise Directive, a strategic noise map means a map designed for the global assessment of noise exposure in a given area due to different noise sources or for overall predictions for such an area [1]. Physically, strategic noise map is a map of the area, which is in color or contours, depending on the noise level.

2.1. Noise indicators

Noise mapping is based on several noise indicators, meaning a physical scale for the description of environmental noise, which affects harmfully. Two basic noise indicators are defined in [1] for noise mapping:

- day-evening-night noise indicator L_{den} for overall annoyance,
- night-time noise indicator L_{night} for sleep disturbance.

Noise indicator L_{den} for the time of day-eveningnight noise is expressed in decibels (dB) as follows [1]:

$$L_{den} = \frac{10}{24} lg \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening} + s}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{nighr} + 10}{10}} \right)$$
(1)

where: L_{day} – the A-weighted long-term average sound level as defined in ISO 1996-2:1987 [3], determinedover all the day periods (12 hours from 7.00 to 19.00) of a year, $L_{evening}$ – the A-weighted longterm average sound level as defined in ISO 1996-2:1987 [3], determined over all the evening periods (4 hours from 19.00 to 23.00) of a year, L_{night} – the A-weighted long-term average sound level as defined in ISO 1996-2:1987 [3], determined over all the night periods (8 hours from 23.00 to 7.00) of a year.

Noise indicator L_{den} should be assessed for point depending on the application. The assessment points must be 4,0 ± 0,2 m above the ground and at the most exposed façade for calculations of the strategic noise maps in relation to noise exposure in and near buildings. For other purposes, the height of assessment point may be different, but never less than 1.5 m above the ground, and the results must be corrected in accordance with an equivalent height of 4 m.

The night-time noise indicator L_{night} is determined in the same way as L_{den} indicator, but for all the night periods of a year.

2.2. Requirements for strategic noise maps

For noise mapping, the reference methods specified in the Directive [1] are recommended, which were described in detail in [2].

The strategic noise maps must satisfy also the minimum requirements given in the Directive [1], which are summarized in Table 1.

Additionally, every five years, strategic noise maps must be made and approved (if necessary) for agglomerations, roads and railways showing the situation during the preceding year. If necessary, every five years noise maps must be also reviewed and revised.

3. Strategic noise mapping

As mentioned before, noise maps describe a distribution of noise from various sources, such as

Table 1. Requirements for strategic noise maps according to [1]

road and rail traffic, aircraft and industry, being a major source of information about the state of the acoustic environment in the area. Noise mapping is a complicated process and a large number of input variables is required to produce a noise map which enables real description of noise in the analysed area. Thus, a certain assumptions and averages are introduced during the modelling process, which have an effect on resultant noise map. Mainly they are connected to unknown data, such as number of heavy vehicles in the flow, average speed of vehicles, road surface type for particular roads or unavailable topographical information describing the analysed area. Averages connected to these unknown data have a significant impact on the final noise map, especially in a large scale projects, due to a large number of

Below the overall process of noise mapping is presented.

necessary information.

Generally, noise mapping is based on the calculation of the parameters of the noise source basing on a digital model of terrain and infrastructure, and other quantities affecting the propagation of sound. There are several elements and stages during noise mapping, including acoustic model preparation, obtaining data on the noise sources, production and calibration of final noise map, which is described below.

Characteristics of strategic noise maps	Requirements
Aspects of data presentation in noise maps:	 an existing, a previous or a predicted noise situation in terms of a noise indicator the exceeding of a limit value the estimated number of dwellings, schools and hospitals in a certain area that are exposed to specific values of a noise indicator the estimated number of people located in an area exposed to noise
Type of presentation of noise maps to the public:	 graphical plots numerical data in tables numerical data in electronic form
Types of separate noise maps necessary for agglomerations, taking into consideration noise sources:	 road traffic rail traffic airports industrial activity sites, including ports
Purposes of using of strategic noise mapping:	 the provision of the data a source of information for citizens a basis for action plans
Additional and more detailed information necessary for the purposes of informing the citizen:	 a graphical presentation maps disclosing the exceeding of a limit value difference maps, in which the existing situation is compared with various possible future situations maps showing the value of a noise indicator at a height other than 4 m where appropriate
Assessment conditions for L_{den} and L_{night} :	 height of reference point equal to 4 m 5 dB ranges



3.1. Acoustic model

In the fist stage of noise mapping the acoustic, computational model is built. It consists the data covering different groups of information necessary to comply with the maps. The following numerical models are used in preparation of the acoustic model:

- terrain (ground) model
- building model
- infrastructure model
- green areas model.

