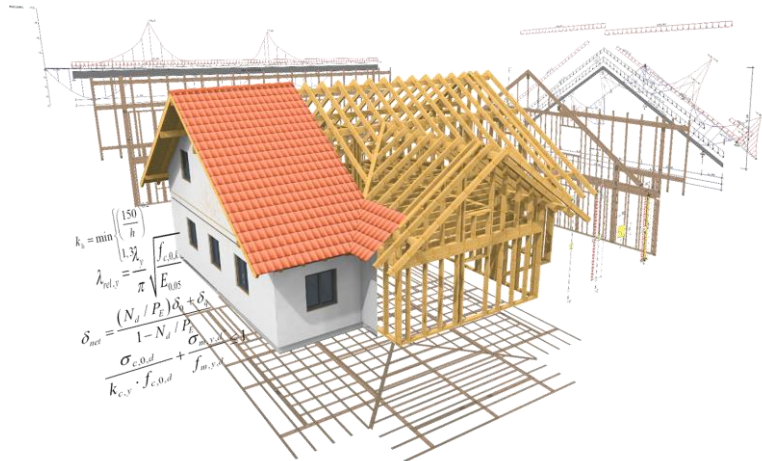




Конструкції з деревини

курс лекцій для студентів спеціальності 192 - «Будівництво та цивільна інженерія» всіх форм навчання



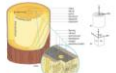
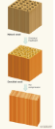
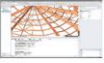
Зміст

1. [Історія використання деревини](#)
2. [Структура деревини](#)
3. [Властивості матеріалу I](#)
4. [Властивості матеріалу II](#)
5. [Властивості матеріалу III](#)
6. [Матеріали з деревини](#)
7. [Розрахунок конструкцій з деревини \(загальні положення\)](#)
8. [Розрахунки за міцністю і стійкістю конструкції \(ULS\)](#)
9. [Розрахунки за експлуатаційною придатністю \(SLS\)](#)
10. [Розрахунок елементів із клеєної деревини](#)
11. [Розрахунок композитних дерев'яних балок та панелей](#)
12. [З'єднання в конструкціях з деревини](#)
13. [Довговічність конструкцій з деревини](#)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6-16 1:2017, EN 1995-1-1

2



 1. Історія використання деревини	 2. Структура деревини	 3. Властивості матеріалу I	 4. Властивості матеріалу II короточкі матеріальні властивості
 5. Властивості матеріалу III Властивості (доповнює попередні деревини)	 6. Матеріали з деревини	 7. Розрахунок конструкцій з деревини (загальні положення)	8. Розрахунок за міцністю і стійкістю конструкції Ultimate limit states (ULS)
 9. Розрахунок за експлуатаційною придатністю (SLS)	 10. РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ	 11. РОЗРАХУНОК КОМПЗИТНИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК ТА ПАНЕЛЕЙ	 12. З'єднання в конструкціях з деревини
 13. Довговічність Захист деревини, покрива та консервація			

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

3







1. Історія використання деревини

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

4



Склад в Японії IV століття д.н.е



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

5



Шотландський креног (фортеця) на озері ЛохТей збудований 500 років тому



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

6



Дерев'яна церква в Норвегії 13 століття



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

7



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

8



Сучасне використання деревини

- Житло
- Комерційні будівлі та інші споруди
- Меблі
- Інше....



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

9



Міст через річку Сіне (Швейцарія)

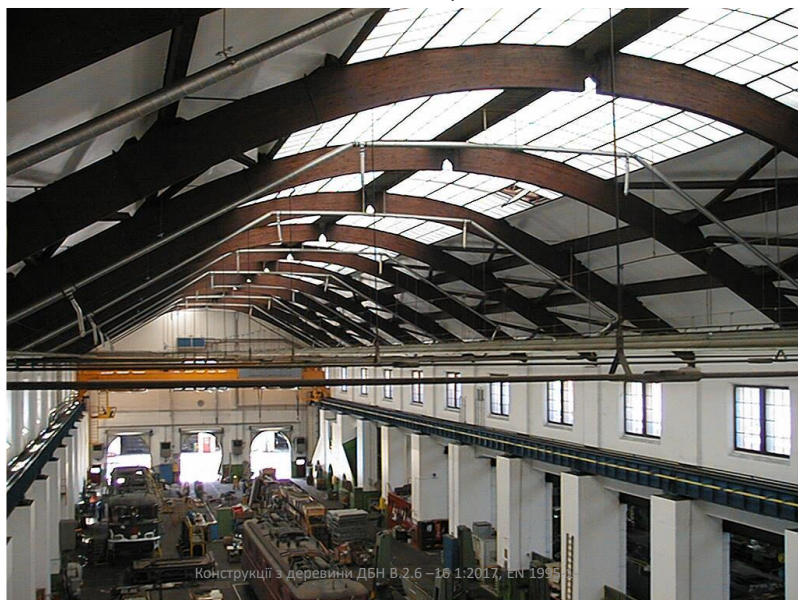


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

10



100 річні клеєні балки залізничного депо в Беллінзоні, Італія



11



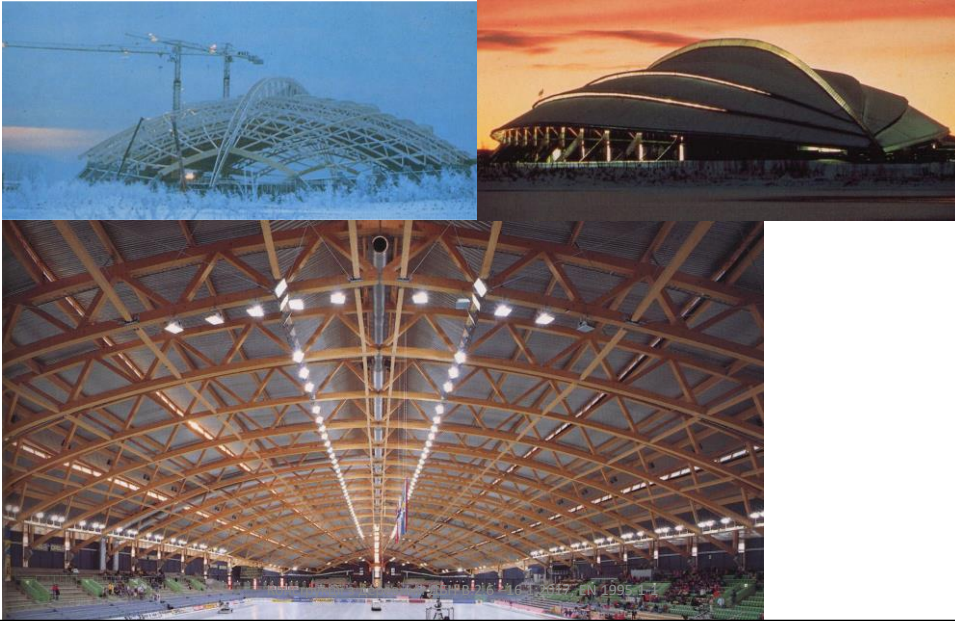
Архітектурний факультет (Ліон)



12



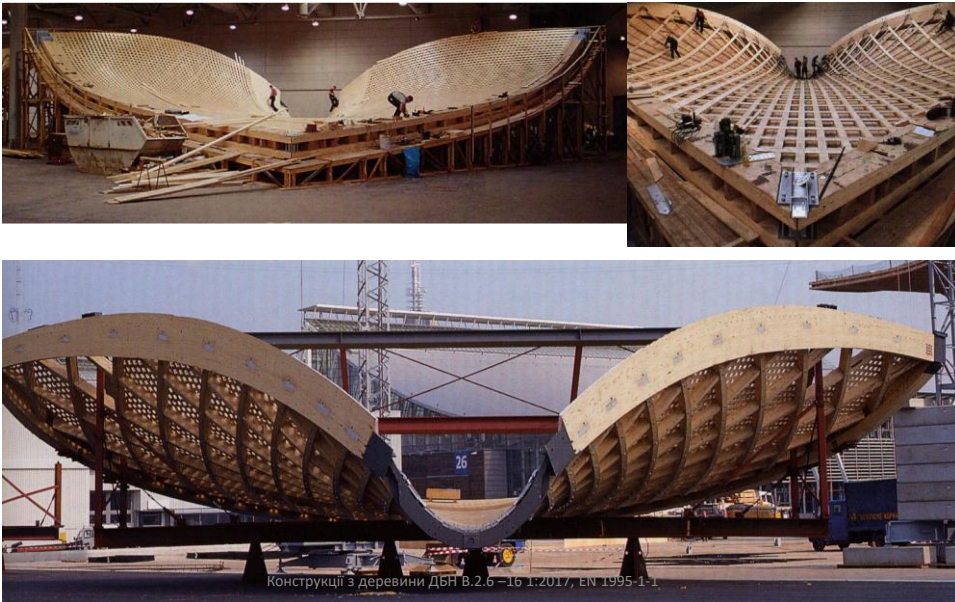
Олімпійський каток Лілі Хаммер, Норвегія, 1994 клеєні балки ферм, прогін: 97м



13



Виробництво дерев'яних «парасольок» на Ехро 2000, Ганновер



Конструкції з деревини ДБН В.2.6-16:2017, ЕН 1995-1-1

14





Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

15



Міст, Вербіндун (виробник – HESS)



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

16



7-ми поверховий дерев'яний будинок, Берлін, 2011



17



10-поверхова дерев'яна будівля, Мельбурн, Австралія 2013



18



Будівництво у Ванкувері



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

19



міст - Нідерланди



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

20



Елемент мосту. Міст зроблено з модифікованої деревини



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

21

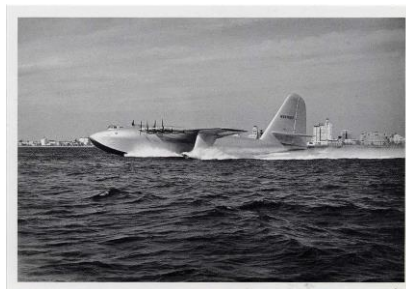


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

22



Деревина
використовувалася для
будівництва літаків!

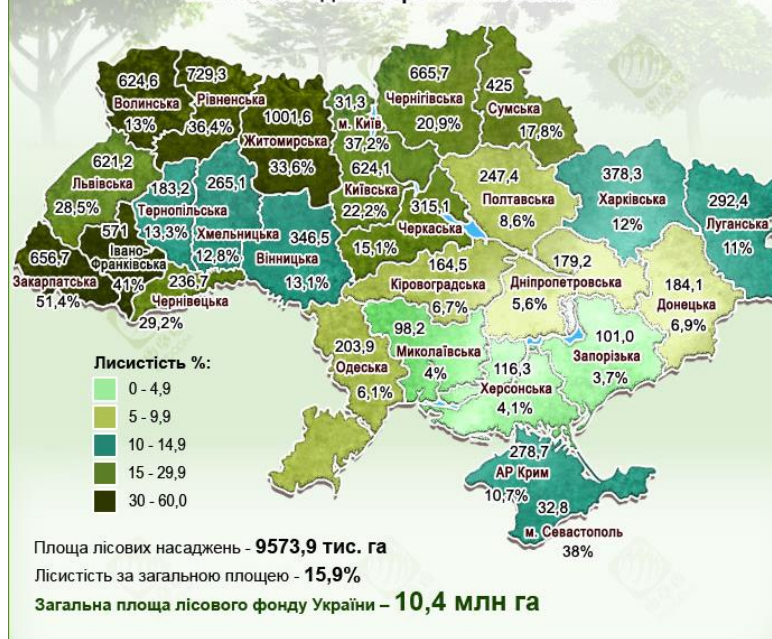


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

23



Лісистість адміністративних областей

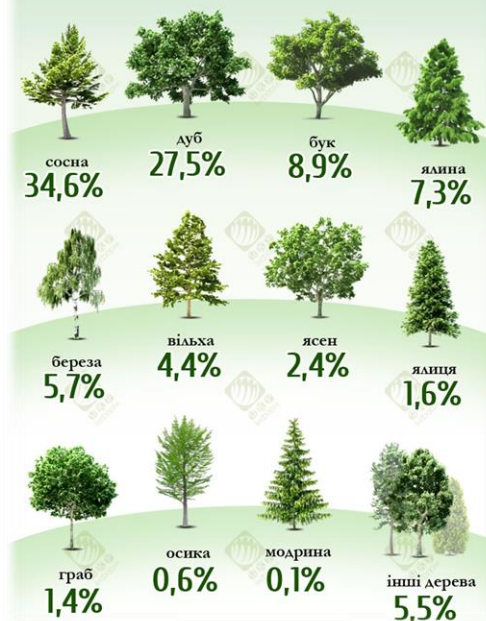


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

24



Співвідношення площ лісів за породами дерев



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

25



Заготівля ліквідної деревини у 2012 році



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

26





2. Структура деревини

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

27



Що таке деревина (як матеріал)?

Полімер

- Хімічний склад:
 - Целюлоза
 - Геміцелюлози
 - Лігнін

Композит

- Комплексна ієрархія
- Макроструктура (мм - м)
 - Річні кільця
 - Волокна
 - Вузли (сучки)
- Мікроструктура (мкм - мм)
 - Клітини деревини
- Ультраструктура (від нм до мкм)
 - - Ієрархія стінок клітин (ламельі)
 - - Мікрофібрили

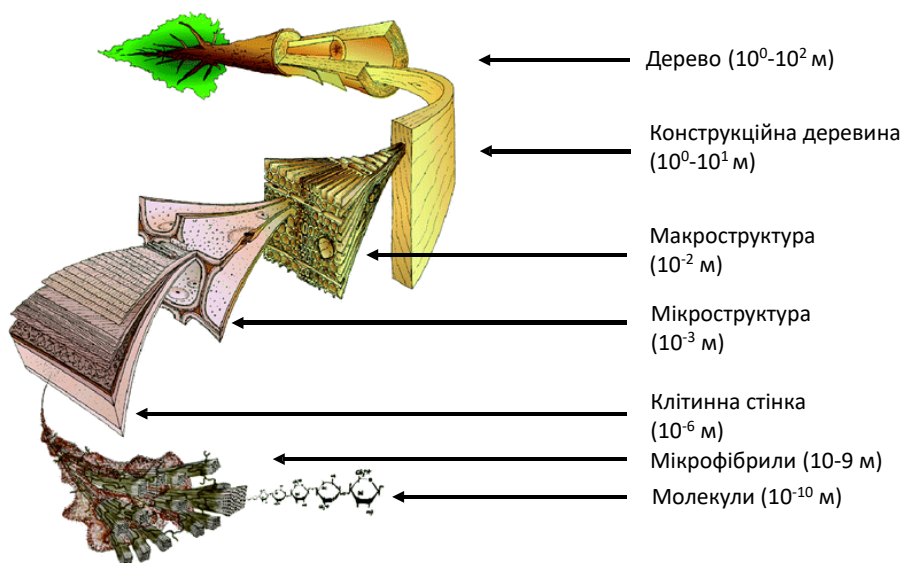
Деревина є складним **полімерним** матричним **композитним** матеріалом

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

28



Ієрархія деревини

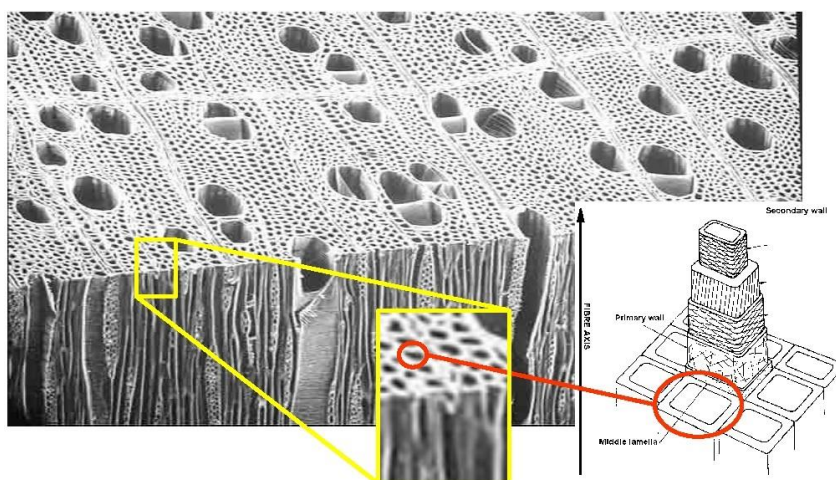


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

29



Структура деревини



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

30

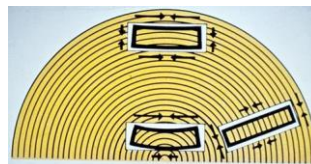
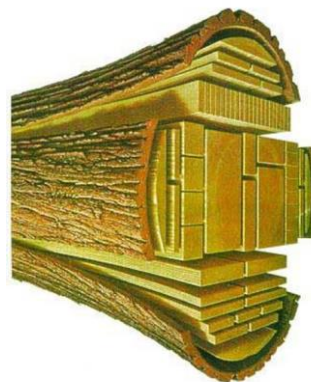


Дерево та деревина

- Коли ми говоримо про матеріал (особливо в контексті цього курсу), ми говоримо про набір властивостей, які ми, як люди, вважаємо бажаними для наших цілей
- Це може бути не той самий набір властивостей, які бажані (розвинулися) в дереві
- Коли ми говоримо про деревину, ми повинні пам'ятати що використовуємо її не в середовищі, для якого вона «розроблена»
- Ця зміна навколишнього середовища у багатьох ситуаціях призводить до деяких «несприятливих» явищ, пов'язаних із застосуванням природних волокон

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

31



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

32



Макроструктура деревини

- Кора, серцевина, ядро, заболонь
- Річні кільця
- Особливості росту (дефекти у виробках з деревини): напр. вузли, косошарість

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

33



Серцевина / заболонь

- Серцевина зазвичай темніша за кольором (екстрактивні речовини), як правило, більш довговічна
 - Також камедь і смоли
- Заболонь - світліша за кольором, зазвичай більш псується



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

34



Річні кільця



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

35



Річні кільця

- Ширина змінюється залежно від віку кільця та зовнішніх умов
- Ширина ростового кільця в Україні складає в середньому від 1,5 до 2 мм, однак:
- Варіації великі:
 - Сосна 0,1 ... 10 мм
 - Ялина 0,5 ... 12 мм
 - Береза 0,5 ... 10 мм
- Складається з “ранньої деревини” та “пізньої деревини”



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

36



Рання та Пізня деревина (весняна та літня деревина)

Рання деревина більш світла у кольорі тому що є менш щільною ніж більш темна пізня деревина



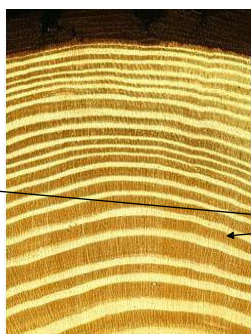
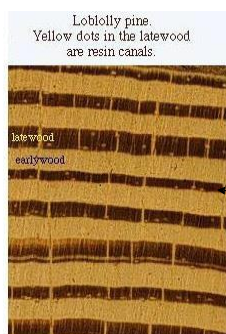
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

37



Частка ранньої та пізньої деревини

- Деревина тим міцніша, чим більше містить пізньої деревини
- (пряма залежність між щільністю і міцністю деревини)
- Міцність і інші властивості можна визначити відповідно до відносної частки пізньої деревини



Сосна% 25%
(варіація 15 ... 50%)

Ялина% 15%
(варіація 10 ... 40%)

пізня деревина

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

38



Сучки

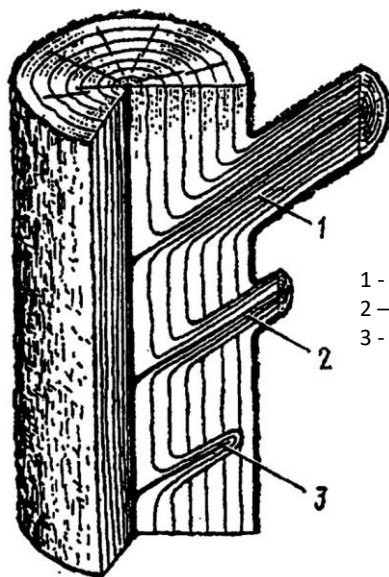


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

39



Сучки



- 1 - сучок від живої гілки;
- 2 – сучок що заростає від відмерлої гілки;
- 3 - зарослий сучок

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

40



Мікроструктура

Деревина складається з клітинної речовини, що має різні функції

- Більшість клітин ($\approx 90\%$) вирівняні головним чином паралельно осі дерева ("напрямок волокон"). Частина дерев містить «спіральні волокна», де кут волокна не паралельний осі дерева
- Близько 10% клітин розташовані перпендикулярно осі дерева, в напрямку від поверхні ядра. Вони відомі як «серцевинні промені»



Спіральні волокна в деревині

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

41



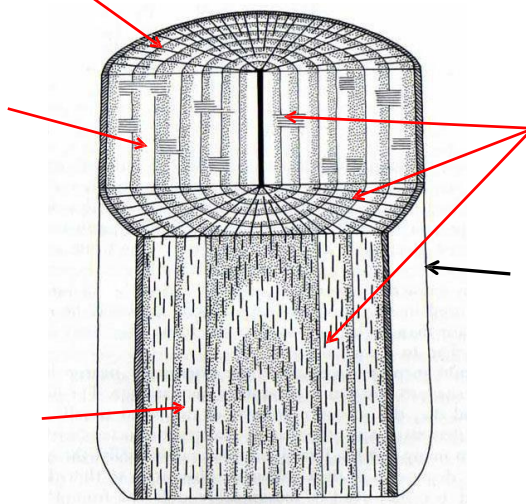
Основні перетини ствола

поперечний (торцевий)

радіальний

тангентальний

промені

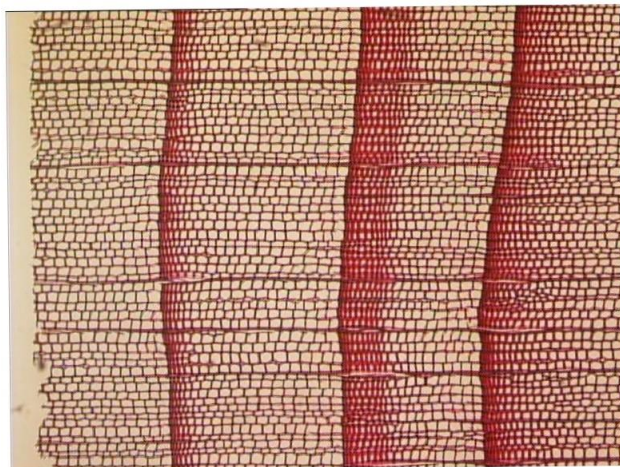


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

42



Поперечний переріз



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

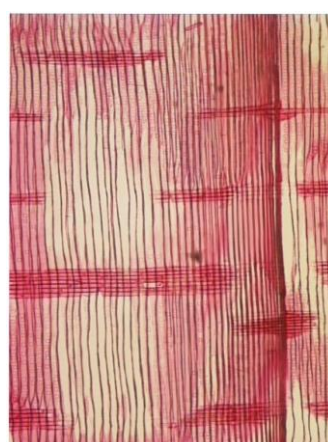
43



Поздовжні перерізи



тангентальний



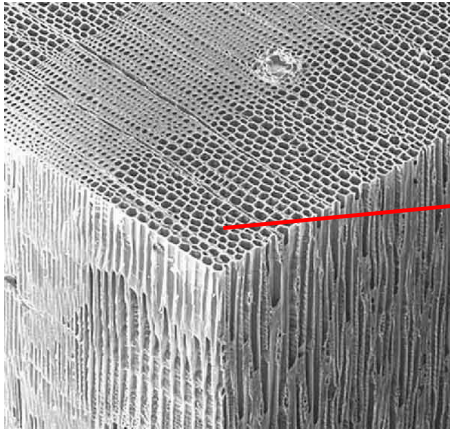
радіальний

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

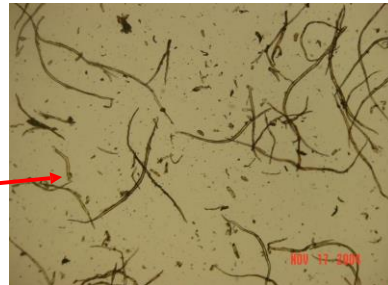
44



Мікроструктура деревини



клітинна структура



фібри деревини

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

45



Відмінності між ранньою і пізньою деревиною

- Частка пізньої деревини залежить від
 - а) екологічних чинників
 - б) виду деревини
- У міру зростання уповільнюється відсоток пізньої деревини
- Тепла осінь збільшує відсоток пізньої деревини
- Засуха восени призводить до меншої частки пізньої деревини
- Відносна і абсолютна частка пізньої деревини найбільша в основі дерева

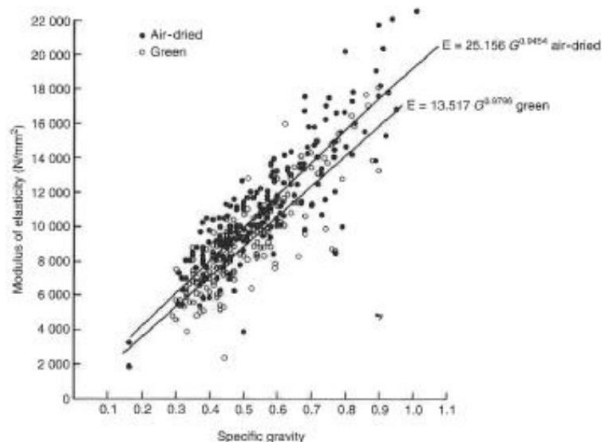
Щільність (сосна): рання деревина 300 ... 370 кг/м³
 пізня деревина 810 ... 920 кг/м³

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

46



Зв'язок між механічними властивостями і щільністю (або питомою вагою)

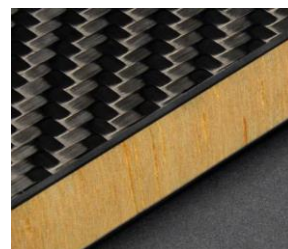
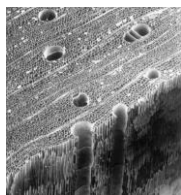


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

47



Технічне значення анатомії деревини



Бальза: щільність $\sim 160 \text{ кг/м}^3$

- Використання: від моделей літаків до базового матеріалу для високоефективних композитів!

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

48





Бакаут: щільність ~ 1055 кг/м³

Використання: пристані, доки для суднобудування

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

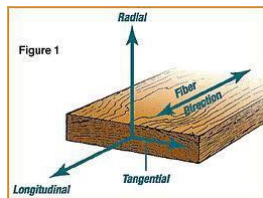
49



Орієнтація

Стовбур псевдоциліндричний (злегка конічний)

- Три напрямки:
 - Поздовжній
 - Радіальний
 - Дотичний (тангентальний)
- Властивості істотно відрізняються в різних напрямках -
деревина може розглядатися як ортотропний матеріал



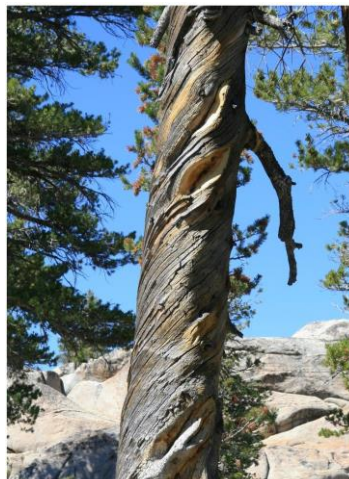
$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} \\ \sigma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1-\nu_{yz}\nu_{zy}}{E_y E_z \Delta} & \frac{\nu_{yx} + \nu_{zx}\nu_{yz}}{E_y E_z \Delta} & \frac{\nu_{zx} + \nu_{yx}\nu_{zy}}{E_y E_z \Delta} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\nu_{xy} + \nu_{xz}\nu_{zy}}{E_z E_x \Delta} & \frac{1-\nu_{zx}\nu_{xz}}{E_z E_x \Delta} & \frac{\nu_{zy} + \nu_{zx}\nu_{xy}}{E_z E_x \Delta} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\nu_{xz} + \nu_{xy}\nu_{yz}}{E_x E_y \Delta} & \frac{\nu_{yz} + \nu_{xz}\nu_{yx}}{E_x E_y \Delta} & \frac{1-\nu_{xy}\nu_{yx}}{E_x E_y \Delta} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2G_{yz} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2G_{zx} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2G_{xy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} \\ \varepsilon_{xy} \end{bmatrix}$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

50



Спіральні волокна

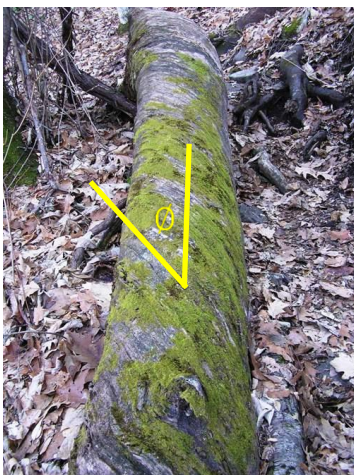


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

51



Спіральні волокна

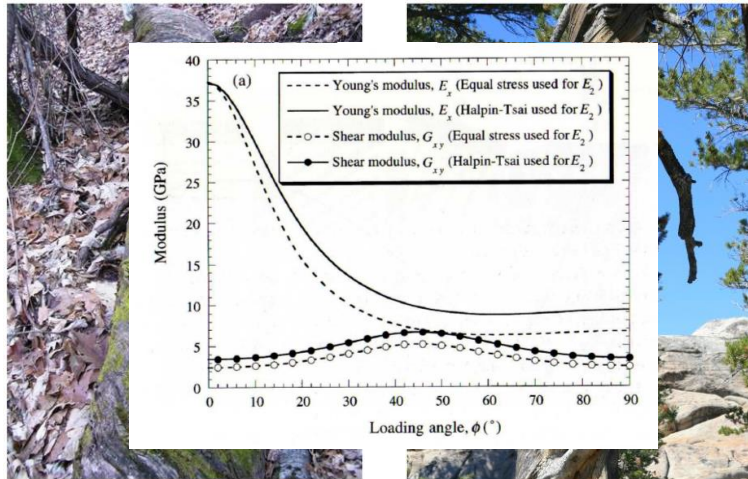


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

52



Спіральні волокна



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

53



Вода в деревині

- Свіжозрублена деревина містить велику кількість води
- Ця вода знаходиться в двох станах:
 - Як рідка вода в пустотах (каналах) посередині клітин. Вона відома як «вільна» вода, оскільки вона не хімічно або фізично пов'язана з структурою деревини (це «сок», що спостерігається в свіжій деревині - він містить розчинені речовини)
 - І як «пов'язана» вода, яка знаходиться в клітинній стінці і пов'язана з полімерами клітинної стінки
- Коли дерево висихає від «свіжозрубленого» стану, спочатку втрачається вільна вода, а потім зв'язана вода

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

54



Як вода впливає на деревину?

- **Зміна розмірів:**
 - Початкова усадка (від «свіжозрубаного» стану до «повітряно сухого»)
 - Невеликі зміни у відповідь на коливання відносної вологості навколишнього середовища (добові та сезонні зміни)
 - Деформація та інші небажані спотворення
- **Зміни як коротко-, так і довгострокових механічних властивостей:**
 - Міцність, жорсткість і в'язкість
 - «Механосорбційні» властивості
- **Сприйнятливність до біопшкоджень :**
 - Зниження ризику біопшкоджень при меншому вмісті води

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

55



Вільна (капілярна) вода і зв'язана вода

- | | | |
|---|---|---|
| | A | B |
| A. Клітинна стінка повністю насичена, просвіт заповнений водою («свіжозрублена деревина») | | |
| B. Тонка плівка вільної води, що залишилася на поверхні просвіту | | |
| C. Вільної води не залишилася, але клітинна стінка повністю насичена | | |
| D. Води в клітинній стінці менше повністю насиченого стану | C | D |

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

56



Деревина і вода - основне

- Кількість води в деревині визначає її вологість яка, зазвичай, виражається на ваговій основі, як відсоток сухої маси деревини
- Вологість у деревині знаходиться у рівновазі з відносною вологістю навколишнього середовища, що називається рівноважним вмістом вологи.
- «Зелена» (тобто свіжозрублена та не висушена) деревина має вологість що часто перевищує 100%. Вологість деревини «висушеної на повітрі» знаходиться в районі 8-18% залежно від умов навколишнього середовища

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

57



Вологість

- Загальна кількість води в деревині відома як **вологість**
- Примітка: вологість свідчить лише про загальну кількість води і не розрізняє «пов'язану» та «вільну» воду
- *Суха - деревина* висушена при > 100 °C до постійної ваги (зазвичай при 103 °C)

$$MC\% = \frac{M_{init} - M_{od}}{M_{od}} \times 100\%$$

MC - вміст вологи, виражений у відсотках

M_{init} - початкова маса зразка

M_{od} - маса зразка сухої деревини

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

58



Рівноважний вміст вологи

Рівноважна вологість - це та вологість, яку досягає деревина, коли вона знаходиться в певних умовах температури і відносної вологості. Іншим словом, деревина досягає рівноваги з оточенням.

Більшість властивостей деревини сильно залежить від вмісту вологи. Тому дуже важливо виміряти властивості при "стандартних умовах" відносної вологості (RH) і температури (як правило, 65% RH і 20 ° C). Це визначено в різних стандартах.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

59



Відносна вологість

- *Відносна вологість* (RH (*relative humidity*)) - це термін, що використовується для опису кількості водяної пари, яка існує в газовій суміші повітря і водяної пари
- Відносна вологість — відношення абсолютної вологості до її максимального значення при даній температурі. При 100% відносній вологості в повітрі може відбутися конденсація водяних пар з утворенням туману, випаданням води.
- RH залежить від температури

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

60



Деревина і вода

- Деревина є «гігроскопічним» матеріалом, тобто вона притягує вологу з навколишнього середовища.
- Коли суха деревина намокає, вона набухає, що призводить до «заклинювання» дверей, ящиків і відшаровування лакофарбових покриттів тощо. І навпаки, коли деревина висихає, вона стискається, деформується і тріскається
- Але на розміри деревини впливають тільки розміри втрат/приросту **пов'язаної води**

Вироби з деревини, такі як ДСП, ДВП, MDF і фанера, також реагують на вологу, але ефект також ускладнюється їхньою власною структурою.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

61



Важливість висушування

Деревину зазвичай висушують, щоб

- наблизити вологість до рівноважної вологості умов експлуатації, і таким чином забезпечити менших змін розмірів. (напр. при 65% RH, 20 °C, вологість становить близько 12%)
- зменшити вологість нижче рівня, на якому можливе біологічне ушкодження (як правило, вона становить близько 20%)

Примітка: сушка не повністю виключає зміни розмірів!

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

62



Способи вимірювання вологості

- **Гравіметричні методи** (шляхом зважування). Це найбільш точні і надійні методи, але це не завжди практичні
- **Вимірювачі вологості** - електричні прилади, що вимірюють провідність
 - Провідність пропорційна кількості (зв'язаної) води в деревині
 - Добре працює в певному діапазоні (зазвичай 5-20%), але за межами цього діапазону вимірювання стають неточними

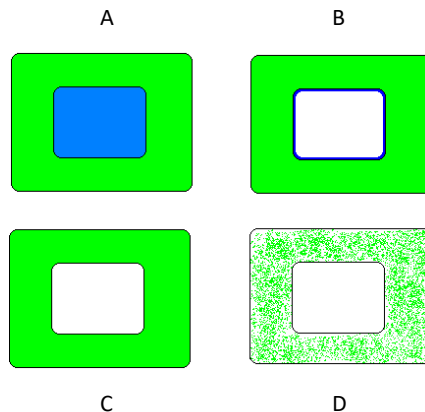
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

63



Вільна (капілярна) вода, зв'язана вода і **точка насичення волокон**

- A. Клітинна стінка повністю насичена, просвіт заповнений водою («свіжозрублена деревина»)
- B. Тонка плівка вільної води, що залишилася на поверхні просвіту
- C. Вільної води не залишилася, але клітинна **стінка повністю насичена**
- D. Води в клітинній стінці менше повністю насиченого стану



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

64



Точка насичення волокон

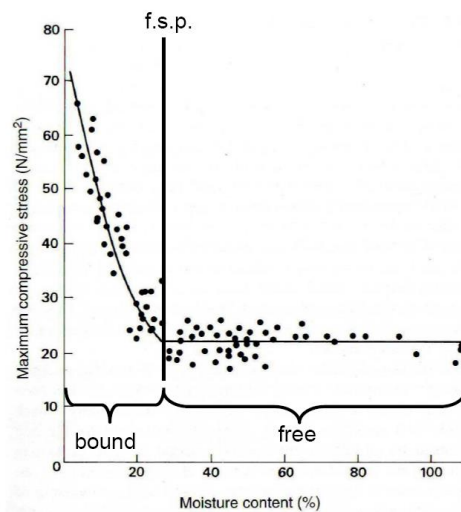
- Точка, в якій пов'язана вода знаходиться на максимумі а вільної води не залишається
- Точка насичення волокна є поняттям (оскільки неможливо "побачити" або безпосередньо виміряти точку, в якій немає вільної води, і є тільки пов'язана вода)
- Зазвичай вважається що вологість деревини при точці насичення волокон знаходиться в районі 30% (дуже важко виміряти експериментально), хоча нові дані свідчать про те, що вона може бути ближче до 40%
- Теоретично, це вологість деревини при відносній вологості повітря 100%

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

65



Точка насичення волокон і механічні властивості

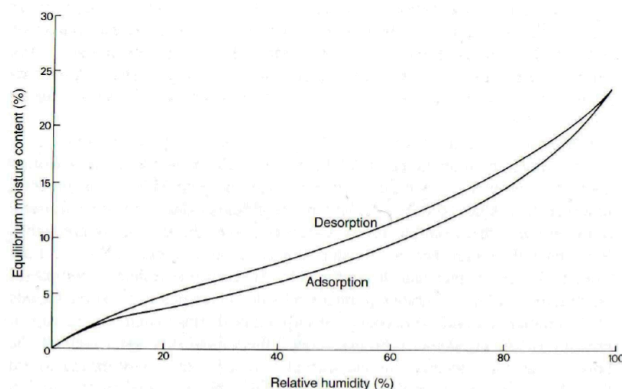


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

66



Рівновага між рівноважною вологістю і відносною вологістю повітря



Петля гістерезису для деревини, що виникає в результаті середніх ізоTERM адсорбції та десорбції при 40 °C

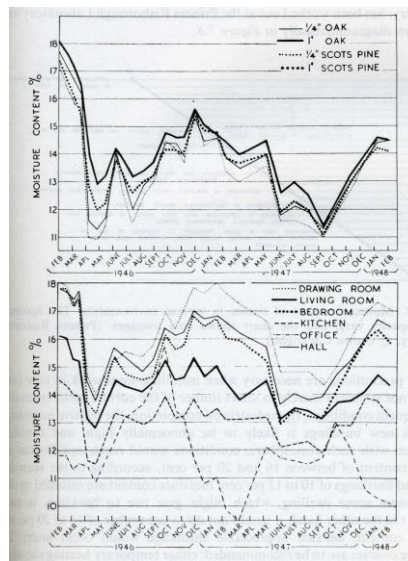
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

67



Рівноважна вологість і відносна вологість повітря

- Відносна вологість змінюється з температурою та іншими кліматичними факторами і може широко варіюватися від <30% до >90% навіть у внутрішніх приміщеннях
- Дерево завжди намагатиметься досягти рівноваги з оточенням



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

68



Вологість і зміна розмірів

При зміні вологості (нижче точки насичення), змінюються розміри деревини. Це призводить до явища "**руху деревини**"

Рух може бути проблематичним у багатьох відношеннях:

- Двері, вікна тощо
- Незворотні набухання в деревних плитах

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

69



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

70





Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

71



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

72





3. Властивості матеріалу I

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

73



Буферизація вологи

- Як і інші гідроскопічні матеріали, деревина має можливість «буферизувати» внутрішній клімат приміщення
- Це може допомогти зменшити коливання в відносної вологості, що робить приміщення більш комфортним

Циклічні випробування деревини до щоденних відносних змін вологості:

- Програма: 8 годин при 75% ВВ; 16 годин при 33% ВВ; температура 23 ° C
- Деревина: ялина та сосна
- Площа випробувань: 0,01 м² (25 кубів 2x2x2 см³)
- Орієнтація: осьова, радіальна, тангенціальна

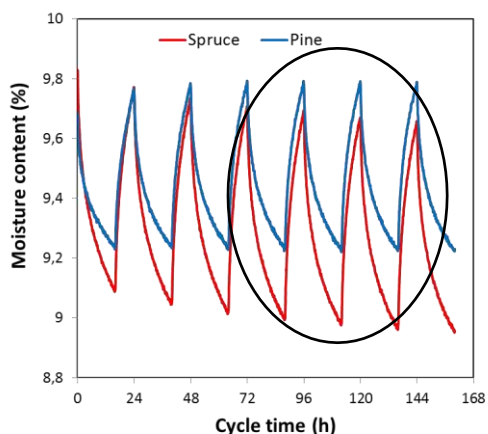


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

74



Буферна місткість вологи (БМВ): радіальна орієнтація



При зміні маси менше 5% протягом циклів і між 3 послідовними циклами -> БМВ_{практична}

БМВ_{практична}

Ялина (*Spruce*): :
1,43 г/(м²%ВВ)

Сосна (*Pine*):
1,23 г / (м²%ВВ)

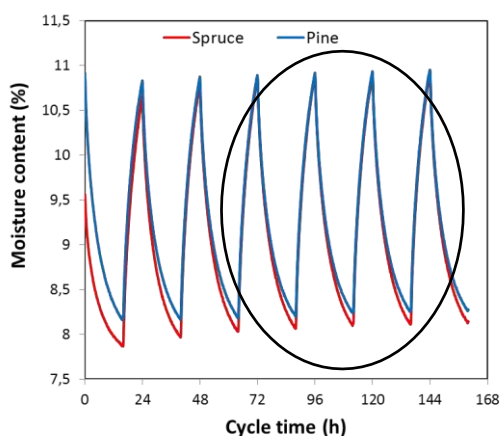
ВВ- відносна вологість

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

75



Буферна місткість вологи (БМВ): осьова (торцева) орієнтація



При зміні маси менше 5% протягом циклів і між 3 послідовними циклами -> БМВ_{практична}

БМВ_{практична}

Ялина (*Spruce*):
5,83 г/(м²%ВВ)

Сосна (*Pine*):
5,38 г / (м²%ВВ)

ВВ- відносна вологість

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

76



Тепловиділення

- Якщо деревина адсорбує вологу, вона виділяє тепло
- Це може призвести до підвищення температури на поверхні деревини
- Це можна виміряти за допомогою термокамери

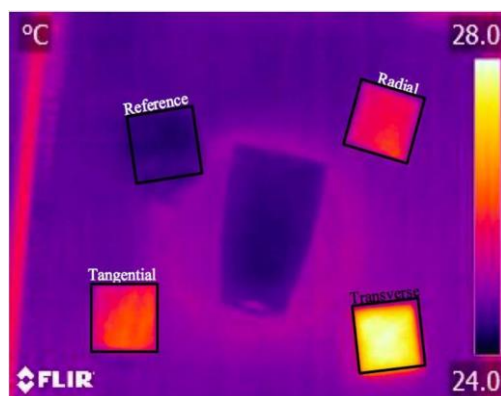


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

77



Термограма

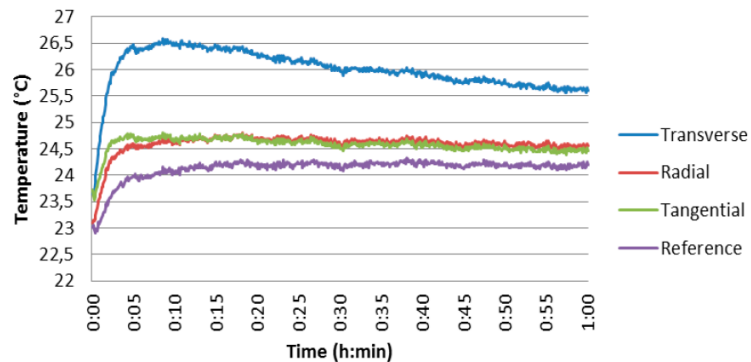


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

78



Береза: температура поверхні



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

79



Щільність

- Щільність це маса на одиницю об'єму:
- $$\rho = \frac{m}{V}$$
- Щільність є важливим параметром матеріалу, оскільки вона впливає на інші властивості, такі як теплопровідність і механічні властивості
 - Що впливає на щільність деревини?
 - Вологомісткість:
 - Впливає як на масу, так і об'єм!
 - Склад - наявність екстрактивних речовин:
 - Впливає на масу (може бути від кількох відсотків до 10% маси)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

80



Щільність та інші властивості

Добре відомо, що щільність корелюється з такими властивостями деревини, як міцність і жорсткість

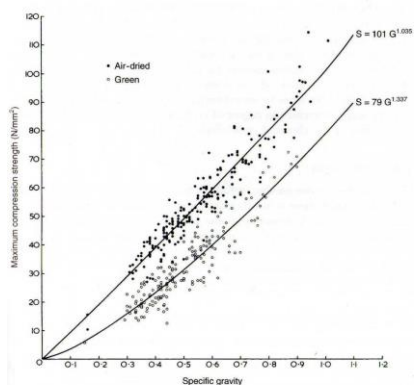


Figure 7.8 The relationship of maximum compression strength to specific gravity for 200 species tested in the green and dry states. (© BRE)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

81



Щільність деревини

- Щільність деревини при вологості 12% коливається від *бальси* (176 кг/м³) до *залізного дерева* (*lignum vitae*) (~1250 кг/м³)
- Оскільки щільність стінок клітин більш-менш постійна, різниця повинна бути обумовлена порожнечами, тобто стільниковою структурою волокна і деревини.

Деревина	Щільність (kg/m³)
Бальса	176
Норвезька ялина	417
Європейське червоне дерево	481
Бук	673
Бакаут	1055



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

82



Теплопровідність

Теплопровідність, λ , вимірює швидкість (або потужність, в W), при якій тепло передається (в одному вимірі) через 1 м товщини матеріалу, коли піддається температурному градієнту 1 K між паралельними поверхнями в усталених умовах. Таким чином, λ виражається в W/m·K

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

83



Теплові властивості

- Питома теплопровідність сухої деревини низька. Тому деревина - хороший теплоізолятор!
- Дерево передає тепло в 7 разів менше, ніж бетон і у 500 разів менше, ніж сталь
- Теплообмін швидше вздовж волокон, ніж впоперек

Матеріал	Теплопровідність (W/m.K)
Повітря	0.024
Балса (вздовж волокон)	0.055
Деревина впоперек волокон (сосна)	0.12
Листяна деревина	0.16
Ізоляційні матеріали	0.035 до 0.16
Епоксидна смола	0.35
Цегла	0.69
Бетон	1.7
Вуглецева сталь	54
Мідь	401

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

84



Теплоємність

- *Теплоємність, C* , являє собою кількість тепла (або енергії, в Дж), необхідне для підвищення температури певної маси даного матеріалу на 1 градус. C зазвичай виражається в Дж/м³·К. Підвищення температури матеріалу зворотно пропорційно його C ; таким чином, для тієї ж кількості доданого тепла матеріал з великим C буде зазнавати меншого підвищення температури, ніж матеріал з низьким C .
- *Питома теплоємність, c_p* , - теплоємність, C , розділена на щільність, ρ матеріалу

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

85



Теплова дифузія

- Теплова дифузія, k є мірою швидкості, з якою тепло передається в матеріалі. Вона виражається в мм²/с (або м²/с) і являє собою динаміку теплообміну в межах матеріалів
- $k = \lambda / C$ визначається як відношення λ до продукту щільності ρ & c_p :
 $k = \lambda / \rho \cdot c_p$

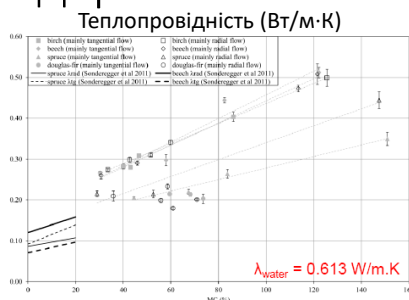
Матеріал	Теплова дифузія (мм ² /с)	Теплова дифузія (м ² /с)
Деревина (сосна)	8.2×10^{-8}	0.082
Сталь, 1% вуглецю	1.172×10^{-5}	11.72
Віконне скло	3.4×10^{-7}	0.34
Мідь при 25 ° С	1.11×10^{-4}	111
Цегла, звичайна	5.2×10^{-7}	0.52
Цегла, спеціальна	2.7×10^{-7}	0.27
Алюміній	9.7×10^{-5}	97
Повітря (300 К)	1.9×10^{-5}	19

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

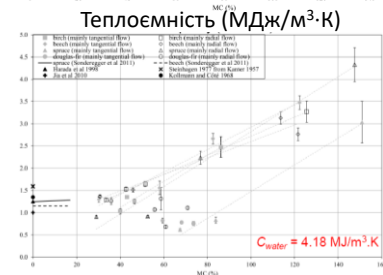
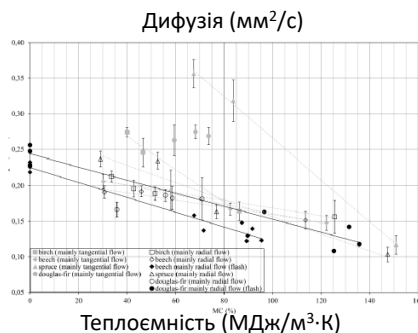
86



Теплові властивості і вологість деревини



- λ і C зростають з вологістю
- Вологе дерево потребує більшої вхідної енергії при нагріванні, ніж суха деревина; для передачі тепла в мокрій деревині потрібно більше часу, а температура, що досягається на заданій глибині за певний проміжок часу, нижча у випадку вологого дерева



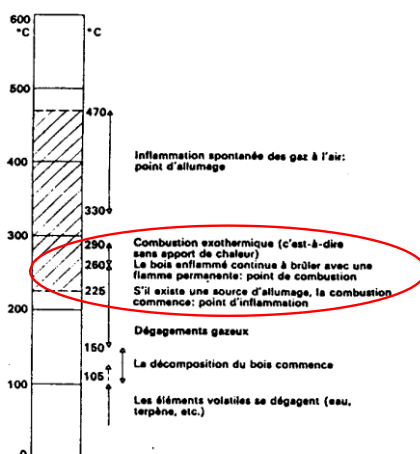
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

87



Деревина і вогонь

Дерево горить!



