

**ПРОЄКТУВАННЯ СКЛА ВІДПОВІДНО ДО ТЕХНІЧНИХ
СПЕЦИФІКАЦІЙ SIA 2057**

**GLASS DESIGN IN ACCORDANCE WITH THE TECHNICAL
SPECIFICATION SIA 2057**

Осадчук Т.Ю., к.т.н., в.о. доцента, ORCID ID: 0000-0002-8686-7056,
Гнатюк О.Т., к.т.н., доцент, ORCID ID: 0000-0003-2218-0295, Фамуляк
В.Ю., ст. викладач, ORCID ID: 0009-0005-5347-9427, Михайлечко Н.В., ст.
викладач, ORCID: 0009-0008-6266-9224 (ЛНУВМБ імені С. З. Ґжицького)

Osadchuk T.Yu., Ph.D., Assoc. prof., ORCID ID: 0000-0002-8686-7056,
Hnatyuk O.T., CSc(Eng.), Assoc. prof., ORCID ID: 0000-0003-2218-0295,
Famuliak V.Yu., Senior Lecturer, ORCID ID: 0009-0005-5347-9427,
Mykhailechko N.V., Senior Lecturer, ORCID: 0009-0008-6266-9224 (Stepan
Gzhytskyi LNUVMB)

Представлено особливості проєктування скляних конструкцій відповідно до технічних специфікацій SIA 2057 з урахуванням вимог майбутнього Eurocode 10 (EN19100). Наведено основні вимоги до вибору матеріалів та підходів до аналізу напружено-деформованого стану різних типів конструкцій з одно- та багатошарового скла.

The analysis of technical specifications and drafts of parts of the future Eurocode 10 (EN19100) has resulted in the highlighting of the provisions and features necessary for the practical calculation of load-bearing structures made of single and laminated glass.

Glass components are designed for the following limit states: Serviceability Limit State (SLS), when the glass does not fracture; Ultimate Limit State (ULS), when the glass does not fracture; Fracture Limit State (FLS), during fracture; Post Fracture Limit State (PFLS), when the glass has fractured.

In addition to the classification by Consequence Classes (CC), glass components are classified into Limit State Scenarios (LSS).

The basic principles of glass design in accordance with the Swiss Technical Specification SIA 2057 and the future Swiss Standard SIA 268 are presented.

Fracture conditions are divided into five classes from 0 to 4 according to the fracture state verification ('Nachweise im Bruchzustand', NB): NB 0 - no additional verification; NB 1 - to be verified in a partially fractured state under its own weight; NB 2 - to be verified in a fully fractured state under its own weight; NB 3 - to be verified in a partially fractured state under its own weight and other loads; NB 3A -

with one broken glass layer, NB 3B - with two broken glass layers; NB 4 - to be verified in a fully fractured state under its own weight and other loads.

SIA 2057 applies to the design of load-bearing structures and components made of glass as well as to temporary structures. It regulates the structural analysis and design of the following glass components: vertical glazing, horizontal glazing, insulating glazing, fall-protection glazing, accessible glazing, walk-on glazing, trafficable glazing, glass components subject to compressive stress (buckling), glass components subjected to bending around the strong axis (tilting).

Ключові слова: багатошарове скло, напружено-деформований стан, концепція чотирьох граничних станів, граничний стан руйнування, граничний стан після руйнування, сценарії граничних станів laminated (multi-layered) glass, stress-strain state, four-limit states concept, Fracture Limit State (FLS), Post Fracture Limit State (PFLS), limit state scenarios (LSS)

Вступ. Скляні несучі конструкції широко застосовують в сучасному будівництві. Водночас, наразі немає затверджених норм з проектування таких конструкцій. Станом на 2025 рік опубліковано чотири частини європейських технічних специфікацій CEN/TS 19100 [1-4] та проекти перших трьох частин майбутнього Єврокоду 10 (EN 19100) [5-7]. В Швейцарії для проектування конструкційного скла запроваджені технічні специфікації SIA 2057 [8].

