

**ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ З'ЄДНАНЬ  
ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ГВИНТАХ, ЩО СПРИЙМАЮТЬ  
ОСЬОВІ ЗУСИЛЛЯ РОЗТЯГУ**

**OVERVIEW OF CURRENT METHODS FOR CALCULATING SCREW  
JOINTS IN WOODEN STRUCTURES UNDER AXIAL TENSILE FORCES**

**Іванюк А.М., к.т.н., доцент, ORCID:0000-0002-2314-4061, Бережнюк С.В.,  
аспірант, ORCID:0009-0004-9778-5058 (Національний університет водного  
господарства та природокористування, м. Рівне)**

**Ivaniuk A., candidate of technical sciences associate professor, Berezhnyak S.,  
graduate student, (National university of water management and nature resources  
use, Rivne)**

Приведений короткий огляд існуючих методик розрахунку з'єднань дерев'яних конструкцій з використанням гвинтів, що сприймають осьові зусилля розтягу. Виконаний аналіз методик розрахунку з'єднань дерев'яних конструкцій з використанням гвинтів, що сприймають осьові зусилля розтягу.

Designing wooden structures presents significant challenges, particularly in calculating joint connections. The design of these connections primarily depends on the magnitude of the forces acting on them. Research into the operation of screws under axial tensile forces dates back to the 1920s and 1930s, establishing the influence of pre-drilled holes and screw length on load-bearing capacity.

Subsequent studies have explored the factors affecting screw pull-out resistance, including screw diameter, wood density, screw length, pre-drilled hole diameter, the orientation of screwing (radial, tangential, or longitudinal), extraction speed, and lubrication during insertion. Currently, two methods for determining screw pull-out resistance are recognized: experimental, based on regression analysis, and theoretical, grounded in Volkersen's theory.

An analysis of existing methods for calculating screw joints under axial tensile forces reveals that the standard procedure, which determines the load-bearing capacity, applies when the screw axis is angled between 30° and 90° to the wood grain and for screws with a diameter of 12mm or less. However, in situations where significant internal forces act on wooden structures, smaller diameter screws may not suffice. Today, a variety of screws are available with differing geometric parameters, such as diameter, thread pitch, and thread angle.

**Therefore, new calculation methods are needed to account for the unique performance characteristics of these modern screws.**

### **Ключові слова**

дерев'яні конструкції, гвинти, з'єднання, міцність деревини на висмикування. wooden structures, screws, joints, pull-out strength, wood connections.

**Вступ.** При проектуванні дерев'яних конструкцій найбільш складним завданням є конструювання та розрахунку вузлових з'єднань. Конструктивні рішення вузлових з'єднань елементів дерев'яних конструкцій в основному залежать від величини зусиль, що виникають в них. На теренах нашої країни більшість з'єднань елементів дерев'яних конструкцій виконується на механічних зв'язках (клейовий шов, циліндричні нагелі, металеві зубчасті пластини, кільцеві шпонки, цвяхи, шурупи). Як показує закордонний досвід, при проектуванні дерев'яних конструкцій широко використовують механічні зв'язки, такі як гвинти, які у вузлових з'єднаннях в основному сприймають осьові зусилля розтягу та стиску.

Так як деревина є анізотропним матеріалом, тобто її механічні властивості різні в різних напрямках і залежать від кута між напрямком дії зусилля та напрямком волокон. Як наслідок, міцність і жорсткість, а особливо розтяг перпендикулярно волокна, сколювання вздовж, мають малі значення. Тому, для збільшення міцності і жорсткості вцілому конструктивних елементів з деревини, рекомендують використовувати гвинти для посилення слабких ділянок.

**Основна частина.** Дослідження роботи гвинтів, що сприймають осьові зусилля розтягу, були проведені в 20-х, 30-х роках минулого століття та висвітлені в працях [3-5]. Тут висвітлено вплив на несучу здатності гвинта попередньо влаштованого отвору [3, 5] і розрахункової довжини гвинта [5]. Слід відмітити, що в [5] була отримана лінійна залежність для визначення опору гвинта при висмикуванні на дюйм довжини.

