Saulius KAVALIAUSKAS

BEHAVIOUR OF TIMBER-CONCRETE COMPOSITE BEAM INTERCONNECTION WITH INCLINED SCREWS

SUMMARY OF DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
CIVIL ENGINEERING (02T)

VGTU
LEIDYKLA
TECHNIKA
Vilnius 2010

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Saulius KAVALIAUSKAS

BEHAVIOUR OF TIMBER-CONCRETE COMPOSITE BEAM INTERCONNECTION WITH INCLINED SCREWS

SUMMARY OF DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
CIVIL ENGINEERING (02T)

VGTU
LEIDYKLA
TECHNIKA
Vilnius 2010

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2003–2009.
The dissertation is defended as an external work.

Scientific Consultant

Prof Dr Habil Audronis Kazimieras KVEDARAS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Civil Engineering – 02T).

The dissertation is being defended at the Council of Scientific Field of Civil Engineering at Vilnius Gediminas Technical University:

Chairman

Prof Dr Habil Gintaris KAKLAUSKAS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Civil Engineering – 02T).

Members:

Prof Dr Habil Juozas ATKOČIŪNAS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Civil Engineering – 02T),

Prof Dr Habil Leonidas SAKALAUSKAS (Institute of Matematics and Informatics, Physical Sciences, Informatics – 09P),

Prof Dr Habil Vytautas STANKEVIČIUS (Kaunas University of Technology, Technological Sciences, Civil Engineering – 02T),

Prof Dr Habil Edmundas Kazimieras ZAVADSKAS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Civil Engineering – 02T).

Opponents:

Prof Dr Habil Jonas Gediminas MARČIUKAITIS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Civil Engineering – 02T),

Prof Dr Habil Antanas ŽILIUKAS (Kaunas University of Technology, Technological Sciences, Mechanical Engineering – 09T).

The dissertation will be defended at the public meeting of the Council of Scientific Field of Civil Engineering in the Senate Hall of Vilnius Gediminas Technical University at 2 p. m. on 3 March 2010.

Address: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania.
Tel.: +370 5 274 4952, +370 5 274 4956; fax +370 5 270 0112;
e-mail: doktor@vgtu.lt

The summary of the doctoral dissertation was distributed on 2 February 2010.
A copy of the doctoral dissertation is available for review at the Library of Vilnius Gediminas Technical University (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lithuania).

© Saulius Kavaliauskas, 2010

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Saulius KAVALIAUSKAS

KOMPOZITINIŲ MEDINIŲ-BETONINIŲ SIJŲ TARPSLUOKSNIO ĮŽAMBINĖS MEDSRAIGTINĖS JUNGTIES ELGSENA

DAKTARO DISERTACIJOS SANTRAUKA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
STATYBOS INŽINERIJA (02T)

VGTU
LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2010

Disertacija rengta 2003–2009 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.
Disertacija ginama eksternu.

Mokslinis konsultantas
prof. habil. dr. Audronis Kazimieras KVEDARAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, statybos inžinerija – 02T).

Disertacija ginama Vilniaus Gedimino technikos universiteto statybos inžinerijos mokslo krypties taryboje:
Pirmininkas
prof. habil. dr. Gintaris KAKLAUSKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, statybos inžinerija – 02T).
Nariai:
prof. habil. dr. Juozas ATKOČIŪNAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, statybos inžinerija – 02T),
prof. habil. dr. Leonidas SAKALAUSKAS (Matematikos ir informatikos institutas, fiziniai mokslai, informatika – 09P),
prof. habil. dr. Vytautas STANKEVIČIUS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, statybos inžinerija – 02T),
prof. habil. dr. Edmundas Kazimieras ZAVADSKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, statybos inžinerija – 02T).
Oponentai:
prof. habil. dr. Jonas Gediminas MARČIUKAITIS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, statybos inžinerija – 02T),
prof. habil. dr. Antanas ŽILIUKAS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, mechanikos inžinerija – 09T).

Disertacija bus ginama viešame Statybos inžinerijos mokslo krypties tarybos posėdyje 2010 m. kovo 3 d. 14 val. Vilniaus Gedimino technikos universiteto senato posėdžių salėje.
Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva.
Tel.: (8 5) 274 4952, (8 5) 274 4956; faksas (8 5) 270 0112;
el. paštas doktor@vgtu.lt
Disertacijos santrauka išsiuntinėta 2010 m. vasario 2 d.
Disertaciją galima peržiūrėti Vilniaus Gedimino technikos universiteto bibliotekoje (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lietuva).
VGTU leidyklos „Technika“ 1726-M mokslo literatūros knyga.

© Saulius Kavaliauskas, 2010

Introduction

Topicality of the problem. The composite timber-concrete systems in nowadays are widely used technique in repair and reconstruction of old dwelling and especially being possessed of historical heritage buildings. By applying the concrete layer on a system of timber beams and connecting those by mechanical fasteners accessible system can be achieved capable to resist existing and additional actions. This technique lets us to save the old original structural timber elements and improve the properties of ceilings such as sound and fire resistance; to improve the load-carrying capacity and prepare it for further exploitation.

The screws as connectors are used widely for timber to concrete connections due to its popularity in timber to timber connections and easy installation. In a traditional way they are arranged perpendicular to the timber grain but in this way no effective stiffness of connection could be reached. The arrangement of screws perpendicular to the shear plain provides high slenderness for the connection, because of the bending actions on fastener and large embedding deformations of the timber grain. The slenderness of connection can be reduced and the load-carrying capacity increased when the screws are inclined to the shear plain, because due to the fact that the screws are more loaded in tension and less in bending, and the timber is less loaded in compression. Although the inclined screws in practice are used increasingly the formulas for design of load-carrying capacity for connections are not set.

The load-carrying capacity of the connection depends on the properties of the material of connected member and the connectors. The load-carrying capacity and the failure modes of composite timber-concrete connections with screws arranged perpendicular to the shear plain can be evaluated with model intended for dowel type connections, which assumes the behaviour of material as rigid perfect plastic. However, when the screws are inclined in respect to the shear plain (mostly in the direction of shear forces) the rigid perfect plastic material model is insufficient to evaluate accurately the failure mode of connection, because it is characterised not only by the bending and embedding capacity of the fastener and the timber grain but also by the withdrawal capacity of the screw. At angles near to 90° the failure mode can be characterised by the yielding of the fastener subjected by bending moment or by yielding of the timber grain or both at the same time. At low angles the failure of connection can be characterised neither by the bending capacity of the screw nor by the embedding stresses of the timber grain. The appropriate failure mode and the characteristic values of inclination angle for the screws can be evaluated and estimated by the predicting model for load carrying capacity based on the more realistic behaviour of the materials of connected members – elastic-plastic behaviour.

Subject of research. The subject of the work is the timber-concrete composite connection with inclined screws.