Аналіз останніх досліджень. Роботу скляних конструкцій представлено у дослідженнях багатошарових балок [9], плит [10-12], колон [13,14] та впливу різних типів полімерних плівок [15,16]. Окремі положення CEN/TS 19100 розглянуто у статтях Feldmann M., Laurs M., Belis J. [17] та Осадчука Т., Демчини Б., Фамуляка Ю., Михайлечко Н. [19], а SIA 2057 – у роботі Thomas W., Thiemo F., Andreas L. [20].

Постановка мети і задач досліджень. *Мета* – окреслити особливості проектування несучих конструкцій зі скла відповідно до основних положень технічних специфікацій SIA 2057 [8]. Для досягнення поставленої мети були сформульовані такі *завдання*: 1) розглянути основні відомості європейських технічних специфікацій CEN/TS 19100 [1-4], що передують Єврокоду для скляних конструкцій [5-7]; 2) дослідити технічні документи та норми Швейцарії для конструкційного скла (SIA 2057[8], SIA 260[21], SIA 261[22]); 3) провести аналіз вимог та правил, встановлених у відповідних стандартах.

Класифікація скляних конструкцій відповідно до CEN/TS 19100. Згідно з європейськими технічними специфікаціями [1-4] скляні компоненти поділяють на відповідні класи наслідків в залежності від наслідків відмови або несправності (табл. 1).

Таблиця 1

Визначення класів наслідків (СС) скляних компонентів
(на основі табл. 4.1 CEN/TS 19100-1 [1])

Клас наслідків	Опис	Приклади будівель та інженерних споруд
СС3	Вагомі наслідки для людей або дуже серйозні економічні, соціальні чи екологічні наслідки	Трибуни, громадські будівлі, де наслідки відмови є значними (наприклад, концертний зал)
СС2	Середні наслідки для людей, значні економічні, соціальні чи екологічні наслідки	Житлові та офісні будинки, громадські будинки з середніми наслідками відмови (наприклад, офісна будівля)
СС1	Низькі наслідки для людей та малі або незначні економічні, соціальні чи екологічні наслідки	Сільськогосподарські будівлі, які мало відвідують (наприклад, складські приміщення, теплиці)

При цьому, додатково до традиційних граничних станів за несучою здатністю (англ. Ultimate Limit State, ULS) і експлуатаційною придатністю (англ. Serviceability Limit State, SLS), для скляних конструкцій були введені граничний стан руйнування (англ. Fracture Limit State, FLS) і граничний стан після руйнування (англ. Post Fracture Limit State, PFLS).

Крім розподілу за класами наслідків (див. табл. 1), також розглядають сценарії граничних станів (англ. Limit State Scenarios, LSS) скляних компонентів (табл. 2).

Таблиця 2

Сценарії граничних станів (LSS) скляних компонентів
(на основі табл. 4.2 CEN/TS 19100-1 [1])

	Сценарії граничних станів (LSS)			
	LSS-0	LSS-1	LSS-2	LSS-3
Проектування для стану скла без руйнування	SLS	SLS	SLS	SLS
	ULS	ULS	ULS	ULS
Проектування для стану руйнування скла / безпечне руйнування скла		FLS		FLS
Проектування для стану після руйнування / залишкова несуча здатність			PFLS	PFLS

Особливості проектування конструкційного скла відповідно до SIA 2057 (SIA 268). Швейцарські технічні специфікації SIA 2057 [8] передують

майбутнім нормам SIA 268 для скляних конструкцій. Документ містить правила проектування несучих конструкцій і компонентів зі скла, а також тимчасових конструкцій під дією навантажень згідно з SIA 260 [21]. Стандарт базується на остаточній версії європейської технічної специфікації FprCEN/TS 19100-1. Тому, як і в CEN/TS 19100-1 [1], в SIA 2057 [8] введено поняття чотирьох граничних станів (SLS, ULS, FLS і PFLS). Основні положення стосовно цих станів викладені в п.п.4.3-4.6 SIA 2057 [8], а в Розділі 5 [8] описані правила для опирання, застосування і специфікації дев'яти типів скляних компонентів: *вертикальне скління* (п.п.5.2 [8]); *горизонтальне скління* (п.п.5.3 [8]); *ізоляційне скління (склопакети)* (п.п.5.4 [8]); *скло для захисту від падіння* (п.п.5.5.); *скло, доступне для технічного обслуговування* (п.п.5.6 [8]); *скло, по якому можна ходити* (п.п.5.7 [8]); *скло, по якому можна їздити* (п.п.5.8 [8]); *скляні стиснуті елементи / колони* (втрата стійкості) (п.п.5.9 [8]); *скляні компоненти, що піддають згину / балки* (п.п.5.10 [8]).