В наступних дослідженнях [6-10] опір на висмикування гвинта з масиву деревини розглядався в залежності від діаметру гвинта, густини деревини, довжини загвинчення, діаметра попередньо підготовленого отвору, радіального, тангенціального чи поздовжнього напрямку загвинчення, швидкості витягування та змазки при загвинченні. Результати досліджень наведені в [3-10] були отримані на основі експериментальних даних.

В даний час науковці виділяю дві методики для визначення опору на висмикування гвинта з масиву деревини – експериментальна і теоретична. Основою для експериментальної є результати регресійного аналізу результатів випробувань, а для теоретичної – теорія Volkersen [11].

Велика кількість випробувань є основою в роботах [12, 13]. При цьому змінними параметрами були: діаметр гвинта, довжина анкерування гвинта в масиві деревини, кут між нахилом осі гвинта та напрямком волокон, а також

густина деревини. В результаті регресивного аналізу експериментальних даних було отримано вираз для визначення несучої здатності гвинта при висмикуванні з масиву деревини

$$R_{ax,\alpha,Rk} = \frac{0,52 \cdot \sqrt{d} \cdot l_{ef}^{0,9} \cdot \rho_k^{0,8}}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}, \quad (1)$$

тут  $d$  – діаметр гвинта, мм;

$l_{ef}$  – розрахункова довжина анкерування, мм;

$\rho_k$  – характеристичне значення густини деревини, кг/м<sup>3</sup>;

$\alpha$  – кут між нахилом осі гвинта та напрямком волокон, град.

Вираз (1) є основою ДБН В.2.6-161:2017 та ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1:2010 Єврокод 5 [1, 2].

В працях [14, 15] виконаний аналіз низки результатів експериментальних досліджень гвинтів, влаштованих в масивах з цільної та клеєної деревини. Використані гвинти двох виробників. Тут було вивчено вплив на міцність деревини при висмикуванні гвинта з масиву наступних параметрів: вологість, температура, діаметр гвинта, розрахункова довжина, довжина анкерування нарізної частини гвинта, нахил осі гвинта до напрямку волокон деревини, а також попереднє влаштування отворів. Вплив кожного із параметрів на значення опору деревини на висмикування гвинта з масиву враховано відповідними коефіцієнтами  $k$ , який отриманими за результатами експериментів. Отримали наступний вираз

$$f_{ax} = A \cdot \rho_{test} + B \cdot (2,44 \cdot d^{0,572}) + C, \quad (2)$$

де  $A, B, C$  – регресивні параметри;

$\rho_{test}$  – експериментальна густина деревини;

$d$  – діаметр гвинта.

Вираз (2) відображає середню або характеристичну міцності деревини на висмикування, яку отриманих за результатами експериментальних досліджень при постійних температурно-вологісних умовах, як функція від густини деревини і діаметра гвинта. Значення регресивних параметрів  $A, B, C$  приведені в [13, 15].

В працях [16, 17] наведений універсальний підхід для визначення характеристик деревини на висмикування гвинта з масиву. Основою для цього підходу є велика кількість результатів випробувань для визначення міцності та жорсткості на висмикування гвинтів з масиву деревини. Було запропоновано вираз (3) для визначення характеристик на висмикування гвинта з масиву деревини

$$X = k_{ax} \cdot k_{sys}(N) \cdot X_{ref} \cdot \left( \frac{\rho}{\rho_{ref}} \right)^{k_{\rho}}, \quad (3)$$

де  $X = \{f_{ax}, k_{ax,ser}\}$  представляє міцність деревини на висмикування  $f_{ax} = F_{ax}/(\pi \cdot d \cdot l_{ef})$  чи жорсткість на висмикування, розподілену на одиницю поверхні, тобто  $k_{ax,ser} = K_{ax,ser}/(\pi \cdot d \cdot l_{ef})$ . Коефіцієнт  $k_{ax}$  враховує вплив кута

нахилу  $\alpha$ ;  $k_{sys}(N)$  – коефіцієнт міцності системи гвинтів, занурених в  $N$  шарів клеєного елемента;  $k_p$  – коефіцієнт, що враховує зміну густини деревини відносно стандартної.

