

Андрій Бідаков, Оксана Пустовойтова, Євген Распопов, Богдан Страшко

МІЦНІСТЬ ПКД ПАНЕЛЕЙ ПРИ ЗСУВІ ТА КРУЧЕННІ

Актуальність теми дослідження Позитивний досвід використання ПКД панелей у будівництві спостерігається протягом тривалого періоду в Східній Європі та вважається за необхідне дослідження міцності та чинників, що впливають на несучу здатність цього типу конструкцій із поперечної клеєної деревини (ПКД або CLT).

Постановка проблеми Невід'ємною важливою проблематикою для ПКД панелей є міцність при крученні, яке має схему руйнування шляхом сколювання шарів дошок і потребує встановленню основних чинників впливу для оцінки несучої здатності за цим видом напруженого стану.

Аналіз останніх досліджень і публікацій Міцність при зсуві та крученні є одним з основних питань міцності ПКД панелей як ортотропної пластини, яке цікавило багато дослідників з різних країн серед яких Blaß, Görlacher (2002) [1], Bosl (2002) [4], Jeitler (2004) [11], Jöbstl, Bogensperger, Schieckhofer [12], Wallner (2004) [18], Bogensperger, Moosbrugger (2007) [3], Silly (2010) [14; 15], Hirschmann (2011), Blaß, Flaig (2012) [2], Dröscher, Brandner, Kreuzinger, Sieder (2013), Dietsch (2017), Serrano (2018).

Виділення недосліджених частин загальної проблеми Не вирішено питання виявлення чинників, що впливають на несучу здатність ПКД панелей при зсуві та крученні.

Постановка завдання. Встановлення основних чинників впливу для оцінки несучої здатності ПКД панелей при зсуві та крученні.

Виклад основного матеріалу Поперечна клеєна деревина, як листовий будівельний матеріал на основі шарів дошок зі взаємно перпендикулярним розташуванням дошок у суміжних шарах, має багато вагомих факторів, що впливають на величини міцності ПКД панелей при зсуві та крученні. Тридцятирічний світовий досвід використання ПКД панелей у багатопверховому будівництві доводить важливість розглядання різних моделей роботи панелей як діафрагм та жорстких елементів каркасів з панельно-каркасних будівель. Особливу увагу при цьому приділяють характеру руйнування панелі на сколювання як у площині панелі, так і з площини. Важливість цього виду напруженого стану додатково підсилюється групою різних схем випробувань на зсув або сколювання відповідно до стандарту EN16351, зокрема випробування на міцність при роликівому зсуві. Остання величина міцності є новою феноменологічною особливістю ПКД панелей.

Висновки відповідно до статті. Величина міцності ПКД панелей на зсув є важливою характеристикою шаруватого матеріалу та багатоскладовою характеристикою, яка має декілька схем руйнування, та залежать від складових поперечного перерізу і технології виробництва ПКД панелей, що потребує їх комплексного розгляду.

Ключові слова: міцність при зсуві; поперечна клеєна деревина; ПКД; CLT; методика розрахунку; деформація зсуву; кручення; жорсткість при зсуві.

Рис.: 6. Бібл.: 18.

Актуальність теми дослідження. Позитивний досвід використання ПКД панелей у будівництві спостерігається протягом тривалого періоду в Східній Європі та вважається за необхідне дослідження міцності та чинників, що впливають на несучу здатність цього типу конструкцій із поперечної клеєної деревини (ПКД або CLT).

Постановка проблеми. Невід'ємною важливою проблемою для ПКД панелей є міцність при крученні, яке має схему руйнування шляхом сколювання шарів дошок і потребує встановленню основних чинників впливу для оцінки несучої здатності за цим видом напруженого стану.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Міцність при зсуві та крученні є одним з основних питань міцності ПКД панелей як ортотропної пластини, яке цікавило багато дослідників із різних країн, з-поміж яких Blaß, Görlacher (2002) [1], Bosl (2002) [4], Jeitler (2004) [11], Jöbstl, Bogensperger, Schieckhofer [12], Wallner (2004) [18], Bogensperger, Moosbrugger (2007) [3], Silly (2010) [14, 15], Hirschmann (2011), Blaß, Flaig (2012) [2], Dröscher, Brandner, Kreuzinger, Sieder (2013), Dietsch (2017), Serrano (2018). Усі три можливі моделі руйнування (рис. 1), а саме нетто-зсув (1), повний зсув (2) та кручення (3) Brandner та Dietsch (2017) [5], повинні визначатися за передбаченими методами випробувань та враховуватись при проектуванні.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Не вирішено питання виявлення чинників, що впливають на несучу здатність ПКД панелей при зсуві та крученні.