Aim and tasks of the research. The aim of the work is: experimental investigation of composite timber-concrete connection with screws inclined in respect of shear plain; the definition of short- and long-term load-carrying capacity, and deformability; determination of the mechanical parameters for connected members and the fasteners; the development of the predicting load-carrying capacity model for connections with inclined screws, evaluating the more realistic behaviour of materials – elastic-plastic behaviour. The main tasks of the research:

1. Analysis of predictive models for load-carrying capacity for timber to concrete as well as for timber to timber connections used in literature and normative documents.
2. Choosing the basic calculation model and developing the model for load-carrying capacity of timber-concrete beams interconnections with inclined screws, evaluating their strength and deformability.
3. Experimental determining the short- and long-term load-carrying capacity as well as deformability of chosen interconnection.
4. Experimental determining the main parameters of the interconnection for the validation of developed theoretical model.
5. Verifying the theoretical load-carrying capacity predictive model in respect to performed experimental results.
6. Simplifying the developed theoretical model and its verifying in accordance with experimental results obtained also by other researchers.

Scientific novelty

1. Classification of the timber to concrete connections by the type of the connector and rigidity of connection.
2. The theoretical predictive model for determination of load-carrying capacity of timber-concrete composite connection with screws inclined at any angle to the shear plain.
3. The constitution of the simplified engineering algorithm of calculation of the theoretical load-carrying capacity for connections with inclined screws.

Methodology of research. The short- and long-term tests of investigated connection and materials of connected members and fasteners were performed in accordance with European test standards. The theoretical models for load-carrying capacity of timber-concrete composite connections with inclined screws were developed on the base of chosen theory for timber to timber connections with dowel type fasteners.

Practical value. The predictive model for determination of load-carrying capacity of timber-concrete composite connections with at any angle to the shear

plane inclined screws based on the strength and the stiffness parameters of materials of connected members was developed.

Defended propositions

1. The load-carrying capacity predictive model for timber-concrete composite connections with inclined screws based on the strength and the stiffness parameters of materials of connected members.
2. The failure mode of connections with inclined screws depends not only on the quantity of possible plastic hinges formed in the fastener at limit state but also on the angle between screw axis and timber grain.

The scope of the scientific work. The scientific work consists of the general characteristic of the dissertation, 5 main chapters, conclusions, list of literature, and list of author's publications. The total scope of the dissertation: 128 pages, 182 numbered formulas, 55 pictures and 13 tables.

1. Timber to concrete connections. The predictive models

This chapter reviews the timber to concrete composite connections as well as the predictive models for determination of load-carrying capacity. It contains the view on existing load-carrying capacity predictive models used in timber to timber and timber to concrete connections, mainly for dowel type fasteners. The reviewed connections were classified by the type of fasteners and its stiffness.

The analyses of existing theoretical and experimental investigations showed that the connections with inclined screws possess the greater load-carrying capacity and stiffness as those with perpendicular to the shear plane arranged fasteners. These superior characteristics are due to the reduced bending effect of the screws and increased internal forces that affect the screws in tension, so the withdrawal capacity is exploited.

Analyses of theoretical models for load-carrying capacity of connections represented by numerous authors have showed that there is no computational model for connections with inclined screws and in practice only the empirical formulas and only for particular screws may be used.

2. Development of predictive model for timber to concrete composite connection with inclined screws

Recently the methods of calculation of load-carrying capacity of dowel type connections are based on Johansen (1949) theory, which assumes the behaviour of connected members and fastener material as rigid-plastic. This assumption lets to determine the load carrying-capacity (yield load) very well for bolted or nailed connections, and satisfactorily for screwed connections. Another theoretical model (Kochenov 1953) which was adopted in timber design codes in Russia is

based on more realistic behaviour of element material, and on the limited value of embedding deformations ($\delta_{h,u} = 2\delta_{h,el}$) of the timber under the fastener.

The theory of Kochenov (1953) was applied to timber to concrete connection with inclined screws because of possibility to relate the embedding and withdrawal deformations of the timber under the screw shank. The basic scheme for fastener loaded by moment and shear forces as well as stress distribution in timber is shown in Fig.1.

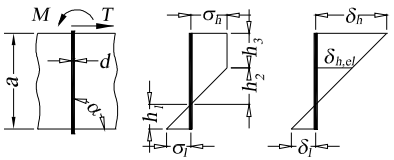


Fig. 1. The basic scheme for fastener; distribution of stresses and deformations

Using this scheme (Fig. 1) and changing the values for β_H (Eq. 1) it is possible to obtain the load-carrying capacity for the fastener in the range from the elastic till the plastic (yield) solution. Parameter $\beta_H = h_2/h_3$ – is the ratio of the lengths of elastically and plastically compressed timber grain under the screw, and accordingly to Fig.1 can be expressed so:

$$\beta_H = \frac{1}{\frac{\delta_h}{\delta_{h,el}} - 1}. \tag{1}$$

Accordingly to the results of experimental tests (represented in Chapter 3), the simplified relationship between strength and slip deformation for embedding and withdrawal strength was assumed (Fig. 2).

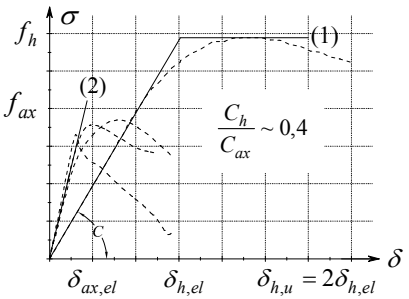


Fig. 2. The real and the idealised curves for embedding (1) and withdrawal (2) stress-deformations relationships

The following main assumptions for predictive load-carrying capacity model have been made:

- The behaviour of timber under the screw is simplified to the bilinear elastic plastic and linear elastic for embedding and withdrawal strength respectively (Fig. 2);
- The bending capacity of the screw is taken as yield moment M_y;
- The fixing of the screw in concrete is assumed as a stiff;
- The failure modes are defined at a limit deformations $\delta_{h,u} = 2\delta_{h,el}$ for embedding and $\delta_{ax,u} = \delta_{ax,el}$ for withdrawal deformations;
- The equations of equilibrium are written on non-deformed screw axis;
- The elongation of the screw due to the tensile forces is neglected.

The characteristic of three possible failure modes and the internal forces and stresses as well as deformations for screwed connection are shown in Fig. 3.

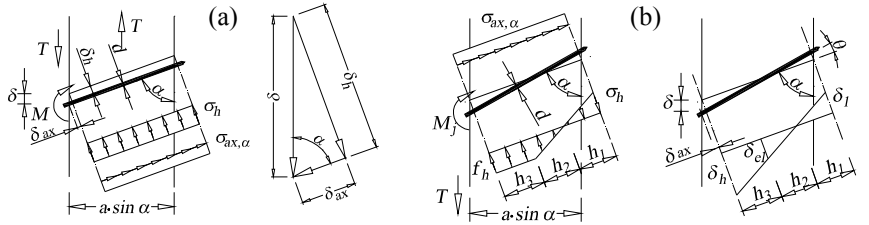


Fig. 3. First (a) and second (b) failure modes: stress distribution and deformations

