АРХІ
ТЕКТУ
РНИЙ
КЛУБ
УЦСБ

КОНСТРУКТИВНА ФОРМА І РОЛЬ СТАЛІ В АРХІТЕКТУРІ

БІЛИК АРТЕМ

к.т.н., доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій
Київського національного університету будівництва та архітектури
Голова інженерного центру УЦСБ

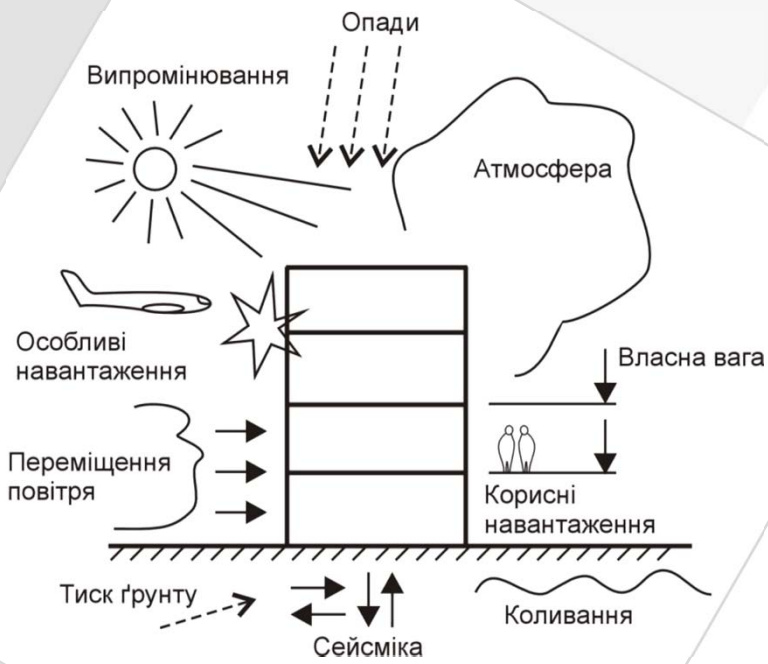
КОНС
ТРУКТ
ИВНА
ФОР
МА

Конструктивна форма - це схема конструкції з обґрунтовано вибраними генеральними розмірами, вирішенням несучої конструкції, з продуманими технологічними особливостями виготовлення, монтажу і експлуатації

ПРО
ЕКТ
УВА
ННЯ

Проектування - унікальна, обмежена у часі, ресурсах і строках діяльність, спрямована на створення конструктивної форми, що відповідає заданим вимогам і рівню надійності

ПАРАДИГМА

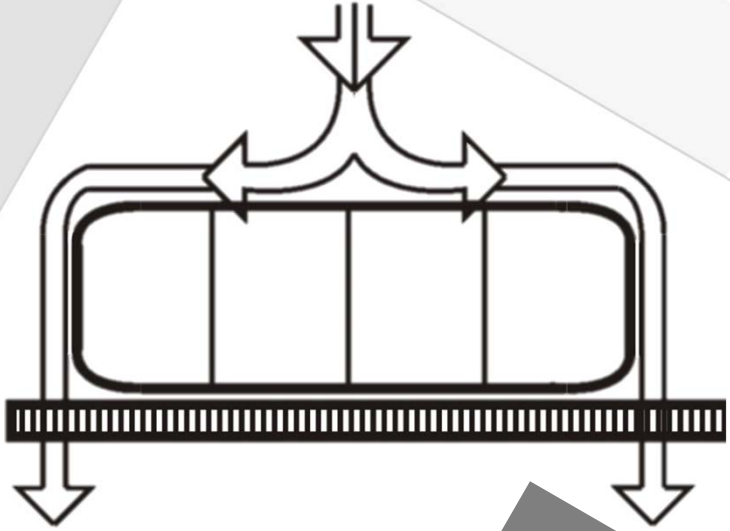


Архітектура формує простір для людини шляхом перетворення матерії і надання їй форми

ПРОБЛЕМА

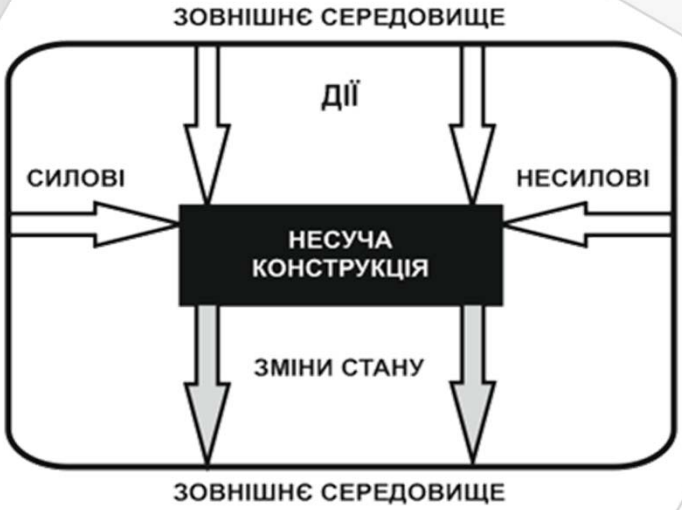
Матеріальна форма знаходиться під діями зовнішнього середовища, які загрожують її існуванню

ВИРІШЕННЯ



Несуча конструкція - механізм, який відводить дії зовнішнього середовища у напрямках, які не шкодять формі і простору

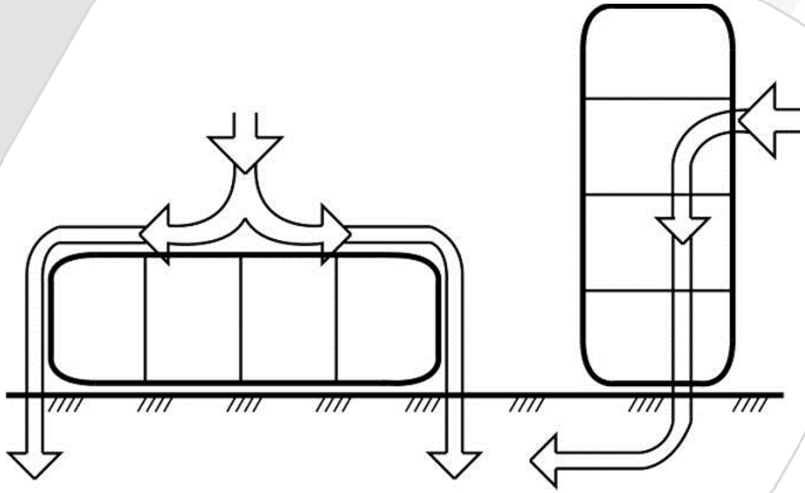
Протиставити принципу максимуму ентропії ми можемо тільки наші матеріали та конструкторський геній



Несуча конструкція
з точки зору системного підходу

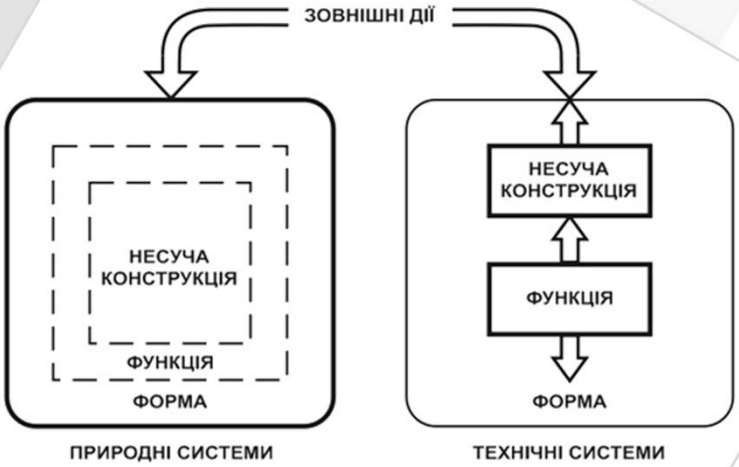
Зовнішні дії на металеві конструкції

Силові: навантаження	Несилові: впливи
• власна вага • корисна вага та обладнання • атмосферні: снігові, вітрові • аварії, вибухи, удари • температурні • сейсміка, деформації основи • вібрації, динаміка тощо	• волога • агресивність середовища • хімічні речовини • радіація • біологічні фактори • блукаючі струми • статична електрика