Перевірки для ULS і SLS відповідно до SIA 2057 [8] є подібними до CEN/TS19100 [1-4]. FLS використовується для захисту людей під час або відразу після руйнування скла. Це досягається шляхом вибору відповідної конструкції скла та опирання. Перевірки PFLS, необхідні для розрахунку залишкової несучої здатності скляних конструктивних елементів у частково або повністю зруйнованому стані, залежать від використання і визначені в Розділі 5 [8].

Умови руйнування поділяють на п'ять класів від 0 до 4 (рис. 1) відповідно до перевірки стану руйнування («Nachweise im Bruchzustand», NB), визначеної в розділі 4.6 SIA 2057 [8]:

- NB 0: не потребує додаткової перевірки.
- NB 1: потребує перевірки у частково зруйнованому стані під власною вагою.
- NB 2: потребує перевірки у повністю зруйнованому стані під власною вагою.
- NB 3: потребує перевірки у частково зруйнованому стані під власною вагою та іншими навантаженнями.
- NB 3A: з одним зруйнованим шаром скла.
- NB 3B: з двома зруйнованими шарами скла.
- NB 4: потребує перевірки у повністю зруйнованому стані під дією власної ваги та інших навантажень.

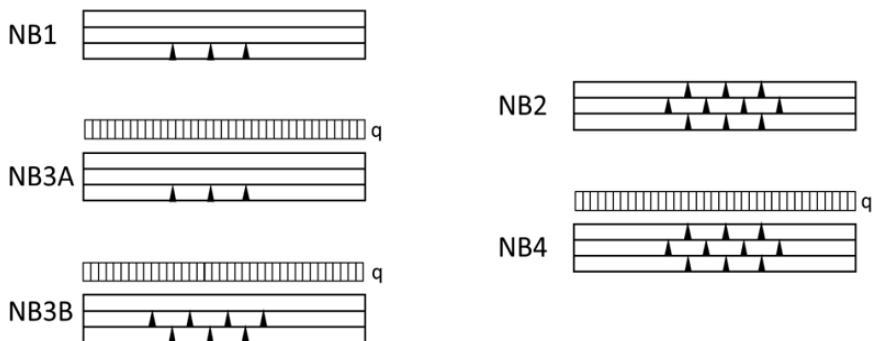


Рис.1. Перевірка PFLS (на основі рис. 3 SIA 2057 [8]).

Згідно з п.п.5.3 SIA 2057 [8] *горизонтальне скління* - це будь-яке скління з нахилом більше 15° до вертикалі, а також спеціальне вертикальне скління (наприклад, навіси), до яких встановлені певні вимоги:

- У випадку двошарової панелі нижнє скло має бути ламінованим та виготовленим з безпечного скла (флоат або термозміцнене скло). Для панелі з 3 або більше шарами скла також можна використовувати загартоване безпечне скло.

- Існують певні обмеження та правила щодо виступу вільного краю.

- Максимальне співвідношення товщини окремих шарів скла в панелі має становити 1:1,7.

- Як правило, мінімальна товщина плівки становить 0,76 мм, за винятком невеликих скляних панелей з лінійним опиранням.

- Несучу здатність у зруйнованому стані не перевіряють для скла, що опирається лінійно з усіх боків (співвідношення сторін $< 3:1$), а також для скла, що підтримується з двох або трьох боків з прольотом $< 1,2$ м. Інші ситуації вимагають перевірки NB3a або NB3b.

- Відхилення від вимог можуть бути зроблені на основі конкретного проекту, якщо це виправдано за рахунок аналізу ризиків.