These models combined into one, are a base for the estimation of a number of people which are exposed to noise from different sources. Thus, in order to build the acoustic model it is necessary to input the information on the estimated number of people living in a given area into the model consisting of all the buildings. The buildings data is available in a geo-referenced files or they are collected during the field visions, in which a detailed inventory and photographic documentation is done (Fig. 1).



Fig. 1. Aerial view (a) [4] and acoustic model of Bologna (b) [5]

Estimated number of living people is taken from statistical data or gathered during the field visions. Finally, the computational model contains information on the buildings layer, where cataloged objects are assigned to a person living in them. In addition, the infrastructure data consisting the information on engineering structures such as bridges, viaducts and the acoustic barriers is input.

The fundamental part of the acoustic model are the noise source models separated for sources such as road and rail traffic, aircraft and industry. Taking into their specifics, special methods should be taken into account. For example, the road noise source model requires the division of the whole road network – the streets into acoustically homogeneous segments and then assign the parameters affecting the emission of noise to individual sections.

3.2. Gathering of data on the noise sources **3.2.1.** Road traffic

For city traffic the information on noise is often assessed basing on the number of vehicles. This parameter may be taken from city traffic model. Motion parameters are assembled using different data sources, such as data set submitted on the intensity and structure communication traffic measurements performed on selected roads and data adopted on the basis of approximate data according to [6] and the analysis of the environment and roads function. Noise exposure around a road is shown in Figure 2.



Fig. 2. Noise exposure around a road [7]

3.2.2. Railways

In the case of rail-traffic noise, the data on rail infrastructure, flow and structure of the traffic is necessary to assess this noise source. The rail infrastructure information includes data on the type of structure and status of technical tracks as well as information relating to rolling stock. They may be assumed basing on information taken from the national railway infrastructure companies. The data on the traffic flow and its structure may be taken from rail carriers. Example of noise exposure around a railway line is shown in Figure 3.



Fig. 3. Noise exposure around a railway line [8]

3.2.3. Airports

For aircraft, and especially airports, in order to assess the noise effect, large amount of information is necessary. It covers the details about flight routes, types of aircrafts and engines and information on start and landing procedures. This information may be gathered basing on computer software using the recommended methods, such as [9], which enables aircraft noise impact assessment (Fig. 4). The noise effect is often combined with the town noise maps including other noise sources.



Fig. 4. Noise exposure around an heavily used airport [10]

3.2.4. Industry

The methodology to develop computational models for industrial noise effect is dependent on the type of production. It may be based on the guidelines, for example [6, 11]. These EU publications are primarily used to estimate the sound power per 1 m² of surface noise sources for specified industrial plants, giving the values for the sound power level depending on the type of a plant. Example of noise sources of an industrial plant is shown in Figure 5.



Fig. 5. Noise sources of an industrial plant [12]

3.3. Strategic noise map calculation

During noise mapping, some effects should be taken into consideration. Especially this means a short-term variations of the noise level, which takes place all the time. This causes that it is impossible to assess the exact noise level at a particular point at a particular time in short-term. For well-defined noise sources only the long-term provision of noise level is possible.

The best solution to achieve accurate results is the measurement method. Unfortunately, in some cases it is very difficult to perform or even impossible. Thus, the noise mapping is done by calculations made basing on the computational noise models of an area.