Місія несучої системи - відведення дій у безпечному напрямку

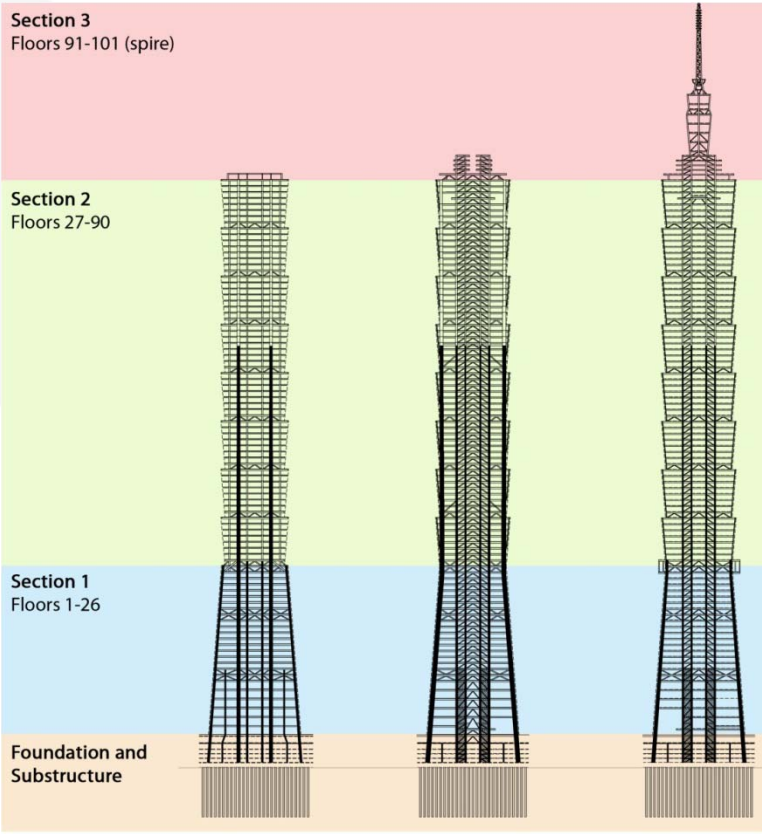
Несуча конструкція як система має точки сприйняття вхідних сигналів – навантажень і впливів, механізми їх перетворення та точки виходу – де можемо спостерігати відгук системи на дію



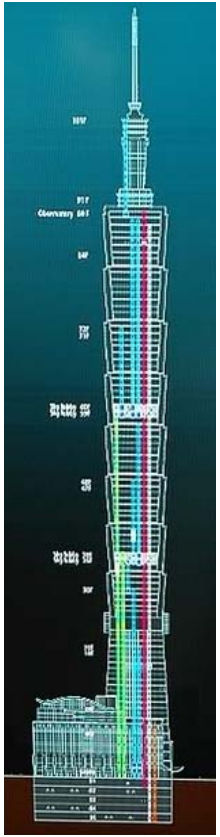
У природних системах – несуча конструкція невід'ємна від функції і форми об’єкта

У штучних – функція зумовлює несучу конструкцію, яка існує окремо від неї у формі об’єкта

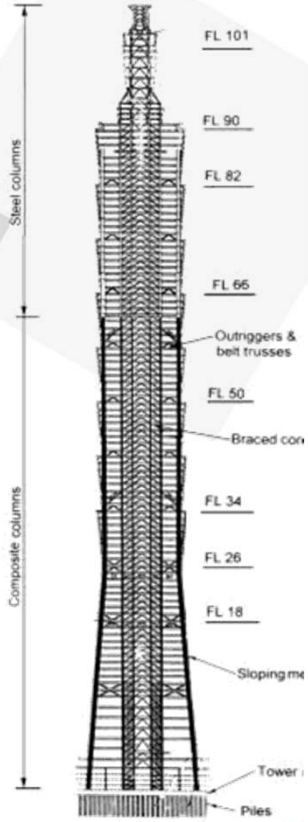
Taipei 101
2004 р., 509 м, Тайвань

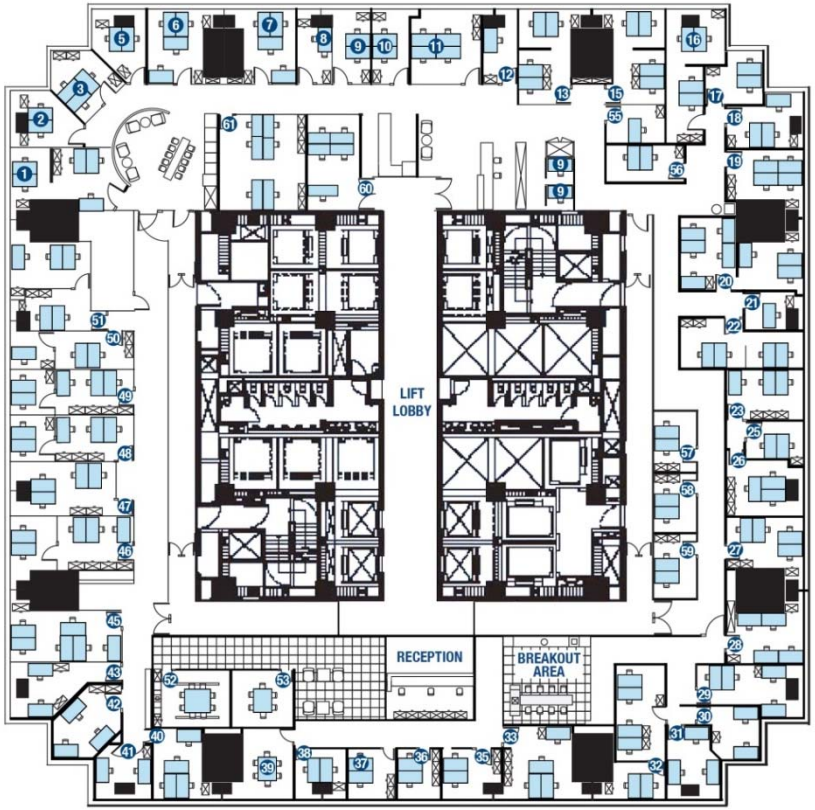


Несуча система



Система вертикального транспорту



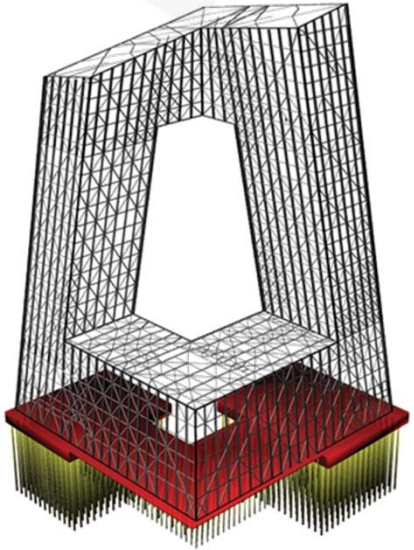


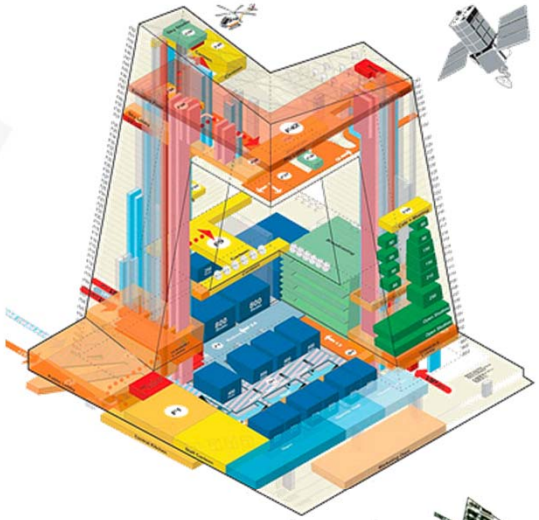
Taipei 101 (Тайвань) 101 пов., висота 509 м, арх. бюро Lee & Partners, конструктив Thornton Tomasetti, 2004 р. Відстань до ядра – 12 м

Карадаґ,
«Золоті Ворота»

↑ CCTV Building,
Пекін, 234 м, 2008 р.