The first failure mode is characterised by the ultimate embedding $\delta_{h,u} = 2\delta_{h,el}$ or withdrawal $\delta_{ax,u} = \delta_{ax,el}$ deformation, and the second failure mode – also by the one ultimate bending moment M_y in a screw shank at an interface between timber and concrete. The third failure mode is when the stresses in timber under the screw arouse second ultimate bending moment in the screw shank at a point retired from shear plane in a distance $a_0 = h_3$. The relation between the embedding and withdrawal deformation for first and second (and third) failure modes are $\delta_h / \delta_{ax} = \tan\alpha$ and $\delta_{ax} = a_0\left(\sin\alpha / \sin(\alpha - \theta) - 1\right)$, when $\tan\theta = \left(\delta_h + \delta_1\right) / h_3\left(1 + \beta_H\right)$ respectively. For simplification of equations for load-carrying capacity the following parameters in equilibrium equations were used: $\beta_h = \sigma_h / f_h$ and $\beta_{ax} = \sigma_{ax} / f_{ax}$ – intensity of embedding and withdrawal stresses at failure mode. By characterizing the strength and deformability parameters $k_{f,\alpha}$, k_C and k_δ (here $k_{f,\alpha} = f_h / f_{ax,\alpha}$, $k_C = C_h / C_{ax,\alpha}$, $k_\delta = k_f / k_c$ and $C_{ax} = f_{ax} / \delta_{ax,el}$, $C_h = f_h / \delta_{h,el}$) the equations for relative load-carrying capacity for the first failure mode and the characteristic angles α_h and α_{ax} can be obtained:

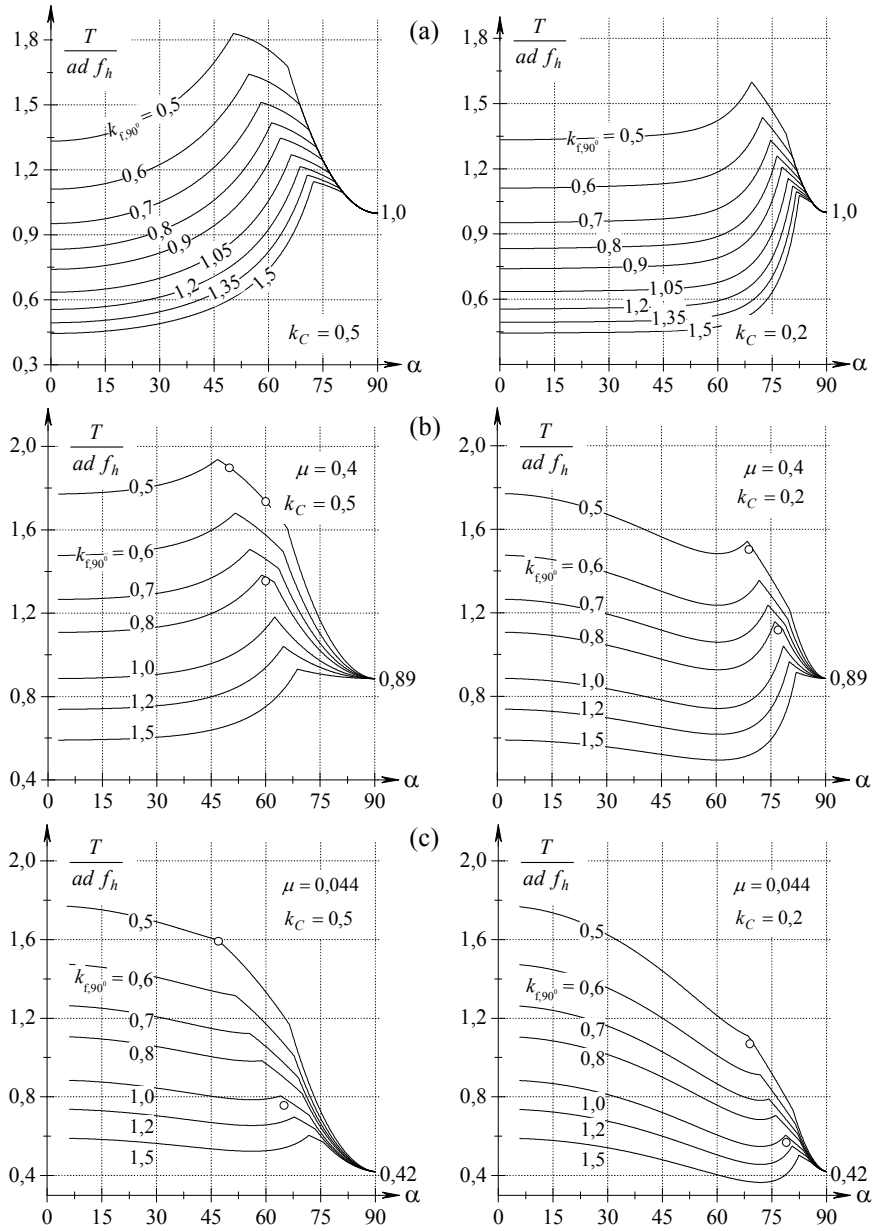


Fig. 4. Relationship between relative load-carrying capacity $T/ad\,f_h$ and angle α for the first (a), second (b), and the third (c) failure modes

$$\frac{T}{ad\,f_h}=\begin{cases}\sin\alpha+\dfrac{2k_{\delta,\alpha}}{k_{f,\alpha}\tan\alpha}\cos\alpha, & \text{when} \quad \alpha\ge\alpha_h,\\ \sin\alpha+\dfrac{1}{k_{f,\alpha}}\cos\alpha, & \text{when} \quad \alpha_{ax}\le\alpha\le\alpha_h,\\ \dfrac{\tan\alpha}{k_{\delta,\alpha}}\sin\alpha+\dfrac{1}{k_{f,\alpha}}\cos\alpha, & \text{when} \quad \alpha\le\alpha_{ax},\end{cases} \tag{2}$$

$$\tan\alpha_h=2k_\delta\,, \tag{3}$$

$$\tan\alpha_{ax}=k_\delta\,. \tag{4}$$

The first failure mode is appropriate for relatively short screws, when at ultimate state the timber grain yields plastically along the screw shank. Increasing the length of the screw, the embedding stresses distribute non-uniformly (Fig. 3b) and the induced bending moment at shear plain can reach an ultimate value – M_y. The resultant embedding force can be found from equation of equilibrium of bending moments:

$$h_3^3-3a^2\beta_H\left(\frac{1+\beta_H}{\beta_H}-2\mu\right)h_3+2a^3=0\,, \tag{5}$$

where: $\mu=\dfrac{\pi\,d^2}{32\,a^2}\dfrac{f_y}{f_h}$ – parameter defines the ratio between ultimate bending moment of the screw and the superficial bending moment induced by plastically yielded timber along whole embedded screw length a.

From relation between embedding and withdrawal deformation (mentioned above) the equations for relative load-carrying capacity for second failure mode are:

$$\frac{T}{ad\,f_h}=\begin{cases}\beta_h\,\sin\alpha+\dfrac{\beta_{ax}}{k_{f,\alpha}}\cos\alpha, & \text{when} \quad \alpha\ge\alpha_h,\\ \beta_h\,\sin\alpha+\dfrac{1}{k_{f,\alpha}}\cos\alpha, & \text{when} \quad \alpha_{ax}\le\alpha\le\alpha_h,\\ \dfrac{\beta_h\tan\alpha}{k_{\delta,\alpha}}\sin\alpha+\dfrac{1}{k_{f,\alpha}}\cos\alpha, & \text{when} \quad \alpha\le\alpha_{ax}.\end{cases} \tag{6}$$

The parameter β_{ax} in second formula of Equation (6) is equated to unity, though should be obtained by approach way. By the approximate solutions (when $\alpha<\alpha_h$) found for second and third failure modes (Fig. 4) the exactly solution is depicted by dots.

