



З'ЄДНАННЯ БЕТОНУ З БЕТОНОМ

З використанням
ПОСТ-ВСТАНОВЛЕНИХ СИСТЕМ



Довідник, версія 01
Травень 2024

ЗМІСТ

Передмова	6
1. Вступ	7
2. Застосування та базові механіки	
2.1 Застосування	8
2.1.1 Пост-встановлена арматура: що це таке?	8
2.1.2 Класифікація застосувань із пост-встановленою арматурою	9
2.1.3 Застосування з'єднання внапуск для подовження елементів	9
2.1.4 Конструктивні з'єднання з використанням кінцевого анкерного кріплення	9
2.1.5 Застосування зсувного тертя (нарощування) з використанням анкерних упорів	10
2.2 Механізми сприйняття навантаження	12
2.2.1 Механізм роботи з'єднання внапуск і кінцевого анкерного кріплення	12
2.2.2 Механізм сприйняття навантаження для застосувань із зсувним тертям	16
3. Нормативна база для кваліфікації та розрахунку	
3.1 Огляд європейської нормативної бази	18
3.2 Розрахунок застосувань із пост-встановленою арматурою	19
3.2.1 Положення з проектування за Eurocode	19
3.2.2 Застосування, що охоплюються положеннями з проектування EC2-1-1	20
3.2.3 EOTA TR 069: положення та охоплені застосування	20
3.3 Оцінка систем із пост-встановленою арматурою	21
3.3.1 EAD 330087 (оцінка пост-встановленої арматури що відповідає положенням з проектування EC2-1-1)	21
3.3.2 EAD 332402 (оцінка пост-встановленої арматури відповідно до EOTA TR 069)	23
3.4 Проектування застосувань із пост-встановленим зсувним тертям (нарощування)	24
3.4.1 Положення з проектування за EC2-1-1	24
3.4.2 Положення з проектування за EOTA TR 066	24
3.5 Оцінка систем із пост-встановленими анкерними упорами	25
3.5.1 Оцінка за EAD 332347	25
3.6 Підсумок	26
3.7 Матеріал залізобетону	27
3.7.1 Бетон та вимоги до нього	27
3.7.2 Арматура та вимоги до неї	27
4. Рішення Hilti	
4.1 Рішення для застосувань із пост-встановленою арматурою	28
4.2 Рішення для застосувань із нарощуванням бетону (зсувне тертя)	29

4.3	Етапи процесу проєктування та виконання робіт	29
4.4	Hilti як постачальник комплексних системних рішень	30
5.	Проєктування з'єднань внапуск	
5.1	Загальні положення	32
5.2	Розрахунок для статичних навантажень	32
5.2.1	Правила деталювання	35
5.2.2	Вимоги до довговічності	36
5.3	Розрахунок для сейсмічних навантажень	36
5.4	Проєктування на вплив пожежі	37
5.4.1	Базова перевірка	38
5.4.2	Розрахунок довжини з'єднання внапуск	38
5.4.3	Перевірка на відмову сталі	39
5.4.4	Моделюючий підхід для коефіцієнтів зниження	39
5.5	Приклад проєктування з'єднання внапуск	40
6.	Проєктування кінцевого анкерного кріплення	
6.1	Загальні положення	46
6.2	Базова довжина анкерного кріплення за EC2-1-1	46
6.2.1	Проєктування для шарнірно-опертих з'єднань	47
6.3	Проєктування для жорстких/моментно-стійких з'єднань	48
6.3.1	Модель «стрижень-розтяжка» за принципами Eurocode	48
6.3.2	Положення з проєктування за EOTA TR 069	51
6.3.3	Проєктування за принципами EC2-1-1 із підвищеною міцністю зчеплення (метод Hilti)	57
6.4	Розрахунок для сейсмічних навантажень	58
6.4.1	Розрахунок для сейсмічних навантажень за Eurocode	58
6.4.2	Розрахунок для сейсмічних навантажень за EOTA TR 069	58
6.5	Проєктування на вплив пожежі	59
6.6	Приклади проєктування	61
6.6.1	Шарнірно-оперте з'єднання	61
6.6.2	Приклад проєктування кінцевого анкерного кріплення за моделлю «розпірка-тяга»	64
6.6.3	Приклад проєктування кінцевого анкерного кріплення за EOTA TR 069	69
7.	Проєктування з'єднань нарощування бетону (зсувне тертя)	
7.1	Передача зсуву та теорії зсувного тертя	73
7.1.1	Проєктування контактної шви на зсув за положеннями EC2-1-1 (переважний зсув)	74
7.1.2	Проєктування в контактному шві за умов непереважного зсуву	76
7.2	Проєктування застосувань зсувного тертя — статичні дії	77
7.2.1	Проєктування зсуву в контактному шві за положеннями EC2-1-1	77
7.2.2	Проєктування застосувань зсувного тертя (нарощування бетону) згідно EOTA TR 066	77

7.2.3	Додаткові правила деталювання для зсувних з'єднувачів згідно EOTA TR 066	81
7.3	Проектування застосувань зсувного тертя (нарощування бетону) — втомні дії	82
7.3.1	Проектування за EC2-1-1	82
7.3.2	Проектування за EOTA TR 066	82
7.4	Проектування застосувань зсувного тертя (нарощування бетону) — сейсмічні дії	84
7.4.1	Проектування за EOTA TR 066	84
7.5	Проектування застосувань зсувного тертя (нарощування) — метод Hilti	85
7.5.1	Метод Hilti — статичні дії	85
7.5.2	Метод Hilti — сейсмічні дії	86
7.6	Приклади проектування	87
7.6.1	Передача зсуву по контактному шву в з'єднанні, де переважає момент	87
7.6.2	Передача зсуву по контактному шву, де переважає сжаття/зсув	88
7.6.3	Нарощування бетону — приклад проектування (статичні дії)	89
7.6.4	Нарощування бетону — приклад проектування (втомні дії)	91
7.6.5	Нарощування бетону — приклад проектування (сейсмічні дії)	92
7.6.6	Нарощування бетону — приклад за методом Hilti	93
8.	PROFIS Engineering Suite — програмне забезпечення	
8.1	Вступ	95
8.2	Чому варто використовувати PROFIS Engineering Suite?	95
8.3	Проектування застосувань із пост-встановленою арматурою в PROFIS	96
8.3.1	Додаткові важливі функції в PROFIS	99
8.4	Проектування застосувань зсувного тертя (нарощування бетону) в PROFIS	100
9.	Монтаж та інспекція	
9.1	Процедура монтажу пост-встановленої арматури	102
9.1.1	Розміщення пост-встановленої арматури	102
9.1.2	Підготовка/шорсткування поверхні	103
9.1.3	Свердління отворів у бетоні	104
9.1.4	Шорсткування просвердлених отворів	106
9.1.5	Очищення просвердлених отворів	106
9.1.6	Ін'єктування клеєвого розчину та встановлення арматури	107
9.1.7	Система Hilti SafeSet™	109
9.2	Процедура монтажу пост-встановлених анкерних упорів	111
9.2.1	Вимоги для пост-встановлених анкерних упорів згідно EOTA TR 066	112
9.3	Інспекція, випробування та контроль якості	112
9.4	Додаткові аспекти виконання/монтажу	115
9.4.1	Датчики бетону для моніторингу на майданчику	115
9.5	Специфікації виконання робіт	116

9.6	Інженерна підтримка від Hilti	117
<hr/>		
10.	Приклади виконаних проєктів	
<hr/>		
10.1	Nathani Heights, Мумбаї, Індія	118
10.2	Підсилення конструкції школи на сейсмічні дії, Болонья, Італія	120
10.3	The Exchange 106, Куала-Лумпур, Малайзія	122
10.4	Schott Solar Jena AXL 33, Німеччина	124
10.5	Реконструкція мосту Гумбольдта в Потсдамі, Німеччина	125
<hr/>		
Автори		127
<hr/>		
Подяки		127
<hr/>		
Джерела		128
<hr/>		

ПЕРЕДМОВА

Елізабет Вінцілеу
Заслужений професор, Національний технічний університет Афін, Греція



Старіння та зношення, несприятливі умови довкілля, зміна призначення, впровадження нових норм проектування, виникнення випадкових впливів (наприклад, пожежа, землетрус тощо) та їх наслідки для існуючих конструкцій — це лише частина випадків, що вимагають втручання. Розроблення матеріалів і методів, які знову роблять конструкції придатними до експлуатації, є важливим напрямом досліджень, проектування та практичного застосування.

Інженер-конструктор, у сфері відповідальності якого — оцінити конструкцію, обрати найдоцільніші методи та спроектувати споруду в її завершеному вигляді, також має забезпечити розрахунок і конструктивне деталювання критичних зон, що потребують спеціальних знань і досвіду. До них належать, зокрема, ділянки анкерування нової арматури або забезпечення належної довжини з'єднання внапуск для арматурних стрижнів, контактні шви/зони між новими й існуючими елементами чи всередині підсиленого елемента тощо. Ці локальні області, обмежені за обсягом і часто зі складним доступом, є критично важливими для успіху втручання з погляду безпеки, довговічності та, безперечно, економічності.

У цій сфері інженерна спільнота високо цінує стратегічну ініціативу Hilti — надавати не лише високоякісні продукти, інструменти та супутні послуги для проєктувальника, а й інтегровані рішення. Програмне забезпечення PROFIS Engineering — цінний інструмент, створений для допомоги інженерам-конструкторам у проєктуванні численних застосувань і, зокрема, критичних зон, де проходять контактні шви, утворені пост-встановленою арматурою та анкерами. Цей посібник можна розглядати як корисний довідник з ефективного використання PROFIS Engineering. Водночас його охоплення є багатограним, і його цінність виходить далеко за межі проєктування з'єднань, у яких застосовуються продукти Hilti.

Справді, цей посібник описує застосування (з наочними прикладами), коли пост-встановлену арматуру та анкери потрібно використовувати для з'єднання бетонних елементів, забетонуваних у різний час, разом із механікою передачі зусиль між анкерами та бетоном. Таким чином, інженер отримує допомогу у виборі способу втручання та його розташування залежно від релевантності до розглянутого випадку.

Подано та обговорено європейське нормативне середовище, що стосується не лише системи Eurocode, а й оцінювання пост-встановлюваних систем у межах European Organization for Technical Approvals (EOTA). Це важливо, адже проєктувальник ознайомлюється з визначальними параметрами для кожної пост-встановлюваної системи, з обмеженнями застосування конкретних систем, а також із принципами проєктування застосувань, що передбачають використання пост-встановленої арматури. Спираючись на цю рамку, посібник надає проєктувальнику релевантні дані щодо продуктів Hilti, їхніх властивостей, сфер застосування та відповідних схвалень.

Одним із найважливіших внесків цього посібника є те, що він надає для кожного розглянутого застосування нормативні положення та обмеження, рівняння, що застосовуються в розрахунках, варіанти, надані інженеру щодо геометрії та розташування анкерів, діапазон базового матеріалу тощо. Таким чином, інженер отримує необхідні інструменти для вивчення альтернативних рішень, вибору різних матеріалів та перевірки впливу різних параметрів для досягнення оптимального результату. Якість змісту, діапазон охоплених застосувань, чіткість та повнота інформації, включеної в цей посібник, дозволяють мені бути впевненою, що він є значним внеском у проєктування з'єднань «бетон-до-бетону» і що Інженерна спільнота надасть йому заслужене визнання.

1. ВСТУП

Споруди — будівлі, мости, греблі та інші — виконують переважно з бетону, адже це універсальний матеріал із високою міцністю, довговічністю та здатністю набувати різних форм. Старіння існуючих будівель і споруд, виникає усвідомлення ризиків природного та техногенного характеру (наприклад, землетруси, пожежі), а також вимоги щодо сталого розвитку підкреслюють потребу у втручаннях у наявні будівлі. Такі втручання зазвичай спрямовані на підсилення конструкцій та/або зміну функціонального призначення. Паралельно зростає потреба в технологіях, які відповідають жорстким вимогам сталості, продуктивності та раціональної організації робіт. Щоб виконати ці вимоги, елементи бетону, забетоновані в різний час, часто потрібно з'єднати або збільшити переріз окремих конструктивних елементів. Пост-встановлена арматура та анкерні упори, змонтовані в затверділому бетоні, є добре усталеними рішеннями для безпечного та надійного з'єднання існуючих і нових бетонних елементів.

Системи залізобетону, що влаштовуються на місці, добре опрацьовані та задокументовані в інженерній спільноті. Поведінка конструкцій і відповідні методи проектування широко відомі та застосовуються у світі згідно з чинними нормами та стандартами. Водночас розуміння та проектування пост-встановлюваних систем для бетонних конструкцій вимагає засвоєння нових технічних понять і підходів, щоб отримати безпечні й ефективні рішення як для проектування, так і для виконання робіт.

Сфера з'єднань «бетон-до-бетону» із використанням пост-встановленої арматури або анкерних упорів пройшла довгий шлях: від обмежувального підходу «еквівалентності» за деформаціями для монолітних систем — до сучасних методів, де продукто-залежні характеристики відкривають шлях до безпечніших, надійніших і економічніших методів проектування. У цьому довіднику зібрано й подано сучасні технічні концепти, методики проектування, приклади обчислень і інструменти, які допоможуть вам спроектувати та змонтувати пост-встановлені системи для бетонних конструкцій. Ми зробили це стисло й зручно для інженерної спільноти.

Після розділу 2, у якому показано основні сфери застосування, розділ 3 пояснює, як здійснюють оцінку та кваліфікацію продуктів. Це важливо для того, щоб запроєктовані рішення працювали так, як потрібно. Розділ 4 описує рішення Hilti, які відповідають різним вимогам проектування. Розділи 5–7 подають чинні методики та покрокові приклади для з'єднання внапуск, кінцевого анкерного кріплення і нарощування бетону (зсувне тертя).

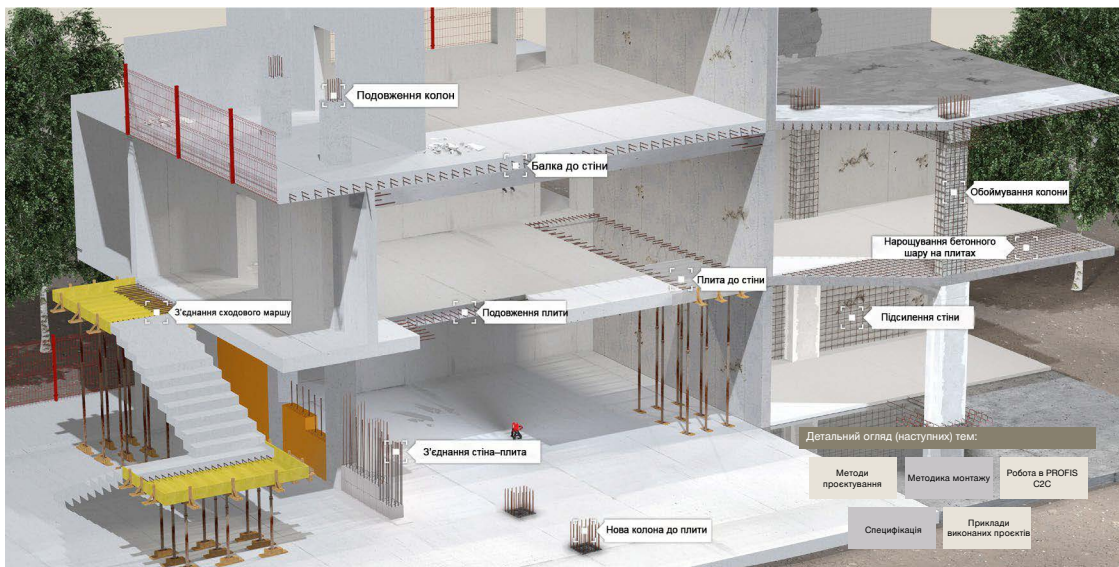
Розділ 8 присвячено програмному комплексу PROFIS Engineering — це єдиний інструмент для проектування з'єднань «бетон-до-бетону» за наведеними методиками максимально ефективно та продуктивно. Розділ 9 присвячений монтажу, інспекції й важливості контролю якості пост-встановлених систем у бетоні, оскільки правильні методи виконання робіт критично впливають на реалізацію задуму проєкту та довговічність конструкцій. Розділ 10 містить добірку референс-проєктів із різних країн, реалізованих із використанням рішень Hilti для пост-встановленої арматури та зсувних з'єднувачів.



2. ЗАСТОСУВАННЯ ТА БАЗОВІ МЕХАНІКИ

2.1 Застосування

Потреба з'єднувати елементи, забетоновані в різний час у залізобетонних конструкціях, за допомогою пост-встановлених рішень, стрімко зростає у світі. Часто це виникає через **незаплановані** ситуації, коли на кресленнях або вже під час робіт пропущено деталювання й передбачення випусків/стартових стрижнів чи муфт (зокрема й помилково розміщено арматуру). Водночас такі рішення можуть бути **заплановано** застосовані у новому будівництві — для оптимізації та пришвидшення робіт (щоб уникнути випусків арматури, які мали б слугувати дюбелями або стартовими стрижнями, і не стирчали з опалубки). Крім того, такі з'єднання особливо затребувані під час підсилення/реновації будівель і окремих елементів унаслідок змін функції споруди та/або для відповідності оновленим вимогам чи норм.



2.1.1 Пост-встановлена арматура: що це таке?

Поширене та перевірене рішення — встановлення арматури в отвори, просвердлені в наявному бетоні. Отвори заповнюють сумісним клеєвим розчином, щоб відтворити роботу монолітної арматури й забезпечити передачу зусиль на встановлені стрижні або для їх закріплення (рис. 2.1). Такі елементи називають пост-встановленою арматурою. На заводському (закладному) кінці стрижні можуть мати гак чи головку, але зі сторони пост-встановлення вони обов'язково прямі.

Пост-встановлену арматуру зазвичай застосовують для з'єднання бетонних елементів, забетонованих у різний час, щоб отримати монолітне з'єднання між існуючими та новими елементами (див. рис. 2.1). Це надійне, швидке та економічне рішення для з'єднань «бетон-до-бетону» під час підсилення або подовження існуючих конструкцій. Вирішальну роль відіграють коректні методики проектування та вибір клеєвого розчину. Монтаж повинні виконувати кваліфіковані та досвідчені фахівці.

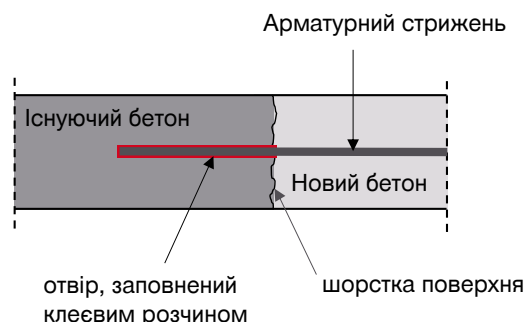


Рис. 2.1 — Система пост-встановленої арматури

2.1.2 Класифікація застосувань із пост-встановленою арматурою

Діапазон з'єднань на базі пост-встановленої арматури загалом поділяють на три групи: **з'єднання внапуск**, **кінцеве анкерне кріплення** та застосування **зсувного тертя (нарощування)** (див. рис. 2.2). З'єднання внапуск і кінцеве анкерне кріплення використовують для конструктивних з'єднань, де передача зусиль у стрижнях відбувається переважно на розтяг/стиск (спричинений осьовою дією або згином). Такі з'єднання можна розглядати як згинальні/осьові застосування пост-встановленої арматури. Застосування зсувного тертя виконують або пост-встановленою арматурою, або спеціальними анкерними упорами.

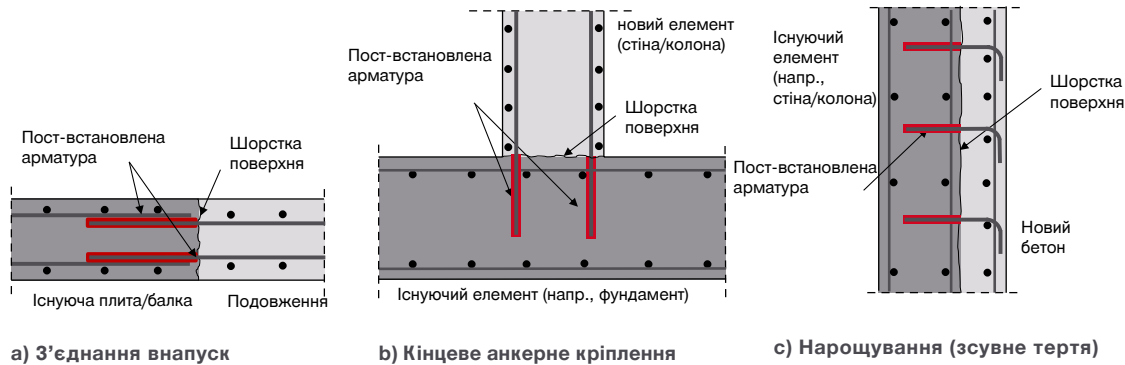


Рис. 2.2 — Типи застосувань пост-встановленої арматури

2.1.3 Застосування з'єднання внапуск для подовження елементів

На будмайданчику часто виникає потреба у з'єднаннях на пост-встановленій арматурі, щоб подовжити/продовжити плиту перекриття або вертикальні елементи (стіни, колони), чи реалізувати інші функціональні зміни. Для цього застосовують неконтактні стики внапуск, у яких осьові зусилля передаються між сусідніми стрижнями — це дозволяє забезпечити розрахунковий опір арматури.

Приклади подовження елементів ЗБК із застосуванням пост-встановленої арматури — для плит, балок, колон і стін — наведено на рис. 2.3.



a) Подовження плити

b) Подовження колони

c) Подовження стіни

Рис. 2.3 — Приклади подовження елементів ЗБК зі з'єднанням внапуск на пост-встановленій арматурі

2.1.4 Конструктивні з'єднання з використанням кінцевого анкерного кріплення

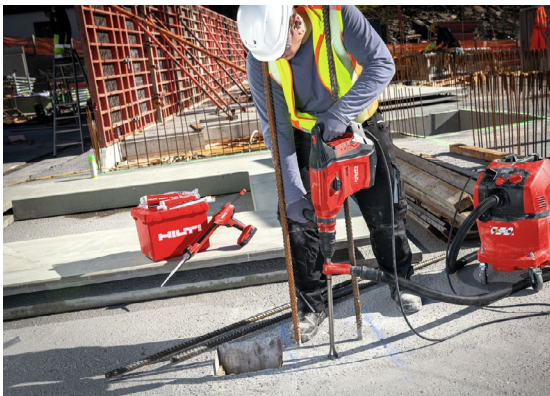
Пост-встановлена арматура дає змогу з'єднувати між собою конструктивні елементи, зазвичай перпендикулярні один до одного (наприклад, колона або стіна, що виходить із фундаменту; під'єднання балки/ригеля до колони/стіни тощо). Такі рішення особливо корисні, коли під час нового будівництва не були передбачені закладні арматурні випуски для під'єднання монолітних елементів. Їх також застосовують, коли випуски неможливо влаштувати на чинній конструкції, де активно використовують з'єднання внапуск.



а) З'єднання сходового маршу зі стіною



б) З'єднання плити зі стіною



с) З'єднання колони з плитою



д) З'єднання балки з колоною

Рис. 2.4 — Приклади з'єднань на кінцевому анкерному кріпленні з пост-встановленою арматурою

2.1.5 Застосування зсувного тертя (нарощування) з використанням анкерних упорів

З'єднання між шарами бетону, забетонованими у різний час, виконують перехресними пост-встановленими стрижнями або іншими типами анкерних упорів. Потреба в таких рішеннях зростає у роботах із підсилення та відновлення, а також у модернізації наявних конструкцій. Зазвичай підсилення/реновація потрібні через збільшення навантажень унаслідок змін функції, пошкодження або корозію, інші зовнішні впливи чи вимоги оновлених норм і технічних специфікацій.

Пост-встановлена арматура може застосовуватися і для зсувного тертя (нарощування), однак фірмові анкерні упори мають спеціальну геометрію та матеріали для кращої роботи у тонких шарах нарощування (зазвичай до 150–200 мм). Типовий процес такий: свердлють отвори в наявному шарі бетону, встановлюють дюбелі з пост-встановленої арматури або анкерні упори з використанням відповідного інструменту, продуктів і методів монтажу; потім після належної підготовки поверхні (див. рис. 2.5) влаштовують новий шар бетону потрібної товщини до наявного бетону. У межах цієї групи розглядаємо **нарощування бетону** — додатковий шар на існуючих елементах, наприклад, потовщення плит, стін чи балок (див. рис. 2.6). Для колон частіше застосовують **обоймування**, оскільки нові шари бетону зазвичай додають з усіх боків від початкового перерізу (див. рис. 2.6h). Загалом говоримо про **застосування зсувного тертя**, коли між двома шарами бетону, влаштованими у різний час, визначальним є зсув.

Примітка: анкерні упори ефективніші за пост-встановлену арматуру для тонких шарів нарощування.

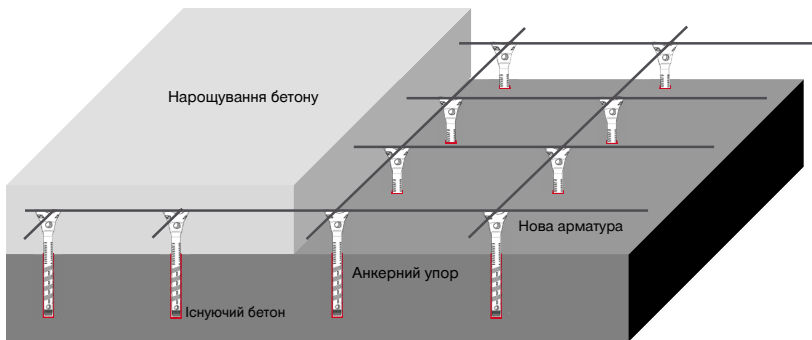
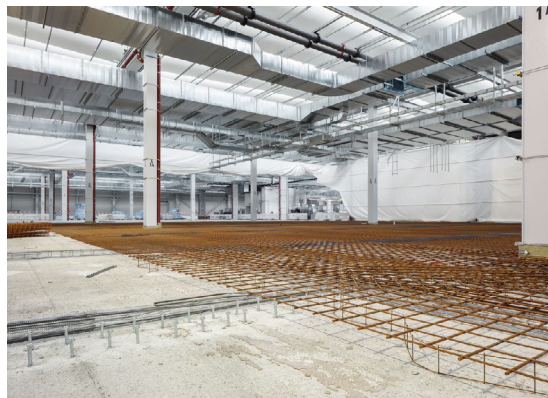


Рис. 2.5 — Підсилення/реконструкція бетонного шару методом нарощування (схема)



а) Збільшення висоти залізобетонної балки



б) Підсилення промислової підлоги



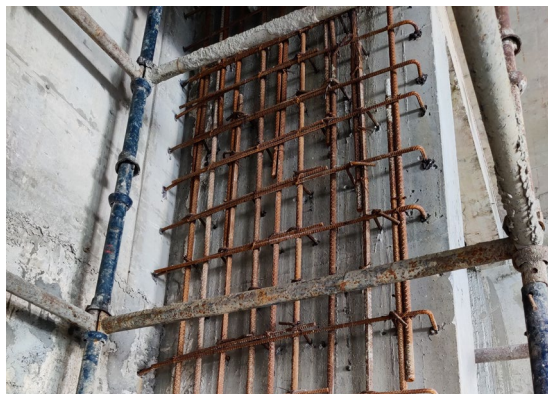
с) Збільшення товщини прогонової балки мосту



д) Збільшення товщини плити проїзної частини мосту



е) Додавання (улаштування) стіни жорсткості



ф) Підсилення конструктивної стіни



g) Нарощування плити (зсувне тертя)

h) Обоймування колони

Рис. 2.6 — Застосування зсувного тертя (конструктивні нарощування) у будівлях та інфраструктурі

2.2 Механізми сприйняття навантаження

У цьому розділі подано основи передачі зусиль та чинники, що визначають міцність зчеплення систем із пост-встановленою арматурою. Зверніть увагу: за використання прямих стрижнів поведінка пост-встановленої арматури є порівнянною з монолітною арматурою й підтверджена критеріями оцінювання та широкою експериментальною базою (див. розділ 3 щодо оцінювання систем пост-встановленої арматури).

2.2.1 Механізм роботи для з'єднань внапуск і кінцевого анкерного кріплення

Під зчепленням розуміють механізм передачі зусиль між арматурою (пост-встановленою чи монолітною) та навколишнім бетоном, коли стрижень навантажений осьовою силою (розтяг/стиск). Передача відбувається вздовж довжини зчеплення і розподіляється нерівномірно по поверхні стрижня (див. рис. 2.7). Для розрахунку систем — як пост-встановленої, так і монолітної арматури — зазвичай приймають усереднену сталу міцність зчеплення по всій довжині зчеплення (модель рівномірного зчеплення).

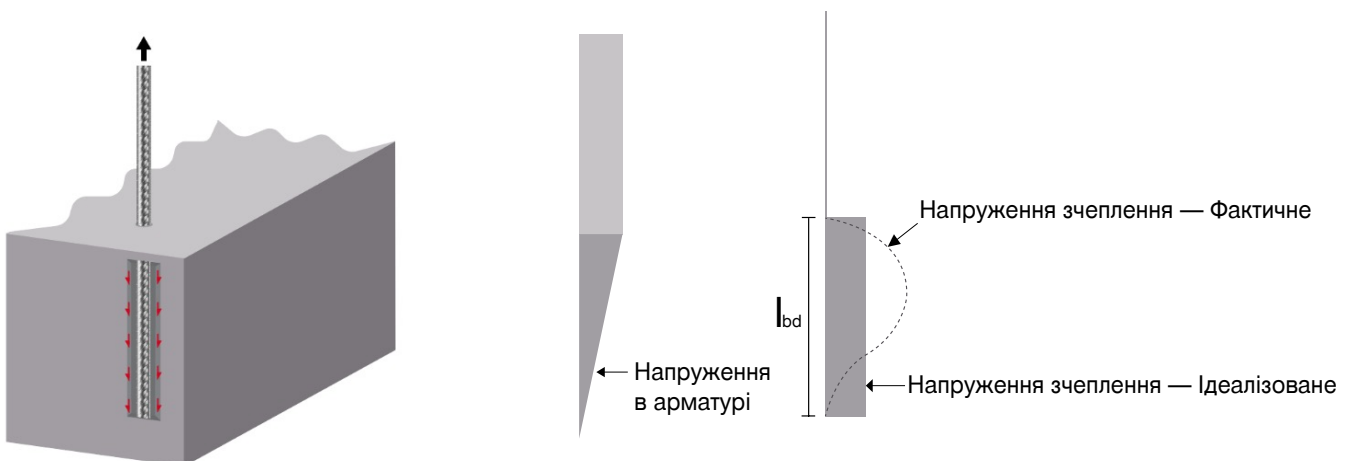


Рис. 2.7 — Зміна напружень зчеплення вздовж довжини зчеплення осьово навантаженого стрижня

Передача зусиль ґрунтується на механічному защемленні ребер арматури в навколишньому клеєвому розчині/бетоні під дією осьового навантаження. Це формує стиснуті розпірки, що відходять під кутом від ребер (напруження зчеплення), і викликає кільцеві (розпірні) напруження перпендикулярно до осі стрижня. Коли вони перевищують розтягувальну міцність бетону, відбувається розщеплення, тріщиноутворення й руйнування захисного шару. Такий випадок — руйнування від **розщеплення зчеплення** (рис. 2.8). Типово виникає за недостатнього пасивного обтиснення (якщо бетонне покриття $< 3\varnothing$ або крок між стрижнями малий).

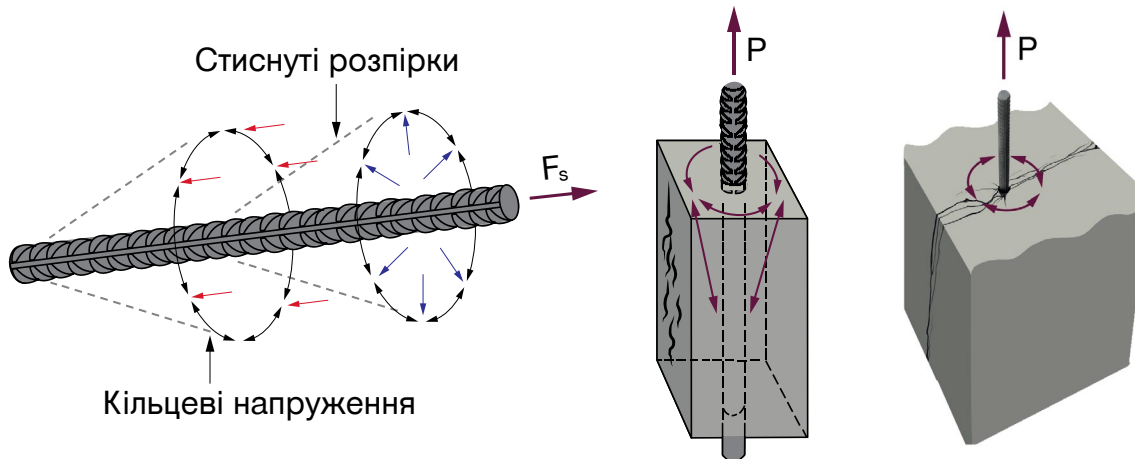


Рис. 2.8 — Поле напружень для руйнування типу розщеплення зчеплення в осьово навантаженому стрижні

Коли забезпечено достатнє бетонне покриття й/або крок, пасивне обтиснення достатнє, тож зчеплення зрізається на межі з навколишнім розчином без помітного ушкодження бетонної основи навіть за високих навантажень — **руйнування від витягування** (рис. 2.9a). Третій можливий випадок — **плинність сталевго стрижня**; завдяки пластичності це бажаний режим руйнування, передбачений сучасними будівельними нормами (рис. 2.9b).

Зверніть увагу: пасивне обтиснення можна забезпечити достатньою поперечною арматурою, що перетинає площини розщеплення. Активне обтиснення також можливе там, де діють поперечні стискальні напруження, які відсувають настання розщеплення зчеплення.

Звернімо увагу, що механізм зчеплення дещо відрізняється залежно від того, чи стрижні є монолітними, чи пост-встановленими. У монолітних системах арматура (з її ребрами) переважно оточена бетоном, тож у межах довжини зчеплення маємо лише одну контактну поверхню — «арматура-бетон». Натомість у системі з пост-встановленою арматурою в межах довжини зчеплення наявні дві контактні поверхні: «арматура-клеєвий розчин» і «клеєвий розчин-бетон» (див. рис. 2.10). Тому опір зчеплення пост-встановленої системи може бути як нижчим, так і вищим, ніж у монолітній, — залежно від властивостей клеєвого розчину та його чутливості до режимів навантаження й умов експлуатації (див. розділ 3).

Примітка: робота пост-встановленої арматури залежить від продукту.

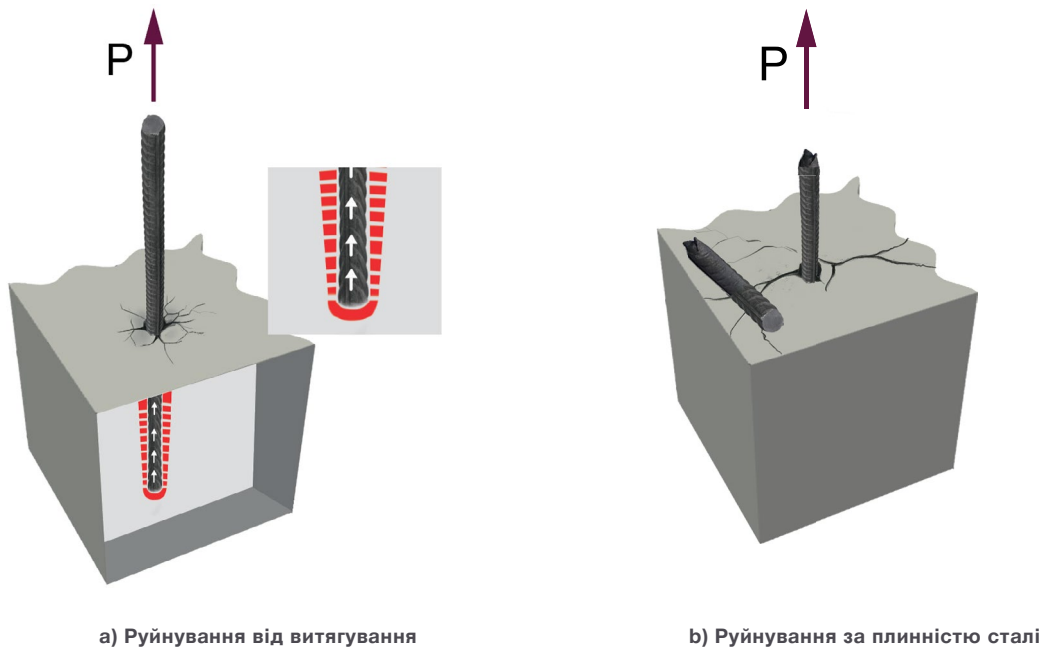


Рис. 2.9 — Режими руйнування для пост-встановленої арматури

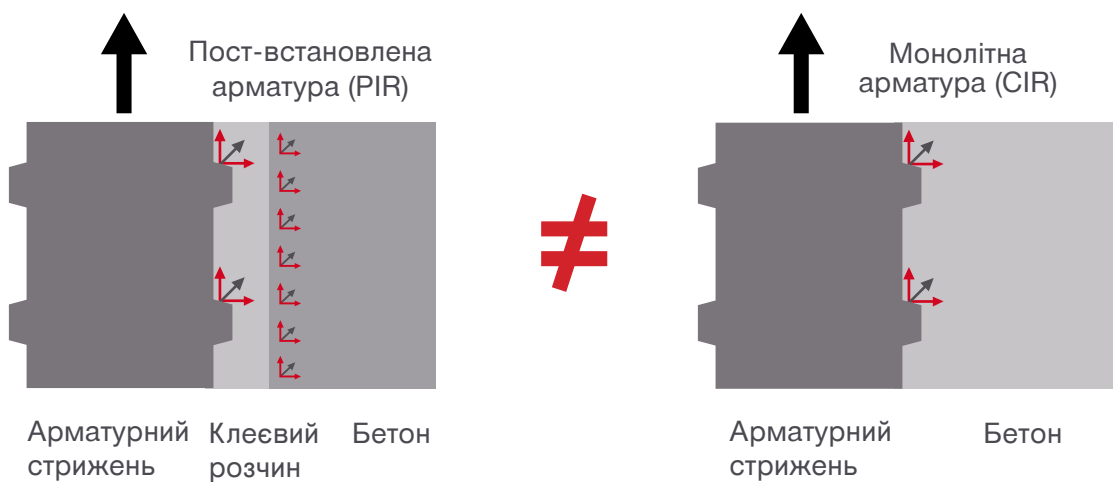
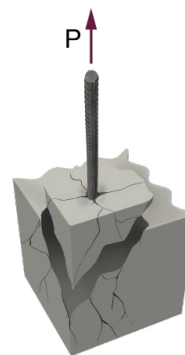


Рис. 2.10 — Базовий механізм передачі зусиль

Окрім наведених вище режимів, у випадку осьового розтягу можливе руйнування бетонного конуса в зоні анкерування, якщо активне обтиснення відсутнє (немає загальних/ локальних стискальних розпірок). У таких випадках анкерна зона бетонного елемента може зруйнуватися через **виколування бетонного конуса** (див. рис. 2.11). Це крихкий тип руйнування, тому методологія проєктування за EC2-1-1 запобігає йому його, вимагаючи анкерування арматури в обтиснених зонах. Інші підходи до проєктування, наприклад EOTA Technical Report (TR) 069, містять перевірки опору щодо цього механізму для систем із пост-встановленою арматурою, коли припущення про обтиснений бетон не може бути гарантоване. Такий підхід ґрунтується на **теорії анкерів (Anchor Theory)** на відміну від **теорії арматури (Rebar Theory)**. Основні відмінності між цими теоріями/ підходами узагальнено в табл. 2.1.



Примітка: у цьому довіднику Eurocode EN 1992-1-1 позначено як EC2-1-1.

Рис. 2.11 — Руйнування через виколування бетонного конуса

Таблиця 2.1: Відмінності між Теорією Арматури та Теорією Анкерів

Параметр	Теорія Арматури (Rebar Theory)	Теорія Анкерів (Anchor Theory)
Напрямок навантаження	Осьовий стиск/розтяг	Осьовий стиск/розтяг, зсув і комбіноване навантаження*)
Передача навантаження	Використовує обтиснення через рівновагу з локальними/загальними розпірками	Використовує міцність бетону на розтяг, припускаючи відсутність активного обтиснення
Режими руйнування	Текучість сталі, висмикування, розколювання по зчепленню	Текучість сталі, висмикування, розколювання по зчепленню, виколування бетонного конуса
Мінімальне бетонне покриття	Визначається EC2-1-1	Визначається оцінкою продукції
Стандарт розрахунку	EC2-1-1	EOTA TR 069

*) Примітка: проектування анкерування арматури за EOTA TR 069 [2] не враховує зсувні сили, що діють на арматуру, як це робить EC2-4 [3], але застосовує той самий підхід EC2-1-1 [1] для передачі зсувних сил.

Механізм сприйняття навантаження для анкерування відрізняється від з'єднання внапуск, де зусилля розтягу й стиску передаються безпосередньо на арматурний стрижень через локальні розпírки (див. рис. 2.12а). При анкеруванні особливу увагу слід приділяти передачі сил розтягу на існуючий бетонний елемент. Зазвичай вузли кінцевого анкерного кріплення проєктують для передавання осьових зусиль розтягу і стиску (або відокремлених від відповідного згинального моменту, або як прямі осьові зусилля) через загальні моделі «розпírка-тяга» (див. рис. 2.12б). Таким чином, передбачається, що в бетоні не виникає прямого розтягу. У ситуаціях, коли рекомендована стійка модель «стрижень-розтяжка» не може бути забезпечена (наприклад, переважаюче навантаження розтягом), слід перевіряти потенційне граничне руйнування через виколування бетонного конуса на додаток до видів руйнування через зчеплення та текучість сталі (див. Мал. 2.12с).

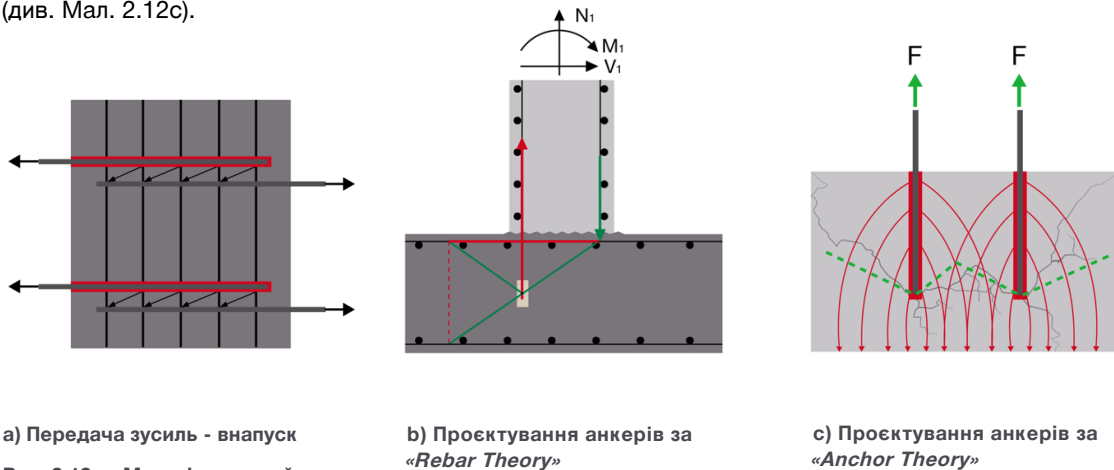


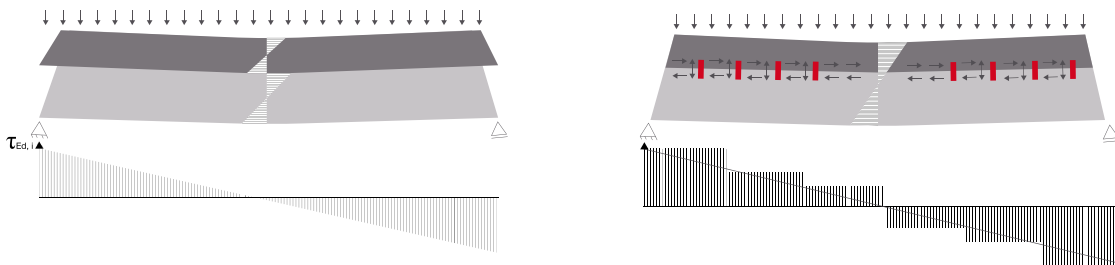
Рис. 2.12 — Механізми сприйняття навантаження

Зазвичай передавання зсуву на межі між наявним і новим бетоном необхідно перевіряти за зсувною несучою здатністю бетону відповідно до положень чинних стандартів розрахунку. Це пов'язано з тим, що пост-встановлена арматура зазвичай не проєктується для безпосереднього сприйняття зсувного навантаження подібно до анкерного болта (див. положення EC2-4 [3]). Водночас пост-встановлену арматуру можна застосовувати для передавання зсуву за механічними принципами тертя по контактному шву, як пояснено в наступному розділі та викладено у сучасних стандартах і настановах (наприклад, EC2-1-1 [1] та EOTA TR 066 [4]).

2.2.2 Механізм сприйняття навантаження для застосувань із зсувним тертям

Вкрай важливо активувати передавання поздовжніх зсувних напружень через анкерні упори, щоб сформувати спільнодіючий (композитний) переріз. Це забезпечує повну несучу здатність збільшеного перерізу за рахунок нашарування. Якщо контактний шов не з'єднано анкерними упорами/шпонками, то навіть за експлуатаційних навантажень адгезійний опір між шарами перевищується вже за малих відносних зміщень 0,03–0,05 мм через розтріскування/відшарування вздовж шва, що призводить до роз'єднаної роботи шарів (кожен шар згинається окремо, а не монолітно) (див. рис. 2.13а та рис. 2.13b). У такому разі новий верхній шар фактично працює як власна вага, а не додає сумарної несучої здатності. Щоб забезпечити безпечне, надійне і передбачене проектом з'єднання між двома шарами бетону, передавання зсуву має здійснюватися за трьома основними механізмами (див. рис. 2.14а):

- Адгезія/механічне зачеплення
- Тертя
- Ефект шпонки



а) Без анкерних упорів

б) З анкерними упорами

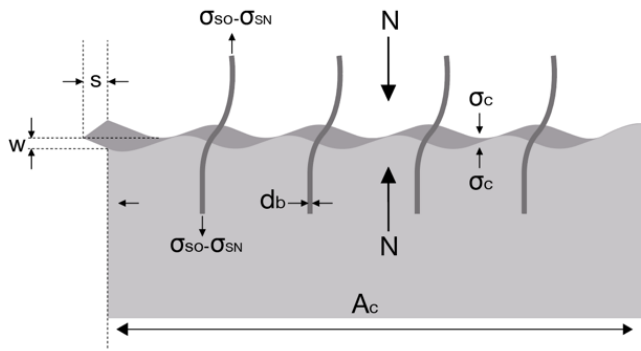
Рис. 2.13 — Напруження в перерізі під дією зсувного навантаження

Компонент **адгезії** зумовлений хімічними зв'язками між частинками старого й нового бетону. Коли досягається гранична несуча здатність адгезійного зв'язку (що зазвичай трапляється вже за експлуатаційних навантажень), на межі між бетонними шарами відбувається відрив. Тоді зсувні напруження передаються завдяки **механічному зачепленню**, обумовленому шорсткості поверхні.

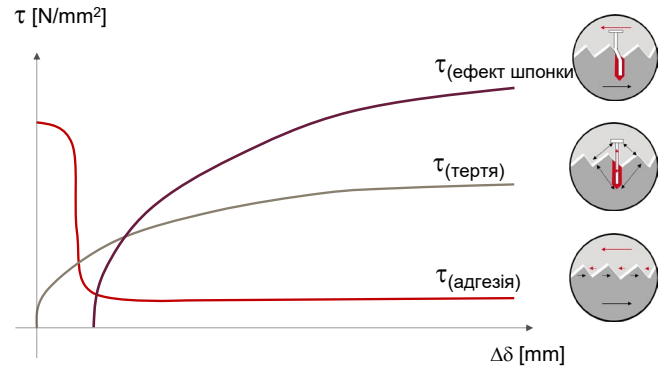
Із зростанням відносного зміщення між шарами бетону елементи, що перетинають контактний шов, — анкерні упори — зазнають навантаження і можуть руйнуватися за типами текучість сталі, висмикування або іншими бетонними механізмами, такими як виколування бетонного конуса чи розколювання по зчепленню. Завдяки опору анкерних упорів шов переходить у стиснений стан, а зсувні сили передаються шляхом **тертя**.

Через відносне зміщення шарів бетону поствстановлений анкерний упор також зазнає зсувного навантаження — це зазвичай називають **ефектом шпонки**.

Рис. 2.14b ілюструє індивідуальний внесок трьох складових передавання зсуву; важливо, що ці механізми не діють однаково в кожний момент. Із зростанням шорсткості поверхні зсувна несуча здатність і зсувна жорсткість композитного стику істотно збільшуються. Водночас розподіл сумарного опору між трьома несучими компонентами змінюється. В граничних випадках при дуже шорсткій поверхні з'єднувальні елементи в зоні шва переважно працюють на розтяг, тоді як для гладкої поверхні на анкерних упорах переважають зсувні напруження від ефекту шпонки.



а) Передавання зсуву через контактний шов



б) Чинники, що визначають опір

Рис. 2.14 — Механізм передавання зсуву

3. НОРМАТИВНА БАЗА ДЛЯ КВАЛІФІКАЦІЇ ТА РОЗРАХУНКУ

3.1 Огляд європейської нормативної бази

Конструктивні з'єднання з використанням пост-встановленої арматури допускаються в усіх застосуваннях, де монолічена арматура проєктуються та виконуються відповідно до чинних національних будівельних норм, що базуються на Єврокодах. Водночас придатність усієї системи поствстановленої арматури — включно з матеріалами (розчин, арматура) та застосованим методом монтажу — має бути підтверджена незалежним уповноваженим органом як така, що забезпечує порівнювані із системою монолітної арматури (несуча здатність/деформативність за різних впливових параметрів). Лише підтверджені системи пост-встановленої арматури можуть проєктуватися згідно з установленими стандартами розрахунку.

Регламент (EU) № 305/2011 про будівельні вироби (CPR) встановлює гармонізовані правила для виведення будівельних виробів на ринок ЄС та визначає, як декларувати їх експлуатаційні показники через державні органи та європейські організації, зокрема **Європейський комітет зі стандартизації (CEN)**. Єврокоди (EC) та стандарти, опубліковані CEN, слугують референтними документами для проєктування та будівництва, підтвердження відповідності, формулювання вимог у підрядних договорах у будівництві й цивільній інженерії, а також забезпечують нормативну рамку для розроблення гармонізованих технічних специфікацій на будівельні вироби, будівельні роботи та пов'язані інжинірингові послуги.

Примітка: Єврокоди впроваджуються в державах-членах CEN спільно з чинними національними нормами (наприклад, Національними додатками до окремих Єврокодів).

Оцінювання експлуатаційних характеристик систем пост встановленої арматури регулюється **Європейськими документами з оцінки (EADs)**, розробленими **Європейською організацією з технічної оцінки (EOTA)**, до складу якої входять усі **Органи технічної оцінки (TABs)**, призначені державами-членами Європейського Союзу та Європейської економічної зони (наприклад, DIBt у Німеччині, CSTB у Франції, ITC-CNR в Італії тощо). **EADs** охоплюють вихідні умови, припущення, необхідні випробування, оцінювання основних експлуатаційних характеристик і критерії їх кваліфікації. Будівельні системи відповідно до конкретного **EAD** оцінюються за допомогою **Європейських технічних оцінок (ETAs)**, які видаються **TABs**. **ETAs** демонструють кваліфіковані експлуатаційні характеристики виробів і оцінені методи їх монтажу.

EOTA також координує застосування процедур, установлених для подання запиту на ETA, а також процедури ухвалення EAD. Крім того, на додаток до європейських кодексів і стандартів, розробляються **Технічні звіти EOTA (TR)** як допоміжні документи до EADs, що містять детальні положення, релевантні будівельній продукції (проєктування, виконання та оцінювання випробувань).

Примітка. EOTA відповідає за оцінювання будівельної продукції (у разі відсутності гармонізованого EN). Проєктування належить до сфери CEN. Якщо для будівельної продукції та її передбаченого застосування не існує норм проєктування, EOTA також надає проєктну документацію (зазвичай видану як TRs). Ці документи не повинні суперечити чи конфліктувати з проєктними документами CEN.



Рис. 3.1 — Європейська схема розрахунку й оцінювання рішень із пост-встановленою арматурою

3.2 РОЗРАХУНОК ЗАСТОСУВАНЬ ІЗ ПОСТ-ВСТАНОВЛЕНОЮ АРМАТУРОЮ

3.2.1 Положення з проєктування за Eurocode

Широкі дослідницькі програми (проведені окремими фахівцями та академічними установами по всьому світу, напр., [5], [6]) сприяли створенню повної процедури оцінювання за EAD 330087 [7]. Специфіка цієї оцінки ґрунтується на концепції еквівалентності експлуатаційних показників (міцність зчеплення та поведінка «навантаження–переміщення») між системою з пост-встановленою арматурою та системою з монолітною арматурою за різних умов довкілля/навантаження та з урахуванням способу монтажу. Ключові питання включають зносостійкість системи з пост-встановленою арматурою до несприятливих впливів та її монтаж.

Примітка: Єврокоди в цьому довіднику позначаються так: наприклад, EN 1992-1-1 → EC2-1-1.

Відповідно, метод розрахунку та положення для монолітної арматури в EC2-1-1 [1] можуть застосовуватися до систем пост-встановленої арматури, оцінених згідно з EAD 330087 [7]. Базова довжина анкера, розрахункова довжина анкера та розрахункова довжина з'єднання внапуск для з'єднань «бетон-до-бетону» визначаються за розділом 8 EC2-1-1 [1]. На рис. 3.2 схематично показано розрахункову міцність зчеплення для CIR згідно з EC2-1-1 [1]. Єдине обмеження — застосування можливі лише там, де допускаються застосування прямої арматури й з'єднання внапуск; у подібний спосіб положення EC2-1-2 [8] та EC8-1 [9] застосовують, коли розглядаються пожежні впливи та сейсмічні дії.

Примітка. EC2-1-1 [1] не містить спеціальних положень щодо розрахунку з'єднань із пост-встановленою арматурою. Водночас EAD 330087 [7] посилається на EC2-1-1 [1] як на застосовні документи стандарту розрахунку для систем пост-встановленої арматури, відповідно оцінених і підтверджених.