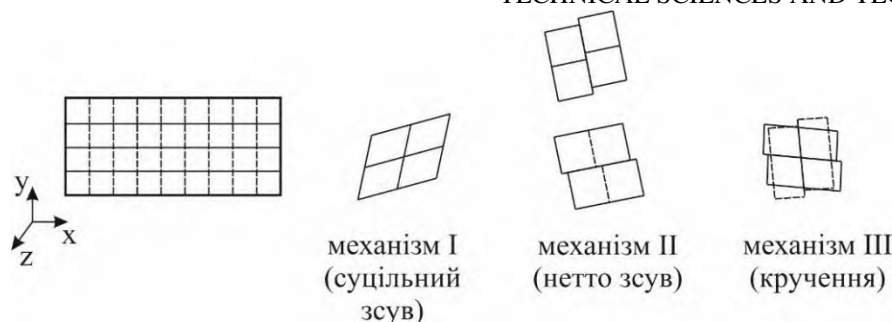


Рис. 1. Три моделі руйнування ПКД панелей при зсуві (E. Serrano)

Модель руйнування (1) розглядає варіант руйнування ПКД панелі при зсуві як монолітного суцільного матеріалу, дошки якого мають склеювання по бокових гранях і всі беруть участь у роботі на сколювання. Модель (2) допускає руйнування ПКД панелей із щілинами, між якими відбувається руйнування дошок середніх шарів. Таким чином, у роботі на зсув беруть участь лише поперечні дошки, або поперечний переріз нетто. Модель руйнування (3) розглядає руйнування ПКД панелі в результаті кручення дошок суміжних шарів. Також у роботі (Brandner та Dietsch (2017) [5]) зазначено, що робота балки та панелі на зсув відрізняється та потрібно розділяти параметри міцності від характеру роботи ПКД елемента. Наприклад, при розгляданні ПКД панелі як стінової діафрагми існує три механізми: механізм 1 – Casagrande [6], механізм 2 – Hummel [10] та механізм 3 – Flatscher, Schichhofer [9], що зображені на рис. 2.

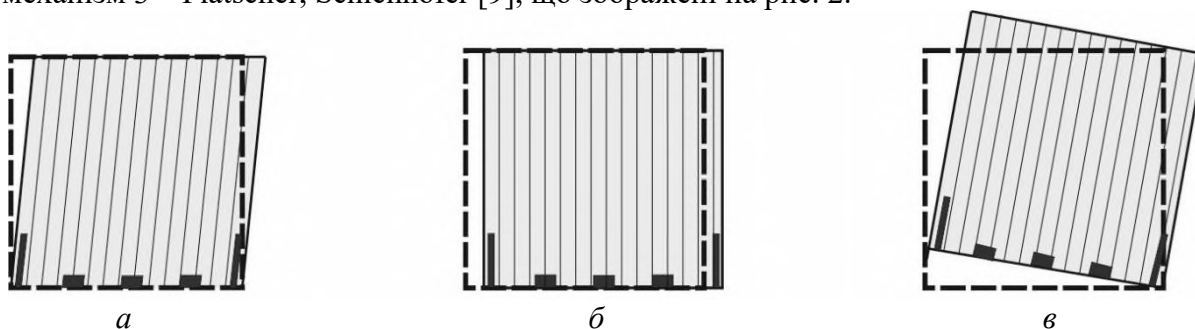


Рис. 2. Механізми роботи ПКД панелі при зсуві як стінової діафрагми:
а – деформація у площині ; б – переміщення жорсткого елемента; в – поворот жорсткого елемента

Мета статті. Мета дослідження, полягає в критичному аналізі моделей роботи (ПКД) або CLT панелей при зсуві у їх площині та з урахуванням методів експериментальних випробувань, дозволяють встановлювати характеристичні значення міцності при зсуві на різних типах зразків. Невідомою важливою проблемою для ПКД панелей є міцність при крученні, яке має схему руйнування шляхом зколювання шарів дошок і потребує встановленню основних чинників впливу для оцінки несучої здатності за цим видом напруженого стану.