By increasing the embedding length of the screw in timber, the bending moment increases herewith, and the third failure mode occur when two plastic

hinges in the fastener develop. For this failure mode the equations of relative load-carrying capacity of the screw are the same as for the second failure mode, with parameter β_h value obtained from equation:

$$\beta_h = \frac{1+\beta_H}{\beta_H} - \frac{1}{2\beta_H}\left(\frac{h_3}{a}+\frac{a}{h_3}\right) = 0{,}627\frac{d}{a}\sqrt{\frac{f_y}{f_h}}\,. \tag{7}$$

Because of disadvantage of the third order equation (5) it can be simplified by increasing the ultimate deflection of compressed timber zone under the screw till the value of $\delta_h/\delta_{h,el} \approx 2{,}15$. This value was obtained by changing the β_H value and solving the third order Equation (6) until the distances $h_1 = h_2$. So the embedding stresses σ_1 (Fig. 1b) equals to the maximum value f_h, and Equation (5) turns in to quadratic one (8), and parameter β_h value can be obtained:

$$h_3^2 - ah_3 - a^2\left(\frac{1+6\mu}{2}\right) = 0\,; \tag{8}$$

$$\beta_h = \frac{h_3}{a} = 0{,}5\left(\sqrt{3+12\mu}-1\right). \tag{9}$$

The characteristic value for parameter μ at which the third failure mode occur was found from equality of right sides of Equations (7) and (9) – approximately $0{,}05$. The difference between solutions of the third (solid line) and second order (dotted line) equations is depicted in Fig. 5, where $\overline{T} = T/ad\,f_h$.

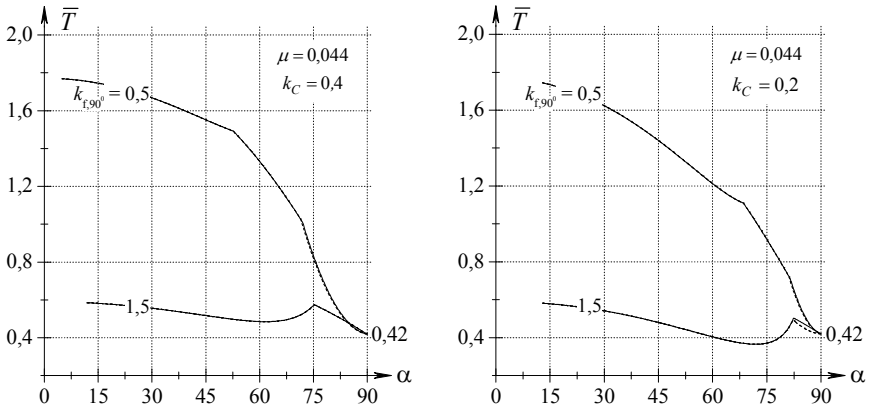


Fig. 5. Relationship between relative load-carrying capacity $\overline{T}$ and angle α for the third failure mode

3. Experimental investigation of the connection

The short- and long-term push-out tests on timber-concrete composite connections with screws inclined at an angle of 45° was carried-out at Vilnius Gediminas Technical University, at the laboratory of Dept of Steel and Timber Structures. Six for short-term and six for long-term loading double-shear specimens (Fig. 6) with concrete encased timber from two sides were tested. As a fastener the *BiRa®-IngBau-Schrauben* M6x100 screws were chosen.

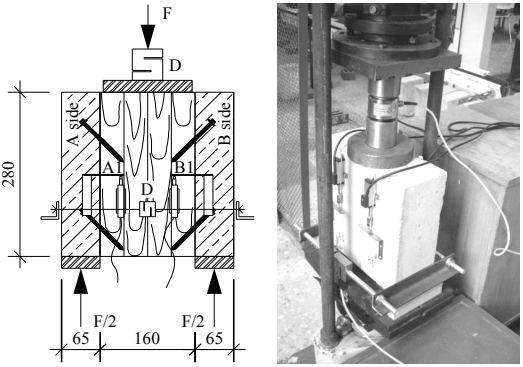


Fig. 6. The scheme (left) and view of the test equipment (right) of timber-concrete composite connections

Beside the main push-out tests the mechanical properties of materials of the connected members and the screws were performed. The main results are presented in Table 1.

Table 1. The main results of short-term tests

Push-out tests								
Parameter	F_{max}	K_i	K_{ser}	K_{06}	K_{08}	v_{01}	v_{04}	$v_{i,mod}$
Units	N	N/mm				mm		
Mean value	4669	8539	8809	8330	6496	0,242	0,242	0,243
Dev, %	6,4	30,6	36,0	34,6	39,8	24,4	32,5	38,3
Embedding and withdrawal tests								
Parameter	f_h	$f_{ax,0}$	$f_{ax,45}$	$f_{ax,90}$	K_h	$K_{ax,0}$	$K_{ax,45}$	$K_{ax,90}$
Units	N/mm^2				N/mm^3			
Mean value	29,54	16,93	17,87	19,11	9,88	26,9	25,5	24,3
Dev, %	4,51	7,2	2,3	5,6	13,23	1,82	4,80	6,56

The failure of all specimens was the same – the fasteners were cut at the interface of timber and concrete at a deformation of approximately equal to 10 mm, though the maximum load (load-carrying capacity) was reached at a

deformation of 2 mm. After opening the tested specimens it was fixed that the screws were lithely bent at a point of shear plain, what lets to suppose the failure mode characterised by one plastic hinge. The ultimate tensile strength – $f_u = 1562$ N/mm^2 and compression strength of the concrete $f_c = 30{,}5$ N/mm^2 respectively (at the day of the push-out tests) was obtained.

The long-term push-out tests were performed from the same batch as for short-term ones. The connections were loaded at 40 % load level for 100 days at a laboratory room with uncontrolled environment. The obtained deformations and the changes of the environment parameters are shown in Fig. 7.

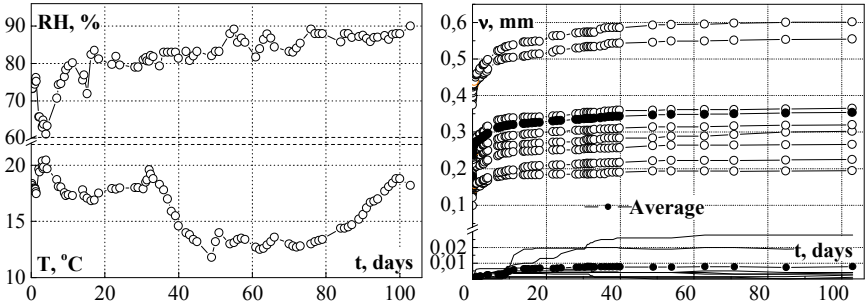


Fig. 7. The changes of temperature and the relative humidity of environment (left) and the load-slip curves during the long-term loading (right)

Though the slip deformation has established in 60 days the average value of creep coefficient $k_{def}(\tau_{100}, t_{002}) = 0{,}943$ was obtained. After tests with retaining loading the specimens were tested till the failure. The load-carrying capacity was not decreased conversely slightly higher – mean value of 4843 kN per screw. The amount of irreversible deformation was 17 % from whole creep deformation.