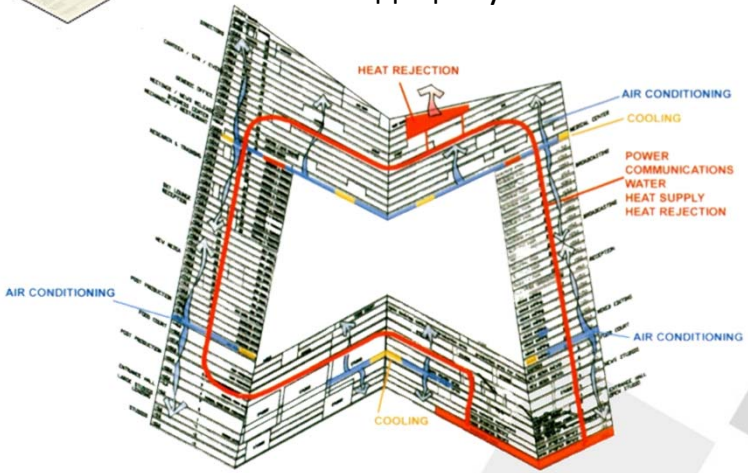
↓ Зовнішня
несуча система





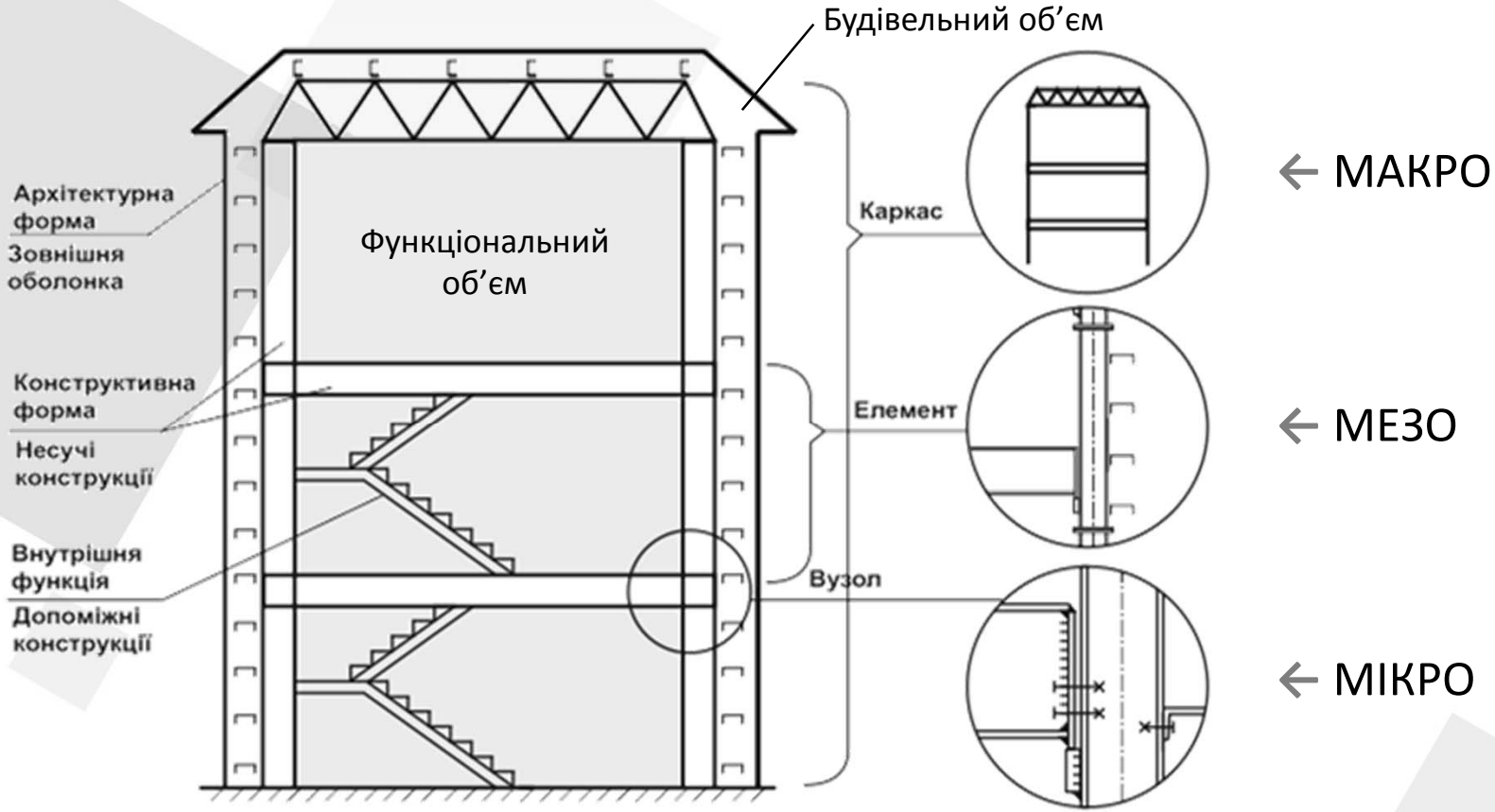
← Системи
функціонального
призначення

↓ Система опалення і
кондиціонування

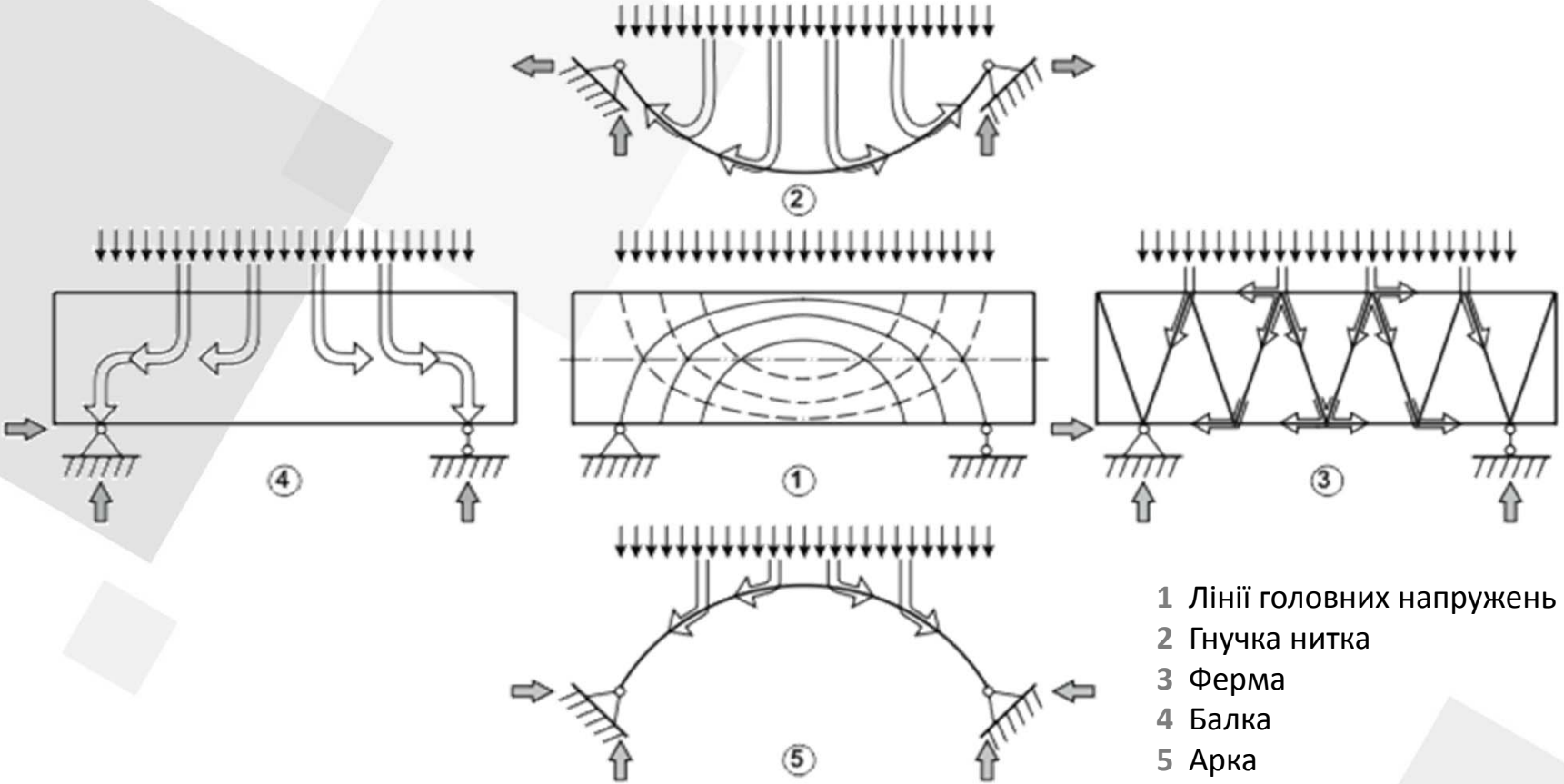


Етапи проектування		Рівні архітектурного вираження
Концепція, ескізне проектування		Комплексна містоутворююча забудова
Техніко-економічне обґрунтування, проект		Архітектура будівель і споруд
Робоче проектування		Внутрішній дизайн середовища

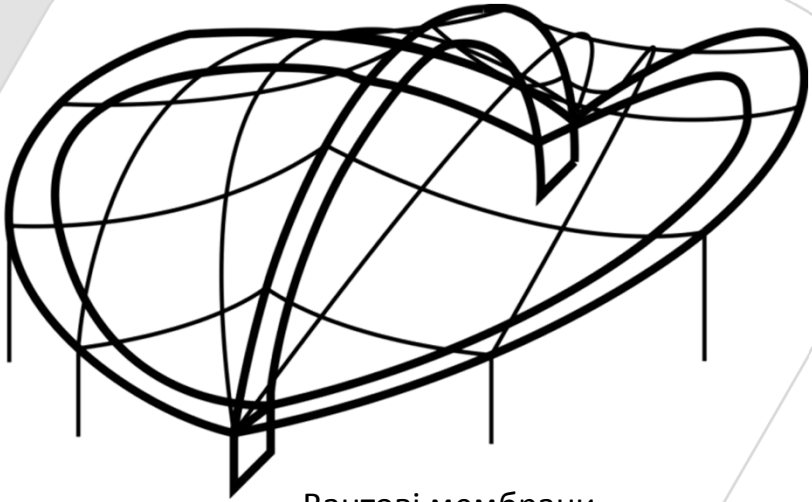
Рівні ієрархії конструктивної форми та можливого архітектурного вираження



