НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ЄВРОКОД 3. ПРОЕКТУВАННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Частина 1-3. Загальні правила. Додаткові правила для холодноформованих елементів і профільованих листів (EN 1993-1-3:2006 IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1993-1-3:2012

Київ
Мінрегіон України
2013

ПЕРЕДМОВА

1 РОЗРОБЛЕНО: Товариство з обмеженою відповідальністю "Український інститут сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського"

ПЕРЕКЛАД І НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ РЕДАГУВАННЯ: **В. Адріанов** (науковий керівник); **І. Волков**; **В. Гордеєв**, д-р техн. наук; **А. Жагун-Ліннік**; **В. Трохимець**; **О. Шимановський**, д-р техн. наук

2 ПРИЙНЯТО ТА НАДАНО ЧИННОСТІ:
наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 21.12.2012 р. № 653, чинний з 2013-07-01

3 Національний стандарт відповідає EN 1993-1-3:2006 Part 1-3: General rules – Supplementary rules for cold-formed members and sheeting (Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-3. Загальні правила. Додаткові правила для холодноформованих елементів і профільованих листів) з технічною поправкою EN 1993-1-3:2006/AC:2009.

Ступінь відповідності – ідентичний (IDT).

Переклад з англійської (en)

Цей стандарт видано з дозволу CEN

4 УВЕДЕНО ВПЕРШЕ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП

Цей стандарт є тотожним перекладом EN 1993-1-3:2006 Eurocode 3 – Design of Steel Structures - Part 1-3: General rules. Supplementary rules for cold-formed members and sheeting (Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-3. Загальні правила. Додаткові правила для холодноформованих елементів і профільованих листів).

EN 1993-1-3:2006 підготовлено Технічним комітетом CEN TC 250, секретаріатом якого керує BSI.

До національного стандарту долучено англомовний текст.

На території України як національний стандарт діє ліва колонка тексту ДСТУ-Н Б EN 1993-1-3:2012 "Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-3. Загальні правила. Додаткові правила для холодноформованих елементів і профільованих листів (EN 1993-1-3:2006, IDT)", яка викладена українською мовою.

Відповідно до ДБН А.1.1-1-2009 "Система стандартизації та нормування в будівництві. Основні положення" цей стандарт відноситься до комплексу В.2.6 "Конструкції будинків і споруд".

Стандарт містить вимоги, які відповідають чинному законодавству.

Науково-технічна організація, відповідальна за цей стандарт, – Товариство з обмеженою відповідальністю "Український інститут сталевих конструкцій ім. В. М. Шимановського".

До стандарту внесено такі редакційні зміни:

– слова "цей європейський стандарт" замінено на "цей стандарт";

– структурні елементи стандарту – "Титульний аркуш", "Передмова", "Національний вступ" – оформлено згідно з вимогами національної стандартизації України;

– з "Передмови до EN 1993-1-3" у цей "Національний вступ" взята та частина, що безпосередньо стосується цього стандарту.

Перелік національних стандартів України (ДСТУ), ідентичних МС, посилання на які є в EN 1993-1-3:2006, наведено в додатку НА.

Копії не прийнятих в Україні як національні нормативних документів, на які є посилання в цьому стандарті, можна отримати в Головному фонді нормативних документів.

Технічна поправка EN 1993-1-3:2006/AC:2009 до EN 1993-1-3:2006 подана в кінці ДСТУ-Н Б EN 1993-1-3:2012 після додатка НА.

ЗМІСТ

С.

Вступ VI
Національний додаток до EN 1993-1-3 . . VI
1 Вступ IV
1.1 Сфера застосування 1
1.2 Нормативні посилання 2
1.3 Терміни та визначення 4
1.4 Познаки 5
1.5 Термінологія і умовні познаки для параметрів 6
2 Основи проектування 10
3 Матеріали 12
3.1 Загальні положення 12
3.2 Конструкційні сталі 14
3.3 Типи з'єднань 18
4 Довговічність 19
5 Конструкційний розрахунок 19
5.1 Вплив кутів згину 19
5.2 Геометричні співвідношення . . . 22
5.3 Моделювання розрахункових схем 24
5.4 Кривина полиць 25
5.5 Місцева та згинальна втрата стійкості 26
5.6 Втрата стійкості металевих листів між елементами кріплення 49
6 Граничні стани за несучою здатністю 49
6.1 Опір поперечному перерізу 49
6.2 Опір втраті стійкості 69
6.3 Осьовий розтяг зі згином 74
7 Граничні стани експлуатаційної придатності 74
7.1 Загальні положення 74
7.2 Пластичні деформації 75
7.3 Прогини 75
8 Розрахунок з'єднань 75
8.1 Загальні положення 75
8.2 З'єднання стиснутих елементів, кінцеві та внапуск 76
8.3 З'єднання на механічних засобах кріплення 77
8.4 Точкове зварювання 86
8.5 Зварювання внапуск 88

CONTENTS

page

Introduction VI
National annex for EN 1993-1-3 VI
1 Introduction IV
1.1 Scope 1
1.2 Normative references 2
1.3 Terms and definitions 4
1.4 Symbols 5
1.5 Terminology and conventions for dimensions 6
2 Basis of design 10
3 Materials 12
3.1 General 12
3.2 Structural steel 14
3.3 Connecting devices 18
4 Durability 19
5 Structural analysis 19
5.1 Influence of rounded corners . . . 19
5.2 Geometrical proportions 22
5.3 Structural modelling for analysis 24
5.4 Flange curling 25
5.5 Local and distortional buckling . . 26
5.6 Plate buckling between fasteners 49
6 Ultimate limit states 49
6.1 Resistance of cross-sections . . . 49
6.2 Buckling resistance 69
6.3 Bending and axial tension 74
7 Serviceability limit states 74
7.1 General 74
7.2 Plastic deformation 75
7.3 Deflections 75
8 Design of joints 75
8.1 General 75
8.2 Splices and connections of members subject to compression . . . 76
8.3 Connections with mechanical fasteners 77
8.4 Spot welds 86
8.5 Lap welds 88

9 Розрахунок за результатами випробувань 92

10 Спеціальні правила для прогонів, касетних профілів та профлистів . . 93

10.1 Балки розкріплені настилом . . . 93

10.2 Касетні профілі з розв'язкою настилом 116

10.3 Врахування діафрагм жорсткості при проектуванні 120

10.4 Перфорований настил 126

Додаток А (обов'язковий)
Методи випробувань 127

А.1 Загальні положення 127

А.2 Випробування профлистів і касетних профілів 127

А.3 Випробування холодноформованих елементів 132

А.4 Випробування конструкцій та їх частин 138

А.5 Випробування балок, закріплених від скручування 141

А.6 Обробка результатів випробувань 147

Додаток В (довідковий)
Довговічність кріпильних виробів . . 154

Додаток С (довідковий)
Константи поперечних перерізів тонкостінних профілів 157

С.1 Відкритий профіль 157

С.2 Константи поперечних перерізів для профілів з відгинами 160

С.3 Крутильні константи і центр зсуву профілю з замкненою частиною . . . 160

Додаток Д (довідковий)
Визначення ефективних ширини і товщини крайових елементів змішаним методом 162

Додаток Е (довідковий)
Наближений розрахунок прогонів . . 164

Додаток НА (довідковий)
Перелік національних стандартів України (ДСТУ), ідентичних міждержавним стандартам, посилання на які є в EN 1993-1-3:2006 168

Технічна поправка 170

9 Design assisted by testing 92

10 Special considerations for purlins, liner trays and sheetings 93

10.1 Beams restrained by sheeting . . 93

10.2 Liner trays restrained by sheeting 116

10.3 Stressed skin design 120

10.4 Perforated sheeting 126

Annex A [normative] –
Testing procedures 127

A.1 General 127

A.2 Tests on profiled sheets and liner trays 127

A.3 Tests on cold-formed members . 132

A.4 Tests on structures and portions of structures 138

A.5 Tests on torsionally restrained beams 141

A.6 Evaluation of test results 147

Annex B [informative] –
Durability of fasteners 154

Annex C [informative] –
Cross section constants for thin-walled cross sections 157

C.1 Open cross sections 157

C.2 Cross section constants for open cross section with branches 160

C.3 Torsion constant and shear centre of cross section with closed part . . 160

Annex D [informative] –
Mixed effective width/effective thickness method for outstand elements 162

Annex E [Informative] –
Simplified design for purlins 164

Technical amendment 170

ВСТУП

Цей Європейський стандарт EN 1993-1-3, Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-3. Загальні правила. Додаткові правила для холодноформованих профілів і профільованих листів, розроблений Технічним комітетом CEN/TC 250 "Будівельні Єврокоди", секретаріат якого знаходиться при BS1. CEN/TC 250 несе повну відповідальність за усі будівельні Єврокоди.

Цей Європейський стандарт може отримати статус національного стандарту шляхом публікації ідентичного тексту або через отримання підтвердження до квітня 2007 року. Всі національні стандарти, що суперечать йому, повинні бути скасовані до березня 2010 року.

Цей стандарт замінює попередній стандарт ENV 1993-1-3.

У відповідності з внутрішніми постановами CEN/CENELEC національні організації зі стандартизації наступних країн зобов'язані впровадити цей Європейський стандарт: Австрія, Бельгія, Велика Британія, Греція, Данія, Естонія, Ірландія, Ісландія, Іспанія, Італія, Кіпр, Латвія, Литва, Люксембург, Мальта, Нідерланди, Німеччина, Норвегія, Польща, Португалія, Румунія, Словаччина, Словенія, Угорщина, Фінляндія, Франція, Чеська Республіка Швейцарія та Швеція.

НАЦІОНАЛЬНИЙ ДОДАТОК ДО EN 1993-1-3

В цьому стандарті вказано де, як альтернатива наведеним процедурам, може бути зроблений національний вибір. Для цього в національному стандарті, ідентичному EN 1993-1-3, повинен бути Національний додаток з визначеними національними параметрами, які необхідно використовувати при проектуванні сталевих конструкцій будівель і споруд.

EN 1993-1-3 допускає національний вибір в таких пунктах:

– 2(3)P
– 2(5)
– 3.1(3), примітки 1 і 2
– 3.2.4(1)
– 5.3(4)
– 8.3(5)
– 8.3(13), таблиця 8.1
– 8.3(13), таблиця 8.2
– 8.3(13), таблиця 8.3

Foreword

This European Standard EN 1993-1-3, Eurocode 3: Design of steel structures: Part 1-3 General rules – Supplementary rules for cold formed members and sheeting, has been prepared by Technical Committee CEN/TC250 " Structural Eurocodes ", the Secretariat of which is held by BSI. CEN/TC250 is responsible for all Structural Eurocodes.

This European Standard shall be given the status of a National Standard, either by publication of an identical text or by endorsement, at the latest by April 2007, and conflicting National Standards shall be withdrawn at latest by March 2010.

This Eurocode supersedes ENV 1993-1-3.

According to the CEN-CENELEC Internal Regulations, the National Standard Organizations of the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.

National annex for EN 1993-1-3

This standard gives alternative procedures, values and recommendations for classes with notes indicating where national choices may have to be made. Therefore the National Standard implementing EN 1993-1-3 should have a National Annex containing all Nationally Determined Parameters to be used for the design of steel structures to be constructed in the relevant country.

National choice is allowed in EN 1993-1-3 through clauses:

– 2(3)P
– 2(5)
– 3.1(3) Note 1 and Note 2
– 3.2.4(1)
– 5.3(4)
– 8.3(5)
– 8.3(13), Table 8.1
– 8.3(13), Table 8.2
– 8.3(13), Table 8.3

– 8.3(13), таблиця 8.4
– 8.4(5)
– 8.5.1(4)
– 9(2)
– 10.1.1(1)
– 10.1.4.2(1)
– A.1(1), примітка 2
– A.1(1), примітка 3
– A.6.4(4)
– E(1).