Виклад основного матеріалу. Відповідно до праці Wallner-Novak (2013) робота ПКД панелей як діафрагм або стін які сприймають значні навантаження зсуву описана за різними механізмами. Механізм (1) передбачає аналіз роботи ПКД панелі з боковим склеюванням дошок та без пропилив, що забезпечує суцільну роботу на зсув усієї панелі. Механізм (2) враховує особливості роботи ПКД панелі з невеликими щілинами між дошками та припускається, що поперечні шари дошок виконують роль підсилення повздовжніх шарів дошок. Це призводить до того, що міцність при зсуві або сколюванні перевищує міцність дошок на зсув. Міцність при зсуві в площині ПКД панелі за результатами Jöbstl (2008) становить $f_{v,xu,k} = 10$ Н/мм². При деяких структурах поперечних перерізів величина міцності при зсуві у площині може становити $f_{v,xu,k} = 5,5$ Н/мм², як це показано на рис. 3.

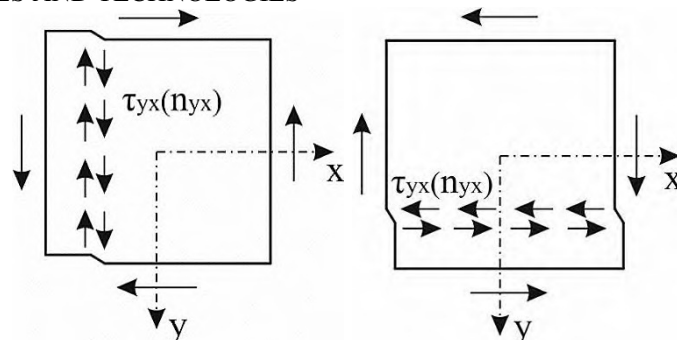


Рис. 3. Схема руйнування ПКД панелі при зсуві в площині згідно з механізмом 2, запропонованого Wallner-Novak (2013)

Механізм (3) розглядає роботу ПКД панелі при зсуві у площині як систему окремих вузлів, що працюють на кручення (рис. 4), за умови великих щілин між дошками у шарах панелі.

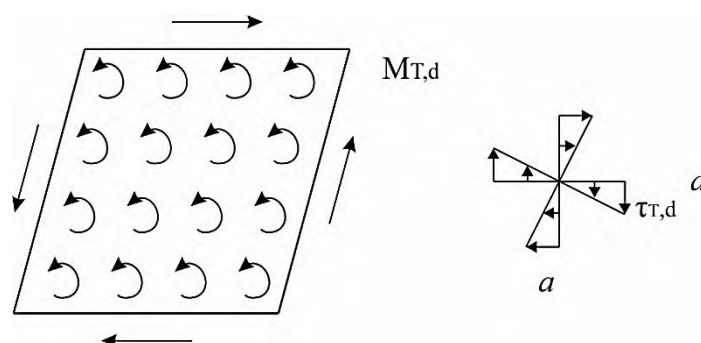


Рис. 4. Зсув як робота окремих вузлів ПКД панелі на кручення згідно з механізмом 3

Результати досліджень. Розрахунок міцності балок з ПКД панелей потребує врахування величин ефективного та повного поперечного перерізів згідно з дослідженнями Flaig M. Та Blaß H.J. [7; 8]. Для ПКД панелей які мають щілини між дошками у шарах ПКД панелі необхідно перевіряти напруження від крутильного зсуву та роликового зсуву між дошками суміжних шарів. Напруження кручення у площі вузла при крученні слід визначати за методикою M. Flaig.

$$\tau_{tor,node,d} = \frac{3 \cdot V_{xy,d}}{w_{l,x}^2 \cdot n_{CA}} \left(\frac{1}{n_{1,x}} - \frac{1}{n_{l,x}^3} \right) k_b \tag{1}$$

де

$$k_b = \frac{2 \cdot w_{l,max} \cdot w_{l,x}}{w_{l,x}^2 + w_{l,y}^2} \tag{2}$$

Коефіцієнт k_b враховує різну ширину дошок у напрямку x та y. Для трьохшарової ПКД панелі де 2 клейових шари $n_{CA} = 2$ та $n_{1,x} = 2$, а ширина дошок становить $w_{l,x} = w_{l,y} = 80$ мм, вираз (1) може мати такий вигляд

$$\tau_{tor,node,d} = \frac{3 \cdot V_{xy,d}}{w_{l,min}^2 \cdot 2} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2^3} \right) \cdot 1 \approx 0,56 \cdot \frac{V_{xy,d}}{w_{l,min}^2} = 8,75 \cdot 10^{-5} \frac{1}{mm^2} \cdot V_{xy,d} \tag{3}$$

Також M. Flaig пропонує визначати міцність при роликовому зсуві площі вузла перетинаючихся дошок визначається за таким виразом

$$\tau_{xy,d} = \frac{6 \cdot V_{xy,d}}{w_{l,\min}^2 \cdot n_{CA}} \left(\frac{1}{n_{l,x}^2} - \frac{1}{n_{l,x}^3} \right) \quad (4)$$