Горизонтальне скління характерне для будівель з великими віконними фасадами, які призначені для максимального пропускання світла [23].

Згідно з п.п.5.7 SIA 2057 [8] *скло, по якому можна ходити* – це скління призначене для щоденного використання пішоходами і яке підпадає під категорії А, В, С і D SIA 261 [22]. Основні вимоги до такого скління:

- Необхідно забезпечити достатній опір ковзанню, дотримуючись спеціальних стандартів і правил.

- Таке скління має відповідати конструктивним вимогам до горизонтального скління.

- Верхнє скло має бути ламінованим та виготовленим з безпечного скла. Для двошарового безпечного скла можна використовувати тільки флоат-скло або термозміцнене скло. У випадку трьох- (або більше) шарового безпечного

скла можна також використовувати загартоване безпечне скло за умови захисту країв.

- Ширина опирання не повинна бути меншою ніж 20 мм. Необхідно враховувати відповідні будівельні допуски та конструктивні переміщення.

- Слід запобігти ковзанню та підйому.

- Рекомендовано використовувати зносостійкий шар. В результаті отримують багатошарове безпечне скло, в якому верхнє скло не підлягає заміні при зношуванні.

Скло, по якому можна ходити, пропонує рішення для забезпечення прозорості конструкції та безпеки в громадських місцях і будівлях з інтенсивним пішохідним рухом [23].

Згідно з п.п.5.8 SIA 2057 [8] *скло, по якому можна їздити* – це скло, спеціально розроблене для використання відповідно до розділу 8, категорій F або G, а також розділів 9 і 10 SIA 261 [22], і яке повинне відповідати таким вимогам:

- Необхідно забезпечити достатній опір ковзанню, дотримуючись спеціальних стандартів і правил.

- Таке скло має відповідати конструктивним вимогам до горизонтального скління.

- Верхнє скло має бути ламінованим та виготовленим з безпечного скла. Для двох- та трьохшарового ламінованого безпечного скла можна використовувати лише флоат-скло або термозміцнене скло. Загартоване безпечне скло також може використовуватися для 4-шарового (або більше) ламінованого безпечного скла за умови захисту країв.

- Ширина опирання не повинна бути менше ніж 20 мм, включно з урахуванням допусків і структурних переміщень.

- Слід запобігти ковзанню та підйому.

- Рекомендовано використовувати зносостійкий шар. В результаті отримують багатошарове безпечне скло, в якому верхнє скло не підлягає заміні при зношуванні.

- Великі точкові навантаження повинні бути враховані при проектуванні скління і опорної конструкції.

- Краї проїзного скління повинні бути захищені.

Скління з проїзною частиною ідеально підходить для ділянок, які вимагають як прозорих рішень, так і структурної цілісності під дією транспортних навантажень [23].

Згідно з п.п.5.9 SIA 2057 [8] до *скляних елементів, що піддають стиску та вигину (втраті стійкості)*, є такі вимоги:

- Ці компоненти піддають напруженням вздовж своєї осі під дією стискаючих сил, а також вигину (втраті стійкості).

- Перевірка на стійкість повинна виконуватися з урахуванням відповідної довжини вигину скляного компонента.

- Вжливо, щоб прикладання навантаження створювало максимально рівномірний розподіл тиску на компонент.

Ці аспекти мають вирішальне значення для забезпечення структурної безпеки скляних компонентів під тиском [23].

Згідно з п.п.5.10 SIA 2057 [8] до *скляних компонентів, що піддають згину*, висувають такі вимоги:

- Для скляних балок необхідно виконувати перевірку кривизни осі.

- Перевірку стійкості необхідно виконувати з відповідною довжиною кривизни.

- Опори та бічні стабілізатори повинні бути перевірені на жорсткість і несучу здатність.

Для перевірки використовують такі методи:

- нелінійний розрахунок за теорією другого порядку;

- нелінійний розрахунок за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ) з урахуванням заданих недосконалостей;

- розрахункові криві.

Ці правила гарантують, що скляні компоненти відповідають необхідним нормативним вимогам [23].