– 8.3(13), Table 8.4
– 8.4(5)
– 8.5.1(4)
– 9(2)
– 10.1.1(1)
– 10.1.4.2(1)
– A.1(1), NOTE 2
– A.1(1), NOTE 3
– A.6.4(4)
– E(1)

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ЄВРОКОД 3. ПРОЕКТУВАННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ
Частина 1-3. Загальні правила. Додаткові правила для холодноформованих елементів і профільованих листів

ЕВРОКОД 3. ПРОЕКТИРОРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
Часть 1-3. Общие правила. Дополнительные правила для холодноформованных элементов и профилированных листов

EUROCODE 3 – DESIGN OF STEEL STRUCTURES
Part 1-3: General rules. Supplementary rules for cold-formed members and sheeting

Чинний від 2013-07-01

1 ВСТУП

1.1 Сфера застосування

(1) Стандарт EN 1993-1-3 встановлює вимоги до проектування холодноформованих тонкостінних елементів і профільованих листів. Вимоги можна застосовувати і для холодноформованих сталевих виробів із тонких гарячеабо холоднокатаних листів або смуг без покриття або з покриттям, що виготовляються шляхом холодної прокатки або пресування. Вимогами цього стандарту можна користуватись і для розрахунку профільованих сталевих листів, які використовуються як опалубка при влаштуванні сталезалізобетонних плит, див. EN 1994. Вимоги щодо виготовлення сталевих конструкцій з холодноформованих елементів і листів наведено в EN 1090.

Примітка. Правила цієї частини доповнюють інші частини EN 1993-1.

(2) У цьому стандарті надається також методика проектування з урахуванням роботи обшивки при використанні сталевого настилу в якості діафрагми жорсткості.

(3) Ця частина не розповсюджується на холодноформовані профілі круглого або прямокутного перерізу, що включені в EN 10219, посилання на які наведено в EN 1993-1-1 та EN 1993-1-8.

(4) В EN 1993-1-3 наведено методи проектування за результатами розрахунку і випробувань. Метод проектування за результатами розрахунку можна застосовувати тільки для

1 INTRODUCTION

1.1 Scope

(1) EN 1993-1-3 gives design requirements for cold-formed thin gauge members and sheeting. It applies to cold-formed steel products made from coated or uncoated thin gauge hot or cold rolled sheet or strip, that have been cold-formed by such processes as cold-rolled forming or press-braking. It may also be used for the design of profiled steel sheeting for composite steel and concrete slabs at the construction stage, see EN 1994. The execution of steel structures made of cold-formed thin gauge members and sheeting is covered in EN 1090.

NOTE: The rules in this part complement the rules in other parts of EN 1993-1.

(2) Methods are also given for stressed-skin design using steel sheeting as a structural diaphragm.

(3) This part does not apply to cold-formed circular and rectangular structural hollow sections supplied to EN 10219, for which reference should be made to EN 1993-1-1 and EN 1993-1-8.

(4) EN 1993-1-3 gives methods for design by calculation and for design assisted by testing. The methods for design by calculation apply only within stated ranges of material properties and

Видання офіційне

конструкцій, якості матеріалів і геометричні характеристики яких знаходяться в області, де накопичений значний досвід і доступні експериментальні дані. Ці обмеження не стосуються проектування на основі випробувань.

(5) EN 1993-1-3 не розповсюджується на пристрої для передачі навантажень під час випробувань та навантажень, що виникають в процесі виготовлення і технічного обслуговування.

(6) Правила розрахунку, що наведені в цьому стандарті, можна застосовувати, якщо холодноформовані елементи за граничними відхилами відповідають EN 1090-2.

geometrical proportions for which sufficient experience and test evidence is available. These limitations do not apply to design assisted by testing.

(5) EN 1993-1-3 does not cover load arrangement for testing for loads during execution and maintenance.

(6) The calculation rules given in this standard are only valid if the tolerances of the cold formed members comply with EN 1090-2.

1.2 Нормативні посилання

Цей європейський стандарт містить умови інших стандартів, які наводяться в тексті. Для датованих посилань на публікації їх подальші зміни і доповнення не придатні для використання.

Тим не менш в частині угод, що базуються на цьому європейському стандарті, визначена можливість застосування більшості видань нижченаведених документів, на які є посилання. Для недатованих посилань дійсне останнє видання документа, на який посилаються.

EN 1993 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частини від 1-1 до 1-12;

EN 10002 Матеріали металеві. Випробування на розтяг. Частина 1. Метод випробувань (за температури навколишнього середовища);

EN 10025-1 Вироби гарячекатані із конструкційної сталі. Частина 1. Загальні умови постачання;

EN 10025-2 Вироби гарячекатані із конструкційної сталі. Частина 2. Технічні умови постачання нелегованих конструкційних сталей;

EN 10025-3 Вироби гарячекатані із конструкційної сталі. Частина 3. Технічні умови постачання для нормалізованих / нормалізованих під час прокатки зварюваних дрібнозернистих сталей;

EN 10025-4 Вироби гарячекатані із конструкційної сталі. Частина 4. Технічні умови постачання для термозміцнених під час прокатки зварюваних дрібнозернистих конструкційних сталей;

1.2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this European Standard. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not aply.

However, parties to agreements based on this European Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies.

EN 1993 Eurocode 3 – Design of steel structures Part 1-1 to part 1-12

EN 10002 Metallic materials – Tensile testing: Part 1: Method of test (at ambient temperature);

EN 10025-1 Hot-rolled products of structural steels – Part 1: General delivery conditions;

EN 10025-2 Hot-rolled products of structural steels – Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels;

EN 10025-3 Hot-rolled products of structural steels – Part 3: Technical delivery conditions for normalized / normalized rolled weldable fine grain structural steels;

EN 10025-4 Hot-rolled products of structural steels – Part 4: Technical delivery conditions for thermomechanical rolled weldable fine grain structural steels;

EN 10025-5 Вироби гарячекатані із конструкційної сталі. Частина 5. Технічні умови постачання конструкційних сталей підвищеної стійкості до атмосферної корозії;

EN 10143 Листова і штабова сталь з металевим неперервним гарячим покриттям. Допуски розмірів і форми;

EN 10149 Гарячекатані плоскі листи із високоміцної сталі для холодного профілювання. Частина 2. Умови постачання для нормалізованих / нормалізованих під час прокатки сталей. Частина 3. Умови постачання термозміцнених прокатних сталей;

EN 10204 Метали. Види контрольних документів (включаючи зміну А 1:1995);

EN 10268 Холоднокатані плоскі листи з високоміцних низьколегованих сталей для холодного профілювання. Загальні умови постачання;

EN 10292 Листова і штабова високоміцна сталь з гарячим покриттям для холодного профілювання. Технічні умови постачання;

EN 10326 Листова і штабова сталь з неперервним покриттям. Технічні умови постачання;

EN 10327 Листова і штабова маловуглецева сталь з неперервним покриттям для холодного профілювання. Технічні умови постачання;

EN-ISO 12944-2 Фарби і емалі. Захист сталевих конструкцій від корозії лакофарбовими покриттями. Частина 2. Класифікація навколишнього середовища (ISO 12944-2:1998);

EN 1090-2 Виготовлення сталевих і алюмінієвих конструкцій. Частина 2. Технічні вимоги до сталевих конструкцій:

EN 1994 Єврокод 4. Проектування сталебетонних конструкцій;

EN ISO 1478 Різь самонарізних ґвинтів;

EN ISO 1479 Самонарізні ґвинти з шестигранною головкою;

EN ISO 2702 Термооброблені сталеві самонарізні ґвинти. Механічні властивості;

EN ISO 7049 Самонарізні ґвинти з круглою головкою і хрестоподібним шліцем;

EN ISO 10684 Кріпильні вироби. Покриття глибокою гарячою гальванізацією

EN 10025-5 Hot-rolled products of structural steels – Part 5: Technical delivery conditions for structural steels with improved atmospheric corrosion resistance;

EN 10143 Continuously hot-dip metal coated steel sheet and strip – Tolerances on dimensions and shape;

EN 10149 Hot rolled flat products made of high yield strength steels for cold-forming:
Part 2: Delivery conditions for normalized/normalized rolled steels;
Part 3: Delivery conditions for thermomechanical rolled steels;

EN 10204 Metallic products. Types of inspection documents (includes amendment A 1:1995);

EN 10268 Cold-rolled flat products made of high yield strength micro-alloyed steels for cold forming – General delivery conditions;

EN 10292 Continuously hot-dip coated strip and sheet of steels with higher yield strength for cold forming – Technical delivery conditions;

EN 10326 Continuously hot-dip coated strip and sheet of structural steels – Technical delivery conditions;

EN 10327 Continuously hot-dip coated strip and sheet of low carbon steels for cold forming – Technical delivery conditions;

EN-ISO 12944-2 Paints and vanishes. Corrosion protection of steel structures by protective paint systems. Part 2: Classification of environments (ISO 12944-2:1998);

EN 1090-2 Execution of steel structures and aluminium structures. Part 2: Technical requirements for steel structures:

EN 1994 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures;

EN ISO 1478 Tapping screws thread;

EN ISO 1479 Hexagon head tapping screws;

EN ISO 2702 Heat-treated steel tapping screws – Mechanical properties;

EN ISO 7049 Cross recessed pan head tapping screws;

EN ISO 10684 Fasteners – hot deep galvanized coatings

ISO 4997 Холоднокатані листи із конструкційної сталі;

EN 508-1 Вироби із металевих листів для покрівлі. Технічні умови для самонесучих виробів із сталі, алюмінію або нержавіючої сталі. Частина 1. Сталь;

FEM 10.2.02 Європейська федерація стелажів, секція X, Обладнання і процеси складування, FEM 10.2.02, Проектування полиць сталевих стелажів, Норми проектування стелажів, квітень 2001. Версія 1.02.

ISO 4997 Cold reduced steel sheet of structural quality;

EN 508-1 Roofing products from metal sheet – Specification for self-supporting products of steel, aluminium or stainless steel sheet – Part 1: Steel;

FEM 10.2.02 Federation Europeenne de la manutention, Secion X, Equipment et proceedes de stockage, FEM 10.2.02, The design of static steel pallet racking, Racking design code, April 2001. Version 1.02.

1.3 Терміни та визначення

Додатково до термінів, наведених в EN 1993-1-1, в цьому стандарті прийняті такі терміни та визначення:

1.3.1 основний матеріал
Плоский сталевий лист, з якого шляхом холодного формування виготовляються холодноформовані профілі і профільовані листи

1.3.2 основна границя текучості
Границя текучості основного матеріалу при розтягу

1.3.3 діафрагмова робота
Робота обшивки на зсув у своїй площині

1.3.4 касетний профіль
Профільований лист з великими крайовими відгинами, які призначені для з'єднання профілів між собою і для формування площини з поздовжніми ребрами, які здатні підтримувати плоску частину профільованого листа, що знаходиться між ребрами

1.3.5 часткове закріплення
Обмеження поперечного чи кутового переміщення або деформацій кручення чи депланації елемента або його частини, яке аналогічно пружньо-податливій опорі підвищує опір втраті стійкості, але меншою мірою ніж жорстке закріплення

1.3.6 умовнана гнучкість
Нормоване безрозмірне значення гнучкості

1.3.7 закріплення
Обмеження поперечного чи кутового переміщення або деформацій кручення чи депланації елемента або його частини, яке підвищує опір втраті стійкості, аналогічно жорсткій опорі

1.3 Terms and definitions

Supplementary to EN 1993-1-1, for the purposes of this Part 1-3 of EN 1993, the following terms and definitions apply:

1.3.1 basic material
The flat sheet steel material out of which cold-formed sections and profiled sheets are made by cold-forming.

1.3.2 basic yield strength
The tensile yield strength of the basic material.

1.3.3 diaphragm action
Structural behaviour involving in-plane shear in the sheeting.

1.3.4 liner tray
Profiled sheet with large lipped edge stiffeners, suitable for interlocking with adjacent liner trays to form a plane of ribbed sheeting that is capable of supporting a parallel plane of profiled sheeting spanning perpendicular to the span of the liner trays.

1.3.5 partial restraint
Restriction of the lateral or rotational movement, or the torsional or warping deformation, of a member or element, that increases its buckling resistance in a similar way to a spring support, but to a lesser extent than a rigid support.

1.3.6 relative slenderness
A normalized non-dimensional slenderness ratio.

1.3.7 restraint
Restriction of the lateral or rotational movement, or the torsional or warping deformation, of a member or element, that increases its buckling resistance to the same extent as a rigid support.

1.3.8 проектування з урахуванням роботи обшивки

Метод проектування, що враховує внесок діафрагмової роботи обшивки у жорсткість та міцність конструкції

1.3.9 опора

Місце, в якому елемент може передавати сили або моменти на фундамент або на інші конструкційні елементи чи частини конструкції

1.3.10 номінальна товщина

Встановлювана середня товщина, що включає товщину шарів цинкового і інших металевих покриттів після прокатування, яка визнається постачальником сталі (t_{nom} не включає товщину органічних покриттів)

1.3.11 товщина сталевої основи листа

Номінальна товщина сталевого листа без урахування товщини шарів цинкового й інших металізованих покриттів (t_{cor})

1.3.12 розрахункова товщина

Товщина сталевої основи листа, яка використовується в розрахунку згідно з 1.5.3(6) та 3.2.4.