Характеристичне значення міцності деревини на висмикування гвинта з масиву для стандартної густини визначається за виразом

$$f_{ax,ref,k} = 0,013 \cdot \rho_{ref,k}^{1,11} \cdot d^{-0,33}, \quad (4)$$

де  $d$  – діаметр гвинта, мм;

$\rho_{ref,k}$  – характеристична густина деревини, прийнято як стандартну.

В праці [18] запропонований наступний підхід для визначення характеристичної міцності деревини на висмикуванні з масиву, отриманий на основі випробувань, понад 2400 зразків. Змінними параметрами були діаметр гвинта  $d$ , кут нахилу осі гвинта до напрямку волокон  $\alpha$ , розрахункова довжина  $l_{ef}$ , густина деревини  $\rho$ , крок різьби та внутрішній діаметр гвинта  $d_c$ . Слід відмітити, що за результатами випробувань встановлено, що крок різьби не суттєво впливає на значення несучої здатності при висмикуванні з масиву. За результатами проведених випробувань були отримані наступні вирази:

$$\ln(F_{ax}) = 6,739 + 0,03257 \cdot l_{ef} + 2,148 \cdot 10^{-4} \cdot d \cdot \rho - 1,171 \cdot 10^{-4} \cdot l_{ef}^2 + e; \quad (5)$$

$$\ln(F_{ax}) = 2,359 - 0,04172 \cdot d + 2,039 \cdot 10^{-3} \cdot \rho + e. \quad (6)$$

Вирази (5) і (6) відображають залежність несучої здатності гвинта при висмикуванні з масиву деревини і міцності деревини на висмикування від густини деревини.

Спростивши вираз (6) отримаємо (7) для визначення характеристичного значення міцності на висмикування

$$f_{ax,k} = 0,0872 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,4119}. \quad (7)$$

В основу теоретичних моделей покладена теорія Volkersen [11], яка з самого початку була розроблена для з'єднань на заклепках. Ця теорія отримала своє підтвердження в роботах [19, 20] для гвинтів влаштованих вздовж чи поперек волокон.

Теорія Volkersen [11] була успішно застосована для гвинті, що працюють на осьові зусилля. Теорія і припущення дуже схожі з моделлю приведеною в [21].

Розглядаються ділянка різьби гвинта, встановленого паралельно до волокон дерев'яного елемента і напружений стан безкінечно тонкої пластини товщиною  $dx$ . Припускають, що гвинт та деревина знаходяться в стані чистого осьового розтягу і їх робота лінійно-пружна:

$$\sigma_s(x) = E_s \cdot \varepsilon_s(x); \quad (8)$$

$$\sigma_w(x) = E_w \cdot \varepsilon_w(x), \quad (9)$$

де  $\sigma$  – осьові напруження;

$E$  – модуль пружності;

$\varepsilon$  – осьові деформації.

Індекси  $s$  і  $w$  означають гвинт та деревину відповідно. Тут  $E_w$  – модуль пружності деревини паралельно волокон.

Припускають, що всі деформації зсуву проходять в безкінечно тонкому шарі, який знаходиться в стані чистого зсуву. Напруження зсуву позначаються  $\tau(x)$ . Зміщення зсуву поверхні контакту  $\delta(x)$  дорівнюють зміщенню між гвинтом і деревиною

$$\delta(x) = u_s(x) - u_w(x). \quad (10)$$

Залежність між  $\tau(x)$  і  $\delta(x)$  прийнята лінійною

$$\tau(x) = \Gamma \cdot \delta(x), \quad (11)$$

де  $\Gamma$  – параметр жорсткості зсуву поверхні контакту.