Конструктивні механізми сприйняття та заземлення силових дій



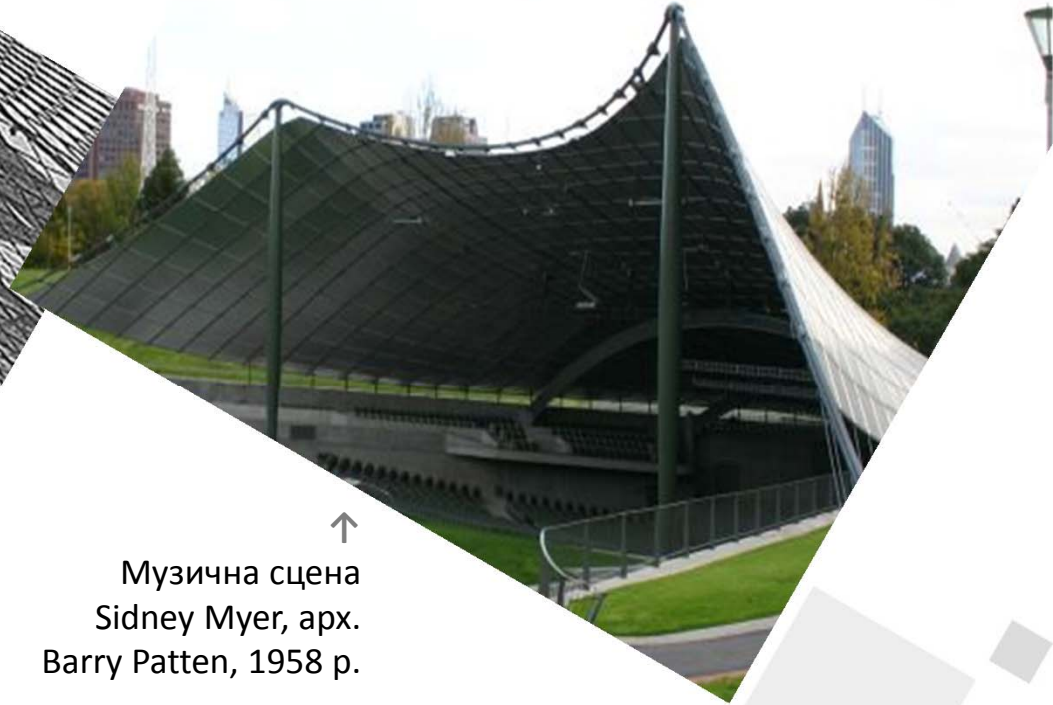
1 Лінії головних напружень
2 Гнучка нитка
3 Ферма
4 Балка
5 Арка



Вантові мембрани

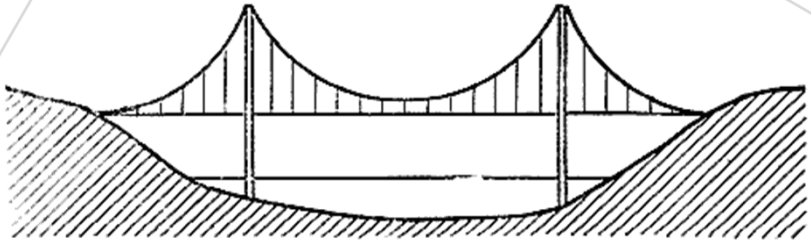
Активна	**Форма**
Дія	Адаптація до сил
Напружений стан	Одновісний +N
Конструкції	Гнучкі нитки, сфера з внутрішнім тиском

↓ Попередньо напружена сталева вантова оболонка Овального павільйону Володимира Шухова, 1895 р.



↑ Музична сцена Sidney Myer, арх. Barry Patten, 1958 р.

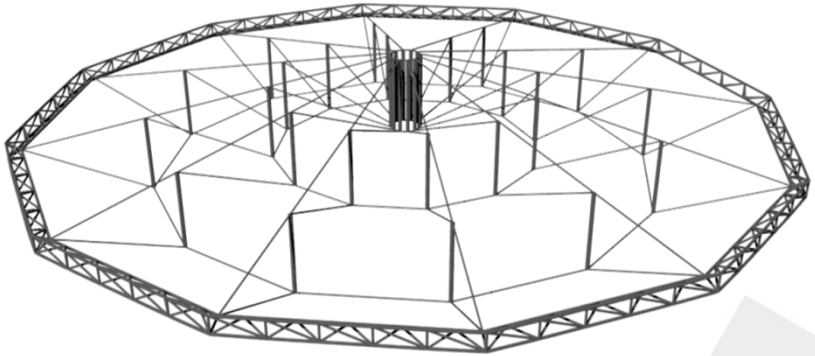
↑ Міст Akashi-Kaikyō, висячий міст з рекордним прольотом 1991 м, 1998 р.



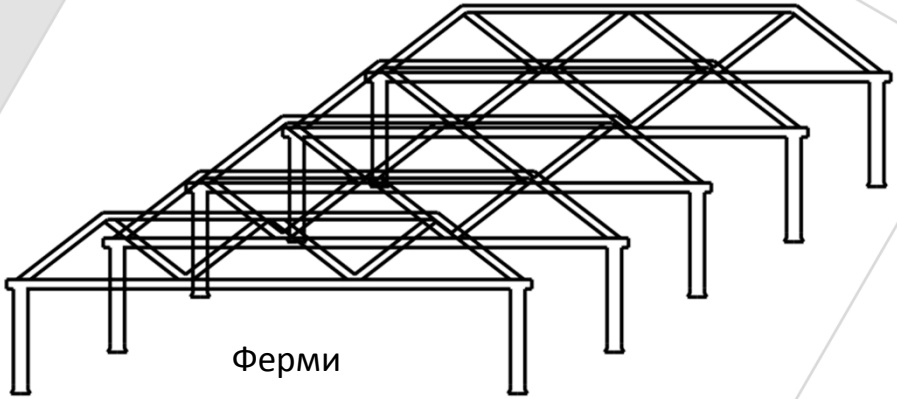
↑ Конструкція підвісного мосту із горизонтальною проїжджою частиною на підвісках із канатів була запропонована американським інженером James Finley у 1796 р.

Вантова башта Science City - Kolkata 2010

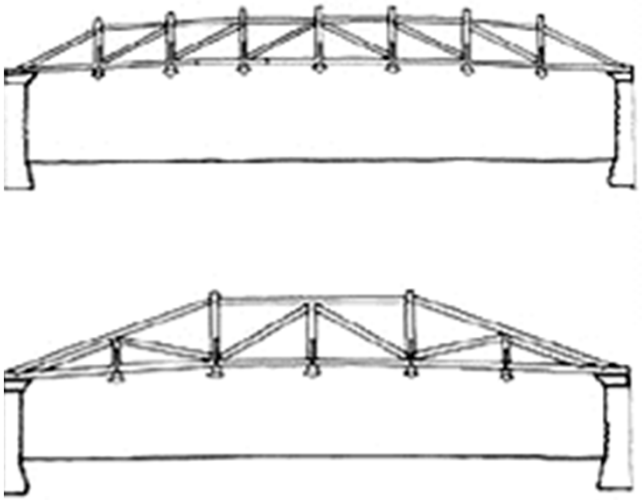
Стадіон Tropicana field, США, діаметром 270 м, 1990 р.



Тенсегріті Бакмінстера Фуллера та Кеннета Снельсона

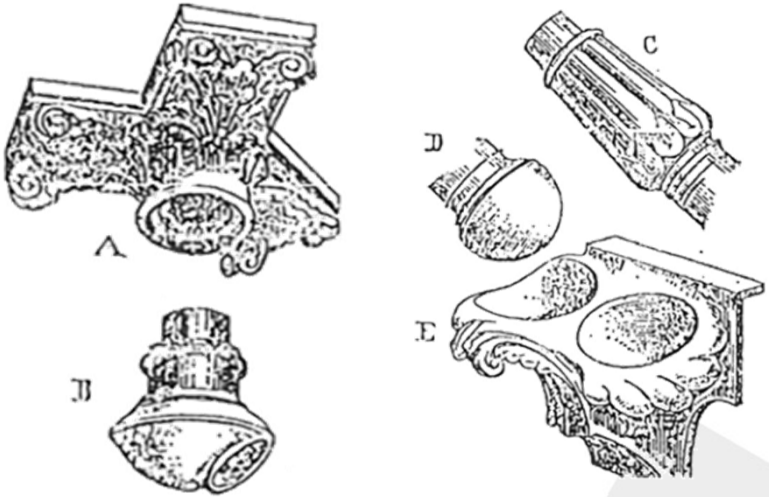


Активний	**Вектор**
Дія	Розклад сил всередині системи
Напружений стан	Одновісний +N і -N
Конструкції	Стержньові решітчасті



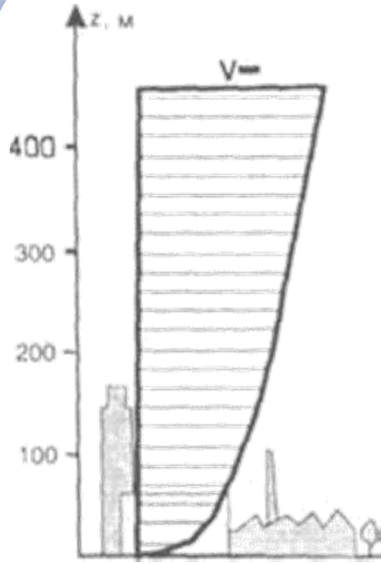
Системно як конструктивна форма **перші ферми** описані у трактаті відомого італійського архітектора Андреа Палладіо Quattro Libri dell'Architettura (Чотири книги про архітектуру) у 1570р.