1.4 Познаки

(1) Додатково до наведених в EN 1993-1-1 використовуються такі основні познаки:

f_y – границя текучості

f_{ya} – середня границя текучості

f_{yb} – основна границя текучості

t – розрахункова товщина сталевої основи листа до холодного формування без урахування органічних і металевих покриттів

t_{nom} – номінальна товщина листа після формування з урахуванням цинкового й інших металевих покриттів, але без органічних покриттів

t_{cor} – номінальна товщина листа без цинкового і інших металевих покриттів

K – лінійна жорсткість в'язі

C – кутова жорсткість в'язі

(2) Додаткові познаки визначаються при першому згадуванні.

(3) Одна познака може мати декілька значень.

1.3.8 stressed-skin design

A design method that allows for the contribution made by diaphragm action in the sheeting to the stiffness and strength of a structure.

1.3.9 support

A location at which a member is able to transfer forces or moments to a foundation, or to another member or other structural component.

1.3.10 nominal thickness

A target average thickness inclusive zinc and other metallic coating layers when present rolled and defined by the steel supplier (t_{nom} not including organic coatings).

1.3.11 steel core thickness

A nominal thickness minus zinc and other metallic coating layers ($(t_{cor}$).

1.3.12 design thickness

the steel core thickness used in design by calculation according to 1.5.3(6) and 3.2.4.

1.4 Symbols

(1) In addition to those given in EN 1993-1-1, the following main symbols are used:

f_y yield strength

f_{ya} average yield strength

f_{yb} basic yield strength

t design core thickness of steel material before cold forming, exclusive of metal and organic coating

t_{nom} nominal sheet thickness after cold forming inclusive of zinc and other metallic coating not including organic coating

t_{cor} the nominal thickness minus zinc and other metallic coating

K spring stiffness for displacement

C spring stiffness for rotation

(2) Additional symbols are defined where they first occur.

(3) A symbol may have several meanings in this part.

1.5 Термінологія і умовні познаки для параметрів

1.5.1 *Форма перерізів*

(1) Холодноформовані елементи і профлисти мають постійну номінальну товщину із встановленими допусками по довжині, але поперечний переріз може бути незмінним або змінним.

(2) Поперечні перерізи холодноформованих елементів і профлистів складаються в основному з декількох прямолінійних ділянок, об'єднаних криволінійними ділянками.

(3) Типові форми перерізів холодноформованих елементів наведено на рисунку 1.1.

Примітка. Методи розрахунку, що наведені в частині 1-3 EN 1993, застосовуються не для всіх форм або складених перерізів, які наведено на рисунках 1.1 і 1.2.

1.5 Terminology and conventions for dimensions

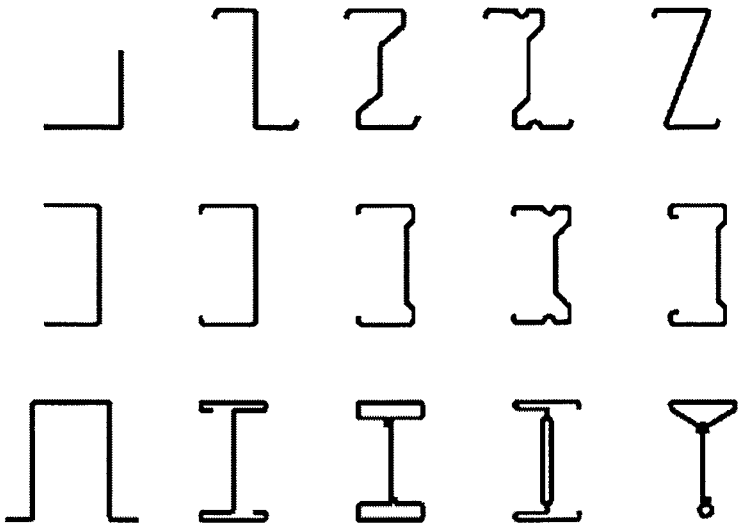
1.5.1 *Form of sections*

(1) Cold-formed members and profiled sheets have within the permitted tolerances a constant nominal thickness over their entire length and may have either a uniform cross section or a tapering cross section along their length.

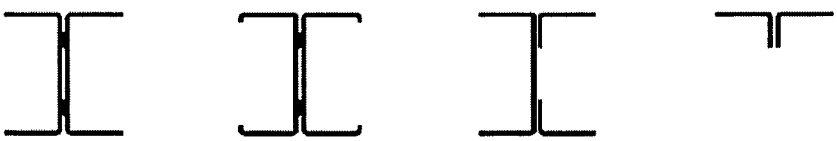
(2) The cross-sections of cold-formed members and profiled sheets essentially comprise a number of plane elements joined by curved elements.

(3) Typical forms of sections for cold-formed members are shown in figure 1.1.

NOTE: The calculation methods of this Part 1-3 of EN 1993 does not cover all the cases shown in figures 1.1-1.2.



a – одиночні профілі відкритого перерізу
a) Single open sections



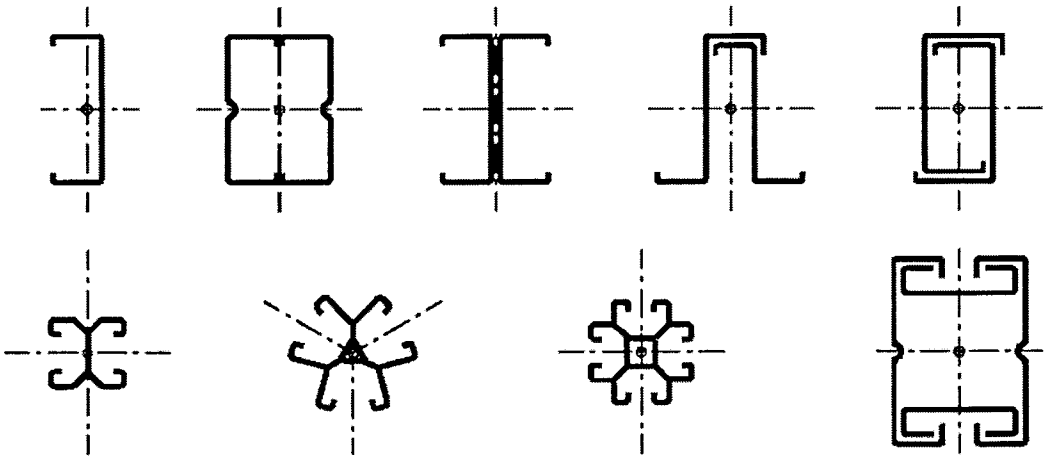
b – складені профілі відкритого перерізу
b) Open built-up sections

c – складені профілі замкнуті
c) Closed built-up sections

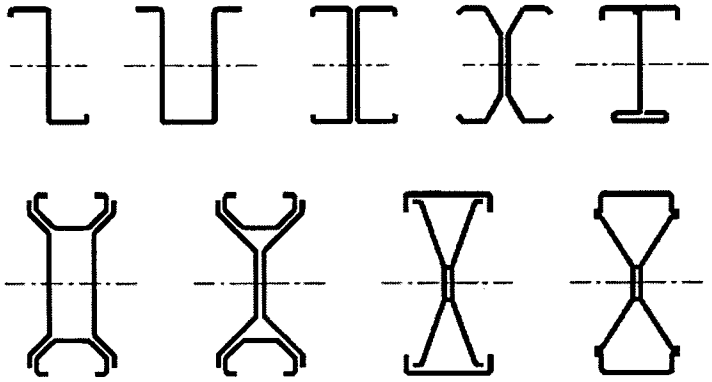
Рисунок 1.1 – Типові форми перерізів холодноформованих профілів
Figure 1.1 – Typical forms of sections for cold-formed members

(4) Зразки поперечних перерізів холодноформованих елементів і профлистів наведено на рисунку 1.2.

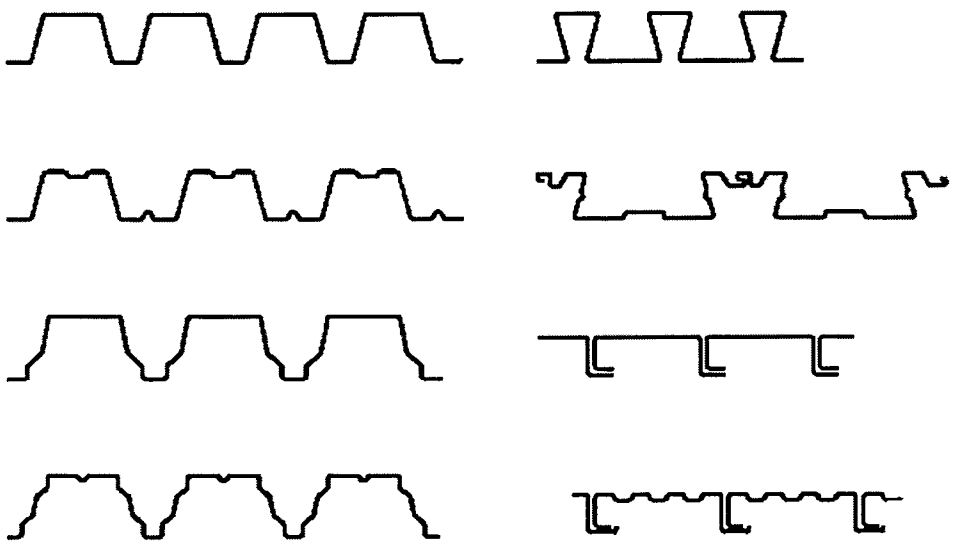
(4) Examples of cross-sections for cold-formed members and sheets are illustrated in figure 1.2.



a – поперечні перерізи стиснутих і розтягнутих елементів
a) Compression members and tension members



b – поперечні перерізи балок й інших елементів, що працюють на згин
b) Beams and other members subject to bending



c – поперечні перерізи профлистів і касетних профілів
c) Profiled sheets and liner trays

Рисунок 1.2 – Зразки холодноформованих елементів і профлистів
Figure 1.2 – Examples of cold-formed members and profiled sheets

Примітка. У правилах частини 1-3 EN 1993 використовуються характеристики відносно головних осей, які для симетричних перерізів визначаються відносно головних осей y – y і z – z, а для асиметричних перерізів, таких як кутики і Z-подібні профілі – відносно осей u – u і v – v. В окремих випадках осі складених перерізів визначаються в залежності від наявності або відсутності симетрії.

NOTE: All rules in this Part 1-3 of EN 1993 relate to the main axis properties, which are defined by the main axes y – y and z – z for symmetrical sections and u – u and v – v for unsymmetrical sections as e.g. angles and Zed-sections. In some cases the bending axis is imposed by connected structural elements whether the cross-section is symmetric or not.

(5) Поперечні перерізи холодноформованих профілів і профлистів можуть бути як без додаткових елементів жорсткості, так і з повздовжніми елементами жорсткості на стінках і/або на поличках.

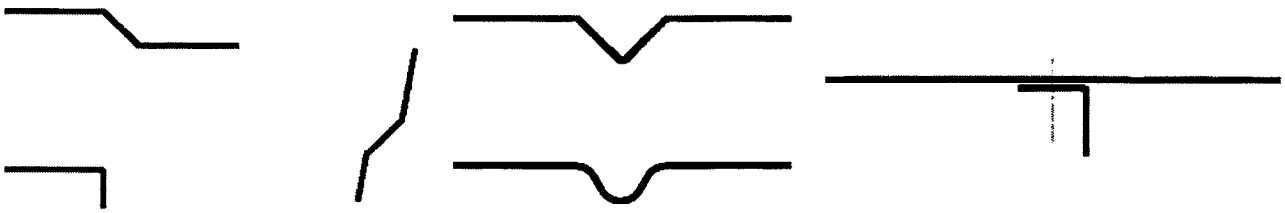
(5) Cross-sections of cold-formed members and sheets may either be unstiffened or incorporate longitudinal stiffeners in their webs or flanges, or in both.

1.5.2 *Форма елементів жорсткості*

(1) Типові форми елементів жорсткості холодноформованих профілів і листів показані на рисунку 1.3.

1.5.2 *Form of stiffeners*

(1) Typical forms of stiffeners for cold-formed members and sheets are shown in figure 1.3.



a – відгини та згини
a) Folds and bends

b – вигнутий або округлений проміжний елемент жорсткості
b) Folded groove and curved groove

c – прикріплений болтом кутик жорсткості
c) Bolted angle stiffener

Рисунок 1.3 – Типові форми елементів жорсткості для холодноформованих профілів і профлистів

Figure 1.3 – Typical forms of stiffeners for cold-formed members and sheeting

(2) Повздовжні елементи жорсткості на поличках можуть бути крайовими або проміжними.