Враховуючі аналогічні параметри, як це зазначено вище, можливо отримати спрощений вираз

$$\tau_{xy,d} = \frac{6 \cdot V_{xy,d}}{w_{l,\min}^2 \cdot 2} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{2^3} \right) \approx 0,375 \frac{V_{xy,d}}{w_{l,\min}^2} \approx 0,6 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{mm}^2} V_{xy,d} \quad (5)$$

Коефіцієнт k_{cr} , який враховує можливу появу тріщин у цільній та клеєній деревині через зволоження та усушку при розрахунках міцності на зсув або сколюванні, для ПКД панелей не враховується, оскільки можливе лише тріщиноутворення у дошках зовнішніх шарів ПКД панелі та через допустиму наявність щілин та компенсаційних пропилів за технологією виробництва ПКД панелей.

Варто відзначити, що метод експериментальних випробувань для визначення міцності на зсув або сколюванні для цільної та клеєної деревини виконується відповідно до стандарту EN 408:2010, де зразки для випробувань показані на рис. 5, а), які мають наступні геометричні параметри: $l = (300 \pm 2)$ мм; $b = (32 \pm 1)$ мм; $h = (55 \pm 1)$ мм. Товщина металевих пластин повинна бути (10 ± 1) мм, які приклеюються до зразків. На рис. 5, б-г) зображені схеми випробувань ПКД панелей на різні види зсуву та кручення, які є вимогами стандарту EN16351. У роботі Р. Mestek [13] розглядався важливий випадок стиснутого сколювання або комбінація одночасної дії сколювання та стиску поперек площини ПКД панелі по всій її площі, при цьому кут нахилу зразка складав 10° .