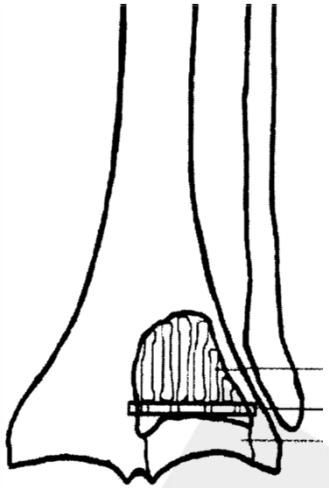
Перші стержньові системи, виконані із металевих стержнів, були розроблені у 19 ст. французьким архітектором Віолет-ле-Дюком та інженером Гюставом Ейфелем

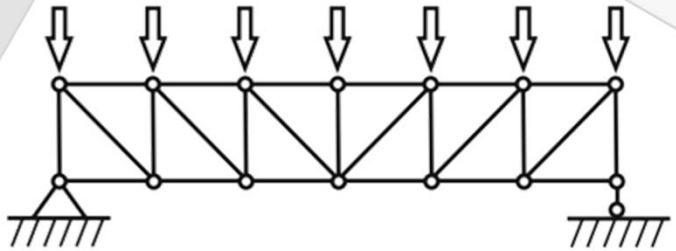


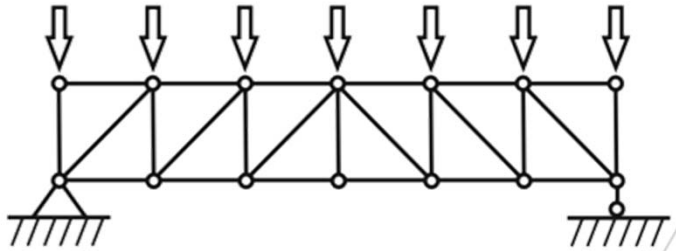
Ейфелева вежа, 1889 р., висота 324 м

Конструктивна і архітектурна форма Ейфелевої вежі практично повністю повторює розташування кісткових балок великоберцевої кістки, що витримує вагу людського тіла та відповідає епюрі вітрового навантаження

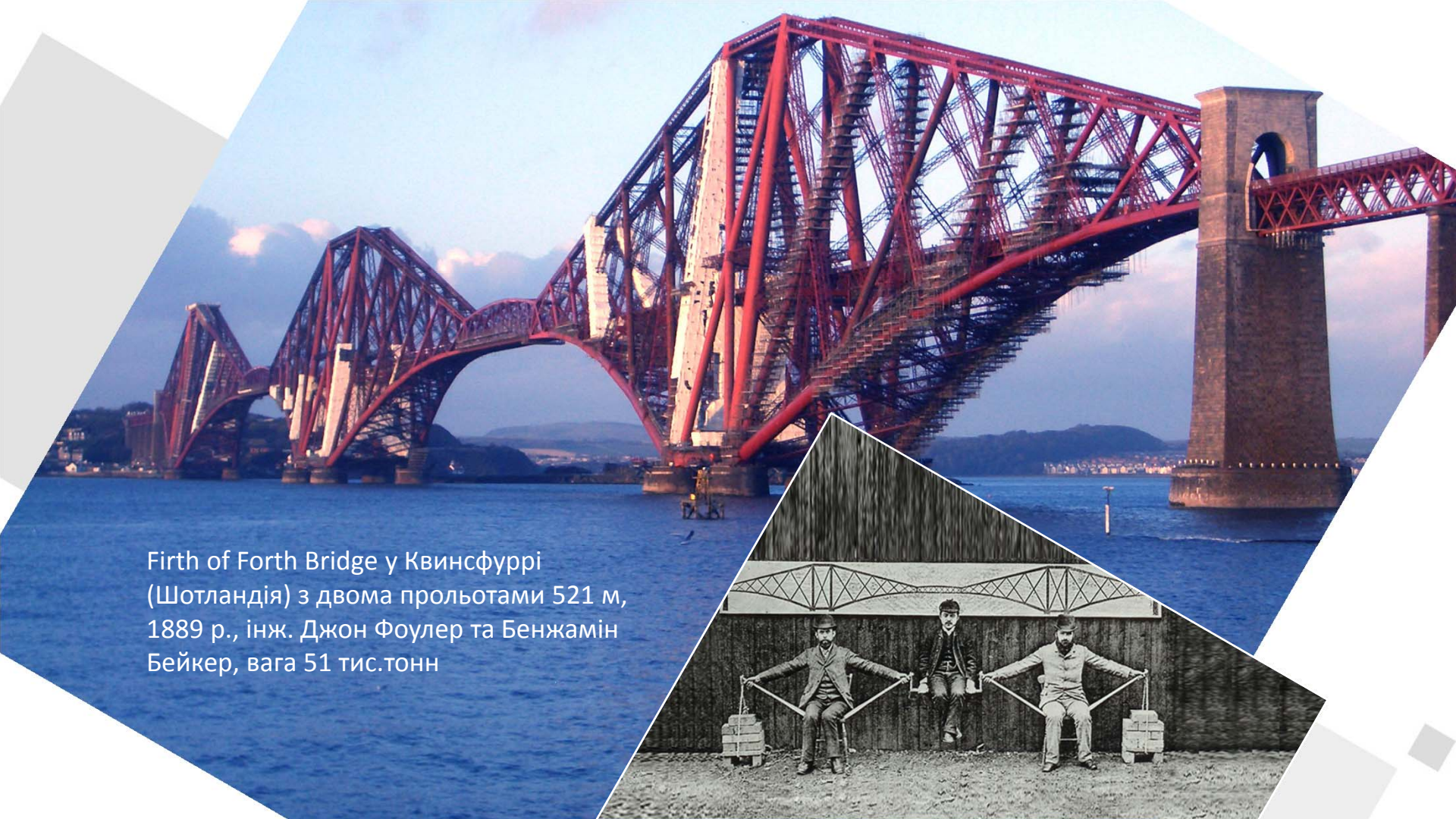




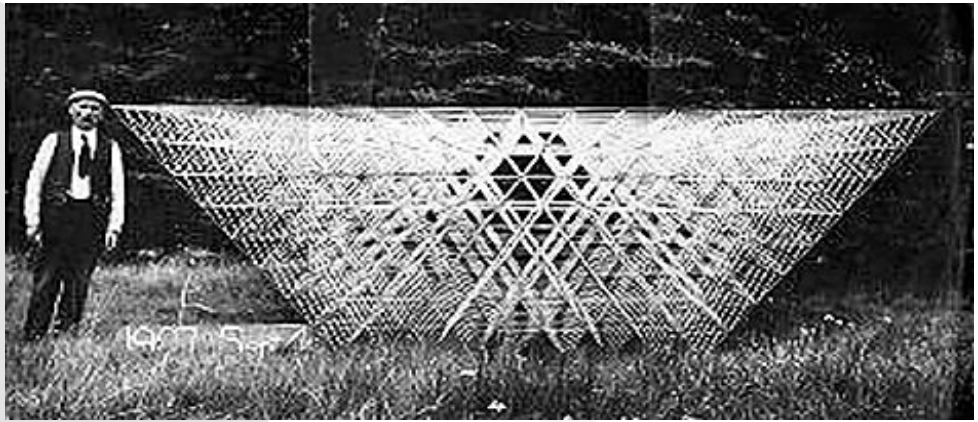


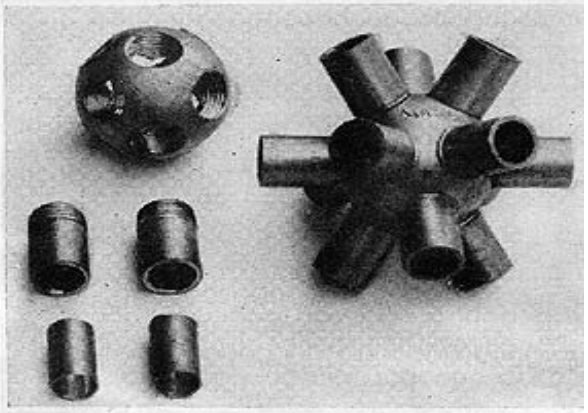


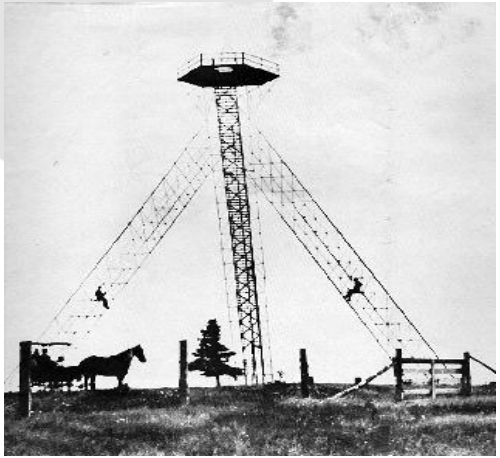
Тільки змінюючи напрямок нахилу розкосів, можна зменшити вагу ферми на 20-30%



Firth of Forth Bridge у Квинсфуррі (Шотландія) з двома прольотами 521 м, 1889 р., інж. Джон Фоулер та Бенжамін Бейкер, вага 51 тис.тонн







A. Graham Bell
Has New Idea
In Architecture

Opening of the Tetrahedral Tower, Seventy Feet High on Beinn Bhreagh.