Noise maps are calculated using a computer software, and the data set described above (such as geometry and motion parameters) separately for indicators L_{den} and L_{night} . Calculations are made on the required raster grid at a height h = 4 m, according to the methods and requirements presented in [1, 2]. During calculations the certain effects are taken into consideration, e.g. for road-traffic noise mapping the reflections are taken into consideration according to computational method NMBP-Routes-96, and the weather conditions describes in the guidance [6].

Final noise maps are subjected to the calibration in order to verify and correct the data.

Examples of strategic noise maps for Warsaw are presented in Figures 6-9 for road-traffic, rail-traffic, aircraft and industrial noise, respectively.



Fig. 6. Part of road-traffic noise map of Warsaw: (a) L_{den} indicator, (b) L_{night} indicator [13]



Fig. 7. Part of rail-traffic noise map of Warsaw: (a) L_{den} indicator, (b) L_{night} indicator [13]



Fig. 8. Part of aircraft noise map of Warsaw: (a) L_{den} indicator, (b) L_{night} indicator [13]



Fig. 9. Part of industrial noise map of Warsaw: (a) L_{den} indicator, (b) L_{night} indicator [13]

4. Summary

Strategic noise maps are one of the components of noise protection system which is successfully implemented in countries around the world and Europe. Such maps have been developed also in Poland, as shown in the article as an example of Warsaw. It is hoped that the information included in strategic noise maps will be much accurate to enable effective reduction and reasonable protection against noise and its effects.

References

- Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise, Official Journal of the EC L 189/12, 2002.
- [2] Kossakowski P.: Protection against noise in the European Union general requirements, applied noise indicators and assessment methods, Structure and Environment, 4 (2011), pp. 38-45.
- [3] ISO 1996-2:1987 Acoustics Description and measurement of environmental noise – Part 2: Acquisition of data pertinent to land use.
- [4] www.bing.com/maps.
- [5] Garai M., Fattori D.: Strategic noise mapping of the agglomeration of Bologna, Italy, Urban Transport

Paweł Kossakowski

XV, WIT Transactions on The Built Environment, 107 (2009), pp. 519-528.

- [6] Position Paper, Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure, Version 2, European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN), 2006.
- [7] http://www.aciacoustical.com/portfolio/municipal.
- [8] http://www.datakustik.com/en/applications/trafficnoise/.
- [9] ECAC.CEAC Doc 29, Report on standard method of computing noise contours around civil airports. European Civil Aviation Conference, Neuilly-sur-Seine Cédex, 1997.
- [10] http://www.volpe.dot.gov/noteworthy/interest03.html.
- [11] Commission Recommendation of 6 August concerning the guidelines on the revised interim computation methods for industrial noise, aircraft noise, road traffic noise and railway noise, and related emission data, Official Journal of EC, L 212/49, 2003.
- [12] http://www.datakustik.com/en/applications/industrial -noise/.
- [13] Strategic noise maps of Warsaw 2012, http:// mapaakustyczna.um.warszawa.pl/pl/mapa/mapa2012. html.

Strategiczne mapy hałasu

1. Wstęp

Jednym z podstawowych elementów polityki w Unii Europejskiej jest osiągnięcie wysokiego poziomu ochrony zdrowia i środowiska. Hałas jest jednym z istotnych czynników, które zanieczyszczają środowisko naturalne. Dlatego od wielu lat ochrona przed hałasem jest podstawowym celem dla wielu krajów europejskich, w tym także Polski. W celu ujednolicenia zasad zapobiegania i ograniczania negatywnych skutków hałasu, w 2002 roku została przyjęta przez Parlament Europejski i Radę tzw. Dyrektywa Hałasowa 2002/49/WE [1]. Ogólne wymagania, stosowane wskaźniki hałasu i metody oceny dotyczące ochrony przed hałasem zostały przedstawione w [2].

Jednym z podstawowych zapisów Dyrektywy [1] jest obowiązek sporządzania strategicznych map hałasu, które umożliwiają ocenę ekspozycji na hałas i prognozy w tym zakresie na skutek oddziaływania różnych źródeł hałasu. W artykule przedstawiono ogólne wymagania oraz metody wykorzystywane do opracowywania map hałasu.