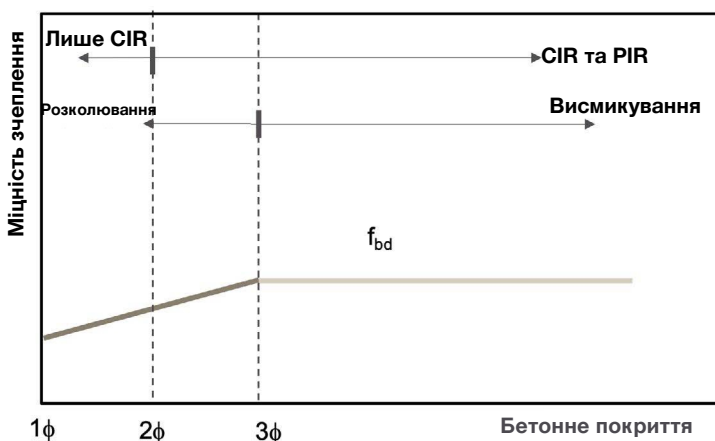


Рис. 3.2 — Розрахункова міцність зчеплення за EC2-1-1 [1]

3.2.2 Застосування, що охоплюються положеннями з проєктування EC2-1-1

Положення EC2-1-1 [1] можна використовувати для проєктування таких застосувань (див. рис. 3.3), у яких не відбувається виколування бетонного конуса (див. розділ 2):

- **Застосування з кінцевим анкерним кріпленням** із простим опиранням, наприклад плита/балка, під'єднана до колони/стіни.
- **Застосування з кінцевим анкерним кріпленням**, у яких передається лише стиск, наприклад колона/стіна, під'єднана до плити/фундаменту/балок.
- **Застосування з кінцевим анкерним кріпленням** за наявності згинальних моментів, за умови, що зусилля розтягу урівноважуються локальними й загальними розпірками відповідно до придатної моделі «розпірка-тяга», наприклад колона/стіна ↔ плита/фундамент/балки та балка/плита ↔ колона/стіна.
- **Застосування з'єднання внапуск**, наприклад нарощування плити/балки/колони/стіни.
- **Застосування з тертям по контактному шву**, зокрема нашарування, коли розрахункова глибина занурення анкерних упорів (тобто арматурних стрижнів, що працюють як шпонки) не перевищує максимально можливої глибини встановлення в основу та верхній шар бетону (по суті, лише для товстих нашарувань).

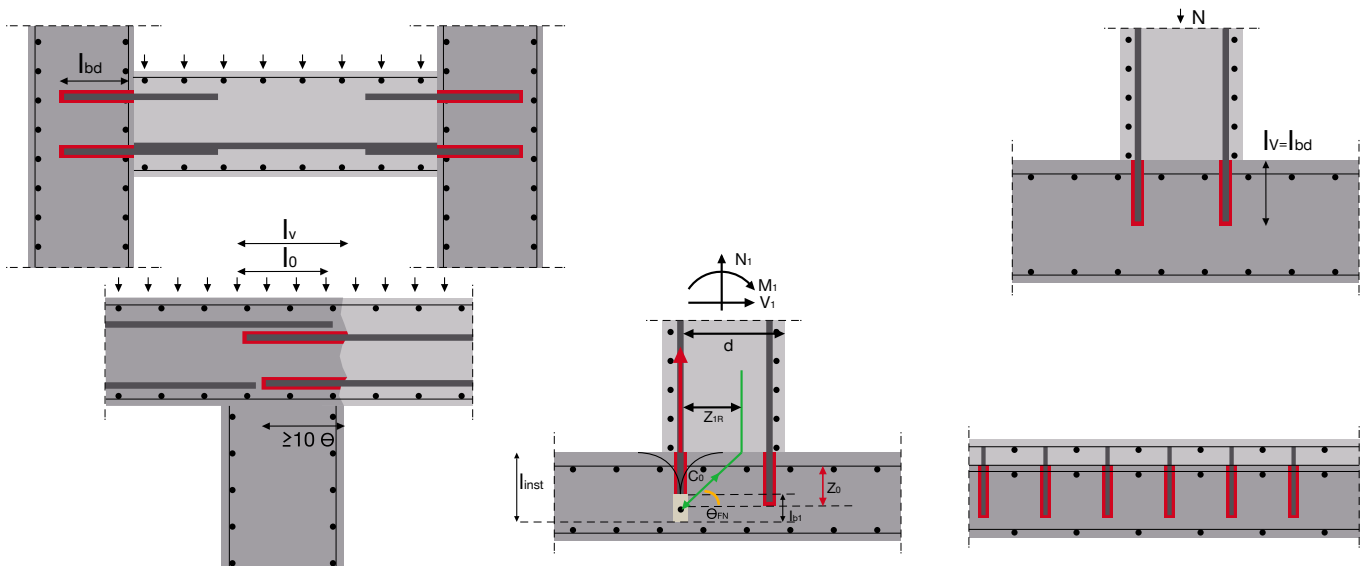
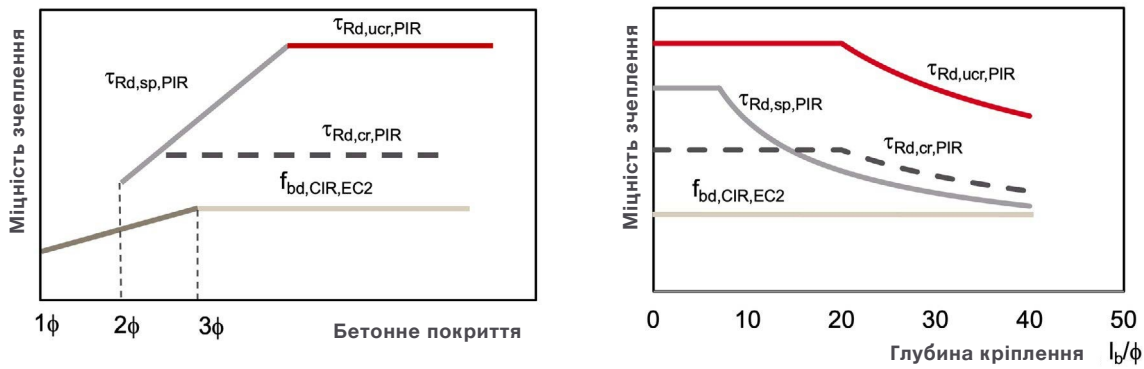


Рис. 3.3 — Застосування з пост-встановленою арматурою, що охоплюються положеннями EC2-1-1 [1]

Див. розділи 5, 6 і 7 для докладніших відомостей щодо положень EC2-1-1 [1] для: з'єднань внапуск, застосувань з кінцевим анкерним кріпленням та застосувань із тертям по контактному шву (нашарування) відповідно. Включено специфічні вимоги, що застосовуються до пост-встановленої арматури.

3.2.3 Положення EOTA TR 069 та охоплені застосування

EOTA TR 069 [2] надає метод розрахунку для систем з'єднань із пост-встановленою арматурою у випадках, коли елементи несучої конструкції зазнають дії моментів, — на основі удосконаленої моделі розколювання по зчепленню. Це покриває можливі режими руйнування, зокрема текучість сталі, виколування бетонного конуса, опір висмикуванню та розколювання по зчепленню. Додатково продуктозалежна міцність зчеплення конкретної системи пост-встановленої арматури визначається за EAD 332402 [10] та його варіантами [11], [12]. На рис. 3.4 схематично показано поведінку міцності зчеплення як функцію номінального бетонного покриття та як функцію довжини занурення. У більшості випадків фактичні значення міцності зчеплення для систем пост-встановленої арматури вищі, ніж граничні значення міцності зчеплення для CIR згідно з положеннями EC2-1-1 [1] (див. рис. 3.4).



а) Вплив бетонного покриття / відстань арматури

б) Глибина довжини кріплення

Рис. 3.4 — Поведінка міцності зчеплення

Подолавши обмежений діапазон застосувань, описаний у п. 3.2.1, завдяки новому стандарту розрахунку EOTA TR 069 [2] і кваліфікованим продуктам, оціненим за відповідними EAD, можна проєктувати такі додаткові вузли з пост-встановленою арматурою (див. рис. 3.5):

Примітка: EOTA TR 069 допускає вищі розрахункові значення міцності зчеплення для клейового розчину порівняно з EC2-1-1.

- Моментне з'єднання колона-плита
- Моментне з'єднання стіна-плита/фундамент
- Моментне з'єднання плита-стіна
- Моментне з'єднання балка-стіна/колона

Деталі розрахунку анкерування пост-встановлених арматурних стрижнів за положеннями EOTA TR 069 [2] наведено в розділі 6.

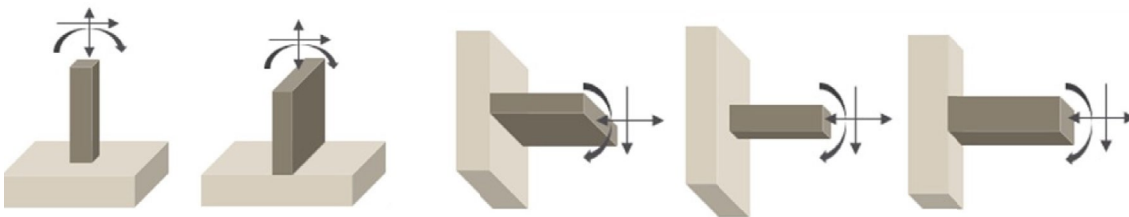


Рис. 3.5 — Типові проєктні застосування, охоплені EOTA TR 069 [2]

3.3 ОЦІНКА СИСТЕМ ІЗ ПОСТ-ВСТАНОВЛЕНОЮ АРМАТУРОЮ

3.3.1 EAD 330087 (Оцінка пост-встановленої арматури, сумісної з положеннями розрахунку EC2-1-1)

EAD 330087 [7] охоплює оцінювання систем з'єднання пост-встановлених прямолінійних стрижнів у клейовому розчині, оточених бетоном, що підлягають проєктуванню відповідно до положень EC2-1-1 [1], з метою підтвердити еквівалентність експлуатаційних показників з'єднанням із монолітною арматурою. Документ поширюється на застосування пост-встановленої арматури в конструкціях під дією статичних або квазістатичних навантажень (EC2-1-1 [1]), сейсмічних дій (EC8-1 [9]) та пожежного впливу (EC2-1-2 [8]). Зверніть увагу, що EAD 330087 [7] замінює попередній документ з критеріїв оцінювання EOTA TR 023 [13] для перевірки експлуатаційних характеристик з'єднань із пост-встановленою арматурою. Наукове підґрунтя цього методу оцінювання подано у працях низки дослідників, напр., [5], [6], [14], [15], [16].

Випробування для визначення експлуатаційних характеристик і основних показників виконують у конфігураціях, аналогічних монолітній арматурі, де домінуючим є руйнування через висмикування. Передбачені базові довідкові випробування на розтяг у трицинованому/нетрицинованому бетоні різних класів, за різних умов стійкості до несприятливих дій довкілля та навантаження. Систему з пост-встановленою арматурою можна оцінювати на розрахунковий строк служби 50 або 100 років. Визначені значення експлуатаційних характеристик публікуються в ETA. Ключові вимоги попередніх випробувань за EAD наведено на рис. 3.6.



Рис. 3.6 – EAD 330087: параметри випробувань для кваліфікації [7]

Альтернативний метод оцінювання системи з пост-встановленою арматурою до EAD 330087 [7] надає стандарт EN 1504-6 [17]. Обидва підходи дозволяють маркування CE продукції. Водночас відмінності за складом оцінюваних параметрів є суттєвими (див. табл. 3.1).

Примітка: системи з пост-встановленою арматурою з маркуванням CE за EN 1504-6 не слід використовувати для несучих (конструктивних) застосувань.

Таблиця 3.1 – Порівняння оцінювання систем із пост-встановленою арматурою за EAD 330087 [7] та EN 1504-6 [17] за [52]

Параметр	EAD 330087	EN 1504-6
Клас міцності бетону	C20/25 – C50/60	C(0,40) as per EN 1766 [18] (C50/60)
Нетріщинуватий бетон	✓	✓
Тріщинуватий бетон	✓	-
Чутливість до умов монтажу	✓	-
Монтаж за низьких/високих температур	✓	-
Метод свердління	✓	⚠ (не зазначено у CE-Mark)
Напрямок отвору	✓	
Тривале навантаження за 21 °C	✓ (50/100 років)	⚠ (3 місяці)
Навантаження за підвищених температур	✓ (50/100 років)	-
Цикли заморожування/відтавання	✓	-
Стойкість до лужності	✓	-
Захист від корозії	✓	-

3.3.2 EAD 332402 (Оцінка пост-встановленої арматури відповідно до положень розрахунку EOTA TR 069)

На додаток до оцінки за EAD 330087 [7] (разом із його обмеженнями щодо діапазону застосувань з'єднань із пост-встановленою арматурою) системи таких з'єднань більш комплексно оцінюються за продуктозалежними експлуатаційними характеристиками згідно з EAD 332402 [10] (див. рис. 3.7). Продукти, кваліфіковані за EAD 332402 [10], та їхні експлуатаційні характеристики можуть застосовуватися в методі розрахунку за EOTA TR 069 [2] для підвищення ефективності проектних рішень.

Крім того, EAD 332402 [10] (і його варіанти) усунув обмеження EAD 330087 [7] щодо оцінювання пост-встановленої арматури в тріщинованому та нетріщинованому бетоні в частині покращеної моделі розколювання по зчепленню, що використовується в EOTA TR 069 [2]. Наукове підґрунтя для EAD 332402 [10] та EOTA TR 069 [2] наведено у [19], [20], [21], [22] і [53].

Примітка. Оцінювання експлуатаційних характеристик за EAD 332402 [10] застосовне лише до систем з'єднання з пост-встановленою арматурою, які попередньо кваліфіковано згідно з EAD 330087 [7] та EAD 330499 [25]. Рис. 3.7 стисло показує поєднання цих оцінювань.



Рис. 3.7 — Оцінка пост-встановленої арматури згідно з EAD 332402 [10]

Еволюція оцінки та методів проектування постінстальованої арматури за останні два десятиліття зображена на Мал. 3.8.

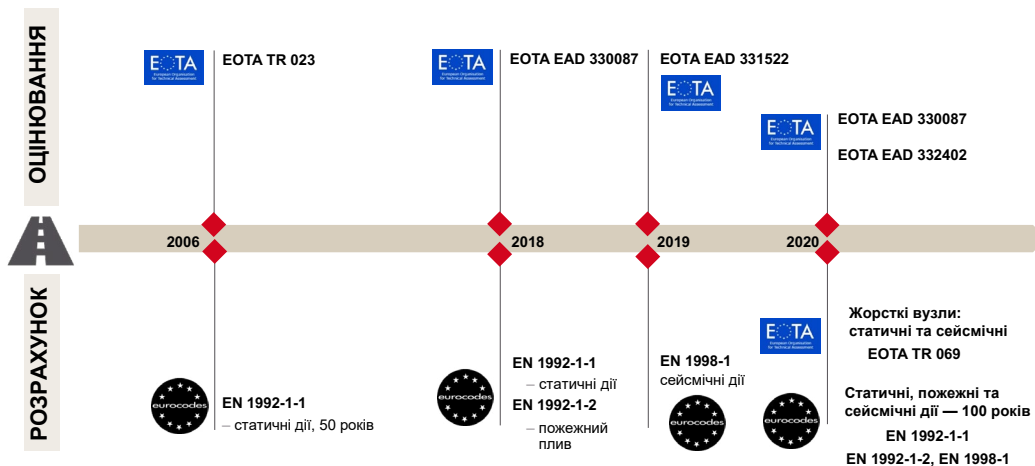


Рис. 3.8 — Еволюція методів оцінювання та розрахунку з'єднань із пост-встановленою арматурою

Примітка:

(i) Пост-встановлена арматура зазвичай проєктується для сприйняття лише осьових зусиль, а не для передачі зсуву по контактному шву. Тому необхідні перевірки зсувної несучої здатності на межі шарів слід виконувати згідно з чинними кодами та стандартами (наприклад, EC2-1-1 [1]).

(ii) Додатково потрібно виконувати перевірки з урахуванням усіх механізмів руйнування існуючого й нового бетону, зокрема несучої здатності вузлових панелей і локальної передачі зусиль в існуючому елементі — відповідно до застосовних кодів і стандартів.

3.4 Проєктування застосувань із пост-встановленим зсувним тертям (нарощування)

3.4.1 Положення проєктування за EC2-1-1

Розрахунок з'єднань із зсувним тертям між двома шарами бетону, укладеними в різний час, регламентується п. 6.2.5 EC2-1-1 [1]. Водночас положення EC2-1-1 [1] охоплюють лише випадки, коли з обох сторін шва застосовано повне анкерування арматури (граничний стан текучості сталі) як шпонок. Ця умова часто не може бути виконана при підсиленні, коли ЗБ елементи нарощують тонким шаром бетонного нашарування та/або наявний тонкий шар базового бетону. З цієї причини EOTA розробила спеціальну настанову з розрахунку для таких застосувань — EOTA TR 066 «З'єднувач для посилення існуючих бетонних конструкцій за допомогою бетонного покриття». [4].

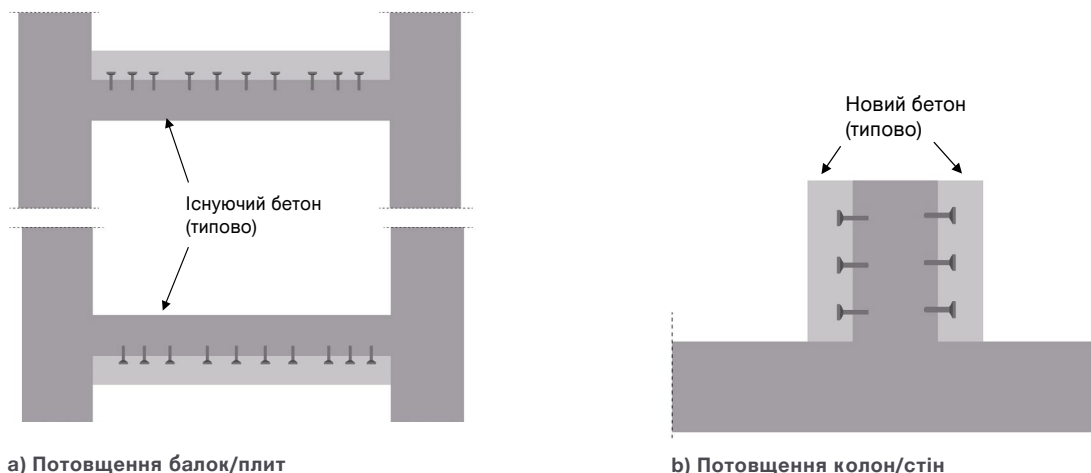
3.4.2 Положення проєктування за EOTA TR 066

Цей метод розрахунку орієнтовано на підсилення існуючої бетонної конструкції додаванням нового шару бетону до наявних елементів. Анкери, що працюють як анкерні упори (або шпонки) через контактний шов, можуть анкеруватися в існуючому бетоні як клейові анкери або гвинти по бетону та повинні мати в новому бетоні радіально симетричну головку.

EOTA TR 066 дозволяє проєктування та визначення розмірів цих з'єднань і контактного шва з урахуванням усіх **компонентів сприйняття навантаження (адгезія/зачеплення, тертя та ефект шпонки)** та інших продукто-специфічних факторів з відповідної ETA.

Типові застосування, що охоплюються положеннями EOTA TR 066

Подолавши обмеження діапазону застосувань, описані раніше (положення EC2-1-1 [1] для систем із пост-встановленими анкерними упорами передбачали лише товсті нашарування), за допомогою нового методу EOTA TR 066 [4] і кваліфікованих продуктів, оцінених за EAD 332347 [23], можна проєктувати такі типові з'єднання на зсувне тертя (див. рис. 3.9):



а) Потовщення балок/плит

б) Потовщення колон/стін

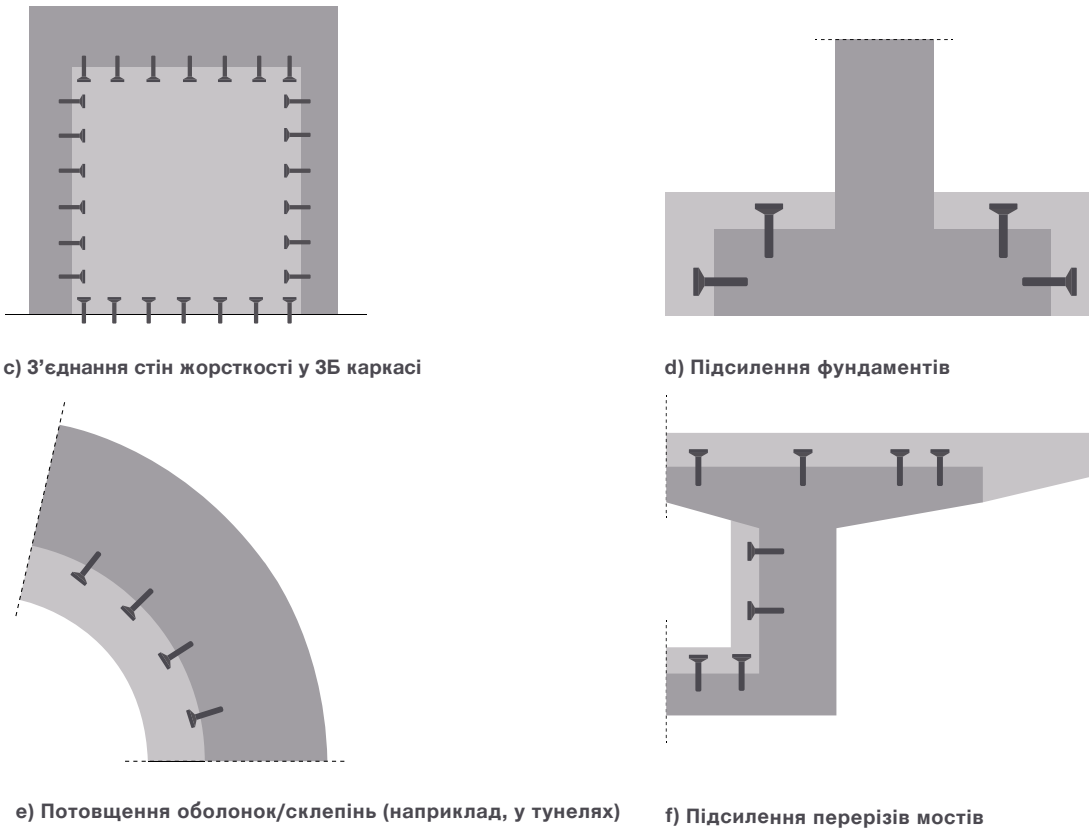


Рис. 3.9 — Типові застосування нашарувань, що охоплюються EOTA TR 066 [4]

3.5 Оцінка систем із пост-встановленими анкерними упорами

3.5.1 Оцінювання за EAD 332347

Метою EAD 332347 [23] (та його варіанту для сейсмічних дій [24]) є надання методів оцінювання основних характеристик анкерних упорів для розрахунку з'єднань на тертя по контактному шву (нашарування) за дії статичних, квазістатичних і циклічних (втомних) навантажень відповідно до EOTA TR 066 [4]. Пост-встановлені анкерні упори класифікуються за формою та принципом роботи.

Частина упора, що анкерується в існуючому бетоні, може бути виконана у вигляді клейового анкера згідно з EAD 330499 [25] або гвинта по бетону згідно з EAD 330232 [26] (див. рис. 3.10). Деталі критеріїв їх оцінювання наведено в довіднику «сталь-бетон». Частина упора в новому бетонному нашаруванні фіксується механічним зачепленням — плоскою або формованою головкою (див. EAD 332347 [23]).



a) Клейовий анкер в існуючому бетоні та гвинт по бетону

Механічне зачеплення в новому бетоні (плоска та формована головка)

Рис. 3.10 — Типи анкерних упорів у наявному бетоні та в бетонному нашаруванні, що охоплюються EAD 332347 [23]

Оцінювання анкерних упорів за дії статичних і квазістатичних навантажень базується на властивостях матеріалу (пластичність сталі) та геометрії поперечного перерізу (вигинна жорсткість) упора. Для підтвердження витривалості до втомних та сейсмічних дій передбачено відповідні системні випробування. Додатково роботу упорів перевіряють за принципами Теорії анкерів (див. табл. 2.1) для визначення опору висмикуванню, що використовується під час розрахунку зсувної несучої здатності контактного шва за EOTA TR 066 [4].

Характеристичні випробування на розтяг у сейсмічних категоріях C1 і C2 за EC2-4 [3], а також параметри зсувного з'єднання для випробувань на втому та сейсмічні дії виконують для анкерних упорів згідно з EAD 332347 [23]. Оцінювані параметри та їх значення публікуються у відповідних ETA. Еволюцію підходів до оцінювання й розрахунку анкерних упорів наведено на рис. 3.11.

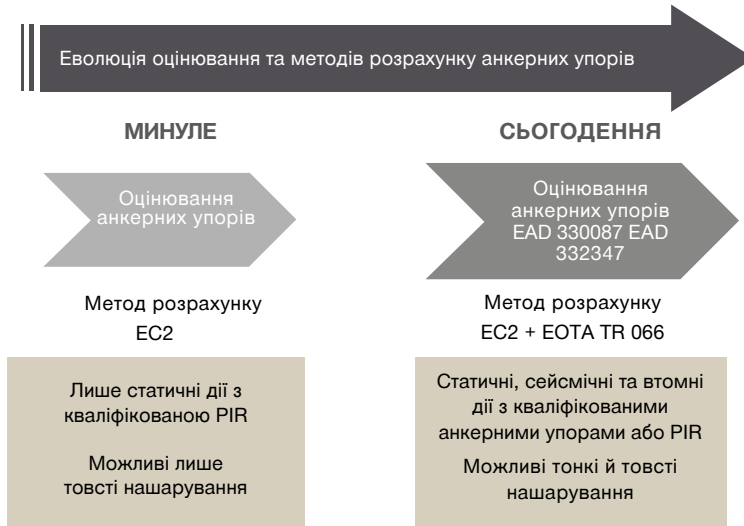


Рис. 3.11 — Еволюція оцінювання та методів розрахунку пост-встановлених анкерних упорів

3.6 Підсумок

Нижче узагальнено основні параметри розрахунку систем із пост-встановленою арматурою та анкерними упорами залежно від документа оцінювання (EAD) (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 — Підсумок розрахунку та оцінка систем з'єднань пост-встановленої арматури

Параметр оцінювання/розрахунку	EAD 330087	EAD 332402	EAD 332347
Навантаження	Статичне, сейсмічне пожежне	Статичне, сейсмічне пожежне	Статичне, сейсмічне втомне
Метод розрахунку	EC2-1-1, EC2-1-2, EC8-1	EOTA TR 069	EOTA TR 066
Діапазон застосувань	За EC2-1-1 (напр., з'єднання внапуск, анкерування, нашарування/тертя по шву)	Анкерування у з'єднаннях, що сприймають момент	Нашарування на зсувне тертя
Враховані види руйнування	Текучість сталі, висмикування та розколювання бетону	Текучість, виколування та вдосконалена модель розколювання	Відповідно до Теорії Анкерів (EC2-4)
Мінімальне бетонне покр.	2Ø	2Ø	5Ø
Достатнє обтиснення	Прийнято локал. або загальна	Не припускається	Не припускається
Мінімальна довжина зчеплення	$l_{b,min}$ або $l_{o,min}$ за EC2-1-1 (тип. $l_{b,min} = 10\phi$ та $l_{o,min} = 15\phi$)		40 mm
Максимальна довж. зчепл.	60Ø (типово)	60Ø (типово)	20Ø
Термін служби	50 / 100 років	50 / 100 років	50 років

Примітка: узагальнення методів розрахунку для пост-встановленої арматури та анкерних упорів, їх документів оцінювання (EAD), технічних даних (ETA) і діапазонів застосувань наведено в табл. 3.3 (за текстом оригіналу).

Таблиця 3.3 — Підсумок оцінювань і методів розрахунку для з'єднань «бетон-до-бетону» з пост-встановленою арматурою

Навантаження	З'єднання внапуск / Анкерування			Анкерування в жорстких з'єднаннях			Застосування зсувного тертя / Нашарування			
	Статичне	Сейсмічне	Пожежне	Статичне	Сейсмічне	Пожежне	Статичне	Сейсмічне	Пожежне	
Строк служби	50 / 100 years			50 / 100 years			Н / Д	50/100 years	50 years	Н / Д
Оцінка продукту	EAD 330087			EADs 330087/ 332402	EAD 332042	EADs 330087/ 332347		EAD 332347		
Технічні дані	ETA I			ETA I / ETA II	ETA II	ETA I / ETA III		ETA III		
Метод розрахунку	EC2-1-1	EC8-1	EC2-1-2	EC2-1-1 / EOTA TR 069	EOTA TR 069	EC2-1-1 / EOTA TR 066		EOTA TR 066		

* Примітка: посилання на Єврокоди подаються в EAD 330087 та ETA I, однак наразі вони не враховують PIR.

3.7 Матеріал залізобетону

Щоб використовувати європейську нормативну базу для кваліфікації пост-встановлених систем, методів розрахунку та технологій монтажу, матеріали залізобетону мають відповідати таким вимогам.

3.7.1 Бетон та вимоги до нього

Бетон, згаданий у цьому довіднику для систем з'єднання з пост-встановленою арматурою (пост-встановлена арматура або анкерні упори), повинен проєктуватися й деталюватися, виготовлятися за планом, транспортуватися, укладатися, ущільнюватися, тверднути та випробовуватися відповідно до вимог застосованих Єврокодів і стандартів. Додатково матеріал бетону має задовольняти такі вимоги:

Примітка: звертайтеся до Hilti щодо застосувань для інших типів бетону (напр., C90/105 або легкий бетон).

1. Бетон нормальної густини (без волокон) за EN 206 [27] класів міцності C12/15...C50/60 (для ETA на пост-встановлену арматуру) та C20/25...C50/60 (для ETA на нашарування/тертя по контактному шву).
2. Неармований бетон нормальної густини повинен відповідати мінімальним вимогам до деталювання за EC2-1-1 [1], якщо використовується для конструктивних цілей.
3. Бетон має бути некарбонізованим.
4. Граничний вміст хлоридів у бетоні для передбачуваного застосування за EN 206, табл. 15 [27]: Cl 0,20 % або 0,40 % (відносно вмісту цементу) залежно від відповідної ETA на продукт.

3.7.2 Арматура та вимоги до неї

Арматурні стрижні, наведені в цьому довіднику, — це гарячекатана періодичного профілю сталь і розмотані зі сталевий дротини стрижні, властивості яких відповідають EN 10080 [28] і EC2-1-1, Додаток С (клас В або С) [1], а також чинним національним вимогам (напр., національним додаткам до Єврокодів). Узагальнено арматура в пост-встановлених системах має відповідати таким вимогам:

1. Мінімальний і максимальний діаметр застосовної арматури — згідно з ETA.
2. Мінімальна та максимальна довжина занурення арматури — згідно з EC2-1-1 [1] і ETA.
3. Мінімальний і максимальний клас міцності арматури: 400...600 МПа відповідно до EC2-1-1 [1].
4. Висота ребра арматури повинна знаходитися в діапазоні $0.05 \cdot \phi \leq h_{rib} \leq 0.07 \cdot \phi$
5. Мінімальне значення відносної площі ребер f_R згідно з EC2-1-1 [1].
6. Максимальний зовнішній діаметр по вершинах ребер повинен становити: $1.14 \cdot \phi$





Примітка: звертайтеся до інженерної підтримки Hilti для розрахунку застосувань із матеріалами та їх характеристиками, відмінними від наведених у цьому розділі.

4. РІШЕННЯ HILTI

4.1 Рішення для застосувань із пост-встановленою арматурою

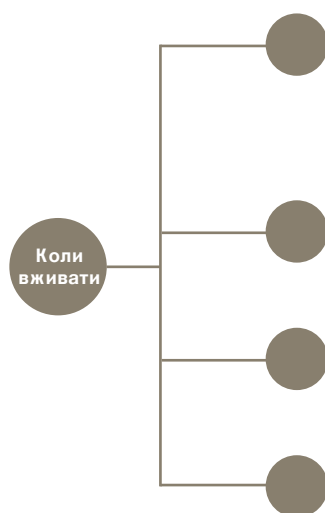
Для всього діапазону застосувань систем із пост-встановленою арматурою (див. розділи 2 і 3) основні рішення Hilti, оцінені за відповідними EAD з опублікованими ETA, наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 — Продукти, кваліфіковані EOTA, для застосувань із пост-встановленою арматурою

ПРОДУКТ	HIT-RE 500 V4	HIT-HY 200-R V3	СТ-1	FP700-R
				
Діаметри арматури	8 to 40 mm	8 to 40 mm	8 to 25 mm	8 to 40 mm
Design	Єврокод & EOTA TR 069	Єврокод & EOTA TR 069	Єврокод	Єврокод
Стандарт	ETAs 20/0539, 20/0540	ETAs 19/0600, 19/0665	ETA 11/0390	ETA 21/0624
Експлуатаційні характеристики	статичні, сейсмічні, пожежні	статичні, сейсмічні, пожежні	статичні та пожежні	статичні, сейсмічні, пожежні
Макс. строк служби	100 років *	100 років	50 років	100 років
Мін./макс. t°C монтажу	-5°C / +40°C	-10°C / +40°C	-5°C / +40°C	+5°C / +40°C
Робочий час за 20 °C	30 хв.	9 хв.	4 хв.	20 хв.
Час твердіння @	7 годин	60 хв.	75 хв.	10 діб
Метод свердління**	HD, HDB, DD+RT, DD, CA	HD, HDB, DD+RT, CA	HD, HDB, CA	HD, HDB, DD+RT, CA
Макс. довж. занур.	3200 мм	1000 мм	700 мм	2500 мм

* 120 років — за технічними даними Hilti поза сферою дії ETA.

** Див. розділ 9 щодо правильного монтажу з ефективнішим і безпечнішим інструментом Hilti SafeSet™ system.



HIT-RE 500 V4: висока ефективність в екстремальних умовах. Переважне рішення для робіт під водою / у заповнених водою отворах, для великих довжин занурення та діаметрів за високих температур монтажу, при алмазному кернуванні отворів без шорсткування, а також у тріщинованому бетоні.

HIT-HY 200-R V3: висока ефективність для повсякденних застосувань за статичних/сейсмічних/пожежних навантажень. Висока продуктивність завдяки короткому часу тверднення.






СТ-1: технологія Clean Tech для відповідності багатьом стандартам «зеленого» будівництва щодо охорони праці та безпеки, а також екологічних аспектів.

FP 700-R: неорганічний ін'єкційний розчин із переважною поведінкою за пожежного впливу порівняно з органічними системами.

4.2 Рішення для застосувань із нарощуванням бетону (зсувне тертя)

Для всього діапазону застосувань із використанням анкерних упорів (див. розділи 2 і 3) рішення Hilti кваліфіковані за EAD 332347 [23] з опублікованими ETA — див. табл. 4.2. Зазвичай анкерні упори виконують у вигляді стрижневих анкерів; водночас зсувні з'єднання можуть утворюватися і пост-встановленою арматурою: прямий кінець занурюють в існуючий шар бетону, а загнутий кінець — у свіжий шар бетону.

Таблиця 4.2 — Продукти, кваліфіковані EOTA, для анкерних упорів у бетонних нашаруваннях

ПРОДУКТ	HUS4-N	HAS-U (HCC-U)	HCC-K	HCC-B	Загнута арматура *
					
Номенклатура (діаметр, мм)	8,10,12,14,16	M8 to M30	10,12,14,16	14	8 to 25
Форма головки	Шестигранна головка з опцією з'єднання армат.	Гайка або пластина	Болтова головка	Оптимізована болтова головка та з'єднувач	Загнутий кінець
Оцінка (ETA)	ETA 21/0969	ETA 20/0697	ETA 20/0475	ETA 18/1022	ETAs для HIT-RE 500 (20/0539) та HIT-HY 200-R (19/0600)
Експлуатаційні навантаження	статичні, сейсмічні	статичні	статичні	статичні та втомні	статичні та сейсмічні
Навант. після встановлення	Так	Ні	Ні	Так (1 kN)	Ні
Можливість регулювання	Під час встановлення	Обрізка перед встановленням	Обрізка перед встановленням	Під час встановлення	Обрізка перед встановленням

* Технічні дані Hilti, оскільки анкерний елемент виходить за сферу дії EAD 332347 [23].

4.3 ЕТАПИ ПРОЦЕСУ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ВИКОНАННЯ РОБІТ

Для будь-якого проєкту, що включає розрахунок застосувань із пост-встановленою арматурою або пост-встановленими анкерними упорами (як для запланованих, так і для незапланованих застосувань; див. рис. 4.1), необхідно визначити конструктивні та матеріальні властивості, а також задати вимоги розрахунку й цільові параметри. Нижче подано загальний підхід, який можна застосовувати під час розрахунку й улаштування з'єднань «бетон-до-бетону» із використанням пост-встановлених систем для **запланованих застосувань**.

1. Концептуальна стадія розрахунку:

- Визначити архітектурні та конструктивні критерії: форма, розмір, прольот, товщина, впливи середовища, вимоги до довговічності та сталості проєкту
- Визначити тип наявної конструкції, її елементи та їхні деталі
- Обрати загальні критерії та цілі розрахунку, керівні кодекси/стандарти, ETA, критерії вибору рішення і початкові розрахункові значення

2. Розрахунок несучої здатності (структурний аналіз):

- Визначити розрахункові навантаження (статичні, сейсмічні, пожежні)
- Визначити умови монтажу, релевантні до розрахунку
- Розрахувати переріз та матеріальні характеристики
- Обрати відповідний метод розрахунку
- Задати несучу здатність (коефіцієнт використання) та/або допустимі межі напружень.
- Визначити комбінації навантажень.

Примітка. Для використання в концептуальному розрахунку звертайтеся до Hilti Fastening Technology Manual (FTM) щодо експлуатаційних характеристик продукції.



ANCHOR FASTENING
TECHNOLOGY
MANUAL

3. Детальний розрахунок / специфікація:

- Розрахувати й перевірити базову довжину анкерування
- Розрахувати розрахункову довжину анкерування / довжину з'єднання внапуск
- Перевірити доступну довжину встановлення в елементі основи
- Розрахуйте та перевірте граничні напруження при експлуатаційному та граничному станах
- Перевірте коефіцієнт використання для різних видів руйнування та їхніх комбінацій.

Примітка. Користуйтеся Hilti PROFIS Engineering для детального розрахунку (див. розд. 8).

**4. Проектна документація:**

- Підготувати робочі креслення із зазначенням положення, кроку та довжини занурення пост-встановленої арматури або анкерних упорів
- Задати специфікації щодо клейового розчину, методів його встановлення та ін'єктування
- Встановити вимоги до огляду / контролю якості на будмайданчику

5. Виконання робіт:

- Закупити рішення та монтажне обладнання
- Виявити й зафіксувати позиції стрижнів після сканування основи на наявність включень (металів чи інших сторонніх об'єктів).
- Підготувати поверхню (необхідне шорсткування) належними інструментами та методами за IFU для застосувань зі зсувним тертям.
- Свердління та очищення за допомогою правильних інструментів та технологій, зазначених у ETA, відповідно до IFU
- Інспекція та випробування на місці як частина контролю якості на об'єкті
- Запит на інформацію/зміни/перегляд на основі відгуків під час виконання робіт та контролю якості.
- Керування змінами та їх впровадження (якщо є) відповідно до наведених вище етапів.

Примітка. Для безпечного й надійного монтажу застосовуйте Hilti SafeSet (див. розд. 9).



Незаплановані застосування охоплюють потребу встановлення пост-встановлених систем на об'єкті, що може виникати через пропущені арматурні стрижні (навмисно/ненавмисно) в елементах конструкції для забезпечення монолітних з'єднань. Для таких випадків інженер-проектувальник може дотримуватися описаного вище процесу, починаючи з Кроку 2.

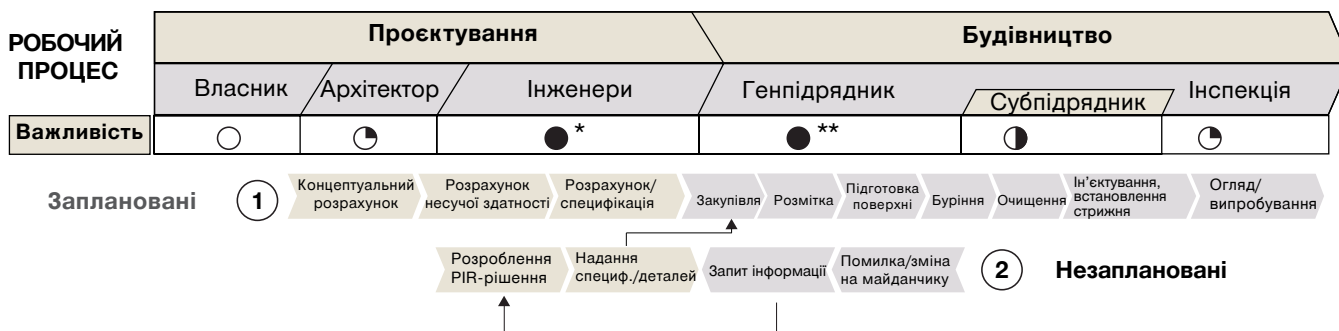


Рис. 4.1 — Загальний робочий процес проектування та монтажу з'єднань із пост-встановленою арматурою

4.4 Hilti як постачальник комплексних системних рішень

Найбільші виклики для **проектувальника** — створити оптимізовані та погоджені рішення розрахунку з простою документацією в найкоротші строки й із підвищеною продуктивністю за наявного ресурсу людино-годин. Для **підрядників** типовими є виклики продуктивності, охорони праці та безпеки, екології, якості та браку кваліфікованої робочої сили. Усе це, коли йдеться про пост-встановлену арматуру, може спричиняти брак часу, низьку якість монтажу, ризики для безпеки працівників і, зрештою, компроміси щодо несучої здатності неправильно встановлених стрижнів.

Hilti співпрацює з усіма зацікавленими сторонами, щоб мінімізувати ці ризики, підтримуючи процеси, які роблять проектування та монтаж швидшими, безпечнішими й продуктивнішими як постачальник комплексного системного рішення (див. рис. 4.2), забезпечуючи ефективну взаємодію між проектувальниками, підрядниками та інспекторами.

Широка номенклатура: кваліфіковані продукти
PROFIS Engineering C2C - Оптимізований і ефективний розрахунок PIR
Технічна підтримка - Інженерний супровід
Навчання з техніки арматурного монтажу - Для підвищення продуктивності

Розміщення - Сканери
Підготовка поверхні - Система свердління, тренінг
Свердління - інструменти й оснащення — Hilti SafeSet
Очищення - інструменти та аксесуари — Hilti SafeSet
Ін'єктування та монтаж - розумний дозатор, розчини та аксесуари



Рис. 4.2 — Hilti як партнер із комплексних системних рішень



Сертифіковані продукти

Випробувані та схвалені EOTA продукти й інструменти, що забезпечують потрібні показники продуктивності та безпеки



Оптимізовані розрахункові рішення

Програмне забезпечення для підвищення рівня оптимізації, ефективності та загальної продуктивності



Безпечний і швидкий монтаж

Послуги та продукти для партнерів, щоб виконувати будівельні роботи безпечніше та швидше в будь-яких умовах

5. ПРОЄКТУВАННЯ З'ЄДНАНЬ ВНАПУСК

5.1 Загальні положення

У попередніх розділах розглянуто різні застосування та механізми передавання зусиль, які можна проектувати з використанням кваліфікованих рішень із пост-встановленою арматурою в межах чинної нормативної бази ЄС. З'єднання внапуск — переважний спосіб забезпечити монолітне з'єднання між існуючими та новими бетонними елементами. У цьому розділі наведено кроки розрахунку для визначення потрібної довжини внапуску для пост-встановленої арматури. Розглядаються навантаження: статичні, сейсмічні та пожежні — згідно з положеннями EN 1992-1-1 (EC2-1-1) [1] (для статичних), EN 1992-1-2 (EC2-1-2) [8] (для пожежі) та EN 1998-1 (EC8-1) [9] (для сейсміки). З'єднання внапуск можуть бути двох типів (див. рис. 5.1):

З'єднання внапуск монолітної арматури: це з'єднання зазвичай спостерігається в конструкційних елементах, що виконуються під час будівництва до заливання бетону, коли арматура розташовується відповідно до проектних креслень. Такий тип з'єднання зазвичай є контактним, оскільки арматурні стрижні перебувають у безпосередньому контакті між собою по всій довжині з'єднання. Навантаження передається переважно через контакт між ребрами арматури.

З'єднання внапуск монолітної арматури з пост-встановленою арматурою: це з'єднання створюється, коли пост-встановлена арматура розташована паралельно до монолітних стрижнів існуючих бетонних елементів. Такий тип з'єднання є безконтактним, оскільки монтаж пост-встановленої арматури передбачає свердління в існуючому бетоні без пошкодження монолітної арматури. Основна передача навантаження здійснюється через локальні стиснуті розпірки, що формуються між двома арматурними стрижнями.

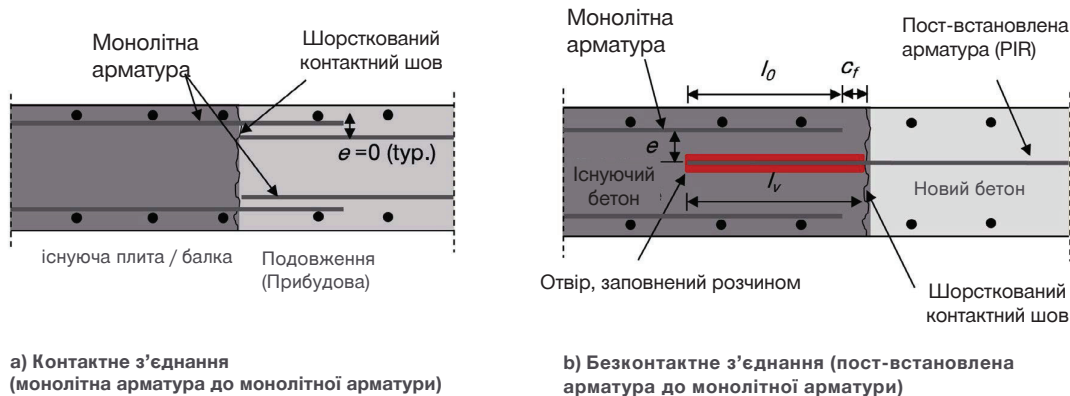


Рис. 5.1 — Типи з'єднань внапуск

5.2 Розрахунок для статичних навантажень

Розрахунок з'єднань внапуск із використанням сертифікованої пост-встановленої арматури для статичних і квазістатичних навантажень виконується згідно з положеннями розділу 8.7 стандарту EC2-1-1, які є дуже подібними до вимог для монолітної арматури. Додаткові положення наведено в документі EAD 330087. Етапи проектування з'єднань внапуск із пост-встановленою арматурою наведено нижче.

Для монолітної арматури основна необхідна довжина анкерування $l_{b,rqd}$ що базується на постійному напруженні зчеплення f_{bd} і визначається за формулою:

$$l_{b,rqd} = (\phi/4) \cdot (\sigma_{sd}/f_{bd}) \quad \text{EC2-1-1 eq. (8.3)}$$

Де,

σ_{sd} — розрахункове напруження в арматурі

ϕ — діаметр арматури

Для монолітної арматури розрахункова міцність зчеплення f_{bd} визначається за формулою

$$f_{bd} = 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} \quad \text{EC2-1-1 рівн. (8.2)}$$

де,

$\eta_1 = 1.0$ або 0.7 (коефіцієнт, що залежить від умов зчеплення та положення арматури згідно до EC2-1-1, розд. 8.4.2 [1])

$\eta_2 = 1.0$ для $\phi \leq 32$ мм або $(132 - \phi)/100$ для інших ϕ

f_{ctd} — розрахункова міцність бетону на розтяг для застосованого класу бетону.

Для пост-встановленої арматури відповідну розрахункову міцність зчеплення $f_{bd,PIR}$ беруть із релевантної ЕТА на виріб замість f_{bd} за EC2-1-1 (рівн. 8.2) для системи з монолітною арматурою.

Відповідно, для пост-встановленої арматури рівняння 8.3 набуває вигляду:

$$l_{b,rqd,PIR} = (\phi/4) \cdot (\sigma_{sd}/f_{bd,PIR}) \quad \text{EC2-1-1 рівн. (8.3) + EAD 330087}$$

Примітка. Для деяких виробів $f_{bd,PIR}$ може бути нижчим за f_{bd} для монолітної арматури.

Примітка. Умови зчеплення залежать від положення арматури в бетоні (умова верхнього шару під час укладання може спричинити повітряні порожнини вздовж довжини зчеплення та нижчу розтягувальну міцність бетону). Для пост-встановленої арматури повітряні порожнини не є проблемою, оскільки її встановлюють у затверділий бетон. Водночас коефіцієнт η_1 усе одно застосовують через можливе зниження розтягувальної міцності бетону.

Необхідна розрахункова довжина внапуску l_0 визначається за формулою:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min,PIR} \quad \text{EC2-1-1, рівн. (8.10)}$$

Для пост-встановленої арматури мінімальна довжина внапуску $l_{0,min,PIR}$ у наведеному вище рівнянні множиться на коефіцієнт α_{lb} (з відповідної ЕТА):

$$l_{0,PIR} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd,PIR} \geq \alpha_{lb} \cdot l_{0,min} \quad \text{EC2-1-1, рівн. (8.10) + EAD 330087}$$

1) α_1 залежить від форми стрижнів.

Для пост-встановлених прямих стрижнів значення α_1 приймають рівним 1,0

2) α_2 залежить від номінального бетонного покриття до арматури (частина пасивного обтиснення)

α_2 змінюється в діапазоні від 0.7 до 1.0 за формулою $\alpha_2 = 1 - 0.15 \cdot (c_d - \phi)/\phi \geq 0.7$

де c_d залежить від положення стрижня, як показано на рис. 5.2

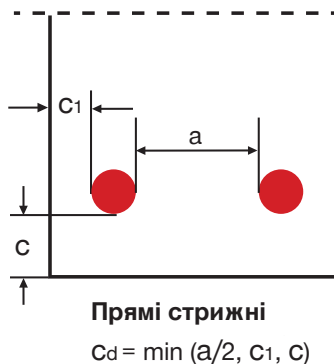


Рис. 5.2 — Коефіцієнт на основі бетонного покриття та кроку арматури

3) α_3 залежить від поперечного армування (також належить до пасивного обтиснення).

Значення α_3 змінюється в межах 0.7 до 1.0 за формулою $\alpha_3 = 1 - K\lambda \geq 0.7$

де:

$$\lambda = (\Sigma A_{st} \Sigma A_{st, min}) / A_s$$

ΣA_{st} — сумарна площа поперечної арматури на довжині анкерування;

A_s — площа поперечного перерізу одного стрижня, що з'єднується внапуск;

$$\Sigma A_{st, min} = 1.0 A_s (\sigma_{sd} / f_{yd})$$

K — коефіцієнт, що залежить від положення пост-встановленого стрижня і приймає значення 0; 0,05 або 0,1 (див. рис. 5.3).

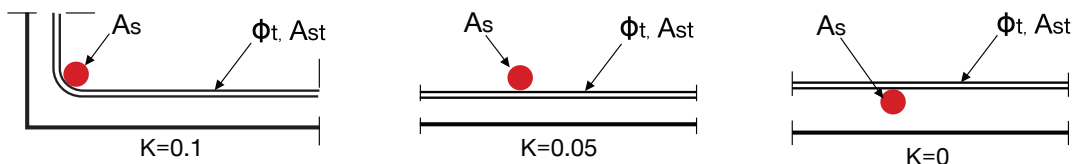


Рис. 5.3 — Значення K для балок і плит

4) α_4 залежить від обтиснення звареною поперечною арматурою стрижня.

Для монолітної арматури приймають 0,7; для пост-встановленої арматури $\alpha_4 = 1.0$

5) α_5 залежить від активного обтиснення тиском 'p' (N/мм²), прикладеним перпендикулярно до площини розколювання вздовж розрахункової довжини анкерування:

$$\alpha_5 = 1 - 0.04p \geq 0.7 \text{ та } \alpha_5 \leq 1.0$$

6) α_6 залежить від відсотка стрижнів у з'єднанні внапуск (ρ_1) у межах $0,65(l_0)$ від центра зони внапуску відносно загальної площі перерізу арматури. Значення α_6 змінюється від 1,0 до 1,5 і визначається за формулою $\alpha_6 = (p_1/25)^{0.5}$. Для з'єднань із пост-встановленою арматурою частка стрижня у зоні стику на межі «існуючий/новий бетон» зазвичай становить 100 %. (Див. також національні норми, що уточнюють положення EC2-1-1.)

7) α_{lb} залежить від характеристик виробу (ETA) і масштабує мінімальну довжину анкерування l_0, min .

Значення α_{lb} приймають у межах 1.0 до 1.5

Підсумок коефіцієнтів і їхніх значень для пост-встановленої арматури наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 — Підсумок коефіцієнтів « α » для пост-встановленої арматури

Коефіцієнти за EC2-1-1	Арматура на розтяг	Арматура на стиск
α_1 - форма стрижня	$\alpha_1 = 1.0$	$\alpha_1 = 1.0$
α_2 - Бетонне покриття	$\alpha_2 = 0.7$ to 1.0 $\alpha_2 = 1 - 0.15 \cdot (c_d - \phi) / \phi \geq 0.7$	$\alpha_2 = 1.0$
α_3 - Поперечне армування без зварювання (пасивне обтиснення)	$\alpha_3 = 0.7$ to 1.0 $\alpha_3 = 1 - K\lambda$	$\alpha_3 = 1.0$
α_4 - Поперечне армування, приварене до пост-встановленої арматури — не заст.	$\alpha_4 = 1.0$	$\alpha_4 = 1.0$
α_5 - Поперечний тиск (активне обтиснення)	$\alpha_5 = 0.7$ to 1.0 $\alpha_5 = 1 - 0.04p$	$\alpha_5 = 1.0$
α_6 - відсоток стрижнів у з'єднанні внапуск	$\alpha_6 = 1.0$ to 1.5 (або згідно з національними вимогами)	$\alpha_6 = 1.0$ (або згідно з національними вимогами)
α_{lb} - коефіцієнт збільшення мінімальної довжини внапуску	Береться з ETA	Береться з ETA

Примітка: згідно з EC2-1-1, рівн. (8.5), добуток $\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5$ не повинен бути меншим за 0,7.

