УДК 624.07+691.615

ПРОЄКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНОГО СКЛА ВІДПОВІДНО ДО CEN/TS 19100

Т. Осадчук, к. т. н.[1]
ORCID ID: 0000-0002-8686-7056
Б. Демчина, д. т. н.[2]
ORCID ID: 0000-0002-3498-1519
Ю. Фамуляк, к. т. н.[1]
ORCID ID: 0000-0003-3044-5513
Н. Михайлечко[1]
ORCID ID: 0009-0008-6266-9224
[1] *Львівський національний університет природокористування*
[2] *Національний університет «Львівська політехніка»*

https://doi.org/10.31734/architecture2024.25.060

Осадчук Т., Демчина Б., Фамуляк Ю., Михайлечко Н. Проєктування конструкційного скла відповідно до CEN/TS 19100

Проаналізовано наявні нормативні документи з проєктування конструкційного скла. У зв'язку з відсутністю затверджених норм, розглянуто деякі положення технічних специфікацій CEN/TS 19100 та окремих частин проєкту майбутнього Єврокоду 10 (EN 19100). CEN/TS 19100 (prEN 19100) «Проєктування скляних конструкцій» передбачають чотири частини: 1) Основи проєктування та матеріали; 2) Проєктування скляних компонентів, навантажених поза площиною; 3) Проєктування скляних компонентів із навантаженням у площині та їх механічних з'єднань; 4) Вибір скла з урахуванням ризику травмування людей – Настанова щодо специфікації.

Загалом документи європейської організації зі стандартизації CEN поширюються на будівельне проєктування механічно опертих скляних компонентів та вузлів скляних компонентів. Вони відповідають принципам і вимогам, які наведені в EN 1990, та стосуються безпеки й експлуатаційної придатності конструкцій, основ їх проєктування та перевірки.

У CEN/TS 19100-1 (prEN 19100-1) описано основні правила будівельного проєктування механічно опертих скляних компонентів. Документ містить вимоги до питань безпеки, несучої здатності, посилання на стандарти для різних типів скла, міцності скла та інших властивостей. CEN/TS 19100-2 (prEN 19100-2) застосовують до конструктивного проєктування скляних компонентів, навантажених поза площиною. В документі наведено положення з проєктування поперечно навантажених скляних елементів, розрахунок ламінованого скла та склопакетів. CEN/TS 19100-3 (prEN 19100-3) поширюються на конструктивне проєктування скляних компонентів, навантажених у площині. CEN/TS 19100-4 стосуються запобігання ризиків травмування людей, а також вказівок щодо специфікацій.

Ключові слова: CEN/TS 19100, Єврокод 10 (prEN 19100), конструкційне скло, несуча здатність, безпека, міцність скла, експлуатаційна придатність.

Osadchuk T., Demchyna B., Famuliak Yu., Mykhailechko N. Structural glass design according to CEN/TS 19100

The work analyzes the existing regulatory documents on the design of structural glass. Due to the absence of approved standards, some provisions of the CEN/TS 19100 technical specifications and certain parts of the draft of the future Eurocode 10 (EN 19100) are considered. CEN/TS 19100 (prEN 19100) "Design of glass structures" consists of four parts: 1) Basis of design and materials; 2) Design of out-of-plane loaded glass components; 3) Design of in-plane loaded glass components and their mechanical joints; 4) Glass selection relating to the risk of human injury – Guidance for specification.

In general, the European Committee for Standardisation (CEN) documents apply to the structural design of mechanically supported glass components and assemblies of glass components. They follow the principles and requirements of EN 1990 and cover the safety and serviceability of structures, the principles of their design and verification.

CEN/TS 19100-1 (prEN 19100-1) describes the basic rules for the construction design of mechanically supported glass components. The document includes requirements for safety, load-bearing capacity, references to standards for different types of glass, glass strength and other properties. CEN/TS 19100-2 (prEN 19100-2) applies to the structural design of glass components loaded out of plane. The document includes provisions for the design of laterally loaded glass elements, calculation of laminated glass and insulating glass units. CEN/TS 19100-3 (prEN 19100-3) applies to the structural design of in-

plane loaded glass components. CEN/TS 19100-4 deals with provisions relating to the risk of human injury and guidelines for glass specification.

Keywords: CEN/TS 19100, Eurocode 10 (prEN 19100), structural glass, load-bearing capacity, safety, glass strength, serviceability.