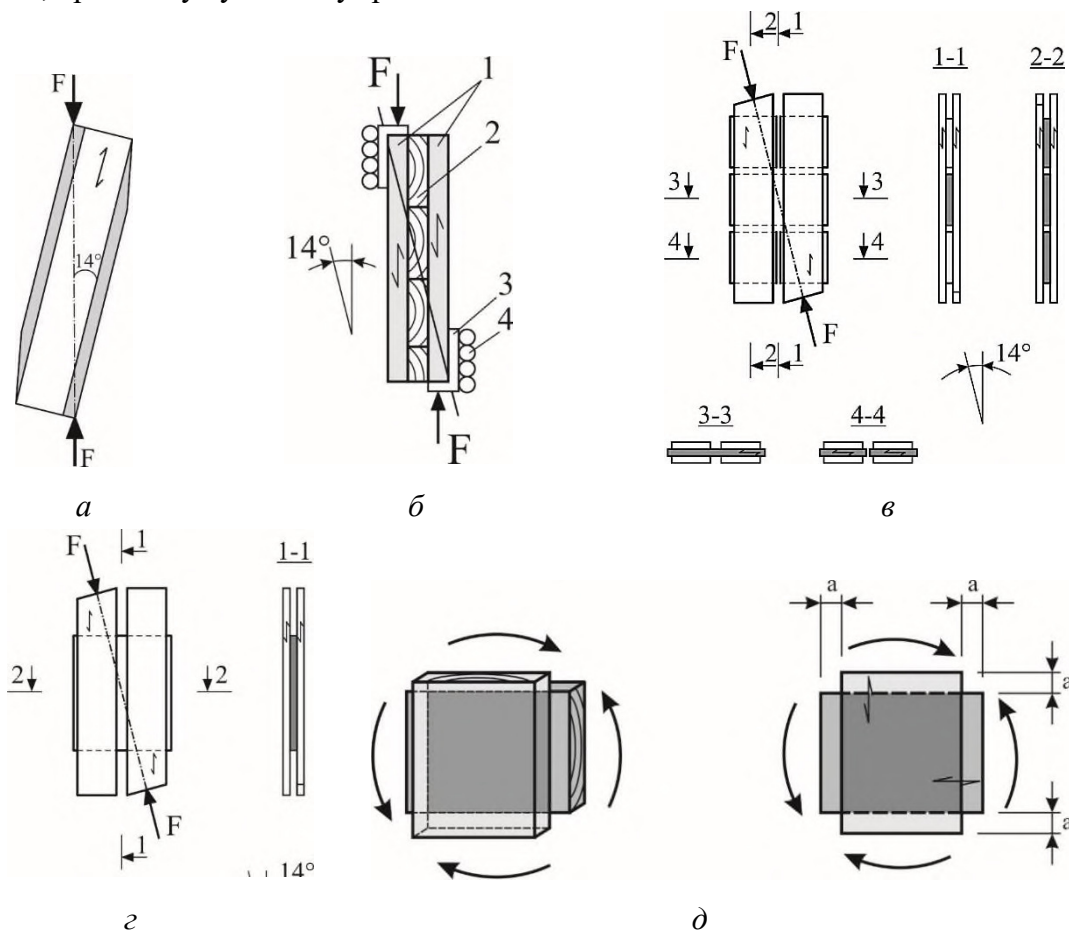


Рис. 5. Схема навантаження зразків при випробуваннях на зсув для цільної деревини (а), параметри зразків на зсув ПКД панелей (б-г) та на кручення (д).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Крутильну жорсткість гнучких ПКД балок можливо вивести прирівнюючи крутильний момент пластини з крутильним моментом гнучких балок згідно теорії Сен-Венана (Moosbrugger T., Krenn H., Bogensperger T.), яка допускає, що крутильний момент діючий вздовж граней панелі або пластини вздовж прольота можуть бути заміщеними парою сил діючих у напрямі z обох кінців балки, як показано на рис. 6.

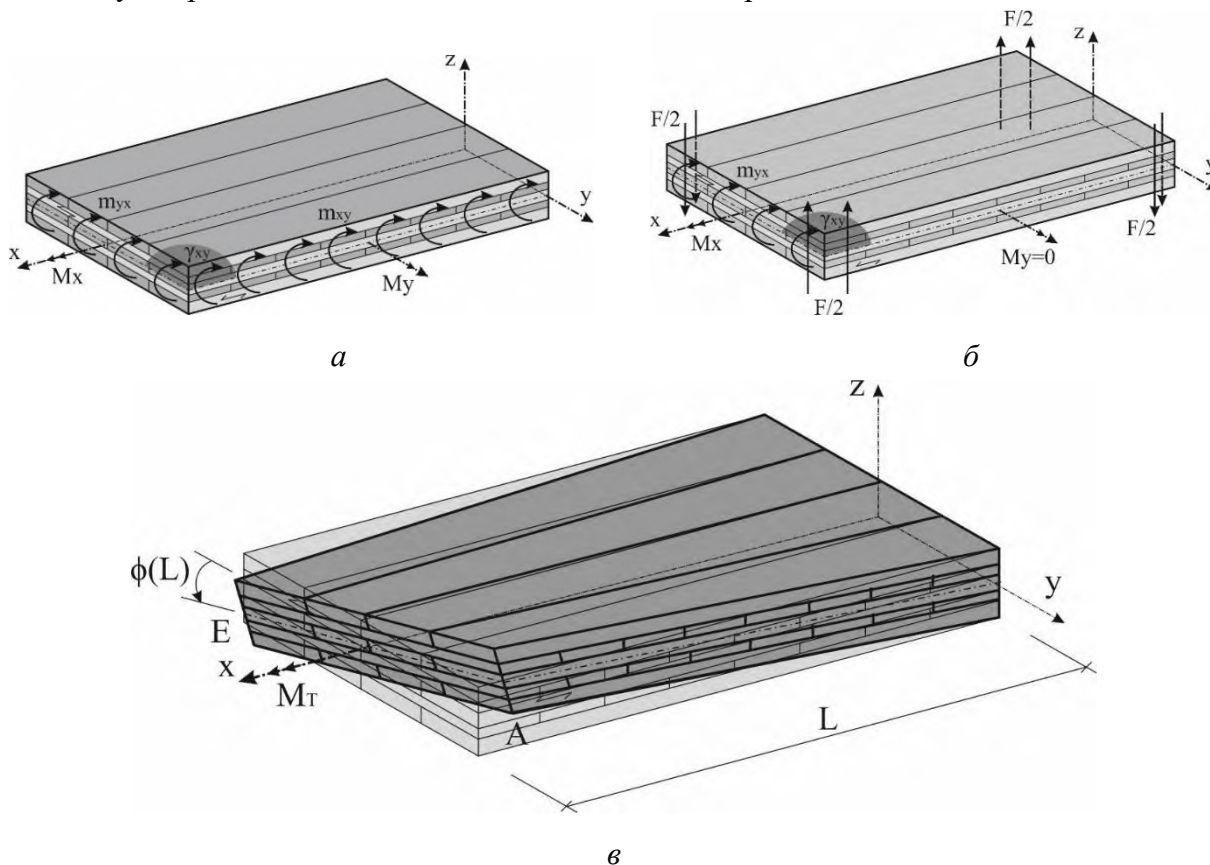


Рис. 6. Заміщення крутильного моменту діючого по гранях пластини парою сил

Крутильний момент інерції ПКД діаграм, стін та балок враховується при визначенні крутильної жорсткості $D_{x,y}^*$ при розгляданні ПКД як полоси шириною 1 м за методикою Silly G. [17], яка має такий вид:

$$D_{xy}^* = \frac{G_{xz,mean} \cdot \frac{t_{xlam}^3}{12}}{1 + 6 \cdot p_D \cdot \left(\frac{t_{l,max}}{w_{l,max}} \right)^{q_D}} \cdot "I", \tag{6}$$