Кінцева розрахункова довжина внапуску l_0 , отримана за наведеними вище рівняннями та коефіцієнтами, має перевірятися на мінімальну довжину внапуску:

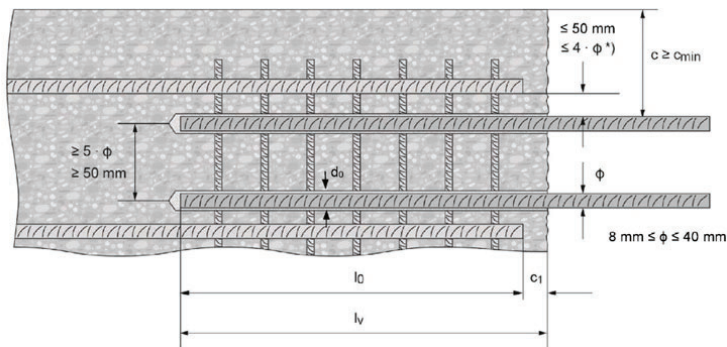
$$l_{0,min,PIR} = \alpha_{IB} \cdot \max\{0.3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15 \cdot \phi; 200 \text{ mm}\} \quad \text{EC2-1-1, рівн. (8.11) + EAD 330087}$$

Примітка. Визначальною є більша з довжин внапуску, розрахована для монолітної та пост-встановленої арматури.

5.2.1 ПРАВИЛА ДЕТАЛЮВАННЯ

Проектувальник повинен приділяти особливу увагу деталюванню арматури згідно з вимогами стандарту та ЕТА на виріб (номінальне бетонне покриття, відстані, товщина основи, шорсткість поверхні тощо), щоб запобігти відшаруванню бетону або утворенню широких тріщин за умови забезпечення необхідної передачі зусиль. Окрім виконання вимог щодо довговічності та вимог до деталювання арматури (застосовно розд. 4, 8, 9 EC2-1-1), для монтажу пост-встановленої арматури мають виконуватися такі правила (див. рис. 5.4):

- Якщо чиста відстань між арматурними стрижнями, що з'єднуються внапуск 'е' перевищує 4ϕ або 50 мм, довжину перекриття l_0 слід збільшити на величину, що дорівнює $(e-4\phi)$ або $(e-50 \text{ мм})$ відповідно до EC2-1-1, розділ 8.7.2. [1].
- Мінімальний чистий крок між двома пост-встановленими стрижнями має бути більшим за 40 мм або 4ϕ . У разі використання направляючого пристрою для свердління значення 4ϕ може бути замінено на 2ϕ .

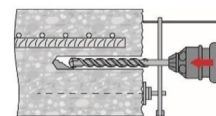


*) Якщо чиста відстань між стрижнями у внапуску перевищує $4 \cdot \phi$ або 50мм, довжина внапуску збільшується на різницю між чистою відстанню та меншим із значень $4 \cdot \phi$ або 50мм. Тут l_v — глибина встановлення.

Рис. 5.4 — Правила деталювання для системи пост-встановленої арматури (з ЕТА)

- Щоб запобігти пошкодженню бетону під час свердління, необхідно дотримуватися таких вимог до мінімального номінального бетонного покриття c_{min} згідно з EAD 330087, залежно від методу свердління (див. рис. 5.5):

Метод свердління	Діаметр стрижня [мм]	Мінімальне бетонне покриття c_{min} [мм]	
		Без направляючого	З направляючим
Ударне свердління (HD) та (HDB) ¹⁾	$\phi < 25$	$30 + 0,06 \cdot l_v \geq 2 \cdot \phi$	$30 + 0,02 \cdot l_v \geq 2 \cdot \phi$
	$\phi \geq 25$	$40 + 0,06 \cdot l_v \geq 2 \cdot \phi$	$40 + 0,02 \cdot l_v \geq 2 \cdot \phi$
Алмазне свердління з шорсткуванням інструментом Hilti TE-YRT (RT)	$\phi < 25$	$30 + 0,06 \cdot l_v \geq 2 \cdot \phi$	$30 + 0,02 \cdot l_v \geq 2 \cdot \phi$
	$\phi \geq 25$	$40 + 0,06 \cdot l_v \geq 2 \cdot \phi$	$40 + 0,02 \cdot l_v \geq 2 \cdot \phi$



¹⁾ Примітка: 1) HDB = порожнисті бурові коронки Hilti TE-CD і TE-YD.

Коментар: мінімальне бетонне покриття за EN 1992-1-1 має виконуватися.

Рис. 5.5 — Мінімальні вимоги до бетонного покриття згідно з EAD 330087 для пост-встановленої арматури

Примітка. Мінімальне номінальне бетонне покриття c_{min} згідно з EAD 330087 є орієнтовним значенням на підставі досліджень [5]. Дотримання цих мінімальних значень не гарантує автоматично монтаж без утворення тріщин або відшарування покриття. Важливо, щоб роботи виконували підготовлені фахівці з використанням відповідного інструменту (див. розд. 9)

5.2.2 Вимоги до довговічності

Довговічність застосування пост-встановленої арматури не повинна бути меншою за її передбачуваний термін служби. Протягом цього періоду використання арматура не повинна зазнавати несприятливого впливу факторів навколишнього середовища, таких як корозія арматури внаслідок карбонізації бетону. Це забезпечується наступним:

- Кваліфікований розчин у системі пост-встановленої арматури забезпечує захист арматури від корозії не гірший, ніж у випадку монолітної арматури.
- Номінальне бетонне покриття: $c_{min} = \max(c_{min,dur}; c_{min,ETA})$
де $c_{min,dur}$ — мінімальне покриття для відповідних класів впливу згідно з EC2-1-1, [1]
та $c_{min,ETA}$ мінімальне покриття, наведене у відповідній ETA.

5.3 Розрахунок для сейсмічних навантажень

Для визначення довжини з'єднань внапуск з пост-встановленою арматурою за сейсмічної дії положення для статичного випадку (монолітна арматура) залишаються чинними згідно з EC8-1, розділ 5.6.1. Водночас для пост-встановленої арматури придатність розчину до сприйняття сейсмічних (циклічних) навантажень має бути перевірена в сейсмічних оцінюваннях з урахуванням чинників впливу та значень розрахункової міцності зчеплення ($f_{bd,seis}$), наведених у відповідних ETA. Відповідно, базове рівняння для довжини внапуску модифікується так:

$$l_{b,rqd,seis} = (\phi/4) \cdot (\sigma_{sd}/f_{bd,seis}) \quad \text{EC2-1-1 рівн. (8.3) + EAD 330087}$$

Залежно від конструктивного задуму застосування у розрахунках може бути доцільно замінити σ_{sd} на границю текучості арматури f_{yd} .

Ці вимоги головно обумовлені необхідністю уникнути можливого висмикування, що є небажаним механізмом руйнування, особливо коли очікуються великі деформації (наприклад, пластичний механізм).

Таким чином, рівняння для розрахункової довжини з'єднання внапуск за сейсмічних навантажень:

$$l_{0,PIR,seis} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd,seis} \geq l_{0,min,PIR} \quad \text{EC2-1-1, рівн. (8.10) + EAD 330087}$$

Примітка. Мінімальне номінальне бетонне покриття слід приймати як $c_{min,seis}$ замість c_{min} згідно з відповідною ETA для сейсмічних навантажень.

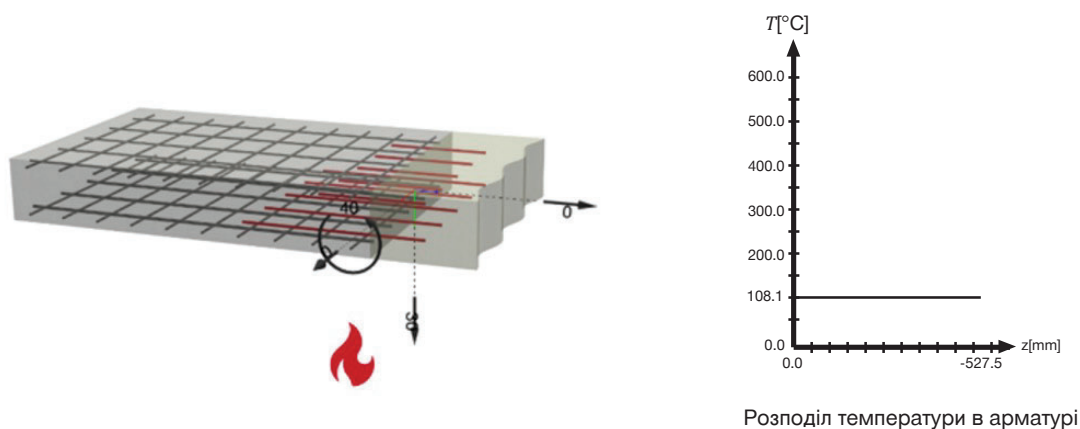
Усі інші значення коефіцієнтів і підходи розрахунку для сейсмічного випадку залишаються такими ж, як для статичного навантаження. Додатково мають враховуватися правила деталювання з'єднань внапуск згідно з EC8-1 [9] та застосовні національні вимоги також для з'єднань із пост-встановленою арматурою.

Примітка. $f_{bd,seis}$ залежить від сейсмічних характеристик продукту відповідно до відповідної ETA.

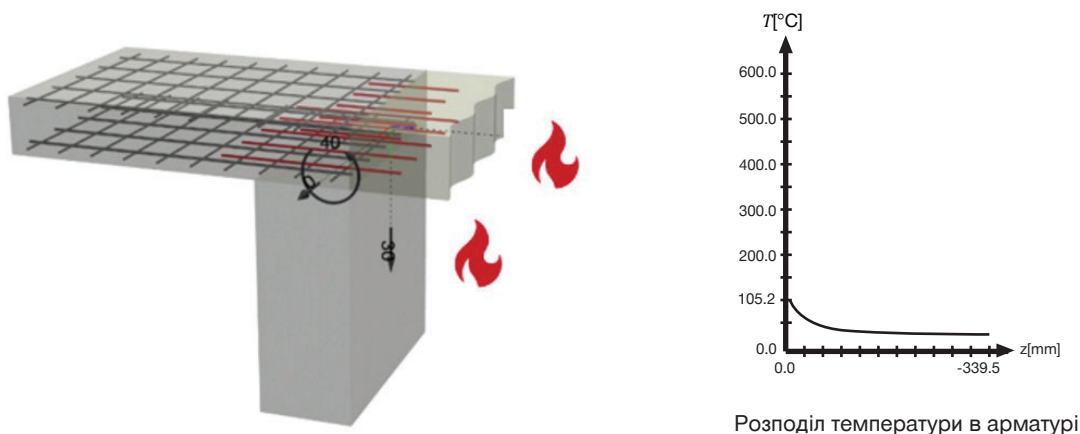
5.4 Проектування на вплив пожежі

Хімічні та механічні властивості органічних розчинів істотно залежать від високих температур. Для з'єднань із пост-встановленою арматурою, що є частиною конструкцій із нормованою вогнестійкістю (переkritтя, покрівля тощо), важливо оцінювати вогнестійкість із урахуванням тривалості вогневого впливу (згідно з EC2-1-2 [8] — від 30 до 240 хв), геометричних граничних умов і розподілу температури.

Для з'єднань внапуск розподіл температур уздовж довжини внапуску в більшості типових ситуацій є сталим і визначається бетонним покриттям та тривалістю впливу (див. рис. 5.6а). Додатково, у кінцевих анкерних кріпленнях/вузлах перетину розподіл температур зазвичай змінюється уздовж довжини занурення стрижня (див. рис. 5.6b та розділ 6.5).



а) З'єднання «плита–плита» зі сталим температурним полем



б) З'єднання «плита–плита» біля опори з несталім температурним полем

Рис. 5.6 — Типовий розподіл температури у з'єднанні внапуск

Відповідно до оцінки характеристик хімічних розчинів за умов пожежі, температурні зниження міцності зчеплення за підвищених температур наведені у відповідних ЕТА. Для розрахунку перерізів елементів за вогневого впливу EC2-1-2 надає три методи, описані в таблиці 5.2.

Примітка. Оцінювання роботи систем із пост-встановленою арматурою згідно з EAD 330087 базується на стандартній пожежній кривій ISO 834-1, чинній для розрахунку в межах EC2-1-2. Для спеціальних застосувань (наприклад, у тунелях) можуть знадобитися інші оцінювання

Таблиця 5.2 — Методи розрахунку на вогневий вплив згідно з EC2-1-2 [8]

Метод розрахунку	Розрахункові навантаження	Перевірка міцності сталі	Розрахунок з'єднання внапуск монолітної арматури	Розрахунок з'єднання внапуск пост-встановленої арматури	Примітки
<p>Табличний метод (Розділ 5):</p> <p>Табличні дані класів вогневого впливу та потрібні мінімальні розміри елемента й покриття</p>	<p>Розрахунок перерізу, виконаний у «холодному» стані, залишається чинним; додаткові перевірки для розрахункового вогневого впливу не потрібні</p>	<p>«Гарячий» розрахунок з урахуванням температурної деградації міцності сталі. (див. рис. 5.1*)</p>	<p>Застосовний розрахунок у «холодному» стані</p>	<p>Розрахунок із урахуванням зменшення міцності зчеплення за підвищеної температури — значення беруть із відповідної ETA.</p> <p>(Положення для монолітної арматури застосовні, якщо поведінка системи пост-встановленої арматури за вогню еквівалентна поведінці монолітного стрижня.)</p>	<p>Зменшені значення міцності зчеплення для систем пост-встановленої арматури в ETA наведені лише до граничної температури, зазначеної в ETA, $\theta_{\max,ETA}$.</p>
<p>Спрощений аналіз (Розділ 4.2):</p> <p>Метод ізотерми 500 °C / зональний метод</p>	<p>Аналіз перерізу згідно з дод. В1 (метод ізотерми 500 °C) / дод. В2 (зональний метод)</p>	<p>«Гарячий» розрахунок із урахуванням зниження міцності сталі (напр., рис. 4.2a*)</p>	<p>Необхідно враховувати зменшені перерізи / поділ на зони</p>		
<p>Удосконалений аналіз (Розділ 4.3):</p> <p>Розширені матеріальні моделі для числового моделювання конструкції за умов пожежі</p>	<p>Аналіз перерізу згідно з розд. 4.3 (приклад: скінченно-елементний аналіз)</p>	<p>«Гарячий» розрахунок із урахуванням зниження міцності сталі (напр., рис. 4.2a*)</p>	<p>Необхідно враховувати зменшені перерізи, поділ на зони</p>		

Примітка до таблиці: рисунки, на які посилається таблиця, наведені в EC2-1-2 [8]

Примітка. Для типових випадків розрахунку перерізів доцільно застосовувати табличний метод завдяки його простоті.

5.4.1 Базова перевірка

У граничному стані під час вогневого впливу розрахункові ефекти від навантаження $E_{d,fi}$ не повинні перевищувати розрахункову вогнестійкість елемента $R_{d,fi}$, що визначається за рівнянням:

$$E_{d,fi} \leq R_{d,fi} \quad \text{EC2-1-2, рівн. (2.3)}$$

де

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d \quad \text{EC2-1-2, рівн. (2.4)}$$

Тут, E_d розрахункові дії від навантаження (сила або момент) за нормальних («холодних») умов;

η_{fi} is the reduction factor of recommended simplified value 0.7

5.4.2 Розрахунок довжини з'єднання внапуск

Розрахункова довжина з'єднання внапуск визначається за тими самими положеннями, що і для випадку статичного навантаження.

Однак замість $f_{bd,PIR}$ слід використовувати знижену міцність зчеплення при вогневому впливі ($f_{bd,fi}$) наведену у відповідній ETA.

Міцність зчеплення під час пожежі ($f_{bd,fi}$) зменшується зі збільшенням температури (див. рис. 5.7a). Ця залежність потім перетворюється у коефіцієнт зниження $k_{fi}(\theta)$, що визначається шляхом обчислення відношення значень міцності зчеплення до еталонного значення для монолітної арматури відповідного класу бетону (див. рис. 5.7b).

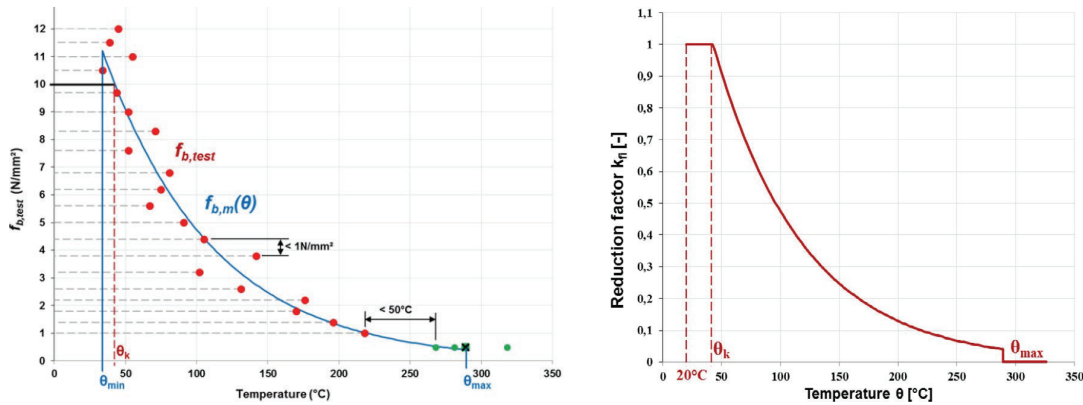


Рис. 5.7 — а) Міцність зчеплення як функція температури;
 б) приклад виведення коефіцієнта зниження при пожежі $k_{fi}(\theta)$ (приклади з EAD 330087) [7]

Розрахункове напруження зчеплення при пожежі ($f_{bd,fi}$) обчислюють за формулою:

$$f_{bd,fi} = k_{fi}(\theta) f_{bd,PIR} \frac{\gamma_c}{\gamma_{c,fi}} \quad \text{EAD 330087}$$

де

$k_{fi}(\theta)$ — коефіцієнт зниження, що залежить від температури впливу (з ETA);

$f_{bd,PIR}$ — міцність зчеплення системи пост-встановленої арматури;

γ_c — коефіцієнт надійності для бетонної основи (зазвичай 1,5);

$\gamma_{c,fi}$ — матеріальний коефіцієнт міцності для бетону при пожежі (EC2-1-2 [8], розд. 2.3)

Тоді базове рівняння для розрахунку довжини внапуску набуває вигляду:

$$l_{b,rqd,fi} = \Phi/4 \cdot (\sigma_{sd}/f_{bd,fi}) \quad \text{EC2-1-2, рівн. (8.3) + EAD 330087}$$

Відповідно розрахункова довжина з'єднання внапуск при пожежному навантаженні:

$$l_{0,fi} = \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd,fi} \geq l_{0,min,PIR} \quad \text{EC2-1-2, рівн. (8.10) + EAD 330087}$$

Усі інші значення коефіцієнтів і підходи розрахунку для сейсміки залишаються такими самими, як для статичного випадку.

5.4.3 Перевірка на відмову сталі

У розрахунку враховують залишкові напруження в арматурі під час пожежі та коефіцієнт зниження міцності сталі $k_s(\theta)$

$$F_{Ed,fi} \leq F_{yd,fi} = k_s(\theta) \cdot A_s \cdot f_{y,k}/\gamma_{s,fi}$$

де

$\gamma_{s,fi}$ — матеріальний коефіцієнт для сталі при пожежі, приймають 1,0;

A_s — площа перерізу арматурного стрижня(ів);

$k_s(\theta)$ — беруть за EC2-1-2.

5.4.4 Моделюючий підхід для коефіцієнтів зниження

Температуру θ потрібну для визначення коефіцієнтів зниження для розчину $k_{fi}(\theta)$ та для сталі $k_s(\theta)$ можна брати з EC2-1-2, Додаток А для стандартних конструктивних елементів (балки, колони, плити, стіни) на основі розрахункової пожежної температури. Альтернативно температуру θ можна отримати з відповідного числового моделювання методом скінченних елементів (див. рис. 5.8).

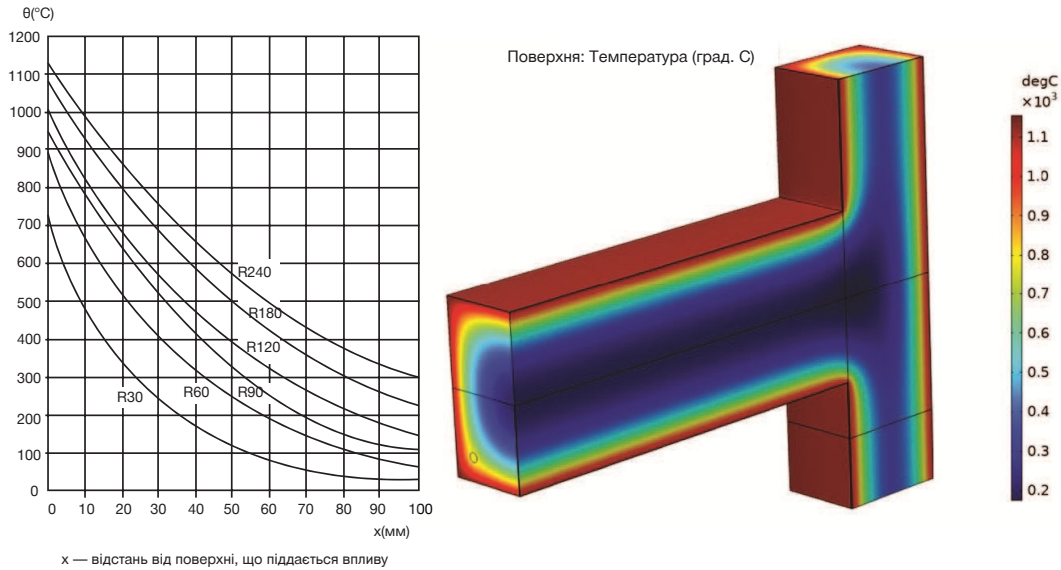


Рис. 5.8 — Прикладні криві для визначення коефіцієнтів зниження при пожежі: а) за Додатком А ЕС2-1-2 для плити товщиною 200 мм; б) моделювання методом скінченних елементів

5.5 Приклад проектування з'єднання внапуск

Вимога до проекту: для подовження існуючої залізобетонної плити потрібні пост-встановлені арматурні стрижні.

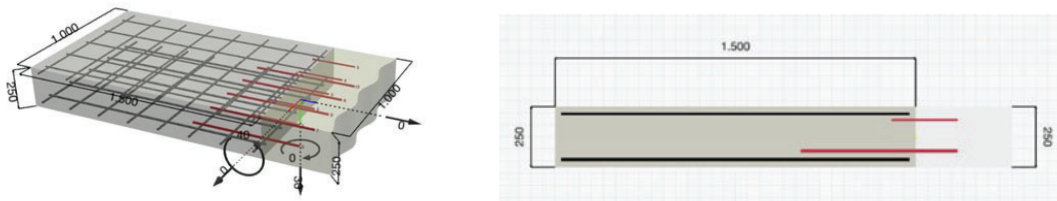


Рис. 5.9 — З'єднання внапуск для подовження плити з використанням пост-встановленої арматури

Загальна інформація про існуючий елемент плити

Геометрія: Товщина плити, $h = 250$ мм
 Ширина плити, $w = 1000$ мм

Матеріали: Бетон марки С25/30
 Арматурна сталь $f_{yk} = 500$ Н/мм²

Навантаження: Згинальний момент, $M_{Ed} = 40$ кНм/м
 Зсув $V_{Ed} = 30$ кНм/м
 Тривалість експлуатації: 50 років

Монолітна арматура: Верхній шар: $\phi 10/200$ мм ($A'_{s,PIR} = 392.6$ мм²)
 Нижній шар: $\phi 14/200$ мм ($A_{s,PIR} = 769.5$ мм²)
 Лицьове покриття, $c_t = 25$ мм
 Верхнє/нижнє покриття $c_{d,CIR} = 25$ мм

Умови монтажу пост-встановленої арматури:

Метод направлення свердління:	Ротаційно-ударне свердління/горизонтальне
Температура монтажу/ експлуатації:	10 °С/ 20 °С (довгостроково)/ 40 °С (короткостроково)
Схема пост-встановленої арматури:	Верхній шар — як для монолітної арматури Верхнє / нижнє бетонне покриття $c_{d,PIR} = 50/60$ мм
Розрахунковий термін служби:	50 років
Обраний продукт / рішення:	Hilti HIT-CT 1 (ETA-11/0390 [29])

Статичний розрахунок

Аналіз перерізу

Для визначення напруження в пост-встановленій арматурі виконується аналіз перерізу відповідно до принципів EC2-1-1 [1] (у даному випадку за допомогою PROFIS Engineering). При цьому внесок арматури в зоні стиску не враховується.

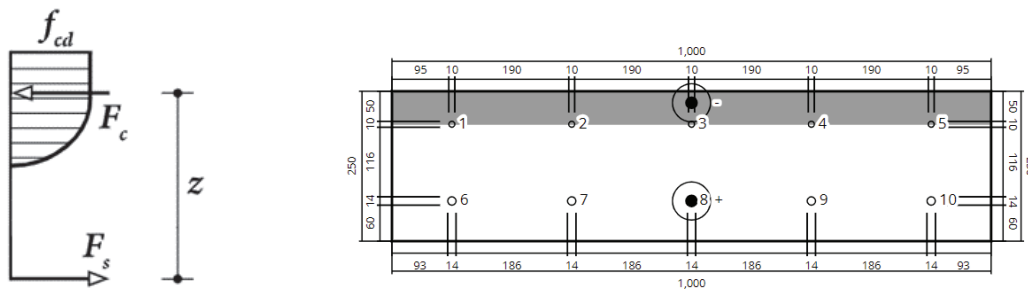


Рис. 5.10 — Аналіз перерізу

Внутрішнє плече важеля, $z = 164$ мм.

Додаткова розтягувальна сила у перерізі, спричинена зсувним навантаженням, визначається згідно з EC2-1-1 [1], п. 6.2.3 (7):

$$\Delta F_{td} = V_{Ed} \cdot (\cot\theta - \cot\alpha) \quad \text{EC2-1-1, рівн. (6.18)}$$

$$\cot\alpha = 0 \quad \alpha = 0^\circ \text{ — для вертикальних хомутів}$$

$$\cot\theta = 1.091 \quad \theta = 42.5^\circ \text{ прийнятий кут нахилу розпірки}$$

$$\Delta F_{td} = V_{Ed} \cdot (\cot\theta - \cot\alpha) = 30 \cdot 1.091 = 32.7 \text{ кН} \quad \text{розподілено між верхнім і нижнім шарами}$$

Розрахунок розтягувальних напружень у пост-встановлених стрижнях:

$$\sigma_{sd,top} = \Delta F_{td} / A_s = (16.4 \cdot 10^3) / 392.6 = 41.8 \text{ Н/мм}^2$$

$$\sigma_{sd,bottom} = (M_{sd} / z + \Delta F_{td}) / A_s = (40 \cdot 10^6 / 164 + 16.4 \cdot 10^3) / 769.5 = 338 \text{ Н/мм}^2$$

Проектування верхнього шару — поста-встановлена арматура

Верхні стрижні не навантажені. Тому вони анкеруються у фронтальній площині наявного елемента з мінімальною довжиною згідно з EC2-1-1 [1] та положеннями EAD 330087 [7].

$$l_{b,min,PIR} = \alpha_{lb} \cdot \max\{0.3 \cdot l_{b,rqd}; 10\phi; 100 \text{ мм}\} \quad \text{EC2-1-1, рівн. (8.6) + EAD 330087}$$

$$\alpha_{lb} = 1.2 \quad \text{ETA-11/0390}$$

$$l_{b,rqd} = (\phi/4) \cdot (\sigma_{sd}/f_{bd,PIR}) \quad \text{EC2-1-1, рівн. (8.3) + ETA-11/0390}$$

$$l_{b,rqd} = (10/4) \cdot (41.8/2.7) = 38.7 \text{ мм}$$

$$l_{b,min,PIR} = 1.2 \cdot \max\{0.3 \cdot 38.7 \text{ мм}; 100 \text{ мм}; 100 \text{ мм}\} = 120 \text{ мм}$$

Розрахунок нижнього шару — монолітна арматура

$$l_{0,CIR} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min} \quad \text{EC2-1-1, рівн. (8.10)}$$

Де коефіцієнти α визначаються відповідно до EN 1992-1-1, табл. 8.2. У цьому випадку:

$$\alpha_1 = 1.0 \quad \text{Пряма арматура}$$

$$\alpha_2 = 1 - 0.15 \cdot (c_d - \phi)/\phi \geq 0.7 \quad \text{Вплив бетонного покриття}$$

$$= 1 - 0.15 \cdot (25 - 14)/14 = 0.88$$

$$\alpha_3 = 1 - K\lambda \geq 0.7 \quad \text{Вплив поперечного армування}$$

$$\lambda = \Sigma A_{st}/A_s$$

$$A_{st} = 231 \text{ мм}^2; K = 0.05$$

$$\alpha_3 = 1 - 0.05 \cdot 231/154 = 0.93$$

$$\alpha_4 = 1.0 \quad \text{Без зварного з'єднання}$$

$$\alpha_5 = 1.0 \quad \text{Без поперечного тиску}$$

$$\alpha_6 = 1.5 \quad \text{EC2-1-1, табл. 8.3}$$

$$l_{b,rqd} = (\phi/4) \cdot (\sigma_{sd}/f_{bd}) \quad \text{EC2-1-1, рівн. (8.3)}$$

$$f_{bd} = 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} \quad f_{bd} \text{ згідно EC2-1-1, рівн. (8.2)}$$

$$= 2.25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.2 = 2.7 \text{ Н/мм}^2$$

$$l_{b,rqd} = (14/4) \cdot (338/2.7) = 438 \text{ мм}$$

$$l_{0,CIR} = 0.88 \cdot 0.93 \cdot 1.5 \cdot 438 = 538 \text{ мм}$$

$$l_{0,min} = \max\{0.3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}; 15 \cdot \phi; 200 \text{ мм}\} \quad \text{EC2-1-1, рівн. (8.11)}$$

$$l_{0,min} = \max\{141; 210; 200 \text{ мм}\} = 210 \text{ мм}$$

Розрахунок нижнього шару — пост-встановлена арматура

$$l_{0,PIR} = \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd,PIR} \geq l_{0,min,PIR} \quad \text{EC2-1-1, рівн (8.10) + EAD 330087}$$

Де коефіцієнти α визначаються відповідно до EC2-1-1 [1], табл. 8.2, враховуючи, що α_1 та α_4 не застосовуються для пост-встановленої арматури (див. табл. 5.1 розділу 5).

В такому випадку:

$$\alpha_2 = 1 - 0.15 \cdot (c_d - \phi)/\phi \geq 0.7 \quad \text{Вплив бетонного покриття}$$

$$= 1 - 0.15 \cdot (60 - 14)/14 = 0.51 \rightarrow 0.7$$

$$\alpha_3 = 1 - K\lambda \geq 0.7 \quad \text{Вплив поперечного армування}$$

$$\lambda = \Sigma A_{st}/A_s$$

$$A_{st} = 231 \text{ мм}^2; K = 0.05$$

$$\alpha_3 = 1 - 0.05 \cdot 208/154 = 0.92 \rightarrow 1.0$$

$$\text{оскільки } \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \geq 0.7 \quad \text{EC2-1-1, рівн. (8.5)}$$

$$\alpha_5 = 1.0 \quad \text{Без поперечного тиску}$$

$$\alpha_6 = 1.5 \quad \text{EC2-1-1, табл. 8.3}$$

$$l_{b,rqd} = (\phi/4) \cdot (\sigma_{sd}/f_{bd,PIR}) \quad \text{EC2-1-1, рівн. (8.3) + ETA-11/0390}$$

$$l_{b,rqd} = (14/4) \cdot (338/2.7) = 438 \text{ мм}$$

$$l_{0,PIR} = 0.7 \cdot 1.5 \cdot 438 = 460 \text{ мм}$$

$$l_{0,min,PIR} = \alpha_{Ib} \cdot \max\{0.3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd,PIR}; 15 \cdot \phi; 200\}$$

EC2-1-1, рівн (8.11) + ETA-11/0390

$$l_{0,min,PIR} = 1.2 \cdot \max\{198; 210; 200\} = 252 \text{ мм}$$

$l_{0,CIR} > l_{0,PIR} \rightarrow$ визначальною є довжина внапуск монолітної арматури

$$l_{v,PIR} = l_{0,CIR} + c_f = 538 + 25 = 563 \text{ мм}$$

Довжина свердління

Перевірка мінімального бетонного покриття c_{min} за EAD 330087:

$$c_{min} = \min\{30 + 0.06l_v; 2\phi\} = 63.8 \text{ мм} < 60 \text{ мм}$$

EAD 330087, табл. 1.2 (без направляючого пристрою)

$$c_{min} = \min\{30 + 0.02l_v; 2\phi\} = 41.3 \text{ мм} < 60 \text{ мм}$$

EAD 330087, табл. 1.2 (з направлячем для свердління)

Примітка. Використання направляча не є обов'язковим, але рекомендоване, оскільки 63,8 мм > 60 мм.

Сейсмічний розрахунок

Припускаючи, що те саме з'єднання має сприймати сейсмічні навантаження, слід врахувати таке:

1. Розрахунок довжини внапуск монолітної арматури залишається чинним згідно з EC8-1 [9], розділ 5.6.1.
2. Розрахунок довжини внапуск пост-встановленої арматури змінюється, тому що:
 - а. Обраний продукт/рішення має бути оцінений на сейсмічні дії.
 - б. Значення $f_{bd,PIR}$ слід замінити на $f_{bd,seis}$ у відповідній ETA.
3. Залежно від застосування може бути доцільно замінити σ_{sd} на f_{yd} у формулі для довжини внапуск.

Дія навантаження може включати зміну знака вигинального моменту, внаслідок чого конфігурація верхнього шару арматури може відрізнятись. Цю ситуацію в даному прикладі не розглядають. Повторивши розрахунок для статичних і сейсмічних дій із використанням відповідних значень з ETA-19/0600 [30], отримують такі довжини встановлення l_v :

Примітка. Система Hilti HIT-CT 1 (ETA-11/0390 [29]) не оцінена на сприйняття сейсмічних дій. Відповідно, цю систему/рішення замінено на Hilti HIT-HY 200-R V3 (ETA-19/0600 [30]).

Повторивши розрахунок для статичних і сейсмічних дій із використанням відповідних значень з ETA-19/0600 [30], отримують такі довжини встановлення l_v :

Система	Арматура	Статичне навантаження l_v	Сейсмічне навантаження (f_{yd}) l_v
HIT-CT 1	Верхній шар	120 мм	N.A
	Нижній шар	563 мм	N.A
HIT-HY 200-R V3	Верхній шар	100 мм	100 мм
	Нижній шар	563 мм	697 мм

Розрахунок на пожежний вплив

Як це зазвичай буває на практиці, нове з'єднання має відповідати вимогам пожежного впливу. У цьому випадку потрібен клас вогнестійкості R 60.

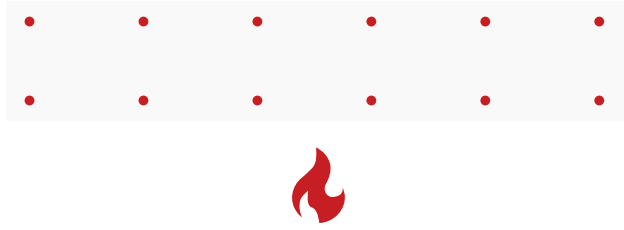


Рис. 5.11 — Переріз плити під час пожежного впливу — схема

Примітка. Згідно з EC1-1 [1], комбінації на сейсмічні та пожежні дії зазвичай не розглядаються одночасно. Для спеціальних будівель та/або інфраструктур можуть застосовуватися інші положення відповідно до національних нормативів.

Навантаження на з'єднання може бути зменшене, оскільки розглядається випадкова комбінація:

$$M_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot M_d = 0.7 \cdot 40 = 28 \text{ кНм}$$

$$V_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot V_d = 0.7 \cdot 30 = 21 \text{ кНм}$$

Коефіцієнти надійності матеріалів:

$$\gamma_{s,fi} = \gamma_{c,fi} = 1.0$$

Аналіз поперечного перерізу залежить від прийнятого методу проектування. У цьому випадку ми обираємо Табличний метод (EC2-1-2, Розділ 5). Це можливо, оскільки плита відповідає вимогам EC2-1-2, Таблиця 5.9 (тобто для R 60 мінімальна товщина плити становить 180 мм та осьове покриття 15 мм). На цій основі аналіз поперечного перерізу, виконаний у «холодних» умовах, залишається чинним, і монолітна арматура не потребує перевірки для розрахункового часу впливу вогню 60 хвилин. Однак довжина перекриття нижнього шару пост-встановленої арматури має бути перерахована з урахуванням зниження міцності зчеплення через підвищену температуру.

Температура у пост-встановленій арматурі є постійною по всій її довжині та пов'язана з бетонним покриттям ($c_{PIR} = 60 \text{ mm}$). Її можна обчислити за принципами EC2-1-2 [8] або методом скінченних елементів, наприклад, використовуючи PROFIS Engineering. У цьому випадку для пост-встановленої арматури розраховано температуру 181,1 °C.

Перевірка сталі

Перевірка сталі при впливі вогню не є вирішальною, оскільки використовується табличний метод.

Проектування нижнього шару — пост-встановлена арматура

Для HIT-HY 200-R V3 (ETA-19/0600 [30]) розрахункова міцність зчеплення (див. рис. 5.12):

$$f_{bd,fi} = k_{fi}(\theta) \cdot f_{bd,PIR} \cdot \gamma_c / \gamma_{c,fi} = 0.20 \cdot 2.7 \cdot 1.5 / 1.0 = 0.81 \text{ Н/мм}^2 \quad \text{ETA-19/0600}$$

Після повторення розрахунків, чинних для статичної комбінації навантажень, із заміною $f_{bd,PIR}$ на $f_{bd,fi}$, отримуємо глибину свердління = 1089 мм.

$$l_v = 1089 \text{ mm} > l_{v,max} = 1000 \text{ mm}$$

ETA-19/0600, перевірку не виконано.

Примітка: $l_v > l_{v,max}$ відповідно до ETA-19/0600). Це означає, що коректне закачування розчину та встановлення арматурного стрижня не можуть бути гарантовані, оскільки їх здійсненність не перевірялась у процедурі оцінювання згідно з EAD 330087 [7].

Для порівняння, у розрахунку довжин встановлення пост-встановленої арматури (див. рис. 5.12) використано протипожежні системи Hilti: HIT-HY 200-R V3 (ETA-19/0600 [30]), HIT-RE 500 V4 (ETA-20/0540 [31]) та HIT-FP 700-R (ETA-21/0264 [32]).

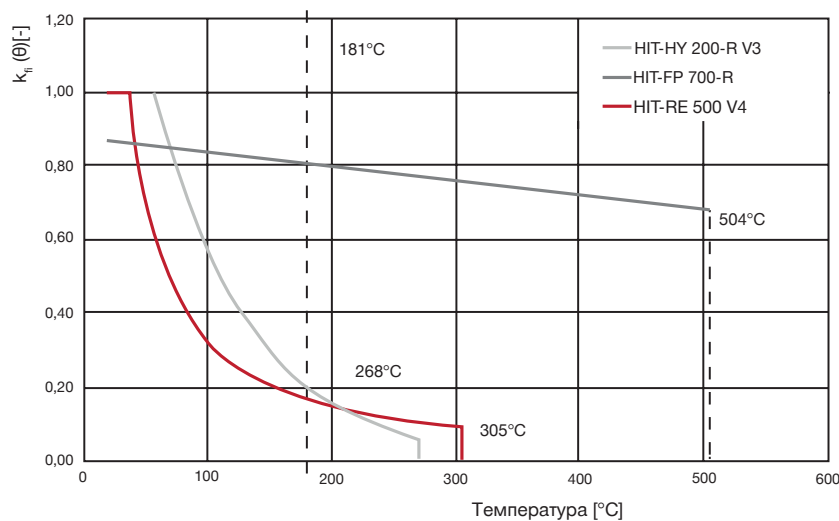


Рис. 5.12 — Порівняння роботи під час пожежного впливу систем Hilti HIT-HY 200-R, HIT-RE 500 та HIT-FP 700-R у бетоні C25/30

Нижче наведені узагальнені результати та рекомендації щодо вибору відповідної системи/рішення:

Система	Арматура	Статичне, l_v	Сейсмічне (f_{yd}), l_v	Пожежа, l_v
HIT-HY 200-R V3	Верхній шар	100 мм	100 мм	100 мм
	Нижній шар	563 мм	697 мм	N.A. (1089 мм)
HIT-RE 500 V4	Верхній шар	100 мм	100 мм	100 мм
	Нижній шар	563 мм	697 мм	1284 мм
HIT-FP 700-R	Верхній шар	150 мм	150 мм	150 мм
	Нижній шар	569 мм	723 мм	340 мм

Примітка. З огляду на комбінації статичного, сейсмічного та вогневого навантажень, система HIT-FP 700-R є кращим вибором з точки зору довжини анкерування серед трьох альтернатив.

Додаткові примітки:

- 1) Hilti рекомендує приймати загальну довжину встановлення l_v як суму розрахункової довжини внапуск l_o та ексцентриситету (e) між монолітною й пост-встановленою арматурою за умови дотримання вимог до конструювання (див. рис. 5.1b), але не більше ніж $e = 10 \cdot \varnothing$ (за більших значень локальна дія розпiрки під час передачі зусилля може бути недейсною).
- 2) Для завершення проектування з'єднання в граничному стані витривалості також потрібна перевірка передавання зсуву по контактному шву. Докладніше — див. розділ 7 цього довідника.

6. ПРОЄКТУВАННЯ КІНЦЕВОГО АНКЕРНОГО КРІПЛЕННЯ

6.1 Загальні положення

З'єднання з кінцевим анкерним кріпленням належать до застосувань із пост-встановленою арматурою, які зазвичай дають змогу з'єднувати елементи, перпендикулярні до наявних. Таке рішення потрібне, коли з'єднання внапуск із монолітними стрижнями, що вже є в елементі, неможливе. У цьому розділі зосереджено послідовність розрахункових кроків для визначення необхідної довжини кінцевого анкерного кріплення для застосувань із пост-встановленою арматурою в розрахунковому з'єднанні з використанням різних методів розрахунку, для різних навантажень (статичні, сейсмічні та пожежні) відповідно до положень стандартів EN 1992-1-1 (EC2-1-1 [1], для статичних дій), EN 1992-1-2 (EC2-1-2, для пожежі) [8] та EN 1998-1 (EC8-1, для сейсміки) [9]. Таблиця 6.1 подає доступні на сьогодні методи розрахунку кінцевих анкерних кріплень для різних напрямків навантаження (тобто стан напружень у контактному шві), типів навантажень і відповідних ETA.

Таблиця 6.1 — Методи розрахунку для з'єднань з кінцевим анкерним кріпленням

Метод розрахунку	Напрямок навантаження / стан напружень у контактному шві	Тип навантаження	Міцність зчеплення (ETA)
Анкерування за Eurocode	Зсув із тиском або без тиску	Статичне, сейсмічне, пожежне	EAD 330087
«розпирка-тяга» модель за Eurocode	Згин (одноосьовий) і зсув із тиском або без тиску	Статичне	EAD 330087
EOTA TR 069	Згин (одно- або двоосьовий) і зсув із тиском або з розтягом	Статичне / Сейсмічне	EAD 332402

6.2 Базова довжина анкерного кріплення згідно з EC2-1-1

Розрахунок кінцевого анкерного кріплення з кваліфікованою пост-встановленою арматурою для статичних і квазістатичних дій виконується за положеннями EC2-1-1 [1], розділ 8.4, які є такими самими, як і для монолітної арматури. Додаткові застосовні положення наведено в EAD 330087 [7]. Послідовність кроків для розрахунку з'єднання з пост-встановленою арматурою така:

Як уже розглянуто в розділі 5, базова необхідна довжина анкерного кріплення $l_{b,rqd,PIR}$, на основі специфічній для продукту міцності зчеплення $f_{bd,PIR}$ з відповідної ETA, задається рівнянням

$$l_{b,rqd,PIR} = (\phi/4) \cdot (\sigma_{sd}/f_{bd,PIR}) \quad \text{EC2-1-1 рівн. (8.3) + EAD 330087}$$

де

σ_{sd} — розрахункове напруження в арматурі;

ϕ — діаметр арматури.

Кінцева розрахункова довжина анкерного кріплення l_{bd} , що потрібна, визначається за:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd,PIR} \geq l_{b,min,PIR} \quad \text{EC2-1-1, рівн. (8.4) + EAD 330087}$$

Де: $l_{b,min,PIR}$ мінімальна довжина анкерного кріплення, що визначається

$$l_{b,min,PIR} > \alpha_{lb} \cdot \max\{0.3 \cdot l_{b,rqd,PIR}; 10 \cdot \phi; 100 \text{ MM}\} \quad \text{(розтяг)} \quad \text{EC2-1-1, рівн. (8.6)}$$

$$l_{b,min,PIR} > \alpha_{lb} \cdot \max\{0.6 \cdot l_{b,rqd,PIR}; 10 \cdot \phi; 100 \text{ MM}\} \quad \text{(стиск)} \quad \text{EC2-1-1, рівн. (8.7)}$$

$$l_{bd,PIR} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd,PIR} \geq l_{b,min,PIR} \quad \text{EC2-1-1, рівн. (8.4) + EAD 330087}$$

Де впливові коефіцієнти α є тими самими, що вже пояснювалися в Розділі 5.

Відповідно до філософії розрахунку EC2-1-1 [1], ці положення безпосередньо застосовні, коли анкерне кріплення розміщується в частині наявного елемента, де бетон перебуває у стиску, наприклад, анкерування поздовжніх стрижнів колони або стіни, навантажених переважно стиском. Інші ситуації описано в наступних підрозділах (див. рис. 6.1).

У випадку приєднання плити/балки до стіни/колони з'єднання часто моделюють і розраховують як шарнірне. Це припущення пов'язане з передумовами та застереженнями, наведеними в підрозділі 6.2.1. Тут відбувається переважно передача зсувної сили, і розрахунковий згинальний момент не враховується (рис. 6.1а). Альтернативно з'єднання можна вважати жорстким/моментним, коли необхідно врахувати згинальний момент разом із розрахунковою зсувною силою (рис. 6.1б).

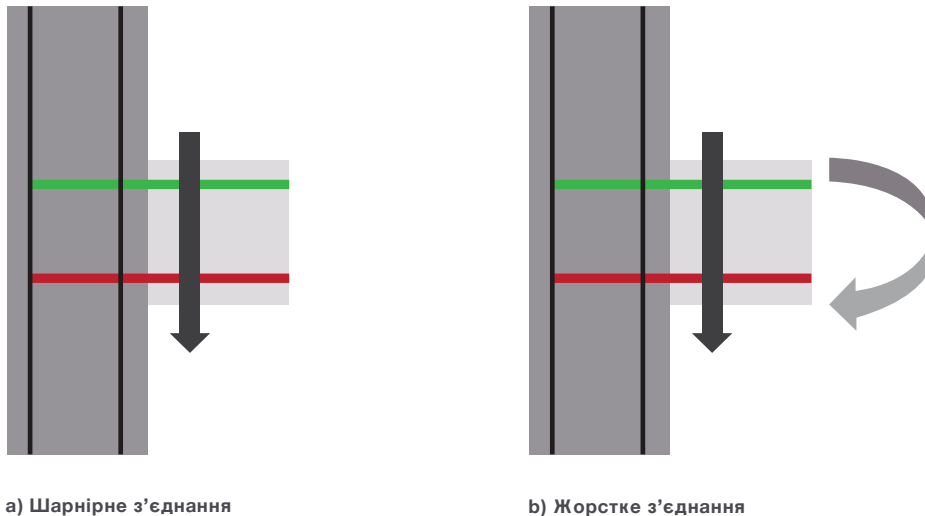


Рис. 6.1 — Типові з'єднання з кінцевим анкерним кріпленням

6.2.1 Проектування для шарнірно-опертих з'єднань

Оскільки розрахункова силова дія для шарнірних з'єднань є переважно зсув, довжину анкерного кріплення визначають за положеннями щодо укорочення поздовжньої розтягнутої арматури згідно з EC2-1-1 [1], пп. 9.2.1.3 і 9.2.1.4 для балок та 9.3.1.1 (4) для плит. Розтягувальна сила в нижній арматурі, яку необхідно анкерувати (див. рис. 6.2), задається рівнянням:

$$F_E = |V_{Ed}| \cdot a_l / z + N_{Ed} \quad \text{EC2-1-1, рівн. (9.3)}$$

де:

$a_l = z \cdot (\cot\theta - \cot\alpha) / z$ — для елементів із поперечним армуванням (напр., балок), θ — кут розпірки, α — кут нахилу хомутів, z — внутрішнє плече важеля;

$a_l = d$ — для елементів без поперечного армування (напр., плит),
 d — робоча висота перерізу.

Додатково передачу зсуву через бетонний переріз розраховують за розділом 6 EC2-1-1 [1] (див. розділ 7 цього довідника для подробиць). Крім того, проектувальник має враховувати часткову защемленість таких з'єднань відповідно до застосовного підходу/регіональних норм/стандартів розрахунку (наприклад, пп. 9.2.1.2 (1) та 9.3.1.2 (2) EC2-1-1 [1] для балок і плит відповідно). Ця часткова защемленість зумовлена жорсткістю вузла, яка залежить від відносної жорсткості перерізів елементів, що перетинаються, і призводить до розтягувальних зусиль у верхній арматурі. Відповідно до теорії анкерування механізмів сприйняття навантажень, розглянутої в розділі 2, слід перевіряти пов'язані характерні види руйнування з'єднання арматури.

Примітка. Проектант має врахувати момент від часткового опору у шарнірних з'єднаннях.

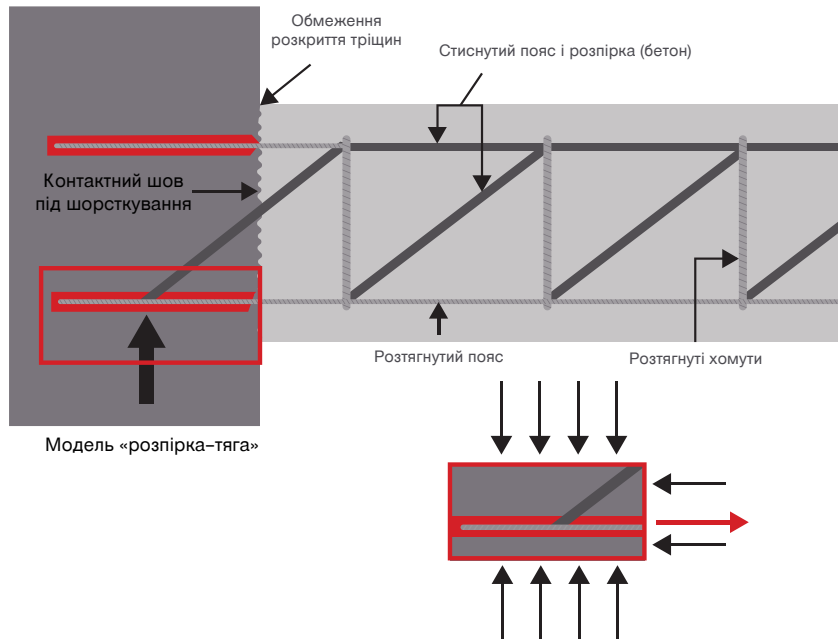


Рис. 6.2 — Внутрішні зусилля для шарнірних з'єднань

Примітка. Ігнорування часткової защемленості може призвести до утворення широкої тріщини в контактному шві. Перерозподіл моментів зазвичай можливий (не для консольних елементів!), тоді як для зсувних сил перерозподіл не застосовується. Неможливість передавання зсувних сил через широкі тріщини може зумовити крихке руйнування з'єднання.

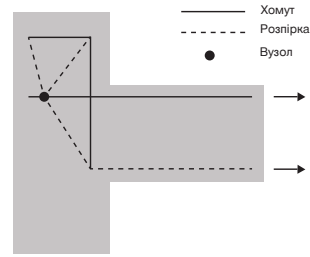
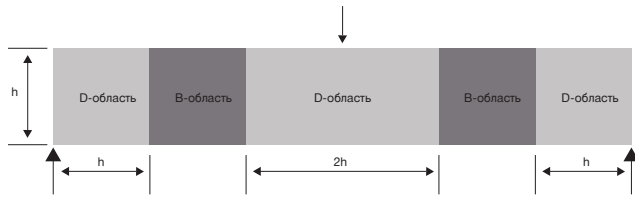
6.3 Розрахунок жорстких/моментно-стійких з'єднань

Проектування анкерного кріплення арматури зі осьовими силами, що виникають від розрахункових моментів у жорстких з'єднаннях, може виконуватися двома методами — моделлю «розпірка-тяга» та за EOTA TR 069 [2], як пояснено в наступних підрозділах.

6.3.1 Модель «розпірка-тяга» за принципами Eurocode

EC2-1-1 [1] надає процедури для побудови моделей «розпірка-тяга» під час проектування залізобетонних елементів, які добре підходять для розрахунку вузлових з'єднань систем із пост-встановленою арматурою. Конструктивний елемент поділяють на В-область і D-область (див. рис. 6.3а). В-області — це частини конструкції, де виконується гіпотеза Бернуллі про лінійний розподіл деформацій і розрахунок можливий за класичною балковою теорією. D-області — це частини конструкції зі складною зміною деформацій; до них належать ділянки поблизу різких змін геометрії (геометричні розриви) або зосереджених сил (статичні розриви). Розрахунок D-областей є складним і потребує чіткого розуміння потоків сил і, відповідно, моделі «розпірка-тяга», де ці внутрішні зусилля ідеалізують як ферму: елементи стиснення (розпірки) та елементи розтягу (тяги) визначаються в областях їх дії. Арматуру розміщують у визначених зонах розтягів, а стиск бетону перевіряють у розпірках. Модель «розпірка-тяга» слід вибирати так, щоб вона забезпечувала малі пластичні деформації та економне армування. Точки рівноваги, у яких перетинаються розпірки, тяги й зосереджені сили, називають вузлами. Підхід «розпірка-тяга» докладно викладено в EC2-1-1 [1], розділ 6.5. Більшість задач із пост-встановленою арматурою можна подати у вигляді тієї чи іншої С-С-Т-схеми (стиск-стиск-тяга), як показано на рис. 6.3.

Примітка: Вибір відповідної моделі S&T для застосування вимагає інженерного судження.