Постановка проблеми. Несучі конструкції зі скла – важлива складова сучасного будівництва. Сьогодні для таких конструкцій немає затверджених норм із проєктування. Водночас європейська організація зі стандартизації CEN розробляє майбутній Єврокод 10 (EN 19100). У 2021 році було опубліковано перші три частини технічних специфікацій CEN/TS 19100 [6–8], у 2024 році – четверта [9]. Також, станом на 2024 рік уже представлено проєкти перших трьох частин prEN 19100 [12–14]. З огляду на це необхідно проаналізувати наявні джерела з проєктування скляних та багатошарових скляних конструкцій для розроблення відповідних методик інженерного розрахунку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Результати експериментальних досліджень та запропоновані методи розрахунку скляних багатошарових конструкцій представлені у працях Т. Осадчука, Б. Демчини та ін. [1–4; 10]. Загальні положення CEN/TS 19100 наведено у статті М. Фельдманна, М. Лаурса, Я. Беліса та ін. [13]. М. М. Россо, А. Алоїзіо, К. Бедон та ін. [17] розглянули застосування конструкційного скла для пішохідної доріжки відповідно до CEN/TS 19100.

Постановка завдання. Наше завдання – проаналізувати наявні нормативні та технічні документи, а також окремі положення майбутнього Єврокоду 10 для проєктування скляних несучих конструкцій.

Виклад основного матеріалу. Європейські технічні специфікації CEN/TS 19100 [6–9] – документи, що передують Єврокоду для скляних конструкцій [14–16]. Попередньо розробили спеціальну систему класів наслідків відмови скла (*англ.* **G**lass Failure **C**onsequences **C**lasses, G-CC) (рис. 1, табл. 1 [5]).

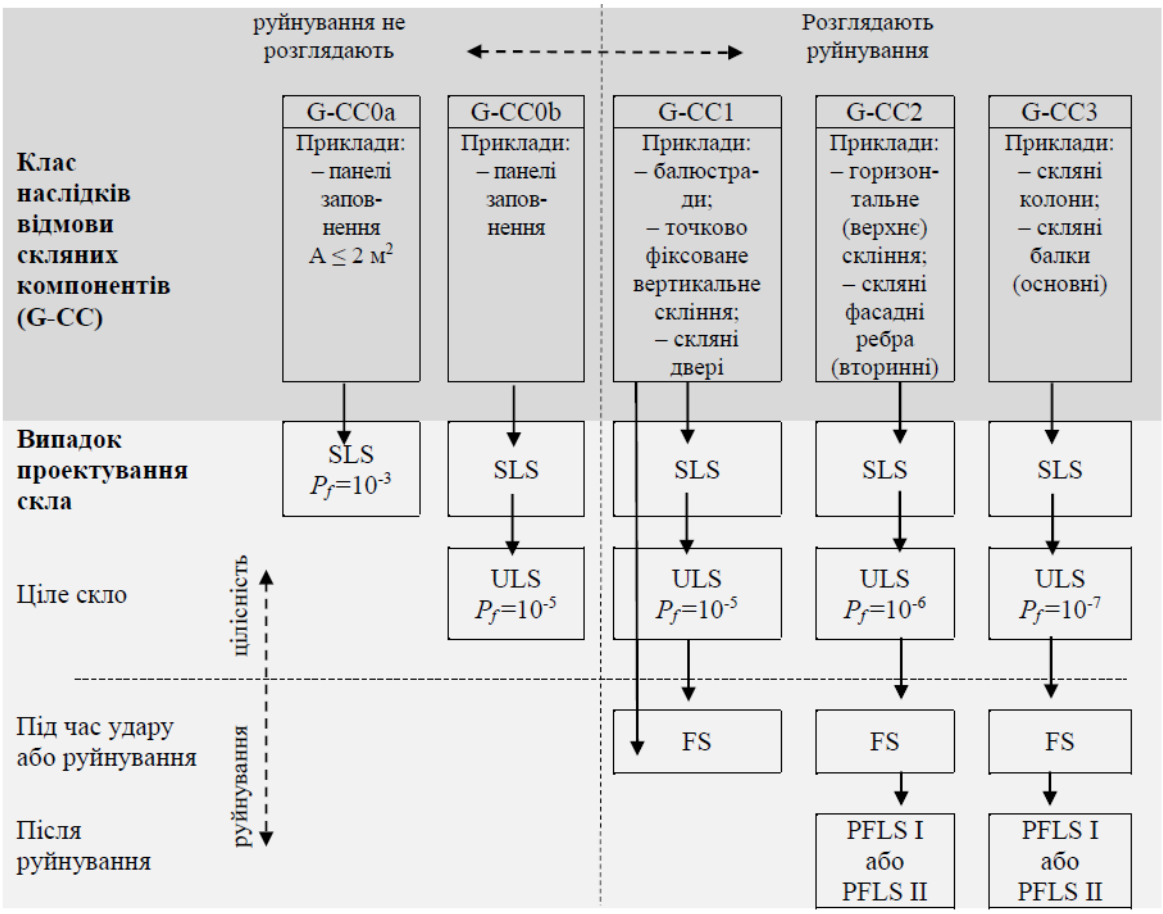


Рис. 1. Методологія проєктування скла [5]