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

88



Деревина і вогонь

Але вогонь також утворює обвуглений шар на зовнішній поверхні, наприклад, балок. Обвуглений шар утворюється при згорянні і уповільнює подальше горіння



обвуглений шар

Section lamellée-collée 16 x 40 cm



Avant l'essai de résistance au feu



Après 30 minutes de feu



Après 60 minutes de feu

Обвуглений шар (близько 5 мм; поширення 0,7 мм/хв) (теплопровідність 1/6 твердої деревини, яка за 15 хв згорає на 1 см)



Ціла деревина (ефективна площа)

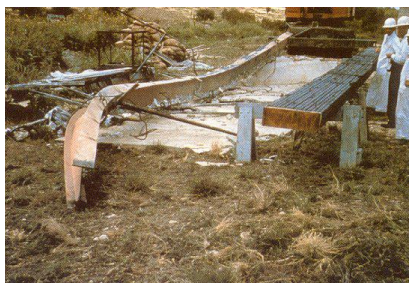
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

89



Деревина і вогонь

- Але обвуглений шар не може сприймати навантаження, і тому несуча здатність конструкції зменшується.
- Чим більше поперечний переріз, тим довше структура залишається стабільною
 - напр .: поперечні перерізи > 60 мм повільно згорають без деформації



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

90





Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

91



Акустичні властивості

Деревина - хороший звукоізолятор

Залежить від її маси, способу її фіксації та акустичних властивостей поверхні (тобто, чи поверхня передає або відбиває звук)

Резонанс є функцією її пружних властивостей (у свою чергу, залежить від щільності і структури) - застосування у виробництві музичних інструментів

Матеріал		Швидкість звуку
Сталь		5 100 м/с
Бетон		4 000 м/с
Повітря		340 м/с
Деревина	Вздовж волокон	5 000 м/с
	Впоперек волокон	2 400 м/с

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

92



Акустичні властивості

Акустичні властивості можуть бути використані для виявлення «надійності» деревини, наприклад, деревини, що руйнується мікроорганізмами, і є принципом, що лежить в основі деяких методів неруйнівного контролю і методів оцінки напружень.

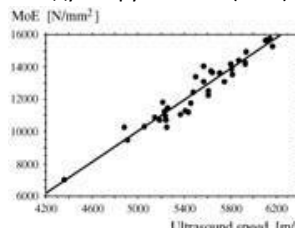


$$E = \rho \cdot c^2$$



перевірка структури деревини

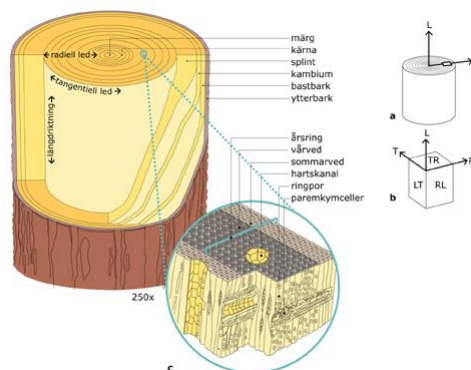
Модуль пружності E (MPa)



Швидкість ультразвуку (м / с)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

93



4. Властивості матеріалу II

короточасні механічні властивості

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

94



Механічні властивості

- **Жорсткість:**
 - стійкість до прогину при короткочасній навантаженні (розглянемо прогин при довготривалому навантаженні, повзучість, пізніше)
- **Міцність:**
 - яке навантаження може витримати до руйнування
- **Ударна в'язкість:**
 - здатність протистояти поширенню тріщин (можливо, найважливіше властивість інженерного матеріалу)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

95



Випробування на розтяг

- Виконується для визначення властивостей матеріалів
- Зразки зазвичай деформуються з постійною швидкістю
- Сила вимірюється датчиком навантаження
- Подовження, вимірюється за допомогою індикатора в межах вимірювальної довжини зразка
- Підтримуються постійна температура і відносна вологість



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

96



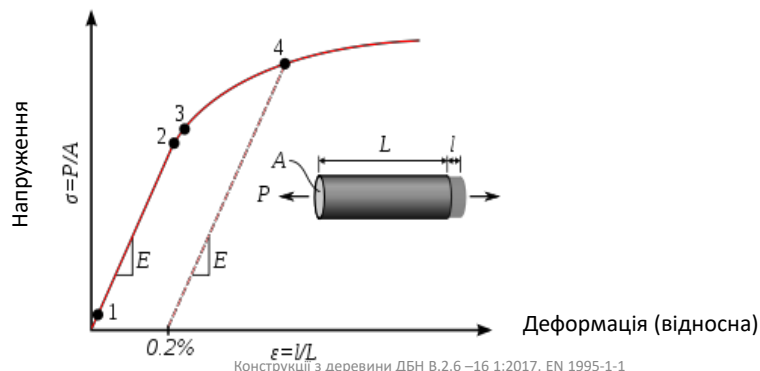
Напруження, деформація, жорсткість, міцність

Напруження (Stress): площа навантаження/площа поперечного перерізу

Деформація (відносна) (Strain): розширення/початкова довжина

Жорсткість (Stiffness): модуль пружності (Юнга), E , напруження/ деформація (в лінійній пружній області - закон Гука)

Міцність (Strength): напруження при максимальному навантаженні (натяг або стиск)



97



Механічні властивості деяких матеріалів

Матеріал	Модуль Юнга E , ГПа
Алмаз	1220
Карбід вольфраму	550
Вольфрам	350
Сталь	210
Мідь	110
Сірий чавун	110
Кремній	109
Бронза	95
Дюралюміній	74
Алюміній	70
Скло	70
Деревина (вздовж волокон)	14
Лід	3
Поліпропілен	1,7
Поліетилен високого тиску	0,8
Гума (при малих деформаціях)	0,01

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

98



Порівняння механічних властивостей

Матеріал	Густина	Модуль пружності (GPa)	Міцність на розтяг (MPa)	Fracture Toughness (ударна в'язкість) (MPa m ^{0.5})
Гума	1,2	0.01	20	0.1
Бетон	2,4	40	20	0.2
Нейлон	1,1	2,5	80	4
Ялина (вздовж волокон)	0,6	16 (26.7)	80 (133)	6 (10)
Ялина (впоперек волокон)	0.6	1	2	0.5
М'яка сталь	7,8	208 (26.7)	400 (51)	140 (18)
Армований волокном композит	1,8	20 (11)	300 (166)	40 (22)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

99



Порівняння механічних властивостей

Матеріал	Густина	Модуль пружності (GPa)	Міцність на розтяг (MPa)	Ударна в'язкість (MPa m ^{0.5})
Гума	1,2	0.01	20	0.1
Бетон	2,4	40	20	0.2
Нейлон	1,1	2,5	80	4
Ялина (вздовж волокон)	0,6	16 (26.7)	80 (133)	6 (10)
Ялина (впоперек волокон)	0.6	1	2	0.5
М'яка сталь	7,8	208 (26.7)	400 (51)	140 (18)
Армований волокном композит	1,8	20 (11)	300 (166)	40 (22)

Примітка: Цифри в дужках мають відносні значення, тобто величину, поділену на питому вагу

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

100



Спрямованість властивостей деревини

- Всі властивості деревини залежать від орієнтації, однак механічні властивості, зокрема, демонструють сильну залежність від напрямку вимірювання
- Ортотропний матеріал
- властивості відрізняються в трьох взаємно перпендикулярних напрямках



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

101



Властивості вздовж та впоперек волокон

Table 9.1 Values for strength and stiffness of five hardwoods and three softwoods at 12 per cent moisture content. (Extract from Forest Products Res. Bull. No. 50.)

Timber	Density (kg/m ³)	Bending			Compression ⊥ (N/mm ²)	Tensile		Impact (m)	Hardness (N)	Shear ⊥ (N/mm ²)	Cleavage (radial) (N/mm width)
		Mod. of Elasticity (N/mm ²)	Mod. of Rupture (N/mm ²)	Compression // (N/mm ²)		⊥ (N/mm ²)	⊥ (N/mm ²)				
Balsa	176	3200	23	15.5	0.8	35	—	—	—	2.4	—
Obeche	368	5500	54	28.2	3.91*	—	—	0.48	1910	7.7	9.3
Agba	497	7600	81	43.2	5.94*	—	—	0.61	3290	11.7	11.4
Beech	673	10100	108	51.8	9.41*	—	12.5	0.99	5650	16.2	18.4
Greenheart	977	21000	181	89.9	16.46*	—	—	1.35	10450	20.5	17.5
(European) Norway spruce	417	10200	72	36.5	4.25*	104	—	0.58	2140	9.8	8.4
(European) redwood	481	10000	83	45.0	4.90*	—	3.70	0.66	2580	11.3	9.8
Douglas fir	545	12700	93	52.1	5.48*	138	2.90	0.86	2980	10.8	8.9

* Calculated from hardness values (see text): compression ⊥ = 0.00147 hardness + 1.103.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

102



Деревина як ортотропний матеріал

Дерево ортотропне - його властивості різні в кожному з трьох взаємно перпендикулярних напрямків
- поперечний, радіальний і тангенціальний

Клітинна стінка також є ортотропною структурою!

В чому причина?

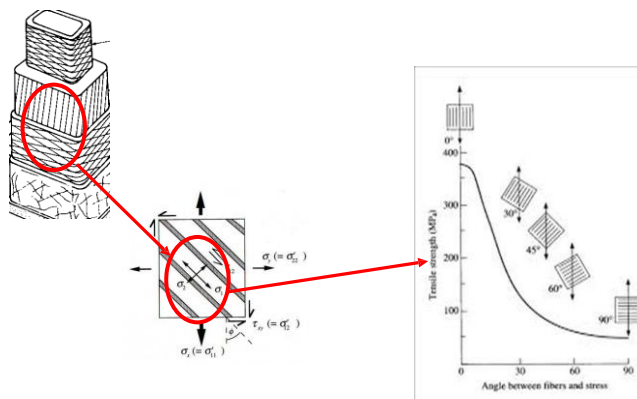
- Структура!
- Поздовжня («уздовж волокон») міцність і жорсткість регулюється осьовими властивостями волокон
- Це пояснюється тим, що більшість волокон проходять по довжині дерева (90%) і лише близько 10% проходять радіально
- Поперечні властивості визначаються поперечними властивостями клітинної стінки і середньої ламелі

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

103



Клітинна стінка в якості силового елемента при неосьовому навантаженні

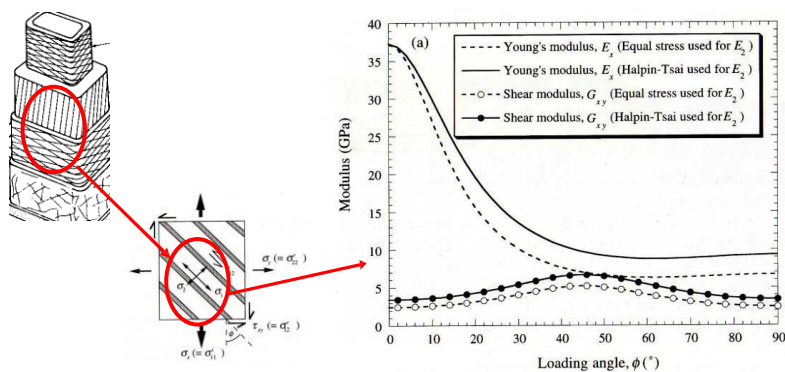


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

104



Клітинна стінка в якості силового елемента при неосьовому навантаженні



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

105



Міцність і руйнування деревини

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

106



Навантаження - деформації



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

107



Нелінійна поведінка

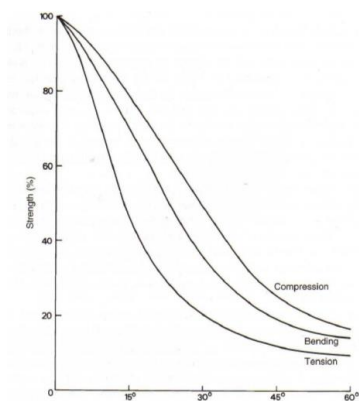
- Нелінійне поведінка може бути пов'язана з низкою причин. Це можуть бути мікроструктурні пошкодження, в'язко-еластичний або пластичний потік полімерів клітинної стінки
- Це важливо, оскільки деякі форми мікроструктурних ушкоджень пов'язані з великими змінами властивостей деревини, навіть якщо пошкодження не може бути видимим явно
- Знову проявляється аналогія деревини з армованими композитними матеріалами

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

108



Вплив кута волокон на міцність



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

109



Вимірювання властивостей на практиці

- Випробування на розтяг (модуль Юнга / міцність на розтяг)
- Випробування на стиск (паралельні / перпендикулярні до зерна)
- Статичний 3-х або 4-х точковий згин (Модуль пружності і модуль розриву)
- Випробування на удар (міра ударної в'язкості)
- Твердість



розтяг

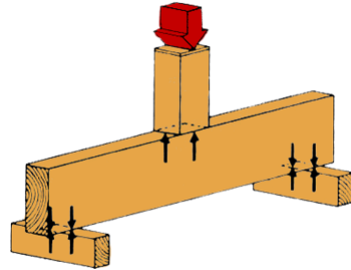


3-х точковий згин

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

110





5. Властивості матеріалу III

В'язкість і довготривала поведінка деревини

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

111



В'язкість (ударна в'язкість)

«Найгірший порок в інженерному матеріалі - це не нестача міцності або відсутність жорсткості, оскільки ці властивості є бажаними, але відсутність в'язкості, тобто відсутність опору поширенню тріщин»

J.E. Gordon, The New Science of Strong Materials

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

112





Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

113



Навантаження на матеріал. Розтяг, стиск, зсув

- Більшість конструкцій працюють на розтяг та зсув, а також на стискаючі навантаження
- Крихкі матеріали добре працюють на стиск (в основному), оскільки при цьому тріщини не «відкриваються»
- Згадайте, як, наприклад, у будівництві використовується кладка (цегла, камінь)



Розтяг:
Підвісний міст Менай, Уельс

Стиск:
Римська арка

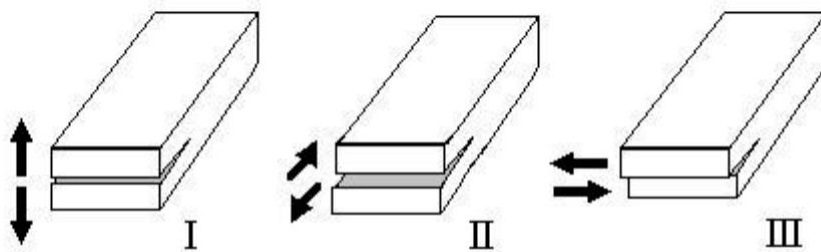


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

114



Тріщини і варіанти розкриття тріщини



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

115



Тріщини і «тріщиноподібні» дефекти

- Всі реальні матеріали містять тріщини або тріщиноподібні дефекти в певному масштабі
- Це можуть бути макроскопічні тріщини або «концентратори напруг» або «стрес-підйомники», такі як отвори або різкі зміни розмірів в перетині.
- Або вони можуть бути мікроскопічними тріщинами
- У реальному матеріалі будь-якої форми існують тріщини або зміни в перерині або властивості матеріалу. Саме в таких місцях виникають і поширюються тріщини.

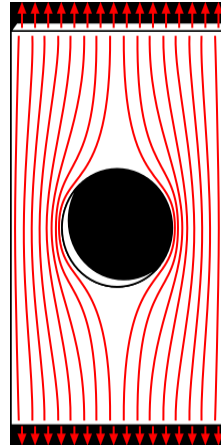
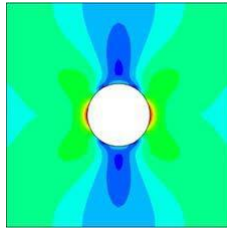
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

116



Що таке концентратори напружень?

Ці отвори призводять до локалізованих концентрацій напружень, величина яких залежить від розміру і форми отворів



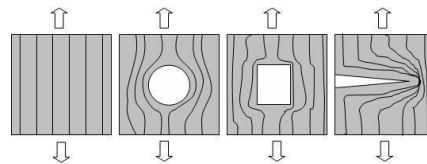
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

117



Що таке концентратори напружень?

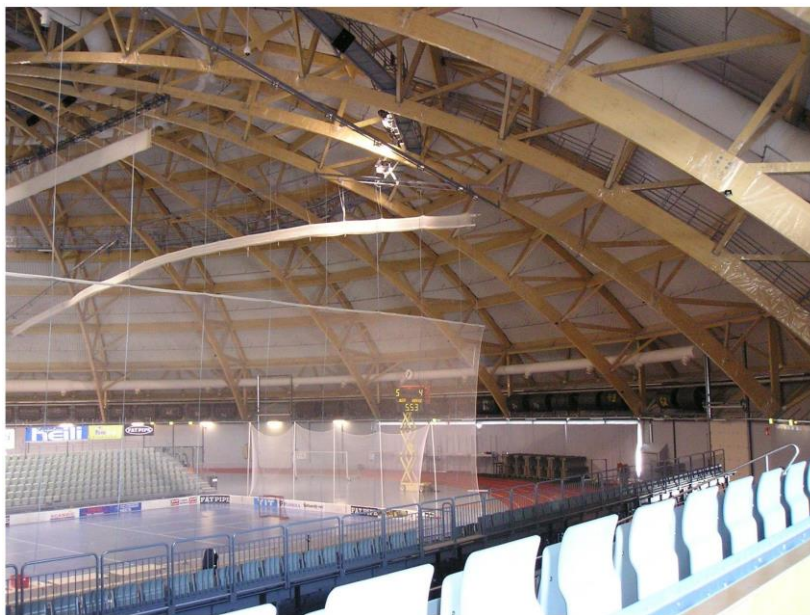
- Якщо концентрація напружень є достатньо високою, матеріал у вершині тріщини може руйнуватися. За певних умов тріщина може поширюватися катастрофічно, що призводить до раптового виходу з ладу матеріалу
- Таким чином, кінчик тріщини може розглядатися як механізм, за допомогою якого місцеві напруження в матеріалі достатньо підвищуються для того, щоб відбулося руйнування



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

118





Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

119



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

120

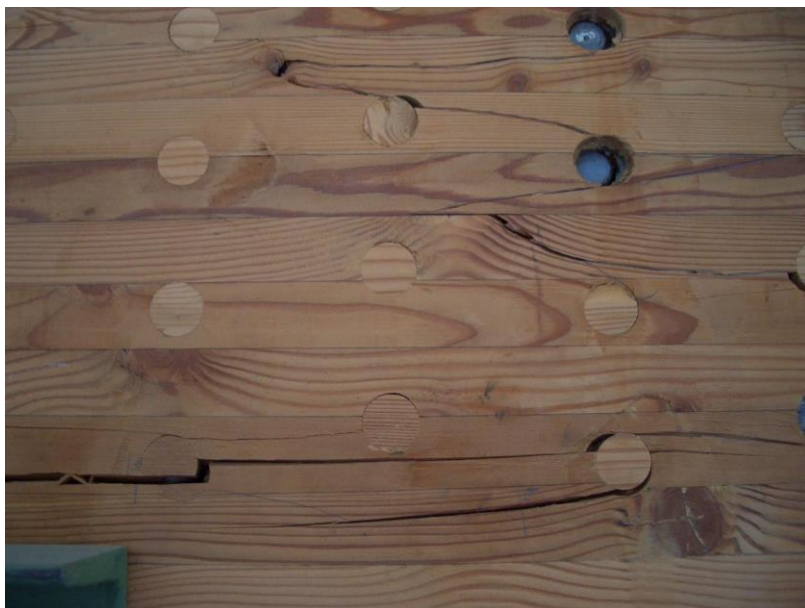




Зруйноване нагельне з'єднання

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

121



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

122



Конструкційні матеріали

Конструкційні матеріали повинні бути «в'язкими» (тобто бути стійкими до поширення тріщин), щоб безпечно сприймати навантаження!

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

123



Що таке в'язкість і крихкість?

- Приклади крихких матеріалів:
 - Скло
 - Термореактивні смоли (фенолформальдегід, епоксидні, ненасичені поліефіри)
 - Печиво!
- І в'язких матеріалів:
 - М'яка сталь
 - Армовані скловолокном композити (вуглепластик і т.п.)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

124



Умови руйнування

- Тріщини або дефекти, подібні до тріщин, забезпечують “механізм” для створення великих локальних напружень
- Однак для того, щоб «загнати» тріщину вперед потрібна енергія. Вона забезпечується збереженою «енергією деформації» і будь-якою зовнішньою роботою.
 - Прикладом є лук і стріли: за рахунок натягнення тятиви в луці створюється енергія деформації. Коли стріла звільняється ця енергія перетворюється на кінетичну енергію стріли.



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

125



Концентратори напружень

- Концентрація напружень залежить від форми тріщини
- Моделюється як еліпс
- Оскільки радіус вершини тріщини наближається до нуля (тобто дуже гостре - відношення великої осі до малої є високим), то теоретична концентрація напружень наближається до нескінченності



$$\sigma_{\max} = \sigma \left(1 + 2 \frac{a}{b} \right)$$

Висновок: «гострі» тріщини погані. Якщо тріщину можна «притупити», вона стане не такою проблематичною!

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

126



Руйнування у деревині

- Деревина містить численні механізми затуплення/відхилення тріщин, а також механізми поглинання енергії
- Вони знову таки залежать від напрямку
- Згадайте про структуру !!

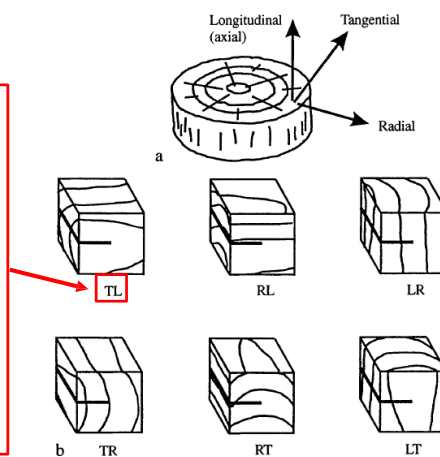
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

127



Напрямки розповсюдження тріщин

Позначення:
1. Перша літера, "Т" (тангенціальна), позначає орієнтацію тріщини щодо структури дерева (зауважимо, що площина тріщини перпендикулярна анатомічній орієнтації)
2. Друга літера, "L" (осьова), позначає напрямок поширення тріщини



Напрямки розповсюдження тріщин. (а) перетин деревини демонструє осі напрямів; (б) – шість основних напрямів розповсюдження тріщин в деревині. L, T та R – відповідно осьовий, тангентальний і радіальний напрям

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

128



Залежність в'язкості руйнування від напрямку поширення тріщини

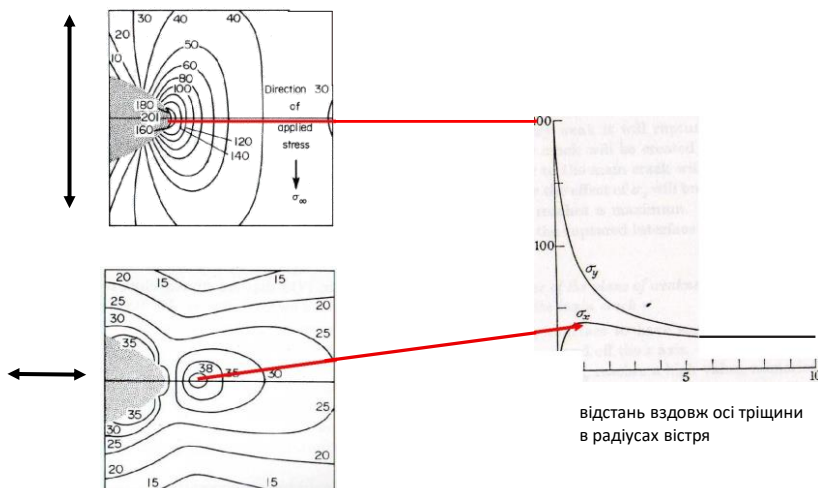
wood species	system of propagation	fracture toughness $K_{IC}/(\text{kPa m}^{1/2})$	reference
softwoods Douglas fir	TR	390	Schniewind & Pozniak (1971)
	TL	260	
	TR	355	Schniewind & Centeno (1973)
	TL	309	
	RL	410	
	RT	355	
western white pine	LT	2417	Johnson (1973)
	LR	2692	
	TL	190	
	TL	185	
western red cedar	TL	185	Johnson (1973)
hoop pine	TL	494	Walsh (1971)
sitka spruce	LR	7000	Jeronimidis (1980)
hardwoods	TL	492	Johnson (1973)
	TL	564	
	TL	407	
	TL	478	
lauan	TL	505	Walsh (1971)
messymate stringbark	TL	681	
maiden's gum	TL and RL	112	Wu (1963)
balsa	LR	2500	
mahogany	TL	480	Williams & Birch (1976)
	TL	960	
	TL	840	
	TR	350	

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

129



Більше про тріщини...



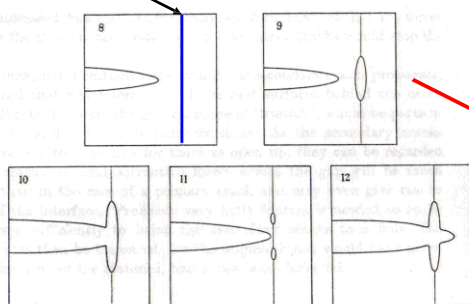
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

130



Механізми зупинки тріщин

поверхня поділу



взаємодія в різних умовах між тріщиною, що розширюється і ослабленою поверхнею



Figure 7.18 Crack-stopping in a fractured rotor blade. The orientation of the secondary cracks corresponds to the microfibrillar orientation of the middle layer of the secondary cell wall ($\times 990$, polarised light) (© BRE)

- Якщо поверхня поділу «ослаблена» (близько однієї п'ятої міцності матеріалу), вона може відкритися і ефективно затупити або зупинити тріщину що поширюється, або змінити її шлях
- Дерево містить кілька інтерфейсів на декількох ієрархічних рівнях!

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

131



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

132





Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

133



Довготривалі механічні властивості

Повзучість і втома



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

134



Повзучість

- З плином часу деревина «повзе», тобто вона піддається подальшій деформації під статичним навантаженням
- Це часто видно як провисання книжкових полиць і дахів у старих будівлях ...
- Повзучість відбувається на рівні напруження що нижче граничного напруження (міцності) деревини
- Повзучість притаманна не тільки деревині, але також спостерігається в таких матеріалах, як бетон, бітум і пластмаса



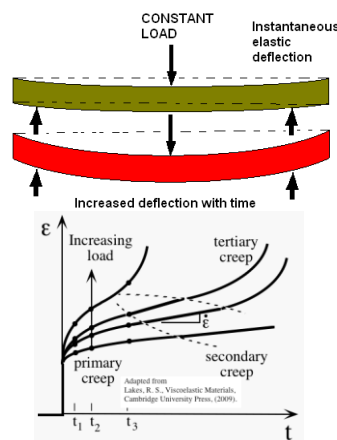
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

135



Залежність деформації від часу

- Після навантаження відбувається миттєве відхилення
- Якщо навантаження підтримується, прогин буде поступово збільшуватися (деревина «повзе»)
- Якщо вантаж буде знято, деревина відновлюється... але часто не повністю!
- Якщо прикладене навантаження є близьким до граничного навантаження, то з часом повзучість може призвести до руйнування!
- Встановлено, що якщо елемент деревини сприймає навантаження протягом 100 років, навантаження повинно бути <50% від граничного навантаження



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

136

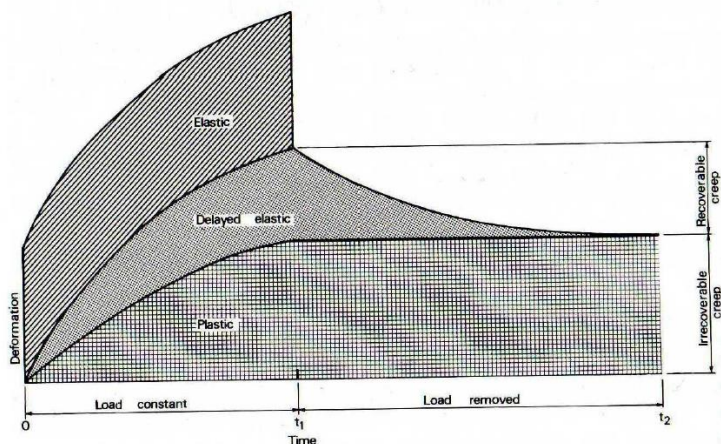


Поведінка деревини

- Поведінка деревини не є ані повністю пружною (тобто при навантаженні повністю відновлюється форма), і вона не є повністю пластичною (тобто матеріал тече і не відновлює свою початкову форму взагалі), але знаходиться (поведінка) десь між ними
- Це відомо як *в'язкопружна поведінка*
- Повзучість - це форма такої поведінки. Повзучість - це деформація при постійному навантаженні, що перевищує пружну складову деформації
- Повне відхилення після певного часу може розглядатися як складається з трьох компонентів:
 - Пружний прогин (початкове відхилення внаслідок прикладеного навантаження, що відновлюється повністю і миттєво при знятті навантаження)
 - Відстрочена пружність (наступна, але залежна від часу, відновлювана деформація - отже, «пружня»). Відновлювана "повзучість"
 - Незворотний або "пластичний" прогин, який не може бути відновлений, коли деревина розвантажується). Незворотня "повзучість"

Конструкції з деревини ДБН В.2.6-16 1:2017, EN 1995-1-1

137



Пружні і пластичні компоненти деформації деревини при постійному навантаженні.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6-16 1:2017, EN 1995-1-1

138



Відхилення при повзучості

- Величина повзучості залежить від рівня напружень, тобто від того, наскільки велике **постійне** навантаження
- Повзучість прискорюється вологою і особливо зміною вологості

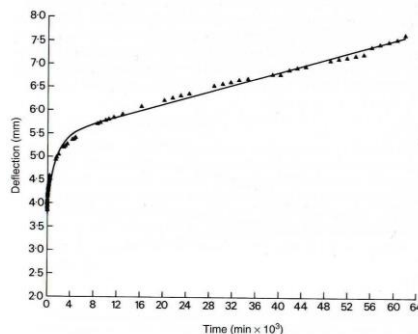


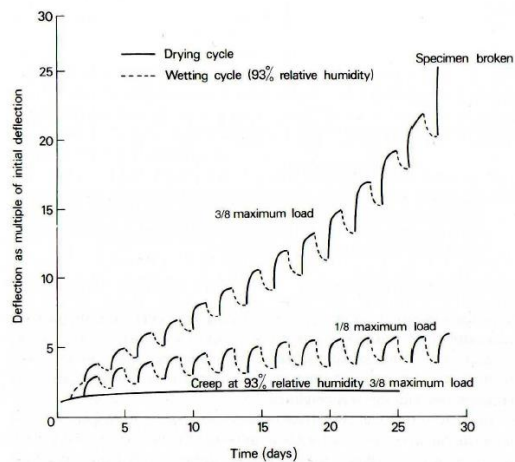
Figure 6.15 The increase in deformation with time of urea-formaldehyde (UF)-bonded chipboard (particleboard) in which the regression line has been fitted to the experimental values using Equation (6.36). (© BRE)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

139



Повзучість та циклічна зміна вологості



Вплив циклічних варіювань вмісту води на відносну повзучість зразків бука, завантажених до 1/8 і 3/8 граничного навантаження

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

140



Втома

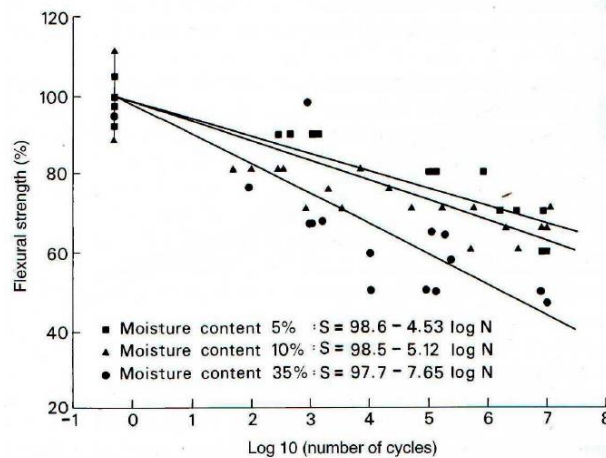
- У певних ситуаціях вмає місце циклічне навантаження
- Це призводить до процесу відомого як *втома* (буквально матеріал "*втомлюється*")
- Це може бути дуже важливим у деяких випадках таких як застосування вітрових турбін, де гравітаційні сили та вітер призводять до складних циклічних навантажень

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

141



Втома в деревині



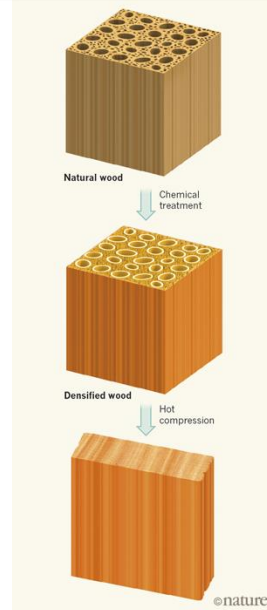
Вплив вмісту води на нарізані пластинками зразки деревини втомлені при $R=0$. Максимальний пік при напруженнях виражається у відсотках статичної міцності при вигині (згинанні).

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

142



6.Матеріали з деревини



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

143



Вироби з дерева

Первинні, наприклад

- Круглий ліс
- Піломатеріали
- Дерев'яні панелі
- Фанера
- Піломатеріали з ламінованого шпону (LVL)
- ДСП (ДСП)
- ДВП середньої щільності (МДФ)
- OSB (OSB)
- М'які панелі / Жорсткі панелі

Вторинна обробка наприклад

- Ламіновані панелі
- Клеєний ламінований лісоматеріал
- Композитні двотаврові балки
- Деревина та панелі з покриттям
- Обробка тиском (консервантом)
- Модифікована деревина (хімічна, фізична модифікація)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

144



Переваги і недоліки деревини!

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

145



Властивості деревини

- Питома жорсткість, вздовж волокон, порівнянна з сталю.
- Питома міцність (вздовж волокон) в 4 рази більша, ніж сталь
- Жорсткість мікрофібрил (основних будівельних блоків деревини) порівнянна з волокном Kevlar[™]
- Мікрофібрила в 3 рази жорсткіша за скловолокно (широко використовується в композитних виробках зі склопластику)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

146



Інші властивості деревини

- Низька теплопровідність (хороший ізолятор)
- Естетична (має добрий вигляд)
- Її вдосталь - деревина буквально "росте на деревах"!
- Відновлюваність (CO_2 та сонячне світло)
- Біорозкладається
- Низька енергія конверсії (низька "втілена енергія")
- Потенціал «вимивання вуглецю»
- Але зростає конкуренція за цей ресурс
- Приведе нас до підвищення ефективності використання сировини у майбутньому....

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

147



Отже, що є недоліком?

- Властивості деревини залежать від напряму
- Існує велика мінливість властивостей деревини через її структуру та «дефекти»
- Набряки та усихання: розмірно нестабільна
- Схильна до біологічного розпаду: вона гниє
- Горить!
- Доступна лише в обмеженому діапазоні форм і розмірів !!
- З цієї причини (та інших) крім пиломатеріалів існує велика кількість композитів на основі деревини, модифікованих виробів з деревини та, все частіше, армованих деревно-волокнистими композитами

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

148



Сімейство виробів з деревини

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

149



Вироби з дерева

Пиломатеріали:

Продукти «конструкційної
деревини»

- Клеєний брус Glue laminated timber (glulam)
- Ламінований шпон Laminated veneer lumber (LVL –Kerto)
- Фанера Plywood
- Орієнтовано-стружкова дошка Oriented strand board (OSB)

Панелі на основі
деревини

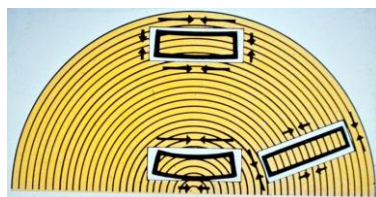
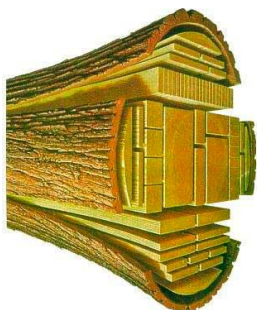
- ДСП Particleboard (chipboard)
- (МДФ) Medium density fibreboard (MDF)
- ДВП, тверді та м'які панелі з шерсті з деревини
- Композити, армовані волокнами
- Модифікована деревина

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

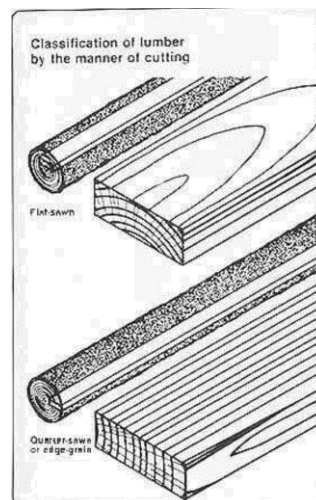
150



Пиломатеріали



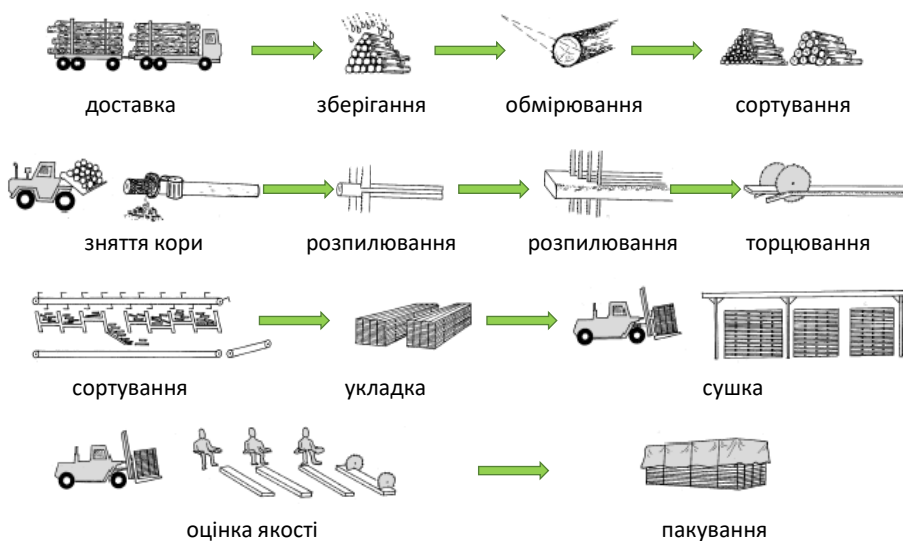
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1



151



Пиломатеріали

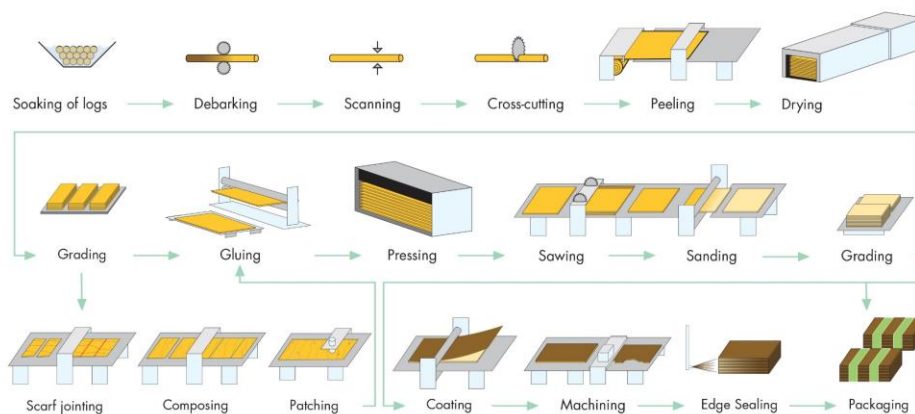


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

152



Виробництво фанери

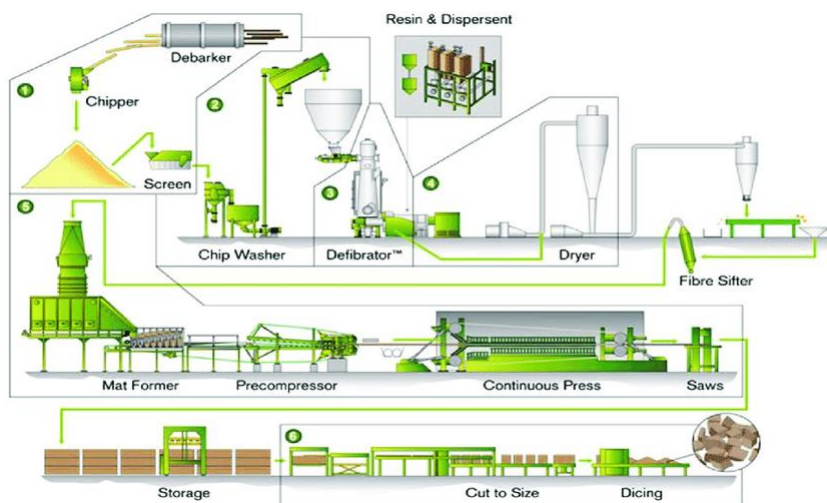


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

153



Виробництво OSB



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

154



Композити на основі деревини

Деревину можна «деконструювати», а потім «відновити» у вигляді **композиту**, так, що багато небажаних властивостей буде усунено чи з'являться нові властивості, що дозволить отримати, наприклад:

- Кращі показники
- Більш однорідні продукти
- Зменшення мінливості
- Більший асортимент розмірів
- Зменшення набряклості та усадки
- Підвищити стійкість до вогню та гниття

Це робить деревину як матеріал більш привабливою

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

155



Що ще?

- Композити ефективно використовують сировину, яка в іншому випадку може розглядатися як "відходи" (наприклад, тріска та тирса)
- Композити також можуть ефективно використовувати перероблені або регеновані матеріали (багато існуючих виробників використовують до 90% переробленої деревини, наприклад, в ДСП)
- При виробництві використовуються відносно невелика кількості клеїв на основі мінеральних речовин (як правило, 8-10% від сухої ваги), і навіть вони можуть бути замінені альтернативами на основі відновлюваних ресурсів (або навіть усуненими!)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

156



Композити на основі деревини

Деревина може бути зменшена в розмірі до:

Композитний матеріал:

- | | | |
|---------------------------|---|---|
| • Пиломатеріали, пластини | → | • Клеєний брус |
| • Шпони | → | • Фанера, LVL |
| • Пасма, смужки, частки | → | • ОСБ, ДСП |
| • Деревні волокна | → | • Папір, МДФ, Деревополімерні композити
Wood-polymer composites (WPCs) |
| • Целюлоза | → | • Целюлозні «Наноккомпозити» |

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

157



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

158



Композити на основі деревини

- Зазвичай композити на основі деревини утворюються з деревних елементів, які змішуються з клеєм і формуються в панель або брус
- Звучить просто!

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

159



Основні етапи

- Підготовка сировини (колоди, перероблена деревина)
- Перетворення на частинки (волокна, стружки, нитки) або шпон - етап "зменшення розміру"
- Частинки / шпон сушать
- Частинки/шпон класифікують/сортують
- Змішування зі смолою і добавками
- Суміш частинок/смоли/добавки («сирець») формується або у разі шпону «настиляється»
- Гаряче пресування для ущільнення частинок/шпону разом і затвердінням смоли/клею
- Охолодження і кінцева обробка (отделка)
- Подальша обробка

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

160



Що таке композит на основі деревини?

- Матеріал, що складається з частинок деревини, розміром від волокон до ламелей (включаючи частинки, нитки і шпони), з'єднаних разом клеєм.
- Зазвичай це панельні вироби
- Властивості варіюються від "не конструкційних" до "конструкційних" (не несучих, самонесучих, несучих)
- Зазвичай використовується в будівельній та меблевій промисловості
- Продукція, що виробляється в багатьох регіонах по всьому світу
- В Європейському Союзі щорічно виробляється близько 40 мільйонів кубічних метрів



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

161



Що таке композит на основі деревини?

- Широко розповсюджені як конструкційні, так і неконструкційні
 - Конструкційні композити на основі деревини включають такі вироби, як:
 - Клеєний брус
 - Орієнтовано-шпонові матеріали (LVL)
 - Фанера
 - Орієнтовано-стружкові плити (OSB)
 - І інші.....
 - Тоді як неконструкційні композити на основі деревини включають:
 - ДСП
 - ДВП
 - МДФ
 - Тверді та м'які панелі з шерсті з деревини
- Ці матеріали часто називають «панельними» продуктами

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

162



Чому композити на основі деревини?

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

163



Причини: технічні

- Деревина, доступна лише в обмежених формах і розмірах - вироби та композитні панелі можна виготовити різних розмірів
- В матеріалі створюються нові властивості. Деревина є високоанізотропною, композити на основі деревини можуть бути «сконструйовані» так, щоб вони мали спеціальні властивості
- Поліпшення стабільності розмірів (наприклад, фанера)
- Покращення властивостей обробки (наприклад, МДФ)
- Зменшення мінливості властивостей шляхом видалення або рандомізації дефектів
- Естетичне поліпшення за рахунок ламінування; можливий більший діапазон оздоблень
- Добре співвідношення міцності/жорсткості та ваги - добре у застосуванні та зменшує транспортні витрати

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

164



Причини: комерційні

- Використання деревини малих розмірів і неякісний матеріал
- Ефективне використання "відходів" (тирса, стружка, "міський ліс")
- Використання не деревинних лігноцелюлозних ресурсів
- Можливість отримання доданої вартості

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

165



Загальні проблеми

- Сировина: тенденції до погіршення якості, швидкозростаючі види
- Конкуренція за лісовий ресурс за рахунок застосування деревини для вироблення енергії та інших цілей (наприклад, відпочинку)
- Хороший спосіб використання переробленої або регенерованої деревини
- Використання сировини не з деревини (солома злакова)
 - пшенична солома, джут тощо
- Формальдегід для в'язучого (клею): велика проблема
- Летючі органічні сполуки при виробництві

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

166



Конструкційні панелі та інженерна деревина

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

167



Інженерна деревина

Термін «інженерна» означає деяку реальну конструкційну функцію

- До продуктів належать:
 - Клеєний брус
 - Перехресно-клеєна деревина Cross-laminated timber (CLT)
 - Брус з клеєного шпону (LVL – Kerto)
 - Фанера
 - Орієнтовано стружкова плита (OSB)
 - Інші:
 - Паралельно волоконний брус Parallel Strand Lumber (PSL)
 - Ламіновано волоконний брус Laminated Strand Lumber (LSL)
 - Орієнтовано волоконний брус Oriented Strand Lumber (OSL)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

168



Клеєний брус

- Клеєний брус ("glulam") виготовляється шляхом складання декількох окремих шарів деревини, які були спеціально відібрані та розміщені в клеєній балці, виходячи з її експлуатаційних характеристик
- Шари з'єднуються між собою міцними, вологостійкими клеями, такими як PRF - фенол-резорцинол формальдегід, RF (ресорцинол формальдегід), MF (меламін формальдегід), MUF/MURF (меламін карбамід формальдегід/меламін карбамід формальдегіду сечовина)
- Клеєний брус випускається товщиною від 15 до 180 см (і більше) і довжиною до 30 м
- Для отримання конструкцій достатньої довжини окремі елементи, можна з'єднувати нагелями

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

169



Застосування

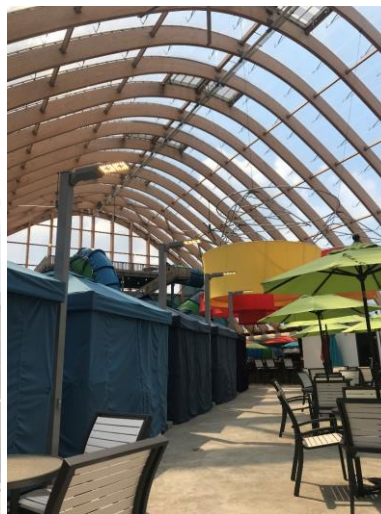
- Клеєний брус забезпечує велику гнучкість у дизайні - зігнуті балки великої довжини
- З'єднання: болти або нагелі

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

170



Застосування

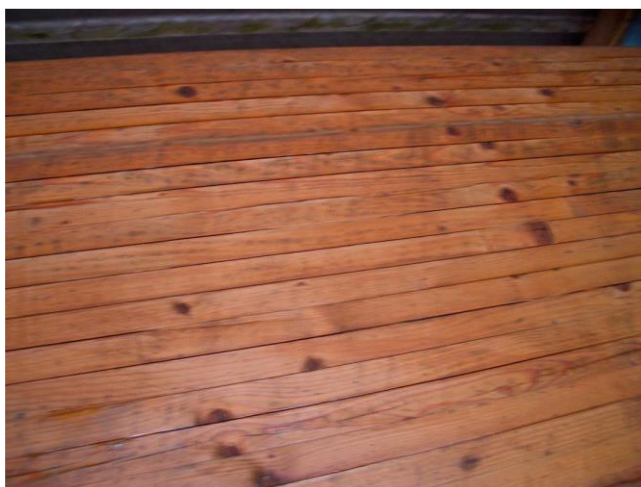


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

171



Вологість



Високий вміст води; невідповідна смола –UF

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

172



Розтріскування



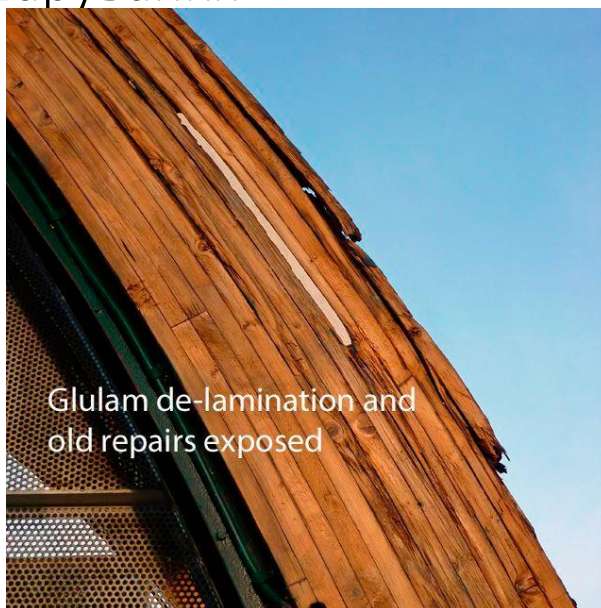
Вигнуті балки - напруження перпендикулярно до волокон

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

173



Розшарування

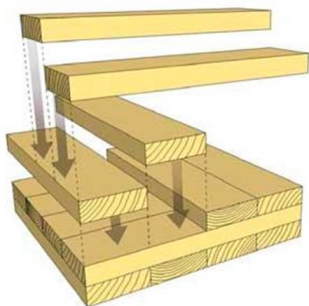


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

174



Перехресно-клеєна деревина CLT



- **CLT** або Перехресно-клеєна деревина

Виготовляється з класифікованої по міцності (хвойна деревина C24/C16) деревини, склеєної разом з поперемінними шарами, покладеними перпендикулярно сусідньому шару

- Виробництво панелей http:

<http://www.youtube.com/watch?v=bb-TOnLDmoE&feature=related>

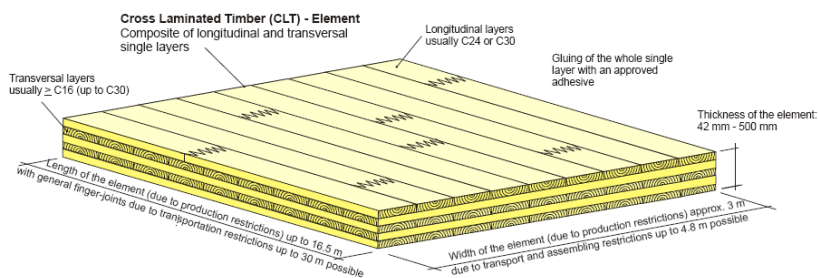
<https://www.youtube.com/watch?v=rLqiwBL28v4>

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

175



Структура CLT-елемента (5-шаровий)



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

176



Застосування

- Застосування в якості конструктивних елементів
- Стіни, дахи, підлоги
- Масивна деревина, тому переваги в термо і звукоізоляції
- Ефекти теплової маси та буферізації вологи



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

177



Брус з клеєного шпону - LVL



LVL



PSL



LSL



OSL

- **LVL** утворює групу матеріалів/виробів, відомих як структурний композитний брус. Він включає в себе **LVL**, паралельно-волокнистий брус *parallel strand lumber* (**PSL**), ламіновано-стружковий брус *laminated strand lumber* (**LSL**) та орієнтовано-стружковий брус *oriented strand lumber* (**OSL**)
- LVL формується з обрізаних листів шпону, які розташовані переважно паралельно один одному

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

178



Metropol parasol –Sevilla



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

179



Листові матеріали з деревини

Матеріали, що не розглядаються:

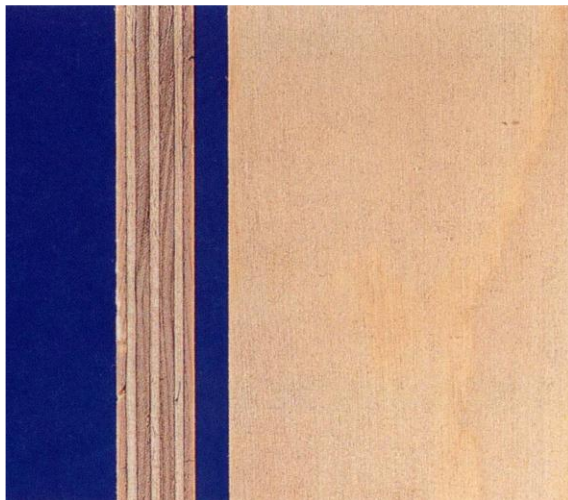
цементно-волокниста плита,
панелі на гіпсовій основі,
CLT (*Cross-Laminated Timber*) багат шарові
клеєні дерев'яні панелі

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

180



Фанера



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

181



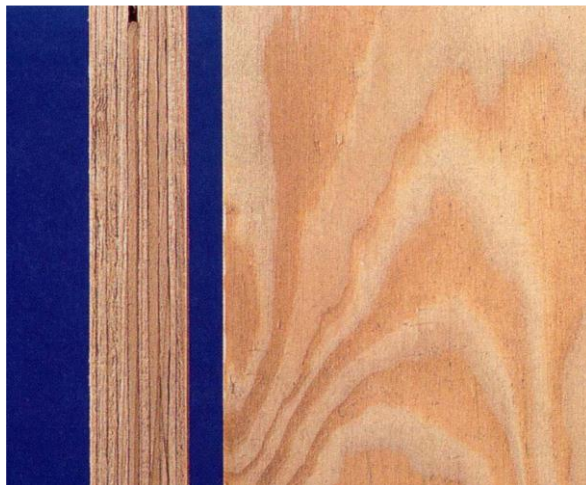
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

182



LVL (*Laminated Veneer Lumber*)

пиломатеріал з листового шпону



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

183



- Паралельно-волокнистий брус **PSL** *parallel strand lumber* : сформований з довгих шпонових ниток шириною близько 25 мм, склеєних між собою для формування довгих балок з хорошими конструктивними властивостями
- Ламіновано-стружковий брус **LSL** *laminated strand lumber* та орієнтовано-стружковий брус **OSL** *oriented strand lumber* формуються з стружки довжиною від 15 см (OSL) до 30 см (LSL).