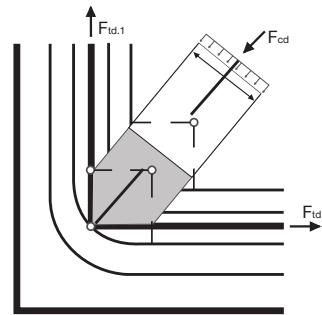
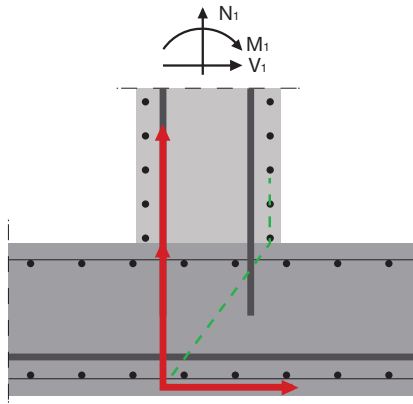


а) Ідеалізовані В- та D-області в балці

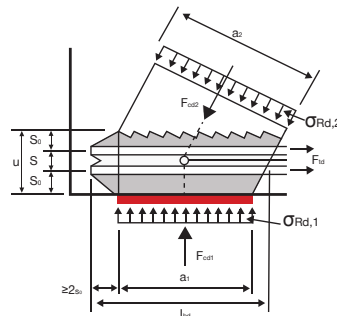
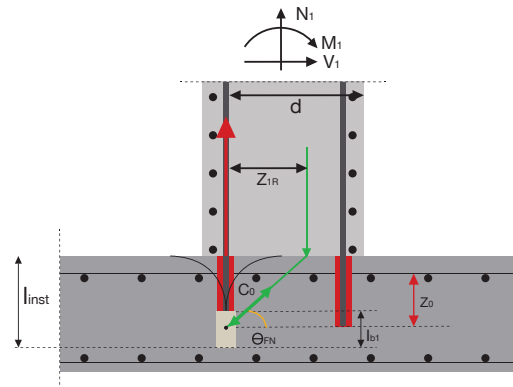
б) Модель «розпірка-тяга» в D-області

Рис. 6.3 — Приклад області застосування моделей «розпірка-тяга»

У співпраці з Технічним університетом Мюнхена Hilti виконала дослідницьку програму для розроблення придатної моделі «розпірка-тяга» відповідно до принципів EC2-1-1 [1] для жорстких з'єднань із прямою пост-встановленою арматурою ([33] і [34]). Основна відмінність між стандартним рішенням із монолітною загнутою арматурою та рішенням із пост-встановленою арматурою полягає в тому, що розпірка стиснення анкерується у геометрії загибу стрижня (див. рис. 6.4а), тоді як для прямої пост-встановленої арматури анкерування виконується в зоні зчеплення (див. рис. 6.4б).



а) Модель із загнутою монолітною арматурою



б) Модель із прямою пост-встановленою арматурою

Рис. 6.4 — Модель «розпірка-тяга» для моментних з'єднань (червоний = розтяг, зелений = стиск) згідно з EC2-1-1 [1]

Етапи розрахунку за моделлю «розпірка-тяга» від Hilti

Як приклад для подання послідовності розрахункових кроків розглянуто моментне з'єднання з пост-встановленою арматурою з використанням відповідної моделі «розпірка-тяга», зображеної з ідеальним розподілом зусиль (див. рис. 6.5).

- 1) Обчислення кута θ між розпіркою (5) та контактним швом між наявним і новим елементом (6):

де

$$30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ = \min \{60^\circ; \arctan (h_{ex} - (\max(30 \text{ mm}; 2\phi) - c - l_{bd}/2)/z_{1R})\}$$

де

h_{ex} — товщина наявного елемента;

z_{1R} — зменшене внутрішнє плече важеля на перерізі нового елемента (зменшене до 85 % у випадку відкривального моменту у вузлі; без зменшення — для закривального моменту).

Примітка. Як випливає з наведеного рівняння, для коректної моделі «розпірка-тяга» кут розпірки θ завжди має задовольняти $30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$. Див. [33] і [34] для наукового обґрунтування цих обмежень.

- 2) Обчислення розрахункової довжини анкерування $l_{bd,PIR}$ за положеннями, наведеними раніше в цьому розділі.

- 3) Обчислення довжини встановлення пост-встановленої арматури l_{inst} у наявному елементі:

$$l_{inst} = z_{1R} \cdot \tan\theta + \frac{l_{bd,PIR}}{2}$$

Перевірити за максимально можливою довжиною встановлення $l_{inst,max} = h_{ex} - \max(2 \cdot \phi; 30 \text{ мм})$

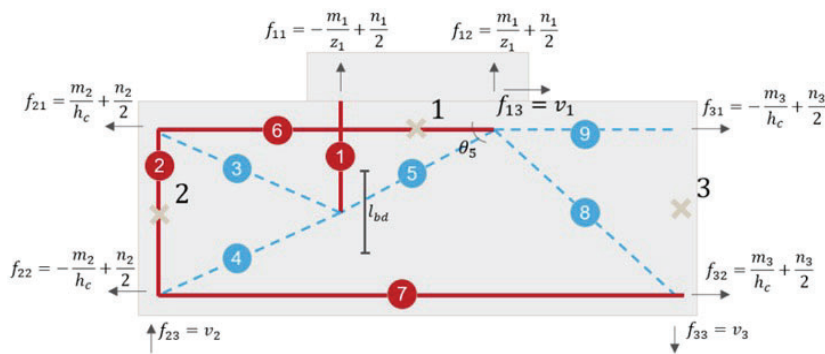


Рис. 6.5 — Внутрішні зусилля у моделі «розпірка-тяга» для застосувань із пост-встановленою арматурою

f_{xx} — внутрішні зусилля;

m_x — зовнішні моменти; n_x — зовнішні осьові сили;

z_1 — внутрішнє плече важеля на перерізі нового елемента;

z_2 — внутрішнє плече важеля на перерізі наявного елемента.

- 4) Перевірка несучої здатності стисненої розпірки:

- Визначити силу стиску у розпірці (5) використовуючи цю формулу:

$$D_{c0} = \frac{\sigma_{sd} \cdot A_s}{\sin\theta}$$

де A_s — площа поперечного перерізу розглядуваних стрижнів.

- Максимальне розрахункове напруження на стиск, яке можна прикласти:

$$\sigma_{Rd,max} = v' \cdot k_2 \cdot \alpha_{cc} \cdot f_{ck}/\gamma_c$$

$$\text{де, } v' = 1 - f_{ck}/250$$

EC2-1-1 (6.5.2 (2))

$$k_2 = 0.85$$

- Стійкість розпірки при стиску (5)

$$D_{0,R} = \sigma_{Rd,max} \cdot l_{bd,PIR} \cdot w \cdot \cos\theta \geq D_{c0}$$

де w — ширина розглядуваного перерізу.

- 5) Перевірити внутрішню розтягувальну силу (6), яку має сприймати поверхнева арматура наявного елемента.
- 6) Перевірити зсувну несучу здатність (розколювання бетону) у збуреній/перехідній зоні наявного елемента (тобто в цій моделі на рис. 6.5 — розпірка 3–тяга 6 та розпірка 4–тяга 7).
- 7) У типовій моделі «розпірка–тяга» для жорстких/моментних з’єднань місцеве пасивне обтиснення над опорою не потрібне. Оскільки арматура анкерується в зоні стиску, виколування бетонного конуса не відбувається, і слід перевіряти лише руйнування по зчепленню (див. рис. 6.3b).
- 8) Розрахункова довжина анкерування $l_{bd,PIR}$ визначається з урахуванням висмикування системи зчеплення, розрахункового напруженого стану сталі та відповідного значення міцності зчеплення $f_{bd,PIR}$ з відповідної ETA.

6.3.2 Положення проектування за EOTA TR 069

Як обговорювалося в Розділі 3 цього посібника, EOTA TR 069 («Метод проектування анкерних кріплень пост-встановленої арматури зі покращеною поведінкою при розколюванні по зчепленню порівняно з EC2-1-1») дозволяє проектувати моментостійкі залізобетонні з’єднання кваліфікованої пост-встановленої арматури без необхідності використання моделі «Розпірка–тяга». Оскільки EOTA TR 069 не вимагає припущення про анкерування пост-встановленої арматури у стиснутій зоні, то потенційне виколування бетонного конуса перевіряється разом з іншими видами руйнування. Крім того, цей метод проектування враховує продукто-специфічну міцність зчеплення, взяту з відповідної ETA (див. Розділ 3.3.2).

Розрахункова несуча здатність (R_d) дорівнює мінімуму з трьох наведених нижче механізмів руйнування:

$$R_d = \min(N_{Rd,y}, N_{Rd,c}, N_{Rd,sp}) \text{ EOTA TR 069, рівн. (4.1)}$$

де:

$$N_{Rd} = N_{Rk} / \gamma_M$$

$N_{Rd,y}$ — розрахункова несуча здатність за текучістю сталі пост-встановленої арматури;

$N_{Rd,c}$ — розрахункова несуча здатність за виколуванням бетонного конуса;

$N_{Rd,sp}$ — розрахункова несуча здатність за розколюванням по зчепленню (bond-splitting) пост-встановленої арматури.

Часткові коефіцієнти надійності, які наводить EOTA TR 069 [2] у відповідності з EC2-1-1 [1], EC2-4 [3], EC8-1 [9] та застосовними національними положеннями для розрахунку несучих здатностей, наведено в Таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 — Часткові коефіцієнти надійності для механізмів руйнування, що розглядаються в EOTA TR 069 [2]

Параметр	Частковий коефіцієнт
Текучість арматурної сталі	$\gamma_{Ms} = 1.15$
Виколування бетонного конуса	$\gamma_{Mc} = \gamma_{inst} \cdot \gamma_c$ Where, $\gamma_{inst} \geq 1.0$ as per ETA $\gamma_c = 1.5$
Розколювання по зчепленню та висмикування	$\gamma_{Mp} = \gamma_{Msp} = \gamma_{Mc}$

Примітка. Залізобетонні елементи, з’єднані за допомогою систем із пост-встановленою арматурою, мають відповідати положенням EC2-1-1 [1] для статичних і квазістатичних навантажень та EC8-1 [9] для сейсмічних навантажень та відповідних нормативних вимог.

Розрахункова несуча здатність за текучістю сталі

Характеристична несуча здатність за текучістю пост-встановленої сталеві арматури задається рівнянням:

$$N_{Rk,y} = A_s \cdot f_{yk} \text{ EOTA TR 069, рівн. (4.2)}$$

де:

A_s — площа поперечного перерізу пост-встановленої арматури, що розглядається.

f_{yk} — характеристична границя текучості сталі.

Розрахункова несуча здатність за виколуванням бетонного конуса

Для обчислення характеристичної несучої здатності за виколуванням бетонного конуса $N_{Rk,c}$ застосовують положення EC2-4 [3] з кількома винятками (зокрема, без обмеження максимальної кількості стрижнів у наведеному рівнянні):

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{M,N} \quad \text{EOTA TR 069, рівн. (4.3)}$$

$N_{Rk,c}^0$ — характеристична несуча здатність одного стрижня пост-встановленої арматури в бетоні, не під впливом сусідньої арматури чи крайки, задається:

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot l_b^{1.5} \quad \text{EOTA TR 069, рівн. (4.4)}$$

де

k_1 — залежить від тріщинуватого/нетріщинуватого бетону та наводиться у відповідній ЕТА. Якщо в ЕТА значення не вказане: рекомендоване $k_1=7,7$ для тріщинуватого бетону і $k_1=11$ — для нетріщинуватого (EOTA TR 069 [2]);

l_b — довжина анкерування пост-встановленого стрижня.

Інші впливові множники рівняння пояснюються так:

1) $\frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0}$ — урахує геометричний ефект осьового кроку арматури ($s_{cr,N}$) та відстані до краю (c) (див. рис. 6.6),

де

$$A_{c,N} = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} \quad \text{— еталонна проєкційна площа за EOTA TR 069 [2], рівн. (4.4),}$$

при

$$s_{cr,N} = 3 \cdot l_b$$

$A_{c,N}^0$ — фактична проєкційна площа групи розтягнутих стрижнів за EC2-4 [3].

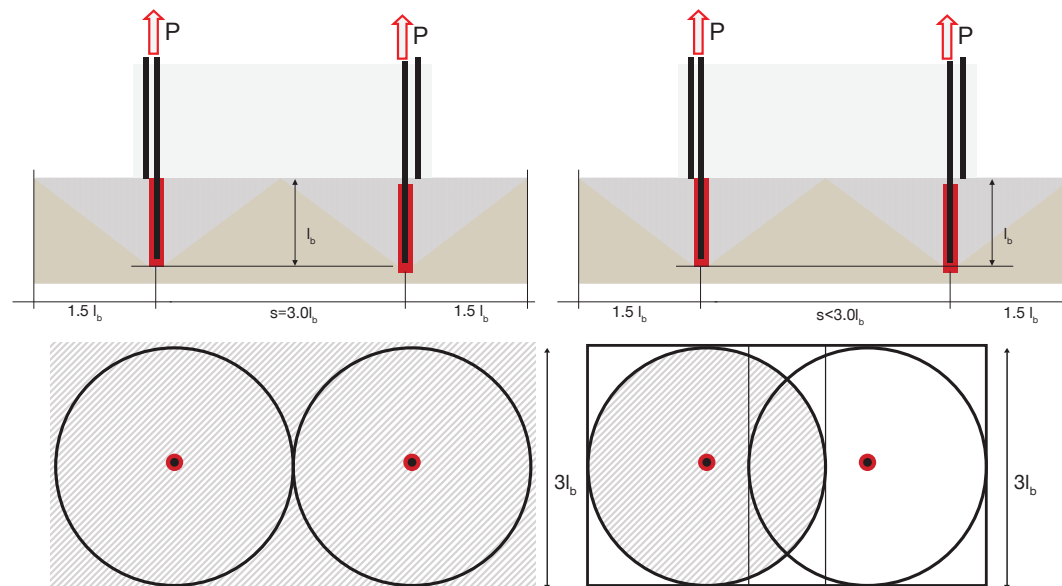


Рис. 6.6 — Вплив проєкційної площі на руйнування бетонним конусом

- 2) $\psi_{s,N}$ — урахує порушення розподілу напружень у бетоні через близькість краю елемента (див. рис. 6.7). Визначається за рівнянням $\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1.0$, де c — відстань від стрижня до найближчого краю, а $c_{cr,N}$ наводиться у відповідній ЕТА.

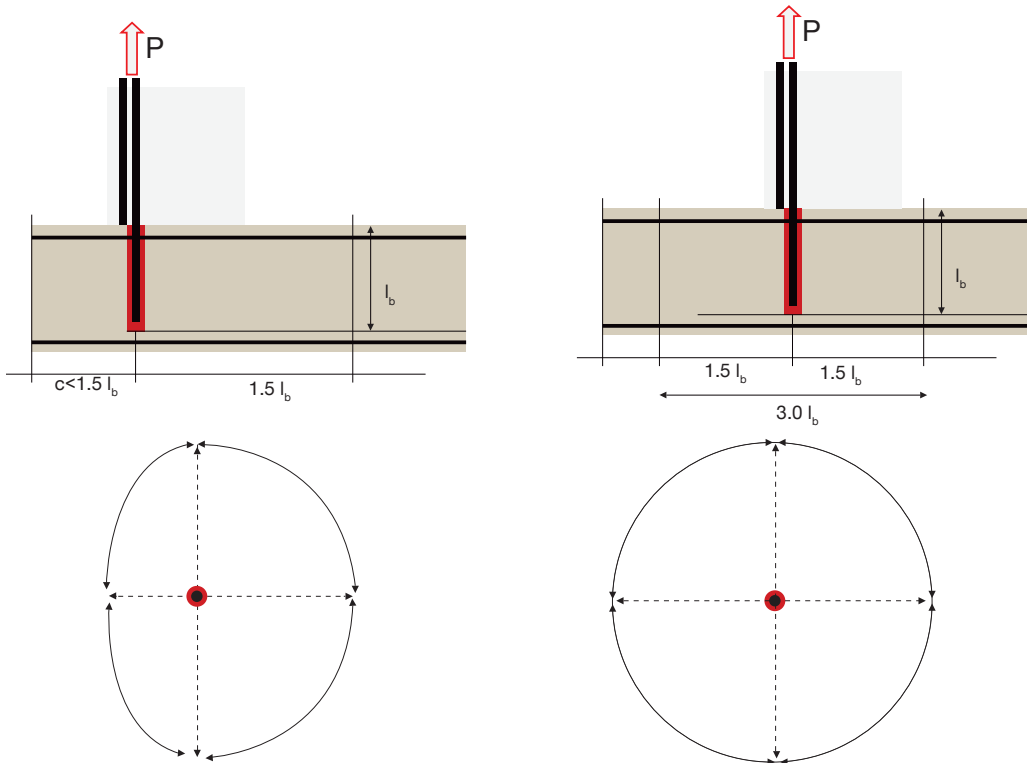


Рис. 6.7 — Вплив близькості до краю бетону.

- 3) $\psi_{ec,N}$ — урахує ексцентриситет прикладення навантаження (e_N) відносно центра ваги групи стрижнів (див. рис. 6.8). Визначається за рівнянням $\psi_{ec,N} = \frac{1}{1 + 2 \cdot \frac{e_N}{s_{cr,N}}} \leq 1.0$.

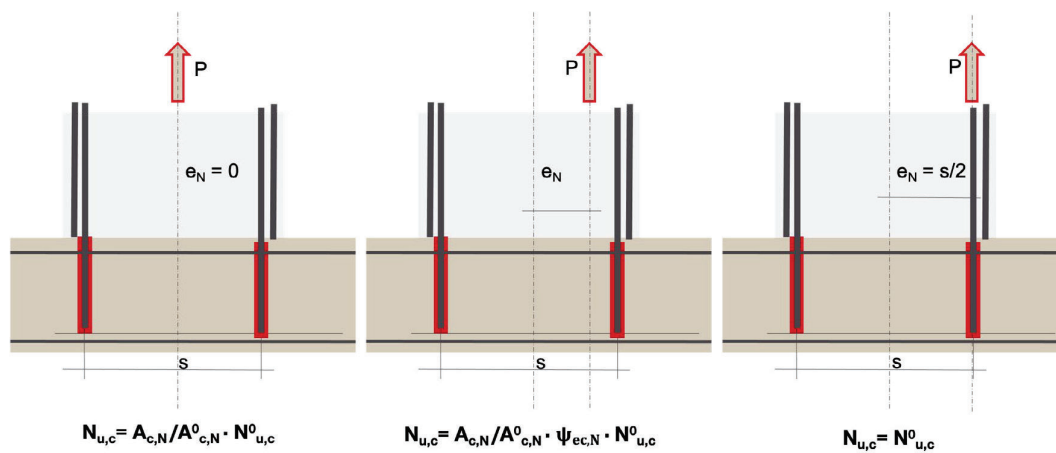


Рис. 6.8 — Вплив ексцентриситету навантаження

4) $\psi_{re,N}$ урахує вплив зменшення несучої здатності пост-встановлених стрижнів у зоні

щільного наявного армування. Визначається рівнянням $\psi_{re,N} = 0.5 + \frac{l_b}{200} \leq 1.0$.

Цей фактор можна приймати рівним 1,0 у таких випадках:

- якщо наявні стрижні (будь-якого діаметра) розташовані з кроком ≥ 150 мм; або
- якщо наявні стрижні діаметром ≤ 10 мм розташовані з кроком ≥ 100 мм.

Фактор завжди дорівнює 1,0, якщо витримано мінімальну довжину анкерування $l_{b,min}$ згідно з EC2-1-1 [1].

5) $\psi_{M,N}$ урахує вплив стискувальних напружень від дії моменту на міцність за виколуванням

бетонного конуса. Задається рівнянням $\psi_{M,N} = 2.0 - \frac{z}{1.5 \cdot l_b} \geq 1.0$,

де z — плече між «розв'язаними» осевими силами від прикладеного моменту в перерізі елемента з'єднання (див. рис. 6.9). Для виняткових випадків, коли $\psi_{M,N}$ приймають 1,0, див. EOTA TR 069 [2].

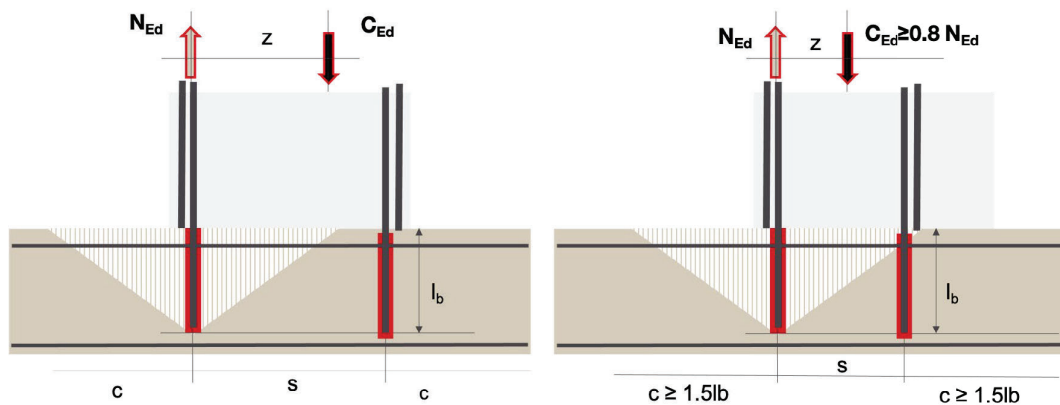


Рис. 6.9 — Вплив стискувальних напружень

Розрахункова несуча здатність за розколюванням по зчепленню

Характеристичну несучу здатність ($N_{Rk,sp}$) визначають за рівнянням на основі fib Model Code 2010 [35]:

$$N_{Rk,sp} = \tau_{Rk,sp} \cdot l_b \cdot \phi \cdot \pi \text{ (для кожного розтягнутого стрижня)} \quad \text{EOTA TR 069 рівн. (4.10)}$$

$$\tau_{Rk,sp} = \eta_1 \cdot A_k \cdot \left(\frac{f_{ck}}{25}\right)^{sp1} \cdot \left(\frac{25}{\phi}\right)^{sp2} \cdot \left[\left(\frac{c_d}{\phi}\right)^{sp3} \cdot \left(\frac{c_{max}}{c_d}\right)^{sp4} + k_m \cdot K_{tr}\right] \cdot \left(\frac{7\phi}{l_b}\right)^{lb1} \cdot \Omega_{p,tr} \quad \text{EOTA TR 069, рівн. (4.11a)}$$

$$\leq \tau_{Rk,ucr} \cdot \Omega_{cr,03} \text{ (or } \Omega_{p,tr}) \cdot \psi_{sus} \quad \text{for } 7\phi \leq l_b \leq 20\phi \quad \text{EOTA TR 069 рівн. (4.11b)}$$

$$\leq \tau_{Rk,ucr} \cdot \left(\frac{20\phi}{l_b}\right)^{lb1} \cdot \Omega_{cr,03} \text{ (or } \Omega_{p,tr}) \cdot \psi_{sus} \quad \text{for } l_b > 20\phi \quad \text{EOTA TR 069 рівн. (4.11c)}$$

Де інші впливові множники тлумачаться так:

η_1 — коефіцієнт, пов'язаний з якістю умов зчеплення (див. примітку в розділі 5.2).

A_k — визначають за EAD 332402 [10]; значення беруть із відповідної ETA.

$(f_{ck}/25)^{sp1}$ — зі значенням $sp1$ з ETA цей комбінований множник враховує вплив міцності бетону на міцність розколювання розчину. Зазвичай міцність розколювання зростає зі збільшенням міцності бетону.

$(25/\phi)^{sp2}$ — зі значенням $sp2$ з ETA цей комбінований множник враховує розмірний ефект, що залежить від діаметра, на міцність зчеплення на розколювання. Типово ця міцність зменшується зі збільшенням діаметра арматури.

$(c_d/\phi)^{sp3}$ де $sp3$ з ЕТА, — комбінований термін, що враховує вплив розчину на обтиснення при малому бетонному покритті. Як і в EC2-1-1, мінімальне покриття c_d , — це найменше значення з відстані до найближчого краю та половини чистого кроку між стрижнями. ЕТА встановлює, що мінімальне бетонне покриття має бути не менше 2ϕ , а в розрахунковому рівнянні ϕ у знаменнику приймають 12 мм, коли діаметр стержня < 12 мм.

$(c_{max}/c_d)^{sp4}$ зі значенням $sp4$ з ЕТА відношення найбільшого покриття (c_{max}) до найменшого (c_d) враховує вплив розчину на обтиснення при великих покриттях бетону. c_{max} - найбільше з двох: покриття до найвіддаленішого краю та половина кроку між стрижнями. Менші відношення c_{max}/c_d відповідають розташуванню стрижнів біля кутів, де недостатнє обтиснення від покриття зменшує міцність зчеплення на розколювання. Хоча нижня межа становить 1,0; ЕОТА TR 069 встановлює верхню межу c_{max}/c_d як 3.5.

$(7\phi/l_b)^{lb1}$ міцність зчеплення на **розколювання** погіршується зі збільшенням довжини анкерування l_b — із ЕТА на розчин — кількісно описує цю деградацію. Розчин із меншим значенням l_b є сприятливішим для глибоких анкерувань ($l_b \gg 7\phi l_b$).

$(20\phi/l_b)^{lb1}$ подібно до зменшення міцності зчеплення на розколювання, міцність на висмикування (для розчину) також зменшується нелінійно зі збільшенням довжини анкерування. Цей ефект стає помітним переважно за анкерувань понад 20ϕ і у поєднанні з великими покриттями й відстанями. Той самий коефіцієнт l_b із ЕТА на розчин додатково впливає на це зниження.

$\tau_{Rk,ucr}$ верхня межа опору зчеплення на розколювання для нетріщинуватого бетону; значення береться з відповідної ЕТА.

$\Omega_{cr,03}$ залежить від чутливості системи пост-встановленої арматури до тріщин у бетоні (шириною до 0,3 мм), що проходять уздовж осі стрижня; значення береться з відповідної ЕТА.

$\Omega_{p,tr}$ множник, що відображає вплив поперечного тиску, перпендикулярного (ρ_{tr}) до осі пост-встановленого стрижня, відповідно до fib Model Code 2010 [35] і обчислюється за рівнянням (4.13) ЕОТА TR 069 [2].

$$\Omega_{p,tr} = 1.0 - \frac{0.3 \cdot \rho_{tr}}{f_{ctm}} \quad \text{for } 0 \leq \rho_{tr} \leq f_{ctm} \text{ (розтяг)}$$

$$\Omega_{p,tr} = 1.0 - \tan h \left[0.2 \cdot \frac{\rho_{tr}}{0.1 \cdot f_{ctm}} \right] \quad \text{for } f_{ctm} \leq \rho_{tr} \leq 0 \text{ (стиск)}$$

де

f_{cm} — середня міцність бетону на стиск;

f_{ctm} — середня міцність бетону на розтяг;

ρ_{tr} — середнє напруження в бетоні в граничному стані (ортогонально до осі стрижня), усереднене по об'єму навколо стрижня діаметром 3ϕ

ψ_{sus} — коефіцієнт урахування тривалих дій, обчислюється за EN 1992-4 [3], ЕОТА TR 069 [2] і відповідною ЕТА з використанням рівняння (4.14) ЕОТА TR 069 [2] як:

$$\psi_{sus} = 1 \quad \text{for } \alpha_{sus} \leq \psi_{sus}^0$$

$$\psi_{sus} = \psi_{sus}^0 + 1 - \alpha_{sus} \quad \text{for } \alpha_{sus} > \psi_{sus}^0$$

де

ψ_{sus}^0 — коефіцієнт, значення якого залежить від застосованої системи; враховує вплив тривалих дій згідно з ЕТА

α_{sus} — відношення між значенням тривалих дій (постійні дії та постійна складова змінних дій) і значенням повних дій у граничному стані міцності.

$c_d = \min\{c_x/2; c_y\}$, а $c_{max} = \max\{c_x/2; c_y\}$ — позначення як на рис. 6.10.

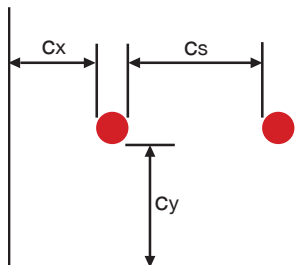


Рис. 6.10 — Позначення кроку арматури та бетонного покриття за fib Model Code 2010 [35]

k_m — коефіцієнт ефективності поперечного армування (див. рис. 6.11), де:
 = 12, коли стрижні обтиснені усередині загибу хомутів/скоб, що охоплюють стрижень із кутом не менше 90°
 = 6, коли стрижень розташований більше ніж на 125 мм і більше ніж на 5ϕ від найближчої вертикальної гілки хомута, що перетинає площину розколювання приблизно під 90°
 = 0, якщо тріщини розколювання не перетинатимуть поперечне армування.

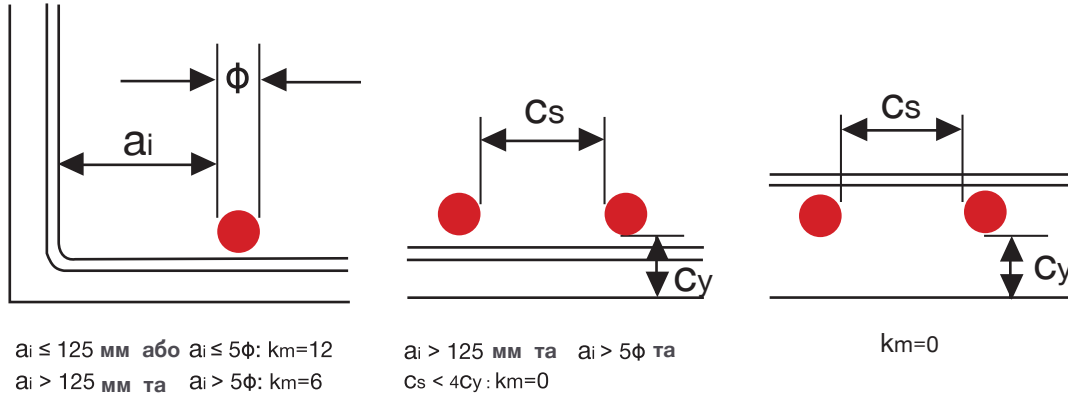


Рис. 6.11 — Зменшення ефективності хомутів за fib bulletin 72 [36]

K_{tr} — нормоване відношення для врахування кількості поперечного армування, що перетинає потенційну поверхню розколювання, обчислюється як $K_{tr} = (n_t \cdot A_{st}) / (n_b \cdot \phi \cdot s_b) \leq 0.05$

де

- n_t — кількість гілок обтиснюючого поперечного армування, що перетинають потенційну поверхню розколювання;
- A_{st} — площа поперечного перерізу однієї гілки хомута;
- n_b — кількість анкерованих/внапуск поздовжніх стрижнів у потенційній поверхні розколювання;
- s_b — крок обтиснюючого поперечного армування.

Перевірка мінімальної довжини анкерного кріплення

Розрахункова довжина анкерування (l_b) визначена згідно з EOTA TR 069 [2], не повинна бути меншою за мінімальну довжину анкерування ($l_{b,min}$), обчислену згідно з підрозділом 6.2.

Процедура та стратегія розрахунку

Три механізми руйнування, що розглядаються в EOTA TR 069 [2], можна зобразити на діаграмі «ієрархії міцності» (див. рис. 6.12), щоб візуалізувати найбільш імовірний механізм руйнування для заданої комбінації навантаження та довжини анкерування розтягваних стрижнів. Це дає змогу легко застосувати підхід розрахунку за несучою здатністю, тобто, коли це можливо, забезпечити, щоб єдиним вирішальним механізмом була текучість сталі. Придатність такого підходу підтверджена експериментально [22].

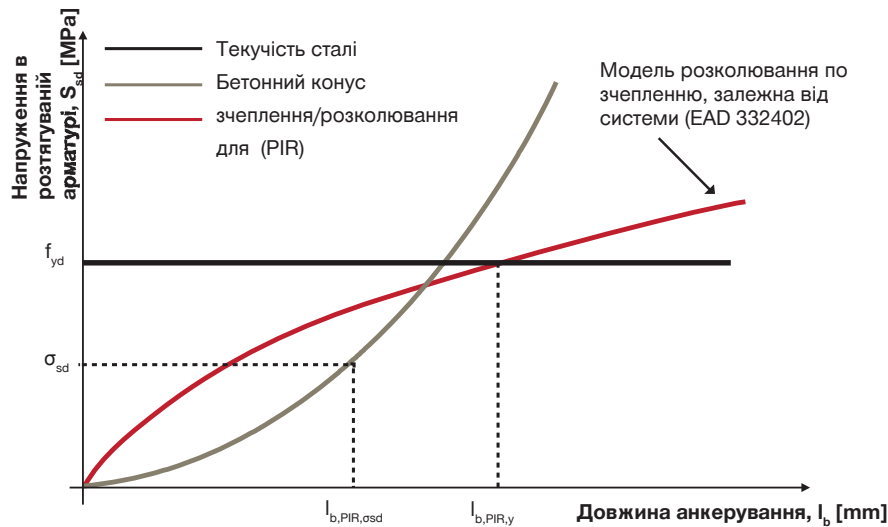


Рис. 6.12 — Діаграма «ієрархії міцності» для методу розрахунку EOTA TR 069 [2]

Додаткові перевірки для наявного залізобетонного елемента

Передачу зусиль між наявними та новими залізобетонними елементами слід перевіряти згідно з EC2-1-1 [1] і враховувати всі можливі механізми руйнування вузла з'єднання, наприклад перевірку зсувної несучої здатності наявного елемента та перевірку зсувної несучої здатності панелі вузла. Серед обов'язкових перевірок — локальна передача зусиль від розтягнаних пост-встановлених стрижнів до монолітної арматури в наявному елементі; її слід виконувати, наприклад, за EC2-4 [3], додаток А.

6.3.3 Розрахунок за принципами EC2-1-1 із підвищеною міцністю зчеплення (метод Hilti)

Хоча положення EC2-1-1 [1] для визначення довжини анкерування є прямими та простими у застосуванні (використовується значення міцності зчеплення системи пост-встановленої арматури — за нормою або з ETA), у деяких застосуваннях вони мають обмеження, зумовлені геометрією. Розрахунок шарнірних та жорстких/моментних з'єднань за моделлю «розпірка-тяга» можливий лише тоді, коли товщина наявного елемента достатня для розміщення розрахункової довжини анкерування. Часто це неможливо, оскільки гачки або приварене поперечне армування не можуть бути виконані для пост-встановленої арматури.

Методи розрахунку за EC2-1-1 [1] можуть застосовуватися з урахуванням повної міцності зчеплення клею, оціненої за EAD 332402 [10] (тобто тієї самої, що використовується для розрахунку за EOTA TR 069 [2]; див. рис. 3.4), замість міцності зчеплення за EC2-1-1 [1].

Розрахунок довжини анкерування з підрозділу 6.2 модифікується так:

$$l_{b,rqd,PIR} = (\phi/4) \cdot (\sigma_{sd} \cdot \gamma_{Mc} / \tau_{RK,sp}) \geq l_{b,min,PIR} \quad \text{EC2-1-1 рівн. (8.3) + EAD 332402}$$

де

$\tau_{RK,sp}$ — розраховують згідно з підрозділом 6.3.2.

Коефіцієнти α за EC2-1-1 [1], рівн. (8.4), не застосовуються, оскільки відповідні впливові параметри вже враховані у формулюванні $\tau_{RK,sp}$.

Примітка. Необхідне деталювання армування відповідно до відповідних норм та ETA продукту. Див. Розділ 5.2.1 щодо правил деталювання пост-встановленої арматури та Розділ 5.2.2 щодо вимог до довговічності.

6.4 РОЗРАХУНОК ДЛЯ СЕЙСМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

6.4.1 Розрахунок для сейсмічних навантажень за Eurocode

Для визначення довжин анкерування пост-встановленої арматури за дії сейсмічних навантажень положення для статичного випадку, наведені в EC8-1 [9], розділ 5.6.1, залишаються чинними. Водночас для пост-встановленої арматури придатність розчину до сприйняття сейсмічних (циклічних) навантажень перевірена в сейсмічних оцінках за різних впливових параметрів, і у відповідних ETA наведено значення розрахункової міцності зчеплення ($f_{bd,seis}$) які слід використовувати замість ($f_{bd,PIR}$) у формулах розділу 6.2.

Примітка. Ці положення Eurocode застосовні лише для шарнірних умов і не для моделей «розпирка-тяга».

Примітка. Мінімальне бетонне покриття має бути $c_{min,seis}$ замість of c_{min} — значення береться з відповідної ETA для сейсмічних навантажень.

Усі інші значення коефіцієнтів і розрахунки для сейсміки залишаються такими самими, як для статичного навантаження. Додаткові правила деталювання анкерування згідно з EC8-1 [9] і застосовними національними положеннями слід враховувати і для з'єднань із пост-встановленою арматурою.

6.4.2 Розрахунок для сейсмічних навантажень за EOTA TR 069

Наразі єдиний доступний метод розрахунку анкерування пост-встановлених стрижнів у моментних з'єднаннях для сейсмічних умов надає EOTA TR 069 [2]. Вирішальною розрахунковою несучою здатністю для сейсмічних умов ($R_{d,eq}$) за філософією сейсмічного проектування EC8-1 [9] має бути текучість стрижня, і вона задається рівнянням:

$$R_{d,eq} = N_{Rd,y,eq} \leq \min(N_{Rd,c,eq}; N_{Rd,sp,eq}) \quad \text{EOTA TR 069 рівн. (5.1)}$$

де

$$N_{Rd} = N_{Rk} / \gamma_M$$

$N_{Rd,y,eq}$ — розрахункова сейсмічна несуча здатність за текучістю пост-встановлених стрижнів;

$N_{Rd,c,eq}$ — розрахункова сейсмічна несуча здатність за виколюванням бетонного конуса;

$N_{Rd,sp,eq}$ — розрахункова сейсмічна несуча здатність за розколюванням по зчепленню пост-встановлених стрижнів.

Примітка. $N_{Rd,c,eq}$ або $N_{Rd,sp,eq}$ можуть бути прийнятним вирішальним видом руйнування, якщо прогнозований пластичний механізм конструктивної системи є пружним при рівні вимог, на якому з'єднання з пост-встановленою арматурою, спроектоване за методом EOTA TR 069 [2], все ще є пружним.

Розрахункова сейсмічна несуча здатність за текучістю арматури

Розрахункова сейсмічна несуча здатність за текучістю сталеві пост-встановленої арматури визначається з урахуванням можливої «надміцності» внаслідок наклепу:

$$N_{Rd,y,eq} = \gamma_{Rd} \cdot N_{Rk,y} \quad \text{EOTA TR 069 рівн. (5.2)}$$

де

$N_{Rk,y}$ — обчислюється як для статичного розрахунку;

$\gamma_{Rd} \geq 1.0$ — коефіцієнт урахування можливої надміцності через наклеп сталі. Значення коефіцієнта дорівнює 1,0 або 1,2 залежно від класу пластичності за сейсмікою (DCM або DCH відповідно) згідно з EC8-1 [9], п. 5.6.2.2.

Розрахункова сейсмічна несуча здатність за виколюванням бетонного конуса

Розрахункова сейсмічна несуча здатність за виколюванням бетонного конуса є модифікацією статичного випадку:

$$N_{Rk,c,eq} = \alpha_{eq} \cdot N_{Rk,c} \quad \text{EOTA TR 069 рівн. (5.3)}$$

де,

$\alpha_{eq} = 1.0$ — якщо розкриття тріщин = 0.3 мм або 0.85 — якщо ≥ 0.3 мм

$N_{Rk,c}$ — визначається як у статичному розрахунку

Розрахункова сейсмічна несуча здатність за висмикуванням і розколюванням по зчепленню

У сейсмічному випадку рівняння (4.11a), (4.11b) і (4.11c), наведені для статичного розрахунку, модифікуються таким чином:

$$\tau_{Rk,sp,eq} = \eta_1 \cdot \alpha_{eq,sp} \cdot A_k \cdot \left(\frac{f_{ck}}{25}\right)^{sp1} \cdot \left(\frac{25}{\phi}\right)^{sp2} \cdot \left[\left(\frac{c_d}{\phi}\right)^{sp3} \cdot \left(\frac{c_{max}}{c_d}\right)^{sp4} + k_m \cdot K_{tr}\right] \cdot \left(\frac{7\phi}{l_b}\right)^{lb1}$$

EOTA TR 069 рівн. (5.4a)

$$\leq \tau_{Rk,ucr} \cdot \Omega_{cr,eq} \cdot \alpha_{eq,p} \quad \text{for } 7\phi \leq l_b \leq 20\phi$$

EOTA TR 069 рівн. (5.4b)

$$\leq \tau_{Rk,ucr} \cdot \left(\frac{20\phi}{l_b}\right)^{lb1} \cdot \Omega_{cr,eq} \cdot \alpha_{eq,p} \quad \text{for } l_b > 20\phi$$

EOTA TR 069 рівн. (5.4c)

де,

$\Omega_{cr,eq}$ — залежить від розрахункового припущення щодо ширини тріщин і береться з відповідної ЕТА;

$\alpha_{eq,p}$ та $\alpha_{eq,sp}$ — сейсмічні редуційні коефіцієнти для механізмів висмикування та розколювання по зчепленню відповідно; значення — з ЕТА.

Усі інші впливові множники слід приймати так само, як у статичному випадку.

Припущення щодо застосовної ширини тріщин у діапазоні 0,3...0,8 мм залежать від напруженого стану наявного елемента. Наприклад, менші ширини тріщин доцільно очікувати в елементах, що переважно працюють на стиск. Натомість більші ширини тріщин слід приймати для елементів, які можуть деформуватися значно (висока пластичність). Деякі вказівки з цього питання наведено в EOTA TR 069 [2] (див. Таблицю 6.3).

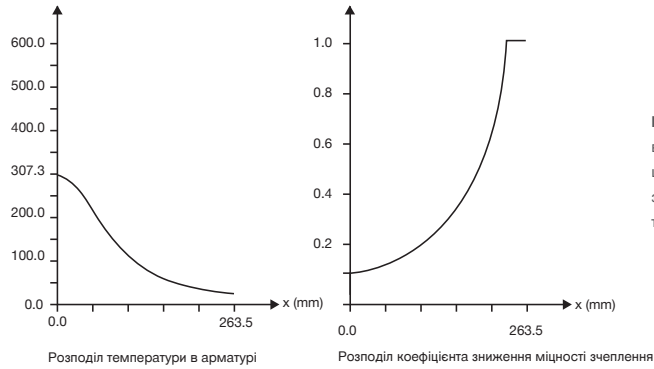
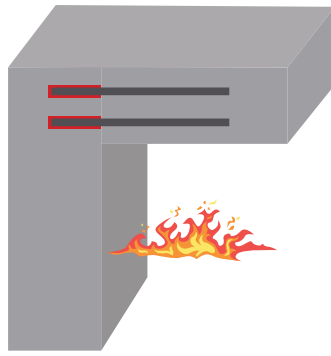
Таблиця 6.3 — Рекомендовані припущення щодо максимальної розрахункової ширини тріщин згідно з EOTA TR 069 [2]

Клас пластичності за EN 1998-1	Фактор поведінки, η за EN 1998-1	L_b/h_{ex} [-]	Прийнята ширина тріщини, w_k [мм]	Коментар
DCL	1.0	All	0.3	Застосовується статичний розрахунок
DCM	1.0 - 1.5	≥ 0.8	0.3	Застосовується сейсмічний розрахунок
		< 0.8	0.5	
DCM / DCH	1.5 - 3.0	≥ 0.8	0.5	
		< 0.8	0.8	
DCM / DCH	>3.0	≥ 0.8	0.8	
		< 0.8	Цей TR це не охоплює	

Примітка. h_{ex} — товщина наявного елемента.

6.5 ПРОЄКТУВАННЯ НА СЕЙСМІЧНІ ДІЇ

Принципи розрахунку на вогнестійкість такі самі, як у розділі 5.4 для з'єднань внапуск. Втім, для кінцевих анкерувань/з'єднань у перетині розподіл температури зазвичай змінюється вздовж довжини анкерування арматури (див. рис. 6.13).



Примітка. Ці положення щодо вогню застосовні лише для шарнірно-спираних з'єднань і не застосовні для моделей «розпірка-тяга» та EOTA TR 069.

Рис. 6.13 — Типовий розподіл температури в з'єднанні з кінцевим анкеруванням

Розрахунок розрахункової довжини анкерування

Розрахункову довжину анкерування можна визначити за тими самими положеннями, що й для статичного випадку навантаження, проте замість (f_{bd}) слід використовувати зменшену несучу здатність зчеплення з відповідної ЕТА для вогню ($f_{bd,fi}$). Розрахункова міцність зчеплення під час пожежі ($f_{bd,fi}$) зменшується зі зростанням температури. Відповідну криву переводять у коефіцієнт зниження $k_{fi}(\theta(x))$ шляхом обчислення відношення значень міцності зчеплення до довідкового значення для монолітної арматури у відповідному класі бетону (див. розділ 5.3 цього довідника). Розрахункове напруження зчеплення у перерізі на відстані «x» уздовж довжини анкерування в умовах пожежі $f_{bd,fi}$ обчислюється за рівнянням нижче:

$$f_{bd,fi} = k_{fi}(\theta(x)) \cdot f_{bd,PIR} \frac{\gamma_c}{\gamma_{c,fi}} \quad \text{EAD 330087}$$

де

$k_{fi}(\theta(x))$ — коефіцієнт зниження у точці «x» уздовж довжини анкерування, що залежить від температури впливу; береться з ЕТА;

$f_{bd,PIR}$ — міцність зчеплення системи пост-встановленої арматури;

γ_c — коефіцієнт надійності для бетонної основи (зазвичай 1,5);

$\gamma_{c,fi}$ — матеріальний коефіцієнт надійності для бетону в умовах пожежі (для EC2-1-2 [8], розд. 2.3 — 1,0).

Опір по зчепленню при вогні ($N_{Rd,fi}$) для припущеної розрахункової довжини анкерного кріплення пост-встановленої арматури ($l_{bd,fi}$) задається рівнянням:

$$N_{Rd,fi} = \pi \cdot \phi \cdot \frac{\gamma_c}{\gamma_{c,fi}} \frac{f_{bd,fi}}{\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5} \int_0^{l_{bd,fi}} k_{fi}(\theta(x)) dx$$

Де всі α -та їхній порядок визначення для пожежі залишаються такими самими, як для статичного випадку. «x» — відстань вздовж осі стрижня, відрахована від контактного шва.

Розрахована за цим інтегральним методом несуча здатність на зчеплення під час пожежі ($N_{Rd,fi}$) має бути не меншою за $N_{Ed,fi}$, що вимагає ітераційної процедури розрахунку.

Перевірка за відмовою сталі

У розрахунку також враховують залишкову міцність сталевій арматури при вогневому впливі через коефіцієнт зниження міцності $k_s(\theta_{max})$

$$N_{Ed,fi} \leq F_{yd,fi} = k_s(\theta_{max}) \cdot A_s \cdot f_{y,k} / \gamma_{s,fi}$$

де

$\gamma_{s,fi}$ — частковий коефіцієнт безпеки для сталі в умовах вогню становить 1.0

A_s — площа поперечного перерізу арматурного стрижня(ів)

$k_s(\theta_{max})$ — береться з EC2-1-2.

Температура θ , що використовується для розрахунку коефіцієнтів зниження для розчину $k_{fi}(\theta)$ та сталі $k_s(\theta)$, також може бути взята з відповідного моделювання методом кінцевих елементів (див. Розділ 5.4.4).

6.6 Приклади проектування

6.6.1 Шарнірно-обперте з'єднання

Вимога проєкту: забезпечити пост-встановлену арматуру для нової плити/балки зі шарнірним опиранням на залізобетонну конструкцію, як показано нижче.

Релевантна інформація проєкту

Геометрія:	Товщина плити, $h = 250$ mm Ширина плити, $w = 1000$ mm Довжина плити, $l_n = 5000$ mm Товщина стіни, $h_w = 300$ mm
Матеріали:	Бетон нормальної щільності C20/25 Арматурна сталь $f_{yk} = 500$ Н/мм ²
Навантаження:	Власна вага + постійні навантаження, $G_k = 7.5$ кН/м ² Змінні навантаження, $Q_k = 20$ кН/м ²

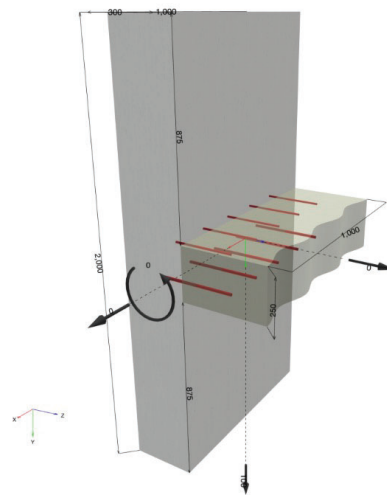


Рис. 6.14 — З'єднання стіна-плита

Розрахунковий термін служби: 50 років

Параметри пост-встановленої арматури:

Спосіб/орієнтація свердління: Ударно-обертове свердління / Горизонтально

Температура монтажу/експлуатації: 20°C / 20°C (довготривало) / 40°C (короткотривало)

Стан основного матеріалу: Сухий

Схема розм. пост-встановленої арматури: Верхнє/нижнє покриття $c_{d,PIR} = 30$ mm

Вибір системи: Hilti HIT-HY 200-R V3 (ETA-19/0600 [30])

Визначення зусиль (розрахункові дії)

$$S_{Ed} = (\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k) = (1.35 \cdot 7.5 + 1.5 \cdot 20) = 40.1 \text{ кН/м}^2$$

$$M_{Ed,m} = S_{Ed} \cdot l_n^2 / 8 = 125.3 \text{ кНм/м}$$

Максимальний згинальний момент (у середині прольоту)

$$V_{Ed,s} = S_{Ed} \cdot l_n / 2 = 100.3 \text{ кН/м}$$

Максимальна зсувна сила (біля опори)

Статичний розрахунок

Визначення зусилля в нижньому шарі арматури

Додаткова розтягувальна сила через зсувне навантаження згідно з EN 1992-1-1:

$$\Delta F_{td} = F_{Ed} = |V_{Ed}| \cdot a_l / z$$

EC2-1-1, розд. (9.3)

$$a_l = d$$

EC2-1-1, розд. 9.3.1.1 (4)

$$\Delta F_{td} = 100 \cdot d / z = 100 \cdot 213 / 192 = 110.9 \text{ kN}$$

Визначення зусилля в верхньому шарі арматури

Згідно з EC2-1-1 [1], розд. 9.3.1.2 (3), коли вздовж кромки плити виникає часткова жорстка заземленість, але її не враховано в розрахунку, верхня арматура має сприймати щонайменше 25 % від максимального моменту в суміжному прольоті. Типово це стосується крайніх опор, де, утім, момент, що має бути сприйнятий, може бути зменшений до 15 % від максимального моменту в суміжному прольоті.

$$M_{Ed,s} = 0.15 \cdot M_{Ed,s} = 0.15 \cdot 125.3 = 18.8 \text{ kNm/m}$$

Примітка. Рекомендовано перевірити це припущення відповідними інструментами розрахунку конструкцій, напр., методом Hardy Cross або числовими засобами.

Розрахунок нижнього шару

Необхідне нижнє армування в середині прольоту:

$$A_{s,rqd,m} = (M_{Ed,m} \cdot \gamma_s) / (z \cdot f_{yk}) = (125.3 \cdot 10^6 \cdot 1.15) / (192 \cdot 500) = 1501 \text{ мм}^2/\text{м}$$

$$\phi 14 / 100 \text{ мм} \rightarrow A_{s,prov,m} = 1539 \text{ мм}^2/\text{м}$$

Армування, передбачене в середині прольоту

Необхідне пост-встановлене армування на опорі:

$$A_{s,min,s} = 0.5 \cdot A_{s,prov,m} = 751 \text{ мм}^2/\text{м} \quad \phi 14 / 200 \text{ мм}$$

EC2-1-1, розд. 9.3.1.2 (1)

$$\rightarrow A_{s,prov,s} = 770 \text{ мм}^2/\text{м}$$

Армування, передбачене на опорі

$$l_{b,rqd} = (\phi / 4) \cdot (\sigma_{sd} / f_{bd})$$

EC2-1-1, рівн. (8.3)

Де

$$\sigma_{sd} = \Delta F_{td} / A_{s,prov} = 110.9 \cdot 10^3 / 770 = 144 \text{ МПа}$$

$$l_{b,PIR} = \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd,PIR} \geq l_{b,min,PIR}$$

EC2-1-1, рівн. (8.7) + EAD 330087

$$l_{b,min,PIR} = \alpha_{lb} \cdot \max\{0.3 \cdot l_{b,rqd,PIR}; 10 \cdot \phi; 100\}$$

EC2-1-1, рівн. (8.11) + ETA-19/0600

$$l_{b,min,PIR} = 1.0 \cdot \max\{66; 140; 100\} = 140 \text{ мм}$$

Коефіцієнти α згідно з EC2-1-1 [1], таблиця 8.2; при цьому α_1 та α_4 не застосовуються для пост-встановленої арматури. У цьому випадку:

$$\alpha_2 = 1 - 0.15 \cdot (c_d - \phi) / \phi \geq 0.7$$

Вплив бетонного покриття

$$= 1 - 0.15 \cdot (93 - 14) / 14 = 0.15 \rightarrow 0.7$$

$$\alpha_3 = 1.0$$

Без поперечного армування

$$\alpha_5 = 1.0$$

Без поперечного тиску

$$l_{b,rqd,PIR} = (\phi / 4) \cdot (\sigma_{sd} / f_{bd,PIR})$$

EC2-1-1, рівн. (8.3) + ETA-19/0600

$$l_{b,rqd,PIR} = (14 / 4) \cdot (144 / 2.3) = 219 \text{ мм}$$

$$l_{b,PIR} = 0.7 \cdot 219 = 153 \text{ мм}$$

Розрахунок верхнього шару

$$A_{s,rqd,s} = (M_{Ed,s} \cdot \gamma_s) / (z \cdot f_{yk}) = (18.8 \cdot 10^6 \cdot 1.15) / (192 \cdot 500) = 225 \text{ мм}^2/\text{м}$$

$$A_{s,min} = (k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}) / f_{yk}$$

EC2-1-1, Розд. 7.3.2 (2)

$$A_{s,min} = (0.4 \cdot 1.0 \cdot 2.2 \cdot 125 \cdot 1000) / 500$$

$$A_{s,min} = 220 \text{ мм}^2/\text{м}$$

$$\phi 10/200 \text{ mm} \rightarrow A_{s,prov,m} = 392 \text{ мм}^2/\text{м}$$

на опорі

$$\sigma_{sd} = (A_{s,rqd} / A_{s,prov}) \cdot (f_{yk} \cdot \gamma_s)$$

$$\sigma_{sd} = (225 / 392) \cdot (500 \cdot 1.15) = 250 \text{ МПа}$$

$$l_{b,rqd,PIR} = (\phi / 4) \cdot (\sigma_{sd} / f_{bd,PIR})$$

EC2-1-1, рівн. (8.3) + ETA-19/0600

$$l_{b,rqd,PIR} = (10 / 4) \cdot (250 / 2.3) = 272 \text{ мм}$$

$$l_{bd,PIR} = \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd,PIR} \geq l_{b,min,PIR}$$

EC2-1-1, рівн. (8.7) + EAD 330087

$$l_{bd,PIR} = 0.7 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 272 = 190 \text{ мм} > 140 \text{ мм}$$

$$N_{Ed} \geq N_{Rd,c}$$

Примітка. Анкерування верхнього стрижня не має обтиснення. Тому виколування бетонного конуса не можна виключати і його слід перевірити відповідно до положень EOTA TR 069 та EC2-4.

$$N_{Rd,c} = N_{Rk,c} / \gamma_c$$

EC2-4, табл. 7.1

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot A_{c,N} / A_{c,N}^0 \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{M,N}$$

EC2-4, рівн. (7.1)

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot l_{bd,PIR}^{1.5}$$

EC2-1-1, рівн. (7.2) з $h_{ef} = l_{bd,PIR}$

$$N_{Rk,c}^0 = 7.7 \cdot \sqrt{20} \cdot 190^{1.5} = 90.2 \text{ кН}$$

припущення: тріщинуватий бетон

$$A_{c,N}^0 = 9 \cdot 190^2 = 324.9 \cdot 10^3 \text{ мм}^2$$

EN 1992-4, рівн. (7.3)

$$A_{c,N} = 1000 \cdot 3 \cdot 190 = 570 \cdot 10^3 \text{ мм}^2$$

EN 1992-4, рис. 7.4

$$N_{Rk,c} = 90.2 \cdot 570 / 324.9 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 158.2 \text{ кН}$$

$$N_{Rd,c} = 158.2 / 1.5 = 105.5 \text{ кН}$$

$$N_{Ed} = \sigma_{sd} \cdot A_{s,prov,s} = 250 \cdot 392 = 98 \text{ кН} < N_{Rd,c} = 105.5 \text{ кН}$$

перевірку виконано ✓

Розрахунок на вогнестійкість

Нове з'єднання має відповідати вимогам вогнестійкості. У цьому випадку потрібен клас вогнестійкості R 180.