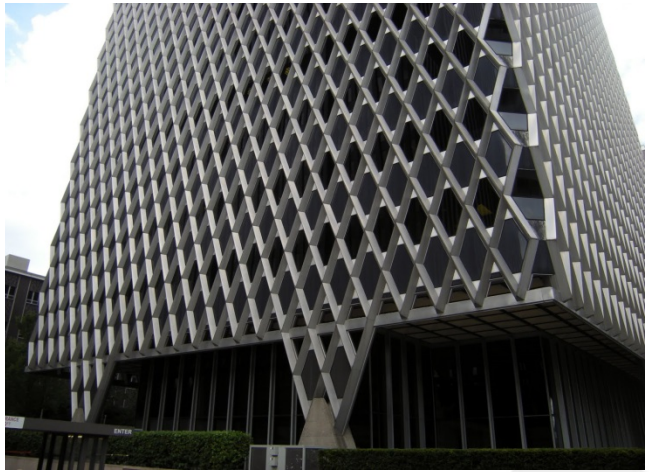
It May Become an Important Factor in Building of the Future.

Структуроподібні конструкції вперше пропонував ще у 1900 році Олександр Грахам Бел (Alexander Graham Bell)

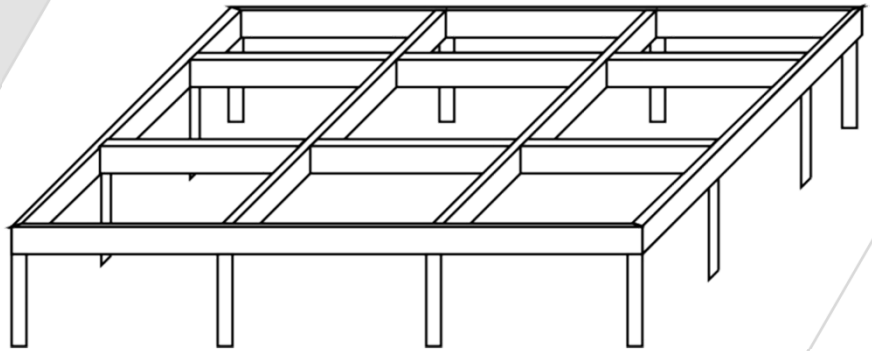
← Біосфера Бакмінстера Фулера (Павильйон США на ЕКСПО-67, Монреаль, Канада)

↓ Структурна несуча оболонка фасада будівлі Об’єднання сталебудівельників у м. Пітсбург, США, бюро Curtis and Davis, 1964 р.

← Башта Mary Axe 30, (Офіс компанії Swiss Re), Лондон, 190 м, арх. Foster and Partners, конструктив Arup, 2004 р.



Конструктивно необхідні розвинуті «капітелі» оголовків колон аеропорта м. Штутгарт (Німеччина) рівномірно збирають навантаження від покриття на основний стовбур



Балкові системи

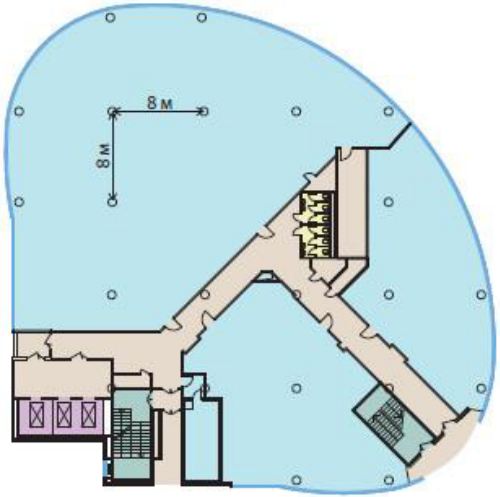
Активний	**Переріз**
Дія	Опір силам
Напружений стан	M, Q
Конструкції	Балки, рами, площинні

Галілей експериментував але так і не зміг вивести відомі залежності щодо несучої здатності консольної балки

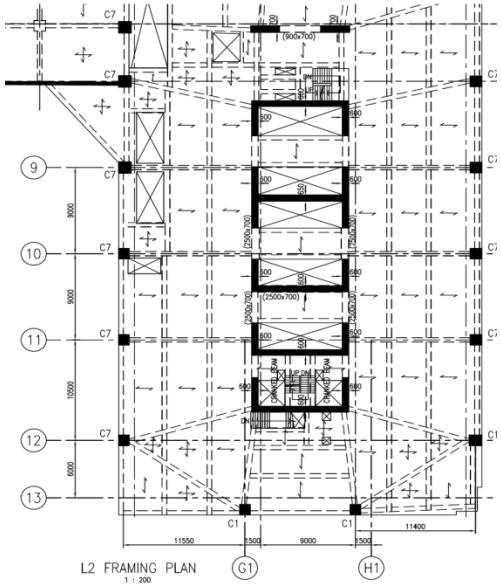
Втім Галілей вивів **закон «двох третин»**: коли об’єм зростає у третьому ступені, площа зростає у другому

The Empire State Building, 1931р. , висота 381 м (448 м з антеною)

Верхівка відхиляється при сильному вітрі всього на 0,5 м



Центр Gulliver, Київ,
арх. Тетяна Григорова,
конструктив «УкрндіПСК
ім. В.М. Шимановського»,
2013, Башта «Б».
Відстань між колонами 8 м



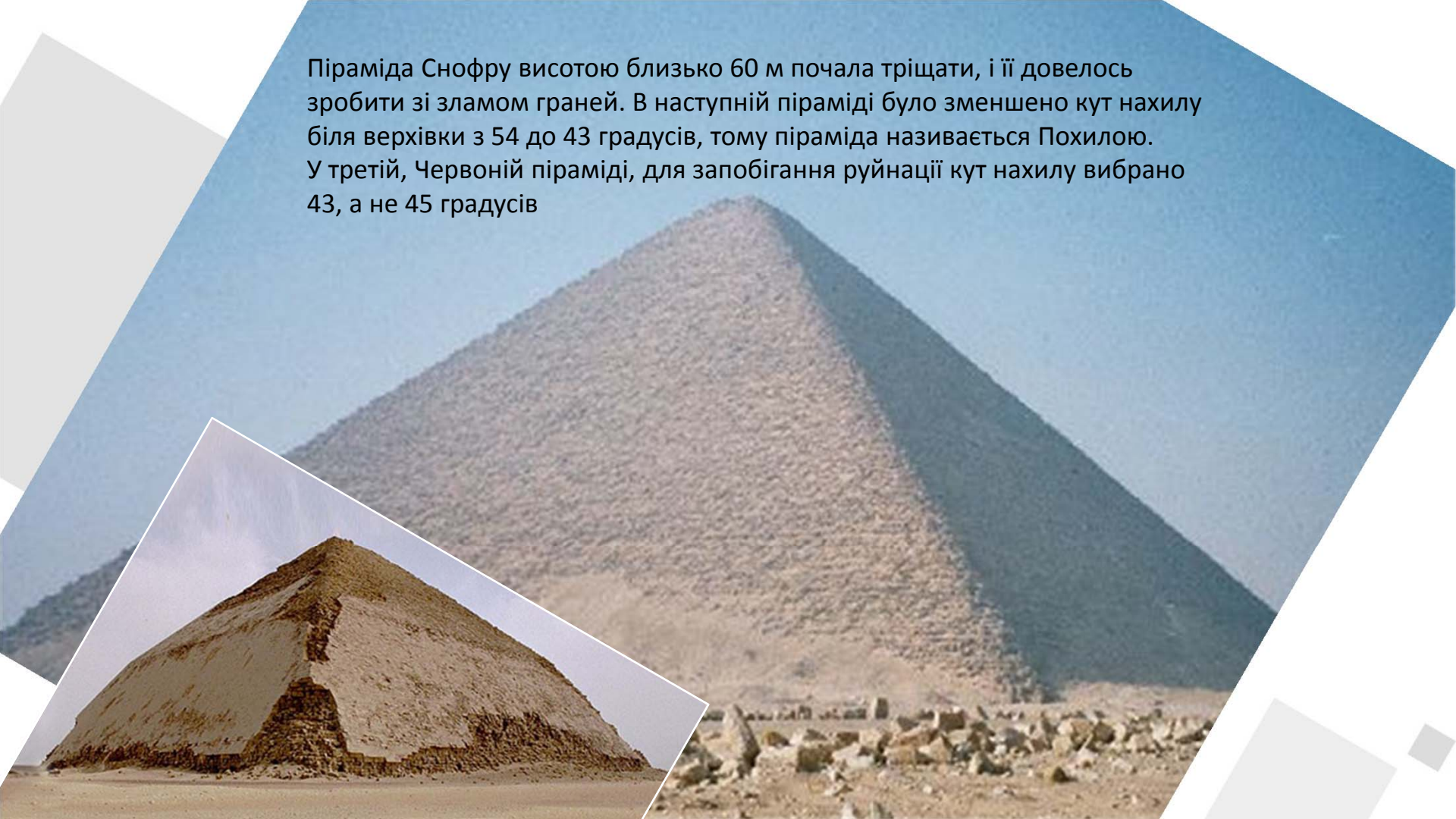
Сталезалізобетоний каркас та фрагмент плану Sky Towers, м.Київ, висота 214 м, проект бюро DLN, Maunsell Aecom, В. Васягін, В.Кириця та ін., 2014. Відстань до ядра 11,5 м

Суміщення архітектурної та конструктивної форми колон у будівлях CNN Center та Phillips Arena, м. Атланта, США , арх. Populous та Arquitectonica, конструктив Thornton Tomasetti, 1997р.