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

184





PSL: конструкційні матеріали,
подібні до LVL



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

185



OSB (Oriented Strand Board) Орієнтованостружкова плита



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

186



Орієнтовано-стружкова панель - OSB

- Орієнтовано-стружкова панель ОСБ, - це конструкційний продукт з деревини, виготовлений з стружки довжиною та шириною кілька сантиметрів, але товщиною < 1 мм
- Стружка «орієнтується» аналогічно фанері
- Зклеюється міцними водонепроникними смолами, такими як фенолформальдегід (PF) або MDI (метилендифенілдіізоціанат)
- Поєднання довгих, перемежованих стружок деревини, які переважно орієнтовані в один бік, надає панелі конструкційні властивості

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

187



Застосування

- Замінник для фанери:
 - Добрі механічні властивості
 - Низька щільність - добрі специфічні механічні властивості
 - Сировина: хороша доступність; як правило, нижча якість, ніж це потрібно для фанери; хороше використання ресурсів
- Доступна в різних сортах залежно від застосування, наприклад для сухих конструкційних застосувань або для сухого та вологого конструкційного використання
- Типове застосування включає:
 - Будівництво (компоненти для двотаврових («I») балок, обшивки, підлоги, внутрішніх стін, настилу даху)
 - Внутрішнє оздоблення (наприклад, пристосування магазину)
 - Промислове застосування (сільськогосподарські будівлі)
 - Формування бетону (опалубка)
 - Меблі

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

188



Орієнтовано-стружкова панель – OSB

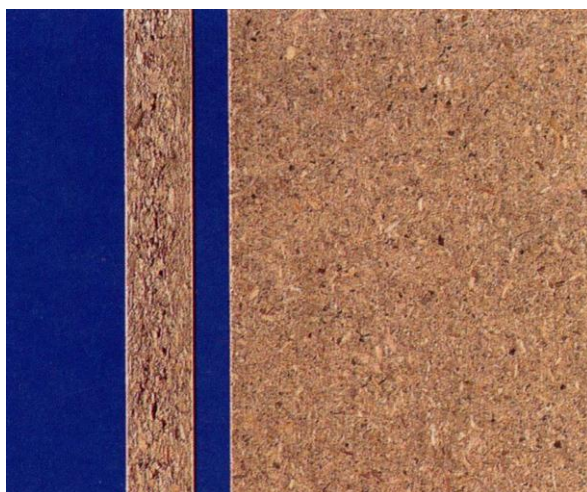


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

189



ДСП (Particleboard) Деревинно-стружкова плита



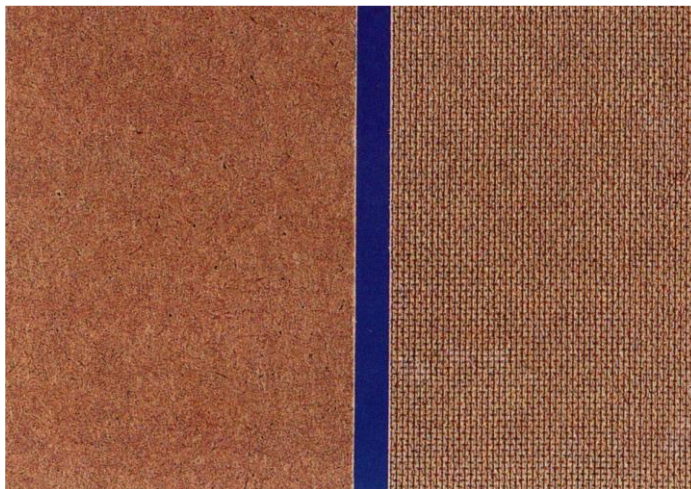
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

190



ДВП (Fibreboard) високої щільності

Деревноволокниста плита



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

191



ДВП (Fibreboard) середньої щільності

Деревноволокниста плита



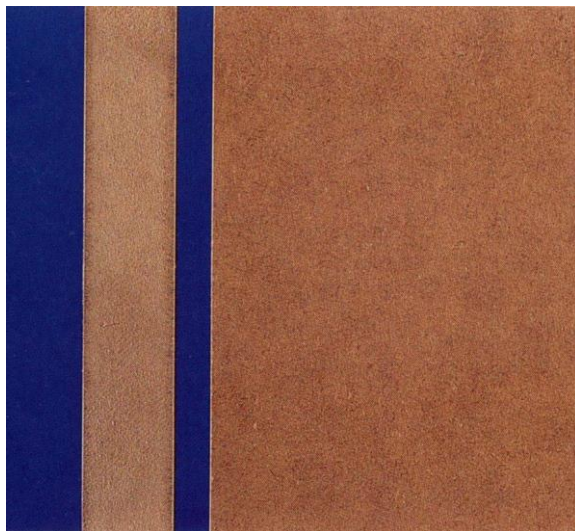
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

192



MDF (Medium Density Fibreboard)

Деревоволокниста плита середньої щільності



193



7. Розрахунок конструкцій з деревини (загальні положення)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

194



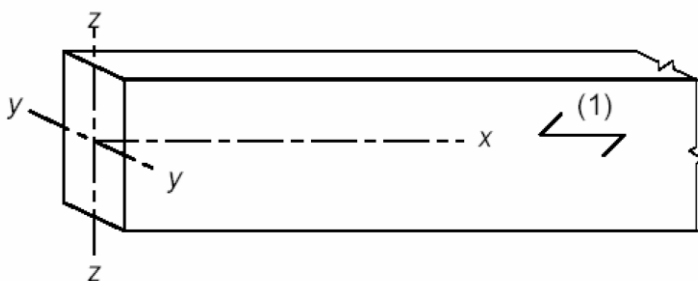
Загальна концепція

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

195



Визначення осей



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

196



Поняття про безпеку

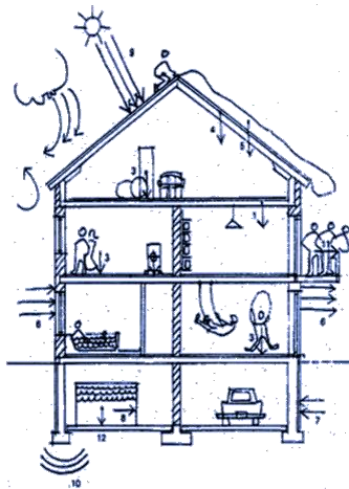
$$E_d \leq R_d$$

Навантаження і впливи

Власна вага
Вітер
Сніг
Змінні навантаження
Температура
Вогонь

Опір:

Конструкція
Для елементів конструкції:
Матеріали
Модуль пружності, зсуву
Площа перетину,
Форма перетину
Момент інерції

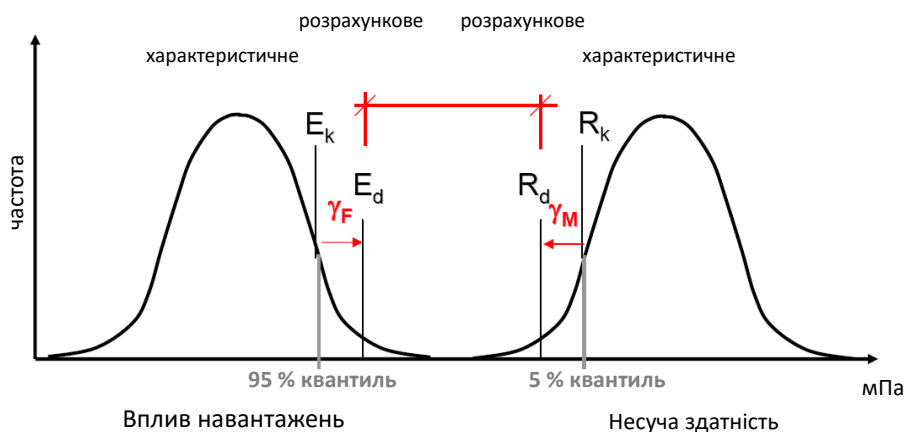


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

197



Безпека



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

198



Навантаження за ДБН В.1.2-2:2006 «НАВАНТАЖЕННЯ І ВПЛИВИ»

Залежно від причин виникнення навантаження і впливи поділяються на

- основні
- епізодичні

Залежно від змінюваності у часі впливи поділяються на

- постійні
- змінні

Залежно від тривалості неперервної дії змінні навантаження і впливи поділяються на

- тривалі,
- короткочасні
- епізодичні

Навантаження, що виникають при виготовленні, зберіганні та перевезенні конструкцій, а також при зведенні споруд, слід враховувати при розрахунках як короткочасні.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

199



Навантаження за ДБН В.1.2-2:2006 «НАВАНТАЖЕННЯ І ВПЛИВИ»

Залежно від характеру навантажень та мети розрахунку за 4.3 використовуються чотири види розрахункових значень:

- граничне,
- експлуатаційне,
- циклічне,
- квазіпостійне.

Розрахункове значення	Використання видів навантажень за типом розрахунку			
	Основні			Епізодичні
	Постійні	Змінні		
		Тривалі	Короткочасні	
Експлуатаційне	б, г	б	б	
Граничне	а	а	а	а
Циклічне		в	в	
Квазіпостійне		г		

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

200



Навантаження за ДБН В.1.2-2:2006 «НАВАНТАЖЕННЯ І ВПЛИВИ»

Прийнята класифікація навантажень забезпечує можливість розрахунку будівельних конструкцій з урахуванням необхідних розрахункових ситуацій та граничних станів, а саме:

- а) перевірку міцності, стійкості та інших критеріїв несучої здатності при одноразовому навантаженні в екстремальних умовах експлуатації (аварійна розрахункова ситуація або стабільна чи перехідна розрахункова ситуація, що може реалізуватися обмежене число разів за строк служби);
- б) перевірку жорсткості та тріщиностійкості в режимі нормальної експлуатації (стабільна розрахункова ситуація);
- с) перевірку витривалості при повторних навантаженнях (стабільна розрахункова ситуація);
- д) урахування повзучості матеріалів та інших реологічних процесів при дії постійних і довготривалих навантажень (стабільна розрахункова ситуація).

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

201



Навантаження за ДБН В.1.2-2:2006 «НАВАНТАЖЕННЯ І ВПЛИВИ»

До постійних навантажень слід відносити:

- а) вагу частин споруд, у тому числі вагу несучих та огорожувальних конструкцій;
- б) вагу та тиск ґрунтів (насипів, засипок), гірничий тиск.

Зусилля від попереднього напруження, що зберігаються у конструкції чи в основі, слід враховувати при розрахунках як зусилля від постійних навантажень.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

202



Навантаження за ДБН В.1.2-2:2006 «НАВАНТАЖЕННЯ І ВПЛИВИ»

До змінних тривалих навантажень слід відносити:

- а) вагу тимчасових перегородок, підливов та підбетонів під обладнання;
- б) вагу стаціонарного обладнання: верстатів, апаратів, моторів, місткостей, трубопроводів з арматурою, опорними частинами та ізоляцією, стрічкових конвеєрів, постійних підйомних машин з їхніми канатами та напрямними, а також вагу рідких та твердих речовин, що заповнюють обладнання;
- в) тиск газів, рідин та сипучих тіл у місткостях та трубопроводах, надлишковий тиск та розрідження повітря, що виникає при вентиляції шахт;
- г) навантаження на перекриття від складованих матеріалів і стелажного обладнання у складських приміщеннях, холодильниках, зерносховищах, книгосховищах, архівах та подібних приміщеннях;
- д) температурні технологічні впливи від стаціонарного обладнання;
- е) вагу шару води на водонаповнених плоских покриттях;
- ж) вагу відкладень промислового пилу, якщо його накопичення не виключене відповідними заходами;

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

203



Навантаження за ДБН В.1.2-2:2006 «НАВАНТАЖЕННЯ І ВПЛИВИ»

До змінних тривалих навантажень слід відносити:

- з) навантаження від людей, худоби, обладнання на перекриття житлових, громадських та сільськогосподарських будівель з квазіпостійними розрахунковими значеннями;
- і) вертикальні навантаження від мостових та підвісних кранів з квазіпостійними розрахунковими значеннями;
- к) снігові навантаження з квазіпостійними розрахунковими значеннями;
- л) температурні кліматичні впливи з квазіпостійними розрахунковими значеннями;
- м) впливи, обумовлені деформаціями основи, які не супроводжуються докорінною зміною структури ґрунту;
- н) впливи, обумовлені зміною вологості, компонентів агресивного середовища, усадкою і повзучістю матеріалів.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

204



Навантаження за ДБН В.1.2-2:2006 «НАВАНТАЖЕННЯ І ВПЛИВИ»

До змінних короткочасних навантажень слід відносити:

- а) навантаження від устаткування, що виникають у пускозупинному, перехідному та випробувальному режимах, а також під час його перестановки чи заміни з граничними чи експлуатаційними розрахунковими значеннями;
- б) **вагу людей, ремонтних матеріалів у зонах обслуговування та ремонту** устаткування з граничними чи експлуатаційними розрахунковими значеннями;
- в) навантаження від людей, худоби, устаткування на перекриття житлових, громадських та сільськогосподарських будівель з граничними чи експлуатаційними розрахунковими значеннями;

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

205



Навантаження за ДБН В.1.2-2:2006 «НАВАНТАЖЕННЯ І ВПЛИВИ»

До змінних короткочасних навантажень слід відносити:

- г) навантаження від рухомого підйомно-транспортного устаткування (навантажувачів, електрокарів, кранів-штабелерів, тельферів), а також від мостових та підвісних кранів з граничними чи експлуатаційними розрахунковими значеннями;
- д) **снігові навантаження** з граничними чи експлуатаційними розрахунковими значеннями;
- е) **температурні кліматичні впливи** з граничними чи експлуатаційними розрахунковими значеннями;
- ж) **вітрові навантаження** з граничними чи експлуатаційними розрахунковими значеннями;
- з) **ожеледні навантаження** з граничними чи експлуатаційними розрахунковими значеннями.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

206



Навантаження за ДБН В.1.2-2:2006 «НАВАНТАЖЕННЯ І ВПЛИВИ»

До епізодичних навантажень належать:

- а) сейсмічні впливи;
- б) вибухові впливи;
- в) навантаження, викликані різкими порушеннями технологічного процесу, тимчасовою несправністю чи руйнуванням обладнання;
- г) впливи, обумовлені деформаціями основи, які супроводжуються докорінною зміною структури ґрунту (при замочуванні просадкових ґрунтів) або його осіданням у районах гірничих виробок і в карстових районах.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

207



Розрахункові ситуації

Стабільна ситуація (після
зведення конструкції)



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

208



Розрахункові ситуації

Перехідна розрахункова
ситуація (під час зведення
конструкції)



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

209



Розрахункові ситуації

Аварійна розрахункова
ситуація (удар, пожежа)



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

210



Граничні стани

Граничний стан за міцністю і стійкістю конструкції
Ultimate limit states (ULS)

Граничний стан за експлуатаційною придатністю
Serviceability limit states (SLS)

Для всіх розрахункових ситуацій граничні стани не повинні перевищуватися.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

211



Застосування граничних станів

Граничні стани є функціональними рівнями, за межами яких конструкція більше не задовольняє критеріям ефективності.

Граничний стан за міцністю і стійкістю конструкції
Ultimate limit states (ULS)

- Рівень безпеки
- Забезпечення безпеки людей
- Цілісність структури

Граничний стан за експлуатаційною придатністю
Serviceability limit states (SLS)

- Комфорт користувача будівлі
- Відсутність зайвих відхилень, вібрацій, тріщин
- Узгоджується від проекту до проекту

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

212



Навантаження і впливи

Характеристичні навантаження

G_k – постійні, наприклад власна вага

Q_k – змінні, наприклад вітер, сніг, переміщення

A_k – аварійні, наприклад удар

індекс k означає характеристичне (characteristic) навантаження

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

213



Граничний стан за міцністю і стійкістю конструкції Ultimate limit states (ULS)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

214



Розрахункові значення навантажень

В розрахунках конструкцій можуть бути використані сполучення двох типів – основні та аварійні.

Для перевірки граничних станів першої групи використовують основні сполучення, які включають **постійні навантаження** з граничними розрахунковими значеннями, граничні розрахункові, циклічні або квазіпостійні **значення змінних навантажень**.

Основні сполучення

$$\sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad 1,1 \cdot G_k + 1,3 \cdot W_k + 1,3 \cdot 0,5 \cdot S_k$$

наприклад

спрощено:

Найбільш несприятливе змінне навантаження

$$\sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \quad 1,1 \cdot G_k + 1,3 \cdot W_k$$

Всі несприятливі змінні навантаження

$$\sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + 1,3 \cdot \sum Q_{k,i} \quad 1,1 \cdot G_k + 1,3 \cdot (G_k + W_k + S_k)$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

215



Проектні значення навантажень; коефіцієнт для репрезентативних значень навантажень:

Мала ймовірність одночасної реалізації розрахункових значень декількох навантажень урахується множенням розрахункових значень навантажень, що ввійшли у сполучення, на коефіцієнт сполучення $\psi \leq 1$.

Коефіцієнт для репрезентативних значень дій ψ (пси)

ψ_0 коефіцієнт комбінацій (у фундаментальних проектних ситуаціях)

ψ_1 частотний коефіцієнт (в випадкових розрахункових ситуаціях та обчисленнях за експлуатаційною придатністю)

ψ_2 квазіпостійний коефіцієнт (в розрахунках за експлуатаційною придатністю)

Принципове правило:

$$\gamma_{G,j} \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

Використовуйте ψ_0 з другого змінного навантаження.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

216



Коефіцієнти сполучень

Дія	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Прикладені навантаження на будівлі, категорія (див. EN 1991-1-1)			
Категорія A: житлові будинки, житлові площі	0,7	0,5	0,3
Категорія B: офісні площі	0,7	0,5	0,3
Категорія C: площі зібрання великої кількості людей	0,7	0,7	0,6
Категорія D: торговельні площі	0,7	0,7	0,6
Категорія E: склади	1,0	0,9	0,8
Категорія F: проїзна частина, вага транспортного засобу ≤ 30 кН	0,7	0,7	0,6
Категорія G: проїзна частина, 30 кН $<$ вага транспортного засобу ≤ 160 кН	0,7	0,5	0,3
Категорія H: дахи	0	0	0
Снігові навантаження на будівлях (див. EN 1991-1-3)*			
Фінляндія, Ісландія, Норвегія, Швеція	0,7	0,5	0,2
Інші країни-члени Європейського комітету з стандартизації, для місць, що розташовані на висоті $H > 1000$ м над рівнем моря	0,7	0,5	0,2
Інші країни-члени Європейського комітету з стандартизації, для місць, що розташовані на висоті $H \leq 1000$ м над рівнем моря	0,5	0,2	0
Вітрове навантаження на будівлі (див. EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Температура (без пожежі) в будівлях (див. EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

217



Коефіцієнти сполучень

Навантаження	ψ_0	ψ_1	ψ_2
житлові будинки, житлові площі, офісні площі	0,7	0,5	0,3
площі зібрання великої кількості людей	0,7	0,7	0,6
склади	1,0	0,9	0,8
вітер	0,6	0,2	0
Сніг ≤ 1000 м	0,5	0,2	0

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

218



Коефіцієнти надійності за навантаженням

Навантаження	постійні	змінні
сприятливі	$\gamma_G = 1,0$	$\gamma_Q = 0$
несприятливі	$\gamma_G = 1,1$	$\gamma_Q = 1,3$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

219



Концепція безпеки - спрощенно

Коефіцієнти надійності за навантаженням і матеріалом $\gamma_f(\gamma_G, \gamma_Q), \gamma_M$

$$G_k \times \gamma_G + Q_k \times \gamma_Q \leq k_{\text{mod}} \times \frac{R_k}{\gamma_M}$$

для деревини $\gamma_M = 1,3$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

220



Граничний стан за експлуатаційною придатністю Serviceability limit states (SLS)

Розрахунки

- деформацій
- вібрацій

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

221



Сполучення навантажень

Збільшення впливу/навантаження за коефіцієнтами надійності γ
(гамма-фактори)

$$G_d = \gamma_G \cdot G_k$$

$$Q_d = \gamma_Q \cdot Q_k$$

Розрахункова ситуація	γ_G	γ_Q
Розрахунки міцності і стійкості конструкції		
Сприятливі ефекти	1,0	0
Несприятливі ефекти	1,1	1,3
Розрахунки за експлуатаційною придатністю	1,0	1,0

менше ризиків для безпеки

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

222



Граничний стан за експлуатаційною придатністю (SLS)

Розрахункові значення навантажень

характеристичні сполучення (рідко):

$$\sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$G_k + W_k + 0,5 \cdot S_k$$

квазіпостійні сполучення

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$G_k + 0,0 \cdot W_k + 0,0 \cdot S_k$$

Навантаження	ψ_0	ψ_1	ψ_2
житлові будинки, житлові площі, офісні площі	0,7	0,5	0,3
площі зібрання великої кількості людей	0,7	0,7	0,6
склади	1,0	0,9	0,8
вітер	0,6	0,2	0
Сніг ≤ 1000 м	0,5	0,2	0

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

223



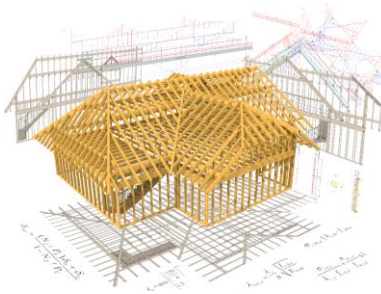
Властивості матеріалів та експлуатаційні класи

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

224



Послідовність розрахунку



- Ідентифікація властивостей міцності і жорсткості в відповідних стандартах
- Встановлення коефіцієнтів модифікації
 - Матеріал
 - Навантаження
 - Експлуатаційний клас
- Визначення розрахункової міцності матеріалу

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

225



Розрахункове значення властивостей матеріалу X_d

$$X_d = \frac{k_{mod} \cdot X_k}{\gamma_M}$$

X_k – характеристичне значення властивості міцності

γ_M – коефіцієнт надійності за навантаженням

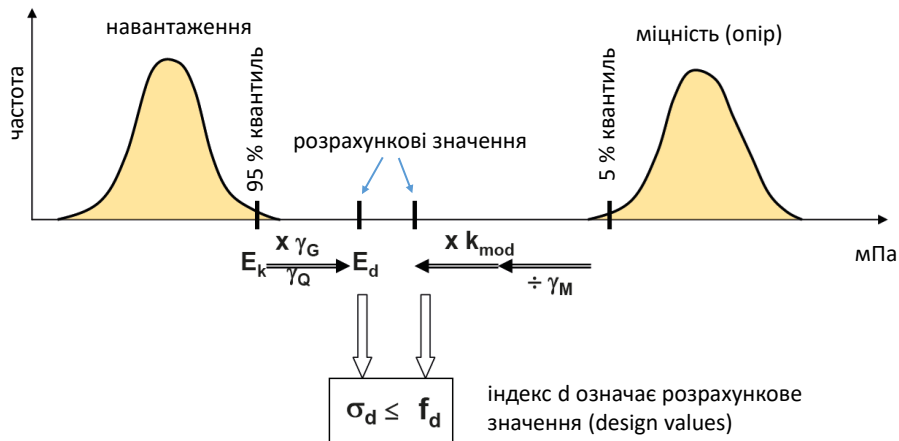
k_{mod} – коефіцієнт перетворення, що враховує тривалість дії навантаження та температурно-вологісні умови експлуатації.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

226



Розрахунки на міцність і стійкість (ULS)



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

227



Характеристичні значення властивостей матеріалів

- 5 % квантиль властивостей міцності, наприклад
 - міцність на згин
 - міцність на розтяг
 - несуча здатність з'єднання
- Середнє значення властивостей жорсткості, наприклад
 - модуль пружності (виключення: пластичні деформації, втрата стійкості плоскої форми деформування)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

228



Характеристичні значення міцності, жорсткості та густини для хвойної деревини

Класи міцності	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Значення міцності, Н/мм ²												
Згин, $f_{m,k}^a$	14,0	16,0	18,0	20,0	22,0	24,0	27,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0
Розтяг вздовж, $f_{t,0,k}^a$	8,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	16,0	18,0	21,0	24,0	27,0	30,0
Розтяг впоперек, $f_{t,90,k}^a$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Стиск вздовж, $f_{c,0,k}^a$	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0	25,0	26,0	27,0	29,0
Стиск впоперек, $f_{c,90,k}^a$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Сколювання та кручення, $f_{v,k}^c$	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Значення жорсткості, Н/мм ²												
Модуль пружності вздовж, $E_{0,mean}^{a,b}$	7000	8000	9000	9500	10000	11000	11500	12000	13000	14000	15000	16000
Модуль пружності впоперек, $E_{90,mean}^b$	230	270	300	320	330	370	380	400	430	470	500	530
Модуль зсуву, $G_{mean}^{b,c}$	440	500	560	590	630	690	720	750	810	880	940	1000
Значення густини, кг/м ³												
Густина, ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460

Розрахункове значення характеристичної міцності при розтягу впоперек напрямку волокон $f_{t,90,k}$ відрізняється від розрахункових значень за ДСТУ EN 338, але при розрахунку необхідно використовувати тільки значення, представлені тут.

^a Розрахункове значення для кругляка підвищується на 20 % за відсутності на ньому кори та лубу без ослаблення краюї зони.

^b Характеристичне значення модуля зсуву $G_{R,k}$ всіх класів міцності може прийматися 1,0 Н/мм² при розрахунках. При напруженнях сколювання необхідно приймати значення модуля зсуву, який дорівнює $G_{R,mean} = 0,10 \cdot G_{mean}$.

^c Для характеристичного значення жорсткості $E_{0,05}$, $E_{90,05}$ та $G_{0,05}$ розрахунковими значеннями є: $E_{0,05} = 2/3 \cdot E_{0,mean}$, $E_{90,05} = 2/3 \cdot E_{90,mean}$, $G_{0,05} = 2/3 \cdot G_{mean}$.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

229



Характеристичні значення міцності, жорсткості та густини для однорідної (h) та комбінованої (с) клеєної деревини

Класи міцності клеєної деревини		GL 24h	GL 28h	GL 32h	GL 36h	GL 24c	GL 28c	GL 32c	GL 36c
Значення міцності, Н/мм ²									
Міцність при згині	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36	24	28	32	36
Міцність при розтягу	$f_{t,0,g,k}$	16,5	19,5	22,5	26	14	16,5	19,5	22,5
	$f_{t,90,g,k}$	0,4	0,45	0,5	0,6	0,35	0,4	0,45	0,5
Міцність при стиску	$f_{c,0,g,k}$	24	26,5	29	31	21	24	26,5	29
	$f_{c,90,g,k}$	2,7	3	3,3	3,6	2,4	2,7	3	3,3
Міцність при сколюванні	$f_{v,g,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3	2,2	2,7	3,2	3,8
Значення жорсткості, Н/мм ²									
Модулі пружності	$E_{0,g,mean}$	11 600	12 600	13 700	14 700	11600	12600	1370 0	147 00
	$E_{0,g,05}$	9 400	10 200	11 100	11 900	9400	10200	1110 0	119 00
	$E_{90,g,mean}$	390	420	460	490	320	390	420	460
Модуль зсуву	$G_{g,mean}$	720	780	850	910	590	720	780	850
Значення густини, кг/м ³									
Густина	$\rho_{g,k}$	380	410	430	450	350	380	410	430

Для розрахунків, пов'язаних з міцністю, приймати $G_{g,05} = E_{0,g,05}/16$.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

230



Коефіцієнт надійності за матеріалом γ_M

Основні комбінації	γ_M
Цільна деревина	1,3
Клеєна деревина	1,25
Клеєний шпон (LVL), фанера, OSB	1,20
ДСП, ДВП, МДФ	1,30
З'єднання	1,30
Металеві зубчасті пластини	1,25
Випадкові комбінації	1,00

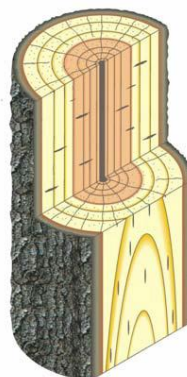
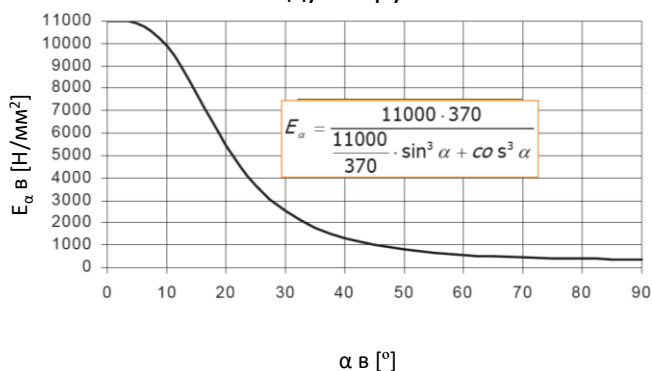
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

231



Механічні властивості різні під різним кутом до волокон деревини

Модуль пружності



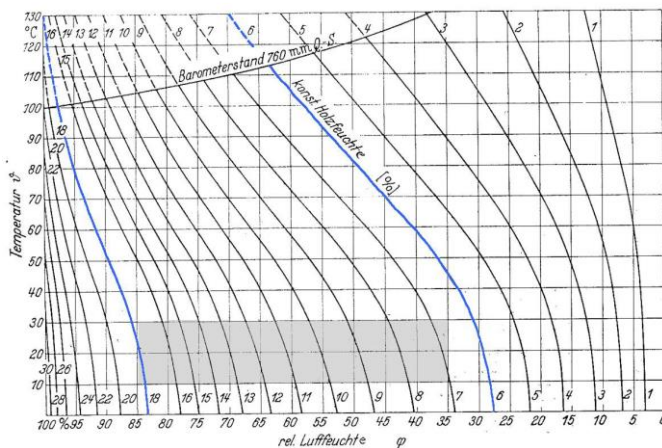
Механічні властивості пов'язані з густиною (щільністю)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

232



Гігроскопічні ізотерми для деревини ялиці



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

233



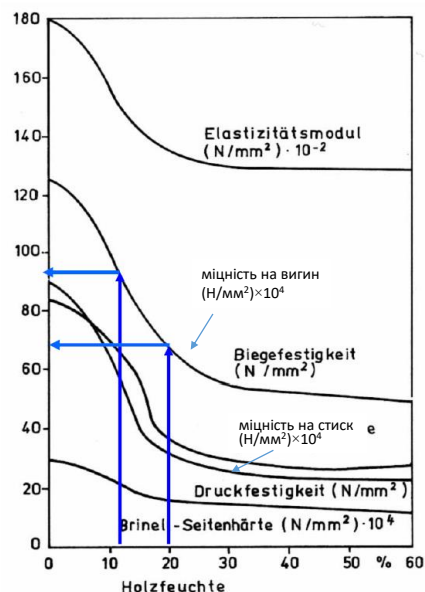
Ефект вмісту води

Механічні властивості деревини залежать від її вологості

Приклад

Зміна вологості деревини з 12 % до 20 % веде до значного зменшення

$$\frac{68 \text{ Н/мм}^2}{92 \text{ Н/мм}^2} = 0,74$$



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

234



Властивості міцності, що залежать від вологості зведені в **Експлуатаційні класи**

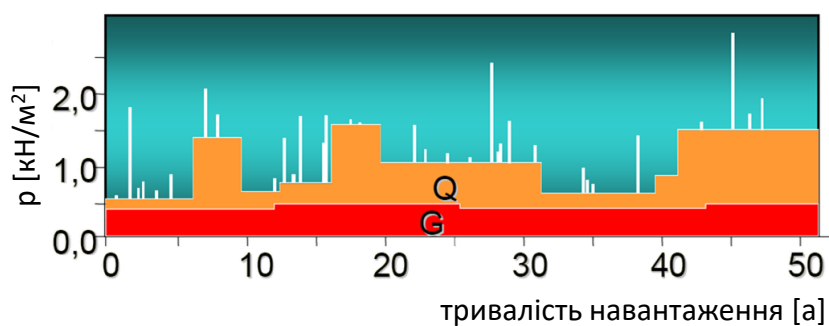
Експлуатаційні класи	Середня вологість деревини u_m	Умови навколишнього середовища
1	$u \leq 12\%$	температура 20 °C і відносна вологість навколишнього повітря, що перевищує 65 % тільки декілька тижнів протягом року
2	$u \leq 20\%$	температура 20 °C і відносна вологість навколишнього повітря, що перевищує 85 % тільки декілька тижнів протягом року
3	$u > 20\%$	характеризується кліматичними умовами, що призводять до більш високої вологості ніж для експлуатаційного класу 2

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

235



Навантаження на підлогу



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

236



Класи навантажень за тривалістю дії

Клас навантаження за тривалістю дії	Порядок розподілу тривалості навантажень
Постійне	Більше 10 років
Довготривале	Від 6 місяців - до 10 років
Середньої тривалості	Від 1 тижня - до 6 місяців
Короткочасне	Менше одного тижня
Миттєве	Менше однієї хвилини

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

237



Приклади призначення класу навантаження за тривалістю дії

Клас навантаження за тривалістю дії	Приклади навантаження
Постійне	Власна вага конструкцій; вага різного роду засипок; вага постійних перегородок, стаціонарного обладнання, комунікацій; конструкції підвісних стель; тиск ґрунту
Довготривале	Навантаження при зберіганні вантажів; навантаження від води в баках
Середньої тривалості	Снігове; рівномірно розподілені корисні навантаження на перекриття та балкони; тимчасові навантаження в гаражах-стоянках та в зонах транспортного руху; впливи, пов'язані зі зміною вологості; вага нестаціонарного обладнання; вага тимчасових перегородок
Короткочасне	Тимчасові навантаження на сходи; тимчасові зосереджені навантаження; горизонтальні навантаження на перегородки та парапети; тимчасові навантаження з обслуговування покрівель і перебування людей; транспортні навантаження; впливи від транспортних засобів та механізмів; складування вантажів; вітрове навантаження
Миттєве	Випадкові впливи

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

238



Вплив класів обслуговування та тривалості навантаження

Граничний стан за
міцністю і стійкістю (ULS):

$$k_{mod} \cdot f_k$$

k_{mod} для навантажень/впливів з
найкоротшою розрахунковою
ситуацією

Граничний стан за
експлуатаційною
придатністю (SLS)

$$\begin{cases} \frac{E}{1+k_{def}} \\ w_{el} \cdot (1+k_{def}) \end{cases}$$

окремо для кожного
навантаження/впливу

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

239



величини k_{mod} і k_{def}

величини коефіцієнта перетворення k_{mod} і коефіцієнта для оцінки
деформацій повзучості k_{def} приймаються з урахуванням експлуатаційного
класу і тривалості навантаження

k_{mod} коефіцієнт перетворення для розрахунків міцності і стійкості (ULS)
 k_{def} коефіцієнт для оцінки деформацій повзучості для розрахунків за
експлуатаційною придатністю (SLS)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

240



Значення коефіцієнта перетворення, k_{mod}

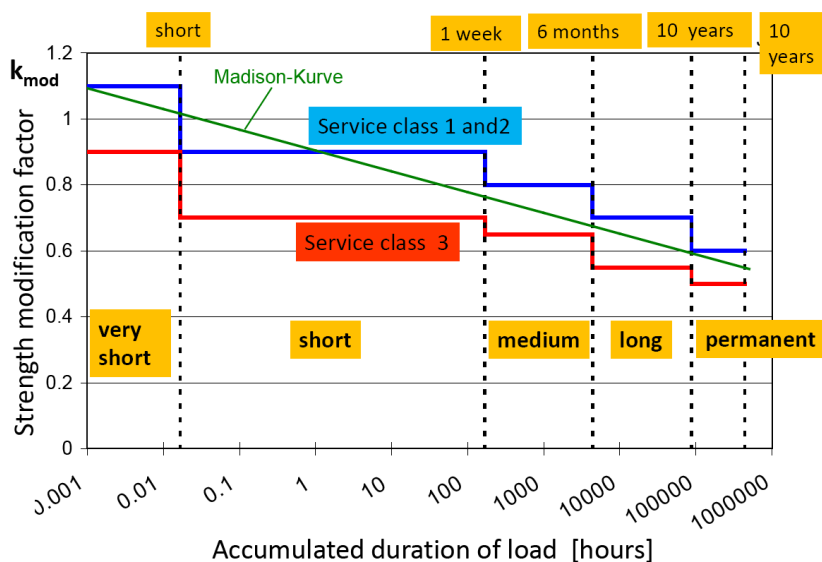
Будівельний матеріал	Клас навантаження за тривалістю дії	Експлуатаційні класи		
		1	2	3
Суцільна деревина, клеєна деревина, балочна клеєна деревина, фанера, ортогональна клеєна деревина	постійне	0,6	0,6	0,5
	тривале	0,7	0,7	0,55
	середньої тривалості	0,8	0,8	0,65
	короткочасне	0,9	0,9	0,7
	миттєве	1,1	1,1	0,9
ДСП, цементно-стружкові плити (ЦСП), ДВП (Тип НВ.НІА2)	постійне	0,3	0,2	-
	тривале	0,45	0,3	-
	середньої тривалості	0,65	0,45	-
	короткочасне	0,85	0,6	-
	миттєве	1,1	0,8	-
OSB-плити (OSB/2, OSB/3 та OSB/4)	постійне	0,4	0,3	-
	тривале	0,5	0,4	-
	середньої тривалості	0,7	0,55	-
	короткочасне	0,9	0,7	-
	миттєве	1,1	0,9	-
ДВП (Тип МВН.ІА2)	постійне	0,2	0,15	-
	тривале	0,4	0,3	-
	середньої тривалості	0,6	0,45	-
	короткочасне	0,8	0,6	-
	миттєве	1,1	0,8	-

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

241



Значення коефіцієнта перетворення $k_{mod} = f(\text{час, вологість})$



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

242



Значення коефіцієнта для оцінки деформацій повзучості, k_{def}

Будівельний матеріал	Експлуатаційні класи		
	1	2	3
Суцільна деревина ^a	0,6	0,8	2
Клеєна деревина	0,6	0,8	2
Шпонові матеріали (LVL) ^b	0,6	0,8	2
Балочна клеєна деревина	0,6	0,8	2
Ортогональна клеєна деревина	0,6	0,8	2
Фанера ^c для експлуатації в сухих умовах	0,8	-	-
Фанера ^c для експлуатації в вологих умовах	0,8	1	-
Фанера ^c для експлуатації на свіжому повітрі	0,8	1	2,5
Плити OSB/2	2,25	-	-
Плити OSB/3, OSB/4	1,5	2,25	-
ДСП для тримальних конструкцій, розрахованих на сухі умови експлуатації	2,25	-	-
ДСП для тримальних конструкцій, розрахованих на вологі умови експлуатації	2,25	3	-
ДСП для високо - навантажених плит для тримальних конструкцій, розрахованих на сухі умови експлуатації	1,5	-	-
ДСП для високо - навантажених плит для тримальних конструкцій, розрахованих на вологі умови експлуатації	1,5	2,25	-
ДВП (тверді) НВ.LA	2,25	-	-
ДВП (тверді) НВ.HLA1, НВ.HLA2	2,25	3	-
ДВП (середньої твердості) МВН.LA1, МВН.LA2	3	-	-
ДВП (середньої твердості) МВН.HLS1, МВН.HLS2	3	4	-
ДВП MDF.LA	2,25	-	-
ДВП MDF.HLS	2,25	3	-

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

243



Коефіцієнт розміру

k_h є змінним коефіцієнтом при вигині у кореляції з еталонною висотою елемента

Цільна деревина

Клеєна деревина

LVL

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} \right. \\ \left. 1,3 \right\}$$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \right. \\ \left. 1,1 \right\}$$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{300}{h} \right)^s \right. \\ \left. 1,2 \right\}$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

244



Класи міцності – суцільна деревина



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

245



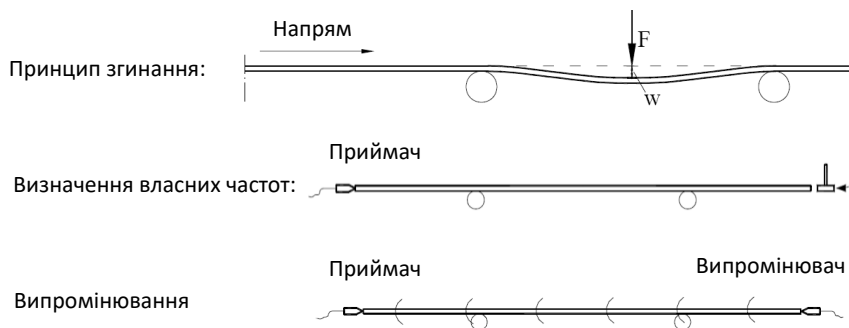
Класи міцності – суцільна деревина

Візуальна класифікація :

Критерії: Сучки, тріщини, знебарвлення, кора, тощо.

Надійність ??