Навантаження на з'єднання може бути зменшено, враховуючи, що маємо справу з аварійною комбінацією:

$$V_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot V_d = 0.7 \cdot 100 = 70 \text{ кНм}$$

$$\Delta F_{td,fi} = 70 \cdot d / z = 70 \cdot 213 / 192 = 77.6 \text{ кНм}$$

$$\text{Матеріальні коефіцієнти також змінюються } \gamma_{s,fi} = \gamma_{c,fi} = 1.0$$

EC2-1-2, розд. 2.3

Температура в пост-встановленій арматурі зменшується вздовж стрижня зі збільшенням відстані від контактної шви між існуючим та новим елементами. Її можна розрахувати методом скінченних елементів, наприклад у PROFIS Engineering. Температурний профіль у нижньому шарі пост-встановленої арматури (ближче до вогню) показано на рис. 6.15.

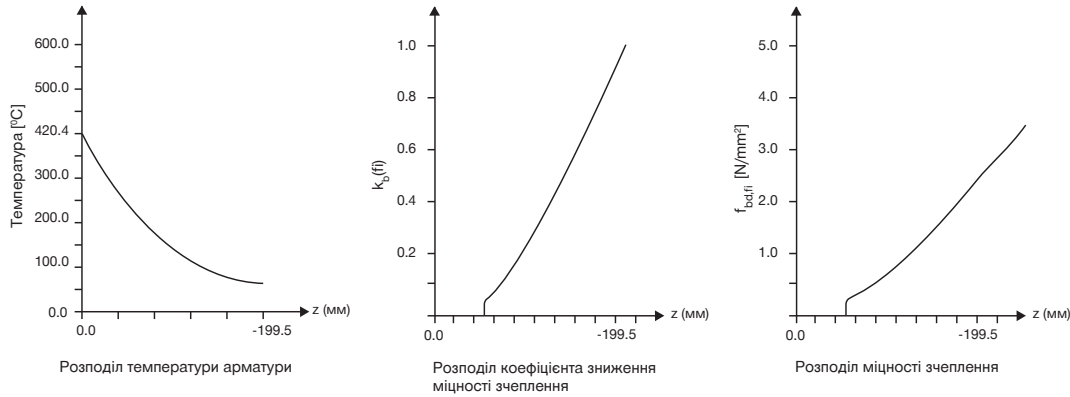


Рис. 6.15 — Параметри, що залежать від вогневого впливу.

Перевірка сталі

Перевірку сталі за умов вогневого впливу слід виконувати з урахуванням максимальної температури вздовж стрижня, тобто 420 °С.

$$N_{Ed,fi} \leq F_{yd,fi} = k_s(\theta_{max}) \cdot A_s \cdot f_{y,k} / \gamma_{s,fi}$$

$$k_s(\theta_{max}) = 1.0 - 0.4 \cdot (\theta - 350) / 150 = 0.81$$

$$N_{Ed,fi} = \Delta F_{td,fi} / n = 77.6 / 5 = 15.6 \text{ kN} \leq 0.81 \cdot 154 \cdot 500 / 1.0 = 62.4 \text{ kN} \quad \text{Перевірку виконано} \checkmark$$

Розрахунок нижнього шару — пост-встановлена арматура

$$f_{bd,fi} = k_{fi}(\theta(x)) f_{bd,PIR} \frac{\gamma_c}{\gamma_{c,fi}} \quad \text{EAD 330087}$$

Міцність зчеплення визначають, поділивши довжину анкерування стрижня в бетоні на малі ділянки з різними рівнями температури та проінтегрувавши (див. розділ 6.5). Інтегрування виконують ітераційно, щоб знайти розрахункову несучу здатність за зчепленням $N_{Rd,fi}$ яка дорівнює зовнішній дії $N_{Ed,fi}$. Використання ПЗ на кшталт PROFIS Engineering суттєво економить час: PROFIS обчислює еквівалентний (усереднений по довжині) коефіцієнт $k_{fi} = 0.36$

$$f_{bd,fi} = k_{fi}(\theta(x)) \cdot f_{bd,PIR} \gamma_c / \gamma_{c,fi} \quad \text{ETA-20/0540}$$

$$f_{bd,fi} = 0.36 \cdot 2.3 \cdot 1.5 / 1.0 = 1.25 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{Rd,fi} = \pi \cdot \phi \cdot f_{bd,fi} / (\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5) \cdot l_{bd,PIR,fi}$$

$$l_{bd,PIR,fi} = (N_{Ed,fi} \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5) / (\pi \cdot \phi \cdot f_{bd,fi}) = (15.6 \cdot 10^6 \cdot 0.7 \cdot 1.0 \cdot 1) / (\pi \cdot 14 \cdot 1.25) = 200 \text{ мм}$$

Оскільки $l_{bd,PIR,fi} > l_{bd,PIR}$, необхідна довжина свердління пост-встановленої арматури в нижньому шарі дорівнює 200 мм.

6.6.2 Приклад проектування кінцевого анкерного кріплення за моделлю «розпірка-тяга»

Вимога проєкту: передбачити пост-встановлену арматуру для нової підпірної стінки резервуара зі збірного залізобетону.

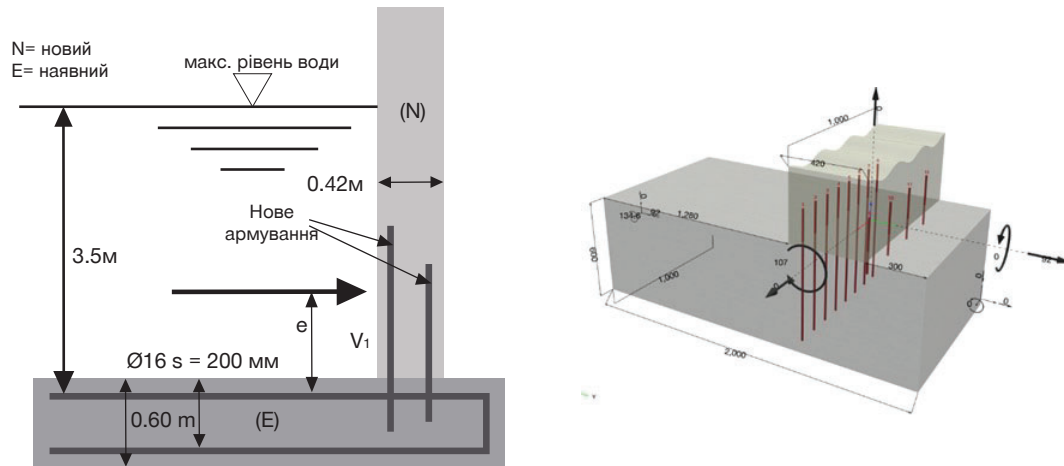


Рис. 6.16 — З'єднання стіна-плита, що передає момент

Вихідні дані проекту

Геометрія: Товщина елементів, що перетинаються: $h_1 = 420$ мм, $h_2 = h_3 = 600$ мм
 Статична висота елементів, що перетинаються: $d_1 = 380$ мм; $d_2 = d_3 = 650$ мм
 Внутрішні плечі важелів елементів: $z_1 = 360$ мм;
 $z_2 = z_3 = 520$ мм
 $c_s = h_2 - d_2 = 40$ мм

Матеріал: Бетон нормальної густини — C20/25 (для нових і наявних елементів)
 Клас сталі — 500 N/мм²

Навантаження: Гідростатичний тиск води
 Вертикальні навантаження — незначні

Розрахунковий строк експлуатації: 50 років

Параметри пост-встановленої арматури:

Метод / орієнтація свердління: Ударно-обертальне свердління / вертикально вниз

Температура монтажу / експл.: 20°C / 20°C (довгострокова) / 40°C (короткострокова)

Стан основного матеріалу: Вологий

Розташування арматури: Верх / низ, захисний шар $c_{d,PIR} = 40$ мм

Вибрана система: Hilti HIT-RE500 V4 (ETA-20/0540 [31])

Статичний аналіз (розрахункові дії)

$V_{1d} = \gamma_Q \cdot p \cdot h^2 / 2 = 1.5 \cdot 10 \cdot 3.5^2 / 2 = 92$ kN/м Діюче зусилля зсуву від гідростатичного тиску води

$e = h / 3 = 3.5 / 3 = 1.17$ м Висота прикладання сили зсуву

$M_{1d} = V_{1d} \cdot e = 92 \cdot 1.17 = 107$ kNm/м Згинальний момент у місці з'єднання плити та стіни

Аналіз поперечного перерізу

Щоб визначити напруження у пост-встановленій арматурі, виконується аналіз поперечного перерізу за принципами EC2-1-1 [1] (тут — із застосуванням PROFIS Engineering). Для цього розрахунку внесок арматури в зоні стиску не враховується.

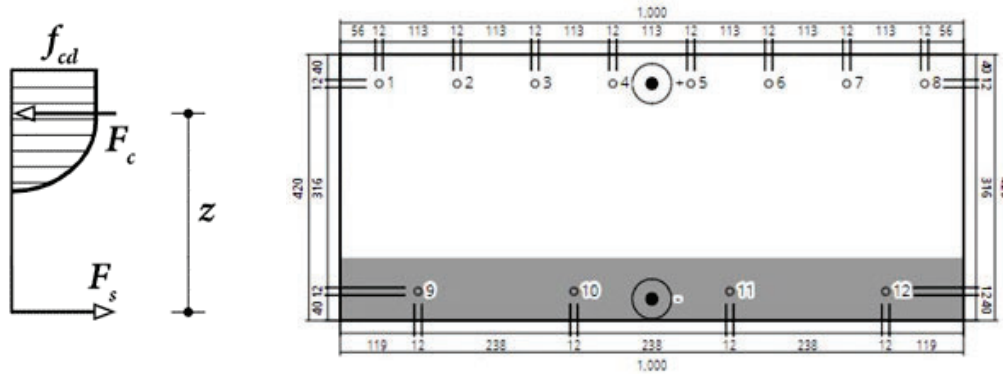


Рис. 6.17 — Аналіз поперечного перерізу

Внутрішнє плече: $z = 340$ мм

$$z_{1R} = 0.85 \cdot 360 = 289 \text{ мм}$$

$$F_{1sd} = M_{1d} / z_{1R} = 107 \cdot 10^3 / 289 = 378 \text{ kN/м}$$

$$A_{s1,rqd} = F_{1sd} / (f_{yk} \cdot \gamma_s) = 378 \cdot 10^3 / 435 = 869 \text{ мм}^2/\text{м}$$

$$\phi 12 / 125 \text{ мм} \rightarrow A_{s1,prov} = 905 \text{ мм}^2/\text{м}$$

$$\sigma_{sd} = F_{1sd} / A_{s1,prov} = 378 \cdot 10^3 / 905 = 418 \text{ мм}^2/\text{м}$$

Зменшене плече важеля при розкриваючому моменті
(див. розд. 6.3.1)

Сила розтягу у пост-встановленій арматурі.

Прийняте армування на розтяг

Розрахункове напруження в стрижнях

Далі формується модель «розпирка-тяга», яку можна розрахувати за принципами тригонометрії або за допомогою PROFIS Engineering.

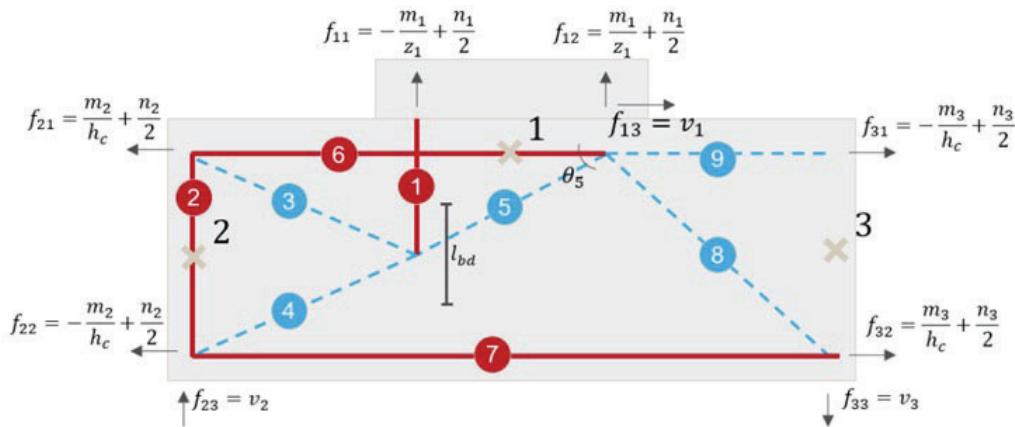


Рис. 6.18 — Сили в моделі «розпирка-тяга»

Реакції

	f_i [kN]
f11	378.236
f12	-378.236
f13	92.000
f21	290.727
f22	-198.727
f23	0.000
f31	0.000
f32	0.000
f33	0.000

Бетонні розпірки

	f_i [kN]	f_{iy} [kN]	f_{iz} [kN]
3	-113.913	110.138	29.085
4	-200.844	198.727	29.085
5	-488.324	308.865	378.236
8	-0.000	-0.000	-0.000
9	-0.000	-0.000	0.000

Арматурні тяги

	f_i [kN]	$A_{s,req,fi}$ [mm ²]	$A_{s,req,hear}$ [mm ²]
1	378.236	870	-
2	29.085	67	-
6	400.865	922	0
7	0.000	0	0

Перевірка тяги № 1:

$$f_{db,PIR} = 2.3 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ETA-20/0540}$$

$$l_{b,rqd,PIR} = (\phi/4) \cdot (\sigma_{sd}/f_{db,PIR}) \quad \text{EC2-1-1, рівн. (8.3) + ETA-20/0540}$$

$$l_{b,rqd,PIR} = (12/4) \cdot (418/2.3) = 545 \text{ мм}$$

$$l_{bd,PIR} = \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd,PIR} \geq l_{b,min,PIR} \quad \text{EC2-1-1, рівн. (8.7) + EAD 330087}$$

$$l_{b,min,PIR} = \alpha_{lb} \cdot \max\{0.3 \cdot l_{b,rqd,PIR}; 10 \cdot \phi; 100\} \quad \text{EC2-1-1, рівн. (8.11) + ETA-19/060}$$

$$l_{b,min,PIR} = 1.0 \cdot \max\{164; 120; 100\} = 164 \text{ мм} \quad 0$$

$$l_{bd,PIR} = 0.7 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 545 = 382 \text{ мм} > 164 \text{ мм}$$

Довжина свердління

$$l_{v,PIR} = l_1 + l_{bd}/2 + c_s$$

$$l_1 = z_{1R} \cdot \tan\theta$$

$$\theta = \min\{60^\circ; \arctan((h_2 - \max(30 \text{ мм}; 2 \cdot \phi) - c_s - l_{b1}/2)/z_{1R})\}$$

$$\theta = \min\{60^\circ; \arctan((600 - \max(30; 2 \cdot 12) - 40 - 382/2)/289)\} = 49.6^\circ > 30^\circ \rightarrow \text{ok!}$$

$$l_{v,PIR} = 289 \cdot \tan(49.6^\circ) + 382/2 + 40 = 571 \text{ мм}$$

Перевірка розпірки № 5

$$\sigma_5 \leq \sigma_{Rd,max}$$

$$\sigma_5 = F_5/(l_{bd} \cdot \cos(\theta)) = 488.3 \cdot 10^3 / (382 \cdot \cos(49.6^\circ)) = 1.97 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Rd,max} = k_2 \cdot v' \cdot f_{cd} \quad \text{EC2-1-1, рівн. (6.61)}$$

$$k_2 = 0.85 \quad \text{EC2-1-1, розд. 6.5.4 (4b)}$$

$$v' = 1 - f_{ck}/250 = 1 - 20/250 = 0.92 \quad \text{EC2-1-1, рівн. (6.57N)}$$

$$f_{cd} \leq \alpha_{cc} \cdot f_{ck}/\gamma_c = 0.85 \cdot 20/1.5 = 13.33 \text{ Н/мм}^2 \quad \text{EC2-1-1, рівн. (3.15)}$$

$$\sigma_5 = 1.97 < 0.85 \cdot 0.92 \cdot 13.33 = 10.4 \text{ Н/мм}^2 \quad \text{Перевірка виконана} \checkmark$$

Зсувна несуча здатність у збурених зонах (розпірка 3 і тяга 6) та (розпірка 4 і тяга 7) розраховується за положеннями EC2-1-1 [1], розд. 6.2.2, з урахуванням таких дій:

Розпірка 3 і тяга 6: $V_{Ed} = 29.1 \text{ кН}$ та $F_{Ed} = 400.9 \text{ кН}$

Розпірка 4 і тяга 7: $V_{Ed} = 29.1 \text{ кН}$ та $F_{Ed} = 0 \text{ кН}$

Примітка. Проектувальник повинен перевірити, що в базовому матеріалі є достатнє армування в місцях, де згідно з цією моделлю «Розпірка-тяга» передбачаються тяги

Можлива оптимізація розрахунку за методом "Розпірка-Тяга"

Варіант 1: прийняти мінімально допустимий кут розпірки $\theta = 30^\circ$

$$l_{v,PIR} = 289 \cdot \tan(30^\circ) + 382/2 + 40 = 398 \text{ мм}$$

За незмінної перевірки для тяги 1, перевірка розпірки 5 та перевірки на зсув у збурених зонах (розпірка 3 і тяга 6) та (розпірка 4 і тяга 7) модифікуються з урахуванням таких дій:

$$\sigma_5 = F_5/(l_{bd} \cdot \cos(\theta)) = 756.5/(382 \cdot \cos(30^\circ)) = 2.29 \text{ Н/мм}^2 < 10.4 \text{ Н/мм}^2 \quad \text{Перевірка виконана} \checkmark$$

Розпірка 3 і тяга 6: $V_{Ed} = 56.8 \text{ кН}$ та $F_{Ed} = 747.1 \text{ кН}$

Розпірка 4 і тяга 7: $V_{Ed} = 56.8 \text{ кН}$ та $F_{Ed} = 0 \text{ кН}$

Примітка. Зменшення прийнятого кута розпірки θ дає змогу зменшити довжину анкерування. Водночас зсувні зусилля в існуючому елементі суттєво зростають (у цьому прикладі — від 400,9 кН to 747.1 кН).

Варіант 2: прийняти міцність зчеплення за методикою EOTA TR 069 [2] та мінімально допустимий кут розпірки $\theta=30^\circ$

$$l_{v,PIR} = 289 \cdot \tan(30^\circ) + 382/2 + 40 = 398 \text{ мм}$$

$$l_b = \phi/4 \cdot \sigma_{sd}/\tau_{Rd,sp}$$

$$\tau_{Rd,sp} = \tau_{Rk,sp}/\gamma_c$$

$$\tau_{Rk,sp} = \eta_1 \cdot A_k \cdot \left(\frac{f_{ck}}{25}\right)^{sp1} \cdot \left(\frac{25}{\phi}\right)^{sp2} \cdot \left[\left(\frac{c_d}{\phi}\right)^{sp3} \cdot \left(\frac{c_{max}}{c_d}\right)^{sp4} + k_m \cdot k_{tr}\right] \cdot \left(\frac{7 \cdot \phi}{l_b}\right)^{lb1} \quad \text{EOTA TR069, рівн. (4.11a)}$$

$$\tau_{Rk,sp} \leq \tau_{Rk,ucr} \quad \text{for } l_b \leq 20 \cdot \phi \quad \text{EOTA TR069, рівн. (4.11b)}$$

$$\tau_{Rk,sp} \leq \tau_{Rk,ucr} \left(\frac{20 \cdot \phi}{l_b}\right)^{lb1} \quad \text{for } l_b > 20 \cdot \phi \quad \text{EOTA TR069, рівн. (4.11c)}$$

З урахуванням продукт-специфічних параметрів із ETA-20/0539 [37] та ітераційного урівнювання міцності зчеплення стрижня із зовнішньою дією отримуємо:

$$\tau_{Rd,sp} = 6.48 \text{ Н/мм}^2$$

$$l_b = 12/4 \cdot 418/6.48 = 194 \text{ мм}$$

$$l_{v,PIR} = 289 \cdot \tan(30^\circ) + 194/2 + 40 = 304 \text{ мм}$$

Під час перевірки тяги 1 розрахунок не змінюється; перевірка розпірки 5 і перевірка зсуву в зонах порушення рівноваги (розпірка 3 і тяга 6) та (розпірка 4 і тяга 7) модифіковані з урахуванням таких дій:

$$\sigma_5 = F_5 / (l_b \cdot \cos(\theta)) = 756.5 / (194 \cdot \cos(30^\circ)) = 4.50 \text{ Н/мм}^2 < 10.4 \text{ Н/мм}^2 \quad \text{Перевірку виконано } \checkmark$$

Розпірка 3 і тяга 6: $V_{Ed} = 56.8 \text{ кН}$ та $F_{Ed} = 747.1 \text{ кН}$

Розпірка 4 і тяга 7: $V_{Ed} = 56.8 \text{ кН}$ та $F_{Ed} = 0 \text{ кН}$

Для цього варіанту розрахунку потрібна така довжина свердління:

$$l_{v,PIR} = 289 \cdot \tan(30^\circ) + 194/2 + 40 = 304 \text{ мм}$$

Пост-встановлена арматура в зоні стиску

У зоні стиску передбачено пост-встановлену арматуру $\phi 12/250 \text{ мм}$. Оскільки арматура в зоні стиску не враховувалася в розрахунку перерізу, її слід заанкерувати відповідно до положень щодо мінімальної довжини анкерування при розтягу згідно з EC2-1-1 [1].

$$l_{b,min,PIR} > \alpha_{lb} \cdot \max\{0.3 \cdot l_{b,rqd,PIR}; 10 \cdot \phi; 100 \text{ мм}\} \quad \text{EC2-1-1, рівн. (8.6) + ETA-20/0540}$$

$$l_{b,min,PIR} > 1.0 \cdot \max\{0.3 \cdot 0; 10 \cdot 12; 100 \text{ мм}\} = 120 \text{ мм}$$

6.6.3 Приклад проектування кінцевого анкерного кріплення за EOTA TR 069

Вимога проєкту: Забезпечити встановлення пост-встановлених арматурних стрижнів для монтажу нової балки, що сприймає згинальний момент, у наявну стіну.

Відповідна інформація про проєкт

Геометрія:

Товщина стіни, $h = 350 \text{ мм}$
Переріз балки, $300 \times 300 \text{ мм}^2$

Матеріал:

Бетон нормальної щільності
C30/37
Арматурна сталь $f_{yk} = 500 \text{ Н/мм}^2$

Навантаження:

$V_{Sd} = 50 \text{ кН}$
 $M_{Sd} = 30 \text{ кНм}$

Розрахунковий строк служби:

50 років

Випадки навантаження:

Статичні та сейсмічні

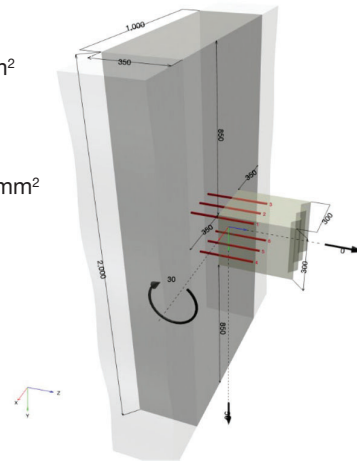


Рис. 6.19 — З'єднання балки зі стіною

Параметри пост-встановленої арматури:

Метод / орієнтація свердління:

Ударне / горизонтальне

Температура монтажу / експл.:

20°C / 20°C (довгострокова) / 40°C (короткострокова)

Стан основного матеріалу:

Вологий / безтріщинний

Розрахунковий строк служби:

50 років

Розташування пост-встановленої арматури:

Зверху/знизу покриття $c_{d,PIR} = 30 \text{ мм}$

Вибір системи:

Hilti HIT-RE 500 V4 (ETA-20/0539 [37])

Як пояснено в розділі 6.3.2, розрахункова довжина анкерування згідно з EOTA TR 069 [2] — це максимальна довжина, необхідна для сприйняття розрахункових дій, визначених для граничних станів виколування бетонного конуса та розколювання по зчепленню, за умови, що міцність сталі на текучість достатня для сприйняття прикладених напружень.

Оскільки опір розколюванню по зчепленню залежить від довжини свердління, розв'язання цієї задачі може бути знайдене або чисельним ітераційним методом (наприклад, у PROFIS Engineering), або графічним методом. У цьому прикладі використано другий підхід.

Аналіз поперечного перерізу

Для визначення напружень у пост-встановленій арматурі виконується аналіз перерізу згідно з принципами EC2-1-1 [1] (у даному прикладі — за допомогою PROFIS Engineering). Арматура в зоні стиску не враховується.

Внутрішнє плече сили $z = 240$ мм отримано для статички (випадок статичного навантаження).

Внутрішнє плече сили $z = 251$ мм отримано для пластичного моменту (випадок сейсмічного навантаження).

Статичний розрахунок

Пост-встановлена арматура в зоні розтягу (верхній шар)

Сила на один стрижень у зоні розтягу:

$$N_{Ed} = M_{Sd} / (n \cdot z) = 30 \cdot 10^3 / (3 \cdot 240) = 41.7 \text{ kN} \quad (125.1 \text{ кН для всього контактного шару)}$$

Графічне відображення, наведене на рис. 6.20, показує, що довжина свердління 168 мм пост-встановленої арматури є необхідною для анкерування статичних розрахункових зусиль.

Далі наведено перевірки для виколування бетонного конуса та розколювання по зчепленню.



Рис. 6.20 — Графічне відображення необхідної довжини анкерування для випадку статичного навантаження

Перевірка текучості сталі:

$$N_{Rd,y} = A_s \cdot f_{yk} / \gamma_s = 113 \cdot 500 / 1.15 = 49.1 \text{ кН}$$

EOTA TR 069, рівн. (4.2)

$$N_{Rd,y} = 49.1 \text{ кН} > N_{Ed} = 42.0 \text{ кН}$$

Перевірку виконано ✓

Перевірка виколування бетонного конуса:

$$N_{Rd,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{M,N} / \gamma_{Mc} \geq N_{Ed}$$

EOTA TR 069, рівн. (4.3)

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot l_b^{1.5} = 11.0 \cdot \sqrt{30} \cdot 168^{1.5} = 131.2 \text{ кН}$$

EOTA TR 069, рівн. (4.4)

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} = 9 \cdot l_b^2 = 9 \cdot 168^2 = 254,016 \text{ mm}^2 \quad \text{EOTA TR 069, рівн. (4.5)}$$

$$A_{c,N} = 3 \cdot l_b \cdot (2 \cdot 102 + 2 \cdot \phi + 3 \cdot l_b) = 3 \cdot 168 \cdot (2 \cdot 102 + 2 \cdot 12 + 3 \cdot 168) = 368,928 \text{ mm}^2$$

$$\psi_{s,N} = 1.0 \quad \text{без впливу країв} \quad \text{EOTA TR 069, розд. 4.3 (3)}$$

$$\psi_{ec,N} = 1.0 \quad \text{без ексцентриситету} \quad \text{EOTA TR 069, розд. 4.3 (4)}$$

$$\psi_{re,N} = 1.0 \quad \text{без негативного впливу поверхневої арматури} \quad \text{EOTA TR 069, розд. 4.3 (5)}$$

$$\psi_{M,N} = 2 - z / (1.5 \cdot l_b) = 2 - 240 / (1.5 \cdot 168) = 1.05 \quad \text{EOTA TR 069, рівн. (4.9)}$$

$$N_{Rd,c} = 131.2 \cdot 368,928 / 254,016 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.05 / 1.5 = 133.4 \text{ kN} > 125.1 \text{ кН} \quad \text{Перевірку виконано} \checkmark$$

Перевірка на розколювання по зчепленню:

$$\tau_{Rk,sp} = \eta_1 \cdot A_k \cdot \left(\frac{f_{ck}}{25}\right)^{sp1} \cdot \left(\frac{25}{\phi}\right)^{sp2} \cdot \left[\left(\frac{c_d}{\phi}\right)^{sp3} \cdot \left(\frac{c_{max}}{c_d}\right)^{sp4}\right] \cdot \left(\frac{7\phi}{l_b}\right)^{lb1} \quad \text{EOTA TR 069 рівн. (4.11a) + ETA-20/0539}$$

$$\tau_{Rk,sp} = 1.0 \cdot 4.4 \cdot \left(\frac{30}{25}\right)^{0.29} \cdot \left(\frac{25}{12}\right)^{0.27} \cdot \left[\left(\frac{51}{12}\right)^{0.68}\right] \cdot \left(\frac{7 \cdot 12}{168}\right)^{0.60} = 10.0 \text{ Н/мм}^2$$

$$\tau_{Rk,sp} \leq \tau_{Rk,ucr} \cdot (f_{ck}/20)^m = 15 \cdot (30/20)^{0.1} = 15.6 \text{ Н/мм}^2 \quad \text{Визначальним є розколювання по зчепленню}$$

$$N_{Rd,sp} = \tau_{Rk,sp} \cdot l_b \cdot \phi \cdot \pi / \gamma_{Mc} = 10.0 \cdot 12 \cdot 168 \cdot \pi / 1.5 = 41.7 \text{ кН} > 42.0 \text{ кН} \quad \text{Перевірку виконано} \checkmark$$

Пост-встановлена арматура в зоні стиску (нижній шар)

Оскільки арматура в зоні стиску не враховувалася в аналізі перерізу, її слід заанкерувати відповідно до вимог щодо мінімальної довжини анкерування при розтягу згідно з EC2-1-1 [1].

$$l_{b,min,PIR} > \alpha_{lb} \cdot \max\{0.3 \cdot l_{b,rqd,PIR}; 10 \cdot \phi; 100 \text{ мм}\} \quad \text{EC2-1-1, рівн. (8.6) + ETA-20/0540}$$

$$l_{b,min,PIR} > 1.0 \cdot \max\{0.3 \cdot 0; 10 \cdot 12; 100 \text{ мм}\} = 120 \text{ мм}$$

Сейсмічний розрахунок

Пост-встановлена арматура в зоні розтягу (верхній шар)

Розрахункова перевірка для сейсмічного навантаження виконується з урахуванням сили розтягу в пост-встановленій арматурі, що відповідає пластичному моменту перерізу балки:

$$N_{Ed,eq} = A_s \cdot f_{yd} = 113 \cdot 500 = 49.1 \text{ кН}$$

Для цього вузла прийнято Ductility Class Medium (DCM) з коефіцієнтом поведінки = 1.5 згідно з EC8-1 [9]. Припускається, що відношення $l_b/h \geq 0.8$. Відповідно до EOTA TR 069 [2], табл. 3.6.1, приймається розкриття тріщин $w_k = 0.5 \text{ мм}$. Коефіцієнт $\gamma_{Rd} = 1.0$ (суттєвих пластичних деформацій не очікується).

Графік на рис. 6.21 відображує, що для анкерування зусиль при сейсмічних діях потрібна довжина свердління 288 мм пост-встановленої арматури. Далі наведено розрахунки на виколування бетонного конуса та розколювання по зчепленню.

Перевірка на виколування бетонного конуса:

$$N_{Rd,c,eq} = \alpha_{eq} \cdot N_{Rk,c} / \gamma_{Mc} \geq N_{Ed,eq} \quad \text{EOTA TR 069, рівн. (5.3)}$$

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot l_b^{1.5} = 7.7 \cdot \sqrt{30} \cdot 288^{1.5} = 206.5 \text{ кН} \quad \text{EOTA TR 069, рівн. (4.4)}$$

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} = 9 \cdot l_b^2 = 9 \cdot 288^2 = 746,496 \text{ мм}^2 \quad \text{EOTA TR 069, рівн. (4.5)}$$

$$A_{c,N} = 3 \cdot l_b \cdot (2 \cdot 102 + 2 \cdot \phi + 3 \cdot l_b) = 3 \cdot 288 \cdot (2 \cdot 102 + 2 \cdot 12 + 3 \cdot 288) = 943,488 \text{ мм}^2$$

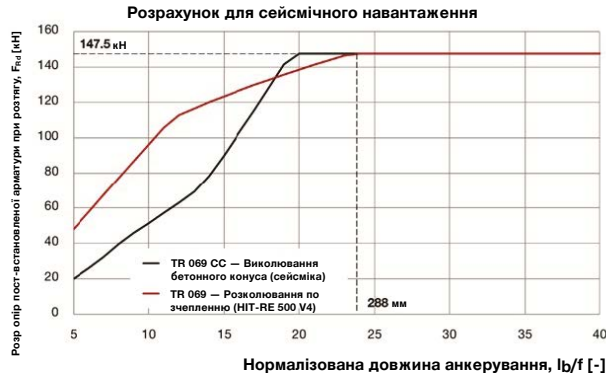


Рис. 6.21 – Графічне відображення необхідної довжини анкерування для випадку сейсмічного навантаження

$\psi_{s,N} = 1.0$ без впливу країв EOTA TR 069, розд. 4.3 (3)

$\psi_{ec,N} = 1.0$ без ексцентриситету EOTA TR 069, розд. 4.3 (4)

$\psi_{re,N} = 1.0$ без негативного впливу поверхневої арматури EOTA TR 069, розд. 4.3 (5)

$\psi_{M,N} = 2 - z / (1.5 \cdot l_b) = 2 - 251 / (1.5 \cdot 288) = 1.42$ EOTA TR 069, рівн. (4.9)

$$N_{Rd,c,eq} = 0.85 \cdot 206.5 \cdot 943,488 / 746,496 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.42 / 1.5 = 210.0 \text{ кН} > 147. \text{кН}$$

Перевірку виконано ✓

Перевірка на розколювання по зчепленню:

$$\tau_{Rk,sp} = \eta_1 \cdot \alpha_{eq,sp} \cdot A_k \cdot \left(\frac{f_{ck}}{25}\right)^{sp1} \cdot \left(\frac{25}{\phi}\right)^{sp2} \cdot \left[\left(\frac{c_d}{\phi}\right)^{sp3} \cdot \left(\frac{c_{max}}{c_d}\right)^{sp4}\right] \cdot \left(\frac{7\phi}{l_b}\right)^{lb1}$$

EOTA TR 069 рівн. (4.11a)

+ ETA-20/0539

$$\tau_{Rk,sp} = 1.0 \cdot 0.95 \cdot 4.4 \cdot \left(\frac{30}{25}\right)^{0.29} \cdot \left(\frac{25}{12}\right)^{0.27} \cdot \left[\left(\frac{51}{12}\right)^{0.68}\right] \cdot \left(\frac{7 \cdot 12}{288}\right)^{0.60} = 6.9 \text{ Н/мм}^2$$

$$\tau_{Rk,sp} \leq \tau_{Rk,ucr} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{20}\right)^m \cdot \left(\frac{20 \cdot \phi}{l_b}\right) = 15 \cdot (30/20)^{0.1} \cdot (20 \cdot 12/288)^{0.6} = 14.0 \text{ Н/мм}^2$$

Визначальним є розколювання по зчепленню.

$$N_{Rd,sp} = \tau_{Rk,sp} \cdot l_b \cdot \phi \cdot \pi / 1.5 = 6.9 \cdot 12 \cdot 288 \cdot \pi / 1.5 = 49.9 \text{ кН} > 49. \text{кН}$$

Перевірку виконано ✓

Пост-встановлена арматура в зоні стиску

Для спрощення, у випадку сейсмічного розрахунку рекомендовано передбачати симетричне армування в обох шарах, щоб урахувати можливу зміну напрямку згинального моменту під час сейсмічної події (реверс напружень).

Підсумок

Як і очікувалось, випадок сейсмічного навантаження є визначальним для анкерування пост-встановленої арматури згідно з EOTA TR 069 [2]. Для завершення розрахунку вузла слід врахувати такі положення:

- Розрахунок за EOTA TR 069 [2] охоплює лише довжину анкерування пост-встановленої арматури.
- Необхідно окремо перевірити зсувну передачу по контактному шву.
- Передача розтягувальних зусиль у наявній стіні забезпечується умовою:
 $l_b/h = 288/350 = 0.82 > 0.8$ EOTA TR 069, розд. 8 та EC2-4, Додаток А
- Несуча здатність наявної стіни для сприйняття зусиль від нової балки має бути перевірена окремо.

7. ПРОЄКТУВАННЯ З'ЄДНАНЬ НАРОЩУВАННЯ БЕТОНУ (ЗСУВНЕ ТЕРТЯ)

7.1 Передача зсуву та теорії зсувного тертя

Як зазначено в попередніх розділах, передача зсуву по контактному шву має бути перевірена для бетону, укладеного в різний час. Класичні теорії зсувного тертя для залізобетонних елементів (r.c.), згідно зі стандартами, такими як EN 1992-1-1 (EC2-1-1) [1], стосуються переважно випадків, коли поздовжні зсувні напруження на межі виникають через новий шар бетону (наприклад, при підсиленні стін або плит, див. рис. 7.1a). Передача зусиль від таких переважаючих поздовжніх зсувних напружень на контактному шві забезпечується такими складовими опору зсуву: адгезією / механічним зачепленням та тертям від арматурних стрижнів, що діють як шпонки Проте ці стрижні потрібно встановлювати із достатньою довжиною анкерування, щоб уникнути текучості, що може потребувати значної товщини бетонного шару.

Передача зсуву по контактному шву також є актуальною для застосувань, у яких домінуючим фактором може бути згинальний момент (див. рис. 7.1b). У такому разі можуть бути доцільними інші підходи до розрахунку, які детально розглянуто в цьому розділі.

Останнім часом EOTA опублікувала документ TR 066 [4] “Design & Requirements for construction works of post-installed shear connection for two concrete layers”, який надає рішення для тонких шарів нарощування, що зазвичай застосовуються для підсилення залізобетонних елементів із використанням спеціальних анкерних упорів (див. рис. 7.1c).

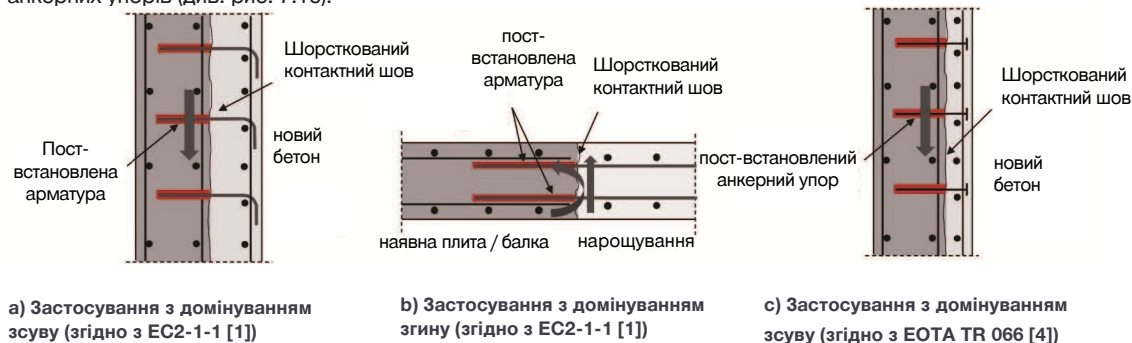


Рис. 7.1 — Передача зсуву по контактному шву в різних типах застосувань

Різні методи розрахунку застосовуються залежно від типу навантаження, що діє на контактному шві, і можуть передбачати використання різних типів анкерних упорів. Огляд наведено в Таблиці 7.1. У подальших підрозділах подано настанови щодо забезпечення передачі зсуву для типів контактних швів, показаних на рис. 7.1.

Таблиця 7.1 — Огляд доступних методів розрахунку для різних типів навантаження

Метод розрахунку	Тип навантаження	Тип з'єднувача	Довжина анкерування
EC2-1-1	Статичне	Пост-встановлена арматура з ETA EAD 330087	$l_{bd,y}$ згідно до EC2-1-1
	Втома	N.A.	
EOTA TR 066	Статичне	Анкерні упори з ETA згідно з EAD 332347	$40 \text{ мм} \leq h_{ef} \leq 20\phi$ згідно до EC2-4
	Втома		
	Сейсмічне		
Hilti Method	Статичне	Пост-встановлена арматура, розрахована як анкер	
	Сейсмічне		

7.1.1 ПРОЄКТУВАННЯ КОНТАКТНОГО ШВА НА ЗСУВ ЗА ПОЛОЖЕННЯМИ ЕС2-1-1 (ПЕРЕВАЖНИЙ ЗСУВ)

У найпростішому випадку дії поперечної сили, перпендикулярної до контактної шва, дотичне зсувне напруження на шві ($v_{Ed,i}$) визначається як:

$$v_{Ed,i} = \beta \cdot \frac{V_{Ed,i}}{z \cdot b_i} \quad \text{ЕС 2-1-1 рівн. (6.24)}$$

де

$V_{Ed,i}$ — зовнішня розрахункова зсувна сила;

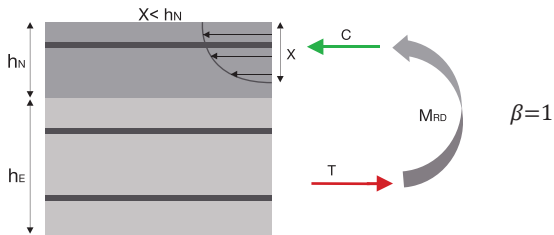
z — внутрішнє плече сили складеного перерізу;

b_i — ширина контактної шва складеного перерізу;

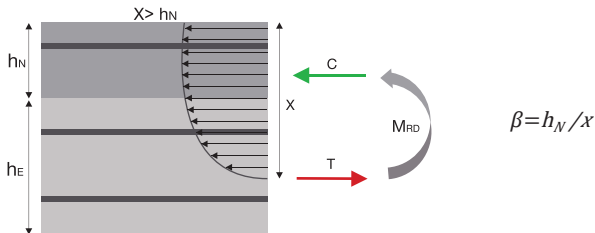
β — відношення поздовжньої сили в новому бетоні до сумарної поздовжньої сили в зоні стиску або розтягу (обидві — для розглядуваного перерізу). Зазвичай для консерватизму приймають $\beta = 1,0$; однак залежно від зон завантаження вздовж головного напрямку елемента значення β слід визначати, як показано на рис. 7.2.

Примітка. Розрахунок діючого зсуву на контактному шві може суттєво відрізнятися для різних застосувань.

Позитивний згинальний момент, стиснута частина плити повністю в межах товщини шару нарощування



Позитивний згинальний момент, стиснута частина плити не повністю в межах товщини шару нарощування



Негативний згинальний момент

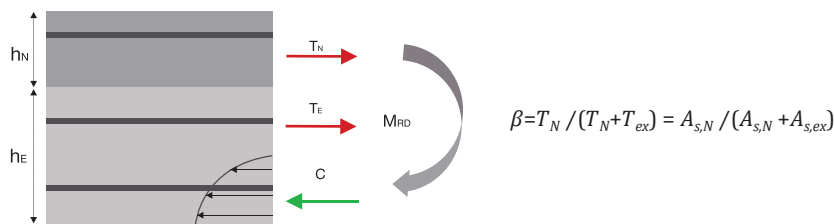


Рис. 7.2 — Обчислення коефіцієнта β у рівнянні (6.25) ЕС2-1-1 [1]

Положення про перевірку розрахункового опору зсуву по контактному шву (V_{Rdi}) наведено в EC2-1-1, Розділ 6.2.5 і має наступний вигляд:

$$V_{Rdi} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd}(\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0.5 \cdot v \cdot f_{cd} \quad \text{EC2-1-1, рівн. (6.25)}$$

де

c та μ — коефіцієнти, що залежать від шорсткості контактної шва (див. Таблицю 7.2).

f_{ctd} — розрахункова міцність бетону на розтяг;

f_{cd} — розрахункова міцність бетону на стиск;

f_{yd} — розрахункова межа текучості арматурної сталі;

σ_n — напруження на одиницю площі від мінімальної зовнішньої нормальної сили через шов, яка може діяти одночасно з поперечною силою; для стиску $\sigma_n < 0.6f_{cd}$ для розтягу вважається негативним. Коли σ_n - розтяг $c \cdot f_{ctd}$ приймають рівним 0

ρ — відношення площі арматури, що перетинає шов (включно зі звичайним зсувним армуванням із належним анкеруванням по обидва боки шва, площа (A_s) до площі стику (A_i))

α — кут нахилу стрижнів до шва, обмежується діапазоном 45° to 90° (див. EC2-1-1, 6.2.5);

v — коефіцієнт зниження міцності для бетону, що працює зі зсувними тріщинами (залежить від національних додатків). Рекомендоване значення: $v = 0.6(1 - \frac{f_{ck}}{250})$

Таблиця 7.2 — Коефіцієнти шорсткості поверхні контактної шва

Характеристика поверхні шва	c	μ
Зубчастий: поверхня з насічками, що відповідають рис. 7.6	0.5	0.9
Шорсткий: поверхня з щонайменше 3 мм шорсткістю з кроком близько 40 мм досягнута насічкою, оголенням заповнювача або іншими методами, що забезпечують еквівалентну поведінку	0.40	0.7
Гладкий: поверхня, отримана ковзною/екструзійною опалубкою, або вільна поверхня без додаткової обробки після вібрування	0.35	0.6
Дуже гладкий: поверхня, відлита по сталі, пластику або спеціально підготовлених дерев'яних формах	0.025 - 0.1	0.5

Це рівняння застосовується у випадках, коли адгезія спроможна прийняти всю розрахункову зсувну дію ($c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n \geq V_{Ed,i}$) У такому разі шпонкові стрижні на шві не потрібні, а розраховують лише мінімальну довжину анкерування при розтягу $l_{bd,min}$ згідно з розділом 6.2 цього довідника.

Якщо ж опору адгезії недостатньо для прийняття прикладеного зсувного напруження, необхідно передбачати зсувні шпонки, що перетинають шов, із достатньою довжиною анкерування ($l_{bd,y}$) для настання текучості з обох боків шва (це зумовлює потребу у товстіших перерізах). Розрахунок потрібної довжини анкерування для пост-встановленої арматури виконується за положеннями, наведеними в розділі 5 і розділі 6 для з'єднань внапуск і кінцевих анкерних кріплень.

Примітка:

- Як зазначено в EC2-1-1, розд. 6.2.5, внесок бетону в зоні розтягу слід ігнорувати тобто $\sigma_n < 0$.
- Стрижні, що сприймають розтяг від згину, не можна враховувати для прийняття розтягу, що виникає від зсуву, оскільки рівн. (6.25) не враховує взаємодії між зсувом і розтягом.
- Рівн. (6.25) не застосовується, якщо весь переріз перебуває в розтягнутому стані.

7.1.2 Проектування в контактному шві за умов непереважного зсуву

Класичні теорії зсувного тертя не завжди придатні для випадків з іншими умовами навантаження, що включають передачу згинального моменту і, відповідно, розтяг і стиск додатково до зсуву по шву, тобто коли зсув не є переважним (див. рис. 7.3). Це типовий випадок для з'єднань, що сприймають згин, зі стиском або без нього (наприклад, з'єднання балка/плита зі стійкою або стіна). Німецький національний додаток до EC2-1-1 (DIN EN 1992-1-1 NA 2013-04 [38]) надає чіткі вказівки щодо перевірки передачі таких зусиль; стислий огляд наведено в табл. 7.3.

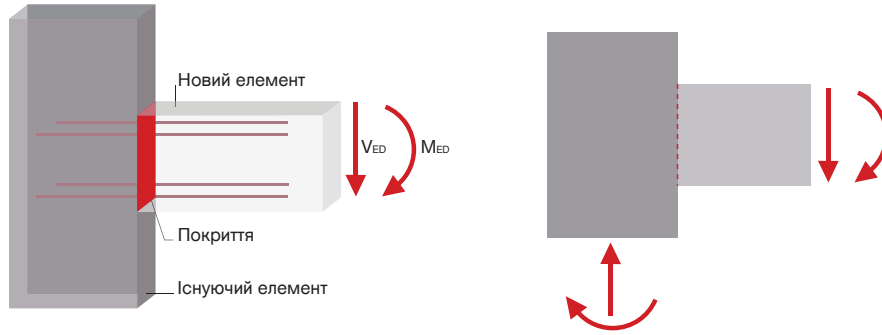


Рис. 7.3 — Передача зусиль між наявним і новим бетонним елементом (без переважного зсуву)

Таблиця 7.3 — Рекомендації Hilti щодо проектування перевірок передачі зсуву по шву для «холодного стику»

Тип навантаження	Навантажувальне відношення	Перевірка
Переважний зсув зі стиском або без нього	$e_d / h < 3.5$	Розділ 6.2.5 EC2-1-1
Переважний згин	$e_d / h \geq 3.5$	Section 6.2.2 з урахуванням вимог DIN EN 1992-1-1 NA 2013-04 (без зсувного армування)
Переважний згин	$e_d / h \geq 3.5$	Розділ 6.2.3 з урахуванням вимог DIN EN 1992-1-1 NA 2013-04 (із зсувним армуванням)

Де $e_d = M / N$ — ексцентриситет згинального моменту відносно центра перерізу; h — висота бетонного елемента.

Модифіковані перевірки зсуву відповідно до DIN EN 1992-1-1 NA 2013-04 [38], згаданих у табл. 7.2:

1. Розрахунковий опір зсуву по шву для елементів без зсувного армування:

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck} \right)^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \cdot c / 0.5 \geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \cdot c / 0.5$$

DIN EN 1992-1-1 NA 2013-04, рівн. (6.2a) & (6.2b)

2. Розрахунковий опір зсуву по шву для елементів із зсувним армуванням — приймається мінімум з двох виразів:

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) / (1 + \cot^2 \theta) \cdot c / 0.5$$

DIN EN 1992-1-1 NA 2013-04, рівн. (6.8)

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

DIN EN 1992-1-1 NA 2013-04, рівн. (6.9)

Примітка. Ці перевірки застосовні лише для шорсткованих або насичених контактних швів.

де

c — коефіцієнт шорсткості поверхні згідно з EC2-1-1 [1] ($c = 0.4$ для шорстких поверхонь та $c = 0.5$ для зубчастих поверхонь)

7.2 Проектування застосувань зсувного тертя - статичні дії

7.2.1 Проектування зсуву в контактному шві за положенням EC2-1-1

Положення, наведені в розділі 7.1.1 цього довідника, можуть застосовуватися. Втім, вони мають суттєвий недолік: довжина анкерування пост-встановленої арматури, яку використовують як анкерні упори, повинна бути дуже великою з обох боків шва (зазвичай $l_{bd,y} \approx 30 - 40$ діаметрів). Така вимога робить багато застосувань з підсилення непрактичними, оскільки типова товщина шару нарощування зазвичай у діапазоні 50–200 мм.

7.2.2 Проектування застосувань зсувного тертя (нарощування бетону) згідно EOTA TR 066

Як зазначено в розділі 3, документ EOTA TR 066 [4] надає розрахункові положення на граничний стан для нових тонких шарів нарощування/підсилення поверх наявного бетонного елемента через передачу зсуву без істотного поперечного згину. EOTA TR 066 [4] передбачає два підходи розрахунку:

Примітка. Документ EOTA TR 066 надає рішення для тонких нашарувань бетону.

Незармований шов: монолітна поведінка, тобто передбачається **міцне адгезійне зчеплення**, і анкерні упори не потрібні.

Армований контактний шов: композитна поведінка, тобто передбачається **слабке адгезійне зчеплення**, коли анкерні упори встановлюються вздовж контактного шва для передачі розтягувальних зусиль, що виникають від тертя, далі в бетонні шари.

Примітка: Незармований контактний шов слід приймати лише в тому випадку, якщо очікується, що він залишатиметься без тріщин протягом усього строку служби елемента. Утворення тріщин у незармованому контактному шві може спричинити крихке руйнування конструктивного елемента

Для обох підходів найважливішим параметром розрахунку є **шорсткість контактного шва**. EOTA TR 066 [4] визначає чотири рівні шорсткості (див. таблицю 7.4). Наукове підґрунтя цього методу проектування розглянуто у [39] та [40].

Таблиця 7.4 — Категорії шорсткості поверхні згідно з EOTA TR 066

Категорія	Методи / ситуації (приклади)	Застосування			Шорсткість R_1 (пік-до-середнього), мм
		Статичні та квазістатичні	Втомні навантаження	Сейсмічні навантаження	
Дуже шорстка	Шпонка	Так	Так	-	Див. EOTA TR 066
	Водоструминна, піскоструминна обробка високим тиском,	Так	Так	Так (обидві підкатегорії трактується як «шорсткі»)	≥ 3.0
Шорстка	Піскоструминна обробка	Так	Непридатно		≥ 1.5
Гладка	Необроблена, леть шорсткована (наприклад, як після видалення цементного молока та пухкого матеріалу)	Так	Непридатно	Так	< 1.5
Дуже гладка	Існуючий бетон, укладений у сталеву опалубку	Так	Непридатно	Непридатно	Не вимірюється

Згідно з EOTA TR 066 [4], на систему діють два типи навантажень / сил:

Зовнішні навантаження:

Див. розділ 7.1.1.