(3) Типові крайові елементи жорсткості показані на рисунку 1.4.

(2) Longitudinal flange stiffeners may be either edge stiffeners or intermediate stiffeners.

(3) Typical edge stiffeners are shown in figure 1.4.

a – одиночні крайові відгини
a) Single edge fold stiffeners

b – подвійні крайові відгини
b) Double edge fold stiffeners

Рисунок 1.4 – Типові крайові елементи жорсткості

Figure 1.4 – Typical edge stiffeners

(4) Типові проміжні повздовжні елементи жорсткості показані на рисунку 1.5.

(4) Typical intermediate longitudinal stiffeners are illustrated in figure 1.5.

a – проміжні елементи жорсткості на полицях
a) Intermediate flange stiffeners

b – проміжні елементи жорсткості на стінках
b) Intermediate web stiffeners

Рисунок 1.5 – Типові проміжні повздовжні елементи жорсткості
Figure 1.5 – Typical intermediate longitudinal stiffeners

1.5.3 Розміри профілів

(1) Загальні розміри холодноформованих елементів і профлистів, такі як ширина *b*, висота *h*, внутрішній радіус згину *r* та інші зовнішні розміри позначаються символами без індексів, наприклад, *a*, *c* або *d*, і, за відсутності окремих застережень, вимірюються від поверхні профілю, як це показано на рисунку 1.6.

1.5.3 *Cross-section dimensions*

(1) Overall dimensions of cold-formed members and sheeting, including overall width *b*, overall height *h*, internal bend radius *r* and other external dimensions denoted by symbols without subscripts, such as *a*, *c* or *d*, are measured to the face of the material, unless stated otherwise, as illustrated in figure 1.6.

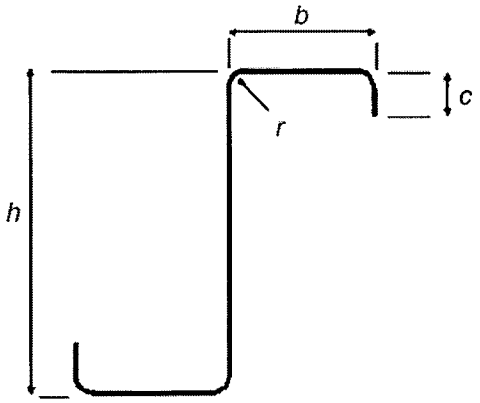


Рисунок 1.6 – Типова познака розмірів S-подібного профілю
Figure 1.6 – Dimensions of typical cross-section

(2) За відсутності застережень інші розміри холодноформованих профілів і профлистів позначаються символами з індексами, а саме b_d , h_w або s_w , і вимірюються або по осьовій лінії листа, або середній точці кута згину.

(3) Для похилих елементів, таких як стінка трапецієподібної гофри профлиста, висота стінки *s* вимірюється паралельно нахилу по прямій між точками перегину стінки і полиць.

(2) Unless stated otherwise, the other cross-sectional dimensions of cold-formed members and sheeting, denoted by symbols with subscripts, such as b_d, h_w or s_w, are measured either to the midline of the material or the midpoint of the corner.

(3) In the case of sloping elements, such as webs of trapezoidal profiled sheets, the slant height *s* is measured parallel to the slope. The slope is straight line between intersection points of flanges and web.

(4) Розгортка висоти стінки гофри вимірюється по серединній лінії, включаючи будь-які елементи жорсткості на ній.

(5) Розгортка ширини полиці вимірюється по серединній лінії, включаючи будь-які елементи жорсткості.

(6) Товщина t – це розрахункова товщина листа (за необхідності із збільшенням на величину мінусового допуску по товщині згідно з 3.2.4), якщо не оговорено інше.

1.5.4 *Познаки осей елементів*

(1) Познаки осей елементів в основному такі ж самі, як в EN 1993-1-1, див. рисунок 1.7.

(4) The developed height of a web is measured along its midline, including any web stiffeners.

(5) The developed width of a flange is measured along its midline, including any intermediate stiffeners.

(6) The thickness t is a steel design thickness (the steel core thickness extracted minus tolerance if needed as specified in clause 3.2.4), if not otherwise stated.

1.5.4 *Convention for member axes*

(1) In general the conventions for members is as used in Part 1-1 of EN 1993, see Figure 1.7.

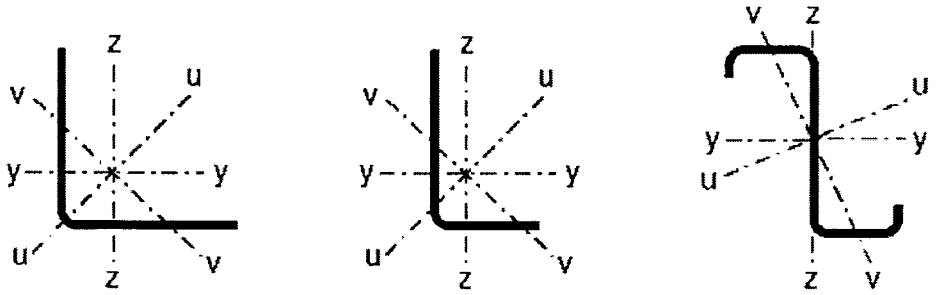


Рисунок 1.7 – Познаки осей
Figure 1.7 – Axis convention

(2) У профлистах і касетних профілях застосовуються такі познаки осей:
- y – y вісь паралельна площині листа;
- z – z вісь перпендикулярна до площини листа.

(2) For profiled sheets and liner trays the following axis convention is used:
- y – y axis parallel to the plane of sheeting;
- z – z axis perpendicular to the plane of sheeting.

2 ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ

(1) Розрахунок холодноформованих елементів і профлистів повинен відповідати загальним правилам, які наведені в EN 1990 і EN 1993-1-1. Загальні правила застосування методу скінченних елементів (або інших методів) наведено в додатку С EN 1993-1-5.

(2)P Для граничних станів за несучою здатністю або експлуатаційною придатністю повинні встановлюватись відповідні часткові коефіцієнти надійності.

(3)P При перевірочних розрахунках за граничними станами за несучою здатністю частковий коефіцієнт надійності γ_M приймається:
- при визначенні опору поперечних перерізів надлишковій деформації з урахуванням місцевої і загальної втрати стійкості – γ_{M0};

2 BASIS OF DESIGN

(1) The design of cold formed members and sheeting should be in accordance with the general rules given in EN 1990 and EN 1993-1-1. For a general approach with FE-methods (or others) see EN 1993-1-5, Annex C.

(2)P Appropriate partial factors shall be adopted for ultimate limit states and serviceability limit states.

(3)P For verifications by calculation at ultimate limit states the partial factor γ_M shall be taken as follows:
- resistance of cross-sections to excessive yielding including local and distortional buckling: γ_{M0}

– при визначенні опору елементів і профлистів при загальній втраті стійкості – γ_{M1};
– при визначенні опору перерізів, ослаблених отворами під кріпильні вироби – γ_{M2}.

Примітка. Числові значення γ_{Mi} можуть бути визначені в Національному додатку. Для будівель рекомендуються такі значення:
γ_{M0} = 1,00;
γ_{M1} = 1,00;
γ_{M2} = 1,25.

(4) При визначенні несучої здатності з'єднань значення γ_M див. в розділі 8.

(5) Для перевірочних розрахунків за граничними станами експлуатаційної придатності повинен застосовуватися частковий коефіцієнт надійності $\gamma_{M,ser}$.

Примітка. Значення $\gamma_{M,ser}$ може бути визначено в Національному додатку. Для будівель рекомендується приймати:
$\gamma_{M,ser}$ = 1,00.

(6) При розрахунку конструкцій, що виготовлені із холодноформованих елементів, необхідно розрізняти класи конструкцій, які встановлюються за наслідками руйнування у відповідності з EN 1990, додаток B, а також наведені нижче:

Клас I: конструкція із холодноформованих елементів і профлистів, яка розрахована за умови забезпечення міцності і стійкості споруди в цілому;

Клас II: конструкція із холодноформованих елементів і профлистів, яка розрахована за умови забезпечення міцності і стійкості окремих конструкційних елементів;

Клас III: конструкція із холодноформованих елементів і профлистів, що використовується тільки для передачі навантажень на несучий каркас.

Примітка 1. На різних стадіях будівництва можуть розглядатись різні класи конструкцій.

Примітка 2. Вимоги щодо виготовлення профлистів див. EN 1090.

– resistance of members and sheeting where failure is caused by global buckling: γ_{M1}
– resistance of net sections at fastener holes: γ_{M2}.

NOTE: Numerical values for γ_{Mi} may be defined in the National Annex. The following numerical values are recommended for the use in buildings:
γ_{M0} = 1,00;
γ_{M1} = 1,00;
γ_{M2} = 1,25.

(4) For values of γ_M for resistance of connections, see Section 8.

(5) For verifications at serviceability limit states the partial factor $\gamma_{M,ser}$ should be used.

NOTE: Numerical value for $\gamma_{M,ser}$ may be defined in the National Annex. The following numerical value is recommended for the use in buildings:
$\gamma_{M,ser}$ = 1,00.

(6) For the design of structures made of cold formed members and sheeting a distinction should be made between "structural classes" associated with failure consequences according to EN 1990 – Annex B defined as follows:

Structural Class I: Construction where cold-formed members and sheeting are designed to contribute to the overall strength and stability of a structure;

Structural Class II: Construction where cold-formed members and sheeting are designed to contribute to the strength and stability of individual structural elements;

Structural Class III: Construction where cold-formed sheeting is used as an element that only transfers loads to the structure.

NOTE 1: During different construction stages different structural classes may be considered.

NOTE 2: For requirements for execution of sheeting see EN 1090.

3 МАТЕРІАЛИ

3.1 Загальні положення

(1) Всі сталі, що використовуються для виготовлення холодноформованих елементів і профлистів, повинні бути придатними для холодного формування, а за необхідності і для зварювання. Сталь для профілів, які підлягають гальванізації, повинна бути придатною до гальванізації.

(2) Номінальні значення характеристик матеріалу, що наведені в цьому розділі, в проектних розрахунках повинні розглядатись як характеристичні значення.

(3) Вимоги цієї частини EN 1993 застосовуються при розрахунках холодноформованих елементів і профлистів, виготовлених із сталей, класи яких наведено в таблиці 3.1a.

3 MATERIALS

3.1 General

(1) All steels used for cold-formed members and profiled sheets should be suitable for cold-forming and welding, if needed. Steels used for members and sheets to be galvanized should also be suitable for galvanizing.

(2) The nominal values of material properties given in this Section should be adopted as characteristic values in design calculations.

(3) This part of EN 1993 covers the design of cold formed members and profiles sheets fabricated from steel material conforming to the steel grades listed in table 3.1a.

Таблиця 3.1a – Номінальні значення основної границі текучості f_{yb} і тимчасового опору f_u
Table 3.1a – Nominal values of basic yield strength f_{yb} and ultimate tensile strength f_u

Тип сталі Type of steel	Стандарт Standard	Клас Grade	f_{yb} Н/мм^2 (N/mm^2)	f_u Н/мм^2 (N/mm^2)
Вироби гарячекатані із конструкційних сталей. Частина 2. Технічні умови постачання нелегованих конструкційних сталей Hot rolled products of non-alloy structural steels. Part 2: Technical delivery conditions for non alloy structural steels	EN 10025: Частина 2 EN 10025: Part 2	S 235	235	360
		S 275	275	430
		S 355	355	510
Вироби гарячекатані із конструкційних сталей. Частина 3. Технічні умови постачання зварюваних дрібнозернистих конструкційних сталей, підданих нормалізації або нормалізувальному прокатуванню Hot-rolled products of structural steels. Part 3: Technical delivery conditions for normalized/normalized rolled weldable fine grain structural steels	EN 10025: Частина 3 EN 10025: Part 3	S 275 N	275	370
		S 355 N	355	470
		S 420 N	420	520
		S 460 N	460	550
		S 275 NL	275	370
		S 355 NL	355	470
		S 420 NL	420	520
		S 460 NL	460	550
Вироби гарячекатані із конструкційних сталей. Частина 4. Технічні умови постачання термомеханічно оброблених зварюваних дрібнозернистих конструкційних сталей Hot-rolled products of structural steels. Part 4: Technical delivery conditions for thermomechanical rolled weldable fine grain structural steels	EN 10025: Частина 4 EN 10025: Part 4	S 275 M	275	360
		S 355 M	355	450
		S 420 M	420	500
		S 460 M	460	530
		S 275 ML	275	360
		S 355 ML	355	450
		S 420 ML	420	500
		S 460 ML	460	530

Примітка 1. Для сталевої штаби товщиною менше ніж 3 мм, яка відповідає EN 10025, нормативні значення можуть бути наведені в Національному додатку. Якщо ширина вихідної штаби ≥600 мм, числові значення, вказані в таблиці 3.1a, рекомендується приймати з коефіцієнтом 0,9.