Механічна класифікація:



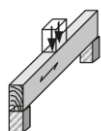
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

246



Класи міцності – суцільна деревина

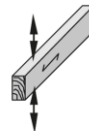
Класи міцності	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Значення міцності, Н/мм ²												
Згин, $f_{m,k}$	14,0	16,0	18,0	20,0	22,0	24,0	27,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0
Розтяг вздовж, $f_{t,0,k}$	8,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	16,0	18,0	21,0	24,0	27,0	30,0
Розтяг впоперек, $f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Стиск вздовж, $f_{c,0,k}$	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0	25,0	26,0	27,0	29,0
Стиск впоперек, $f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Сколювання та кручення, $f_{v,k}$	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Значення жорсткості, Н/мм ²												
Модуль пружності вздовж, $E_{0,mean}$	7000	8000	9000	9500	10000	11000	11500	12000	13000	14000	15000	16000
Модуль пружності впоперек, $E_{90,mean}$	230	270	300	320	330	370	380	400	430	470	500	530
Модуль зсуву, G_{mean}	440	500	560	590	630	690	720	750	810	880	940	1000



Згин вздовж волокон: $f_{m,k}$ і $E_{0,mean}$
Сколювання: $f_{v,k}$ і G_{mean}



Стиск або розтяг вздовж волокон:
 $f_{0,k}$, $f_{c,0,k}$ і $E_{0,mean}$



Стиск або розтяг впоперек волокон:
 $f_{90,k}$, $f_{c,90,k}$ і $E_{90,mean}$

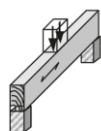
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

247

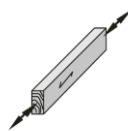


Класи міцності – суцільна деревина

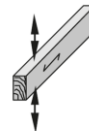
Класи міцності	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Значення міцності, Н/мм ²						
Згин, $f_{m,k}$	30	35	40	50	60	70
Розтяг вздовж, $f_{t,0,k}$	18	21	24	30	36	42
Розтяг впоперек, $f_{t,90,k}$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Стиск вздовж, $f_{c,0,k}$	23	25	26	29	32	34
Стиск впоперек, $f_{c,90,k}$	8	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Сколювання та кручення, $f_{v,k}$	3	3,4	3,8	4,6	5,3	6
Значення жорсткості, Н/мм ²						
Модуль пружності вздовж, $E_{0,mean}$	10000	10000	11000	14000	17000	20000
Модуль пружності впоперек, $E_{90,mean}$	640	690	750	930	1130	1330
Модуль зсуву, G_{mean}	600	650	700	880	1060	1250



Згин вздовж волокон: $f_{m,k}$ і $E_{0,mean}$
Сколювання: $f_{v,k}$ і G_{mean}



Стиск або розтяг вздовж волокон:
 $f_{0,k}$, $f_{c,0,k}$ і $E_{0,mean}$



Стиск або розтяг впоперек волокон:
 $f_{90,k}$, $f_{c,90,k}$ і $E_{90,mean}$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

248



Класи міцності – клеєна деревина



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

249



Класи міцності – клеєна деревина

Класи міцності клеєної деревини		GL 24h	GL 28h	GL 32h	GL 36h	GL 24c	GL 28c	GL 32c	GL 36c
Значення міцності, Н/мм ²									
Міцність при згині	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36	24	28	32	36
Міцність при розтягу	$f_{t,0,g,k}$	16,5	19,5	22,5	26	14	16,5	19,5	22,5
	$f_{t,90,g,k}$	0,4	0,45	0,5	0,6	0,35	0,4	0,45	0,5
Міцність при стиску	$f_{c,0,g,k}$	24	26,5	29	31	21	24	26,5	29
	$f_{c,90,g,k}$	2,7	3	3,3	3,6	2,4	2,7	3	3,3
Міцність при сколюванні	$f_{v,g,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3	2,2	2,7	3,2	3,8
Значення жорсткості, Н/мм ²									
Модулі пружності	$E_{0,g,mean}$	11 600	12 600	13 700	14 700	11600	12600	13700	14700
	$E_{0,g,05}$	9 400	10 200	11 100	11 900	9400	10200	11100	11900
	$E_{90,g,mean}$	390	420	460	490	320	390	420	460
Модуль зсуву	$G_{g,mean}$	720	780	850	910	590	720	780	850

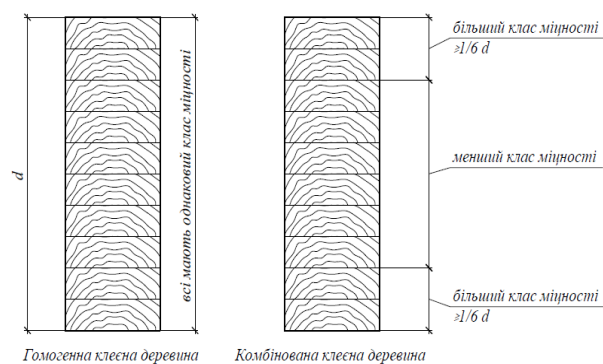
однорідна (гомогенна) (h) та комбінована (c)
клеєна деревина

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

250



гомогенна та комбінована клеєна деревина

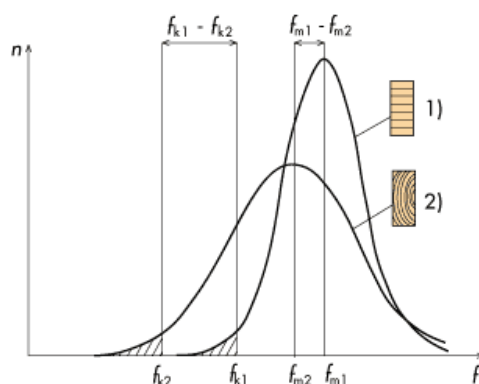


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

251



Розподіл частоти граничної міцності клеєного бруса та конструкційної деревини



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

252



Класи міцності – клеєна деревина

Суцільна деревина: $f_{v,k} = 2,0 \text{ Н/мм}^2$
 Клеєна деревина: $f_{v,k} = 2,7 \text{ Н/мм}^2$

буде враховано в розрахунках разом з коефіцієнтом k_{cr}

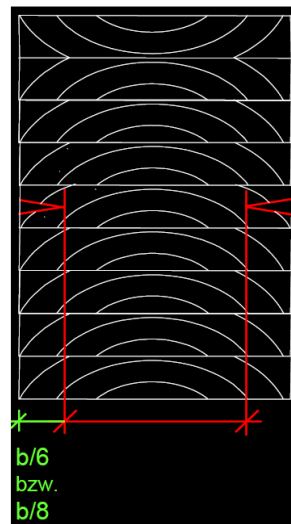
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

253



Розмір k_{cr} (crack)

$$f_{v,d} = \frac{k_{cr} \cdot f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}$$

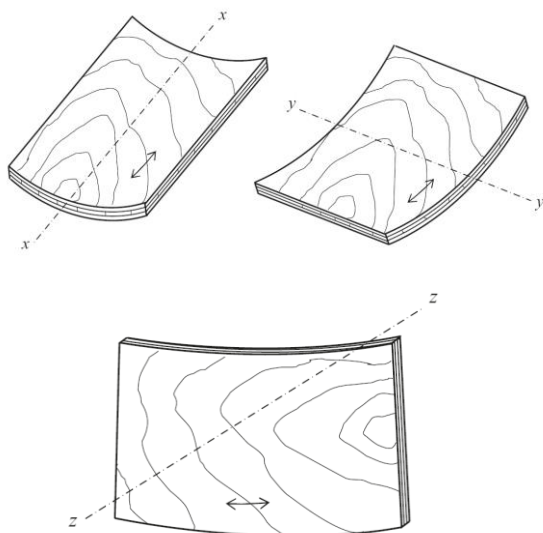


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

254



Фанера – осі згину

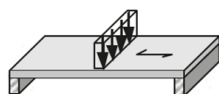


Згин по будь-якій з осей
в площині листа

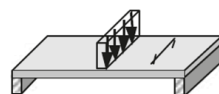
Згин навколо осі
перпендикулярно
площині листа

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

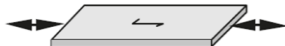
255



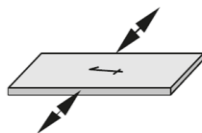
Згин вздовж волокон: $f_{m,0,k}$ і $E_{m,0,mean}$
Напруження сколювання зсуву:
 $f_{r,0,k}$ і $G_{r,0,mean}$



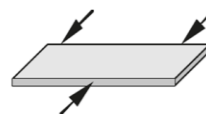
Згин впоперек волокон: $f_{m,90,k}$ і $E_{m,90,mean}$
Напруження сколювання зсуву:
 $f_{r,90,k}$ і $G_{r,90,mean}$



Стиск або розтяг вздовж волокон:
 $f_{t,0,k}$, $f_{c,0,k}$ і $E_{t,0,mean}$ і $E_{c,0,mean}$



Стиск або розтяг впоперек волокон:
 $f_{t,0,k}$, $f_{c,0,k}$ і $E_{t,0,mean}$ і $E_{c,0,mean}$



Сколювання в плитах:
 $f_{v,k}$ і $G_{v,mean}$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

256



8. Розрахунки за міцністю і стійкістю конструкції Ultimate limit states (ULS)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

257



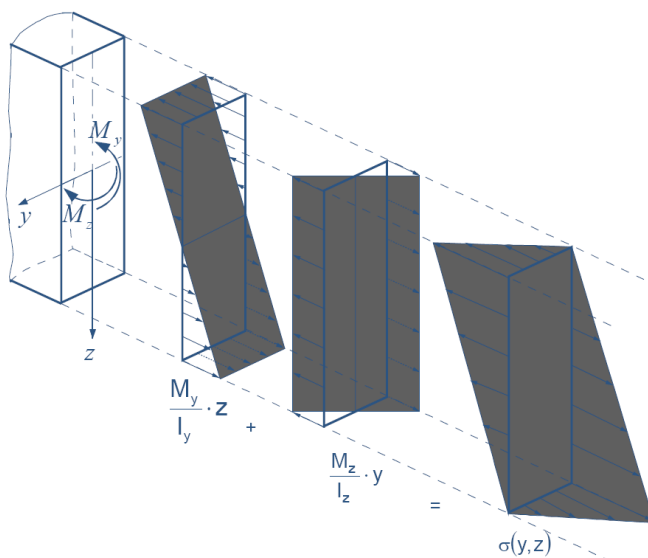
8.1 Напруження в колонах і балках

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

258



Напруження в колонах і балках

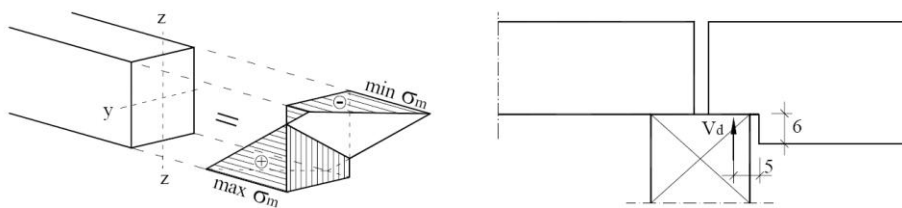


Конструкції з деревини ДБН В.2.6-16 1:2017, EN 1995-1-1

259



Розрахунковий опір перетину

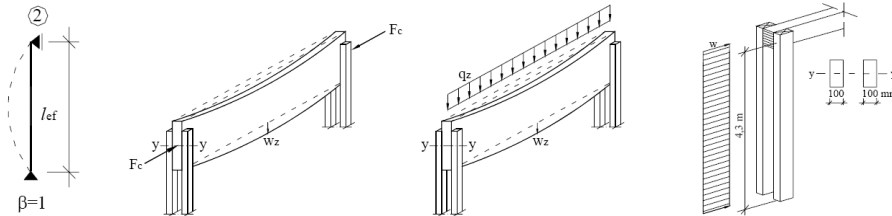


Конструкції з деревини ДБН В.2.6-16 1:2017, EN 1995-1-1

260



Стійкість елементів



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

261



Розрахункові значення властивостей матеріалу

Перший граничний стан ULS:

$$X_d = k_{\text{mod}} \cdot \frac{X_{05}}{\gamma_M}$$

Міцність на згин: $f_{m,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M}$

Міцність на розтяг: $f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M}$

Другий граничний стан SLS:

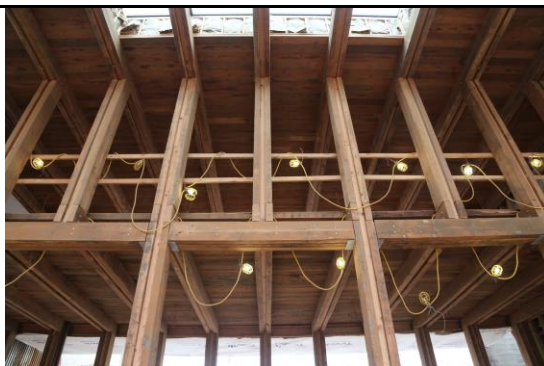
$$X_d = X_m$$

Модуль пружності $E_d = E_{0, \text{mean}}$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

262





8.2 Центрально стиснуті вздовж волокон елементи з урахуванням стійкості

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

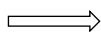
263



Центрально стиснуті елементи

Стійкість колон та стійкість плоскої форми деформування повинні бути перевірені використанням характеристичних властивостей, наприклад $E_{0,05}$

недосконалість



додатковий згинаючий момент



Розрахунок міцності конструкції з використанням значень стискаючих напружень і зниженої міцності на стиск:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,0,d}}{A_n} \leq k_c \cdot f_{c,0,d}$$

$$\frac{F_{c,0,d} / A_n}{k_c \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$



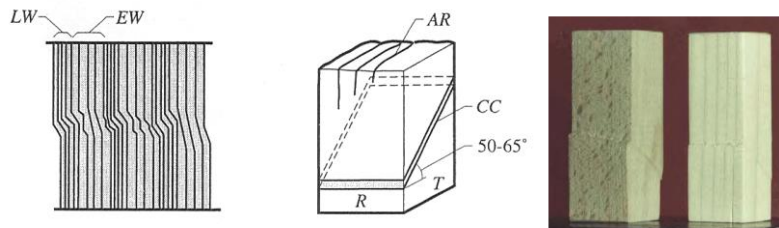
- A_n : під час перевірки напружень можна знехтувати локальним послабленням поперечного перерізу, якщо вони не розташовані в середній третині довжини вигину.
- k_c : при розрахунку коефіцієнта повздовжнього згину локальним поперечним послабленням можна знехтувати.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

264



Механізм руйнування деревини при стиску вздовж волокон



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

265



Розрахункова площа поперечного перерізу для перевірки стійкості A_n

дорівнює:

- за відсутності ослаблень або при ослабленнях, які не виходять на кромки елемента:
 - якщо площа ослаблення не перевищує 25 % A_{br} : $A_n = A_{br}$
 - якщо площа ослаблення перевищує 25 % A_{br} : $A_n = (4/3) A_{br}$
- при симетричних ослабленнях, які виходять на кромки: $A_n = A_{net}$
- в зоні з'єднань слід суміщати всі наявні ослаблення в одному перерізі.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

266



Коефіцієнт повздовжнього згину

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}} \leq 1$$

$$k = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2)$$

$\beta_c = 0,2$ - для елементів з цільної деревини,

$\beta_c = 0,1$ - для елементів з клеєної деревини та LVL;

$$\lambda_{rel,c} - \text{приведена гнучкість} = \frac{l_{ef}}{\pi \cdot i} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i} \quad - \text{гнучкість елемента}$$

$$l_{ef} = \beta \cdot s \quad - \text{ефективна довжина елемента}$$

$$\beta \quad - \text{коефіцієнт гнучкості}$$

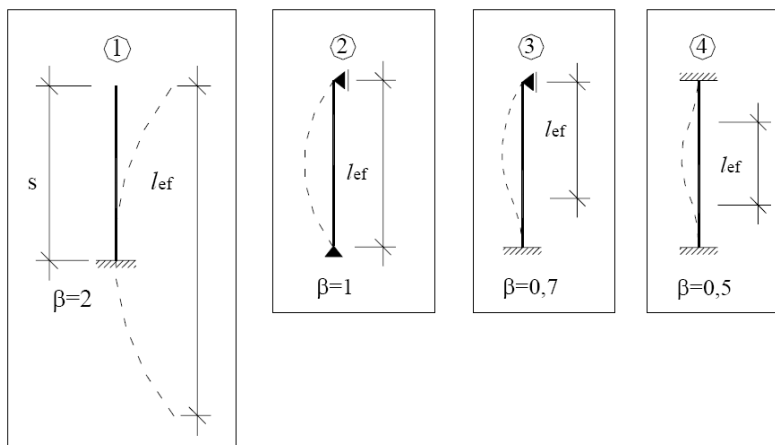
$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad - \text{радіус інерції}$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

267



Коефіцієнт гнучкості β



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

268

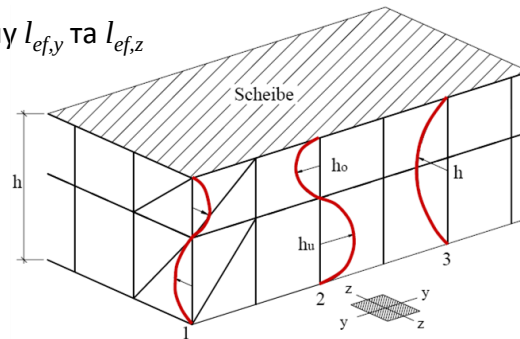


Стиснуті елементи з проміжною бічною опорою:



довжина вигину = відстань між бічними опорами

різна довжина вигину $l_{ef,y}$ та $l_{ef,z}$



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

269



Проектні розрахунки (послідовність)

1. Визначення довжини вигину l_{ef} для вигину навколо головної осі
2. Розрахунок гнучкості λ_y та λ_z

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{b \cdot h^3}{12 \cdot b \cdot h}} = \sqrt{\frac{h^2}{12}} = \frac{h}{3,46} = 0,289h$$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i} \quad \text{з } i = 0,289 \cdot h$$

3. Визначення коефіцієнтів повздовжнього згину $k_{c,y}$ та $k_{c,z}$
4. Перевірка стійкості плоскої форми деформування

$$\sigma_{c,0,d} = 10 \cdot \frac{F_{c,0,d}}{A_n} \leq k_c \cdot f_{c,0,d}$$

$$10 \cdot \frac{F_{c,0,d} / A_n}{k_c \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{c,0,d} \text{ в } [H / мм^2] \\ F_{c,0,d} \text{ в } [кН] \\ A_n \text{ в } [см^2] \\ f_{c,0,d} \text{ в } [H / мм^2] \end{array} \right.$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

270



Розрахунковий опір прямокутних колон
С 24 класу експлуатації 2 для навантаження
середньої тривалості

a	A	N_d , тах в кН для довжини вигину l_{ef} в м										
mm	mm ²	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
100	10000	72	50,4	36,4	27,4	21,3	17	13,9	11,5	9,7	8,3	7,2
120	14400	130	97,6	72,5	55,2	43,2	34,6	28,3	23,6	20	17,1	14,8
140	19600	202	164	127	98,7	78	62,9	51,6	43,1	36,6	31,4	27,2
160	25600	284	247	202	161	129	105	86,5	72,5	61,5	52,9	45,9
180	32400	375	340	293	243	199	163	136	114	97,1	83,6	72,7
200	40000	476	444	399	343	288	240	201	170	146	126	109
220	48400	587	557	514	459	397	337	286	244	209	181	158
240	57600	709	679	639	586	522	454	391	336	290	252	221
260	67600	841	812	773	723	660	588	515	448	390	340	299

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

271



8.3 Центрально-розтягнуті вздовж волокон елементи

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

272



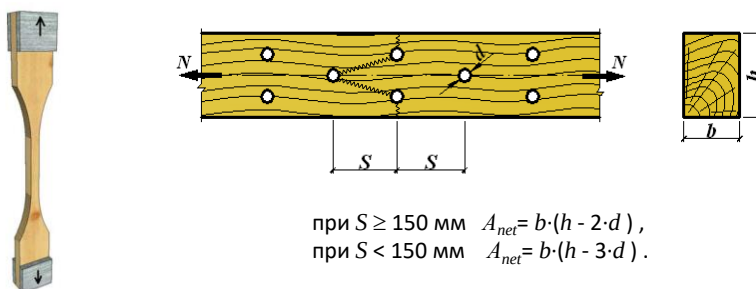
Центрально-розтягнуті елементи

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A_{net}}$$

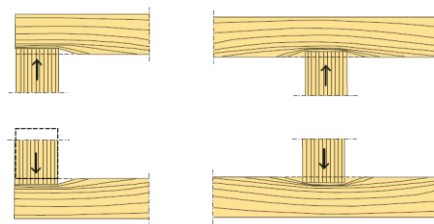
$$f_{t,0,d} = k_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M}$$

При визначенні розрахункової площі перерізу елемента A_{net} всі ослаблення, які розташовані на довільній ділянці довжиною 15 см, слід приймати суміщеними в одному перерізі.



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

273



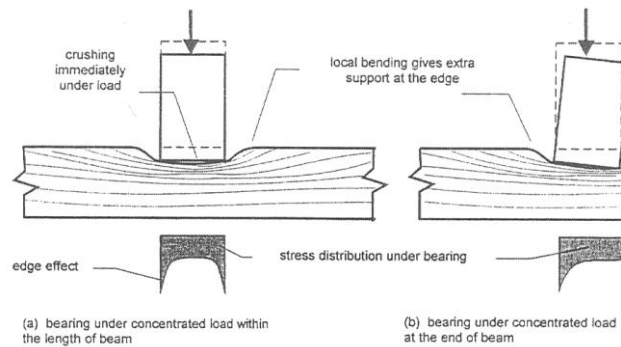
8.4 Стиск впоперек волокон

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

274



Ефекти несучої здатності на опорах і в точках зосередженого навантаження



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

275



Стиск впоперек волокон

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

$k_{c,90}$ - коефіцієнт що враховує конфігурацію навантаження, можливість розколювання і ступінь стискальних деформацій

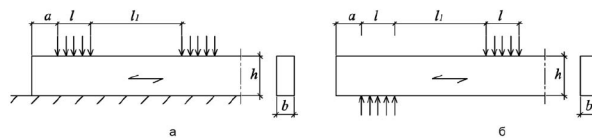
Значення $k_{c,90}$ приймається 1,0, окрім випадків, зазначених далі. В інших випадках $k_{c,90}$ слід приймати найбільше значення, але не більше $k_{c,90} = 1,75$.

на безперервній опорі (а) при $l_1 \geq 2h$ значення $k_{c,90}$ слід приймати:

- = 1,25 для суцільної деревини;
- = 1,5 для клеєної деревини;

на окремо розташованій опорі (б) при $l_1 \geq 2h$ значення $k_{c,90}$ слід приймати:

- = 1,5 для суцільної деревини;
- = 1,75 для клеєної деревини при $l \leq 400$ мм.



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

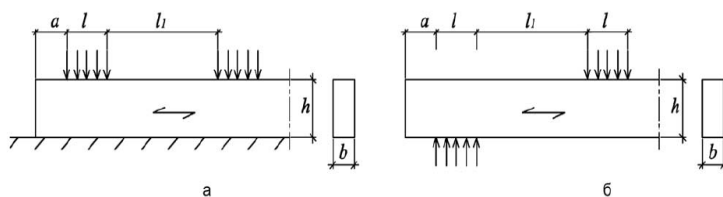
276



Стиск впоперек волокон

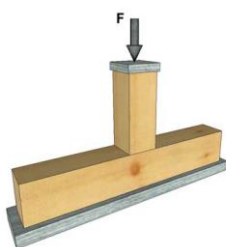
$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}},$$

Розрахункову площу контакту впоперек волокон слід визначати з урахуванням розрахункової довжини контакту вздовж волокон, яка дорівнює фактичній довжині контакту l , збільшеній на 30 мм в кожен бік, але не більше ніж a , l або $l_1/2$



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

277



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

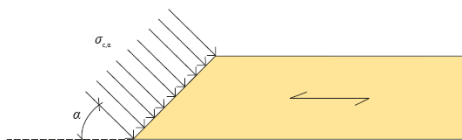
278





Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

279



8.5 Стиск під кутом до волокон

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

280





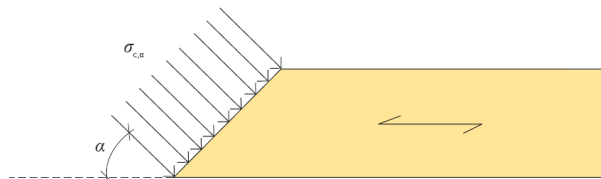
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

281



Стиск під кутом до волокон

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha},$$



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

282



8.6 Згин

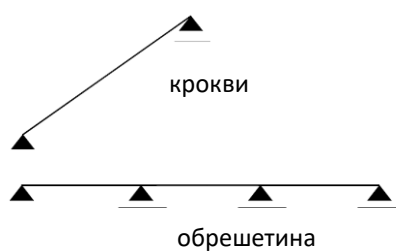
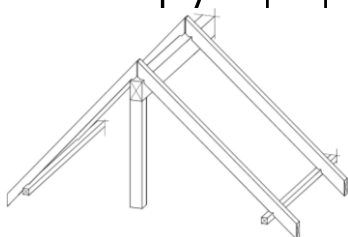


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

283



Конструкція даху



одноосьовий згин

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W_n} \leq f_{m,d} \quad \frac{M_d / W_n}{f_{m,d}} \leq 1$$

- $\sigma_{m,d}$ = розрахункове напруження згину
- M_d = розрахункове значення згинального моменту
- W_n = момент опору, нетто перетину
- $f_{m,d}$ = розрахункове значення міцності на згин

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

284

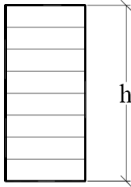


Перший граничний стан

$$\sigma_{m,d} = 1000 \cdot \frac{M_d}{W_n} \leq f_{m,d} \quad 1000 \cdot \frac{M_d / W_n}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\begin{cases} \sigma_{m,d} \text{ в } [H / \text{мм}^2] \\ M_d \text{ в } [\kappa H \cdot \text{м}] \\ W_n \text{ в } [\text{см}^3] \\ f_{m,d} \text{ в } [H / \text{мм}^2] \end{cases}$$

Вплив висоти клеєної деревини

	600 мм ≤ h	$f_{m,y,k}$
	250 мм < h < 600 мм	$f_{m,y,k} \cdot \left(\frac{600}{h}\right)^{0,1}$
	h ≤ 250 мм	$f_{m,y,k} \cdot 1,1$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

285



визначення

$$\text{еф. } W_n \geq 1000 \cdot \frac{M_d}{f_{m,d}} \text{ при } \begin{cases} M_d \text{ в } [\kappa H \cdot \text{м}] \\ W_n \text{ в } [\text{см}^3] \\ f_{m,d} \text{ в } [H / \text{мм}^2] \end{cases}$$

Для суцільної деревини С24, експлуатаційного класу 2 і навантаження середньої тривалості

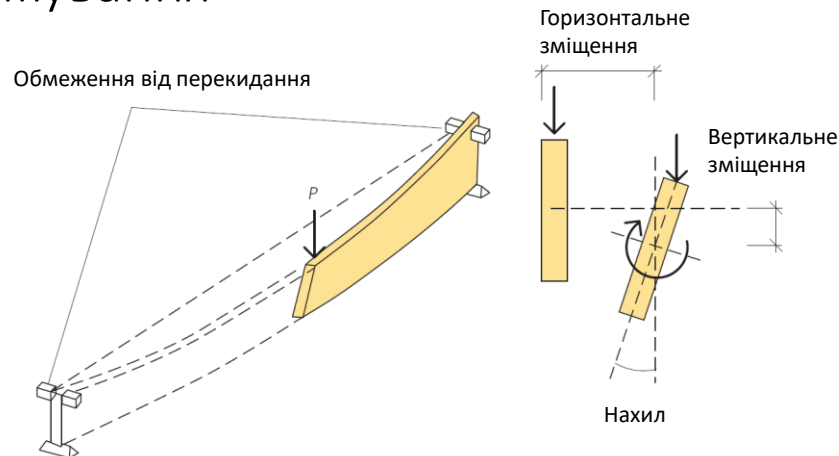
$$\text{еф. } W_n \geq 68 \cdot M_d \text{ при } \begin{cases} M_d \text{ в } [\kappa H \cdot \text{м}] \\ W_n \text{ в } [\text{см}^3] \end{cases}$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

286



Втрата стійкості плоскої форми деформування



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

287



Перевірка на стійкість плоскої форми деформування елементів

$$M_{Rd} = f_{m,d} \cdot W \cdot k_{crit}$$

M_{Rd} - критичний момент до втрати стійкості плоскої форми деформування

$f_{m,d}$ - розрахункове значення міцності на згин;

k_{crit} - коефіцієнт, що враховує втрату стійкості плоскої форми деформування.

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{для } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{для } 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{для } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

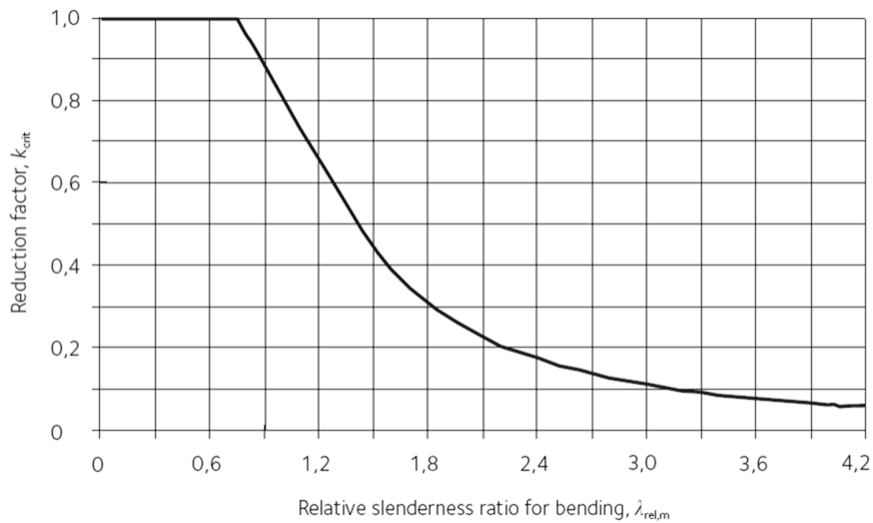
для елемента, в якому бокові переміщення стиснутої грані виключені по всій довжині, а на опорах не припускається кручення $k_{crit} = 1,0$.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

288



Значення k_{crit} для різних значень відношення відносної гнучкості $\lambda_{rel,m}$.



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

289



$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad \sigma_{m,crit} - \text{критичне напруження від згину}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y},$$

Для хвойних порід деревини з суцільним прямокутним поперечним перерізом приймається, як:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78b^2}{h \cdot l_{ef}} E_{0,05}$$

l_{ef} - розрахункова довжина елемента, що залежить від умов закріплення та конфігурації навантаження відповідно до таблиці

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

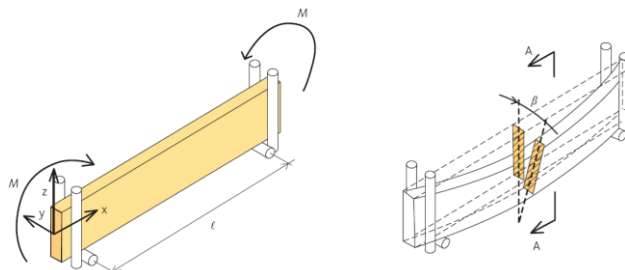
290



Співвідношення розрахункової та геометричної довжин для балок

Тип елемента	Тип навантаження	l_{ef}/l
Шарнірне опирання кінців	Постійний момент	1,0
	Рівномірно розподілене навантаження	0,9
	Зосереджена сила всередині прольоту	0,8
Жорстке защемлення	Рівномірно розподілене навантаження	0,5
	Зосереджена сила у вільного кінця	0,8

Співвідношення між розрахунковою довжиною l_{ef} та прольотом l відповідає елементам з зазначеним типом опирання, з обмеженням кручення, і завантаженими в центрі ваги. Якщо навантаження прикладене біля стиснутого краю елемента, то l_{ef} слід збільшувати на $2h$ чи зменшити на $0,5h$ для навантаження розтягнутої зони балки.



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

291



Розрахунок міцності елементів, що працюють на косий згин

Розрахунок міцності елементів, що працюють на косий згин за нормальним напруженням, слід виконувати за формулами:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1; \quad \sigma_{m,y,d} \quad \sigma_{m,z,d} \quad \text{— розрахункові напруження згину відносно відповідних осей};$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1; \quad f_{m,y,d} \quad f_{m,z,d} \quad \text{— розрахункові значення міцності при згині}.$$

Коефіцієнт k_m урахує перерозподілення напружень і вплив неоднорідності матеріалу в поперечному перерізі.

Для суцільної деревини, клеєної деревини та LVL:

- для прямокутного перерізу: $k_m = 0,7$;
- для інших видів поперечного перерізу: $k_m = 1, 0$.

Для інших будівельних виробів на основі деревини для всіх поперечних перерізів:

$k_m = 1, 0$.

Прогин дорівнює геометричній сумі прогинів:

$$w_{inst} = \sqrt{w_{instx}^2 + w_{insty}^2} \leq [w_{inst}]$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

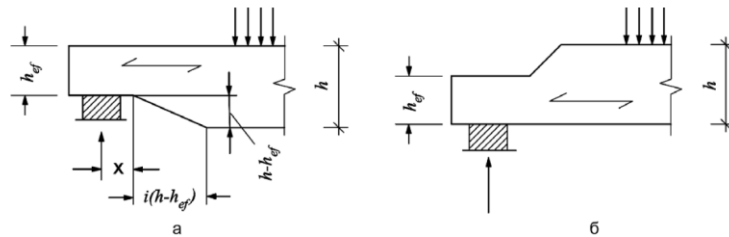
292



Концентрація напружень у підрізках

Впливом концентрації напружень можна знехтувати у таких випадках:

- при розтягу або стиску уздовж волокон при кутах менше 12° ;
- при згині з напруженнями розтягу у підрізі, якщо перехід до звуження не крутіше ніж $1:i=1:10$, тобто $i \geq 10$;
- під дією згину із напруженнями стиску в підрізі



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

293

293



Необхідно перевіряти умову

$$\tau_d = \frac{1,5V}{b \cdot h_{ef}} \leq k_v \cdot f_{v,d}$$

де k_v — коефіцієнт зниження, що визначається:

– для балок з підрізкою згори та низу

$$k_v = 1,0$$

– для балок із підрізкою низу

$$k_v = \min \left\{ 1, \frac{k_n \left(1 + \frac{1,1 \cdot i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \left(\sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \right\}$$

де i — нахил підрізки;

h — висота балки, мм;

x — відстань від лінії дії опорної реакції до початку підрізки;

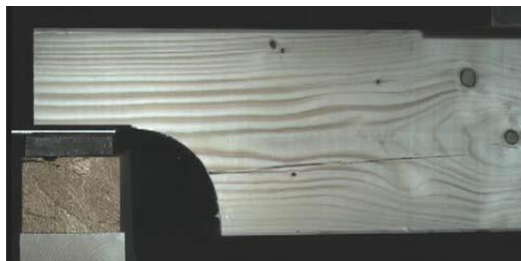
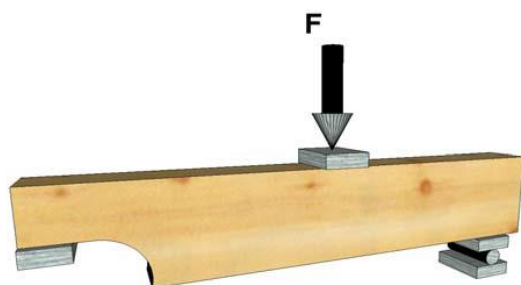
$$\alpha = h_{ef}/h$$

$$k_n = \begin{cases} 4,5 & \text{для LVL,} \\ 5,0 & \text{для суцільної деревини,} \\ 6,5 & \text{для клесної деревини.} \end{cases}$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

294





Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

295



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

296



8.6.1 Осьовий розтяг зі згином

Розрахунок міцності елементів, що працюють на осьовий розтяг зі згином, слід виконувати за формулою:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$\sigma_{t,0,d}$ — розрахункове напруження розтягу уздовж волокон;
 $\sigma_{m,y,d}$ — розрахункове напруження згину;
 $f_{t,0,d}$ $f_{m,y,d}$ — розрахункові значення міцності розтягу уздовж волокон та згину.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

297



Розрахунок міцності елементів, що працюють на осьовий розтяг з косим згином

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

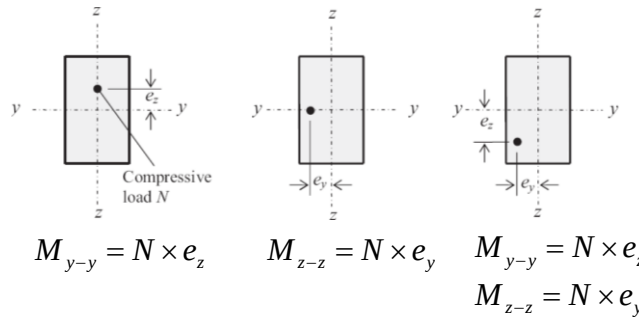
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

298



8.6.2 Осьовий стиск зі згином

Навантаження стиску N прикладено з ексцентриситетом



Конструкції з деревини ДБН В.2.6-16 1:2017, EN 1995-1-1

299



Розрахунок елементів, що працюють на осьовий стиск зі згином, слід виконувати:

при $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

при $\lambda_{rel,z} > 0,3$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$\sigma_{c,0,d}$ — розрахункове напруження стиску уздовж волокон;

$\sigma_{m,y,d}$ — розрахункові напруження при згині з врахуванням деформованої схеми;

$f_{c,0,d}$ $f_{m,y,d}$ — розрахункові значення міцності стиску уздовж волокон та згину;

$k_{c,y}$ — коефіцієнт поздовжнього згину;

$\lambda_{rel,z}$ — приведена гнучкість.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6-16 1:2017, EN 1995-1-1

300



У випадку сумісної дії напружень від стиску зі згином повинна задовольнятися умова плоскої форми деформування:

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

k_{crit} — коефіцієнт, що враховує зменшення міцності при втраті стійкості плоскої форми деформування



Розрахунок елементів, що працюють на осьовий стиск з косим згином при $\lambda_{rel,y} > 0,3$ та $\lambda_{rel,z} > 0,3$ повинні виконуватись умови

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$



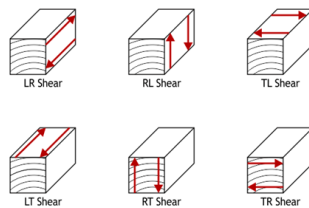
Розрахунок елементів, що працюють на осьовий стиск з косим згином
при $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$ та $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$ повинні виконуватись умови

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

303



8.7 Зсув

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

304



Зсув

$$\tau_d = \frac{V_d \cdot S}{I \cdot b_{ef}} \leq f_{v,d}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

V_d = розрахункова сила зсуву
 S = статичний момент
 $= b \cdot h^2 / 8$ (прямокутний перетин)
 I = момент інерції
 $= b \cdot h^3 / 12$ (прямокутний перетин)
 b_{ef} = ширина
 h = висота
 $f_{v,d}$ = розрахункова міцність на зсув
 для поточного стану

$$\Rightarrow \tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A} \leq f_{v,d} \quad \frac{1,5 \cdot V_d / A}{f_{v,d}} \leq 1$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

305



$$\tau_d = 15 \cdot \frac{V_d}{A} \leq f_{v,d}$$

$$\frac{15 \cdot V_d / A}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\begin{cases} \tau_d & \text{в } [H / мм^2] \\ V_d & \text{в } [кН] \\ A & \text{в } [см^2] \\ f_{v,d} & \text{в } [H / мм^2] \end{cases}$$

визначення $ef. A \geq 15 \cdot \frac{V_d}{f_{v,d}}$ з

$$\begin{cases} V_d & \text{в } [кН] \\ A & \text{в } [см^2] \\ f_{v,d} & \text{в } [H / мм^2] \end{cases}$$

Для суцільної деревини С24, експлуатаційного класу 2 і навантаження середньої тривалості

$$ef. A \geq 9 \cdot V_d \quad \text{з}$$

$$\begin{cases} V_d & \text{в } [кН] \\ A & \text{в } [см^2] \end{cases}$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

306



Ширина розрахункового поперечного перерізу, b_{ef} при розрахунках на зсув

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b$$

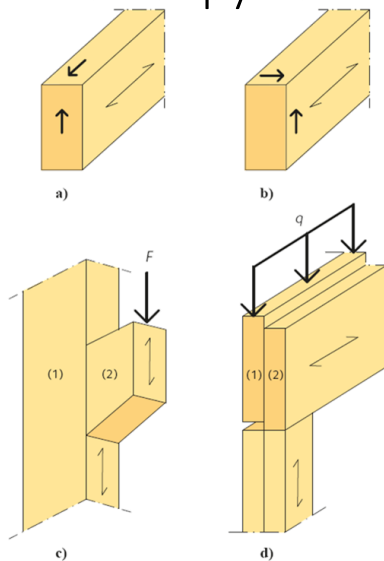
b	-	ширина розрахункового поперечного перерізу;
k_{cr}	-	коефіцієнт, що враховує вплив тріщин.
$k_{cr} = 0,67$	- для	суцільної та клеєної деревини;
$k_{cr} = 1,0$	- для	інших матеріалів на основі деревини.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

307



Напруження сколювання в плитах та напруження сколювання зсуву



а) Конструктивний елемент, що сприймає напруження зсуву, перпендикулярно до волокон (сколювання в плитах *shear*).

б) Конструктивний елемент, що сприймає два напруження зсуву перпендикулярно до волокон (сколювання зсуву *rolling shear*).

Два практичні приклади.

в) Наклеєний на стовпчик дерев'яний штифт. Сколювання в плитах між контактними поверхнями (1) та (2).

г) Дві балки, склеєні між собою. Сколювання зсуву між контактними поверхнями (1) та (2).

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

308

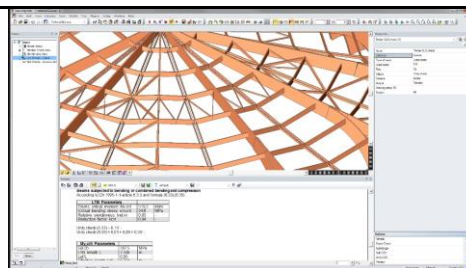


Таблиця Д.11. Характеристичні значення міцності, жорсткості та густини для Фінської березової фанери підвищеної міцності (значення, використані в прикладі 9.11.2, повинні використовуватись при розрахунках у задачі 9.2).

Властивості перерізу			Характеристична міцність (N/mm ²)								Модуль зсуву (H/mm ²)		Модуль пружності (H/mm ²)					
Товщина (mm)	Кількість шарів	Розрахункова товщина (mm)	Згин		Стиск		Розтяг		Напруження сколювання в плитах	Напруження сколювання зсуву	Напруження в плитах	Напруження сколювання зсуву		Згин		Розтяг або стиск		
			f _{m,0,k}	f _{m,90,k}	f _{c,0,k}	f _{c,90,k}	f _{t,0,k}	f _{t,90,k}	f _{v,k}	f _{v,90,k}		G _{v,mean}	G _{v,90,mean}	E _{m,0,mean}	E _{m,90,mean}	E _{t,c,0,mean}	E _{t,c,90,mean}	
4	3	3,6	65,9	10,6	31,8	20,2	45,8	29,2	9,5	2,77	—	620	169	—	16471	1029	10694	6806
6,5	5	6,4	50,9	29	29,3	22,8	42,2	32,8	9,5	3,2	1,78	620	169	123	12737	4763	9844	7656
9	7	9,2	45,6	32,1	28,3	23,7	40,8	34,2	9,5	2,68	2,35	620	206	155	11395	6105	9511	7989
12	9	12	42,9	33,2	27,7	24,3	40	35	9,5	2,78	2,22	620	207	170	10719	6781	9333	8167
15	11	14,8	41,3	33,8	27,4	24,6	39,5	35,5	9,5	2,62	2,39	620	207	178	10316	7184	9223	8277
18	13	17,6	40,2	34,1	27,2	24,8	39,2	35,8	9,5	2,67	2,34	620	206	183	10048	7452	9148	8352
21	15	20,4	39,4	34,3	27	25	39	36	9,5	2,59	2,41	620	206	186	9858	7642	9093	8407
24	17	23,2	38,9	34,4	26,9	25,1	38,8	36,2	9,5	2,62	2,39	620	206	189	9717	7783	9052	8448
27	19	26	38,4	34,5	26,8	25,2	38,7	36,3	9,5	2,57	2,43	620	205	190	9607	7893	9019	8481
30	21	28,8	38,1	34,6	26,7	25,3	38,5	36,5	9,5	2,59	2,41	620	205	192	9519	7981	8993	8507
35	25	34,4	37,6	34,7	26,6	25,4	38,4	36,6	9,5	2,57	2,43	620	204	193	9389	8111	8953	8547
40	29	40	37,2	34,7	26,5	25,5	38,3	36,8	9,5	2,56	2,44	620	204	195	9296	8204	8925	8575
45	32	44,2	37	34,7	26,5	25,5	38,2	36,8	9,5	2,55	2,46	620	203	195	9259	8241	8914	8586
50	35	48,4	36,8	34,8	26,4	25,6	38,1	36,9	9,5	2,54	2,46	620	203	196	9198	8302	8895	8605

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

309

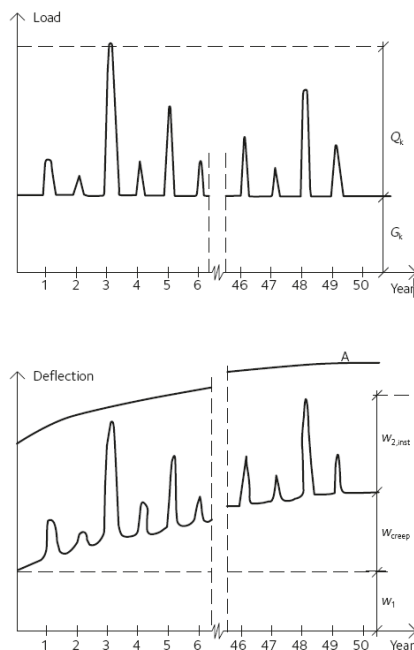


9. Розрахунки за експлуатаційною придатністю (SLS)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

310





Вплив часу на прогин (нижній малюнок) балки з постійними та змінними навантаженнями відповідно до верхнього рисунка.

Крива А показує відхилення повзучості, якщо балка завантажується характеристичними навантаженнями $G_k + Q_k$ протягом усього періоду.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

311



Відхилення, деформації

$$w = \int \left(\frac{M \cdot \bar{M}}{EI} + \frac{N \cdot \bar{N}}{EA} + \frac{Q \cdot \bar{Q}}{GA} \right) ds + \sum_{\text{з'єднання}} \frac{F \cdot \bar{F}}{k_{ser}}$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

312



Значення k_{ser} для кріпильних деталей і конекторів, Н/мм, для з'єднань дерева - дерева і дерева - панель на основі дерева

Тип кріпильної деталі	k_{ser}
Нагелі	
Болти без допуску	$\frac{\rho_m^{1.5} d}{23}$
Гвинти	
Цвяхи (з попереднім просвердлюванням)	$\frac{\rho_m^{1.5} d^{0.8}}{30}$
Цвяхи (без попереднього просвердлювання)	$\frac{\rho_m^{1.5} d^{0.8}}{80}$
Скоби	$\frac{\rho_m d_c}{2}$
Металеві зубчасті пластини	$1,5 \frac{\rho_m d_c}{4}$
Металеві зубчасті шпонки	$\frac{\rho_m d_c}{2}$
Односторонні зубчасті шпонки (типи від C1 до C9)	
Двосторонні зубчасті шпонки (типи C10 і C11)	

Якщо середні значення питомої густини двох з'єднувальних елементів на основі дерева є різними ($\rho_{m,1}$ і $\rho_{m,2}$), тоді ρ_m у вищевказаному виразі слід прийняти, як:

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{m,1} + \rho_{m,2}}$$

Конструкції з дерева ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

313



Для конструкцій, що складаються з елементів, компонентів і з'єднань з однаковою поведінкою повзучості і при припущенні лінійної залежності між діями і відповідними деформаціями, остаточна деформація u_{fin} може бути прийнята як:

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q} + \sum u_{fin,Q_i}$$

де

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} (1 + k_{def})$$

$$u_{fin,Q_1} = u_{inst,Q_1} (1 + \psi_{2,1} k_{def})$$

$$u_{fin,Q_i} = u_{inst,Q_i} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def})$$

$u_{inst,G}$, u_{inst,Q_1} , u_{inst,Q_i} - миттєві деформації для навантажень G , Q_1 , Q_i відповідно

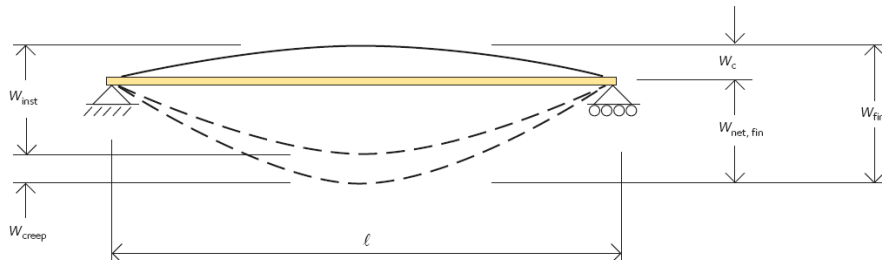
$$E_{mean, fin} = \frac{E_{mean}}{(1 + k_{def})}$$

Конструкції з дерева ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

314



Складові частини відхилення



w_c - попередня деформація (будівельний підйом), якщо є;
 w_{inst} - миттєва деформація (деформація, яка виникає безпосередньо від розрахункового навантаження);
 w_{creep} - деформація від повзучості матеріалу (деформація, яка виникає з плином часу під дією комбінації навантажень, що призводять до прояву ефекту повзучості)
 w_{fin} - загальна деформація (комбінація миттєвої деформації і деформації від повзучості матеріалу);
 $w_{net,fin}$ - загальна деформація нетто (деформація без урахування попереднього вигину).

$$u_{net,fin} = u_{inst} + u_{creep} - u_c$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

315



Значення граничних прогинів

Елемент	w_{inst}	w_{fin}	$w_{net,fin}$
Балка на двох опорах	$l/300$ до $l/500$	$l/150$ до $l/300$	$l/150$ до $l/350$
Консольна балка	$l/150$ до $l/250$	$l/75$ до $l/150$	$l/125$ до $l/175$
Елементи покриття або перекриття з стелями зі штукатуркою або з гіпсокартону			
Балка на двох опорах			$l/250$
Консольна балка			$l/125$
Елементи покриття або перекриття без стелі зі штукатуркою або з гіпсокартону			
Балка на двох опорах			$l/150$
Консольна балка			$l/75$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

316



Рекомендовані формули для визначення прогину балок

Випадок навантаження	Прогин від згину, мм	Підвищувальний коефіцієнт при зсуві
Рівномірно розподілене навантаження по довжині шарнірно опертій балки дорівнює повному навантаженню q_d	У середині прольоту $\frac{5ql_{ef}^4}{32E_{0,mean}bh^3}$	$\left[1 + 1,011 \frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \left(\frac{h}{l_{ef}}\right)^2\right]$
Зосереджене навантаження P (кН) у середині прольоту шарнірно опертій балки	У середині прольоту $\frac{4P}{E_{0,mean}b} \left(\frac{l_{ef}}{h}\right)^3$	$\left[1 + 1,2 \frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \left(\frac{h}{l_{ef}}\right)^2\right]$
Зосереджене навантаження P (кН) на кінці консольної балки	У крайній точці консолі $\frac{4P}{E_{0,mean}b} \left(\frac{l_{ef}}{h}\right)^3$	$\left[1 + 0,3 \frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \left(\frac{h}{l_{ef}}\right)^2\right]$
Зосереджене навантаження P (кН) на 1/4 і 3/4 прольоту шарнірно опертій балки	У середині прольоту $\frac{11P}{32E_{0,mean}b} \left(\frac{l_{ef}}{h}\right)^3$	$\left[1 + 0,873 \frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \left(\frac{h}{l_{ef}}\right)^2\right]$
Зосереджене навантаження P (кН) на 1/4, 1/2 і 3/4 прольоту шарнірно опертій балки	У середині прольоту $\frac{19P}{32E_{0,mean}b} \left(\frac{l_{ef}}{h}\right)^3$	$\left[1 + 0,96 \frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \left(\frac{h}{l_{ef}}\right)^2\right]$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

317



Вібрації

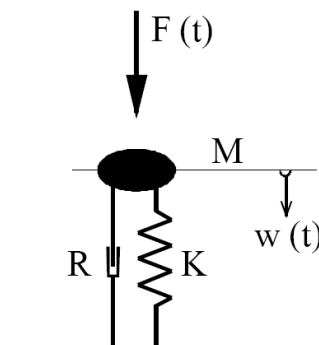
Вільна система з однією ступінню свободи

- M – маса, [т]
 K – жорсткість, [кН/м]
 R – демпфування [кН/(м/с)]
 $R=2 \cdot M \cdot D \cdot \omega$
 D – коефіцієнт демпфування

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{M}} = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$w_g = \frac{G}{K} = \frac{M \cdot g}{K} = \frac{g}{\omega^2} = \frac{g}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2}$$

$$f = \frac{5}{\sqrt{w_g}} \quad w_g \text{ в см!}$$

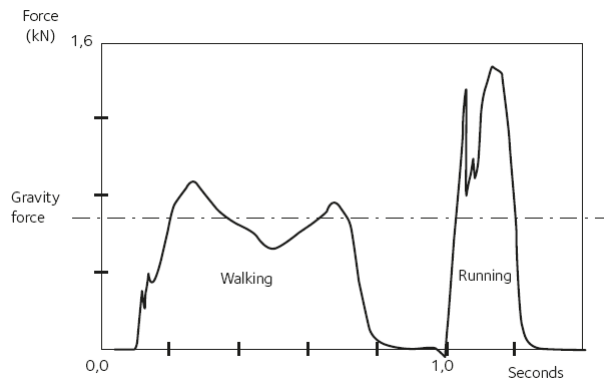


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

318



Сила, що створюється при переміщенні людини



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

319



У житлових будинках для прямокутних у плані перекриттів, із власною частотою понад 8 Гц і розмірами $l \times b$, вільно обпертих по чотирьох сторонах, виконаних по дерев'яних балках прольотом l , значення частоти власних коливань f_1 може бути визначено з виразу:

$$f_1 = \frac{\pi}{2l_{ef}^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}}$$

l_{ef} - розрахунковий проліт балки перекриття, м;

$(EI)_l$ - еквівалентна згинальна жорсткість конструкції перекриття щодо осі, перпендикулярної до напрямку прольоту балки, Н·м²/м;

m - маса на одиницю площі, кг/м², яка визначається з постійних навантажень.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

320



Основним типом перекриттів, виконаних з дерев'яних конструкцій, є балочні перекриття.