Сили від закріплення по периметру через усадку бетону

Зсувні напруження від закріплення по периметру (τ_{Ed}^*) уздовж контуру (див. рис. 7.4) визначаються за формулою:

Сила розтріскування в новому шарі через закріплення по периметру: EOTA TR 066, рівн. (2.2)

$$V_{Ed,j}^* = h_{new} \cdot b_j \cdot f_{ctd}$$

$$\tau_{Ed}^* = \frac{V_{Ed,j}^*}{l_e \cdot b_j} = h_{new} \cdot \frac{f_{ctd}}{l_e} \quad \text{EOTA TR 066, рівн (2.2)}$$

де

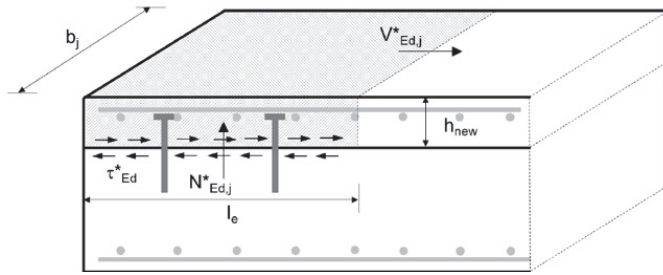
h_{new} — товщина нового шару бетону (у цьому довіднику також позначається як h_{ov})

b_j — глибина відповідної ділянки розглядуваного складеного перерізу;

f_{ctd} — розрахункова міцність на розтяг бетону нового шару;

l_e — ширина зони закріплення контактного шва по периметру, що приймається як:

- $l_e = 3 \cdot h_{new}$ — для дуже шорстких поверхонь;
- $l_e = 6 \cdot h_{new}$ — для шорстких поверхонь;
- $l_e = 9 \cdot h_{new}$ — для гладких і дуже гладких поверхонь.



Примітка. Ширина зон по периметру залежить від шорсткості контактного шва.

Рис. 7.4 — Схематичне зображення анкерних упорів, що сприймають сили від закріплення по периметру (джерело: EOTA TR 066 [4])

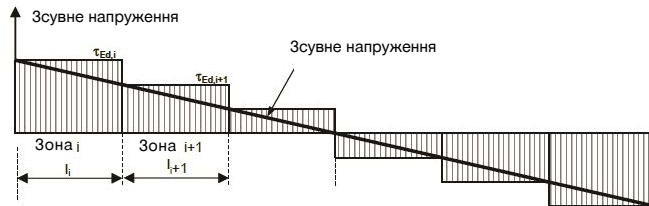
Сили закріплення по периметру можуть не враховуватися, якщо вжито інших заходів або якщо граничні умови забезпечують відсутність розтягувальних зусиль по периметру (наприклад, власна вага стіни на нижньому боці).

Ці сили спричиняють піднімальні зусилля, перпендикулярні до контактному шва, $N^*_{ed,j}$ які сприймаються анкерними упорами і передаються у два бетонні шари.

$$N^*_{ed,j} = \frac{V^*_{Ed,j}}{6} = \frac{h_{new} b_j f_{ctd}}{6}$$

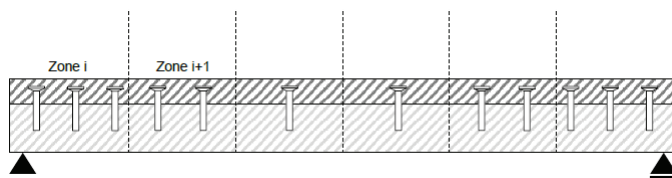
EOTA TR 066, eq. (2.4)

EOTA TR 066 [4] дозволяє поділ контактному шва на зони, щоб визначити різні зсувні напруження, що виникають від рівномірно розподілених розрахункових сил V_{Ed} (див. рис. 7.5).



Примітка. Якщо контактний шов «гладкий» або «дуже гладкий», замість максимального напруження в кожній зоні може враховуватись середнє значення.

а) Дискретизація зсуву на контактному шві за допомогою ступінчастої функції



б) Необхідна кількість анкерних упорів у різних зонах

Рис. 7.5 — Ступінчастий розподіл зсувних напружень (джерело: EOTA TR 066 [4])

Необхідні перевірки

Перевірка на зовнішні навантаження:

$$\tau_{Ed} = \tau_{Ed,i} \leq \tau_{Rd,i}$$

EOTA TR 066, рівн. (2.5)

Примітка. Зовнішні сили та сили від закріплення по периметру не підсумовуються.

Перевірка на сили від закріплення по периметру:

$$\tau_{Ed} = \max(\tau_{Ed,i}; \tau^*_{Ed}) \leq \tau_{Rd}$$

EOTA TR 066, рівн. (2.6)

$$N_{Ed} = N^*_{Ed,j} \leq N_{Rd}$$

EOTA TR 066, рівн. (2.7)

Розрахунковий опір зсуву

Розрахунковий опір зсуву (τ_{Rd}) для контактних швів без анкерних упорів (міцне адгезійне зчеплення) визначається за формулою:

$$\tau_{Rd} = c_a \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \quad \text{EOTA TR 066, рівн. (2.9)}$$

де

c_a та μ — коефіцієнти, що залежать від рівня шорсткості поверхні (див. таблицю 7.5);

$$v = 0,55 \left(\frac{30}{f_{ck}} \right)^{\frac{1}{3}} \leq 0,55 \quad \text{EOTA TR 066, рівн. (2.10)}$$

$\sigma_n \geq 0$ (розтяг не допускається);

$f_{ctd}, \sigma_n, f_{cd}$: див. розділ 7.1.1.

Примітка: Незармований контактний шов можна приймати для статичних/втомних навантажень, але не для сейсмічних дій.

Таблиця 7.5 — Коефіцієнти та параметри для різних рівнів шорсткості (джерело: EOTA TR 066)

Характеристики поверхні контактного шва	c_a	c_r	κ_1	κ_2	β_c	μ	
						$f_{ck} \geq 20$ МПа	$f_{ck} \geq 35$ МПа
Дуже шорстка (Включно зі шпонками ¹⁾ $R_t \geq 3,0$ мм	0.5	0.2	0.5	0.9	0.5	0.8	1.0
Шорстка $R_t \geq 1,5$ мм	0.4	0.1	0.5	0.9	0.5	0.7	
Гладка (поверхня бетону без обробки після вібрування або злегка шорсткована під час формування)	0.2	0	0.5	1.1	0.4	0.6	
Дуже гладка (сталева/пластикова/дерев'яна опалубка) _r	0.025	0	0	1.5	0.3	0.5	

1) Шпонки повинні відповідати геометричним вимогам, наведеним на рис. 7.6.

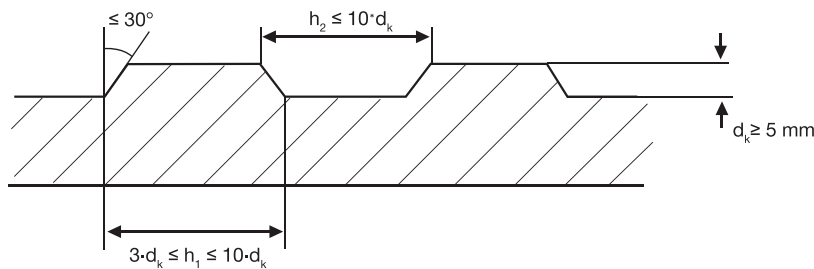


Рис. 7.6 — Геометрія шпонок (джерело: EOTA TR 066 [4])

Розрахунковий опір зсуву (τ_{Rd}) для контактних швів з анкерними упорами (слабке адгезійне зчеплення) задається рівн. (2.11) EOTA TR 066:

$$\tau_{Rd} = c_r \cdot f_{ck}^{1/3} + \mu \cdot (\sigma_n + \kappa_1 \cdot \alpha_{\kappa 1} \cdot \rho \cdot \sigma_s) + \kappa_2 \cdot \alpha_{\kappa 2} \cdot \rho \cdot \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\gamma_s} \cdot \frac{0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c}} \leq \beta_c \cdot v \cdot \frac{0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c}$$

Ця формула охоплює три складові механізми, розглянуті в розділі 2.2.2:

$c_r \cdot f_{ck}^{1/3}$ — складова міжзернового зчеплення заповнювача; застосовується лише за відсутності розтягу від зовнішнього навантаження σ_n

$\mu \cdot (\sigma_n + \kappa_1 \cdot \alpha_{\kappa 1} \cdot \rho \cdot \sigma_s)$ — складова зсувного тертя.

$$\kappa_2 \cdot \alpha_{k2} \cdot \rho \cdot \sqrt{\frac{f_{yk}}{\gamma_s} \cdot \frac{0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c}} \quad \text{— складова ефекту шпонки}$$

$$\beta_c \cdot \nu \cdot \frac{0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \quad \text{— граничний опір бетонної розпірки}$$

де

$\kappa_1, \mu, \kappa_2, \beta_c$ — коефіцієнти, що залежать від шорсткості поверхні (див. таблицю 7.5);

α_{k1} — продуктивний коефіцієнт пластичності анкерного упора (див. відповідну ETA);

$\sigma_s = \min(N_{Rd,s}; N_{Rd,c}; N_{Rd,p}; \dots) / A_s \leq f_{yk} / \gamma_s$ — напруження у сталі згідно з відповідними моделями руйнування за EC2-4 [3];

f_{yk} — характеристичне значення межі текучості анкерного упора (див. відповідну ETA);

$\gamma_s = 1.15$ and $\gamma_c = 1.5$ — згідно з EC2-1-1 [1]

α_{k2} — коефіцієнт, що враховує згинальну здатність анкерного упора (див. відповідну ETA);

f_{ck}, σ_n, ρ — див. розділ 7.1.1.

Для визначення σ_s усі можливі моделі руйнування у новому та існуючому шарах бетону слід розрахувати згідно з положеннями EC2-4 [3] (див. рис. 7.7). Вирішальним є найменший опір. Ручні розрахунки можуть бути доволі трудомісткими, однак їх можна виконати дуже швидко за допомогою PROFIS Engineering. Детальніше — див. розділ 8.

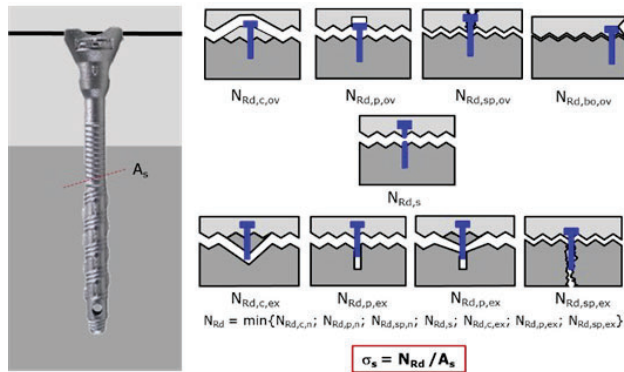


Рис. 7.7 — Перевірки анкерів, які виконують для визначення σ_s

7.2.3 Додаткові правила деталювання для анкерних упорів згідно з EOTA TR 066

Необхідно також виконати такі додаткові правила деталювання:

- **Мінімальний крок анкерних упорів** (s_{min}) приймається як максимальне з вимог до кроку в існуючому бетоні та в новому нашаруванні:

$$s_{min} = \max(s_{min}(\text{існ. бетон}); s_{min}(\text{нашарування}))$$

- **Мінімальна частка армування** (ρ_{min}) для запобігання крихкому руйнуванню через втрату міжзернового зачеплення заповнювача (за умови слабкого адгезійного зчеплення), що дозволяє перерозподіл напружень і забезпечує композитну поведінку нового складеного перерізу, визначається за формулами:

$$\rho_{min} = 0,20 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \geq 0,001 \quad (\text{для лінійних елементів — балки, колони}) \geq \quad \text{TR 066, рівн. (2.21a)}$$

$$\rho_{min} = 0,12 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \geq 0,005 \quad (\text{для площинних елементів — плити, стіни}) \quad \text{EOTA TR 066, рівн. (2.21b)}$$

$$\rho_{min} = \frac{A_{s,min}}{A_c} \quad \text{EOTA TR 066, рівн. (2.22)}$$

де:

f_{ctm} — середня міцність бетону на розтяг;

f_{yk} — характеристична межа текучості анкерного упора (див. відповідну ETA);

$A_{s,min}$ — сумарна приведена площа мінімально необхідних анкерних упорів на контактному шві;

A_c — площа перерізу бетону, релевантна до $A_{s,min}$

Примітка. Якщо прийнято незармований контактний шов, мінімальне армування не вимагається.

- **Мінімальна відстань до краю (s_{min}) і крок (s_{min})** анкерних упорів визначається згідно з рис. 7.8, де 'd' — діаметр анкерного упора.

Мінімальні відстані до країв і між анкерними упорами необхідні для запобігання передчасному розколюванню бетону як у поздовжньому, так і в поперечному напрямках відносно розміщення упорів, а також для покращення умов зчеплення арматури, що перетинає контактний шов між шарами бетону (новим і існуючим). EOTA TR 066 [4] не враховує жодного внеску від крайового армування в існуючому бетонному шарі — для забезпечення консервативного розрахунку.

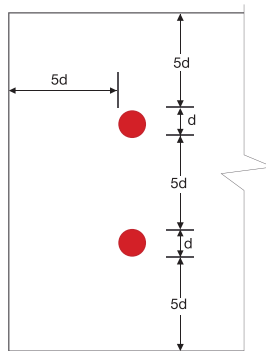


Рис. 7.8 — Мінімальні відстані до краю й між анкерними упорами

- У випадку незармованого контактної шва, слід передбачити **конструктивне армування** для підтримки нового шару бетону згідно з чинними локальними нормами будівництва. Рекомендовано мінімум 2 анкерних упори на 1 м² з відстанню між ними не більше 700 мм [41].

7.3 Проектування застосувань зсувного тертя (нарощування) - втомні дії

7.3.1 Проектування за EC2-1-1

Положення EC2-1-1 [1], наведені в розділі 7.1.1, також застосовуються до випадків втомного навантаження. Для таких навантажень значення коефіцієнта шорсткості s має бути зменшено удвічі (див. EC2-1-1 [1], розділ 6.2.5). Для мостів коефіцієнт s приймається 0. Хоча такі системи можуть бути розраховані з використанням пост-встановленої арматури, на сьогодні не існує європейської оцінки (ETA) для таких арматур, що покриває випадки втомного навантаження. Див. [43] — наукове обґрунтування.

Примітка: Системи Hilti з пост-встановленою арматурою мають національне німецьке схвалення, яке охоплює втомні навантаження.

7.3.2 Проектування за EOTA TR 066

Положення EOTA TR 066 щодо зсувного шва між двома бетонними шарами, укладеними з розривом у часі, застосовні до втомних навантажень лише за виконання всіх таких умов:

- Поверхня контактної шва обмежується дуже шорсткою для проектування контактної шва на втому.
- Використовуються лише анкерні упори, з ETA згідно з EAD 332347, які охоплюють випадок втоми.
- Класи міцності бетону як існуючого, так і нового шарів повинні відповідати вимогам відповідного ETA..
- Повинна бути задоволена наступна умова перевірки для розрахункового опору зсуву для навантажень втому:

Примітка: Згідно з EOTA TR 066, втомний розрахунок самих анкерів не потрібен, якщо виконуються наведені умови.

$$\Delta \tau_{Ed} \leq \eta_{sc} \cdot \tau_{Rd} \quad \text{EOTA TR 066, рівн. (2.13)}$$

де

η_{sc} — коефіцієнт для втомної перевірки анкерних упорів, що враховує суперпозицію циклічних і статичних зусиль. Значення береться з відповідної ETA.

τ_{Rd} — розрахунковий опір зсуву при статичному навантаженні (див. розділ 7.2.2 EOTA TR 066 [4]).

Межі циклічних (втомних) напружень та співвідношення розрахункового опору показані на Рис. 7.9, де $\eta_{sc} = 0.4$ приймається як основа для Діаграми Гудмена.

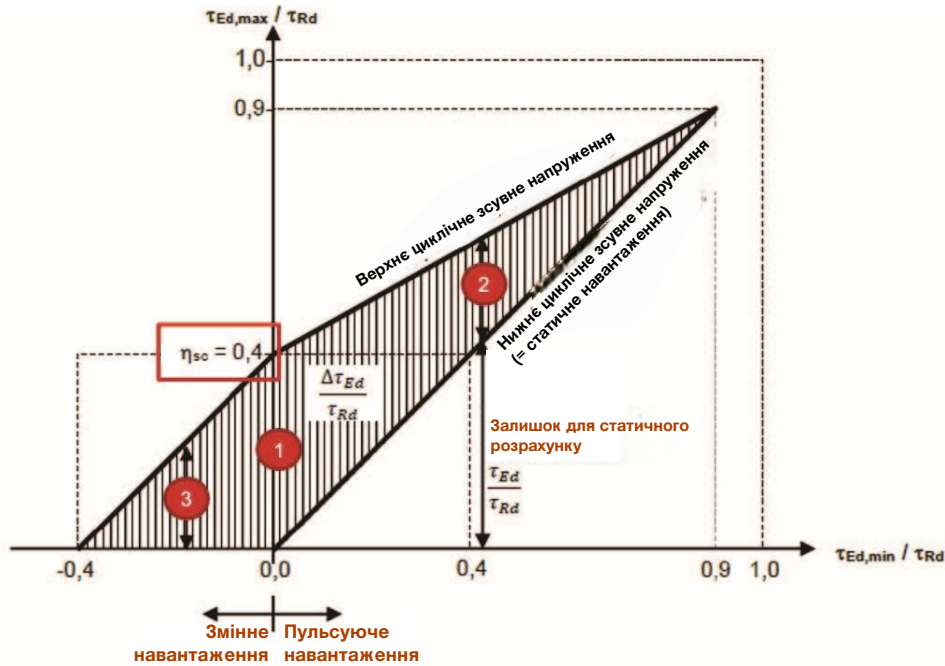


Рис. 7.9 — Діаграма сталої довговічності (діаграма Гудмана, джерело: EOTA TR 066 [4])

Для перевірки, наведеної вище, можливі три варіанти ситуацій:

1. Відсутнє статичне навантаження, діє **лише циклічне навантаження (втома)**, тобто $\tau_{Ed,min} = 0$:

$$\Delta\tau_{Ed} = \tau_{Ed,max} \quad \text{EOTA TR 066, рівн. (2.14)}$$

$$\frac{\tau_{Ed,max}}{\tau_{Rd}} \leq \eta_{sc} \quad \text{EOTA TR 066, рівн. (2.15)}$$

2. **Втомне та статичне навантаження мають однаковий знак** (один напрям), тобто $\tau_{Ed,min} > 0$:

Циклічне зсувне напруження (див. рис. 7.9):

$$\Delta\tau_{Ed} = \tau_{Ed,max} - \tau_{Ed,min} \quad \text{EOTA TR 066, рівн. (2.16)}$$

Верхнє циклічне зсувне напруження: (див. рис. 7.9):

$$\frac{\tau_{Ed,max}}{\tau_{Rd}} \leq \eta_{sc} + 0,55 \frac{\tau_{Ed,min}}{\tau_{Rd}} \leq 0,9 \quad \text{EOTA TR 066, рівн. (2.17a)}$$

Нижнє циклічне зсувне напруження = максимальне статичне напруження (див. рис. 7.9):

$$0 < \frac{\tau_{Ed,min}}{\tau_{Rd}} = \frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd}} \quad \text{EOTA TR 066, рівн. (2.17b)}$$

3. **Втомне та статичне навантаження мають протилежні знаки** (різні напрями), тобто

$\tau_{Ed,min} < 0$: для циклічного зсувного напруження (див. рис. 7.9):

$$\Delta\tau_{Ed} = \tau_{Ed,max} - |\tau_{Ed,min}| \quad \text{EOTA TR 066, рівн. (2.18)}$$

Верхнє циклічне зсувне напруження (див. рис. 7.9):

$$\frac{\tau_{Ed,max}}{\tau_{Rd}} \leq \eta_{sc} - \frac{|\tau_{Ed,min}|}{\tau_{Rd}} \quad \text{EOTA TR 066, рівн. (2.19)}$$

7.4 Проектування застосувань зсувного тертя (нарощування бетону) - сейсмічні дії

7.4.1 Проектування за EOTA TR 066

Механізм передачі сейсмічних зусиль аналогічний положенням розділу 7.2.1. Обсяг сейсмічних зусиль, що передаються через контактний шов, залежить від типу підсилення або відновлення конструкції.

Примітка. У стандартах Eurocode немає положень щодо розрахунку нарощування бетону на сейсмічні навантаження.

Необхідні перевірки при сейсмічному навантаженні

Перевірки несучої здатності відповідно до різних механізмів руйнування виконуються, виходячи з категорій сейсмічної дії С1 або С2 згідно з EC2-4 [3], залежно від передумов і типу застосування. Основні вирішальні механізми руйнування включають:

- Текучість сталі анкерних упорів
- Руйнування бетону при розтягу в новому та існуючому шарі бетону (виколування конуса, розколювання, виривання, відрив упора)
- Специфічні вимоги до перевірок несучої здатності, зокрема: запобігання руйнуванню існуючого шару бетону при відмові в зоні нарощування; перевірки анкерних упорів у існуючому бетоні; забезпечення принципу «capacity design» тощо.

Примітка. Сейсмічні сили, як правило, не накладаються на статичні сили та сили, що виникають через обмеження по периметру.

Розрахункові опори

Розрахунковий опір зсуву ($\tau_{Rd,seis}$) на межі між шарами бетону, укладеними в різний час, має задовольняти таку умову:

$$\tau_{Ed,seis} \leq \tau_{Rd,seis} \quad \text{EOTA TR 066, рівн. (3.1)}$$

де $\tau_{Ed,seis}$ — сейсмічна дія зсуву.

$$\tau_{Rd,seis} = \alpha_{seis} [c_r \cdot f_{ck}^{1/3} + \mu \cdot (\sigma_n + \kappa_1 \cdot \alpha_{k1} \cdot \rho \cdot \sigma_{s,eq}) + \kappa_2 \cdot \alpha_{k2} \cdot \rho \cdot \sqrt{f_{yd} \cdot f_{cd}}] \leq \beta_c \cdot v \cdot f_{cd}$$

EOTA TR 066, рівн. (3.2)

де $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$

Примітка. Граничне значення для $\tau_{Rd,seis}$ має дорівнювати τ_{Rd}

Коефіцієнти в наведеному рівнянні описані в розділі 7.2.2 і вимагають таких уточнень:

c_r , μ , κ_1 , κ_2 та β_c — коефіцієнти, що залежать від шорсткості поверхні (див. таблицю 7.6 нижче);

$\sigma_{s,eq} = \min(N_{Rd,s,eq}; N_{Rd,c,eq}; N_{Rd,p,eq}; \dots) / A_s \leq f_{yk} / \gamma_s$ — розрахункове напруження сталі згідно з відповідним механізмом руйнування для сейсмічних умов;

α_{seis} — коефіцієнт, залежний від продукту, що враховує сейсмічні умови; його значення з відповідної ETA (value ≤ 1.0).

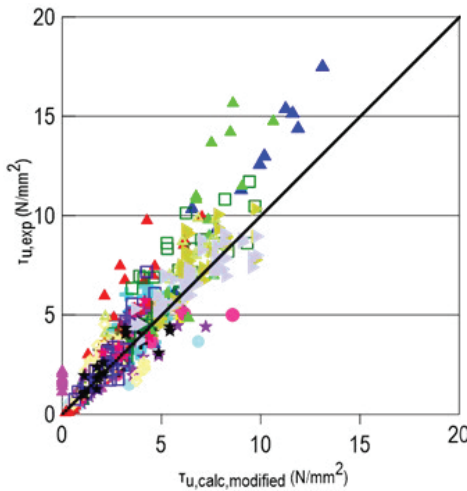
Таблиця 7.6 — Коефіцієнти, пов'язані з шорсткістю поверхні під час сейсмічного навантаження (EOTA TR 066 [4])

Характеристика поверхні зчеплення	c_r	κ_1	κ_2	β_c	μ	
					$f_{ck} \geq 20$ МПа	$f_{ck} \geq 50$ МПа
Шорстка $R_i \geq 1.5$ мм	0	0.5	0.9	0.5	$\mu = 0.4 \sqrt[3]{\left(\frac{f_{cd}}{\sigma_c + \sigma_n}\right)^2}$	$\mu = 0.27 \sqrt[3]{\left(\frac{f_{cd}}{\sigma_c + \sigma_n}\right)^2}$
Гладка $R_i < 1.5$ мм	0	0.5	1.1	0.4	$\mu = 0.27 \sqrt[3]{\left(\frac{f_{cd}}{\sigma_c + \sigma_n}\right)^2}$	$\mu = 0.135 \sqrt[3]{\left(\frac{f_{cd}}{\sigma_c + \sigma_n}\right)^2}$

7.5 Проектування застосувань зсувного тертя (нарощування) - метод Hilti

Традиційним рішенням для анкерних упорів у бетонних нарощуваннях є використання пост-встановленої арматури із загнутим кінцем, що розміщується з боку монолітного бетону. Відповідно до принципів EOTA TR 066 [4], метод Hilti забезпечує безпечніше й надійніше проектування контактних швів із пост-встановленою арматурою, де довжини анкерування можуть бути значно коротшими, ніж передбачено EC2-1-1 [1]. Через відсутність радіальної симетрії головки арматури мінімальні довжини анкерування є більшими, ніж визначено в EOTA TR 066 [4].

Цей метод розрахунку ґрунтується на дослідженнях Palieraki та ін. [44], [45], які показали, що статичну та циклічну міцність контактної шва при зсувному терті можна точно описати як суму механізмів тертя та ефекту шпонки (див. рис. 7.10).



а) Типовий зразок та установка для випробувань, використані для побудови моделі зсувного тертя (розміри наведено в метрах)

б) Прогнозування статичної та циклічної зсувної міцності по контактному шву, зіставлене з результатами випробувань.

Рис. 7.10 — Визначення методу розрахунку зсувного тертя за Hilti [45].

7.5.1 Метод Hilti — статичні дії

Цей метод використовується для визначення розрахункового опору зсуву на контактному шві. Він базується на модифікації рівняння (2.11) з EOTA TR 066 [4] для статичних і квазістатичних навантажень і застосовується за умови виконання таких критеріїв:

- Центральні та периферійні зони визначаються згідно з вимогами розрахунку за EOTA TR 066 [4]
- Дозволяються лише армовані контактні шви
- $h_{ef} = \min(h_{ef,ex}(\text{існуючий бетон}); h_{ef,ov}(\text{новий шар бетону}))$
- Мін. значення $h_{ef} = 6d$ (де d — діаметр анкерних упорів)
- Загнуті стрижні у бетоні нарощування мають відповідати рис. 8.1b стандарту EC2-1-1 [1] (див. рис. 7.11).
- Усі інші параметри в модифікованому рівнянні залишаються без змін згідно з EOTA TR 066 [4].

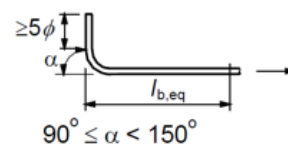


Рис. 7.11 — Визначення стандартного загнути згідно з EC2-1-1 [1].

Розрахунковий опір зсуву на контактному шві (із використанням анкерних упорів) за методом Hilti визначається за формулою:

$$\tau_{Rd} = \mu_h \cdot (\sigma_n + \kappa_{1h} \cdot \rho \cdot \sigma_s) + \kappa_{2h} \cdot \rho \cdot \sqrt{\frac{f_{yk} \cdot \alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_s \cdot \gamma_c}} \leq \beta_c \cdot v \cdot \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} \quad \text{EOTA TR 066, рівн. (2.11)}$$

де

$$\text{коефіцієнт тертя } \mu_h = 0.3 \sqrt{\left(\frac{f_{cd}}{\sigma_c + \sigma_n}\right)^2} \text{ та } \sigma_c = \rho \sigma_s$$

k_{1h} — залежить від шорсткості поверхні, навантаження та h_{ef} наведено в таблиці 7.7

k_{2h} — залежить від h_{ef} наведено в таблиці 7.8

Таблиця 7.7 — Значення коефіцієнта шорсткості поверхні k_{1h} (метод Hilti) для статичного навантаження

Характеристики контактної поверхні	Монотонне навантаження
	$6d < h_{ef} < 20d$
Механічно шорсткована ($\geq 1,5$ мм)	0.6
Гладка поверхня ($< 1,5$ мм)	0.4

Таблиця 7.8 — Значення коефіцієнта k_{2h} (метод Hilti)

Нормалізована глибина анкерування	Значення
$h_{ef}/d > 8$	0.7
$6 \leq h_{ef}/d \leq 8$	$0.1 h_{ef}/d - 0.1$
$h_{ef}/d = 8$	0.5

7.5.2 Метод Hilti — сейсмічні дії

Положення розділу 7.5.1 застосовуються і для сейсмічного випадку, однак із такими змінами:

- Мінімальне значення h_{ef} має бути $10d$ де d — діаметр анкерних упорів.
- Значення коефіцієнта шорсткості поверхні k_{1h} (метод Hilti) для сейсміки наведено в таблиці 7.9.

Таблиця 7.9 — Значення коефіцієнта шорсткості поверхні k_{1h} (метод Hilti) для сейсмічного навантаження

Характеристики контактної поверхні	Сейсмічне навантаження
	$10d < h_{ef} < 20d$
Механічно шорсткована ($\geq 1,5$ мм)	$0.02 h_{ef}/d + 0.2$
Гладка поверхня ($< 1,5$ мм)	0.2

Коли пост-встановлена арматура використовується як анкерні упори, її загин у шарі нарощування (рис. 7.12а) має бути орієнтований у напрямку дії зсувних напружень. Це не завжди можливо реалізувати на практиці. Тому глибина анкерування в бетоні нарощування для таких стрижнів має бути більшою, ніж для гвинтових анкерів, що використовуються як анкерні упори. Для гвинтових анкерів, завдяки радіальній симетрії головки, зануреної у шар нарощування, забезпечується стабільна передача зсувних сил в усіх напрямках (рис. 7.12b).

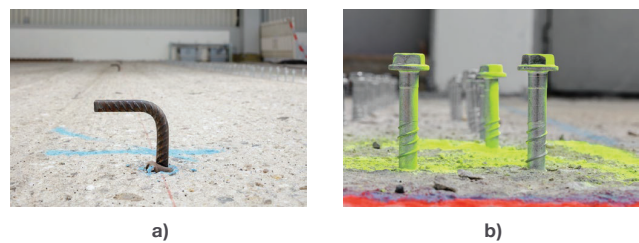


Рис. 7.12 — Порівняння: (а) пост-встановлена арматура; (b) гвинтові анкери, використані як анкерні упори.

7.6 Приклади проектування

7.6.1 Передача зсуву по контактному шву в з'єднанні, де переважає момент

Вимога проєкту: Передачу зсуву в з'єднанні «балка-стіна», розглянуту в розділі 7.1.2, перевірено в цьому прикладі.

Загальна інформація для розрахунку

Геометрія:	Товщина стіни, $h = 350$ мм Переріз балки, 300×300 мм ²
Матеріали:	Бетон С30/37 Арматура $f_{yk} = 500$ Н/мм ²
Навантаження:	$V_{sd} = 50$ кН $M_{sd} = 30$ кНм
Пост-встановлена арматура:	3+3 $\phi 12$
Шорсткість конт.шва:	шорсткий ($c=0.4$)
Розр. термін служби:	50 років
Аналіз перерізу:	див. приклад у розділі 6.6.1

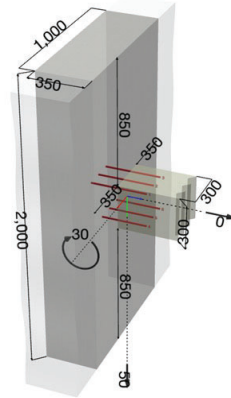


Рис. 7.13 — З'єднання балки зі стіною, де переважає момент.

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Ed,limit}$$

$$V_{Ed,limit} = 0.5 \cdot b_w \cdot d \cdot v \cdot f_{cd}$$

EC2-1-1, рівн. (6.5)

$$v = 0.6 \cdot (1 - f_{ck}/250) = 0.6 \cdot (1 - 30/250) = 0.53$$

EC21-1, рівн. (6.6N)

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \cdot 30 / 1.5 = 17.0 \text{ Н/мм}^2$$

EC2-1-1, рівн. (3.15)

$$V_{Ed,limit} = 0.5 \cdot 300 \cdot 264 \cdot 0.53 \cdot 17 = 356.8 \text{ кН} > V_{Ed} = 50 \text{ кН}$$

$$V_{Rd} = \max\{V_{Rd,c}; V_{Rd,c,min}\} \cdot c / 0.5$$

EC2-1-1, рівн. (6.2.2) + DE NA 2013-0

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

4 EC2-1-1, рівн. (6.2.a)

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

EC2-1-1, рівн. (6.2.b)

$$C_{Rd,c} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$$

EC21-1, Розд. 6.2.2 (1)

$$k = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2.0 \rightarrow 2.0$$

EC21-1, Розд. 6.2.2 (1)

$$\rho_l = A_{sl} / (b_w \cdot d) = 0.004 \leq 0.02$$

EC21-1, Розд. 6.2.2 (1)

$$\beta_{util} = F_{Ed,total} / (A_{sl} \cdot f_{yd})$$

Завантаження арматури розтягу

$$\rho_{l,eff} = \rho_l \cdot \beta_{util}$$

Ефект. коефіцієнт армування розтягу

$$k_1 = 0.15$$

EC21-1, Розд. 6.2.2 (1)

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c < 0.2 \cdot f_{cd}$$

EC21-1, Розд. 6.2.2 (1)

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{1.5} \cdot f_{ck}^{0.5} = 0.035 \cdot 2^{1.5} \cdot 25^{0.5} = 0.49$$

EC2-1-1, Розд. (6.3N)

$$V_{Rd,c} = \left[0.12 \cdot 2 \cdot (100 \cdot 0.004 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} + 0.15 \cdot 0 \right] \cdot 300 \cdot 264 = 43.2 \text{ кН}$$

$$V_{Rd,c,min} = (0.49 + 0.15 \cdot 0) \cdot 300 \cdot 264 = 38.8 \text{ кН}$$

$$V_{Rd} = \max\{43.2; 38.8\} \cdot 0.8 = 34.6 \text{ кН}$$

EC2-1-1, рівн. (6.2.2) + DE NA 2013-04

$$V_{Ed} = 50 \text{ кН} > 34.6 \text{ кН}$$

Перевірка не виконана **!**

Передачу зсуву через контактний шов забезпечено неповністю — необхідно врахувати зсувне армування в новому елементі для забезпечення передачі зсуву.

$$V_{Rd} = \min\{V_{Rd,s}; V_{Rd,max}\} \cdot c / 0.5$$

EC2-1-1, Розд. 6.2.3 (3) + DE NA 2013-04

$$V_{Rd,s} = A_{sw}/s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta$$

EC2-1-1, рівн. (6.8)

Припущення: Закриті хомути Ø10 / 100 мм поблизу з'єднання


$$V_{Rd,s} = 78.5/100 \cdot 238 \cdot 435 \cdot 1.091 = 88.7 \text{ кН}$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} \cdot (\cot\theta + \cot\alpha)/(1 + \cot^2\theta)$$

EC2-1-1, рівн. (6.14)

$$V_{Rd,max} = 1 \cdot 300 \cdot 238 \cdot 0.53 \cdot 17 \cdot 1.091/2.191 = 320.3 \text{ кН}$$

$$V_{Rd} = \min\{88.7; 320.3\} \cdot 0.8 = 71.0 \text{ кН} > V_{Ed} = 50 \text{ кН}$$

Перевірка пройдена 

7.6.2 Передача зсуву по контактному шву, де переважає сжаття/зсув

Вимога проєкту: Передачу зсуву в з'єднанні «колонна-фундамент» перевірено в цьому прикладі.

Загальна інформація для розрахунку

Геометрія: Товщина фундаменту, $h = 800 \text{ мм}$
Переріз колони, $450 \times 450 \text{ мм}^2$

Матеріали: Бетон C25/30
Арматура $f_{yk} = 500 \text{ Н/мм}^2$

Навантаження: $N_{Ed} = 250 \text{ кН}$
 $V_{Ed,x} = 45 \text{ кН}; V_{Ed,y} = 75 \text{ кН}$
 $M_{Ed,x} = 150 \text{ кНм}; M_{Ed,y} = 90 \text{ кНм}$

Пост-встановлена арматура: $12 \phi 20$

Шорсткість конт.шва: шорсткий ($c = 0.4; \mu = 0.7$)

Поперечне армування: не враховується

Розр. термін служби: 50 років

Аналіз поперечного перерізу

Внутрішнє плече: $z = 342 \text{ мм}$

Площа бетону в зоні стиску: $A_{c,comp} = 77,490 \text{ мм}^2$

$$\sqrt{M_{Ed,x}^2 + M_{Ed,y}^2}/N_{Ed} = \sqrt{150^2 + 90^2}/250 = 0.7 < 3.5$$

Контактний шов піддається переважно дії стискання/зсуву

$$v_{Edi} \leq v_{Rdi}$$

EC2-1-1, рівн. (6.23)

$$v_{Edi} = V_{Ed}/A_{c,comp}$$

$$V_{Ed} = \sqrt{V_{Ed,x}^2 + V_{Ed,y}^2}/A_{c,comp} = 10^3 \cdot \sqrt{45^2 + 75^2}/77,490 = 1.13 \text{ Н/мм}^2$$

$$v_{Rdi} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \mu \cdot \rho \cdot f_{yd} \leq 0.5 \cdot v \cdot f_{cd}$$

EC2-1-1, рівн. (6.25) з $\alpha = 90^\circ$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0.05}/\gamma_c = \alpha_{ct} \cdot 0.7 \cdot 0.3 \cdot f_{dk}^{2/3}/\gamma_c = 0.85 \cdot 0.21 \cdot 25^{2/3}/1.5 = 1.02 \text{ Н/мм}^2$$

EC2-1-1, рівн. (6.16) + табл. 3.1

$$\sigma_n = F_{Ed,comp}/A_{c,comp} = 8.15 \leq 0.6 \cdot f_{cd} = 8.5 \text{ Н/мм}^2$$

EC2-1-1, Розд. 6.2.5 (1)

$$\rho = A_s/A_{c,comp} = 0 \quad (\text{поздовжня арматура не враховується})$$

EC2-1-1, Розд. 6.2.5 (1)

$$v = 0.6 \cdot (1 - f_{ck}/250) = 0.6 \cdot (1 - 25/250) = 0.54$$

EC21-1, рівн. (6.6N)

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck}/\gamma_c = 0.85 \cdot 25/1.5 = 14.17 \text{ Н/мм}^2$$

EC2-1-1, рівн. (3.15)

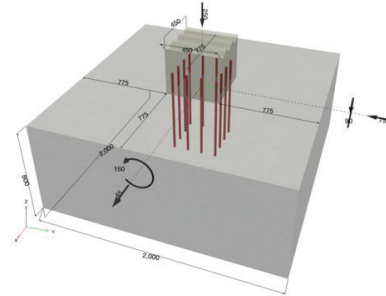


Рис. 7.14 — З'єднання колони з фундаментом.

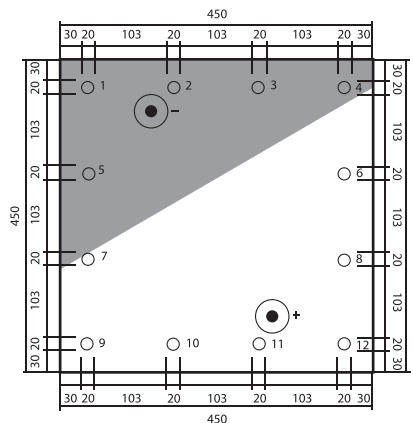


Рис. 7.15 — Аналіз перерізу колони

$$v_{Rdi} = 0.4 \cdot 1.02 + 0.7 \cdot 8.15 = 6.11 > 0.5 \cdot 0.54 \cdot 14.17 \text{ опір стиснутої розпірки є визначальним}$$

$$3.83 \rightarrow 3.83 \text{ Н/мм}^2 > v_{Edi} = 1.13 \text{ Н/мм}^2$$

Перевірка пройдена ✓

7.6.3 Нарощування бетону — приклад проектування (статичні дії)

Вимога проекту: Нижче наведено приклад розрахунку з'єднання між існуючою бетонною плитою та шаром нарощування промислової підлоги.

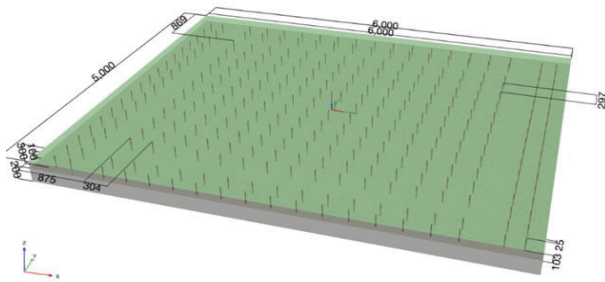


Рис. 7.16 — Нарощування на зсув (статичний випадок) — схематичний приклад.

Актуальна інформація про проєкт

Геометрія:

Товщина існуючої плити, $h_{ex} = 200 \text{ мм}$
 Товщина шару нарощування, $h_{ov} = 100 \text{ мм}$
 Номінальне покриття зверху/знизу плити, $c_s = 20 \text{ мм}$
 Ширина плити, $w = 5,000 \text{ мм}$
 Проліт, $l = 6,000 \text{ мм}$

Матеріали:

Клас бетону існуючої плити, C30/37
 Клас бетону шару нарощування, C40/40
 Обробка поверхні: піскоструминна, шорстка ($\geq 1,5 \text{ мм}$) Тріщинуватий бетон із достатнім армуванням для обмеження ширини тріщин до $0,3 \text{ мм}$

Розрахункове навантаження:

Максимальна зсувна сила, перп. до контактного шва: $V_{Ed} = 500 \text{ кН}$
 Частка довготривалого навантаження: $\alpha_{sus} = 0.6 < \psi_{sus}^0 = 0.88 \rightarrow \psi_{sus} = 1.0$

Армування контактного шва:

Тип упора: НСС-В 14-180 (включно з розчином HIT-RE 500 V4), ETA-18/1022 [46]

Метод/орієнтація свердління:

Свердління перфоратором / вертикально вниз

Монтаж / робоча температура:

$20^\circ\text{C} / 20^\circ\text{C}$ (довгостроково) / 40°C ((короткостроково)

Стан основного матеріалу:

Сухий

Крок у центральних зонах:

$$s_x = s_y = 300 \text{ мм} \rightarrow \rho = 0.0011$$

Кількість рядів по периметру:

$$n = 2$$

Ефективна глибина анкерування в існуючому бетоні $h_{ef,ex} = 97 \text{ мм}$

Ефективна глибина анкерування у шарі нарощування $h_{ef,ov} = 75 \text{ мм}$

Перевірка центральної зони плити

Визначення поздовжнього зсуву:

$$\tau_{Ed} = V_{Ed} / (z \cdot b_f) = 500 / [0.9 \cdot (300 - 25) \cdot 5000] = 0.40 \text{ Н/мм}^2$$

Визначення максимального напруження в сталі анкерних упорів (і.е. σ_s , в рівн. (2.11) of EOTA TR 066 [4])

Перевірки для існуючого бетону

Руйнування сталі:

$$N_{Rd,s} = N_{Rk,s} / \gamma_{Ms} = 54.8 / 1.5 = 36.5 \text{ кН}$$

Комбіноване виривання/виколювання бетонного конуса

$$N_{Rd,p,ex} = N_{Rk,p,ex} / \gamma_{Mc} \quad \text{EC2-4, табл. 7.1}$$

$$N_{Rk,p,ex} = N_{Rk,p,ex}^0 \cdot A_{p,N} / A_{p,N}^0 \cdot \psi_{g,Np} \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{re,Np} \quad \text{EC2-4, рівн. (7.13)}$$

$$N_{Rk,p,ex}^0 = \psi_{sus} \cdot \tau_{Rk} \cdot \pi \cdot d \cdot h_{ef,ex} = 1.0 \cdot 8.9 \cdot \pi \cdot 14 \cdot 97 = 3 \text{ кН} \quad \text{EC2-4, рівн. (7.14) + ETA-18/1022}$$

$$s_{cr,Np} = 7.3 \cdot d \cdot \sqrt{\psi_{sus} \cdot \tau_{Rk}} = 7.3 \cdot 14 \cdot \sqrt{1.0 \cdot 8.9} = 305 \rightarrow 3 \cdot h_{ef} = 291 \text{ мм} \quad \text{EC2-4, рівн. (7.15)}$$

$$A_{c,Np} = A_{c,Np}^0 = s_{cr,Np}^2 = 84,681 \text{ мм}^2 \quad \text{EC2-4, рівн. (7.15) + ETA-18/1022}$$

$$\psi_{g,Np} = 1.0 \quad (s > s_{cr,Np}) \quad \text{EC2-4, розд. 7.2.1.6 (3)}$$

$$\psi_{s,Np} = 0.7 + 0.3 \cdot c / c_{cr,Np} \leq 1.0 \rightarrow 1.0 \quad (c > c_{cr,Np}) \quad \text{EC2-4, рівн. (7.20)}$$

$$\psi_{re,Np} = 1.0 \quad \text{немає щільного армування згідно з EC2-1-1, розд. 7.2.1.7 (2)}$$

$$N_{Rd,p,ex} = N_{Rk,p,ex}^0 \cdot A_{p,N} / A_{p,N}^0 \cdot \psi_{g,Np} \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{re,Np} = 38.0 / 1.5 = 25.3 \text{ кН}$$

Руйнування бетонного конуса

$$N_{Rd,c,ex} = N_{Rk,c,ex} / \gamma_{Mc} \quad \text{EC2-4, табл. 7.1}$$

$$N_{Rk,c,ex} = N_{Rk,c,ex}^0 \cdot A_{c,N} / A_{c,N}^0 \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \quad \text{EC2-4, рівн. (7.1)}$$

$$N_{Rk,c,ex}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef,ex}^{1.5} = 7.7 \cdot \sqrt{30} \cdot 97^{1.5} = 40.3 \text{ кН} \quad \text{EC2-4, рівн. (7.2)}$$

$$A_{c,N} = A_{c,N}^0 = s_{cr,N}^2 = 84,681 \text{ мм}^2 \quad \text{EC2-4, eq. (7.3)}$$

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot c / c_{cr,N} \leq 1.0 \rightarrow 1.0 \quad (c > c_{cr,N}) \quad \text{EC2-4, eq. (7.4)}$$

$$N_{Rd,c,ex} = N_{Rk,c,ex}^0 \cdot A_{c,N} / A_{c,N}^0 \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} = 40.3 / 1.5 = 26.9 \text{ кН}$$

Перевірки в шарі нарощування

Перевірка на вирив:

$$N_{Rd,p,ov} = N_{Rk,p} / \gamma_{Mp} \quad \text{EC2-4, табл. 7.1}$$

$$N_{Rk,p,ov} = k_2 \cdot A_R \cdot f_{ck} = 7.5 \cdot 1,140 \cdot 40 = 342 \text{ кН} \quad \text{EC2-4, рівн. (7.11) + ETA-18/1022}$$

$$N_{Rd,p,ov} = 213.8 / 1.5 = 228 \text{ кН}$$

Перевірка на виколювання бетонного конуса

$$N_{Rd,c,ov} = N_{Rk,c,ov} / \gamma_{Mc} \quad \text{EC2-4, табл. 7.1}$$

$$N_{Rk,c,ov} = N_{Rk,c,ov}^0 \cdot A_{c,N} / A_{c,N}^0 \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \quad \text{EC2-4, рівн. (7.1)}$$

$$N_{Rk,c,ov}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef,ov}^{1.5} = 8.9 \cdot \sqrt{40} \cdot 75^{1.5} = 36.6 \text{ кН} \quad \text{EC2-4, рівн. (7.2)}$$

$$A_{c,N} = A_{c,N}^0 = s_{cr,N}^2 = 9 \cdot h_{ef,ov}^2 = 9 \cdot 75^2 = 50,625 \text{ мм}^2 \quad \text{EC2-4, рівн. (7.3)}$$

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot c / c_{cr,N} \leq 1.0 \rightarrow 1.0 \quad (c > c_{cr,N}) \quad \text{EC2-4, рівн. (7.4)}$$

$$N_{Rd,c,ov} = N_{Rk,c,ov}^0 \cdot A_{c,N} / A_{c,N}^0 \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} = 36.6 / 1.5 = 24.4 \text{ кН}$$

$$\sigma_s = \min\{N_{Rd,s}; N_{Rd,p,ex}; N_{Rd,c,ex}; N_{Rd,p,ov}; N_{Rd,c,ov}\} / A_s = \min\{36.5; 25.3; 26.9; 228.0; 24.4\} / 110$$

$$\sigma_s = 222.3 \text{ мПа}$$

Перевірка зсуву по контактному шву

$$\tau_{Rd} = c_r \cdot f_{ck}^{1/3} + \mu \cdot (\sigma_n + \kappa_1 \cdot \alpha_{\kappa 1} \cdot \rho \cdot \sigma_s) + \kappa_2 \cdot \alpha_{\kappa 2} \cdot \rho \cdot \sqrt{\frac{f_{yk} \cdot 0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_s \cdot \gamma_c}} \quad \text{ЕОТА TR 066, рівн. (2.11) + табл. 2.2}$$

$$\tau_{Rd} = 0,1 \cdot 30^{1/3} + 0,7 \cdot (0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,0011 \cdot 222,3) + 0,9 \cdot 1,3 \cdot 0,0011 \cdot \sqrt{\frac{400 \cdot 0,85 \cdot 30}{1,15 \cdot 1,5}} = 0,47 \text{ Н/мм}^2$$

$$\tau_{Rd} > \tau_{Ed}$$

Перевірку виконано ✓

Перевірка периметральної зони плити

Сила тріщинотворення:

$$V_{Ed,j}^* = h_{new} \cdot b_j \cdot f_{ctd} = 100 \cdot 1000 \cdot 1,64 = 164,0 \text{ кН/м} \quad \text{ЕОТА TR 066, рівн. (2.2)}$$

$$\tau_{Ed}^* = \frac{V_{Ed,j}^*}{l_e \cdot b_j} = h_{new} \cdot \frac{f_{ctd}}{l_e} = 100 \cdot \frac{1,64}{600} = 0,27 \text{ Н/мм}^2 \quad \text{ЕОТА TR 066, рівн. (2.3)}$$

$$\tau_{Ed}^* = 0,27 \text{ Н/мм}^2 < \tau_{Ed} = 0,40 \text{ Н/мм}^2 \quad \text{Перевірку виконано ✓}$$

Розтягувальна сила від підйомного зусилля:

$$N_{Ed,j}^* = V_{Ed,j}^* / 6 = 164 / 6 = 27,3 \text{ кН/м} \quad \text{ЕОТА TR 066, рівн. (2.4)}$$

$$n = (l_e \cdot 100 \text{ мм}) / (s_x \cdot s_y) = (600 \cdot 1000) / (300 \cdot 300) = 6,67 \rightarrow 6 \text{ (кількість анкерних упорів на 1 м краю)}$$

$$N_{Rd} = n \cdot N_{Rd,min} = n \cdot N_{Rd,ov} = 6 \cdot 24,4 = 146,4 \text{ кН/м} > N_{Ed,j}^* = 27,3 \text{ кН/м} \quad \text{Перевірку виконано ✓}$$

7.6.4 Нарощування бетону — приклад проектування (втомні дії)

Вимога проекту: У тій же промисловій підлозі встановлюються машини, що спричиняють втомне навантаження.

Відповідно до ЕОТА TR 066 [4], таблиця 1.1, клас шорсткості поверхні має бути «дуже шорсткий» або «з насічками» (тобто ≥ 3 мм). У наведеному нижче розрахунку прийнято, що ця умова виконується.

Розр. параметри втомного навантаження: $V_{Ed,min} = 300$ кН; $V_{Ed,max} = 400$ кН → пульсуюче навант.

$$\tau_{Ed,min} = V_{Ed,min} / (z \cdot b_j) = 300 / [0,9 \cdot (300 - 25) \cdot 5000] = 0,24 \text{ Н/мм}^2 \quad \text{ЕОТА TR 066, рівн. (2.1)}$$

$$\tau_{Ed,max} = V_{Ed,max} / (z \cdot b_j) = 400 / [0,9 \cdot (300 - 25) \cdot 5000] = 0,32 \text{ Н/мм}^2 \quad \text{ЕОТА TR 066, рівн. (2.1)}$$

$$\Delta \tau_{Ed} = \tau_{Ed,max} - \tau_{Ed,min} = 0,08 \text{ Н/мм}^2 \quad \text{ЕОТА TR 066, рівн. (2.16)}$$

$$\tau_{Ed,max} / \tau_{Rd} \leq \eta_{sc} + 0,55 \cdot \tau_{Ed,min} / \tau_{Rd} \leq 0,9 \quad \text{ЕОТА TR 066, рівн. (2.17a)}$$

$$\tau_{Rd} = 0,2 \cdot 30^{1/3} + 0,8 \cdot (0,5 \cdot 0,9 \cdot 0,0011 \cdot 222,3) + 0,9 \cdot 1,3 \cdot 0,0011 \cdot \sqrt{\frac{400 \cdot 0,85 \cdot 30}{1,15 \cdot 1,5}} = 0,80 \text{ Н/мм}^2$$

$$0,32 / 0,80 \leq 0,40 + 0,55 \cdot 0,24 / 0,80 \leq 0,9 \rightarrow 0,40 \leq 0,57 \leq 0,9$$

Перевірку виконано ✓

$$\tau_{Ed,min} / \tau_{Rd} \leq 0,9 \rightarrow 0,24 / 0,80 = 0,3 \leq 0,9$$

ЕОТА TR 066, рівн. (2.17a), перевірку виконано ✓

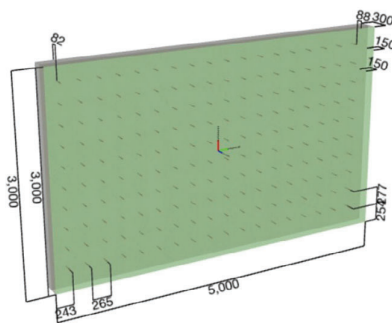


Рис. 7.17 — Нарощування стіни на зсув (втомний випадок) — схематичний приклад. приклад.