Таблиця 1

Параметри класів наслідків для скляних компонентів [5]

G-CC	***G-CC0a***	***G-CC0b***	***G-CC1***	***G-CC2***	***G-CC3***
Приклади див. рис.1	*Панель заповнення*		*– балюстради; – точково фіксоване вертикальне скління; – скляні двері*	*– горизонтальне (верхнє) скління; – скляні фасади (вторинні)*	*– підлоги; – колони; – балки (основні)*
	$A < 2$ м^2	*більші*			
$P_{f,t,1}$	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
$\beta_{t,1}$	***3,0*** *(3,090)*	***3,7*** *(3,719)*	***4,2*** *(4,265)*	***4,7*** *(4,753)*	***5,2*** *(5,199)*
$P_{f,t,50}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$
$\beta_{t,50}$	***1,6*** *(1,645)*	***2,6*** *(2,576)*	***3,3*** *(3,291)*	***3,8*** *(3,891)*	***4,3*** *(4,417)*
k_f	*0,7*	*0,8*	*0,9*	*1*	*1,1*
γ_G	*1*	*1,1*	*1,2*	*1,35*	*1,5*
γ_Q	*1,05~1*	*1,2*	*1,35*	*1,5*	*1,65*

Позначення:
$P_{f,t,1}$ – імовірність руйнування (річна); $\beta_{t,1}$ – індекс надійності (річний);
$P_{f,t,50}$ – імовірність руйнування (50 років); $\beta_{t,50}$ – індекс надійності (50 років);
γ_G, γ_Q – коефіцієнти надійності відповідно до EN 1990 [11];
k_f – коефіцієнт наслідків відповідно до EN 1990 [11]

CEN/TS 19100 «Проєктування скляних конструкцій» містить чотири частини [6–9]:

– Частина 1: Основи проєктування та матеріали;

– Частина 2: Проєктування скляних компонентів, навантажених поза площиною;

– Частина 3: Проєктування скляних компонентів із навантаженням у площині та їхніх механічних з'єднань;

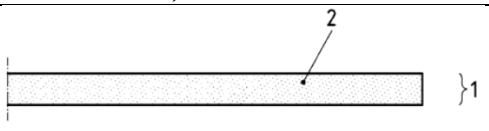
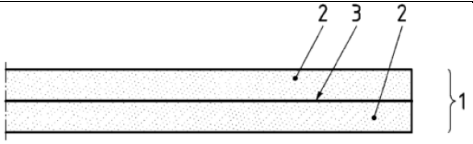
– Частина 4: Вибір скла з урахуванням ризику травмування людей - Настанова щодо специфікації.

У CEN/TS 19100-1 [6] наведено основні правила будівельного проєктування механічно опертих скляних компонентів та вузлів скляних компонентів відповідно до CEN/TS 19100-2 [7] та CEN/TS 19100-3 [8].

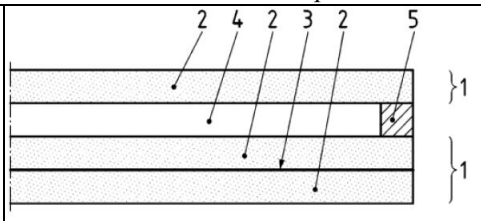
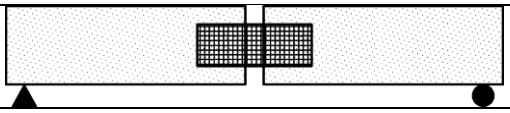
Згідно з CEN/TS 19100-1 [6] розрізняють скляний компонент, скляний елемент і конструкцію із скляних елементів. Схеми основних термінів представлено у табл. 2.

Таблиця 2

Скляний компонент, скляний елемент і система скляних елементів (відповідно до табл. 3.1 CEN/TS 19100-1 [6])

Скляний компонент	Одинарне скло	 Позначення: 1 – панель 2 – одинарний шар
	Багатошарове скло	 Позначення: 1 – панель 2 – шар 3 – прошарок

Продовження табл. 2

	Склопакет	 Позначення: 1 – панель 2 – шар 3 – прошарок 4 – порожнина 5 – прокладка
Скляний елемент	Скляний компонент + опирання	
Конструкція із скляних елементів	Скляні компоненти + вузли + опирання	

Враховуючи наслідки відмови (англ. *failure*) або несправності (англ. *malfunction*), скляні компоненти класифікують відповідно до класів наслідків (аланг. *Consequences Classes*) (табл. 3).