При розрахунку таких перекриттів повинні розглядатися:

- низькочастотні ефекти (ефект від частоти кроку при ходьбі);
- високочастотні ефекти (ударний ефект від п'яти при ходьбі).

Якщо вимушені коливання перекриття від дії частоти кроку будуть менші за 8 Гц, то навантаження вважається статичним.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

321



Прогин у центрі перекриття від дії статичного навантаження в 1 кН, прикладеного в даній точці, що моделює ефект від сили, з якою тисне нога людини на перекриття, повинен бути не більше:

$a \leq 1,8$ - при довжині прольоту ≤ 4000 мм

$a \leq \frac{16500}{l^{1,1}}$ мм - при довжині прольоту > 4000 мм

a - прогин балки, мм;

l - проліт балки перекриття, мм.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

322



Прогин перекриття w під дією зосередженого навантаження в середині прольоту перекриття з розрахунковим прольотом l_{ef} визначається з виразу:

$$w = \frac{1000 \cdot k_{dist} \cdot l_{ef}^3 \cdot k_{amp}}{48 \cdot (EI)_{joist}}$$

k_{dist} - переводить навантаження 1кН в навантаження на одну балку;

l_{ef} - розрахунковий проліт балки перекриття, мм; для вільно обпертих балок l_{ef} повинен бути прийнятий аналогічним прольоту l , для крайніх прольотів нерозрізних балок $l_{ef} = 0,9l$, а для середніх прольотів - $l_{ef} = 0,851l$;

k_{amp} - підвищувальний коефіцієнт, що враховує вплив зсуву на прогин у разі використання суцільних дерев'яних і клеєних балок, або податливість з'єднання у разі використання механічних зв'язків;

$(EI)_{joist}$ - згинальна жорсткість балки, Н·мм², що розраховується з використанням середнього значення модуля пружності балки $E_{0,mean}$.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

323



Значення коефіцієнта k_{amp} приймаються такими, що дорівнюють:

- 1,05 - для шарнірно обпертих суцільних дерев'яних балок;
- 1,1 - для нерозрізних суцільних дерев'яних балок;
- 1,15 - для шарнірно обпертих двотаврових клеєних балок з тонкою стінкою;
- 1,3 - для нерозрізних двотаврових клеєних балок з тонкою стінкою;
- 1,3 - для вільно обпертих ферм покриття на механічних зв'язках у з'єднаннях;
- 1,45 - для нерозрізних ферм покриття на механічних зв'язках у з'єднаннях.

Для нерозрізних ферм покриття на механічних зв'язках в з'єднаннях

$$k_{dist} = \max \left\{ \left[0,38 - 0,018 \ln \left[\frac{14(EI)_b}{s^4} \right] ; 0,30 \right] \right\}$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

324



Під дією імпульсного навантаження в 1 Н в центрі перекриття максимальне початкове значення вертикального коливання (швидкості переміщення) перекриття v (м/с), має задовольняти умові:

$$v \leq b^{(f_1 \cdot \zeta - 1)}$$

v - величина імпульсної швидкості, м/(Н·с²), тобто граничне значення швидкості коливання (м/с) у вертикальному напрямку, викликаной імпульсом у 1 Н·с, що моделює випадок впливу п'яти людей, діючої на перекриття, при максимальному переміщенні;

b - постійна величина для контролю значення реакції імпульсу в залежності від прогину перекриття a .

$$b = 150 - \frac{30(w - 0,5)}{0,5} = 180 - 60w \text{ при } w \leq 1 \text{ мм}$$

$$b = 120 - 40(w - 1) = 160 - 40w \text{ при } w > 1 \text{ мм}$$

a - прогин, мм, який визначається з виразу (5.4);

f_1 - частота власних коливань перекриття, Гц, яка [визначається з виразу](#);

ζ - модальний декремент загасання коливань перекриття, який для перекриттів приймається 0,02.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

325



для прямокутних перекриттів з розмірами в плані $b \times h$ і вільно обпертих по чотирьох сторонах середнє значення v може бути визначене з виразу:

$$v = \frac{4 \cdot (0,4 + 0,6 \cdot n_{40})}{m \cdot b \cdot l_{ef} + 200}$$

b - ширина перекриття, м;

l_{ef} - розрахунковий проліт перекриття, м;

m - визначається в кг/м²;

n_{40} - номер першої форми коливання з власною частотою до 40 Гц.

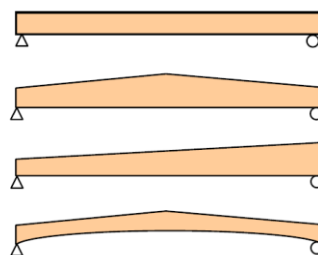
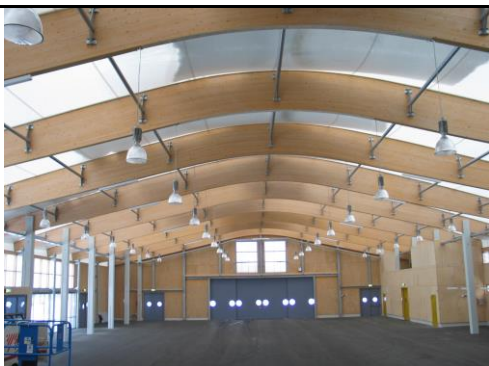
$$n_{40} = \left(\left(\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right) \left(\frac{b}{l_{ef}} \right)^4 \frac{(EI)_l}{(EI)_b} \right)^{0,25}$$

$(EI)l$ - еквівалентна згинальна жорсткість перекриття за напрямом прольоту балок, Нм²/м. При цьому $(EI)_b < (EI)_l$

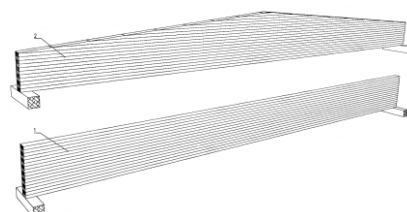
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

326





10. РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

327



Клеєні шаруваті елементи можуть функціонувати як балки або колони або елементи, піддані комбінованому вигину й осьовому навантаженню.

Граничні стани, пов'язані з основними конструктивними ефектами, наведено в таблицях

Основні розрахункові вимоги для елементів, що працюють на згин

Напруження або деформації	Граничні стани за ДБН В.2.6–161:2017
Збереження статичної рівноваги (зсув, підняття)	ULS
Напруження вигину й попередження нестабільності при боковому вигині	ULS
Напруження зсуву	ULS
Напруження на опорах	ULS
Торсіонне напруження (там, де це доречно)	ULS
Відхилення	SLS
Вібрація	SLS

Основні розрахункові вимоги для елементів, що працюють на осьове навантаження

Напруження або деформації	Граничні стани за ДБН В.2.6–161:2017
Збереження статичної рівноваги (зсув, перекидання, підняття)	ULS
Осьове напруження, включаючи вплив бічної нестійкості	ULS
Відхилення	SLS

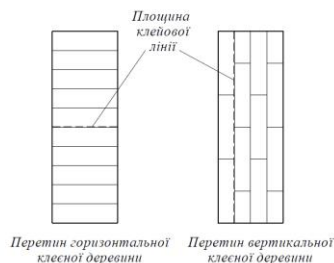
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

328



Клеєний брус утворюється шляхом склеювання шарів лісоматеріалів з волокнами, що розташовані паралельно, і може бути виготовлений як із шарами деревини, розташованими горизонтально або вертикально.

Горизонтальний клеєний брус має площину клейової лінії, розташовану перпендикулярно до більшої довжини поперечного перерізу. Вертикальний клеєний брус має площину клейової лінії, розташовану перпендикулярно до коротшої довжини поперечного перерізу.



Горизонтальна й вертикальна клеєна деревина

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

329



Гомогенна клеєна деревина— це клеєна деревина, у якій усі шари в секції мають однаковий сорт (клас міцності) і вид деревини, або поєднання видів.

Комбінована клеєна деревина — це клеєна деревина, виготовлена з внутрішніх та зовнішніх шарів різних сортів (класів міцності) та видів деревини, або поєднання видів.

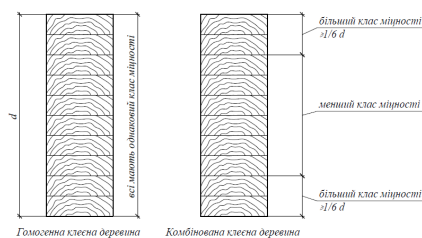
Зовнішні шари мають більш високий клас міцності й повинні мати з обох боків товщину не меншу за одну шосту від висоти елемента.

Характеристики міцності, жорсткості та густини наведено для чотирьох класів міцності, позначених як GL 24, GL 28, GL 32 та GL 38, кожному слідує суфікс **h** для гомогенної та **c** для комбінованої деревини.

Приклади позначення

гомогенної клеєної деревини: GL 24h, GL 32h;

комбінованої клеєної деревини: GL 24c, GL 28c.



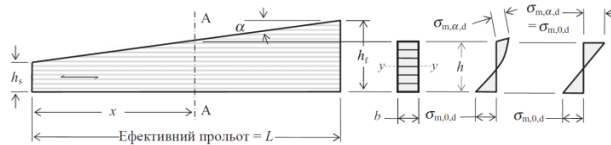
330



Розрахунок односхилих клеєних балок

Односхилі клеєні балки — це балки прямокутного перерізу з лінійним ухилом від одного кінця до іншого, які використовуються в покриттях будівель і споруд.

Розрахунок таких балок зводиться до перевірок, пов'язаних із максимальним напруженням сколювання й максимальним нормальним напруженням від згину при перевірці за граничним станом **за несучою здатністю** і прогинів — при перевірці за граничними станами **за експлуатаційною придатністю**.



Конструкції з деревини ДБН В.2.6-16 1:2017, EN 1995-1-1

331



Якщо на балку діє рівномірно розподілене навантаження або зосереджене навантаження в середині прогону, розрахункове значення напруження сколювання слід визначати з виразу:

$$\tau_{v,d} = \frac{1,5 \cdot V_d}{b_{ef} \cdot h_s}$$

V_d — розрахункова зрізуюча сила на опорі;

b_{ef} — розрахункова ширина поперечного перерізу

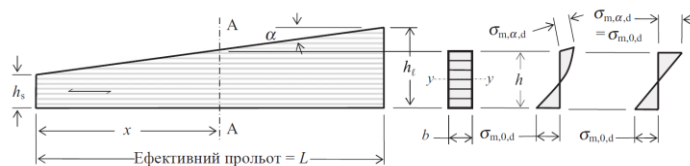
h_s — висота на опорі.

Розрахункове нормальне напруження $\sigma_{m,\alpha,d}$ $\sigma_{m,0,d}$ від згину слід визначати з виразу

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = \frac{6M_d}{bh^2}$$

M_d — розрахунковий момент, що діє в перерізі, розташованому на відстані x від опори;

h — висота в небезпечному чи розрахунковому перерізі.



332



Відстань x до розрахункового перерізу, у якому нормальне напруження досягає максимального значення під дією рівномірно розподіленого або зосередженого навантаження, наведено в таблиці

Вид навантаження	Відстань від опори з висотою балки h_s до розрахункового перерізу	Момент опору в розрахунковому перерізі W_x	Напруження від згин розрахунковому перерізі $\sigma_{m,\alpha,d}$, $\sigma_{m,\ell}$
Рівномірно розподілене навантаження, q_d	$x = \frac{L}{1 + \frac{h_t}{h_s}}$	$W_x = \frac{2b}{3} \left(\frac{h_t}{1 + \frac{h_t}{h_s}} \right)^2$	$\frac{q_d \cdot x \cdot (L - x)}{2W_x}$
Зосереджене навантаження в середині прогону Q_d	при $\frac{h_t}{h_s} \leq 3$; $x = \frac{L}{2}$	$W1_x = \frac{b \cdot (h_t + h_s)^2}{24}$	$\frac{Q_d \cdot x}{2 \cdot (W1_x)}$
	при $\frac{h_t}{h_s} > 3$; $x = \frac{L}{\frac{h_t}{h_s} - 1}$	$W2_x = \frac{2}{3} \cdot b \cdot h_s^2$	$\frac{Q_d \cdot x}{2 \cdot (W2_x)}$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

333



Міцність балки вважається забезпеченою, якщо виконуються такі умови:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1 \quad \frac{\sigma_{m,\alpha,d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

$k_{m,\alpha}$ для напружень **розтягу**, що діють паралельно до скатного боку балки:

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{0,75 \cdot f_{v,d}} \cdot \operatorname{tg} \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{t,90,d}} \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha \right)^2}} \quad f_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{v,g,k}}{\gamma_m}$$

$$f_{t,90,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{t,90,g,k}}{\gamma_m}$$

$k_{m,\alpha}$ для напружень **стиску**, що діють паралельно до скатного боку балки:

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5 \cdot f_{v,d}} \cdot \operatorname{tg} \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha \right)^2}} \quad f_{c,90,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{c,90,g,k}}{\gamma_m}$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

334



Необхідно також перевірити відповідні напруження стиску з урахуванням втрати стійкості плоскої форми деформування. У цьому випадку мають задовольнятися такі умови:

$$\frac{\sigma_{m,0,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1 \qquad \frac{\sigma_{m,\alpha,d}}{k_{crit} \cdot k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

k_{crit} — коефіцієнт, що враховує зменшення міцності при втраті стійкості плоскої форми деформування

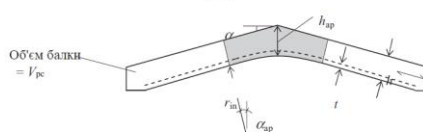
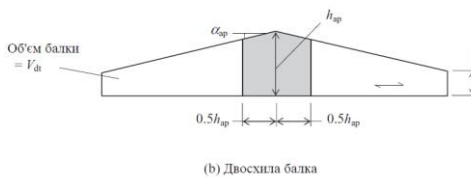
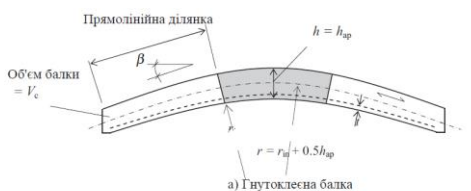
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

335



Розрахунок двосхилих, гнутоклеєних і гнутоклеєних балок із прямолінійними скатами постійної висоти поперечного перерізу

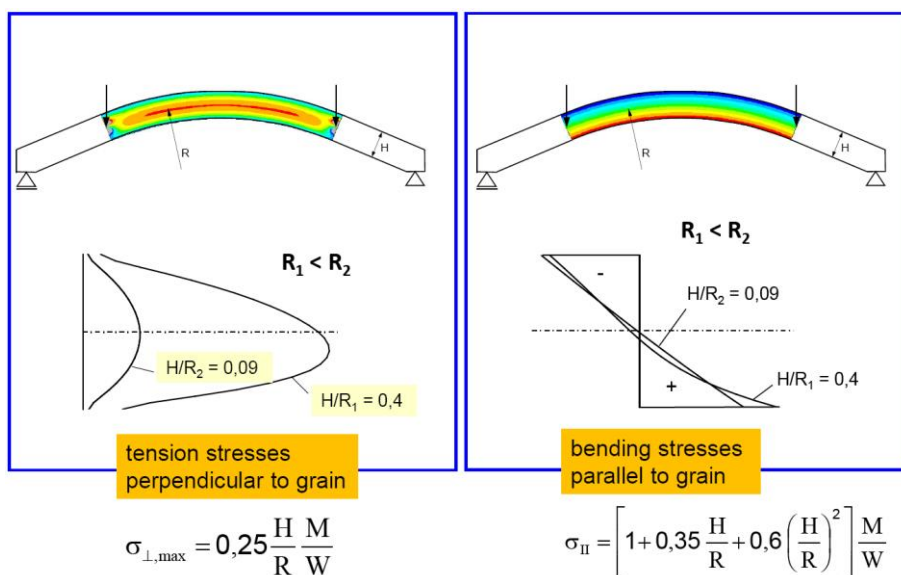
Ці типи балок мають прямокутний поперечний переріз



Конструкції з д

336



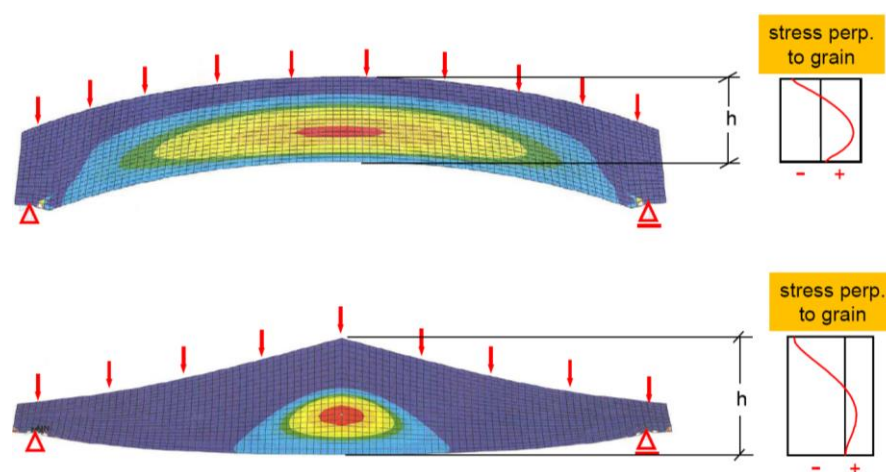


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

337



Напруження $\sigma_{t,90}$ в криволінійних і двосхилих балках з лінійними навантаженнями



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

338





Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

339



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

340



При перевірці граничних станів **несучої здатності** слід перевіряти максимальне напруження сколювання й максимальне нормальне напруження від згину.

При перевірці граничних станів **експлуатаційної придатності** має бути визначений прогин.

Додатково до розрахункових перевірок у зоні скатів необхідно перевіряти напружений стан у зоні гребеня з урахуванням:

- залишкових напружень, що виникли під час виготовлення балок;
- розподілення напружень і об'ємних ефектів;
- спільної дії напружень сколювання й викликаних згином радіальних напружень розтягу уперек волокон.



У зоні гребеня згинальні напруження повинні задовольняти вимогу:

$$\sigma_{m,d} = k_r \cdot f_{m,d}$$

де k_r — коефіцієнт, що враховує зниження міцності клеєної деревини в гнутоклеєних елементах через внутрішні напруження, викликані згином шарів під час їх виготовлення.

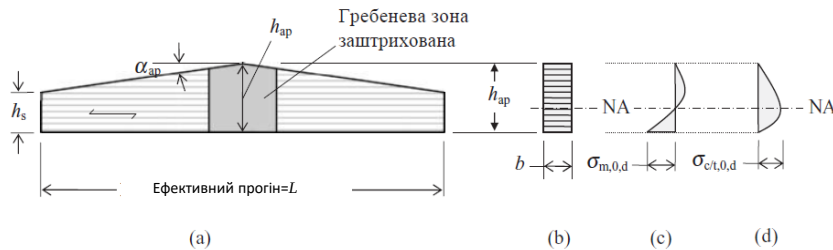
Даний коефіцієнт залежить від величини $\frac{r_{in}}{t}$ і може приймати такі значення:

$$\text{при } \frac{r_{in}}{t} \geq 240 - k_r = 1; \quad \text{при } \frac{r_{in}}{t} < 240 - k_r = 0,76 + 0,001 \frac{r_{in}}{t}$$

r_{in} — внутрішній радіус криволінійної ділянки балки;

t — товщина шару (дошки).





Напружена область об'єму в зоні гребеня, обумовлена дією радіальних напружень називається гребеневою зоною.

Ця зона обмежується величиною $2/3 V_b$, де V_b - загальний об'єм балки.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6-16 1:2017, EN 1995-1-1

343



Під дією розрахункового моменту $M_{ap,d}$ у гребені двосхилих і гнотоклеєних з прямими скатами балках максимальне розрахункове напруження від згину $\sigma_{m,0,d}$ визначається таким чином:

$$\sigma_{m,0,d} = k_1 \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2}$$

b і h_{ap} — ширина й висота поперечного перерізу балки в гребені;

k_1 — коефіцієнт, який визначається з таких виразів:

$$k_1 = k_1 + k_2 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \operatorname{tg}(\alpha_{ap}) + 5,4 \operatorname{tg}^2(\alpha_{ap})$$

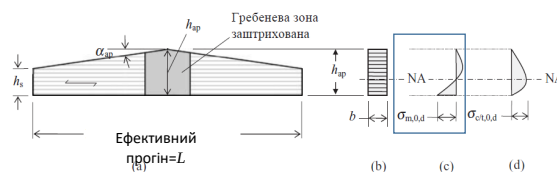
$$k_2 = 0,35 - 8 \operatorname{tg}(\alpha_{ap})$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \operatorname{tg}(\alpha_{ap}) - 7,8 \operatorname{tg}^2(\alpha_{ap})$$

$$k_4 = 6 \operatorname{tg}^2(\alpha_{ap})$$

$$r = r_{in} + 0,5h_{ap}$$

r_{in} — внутрішній радіус балки



344



Під дією розрахункового моменту $M_{ap,d}$ у гребені двосхилих і гнутоклеєних із прямими скатами балках максимальне розрахункове напруження розтягу уперек волокон деревини $\sigma_{t,90,d}$ визначається таким чином:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2}$$

b і h_{ap} — ширина і висота поперечного перерізу в гребені;

k_p — коефіцієнт, який для двосхилих балок приймається $0,2tg(\alpha_{ap})$, а для гнутоклеєних балок з прямими скатами визначається таким чином:

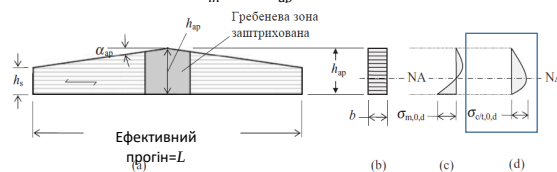
$$k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2$$

$$k_5 = 0,2tg(\alpha_{ap})$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5tg(\alpha_{ap}) + 2,6tg^2(\alpha_{ap})$$

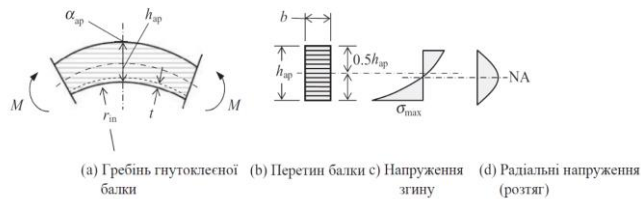
$$k_7 = 2,1tg(\alpha_{ap}) - 4tg^2(\alpha_{ap})$$

$$r = r_{in} + 0,5h_{ap}$$



345

345



Під дією розрахункового моменту $M_{ap,d}$ в гребені гнутоклеєних балок максимальне напруження від згину $\sigma_{m,d}$ визначається таким чином:

$$\sigma_{m,d} = k_{curve,b} \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2}$$

$$k_{curve,b} = 1 + 0,35 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + 0,6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2$$

$$r = r_{in} + 0,5h_{ap}$$



Під дією розрахункового моменту $M_{ap,d}$ в гребені гнотоклеєної балки максимальне **радіальне розтягувальне напруження**, що діє уперек волокон деревини $\sigma_{t,90,d}$ визначається таким чином:

$$\sigma_{t,90,d} = k_{curve,t} \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2}$$

$$k_{curve,t} = 0,25(h_{ap}/r)$$

$$r = r_{in} + 0,5h_{ap}$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

347



Розрахункове **значення міцності** клеєної деревини в гребневих зонах балок при розтягу уперек волокон визначається з виразу:

$$f_{r,t,90,d} = k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}$$

$f_{t,90,d}$ — розрахункове значення міцності деревини на розтяг уперек волокон;

k_{dis} — коефіцієнт розподілення напруження у гребеневій зоні, який дорівнює:

1,4 — для двосхилих і гнотоклеєних балок;

1,7 — для гнотоклеєних балок з прямолінійними схилами;

k_{vol} — об'ємний коефіцієнт, який для суцільних елементів дорівнює 1, а для клеєних елементів та LVL з односпрямованим шпоном дорівнює:

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2}$$

V_0 — базовий об'єм, який дорівнює 0,01 м³;

V — об'єм у гребеневій зоні з максимальним значенням $2V_{beam}/3$, у якому виникають напруження розтягу уперек волокон (в м³);

V_{beam} — об'єм балки.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

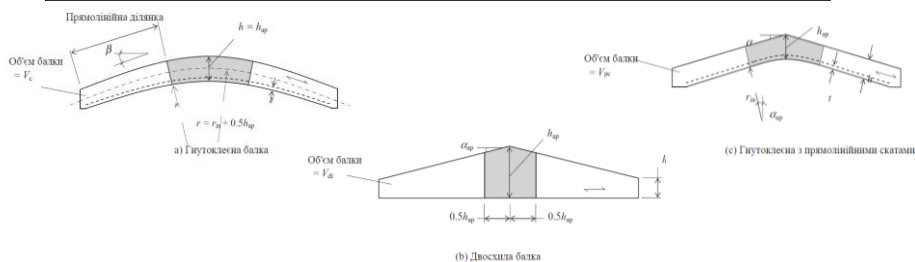
348



Об'єм V гребеневої зони, у якому виникає напруження розтягу упоперек волокон деревини, можна визначити з таблиці

Тип балки	Об'єм, у якому виникають напруження розтягу*, V	Максимально допустимі значення величини об'єму, якому виникають напруження розтягу
Двосхила балка	$bh_{ap}^2 [1 - 0,25tg(\alpha_{ap})]$	$\frac{2}{3}V_c$
Гнутоклеєна балка	$\frac{\beta\pi}{180} b(h_{ap}^2 + 2h_{ap}r_{in})$	$\frac{2}{3}V_{dt}$
Гнутоклеєна балка з прямолінійними скатами	$b \left[\sin(\alpha_{ap}) \cos(\alpha_{ap}) (r_{in} + h_{ap})^2 - r_{in}^2 \frac{\alpha_{ap}\pi}{180} \right]$	$\frac{2}{3}V_{pc}$

* Кути β і α в градусах. Позначення згідно з рисунком



Конструкції з деревини ДБН В.2.6-16:2017, EN 1995-1-1

349



При перевірці міцності балок за нормальними напруженнями розтягу упоперек волокон деревини $\sigma_{t,90,d}$, що діють у гребеневій зоні, повинна виконуватись умова:

$$\sigma_{t,90,d} \leq f_{r,t,90,d}$$

$\sigma_{t,90,d}$ — розрахункове напруження розтягу упоперек волокон у гребеневій зоні

$f_{r,t,90,d}$ — розрахункове значення міцності клеєної деревини в гребневих зонах балок при розтягу упоперек волокон

Конструкції з деревини ДБН В.2.6-16:2017, EN 1995-1-1

350



Якщо двосхили, гнотоклеєні балки та гнотоклеєні балки з прямолінійними скатами шириною b й висотою h_{ap} у гребеневій зоні схильні до спільної дії сколювальних напружень та напружень розтягу уперек волокон, то повинна виконуватися така умова:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{f_{r,t,90,d}} \leq 1$$

τ_d — розрахункове сколювальне напруження в перерізі гребеневої зони. Якщо розрахункова поперечна сила в гребені дорівнює F_d , то розрахункове сколювальне напруження буде дорівнювати $\tau_d = 3F_d / 2bh_{ap}$

$f_{v,d}$ — розрахункове значення міцності деревини при сколюванні, яке для клеєної деревини балки буде дорівнювати $k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{v,g,k} / \gamma_M$

$\sigma_{t,90,d}$ — розрахункове розтягувальне напруження уперек волокон у гребеневій зоні балки

$f_{r,t,90,d}$ — розрахункове значення міцності клеєної деревини у гребеневій зоні балки при розтягу уперек волокон.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

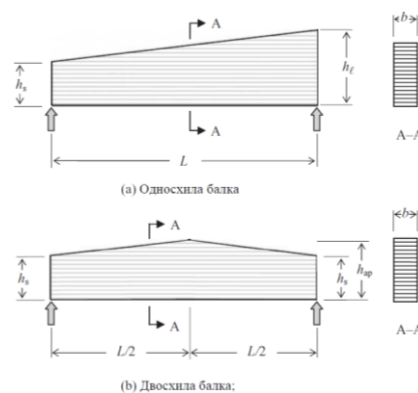
351



Рівняння відхилення внаслідок згинального моменту та зсуву в середньому прогоні для шарнірно опертих однопрогонових односхилих і двосхилих балок

Хоча максимальне відхилення в односхилій балці, завантаженій концентрованим навантаженням у середині прогону, буде незначно відхилятися від центру, використання центрального значення відхилення достатньо підходить для цілей проектування.

Рівняння відхилення внаслідок згинального моменту та зсуву в середньому прогоні для шарнірно опертих однопрогонових односхилих і двосхилих балок, завантажених концентрованим навантаженням у середині прогону або рівномірно розподіленим навантаженням по довжині кожного типу балки наведені в таблиці



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

352



Вид навантаження	Прогин від дії моменту	Прогин від дії поперечної сили
Односкіла балка		
Зосереджена сила F_d у середині прогону L , і $M_d = \frac{F_d \cdot L}{4}$	$\frac{5M_d L^2 k1_{db}}{96E_{0,g,mean} I_{h_s}}$ $k1_{db} = 19,2 \left(\frac{1}{a-1} \right)^3 \cdot \left(\ln a - 2 \left(\frac{a-1}{a+1} \right) \right)$	$\frac{1,2M_d k1_{ds}}{G_{0,g,mean} A_{h_s}}$ $k1_{ds} = \frac{1}{a-1} \ln a$
Рівномірне розподілене навантаження q_d $M_d = \frac{q_d \cdot L^2}{8}$	$\frac{5M_d L^2 k2_{db}}{48E_{0,g,mean} I_{h_s}}$ $k2_{db} = 19,2 \left(\frac{1}{a-1} \right)^4 \times$ $\times \left(3(a+1) \ln \left(\frac{a+1}{2} \right) - (2a+1) \ln a - \left(\frac{(a-1)^2}{2(a+1)} \right) \right)$	$\frac{1,2M_d k2_{ds}}{G_{0,g,mean} A_{h_s}}$ $k2_{ds} = \frac{2(a+1)}{(a-1)^2} \ln \left(\frac{a+1}{2} \right)$
Для двосхилої балки		
Зосереджена сила F_d у середині прогону L , і $M_d = \frac{F_d \cdot L}{4}$	$\frac{5M_d L^2 k3_{db}}{96E_{0,g,mean} I_{h_s}}$ $k3_{db} = 38,4 \left(\frac{1}{a-1} \right)^3 \times$ $\times \left(\ln \left(\frac{a+1}{2} \right) + \frac{4}{a+1} - \frac{2}{(a+1)^2} - 1,5 \right)$	$\frac{1,2M_d k3_{ds}}{G_{0,g,mean} A_{h_s}}$ $k3_{ds} = \frac{2}{a-1} \ln \left(\frac{a+1}{2} \right)$
Рівномірне розподілене навантаження q_d $M_d = \frac{q_d \cdot L^2}{8}$	$\frac{5M_d L^2 k4_{db}}{48E_{0,g,mean} I_{h_s}}$ $k2_{db} = 19,2 \left(\frac{1}{a-1} \right)^3 \times$ $\times \left(2 \left(\frac{a+2}{a-1} \right) \ln \left(\frac{a+1}{2} \right) + \frac{3}{a+1} - \frac{2}{(a+1)^2} - 4 \right)$	$\frac{1,2M_d k4_{ds}}{G_{0,g,mean} A_{h_s}}$ $k4_{ds} = \frac{4}{a-1} \left(\frac{a+1}{a-1} \ln \left(\frac{a+1}{2} \right) - 1 \right)$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

353



У таблиці прийнято такі позначення:

 $E_{0,g,mean}$ — середній модуль пружності клеєного елемента уздовж волокон; $G_{0,g,mean}$ — середній модуль зсуву клеєного елемента; I_{h_s} — момент інерції поперечного перерізу клеєної балки висотою h_s , тобто

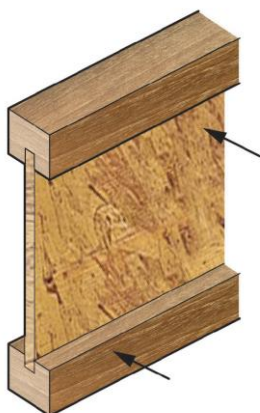
$$I_{h_s} = bh_s^3 / 12$$

 A_{h_s} — площа поперечного перерізу клеєної балки висотою h_s , тобто $A_s = bh_s$; a — відношення h_f/h_s для односкілих балок і h_{ap}/h_s для двосхилих балок.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

354





11. РОЗРАХУНОК КОМПОЗИТНИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК ТА ПАНЕЛЕЙ

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

355

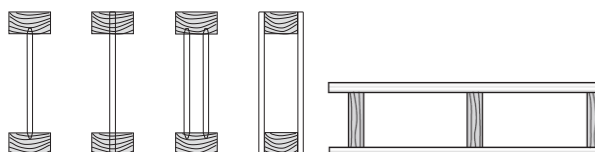


Найбільша ефективність досягається застосуванням елементів, які мають високу жорсткість і можуть нести найбільше навантаження при мінімальній власній вазі.

Найбільш поширені типи елементів, які входять до цієї категорії, тонкостінні двотаврові балки й тонкостінні коробчасті балки.

Два способи з'єднання складових компонентів:

- композитні елементи, утворені за рахунок клеєвих з'єднань,
- композитні елементи, утворені за рахунок механічних з'єднань.



а) двотаврова балка

б) подвійна двотаврова балка

в) балка коробчастого перерізу

д) клеєна дерев'яна панель

(a) I-beams

(b) Double I-beam

(c) Box beam

(d) Glued thin flanged beam

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

356





357



Клеєні композитні конструктивні елементи зібрані шляхом склеювання окремих складових разом, щоб функціонувати як єдина одиниця.

Правила розрахунку формулюються на припущенні, що між складовими в перерізі не виникне сколювання в жодному зі швів.

Механічно з'єднані композитні елементи збираються фіксацією складових за допомогою цвяхів, шурупів або нагелів.

Таким конструктивним елементам притаманне зміщення між складовими.

358



- Композитні елементи складаються з компонентів, які мають різні значення модуля пружності.
- Це впливає на процес розрахунку міцнісних властивостей.
- Крім впливу на міцність, ефект різних модулів пружності впливає на загальну жорсткість елемента.



Розрахунок клеєних балок із плоскими стінками

Для розрахунку перерізів балок із плоскими фанерними стінками використовується метод еквівалентного (приведеного) перерізу.

Один із матеріалів у складеному перерізі приймається як **основний**, а інші — **еквівалентні**.

Для матеріалу, який був перетворений, напруження розраховують шляхом множення напружень згину в однорідному еквівалентному перерізі на відношення модуля пружності реального матеріалу в складеному перерізі до модуля пружності вибраного матеріалу.

Таке відношення називають **модульним відношенням**.

Використовують середнє значення модуля пружності E_{mean}



Розрахункові значення властивостей жорсткості

для миттєвого стану:

$$E_{d,ULS} = E_{mean} \quad G_{d,ULS} = G_{mean}$$

для стану, пов'язаного з кінцевим середнім значенням жорсткості:

$$E_{d,ULS} = \frac{E_{mean}}{(1 + \psi_2 k_{def})} \quad G_{d,ULS} = \frac{G_{mean}}{(1 + \psi_2 k_{def})}$$

E_{mean} — середнє значення модуля пружності;

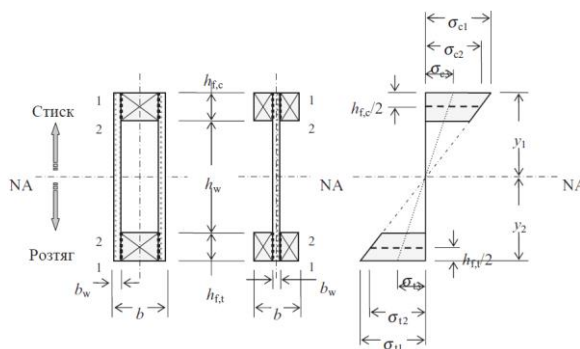
G_{mean} — середнє значення модуля зсуву;

k_{ser} — коефіцієнт для оцінювання деформацій повзучості з урахуванням відповідного експлуатаційного класу;

ψ_2 — коефіцієнт квазіпостійної величини навантаження, що викликає найбільші напруження відносно міцності (якщо така дія буде постійною, то ψ_2 слід приймати за 1)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

361



Матеріал помосту (полки) приймають як вибраний матеріал для еквівалентного перерізу, припускаючи, що:

- у кожному помості використовується один матеріал, що має середній модуль пружності $E_{mean,f}$ із коефіцієнтом деформації $k_{def,f}$;
- стінка (стінки) має середнє значення модуля пружності $E_{mean,w}$ із коефіцієнтом деформації $k_{def,w}$.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

362



Еквівалентна площа поперечного перерізу A_{ef} та момент інерції I_{ef} визначаються за формулами:

– для миттєвого стану

$$A_{ef,inst} = A_f + \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) A_w \quad I_{ef,inst} = I_f + \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) I_w$$

– для стану, що враховує кінцеве середнє значення жорсткості:

а) якщо розрахункова умова виникає від дії постійного навантаження:

$$A_{ef,inst} = A_f + \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) \left(\frac{1 + k_{def,f}}{1 + k_{def,w}} \right) A_w \quad I_{ef,inst} = I_f + \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) \left(\frac{1 + k_{def,f}}{1 + k_{def,w}} \right) I_w$$

б) якщо розрахункова умова виникає від дії змінного навантаження Q_i

$$A_{ef,inst} = A_f + \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) \left(\frac{1 + \psi_{2,i} k_{def,f}}{1 + \psi_{2,i} k_{def,w}} \right) A_w \quad I_{ef,inst} = I_f + \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) \left(\frac{1 + \psi_{2,i} k_{def,f}}{1 + \psi_{2,i} k_{def,w}} \right) I_w$$

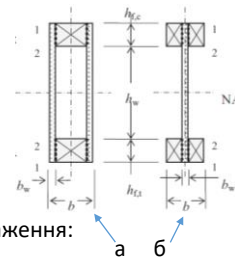
A_f — загальна площа помостів яка для рисунка а — $A_f = (b - 2b_w)(h_{f,c} + h_{f,t})$

для рисунка б — $A_f = (b - b_w)(h_{f,c} + h_{f,t})$

A_w — площа стінки, для рисунка а — $A_w = 2b_w(h_w + h_{f,c} + h_{f,t})$

для рисунка б — $A_w = b_w(h_w + h_{f,c} + h_{f,t})$

$\psi_{2,i}$ є коефіцієнтом ψ_2 для квазіпостійної величини навантаження змінної дії Q_i



Якщо модуль пружності стінки менший, ніж помосту, напруження від згину в помості з часом зростатиме, а в стінці — зменшуватиметься.

Для даної умови необхідно перевірити

- напруження у помостах у кінцевому стані з середніми значеннями пружних характеристик
- напруження в стінках у миттєвому стані.

Якщо модуль пружності стінки більший від модуля пружності помосту,

- в помостах слід перевіряти нормальні напруження від згину в миттєвому стані
- у стінці слід перевіряти нормальні напруження від згину в кінцевому стані з середніми значеннями пружних характеристик.



Визначення напружень у помостах балки

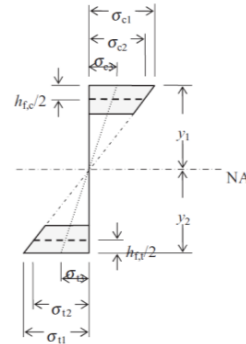
а) напруження від згину

Максимальне значення нормальних напружень від згину балки виникатиме в крайніх шарах волокон на відстані y_1 і y_2 від нейтральної осі

Якщо переріз симетричний відносно осі, то відстані від нейтральної осі до крайніх волокон розтягнутої і стиснутої зон будуть однакові між собою, тобто $y_1 = y_2$

Якщо переріз не симетричний відносно осі у-у, положення нейтральної осі відрізнятиметься в миттєвому і кінцевому станах, а відповідні значення y_1 і y_2 у цих станах також розрізнятимуться.

Для врахування цих відмінностей прийнято такі позначення: $y_{1,inst}$ і $y_{2,inst}$ — для миттєвого стану, а $y_{1,fin}$ і $y_{2,fin}$ — для кінцевого стану з середніми значеннями модуля пружності.



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

365



Максимальне розрахункове напруження стиску внаслідок згину на відстані y_1

у миттєвому стані

$$\sigma_{f,inst,c,max,d} = \sigma_{c,1} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,inst}} y_{1,inst} \right)$$

у стані з кінцевими середніми значеннями

$$\sigma_{f,fin,c,max,d} = \sigma_{c,1} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,fin}} y_{1,fin} \right)$$

на відстані y_2

у миттєвому стані

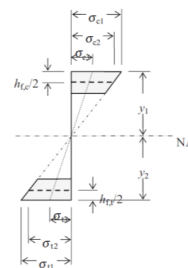
$$\sigma_{f,inst,t,max,d} = \sigma_{t,1} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,inst}} y_{2,inst} \right)$$

у стані з кінцевими середніми значеннями

$$\sigma_{f,fin,t,max,d} = \sigma_{t,1} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,fin}} y_{2,fin} \right)$$

$$\sigma_{f,inst,c,max,d}, \sigma_{f,fin,c,max,d}, \sigma_{f,inst,t,max,d}, \sigma_{f,fin,t,max,d} \leq f_{m,d}$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot k_h \cdot k_{sys} \cdot f_{m,k} / \gamma_M$$



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

366



б) напруження стиску з урахуванням стійкості

Стійкість балки при поздовжньому згині забезпечується виключно міцністю стиснутого помосту.

Розрахункова вимога полягає в тому, щоб величина стискального напруження в помості дорівнювала б або була б меншою за значення міцності при стиску. Величина напруження стиску приймається такою, що дорівнює середньому значенню, яке визначається за формулами:

у миттєвому стані

$$\sigma_{f,inst,c,d} = \sigma_{c,2} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,inst}} \left(y_{1,inst} - \frac{h_{f,c}}{2} \right) \right)$$

у стані з кінцевими середніми значеннями

$$\sigma_{f,fin,c,d} = \sigma_{c,2} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,fin}} \left(y_{1,fin} - \frac{h_{f,c}}{2} \right) \right)$$

$$\sigma_{f,inst,c,d} \text{ і } \sigma_{f,fin,c,d} \leq k_c f_{c,0,d} \quad f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M}$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

367



k_c — коефіцієнт поздовжнього згину, значення якого визначається з припущення, що стиснутий поміст працює як центрально-стиснутий стрижень, закріплений на кінцях від поперечного переміщення. Переріз традиційно приймається суцільним прямокутним висотою b , при цьому радіус інерції навколо осі z - z композитних балок

$$b / \sqrt{12}$$

Виходячи з цього, співвідношення жорсткості секції буде

$$\sqrt{12} \cdot (I_c / b)$$

I_c — довжина ділянки між сусідніми позиціями бічної підтримки.
При повному закріпленні помосту $k_c = 1$.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

368



в) напруження розтягу

Середнє розрахункове значення напруження розтягу в розтягнутому помості має дорівнювати або бути меншим за розрахункове значення міцності при розтягу. Розрахункове напруження розтягу визначається за формулою:

- у миттєвому стані

$$\sigma_{f,inst,t,d} = \sigma_{t,2} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,inst}} \left(y_{2,inst} - \frac{h_{f,t}}{2} \right) \right)$$

- у стані з кінцевими середніми значеннями

$$\sigma_{f,fin,t,d} = \sigma_{t,2} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,fin}} \left(y_{2,fin} - \frac{h_{f,t}}{2} \right) \right)$$

Для забезпечення міцності перерізу повинна виконуватися така умова:

$$\sigma_{f,inst,t,d} \text{ і } \sigma_{f,fin,t,d} \leq f_{t,0,d}$$

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot k_h \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_M}$$

k_h — коефіцієнт, що враховує висоту елемента

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

369



Визначення напружень у стінці балки

Основною функцією стінки балки є робота на зсув.

Але вона також повинна витримувати стискальні й розтягувальні напруження, що виникають внаслідок вигину.

Для формування суцільного перерізу матеріал стінки зазвичай склеюється з помостами, однак там, де це є неможливим, для перенесення напружень у місцях з'єднань необхідні додаткові накладки.

Стінка балки має бути перевірена

- на міцність за напруженнями стиску та розтягу від згину балки,
- на міцність з'єднань (стиків) листів стінки,
- на міцність із урахуванням поздовжнього згину від дії напруження сколювання (тобто на здатність клейових швів передавати горизонтальне напруження сколювання в перерізі між стінкою й помостами)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

370



Оскільки в еквівалентному перерізі стінка трансформується в матеріал помосту, для отримання будь-якого напруження в цьому елементі розрахункове напруження для конкретного випадку деформації повинно бути помножене на відповідне модульне співвідношення.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

371



а) визначення нормального напруження від згину балки

у стінці максимальні напруження при згині виникатимуть у крайніх положеннях волокон y_1 або y_2 від нейтральної осі.

максимальне напруження стиску :

– у миттєвому стані

$$\sigma_{w,inst,c,d} = \sigma_{c,3} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,inst}} y_{1,inst} \right) \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right)$$

– у стані з кінцевими середніми значеннями

$$\sigma_{w,fin,c,d} = \sigma_{c,3} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,fin}} y_{1,fin} \right) \left(\frac{E_{mean,w} (1 + \psi_2 k_{def,f})}{E_{mean,f} (1 + \psi_2 k_{def,w})} \right)$$

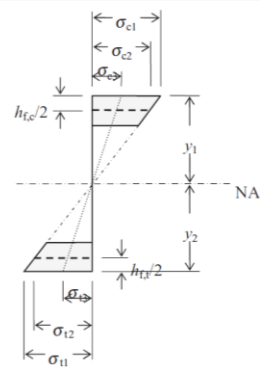
максимальне напруження розтягу:

– у миттєвому стані

$$\sigma_{w,inst,t,d} = \sigma_{t,3} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,inst}} y_{2,inst} \right) \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right)$$

– у стані з кінцевими середніми значеннями

$$\sigma_{w,fin,t,d} = \sigma_{t,3} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,fin}} y_{2,fin} \right) \left(\frac{E_{mean,w} (1 + \psi_2 k_{def,f})}{E_{mean,f} (1 + \psi_2 k_{def,w})} \right)$$



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

372



Для забезпечення міцності перерізу повинні дотримуватися такі умови:

$$\sigma_{w,inst,c,d}, \text{ і } \sigma_{w,fin,c,d} \leq f_{c,w,d}$$

$$\sigma_{w,inst,t,d}, \text{ і } \sigma_{w,fin,t,d} \leq f_{t,w,d}$$

$$f_{c,w,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{c,w,k}}{\gamma_M}$$

$$f_{t,w,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{t,w,k}}{\gamma_M}$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

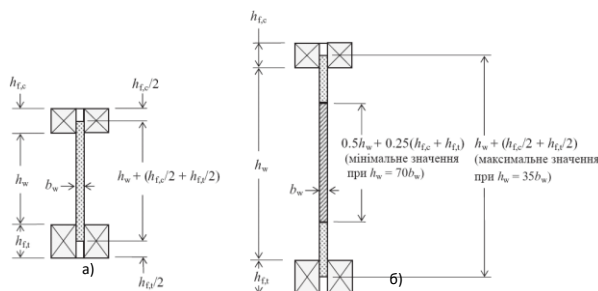
373



б) перевірка напружень із урахуванням поздовжнього згину

При $h_w \leq 35b_w$, при дотриманні рівномірного розподілення напружень сколювання, висота стінки, що ефективно опирається напруженню сколювання буде

$$(h_w + 0,5(h_{f,t} + h_{f,c}))$$



Критерії міцності стінки: а) висота стінки, прийнята для обчислення напруження сколювання, при $h_w \leq 35b_w$ (приймаючи рівномірне розподілення напружень сколювання); б) зміна висоти стінки для розрахунку напруження сколювання, при $35b_w < h_w \leq 70b_w$ (приймаючи рівномірне розподілення напружень сколювання)

У межах $35b_w < h_w \leq 70b_w$ опір сколюванню зменшується внаслідок падіння стійкості стінки.

Висота стінки, що здатна ефективно опиратися напруженню сколювання, буде залежати від значення h_w

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

374



При розрахунку стінки повинні виконуватись такі умови:

$$h_w \leq 70b_w$$

$$F_{v,w,Ed} \leq \begin{cases} b_w h_w \left(1 + \frac{0,5(h_{ft} + h_{fc})}{h_w} \right) f_{v,0,d} \text{ при } h_w \leq 35b_w \\ 35b_w^2 \left(1 + \frac{0,5(h_{ft} + h_{fc})}{h_w} \right) f_{v,0,d} \text{ при } 35b_w \leq h_w \leq 70b_w \end{cases}$$

$F_{v,w,Ed}$ — розрахункова поперечна сила, що діє на кожну стінку;

$$f_{v,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M}$$

$f_{v,k}$ — характеристична міцність матеріалу стінки на сколювання.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

375



в) напруження сколювання в клейових швах між стінками та помостами

Напруження сколювання виникають на помості й розподіляються між стінкою й помостами через клейову поверхню з'єднання.