Примітка 2. Інші класи сталей і виробів див. в Національному додатку. Як приклад, в таблиці 3.1b наведені класи сталі, що відповідають вимогам цього стандарту.

NOTE 1: For steel strip less than 3 mm thick conforming to EN 10025, if the width of the original strip is greater than or equal to 600 mm, the characteristic values may be given in the National Annex. Values equal to 0,9 times those given in Table 3.1a are recommended.

NOTE 2: For other steel materials and products see the National Annex. Examples for steel grades that may conform to the requirements of this standard are given in Table 3.1b.

Таблиця 3.1b – Номінальні значення основної границі текучості f_{yb} і тимчасового опору f_u
Table 3.1b – Nominal values of basic yield strength f_{yb} and ultimate tensile strength f_u

Тип сталі Type of steel	Стандарт Standard	Клас Grade	f_{yb} Н/мм^2 (N/mm^2)	f_u Н/мм^2 (N/mm^2)
Холоднотягнені листи із конструкційної сталі Cold reduced steel sheet of structural quality	ISO 4997	CR 220	220	300
		CR 250	250	330
		CR 320	320	400
Гарячеоцинкований вуглецевий сталевий лист із конструкційної сталі з неперервних ліній Continuous hot dip zinc coated carbon steel sheet of structural quality	EN 10326	S220GD+Z	220	300
		S250GD+Z	250	330
		S280GD+Z	280	360
		S320GD+Z	320	390
		S350GD+Z	350	420
Вироби із сталі з високою границею текучості плоскі гарячекатані для холодного формозмінювання. Частина 2. Умови постачання для термомеханічно зміцнених прокатних сталей Hot-rolled flat products made of high yield strength steels for cold forming. Part 2: Delivery conditions for thermomechanically rolled steels	EN 10149: Частина 2 EN 10149: Part 2	S 315 MC S	315	390
		355 MC S	355	430
		420 MC S	420	480
		460 MC S	460	520
		500 MC S	500	550
		550 MC S	550	600
		600 MC S	600	650
		650 MC S	650	700
		700 MC	700	750
	EN 10149: Частина 3 EN 10149: Part 3	S 260 NC	260	370
		S 315 NC	315	430
		S 355 NC	355	470
		S 420 NC	420	530
Холоднокатані плоскі вироби з високоміцних низьколегованих сталей для холодного формування Cold-rolled flat products made of high yield strength micro-alloyed steels for cold forming	EN 10268	H240LA	240	340
		H280LA	280	370
		H320LA	320	400
		H360LA	360	430
		H400LA	400	460

Кінець таблиці 3.1b

Тип сталі Type of steel	Стандарт Standard	Клас Grade	f_{yb} Н/мм^2 (N/mm^2)	f_u Н/мм^2 (N/mm^2)
Сталеві штаби і листи високої міцності з гарячим покриттям з неперервних ліній для холодного формування Continuously hot-dip coated strip and sheet of steels with higher yield strength for cold forming	EN 10292	H260LAD	240 2)	340 2)
		H300LAD	280 2)	370 2)
		H340LAD	320 2)	400 2)
		H380LAD	360 2)	430 2)
		H420LAD	400 2)	460 2)
Сталева штаба і лист з неперервним гарячим цинково-алюмінієвим покриттям (ZA) Continuously hot-dipped zinc-aluminium (ZA) coated steel strip and sheet	EN 10326	S220GD+ZA	220	300
		S250GD+ZA	250	330
		S280GD+ZA	280	360
		S320GD+ZA	320	390
		S350GD+ZA	350	420
Сталева штаба і лист з неперервним гарячим алюмінієво-цинковим покриттям (AZ) Continuously hot-dipped aluminium-zinc (AZ) coated steel strip and sheet	EN 10326	S220GD+AZ	220	300
		S250GD+AZ	250	330
		S280GD+AZ	280	360
		S320GD+AZ	320	390
		S350GD+AZ	350	420
Листова і штабова маловуглецева сталь з неперервним гарячим цинковим покриттям для холодного формування Continuously hot-dipped zinc coated strip and sheet of mild steel for cold forming	EN 10327	DX51D+Z	140 1)	270 1)
		DX52D+Z	140 1)	270 1)
		DX53D+Z	140 1)	270 1)

1) Мінімальні значення границі текучості і тимчасового опору в цьому стандарті не наведено. Для всіх класів сталі мінімальні значення границі текучості і тимчасового опору можна прийняти 140 Н/мм^2 і 270 Н/мм^2 відповідно.

1) Minimum values of the yield strength and ultimate tensile strength are not given in the standard. For all steel grades a minimum value of 140 N/mm^2 for yield strength and 270 N/mm^2 for ultimate tensile strength may be assumed.

2) Значення границі текучості сталей при поперечному розтягу наведено в позначенні матеріалу. Значення границі текучості при повздовжньому розтягу наведені в таблиці.

2) The yield strength values given in the names of the materials correspond to transversal tension. The values for longitudinal tension are given in the table.

3.2 Конструкційні сталі

3.2.1 *Характеристики основного матеріалу*

(1) Номінальні значення границі текучості f_{yb} або тимчасового опору f_u повинні бути прийняті:

а) значення $f_y = R_{eh}$ або $R_{p0,2}$ і $f_u = R_m$ згідно зі стандартом на прокат;

б) за даними в таблицях 3.1a та 3.1b;

в) за результатами випробувань.

3.2 Structural steel

3.2.1 *Material properties of base material*

(1) The nominal values of yield strength f_{yb} or tensile strength f_u should be obtained

a) either by adopting the values $f_y = R_{eh}$ or $R_{p0,2}$ and $f_u = R_m$ direct from product standards, or

b) by using the values given in Table 3.1a and b

c) by appropriate tests.

(2) Якщо характеристичні значення визначаються за результатами випробувань, то випробування повинні проводитись відповідно до EN 10002-1. Кількість зразків для випробувань повинна бути не менше ніж п'ять з урахуванням наступного вибору.

1. Рулони:
а) при відборі з продукції однієї плавки – не менше ніж один зразок на кожний рулон із 30 % загальної кількості рулонів;
б) при відборі з продукції різних плавок – мінімум один зразок на кожний рулон.

2. Штаби:
Мінімум один зразок на 2000 кг від кожного виду продукції.
Зразки повинні відбиратись довільно з кожної партії постачання з орієнтацією вздовж елемента конструкції. Нормативні характеристики повинні визначатись за результатами статистичної обробки у відповідності з EN 1990, додаток Д.

(3) Дозволяється властивості сталі при стиску і розтягу приймати однаковими.

(4) Вимоги щодо пластичності повинні відповідати 3.2.2 EN 1993-1-1.

(5) Розрахункові значення фізичних характеристик матеріалів повинні прийматись згідно з 3.2.6 EN 1993-1-1.

(6) Властивості матеріалів при підвищених температурах наведені в EN 1993-1-2.

3.2.2 *Характеристики матеріалу для холодноформованих профілів і профлистів*

(1) Якщо в познаці границі текучості використовується символ f_y, дозволяється користуватись середнім значенням границі текучості f_{ya} з додержанням умов (4)÷(8). В інших випадках необхідно використовувати основну границю текучості f_{yb}.

(2) Середнє значення границі текучості f_{ya} профілю після холодного формування може бути визначено за результатами натурних випробувань.

(3) Як альтернатива, підвищене середнє значення границі текучості може бути визначено розрахунком:

(2) Where the characteristic values are determined from tests, such tests should be carried out in accordance with EN 10002-1. The number of test coupons should be at least 5 and should be taken from a lot in following way:

1. Coils:
a. For a lot from one production (one pot of melted steel) at least one coupon per coil of 30% of the number of coils;
b. For a lot from different productions at least one coupon per coil;

2. Strips:
At least one coupon per 2000 kg from one production.
The coupons should be taken at random from the concerned lot of steel and the orientation should be in the length of the structural element. The characteristic values should be determined on basis of a statistical evaluation in accordance with EN 1990 Annex D.

(3) It may be assumed that the properties of steel in compression are the same as those in tension.

(4) The ductility requirements should comply with 3.2.2 of EN 1993-1-1.

(5) The design values for material coefficients should be taken as given in 3.2.6 of EN 1993-1-1.

(6) The material properties for elevated temperatures are given in EN 1993-1-2.

3.2.2 *Material properties of cold formed sections and sheeting*

(1) Where the yield strength is specified using the symbol f_y the average yield strength f_{ya} may be used if (4) to (8) apply. In other cases the basic yield strength fyb should be used. Where the yield strength is specified using the symbol fyb the basic yield strength f_{yb} should be used.

(2) The average yield strength f_{ya} of a cross-section due to cold working may be determined from the results of full size tests.

(3) Alternatively the increased average yield strength fya may be determined by calculation using:

$$f_{ya} = f_{yb} + (f_u + f_{yb}) \frac{k\,n\,t^2}{A_g} \le \frac{(f_u + f_{yb})}{2}, \qquad (3.1)$$

де:

A_g – загальна площа поперечного перерізу;

k – коефіцієнт, який залежить від виду формування:

k = 7 при формуванні в процесі прокатки;

k = 5 при інших методах формування;

n – кількість згинів на 90° в поперечному перерізі з внутрішнім радіусом $r \leq 5t$ (число згинів повинно рахуватись як n перегинів);

t – розрахункова товщина сталевого листа до формування, за виключенням товщини шарів, металевого або органічного покриттів, див. 3.2.4.

(4) За наслідком холодного формування підвищене значення границі текучості може враховуватись:

– при осьовому навантаженні елементів, в яких ефективна площа перерізу A_{eff} дорівнює повній площі A_g;
– при визначенні A_{eff} границя текучості f_y повинна бути замінена на f_{yb}.

(5) Середнє значення границі текучості f_{ya} може бути використано при визначенні:

– опору поперечного перерізу при осьовому розтягу елемента;
– опору поперечного перерізу і опору втраті стійкості при осьовому стиску елемента з повним ефективним поперечним перерізом;
– опору поперечного перерізу при дії моменту з повним ефективним перерізом полиць.

(6) При згині для визначення опору поперечного перерізу з повністю ефективними полицями він може бути поділений на m плоских елементів, таких як полиці. Після цього формула (3.1) може бути використана для визначення підвищеної границі текучості $f_{y,i}$ окремо для кожного плоского елемента i з припущенням, що:

where:

A_g is the gross cross-sectional area;

k is a numerical coefficient that depends on the type of forming as follows:

– k = 7 for roll forming;
– k = 5 for other methods of forming;

n is the number of 90° bends in the cross-section with an internal radius $r \leq 5t$ (fractions of bends should be counted as fractions of n);

t is the design core thickness of the steel material before cold-forming, exclusive of metal and organic coatings, see 3.2.4.

(4) The increased yield strength due to cold forming may be taken into account as follows:

– in axially loaded members in which the effective cross-sectional area A_{eff} equals the gross area A_g;
– in determining A_{eff} the yield strength f_y should be taken as f_{yb}.

(5) The average yield strength f_{ya} may be utilised in determining:

– the cross-section resistance of an axially loaded tension member;
– the cross-section resistance and the buckling resistance of an axially loaded compression member with a fully effective cross-section;
– the moment resistance of a cross-section with fully effective flanges.

(6) To determine the moment resistance of a cross-section with fully effective flanges, the cross-section may be subdivided into m nominal plane elements, such as flanges. Expression (3.1) may then be used to obtain values of increased yield strength $f_{y,i}$ separately for each nominal plane element i, provided that:

$$\frac{\sum_{i=1}^{m} A_{g,i} f_{y,i}}{\sum_{i=1}^{m} A_{g,i}} \leq f_{ya} , \qquad (3.2)$$

де:

$A_{g,i}$ – повна площа поперечного перерізу плоского елемента i, а при визначенні підвищеної границі текучості $f_{y,i}$ з використанням

where:

$A_{g,i}$ is the gross cross-sectional area of nominal plane element i, and when calculating the increased yield strength $f_{y,i}$ using the expression (3.1)

формули (3.1) ширина згинів крайових плоских елементів приймається такою, що дорівнює довжині дуги, що відповідає половині кута згину для кожної площі $A_{g,i}$.