2. Strategiczne mapy hałasu

Zgodnie z definicją podaną w Dyrektywie Hałasowej, strategiczna mapa hałasu oznacza mapę, opracowaną do celów całościowej oceny narażenia na hałas na danym obszarze ze względu na różne źródła hałasu lub do ogólnych prognoz dla danego obszaru [1]. Fizycznie, strategiczna mapa hałasu jest mapą obszaru, na której wydzielono kolorami lub konturami poszczególne jego fragmenty w zależności od poziomu hałasu.

2.1. Wskaźniki hałasu

Mapa hałasu wykonywana jest podstawie kilku wskaźników, oznaczających fizyczną skalę stosowaną do określenia szkodliwego wpływu hałasu w środowisku. Dwa podstawowe wskaźniki hałasu są zdefiniowane w [1]:

- wskaźnik hałasu dla pory dziennej, wieczornej i nocnej $L_{\it den}$, służący do określenia ogólnej dokuczliwości,
- wskaźnik hałasu w porze nocnej L_{night} służący do określenia zakłócenia snu.

Wskaźnik hałasu L_{den} dla pory dziennej, wieczornej i nocnej jest wyrażony w decybelach (dB) wg [1] zgodnie ze wzorem (1).

Wskaźnik hałasu L_{den} należy oceniać w punkcie, którego położenie jest uzależnione od zakresu i celu sporządzania strategicznych map hałasu. Punkty oceny muszą znajdować się 4,0 ± 0,2 m nad ziemią i na najbardziej narażonej elewacji w przypadku narażenia na hałas w budynkach i w ich pobliżu. Do innych celów, wysokość punktu oceny może być różna, ale nigdy nie może być mniejsza niż 1,5 m nad ziemią, a wyniki należy skorygować w odniesieniu do wysokości referencyjnej 4 m.

Wskaźnik hałasu w porze nocnej L_{night} jest określany w ten sam sposób, jak wskaźnik L_{den} , ale dla wszystkich okresów nocnych w roku.

2.2. Wymagania dla strategicznych map hałasu

W celu sporządzania map hałasu, w Dyrektywie [1] zawarto wytyczne w zakresie zalecanych metod, które zostały szczegółowo opisane w [2]. Strategiczne mapy hałasu muszą również spełniać minimalne wymagania, które podano w Dyrektywie [1] i zestawiono w tabeli 1.

Dodatkowo, co pięć lat, strategiczne mapy hałasu muszą być wykonane i zatwierdzone (jeśli jest to konieczne) dla aglomeracji, dróg kołowych i szynowych, przedstawiając sytuację w poprzednim roku. W zależności od konieczności, co pięć lat mapy hałasu muszą być także analizowane i korygowane.

3. Sporządzanie strategicznych map hałałsu

Jak wspomniano wcześniej, mapy hałasu opisują rozkład hałasu pochodzacy z różnych źródeł, takich jak ruch drogowy i szynowy, samoloty i przemysł, bedac głównym źródłem informacji o stanie akustycznym środowiska w danej okolicy. Sporządzenie map hałasu jest skomplikowanym procesem, a duża liczba danych wejściowych jest wymagana, aby opisać rzeczywisty hałas na analizowanym obszarze. Dlatego też podczas modelowania wprowadza się pewne upraszczające założenia i uśrednienia, które mają wpływ na finalny obraz map hałasu. Głównie są one związane z nieznanymi danymi, takimi jak liczba pojazdów ciężkich, średnia prędkość pojazdów, rodzaj nawierzchni dla poszczególnych dróg lub brak informacji topograficznych opisujących analizowany obszar. Uśrednienia związane z tymi nieznanymi