4. Evaluation of experimental investigation of the connection

In this chapter the results of experimental tests were analyzed and evaluated. The sort-term load-slip curves of connections were approximated by the Foschi (1974) and Jaspart (1994) models and the values of main parameters determined. It was obtained that latter corresponds better the behaviour of connection due to its additional parameter d_J, for which the value of 2 was assumed.

Based on 100 days long-term loading results the values for creep coefficient $k_{def}(\tau, t_{002})$ for 0,5, 10 and 50 years were mathematically forecasted and corrected by the method proposed by Van de Kuilen (2005) – 1,4, 1,9 and 2,6 are for the first service class respectively.

5. Evaluation of the developed predictive model

The theoretical predictive model for load-carrying capacity of connections with inclined screws represented in Chapter 2 can be simplified: ignoring the relatively short screws ($\mu \geq 0{,}5$) and accepting the experimentally obtained value of $k_C = 0{,}4$ the equations for load-carrying capacity can be rewritten so:

$$T = \begin{cases} \left(\beta_h \sin\alpha + \dfrac{\beta_{ax}}{k_{f,\alpha}} \cos\alpha \right) ad\, f_h, & \text{when} \quad \alpha \geq \alpha_h, \\ \left(\beta_h \sin\alpha + \dfrac{1}{k_{f,\alpha}} \cos\alpha \right) ad\, f_h, & \text{when} \quad \alpha_{ax} \leq \alpha \leq \alpha_h, \\ \left(\dfrac{\beta_h \tan\alpha}{2{,}5 k_{f,\alpha}} \sin\alpha + \dfrac{1}{k_{f,\alpha}} \cos\alpha \right) ad\, f_h, & \text{when} \quad \alpha \leq \alpha_{ax}. \end{cases} \tag{10}$$

And the values of characteristic angles would be:

$$\tan\alpha_h \approx 5{,}4 k_{f,\alpha} \; ; \tag{11}$$

$$\tan\alpha_{ax} \approx 2{,}5 k_{f,\alpha} \; . \tag{12}$$

Because the values of characteristic values of angles are accurate for the first failure mode, and only approximate ones for other two modes, the Equation (10) may be rewritten with minimum sign. Assuming the value for $\beta_{ax} = 1$ (so estimating the plastic characteristic of withdrawal capacity of screws) in the first formula of Eq. (10) ($\alpha_h \leq \alpha \leq 90°$), the following Equation (13) can be obtained:

$$T = \min \begin{cases} \left(\beta_h \sin\alpha + \dfrac{\cos\alpha}{k_{f,\alpha}} \right) ad\, f_h, \\ \left(\dfrac{\beta_h \tan\alpha}{2{,}5} \sin\alpha + \cos\alpha \right) ad\, f_{ax,\alpha}. \end{cases} \tag{13}$$

The parameter β_h is the minimum value of two ones obtained from Eq. (7) and Eq. (9).

When the inclination angle of the screw is $90°$, second member in the first formula of Eq. (13) turns in to zero, though the withdrawal capacity has significant increase in load-carrying capacity also for this arrangement. This influence can be evaluated by the calculating the angle θ at the failure mode. The value for $\theta = 15°$ was obtained as a mean value when the timber density and the screw diameter as well as tensile strength vary between the values of $350 \div 550$ kg/m^3,

$6 \div 16$ mm and $180 – 1000$ N/mm^2 respectively.

So the load-carrying capacity of connection with screws arranged in a shear plain at an angle of 90 º is:

$$T = \left(\beta_h + \frac{0{,}26}{k_{f,90}} \right) ad\, f_h \,, \tag{14}$$

where: $k_{f,90} = f_h / f_{ax,90}$.

The results of theoretically (T) computed values in consonance with simplified approach for load-carrying capacity are compared with the experimentally estimated (F) also by the others researchers and are depicted in Figure 8.

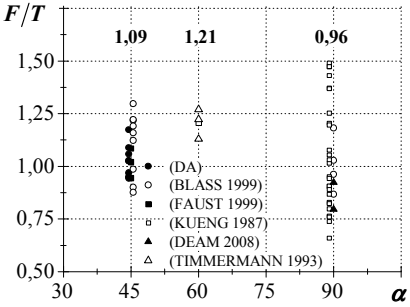


Fig. 8. Comparison between theoretical (T) and experimental (F) values of load-carrying capacity

With symbols DA named in Fig. 8 dots are the results of author of the work: by tests obtained the mean value of load-carrying capacity of connection with screws inclined at an angle 45 º is $F = 4669$ kN, and theoretically computed one is $T = 4373$ kN consequently the ratio $F/T = 1{,}07$. The theoretical and experimental obtained failure mode of the screw is characterised by one plastic hinge at shear plain coincide. The mean values of ratios F/T compared the results found in literature when inclination angles are 45 º, 60 º and 90 º is equal to $1{,}09$, $1{,}21$ and $0{,}96$ respectively.

General conclusions

The dissertation investigates the behaviour of timber-concrete composite connections with inclined screws under short- and long-term loading and the developed theoretical model for determination of load-carrying capacity of such type of connections represented. After developing the theoretical model based on elastic-plastic behaviour of materials of connected members as well as after performing the experimental tests of connections under short- and long-term

loading and after verifying the model, there were formulated the following conclusions:

1. The theoretical model was developed on the base of Kochenov (1953) model by applying the additional equations for the embedding and withdrawal deformation of timber grain under the screw. The developed model allows calculating the load-carrying capacity as well as the corresponding deformation, and precisely evaluating the failure mode of connections.
2. The parameter μ was involved which shows the possible number of plastic hinges in the screw at the failure mode of connection. The characteristic values for this parameter were defined, and they are equal to $-\ 0{,}5$ and $0{,}05$. When $\mu > 0{,}5$, the plastic hinge in the fastener does not develop – the first failure mode. When $0{,}5 \geq \mu > 0{,}05$ one plastic hinge develops in the screw – the second failure mode; and when $\mu < 0{,}05$ – two plastic hinges develop in the screw – the third failure mode.
3. The ranges of characteristic angles $\alpha_h = 77 \div 81^{\circ}$ and $\alpha_{ax} = 64 \div 70^{\circ}$ between the screw axis and the timber grain were distinguished. The embedding and withdrawal capacity of timber is fully used when $\alpha = \alpha_h$. When the angle is between the values of 90° and α_h is only embedding fully used, and when the angle is $\alpha < \alpha_{ax}$ – only the withdrawal capacity. By the values of α_h and α_{ax} the ductility of connection can be supposed.
4. The simplified computational model for the connection load-carrying capacity was proposed, based on the ultimate embedding deformation $2{,}15\delta_{h,el}$ of the timber grain.
5. By the experimental tests the main mechanical characteristics of the connection were obtained: the slip modules K_i and K_{ser}, which are 2 times greater as they may be computed according to EC5; the load-carrying capacity under short-term loading, and after long-term loading;
6. The approximation of experimental load-slip curves was performed, and the values of parameters for Foschi and Jaspart models have been derived. The latter model fits more to investigated connection because more precisely it describes the elastic-plastic and the plastic ranges of load-slip curves. The values of creep deformation factors were $k_{def}(\tau, t_{002})$ obtained and adjusted by the method proposed by Van de Kuilen for the first service class and different load durations: for the short, medium and long term loading are $1{,}4$, $1{,}9$ and $2{,}6$ respectively.