(7) Підвищення границі текучості за наслідком холодного формування не повинно враховуватись для елементів, які після формування піддані термообробці шляхом нагрівання до температури > 580 °С протягом більше 1 год.

Примітка. Більш детальну інформацію див.у EN 1090, частина 2.

(8) Особливу увагу необхідно звернути на те, що деякі види термообробки (наприклад, відпал) можуть викликати зниження границі текучості до меншого значення ніж базова границя f_{yb}.

Примітка. Щодо зварювання холодноформованих елементів див. також EN 1993-1-8.

3.2.3 *Схильність сталі до крихкого руйнування*

(1) Див. EN 1993-1-1 та EN 1993-1-10.

3.2.4 *Товщина і граничні відхили*

(1) Правила розрахунку, наведені в EN 1993-1-3, можуть бути застосовані для сталей в діапазоні товщин t_{cor}.

Примітка. Діапазон товщин t_{cor} для профлистів і елементів може бути наданий в Національному додатку. Рекомендовані товщини:
– для профлистів і елементів:
0,45 мм ≤ t_{cor} ≤ 15 мм;
– для з'єднань:
0,45 мм ≤ t_{cor} ≤ 4 мм, див. 8.1(2).

(2) Можна використовувати більшу або меншу товщину за умови, що несуча здатність елемента визначена розрахунком за результатами випробувань.

(3) Товщина сталевої основи листа t_{cor} повинна використовуватись як розрахункова у разі, якщо

the bends on the edge of the nominal plane elements should be counted with the half their angle for each area $A_{g,i}$.

(7) The increase in yield strength due to cold forming should not be utilised for members that are subjected to heat treatment after forming at more than 580 °C for more than one hour.

NOTE: For further information see EN 1090, Part 2.

(8) Special attention should be paid to the fact that some heat treatments (especially annealing) might induce a reduced yield strength lower than the basic yield strength f_{yb}.

NOTE: For welding in cold formed areas see also EN 1993-1-8.

3.2.3 *Fracture toughness*

(1) See EN 1993-1-1 and EN 1993-1-10.

3.2.4 *Thickness and thickness tolerances*

(1) The provisions for design by calculation given in this Part 1-3 of EN 1993 may be used for steel within given ranges of core thickness t_{cor}.

NOTE: The ranges of core thickness t_{cor} for sheeting and members may be given in the National Annex. The following values are recommended:
– for sheeting and members:
0,45 mm tcor 15 mm
– for connections:
0,45 mm ≤ t_{cor} ≤ 4 mm, see 8.1(2).

(2) Thicker or thinner material may also be used, provided that the load bearing resistance is determined by design assisted by testing.

3) The steel core thickness t_{cor} should be used as design thickness, where

$$t = t_{cor} \quad \text{при (if)} \quad tol \le 5\%, \tag{3.3a}$$

$$t = t_{cor} = \frac{100 - tol}{95} \quad \text{при (if)} \quad tol > 5\%, \tag{3.3b}$$

де $t_{cor} = t_{пом} - t_{мет.\ покр.}$ (3.3c)

де tol – мінусовий допуск на прокат, %.

Примітка. Для цинкового покриття марки Z 275 $t_{цинк}$ = 0,04 мм.

with $t_{cor} = t_{nom} - t_{metallic\ coatings}$ (3.3c)

where tol is the minus tolerance in %.

NOTE: For the usual Z 275 zinc coating, t_{zinc} = 0,04 mm.

(4) Для елементів і листів з неперервно нанесеним гарячим металевим покриттям, що мають мінусові допуски менше або дорівнюють "спеціальним допускам (S)" згідно з EN 10143, може бути застосована розрахункова товщина згідно з (3.3а). Якщо мінусовий допуск перевищує "спеціальний допуск (S)" згідно з EN 10143, розрахункова товщина може застосовуватись за (3.3в).

(5) t_{nom} – номінальна товщина листа після холодного формування. Вона може бути прийнята такою, що дорівнює товщині листа вихідної заготовки, якщо площі поперечного перерізу до і після формування будуть відрізнятися не більше ніж на 2 %, в інших випадках розміри підлягають уточненню.

3.3 Типи з'єднань

3.3.1 *Болтові з'єднання*

(1) Болти, гайки і шайби повинні відповідати вимогам EN 1993-1-8.

3.3.2 *Інші типи засобів механічного кріплення*

(1) Інші типи засобів механічного кріплення, а саме:

- самонарізні ґвинти, що встановлюються в попередньо зроблений отвір або самосвердлувальні самонарізні ґвинти,
- дюбелі для пристрілювання,
- комбіновані заклепки

можуть бути використані у відповідності з діючими в Європі технічними умовами на відповідні вироби.

(2) Характеристичне значення опору кріпильних виробів до зсуву $F_{v,Rk}$ і мінімальне значення опору розтягу приймаються згідно з стандартом на виріб або узгоджується з ETAG або ETA.

3.3.3 *Матеріали для зварювання*

(1) Матеріали для зварювання повинні відповідати вимогам EN 1993-1-8.

(4) For continuously hot-dip metal coated members and sheeting supplied with negative tolerances less or equal to the "special tolerances (S)" given in EN 10143, the design thickness according to (3.3a) may be used. If the negative tolerance is beyond "special tolerance (S)" given in EN 10143 then the design thickness according to (3.3b) may be used.

(5) t_{nom} is the nominal sheet thickness after cold forming. It may be taken as the value to tnom of the original sheet, if the calculative cross-sectional areas before and after cold forming do not differ more than 2%; otherwise the notional dimensions should be changed.

3.3 Connecting devices

3.3.1 *Bolt assemblies*

(1) Bolts, nuts and washers should conform to the requirements given in EN 1993-1-8.

3.3.2 *Other types of mechanical fastener*

(1) Other types of mechanical fasteners as:

- self-tapping screws as thread forming self-tapping screws, thread cutting self-tapping screws or self-drilling self-tapping screws,
- cartridge-fired pins,
- blind rivets

may be used where they comply with the relevant European Product Specification.

(2) The characteristic shear resistance $F_{v,Rk}$ and the characteristic minimum tension resistance Ft,Rk of the mechanical fasteners may be taken from the EN Product Standard or ETAG or ETA.

3.3.3 *Welding consumables*

(1) Welding consumables should conform to the requirements given in EN 1993-1-8.

4 ДОВГОВІЧНІСТЬ

(1) Основні вимоги див. в розділі **4** EN 1993-1-1.

Примітка. В EN 1090, 9.3.1 вказані фактори впливу на виготовлення, які необхідно враховувати в процесі проектування.

(2) Особливу увагу необхідно приділяти випадку застосування різних матеріалів, коли можуть створюватись умови для виникнення електрохімічної корозії.

Примітка 1. Вказівки щодо корозійної стійкості кріпильних виробів в залежності від ступеня агресивності навколишнього середовища див. EN-ISO 12944-2, додаток Б.

Примітка 2. Вказівки щодо покриття виробів див. у EN 508-1.

Примітка 3. Вказівки щодо інших виробів див. у частині 1-1 **EN** 1993.

Примітка 4. Вказівки щодо гарячегальванізованих кріпильних виробів див. у EN ISO 10684.

4 DURABILITY

(1) For basic requirements see section 4 of EN 1993-1-1.

NOTE: EN 1090, 9.3.1 lists the factors affecting execution that need to be specified during design.

(2) Special attention should be given to cases in which different materials are intended to act compositely, if these materials are such that electrochemical phenomena might produce conditions leading to corrosion.

NOTE 1: For corrosion resistance of fasteners for the environmental class following EN-ISO 12944-2 see Annex B.

NOTE 2: For roofing products see EN 508-1.

NOTE 3: For other products see Part 1-1 of EN 1993.

NOTE 4: For hot dip galvanized fasteners see EN ISO 10684.

5 КОНСТРУКЦІЙНИЙ РОЗРАХУНОК

5.1 Вплив кутів згину

(1) Для профілів з кутами згинів теоретична ширина b_p плоских ділянок в перерізі повинна вимірюватись від середніх точок сусідніх згинів (кутів), як показано на рисунку 5.1.

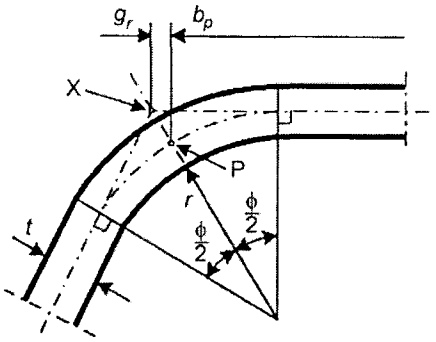
(2) Для поперечних перерізів з кутами згину геометричні характеристики перерізу визначаються виходячи з номінальної геометрії поперечного перерізу.

5 STRUCTURAL ANALYSIS

5.1 Influence of rounded corners

(1) In cross-sections with rounded corners, the notional flat widths b_p of the plane elements should be measured from the midpoints of the adjacent corner elements as indicated in figure 5.1.

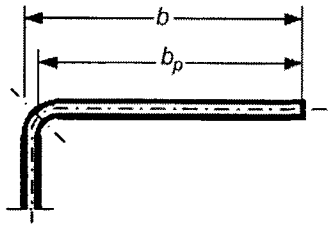
(2) In cross-sections with rounded corners, the calculation of section properties should be based upon the nominal geometry of the cross-section.



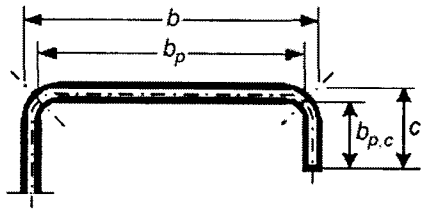
(a) – середня точка кута або згину
(a) midpoint of corner or bend
X – перетин серединних ліній
X is intersection of midlines
P – середня точка кута
P is midpoint of corner

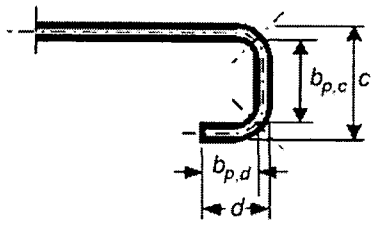
$$r_m = r + t/2$$

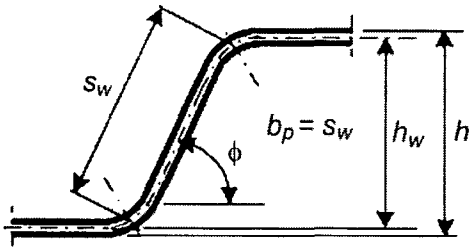
$$g_r = r_m\left(\tan\left(\frac{\phi}{2}\right) - \sin\left(\frac{\phi}{2}\right)\right)$$



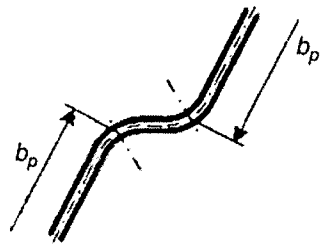
(b) – теоретична ширина b_p для плоских ділянок полиць
(b) notional flat width b_p of plane parts of flanges



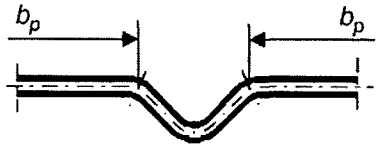




(c) – теоретична ширина b_p плоскої частини стінки (b_p = висота нахилу s_w)
(c) notional flat width b_p for a web (b_p = slant height s_w)



(d) – теоретична ширина b_p плоских частин, суміжних з елементом жорсткості на стінці
(d) notional flat width b_p of plane parts adjacent to web stiffener



(e) – теоретична ширина b_p плоских частин, суміжних з елементом жорсткості на полиці
(e) notional flat width b_p of flat parts adjacent to flange stiffener

Рисунок 5.1 – Теоретична ширина b_p плоских ділянок поперечного перерізу біля кутів згину
Figure 5.1 – Notional widths of plane cross section parts b_p allowing for corner radii

(3) При визначенні геометричних характеристик перерізів, як правило, необхідно використовувати метод наближення. Вплив кутів згину на опір перерізу можна не враховувати, якщо внутрішній радіус $r \le 5t$ і $r \le 0{,}10 b_p$, а переріз можна рахувати таким, що складений із плоских елементів, об'єднаних гострими кутами (згідно з рисунком 5.2, позначивши b_p для всіх плоских елементів, включаючи і розтягнуті елементи). При визначенні геометричних характеристик поперечного перерізу завжди враховується вплив кутів згину.