Elementy strategicznych map hałasu	Wymagania
Zakres map hałasu:	 prezentacja obecnej, poprzedniej oraz prognozowanej sytuacji hałasu w odniesieniu do wskaźnika hałasu przekroczenie wartości dopuszczalnej szacowana liczba lokali mieszkalnych, szkół i szpitali, poddanych oddziaływaniu hałasu w kategorii wskaźników hałasu na danym obszarze szacowana liczba osób poddanych oddziaływaniu hałasu na danym obszarze
Sposób publicznej prezentacji:	 wykresy graficzne dane liczbowe w postaci tabelarycznej dane liczbowe w formie elektronicznej.
Źródła hałasu wyszczególniane dla aglomeracji:	 ruch drogowy ruch szynowy lotniska zakłady przemysłowe oraz porty
Cele sporządzania map hałasu:	 pozyskiwanie danych źródło informacji dla obywateli podstawa dla planu działań
Dodatkowe i bardziej szczegółowe informacje niezbędne dla informacji dla obywateli:	 prezentacja graficzna mapy przedstawiające przekroczenie wartości dopuszczalnych mapy ukazujące różnice pomiędzy sytuacją aktualną a wariantami przewidywanymi mapy przedstawiające wartość wskaźnika hałasu na wysokości innej niż 4 m, tam gdzie jest to właściwe
Warunki szacowania wskaźników L _{den} i L _{night} :	 wysokość punktu oceny 4 m zakres 5 dB

Tabela 1. Wymagania dla strategicznych map hałasu [1]

danymi mają znaczący wpływ na końcową mapę hałasu, zwłaszcza w projektach wielkoskalowych, ze względu na dużą liczbę niezbędnych informacji.

Poniżej opisano podstawowe procedury stosowane w trakcie sporządzania map hałasu.

Ogólnie, mapy hałasu są opracowywane na podstawie obliczeń parametrów źródeł hałasu w oparciu o cyfrowy model terenu i infrastruktury, jak również innych wielkości mających wpływ na propagację dźwięku. Sporządzanie map hałasu dzieli się na kilka etapów, takich jak przygotowanie modelu akustycznego, uzyskanie danych na temat źródeł hałasu, wykonanie i kalibracja końcowej mapy hałasu. Etapy te są opisano poniżej.

3.1. Model akustyczny

W pierwszej fazie opracowywania mapy hałasowej budowany jest akustyczny, cyfrowy model obliczeniowy. Zawiera on informacje obejmujące różne dane niezbędne do wykonania map. Następujące modele numeryczne są używane w celu przygotowania modelu akustycznego:

- model terenu
- model zabudowy
- model infrastruktury
- model terenów zielonych.

Modele te łączone w jeden, są podstawą do oszacowania liczby osób narażonych na hałas pochodzący z różnych źródeł. Tym samym w celu zbudowania modelu akustycznego konieczne jest, aby wprowadzić do modelu informacje na temat przewidywanej liczby osób mieszkających na danym obszarze obejmujac wszystkie budynki. Dane dotyczące zabudowy (budynków) dostępne są w plikach georeferencyjnych lub zbierane podczas wizji terenowych, w trakcie których wykonywana jest szczegółowa inwentaryzacja i dokumentacja fotograficzna (rys. 1). Szacunkowa liczba osób żyjących jest pobierana z danych statystycznych lub zbierana podczas inwentaryzacji. Finalnie, model obliczeniowy zawiera informacje na temat żyjących osób w budynkach na danym terenie, ktore to dane są fizycznie wprowadzane cyfrowo do warstwy obiektów budowlanych.

Ponadto, wprowadzane są dane dotyczące infrastruktury, zawierające informacje na temat obiektów inżynierskich takich jak wiadukty, mosty i bariery akustyczne.

Zasadnicza część modelu akustycznego obejmuje źródła hałasu rozseparowane na źródła, takie jak ruch drogowy i szynowy, samoloty i przemysł. Biorąc pod uwagę ich specyfikę, specjalne metody powinny być brane pod uwagę. Dla przykładu, model źródła hałasu drogowego wymaga podziału całej sieci dróg – ulic na segmenty akustycznie jednorodne, by następnie przypisać do poszczególnych sekcji parametry wpływające na emisję hałasu.