Висновки та рекомендації. У результаті аналізу технічних специфікацій SIA 2057 з урахуванням вимог майбутнього Eurocode 10 (EN19100) виокремлено правила щодо проєктування, описано технічні характеристики та інші конструктивні особливості, необхідні для практичного розрахунку одно- та багатошарових скляних конструкцій.

Представлено концепцію чотирьох граничних станів, яка, окрім граничних станів за несучою здатністю (ULS) та експлуатаційною придатністю (SLS), передбачає граничний стан руйнування (FLS) і граничний стан після руйнування (PFLS).

Описано класи наслідків (CC) та сценарії граничних станів (LSS) для скляних компонентів.

Розглянуто необхідність проведення перевірок, у тому числі тих, що стосуються несучої здатності, придатності до експлуатації, а також щодо безпечної поведінки при руйнуванні та несучої здатності в зруйнованому стані.

Представлено спеціальні правила для різних типів скління, таких як: горизонтальне скління; скло, по якому можна ходити та їздити; скляних компонентів, що піддають стиску з вигином (колон); скляних компонентів, що піддають згину (балок).

1. CEN/TS 19100-1:2021. Design of glass structures – Part 1: Basis of design and materials. CEN: Brussels, 2021.

2. CEN/TS 19100-2:2021. Design of glass structures – Part 2: Design of out-of-plane loaded glass components. CEN: Brussels, 2021.

3. CEN/TS 19100-3:2021. Design of glass structures – Part 3: Design of in-plane loaded glass components and their mechanical joints. CEN: Brussels, 2021.
4. CEN/TS 19100-4:2024. Design of glass structures – Part 4: Glass selection relating to the risk of human injury – Guidance for specification. CEN: Brussels, 2024.
5. prEN 19100-1: 2024. Eurocode 10 – Design of glass structures – Part 1: General rules. CEN: Brussels, 2024.
6. prEN 19100-2: 2024. Eurocode 10 – Design of glass structures – Part 2: Out-of-plane loaded glass components. CEN: Brussels, 2024.
7. prEN 19100-3: 2024. Eurocode 10 - Design of glass structures – Part 3: In-plane loaded glass components. CEN: Brussels, 2024.
8. SIA 2057:2021-08, SNR 592057:2021-08, Glasbau (DE). Constructions en verre (FR). Costruzioni di vetro (IT). Glass structures (EN). Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA) (DE) / Société suisse des ingénieurs et des architectes (FR) / Società svizzera degli ingegneri e degli architetti (IT) / Swiss society of engineers and architects (EN), Zürich, 2021.
9. Centelles X., Castro J.R., Pelayo F. et al. Experimental study and comparison of different fully transparent laminated glass beam designs. *Glass Struct Eng.* 2021. Volume 6. pp. 463–486. <https://doi.org/10.1007/s40940-021-00160-y>
10. Осадчук Т.Ю., Демчина Б.Г. Дослідження деформацій багат шарових скляних плит за допомогою кореляції цифрових зображень. Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». Серія: Технічні науки та архітектура. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. Випуск 134. С.153–163.
- Osadchuk T.Yu., Demchyna B.H. Doslidzhennia deformatsii bahatosharovykh sklianykh plyt za dopomohoiu koreliatsii tsyfrovyykh zobrazhen. *Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk «Komunalne hospodarstvo mist»*. Seria: Tekhnichni nauky ta arkhitektura. Kharkiv: KhNUMH im. O.M. Beketova, 2017. Vypusk 134. S.153–163.
11. Демчина Б., Осадчук Т. Результати експериментальних досліджень опертих по чотирьох кутах скляних плит з різними типами скла, які працюють на згин. Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія: Архітектура і сільськогосподарське будівництво. Львів: ЛНАУ, 2018. № 19. С. 57–60. <https://doi.org/10.31734/architecture2018.19.057>
- Demchyna B., Osadchuk T. Rezultaty eksperymentalnykh doslidzhen opertykh po chotyrokhn kutakh sklianykh plyt z riznymy tytamy skla, yaki pratsuiut na zghyn. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seria: Arkhitektura i silskohospodarske budivnytstvo*. Lviv: LNAU, 2018. № 19. S. 57–60. <https://doi.org/10.31734/architecture2018.19.057>
12. Dural E. Delamination Resistance of Laminated Glass Plates Having Ethyl Vinyl Acetate, Polyvinyl Butyral and Sentryglas Plus Interlayers. In: Gayoso Martínez, V., Yilmaz, F., Queiruga-Dios, A., Rasteiro, D.M., Martín-Vaquero, J., Mierluș-Mazilu, I. (eds) *Mathematical Methods for Engineering Applications. ICMASE 2023. Springer Proceedings in Mathematics & Statistics*, vol 439. Springer, Cham. 2024. https://doi.org/10.1007/978-3-031-49218-1_20
13. Langosch K., Feldmann M. Design of pane-like laminated glass columns. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings*. 2016. Volume 169, Issue 6. pp. 403–415. <https://doi.org/10.1680/jstbu.13.00117>
14. Oikonomopoulou F., van den Broek E.A.M., Bristogianni T. et al. Design and experimental testing of the bundled glass column. *Glass Struct Eng.* 2017. Volume 2. pp. 183–200. <https://doi.org/10.1007/s40940-017-0041-x>