(4) Вплив кутів згину на геометричні характеристики перерізу може бути врахований зменшенням їх значень, які розраховані для подібного перерізу з гострими перегинами (див. рисунок 5.2) з використанням таких припущень:

(3) Unless more appropriate methods are used to determine the section properties the following approximate procedure may be used. The influence of rounded corners on cross-section resistance may be neglected if the internal radius $r \le 5t$ and $r \le 0{,}10 b_p$ and the cross-section may be assumed to consist of plane elements with sharp corners (according to figure 5.2, note b_p for all flat plane elements, inclusive plane elements in tension). For cross-section stiffness properties the influence of rounded corners should always be taken into account.

(4) The influence of rounded corners on section properties may be taken into account by reducing the properties calculated for an otherwise similar cross-section with sharp corners, see figure 5.2, using the following approximations:

$$A_g \approx A_{g,sh}\,(1-\delta)\,, \tag{5.1a}$$

$$I_g \approx I_{g,sh}\,(1-2\delta)\,, \tag{5.1b}$$

$$I_w \approx I_{w,sh}\,(1-4\delta)\,, \tag{5.1c}$$

$$\delta = 0{,}43\,\frac{\sum_{j=1}^{n} r_j\,\frac{\phi_j}{90^\circ}}{\sum_{i=1}^{n} b_{p,i}}\,, \tag{5.1d}$$

де:

A_g – повна площа поперечного перерізу;

$A_{g,sh}$ – площа A_g для перерізу з гострими кутами;

$b_{p,i}$ – теоретична ширина плоского і елемента в перерізі з гострими кутами;

I_g – момент інерції повного поперечного перерізу;

$I_{g,sh}$ – значення I_g для перерізу з гострими кутами;

I_w – секторіальний момент інерції повного перерізу;

$I_{g,sh}$ – значення I_w для перерізу з гострими кутами;

ϕ – кут між двома плоскими елементами;

m – кількість плоских елементів;

n – кількість криволінійних елементів;

r_j – внутрішній радіус криволінійного j-го елемента.

where:

A_g is the area of the gross cross-section;

$A_{g,sh}$ is the value of A_g for a cross-section with sharp corners;

$b_{p,i}$ is the notional flat width of plane element i for a cross-section with sharp corners;

I_g is the second moment of area of the gross cross-section;

$I_{g,sh}$ is the value of I_g for a cross-section with sharp corners;

I_w is the warping constant of the gross cross-section;

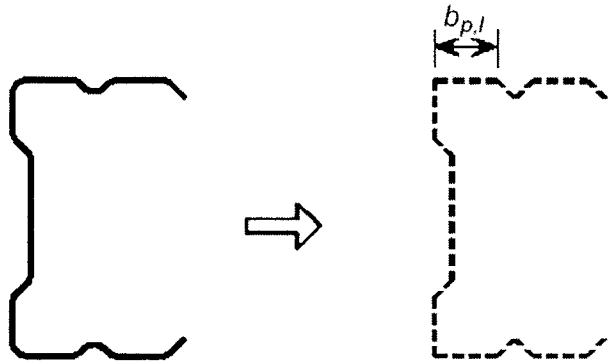
$I_{g,sh}$ is the value of I_w for a cross-section with sharp corners;

ϕ is the angle between two plane elements;

m is the number of plane elements;

n is the number of curved elements;

r_j is the internal radius of curved element j.



Реальний поперечний переріз
Actual cross-section

Теоретичний поперечний переріз
Idealized cross-section

Рисунок 5.2 – Припущення щодо форми згинів
Figure 5.2 – Approximate allowance for rounded corners

(5) Зменшені значення, які визначаються за формулами (5.1), можуть також використовуватись для визначення ефективних характеристик поперечного перерізу A_{eff}, $I_{y,eff}$, $I_{z,eff}$ і $I_{w,eff}$ з урахуванням того, що теоретична ширина плоских елементів вимірюється між точками перетину їх серединних ліній.

(6) При внутрішньому радіусі $r > 0,04tE/f_y$ опір поперечного перерізу визначається за результатами випробувань.

5.2 Геометричні співвідношення

(1) Правила розрахунку, що наведені в частині 1-3 EN 1993, не повинні розповсюджуватись на профілі, в яких відношення ширини до товщини виходять за границі обмежень *b/t*, *h/t*, *c/t* та *d/t*, наведених в таблиці 5.1.

Примітка. Граничні значення *b/t*, *h/t*, *c/t* і *d/t* в таблиці 5.1 відображають сферу, в якій накопичений достатній досвід, підтверджений випробуваннями. Поперечні перерізи з відношенням ширини до товщини більше ніж вищевказані також можуть застосовуватись, якщо їх опір при граничних станах за несучою здатністю і експлуатаційною придатністю перевірені випробуваннями і/або розрахунками, що підтверджені певною кількістю випробувань.

(5) The reductions given by expression (5.1) may also be applied in calculating the effective section properties A_{eff}, $I_{y,eff}$, $I_{z,eff}$ and $I_{w,eff}$, provided that the notional flat widths of the plane elements are measured to the points of intersection of their midlines.

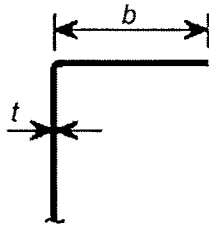
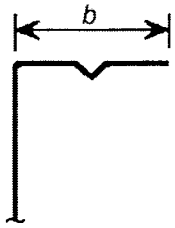
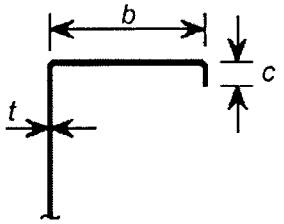
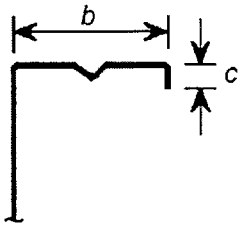
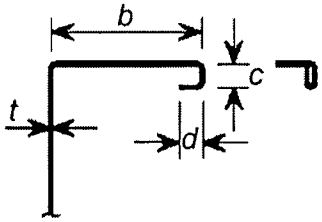
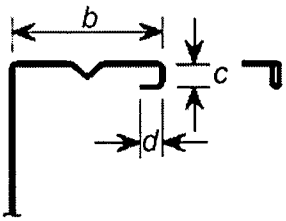
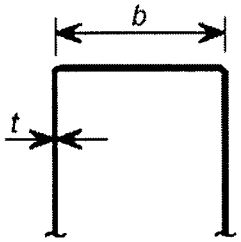
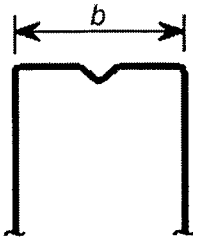
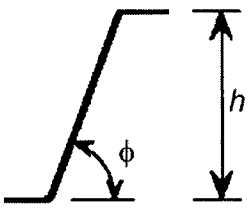
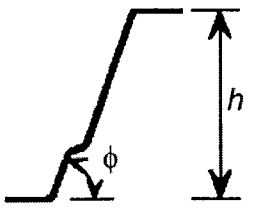
(6) Where the internal radius $r > 0,04tE/f_y$ then the resistance of the cross-section should be determined by tests.

5.2 Geometrical proportions

(1) The provisions for design by calculation given in this Part 1-3 of EN 1993 should not be applied to cross- sections outside the range of width-to-thickness ratios *b/t*, *h/t*, *c/t* and *d/t* given in Table 5.1.

NOTE: These limits *b/t*, *h/t*, *c/t* and *d/t* given in table 5.1 may be assumed to represent the field for which sufficient experience and verification by testing is already available. Cross-sections with larger width-to-thickness ratios may also be used, provided that their resistance at ultimate limit states and their behaviour at serviceability limit states are verified by testing and/or by calculations, where the results are confirmed by an appropriate number of tests.

Таблиця 5.1 – Максимальні значення відношення ширини до товщини
Table 5.1 – Maximum width-to-thickness ratios

 	$b / t \le 50$
 	$b / t \le 60$ $c / t \le 50$
 	$b / t \le 90$ $c / t \le 60$ $d / t \le 50$
 	$b / t \le 500$
 	$45° \le \phi \le 90°$ $h / t \le 500 \sin\phi$

(2) Для забезпечення необхідної жорсткості і попередження передчасної втрати стійкості самим елементом жорсткості його розміри повинні бути в таких межах:

(2) In order to provide sufficient stiffness and to avoid primary buckling of the stiffener itself, the sizes of stiffeners should be within the following ranges:

$$0,2 \le c / b \le 0,6 , \quad (5.2a)$$

$$0,1 \le d / b \le 0,3 , \quad (5.2b)$$

де розміри b, c та d наведені в таблиці 5.1. У разі, якщо $c/b < 0,2$ або $d/b < 0,1$, відгини взагалі не враховуються ($c = 0$ або $d = 0$).

in which the dimensions b, c and d are as indicated in table 5.1. If $c/b < 0,2$ or $d/b < 0,1$ the lip should be ignored ($c = 0$ or $d = 0$).

Примітка 1. При визначенні геометричних характеристик ефективного поперечного перерізу за результатами випробувань або розрахунків ці обмеження не враховуються.

NOTE 1: Where effective cross-section properties are determined by testing and by calculations, these limits do not apply.

Примітка 2. Розмір відгину *c* вимірюється перпендикулярно до полиці, незважаючи на те, що він може бути і не перпендикулярним до неї.

Примітка 3. Щодо розрахунку методом скінченних елементів див. додаток С EN 1993-1-5.

NOTE 2: The lip measure *c* is perpendicular to the flange if the lip is not perpendicular to the flange.

NOTE 3: For FE-methods see Annex C of EN 1993-1-5.

5.3 Моделювання розрахункових схем

(1) Більш точне моделювання наводиться в EN 1993-1-5, але незважаючи на це, елементи поперечного перерізу при розрахунках можуть бути змодельовані так, як наведено в таблиці 5.2.

(2) Необхідно враховувати спільний вплив всіх елементів жорсткості.

(3) Недосконалості, які пов'язані із згинальною і згинально-крутильною формами втрати стійкості, необхідно враховувати згідно з таблицею 5.1 EN 1993-1-1.

Примітка. Необхідно також дивитись 5.3.4 EN 1993-1-1.

(4) Для недосконалостей, пов'язаних з втратою стійкості за поперечно-крутильною формою, початкове зміщення e_0 відносно осі найменшої жорсткості профілю може прийматися без урахування початкового закручування.

Примітка. Значення цієї недосконалості може бути наведено в Національному додатку. Величина e_0 / L = 1/600 при розрахунку в пружній стадії і e_0 / L = 1/500 при розрахунку в пластичній стадії рекомендується для перерізів, визначених з використанням кривої стійкості плоскої форми згину згідно з 6.3.2.2 EN 1993-1-1.

5.3 Structural modelling for analysis

(1) Unless more appropriate models are used according to EN 1993-1-5 the elements of a cross-section may be modelled for analysis as indicated in table 5.2.

(2) The mutual influence of multiple stiffeners should be taken into account.

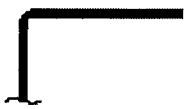
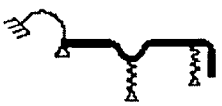
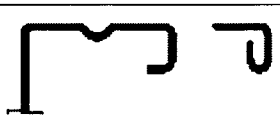
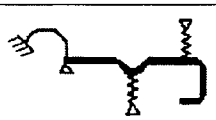
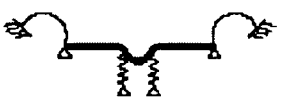
(3) Imperfections related to flexural buckling and torsional flexural buckling should be taken from table 5.1 of EN 1993-1-1.

NOTE: See also clause 5.3.4 of EN 1993-1-1.

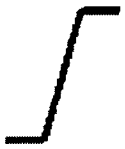
(4) For imperfections related to lateral torsional buckling an initial bow imperfections e_0 of the weak axis of the profile may be assumed without taking account at the same time an initial twist.

NOTE: The magnitude of the imperfection may be taken from the National Annex. The values e_0 / L = 1/600 for elastic analysis and e_0 / L = 1/500 for plastic analysis are recommended for sections assigned to LTB buckling curve a taken from EN 1993-1-1, section 6.3.2.2.