- де $G_{xz,mean}$ – середнє значення модуля зсуву у площині, у Н/мм²;
- t_{xlam} – товщина дошки ПКД панелі, у мм;
- $t_{l,max}$ – максимальна товщина дошки ПКД панелі, у мм;
- $w_{l,mean}$ – середня ширина дошки ПКД панелі, у мм;
- p_D, q_D – параметри запропоновані Silly G. 2010 [16];
- h_{xlam} – загальна висота ПКД елемента.

Модуль пружності та модуль зсуву для дошок у клеєній деревині також статистично незалежні та $(EG)_{05}$ можливо спростити як $(EG)_{05} = 1,4 E_{05}G_{05} \approx E_{mean}G_{mean}$, що також можливо використовувати для ПКД панелей згідно рекомендації Błaż 2015 [2] при визначенні критичного моменту інерції:

$$M_{crit} = \frac{\pi}{l_{ef}} \sqrt{(EG)_{05} I_z I_{tor}} \quad (7)$$

Використання ПКД панелей комбінованих класів міцності дошок, з розташуванням дошок високих класів міцності в зовнішніх шарах дозволить значно зменшити деформативність панелей при зсуві та крученні.

Висновки відповідно до статті. Величина міцності ПКД панелей на зсув є важливою характеристикою шаруватого матеріалу та багатоскладовою характеристикою, яка має декілька схем руйнування, та залежать від складових поперечного перерізу і технології виробництва ПКД панелей, що потребує їх комплексного розглядання.

Список використаних джерел

1. Blaß H. J., Görlacher R. Bemessung im Holzbau – Brettsper Holz. Berechnungsgrundlagen. *Holzbaukalender*. Bruderverlag, 2003. P. 580-598.
2. Blaß, Hans Joachim; Sandhaas, Carmen. Ingenieurholzbau - Grundlagen der Bemessung. KIT Verlag, 2016. 658 s.
3. Bogensperger T., Moosbrugger T., Schickhofer G. New Test Configuration for CLT-Wall-Elements under Shear Load." *CIB W-18*, Bled, Slovenia, 2007.
4. Bosl R. Zum nachweise des Trag- und Verformungsverhaltens von Wandscheiben aus Brettsper Holz. Military University Munich, 2012.
5. Brandner R., Dietsch P., Dröschner J., Schulteßwrede M., Kreuzinger H., Sieder M. Cross laminated timber (CLT) diaphragms under shear: Test configuration, properties and design. *Constructions and Building Materials*. 2017. Vol. 147. P. 312-327.
6. Casagrande D., Rossi S., Sartori T., Tomasi R. Proposal of an analytical procedure and a simplified numerical model for elastic response of single-storey timber shear-walls. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 102. P. 1101–1112.
7. Flaig M., Blaß H. J. Shear Strength and Shear Stiffness of CLT-beams Loaded in Plane. *CIB W-18*, Bath, Vancouver, Canada, 2013.
8. Flaig M., Blass H.J. Keilgezinkte Rahmenecken und Satt eldachträger aus Brett sper Holz. *Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau 29, KIT Scientific Publishing*, Karlsruhe, 2015. 180 s.
9. Flatscher G., Schickhofer G. Displacement-based determination of laterally loaded cross-laminated timber (CLT) wall systems. *INTER/49-12-1*, 2016.
10. Hummel J., Seim W., Otto, S. Steifigkeit und Eigenfrequenzen im mehrgeschossigen Holzbau. *Bautechnik* 93, 2016, Hef 11 (781-794).
11. Jeitler G. Versuchstechnische Ermittlung der Verdrehungskenngrößen von orthogonal verklebten Brett lamellen (in German), Diploma Thesis, Graz University of Technology, Graz, 2004.
12. Jöbstl R. A., Bogensperger T., Moosbrugger T., Schickhofer G. A contribution to the Design and System Effect of Cross Laminated Timber (CLT). *CIB-W18*, 39-12-4, Florence, Italy, 2006.
13. Mestek, P., Punktgestützte Flächentragwerke aus Brettsper Holz (BSP) - Schubbemessung unter Berücksichtigung von Schubverstärkungen, Dissertation, Technische Universität München, 2011.
14. Silly G., Schubfestigkeit der BSP-Scheibe – numerische Untersuchung einer Prüfkfiguration. Forschungsbericht. Graz. 2014.
15. Silly G., Thiel A., Augustin M., "Options for the Resource Optimized Production of Lamina Load Carrying Members Based on Wood Products", in Proceedings of WCTE, 2016.
16. Silly G. Numerische Studie zur Drill- und Schubsteifigkeit von Brettsper Holz (BSP), Diploma Thesis at Institut für Holzbau und Holztechnologie, Technische Universität Graz, 2010.
17. Silly G., Thiel A. Analyse und numerische Simulation zur Entwicklung einer Prüfkfiguration für die Ermittlung der Rollschubkenngrößen von BSP-Elementen, Präsentation beim COMET area meeting, holz.bau forschung gmbh, Graz, 15 Oktober 2013.
18. Wallner G. Versuchstechnische Ermittlung der Verschiebungskenngrößen von orthogonal verklebten Brett lamellen, Diploma Thesis, Graz University of Technology, Graz, 2004.