7.6.5 Нарощування бетону — приклад проектування (сейсмічні дії)

Вимога проекту: збільшити товщину наявної заповнювальної стіни

Актуальна інформація про проект

Геометрія:	Товщина існуючої плити, $h_{ex}=150$ мм Товщина шару нарощування, $h_{ov}=150$ мм Номинальне бокове покриття стіни, $c_s=20$ мм Ширина стіни, $w=5,000$ мм Висота стіни, $h=3,000$ мм
Матеріали:	Клас бетону існуючої плити, C25/30 Клас бетону шару нарощування, C30/37 Обробка поверхні: піскоструминна, шорстка (≥ 1.5 мм) Тріщинуватий бетон згідно з сейсмічною категорією C1
Розрахункова дія:	Максимальне зсувне напруження, перп. до контактного шва, $\tau_{Ed}=0.3$ Н/мм ²
Армування конт. шва:	Тип упора: HUS4-N 10x150 (ETA-21/0969 [47]) Метод/орієнтація свердління: перфоратор / горизонтально Крок у центральних зонах: $s_x = s_y = 250$ мм $\rightarrow \rho = 0.0008$ Ефективна глибина анкерування в існуючому бетоні, $h_{ef,ex} = 68$ мм Ефективна глибина анкерування в шарі нарощування, $h_{ef,ov} = 62$ мм

Визначення максимального напруження в сталі анкерних упорів (тобто σ_s , у рівнянні (2.11) ЕОТА TR 066 [4])

Перевірки для існуючого бетону

Руйнування сталі

$$N_{Rd,s,eq} = N_{Rk,s,eq} / \gamma_{Ms,eq} \quad \text{EC2-4, Табл 7.1, Annex C, розд. C.5}$$

$$N_{Rd,s,eq} = \alpha_{gap} \cdot \alpha_{eq} \cdot N_{Rk,s} / \gamma_{Ms,eq} = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 55.0 / 1.5 = 36.7 \text{ кН} \quad \text{EN 1992-4, рівн. (C.8)}$$

Виривання

$$N_{Rd,p,eq,ex} = N_{Rk,p,eq,ex} / \gamma_{Mc,eq} \quad \text{EC2-4, Табл 7.1, Annex C, розд. C.5}$$

$$N_{Rd,p,eq,ex} = \alpha_{gap} \cdot \alpha_{eq} \cdot N_{Rk,p} / \gamma_{Ms,eq} = 1.0 \cdot 0.85 \cdot 16.4 / 1.5 = 9.3 \text{ кН} \quad \text{EN 1992-4, рівн. (C.8)}$$

Виколування бетонного конуса

$$N_{Rd,c,ex} = N_{Rk,c,eq,ex} / \gamma_{Mc,eq} \quad \text{EC2-4, Табл 7.1, Annex C, розд. C.5}$$

$$N_{Rk,c,ex} = \alpha_{gap} \cdot \alpha_{eq} \cdot N_{Rk,c,ex}^0 \cdot A_{c,N} / A_{c,N}^0 \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \quad \text{EC2-4, рівн. (7.1) та рівн. (C.8)}$$

$$N_{Rk,c,ex}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef,ex}^{1.5} = 7.7 \cdot \sqrt{25} \cdot 68^{1.5} = 21.6 \text{ кН} \quad \text{EC2-4, рівн. (7.2)}$$

$$A_{c,N} = A_{c,N}^0 = s_{cr,N}^2 = 9 \cdot 68^2 = 41,616 \text{ мм}^2 \quad \text{EC2-4, рівн. (7.3)}$$

$$\psi_{s,Np} = 0.7 + 0.3 \cdot c / c_{cr,N} \leq 1.0 \rightarrow 1.0 \quad (c > c_{cr,N}) \quad \text{EC2-4, eq. (7.4)}$$

$$\psi_{re,Np} = 1.0 \quad \text{немає щільного армування згідно з EC2-1-1, Розд. 7.2.1.7 (2)}$$

$$N_{Rd,c,ex} = \alpha_{gap} \cdot \alpha_{eq} \cdot N_{Rk,c}^0 \cdot A_{c,N} / A_{c,N}^0 \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} = 1.0 \cdot 0.85 \cdot 21.6 / 1.5 = 12.2 \text{ кН}$$

Перевірки в шарі нарощування

Виривання

$$N_{Rd,p,eq,ov} \geq N_{Rd,c,eq,ov}^0 \quad \text{ETA-21/0969}$$

Виколування бетонного конуса

$$N_{Rd,c,ov} = N_{Rk,c,eq,ov} / \gamma_{Mc,eq} \quad \text{EC2-4, Табл 7.1, Annex C, розд. C.5}$$

$$N_{Rk,c,ov} = \alpha_{gap} \cdot \alpha_{eq} \cdot N_{Rk,c}^0 \cdot A_{c,N} / A_{c,N}^0 \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \quad \text{EC2-4, рівн. (7.1) та рівн. (C.8)}$$

$$N_{Rk,c,ov}^0 = \alpha_{gap} \cdot \alpha_{eq} \cdot k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef,ov}^{1.5} = 8.9 \cdot \sqrt{30} \cdot 62^{1.5} = 23.8 \text{ кН} \quad \text{EC2-4, рівн. (7.2)}$$

$$A_{c,N} = A_{c,N}^0 = s_{cr,N}^2 = 9 \cdot h_{ef,ov}^2 = 9 \cdot 62^2 = 34,596 \text{ мм}^2 \quad \text{EC2-4, рівн. (7.3)}$$

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot c / c_{cr,N} \leq 1.0 \rightarrow 1.0 \quad (c > c_{cr,N}) \quad \text{EC2-4, рівн. (7.4)}$$

$$N_{Rd,c,ov} = \alpha_{gap} \cdot \alpha_{eq} \cdot N_{Rk,c,ov}^0 \cdot A_{c,N} / A_{c,N}^0 \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 23.8 / 1.5 = 15.9 \text{ кН}$$

$$\sigma_s = \min\{N_{Rd,s}; N_{Rd,p,ex}; N_{Rd,c,ex}; N_{Rd,p,ov}; N_{Rd,c,ov}\} / A_s = \min\{36.7; 9.3; 12.2; 15.9\} / 69 = 135 \text{ МПа}$$


Interface shear verification

$$\tau_{Rd} = \alpha_{seis} \cdot \left[\mu \cdot (\sigma_n + \kappa_1 \cdot \alpha_{\kappa 1} \cdot \rho \cdot \sigma_s) + \kappa_2 \cdot \alpha_{\kappa 2} \cdot \rho \cdot \sqrt{\frac{f_{yk}}{\gamma_s} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} \right] \leq \beta_c \cdot v \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad \text{EOTA TR 066, рівн. (3.2)}$$

$$\mu = 0.4 \cdot \sqrt[3]{(f_{cd} / (\rho \cdot \sigma_s + \sigma_n))^2} = 0.4 \cdot \sqrt[3]{((25/1.5) / (0.0008 \cdot 135))^2} = 11.5 \quad \text{EOTA TR 066, табл. 3.2}$$

$$\tau_{Rd} = 0.5 \cdot \left[11.5 \cdot (0.5 \cdot 0.8 \cdot 0.0008 \cdot 135) + 0.9 \cdot 1.0 \cdot 0.0008 \cdot \sqrt{\frac{639}{1.15} \cdot \frac{25}{1.5}} \right] = 0.3 \text{ Н/мм}^2$$

$$\tau_{Rd} = \tau_{Ed}$$

Перевірку виконано 

7.6.6 Нарощування бетону — приклад за методом Hilti

Той самий приклад, що й вище, розраховано тепер за методом Hilti.

Армування контактного шву: Тип упора: PIR Ø10 з розчином HIT-RE 500 V4, ETA-20/0541 [48]
 $f_{yk} = 450 \text{ Н/мм}^2$

Метод/орієнтація свердління: перфоратор / горизонтально

Крок у центральних зонах: $s_x = s_y = 250 \text{ мм} \rightarrow \rho = 0.0008$

Ефективна глибина анкерування в існуючому бетоні, $h_{ef,ex} = 100 \text{ мм}$

Ефективна глибина анкерування в шарі нарощування, $h_{ef,ov} = 100 \text{ мм}$

Визначення максимального напруження в сталі анкерних упорів (тобто σ_s , у рівнянні (2.11) EOTA TR 066 [4])

Перевірки для існуючого бетону

Руйнування сталі

$$N_{Rd,s,eq} = N_{Rk,s,eq} / \gamma_{Ms,eq} \quad \text{EC2-4, Табл 7.1, Annex C, розд. C.5}$$

$$N_{Rd,s,eq} = \alpha_{gap} \cdot \alpha_{eq} \cdot N_{Rk,s} / \gamma_{Ms,eq} = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 42.4 / 1.4 = 30.3 \text{ кН} \quad \text{EC2-4, рівн. (C.8)}$$

Комбіноване виривання/виколювання бетонного конуса

$$N_{Rd,p,ex} = N_{Rk,p,ex} / \gamma_{Mc} \quad \text{EC2-4, табл. 7.1 EC2-4, рівн. (7.13)}$$

$$N_{Rk,p,ex} = N_{Rk,p,ex}^0 \cdot A_{p,N} / A_{p,N}^0 \cdot \psi_{g,Np} \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{re,Np} \quad \text{EC2-4, рівн. (7.14) + ETA-20/0541}$$

$$N_{Rk,p,ex}^0 = \psi_{sus} \cdot \tau_{Rk} \cdot \pi \cdot d \cdot h_{ef,ex} = 1.0 \cdot 9.1 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 100 = 28.6 \text{ кН} \quad \text{EC2-4, рівн. (7.15) + ETA-20/0541}$$

$$s_{cr,Np} = 7.3 \cdot d \cdot \sqrt{\psi_{sus} \cdot \tau_{Rk}} = 7.3 \cdot 10 \cdot \sqrt{1.0 \cdot 9.1} = 220 \text{ мм} \quad \text{EC2-4, рівн. (7.15) + ETA-18/1022}$$

$$A_{c,Np} = A_{c,Np}^0 = s_{cr,Np}^2 = 220^2 = 48,400 \text{ мм}^2 \quad \text{EC2-4, розд. 7.2.1.6 (3)}$$

$$\psi_{g,Np} = 1.0 \quad (s > s_{cr,Np}) \quad \text{EC2-4, рівн. (7.20)}$$

$$\psi_{s,Np} = 0.7 + 0.3 \cdot c / c_{cr,Np} \leq 1.0 \rightarrow 1.0 \quad (c > c_{cr,Np})$$

$$\psi_{re,Np} = 1.0 \quad \text{немає щільного армування згідно з EC2-1-1, розд. 7.2.1.7 (2)}$$

$$N_{Rd,p,ex} = \alpha_{gap} \cdot \alpha_{eq} \cdot N_{Rk,p,ex}^0 \cdot A_{p,N} / A_{p,N}^0 \cdot \psi_{g,Np} \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{re,Np} = 1.0 \cdot 0.85 \cdot 28.6 / 1.5 = 12.2 \text{ кН}$$

Concrete cone failure

$$N_{Rd,c,ex} = N_{Rk,c,eq,ex} / \gamma_{Mc,eq}$$

EC2-4, Табл 7.1, Annex C, розд. C.5

$$N_{Rk,c,ex} = \alpha_{gap} \cdot \alpha_{eq} \cdot N_{Rk,c,ex}^0 \cdot A_{c,N} / A_{c,N}^0 \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N}$$

EC2-4, рівн. (7.1) та рівн. (C.8)

$$N_{Rk,c,ex}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef,ex}^{1.5} = 7.7 \cdot \sqrt{25} \cdot 100^{1.5} = 38.5 \text{ кН}$$

EC2-4, рівн. (7.2)

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N}^2 = 9 \cdot 100^2 = 90,000 \text{ мм}^2$$

EC2-4, рівн. (7.3)

$$A_{c,N} = s_x \cdot s_y = 250^2 = 62,500 \text{ мм}^2$$

$$\psi_{s,Np} = 0.7 + 0.3 \cdot c / c_{cr,N} \leq 1.0 \rightarrow 1.0$$

$$(c > c_{cr,N})$$

EC2-4, рівн. (7.4)

$$\psi_{re,Np} = 1.0$$

немає щільного армування згідно з EC2-4 розд. 7.2.1.7 (2)

$$N_{Rd,c,ex} = \alpha_{gap} \cdot \alpha_{eq} \cdot N_{Rk,c,ex}^0 \cdot A_{c,N} / A_{c,N}^0 \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} = 1.0 \cdot 0.75 \cdot \left(\frac{62,500}{90,000} \right) \cdot 38.5 / 1.5 = 13.4 \text{ кН}$$

Перевірки в шарі нарощування

Перевірка на виривання

$$N_{Rd,p,eq,ov} = N_{Rk,p,eq,ov} / \gamma_{Mp,eq}$$

EC2-4, Annex C, розд. C.5

$$N_{Rd,p,eq,ov} = \alpha_{gap} \cdot \alpha_{eq} \cdot k_2 \cdot A_h \cdot f_{ck} = 1.0 \cdot 0.85 \cdot 7.5 \cdot 236 \cdot 30 / 1.5 = 30.0 \text{ кН}$$

Виколування бетонного конуса

$$N_{Rd,c,ov} = N_{Rk,c,eq,ov} / \gamma_{Mc,eq}$$

EC2-4, Табл 7.1, Annex C, розд. C.5

$$N_{Rk,c,ov} = \alpha_{gap} \cdot \alpha_{eq} \cdot N_{Rk,c,ov}^0 \cdot A_{c,N} / A_{c,N}^0 \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N}$$

EC2-4, рівн. (7.1) та рівн. (C.8)

$$N_{Rk,c,ov}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef,ov}^{1.5} = 1.0 \cdot 0.85 \cdot 8.9 \cdot \sqrt{30} \cdot 100^{1.5} = 48.7 \text{ кН}$$

EC2-4, рівн. (7.2)

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N}^2 = 9 \cdot h_{ef,ov}^2 = 9 \cdot 100^2 = 90,000 \text{ мм}^2$$

EC2-4, рівн. (7.3)

$$A_{c,N} = s_x \cdot s_y = 250^2 = 62,500 \text{ мм}^2$$

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot c / c_{cr,N} \leq 1.0 \rightarrow 1.0$$

$$(c > c_{cr,N})$$

EC2-4, рівн. (7.4)

$$N_{Rd,c,ov} = \alpha_{gap} \cdot \alpha_{eq} \cdot N_{Rk,c,ov}^0 \cdot A_{c,N} / A_{c,N}^0 \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} = 1.0 \cdot 0.85 \cdot \frac{65,000}{90,000} \cdot 48.7 / 1.5 = 19.9 \text{ кН}$$

$$\sigma_s = \min\{N_{Rd,s}; N_{Rd,p,ex}; N_{Rd,c,ex}; N_{Rd,p,ov}; N_{Rd,c,ov}\} / A_s = \min\{30.3; 12.2; 13.4; 30.0; 19.9\} / 78.5 = 156 \text{ МПа}$$

Перевірка зсуву по контактному шву

$$\tau_{Rd} = \mu_h \cdot (\sigma_n + \kappa_{1h} \cdot \rho \cdot \sigma_s) + \kappa_{2h} \cdot \rho \cdot \sqrt{\frac{f_{yk}}{\gamma_s} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} \leq \beta_c \cdot v \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Розд. 7.5

$$\mu_h = 0.3 \cdot \sqrt[3]{(f_{cd} / (\rho \cdot \sigma_s + \sigma_n))^2} = 0.4 \cdot \sqrt[3]{((25/1.5) / (0.0008 \cdot 156))^2} = 7.8$$

Розд. 7.5

$$\tau_{Rd} = 7.8 \cdot 0.4 \cdot 0.0008 \cdot 156 + 0.7 \cdot 0.0008 \cdot \sqrt{\frac{450}{1.15} \cdot \frac{25}{1.5}} = 0.39 \text{ Н/мм}^2$$

$$\tau_{Rd} = 0.39 \text{ Н/мм}^2 > \tau_{Ed} = 0.3 \text{ Н/мм}^2$$

Перевірку виконано ✓

Примітка. Порівняння рішень для цієї задачі за EOTA TR 066 [2] і за методом Hilti (при однакових діаметрах і кроках анкерних упорів) показує вищий опір, отриманий за методом Hilti (тобто використання 77 % проти 100 %). Водночас пост-встановлена арматура потребує більшої глибини анкерування як у новому, так і в існуючому бетоні порівняно з рішенням на HUS4-H (тобто 100 мм проти 62 мм і 68 мм).

8. PROFIS ENGINEERING SUITE – ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

8.1 Вступ

Hilti PROFIS Engineering Suite (PROFIS) — це програмне забезпечення для розрахунку конструкцій. Воно має широкий набір функцій, які дозволяють інженерам створювати проекти з'єднань між бетонними елементами, що бетонуються у різний час, із використанням пост-встановленої арматури або анкерних упорів, згідно з вимогами нормативів. Розрахунок охоплює різні типи застосувань, зокрема з'єднання внапуск, кінцеве анкерне кріплення та нарощування бетону (зсувне тертя). PROFIS допомагає створювати детальні та безпечні специфікації для виконання робіт на об'єкті. Різні методи розрахунку, описані в попередніх розділах, можуть бути дуже трудомісткими, особливо під час виконання ручних обчислень і порівняння різних варіантів. PROFIS допомагає проєктувальникам швидко створювати рішення, що відповідають нормативам, забезпечуючи безпечний та ефективний робочий процес.

PROFIS також включає функції для візуалізації та передачі результатів розрахунку, зокрема тривимірне відображення зусиль і конструктивних елементів, двовимірні перерізи з необхідним деталюванням і звіти з детальними розрахунками. Додатково передбачено аналіз ефективності з'єднання для різних ETA-сертифікованих продуктів, різних видів навантажень (статичних, сейсмічних і пожежних) та оцінку коефіцієнта використання для миттєвої оптимізації проєкту.



Примітка. PROFIS забезпечує швидкі, ефективні та точні рішення для бетонних з'єднань.



Рис. 8.1 — Модулі PROFIS Engineering Suite для з'єднань бетон-до-бетону

8.2 Чому варто використовувати PROFIS Engineering suite?

Єдина платформа. PROFIS — це універсальне середовище для проєктування різних типів застосувань із використанням пост-встановлених систем (арматури та анкерних упорів) — від створення моделі до отримання вихідних результатів проєкту (див. рис. 8.2). Усі типи застосувань, описані в розділі 2, можуть бути розраховані в PROFIS швидко, точно та наочно. Методи розрахунку, такі як Eurocode, EOTA TR 069 [2], метод Hilti тощо, можуть бути легко порівняні в PROFIS для пошуку оптимального рішення. Крім того, PROFIS підтримує використання різних національних стандартів, зокрема європейських, американських та інших регіональних систем розрахунку.

	<p>Відповідність</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Новітні нормативні бази ЄС, АСІ тощо ✓ Варіанти розрахунку на зсув ✓ Вичерпний звіт 	<p>Економія коштів</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Економічні рішення ✓ Рациональне викор. матеріалів ✓ Можливість урахування наявної арматури
	<p>Економія часу</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Швидкі та зручні розрахунки ✓ Одночасне викор. кількох методів розрахунку 	<p>Налаштування</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Гнучке розт. пост-встан. арматури ✓ Окремий модуль для розр. однієї арматури ✓ Можливість додавання зображень/приміток із буд. майданчика до вихідного звіту

PROFIS — це перше ПЗ для розрахунку з'єднань, що повністю охоплює застосування типу бетон-бетон (C2C)!

Рис. 8.2 — Переваги використання PROFIS

8.3 Проектування застосувань із пост-встановленою арматурою в PROFIS

У цьому розділі описано основні етапи розрахунку та функції для проектування бетонних з'єднань із використанням пост-встановленої арматури.

Вибір типу застосування

Проектувальник може обрати потрібний тип з'єднання (з'єднання внапуск або кінцеве анкерне кріплення) і відповідне застосування зі списку варіантів, доступних у PROFIS Engineering Suite (див. рис. 8.3).

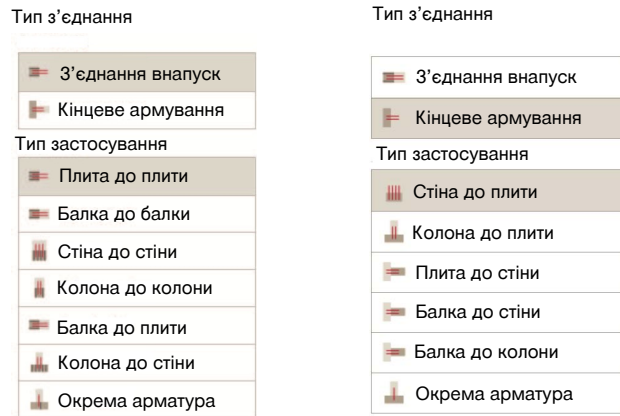


Рис. 8.3 — Типи застосувань для з'єднань внапуск і кінцевого армування в PROFIS

Властивості бетонної основи та умови встановлення

Наступним етапом є введення параметрів матеріалів проекту — для існуючого бетону та нового шару бетону — разом із умовами встановлення. PROFIS пропонує меню для вибору відповідного класу бетону, де проектувальник обирає міцність бетону в межах доступного діапазону (C12/15 – C50/60).

Примітка. PROFIS дозволяє вводити власні значення класів бетону (наприклад, класи з міцністю вище ніж C50/60), якщо для конкретного продукту доступні відповідні технічні дані.

Примітка. PROFIS автоматично перевіряє, чи обраний тип свердління сумісний з усіма іншими параметрами, потрібними для конкретного застосування.

Умови встановлення включають вибір температурного діапазону експлуатації конструкції протягом її розрахункового строку служби, а також температури під час монтажу / ін'єктування клейового розчину (див. рис. 8.4).

Вибір методу свердління, використання допоміжних пристроїв, стану просвердлених отворів і обробки поверхні бетону (див. розділи 9.1.2 і 9.1.3) також задається на цьому етапі. Це частина процедури розрахунку, яка впливає на вибір ETA-сертифікованого продукту, що застосовується, а також на параметри встановлення. Наприклад, обраний тип свердління може бути дозволений лише у поєднанні з певною системою розчину, яка має обмежений діапазон діаметрів та глибин анкерування згідно з ETA.

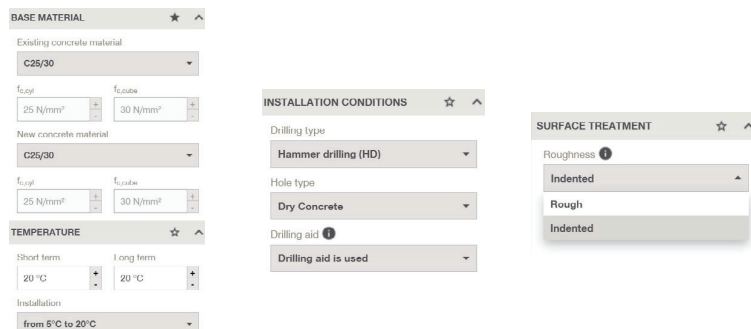


Рис. 8.4 — Властивості бетонної основи та умови встановлення

Властивості арматури в існуючому бетоні

На цьому етапі проєктувальник вводить дані про арматуру в існуючому бетоні, зокрема: клас матеріалу, діаметр, крок, форму, бетонне покриття, стан зчеплення, а також параметри поздовжньої та поперечної арматури (останнє особливо важливо для з'єднань внапуск, оскільки це допомагає зменшити довжину з'єднання). PROFIS дозволяє вводити інформацію про поздовжнє та поперечне армування у шарах або у вигляді перерізу конструкції — із зазначенням форми стрижнів, діаметра, стану зчеплення та товщини бетонного покриття (див. рис. 8.5).

Примітка. PROFIS забезпечує повну гнучкість у введенні даних — кількість шарів арматури (від 1 до 4), наявність хомутів і геометрію конструкції відповідно до реальних умов на об'єкті.

Рис. 8.5 — Властивості арматури в існуючому бетоні

Властивості пост-встановленої арматури та клейового розчину

PROFIS має функцію вибору типу розташування пост-встановленої арматури двома способами оптимізації:

Автоматичний. Ця функція дозволяє користувачеві швидко знайти рішення, яке задовольняє навантаження. Оптимізоване рішення, запропоноване PROFIS, базується на введених даних про геометрію, матеріали та навантаження. PROFIS пропонує рішення у вигляді оптимальних значень діаметра арматури та її кроку. Можуть бути застосовані дві можливі стратегії оптимізації — мінімальна кількість отворів для свердління або мінімальний діаметр арматури.

Визначений користувачем. Попередній варіант (автоматичний) є лише початковою точкою. Однак користувач може самостійно визначити діаметр арматури та крок для подальшої оптимізації довжини анкерного кріплення або з'єднання внапуск. В обох випадках користувач може обрати сертифіковані продукти (клейові розчини або анкерні упори) відповідно до вимог розрахунку та умов монтажу (див. рис. 8.6).

Рис. 8.6 — Вибір продуктів, схвалених EOTA, і сертифікованих рішень

Визначення навантажень і типів навантажень

Різні типи навантажень можуть бути введені в 3D-модель (див. рис. 8.7) або у табличному форматі, залежно від типу застосування та типу з'єднання (тобто осьові та зсувні зусилля, а також згинальні моменти). У PROFIS можна задавати типи навантажень, розрахунковий строк служби, стандарт розрахунку, варіанти перевірки на зсув та межі мінімального й максимального армування (див. рис. 8.7). Крім того, PROFIS дозволяє користувачу вводити вихідні навантаження як для всього перерізу, так і для окремих арматурних стрижнів (у цьому випадку аналіз перерізу не виконується).

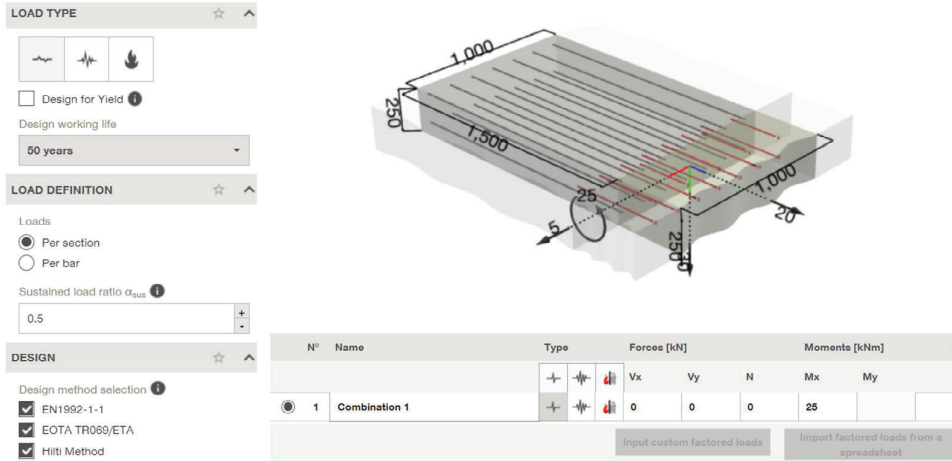


Рис. 8.7 — Визначення навантажень і типів навантажень у PROFIS

Вибір стандартів розрахунку та розрахункових параметрів

Для з'єднань із кінцевим анкеруванням PROFIS охоплює усі методи розрахунку, розглянуті в цьому довіднику (EC2-1-1 [1], EOTA TR 069 [2], модель «розпірка-тяга» та метод Hilti). Глибина свердління, необхідна для кожного можливого варіанта розрахунку, автоматично обчислюється та відображається для вибору проектувальником або інженером. PROFIS також відображає ступінь використання і відповідні режими руйнування згідно з обраним методом розрахунку (див. рис. 8.8).

Примітка. На основі введених зусиль PROFIS автоматично визначає допустимий метод розрахунку. Користувач може обрати мінімальну довжину анкерування або відповідність конкретному стандарту чи методу розрахунку.

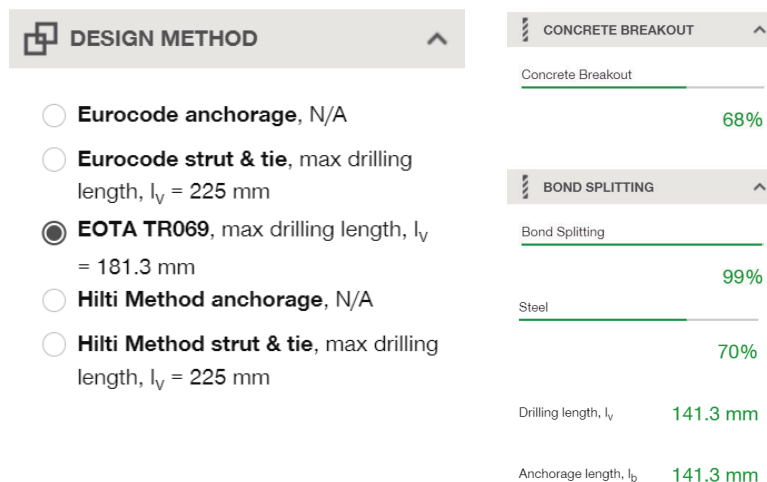


Рис. 8.8 — Вибір розрахункового рішення та відповідних коефіцієнтів використання

Вихідні результати проєкту (звіт і креслення)

Після того як користувач визначає оптимальне розрахункове рішення, у PROFIS можна згенерувати повний звіт натисканням однієї кнопки. Такий звіт містить усі вхідні дані (геометрію, матеріали, навантаження тощо) і детальні розрахунки для всіх перевірок. Також у звіті наведено 3D- і 2D-перерізи із зазначенням глибин анкерування, які можна використовувати в робочій документації. Крім того, звіт включає попередження та рекомендації з монтажу.

8.3.1 Додаткові важливі функції в PROFIS

Редагування діаметра й розташування арматури користувачем. PROFIS надає можливість повністю визначити розташування арматури — як монолітної, так і пост-встановленої — за допомогою 2D-редактора. Ця функція дозволяє точно відобразити реальні умови, включно з нерегулярним розміщенням стрижнів або змішаними діаметрами в одному шарі. Положення арматури в перерізі можна змінювати перетягуванням мишею або введенням координат у таблиці (див. рис. 8.9).

Примітка. 2D-редактор дозволяє налаштувати схему та діаметри арматури відповідно до реальних умов на об'єкті.

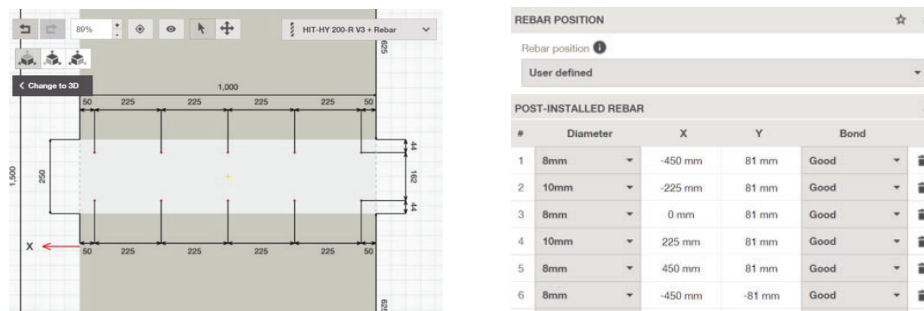


Рис. 8.9 — Налаштування розташування арматури користувачем у PROFIS

Варіанти розрахунку зсуву. Пост-встановлена арматура зазвичай не розраховується на пряме сприйняття зсувних навантажень. Тому поверхня з'єднання між новим і старим бетоном повинна бути належним чином зашорсткована, щоб передача зусиль відбувалася через тертя. У PROFIS можна обрати відповідний стандарт розрахунку для перевірки несучої здатності на зсув (див. рис. 8.10), з урахуванням умов навантаження та наявності зсувного армування.

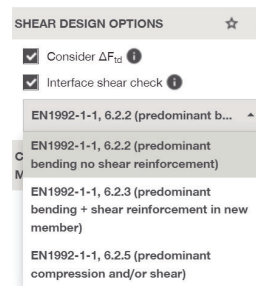


Рис. 8.10 — Варіанти розрахунку зсуву в PROFIS

Модуль одиночного стрижня. Попри широкий спектр варіантів проєктування, у деяких випадках потрібно розрахувати лише один арматурний стрижень — наприклад, для індивідуальних або локальних рішень. PROFIS дозволяє виконати розрахунок анкерування або з'єднання внапуск одного стрижня, враховуючи граничні умови, і навантаження, отримане, наприклад, з моделювання методом скінченних елементів або розрахунку за моделлю «розпирка-тяга»).

Примітка. Модуль одиночного стрижня у PROFIS зручний для випадків, коли потрібно спроектувати лише кілька арматурних стрижнів, а не всю конструкцію цілком.

Меню налаштувань. PROFIS автоматично обчислює мінімальну та максимальну площу армування відповідно до вимог стандартів (наприклад, EC2-1-1 [1]). Водночас користувач може самостійно змінювати граничні значення армування. Меню налаштувань також дозволяє враховувати національні параметри — як у межах Європейських норм, так і інших нормативних систем, визначених проєктувальником.

8.4 Проектування застосувань зсувного тертя (нарощування бетону) в PROFIS

Нижче наведено основні етапи та функції, пов'язані з проектуванням з'єднань із пост-встановленими анкерними упорами (застосування на зсувне тертя) у програмі PROFIS.

Вибір типу застосування

Модуль зсувне тертя у PROFIS дає змогу користувачу обирати попередньо визначені рішення для підсилення типових конструктивних елементів — плит, балок і стін. Крім того, універсальний режим дозволяє виконати простий і швидкий розрахунок для стандартного випадку з'єднання на зсувне тертя (див. рис. 8.11).



Рис. 8.11 — Варіанти застосувань на зсувне тертя (нарощування) в PROFIS

Властивості бетону та умови монтажу

Подібно до можливостей, описаних у розділі 8.3, у PROFIS можна визначати властивості бетону та умови встановлення для застосувань на зсувне тертя.

PROFIS надає можливість розділити елемент за довжиною на окремі зони, які задаються користувачем (див. рис. 8.12). Таке зональне розбиття узгоджується з принципами EOTA TR 066 [4], де враховується різниця в зсувних напруженнях на краях елемента (через крайові обмеження) порівняно з напруженнями у внутрішніх зонах. Цей підхід дозволяє отримати ефективний і економічний розрахунок анкерних упорів для з'єднання на зсувне тертя.

Примітка. Обробка поверхні наявного бетону (ступінь шорсткості) задається користувачем у PROFIS. Правильна підготовка поверхні є критично важливою для надійного проектування з'єднань на зсувне тертя (нарощування бетону).



Рис. 8.12 — Поділ плити нарощування на зони для розрахунку

Властивості пост-встановлених анкерних упорів

Усі сертифіковані рішення для анкерних упорів — механічні (наприклад, HUS4-H) та хімічні (наприклад, HIT-RE 500 V4 + HCC-B, HIT-HY 200-R V3 + HCC-K тощо) — доступні у PROFIS для вибору відповідно до умов розрахунку та вимог до монтажу (див. рис. 8.13). Крім того, арматура з гаком може бути спроектована за методом Hilti, описаним у розділі 7.







<p>Hole diameter</p> <p>Min <input type="text"/> Max <input type="text"/></p> <p>Anchor type</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Mechanical</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Adhesive</p> <p>Corrosion / material</p> <p><input type="checkbox"/> Galvanized steel</p> <p><input type="checkbox"/> Stainless steel</p> <p><input type="checkbox"/> High corrosion resistant steel</p> <p>Cleaning</p> <p><input type="checkbox"/> SafeSet - no cleaning required</p> <p><input type="checkbox"/> SafeSet - automatic cleaning</p> <p><input type="checkbox"/> Manual cleaning</p> <p><input type="checkbox"/> Compressed air cleaning</p>	 <p>HIT-RE 500 V4 + HCC-B HIT-RE 500 V4 injection mortar with HCC-B connector</p>
	 <p>HIT-HY 200-R V3 + HCC-K HIT-HY 200-R V3 injection mortar with HCC-K connector</p>
	 <p>HIT-RE 500 V4 + HCC-K HIT-RE 500 V4 injection mortar with HCC-K connector</p>
	 <p>HUS4-H HUS screw anchor</p>
	 <p>HUS3-H HUS screw anchor</p>
	 <p>HIT-HY 200-R V3 + HAS-U HIT-HY 200-R V3 injection mortar with HAS-U threaded rod</p>

Рис. 8.13 — Сертифіковані рішення для анкерних упорів

Оптимізація проектування анкерних упорів

Розрахунок з'єднання може бути виконаний відповідно до тих самих принципів, що пояснені в розділі 8.3, — у «автоматичному» або «визначеному користувачем» режимі. Оптимізація проектування анкерних упорів може бути виконана шляхом фіксації (або мінімізації):

- Мінімальної кількості анкерних упорів (анкерів);** або
- Мінімально необхідної глибини анкерування анкерних упорів** у шарі наявного бетону.

Визначення навантажень, типів навантажень і стандартів розрахунку

Розрахункові зусилля або напруження зсуву для зон, на які розділено конструкцію, можна вводити у таблицю навантажень під 3D-моделлю. Типи навантажень (статичні, сейсмічні та циклічні) і стандарт розрахунку (EOTA TR 066 [4] або метод Hilti) також можуть задаватися проєктувальником. PROFIS відображає ступені використання для перевірки з'єднання на зсув, а також несучу здатність на розтяг для різних механізмів руйнування пост-встановлених анкерних упорів.

Розрахункові зусилля зсуву, що діють паралельно до площини з'єднання між новим і наявним бетоном, є базовим варіантом введення у програмі. PROFIS також дозволяє вводити вертикальні навантаження, що діють перпендикулярно до площини з'єднання — такі навант. автоматично перераховуються у зсувні напруження згідно з EOTA TR 066 [4] (див. рис. 8.14). Крім того, користувач може задавати будь-які напруження, що діють перп. до площини з'єднання (наприклад, тільки стиск)

STRESS ☆ ^
Stress perpendicular to the interface
<input type="text" value="2 N/mm²"/> + -
LOADING DEFINITION ☆ ^
Loading input type
<input checked="" type="radio"/> Shear stress parallel to the interface
<input type="radio"/> Shear force perpendicular to the interface

Рис. 8.14 — Визначення напружень і зусиль зсуву в PROFIS

Вихідні результати (звіт і креслення)

Відповідно до принципів, описаних у розділі 8.3, PROFIS дозволяє згенерувати повний звіт із розрахунками натисканням однієї кнопки.

9. МОНТАЖ ТА ІНСПЕКЦІЯ

Правильна процедура монтажу систем пост-встановлення в будівництві є важливою з таких причин:



Рекомендується, щоб монтаж виконувався навченими спеціалістами, які мають необхідні навички, знання та досвід для правильного встановлення системи. Крім того, важливо уважно дотримуватись інструкцій і рекомендацій виробника. Ці інструкції містять конкретні вимоги щодо способу встановлення продукту, а також будь-які особливі умови або вимоги, які необхідно врахувати. Використання сертифікованих продуктів є необхідним, оскільки вони проходять випробування та сертифікацію відповідно до встановлених стандартів і вважаються придатними для використання у конкретних застосуваннях. Див. розділ 3 щодо оцінки та сертифікації продуктів і розділ 4 для сертифікованих продуктів Hilti

9.1 Процедура монтажу пост-встановленої арматури

Процедура монтажу пост-встановленої арматури включає такі етапи:

9.1.1 Розміщення пост-встановленої арматури

Перший етап полягає у визначенні та фіксації положень арматури в місцях, де планується свердління. Це потребує сканування основного матеріалу, щоб переконатися у відсутності існуючої арматури, труб, каналів тощо. У випадку з'єднань внапуск із пост-встановленою арматурою необхідно уважно оцінити відносно положення щодо арматури, закладеної при бетонуванні.

Примітка. Hilti пропонує професійне обладнання для виявлення арматури, яке полегшує процес монтажу пост-встановлених арматурних стрижнів.

Розташування наявної арматури та інших закладених елементів зазвичай визначається за допомогою методів сканування, які поділяються на такі категорії:

a) Сканери, що виявляють ферумовмісні матеріали з використанням **технології електромагнітної індукції (EMI)**, як-от Hilti PS 300 (див. рис. 9.1a, b). Для арматури, розташованої на глибині до 200 мм від поверхні бетону, сканери з EMI-технологією здатні визначити положення стрижнів арматури, а також оцінювати товщину захисного шару та діаметр арматури.

b) Сканери, що працюють на основі **технології імпульсного радара (PRT)**, які дають змогу виявляти як ферумовмісні, так і неферумовмісні закладені елементи — наприклад, метали, системи попереднього натягнення, неметали (деревина, дроти тощо) та порожнини. Приклади: Hilti PS 85 та Hilti PS 1000. Сканери типу PRT, як-от Hilti PS 1000 (див. рис. 9.1c, d), можуть використовуватися для зон із високою щільністю армування або коли арматура розташована на великій глибині чи у кількох шарах.

Примітка. Обладнання для сканування Hilti також може використовуватись для оцінки товщини захисного шару, діаметра та кроку арматури (у кілька шарів) з метою структурної ідентифікації та перевірки, особливо у випадках, коли креслення "за фактом виконання" недоступні. Якщо такі креслення є, результати сканування бажано викор. для їхнього доповнення або підтвердження.



а) Сканування на наявність ферумовмісних об'єктів



b) HILTI's PS 300 Ferroscope



c) Сканування на наявність ферумовмісних і неферумовмісних об'єктів



d) Hilti PS 1000 з планшетом

Рис. 9.1 — Прилади Hilti для сканування ферумовмісних і неферумовмісних елементів, що використовуються для структурної перевірки та документування

9.1.2 Підготовка/шорсткування поверхні

Перед монтажем арматури важливо правильно підготувати поверхню бетону.

Це може включати ремонт тріщин або дефектів, створення шорсткості, очищення поверхні за допомогою відповідного інструменту й обладнання, а також розмітку місць свердління для забезпечення точності виконання отворів.

Створення шорсткості поверхні перед нанесенням нового бетону на існуючий забезпечує не лише підвищену адгезію, але й здатність шва передавати зсувні зусилля за рахунок тертя. Якщо новий бетон наноситься на існуючу поверхню, підготовка має відповідати вимогам стандарту EC2-1-1 [1], залежно від призначення з'єднання. Поверхня має бути шорсткою щонайменше на 3 мм (від вершини до западини) з відстанню між нерівностями приблизно 40 мм (див. рис. 9.2).

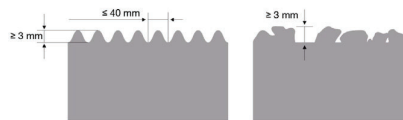
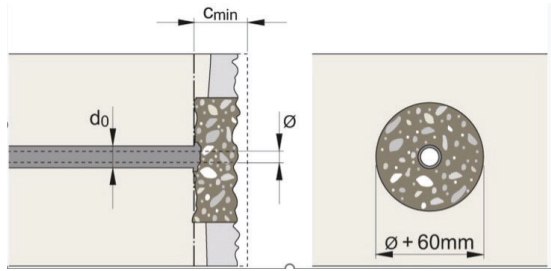


Рис. 9.2 — Вимоги до шорсткості поверхні

Якщо поверхневий шар наявного бетону має карбонізований стан, його слід видалити у зонах, де планується монтаж пост-встановленої арматури.

Загальне правило: необхідно зняти карбонізований шар бетону в межах круглої ділянки діаметром, який дорівнює діаметру арматурного стрижня плюс 60 мм ($d_{\text{rough}} = \Phi + 60\text{мм}$), (див. рис. 9.3а). Потрібну шорсткість можна створити механічним способом (наприклад, із використанням Hilti TE 70-АТС з насадкою-щіткою, див. рис. 9.3b), або за допомогою піскоструминного чи гідроструминного очищення.

Примітка. Після створення шорсткості необхідно переконатися, що поверхня очищена від пилу або залишків матеріалу перед нанесенням нового шару бетону.



а) Зона некарбонізованого бетону

б) Шорсткість поверхні за допомогою інструменту для очищення

Рис. 9.3. Вимоги до шорсткості поверхні існуючого бетону

9.1.3 Свердління отворів у бетоні

Пост-встановлена арматура зазвичай потребує значної глибини анкерування. Правильне свердління та очищення отворів є критично важливими для забезпечення належної роботи з'єднання. Отвори можуть виконуватись одним із трьох методів, кожен із яких має свої переваги та обмеження:

- 1) **Обертально-ударне свердління / свердління з ударом (HD).** Виконується із застосуванням стандартних двоспіральних бурів (наприклад, серія Hilti TE-C) або хрестоподібних твердосплавних бурів (наприклад, Hilti TE-CX та TE-CYX) для перфораторів (див. рис. 9.4). Такі бурові інструменти є загальнодоступними й зазвичай використовуються завдяки своїй мобільності та простоті у застосуванні. Перфоратори Hilti створюють поверхню отвору з нерівностями, що є особливо придатною для забезпечення належного зчеплення (за умови правильного очищення отворів). Для глибоких або отворів великого діаметра застосування ударного свердління може бути недоцільним. Також цей метод не підходить для свердління крізь наявну арматуру, коли це необхідно.



Мал. 9.4: Інструменти для ударно-обертального свердління (HD).

Примітка. На ринку представлено різні типи бурових машин. Вони відрізняються за масою, енергією удару, швидкістю обертання та частотою ударів. Hilti рекомендує підбирати тип машини відповідно до діапазону діаметрів отворів для досягнення максимальної продуктивності.

- 2) **Свердління стисненим повітрям (CA)** - Метод свердління стисненим повітрям забезпечує швидкість і високу ефективність, створюючи при цьому шорстку поверхню отвору. Висока енергія удару, властива цьому методу, може збільшити ризик пошкодження бетонного елемента, особливо у випадках, коли відстань до краю мала або захисний шар бетону зменшений (див. рис. 5.5).

3) Алмазне свердління (DD). Алмазне свердління може виконуватися у вологому або сухому режимі. Для великих діаметрів і значної глибини анкерування цей метод є переважним (див. рис. 9.5). На відміну від ударного свердління, яке руйнує бетон за рахунок ударної енергії, алмазні коронки використовують робочу матрицю з алмазними частинками, що сточують бетон. Жорсткість корпусу коронки забезпечує мінімальне відхилення від заданої траєкторії, а також дозволяє просвердлювати отвори крізь наявну арматуру без значних зусиль. Після свердління поверхня отвору виходить дуже гладкою, однак зазвичай покрито тонким шаром пилу, який може негативно впливати на адгезію. Для сертифікованих систем розроблено спеціальні процедури очищення, які описані у відповідних ETA-документах і Інструкції з монтажу (IFU).

Примітка. Алмазне свердління рекомендується у випадках, коли необхідно мінімізувати вібрацію, шум або утворення пилу.

Примітка. Перед свердлінням крізь наявну арматуру або інші закладні елементи необхідно обов'язково проконсультуватися з проєктним інженером або відповідним органом нагляду.



а) Алмазне свердління (Hilti DD 30-W)



б) Алмазне свердління (Hilti DD 250 CA)

Рис. 9.5 — Інструменти для алмазного свердління

На рис. 9.6 показано вплив різних методів свердління на поведінку пост-встановленої арматури під дією навантаження при використанні клейового розчину. З графіка видно, що випробуваний клейовий розчин не схвалений для застосування при алмазному свердлінні, оскільки міцність зчеплення суттєво нижча, ніж при ударному або пневматичному свердлінні.

Примітка. Необхідно перевірити придатність і міцність зчеплення сертифікованих клейових розчинів для використання в отворах, виконаних методом свердління коронками.

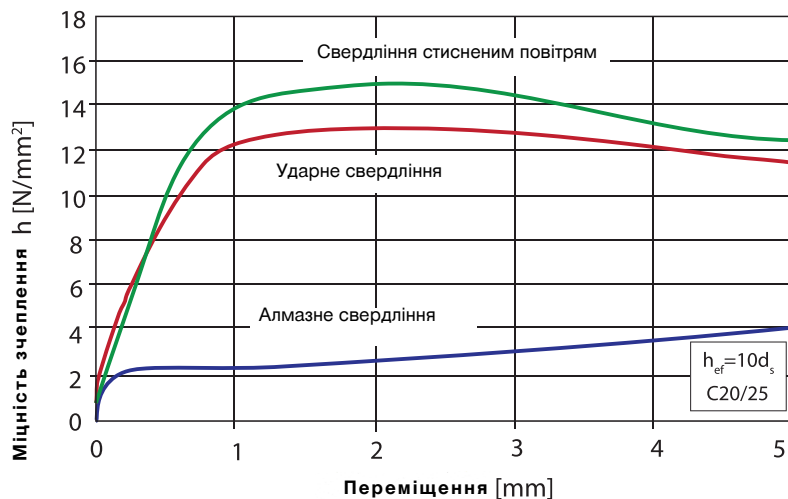


Рис. 9.6 — Вплив методу свердління на поведінку «зусилля-переміщення» для пост-встановленої арматури з глибиною анкерування 10Ф у бетоні низької міцності після очищення отвору [5]



Використання напрямного пристрою під час свердління.

Під час свердління необхідно залишати достатню відстань від краю наявного бетону, щоб уникнути відколів або розшарування покриття. Для підвищення точності можна застосовувати напрямні пристрої з ручними дрелями (див. рис. 9.7). Детальні вимоги щодо мінімальної товщини бетонного шару при використанні напрямного пристрою наведені в розділі 5.2.1.

Рис. 9.7 — Приклад напрямного пристрою для свердління

9.1.4 Шорсткування просвердлених отворів

Щоб усунути непридатність деяких клейових розчинів для отворів із гладкою внутрішньою поверхнею, отриманих під час алмазного свердління, Hilti розробила спеціальний інструмент для шорсткування. Інструмент TE-Y RT “Flex Fork” (див. рис. 9.8) дозволяє створювати шорсткість на гладких стінках отворів, забезпечуючи підвищене механічне зчеплення між бетоном і клейовим розчином (див. рис. 9.8b). Це сприяє досягненню проєктної міцності зчеплення.



а) Інструмент для шорсткування “Flex Fork” TE-Y RT



б) Відмінність між шорстким і гладким буровим отвором у бетоні

Рис. 9.8 — Значення шорсткування бурових отворів у бетоні

9.1.5 Очищення просвердлених отворів

Міцність зчеплення між клейовим складом і бетоном безпосередньо залежить від стану отвору під час введення клею. Бетон, у який встановлюється пост-встановлена арматура, може бути сухим, вологим, частково або повністю зануреним у воду на момент монтажу.

Монтаж необхідно виконувати згідно з Інструкцією з використання (IFU). Після вологого алмазного свердління в отворі залишається волога, тому очищення зазвичай включає послідовне промивання, доки не з'явиться чиста вода, а потім продування стислим повітрям за допомогою спеціальних інструментів і насадок (див. рис. 9.9 і 9.10). Далі використовується сталевий йорж для механічного шорсткування стінок отвору. Усі процедури очищення завершуються продуванням стислим повітрям. Необхідно суворо дотримуватись вимог ETA та IFU для забезпечення безпечного й правильного монтажу.

Примітка. Монтаж у заповнених водою отворах потребує використання сертифікованих клейових систем, призначених для таких умов.



Насадка для подачі стисненого повітря

Подовжувач шланга

Пістолет для продування

Рис. 9.9 — Інструмент і насадки для продування бурових отворів стисненим повітрям

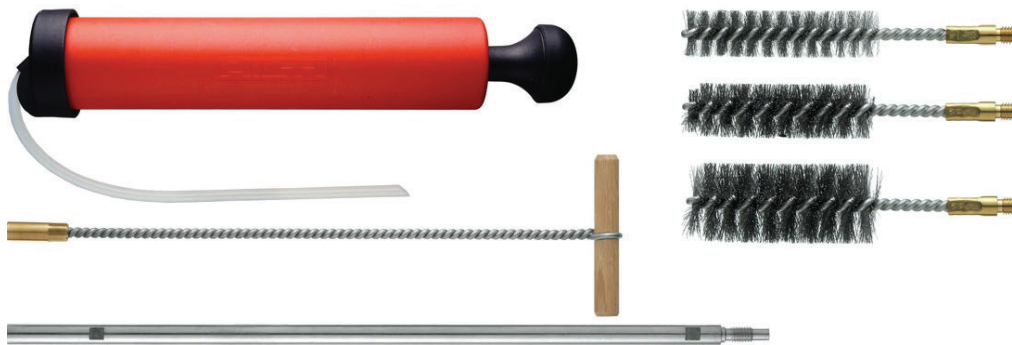
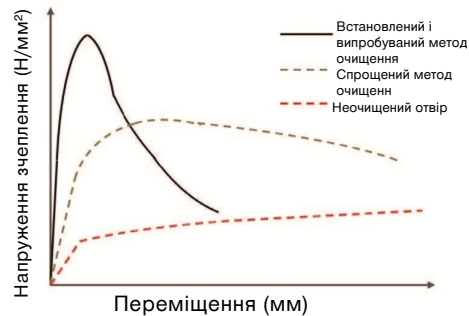


Рис. 9.10 — Щітка для очищення отворів і допоміжні аксесуари

Примітка. Важливість дотримання методів очищення отворів, наведених в інструкції Hilti IFU, для забезпечення надійності роботи пост-встановленої арматури показана на рис. 9.11. Щоб уникнути необхідності багатоетапного очищення, рекомендовано застосовувати технологію Hilti SafeSet™ (див. розділ 9.1.7).



а) Продування пилу з отворів стисненим повітрям



б) Вплив методів очищення на напруження зчеплення залежно від переміщення

Рис. 9.11 — Видалення пилу з бурових отворів і значення очищення

9.1.6 Ін'єктування клеєвого розчину та встановлення арматури

Метою введення клейового розчину є монтаж без повітряних пустот. Наявність повітряних пор зменшує площу зчеплення та, відповідно, несучу здатність пост-встановленої арматури. Повітряні пустоти можна розпізнати за підвищеним зусиллям під час установлення арматури в отвір або за неконтрольованим виходом клею із отвору при витісненні повітря. Для мінімізації утворення повітряних пустот Hilti рекомендує використовувати поршні з контрольованим допуском (piston plugs), які забезпечують рівномірне введення клею (див. рис. 9.12). Поршень створює зворотний тиск, що дозволяє оператору контролювати процес ін'єкції, підвищуючи її якість і ефективність, усуваючи повітряні пори.

Примітка. Під час роботи з клейовими системами Hilti необхідно використовувати засоби захисту шкіри та очей відповідно до вимог IFU.



а) Поршень



б) Подовжувальний шланг для введення клейового розчину

Рис. 9.12 — Правильне введення клейового розчину за допомогою поршня та подовжувального шланга

Обладнання для введення клейового розчину підбирається залежно від діаметра арматури, її орієнтації, температурних умов та доступності робочої зони.

Hilti пропонує ручні, акумуляторні та пневматичні дозатори для ін'єкцій клейових складів (див. рис. 9.13). Рекомендації щодо вибору типу дозатора для конкретних випадків застосування наведені в інструкціях (IFU) та ETA на пост-встановлені системи арматури Hilti.