7. The algorithm for computation of load-carrying capacity of investigated connection according to the developed theoretical model was represented. The theoretical and experimental results were compared – disagreement was only $6\,\%$. Hence can be stated that the theoretical model for timber-concrete connections with a screws inclined with angle to the grain of 45° can be used.
8. The simplified computational approach for model of load carrying-capacity for timber-concrete composite connections with any angle to the grain inclined screws was represented. The experimental results of others researchers were compared to the theoretically obtained values by developed the simplified computational model. The scatter of results is: $0{,}88 \div 1{,}3$ for inclination angle 45°; $0{,}66 \div 1{,}49$ – when angle is 90° and $1{,}13 \div 1{,}27$ – when 60°. Mean values of scatter equals to $1{,}09$, $1{,}21$ and $0{,}96$, for angles of inclination $\alpha = 45^{\circ}$, $\alpha = 60^{\circ}$ and $\alpha = 90^{\circ}$ respectively.

List of Published Works on the Topic of the Dissertation
In the reviewed scientific periodical publications

Kavaliauskas, S.; Kvedaras, A. K.; Gurkšnys, K. 2005. Evaluation of long-term behaviour of composite timber-concrete structures according to EC, *Ūkio technologinis ir ekonominis vystymas* 11(4): 292–296. ISSN 1392-8619 (SCOPUS)

Gurkšnys, K.; Kvedaras, A. K.; Kavaliauskas, S. 2005. Behaviour evaluation of „sleeved" connectors in composite timber-concrete floors, *Journal of Civil Engineering and Management* XI(4): 277–282. ISSN 1392-3730 (SCOPUS)

Kavaliauskas, S.; Kvedaras, A. K.; Valiūnas, B. 2007. Mechanical behaviour of timber-to-concrete connections with inclined screws, *Journal of Civil Engineering and Management* XIII(3): 193–199. ISSN 1392-3730 (SCOPUS)

In other editions

Kavaliauskas, S.; Sudžiūtė, I.; Buinovskij, M. 2006. Experimental investigations on timber-concrete composite connections, in *Proceedings of the IX Conference of Lithuanian Young Scientists "Science – Lithuania's future", held in Vilnius on 29 March, 2006. Civil Engineering* [9-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis", įvykusios Vilniuje 2006 kovo 29 d., medžiaga. Statyba]. Vilnius: Technika, 194–200 (in Lithuanian). ISBN 9955-28-047-6.

Kavaliauskas, S.; Kvedaras, A. K. 2007. Strength and strain properties of connections with inclined screws in composite timber-concrete beams, in *Proceedings of the XV International Scientific Conference "Theoretical foundations of civil engineering: Polish-Ukrainian-Lithuanian transaction", held in Warsaw in May 2007,* 289–296. ISBN 978-83-7207-683-0.

About the author

Saulius Kavaliauskas was born in Igliauka, Marijampolė district, on 18 of September 1978.

First degree in Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Vilnius Gediminas Technical University, 2000. Master of Science in Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Vilnius Gediminas Technical University, 2002. In 2003–2008 – PhD student of Vilnius Gediminas Technical University. From 2004 – Assistant in Steel and Timber Structures Department of Vilnius Gediminas Technical University.

KOMPOZITINIŲ MEDINIŲ-BETONINIŲ SIJŲ TARPSLUOKSNIO ĮŽAMBINĖS MEDSRAIGTINĖS JUNGTIES ELGSENA

Problemos formulavimas. Kompozitinės medinės-betoninės konstrukcinės sistemos šiandien plačiai taikomos senų medinių ypač istorinį kultūrinį paveldą turinčių pastatų perdangų stiprinimui ir jų rekonstravimui. Virš medinio sijyno įrengus monolitinę betono plokštę ir ją patikimai inkaravus jungėmis, gaunama kompozitinė sistema, galinti atlaikyti ne tik esamas, bet ir didesnes naudojimo apkrovas. Tokia konstrukcinė-kompozitinė sistema leidžia išsaugoti autentišką medinio denginio sijyną, kartu pagerinant ne tik jo fizikines savybes – pralaidumą garsui ir atsparumą ugniai, bet ir mechanines – stiprumą ir standumą. Šios sistemos vis dažniau taikomos ir naujai statomų gyvenamosios paskirties medinių karkasinių namų perdangų konstrukcijoms.

Kompozitinių medinių-betoninių sijų stiprumas ir standumas priklauso nuo jungties tarp sudėtinių skerspjūvio dalių stiprumo ir standumo. Turint pakankamai duomenų apie jungtį – jos trumpalaikę bei ilgalaikę elgseną, laikomąją galią, deformacines savybes, galima spręsti ir apie paties kompozitinio elemento elgseną, laikomąją galią, jo kompozito poveikį.

Medsraigčiai, kaip ir vinys, kompozitinės medinės-betoninės sijos jungtyje naudojami dėl savo kaip jungės plataus naudojimo ir ilgą laiką taikymo medinių elementų jungtyse, dėl jų paprasto įrengimo ir dėl mažo medinio elemento skerspjūvį silpninančio poveikio. Ankstesnėje praktikoje dažniausiai medinių ir kompozitinių medinių-betoninių elementų jungtyse medsraigtinės jungės buvo orientuojamos 90 laipsnių kampu medienos pluošto atžvilgiu – statmenai elementų šlyties plokštumai. Tačiau medsraigtinės jungtys pasižymi didesniu standumu ir didesne laikomąja galia, kuomet medsraigčiai orientuojami kampu medienos pluošto (ar šlyties plokštumos) atžvilgiu, taip išnaudojant medsraigčių ištraukimo iš medienos ir glemžiamos medienos po medsraigčiu laikomąsias galias. Tad vis dažniau sutinkama atvejų, kuomet medsraigčiai sriegiami kampu medienos pluošto atžvilgiu – dažniausiai 45 º.

Nors praktikoje sutinkama vis daugiau įžambiai medienos pluoštui orientuotų medsraigčių, tačiau jiems skaičiuoti projektavimo normose formulės nėra pateikiamos. Dažniausiai jų laikomoji galia yra vertinama bendraisiais inžineriniais metodais – apribojama jų ištraukiamoji iš medienos galia. Tačiau tai nėra tikslu, nes įžambiai medienos pluoštui orientuoti medsraigčiai yra veikiami ne tik ištraukiamųjų, bet ir glemžiamųjų jėgų bei lenkiamųjų momentų. Priklausomai nuo kampo tarp medsraigčio ašies ir medienos pluošto medsraigčių laikomoji galia gali būti pasiekta išnaudojus glemžiamos ir ištraukiamos medienos bei medsraigčio laikomąsias galias. Ir tik esant labai mažiems posvyrio kampams medienos pluošto atžvilgiu, medsraigčio ir pačios jungties laikomoji galia gali būti įvertinta ištraukiamąja iš medienos medsraigčio laikomąja galia.

Šiuo metu kaištinių ir virbalinių medinių ir medinių-betoninių elementų jungčių laikomoji galia vertinama teoriniais modeliais, grįstais tampria idealia standžia medžiagų ir elementų elgsena. Nors ir taip galima apytiksliai nuspėti jungties laikomąją galią, tačiau negalima tinkamai įvertinti jungties deformacinių savybių. Todėl, siekiant įvertinti jungties deformacines savybes, būtina jungčių skaičiuojamąjį modelį vertinti remiantis realesne medžiagų ir elementų elgsena – tampria plastine.