References

1. Blaß, H. J., Görlacher, R. (2003). Bemessung im Holzbau – Brettsper Holz. Berechnungsgrundlagen. In *Holzbaukalender*. Bruderverlag, 580-598.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

2. Blaß, Hans Joachim; Sandhaas, Carmen (2016). *Ingenieurholzbau - Grundlagen der Bemessung*. KIT Verlag.
3. Bogensperger, T., Moosbrugger, T., and Schickhofer, G. (2007). *New Test Configuration for CLT-Wall-Elements under Shear Load*. *CIB W-18*, Bled, Slovenia.
4. Bosl R., (2012). *Zum nachweise des Trag- und Verformungsverhaltens von Wandscheiben aus Brettsperrholz*. Military University Munich.
5. Brandner, R., Dietsch, P., Dröscher, J., Schulteßwrede, M., Kreuzinger, H., Sieder, M. (2017). *Cross laminated timber (CLT) diaphragms under shear: Test configuration, properties and design*. *Constructions and Building Materials*, 147, 312-327.
6. Casagrande, D., Rossi, S., Sartori, T., and Tomasi, R. (2016). *Proposal of an analytical procedure and a simplified numerical model for elastic response of single-storey timber shear-walls*. *Construction and Building Materials*, 102, 1101–1112.
7. Flaig, M., Blaß, H. J. (2013). *Shear Strength and Shear Stiffness of CLT-beams Loaded in Plane*. *CIB W-18*, Bath, Vancouver, Canada.
8. Flaig, M., Blass, H. J. (2015). *Keilgezinkte Rahmenecken und Satteldachträger aus Brettsperrholz*. *Karlsruher Berichte zum Ingenieurholzbau 29*, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe.
9. Flatscher, G., Schickhofer, G. (2016). *Displacement-based determination of laterally loaded cross-laminated timber (CLT) wall systems*. *INTER/49-12-1*.
10. Hummel, J., Seim, W., Otto, S. (2016). *Steifigkeit und Eigenfrequenzen im mehrgeschossigen Holzbau*. *Bautechnik 93*, Hef 11 (781-794).
11. Jeitler, G. (2004). *Versuchtechnische Ermittlung der Verdrehungskenngrößen von orthogonal verklebten Brett lamellen (in German)*, Diploma Thesis, Graz University of Technology, Graz.
12. Jöbstl, R. A., Bogensperger, T., Moosbrugger, T., Schickhofer, G. (2006). *A contribution to the Design and System Effect of Cross Laminated Timber (CLT)*. *CIB-W18*, 39-12-4, Florence, Italy.
13. Mestek, P., *Punktgestützte Flächentragwerke aus Brettsperrholz (BSP) - Schubbemessung unter Berücksichtigung von Schubverstärkungen*, Dissertation, Technische Universität München, 2011.
14. Silly G., *Schubfestigkeit der BSP-Scheibe – numerische Untersuchung einer Prüfkfiguration*. Forschungsbericht. Graz. 2014.
15. Silly, G., Thiel, A., Augustin, M. (2016). *Options for the Resource Optimized Production of Laminar Load Carrying Members Based on Wood Products*. *In Proceedings of WCTE*.
16. Silly G. (2010). *Numerische Studie zur Drill- und Schubsteifigkeit von Brettsperrholz (BSP)*, Diploma Thesis at Institut für Holzbau und Holztechnologie, Technische Universität Graz.
17. Silly, G., Thiel, A. (2013). *Analyse und numerische Simulation zur Entwicklung einer Prüfkfiguration für die Ermittlung der Rollschubkenngrößen von BSP-Elementen*, Präsentation beim COMET area meeting, holz.bau forschung gmbh, Graz, 15 Oktober 2013.
18. Wallner, G. (2004). *Versuchstechnische Ermittlung der Verschiebungskenngrößen von orthogonal verklebten Brett lamellen*, Diploma Thesis, Graz University of Technology, Graz.