Таблиця 3

Визначення класів наслідків (відповідно до табл. 4.1 CEN/TS 19100-1 [6])

Клас наслідків	**Опис**	**Приклади будівель та інженерних споруд**
CC3	**Вагомі** наслідки для людей *або* **дуже серйозні** економічні, соціальні чи екологічні наслідки	Трибуни, громадські будівлі, де наслідки відмови є значними (наприклад, концертний зал)
CC2	**Середні** наслідки для людей, **значні** економічні, соціальні чи екологічні наслідки	Житлові та офісні будинки, громадські будинки з середніми наслідками відмови (наприклад, офісна будівля)
CC1	**Низькі** наслідки для людей *та* **малі або незначні** економічні, соціальні чи екологічні наслідки	Сільськогосподарські будівлі, які мало відвідують (наприклад, складські приміщення), теплиці

Скляні компоненти проєктують для таких станів (див. рис. 1):

– граничний стан за експлуатаційною придатністю (англ. *Serviceability Limit State, SLS*), коли скло не руйнується;

– граничний стан за несучою здатністю (англ. Ultimate Limit State, ULS), коли скло не руйнується;

– граничний стан руйнування (англ. *Fracture Limit State, FLS*), під час руйнування;

– граничний стан після руйнування (англ. *Post Fracture Limit State, PFLS*), коли скло зруйнувалося.

Отже, окрім традиційних граничних станів ULS і SLS, для скляних конструкцій були введені граничний стан руйнування (FLS) і граничний стан після руйнування (PFLS). ULS і SLS передбачають граничні стани непошкоджених (неушкоджених) скляних компонентів. Перевірки *FLS* і *PFLS* можна виконувати розрахунком (теоретична оцінка) або випробуванням. У ситуаціях, коли ризик розбиття (англ. *breakage*) існує та є критичним, проєктування має починатися з розгляду *FLS* та *PFLS* відповідно.

Додатково до класифікації за класами наслідків (CC) (див. табл. 3), скляні компоненти відносять до сценаріїв граничних станів (англ. *Limit State Scenarios, LSS*) (табл. 4).

Таблиця 4

Сценарії граничних станів (LSS) залежно від граничного стану або стану руйнування (відповідно до табл. 4.2 CEN/TS 19100-1 [6])

	Сценарії граничних станів (LSS)			
	LSS-0	LSS-1	LSS-2	LSS-3
Проєктування для стану скла без руйнування (англ. *unfractured glass state*)	SLS	SLS	SLS	SLS
	ULS	ULS	ULS	ULS
Проєктування для стану руйнування скла (англ. *glass fracture state*) / безпечне руйнування скла (англ. *safe glass fracture*)		FLS		FLS
Проєктування для стану після руйнування (англ. *post-fractured state*) / залишкова несуча здатність (англ. *residual load capacity*)			PFLS	PFLS

Характеристичні значення дій для проєктування скляних конструкцій, зокрема будь-які місцеві, кліматичні та випадкові ситуації, обирають з відповідних частин EN 1991 [12].

Коефіцієнти комбінації беруть з EN 1990, враховуючи ось що:

– коефіцієнти комбінації навантажень для SLS слід обирати відповідно до Розділу 9 [6];

– коефіцієнти комбінації навантажень для ULS слід обирати відповідно до основної комбінації навантажень згідно з EN 1990 [11];

– коефіцієнти комбінацій навантажень для FLS і PFLS слід обирати відповідно до комбінації навантажень для випадкової розрахункової ситуації згідно з EN 1990 [11].

Типові значення граничних прогинів для класу деформації 2-SLS, які використовують разом із комбінацією характеристичних навантажень, наведено в табл. 5.