Розрахункові значення напружень сколювання визначаються таким чином:

– у миттєвому стані

$$\tau_{inst,mean,d} = \frac{V_d S_{f,inst}}{I_{ef,inst} (nh_f)}$$

– у стані з кінцевими середніми значеннями

$$\tau_{fin,mean,d} = \frac{V_d S_{f,fin}}{I_{ef,fin} (nh_f)}$$

$\tau_{inst,mean,d}$, $\tau_{fin,mean,d}$ — розрахункові значення напружень сколювання в миттєвому (й остаточному) випадку деформування на клейовій поверхні між помостом і стінкою;

V_d — розрахункове значення сили сколювання в області максимального зсуву;

$S_{f,inst}$, $S_{f,fin}$ — статичний момент площі помосту (без урахування площі стінки) відносно нейтральної осі в миттєвому (й остаточному) випадку деформації;

h_f — висота помосту, тобто h_{fc} або h_{ft} по мірі необхідності;

n — кількість площин клейового шва між стінкою й помостом.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

376



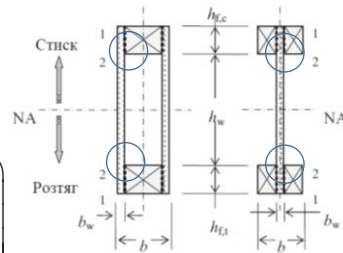
Для врахування концентрації напружень на поверхні стінки/помосту в області **точки 2** при висоті стінки більш ніж $4b_{ef}$ мають виконуватися такі умови:

$$\tau_{inst,mean,d} \text{ та } \tau_{fin,mean,d} \leq \begin{cases} f_{v,90,d} & \text{для } h_f \leq 4b_{ef} \\ f_{v,90,d} \left(\frac{4b_{ef}}{h_f} \right)^{0,8} & \text{для } h_f > 4b_{ef} \end{cases}$$

де

$$f_{v,90,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{r,k}}{\gamma_M}$$

$$b_{ef} = \begin{cases} b_w & \text{для коробчастого перерізу} \\ \frac{b_w}{2} & \text{для двотаврових балок} \end{cases}$$



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

377



Розрахунок деформації за граничним станом експлуатаційної придатності (SLS)

Унаслідок того, що композитні елементи складаються з різних, залежних від часу, властивостей, повні середні значення модуля пружності $E_{mean,fin}$, модуля зсуву $G_{mean,fin}$ і модуля ковзання $K_{ser,fin}$, які використовуються для обчислення повних деформацій, необхідно визначати за такими виразами:

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{1 + k_{def}},$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{1 + k_{def}},$$

$$K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{1 + k_{def}},$$

Значення для k_{def} підвищується на 1,0 для композитного елемента, який при будівництві вибирає вологу у волокна або вже є вологим та в збудованому стані може висихати.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

378



Для розрахунків проектних значень деформацій використовують такі комбінації навантажень і впливів:

- характеристичні комбінації;
- періодичні комбінації;
- тривалі (квазіпостійні комбінації).



Характеристичні комбінації

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Ці комбінації використовуються для незворотних граничних станів (тобто станів, коли SLS буде постійно порушуватися, навіть коли дії, які призвели до перевищення, вилучені.



Періодичні комбінації

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Ці комбінації використовуються для зворотних граничних станів (тобто, коли порушення стану зникає, коли дія, що викликає перевищення, видаляється). Хоча цей варіант не згадується в ДБН В.2.6–161:2017 та EN 1995, комбінація може бути використана за умови, що з клієнтом може бути встановлена домовленість про ті ситуації, які підпадають під цю категорію разом із частотою виникнення, яка буде прийнятною.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

381

**Тривалі (квазіпостійні комбінації)**

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Ці комбінації, які використовуються для оцінювання довгострокових ефектів, пов'язаних з повзучістю.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

382



При визначенні прогинів від згину **момент інерції**, що використовується в рівнянні прогинів, розраховується з параметрів деформованих елементів для умов, що розглядаються, тобто параметрів миттєвої або повної деформації.

При визначенні прогинів від поперечних впливів площею зсуву буде **фактична**, а не еквівалентна площа.



Приймаючи матеріал помосту як матеріал, вибраний для використання в еквівалентному перерізі, момент інерції, який буде використовуватися при розрахунку деформації, що виникає при вигині, буде таким:

- у миттєвому стані

$$I_{ef,inst} = I_f + \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) I_w$$

- у стані повної деформації

$$I_{ef,inst} = I_f + \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) \left(\frac{1 + k_{def,f}}{1 + k_{def,w}} \right) I_w$$

де параметри з індексом f стосуються помосту, а w — стінки балки.



Формули для визначення прогину шарнірно обертих чи консольних композитних балок

Випадок навантаження	Прогин від згину	Прогин від зсуву
Рівномірно розподілене навантаження q_d (кН/м) по довжині шарнірно обертої балки	у середині прогону	у середині прогону
Миттєве значення	$\frac{5q_d l^4}{384E_{mean,f} I_{ef,inst}}$	$\frac{q_d l^2}{8A_w G_{w,mean}}$
Повне значення	$\frac{5q_d l^4 (1+k_{def})}{384E_{mean,f} I_{ef,fin}}$	$\frac{q_d l^2 (1+k_{def})}{8A_w G_{w,mean}}$
Зосереджене навантаження V_d у середині прогону шарнірно обертої балки	у середині прогону	у середині прогону
Миттєве значення	$\frac{V_d l^3}{48E_{mean,f} I_{ef,inst}}$	$\frac{V_d l}{4A_w G_{w,mean}}$
Повне значення	$\frac{V_d l^3 (1+k_{def})}{48E_{mean,f} I_{ef,fin}}$	$\frac{V_d l (1+k_{def})}{4A_w G_{w,mean}}$
Зосереджене навантаження V_d на кінці консолі	на кінці консолі	на кінці консолі
Миттєве значення	$\frac{V_d l^3}{3E_{mean,f} I_{ef,inst}}$	$\frac{V_d l}{A_w G_{w,mean}}$
Повне значення	$\frac{V_d l^3 (1+k_{def})}{3E_{mean,f} I_{ef,fin}}$	$\frac{V_d l (1+k_{def})}{A_w G_{w,mean}}$

У наведених вище виразах A_w — площа поперечного перерізу стінки (стінок) в елементі (до еквівалентного перетворення).

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

385



Розрахунок клеєних дерев'яних панелей

Дерев'яні панелі — це конструктивні елементи, в яких стінка зазвичай виготовляється з дерев'яних дошок, розташованих уздовж прогону, а зовнішні листи — помісти виготовляються з матеріалів на основі деревини, таких як фанера, OSB або ДСП.

ДБН В.2.6–161:2017 не надає методики розрахунку клеєних дерев'яних панелей, тому методика розрахунку цього виду конструктивних елементів надається згідно з EN 1995.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

386



Коли панель перекриття піддається вигину, вона працює як балка з тонкими помостами.

Товщина кожного помосту, зазвичай визначається з напруження вигину уздовж прогону стінок панелі.

Зв'язок між помостами й стінками може бути клейовим або механічним. Якщо використовуються механічні кріпильні деталі (наприклад, цвяхи, гвинти тощо), то зв'язок між помостами і стінками буде **піддатливим**, що слід враховувати при розрахунках. Більш поширеною практикою є використання клею.

Наступні теоретичні викладки стосуються **тільки жорстких з'єднань**, утворених за допомогою склеювання.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

387



Як і в клеєдерев'яних балках, у клеєних дерев'яних панелях для формування композитного перерізу також використовуються різні матеріали, а в аналізі також використовується еквівалентний переріз.

У наступних викладках еквівалентний переріз буде заснований на використанні матеріалу помосту й також передбачається, що обидва помости мають однаковий модуль пружності.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

388



Ефективна ширина помосту

Коли балка піддається вигину, напруження між стінкою й помостом передаються за рахунок напружень зсуву.

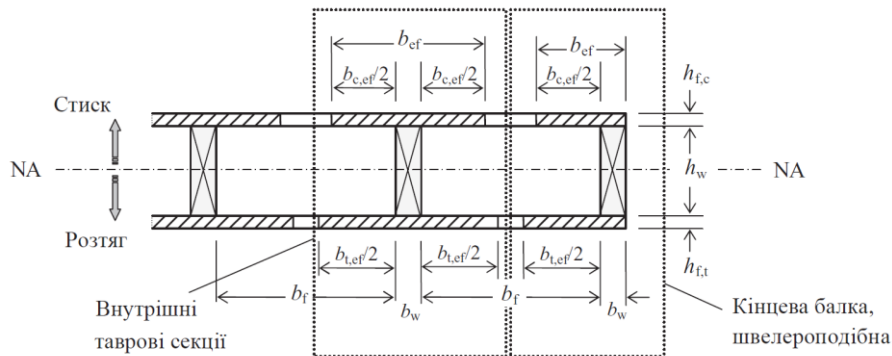
Унаслідок деформації зсуву напруження в кожному помості зменшуватимуться при збільшенні відстані від стінки, а відхід від рівномірного профілю напружень, який може бути отримано при використанні простої теорії вигину, називається ефектом «лага зсуву» («shear lag» effect).

З урахуванням цього використовується концепція «ефективної ширини» помосту.

Ефективна ширина — це та ширина помосту, над якою напруження є рівномірним і з такою максимальною величиною напруження, що впливає з теорії згину, що загальна сила в помості буде еквівалентна силі, що сприймається повною фактичною шириною помосту.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

389



Концепція ефективною ширини помосту застосовується до помостів, що працюють на стиск і розтяг, і ефективна ширина помосту, b_{ef} буде такою:

Для внутрішніх двотаврових секцій:

$$b_{ef} = b_{c,ef} + b_w \text{ чи } b_{ef} = b_{t,ef} + b_w.$$

Для швелероподібних балок (як наприклад, кінцева балка на рисунку)

$$b_{ef} = 0,5b_{c,ef} + b_w \text{ чи } b_{ef} = 0,5b_{t,ef} + b_w.$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

390



Максимальні значення, ефективної ширини помосту з урахуванням ефектів «лага зсуву» і стійкості (базується на таблиці 9.1 EN 1995)

Матеріал помосту	Стойкість	Лег зсуву
OSB	$25h_f$	$0,15l$
Фанера		
Зовнішні волокна паралельно до стінки	$20h_f$	$0,1l$
Зовнішні волокна перпендикулярно до стінки	$25h_f$	$0,1l$
ДСП або ДВП	$30h_f$	$0,2l$

Для помосту, що працює на стиск, крім відповідності критеріям лага зсуву, для запобігання втраті стійкості $b_{c,ef}$ також повинен відповідати максимальній ефективній ширині критерію стійкості з таблиці.

Крім того, якщо не проводиться повний аналіз стійкості, чиста ширина помосту, b_p , не повинна прийматися більш ніж удвічі більшою, ніж ефективна ширина помосту, отримана з критеріїв стійкості, наведених у таблиці.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

391

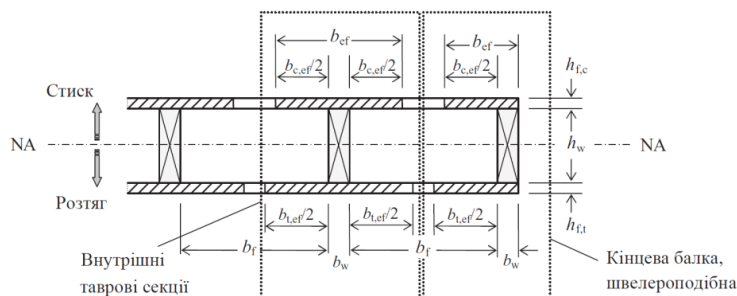


Властивості перерізу

Властивості перерізів визначаються так само, як для балок з плоскими стінками. Площа помостів і стінок буде:

$$\text{загальна площа помостів} \quad A_f = h_{f,c}(b_{c,ef} + b_w) + h_{f,t}(b_{t,ef} + b_w)$$

$$\text{площа стінки} \quad A_w = b_w h_w$$

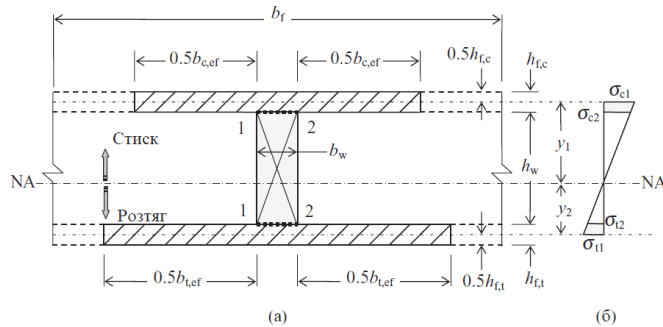


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

392



Напруження в помостах



Оскільки помости є тонкими, напруження в кожному з них внаслідок вигину є фактично осьовим напруженням, а розрахункове значення приймається як середнє значення за товщиною помосту.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

393



(а) Напруження в стиснутому помості

- Середнє розрахункове напруження стиску в стиснутому помості буде таким:

$$\sigma_{f,inst,c,max,d} = (\sigma_{c,1}) = \left(\frac{M_d}{I_{ef,inst}} y_{1,inst} \right)$$

- У стані кінцевого середнього значення:

$$\sigma_{f,fin,c,max,d} = (\sigma_{c,1}) = \left(\frac{M_d}{I_{ef,fin}} y_{1,fin} \right)$$

$$\sigma_{f,inst,c,max,d} \text{ та } \sigma_{f,fin,c,max,d} \leq f_{c,d}$$

$$f_{c,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{c,k}}{\gamma_M}$$

k_{sys} — системний фактор, для даного випадку $k_{sys} = 1,0$.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

394



(6) Напруження в розтягнутому помості

Середнє розрахункове напруження розтягу в розтягнутому помості буде таким:

- У миттєвому стані:

$$\sigma_{f,inst,t,mean,d} = (\sigma_{t,1}) = \left(\frac{M_d}{I_{ef,inst}} y_{2,inst} \right)$$

- У стані кінцевого середнього значення:

$$\sigma_{f,fin,t,mean,d} = (\sigma_{t,1}) = \left(\frac{M_d}{I_{ef,fin}} y_{2,fin} \right)$$

$$\sigma_{f,inst,t,mean,d} \text{ та } \sigma_{f,fin,t,mean,d} \leq f_{t,d}$$

$$f_{t,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{t,k}}{\gamma_M}$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

395



Напруження в стінці

Вимоги проектування для стінки полягають у тому, що вона

- повинна витримувати напруження, які виникають при згині,
- напруження сколювання в стінках повинні бути прийнятними,
- клейові з'єднання між стінкою й помостами повинні мати можливість передавати горизонтальні напруження сколювання на межі розділення.

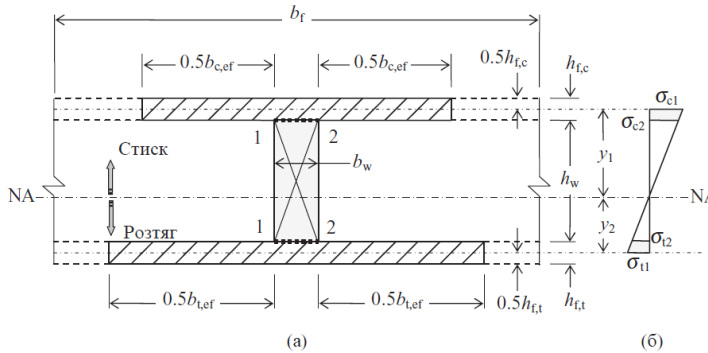
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

396



(a) Напруження вигину

Як видно на рисунку б, максимальні напруження внаслідок вигину виникатимуть у крайніх гранях на відстані $(y_1 - 0,5h_{f,c})$ або $(y_2 - 0,5h_{f,t})$ від нейтральної осі.



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

397



Максимальне напруження **на стиснутому боці** стінки буде:

- У миттєвому стані:

$$\sigma_{w,inst,c,d} = (\sigma_{c,2}) = \left(\frac{M_d}{I_{ef,inst}} (y_{1,inst} - 0,5h_{f,c}) \right) \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right)$$

- У стані кінцевого середнього значення:

$$\sigma_{w,fin,c,d} = (\sigma_{c,2}) = \left(\frac{M_d}{I_{ef,fin}} (y_{1,fin} - 0,5h_{f,c}) \right) \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) \left(\frac{1 + \psi_2 k_{def,f}}{1 + \psi_2 k_{def,w}} \right)$$

Максимальне розрахункове напруження **на розтягнутому боці** стінки буде:

- У миттєвому стані:

$$\sigma_{w,inst,t,d} = (\sigma_{t,2}) = \left(\frac{M_d}{I_{ef,inst}} (y_{2,inst} - 0,5h_{f,t}) \right) \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right)$$

- У стані кінцевого середнього значення:

$$\sigma_{w,fin,t,d} = (\sigma_{t,2}) = \left(\frac{M_d}{I_{ef,fin}} (y_{2,fin} - 0,5h_{f,t}) \right) \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) \left(\frac{1 + \psi_2 k_{def,f}}{1 + \psi_2 k_{def,w}} \right)$$

Оскільки стінка була трансформована в еквівалентну, для отримання напруження в цьому елементі розрахункове напруження повинне бути помножене на модульне співвідношення для відповідного стану.

$$\sigma_{w,c,d} \leq f_{c,w,d}$$

$$\sigma_{w,t,d} \leq f_{t,w,d}$$

$$f_{c,w,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot k_h \cdot f_{m,k}}{\gamma_M}$$

$$f_{t,w,d} = f_{c,w,d}$$

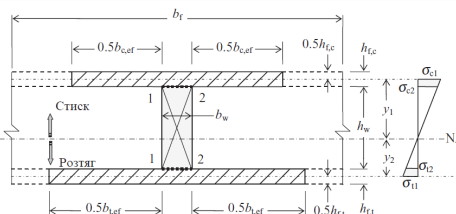
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

398



б) Напруження сколювання

Максимальне напруження зсуву, $\tau_{v,d}$ виникає в положенні NA і визначається таким чином:



- У миттєвому стані:

$$\tau_{v,inst,d} = \frac{V_d S_{f,inst,NA}}{I_{ef,inst} b_w}$$

- У стані кінцевого середнього значення:

$$\tau_{v,fin,d} = \frac{V_d S_{f,fin,NA}}{I_{ef,fin} b_w}$$

$$\tau_{v,inst,d} \text{ та } \tau_{v,fin,d} \leq f_{v,d}$$

V_d — проектна зсувна сила в положенні максимального зсуву;

$S_{f,inst,NA}$ та $S_{f,fin,NA}$ — статичні моменти стінки при миттєвому і кінцевому середньому стані, відповідно;

b_w — товщина стінки.

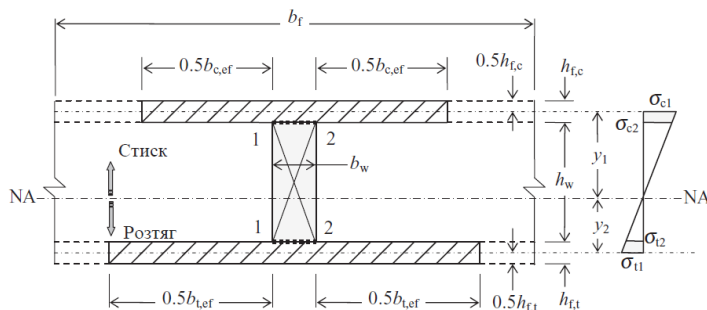
Конструкції з деревини ДБН В.2.6–16 1:2017, EN 1995-1-1

399



(в) Горизонтальні напруження сколювання в клеєних з'єднаннях між стінкою й помостами

У композитному перерізі напруження зсуву в стінці передається на помости через клейове з'єднання в положеннях 1–2. Клейове з'єднання є досить міцним, і тому граничною розрахунковою умовою для помосту, зробленого з плит з деревини (OSB, ДВП, фанера і т.і.), буде міцність помосту на сколювання.



Конструкції з деревини ДБН В.2.6–16 1:2017, EN 1995-1-1

400



Напруження зсуву уздовж стику вважається рівномірним і розраховується таким чином:

– У миттєвому стані:

$$\tau_{v,inst,d} = \frac{V_d S_{f,inst}}{I_{ef,inst} b_w}$$

– У стані кінцевого середнього значення:

$$\tau_{v,fin,d} = \frac{V_d S_{f,fin}}{I_{ef,fin} b_w}$$

V_d — проектна зсувна сила в положенні максимального зсуву;

$S_{f,inst}$ і $S_{f,fin}$ — статичні моменти помосту при миттєвому й кінцевому середньому стані, відповідно.

Для кожного стану необхідно визначати значення для стиснутого і розтягнутого помосту, і використовувати більші значення.

Вимоги EN 1995 до конструювання внутрішнього двотаврового перерізу:

$$\tau_{mean,d} \leq \begin{cases} f_{v,90,d} & \text{для } b_w \leq 8h_f \\ f_{v,90,d} \left(\frac{8h_f}{b_w} \right)^{0,8} & \text{для } b_w > 8h_f \end{cases}$$

де h_f — товщина помосту, пов'язана зі статичним моментом, що використовується для виведення горизонтального напруження зсуву.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

401



- Для перерізів з $b_w \leq 8h_f$ вплив концентрації напружень у клейовому з'єднанні між помостом і стінкою можна не враховувати.
- При $b_w > 8h_w$, ефекти концентрації напружень повинні бути враховані, і це досягається введенням функції $(8h_f/b_w)^{0,8}$.
- Для швелероподібних (U-подібних) секцій кінцевих балок застосовуються аналогічні рівняння, але замість $8h_f$ вводиться $4h_f$.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

402

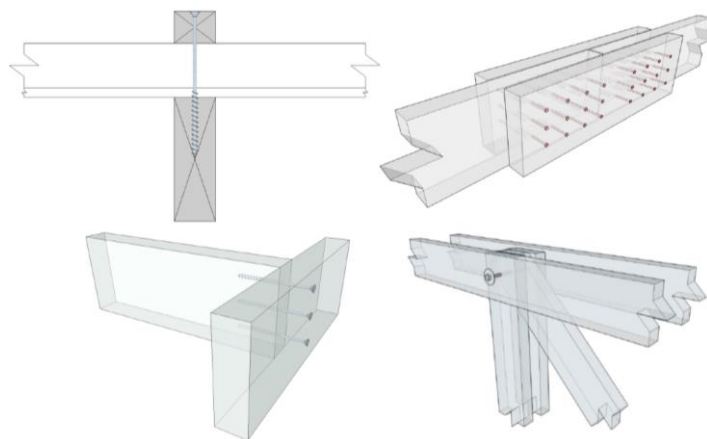


Розрахунок деформації за граничним станом експлуатаційної придатності (SLS)

Для цих конструкцій прогин розраховується аналогічно розрахункам для клеєних тонких балок, а висота стінки для обчислень деформацій зсуву повинна ґрунтуватися на висоті стінки, h_w .

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

403



12. З'єднання в конструкціях з деревини

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

404



Зміст

1. Введення
- 2) Цвяхи, гвинти, болти та дюбелі
- 3) Клеєні з'єднання
- 4) З'єднання лісоматеріалів
- 5) З'єднувальні пластини
- 6) Специфікація з'єднань
- 7) Проектування нагельних з'єднань
- 8) Інші конструкторські міркування
- 9) Приклади розрахунків з'єднань
- 10) Порівняння C16 + C16 лісоматеріалів

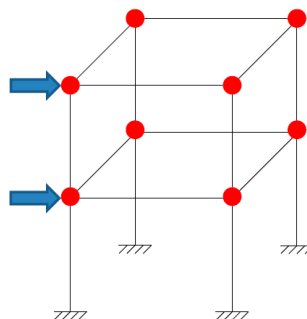


Введення

Існує ствердження, що «конструкція це збірка з'єднань, розділених елементами» (McLain, 1998) і при проектуванні конструкцій з деревини, з'єднання, як правило, є критичним фактором.

Міцність з'єднувальних елементів у з'єднанні зазвичай визначає міцність конструкції; їх жорсткість значно впливає на її загальну поведінку, а розміри конструктивних елементів, як правило, визначаються кількістю та фізичними характеристиками з'єднувальних елементів, а не вимогами до міцності матеріалу елемента.



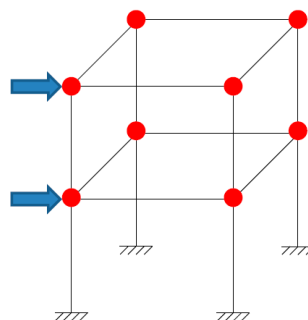


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

407



1. З'єднання мають вирішальне значення в багатьох дерев'яних конструкціях, оскільки вони можуть визначати загальну міцність і ефективність.
2. Довжина конструкційного елемента з деревини, як правило, коротша, ніж необхідні прогони (прольоти), і внаслідок цього необхідно використовувати зрощені або композитні структури (наприклад, ферми).
3. Сили між елементами найчастіше переносяться через з'єднання на врубках, або клейові з'єднання, або за допомогою кріпильних елементів типу дюбелів (цвяхи, болти, гвинти, дюбелі або цвяхові пластини).

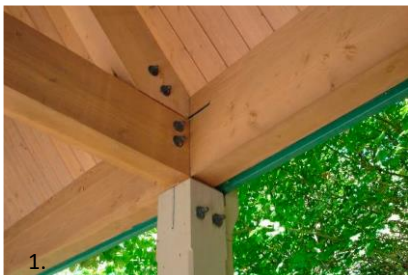


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

408



Приклади з'єднань в конструкціях



1.



2.



3.

1. Стічно-балочна система
2. Сібеліус хол, Фінляндія
3. Парламент Шотландії, Едінбург

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

409



Збільшення прольоту за допомогою з'єднань

Приклади фермових систем, в яких більші прольоти були досягнуті за рахунок з'єднань що поєднують елементи з деревини різної довжини.

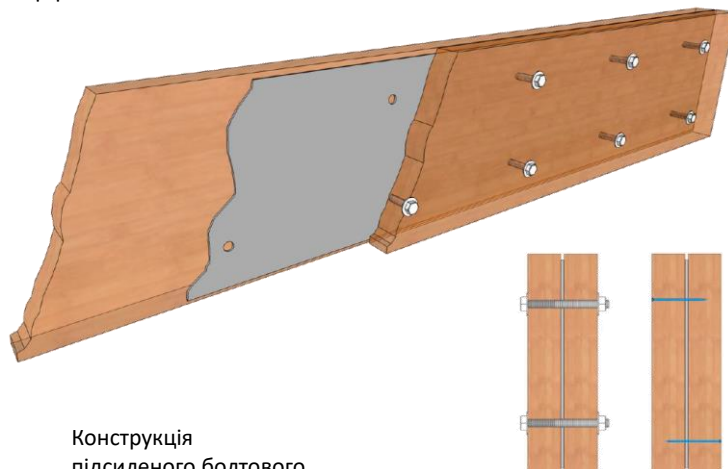


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

410



Збільшення прольотів за допомогою з'єднань



Конструкція підсиленого болтового з'єднання балки

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

411



Збільшення прольотів за допомогою з'єднань



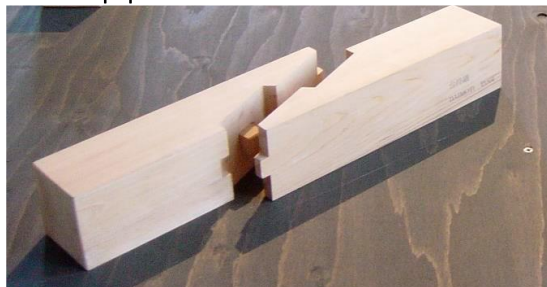
Конструкція підсиленого болтового з'єднання балки

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

412

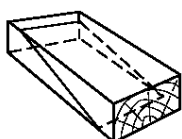


1.3 Типи з'єднань

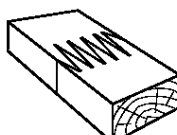


Традиційне з'єднання деревини (з косим накладним замком)

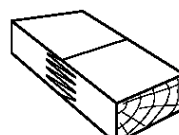
Клейові з'єднання



з'єднання на вус



горизонтальне
зубчасте з'єднання



вертикальне
зубчасте
з'єднання

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

413



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

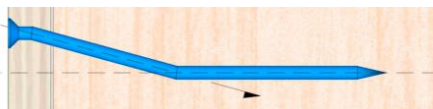
414



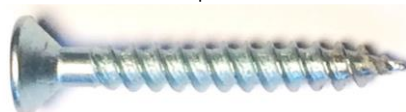
Типи з'єднань



нагелі



цвях



Сучасний шуруп



Болт з шестигранною головкою

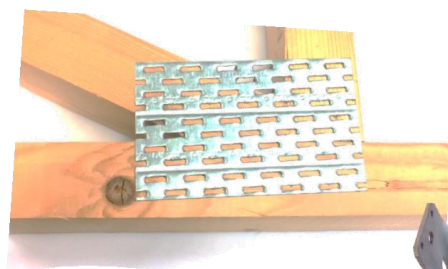
З'єднання нагельного типу

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

415



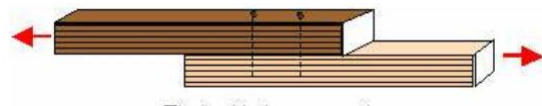
Типи з'єднань



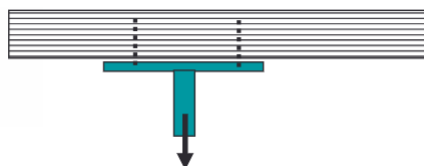
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

416





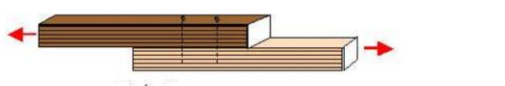
Зсувне завантаження з'єднання



Осьове завантаження з'єднання

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

417



Однозрізне з'єднання



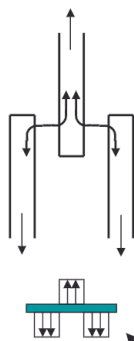
Багатозрізне з'єднання

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

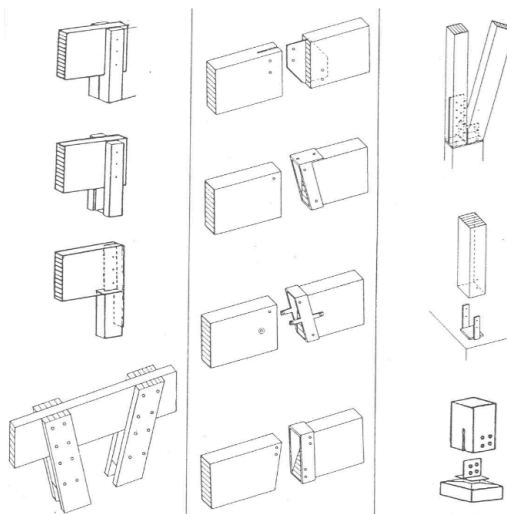
418



З'єднання з двома площинами зсуву



напруження зім'яття



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

419



Цвяхи, шурупи, болти та нагелі

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

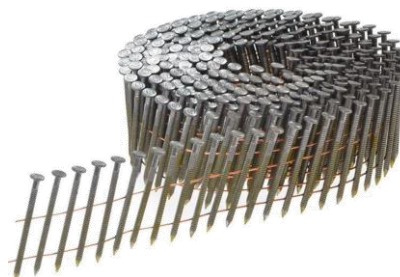
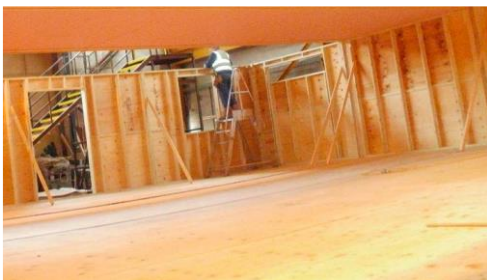
420



2.1 Цвяхи

Цвяхи є **найбільш часто використовуваними** кріпильними елементами у дерев'яних конструкціях і доступні в різних довжинах, поперечних перерізах і **поверхневих обробках**.

Найбільш поширеним типом цвяха є гладкий сталевий цвях, який має круговий перетин і вирізається з дрютяної котушки з **мінімальною міцністю на розрив 600 Н/мм²**. Він доступний у стандартному діапазоні діаметрів до максимум 8 мм і може бути рівним або обробленим проти корозії, наприклад, шляхом гальванізації.



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

421



Цвяхи можуть забиватись вручну або за допомогою пневматичних портативних машин. При забиванні цвяхів в щільні бруси, існує небезпека розщеплення деревини. Методом запобігання розщеплення є затуплення загостреного кінця цвяха так, що він проходить крізь волокна деревини, а не розділяє їх або попереднє просвердлення отвору у деревині меншого 80% діаметра цвяха. Зазвичай, попереднє свердління не проводиться на лісоматеріалах з характеристичною щільністю меншою 500 кг/м³.

Переваги попереднього свердління:

- Підвищується бокова несуча здатність цвяха.
- Відстані між цвяхами і відстані між цвяхами і торцем і краєм деревини можуть бути зменшені, дозволяючи таким чином отримати більш компактні з'єднання.
- В з'єднаннях досягається менше ковзання.

Недоліки

- Збільшується трудомісткість і, як наслідок, вартість.
- Зменшується площа поперечного перерізу елемента.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

422



2.2 Шурупи

Шурупи для деревини особливо підходять для виготовлення з'єднань «деревина-сталь», але також можуть бути використані для з'єднань «деревина-деревина». Такі гвинтові з'єднання зазвичай розраховуються як однорозрізні зсувні з'єднання.

Гвинти закріплюються вгвинчуванням, і, залежно від ситуації, це може бути зроблено або вручну, або за допомогою силового приводу.

Головною перевагою гвинтів над цвяхами є їх додаткова міцність на висмикування.



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

423



2.3 Нагелі

Дюбелі - це кругові стрижні з деревини, сталі або вуглепластиків, що мають мінімальний діаметр 6 мм.

Дюбелі вставляються в отвори що мають ідентичний або менший діаметр. Ці отвори повинні бути просвердлені через всі елементи в одній операції або виконані з використанням верстатів з ЧПУ.

З'єднання на дюбелях використовуються в конструкціях з деревини для передачі високих сил. Дюбелі - це економічний тип з'єднання, яке легко виготовляти.



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

424



2.4 Болти

Болти - нагелі з різьбленням, з шестикутними або напівсферичними головками і шестикутними гайками. Нагелі і болти слід використовувати для сприйняття в з'єднаннях великих зсувних зусиль між елементами.

Болти встановлюються в попередньо просвердлені отвори розміром на 1 мм більше діаметра болта. Болт і гайка затягують таким чином, щоб елементи з'єднання щільно стикалися. Критерієм загвинчування болтів є втоплювання шайби в елемент з'єднання на один виток різьблення. Якщо необхідно, болти, знову затягують, коли деревина досягне рівноважного вмісту вологи.



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

425



Клеєні з'єднання

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

426



Основні переваги клеєних з'єднань

- Структурні клеєні з'єднання, як правило, жорсткіші, вимагають меншої кількості деревини і мають кращий вигляд, ніж механічно закріплені з'єднання;
- Вони стійкі до корозійних впливів атмосфери;
- Шари, виготовлені з термореактивних смол, є більш безпечними у вогні, ніж механічно закріплені з'єднання



Основні недоліки клеєних з'єднань

- Необхідний жорсткий контроль якості;
- Непридатні в умовах коливання вмісту води, якщо в них залучені різні матеріали або якщо відбувається зміна кута волокон на місцях сполучень;
- Непридатні, якщо є значна складова навантаження, перпендикулярна площині зчеплення.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

427



Зв'язки для деревини

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

428

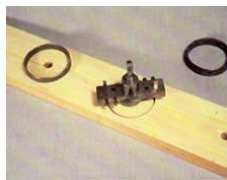


Болтові з'єднання можуть бути посилені роз'ємами на поверхні з'єднання

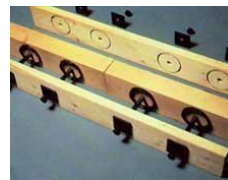
Зв'язки деревини

1. Кільцеві шпонки

- тільки деревина до деревини
- встановлюються в попередньо вирізані канавки



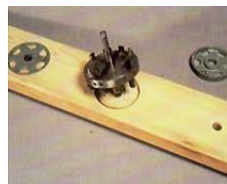
Формування канавок



Монтаж бокових накладень

2. Тарільчасті шпонки

- деревина до деревини або деревина до сталі
- встановлюються в попередньо вирізані канавки



Формування канавок



Монтаж бокових накладень

3. Зубчасті шпонки

- деревина до деревини або деревина до сталі
- вдавлюється в деревину

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

429

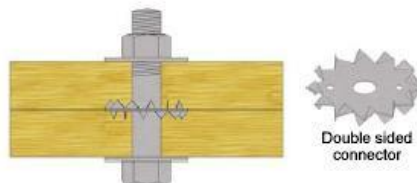


Зв'язки для лісоматеріалів - це пристрої, що передають навантаження, які покладаються на болти або гвинти для утримання з'єднання. Конструктивно, вони більш ефективні ніж болти або гвинти, що використовуються окремо, оскільки вони збільшують площу деревини, на яку розподіляється навантаження.

В основному використовуються для передачі навантажень у важких дерев'яних або клеєних елементах, таких як у кроквяні ферми.

Як правило, вони не захищені захисним покриттям і повинні бути оцинковані тільки в тому випадку, якщо вони використовуються з обробленою антисептиками або антипиренами деревиною або у вологому стані.

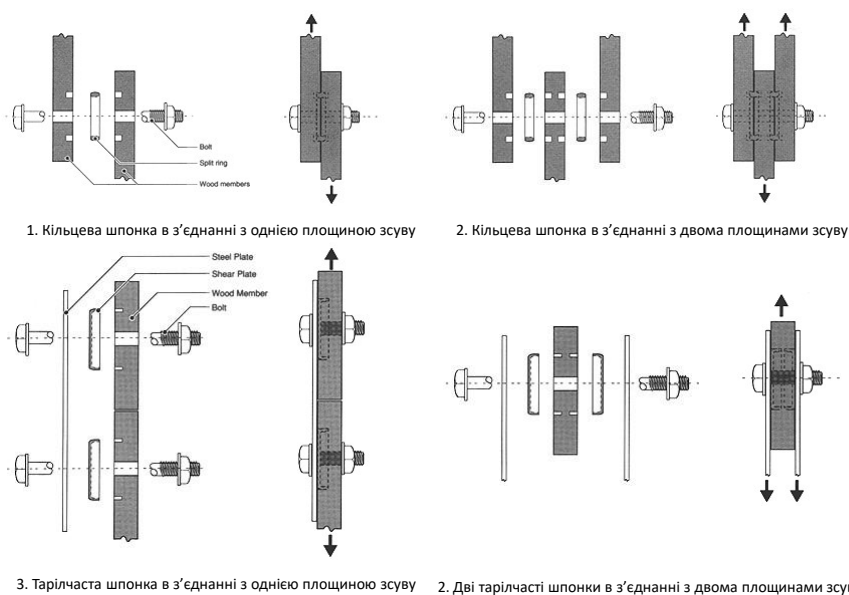
Застосування правильно розрахованого болта забезпечує ефективну роботу з'єднувача.



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

430





Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

431



З'єднання на металевих пластинах



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

432



Металеві зубчасті пластини (МЗП) являють собою сталеві пластини, на одній стороні яких після виштамповки на спеціальних пресах виходять зуби різної форми і довжини.

МЗП ставлять попарно по обидві сторони з'єднуються таким чином, щоб ряди МЗП розташовувалися в напрямку волокон, що приєднується дерев'яного елемента, в якому діють найбільші зусилля. Використовуються для приєднання двох або більше елементів з деревини однакової товщини в одній площині.

Пластини, як правило, оцинковані або виготовляються з нержавіючої сталі і мають товщину від 0,9 мм до 2,5 мм.

Несуча здатність МЗП визначається одним з двох критеріїв:

1. Її якірний (захватний) потенціал у будь-якому з з'єднаних елементів.
2. Несуча здатність сталі з якої виготовлена пластина.



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

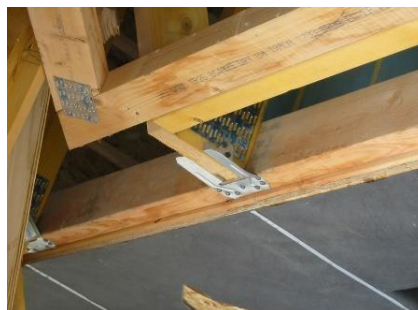
433



Металеві цвяхові пластини

Металеві цвяхові пластини виготовляються методом просічки сталевих листів і подальшим прогином до необхідної форми. В пластинах попередньо пробиті отвори для цвяхів. Найпоширенішими видами є:

- кутові з'єднання
- опори балок
- з'єднання вузлів ферм

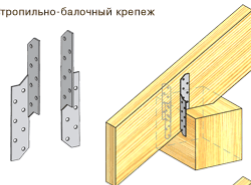


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

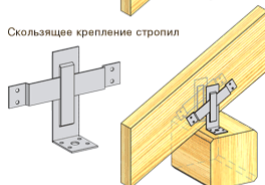
434



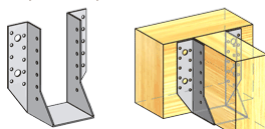
Стропильно-балочный крепеж



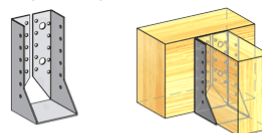
Скользящее крепление стропил



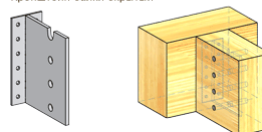
Опора балки открытая



Опора балки закрытая



Кронштейн балки скрытый



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

435



Вибір типу з'єднань

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

436



Вибір типу з'єднань залежить від ряду факторів

- Характер сил, що застосовуються, і їх величина.
- Практичність і/або технологічність
- Естетика
- Екологічні умови
- Вартість

При визначенні з'єднання важливо враховувати, як повинна функціонувати вся система, і це буде залежати не тільки від несучої здатності з'єднання, але і від характеристики навантаження-деформації з'єднання.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

437



Податливість

Якщо система, що проектується, є статично невизначеною, то деформація від навантаження залежить від деформації елементів і податливості в з'єднаннях. Податливості в з'єднаннях часто має найбільший внесок і тому може бути важливим критерієм у при виборі типу з'єднань.

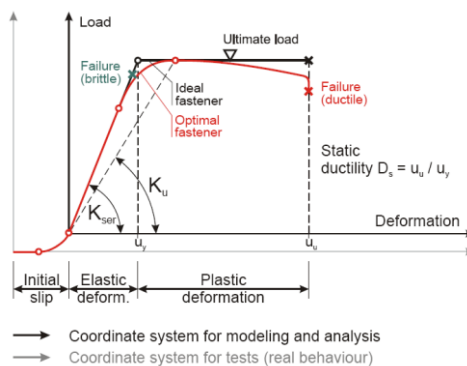
Використання комбінації цвяхів, гвинтів і болтів

При проектуванні важлива концепція з'єднань, що діють разом. Цвяхи, гвинти і болти можуть використовуватися разом в з'єднанні, оскільки вони мають однакову пластичну поведінку. Однак через те, що для забезпечення можливості застосування болтів, в отворах під болти необхідні допуски, не слід вважати, що болти діють разом з іншими механічними кріпленнями через початкову податливість.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

438





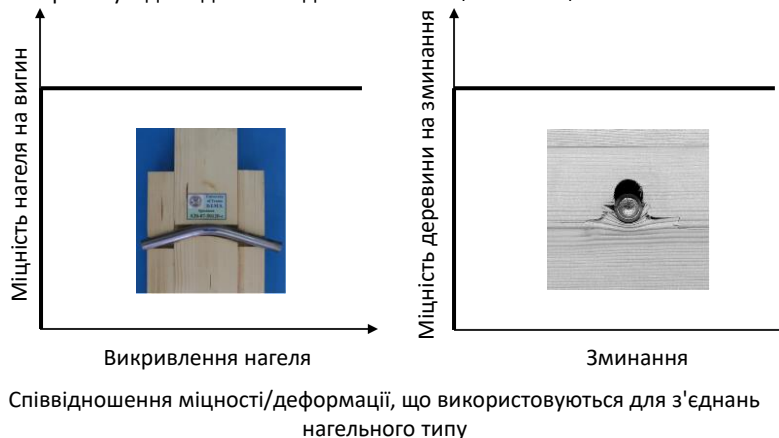
Розрахунок з'єднань нагельного типу згідно Єврокодів

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

439



Загальна теорія для прогнозування несучої здатності кріпильних деталей типу нагельного типу вперше розробив датський вчений K. W. Johansen (1949), який базувався на припущенні, що з'єднувач і деревина (або матеріал на основі деревини), при з'єднанні, будуть вести себе як по суті жорсткі пластичні матеріали у відношенні міцність-зміщення.



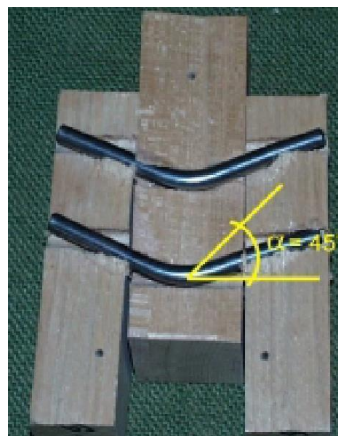
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

440



На несучу здатності з'єднань із кріпленнями нагельного типу впливають три основних параметри:

1. Несуча здатність нагеля на згин або момент прогину.
2. Міцність на продавлювання (зминання) деревини або матеріала з деревини.
3. Міцність нагеля на висмикування



Руйнування поперечно-навантаженого з'єднання нагельного типу Blass, H (2001)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

441



Особливості позначення елементів

Товщини елементів t_1 і t_2

В єврокодах елементи поділяються на елемент 1 і елемент 2

З'єднання з однією площиною зсуву

Для цвяхів (всіх діаметрів):

t_1 – товщина елемента з боку головки цвяха

t_2 – заглиблення цвяха з боку вістря

де товщина матеріалу " з боку головки цвяха " - товщина елемента, що містить головку цвяха, а "заглиблення цвяха з боку вістря" - відстань, на яку загострений кінець цвяха проникає в елемент.



Цвяхове з'єднання з однією площиною зсуву

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

442



Товщини елементів t_1 і t_2

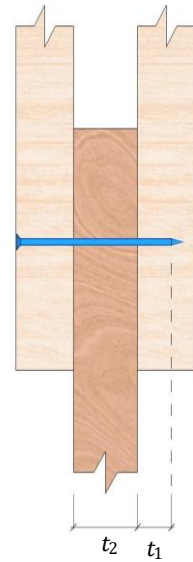
В єврокодах елементи поділяються на елемент 1 і елемент 2

З'єднання з двома площинами зсуву

Для цвяхів (всіх діаметрів):

t_1 – менше з товщини елемента з боку головки цвяха і глибини прогикнення цвяха з боку вістря

t_2 – товщина середнього елемента з'єднання



Цвяхове з'єднання з двома площинами зсуву

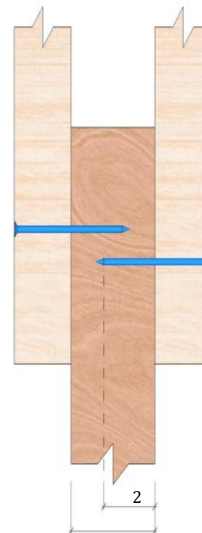
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

443



У трьохелементному з'єднанні цвяхи можуть перекриватися в центральному елементі, якщо:

$$(t - t_2) > 4d$$



Цвяхи що перекриваються

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

444



Випробування на зминання

Міцність на вминання деревини або виробу на основі деревини, f_h , є середньою міцністю на стиск при максимальному навантаженні під дією жорсткого прямого нагеля:

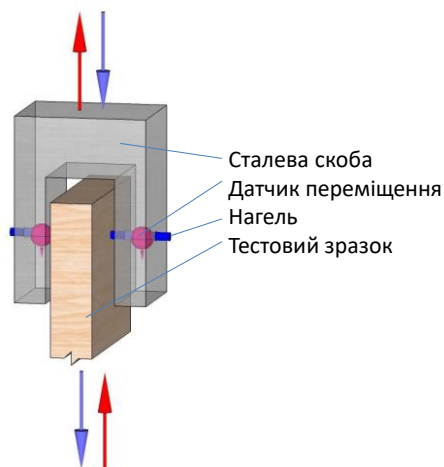
$$f_h = \frac{F_{\max}}{d \cdot t}$$

де:

$F_{\max}$ – сила вминання

d – діаметр нагеля

t – товщина деревини

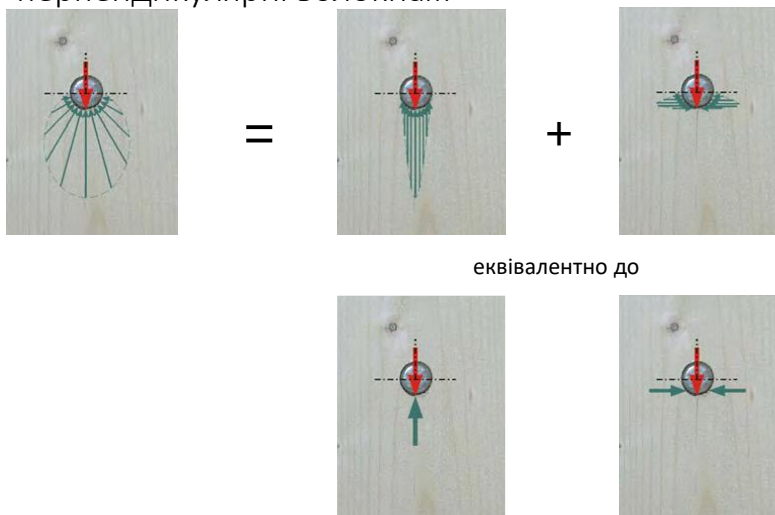


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

445



Розбиття радіально орієнтованого напруження від нагеля на компоненти, паралельні та перпендикулярні волокнам



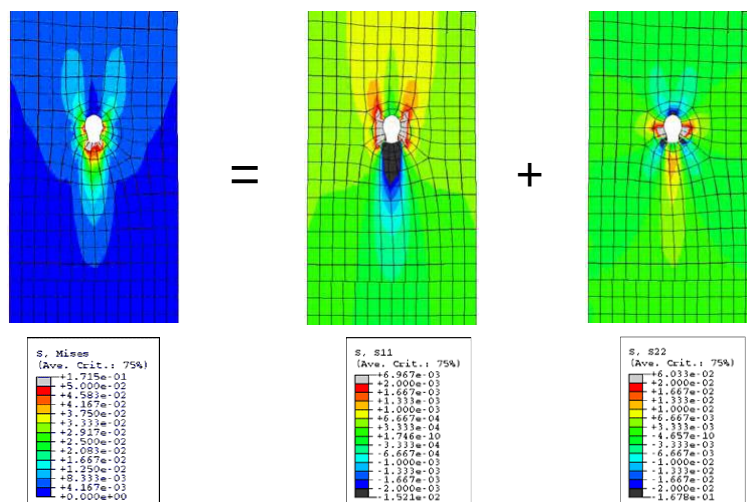
еквівалентно до

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

446

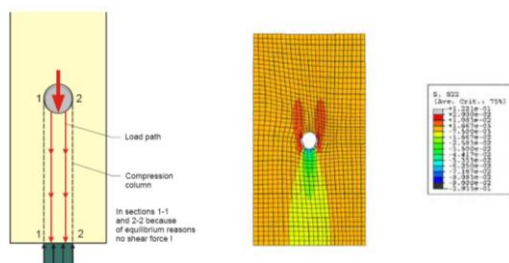


Розподіл напружень за допомогою FEM-аналізу щодо міцності нагельного з'єднання та його компонентів

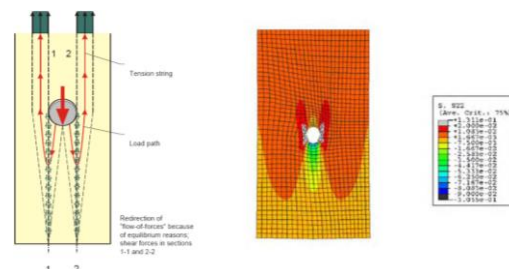


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

447



Розподіл напружень при роботі нагельного з'єднання на тиск

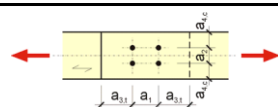


Розподіл напружень при роботі нагельного з'єднання на розтяг

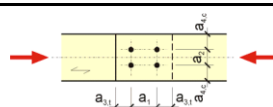
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

448

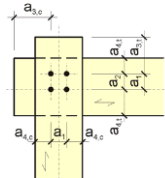
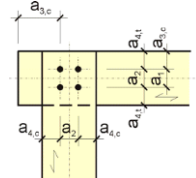
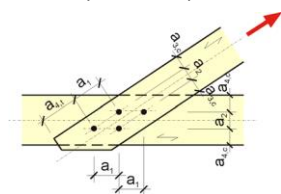




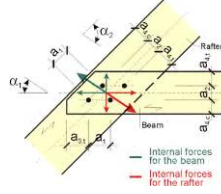
З'єднання, що працює на стиск



З'єднання, що працює на розтяг

З'єднання з ортогональними елементами,
що працює на розтягЗ'єднання з ортогональними елементами,
що працює на стиск

З'єднання, що сприймає навантаження під кутом



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

449



Міцність на зминання

Нижче наведені найбільш важливі параметри при врахуванні міцності на зминання:

- **Щільність:** міцність на зминання хвойних і листяних порід деревини і фанери збільшується лінійно з щільністю;
- Кріплення і **діаметр** отворів: міцність на зминання зменшується із збільшенням діаметру нагеля;
- **Кут** між навантаженням і напрямком волокон: Більш важливий для нагелів більшого діаметру і відрізняється для хвойних і листяних порід дерева;
- **Тертя і Адгезія:** тертя і адгезія між нагелем і деревиною збільшує міцність на зминання;
- Вміст **вологи:** як і більшість параметрів міцності та жорсткості деревини, міцність на зминання залежить від вмісту вологи нижче точки насичення волокна;
- **Підсилення** деревини перпендикулярно до волокон: наклеєна на деревину панель або самонарізний штифт, орієнтований перпендикулярно волокнам, запобігає розщепленню деревини, а отже, підвищує міцність на зминання і пластичність.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

450



Міцність на вмінання: цвяхи

Для цвяхових з'єднань між панелями та деревиною міцність на зминання визначається EC5 та ДБН В.2.6-161

Умова	$f_{h,k}$ Н/мм ²
Для з'єднань з деревини і LVL з використанням цвяхів діаметром до 8 мм: - без попереднього свердління отворів; - з попереднім свердлінням отворів	$f_{h,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3}$ $f_{h,k} = 0,082(1 - 0,01d) \rho_k$
Для з'єднань "плита-деревиною" з використанням цвяхів, в яких діаметр головки не менше 2d і умови, що матеріал плити - це: - клеєна фанера; - ДВП; - ДСП або OSB	$f_{h,k} = 0,11 \rho_k d^{-0,3}$ $f_{h,k} = 30 d^{-0,3} t^{0,6}$ $f_{h,k} = 65 d^{-0,7} t^{0,1}$
Примітка. Тут d - діаметр цвяха, мм; ρ_k - характеристична густина деревини, LVL або матеріалу плити, кг/м ³ ; t - товщина плити, мм.	