15. Sable L., Kinsella D., Kozłowski M. Influence of EVA, PVB and Ionoplast Interlayers on the Structural Behaviour and Fracture Pattern of Laminated Glass. *International Journal of Structural Glass and Advanced Materials Research*. 2019. Volume 3, No. 1. pp. 62-78. <https://doi.org/10.3844/sgamrsp.2019.62.78>
16. Bonati A., Pisano G., Royer Carfagni G. Structural Optimization of Laminated Annealed Glass. *Journal of Engineering Mechanics*. 2020. Volume 146, Issue 7. 04020071. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EM.1943-7889.0001805](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0001805)
17. Feldmann M., Laurs M., Belis J. et al. The new CEN/TS 19100: Design of glass structures. *Glass Struct Eng*. 2023. Vol. 8, pp. 317–337. <https://doi.org/10.1007/s40940-023-00219-y>
18. Осадчук Т., Демчина Б., Фамуляк Ю., Михайличко Н. Проектування конструкційного скла відповідно до CEN/TS 19100. Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Архітектура та будівництво. Львів: ЛНУП, 2024. № 25. С. 60–65. <https://doi.org/10.31734/architecture2024.25.060>
- Osadchuk T., Demchyna B., Famuliak Yu., Mykhailechko N. Proiektuvannia konstruktсионoho skla vidpovidno do CEN/TS 19100. Visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu pryrodokorystuvannia. Seriiia Arkhitektura ta budivnytstvo. Lviv: LNUP, 2024. № 25. S. 60–65. <https://doi.org/10.31734/architecture2024.25.060>
19. Thomas W., Thiemo F., Andreas L. New Swiss technical specification SIA 2057 for glass structures and its post failure limit state concept. *Glass Struct Eng*. 2023. Vol. 8, pp. 339–351. <https://doi.org/10.1007/s40940-023-00227-y>
21. SIA 260:2013. Grundlagen der Projektierung von Tragwerken (DE). Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses (FR). Basi per la progettazione di strutture portanti (IT). Basis of Structural Design (EN). Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA) (DE) / Société suisse des ingénieurs et des architectes (FR) / Società svizzera degli ingegneri e degli architetti (IT) / Swiss society of engineers and architects (EN), Zürich, 2013.
22. SIA 261:2020. Einwirkungen auf Tragwerke (DE). Actions sur les structures porteuses (FR). Azioni sulle strutture portanti (IT). Actions on structures (EN). Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA) (DE) / Société suisse des ingénieurs et des architectes (FR) / Società svizzera degli ingegneri e degli architetti (IT) / Swiss society of engineers and architects (EN), Zürich, 2020.
23. Glasdimensionierung in der Anwendung. URL: <https://www.glastoesch.com/ch/de/service/fachwissen/glas-und-praxis/anwendungstechnik/glasdimensionierung-in-der-anwendung>