Таблиця 5

Типові граничні прогини для скляних компонентів класу деформації 2-SLS (відповідно до табл. 9.1 CEN/TS 19100-2 [7])

Застосування	**Умови опирання**	**Граничний прогин опертих країв**	**Граничний прогин вільного краю**	**Граничний прогин у центрі**
Скляний компонент	Опирання по всіх краях	EN 13830:2015 +A1:2020, п.п. 5.7		L/50 [(a)]
	Опирання по двох або трьох краях		L/100 [(c)]	
	Локальне защемлення вздовж двох або трьох країв	L/150 [(b)]	L/100 [(c)]	L/50 [(a)]
	Точково фіксований		L/100 [(c)] [(d)]	L/50 [(a)] [(d)]
Підлога	Опирання по всіх краях			L/200, будь-який захисний верхній шар не слід брати до уваги для розрахунку прогину
Підлоговий або сходовий проступ	Опирання по двох краях			
Балюстрада	Защемлення по нижньому краю		[(1)]	
Склопакет	Опирання по всіх краях	EN 13830:2015 +A1:2020, п.п. 5.7		L/50 [(a)]
	Опирання по двох або трьох краях		L/150 [(c)]	
	Точково фіксований			

[a] *L* – довжина короткої сторони

[b] *L* – відстань між двома точками кріплення

[c] *L* – довжина сторони без опирання

[d] Потрібно застосувати або граничний прогин *L*/100 на краю, або *L*/50 у центрі

[1] Прогин не повинен утворювати щілину ширше ніж 50 мм між двома сусідніми елементами з висотою 1 м над рівнем чистової підлоги

Висновки. У результаті аналізу технічних специфікацій та проєктів частин майбутнього Єврокоду 10 (EN19100) виокремлено положення й особливості, необхідні для практичного розрахунку несучих конструкцій з одно- та багатошарового скла. Зокрема розглянуто класифікацію скляних елементів за граничними станами (SLS, ULS, FLS, PFLS), класами наслідків (CC) та сценаріями граничних станів (LSS). Представлено типові значення граничних прогинів для конструкцій класу деформації 2-SLS залежно від застосування та умов опирання.

Бібліографічний список

1. Демчина Б., Осадчук Т. Результати експериментальних досліджень опертих по чотирьох кутах скляних плит із різними типами скла, які працюють на згин. *Вісник Львівського національного аграрного університету: архітектура і сільськогосподарське будівництво*. 2018. № 19. С. 57–60. https://doi.org/10.31734/architecture2018.19.057.

2. Осадчук Т. Ю., Демчина Б. Г. Дослідження деформацій багатошарових 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. Вип. 134. С. 153–163.

3. Осадчук Т. Ю., Демчина Б. Г. Дослідження міцності багатошарових скляних плит, які працюють на згин від зосередженого навантаження штампом. *Будівельне виробництво: міжвідомчий науково-технічний збірник*. Київ: НДІБВ, 2016. № 60. С. 58–63.

4. Осадчук Т. Ю., Фамуляк Ю. Є., Регуш А. Я., Буханєц Д. Визначення сімейства жорсткості проміжного шару для розрахунку ефективної товщини багатошарових скляних плит. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: збірник наукових праць*. Рівне: НУВГП, 2023. Вип. 44. С. 283–291. https://doi.org/10.31713/budres.v0i44.31.

5. Background Glass – Part 1 – Design value bending strength. URL: https://www.greenhousecodes.com/downloads/Background%20Glass%20-%20Part-1%20-%20Design%20value%20bending%20strength.pdf (дата звернення: 26.06.2024).

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

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

8. 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.

9. 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.

10. Demchyna B., Hula V., Vozniuk L. The experimental research of flexural strength and deformation of one-layer glass slabs that work on bending. *AIP Conf. Proc*. 2023. Vol. 2949. 020010. https://doi.org/10.1063/5.0165293.

11. EN 1990. Eurocode: Basis of structural design. CEN: Brussels, 2023.

12. EN 1991. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1–4. CEN: Brussels.

13. Feldmann M., Laurs M., Belis J. et al. The new CEN/TS 19100: Design of glass structures. *Glass Struct Eng.* 2023. Vol. 8. P. 317–337. https://doi.org/10.1007/s40940-023-00219-y.

14. prEN 19100-1: 2024. Eurocode 10 – Design of glass structures – Part 1: General rules. CEN: Brussels, 2024.

15. prEN 19100-2: 2024. Eurocode 10 – Design of glass structures – Part 2: Out-of-plane loaded glass components. CEN: Brussels, 2024.

16. prEN 19100-3: 2024. Eurocode 10 - Design of glass structures – Part 3: In-plane loaded glass components. CEN: Brussels, 2024.

17. Rosso M. M., Aloisio A., Bedon C., Marano G. C. Laminated glass slabs design challenges: dynamic identification of a fractured pedestrian walkway. *CE/Papers*. 2023. Vol. 6, No 5. P. 286–291. https://doi.org/10.1002/cepa.2084.

Стаття надійшла 09.10.2024