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

451



Співвідношення характеристик міцності на зминання

Для спрощення рівнянь міцності відношення характеристичної міцності на зминання елемента 2, $f_{h,2,k}$ до характеристичної міцності на зминання 1, $f_{h,1,k}$ виведено і записано як:

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$$

Де:

$f_{h,1,k}$ - характеристична міцність на зминання деревини елемента зі сторони головки цвяха

$f_{h,2,k}$ - характеристична міцність на зминання деревини елемента зі сторони вістря цвяха

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

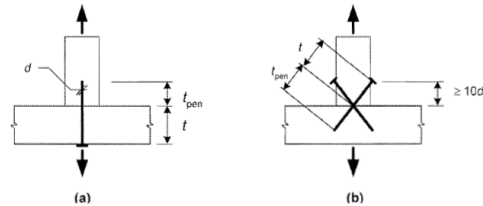
452



Характеристична несуча здатність нагеля на висмикування

Для різьблених нагелів:

$$F_{ax,Rk} = \begin{cases} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} & (a) \\ f_{head,k} \cdot d_h^2 & (б) \end{cases}$$



Для гладких нагелів:

$$F_{ax,Rk} = \begin{cases} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} & (a) \\ f_{ax,k} \cdot d \cdot t + f_{head,k} \cdot d_h^2 & (б) \end{cases}$$

- де: $f_{ax,k}$ - характеристичне значення міцності на висмикування;
 $f_{head,k}$ - характеристичне значення міцності зони нарізки;
 d - діаметр нагеля;
 t_{pen} - розрахункова довжина заглиблення нагеля або глибина зони різьблення;
 t - товщина елементів з'єднання;
 d_h - номінальний діаметр нагеля нарізної частини.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

453



Характеристична несуча здатність нагеля на висмикування

Характеристична міцність на зминання $f_{ax,k}$ і $f_{head,k}$ повинні бути визначені шляхом випробувань, якщо не вказано інше.

Для гладких нагелів з проникненням щонайменше $12d$ характеристичні значення міцності на висмикування та характеристичні значення міцності зони різьби слід визначати з наступних виразів:

$$f_{ax,k} = 20 \times 10^{-6} \rho_k^2 \text{ H / мм}^2$$

$$f_{head,k} = 70 \times 10^{-6} \rho_k^2 \text{ H / мм}^2$$

де ρ_k – характеристичне значення густини деревини, кг/м³

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

454



Характеристична несуча здатність нагеля на висмикування

для гладких цвяхів

- довжина анкерування в деревині t_{pen} з боку загостреного кінця повинна бути $\geq 8d$.
- при $t_{pen} < 8d$ значення несучої здатності при висмикуванні цвяха = 0.
- при $8d \leq t_{pen} < 12d$, несуча здатність цвяха при висмикуванні множиться на $\frac{t_{pen}}{4 \cdot d - 2}$

де t_{pen} - довжина анкерування цвяха з боку загостреного кінця

для інших типів цвяхів

- довжина анкерування в деревині t_{pen} з боку загостреного кінця повинна бути $\geq 6d$
- при $t_{pen} < 6d$ значення несучої здатності при висмикуванні цвяха = 0.
- при $6d \leq t_{pen} < 8d$, несуча здатність цвяха при висмикуванні множиться на $\frac{t_{pen}}{2 \cdot d - 3}$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

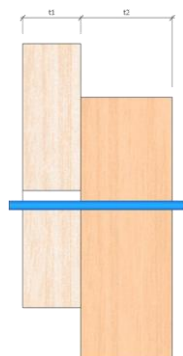
455



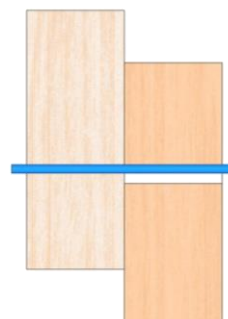
Ефекти тертя

Існує два типи ефектів тертя, які можуть виникнути в з'єднанні:

Один з них буде виникати, якщо елементи з'єднання перебуватимуть в безпосередньому контакті. Це тертя буде усунуто, якщо між елементами зникне безпосередній контакт або якщо при експлуатації відбудеться усадка деревини або виробів з неї. Як результат даний тип тертя в EC5 та ДБН не розглядається.



режим руйнування а



режим руйнування б

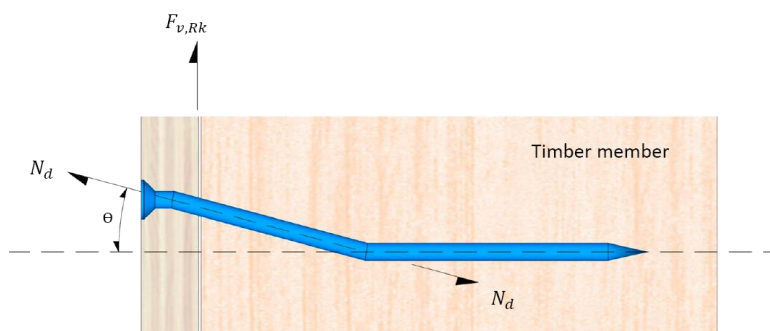
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

456



Ефекти тертя

2. Другий тип тертя виникає, при деформації кріпильних елементів, коли прогин нагель призводить до стягування елементи з'єднання разом. Цей тип тертя завжди виникатиме в режимах відмов, які включають прогин кріпильних елементів і враховується в рівняннях EC5 і ДБН що стосуються таких режимів. Цей ефект називається "ефектом канату"



З'єднання з кріпленням нагельного типу з однією площиною зсуву в умовах руйнування

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

457



Бічна (по площині зсуву) несуча здатність металевих кріпильних деталей нагельного типу згідно EC5

$$F_{v,R,k} = \boxed{\text{сила тертя} \times \text{сила піддатливості Йохансена}} + \text{канатний ефект}$$

Коефіцієнт тертя (в відсотках від сили Йохансена)

	Значення	Форма руйнування
5 %	Частковий згин кріпильного елемента	(d) (e) (j)
15 %	Повний згин кріпильного елемента	(f) (k)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

458



Бічна (по площині зсуву) несуча здатність металевих кріпильних деталей нагельного типу згідно EC5

$$F_{v,Rk} = \text{сила тертя} \times \text{сила Йохансена} + \text{канатний ефект}$$

$$[1] = \text{сила тертя} + \text{сила Йохансена}$$

У EC5 встановлюється верхня межа значення $F_{ax,Rk}/4$. Вона приймається як відсоток від першого члена відповідних рівнянь міцності, наведених у 380 та 380 (тобто відсоток навантаження Йогансена ($F_{y,k}$), посилений коефіцієнтом тертя, пов'язаний з канатним ефектом), як показано нижче:

$$\text{граничний відсоток (Грв)} \leq \left\{ \begin{array}{l} 15\% \text{ Круглі цвяхи} \\ 25\% \text{ Квадратні цвяхи} \\ 50\% \text{ Інші цвяхи} \\ 100\% \text{ Гвинти} \\ 25\% \text{ Болти} \\ 0\% \text{ Нагелі} \end{array} \right\}$$

$$\text{Канатний ефект} = \min \left(\begin{array}{l} [1] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ [1] + \text{Грв}\% \end{array} \right)$$

Примітка: Якщо несуча здатність кріплення на висмикування не відома, то канатний ефект слід розглядати як нульовий.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

459



З'єднання з однією площиною зсуву і відповідні рівняння

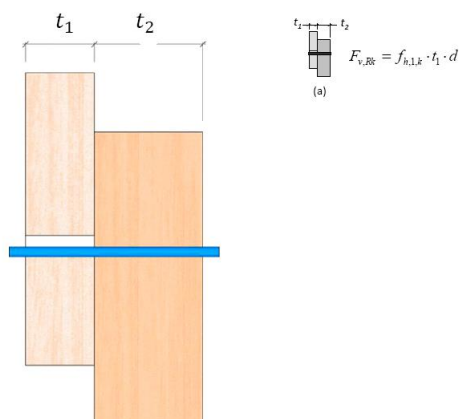
$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{(a)} \quad F_{v,Rk} = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ \text{(b)} \quad F_{v,Rk} = f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \\ \text{(c)} \quad F_{v,Rk} = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right]} + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ \text{(d)} \quad F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ \text{(e)} \quad F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot t_2^2 \cdot d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ \text{(f)} \quad F_{v,Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

460



З'єднання з однією площиною зсуву і відповідні рівняння



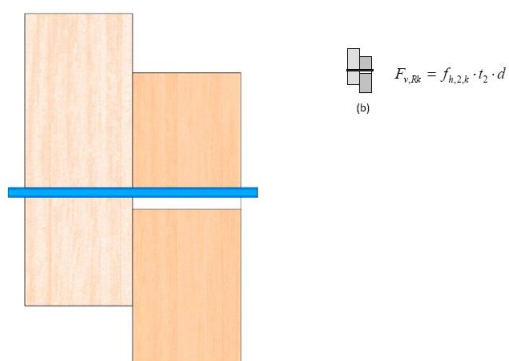
Форма руйнування а

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

461



З'єднання з однією площиною зсуву і відповідні рівняння



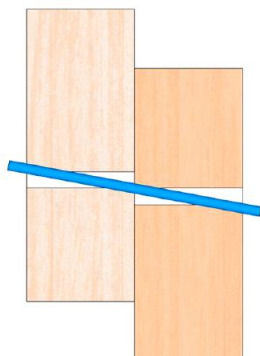
Форма руйнування б

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

462



З'єднання з однією площиною зсуву і відповідні рівняння



$$F_{v,Rk} = \frac{f_{h1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

(c)

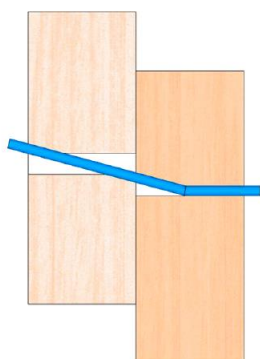
Форма руйнування с

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

463



З'єднання з однією площиною зсуву і відповідні рівняння



$$F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

(d)

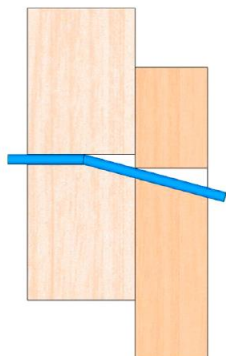
Форма руйнування d, часткова деформація нагеля

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

464



З'єднання з однією площиною зсуву і відповідні рівняння



$$F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h,1k} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1k} \cdot t_2^2 \cdot d} - \beta} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$



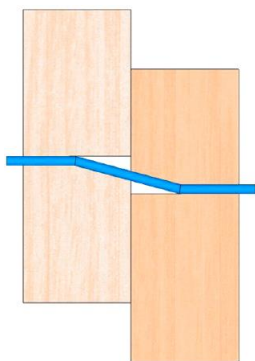
Форма руйнування е, часткова деформація нагеля

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

465



З'єднання з однією площиною зсуву і відповідні рівняння



$$F_{v,Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h,1k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

Форма руйнування е, повна деформація нагеля

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

466



З'єднання з однією площиною зсуву і відповідні рівняння

$F_{v,Rk} = \min$

(a)  $F_{v,Rk} = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d$

(b)  $F_{v,Rk} = f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d$

(c)  $F_{v,Rk} = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

(d)  $F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

(e)  $F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot t_2^2 \cdot d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

(f)  $F_{v,Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6-16 1:2017, EN 1995-1-1

467



З'єднання з двома площинами зсуву і відповідні рівняння

$F_{v,Rk} = \min$

(g)  $F_{v,Rk} = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d$

(h)  $F_{v,Rk} = 0.5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d$

(i)  $F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

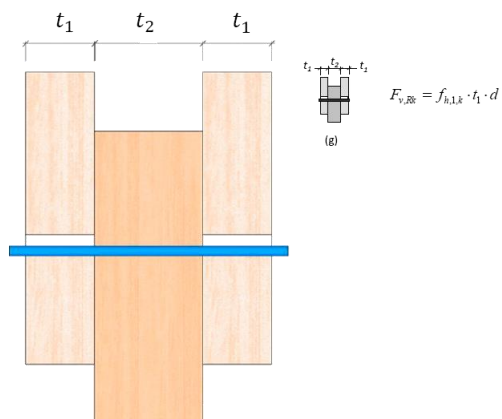
(k)  $F_{v,Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6-16 1:2017, EN 1995-1-1

468



З'єднання з двома площинами зсуву і відповідні рівняння



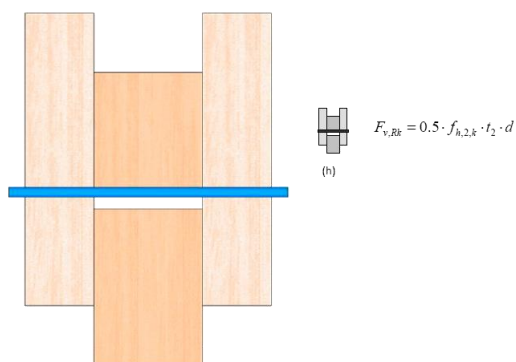
Форма руйнування g

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

469



З'єднання з двома площинами зсуву і відповідні рівняння



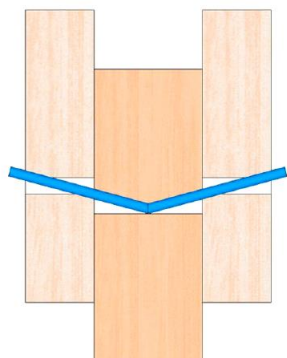
Форма руйнування h

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

470



З'єднання з двома площинами зсуву і відповідні рівняння



$$F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

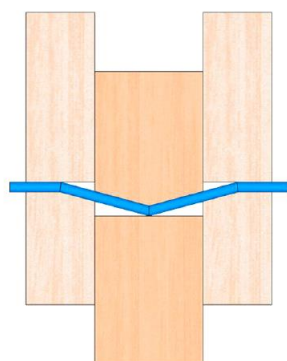
Форма руйнування j, часткова деформація нагеля

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

471



З'єднання з двома площинами зсуву і відповідні рівняння



$$F_{v,Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

Форма руйнування k, повна деформація нагеля

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

472



З'єднання з двома площинами зсуву і відповідні рівняння

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{ll} \text{(g)} & F_{v,Rk} = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ \text{(h)} & F_{v,Rk} = 0.5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \\ \text{(i)} & F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ \text{(k)} & F_{v,Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

473



Можливі види руйнування при розташуванні нагелів в ряд

Розщеплення



Зсув



Розтяг



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

474



Розщеплення зразка в зоні посадки нагеля та характер руйнування у випробуваному з'єднанні



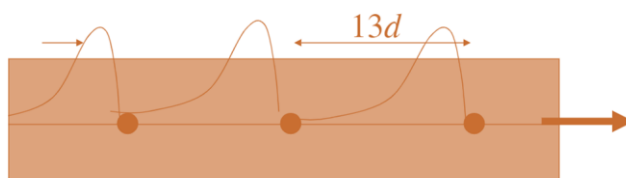
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

475

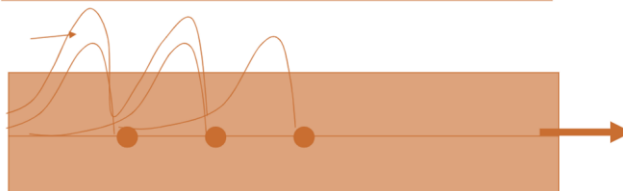


Руйнування з'єднання з нагелями розташованими в ряд спричинене груповим ефектом

Напруження



Кумулятивне напруження



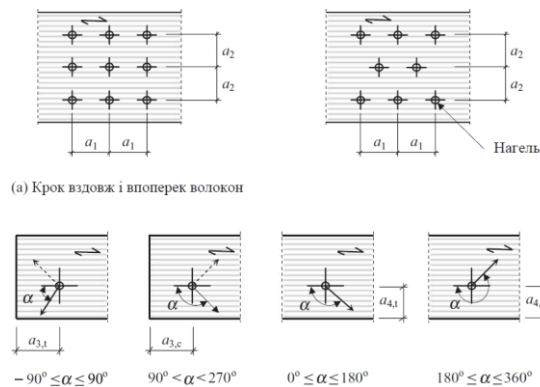
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

476



Крихке руйнування

Рівняння для визначення значень характеристичної несучої здатності справедливі тільки якщо виключена поява розколювання або зсуву в деревині, що призводять до крихкого характеру руйнування з'єднання. Для виконання даної умови повинні бути дотримані всі вимоги щодо розміщення кріпильних елементів нагельного типу, що стосуються дотримання мінімальних відстаней від кромки і торця до осі з'єднувального елемента і кроку між осями кріпильних елементів.



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

477



При використанні в з'єднаннях цвяхів діаметром більше 6 мм і гвинтів з гладкою частиною (неповним різьбленням) діаметром більше 6 мм для їх установки повинно виконуватися попереднє свердління отворів

Попереднє свердління отворів також слід виконувати в щільній деревині:

- для цвяхів, що забиваються в деревину з характеристичною густиною понад 500 кг/м³;
- для всіх шурупів, які встановлюються в твердих породах деревини.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

478



Мінімальні величини кроку чи відстані до торця або кромки при використанні цвяхів
або скоб діаметром d для з'єднань «деревина-деревина»

Мінімальна величина кроку або відстані				
Величина кроку або відстані α^{**}	Цвяхи			Скоби 
	Без попереднього свердлення отворів		3 попередньо просвердленими отворами $d > 6$ мм і/або $\rho_k > 500$ кг/м³	
	$\rho_k \leq 420$ кг/м³	420 кг/м³ $< \rho_k \leq 500$ кг/м³		
Крок вздовж волокон - a_1 $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5$ мм; $(5 + 5 \cos \alpha)d$ $d > 5$ мм; $(5 + 7 \cos \alpha)d$	$(7 + 8 \cos \alpha)d$	$(5 + 5 \cos \alpha)d$	$\begin{matrix} \text{для } \theta > 30^\circ; \\ (10 + 5 \cos \alpha)d \\ \text{для } \theta < 30^\circ; \\ (15 + 5 \cos \alpha)d \end{matrix}$
Крок впоперек волокон - a_2 $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$(4 + \sin \alpha)d$	$15d$
Відстань до навантаженого торця $a_{3,L}$ - $90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10 + 5 \cos \alpha)d$	$(15 + 5 \cos \alpha)d$	$(7 + 5 \cos \alpha)d$	$(15 + 5 \cos \alpha)d$
Відстань до ненавантаженого торця $a_{3,C}$ - $90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10d$	$15d$	$7d$	$15d$
Відстань до навантаженої кромки $a_{4,L}$ - $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\begin{matrix} d < 5 \text{ мм}; \\ (5 + 2 \sin \alpha)d \\ d > 5 \text{ мм}; \\ (5 + 5 \sin \alpha)d \end{matrix}$	$\begin{matrix} d < 5 \text{ мм}; \\ (7 + 2 \sin \alpha)d \\ d > 5 \text{ мм}; \\ (7 + 5 \sin \alpha)d \end{matrix}$	$\begin{matrix} d < 5 \text{ мм}; \\ (3 + 2 \sin \alpha)d \\ d > 5 \text{ мм}; \\ (3 + 4 \sin \alpha)d \end{matrix}$	$(15 + 5 \sin \alpha)d$
Відстань до ненавантаженої кромки $a_{4,C}$ - $180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$3d$	$10d$

* На підставі таблиць 8.2 і 8.3 в ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1.
** α - кут між напрямком прикладення зусилля до цвяхів і волокнами.

* На підставі таблиць 8.2 і 8.3 в ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1.

** α - кут між напрямком прикладення зусилля до цвяха і волокон.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

479

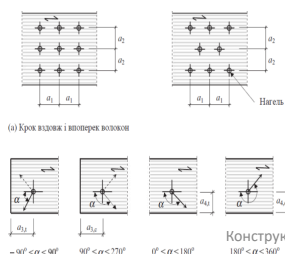


Мінімальні величини кроку чи відстані до торця або кромки при використанні болтів
і/або нагелів для з'єднань "деревина-деревина", "плита-деревина" і "сталь-деревина"*

Величина кроку або відстані і α^{**}	Мінімальна величина кроку або відстані	
	Болти	Нагелі
Крок вздовж волокон - a_1 $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha)d$	$(3 + 2 \cos \alpha)d$
Крок впоперек волокон - a_2 $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4d$	$3d$
Відстань до навантаженого торця $a_{3,L}$ - $90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7d; 80 \text{ мм})$	$\max(7d; 80 \text{ мм})$
Відстань до ненавантаженого торця $a_{3,C}$ - $90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$	$\max[(1 + 6 \sin \alpha)d; 4d]$	$\max[(a_{3,L} \sin \alpha)d; 3d]$
$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$4d$	$3d$
$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max[(1 + 6 \sin \alpha)d; 4d]$	$\max[(a_{3,L} \sin \alpha)d; 3d]$
Відстань до навантаженої кромки $a_{4,L}$ - $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max[(2 + 2 \sin \alpha)d; 3d]$	$\max[(2 + 2 \sin \alpha)d; 3d]$
Відстань до ненавантаженої кромки $a_{4,C}$ - $180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$	$3d$

* На підставі таблиць 8.4 та 8.5 ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1.

** α - кут між напрямком, прикладається зусилля до болта і волокон.



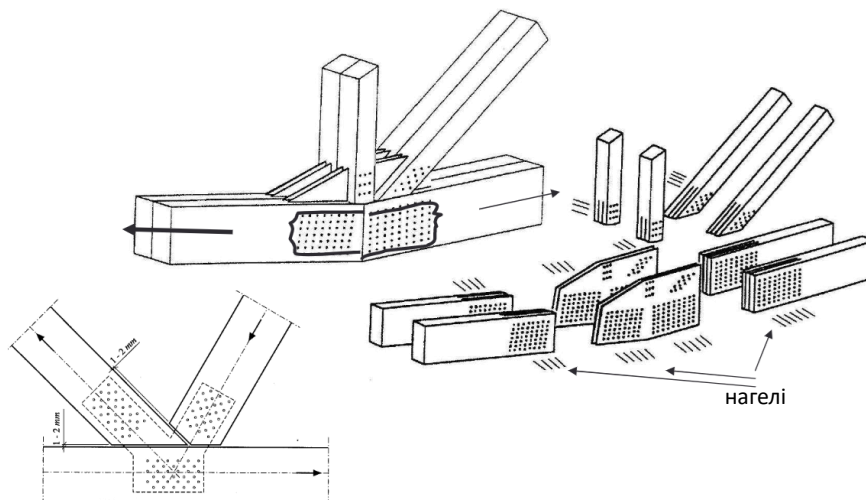
$$\begin{aligned} &\max[(2 + 2 \sin \alpha)d; 3d] \quad \max[(a_{3,L} |\sin \alpha|)d; 3d] \\ &\max[(2 + 2 \sin \alpha)d; 3d] \quad \max[(1 + 6 \sin \alpha)d; 4d] \\ &\max[(a_{3,L} |\sin \alpha|)d; 3d] \quad \max[(1 + 6 \sin \alpha)d; 4d] \\ &\max(7d; 80 \text{ мм}) \quad \max(7d; 80 \text{ мм}) \\ &(3 + 2 |\cos \alpha|)d \quad (4 + |\cos \alpha|)d \end{aligned}$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

480



Блочне руйнування при зсуві (block shear failure) та пластинчатє руйнування при зсуві (plug shear failure) в з'єднанні «сталь – деревина» з множинними кріпленнями нагельного типу



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

481



Блочне руйнування при зсуві (block shear failure) та пластинчатє руйнування при зсуві (plug shear failure) в з'єднанні «сталь – деревина» з множинними кріпленнями нагельного типу

Руйнування по периметру з'єднання

Блочний зсув
Повне проникнення



Пластинчастий зсув
Часткове проникнення



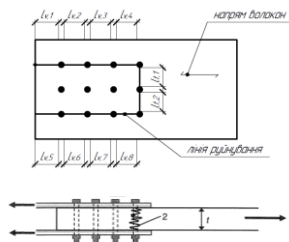
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

482

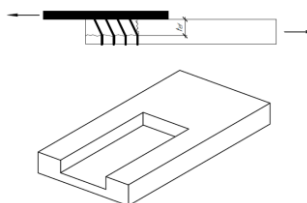


Блочне руйнування при зсуві (block shear failure) та пластинчатє руйнування при зсуві (plug shear failure) в з'єднанні «сталь – деревина» з множинними кріпленнями нагельного типу

Вантажопідйомність з'єднань із сталі до деревини з навантаженим торцем може бути зменшена за рахунок відмови по периметру групи кріпильних елементів.



Приклад блочного руйнування при зсуві



Приклад пластинчастого руйнування при зсуві

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

483



Блочне руйнування при зсуві (block shear failure) та пластинчатє руйнування при зсуві (plug shear failure) в з'єднанні «сталь – деревина» з множинними кріпленнями нагельного типу

Для з'єднань "сталь-деревина", що складаються з кількох кріпильних елементів нагельного типу, підданих силіній складовій, паралельній волокнам біля торця деревини, характеристична несуча здатність руйнування по периметру області кріплення, у випадку блочного або пластинчастого руйнування при зсуві слід сприймати як:

$$F_{bs\ Rk} = \max \begin{cases} 1,5 A_{net,t} f_{t,0,k} \\ 0,7 A_{net,v} f_{v,k} \end{cases}$$

$$A_{net,t} = L_{net,t} t_1$$

$$A_{net,v} = \begin{cases} L_{net,v} t_1 & \text{форми (с, f, j/l, k, m)} \\ \frac{L_{net,v}}{2} (L_{net,t} + 2t_{ef}) & \text{всі інші форми} \end{cases}$$

$$L_{net,v} = \sum_i l_{v,i}$$

$$L_{net,t} = \sum_i l_{t,i}$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

484



для тонких сталевих пластин (форми вказані в дужках)

$$t_{ef} = \begin{cases} 0, 4t_1 & (a) \\ 1, 4 \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k}}} & (b) \end{cases}$$

для товстих сталевих пластин (форми вказані в дужках)

$$t_{ef} = \begin{cases} 2 \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} d}} & (e)(h) \\ t_1 \left[\sqrt{2 + \frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & (d)(g) \end{cases}$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

485



- $F_{bs,Rk}$ характеристична несуча здатність при блочному чи пластинчастому руйнуванні при зсуві
- $A_{net,t}$ площа нетто перетину впоперек волокон;
- $A_{net,v}$ площа нетто зсуву вздовж волокон;
- $L_{net,t}$ довжина нетто перетину впоперек волокон;
- $L_{net,v}$ загальна довжина нетто площі зсуву;
- $l_{v,i}, l_{t,i}$ [згідно рисунка](#);
- t_{ef} ефективна товщина, яка залежить від режиму руйнування;
- t_1 товщина елемента з деревини, чи розмір заглиблення кріпильного елемента;
- $M_{y,Rk}$ характеристичний деформуючий момент на кріпильному елементі;
- d діаметр кріпильного елемента;
- $f_{t,0,k}$ характеристична міцність елемента з деревини на розтяг
- $f_{v,k}$ характеристична міцність елемента з деревини на сколювання
- $f_{h,k}$ характеристична міцність елемента з деревини на зминання.

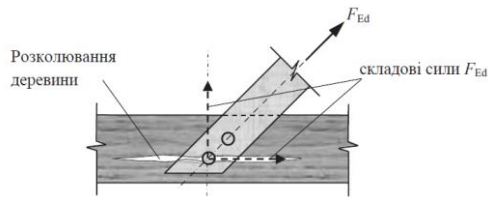
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

486



Крихке руйнування від дії розтягувальної сили, спрямованої під кутом до волокон

Ця форма крихкого руйнування може виникнути, коли кріпильні елементи створюють силу під кутом до волокон деревини, що призводить до можливості розщеплення, викликаного силою, перпендикулярною до волокон



Це руйнування може відбуватися при навантаженні, меншому, ніж проектна міцність елементів з'єднання.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

487



Крихке руйнування від дії розтягувальної сили, спрямованої під кутом до волокон

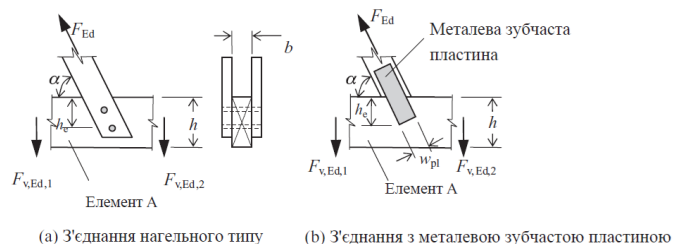
Якщо з'єднання схильне до дії розтягувальної сили, спрямованої під кутом до волокон, то повинна бути виконана перевірка міцності від її складової ($F_{Ed} \sin \alpha$), яка викликає розтяг впоперек волокон, виходячи з умови:

$$F_{v,Ed} \leq F_{90,Rd} \quad F_{v,Ed} = \max \begin{cases} F_{v,Ed,1} \\ F_{v,Ed,2} \end{cases}$$

де: $F_{90,Rd}$ розрахункова несуча здатність при розколюванні деревини впоперек волокон:

$$F_{90,Rd} = k_{mod} \frac{F_{90,Rk}}{\gamma_M}$$

$F_{v,Ed,1}$ і $F_{v,Ed,2}$ - розрахункові зусилля зсуву в кожному елементі з'єднання

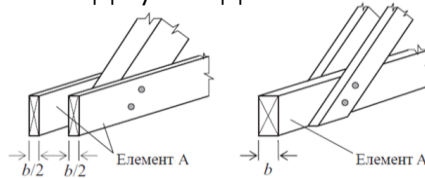


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

488



Крихке руйнування від дії розтягувальної сили, спрямованої під кутом до волокон



Для вузлів дерев'яних ферм, елементи яких виготовлені з м'яких (хвойних) порід деревини, характеристична несуча здатність при розколюванні елемента А чи елементів буде визначатись:

$$F_{90,Rk} = 14bw \sqrt{\frac{h_e}{(1 - (h_e / h))}}$$

w - поправочний коефіцієнт, який для металевої зубчастої пластини (МЗП) визначається $w = \max((w_{pl} / 100)^{0.35}; 1)$

, а для всіх інших кріпильних елементів $w = 1$;

$F_{90,Rk}$ - характеристична несуча здатність при розколюванні, Н;

h_e - відстань від найвіддаленішого кріпильного елемента або торця металевої штампованої пластини до навантаженої кромки, мм;

h - висота елемента, мм;

b - товщина елемента, мм;

w_{pl} - ширина металевої штампованої пластини вздовж волокон, мм.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 -16 1:2017, EN 1995-1-1

489



Розрахункова кількість кріпильних елементів

Розрахункова кількість кріпильних елементів n_{ef} з'єднанні залежить від типу кріпильних елементів і напрямку дії навантаження по відношенню до волокон.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 -16 1:2017, EN 1995-1-1

490



Розрахункова кількість кріпильних елементів

- Загальна величина несучої здатності з'єднання є комбінацією граничних навантажень з'єднувальних елементів
- Однак, це може відбутися лише у випадку, якщо всі відповідні з'єднувальні елементи досягли своїх граничних навантажень одночасно з руйнуванням всього з'єднання.
- Насправді, гранична навантажувальна здатність з'єднання менша, ніж сума граничних навантажень на одному з'єднувальному елементі, і це відомо як "груповий ефект".

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} \cdot F_{v,Rk}$$

n_{ef} - ефективне число кріпильних елементів, розташованих в ряд, вздовж волокон.

$F_{v,Rk}$ - характеристична вантажопідйомність кожного з'єднувального елемента, вздовж волокон

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

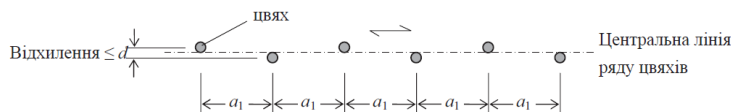
491



З'єднання на цвяхах

а) Навантажених вздовж волокон.

- якщо цвяхи зміщені в ряду менш ніж на величину діаметра цвяха в напрямку впоперек волокон, то вони всі є частиною ряду,
- якщо вони зміщені більш ніж на величину діаметра цвяха в напрямку впоперек волокон, то це приймається за два окремих ряди.



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

492

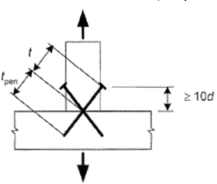


З'єднання на цвяхах

- при використанні окремих цвяхів з однією або двома площинами зсуву

$$n_{ef} = n^{k_{ef}} \quad (7.1)$$

- при використанні цвяхів, встановлених з двох боків таким чином, що вістря заходять один за одного

$$n_{ef} = n_p^{k_{ef}} \quad (7.2)$$


де: n_{ef} - розрахункова ефективна кількість цвяхів у ряду вздовж волокон;
 n - розрахункова фактична кількість цвяхів в ряду вздовж волокон (для одиночних цвяхів);
 n_p - розрахункова фактична кількість цвяхів, що встановлюються з двох боків, у ряду вздовж волокон (зауважимо, що такий цвях внапусток складається з двох цвяхів);
 k_{ef} - показник, що залежить від кроку цвяхів та попереднього свердління.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6-16 1:2017, EN 1995-1-1

493



З'єднання на цвяхах

Значення показників k_{ef} для виразів

Крок **	k_{ef}	
	З попереднім свердлінням	Без попереднього свердління
$a_1 = 14d$	1,0	1,0
$a_1 = 12d$	0,925	0,925
$a_1 = 10d$	0,85	0,85
$a_1 = 9d$	0,8	0,8
$a_1 = 8d$	0,75	0,75
$a_1 = 7d$	0,7	0,7
$a_1 = 5d$	0,5	-

* На основі таблиці 8.1 ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1.

** Лінійна інтерполяція величини k_{ef} допускається для кроку між зазначеними значеннями;крок a_1 - відповідно рисунку 9.17.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6-16 1:2017, EN 1995-1-1

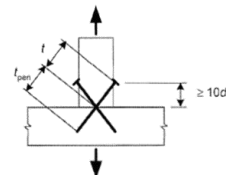
494



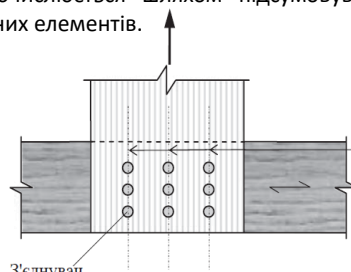
З'єднання на цвяхах

b) Навантажених впоперек волокон.

розрахункова кількість цвяхів n_{ef} в кожному ряді буде дорівнювати фактичній кількості цвяхів n при використанні одиночних цвяхів, або фактичній кількості цвяхів внапусток.



При такому навантаженні з'єднання його несуча здатність буде дорівнювати меншій з величин несучої здатності [розколювання елемента\(-ів\)](#) під дією розтягувального зусилля і [несучої здатності з'єднання](#), що обчислюється шляхом підсумовування несучої здатності кріпильних елементів.



Три лінії елементів кріплення впоперек волокон.
В даному кріпленні, при навантаженні впоперек волокон n_{ef} для кожної лінії = 3

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

495



З'єднання на цвяхах

c) Навантажених під кутом до волокон.

Повинні обчислюватися складові зусилля вздовж і впоперек волокон:

- (1) складова розрахункового зусилля, що діє вздовж волокон, не повинна перевищувати [несучої здатності, визначеної з розрахункового числа цвяхів в ряду](#);
- (2) складова розрахункового зусилля, що діє впоперек волокон, не повинна перевищувати [несучої здатності, як це визначено на попередньому слайді](#).

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

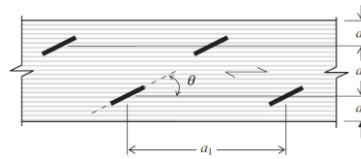
496



7.8.2 З'єднання на скобах

Для з'єднань з використанням скоб n приймається таким, що дорівнює подвоєній кількості скоб у ряду вздовж волокон. Для розрахунків використовується вираз (7.1).

$$n_{ef} = n^{k_{ef}}$$



- Якщо кут θ більше 30° , то слід користуватися виразом (7.1) без змін.
- Якщо кут θ менше 30° , несуча здатність у поперечному напрямку множиться на коефіцієнт 0,7.

Для кількох скоб у ряду n_{ef} визначається як для цвяхів: для скоби з одного боку слід використовувати (7.1) якщо з двох боків - (7.2).



З'єднання на болтах і нагелях

а) **Навантажених вздовж волокон.** Оскільки болти/нагелі жорсткіші ніж цвяхи або скоби, то для з'єднань з однією або двома площинами зсуву зниження несучої здатності ряду вздовж волокон менше.

Розрахункову кількість болтів/нагелів слід визначати з виразу:

$$n_{ef} = \min \left\{ n, n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right\}$$

де: n_{ef} - розрахункова ефективна кількість болтів або нагелів в ряду вздовж волокон;

a_1 - крок болтів/нагелів вздовж волокон;

d - діаметр болта/нагеля;

n - розрахункова фактична кількість болтів або нагелів у ряду вздовж волокон.



З'єднання на болтах і нагелях

б) **Навантажених впоперек волокон.** При навантаженні впоперек волокон у з'єднаннях з однією або двома площинами зрізу зниження несучої здатності не спостерігається, отже:

$$n_{ef} = n$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

499



З'єднання на болтах і нагелях

с) **Навантажених під кутом до волокон.** Несуча здатність вздовж волокон або впоперек волокон повинна визначатися таким же чином, як для цвяхів у [відповідності з вимогами наведеними на слайді](#). Для кутів $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ n_{ef} може визначатися лінійною інтерполяцією.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

500



З'єднання на гвинтах

Якщо діаметр гладкої частини гвинта дорівнює 6 мм або менше, то при визначенні n_{ef} слід застосовувати правила, як для цвяхів, а якщо більше 6 мм - правила, як для болтів.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

501



Металеві кріплення нагельного типу з осьовим (повздовжнім) завантаженням

Рівняння міцності, що наведені в наступних слайдах, припускають, що міцність на розрив кріпильних елементів завжди буде перевищувати їхню несучу здатність на висмикування з з'єднання.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

502



Цвяхові з'єднання з осьовим (повздовжнім) завантаженням

Несуча здатність цвяхового з'єднання, навантаженого вздовж осі, залежить від типу використовуваного цвяха. Гладкі круглі дротяні цвяхи дають найгірший результат а з різьбовими цвяхами міцність з'єднання значно збільшується. Однак, незалежно від типу, **цвяхи не вважаються здатними підтримувати осьове навантаження в торцях деревини.**

Крім того, EN 1995 **не дозволяє використовувати** повздовжньо навантажені гладкі цвяхи в ситуаціях, що пов'язані з **постійним або довготривалим навантаженням**, а коли використовуються різьбові цвяхи, **для визначення сили з'єднання повинна враховуватись тільки різьбова частина цвяха.**

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

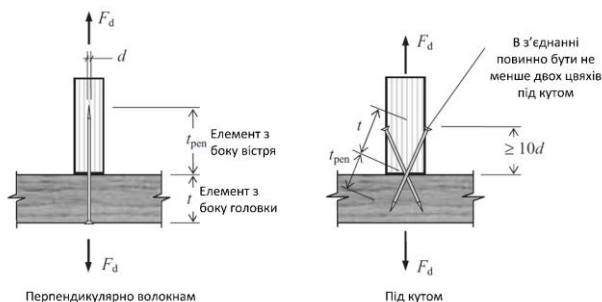
503



Цвяхові з'єднання з осьовим (повздовжнім) завантаженням

можливі два режими руйнування (відмови) цвяхового з'єднання:

- висмикування цвяха з елемента з боку вістря
- проштовхування головки цвяха в елементі з боку головки цвяха.



В з'єднаннях з гладкими цвяхами необхідно враховувати опір висмикуванню з елемента зі сторони вістря а також одночасний супротив на проштовхування головки і опір тертя ніжки цвяха в елементі з боку головки цвяха.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

504



Цвяхові з'єднання з осьовим (повздовжнім) завантаженням

При завантаженні цвяха осьовою силою, повинна виконуватись наступна умова:

$$F_d \leq F_{ax,Rd}$$

$F_{ax,Rd}$ - розрахункова несуча здатність цвяхового з'єднання на висмикування

$$F_{ax,Rd} = \frac{k_{mod} F_{ax,Rk}}{\gamma_M}$$

Для всіх цвяхів, крім гладких цвяхів:

$$F_{ax,Rk} = \min \left(f_{ax,k} dt_{pen}, f_{head,k} d_h^2 \right)$$

Для гладких цвяхів

$$F_{ax,Rk} = \min \left(f_{ax,k} dt_{pen}, f_{ax,k} dt + f_{head,k} d_h^2 \right)$$

$f_{ax,k}$ - характеристичне значення міцності на висмикування;

$f_{head,k}$ - характеристичне значення міцності зони нарізки;

d - діаметр нагеля;

t_{pen} - розрахункова довжина заглиблення нагеля або глибина зони різьблення;

t - товщина елементів з'єднання;

d_h - номінальний діаметр нагеля нарізної частини.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

505



Цвяхові з'єднання з осьовим (повздовжнім) завантаженням

Для цвяхів з глибиною анкерування в елемент зі сторони вістря $\geq 12d$
характеристичні значення міцності на висмикування та характеристичні
значення міцності зони різьби слід визначати з наступних виразів:

$$f_{ax,k} = 20 \times 10^{-6} \rho_k^2 \quad \text{Н/мм}^2$$

$$f_{head,k} = 70 \times 10^{-6} \rho_k^2 \quad \text{Н/мм}^2$$

ρ_k – характеристичне значення густини деревини, кг/м³

Якщо довжина анкерування $< 12d$,

несуча здатність цвяха при висмикуванні повинна множитися на $\frac{t_{pen}}{4d - 2}$

де t_{pen} - довжина анкерування цвяха з боку вістря.

При довжині анкерування цвяха $< 8d$ значення несучої здатності при
висмикуванні цвяха приймається за нуль.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

506



Болтові з'єднання з осьовим навантаженням

При повздовжньо завантажених болтах міцність з'єднання залежить від міцності на розрив болта і міцності на зминання матеріалу, на який встановлені шайби болта. При обпиранні на деревину, або матеріал з деревини, несуча здатність в зоні контакту під шайбою повинна розраховуватись з урахуванням збільшення характеристичної міцності деревини на стиск поперек волокон на 300 %, тобто $f_{c,k} = 3,0 \times f_{c,90,k}$

При використанні сталевих пластин, несуча здатність болтів не повинна перевищувати несучу здатність круглої шайби з діаметром, меншим $12t$ (де t - товщина пластини) або $4d$ (де d - діаметр болта)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

507



З'єднання з осьовим навантаженням на нагелях

Нагелі не можна використовувати для сприйняття зусиль розтягу.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

508



Гвинтові з'єднання з осьовим навантаженням

Згідно EN 1995 для гвинтових з'єднань розглядається п'ять режимів відмов (руйнування):

- висмикування різьбової частини гвинта;
- при використанні зі сталевими пластинами існує ризик відриву головки гвинта;
- відмова за рахунок проштовхування головки гвинта, через деревину або матеріал з деревини;
- розрив гвинта при розтягу;
- при використанні в поєднанні зі сталевими пластинами існує ризик блочного або пластинчастого руйнування.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

509

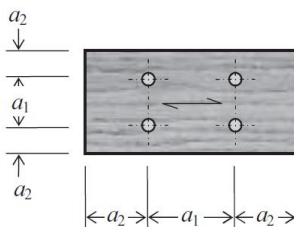


Гвинтові з'єднання з осьовим навантаженням

Мінімальна довжина анкерування різьбової частини гвинта повинна бути $6d$, де d - зовнішній діаметр, що вимірюється на різьбовій частині

Допустимі інтервали між гвинтами

Положення закручування гвинта	Мінімальний інтервал між сусідніми гвинтами a_1	Мінімальна відстань до грані a_2
Під прямим кутом до волокон	$4d$	$4d$
В торці	$4d$	$2,5d$



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

510



Гвинтові з'єднання з осьовим навантаженням

Для гвинтів, що сприймають осьове навантаження F_d , повинна забезпечуватись умова:

$$F_d \leq F_{ax,\alpha,Rd}$$

$F_{ax,\alpha,Rd}$ розрахункова несуча здатність гвинтового з'єднання на висмикування при завантаженні під кутом до волокон α .

$$F_{ax,\alpha,Rd} = \frac{k_{mod} F1_{ax,\alpha,Rk}}{\gamma_M}$$

$F1_{ax,\alpha,Rk}$ характеристична несуча здатність на висмикування одного гвинта під кутом до волокон α :

$$F1_{ax,\alpha,Rk} = (\pi def)^{0,8} f_{ax,\alpha,k}$$

d - зовнішній діаметр гвинта, заміряний на нарізній частині;

l_{ef} - довжина анкерування нарізної частини гвинта на елементі з боку вістря мінус один діаметр гвинта. l_{ef} повинна бути не менше $6d$;

$f_{ax,\alpha,k}$ - характеристична міцність на висмикування під кутом до волокон α :

$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha + 1,5 \cos^2 \alpha}$$

$f_{ax,k}$ - характеристична міцність на висмикування впоперек волокон

$$f_{ax,k} = 3,6 \times 10^{-3} \cdot \rho_k^{1,5} \text{ Н/мм}^2$$

ρ_k - характеристична щільність деревини або матеріалу з деревини

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

511



Бічна жорсткість металевих зв'язків нагельного типу

Процедура проектування повинна поєднувати глобальний аналіз конструктивних елементів і локальний аналіз з'єднань.

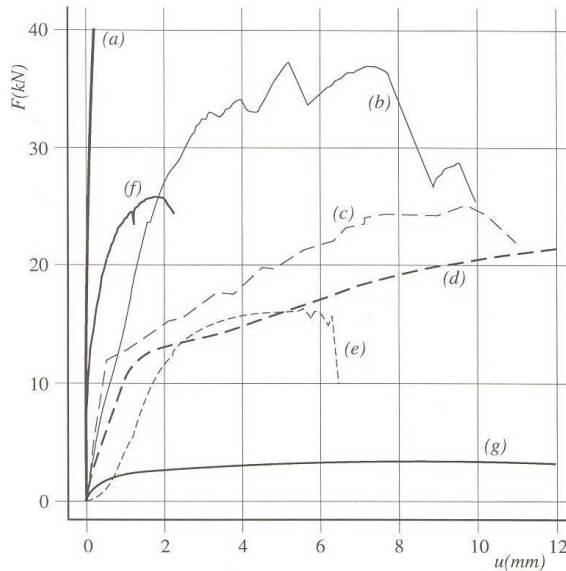
Ключова проблема полягає в поведінці з'єднань, що впливає на розподіл сил і деформацію конструкції.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

512



Бічна жорсткість металевих зв'язків нагельного типу



Експериментальні криві
піддатливості для з'єднань,
розтягнутих вздовж волокон:
(a) клеєні з'єднання
(b) кільцева муфта
(c) двостороння зубчаста пластина
(d) Нагель
(e) Болт
(f) Перфорована пластина
(g) цвях

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

513



Бічна жорсткість металевих зв'язків нагельного типу

Жорсткість з'єднання визначається як відношення бічного навантаження на його площину зсуву, поділеного на його зміщення.