Darbo aktualumas. Medsraigtinių jungčių elgsena ir laikomoji galia, kuomet medsraigčiai yra orientuoti statmenai sujungiamų elementų šlyties plokštumai, yra gerai ištirta ir projektavimo normose joms skaičiuoti pateiktos formulės. Tačiau įžambiai jungties šlyties plokštumai įsriegtų medsraigčių, turinčių teigiamą poveikį jungties laikomajai galiai ir deformacinėms savybėms, skaičiavimo metodikos projektavimo normose nėra. Egzistuoja tik tam tikro tipo specialiesiems medsraigčiams skirti praktinio taikymo vadovai ir galiojantys tik tam tikruose atskiros šalies rajonuose; paprastai mechaninės charakteristikos ir laikomosios galios formulės yra išvedamos specialaus tipo medsraigčiams ir tik tam tikroms posvyrio kampo reikšmėms.

Tyrimų objektas. Darbo tyrimų objektas yra kompozitinių medinių-betoninių konstrukcijų medsraigtinė jungtis, kurios šlyties plokštumoje medsraigčiai yra orientuoti įžambiai medienos pluošto atžvilgiu, ir jos elgsena kompozitinių medinių-betoninių sijų tarpsluoksnyje.

Darbo tikslas. Šio darbo tikslas yra trumpalaikiais ir ilgalaikiais eksperimentiniais tyrimais ištirti kompozitinės medinės-betoninės medsraigtinės jungties elgseną, nustatyti jos pagrindinius stipruminius ir deformacinius rodiklius ir rasti pagrindines jungtį sudarančių medžiagų ir gaminių mechanines charakteristikas, lemiančias jungties stiprumą ir standumą, ir sukurti tokių jungčių laikomąją galią ir deformacines savybes įvertinantį skaičiuojamąjį modelį bei inžinerinę metodiką.

Darbo uždaviniai. Darbo tikslui pasiekti buvo spręsti šie uždaviniai:

1. Atlikta literatūroje pateikiamų medinių ir kompozitinių medinių-betoninių elementų jungčių laikomąją galią ir deformacines savybes vertinančių metodų apžvalga ir analizė.
2. Sukurti kompozitinės medinės-betoninės medsraigtinės jungties, kurioje medsraigčiai orientuoti kampu medienos pluošto atžvilgiu, skaičiavimo modelį, įvertinantį jungties stiprumą ir deformacines savybes.
3. Eksperimentiškai nustatyti tokių jungčių trumpalaikę laikomąją galią, slinkties deformacijų modulius ir ilgalaikes deformacines savybes.
4. Eksperimentiškai nustatyti jungtį sudarančių elementų medžiagų mechaninius ir fizikinius rodiklius, reikalingus teoriniam skaičiuojamajam modeliui pagrįsti.
5. Patikrinti sukurtojo jungties skaičiuojamojo modelio tikslumą sugretinant juo gautus rezultatus su eksperimentiškai nustatytais.
6. Sukurti tokių jungčių inžinerinę skaičiavimo metodiką ir ją pagrįsti ir kitų autorių eksperimentinių tyrimų rezultatais.

Tyrimų metodika. Remiantis atitinkamais Europoje galiojančiais standartais, atlikti kompozitinės medinės-betoninės sijos jungčių su įžambiai šlyties plokštumai orientuotais medsraigčiais, bandant jas trumpalaike ir ilgalaike apkrovomis, eksperimentiniai tyrimai. Sukurta tokių medsraigtinių jungčių laikomosios galios skaičiavimo metodika remiantis medinių elementų kaištinių jungčių laikomąją galią vertinančiu teoriniu skaičiuojamuoju modeliu.

Darbo mokslinis naujumas. Rengiant disertaciją gauti statybos inžinerijos mokslui nauji rezultatai:

1. Atlikus literatūroje pateiktų kompozitinių medinių-betoninių jungčių eksperimentinių tyrimų rezultatus, suklasifikuotos jungtys pagal jungės tipus ir jungties stiprumą.
2. Sukurtas kompozitinių medinių-betoninių elementų jungčių su įžambiai šlyties plokštumoje orientuotais medsraigčiais laikomosios galios skaičiuojamasis modelis, pagrįstas vienu iš medinių elementų kaištinių jungčių skaičiavimo modeliu.
3. Sudarytas jungties laikomosios galios apskaičiavimo algoritmas ir sukurtas supaprastintas inžinerinis jungties laikomosios galios skaičiuojamasis modelis.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė. Rengiant disertaciją gautas statybos inžinerijos mokslui naujas rezultatas – sukurtas jungties laikomąją galią ir deformacines savybes vertinantis teorinis skaičiuojamasis modelis, kuris gali būti taikomas tiek įžambiai, tiek ir statmenai šlyties plokštumoje orientuotais medsraigčiais sujungtų kompozitinių medinių-betoninių elementų jungtims.

Ginamieji teiginiai

1. Kompozitinės medinės-betoninės su įžambiai šlyties plokštumai orientuotais medsraigčiais jungties laikomosios galios skaičiavimo metodas, pagrįstas stipruminiais ir deformaciniais kriterijais.
2. Jungties irties pobūdis priklauso ne tik nuo jungties elementų ir jungių mechaninių savybių, galimų tariamai plastinių lenkiamųjų momentų susiformavimo skaičiaus, bet ir nuo medsraigčio ašies polinkio kampo.

Darbo apimtis. Disertaciją sudaro įvadas, penki skyriai, bendrosios išvados, literatūros ir publikacijų sąrašai. Darbo apimtis yra 128 puslapiai, tekste panaudotos 182 numeruotos formulės, 55 paveikslai, 13 lentelių ir 113 bibliografinių šaltinių sąrašas.

Įvadiniame skyriuje nagrinėjamas problemos aktualumas, formuluojami darbo tikslai ir uždaviniai, aprašomas darbo mokslinis naujumas, pristatomos autoriaus publikacijos ir pranešimai.

Pirmasis skyrius skirtas literatūros apžvalgai. Jame pateikta medinių ir kompozitinių medinių-betoninių elementų jungčių laikomąją galią vertinančių skaičiuojamųjų modelių apžvalga. Pabaigoje suformuluotos skyriaus išvados ir suformuoti disertacijos tikslai ir uždaviniai.

Antrajame skyriuje pateiktas pamatinio jungties laikomąją galią vertinančio skaičiuojamojo modelio pasirinkimo pagrindimas, aprašytas jungties skaičiuojamojo modelio kūrimas ir jo supaprastinimas.

Trečiajame ir ketvirtajame skyriuose pateikta įžambinės medsraigtinės jungties trumpalaikių ir ilgalaikių bei trumpalaikių jungties elementų ir gaminių medžiagų eksperimentinių tyrimų rezultatai ir jų vertinimas.

Penktajame skyriuje pateiktas sukurtojo modelio vertinimas remiantis atliktais eksperimentiniais tyrimais. Pateikiamas supaprastintas – jungties inžinerinis skaičiuojamasis modelis ir jo vertinimas naudojant kitų autorių eksperimentinių tyrimų rezultatus.