Параметри  $\alpha$  і  $\omega$  визначаються за виразами:

$$\alpha = \frac{E_w A_w}{E_s A_s}; \quad (12)$$

$$\omega = \sqrt{\pi d \Gamma^2 \cdot \left( \frac{1}{E_s A_s} + \frac{1}{E_w A_w} \right)}, \quad (13)$$

де  $A_s$  – площа поперечного перерізу гвинта;

$A_w$  – площа поперечного перерізу дерев'яного елемента.

Статичну рівновагу безкінечно тонкої пластини товщиною  $dx$  і використовуючи вирази (8)-(13) привели до диференційного рівняння

$$\frac{d^2 \delta(x)}{dx^2} - \left( \frac{\omega}{l} \right) \cdot \delta(x) = 0. \quad (14)$$

Розв'язання наведеного рівняння, а також закони розподілення напружень і переміщень залежать від умов навантаження:

- для випадку коли зусилля на висмикування прикладене до гвинта і нижньої грані масиву деревини (висмикування-висмикування).

Закон розподілення дотичних напружень зсуву має вигляд

$$\tau(x) = - \frac{P \omega}{\pi d l (1 + \alpha) \sinh \omega} \cdot \left( \cosh \left( \frac{\omega x}{l} \right) + \alpha \cosh \left( \omega \left( 1 - \frac{x}{l} \right) \right) \right). \quad (15)$$

Вираз (15) представляє гіперболічну функцію, що має абсолютний максимум при  $x=0$  чи  $x=l$  і залежить від значення  $\alpha$ . Несуча здатність при висмикуванні гвинта з масиву деревини  $P_{u,w}$  визначається з виразу (16) і отримана шляхом підставлення максимальних напружень зсуву відповідно до виразу (15), тобто  $\tau_{\max} = \max(\tau(0), \tau(l))$  і дорівнює міцності деревина на зсув  $f_v$ , тобто використовується критерій максимальних напружень

$$\frac{P_{u,w}}{\pi d l f_v} = \frac{(1 + \alpha) \sinh \omega}{\omega} \begin{cases} \frac{1}{\alpha + \cosh \omega}, & \alpha \leq 1 \\ \frac{1}{1 + \alpha \cdot \cosh \omega}, & \alpha \geq 1 \end{cases}. \quad (16)$$

Жорсткість при висмикуванні гвинта з масиву визначається як

$$K_w = \pi dl \Gamma \frac{(1 + \alpha) \sinh \omega}{\omega (1 + \alpha \cosh \omega)}. \quad (17)$$

- для випадку коли зусилля на висмикування прикладене до гвинта, зусилля стиску – до верхньої грані масиву деревини (висмикування-вдавлювання).

Закон розподілення напружень зсуву має вигляд

$$\tau(x) = -\frac{P\omega}{\pi dl} \cdot \frac{\cosh\left(\omega\left(1 - \frac{x}{l}\right)\right)}{\sinh \omega}. \quad (18)$$

Вираз (18) представляє монотонну гіперболічну функцію, що має абсолютний максимум завжди при  $x=0$ . Несуча здатність при висмикуванні гвинта з масиву деревини  $P_{u,w}$  визначається з виразу (19) і отримана шляхом підставлення максимальних напружень зсуву відповідно до виразу (18), тобто  $\tau_{\max}=\tau(0)$  і дорівнює міцності деревина на зсув  $f_v$ . Жорсткість при висмикуванні гвинта з масиву визначається за виразом (20):

$$\frac{P_{u,w}}{\pi dl f_v} = \frac{\tanh \omega}{\omega}, \quad (19)$$

$$K_w = \pi dl \Gamma \frac{\tanh \omega}{\omega}. \quad (20)$$

В роботах [19, 20] були отримані ті самі вирази, що й в [21], для гвинтів, що сприймають осьові зусилля, встановлених вздовж чи поперек волокон. В цих виразах параметр  $f_v$  замінили на міцність деревини на висмикування ( $f_{w,0}$  і  $f_{w,90}$ ), яка визначалась за результатами випробовувань зразків з малою довжиною анкерування. Параметр жорсткості зсуву поверхні контакту  $\Gamma$  також можна визначити за результати цих випробовувань. В залежності від кута  $\alpha$  був використаний відповідний модуль пружності ( $E_{w,0}$  и  $E_{w,90}$ ). Так в роботі [19] приведено підтвердження якісної схожості експериментальних даних і даних визначених за виразами (19)-(20). Але, значення несучої здатності недооцінене за виразом (19) при максимальній довжині анкерування (280 мм).