Циліндрична оболонка

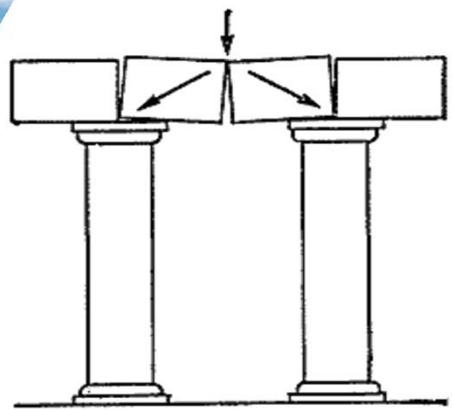
Активний	**Поверхня**
Дія	Розсіювання сил
Напружений стан	M, N і Q
Конструкції	Арки, складки, склепіння, опуклі оболонки

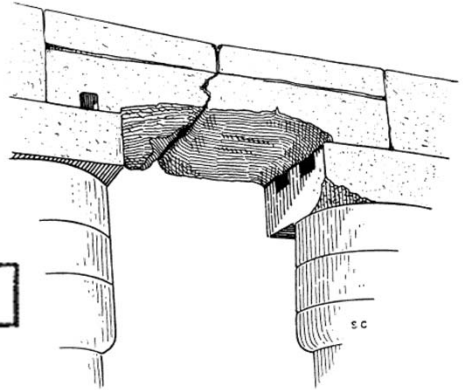
Піраміда Снофру висотою близько 60 м почала тріщати, і її довелось зробити зі зламом граней. В наступній піраміді було зменшено кут нахилу біля верхівки з 54 до 43 градусів, тому піраміда називається Похилою.
У третій, Червоній піраміді, для запобігання руйнації кут нахилу вибрано 43, а не 45 градусів

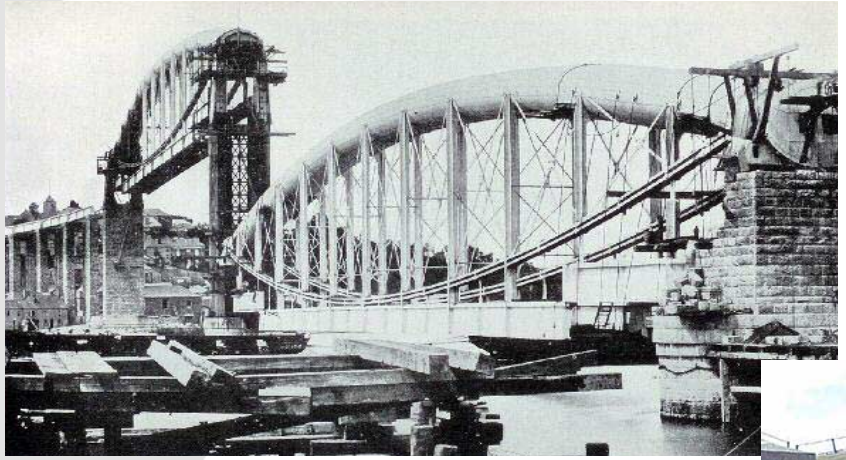


Парфенон, Греція, 438 рік до Р.Х.

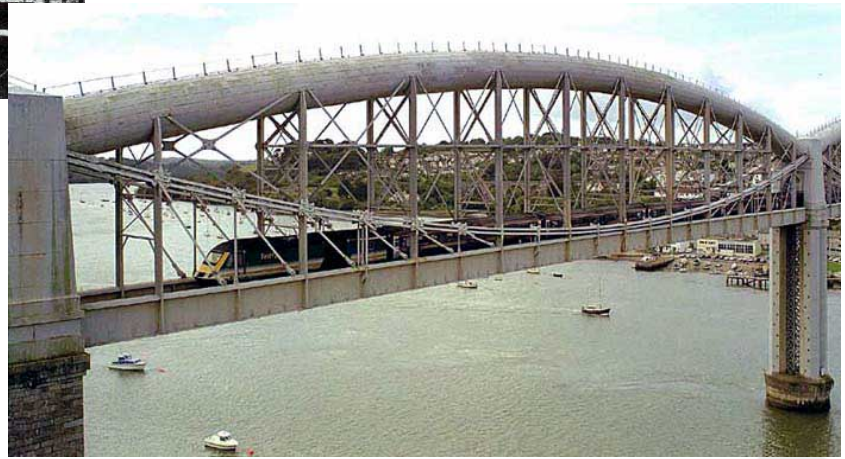
Не маючи змогу контролювати міцність і структуру матеріалів, інженери резервували надійність у розрахунковій схемі



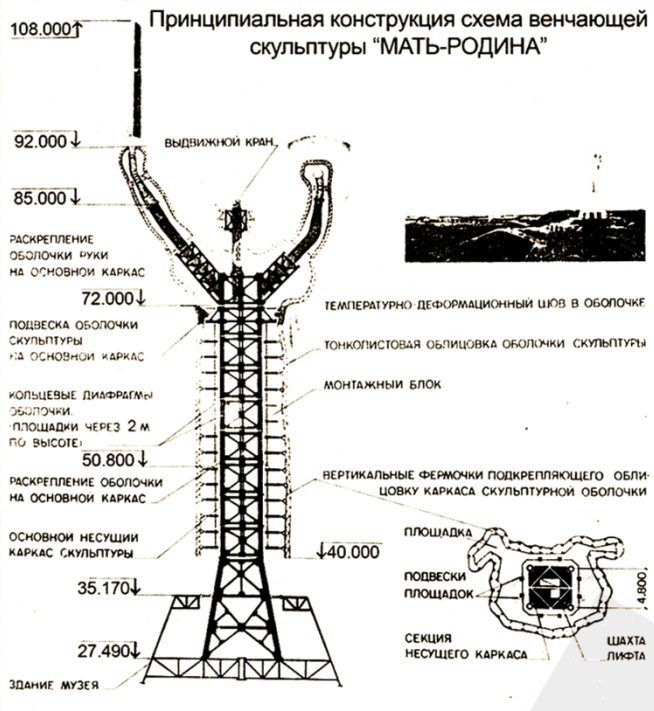




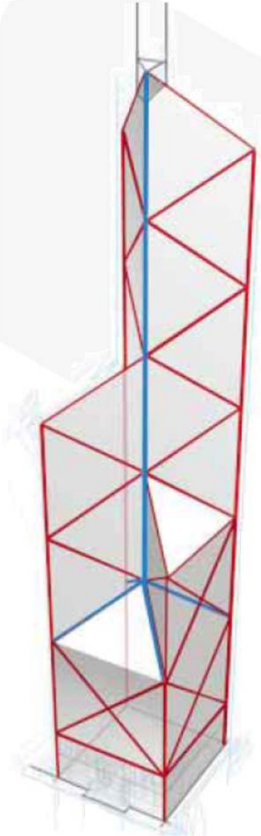
Міст через р. Saltash, запроектований Ісамбардом Брюнелем у 1859 р. із лентикулярними фермами та підвісками

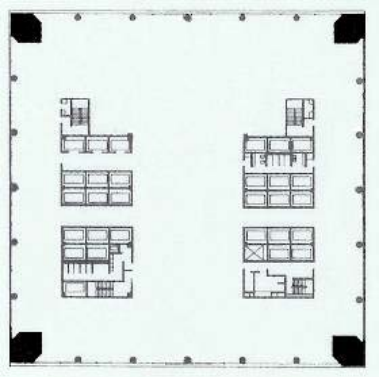


Скульптура Батьківщини-Матері
була переконструйована і зменшена
після аеродинамічних випробувань



Якби статуя
Батьківщини-Матері
була копією скульптури
у Волгограді





Bank of China у Гонконзі, 72 пов., висота 367 м, fpx. Sherman Kung & Ass.Architects, конструктив Leslie Robertson Associates, 1990 р.