Примітка. Пневматичні дозатори рекомендуються для робіт із великими діаметрами отворів або значною глибиною анкерування.



а) Ручні, акумуляторні та пневматичні дозатори



б) Автоматичний дозатор HILTI HDE 500-A22 із подовжувальним шлангом

Рис. 9.13 — Введення клейового розчину

Примітка. Просту перевірку якості введення клейового розчину можна здійснити, спостерігаючи за поведінкою арматурного стрижня під час монтажу. Якщо стрижень після часткового вставлення «відпружинює» або чути характерний звук, це свідчить про наявність повітряних пор у заповненому отворі. У такому разі монтаж необхідно повторити. Також важливо забезпечити, щоб клейовий розчин заповнив отвір до самої поверхні бетону після вставлення арматури. Тому використання поршня для введення клею є обов'язковим, що чітко показано на рис. 9.14.

Арматурні стрижні меншого діаметра можна вставляти вертикально вниз із (відносно) невеликим зусиллям. Проте арматура більшого діаметра, особливо при горизонтальному або похилому вгору монтажі, вимагає суттєвих фізичних зусиль (див. рис. 9.15). У всіх випадках, після свердління отвору відповідно до ETA, рекомендується перевірити відповідність діаметра отвору діаметру арматури перед введенням клею. Для монтажу у перекриттях або над головою, зокрема при великих діаметрах арматури, потрібно передбачити фіксацію стрижнів на період тверднення клею. Крім того, для монтажників, які виконують установку арматури з розрахунком на постійні розтягувальні навантаження, можуть застосовуватись вимоги сертифікації та спеціальні вимоги до контролю якості монтажу.

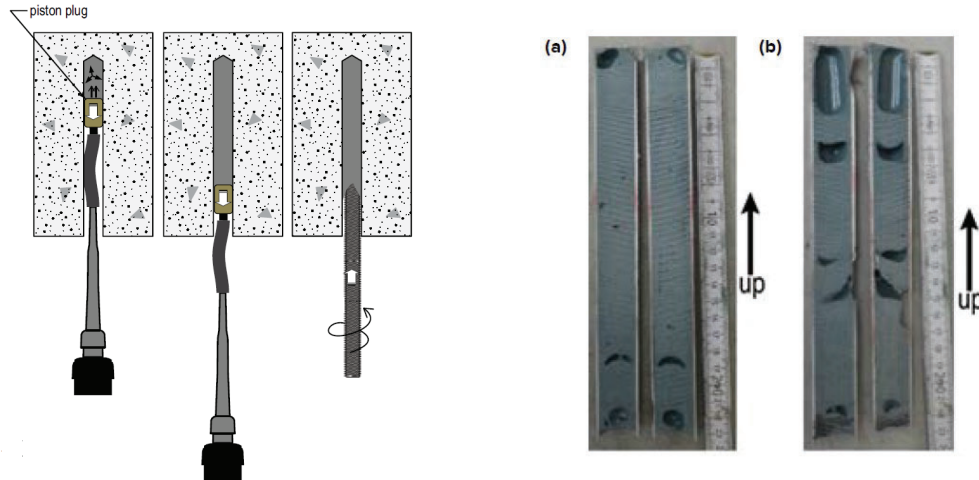


Рис. 9.14 — Використання поршня для введення клейового розчину (I). Зображення показують: (a) успішне введення клею ($\leq 10\%$ повітряних пор) із застосуванням поршня; (b) невдале введення клею ($> 10\%$ повітряних пор).

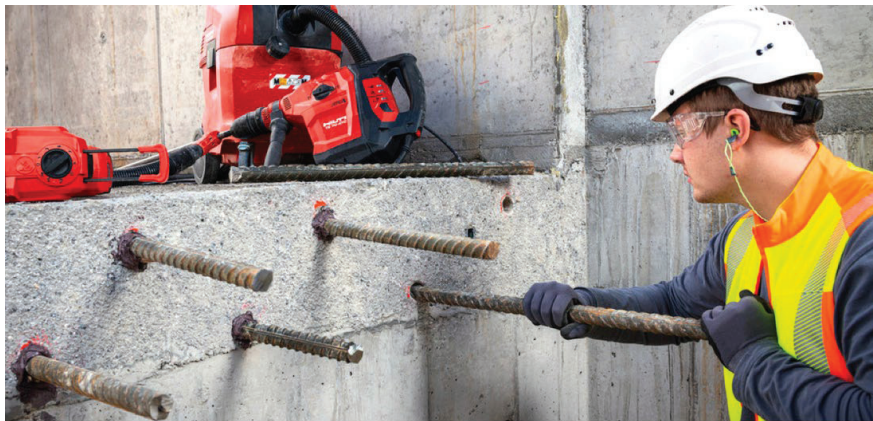


Рис. 9.15 — Горизонтальний монтаж пост-встановленої арматури великого діаметра

9.1.7 Система Hilti SafeSet™

Система Hilti SafeSet™ охоплює ключові етапи процесу встановлення пост-встановленої арматури, забезпечуючи ефективний, безпечний і чистий монтаж. Вона включає сертифіковані продукти та інструменти, що дозволяють свердлити отвори без пилу та виконувати введення клейового розчину з мінімальними відходами, спрощуючи монтаж і підвищуючи безпеку роботи.

1. **Безпилкове свердління.** Бурові коронки Hollow Drill Bits (HDB) у поєднанні з пирососами Hilti VC 40-U або VC 20-U (див. рис. 9.16) використовують сучасну технологію буріння, яка дозволяє отримувати чисті отвори без додаткового очищення. Система Hilti SafeSet™ однаково ефективна для сухого та вологого бетону й усуває найкритичніший і найтриваліший етап підготовки — очищення отвору перед введенням клейового розчину. Пил і залишки матеріалу безперервно всмоктуються пирососом протягом усього процесу буріння. Дотримання вимог IFU (інструкції з монтажу) гарантує високу якість установа, а також безпечні умови для працівників і навколишнього середовища.



Примітка. Система Hilti SafeSet™ забезпечує правильне виконання монтажу пост-встановленої арматури навіть у складних умовах на будівельному майданчику.



Рис. 9.16 — Система Hilti SafeSet™ — безпилове свердління отворів порожнистими бурами (HDB)

- 2) **Розумне введення клейового розчину.** Введення клейового розчину в просвердлені отвори здійснюється за допомогою акумуляторного дозатора Hilti HDE 500-A22, який може працювати спільно з мобільним застосунком Hilti для розрахунку об'єму клейового розчину. У застосунку розраховується необхідний об'єм матеріалу, який можна задати в дозаторі до початку введення (див. рис. 9.17). Це дає змогу точно контролювати кількість розчину, уникаючи недозаповнення, що знижує якість зчеплення, або переповнення, яке призводить до перевитрати матеріалу.



а) Автоматичний дозатор HDE 500-A22 із подовжувальним шлангом



б) Мобільний застосунок Hilti Volume Calculation для розрахунку об'єму клею

Рис. 9.17 — Розумне введення клейового розчину

Примітка: Система Hilti SafeSet™ пропонує:

Швидкість — свердління отворів і очищення від пилу відбувається швидше завдяки автоматизованому пиловидаленню, розумному дозуванню клею, що дозволяє зменшити кількість етапів і прискорити монтаж.

Простоту — наші системи забезпечують найінтуїтивніше та найзручніше встановлення арматури, зменшуючи ризик помилок.

Безпеку — сертифікована система SafeSet™ допомагає гарантувати правильне встановлення арматури навіть у складних умовах на будівельному майданчику відповідно до проєктних вимог.

9.2 Процедура монтажу пост-встановлених анкерних упорів

Монтаж пост-встановлених анкерних упорів виконується за тією ж процедурою, що описана в розділі 9.1, де пост-встановлені арматурні стрижні використовуються як шпонки. Однак у цьому випадку замість арматури встановлюються сертифіковані анкерні упори (наприклад, HUS4-N або HCS-B) згідно з інструкцією виробника (IFU), після чого новий шар бетону заливається відповідно до вимог, визначених інженером-проектувальником

Виконання бетонних шарів нарощування включає такі основні процеси (див. рис. 9.18):

- 1) Демонтаж або відкриття наявного бетонного елемента чи пошкодженого шару бетону.
- 2) Правильне шорсткування відкритої бетонної поверхні.
- 3) Монтаж пост-встановлених анкерних упорів (арматури або шпильок).
- 4) Укладання та встановлення нового шару необхідного армування.
- 5) Остаточне укладання нового шару бетону необхідної товщини.

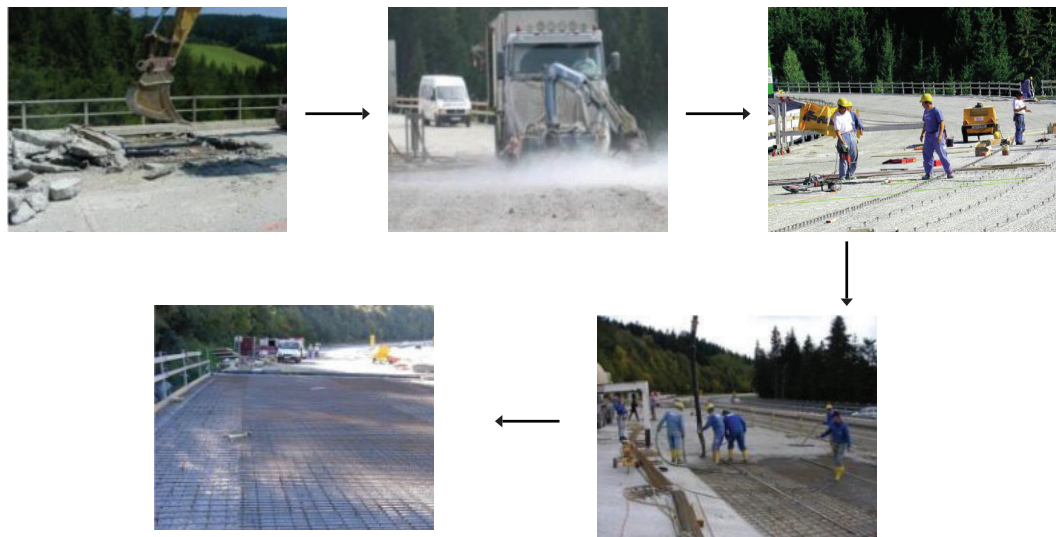


Рис. 9.18 — Послідовність виконання робіт при улаштуванні шару нарощування бетону на зсув (зображення за годинниковою стрілкою)

9.2.1 Вимоги до монтажу пост-встановлених анкерних упорів згідно з EOTA TR 0666

На додаток до вимог щодо армування та будівництва для систем з'єднання з пост-встановленими анкерними упорами, наведених у розділі 7, мають бути виконані такі основні вимоги для наявного шару бетону:

- Шорсткість поверхні має відповідати вимогам таблиць 7.5 і 7.6, при цьому має бути видимою фактура зерен бетону. Шорсткість може бути виміряна відповідними методами, наприклад, за EN 13036-1 [50] або оптичними засобами вимірювання
- Вимірювання шорсткості поверхні та випробування на міцність зчеплення повинні проводитися не рідше ніж один раз на кожні 100 м² поверхні, з мінімумом п'ятьох таких випробувань або відповідно до вимог контролюючого органу.
- Поверхня має бути вільною від масла, пилу та бруду. Отвори мають бути очищені від залишків масла стисненим повітрям, а анкерні упори — очищені згідно з IFU.
- Поверхня наявного бетону повинна бути зволожена та підтримуватись вологою без наявності вільної води під час заливання нового шару бетону.

Новий бетон шару нарощування повинен відповідати таким вимогам до будівництва:

- Міцність нового бетону на стиск повинна бути вищою, ніж у наявного бетону.
- Новий бетон повинен мати низькі усадкові властивості.
- Новий бетон має ущільнюватися за допомогою віброрейки. Якщо товщина шару нарощування перевищує 100 мм, рекомендується застосовувати внутрішні вібратори відповідного типу.
- Після заливання необхідно виконати перевірку та обробку нового шару бетону відповідно до чинних специфікацій і вимог нормативних документів.

Додаткові вимоги наведені в EOTA TR 066 [4], EN 12350-5 [54] або в чинних місцевих нормативних документах (наприклад, RVS 15.02.34 [51]).

9.3 Інспекція, випробування та контроль якості

Інспекція, випробування та контроль якості мають вирішальне значення під час монтажу систем із пост-встановленими елементами, оскільки вони забезпечують відповідність виконаних робіт вимогам проекту та технічним характеристикам. Це може включати перевірку матеріалів і виробів у лабораторних умовах відповідно до експлуатаційних критеріїв, а також проведення польових випробувань, наприклад, випробувань на висмикування пост-встановлених арматурних стрижнів або анкерних упорів (див. рис. 9.19).

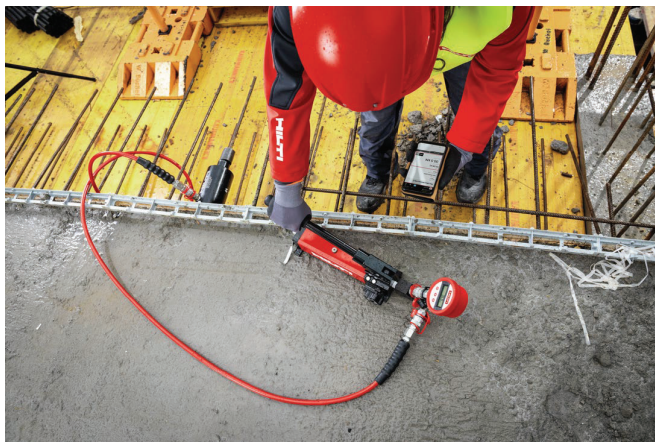


Рис. 9.19 — Виконання випробувань на об'єкті фахівцями Hilti

Польові випробування можуть виконуватися з такими двома цілями:

- **Перевірка навантаження.** Використовується для оцінки поведінки пост-встановлених арматурних стрижнів під дією навантаження (зусилля/переміщення) і для перевірки правильності монтажу. Важливо зазначити, що правильне встановлення зазвичай досягається лише у випадках, коли монтаж виконують навчені та кваліфіковані спеціалісти відповідно до IFU. Польове випробування навантаження є лише засобом перевірки та підтвердження якості монтажу.
- **Визначення відсутніх проєктних значень.** Польові випробування можуть допомогти проєктувальнику або інженеру визначити розрахункові параметри системи пост-встановленої арматури на основі інженерного судження у випадках, коли стандартний метод або рішення недоступне. Це особливо корисно для проєктів, пов'язаних із реконструкцією або підсиленням конструкцій.

Примітка. Польові випробування не повинні використовуватись для оцінки міцності зчеплення, що перевищує значення, зазначені в ETA, для умов, які охоплюються тією ж ETA (наприклад, пост-встановлена арматура у звичайному бетоні класів від C12/15 до C50/60). Оцінювання міцності зчеплення для умов, що виходять за межі сфери дії ETA, має враховувати впливові фактори, які неможливо випробувати (наприклад, підвищену температуру або тривале навантаження).

Звертайтеся до Hilti для отримання інженерних висновків щодо нестандартних випадків проєктування, коли міцність зчеплення невідома через особливості базового матеріалу.

Контроль якості передбачає активне управління процесом монтажу та впровадження коригувальних дій за потреби. На наступній сторінці наведено контрольний список рекомендованих заходів контролю якості, які можна застосовувати під час монтажу пост-встановленої арматури та анкерних упорів.

Примітка. Пункти, наведені у наступному контрольному списку, не є вичерпними та не враховують специфіку конкретного проєкту, тому проєктна команда несе відповідальність за внесення змін і уточнень перед використанням.

Пункти перевірки для пост-встановлених систем		Значення	Перевірка		
			Так	Ні	Н/З
A1.	Перевірка креслень, технічних вимог і методики монтажу		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A2.	Перевірки до встановлення				
A2.1	Рівень наявного елемента конструкції		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A2.2	Розташування / рівень пост-встановлених стрижнів		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A2.3	Сканування осн. матеріалу на наявність арматури/інших об'єктів		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A2.4	Підготовка бетонної поверхні перевірена згідно з IFU		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A2.5	Технологія свердління перевірена згідно з IFU		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A2.6	Застосовано систему Hilti SafeSet™		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A2.7	Глибина та діаметр свердління		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A2.8	Шорсткість і очищення отворів згідно з IFU		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A3.	Перевірка клейового розчину				
A3.1	Використано схвалений адгезійний розчин		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A3.2	Паспорт партії розчину та протоколи випробувань		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A3.3	Температура та стан поверхні перед заповненням		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A3.4	Інструменти й аксесуари для подачі розчину перевірені IFU		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A3.5	Використано систему Hilti SafeSet™ для розумного дозування		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A3.6	Необхідний об'єм розчину (додаток Hilti Volume Calculator)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A4.	Перевірка пост-встановленої арматури / анкерних упорів				
A4.1	Діаметр і тип арматури/анкерних упорів згідно з ТЗ		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A4.2	Арматура / анкерні упори встановлені відповідно до IFU		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A4.3	Перевірено глибину анкерування та перпендикулярність стрижнів		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A4.4	Перевірено фіксацію стрижнів при гориз. / похилому монтажі		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A4.5	Контроль часу твердіння розчину		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A4.6	Проведено випробування на висмикування на місці		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A5.	Перевірки нової арматури бетону згідно зі специфікаціями		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>Примітка. Перевірки опалубки, бетонування, охорони праці, безпеки, довкілля та всі інші перевірки виконуються відповідно до сфери проекту.</p>					

9.4 Додаткові аспекти будівництва / монтажу

9.4.1 Датчики бетону для моніторингу на майданчику

Контроль міцності та температури бетону є важливими аспектами будівельних проектів. Вони допомагають гарантувати, що бетон правильно витриманий і має достатню міцність для запланованого використання. Традиційним методом визначення міцності у визначені проміжки часу є використання бетонних контрольних кубів або циліндрів. Температурний контроль може здійснюватися за допомогою термодатчиків, які розміщуються всередині бетону під час процесу заливання. Ці датчики відстежують температуру бетону під час тверднення. Бездротові **Hilti Concrete Sensors (HCS)** допомагають ключовим учасникам будівельного проекту своєчасно приймати критично важливі рішення завдяки таким перевагам:



Рис. 9.20 — Бездротовий датчик бетону Hilti, який передає дані в реальному часі про температуру, міцність і відносну вологість у мобільний застосунок Hilti Concrete Sensors.

Примітка. Дані, передані через датчики бетону Hilti, потребують оцінки та прийняття рішень відповідними сторонами проекту.

- 1) **Оцінка міцності бетону.** Заснована на концепції «зрілості» бетону — неруйнівному та надійному методі, який дає точнішу оцінку впливу часу й температури на розвиток міцності бетону. Дані бездротово передаються через Bluetooth до мобільного застосунку з датчика, який вбудовується в конструкцію перед заливанням бетону (див. рис. 9.20). Датчики Hilti виконують “Equivalent Age Test” за чотирма різними температурами для підвищення точності калібрування під конкретну рецептуру бетону. Отримані в реальному часі дані допомагають команді ухвалювати рішення щодо зняття опалубки, раннього навантаження конструктивних елементів або встановленої арматури тощо.
- 2) **Моніторинг температури бетону в реальному часі.** Датчики Hilti дозволяють відстежувати температуру тверднення бетону та температурну різницю між кількома точками в товщі конструкції. Це сприяє дотриманню будівельних норм, специфікацій і температурних планів контролю. Теплові плани необхідні для забезпечення правильного тверднення бетону, щоб внутрішня температура та перепади між центром і поверхнею не перевищували допустимі межі. Цей контроль особливо важливий для масивного бетонування (наприклад, ростверків або товстих бетонних накладних шарів), щоб уникнути внутрішнього перегріву при одночасному охолодженні зовнішніх шарів.

Примітка. Дані про температуру бетону в реальному часі, отримані з датчиків Hilti, можуть бути включені до звітів або сповіщень щодо бетону для прийняття проектних рішень.

Примітка. Для отримання детальнішої інформації про систему Hilti Concrete Sensor (якщо вона доступна у вашому регіоні) звертайтеся до Hilti.мСистема включає датчики, мобільний застосунок, шлюз для передачі даних, базу Hilti та лабораторні послуги (див. рис. 9.21).

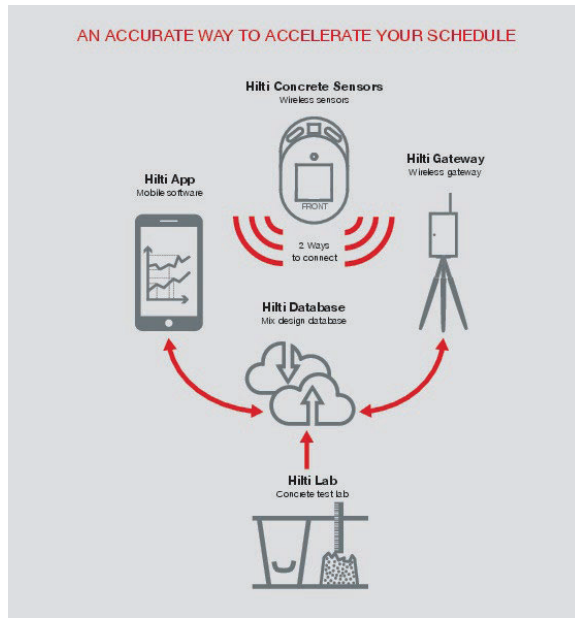


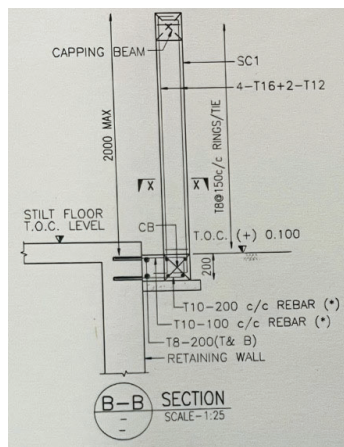
Рис. 9.21. Система датчиків для бетону Hilti

9.5 Специфікації виконання робіт

Технічне завдання може бути розроблене інженерами або проєктувальниками для повної та надійної реалізації застосуваних, спроектованих із використанням сертифікованих продуктів і відповідних інструкцій з монтажу (див. приклад на рис. 9.22).

Специфікація для будівництва має охоплювати такі пункти:

- Деталі щодо пост-встановленої арматури, включно з глибиною анкерування та зазначенням сертифікованого продукту(ів).
- Чіткі вимоги до розрахунку, такі як експлуатаційні характеристики продукту (термін служби, тип навантаження тощо) та застосовний стандарт розрахунку (наприклад, EC2, EOTA TR 069 [2]).
- Опис підготовчих робіт (наприклад, сканування базового матеріалу, метод буріння тощо).
- Опис вимог до монтажу (інструменти, допоміжне обладнання, зокрема поршневі пробки, подовжувальні шланги, система Hilti SafeSet™ тощо).
- Додаткові вимоги (наприклад, проведення випробувань на місці, якщо це потрібно).



NOTES FOR RE-BARRING :-	
1.	SCANNING & MARKING OF THE EXISTING REINFORCEMENT WITH HILTI PS300 SCANNING TOOL TO AVOID THE HITTING OF THE EXISTING REBARS AND PUNCTURING THE EXISTING CONCRETE.
2.	INSTALLATION METHODOLOGY SHALL BE AS PER REBARING DESIGN REPORT USING HOLLOW DRILL BIT TECHNOLOGY TO ENSURE DUST-FREE CLEAN HOLES AND PROPER BONDING OF CHEMICAL.
3.	HILTI CHEMICAL & EMBEDMENT DEPTH TO BE FOLLOWED FOR REBARING AS PER DETAILS IN THE DRAWING/ APPROVED DESIGN.
4.	REBARING SHALL BE DESIGNED AS PER EC2 TR023/ HIT REBAR METHOD/ TR 069 BEFORE EXECUTION CONSIDERING REBARS GROUP BEHAVIOUR.
5.	CHEMICAL SHALL BE ETA SEISMIC APPROVED AND 100 YEARS' SERVICE LIFE FOR REBARING.
6.	PISTON PLUG & EXTENSION PIPE SHALL BE USED FOR HOLE DEPTH GREATER THAN 400 MM TO ENSURE PROPER FILLING OF HOLES AND SAFE INSTALLATION.
7.	PULL OUT TEST REPORT TO BE SUBMITTED TO THE STRUCTURAL CONSULTANT TO VERIFY THE QUALITY OF INSTALLATION.

* NOTES:-
 TOP 1: Ø 10 MM / 170 MM EMBEDMENT DEPTH // 100 MM SPACING WITH HILTI HIT-HY 200-R V3 INSTALLATION PER ETA 19/0600, HAMMER DRILLING, USING AN INJECTION PISTON PLUG
 BOTTOM 1: Ø 10 MM / 109 MM EMBEDMENT DEPTH // 200 MM SPACING WITH HILTI HIT-HY 200-R V3 INSTALLATION PER ETA 19/0600, HAMMER DRILLING, USING AN INJECTION PISTON PLUG

Рис. 9.22 — Приклад технічного завдання для комплексного та надійного рішення

9.6 Інженерна підтримка від Hilti

Інженерне судження є ключовим для забезпечення надійного та ефективного проектування, особливо коли стандартні методи не можуть бути застосовані. Це вимагає глибокого розуміння інженерних принципів, широких знань про відповідні рішення та методики, а також уміння застосовувати навички вирішення складних технічних завдань. Hilti пропонує фахівцям кілька інструментів для роботи з такими ситуаціями, що потребують обґрунтованих інженерних рішень:

Ask Hilti

Ask Hilti — це онлайн-спільнота, що забезпечує інтерактивне середовище для обміну досвідом і надання експертних консультацій інженерам та архітекторам у галузі будівництва. Платформа Ask Hilti є безкоштовною та відкритою для всіх користувачів. Зареєстровані учасники можуть ставити запитання та брати участь у технічних обговореннях.



Hilti Backoffice

Hilti надає допомогу в проектуванні рішень для складних і нетипових проблем та ситуацій. Ви можете звернутися до Hilti за підтримкою від команди інженерної підтримки, як онлайн, так і офлайн.

Hilti Assets

Hilti має колекцію технічних публікацій, таких як технічні документи, довідники, настанови, навчальні матеріали тощо, з актуальних тем, що становлять інтерес для інженерної спільноти. Це сприяє поширенню знань про найновіші технології та практики.



10. ПРИКЛАДИ ВИКОНАНИХ ПРОЄКТІВ

10.1 Nathani Heights, Мумбаї, Індія

Nathani Heights — знаковий житловий хмарочос висотою 262 м, розташований в одному з найжвавіших районів центрального Мумбаї. Будівництво завершено у 2020 році.

Постановка проблеми та мета

Потреба у додаванні нових поверхів до існуючого хмарочоса виникла після отримання дозволу на збільшення коефіцієнта забудови (FSI) від місцевих органів влади для подальшої розбудови. Також замовник вирішив змінити функціональне призначення деяких нижніх поверхів, щоб забезпечити більші навантаження, пов'язані з паркуванням і рухом транспортних засобів. Метою, таким чином, було розробити оптимізоване рішення для пост-встановленої арматури для підсилення перерізів існуючих колон (обоймування), зсувного підсилення плит (артування на зсувне тертя) та забезпечити простий монтаж цих рішень у межах обмеженого часу (див. рис. 10.1).

Методи розрахунку, що застосовувалися:
EOTA TR 069
EC2-1-1
Метод Hilti



а) Візуалізація проєкту



б) Обоймування колони



с) Підсилення плити

Рис. 10.1 — Житловий хмарочос Nathani Heights

Підхід (проєктування та рішення)

- Було проведено регулярні та динамічні зустрічі з інженерно-проектною командою хмарочоса для обговорення та узгодження відповідних методів проєктування з метою досягнення ефективності, а також використання сертифікованих продуктів Hilti, які відповідали вимогам проєкту та об'єкта.
- У процесі роботи були виявлені прогалини в розрахункових підходах і методології. Разом із командою проєктувальників були застосовані актуальні норми та практики для пошуку рішень, що відповідають вимогам кодів.
- Розгляд правильного значення коефіцієнта довготривалого навантаження ψ_{sus} розрахованого згідно з EOTA TR 069 [2] і відповідного ETA продукту (Hilti HIT-RE 500 має підвищене значення цього коефіцієнта, порівняно з іншими), допоміг команді досягти ефективних і оптимізованих глибин анкерування.

Методи розрахунку, що застосовувалися

Шарнірні з'єднання – метод Hilti було застосовано для використання переваг підвищеної адгезійної міцності.

Підсилення колон – метод розрахунку за EOTA TR 069 [2] застосовувався для анкерування поздовжньої арматури.

Підсилення плит/колон – метод розрахунку за EC2-1-1 застосовувався для підсилення за рахунок зсувного тертя.



Примітка. pz Hilti's PROFIS Engineering використовувалося для підвищення продуктивності проєктування.

Рис. 10.2 — Специфікація креслення проєкту (Nathani Heights)

Загальне рішення та переваги

Програмне забезпечення: PROFIS Engineering використовувалося проєктувальником для підвищення ефективності розрахунків.

Обладнання: Hilti RE 500 використовувався для встановлення арматури та реалізації конструктивного рішення. Зниження вартості стало можливим завдяки оптимізованій глибині анкерування (див. рис. 10.2).

Послуги: Hilti підтримувала постійний контакт із проєктною командою, надаючи допомогу та підвищуючи ефективність рішень за допомогою методів проєктування EOTA TR 069 [2], методу Hilti та положень стандарту EC2-1-1 [1]. На будівельному майданчику також проводилися випробування на висмикування як допоміжна перевірка для підтвердження правильності встановлення, виконаного командою з реалізації проєкту, у межах контролю навантаження за розрахунком.

Навчання: Hilti провела навчальні сесії з монтажу безпосередньо на об'єктах.

10.2 Підсилення конструкції школи на сейсмічні дії, Болонья, Італія

Сейсмічне підсилення середньої школи “Marco Polo” у місті Кревалкорє (Болонья, Італія) (див. рис. 10.3).



а) Зовнішній вигляд



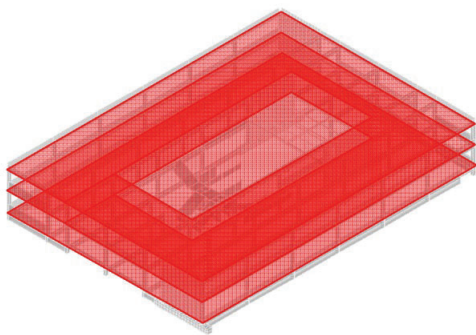
б) Будівля після сейсмічного підсилення

Рис. 10.3 — Середня школа “Marco Polo” у Кревалкорє (Болонья, Італія) після проведення сейсмічного підсилення

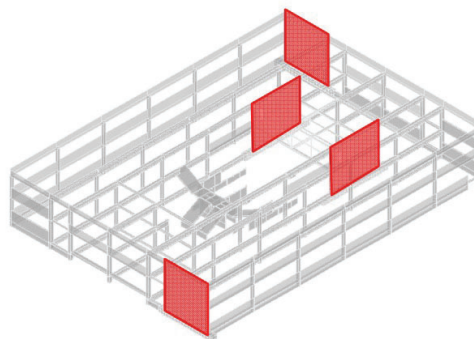
Постановка проблеми та мета

Будівля зазнала значних пошкоджень під час землетрусу в Емілії у 2012 році. Гнучка, частково збірна конструкція залишилася переважно неушкодженою після сейсмічної події, проте неструктурні елементи були серйозно пошкоджені. Тому було прийнято рішення підсилити та укріпити існуючу конструкцію. Основними заходами сейсмічного підсилення стали жорсткість перекриттів і додавання зрізових стін-заповнювачів (див. рис. 10.4). Проведене підсилення збільшило сейсмостійкість будівлі з 10% до 110% порівняно з вимогами до сучасних шкільних будівель згідно з чинними нормами та стандартами.

Примітка. Виконане підсилення підвищило сейсмостійкість будівлі з 10% до 110% відповідно до застосованих норм і стандартів.



а) Схематичний вигляд перекриттів



б) Розташування нових зрізових стін-заповнювачів

Рис. 10.4 — Схематичний вигляд підсилених перекриттів і зрізових стін-заповнювачів

Підхід (Проектування та рішення)

Пост-встановлена арматура з використанням HIT-RE 500 застосовувалася для створення шару бетону на перекриттях, а також для з'єднання з навколишніми стінами (рис. 10.5) і для приєднання зрізових стін-заповнювачів до наявних залізобетонних рам (рис. 10.6).

Використані методи розрахунку:

EN 1992-1-1, EN 1998-1 та національні нормативи



а) Бетонна накладка на існуючих перекриттях



б) З'єднання накладки з периметральними стінами

Рис. 10.5 — Улаштування бетонної накладки



а) Кутові стіни



б) Внутрішні стіни

Рис. 10.6 — Додавання нових зрізових стін-заповнювачів

Загальне рішення та переваги

Обладнання: використання розчину (Hilti RE 500) та інструментів для встановлення (система Hilti SafeSet™, бурові коронки тощо).

Програмне забезпечення: PROFIS Engineering використовувалося для проектування конструктивних з'єднань.

Примітка. Технологія Hilti SafeSet™ застосовувалася для безпечного та швидкого монтажу арматури.

10.3 The Exchange 106, Куала-Лумпур, Малайзія

The Exchange 106 — це розкішний надвисокий хмарочос зі змішаними функціями, висотою 454 м, розташований у діловому районі TRX міста Куала-Лумпур, Малайзія. Будівництво хмарочоса було завершено у 2019 році.

Постановка проблеми та мета

Стіни ядра ліфтів зазвичай виконуються з використанням опалубних технологій, які спрощують процес і прискорюють виконання робіт. Метою будівельної команди було забезпечити простіше й швидше конструктивне з'єднання всіх плит перекриття зі стінами ядра ліфтів за допомогою пост-встановленої арматури (див. рис. 10.7). Таким чином, потребу у випусках закладених стрижнів, що виступають зі стін ядра, було усунуто.



а) Зовнішній вигляд



б) Монтаж пост-встановленої арматури для з'єднання плити зі стіною



в) Огляд монтажу пост-встановленої арматури на об'єкті

Рис. 10.7 — The Exchange 106 (багатофункціональний хмарочос)

Підхід (Проектування та рішення)

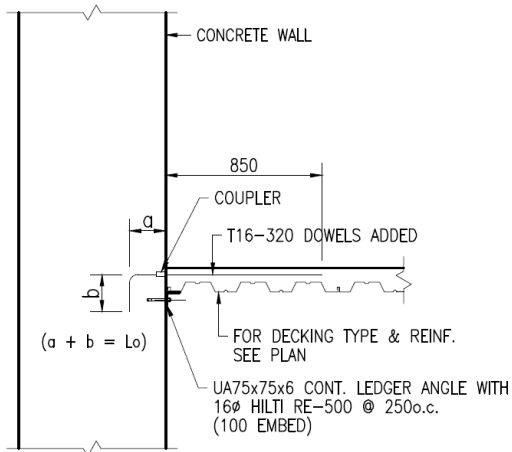
- Оскільки понад 100 плит перекриття потрібно було конструктивно з'єднати зі стінами ядра за допомогою пост-встановленої арматури, оптимізація глибини анкерування мала вирішальне значення для проектної команди та будівельників, щоб знизити витрати.
- Глибину анкерування пост-встановленої арматури було оптимізовано за методом Hilti, щоб використати підвищену міцність зчеплення порівняно з обмеженнями, визначеними стандартом EC2-1-1 [1].
- Програмне забезпечення Hilti PROFIS Engineering використовувалося для оптимізації розрахунків і підготовки проектної документації.

Метод проектування, що застосовувався: метод Hilti.

- Було виконано перевірку перерізів наявних елементів, включно з оцінкою поведінки при впливі вогню. Обраний розчин (Hilti HIT-RE 500) вимагав звіту про вогневі випробування, проведеного незалежною лабораторією відповідно до технічних вимог, і Hilti надала відповідні документи для підтвердження відповідності.

Використані методи розрахунку

Метод Hilti — оптимізована глибина анкерування для з'єднань плит перекриття зі стінами ліфтового ядра (див. рис. 10.8).



NOTE:
DETAILS SHOWS PARALLEL TO CONCRETE WALL CONDITION.
DECK PERPENDICULAR TO WALL CONDITION IS SIMILAR.

Рис. 10.8 — Конструкторська схема з технічними характеристиками (The Exchange 106)

Загальне рішення та переваги

Програмне забезпечення: PROFIS Engineering використовувалося для підвищення ефективності проектування.

Обладнання: HIT-RE 500, бурильні інструменти та свердла Hilti.

Послуги: випробування на об'єкті як допоміжний захід для замовника з метою підтвердження якості монтажу пост-встановленої арматури.

Переваги: зниження витрат завдяки оптимізації глибини анкерування, простий і швидкий монтаж.

Навчання: Hilti також провела навчальні сесії з монтажу безпосередньо на будівельних майданчиках.

10.4 Schott Solar Jena AXL 33, Німеччина

Посилення плит (нарощування бетону — зсувне тертя) у промисловій будівлі компанії Schott Solar, розташованій у місті Єна, Німеччина. Проєкт розроблений компанією HI Ваuprojekt GmbH, Єна, а монтаж завершено у 2007 році.

Постановка проблеми та мета

Компанія Schott Solar у місті Єна планувала встановити нові виробничі потужності. Для цього необхідно було забезпечити здатність плит перекриття витримувати значні навантаження від руху навантажувачів у триповерховій промисловій будівлі, зведеній у 1940-х роках. Несуча здатність ребристих залізобетонних плит товщиною 16 см була недостатньою. Тому було заплановано, спроектовано та виконано посилення плит перекриття (див. рис. 10.9).

Примітка. економія коштів для замовника становила близько €700 000.



а) Триповерхова промислова будівля



б) Шорстка поверхня плити



с) Посилення плити із зсувними з'єднувачами НСС-К

Рис. 10.9 — Промислова будівля Schott Solar, Єна, Німеччина

Підхід (Проєктування та рішення)

- У співпраці з керівником проєкту та конструктивним інженером команда Hilti розробила ефективне та швидке рішення, оскільки демонтаж плит спричинив би значно більші витрати часу та коштів.
- Площа плит 3500 м² була посилена за допомогою зсувних з'єднувачів Hilti HCC-K.
- Для швидшої підготовки отворів було використано бурильні коронки Hilti.
- Клейовий склад HIT-RE 500 застосовувався для надійного кріплення зсувних з'єднувачів до наявних плит перекриття.
- Це рішення виявилось найекономічнішим, оскільки плити перекриття не демонтувалися та не відновлювалися заново.

Використані методи розрахунку

Посилення плит — метод Hilti використовувався для застосування зсувного тертя.

Загальне рішення та переваги

Проєктна та інженерна підтримка: надана командою Hilti.

Продуктивність: плановане швидше відновлення виробництва стало можливим завдяки впровадженому рішення. Економія коштів для клієнта становила близько €700 000.

Обладнання: Зсувні з'єднувачі Hilti HCC-K 10×200 мм

Клейовий склад Hilti HIT-RE 500

Свердла Hilti TE-C3X для швидкого та ефективного свердління отворів у бетонних плитах.

10.5 Реконструкція мосту Гумбольдта, Потсдам, Німеччина

Було виконано реконструкцію та відновлення прогонової та опорної частин, а також перепланування мосту Гумбольдта та суміжної будівлі. Проєктування і планування виконували інженери-конструктори Martin Krone, Берлін. Роботи завершено у 2007 році.

Постановка проблеми та мета

Міст Гумбольдта, розташований у місті Потсдам (Німеччина), використовувався як автомобільним, так і трамвайним рухом. Реконструкція мосту та його опор була виконана як процедура модернізації, що вимагало перенесення трамвайної колії. Посилення виконувалося шляхом укріплення коробчастих балок мосту зсувними з'єднувачами НСС-К, а також посилення конструкції опор за допомогою пост-встановленої арматури (див. рис. 10.10).



а) Міст, що підлягає реконструкції



б) Посилення коробчастої балки мосту зсувними з'єднувачами НСС-К



с) Опорна конструкція з пост-встановленою арматурою

Рис. 10.10 — Реконструкція мосту Гумбольдта, Потсдам, Німеччина

Підхід (проєктування та рішення)

- Модернізацію наявного мосту було вирішено виконати через оновлення вимог нормативів.
- Спільно з Hilti та генеральним підрядником інженерне бюро розробило процедуру проєктування та виконання робіт із посилення мостової конструкції.
- Проєктна команда застосувала узгоджену систему рішень, погоджену з будівельним наглядом.
- Міст було посилено в зоні коробчастих балок шляхом улаштування бетонного шару зсувного тертя з використанням з'єднувачів Hilti HCC-K (див. рис. 10.10b).
- Опорні частини були посилені за допомогою з'єднання додаткового армування системою Hilti пост-встановленої арматури (див. рис. 10.10c).

Використані методи розрахунку

Посилення коробчастих балок мосту – метод Hilti, використовувався для нарощування бетону.

Опорна конструкція – Пост-встановлена арматура для посилення опор згідно з національним стандартом залізобетону

Загальне рішення та переваги

Інженерна підтримка: Hilti надала технічний супровід і консультації.

Обладнання: Зсувні з'єднувачі Hilti HCC-K 10×120 мм і HCC-K 10×180 мм; Клейовий склад Hilti HIT-RE 500

Навчання: Контроль якості забезпечувався шляхом навчання монтажного персоналу безпосередньо на будівельному майданчику.

АВТОРИ

Kumaraguru Selvakumarasami



Кумарагуру Селвакумарасамі здобув ступінь магістра цивільного будівництва в Індійському технологічному інституті Мадраса (Індія), захистивши дисертацію з теми підсилення конструктивних елементів із використанням сучасних композитів. Працював інженером-конструктором протягом трьох років, займаючись проектуванням сталевих і бетонних споруд, після чого два роки обіймав посаду менеджера з контролю якості будівництва на проєктних об'єктах в Індії. Наразі обіймає посаду технічного менеджера з інженерного контенту в Hilti. Його професійні інтереси охоплюють підсилення конструкцій, параметричне проектування та розрахунок висотних будівель.

Giovacchino Genesisio



Джоваккіно Генезіо здобув освіту за спеціальністю будівельна механіка в Університеті Флоренції (Італія) та отримав ступінь доктора філософії в Університеті Штутгарта (Німеччина), де досліджував сейсмічну оцінку та підсилення залізобетонних конструкцій. П'ять років працював консультантом, займаючись кваліфікацією, проектуванням, навчанням і контролем якості систем кріплення. Наразі обіймає посаду керівника групи з інженерного контенту в Hilti. Його сфера інтересів включає з'єднання бетон-до-бетону, сейсмічне підсилення та технології кріплення. Є автором і співавтором кількох наукових публікацій із цих тем.

ПОДЯКИ

Автори висловлюють щире подяку всім співробітникам Hilti, які долучилися до створення цього довідника щодо з'єднань бетон-до-бетону. Наведений нижче список не є вичерпним, оскільки в підготовці матеріалів узяли участь численні фахівці:

Зміст

Philipp Grosser, Laura Giulietti, Amol Singh, Daphne Rocha, Daniel Ruiz, Marsal Jordi, Riccardo Figoli, Robbi Gian-Fadri, Mareike Engel, Simon, Ruemmele, Coleman O'Toole, Debora Nikolaeva-Vasileva, Sergio-Miguel Saraiva-Rodrigues, Ezequiel Abachian, Hugo Batista, Lars Taenzer, Marien Adema, Jessica Dierker, Sumit Aryan, Priyanka Kothari, Vivek Krishnan, Abu Shibily, Mariia Gavrilina, Jens Pofahl, Deepesh Seth, Anita Negele, Jandre Van Zyl, Jörg Appl, Julia von der Warth, Praveen Mishra, Pratyansh Kumar Acharya, Arun Kumar C.A., Parshant Sharma

Референс-проєкти та фото

Divyansh Sharma, Raymond Chong, Thomas Luetzow, Gautam Dhyani, Eleonora Salerno

ДЖЕРЕЛА

- [1] EN 1992-1-1:2004-12: Eurocode 2 - Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels: CEN, 2004.
- [2] EOTA TR 069: Design method for anchorage of post-installed reinforcing bars (rebars) with improved bond-splitting behaviour as compared to EN 1992-1-1, Brussels: EOTA, 2021.
- [3] EN 1992-4:2018: Eurocode 2 - Design of concrete structures - Part 4: Design of fastenings for use in concrete, Brussels: CEN, 2018.
- [4] EOTA TR 066: Design and requirements for construction works of post-installed shear connection for two concrete layers, Brussels: EOTA, 2022.
- [5] H. Spieth, Tragverhalten und Bemessung von eingemörtelten Bewehrungsstäben (Behaviour and design of post-installed reinforcing bars), in German, Stuttgart: IWB, Universität Stuttgart, 2002.
- [6] I. Simons, Verbundverhalten von eingemörtelten Bewehrungsstäben unter zyklischer Beanspruchung (Bond behavior of post-installed reinforcing bars subjected to cyclic loading), in German, Stuttgart: IWB, University of Stuttgart, 2007.
- [7] EOTA EAD 330087-01-0601: Systems for post-installed rebar connections with mortar, Brussels: EOTA, December 2020.
- [8] EN 1992-1-2: 2004: Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design, Brussels: CEN, 2004.
- [9] EN 1998-1:2004: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Brussels: CEN, 2004.
- [10] EOTA EAD 332402-00-0601: Post-Installed Reinforcing Bar (Rebar) Connections with Improved Bond-Splitting Behaviour Under Static Loading, Brussels: EOTA, October 2019 (pending for citation in OJEU).
- [11] EOTA EAD 332402-00-0601-v01: Post-installed reinforcing bar (Rebar) connections with improved bond-splitting behaviour under static loading: 100 years working life, Brussels: EOTA, August 2020 (pending for citation in OJEU).
- [12] EOTA EAD 332402-00-0601-v02: Post-installed reinforcing bar (Rebar) connections with improved bond-splitting behaviour under static loading and seismic action, Brussels: EOTA, November 2021 (Pending for citation in OJEU).
- [13] EOTA TR 023: Assessment of post-installed rebar connections, Brussels: EOTA, 2006.
- [14] N. Pinoteau, J. Heck, P. Rivillon, R. Avenel, P. Pimienta, T. Guillet und S. Remond, „Prediction of failure of a cantilever–wall connection using post-installed rebars under thermal loading,“ *Engineering Structures*, Bd. 56, p. 607–1619, 2013.
- [15] G. Genesio, R. Piccinin und J. Silva, „Qualification of a system for post-installed reinforcing bars under the rules established by EOTA and ICC-ES,“ in *3rd International Symposium on Connections between Steel and Concrete, September 27-29, 2017, Stuttgart, Germany, 2017.*

- [16] G. Genesio, R. Piccinin und S. Nerbano, „Seismic Assessment of Post-Installed Reinforcing Bars with Mortar Based on the European Organization of Technical Assessment,“ in *Workshop on the New Boundaries of Structural Concrete, September 19-20, 2019, Milan, Italy, 2019.*
- [17] EN 1504-6:2006 - Products and systems for the protection and repair of concrete structures –, Brussels: CEN, 2006.
- [18] EN 1766 Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Test methods - Reference concretes for testing, Brussels: CEN, 2017.
- [19] V. Mahadik., A. Sharma und J. Hofmann, „Cast-in and post-installed rebar anchorage systems in RC column foundation joints,“ *Engineering structures*, Bd. 238, 2021.
- [20] J. Rex, A. Sharma und J. Hofmann, „A new test specimen to investigate the bond behavior of post-installed reinforcing bars,“ *Structural Concrete*, Bd. 20, Nr. 2, pp. 583-596, 2019.
- [21] V. Mahadik, Post installed rebar end anchorages in reinforced concrete structural connections (PhD Thesis), Stuttgart: Institute of Construction Materials, University of Stuttgart, 2022.
- [22] V. Mahadik, A. Sharma und J. Hofmann, „Cast-in and post-installed rebar anchorage systems in RC column foundation joints: System specific assessment and design,“ *Engineering Structures*, Bd. 276, pp. 1-25, 2023.
- [23] EOTA EAD 332347-00-0601: Connector for strengthening of existing concrete structures by concrete overlay, Brussels: EOTA, March 2021.
- [24] EOTA EAD 332347-00-0601-v01: Variant: Connector for strengthening of existing concrete structures by concrete overlay: behavior under seismic action, Brussels: EOTA, Pending for citation in OJEU.
- [25] EOTA EAD 330499-01-0601: Bonded fasteners for use in concrete, Brussels: EOTA, December 2018.
- [26] EAD 330232-01-0601: Mechanical fasteners for use in concrete, Brussels: EOTA, December 2019.
- [27] EN 206:2013+A1:2016: Concrete - Specification, performance, production and conformity, Brussels: CEN, 2013.
- [28] EN 10080:2005: Steel for the reinforcement of concrete - Weldable reinforcing steel - General, Brussels: CEN, 2005.
- [29] ETA-11/0390: Post installed rebar connections diameter 8 to 25mm made with Hilti HIT-CT 1 injection mortar, Champs-sur-Marne: CSTB, 16.10.2019.
- [30] ETA-19/0600: Injection system Hilti HY 200-R V3 for rebar connections, Berlin: DIBt, 01.06.2022.
- [31] ETA-20/0540: Post installed rebar connections diameter 8 to 40 mm made with Hilti HIT-RE 500 V4 injection mortar for a service life of 100 years, Champs-sur-Marne: CSTB, 27.11.2020.
- [32] ETA-21/0624: Post installed rebar connections diameter 8 to 40 mm made with Hilti HIT-FP 700 R injection mortar for a working life of 100 years, under static and seismic loading, Champs-sur-Marne: CSTB, 16.12.2022.
- [33] H. Kupfer, F. Münger, J. Kunz und A. Jähring, „Nachträglich verankerte gerade Bewehrungsstäbe bei Rahmenknoten (Post-Installed Straight Rebars for Frame Nodes), in German,“ *Bauingenieur*, Bd. 78, pp. 24-38, 2003.

- [34] B. S. Hamad., R. Al Hammoud und J. Kunz, „Evaluation of Bond Strength of Bonded-In or Post-Installed Reinforcement,“ *ACI Structural Journal*, Nr. March-April, pp. 207-218, 2006.
- [35] fib Model Code 2010, Lausanne, 2013.
- [36] fib Bulletin 72: Bond and anchorage of embedded reinforcement: Background to the fib Model Code for concrete structures 2010, Lausanne, 2014.
- [37] ETA-20/0539: Post-installed reinforcing bar (Rebar) connections with improved bond-splitting behaviour under static loading and seismic action for a working life of 100 years, Champs-sur-Marne: CSTB, 05.07.2022.
- [38] DIN EN 1992-1-1/NA: National Annex – Nationally determined parameters – Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, Berlin: DIN, 2013.
- [39] N. Randl, „Design recommendations for interface shear transfer in fib Model Code 2010,“ *Structural Concrete*, Bd. 3, Nr. 14, pp. 230-241, 2013.
- [40] J. Heinrich, T. Zenk und R. Maurer, „Bewehrte Beton-Beton-Verbundfugen bei nachträglicher Verstärkung: statische Tragfähigkeit (Reinforced concrete-to-concrete interfaces in case of post-installed strengthening: static resistance, in German),“ *Bauingenieur*, Bd. 94, Nr. 11, pp. 425-435, 2019.
- [41] Bewehren von Stahlbetontragwerken nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01, Arbeitsblätter, Arbeitsblatt 11: Unterstützungen für die obere Bewehrung (in German), Duesseldorf: INSTITUT FÜR STAHLBETONBEWEHRUNG e.V., 2002.
- [42] EN 1992-2: Eurocode 2 - Design of concrete structures - Concrete bridges - Design and detailing rules, Brussels: CEN, 2005.
- [43] J. Heinrich, T. Zenk und R. Mauerer, „Bewehrte Beton-Beton-Verbundfugen bei nachträglicher Verstärkung: Ermüdungsbeanspruchung (Reinforced concrete-to-concrete interfaces in case of post-installed strengthening: fatigue action, in German),“ *Bauingenieur*, Bd. 95, Nr. 4, pp. 115-125, 2020.
- [44] V. Palieraki, E. Vintzileou und J. F. Silva, „Behavior of RC interfaces subjected to shear: State-of-the-art review,“ *Construction and Building Materials*, 2021.
- [45] V. Palieraki, E. Vintzileou und J. F. Silva, „Interface Shear Strength under Monotonic and Cyclic Loading,“ *ACI Structural journal*, Bd. 119, Nr. 3, pp. 17-28, 2022.
- [46] ETA-18/1022: Connector Hilti HCC-B with injection mortar Hilti HIT-RE 500 V3 and Hilti HIT-RE 500 V4, Berlin: DIBt, 05.05.2023.
- [47] ETA-21/0969: Connector for Strengthening of existing concrete Hilti HUS4-H, Berlin: DIBt, 16.05.2022.
- [48] ETA-20/0541: Injection system Hilti HIT-RE 500 V4, Bonded fastener with threaded rods, rebar, internally threaded sleeve HIS-(R)N and Hilti Tension anchor HZA(-R) for use in concrete for a working life of 50 and 100 years, Champs-sur-marne: CSTB, 09.06.2023.
- [49] J. Silva, „Overhead Installation of Injection-Type Adhesive Anchors - An evaluation of two available methods and recommendations for ACI's installer,“ *Concrete International*, pp. 40-49, July 2016.
- [50] EN 13036-2:2010: Road and airfield surface characteristic - Test methods: part 1: Measurement of pavement surface macrotexture depth using volumetric patch technique, Brussels: CEN, 2010.

- [51] RVS 15.02.34: Bemessung und Ausführung von Aufbeton auf Fahrbahnplatten (Dimensioning and calculation aid design and detailing of concrete overlays), in German, Vienna: Österreichische Forschungsgesellschaft Strasse - Schiene - Verkehr (Austrian research association Roads - Railways - Traffic), 2011.
- [52] W. Fuchs und J. Hofmann, „Post-installed reinforcing bars – Requirements for their reliable use,“ *Developments in the Built Environment*, Bd. 5, 2021.
- [53] J. Hofmann, V. Mahadik und A. Sharma, „Assessment framework in background of TR069,“ in *5th Int. Conference Bond in Concrete, July 25-27*, Stuttgart, Germany, 2022.
- [54] EN 12350-5:2009: Testing fresh concrete - Part 5: Flow table test, Brussels: CEN, 2009.
- [55] ISO 834-1: Fire-resistance tests - Elements of building construction, Part 1: general requirements, Geneva: Switzerland, 1999.



Hilti Aktiengesellschaft
9494 Schaan, Liechtenstein
P +423-234 2965

www.facebook.com/hiltigroup
www.hilti.group