В роботах [22-24] наведена модифікована версія моделі з [21]. Модель можна застосовувати для гвинтів встановлених паралельно напрямку волокон.

Вирази (16) і (19) були представлені наступним чином:

- для випадку, коли зусилля на висмикування прикладене до гвинта і нижньої грані масиву деревини (висмикування-висмикування)

$$\frac{P_{u,w}}{\pi dl(f_v - \tau_{ini})} = \frac{l_0}{l} (1 + \alpha) \cdot \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{\frac{\sinh\left(\omega \cdot \frac{l_0}{l}\right)}{\sinh \omega} + \alpha \left(1 - \frac{\sinh\left(\omega \left(1 - \frac{l_0}{l}\right)\right)}{\sinh \omega}\right)} \\ \frac{1}{1 - \frac{\sinh\left(\omega \left(1 - \frac{l_0}{l}\right)\right)}{\sinh \omega} + \alpha \frac{\sinh\left(\omega \cdot \frac{l_0}{l}\right)}{\sinh \omega}} \end{array} \right\}; \quad (21)$$

- для випадку, коли зусилля на висмикування прикладене до гвинта, а зусилля стиску – до верхньої грані масиву деревини (висмикування-вдавлювання)

$$\frac{P_{u,w}}{\pi dl(f_v - \tau_{ini})} = \frac{l_0}{l} \cdot \frac{1}{1 - \frac{\sinh\left(\omega \left(1 - \frac{l_0}{l}\right)\right)}{\sinh \omega}}. \quad (22)$$

Результати отримані за виразами (21) і (22), були співставленні в роботі [24] з результатами випробувань. Встановлено, що значення несучої здатності гвинта при висмикуванні для невеликих значень довжини анкетування  $l$  переоцінені, а для максимальних значень  $l$  – недооцінені.

В діючих нормативних документах наведені наступні моделі для розрахунку з'єднання дерев'яних конструкцій на гвинтах.

Відповідно до [2] характеристичне значення  $F_{Rk}$  несучої здатності гвинта в з'єднаннях елементів, що сприймають осьові зусилля розтягу, визначається як мінімальне значення з наступних трьох умов:

- руйнування деревини при висмикуванні гвинта з масиву;
- руйнування деревини при продавлюванні головки гвинта;
- руйнування тіла гвинта при розтягуванні.

Характеристичне значення несучої здатності  $F_{ax,\alpha,Rk}$  гвинтів в з'єднаннях при висмикуванні під кутом  $\alpha$  до напрямку волокон визначається як

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}, \quad (23)$$

де  $n_{ef}$  – розрахункова кількість гвинтів;

$$n_{ef} = n^{0,9}, \quad (24)$$

тут  $n$  – кількість гвинтів, що працюють спільно в з'єднанні;

$f_{ax,k}$  – характеристичне значення міцності на висмикування перпендикулярно до волокон деревини;

$$f_{ax,k} = 0,52 \cdot d^{-0,5} \cdot l_{ef}^{-0,1} \cdot \rho_k^{0,8}, \quad (25)$$

тут  $d$  – номінальний діаметр гвинта;  
 $l_{ef}$  – розрахункова довжина;  
 $\rho_k$  – характеристичне значення густини деревини;  
 $k_d$  – коефіцієнт, що знаходиться за виразом;

$$k_d = \min \left\{ \frac{d}{8}, 1 \right\}, \quad (26)$$

$\alpha$  – кут між напрямком волокон деревини і прикладеним зусиллям.

Слід зазначити, що вираз (23) справедливий для гвинтів, що задовольняють вимоги [25], зовнішнім діаметром  $d$  різьби від 6 до 12 мм і відношення внутрішнього діаметра  $d_I$  до зовнішнього  $d$  знаходяться в межах від 0,6 до 0,75.