3.2. Gromadzenie danych o źródłach hałasu

3.2.1. Ruch drogowy

Dla ruchu miejskiego informacje na temat hałasu są często oceniane w oparciu o liczbę pojazdów. Ten parametr może być brany z modelu ruchu drogowego danego miasta. Parametry ruchu są gromadzone na podstawie różnych źródeł danych, takich jak dane o intensywności i strukturze ruchu uzyskiwane z pomiarów wykonywanych na wybranych drogach i dane przybliżone przyjęte na podstawie [6] oraz analizy otoczenia i funkcji dróg. Przykładowa ekspozycja hałasu wokół drogi jest pokazana na rysunku 2.

3.2.2. Ruch szynowy

W przypadku ruchu szynowego niezbędne do oceny tego źródła dane dotyczą infrastruktury kolejowej oraz natężenia i struktury ruchu. Informacje o infrastrukturze kolejowej obejmują dane dotyczące rodzaju struktury i stanu technicznego torów, jak również informacje odnoszące się do taboru. Mogą one być przyjmowane na podstawie informacji pochodzących z krajowych spółek infrastruktury kolejowej. Dane o natężeniu ruchu i jego strukturze mogą być uzyskiwane od przewoźników kolejowych. Obraz hałasu wokół linii kolejowej pokazano przykładowo na rysunku 3.

3.2.3. Lotniska

W celu oceny hałasu spowodowanego przez samoloty, a w szczególności lotniska, niezbędna jest znajomość dużej liczby informacji. Obejmują one szczegóły dotyczące tras lotniczych, typów samolotów i silników oraz informacje na temat procedur startu i lądowania. Dane te mogą być zbierane w oparciu o oprogramowanie komputerowe przy użyciu zalecanych metod, podanych np. w [9], co umożliwia ocenę wpływu hałasu lotniczego (rys. 4). Efekt hałasu lotniczego jest często uwzględniany w mapach hałasu sporządzanych dla miast, w połączeniu z pozostałymi źródłami hałasu.

3.2.4. Przemysł

Metodologia opracowania modelu obliczeniowego hałasu przemysłowego zależy od rodzaju produkcji. Może ona być oparta na istniejących wytycznych w tym zakresie, podanych na przykład w [6, 11]. Te publikacje Unii Europejskiej są wykorzystywane przede wszystkim do oceny mocy dźwięku na 1 m² powierzchniowych źródeł hałasu dla uwzględnionych zakładów przemysłowych. W szczególności podawane są wartości mocy akustycznej w zależności od typu zakładu. Przykład źródeł hałasu zakładu przemysłowego jest pokazany na rysunku 5.

3.3. Obliczenia map hałasu

Podczas sporządzania map hałasu, powinny być brane pod uwagę niektóre efekty z nim związane, szczególnie w przypadku krótkoterminowych wahań poziomu hałasu, które odbywają się przez cały czas. Zjawisko to powoduje, że określenie dokładnego poziom hałasu w danym miejscu w określonym czasie w okresie krótkoterminowym jest niemożliwe. Dla dobrze zdefiniowanych źródeł hałasu możliwa jest jedynie długoterminowa ocena poziomu hałasu.

W celu osiągnięcia dokładnych wyników najlepszym rozwiązaniem jest wykonanie pomiarów. Niestety, w niektórych przypadkach jest to bardzo trudne do wykonania, a nawet niemożliwe. Dlatego też mapy hałasu są wykonywane w oparciu o obliczenia na bazie modeli obliczeniowych hałasu na danym obszarze.

Mapy hałasu są obliczane za pomocą programów komputerowych, a określone dane (np. geometria

i parametry ruchu) są uwzględniane oddzielnie dla wskaźników L_{den} i L_{night} . Obliczenia dokonywane są w oparciu o wymaganą siatkę rastrową na wysokości h = 4 m, według metod i wymagań przedstawionych w [1, 2]. Podczas obliczeń pewne efekty są brane pod uwagę, np. dla hałasu z ruchu kołowego uwzlędnia się zjawisko odbicia, zgodnie z metodą NMBP-Routes-96, a także warunki meteorologiczne wg wytycznych [6].