Darbo rezultatai ir išvados. Darbo metu gauti šie rezultatai:

1. Remiantis Kočenovo (1953) modeliu, skirtu kaištinių jungčių laikomajai galiai skaičiuoti, ir papildžius jį medsraigčiu glemžiamos ir ištraukiamos medienos deformacijų darnos lygtimis, sukurtas kompozitinės medinės-betoninės įžambinės medsraigtinės jungties laikomosios galios skaičiuojamasis modelis, kuriuo galima tiksliau apibūdinti jungties irties pobūdį.
2. Jungties irties pobūdžiui nuspėti įvestas parametras μ, pagal kurį galima nustatyti tariamai plastinių medsraigčio kotelio lenkiamųjų momentų susidarymo skaičių jungties irties pobūdžio atveju. Nustatytos jo charakteringosios reikšmės – $0{,}5$ ir $0{,}05$; kai $\mu > 0{,}5$, jungties irties atveju medsraigčio lenkiamasis momentas nėra didesnis už ribinį – pirmasis irties pobūdžio atvejis; kai $0{,}5 \geq \mu > 0{,}05$, yra vienas ribinis

medsraigčio kotelio lenkiamasis momentas – antrasis irties pobūdis; kai $\mu \le 0{,}05$, yra du maksimalūs medsraigčio kotelio lenkiamieji momentai – trečiasis irties pobūdžio atvejis.

3. Rasti jungčiai būdingųjų kampų $\alpha_h = 77 \div 81^\circ$ ir $\alpha_{ax} = 64 \div 70^\circ$ rėžiai, kurie patikslina parametru μ nustatytus jungties irties pobūdžius. Medsraigčiu glemžiama ir ištraukiama mediena irties pobūdžio atveju gali būti visiškai išnaudojama tik esant medsraigčio ašies posvyrio kampo reikšmei $\alpha = \alpha_h$. Kuomet šis posvyrio kampas yra tarp 90° ir α_h, visiškai išnaudojama tik glemžiamoji mediena, o kai $\alpha < \alpha_{ax}$ – tik ištraukiamoji. Pagal kampų α_h ir α_{ax} reikšmes galima spręsti ir apie jungties plastiškumą.
4. Remiantis galima didesne ribine medsraigčiu glemžiamos medienos deformacijos reikšme, apytikriai lygia $2{,}15\delta_{h,el}$, ir dėl to sumažėjusiu pusiausvyros lygčių laipsniu, pasiūlytas paprastesnis įžambinės medsraigtinės jungties skaičiuojamasis modelis.
5. Eksperimentiškai nustatytos kompozitinių medinių-betoninių sijų įžambinės medsraigtinės jungties mechaninės savybės: gautos apkrovos ir slinkties deformacijų kreivės, trumpalaikė laikomoji galia, nustatyti slinkties deformacijų K_i ir K_{ser} moduliai, kurių reikšmės yra apie 2 kartus didesnės lyginant su paskaičiuotomis pagal projektavimo normas Eurocode 5.
6. Atlikta jungties deformacinės jėgos kreivės aproksimacija matematiniais modeliais: pateiktos parametrų reikšmės Foschi ir Jaspart modeliams. Nustatyta, kad pastarasis geriau tinka tirtosios jungties elgsenai aprašyti, kadangi pradinis-tamprusis ir galutinis-krintantysis elgsenos tarpsniai yra artimi tiesialinijinei elgsenai, be to, šis modelis turi tampriai plastinę deformacinės jėgos kreivės dalį įvertinantį parametrą. Eksperimentiškai nustatytos $k_{def}(\tau, t_{002})$ reikšmės skirtingoms apkrovų trukmėms buvo pakoreguotos pagal Van de Kuilen pasiūlytą metodą ir pateiktos pirmajai jungties eksploatacijos klasei: trumpalaikei, vidutinės trukmės ir ilgalaikei apkrovoms atitinkamai lygios $1{,}4$, $1{,}9$ ir $2{,}6$.
7. Pateiktas tirtosios kompozitinės įžambinės medsraigtinės jungties laikomosios galios apskaičiavimo algoritmas, atitinkantis sukurtąjį teorinį modelį. Gautas pakankamai geras rezultatas – nesutapimas tik apie $6\,\%$. Tai leidžia teigti, kad teorinis modelis gali būti taikomas įžambinių medsraigtinių jungčių skaičiavimams, kai medsraigčio ašies polinkio kampas medienos pluošto atžvilgiu yra 45°.
8. Pateiktas tokių jungčių laikomosios galios skaičiuojamasis supaprastintas inžinerinis modelis bet kokiu kampu medienos pluošto atžvilgiu orientuotų medsraigčių laikomajai galiai apskaičiuoti.

Sugretintos kitų tyrėjų eksperimentiškai nustatytos kompozitinių medinių-betoninių elementų medsraigtinių jungčių laikomosios galios reikšmės su pagal supaprastintą inžinerinį jungties laikomosios galios skaičiuojamąjį modelį apskaičiuotomis reikšmėmis. Gautoji eksperimentinių ir teorinių reikšmių santykių sklaida yra $0{,}88 \div 1{,}3$, kuomet medsraigčio ašies posvyrio kampas yra 45°, ir $0{,}66 \div 1{,}49$ – kuomet 90° bei $1{,}13 \div 1{,}27$ – kuomet 60°. Vidutiniškai, reikšmių santykiai kai $\alpha = 45^{\circ}$, 60° ir 90° yra atitinkamai lygūs $1{,}09$, $1{,}21$ ir $0{,}96$, ir tai leidžia teigti, kad modelis gali būti taikomas įžambinių medsraigtinių jungčių skaičiavimams, esant bet kokiam medsraigčio ašies polinkio kampui medienos pluošto atžvilgiu.

Trumpos žinios apie autorių

Saulius Kavaliauskas gimė 1978 m. rugsėjo 18 d. Igliaukos kaime Marijampolės raj.

2000 m. įgijo statybos inžinerijos bakalauro laipsnį Vilniaus Gedimino technikos universiteto Statybos fakultete. 2002 m. įgijo statybos inžinerijos mokslo magistro laipsnį Vilniaus Gedimino technikos universiteto Statybos fakultete. 2003–2008 m. – Vilniaus Gedimino technikos universiteto doktorantas. Nuo 2004 m. dirba asistentu Vilniaus Gedimino technikos universiteto Metalinių ir medinių konstrukcijų katedroje.

Saulius KAVALIAUSKAS

BEHAVIOUR OF TIMBER-CONCRETE COMPOSITE BEAM INTERCONNECTION WITH INCLINED SCREWS

Summary of Doctoral Dissertation
Technological Sciences, Civil Engineering (02T)

Saulius KAVALIAUSKAS

KOMPOZITINIŲ MEDINIŲ-BETONINIŲ SIJŲ TARPSLUOKSNIO ĮŽAMBINĖS MEDSRAIGTINĖS JUNGTIES ELGSENA

Daktaro disertacijos santrauka
Technologijos mokslai, statybos inžinerija (02T)

2010 01 25. 1,5 sp. l. Tiražas 80 egz.
Vilniaus Gedimino technikos universiteto
leidykla „Technika“,
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius,
http://leidykla.vgtu.lt
Spausdino UAB „Baltijos kopija“,
Kareivių g. 13B, 09109 Vilnius
http://www.kopija.lt