Якщо вимоги [25] відносно внутрішнього і зовнішнього діаметрів різьби гвинта не виконуються, то характеристичне значення несучої здатності при висмикуванні  $F_{ax,\alpha,Rk}$  визначаються за наступним виразом

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \cdot \left( \frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8}, \quad (27)$$

де  $f_{ax,k}$  – характеристичне значення міцності деревини на висмикування перпендикулярно до волокон деревини, МПа, визначають згідно [12] в залежності від зв'язної густини  $\rho_a$ ;

$\rho_a$  – густина деревини елемента при визначенні  $f_{ax,k}$ , кг/м<sup>3</sup>.

Характеристичне значення несучої здатності  $F_{c,\alpha,Rk}$  при стиску під головкою гвинта, деревини під кутом  $\alpha$  до напрямку волокон визначають за виразом

$$F_{c,\alpha,Rk} = n_{ef} \cdot f_{head,k} \cdot d_h^2 \cdot \left( \frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8}, \quad (28)$$

тут  $f_{head,k}$  – характеристичне значення міцності деревини на стиск під головкою гвинта, визначають згідно [25] в залежності від зв'язної густини  $\rho_a$ ;

$d_h$  – діаметр головки гвинта, мм.

Характеристичне значення несучої здатності  $F_{t,Rk}$  гвинтового з'єднання на розрив чи зріз головки при розтягуванні визначають за виразом

$$F_{t,Rk} = n_{ef} \cdot f_{tens,k}, \quad (29)$$

тут  $f_{tens,k}$  – характеристичне значення гвинта на осьовий розтяг чи зріз головки, Н; визначають згідно [25].

**Висновки.** В результаті проведеного аналізу існуючих методик розрахунку з'єднань дерев'яних конструкцій на гвинтах, що сприймають осьові зусилля розтягу, встановлено, що методику наведену в [1, 2] для визначення несучої здатності гвинтових з'єднань доцільно використовувати при куті нахилу осі гвинта до напрямку волокон деревини від 30о до 90о і для гвинтів з характеристиками наведеними в [25], тобто з діаметром гвинтів, що не перевищує 12 мм. Слід зазначити, що використання гвинтів у вузлових



з'єднаннях дерев'яних конструкцій в місцях дії значних за величиною внутрішніх зусиль, не завжди може сприйматися гвинтами з малим діаметром. Сьогодні пропонує велику кількість гвинтів, які відрізняються за своїми геометричними параметрами, такими як діаметр, крок різьби, кут нахилу різьби до осі гвинта, від параметрів гвинтів наведених в [25]. Тому для нового типу гвинтів мають розроблятися методики, що враховують особливості їх роботи.

1. ДБН В.2.6-161:2017. Дерев'яні конструкції. Основні положення. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Київ: 2017.

DBN V.2.6-161:2017. Wooden structures. Substantive provisions. Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine. – Kyiv: 2009.

2. ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1:2010 Єврокод 5. Проектування дерев'яних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1995-1-1:2004, IDT). Зміна № 1.

DSTU-N B EN 1995-1-1:2010 Yevrokod 5. Proektuvannia derev'ianykh konstrukttsii. Chastyna 1-1. Zahalni pravyla i pravyla dlia sporud (EN 1995-1-1:2004, IDT). Zmina № 1.

3. Fairchild, I.J. (1926) Holding power of wood screws. Washington: Department of Commerce.

4. Cockrell, R.A. (1933) A study of the screw-holding properties of wood / New York State College of Forestry. Syracuse, New York. – Technical Publication No. 44.

5. Newlin, J.A., Gahagan, J.M.: Lag-screw joints: Their behavior and design / United States Department of Agriculture. Washing- ton, D. C., Januar 1938. – Technical bulletin No. 597.

6. Wilkinson, Th.L., Laatch, Th.R. (1970) Lateral and withdrawal resistance of tapping screws in three densities of wood. Forest Products Journal, 7, 34–41.