UDC 624.011

Andrii Bidakov, Oksana Pustovoitova, Ievgenii Raspopov, Strashko Bogdan

STRENGTH OF CLT PANELS BY SHEAR AND TORSION

Urgency of the research. *Positive experience with the use of CLT panels in distress has been observed for a long time in Eastern Europe and is considered necessary to study the strength and factors affecting the load-bearing capacity of this type of structures made of transverse glued wood (CLT).*

Target setting. *An integral important issue for CLT panels is torsional strength, which has a scheme of destruction by chipping layers of boards and requires the establishment of the main factors of influence to assess the load-bearing capacity of this type of stress.*

Actual scientific researches and issues analysis. *Shear and torsional strength is one of the main issues in the strength of CLT panels as an orthotropic plate, which has interested many researchers from different countries, including Blaß, Görlacher (2002) [1], Bosl (2002) [4], Jeitler (2004) [11], Jöbstl, Bogensperger, Schickhofer [12], Wallner (2004) [18], Bogensperger, Moosbrugger (2007) [3], Silly (2010) [14, 15], Hirschmann (2011), Blaß, Flaig (2012) [2], Dröscher, Brandner, Kreuzinger, Sieder (2013), Dietsch (2017), Serrano (2018).*

Uninvestigated parts of general matters defining. *The issue of identifying factors influencing the bearing capacity of PKD panels during shear and torsion has not been resolved.*

The purpose of the article. *Establishment of the main factors of influence for an estimation of bearing capacity of CLT of panels at shift and torsion.*

The presentation of the main material. Cross laminated timber, as a sheet building material based on layers of boards with mutually perpendicular arrangement of boards in adjacent layers, has a number of important factors that affect the strength of CLT panels in shear and torsion. Thirty years of world experience in the use of CLT panels in multi-storey construction proves the importance of considering different models of panels as diaphragms and rigid frame elements from panel-frame buildings. Particular attention is paid to the nature of the destruction of the panel for chipping, both in the plane of the panel and from the plane. The importance of this type of stress state is further enhanced by a group of different shear or group of test schemes according to EN16351, including rolling shear strength tests. The latter value of strength is a new phenomenological feature of CLT panels.

Conclusions and suggestion. Based on experimental studies of the strength of the glued rods in the cross section of CLT panel, the change in strength depending on the diameter of the metal rod and its location in the cross section, which is characterized by alternation of mutually transverse layers of boards.

Keywords: shear strength; cross laminated timber; CLT, calculation method; shear deformation; torsion; shear stiffness.

References: 18.

Бідаков Андрій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельної конструкції Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова. (вул. Бажанова, 26, м. Харків, 61000, Україна).

Bidakov Andrii – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of «Building construction» department, O. M. Beketov National University of Urban Economy (26 Bazhanova Str., 61000 Kharkiv, Ukraine).

E-mail: bidakov@kname.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6394-2247>

Пустовойтова Оксана Михайлівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельної конструкції Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова. (вул. Бажанова, 26, м. Харків, 61000, Україна).

Pustovoitova Oksana – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of «Building construction» department, O. M. Beketov National University of Urban Economy (26 Bazhanova Str., 61000 Kharkiv, Ukraine).

E-mail: oksana_pustov@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4078-4834>

Распопов Євген Анатолійович – аспірант кафедри будівельної конструкції Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова (вул. Бажанова, 26, м. Харків, 61000, Україна).

Raspovov Ievgenii – PhD student of «Building construction» department, O. M. Beketov National University of Urban Economy (26 Bazhanova Str., 61000 Kharkiv, Ukraine).

E-mail: raspovovkm@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5084-5533>

Страшко Богдан Олександрович – аспірант кафедри будівельної конструкції Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова. (вул. Бажанова, 26, м. Харків, 61000, Україна).

Bogdan Strashko – PhD student of «Building construction» department, O.M.Beketov National University of Urban Economy (26 Bazhanova Str., 61000 Kharkiv, Ukraine).

E-mail: bogdanstrashko@outlook.com