Końcowa wersja mapy hałasu jest poddawana kalibracji w celu weryfikacji i skorygowaania danych.

Przykład strategicznej mapy hałasu dla miasta Warszawy pokazano na rysunkach 6-9 odpowiednio dla ruchu drogowego, kolejowego, ruchu lotniczego oraz przemysłu.

4. Podsumowanie

Mapy hałasowe są jednym z elementów systemu ochrony przed hałasem jaki sukcesywnie jest wprowadzany w życie w wielu krajach świata i Europy. Mapy takie od jakiegoś czasu są opracowywane także w Polsce, co pokazano w artykule na przykładzie miasta Warszawy. Należy mieć nadzieję, że informacje zawierane w mapach hałasowych będą coraz dokładniejsze, co umożliwi skuteczniejszą redukcję i racjonalną ochronę przed hałasem i jego skutkami.

Maria Nowak (Font size 10 pt Times New Roman) Kielce University of Technology e-mail: mmmm@tu.kielce.pl

HOW TO PREPARE THE MANUSCRIPT (Font size 14 pt Times New Roman)

Abstract

The abstract should not exceed 10 lines. It should provide information about the objectives of the work, methods used and test results obtained in the course of the experiments/analyses. (Font size 10 pt Times New Roman Italic)

Keywords: phrases, words (Font size 10 pt Times New Roman)

1. Introduction

The introduction should present the background of the work (font size 11 pt Times New Roman).

2. Main text

2.1. General information

The paper volume should not exceed 8 pages of A4 size with font size of 11 pt (Times New Roman). The number in square brackets [1] should be used for quotations. The paper should be sent by email to sae@tu.kielce.pl. The papers in the journal are reviewed.

2.2. Figures

Figures (in black and white or colour) should be of good quality and numbered with the sequence of their appearance in the text. They should be centered and have a caption of 10 pt size. High resolution files *.JPG, *.WMF, *.CDR, *.TIFF, *.EPS, *.BMP files should be used and inserted into the text as well as sent as separate files. 10 pt spacing should be left between the figure and the text.

2.3. Tables

Tables should be centered. Titles should be placed above the tables and written with font size of 10 pt (Times New Roman). The same applies to the text in the table (see example below).

Table 1. Title of the table.

No	table	table	table
1	table	table	table
2	table	table	table
3	table	table	table

2.4. Equations

Equations and formulas should be centered and numbered in brackets. 11 pt spacing should be left between the equation and the text above and below it.

3. Conclusions

References (arranged in the citing order):

- [1] Nowak M.: Modelowanie konstrukcyjne (Structural modelling). Postępy Technologiczne 10 (2000), pp. 30-34.
- [2] Zarylski R.: Pomiary dynamiczne (Dynamic measurements). WNT, Warszawa 1971.
- (Font size 10 pt Times New Roman)

Maria Nowak

Tytuł w języku polskim

1. Wprowadzenie

2. Tekst artykułu

Tekst w języku polskim ma odpowiadać swoim układem wersji angielskiej, może być skrócony. Nie powinien zawierać tabel, rysunków, wzorów, a jedynie odniesienie do tych, które znajdują się w wersji angielskiej. Objętość artykułu nie powinna przekraczać 8 stron czcionką 11 (Times New Roman). Bibliografię należy umieszczać w nawiasie kwadratowym [1] i numerować w kolejności alfabetycznej. Artykuły należy przesłać na adres sae@tu.kielce.pl. Artykuły są recenzowane.

3. Wnioski

THE REVIEW PROCESS

The following requirements need to be met by the paper:

- the title should reflect the content of the paper
- the content should be within the thematic scope of the journal
- the paper should be properly and clearly divided into paragraphs
- original elements need to be part of the paper
- the research method should be properly selected
- adequate references need to be cited
- interpretation and conclusions should match the presented test results
- the paper should not contain parts indicating commercial use