7. Kјucukov, G., Encev, Enco (1977) Der Einfluss der Schraubenabmessungen auf den Auszieh- widerstand bei Rotbuchenholz. Holztechnologie, 3, 149–151.

8. McLain, Th.E. (1997) Design axial withdrawal strength from wood: I. Wood screws and lag screws. Forest Products Journal, 5, 77–84.

9. Soltis, L.A. (1999) Wood handbook – Wood as an engineering material. Madison, WI: U.S.: United States Government Printing (USDA Agricultural Handbook General technical report FPLGTR-113).

10. Jablonkay, P. (1999) Schrauben auf Ausziehen, ETH Zürich, Forstwissenschaften, Abteilung VI, Diplomarbeit.

11. Volkersen, O. (1938) Die Nietkraftverteilung in zugbeanspruchten Nietverbindungen mit konstanten Laschenquerschnitten Luftfahrtforschung, 15, 41-47.

12. Blaß H.J., Bejtka I., Uibel T. (2006) Tragfähigkeit von verbindungen mit selbstbohrenden holzschrauben mit vollgewinde. Karls-ruhe: Universitätsverlag Karlsruhe.

13. Blaß H.J., Krüger O. (2010) Schubverstärkung von Holz mit Holzschrauben und Gewindestangen. Karlsruhe: KIT ScientificPublishing.

14. Pirnbacher G., Brandner R., Schickhofer G. (2009) Base parameters of self-tapping screws. Proceedings of the 42nd CIB-W18meeting Dübendorf, Switzerland.

15. Pirnbacher G., Schickhofer G. (2010) Load bearing- and optimization potential of self-tapping wood screws. Proceedings of WCTE 2010 - World Conference on Timber Engineering, 1228-1238.

16. Ringhofer A., Brandner R., Schickhofer G. (2015) A universal approach for withdrawal properties of self-tapping-screws in solid timber and laminated timber products. Proceedings of the 2nd INTER meeting Šibenik, Croatia.
17. Ringhofer A, Schickhofer G. (2014) Influencing parameters on the experimental determination of the withdrawal capacity of self-tapping screws. Proceedings of WCTE 2014 - World Conference on Timber Engineering. Quebec City, Canada.
18. Frese M., Blaß H.J. (2009) Models for the calculation of the withdrawal capacity of self-tapping screws. Proceedings of the 42nd CIB-W18 meeting Dübendorf, Switzerland.
19. Nakatani M., Komatsu K. (2004) Development and verification of theory on pull-out properties of Lagscrewbolted timber joints. Proceedings of the 8th World Conference on Timber Engineering. Lahti, Finland, 95-99.
20. Nakatani M., Komatsu K. (2005) Expression mechanism of pull-out performance in lagscrewbolted timber joints II. Development of theory on pull-out properties parallel to the grain. Mokuzaï Gakkishi, 51, 311-307.
21. Jensen J.L., Koizumi A., Sasaki T., Tamura Y., Iijima Y. (2001) Axially loaded glued-in hardwood dowels. Wood Science and Technology, 35, 73-83.
22. Jensen J.L., Quenneville P., Nakatani M. (2010) Withdrawal of lag screws in end-grain. Proceedings of WCTE 2010 – World Conference on Timber Engineering. Trentino, Italy, 1921-1925.
23. Jensen J.L., Nakatani M., Quenneville P., Walford B. (2011) A simple unified model for withdrawal of lag screws and glued-in rods. European Journal of Wood and Wood Products, 69, 537-544.
24. Jensen J.L., Nakatani M., Quenneville P., Walford B. (2012) A simplified model for withdrawal of screws from end-grain of timber. Construction and Building Materials, 29, 557-563.
25. ДСТУ EN 14592:2019 Конструкції дерев'яні. Кріпильні деталі типу штифта. Вимоги (EN 14592:2008 + A1:2012, IDT)
- DSTU EN 14592:2019 Konstruktsii dereviani. Kripylni detali typu shtyfta. Vymohy (EN 14592:2008 + A1:2012, IDT)