Взаємодія несучої системи та огороджувальної оболонки будівлі

↑ Несучий каркас і зовнішня оболонка концертної зали ім. Уолта Діснея, США, 2003 р., арх. Френк Гері

← Несучий каркас повністю розташований всередині оболонки будівлі

Несучий каркас розташований у площині оболонки будівлі

← Зовнішня ферма каркаса Broadgate Tower (Лондон), 2009 р., арх. Skidmore, Owings & Merrill

↑ Зовнішній каркас висотної будівлі Heron Tower (Лондон), 2011р., арх. Kohn Pedersen Fox

Внутрішній несучий каркас виходить за межі оболонки будівлі

Крім внутрішнього несучого каркасу є напівавтономний зовнішній каркас, що виконує окремі функції спирання стін, скління чи крівлі

← Інтегровані ферми одноповерхової будівлі логістичного центра

↑

Трубчаті колони висотою 30 м для кріплення скляного патіо та фасадної системи будівлі Tower Place, Лондон, 2002 р., арх. Foster & Partners

Несучий каркас повністю розташовується за межами оболонки будівлі

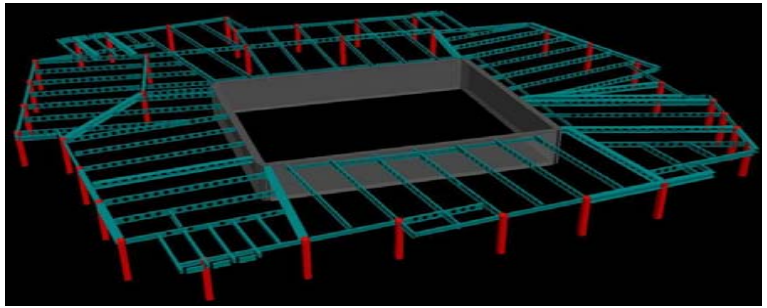
Складська будівля із повністю зовнішнім каркасом, організованим за допомогою гнучких вантових елементів

Переваги металевих конструкцій для утворення архітектурних форм

Біонічні основи роботи конструкцій візуально наближують каркас будівлі до аналогів у Живій Природі.

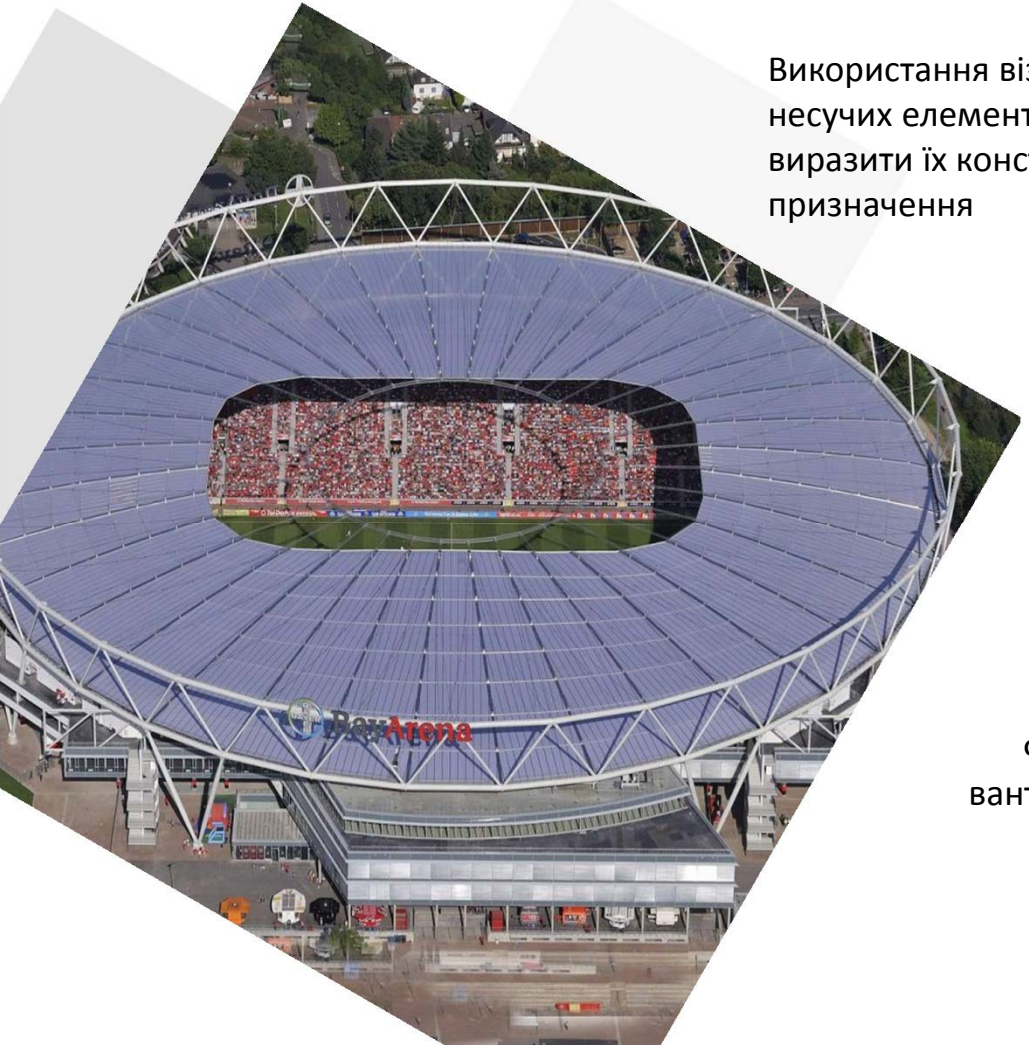
Складчате просторове стержневе покриття музея транспорту Riverside у Глазго, Шотландія, 2012р., арх. Zaha Hadid

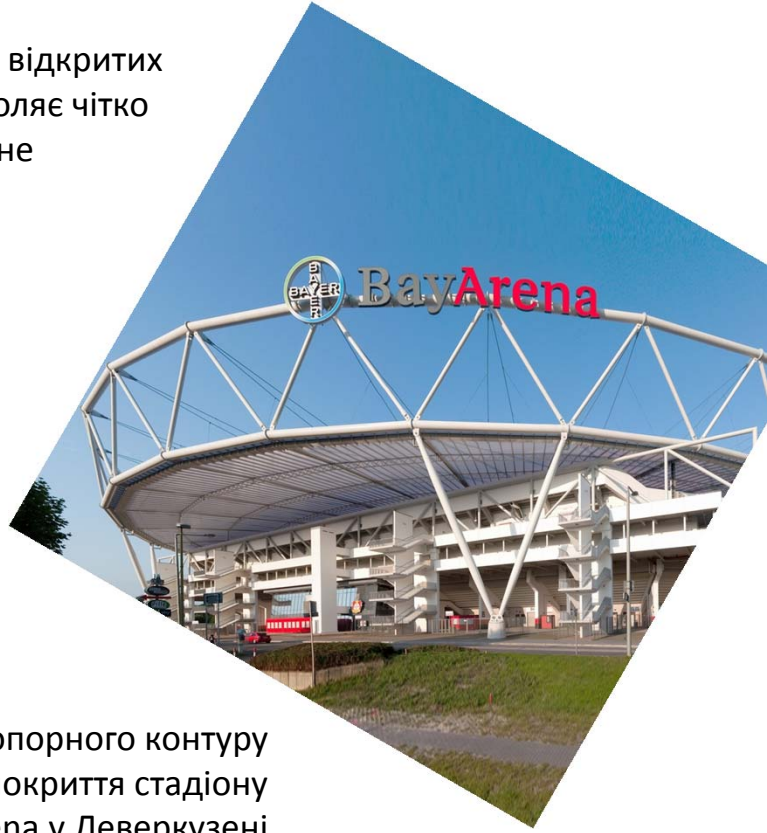
Висока міцність сталі дає можливість застосовувати естетичні, невеликі за габаритами тонкостінні перерізи, перекривати великі прольоти та розвивати каркас у висоту



↑ Відкрите планування The Shard (Лондон), 2013 р. Висота 309 м, арх. Renzo Piano, конструктив бюро WSP Cantor Seinuk. Відстань до ядра 9-15 м

Використання візуально відкритих несучих елементів дозволяє чітко виразити їх конструктивне призначення





Ферма опорного контуру вантового покриття стадіону BayArena у Леверкузені (Німеччина), 2009 р.
Арх. Max Bogl

Застосування наскрізних – перфорованих - і решітчастих конструкцій підкреслює візуальну «легкість» будівлі

Пластичність сталі дозволяє використовувати вигнуті, криволінійні елементи

Вантові ферми покриття залізничного термінала «Ватерлоо», Лондон, проект бюро Nicholas Grimshaw

Вантові, розтягнуті елементи дають максимальну ефективність використання матеріалу та можливість формування великопролітних, «повітряних» будівель

Вузли та елементи металевих конструкцій також наглядно демонструють принципи механіки та можуть бути частиною архітектурного середовища

← Центральний вузол несучих елементів покрівлі торгового центра в Будапешті

↑ Вертикальна ферма каркасу у атріумі офісу Arcelor Mittal, Люксембург, арх. бюро Böhm, конструктив Schroeder & Associés

Тонколистова оболонка спортивної зали

Опорядження металоконструкцій можливе у великій гаммі кольорів та матеріалів

Збережуваність та можливість повторного використання

← ↓ Перетворення сталевої несучої естакади у паркову зону High Line, Нью-Йорк, США, 2009 р.

“Ми надаємо форму нашим будівлям. Згодом вони формують нас самих”