Величинами, що дозволяють враховувати модуль жорсткості таких з'єднань, при розрахунку дерев'яних конструкцій за граничними станами експлуатаційної придатності є значення модуля ковзання K_{ser} , а при розрахунку за граничним станом несучої здатності - K_u

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

514



8. Бічна жорсткість металевих зв'язків нагельного типу

Значення K_{ser} , Н/мм, для кріпильних елементів у з'єднаннях "деревина-деревина" і "деревина-плита на основі деревини"

Тип використовуваного кріпильного елемента	Модуль ковзання по SLS, K_{ser}
Цвяхи: - без попереднього свердління; - з попереднім свердлінням	$\rho_m^{1.5} d^{0.8} / 30$ $\rho_m^{1.5} d / 23$
Скоби	$\rho_m^{1.5} d^{0.8} / 80$
Шурупи	$\rho_m^{1.5} d / 23$
Болти з зазорами і без зазорів*	$\rho_m^{1.5} d / 23$
Нагелі	$\rho_m^{1.5} d / 23$

* Допуски на зазори для болта повинні бути додані до зміщення з'єднання.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

515



Бічна жорсткість металевих зв'язків нагельного типу

Значення K_{ser} залежить від діаметра кріпильного елемента d , мм, і середньої густини ρ_m , кг/м³, матеріалу з'єднання. Якщо з'єднання складається з елементів з різною густиною ρ_{m1} і ρ_{m2} , то ρ_m , яке повинно використовуватися у виразах таблиці, буде визначатись наступним чином:

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{m1} \cdot \rho_{m2}}$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

516

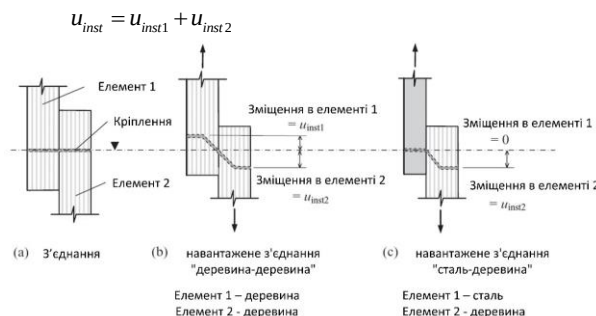


8. Бічна жорсткість металевих зв'язків нагельного типу

Загальна величина миттєвого зміщення у з'єднанні u_{inst} , що складається з двох елементів, дорівнює сумі зміщень u_{inst1} в елементі 1 і u_{inst2} в елементі 2.

Якщо елементи мають однакові характеристики, то

$$u_{inst} = u_{inst1} + u_{inst2} = 2u_{inst2}$$



Якщо один з елементів виготовлений із сталі, то зсув в сталевому елементі дорівнює нулю, а в елементі 2 становить u_{inst2} . Тоді загальна величина зсуву в з'єднанні дорівнює:

$$u_{inst} = 0 + u_{inst2} = u_{inst2}$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6-16 1:2017, EN 1995-1-1

517



Бічна жорсткість металевих зв'язків нагельного типу

у виразі несучої здатності вузла з декількома металевими кріпильними елементами нагельного типу

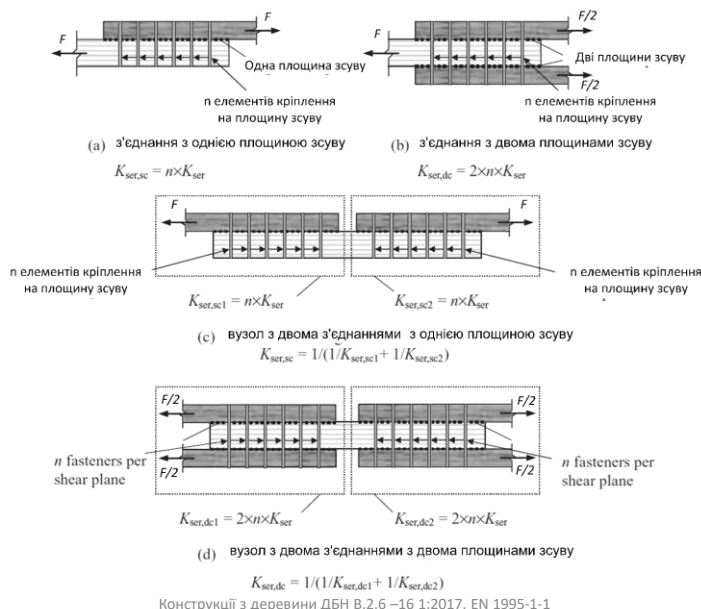
- при обчисленні несучої здатності з'єднання використовується фактичне число кріпильних елементів n з'єднання
- при обчисленні несучої здатності вздовж волокон використовується розрахункова кількість кріпильних елементів n_{ef} .
- для з'єднань з однією або двома площинами зсуву (незалежно від кута навантаження по відношенню до волокон) завжди використовується фактична кількість кріпильних елементів n .

Конструкції з деревини ДБН В.2.6-16 1:2017, EN 1995-1-1

518



Значення модуля ковзання з'єднань



519



Значення модуля ковзання з'єднань

Значення модуля ковзання з'єднань, що містять n кріпильних елементів у площині зсуву ($K_{ser,sc}$ - для однозрізних, $K_{ser,dc}$ - для багатозрізних з'єднань) визначаються

а) для з'єднання, що складається з n кріпильних елементів з однією площиною зсуву

$$K_{ser,sc} = n \times K_{ser}$$

б) для з'єднання, що складається з n кріпильних елементів і двома площинами зсуву

$$K_{ser,dc} = 2 \times n \times K_{ser}$$

в) для вузла з двома з'єднаннями з однією площиною зсуву

$$K_{ser,sc} = \frac{1}{\frac{1}{K_{ser,sc1}} + \frac{1}{K_{ser,sc2}}}$$

г) для вузла з двома з'єднаннями і двома площинами зсуву

$$K_{ser,dc} = \frac{1}{\frac{1}{K_{ser,dc1}} + \frac{1}{K_{ser,dc2}}}$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

520



Значення модуля ковзання з'єднань

- K_{ser} – модуль ковзання з'єднання для однієї площини зсуву;
 $K_{ser,sc}$ – модуль ковзання з'єднання для однієї площини зсуву;
 $K_{ser,dc}$ – модуль ковзання з'єднання для двох площин зсуву;
 $K_{ser,sc1}$ – модуль ковзання з'єднання 1 для однієї площини зсуву у вузлі дорівнює $n_1 K_{ser}$;
 $K_{ser,sc2}$ – модуль ковзання з'єднання 2 для однієї площини зсуву у вузлі дорівнює $n_2 K_{ser}$;
 $K_{ser,dc1}$ – модуль ковзання з'єднання 1 для двох площин зсуву у вузлі дорівнює $2n_1 K_{ser}$;
 $K_{ser,dc2}$ – модуль ковзання з'єднання 2 для двох площин зсуву у вузлі, дорівнює $2n_2 K_{ser}$.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

521



Бічна жорсткість металевих зв'язків нагельного типу

Якщо для встановлення кріплення необхідний зазор (допуск) між кріпильним елементом та отвором для нього, наприклад, для болтів, виникає додатковий зсув, викликаний вибиранням цього зазору.

Якщо є зазор c (1 мм для болтів), миттєвий зсув для з'єднання з одним кріпленням і однією площиною зсуву буде:

$$u_{inst} = \frac{F}{K_{ser}} + c$$

F - SLS навантаження, що діє на з'єднання;

K_{ser} - модуль ковзання кріпильного елемента в площині зсуву в експлуатаційних умовах;

c - зазор (допуск), який приймається для болтів 1 мм.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

522



Бічна жорсткість металевих зв'язків нагельного типу

конструкція знаходиться під дією
 характеристичного постійного навантаження G_k
 домінуючого характеристичного навантаження $Q_{k,1}$
 і супутніх незалежних характеристичних змінних навантажень $Q_{k,i}$

розрахункове навантаження F_d , що діє на з'єднання, за граничними станами SLS визначається з розрахунку конструкції під дією комбінації характеристичного навантаження

$$F_d = G_k + Q_{k,1} + \sum_{i=2}^n \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$\psi_{0,i}$ - коефіцієнт поєднання в комбінації під дією змінного навантаження $Q_{k,i}$.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

523



Бічна жорсткість металевих зв'язків нагельного типу

Для визначення кінцевої деформації з'єднання повинні враховуватися залежності характеристик матеріалів від часу як самих елементів з'єднань, так і елементів конструкції.

Для конструкцій, які включають елементи, **компоненти і з'єднання з однаковою поведінкою** при повзучості, кінцева деформація визначається застосуванням комбінованої характеристичної і квазіпостійної комбінації впливів на конструкцію

$$F_{cd} = G_k (1 + k_{def}) + Q_{k,1} (1 + \psi_{2,1} k_{def}) + Q_{k,i} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def})$$

$\psi_{2,i}$ - коефіцієнт поєднання для квазіпостійного впливу і квазіпостійної комбінації;

k_{def} - коефіцієнт деформації для деревини і матеріалів на її основі для практично постійних впливів

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

524



8. Бічна жорсткість металевих зв'язків нагельного типу

кінцева деформація u_{fin} за граничними станами експлуатаційної придатності (SLS) з'єднання з однією площиною зсуву в конструкції, які включає елементи, компоненти і з'єднання, що мають однакові характеристики повзучості, буде становити:

$$u_{fin} = \frac{F_{cd}}{K_{ser}} + c$$

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

525



Бічна жорсткість металевих зв'язків нагельного типу

Для конструкцій, які містять елементи, **компоненти і з'єднання, що мають різну поведінку повзучості** і де ефект повзучості впливає на розподіл жорсткості кінцева деформація буде визначатися з аналізу конструкції, підданої характеристичному поєднанню дій, а властивості жорсткості елементів, компонентів і з'єднань зменшуються у величині:

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1+k_{def})}$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{(1+k_{def})}$$

$$K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{(1+k_{def})}$$

k_{def} - коефіцієнт для оцінки деформацій повзучості з урахуванням відповідного експлуатаційного класу. При роботі з з'єднаннями коефіцієнт повинен бути змінений, як описано нижче:

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

526



Бічна жорсткість металевих зв'язків нагельного типу

1. Якщо з'єднання містить елементи деревини з однаковою залежною від часу поведінкою, k_{def} слід вважати у 2 рази більшим за вихідне значення.
2. Якщо з'єднання містить два елемента на основі деревини, що мають різне залежне від часу поведінку, k_{def} слід вважати таким:

$$k_{def} = 2 \cdot \sqrt{k_{def,1} \cdot k_{def,2}}$$

$k_{def,1}$ і $k_{def,2}$ - коефіцієнти деформації для відповідних елементів.

3. Коли деревина використовується і встановлюється в точці насичення волокон або поблизу неї, але функціонує в середовищі, де вона, ймовірно, висихає під навантаженням, значення k_{def} на 1,0.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

527



Бічна жорсткість металевих зв'язків нагельного типу

Для конструкцій що перевіряються за ULS процедура аналізу залежить від того, впливає чи ні розподіл напружень в елементах конструкції на розподіл жорсткості.

Якщо з'єднання в конструкції не є штифтовими (тобто не допускають прокручування), то розподіл напружень в елементах буде залежати від розподілу жорсткості, а в аналізі напружень на ULS - кінцеві середні значення властивостей жорсткості будуть використовуватися наступним чином:

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1 + \psi_2 k_{def})} \quad G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{(1 + \psi_2 k_{def})} \quad K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{(1 + \psi_2 k_{def})}$$

ψ_2 - коефіцієнт квазіпостійної величини навантаження, що викликає найбільші напруження відносно міцності

У цьому стані миттєвий модуль ковзання, K_u , приймається як

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser}$$

K_{ser} - це миттєвий модуль ковзання на одну площину зсуву на один елемент кріплення, [наведений у таблиці](#)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

528





13. ДОВГОВІЧНІСТЬ

Захист деревини, покриття та консервація

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

529



Стійкість деревини до впливу біологічних організмів

Деревина і матеріали на її основі повинні мати достатню природну довговічність відповідно до ДСТУ EN 350-2 для особливо небезпечного класу або піддаватись захисній обробці, визначеній відповідно до ДСТУ EN 351-1 і ДСТУ EN 460.

Примітка 1. Захисна обробка може впливати на міцність і жорсткість.

Примітка 2. Правила визначення захисних обробок деревини наведені у ДСТУ EN 350-2 і ДСТУ EN 335-1

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

530



Корозійна стійкість

Металеві кріпильні деталі та інші конструктивні з'єднання повинні мати необхідну корозійну стійкість або бути захищеними від корозії.

Кріпильна деталь	Експлуатаційний клас		
	1	2	3
Цвяхи і шурупи з $d < 4$ мм	Захист не застосовується	Fe/Zn 12c ^a	Fe/Zn 25c ^a
Болти, нагелі, цвяхи і шурупи з $d > 4$ мм	Захист не застосовується	Не застосовуються	Fe/Zn 25c ^a
Скоби	Fe/Zn 12c ^a	Fe/Zn 12c ^a	Нержавіюча сталь
Кріплення з металевих зубчастих пластин і сталевих пластин завтовшки до 3 мм	Fe/Zn 12c ^a	Fe/Zn 12c ^a	Нержавіюча сталь
Сталеві пластини завтовшки від 3 мм до 5 мм	Захист не застосовується	Fe/Zn 12c ^a	Fe/Zn 25c ^a
Сталеві пластини завтовшки більше 5 мм	Захист не застосовується	Не застосовуються	Fe/Zn 25c ^a

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

531



Класи експлуатації деревини

Клас по BS EN 335:2013	Опис класу	Використання, об'єкти захисту	Клас по ГОСТ 20022.2-80 (приблизно)
Hazard Class 1	Ситуація, коли вироби з дерева знаходяться всередині приміщень і не піддаються впливу погодних умов і зволоженню	Дерев'яні вироби, що експлуатуються всередині приміщень при природній вологості - меблі, тара, рами, внутрішній декор і т.д.	1,2,3
Hazard Class 2	Ситуація, в якій вироби на основі деревини знаходяться всередині приміщень і не піддаються впливу погоди (особливо дощу), але зволоження може статися.	Дерев'яні вироби експлуатуються всередині приміщень з природною і підвищеною вологістю, можливо короткочасне періодичне зволоження.	4,5,6,7,8
Hazard Class 3	Вироби з дерева знаходяться поза контактом із землею, використовуються зовні приміщень, піддаються періодичному впливу атмосферних опадів	В цьому класі виділяють 2 підкласу: 1-й з допустимими умовами змочування, тобто ці вироби знаходяться зовні будівель, але вкриті навісом, наприклад фронтони під дахом. 2-й з тривалими умовами змочування - це паркані, шумові бар'єри, зовнішня обшивка будинків, настили мостів, ворота, перголи, альтанки, елементи ландшафтного дизайну і т.д.	9,10, 11
Hazard Class 4	Дерев'яні вироби постійно знаходяться в контакт з землею або прісною водою, тобто постійно піддаються змочування	До цього класу умов експлуатації відносяться палі, парканні та дорожні стовпи, лаги і настили по ґрунту, шпали, річкові пристані, мостові бруси, деталі тваринницьких будівель, рудничні стійки довготривалої служби і т.д.	12,13(ґрунт) и 14,15,16(вода)
Hazard Class 5	Постійний (регулярний) контакт з солоною (морською) водою	Морські причали, берегові лінії, опори ліній зв'язку, що піддаються впливу соленої води	17,18

532



Визначення класів використання на основі очікуваних умов експлуатації протягом терміну служби дерев'яних конструкцій та будівель.
Деревина на відкритому повітрі та над землею



Фасади, облицювання
клас використання 3.1
(EN 335)
Вплив короткого
періоду змочування та
дощу



Балкони Тerasи
Огорожі
клас використання
3.2 (EN 335)
Вплив погоди та
дощу

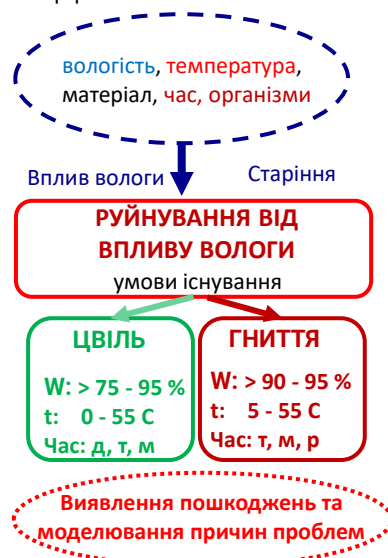
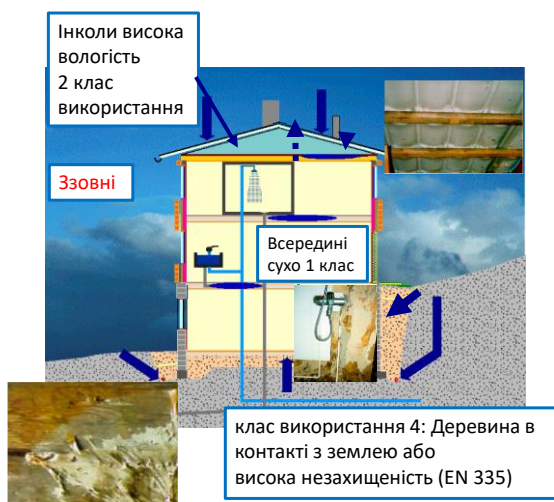


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

533



Протягом життєвого циклу будівля зазнає впливу води, процесів старіння та пошкоджень

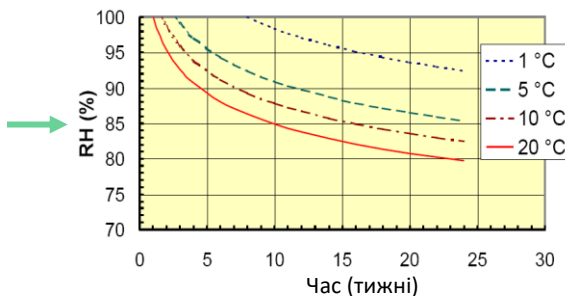


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

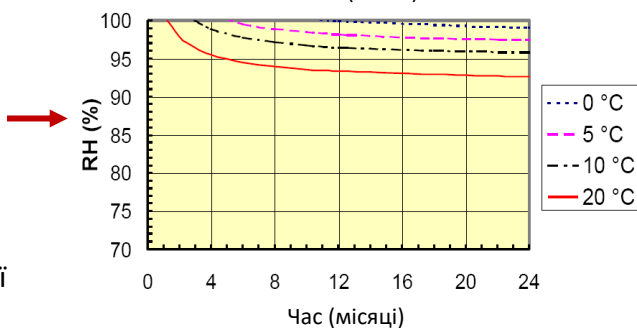
534



Критичні
умови для
початку
росту цвілі



і
утворення
гниття
на
конструкції
з сосни



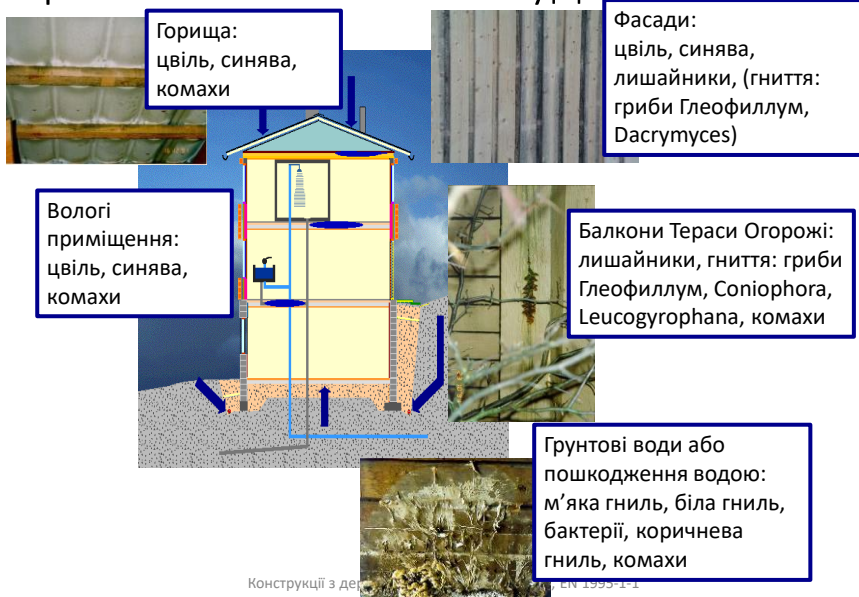
RH – відносна вологість

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

535



Організми, що спричиняють проблеми в різних компонентах будівлі



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

536



Різні типи пошкоджень деревини



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

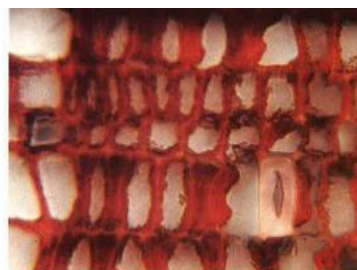
537



М'яка гниль розвивється всередині
деревної клітини і міцність деревини
швидко знижується



Розширені і глибокі порушення
м'якої гнилі в необробленій колоді



Поглиблений розпад клітин
деревини, під мікроскопом.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

538



На довговічність деревини впливає багато факторів

МАТЕРІАЛ ДЕРЕВИНИ



ПОРОДА ДЕРЕВИНИ
ГЕНОТИП
ВІК ДЕРЕВА

ЗАБОЛОНЬ/ЯДРО
Проникність/Опір
- мікроструктура
- хімічний склад

ОТОЧЕННЯ

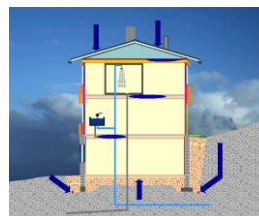
- клімат, місце зростання
- ЛІСІВНИЦТВО
- проріджування, обрізка, підрізка

ОБРОБКА ТА ЗАХИСТ ДЕРЕВИНИ



- зберігання
- пиляння
- сушка
- транспортування
- подальша обробка
- модифікація деревини
- захист
- лікування
- фарби / фунгіциди

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ДЕРЕВИНИ



- місцезнаходження будинку та оточення, вплив оточення
- вологість, температура, тривалість, наявність шкідливих організмів
- транспортування та зберігання матеріалів
- спорудження (планування, виконання) будівлі та компонентів
- обробка поверхонь
- обслуговування та спосіб використання

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

539



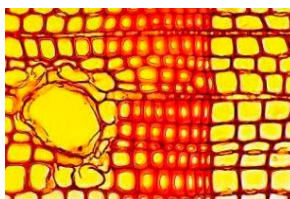
Основи довговічності деревини: Деревина - це природний полімер

- клітинна матриця, що забезпечує структурну підтримку:
 - целюлоза
 - геміцелюлоза
 - лігнін
- стійкість проти атаки мікроорганізмів:
 - лігнін
 - деякі геміцелюлози
 - екстрактивні речовини: смоляні кислоти, фенольні сполуки, дубильні речовини, цукри, жирні кислоти
- додатковий захист повинен відповідати умовам використання (вплив води / вологості)

Для організмів важлива наявність води, що покриває поверхню (покриття і пил на поверхні можуть змінити стан!) чи наявність води всередині деревини та всередині клітин.

Критична вологість, щоб уникнути біологічного ушкодження деревини

Покриття та збереження деревної клітинної матриці від проникнення хімічних речовин в деревину



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

540



Природна довговічність або стійкість до гниття деревини різних порід

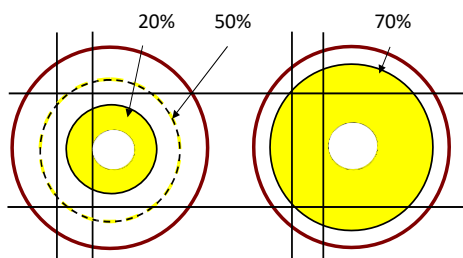
Клас міцності (Європа)	Клас міцності (США)	Приклади
Дуже довговічні	Стійкі або дуже стійкі	Тик (натуральний), іроко, афцелія, білінга, мескіт, ялівці, червоне дерево (секвоя) натуральна
Довговічні	Стійкі або дуже стійкі	Білий дуб, американське червоне дерево, меранти, червоне дерево (секвоя), тик (деякі види)
Середньої довговічності	Середньої стійкості	Модрина, дугласія тисолиста, гікорі, африканське червоне дерево, модрина американська, сосна шотландська, сосна південна
Малодовговічні	Малостійкі або не стійкі	Сосна, ялина (кілька видів), в'яз, пуга, гікорі, дуби (червоні та чорні породи)
Не довговічні	Малостійкі або не стійкі	Вільха, осика, бук, береза, клен, тополя, бальза, рамін

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

541



Пропорція серцевини та її вплив на довговічність виробів



- Сосна: серцевина починає вироблятися після 20 - 40 років. У 60 років 25% (ствобур 30%, інші 20%) максимум 60 - 75%
- Модрина: серцевина буде вироблятися після 10 - 15 років. У 60 років 65 - 70% максимум 55 - 80%
- На якість та довговічність серцевини також впливає вік дерева!

Для обробки тиском та консервації деревини, сосна піддається обробці (зменшення водопроникності). Проникнення консерванту у заболонь сосни повинно становити близько 95 - 100%.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

542



Захист деревини

• Контроль вологості

- Запобігає цвілі та гниттю
- Зменшує пошкодження комахами
- Зменшує вагу і підвищує міцність
- Підготавлює деревину для обробки хімічними консервантами

• Хімічна обробка

- Хімічний склад
 - На основі нафти
 - На основі води
- Метод застосування
 - Поверхнева обробка/занурення
 - Насичення під тиском
- Якість консервації
 - Ступінь проникнення та розповсюдження
 - Вміст консерванту та діючої речовини

• Модифікація деревини:

- Хімічні - Фізичні методи

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

543



Покриття деревини, захист від

- Води: вологість оточення та рідка вода
- Вивітрювання: сонячне випромінювання та зовнішнє опромінення, дощова вода, злива, поверхнева ерозія, знебарвлення (цвіль, синява)
- Зміни габаритів деревини, викликані зміною вологості
- Мікробів: грибки, бактерії
- Зміни кольору деревини та самого покриття
- Бруд: різний тип пилу та сполук



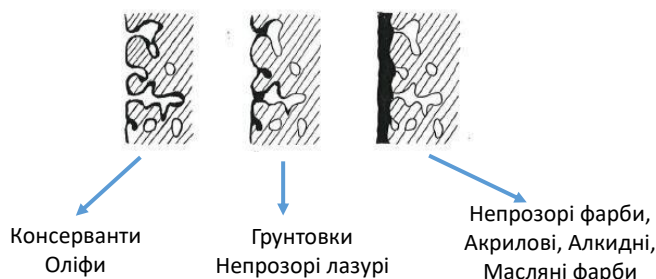
Властивості деревини впливають на ефективність покриття і навпаки

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

544



Типи проникнення та товщина різних типів покриттів (фарб) для дерев'яних матеріалів



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

545



Покриття (фарби) для дерев'яних виробів

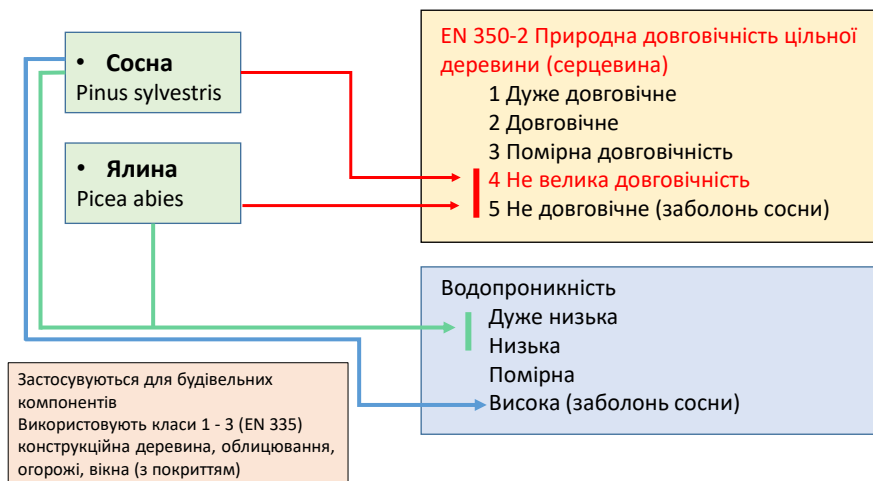
Тип фарби	Плівка фарби	Водопроникність	Тривалість життя
Оліфи, лаки	Прозорі, низький захист від ультрафіолету	Висока	1 - 2 роки, перефарбування легке
Червона, жовта охра	Формування відкритої плівки, захист від УФ	Висока	6 - 12 років, не можна змінювати тип фарби, перефарбування легке
Пігментовані лазурі	Напівпрозорий захист від УФ	Висока - Помірна	Продукти, на основі води/олії 3 - 6 років, перефарбування легке
Непрозорі лазурі	Формування плівки, захист від УФ	Помірна - Низька	Продукти, на основі води/олії 5 - 10 років, перефарбування легке
(Водно) дисперсні фарби	Формування плівки, захист від УФ	Помірна - Низька	Потрібна грунтовка, 10 - 20 років, перефарбовування потребує роботи
Нафтові/алкидні олійні фарби	Формування плівки, захист від УФ	Низька (для нових)	Колір може бути змінений, 10 - 20 років, перефарбування легке

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

546



Довговічність та використання ялини та сосни

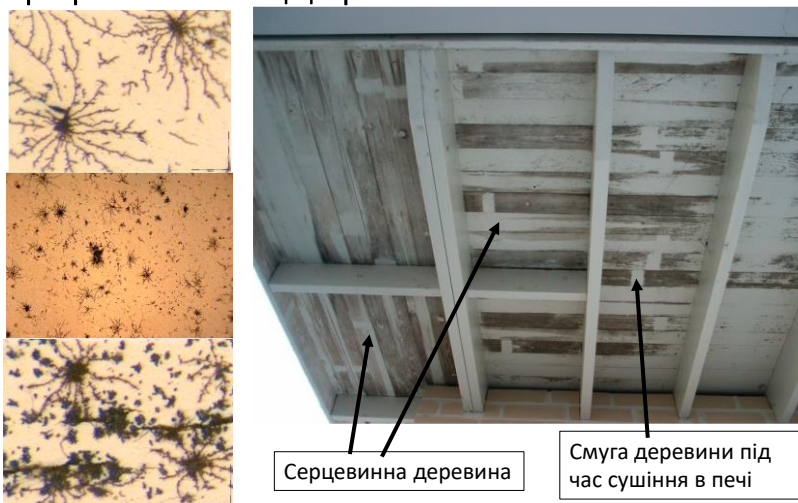


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

547



Схильність деревини до росту цвілі можна виявити на поверхні фарбованої деревини

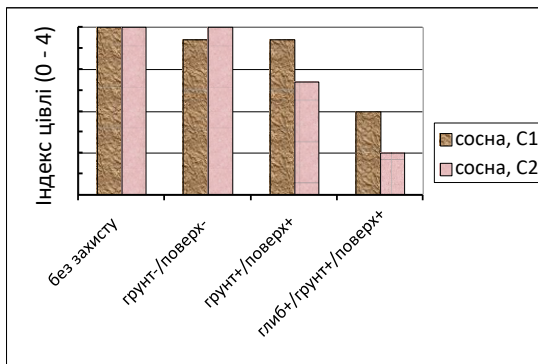


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

548



Захисна дія покриттів: запобігання росту цвілі на пофарбованій деревині, вплив якості деревини та фунгіциду на соснову заболонь



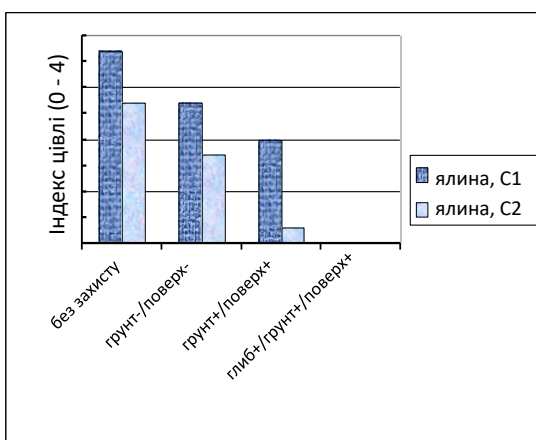
- інкубаційний період 26 тижнів при $W_{\text{відн}} 100\%$ і 20°C
- C1 - поверхня, висушена в печі
- C2 - поверхня повторно розпиляна (пиляна 10 мм від початкової поверхні)
- акрилатна ґрунтовка (грунт)
- верхнє покриття (поверх)
- консервант (глиб)
- без фунгіциду (-)
- додано фунгіцид (+)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

549



Захисна дія покриттів: запобігання росту цвілі на пофарбованій деревині, вплив якості деревини та фунгіциду на ялинкову заболонь



- інкубаційний період 26 тижнів при $W_{\text{відн}} 100\%$ і 20°C
- C1 - поверхня, висушена в печі
- C2 - поверхня повторно розпиляна (пиляна 10 мм від початкової поверхні)
- акрилатна ґрунтовка (грунт)
- верхнє покриття (поверх)
- консервант (глиб)
- без фунгіциду (-)
- додано фунгіцид (+)

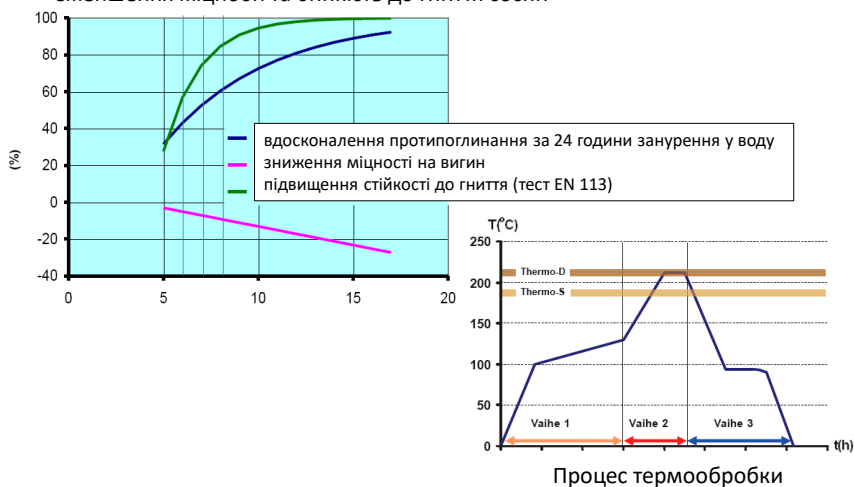
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

550



Термообробка деревини, Термодеревина

Вплив термічної обробки на протипоглинання,
зменшення міцності та стійкість до гниття сосни

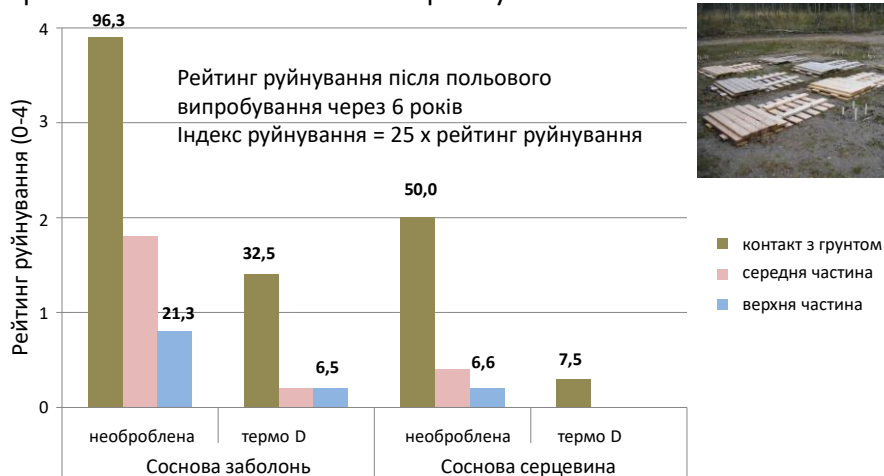


Конструкції з деревини ДБН В.2.6-16 1:2017, EN 1995-1-1

551



Довговічність термодеревини D та необробленої зболонної і серцевинної деревини після 6 - річного польового випробування



Конструкції з деревини ДБН В.2.6-16 1:2017, EN 1995-1-1

552



Процеси хімічної модифікації деревини

- Ацетилювання
 - Реакції з OH групами деревини
 - Захист від води та організмів
 - Спочатку потрібен процес просочення
 - Продукт: TitanWood (NL)



- Фурфуляція
 - Обробка фурфуроловим спиртом
 - Захист від погоди, води та організмів
 - Спочатку потрібен процес просочення
 - Продукт: Kebony (Норвегія, Швеція)

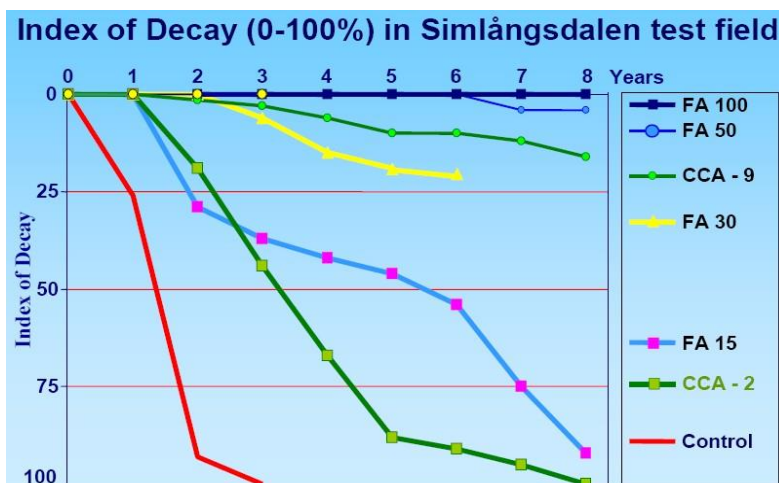


Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

553



Результати випробувань міні-зразків у ґрунті,
фурфуроловий спирт (FA), просочена деревина
(CCA) та контрольні



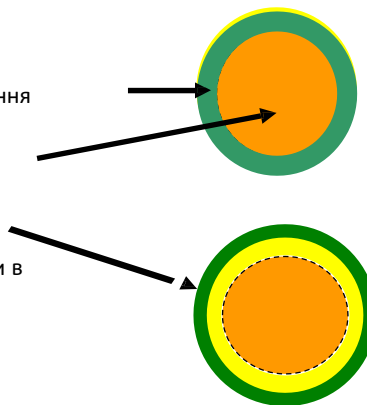
Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

554



Хімічно оброблена деревина

- Існує кілька методів консервування та просочення
- Соснова заболонь доступна для просочення
- Відсутнє значне просочення в серцевину
- У ялини лише часткове просочення консерванту
(аналогічний ефект, якщо вологість деревини в процесі просочення занадто висока)



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

555



Хімічна обробка деревини

- **Процеси без пресування**
 - Обробка пензлями та спреями
 - Занурювання
 - Нанесення покриттів: фарби та лазурі
- **Процеси з пресуванням**
 - Повноклітинний процес (високий час утримання)
 - Процес з порожніми клітинами (оптимізований час утримання)
 - Процес низького тиску (вакуумна обробка)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

556



Використання просоченої деревини

- Деревина, що **контактує з солоною морською водою** (море), 5 клас використання, необхідний високий рівень утримання та проникнення крізь деревину
- Деревина, що знаходиться **в контакті з землею** або високо агресивному середовищі, 4 клас використання
 - Стопи, потреба високого вмісту консервантів та проникнення через заболонь
- Деревина **під впливом погоди та дощу**, клас використання 3.2
 - Настили, балкони, огорожі, не накриті тераси
- Деревина **під впливом короточасного зволоження та дощу**, клас використання 3.1
 - Покриття, криті настили або деревина з покриттями, що мають низьку водопроникність
- Деревина, що **зрідка піддається підвищеній вологості**, 2 клас використання
 - Обробка поверхонь переважно проти цвілі та синяви
- Деревина **в сухих умовах**, покрита, 1 клас використання
 - Очікувана тільки випадкова атака комах, обробка поверхні проти комах

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

557



Хімічна консервація - консерванти

Формалін. Це водний розчин формальдегіду, стабілізований метиловим спиртом, позбавлена кольору прозора рідка речовина (допустимий легкий жовтий відтінок).

Задіюється формалін як антисептик при консервуванні біоматеріалів. З його допомогою дерево ефективно захищають від комах. Він є джерелом широкого переліку консервантів деревини.

Через токсичність формаліну, використовувати його необхідно з обережністю.

Карбамід (сечовина). Амід вугільної кислоти у вигляді кристалічної маси білого кольору. Добре розчиняється у воді, зокрема, в тій, яка в зв'язаній формі перебуває в деревині. А це говорить про те, що просочення його водним розчином дозволяє підсушити матеріал, прибравши частково деревну вологу на гідрофільну сечовину.

Карбамід є модифікатором, що проникає в клітини деревини, проявляє хімічну активність стосовно структурних елементів цього біологічного матеріалу, змінює його фізичні та експлуатаційні характеристики. Просочування деревини сечовиною підвищує її стійкість до гниття. Крім того, ця субстанція вступає в реакцію з такими елементами деревного полотна, як лігнін, ГМЦ та екстрактивні речовини. Завдяки цьому деревний масив не тільки зберігає старі позитивні якості, але й набуває нових.

Сечовина хімічно нейтральна, небезпечна для людей і тваринам не несе.

558



Хімічна консервація - консерванти

Біхромат калію (калій двохромовоокислий). Помаранчево-червона кристалічна маса, не злегується, у воді розчиняється добре.

Водний розчин цього реагенту – чудовий засіб для просочення несучих балок підлоги, нижніх вінців і т.д., які великою мірою схильні до вогкості. Після такої обробки деревина стає зеленуватою. Окис хрому, який утворюється в результаті, надійно захищає від гниття і ураження личинками комах.

При роботі з біхроматом калію обов'язково врахуйте його високотоксичність, використовуйте ЗІЗ для захисту шкіри та дихальних шляхів. Примітно, що з висиханням розчину зникає небезпека для здоров'я.

Біхромат натрію (натрій двохромовоокислий). Є неорганічною хімічною сполукою, натрієвою сіллю діхромової кислоти у вигляді гігроскопічної кристалічної маси. Кристали не злегуються, колір може варіюватися від світлого помаранчевого до темно-червоного.

Найбільш розповсюджене застосування цієї речовини при спорудженні дерев'яних мостів. Її спільно з мідним купоросом задіюють для виконання антисептичних заходів (глибоке місцеве просочення під тиском). Цей склад не вимивається з деревини під час експлуатації конструкції. Самі ж мости набувають зеленуватого відтінку, стають стійкими до біоруйнування, на металеві елементи значного корозійного впливу не відбувається.

Важливо знати! Двохромовоокислий натрій може завдати шкоди шкірі, слизовим і органам дихання. Для убезпечення останніх від негативного впливу необхідно використовувати спецодяг і респіратор. Щоб захистити шкіру рук, їх потрібно перед початком роботи змастити спеціальним складом (парафін і ланолін у співвідношенні 3 до 1, плюс невелика кількість фенолу), а після гарненько промити 5 %-м розчином сірого аміачного розчину.

559



Хімічна консервація - консерванти

Хлорид заліза (залізо хлорне). Ця речовина є середньою сіллю трьохвалентного заліза і соляної кислоти. Зовні виглядає як м'яка іржаво-брунатна маса, утворена кристалами. У деревообробній галузі хлорне залізо служить протравою. Фарбування деревини з його допомогою, як і з залученням інших протрав, не дає вуалі, текстура деревини через таке покриття проглядається. Саме покриття виходить глибоким і рівномірним, а забарвлення – міцним, водо- і світлостійким.

Колір, який надає цей реагент, залежить від породи деревини: у дуба і верби з'являється синьо-сіре забарвлення, у горіха – темно-синє, у бука – сіре, у клена – сіро-коричнєве, у червоного дерева – сіро-фіолетове.

Хлорне залізо певною мірою небезпечно для людини. Може подразнити шкіру та слизові, а також органи дихання і травлення. Щоб цього уникнути, важливо використовувати в роботі ЗІЗ.

Сульфат міді (мідний купорос). Яскраво-синя кристалічна гігроскопічна маса з металевим присмаком, що складається з прозорих частинок. Добре розчиняється у воді, насичених розчинах соляної кислоти, розведеному спирті.

Одна зі сфер застосування мідного купоросу – деревообробка, зокрема, просочування деревини. Це ще одна популярна протрава масиву дерева. Залучається переважно для дуба, верби і горіха, забарвлює їх у коричневий колір.

Цей матеріал не горючий, небезпеки пожежі та вибуху не несе. За ступенем впливу на людину належить до 2-го класу небезпеки.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

560



Хімічна консервація - консерванти

Сульфат заліза (залізний купорос). Неорганічна речовина, гігроскопічна, не летка, без запаху, з терпким металевим присмаком. Складається з прозорих кристалів (у масі – блакитно-зеленого кольору). Добре розчиняється у воді. Токсичність має порівняно низьку.

У деревообробній галузі залізний купорос служить популярною протравною. Його розчини різної концентрації (1 %, 4-5 %) застосовуються для обробки деревини різних порід, створюють у результаті від бузково-сірого і рожевого до темно-сірого і чорного різновидів забарвлення.

Калій марганцевокислий (марганцівка). Темно-фіолетова, практично чорна кристалічна маса. У воді розчиняється, утворюючи яскравий малиновий розчин.

У деревообробній галузі марганцівку використовують, головним чином, для інтенсифікації природного брунатного/бурого кольору деревини. Як барвник добре справляється зі своїми функціями спільно зі сірчаною кислотою та магнієм у однакових пропорціях, розведеними в гарячій воді.

Дерево, оброблене марганцевокислим калієм, стає спочатку вишневим, а пізніше коричневим. Надалі під впливом сонячних променів відбувається освітлення.

Ще один спосіб залучення марганцівки – для підробки під горіх берези.

При роботі з різними її концентраціями важливо пам'ятати про можливу небезпеку для слизових і шлунково-кишкового тракту.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

561



Хімічна консервація - консерванти

Фторид натрію (натрій фтористий). Біла/світло-сіра порошкоподібна маса, що слабо розчиняється у воді.

Фтористий натрій є смертельною отрутою для грибів і комах, що руйнують дерево, тому активно застосовується як антисептик. Примітно, що він не завдає шкоди залізу і може використовуватися в дерев'яно-залізних конструкціях. А ось із такими матеріалами, як крейда, вапно, цемент і деякі інші, компонувати цю речовину неприпустимо, оскільки при її взаємодії зі солями кальцію відбувається повна втрата ефекту стосовно шкідників.

Врахуйте, що натрій фтористий може бути вимитий з обробленої деревини водою. Щоб цьому запобігти, необхідно нанести додаткове покриття, наприклад, лак, фарбу або мастику.

Не забувайте і про токсичність цього матеріалу. Під час роботи забезпечте гарне вентильовання і використовуйте засоби індивідуального захисту.

Натрій кремнефтористий. Виглядає ця сполука як білий дрібнокристалічний порошок (можливо, зі сірим або жовтим відтінком). У воді розчиняється дуже погано, тому як окремий антисептик для деревини застосовується вкрай рідко. Найчастіше, до нього додають соду або аміак, унаслідок чого цей реактив трансформується у фтористий натрій.

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

562



Вироби з фанери з покриттям

- Ефективність фанери з покриттям не залежить від довговічності деревного матеріалу:
 - Березова фанера з покриттям і захищеним торцем має добру ефективність
- Ефективність фанерних виробів, важливі фактори:
 - Види деревини: якість і твердість (грані)
 - Види покриття та герметизація краю
 - Захист від впливу води: кромки, типи кріплення
 - Проектування та виконання будівлі
 - Умови зовнішнього середовища
 - Утримання, догляд

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

563



Приклад польового випробування фанери з покриттям після 19 років випробувань

Березова фанера, покрита феноловою плівкою



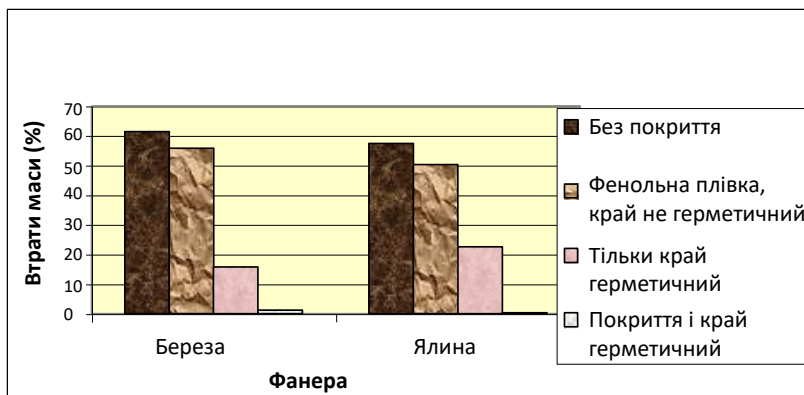
Фанера покрита кольоровою плівкою та фарбована фанера (олійна фарба (олія + алкид))

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

564



Покриття та ущільнення краю фанери. Необроблена фанера берези та ялини



Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

565



Для досягнення 100-річного терміну служби деревини в будівництві слід подбати про наступні факти

- використовувати **сухий** і маркирований СЕ деревний матеріал,
 - для інженерних компонентів слід використовувати правильний тип та клас клею
- чітка **деталізація та дизайн**, щоб уникнути несправності конструкції та захисту конструкції від вивітрювання
 - добре **виконання** та захист від погодних умов під час будівництва
- належне обслуговування під час користування та інструкція по технічному обслуговуванню для користувачів
- забезпечення належного стану матеріалу в будівлі протягом терміну експлуатації (вентиляція, захист, висушування при випадкових пошкодженнях водою)

Конструкції з деревини ДБН В.2.6 –16 1:2017, EN 1995-1-1

566