Таблиця 5.2 – Моделювання елементів поперечних перерізів
Table 5.2 – Modelling of elements of a cross-section

Тип елемента Type of element	Схема Model	Тип елемента Type of element	Схема Model
			
			
			
			

Кінець таблиці 5.2

Тип елемента Type of element	Схема Model	Тип елемента Type of element	Схема Model
			

5.4 Кривина полиць

(1) Вплив кривини на несучу здатність при згині більш широкої полиці профілю (кривини відносно нейтральної площини) або полиці вигнутого профілю зі стиснутою зовнішньою стороною можна не враховувати, якщо вона складає менше ніж 5 % висоти перерізу профілю. У разі, якщо кривина більше, необхідно враховувати зниження несучої здатності, наприклад, шляхом зменшення звису широких полиць і врахуванням можливого згину стінок.

Примітка. Для касетних профілів цей ефект врахований в 10.2.2.2.

(2) Розрахунок кривини може бути виконаний за наведеними нижче формулами. Формули можна застосовувати для стиснутих і розтягнутих поличок як з елементами жорсткості, так і без них, але без близько розташованих поперечних елементів жорсткості на полицях:

– для прямолінійного профілю до навантаження (див. рисунок 5.3):

$$u = 2\frac{\sigma_a^2}{E^2}\frac{b_s^4}{t^2 z}; \qquad (5.3a)$$

– для вигнутої балки:

$$u = 2\frac{\sigma_a}{E}\frac{b_s^4}{t^2 r}; \qquad (5.3b)$$

де:

u – деформація згину полиці у середину до нейтральної осі (кривина), див. рисунок 5.3;

b_s – половина відстані між стінками коробчастого і омега-профілю або звис полиці, див. рисунок 5.3;

5.4 Flange curling

(1) The effect on the loadbearing resistance of curling (i.e. inward curvature towards the neutral plane) of a very wide flange in a profile subjected to flexure, or of a flange in an arched profile subjected to flexure in which the concave side is in compression, should be taken into account unless such curling is less than 5% of the depth of the profile cross-section. If curling is larger, then the reduction in loadbearing resistance, for instance due to a decrease in the length of the lever arm for parts of the wide flanges, and to the possible effect of the bending of the webs should be taken into account.

NOTE: *For liner trays this effect has been taken into* account in 10.2.2.2.

2) Calculation of the curling may be carried out as follows. The formulae apply to both compression and tensile flanges, both with and without stiffeners, but without closely spaced transversal stiffeners at flanges.

For a profile which is straight prior to application of loading (see figure 5.3).

For an arched beam:

where:

u is bending of the flange towards the neutral axis (curling), see figure 5.3;

b_s is one half the distance between webs in box and hat sections, or the width of the portion of flange projecting from the web, see figure 5.3;

t – товщина полиці;

z – відстань від полиці до нейтральної осі;

r – радіус кривини вигнутої балки;

σ_a – головне напруження в полицях, яке визначене для профілю повного перерізу. Напруження для ефективного поперечного перерізу визначається множенням σ_a на відношення ефективної площі полиці до повної.

t is flange thickness;

z is distance of flange under consideration from neutral axis;

r is radius of curvature of arched beam;

σ_a is mean stress in the flanges calculated with gross area. If the stress has been calculated over the effective cross-section, the mean stress is obtained by multiplying the stress for the effective cross- section by the ratio of the effective flange area to the gross flange area.

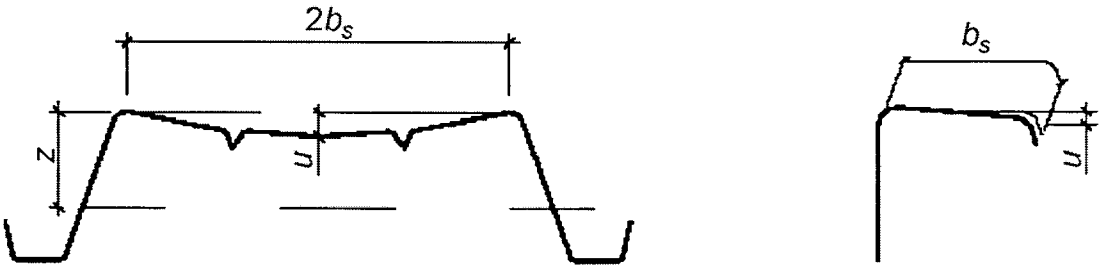


Рисунок 5.3 – Кривина полиць
Figure 5.3 – Flange curling

5.5 Місцева та загальна втрата стійкості

5.5.1 *Загальні положення*

(1) При визначенні місцевої і загальної втрати стійкості холодноформованих елементів і профлистів необхідно враховувати вплив місцевої втрати стійкості і стійкості форми перерізу.

(2) Вплив місцевої втрати стійкості може враховуватись використанням геометричних характеристик ефективного перерізу, які визначаються згідно з EN 1993-1-5.

(3) Під час перевірки опору місцевій втраті стійкості границя текучості f_y приймається як f_{yb} при визначенні ефективної ширини стиснутих елементів згідно з EN 1993-1-5.

Примітка. Стосовно опору див. 6.1.3(1).

(4) Для оцінки експлуатаційної придатності ефективна ширина стиснутого елемента визначається за напруженням стиску $\sigma_{com,Ed,ser}$ від нормативного навантаження.

(5) Загальна втрата стійкості форми перерізу елементів з крайовими або проміжними елементами жорсткості показана на рисунку 5.4(d) і розглядається в 5.5.3.

5.5 Local and distortional buckling

5.5.1 *General*

(1) The effects of local and distortional buckling should be taken into account in determining the resistance and stiffness of cold-formed members and sheeting.

(2) Local buckling effects may be accounted for by using effective cross-sectional properties, calculated on the basis of the effective widths, see EN 1993-1-5.

(3) In determining resistance to local buckling, the yield strength f_y should be taken as f_{yb} when calculating effective widths of compressed elements in EN 1993-1-5.

NOTE: For resistance see 6.1.3(1).

(4) For serviceability verifications, the effective width of a compression element should be based on the compressive stress $\sigma_{com,Ed,ser}$ in the element under the serviceability limit state loading.

(5) The distortional buckling for elements with edge or intermediate stiffeners as indicated in figure 5.4(d) are considered in Section 5.5.3.

(6) Ефекти загальної втрати стійкості повинні враховуватись за рисунком 5.4 (a), (b) і (c). В таких випадках ефекти втрати стійкості форми перерізу оцінюються лінійним (5.5.1(7)) або нелінійним розрахунком втрати стійкості (див. EN 1993-1-5) числовими методами, або випробуванням коротких стояків.

(6) The effects of distortional buckling should be allowed for in cases such as those indicated in figures 5.4(a), (b) and (c). In these cases the effects of distortional buckling should be determined performing linear (see 5.5.1(7)) or non-linear buckling analysis (see EN 1993-1-5) using numerical methods or column stub tests.

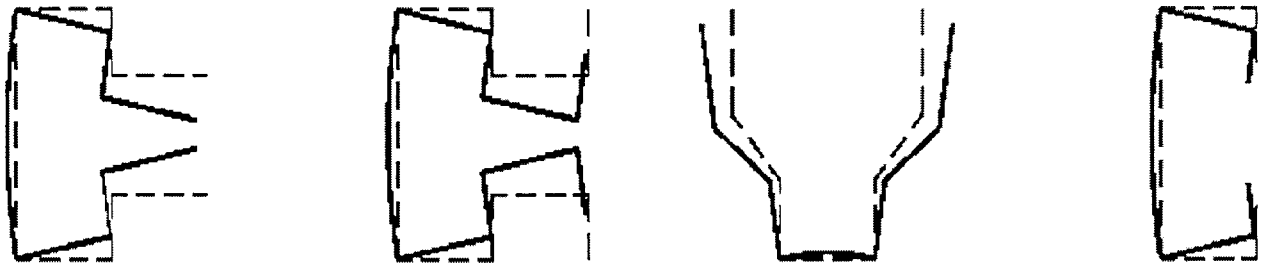


Рисунок 5.4 – Приклади втрати стійкості форми перерізу
Figure 5.4 – Examples of distortional buckling modes

(7) Без застосування спрощеного способу згідно з 5.5.3, при якому напруження втрати стійкості в пружній стадії визначаються лінійним розрахунком, може бути запропонований наступний алгоритм:

1) Для різних довжин хвиль до повної довжини елемента включно визначити напруження, яке відповідає втраті стійкості в пружній стадії і встановити адекватну форму втрати стійкості, див. рисунок 5.5a.

2) Визначити ефективну ширину (s) згідно з 5.5.2 для часток поперечного перерізу, що втратили місцеву стійкість при мінімальному напруженні, див. рисунок 5.5b.

3) Визначити приведену товщину (див. 5.5.3.1(7)) для крайових і проміжних елементів жорсткості або інших часток поперечного перерізу, які зазнали загальної втрати стійкості форми перерізу від дії мінімальних напружень, див. рисунок 5.5b.

4) Визначити загальний опір втраті стійкості, який відповідає втраті загальної стійкості згідно з 6.2 (згинальна, крутильна або поперечно-крутильна форма втрати стійкості в залежності від її типу) для елемента повної довжини з ефективним поперечним перерізом за 2) і 3).

(7) Unless the simplified procedure in 5.5.3 is used and where the elastic buckling stress is obtained from linear buckling analysis the following procedure may be applied:

1) For the wavelength up to the nominal member length, calculate the elastic buckling stress and identify the corresponding buckling modes, see figure 5.5a.

2) Calculate the effective width (s) according to 5.5.2 for locally buckled cross-section parts based on the minimum local buckling stress, see figure 5.5b.

3) Calculate the reduced thickness (see 5.5.3.1(7)) of edge and intermediate stiffeners or other cross- section parts undergoing distortional buckling based on the minimum distortional buckling stress, see figure 5.5b.

4) Calculate overall buckling resistance according to 6.2 (flexural, torsional or lateral-torsional buckling depending on buckling mode) for nominal member length and based on the effective cross-section from 2) and 3).

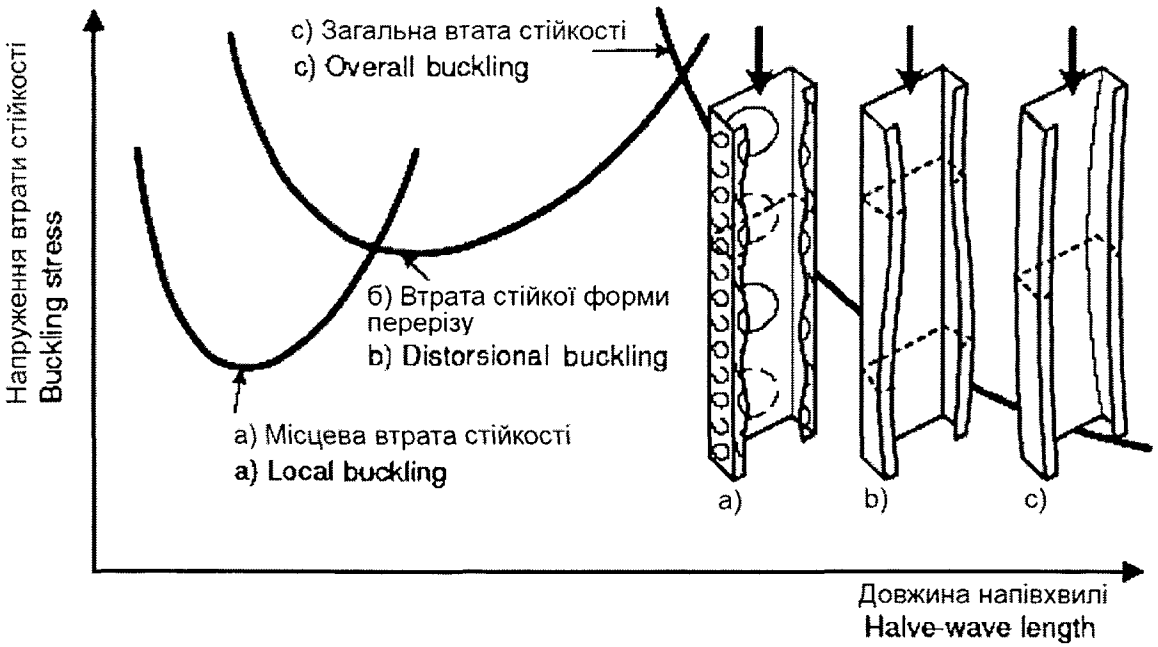


Рисунок 5.5a – Приклади залежності критичних напружень в пружній стадії для різних форм втрати стійкості від довжини напівхвилі, а також форм втрати стійкості

Figure 5.5a – Examples of elastic critical stress for various buckling modes as function of halve-wave length and examples of buckling modes

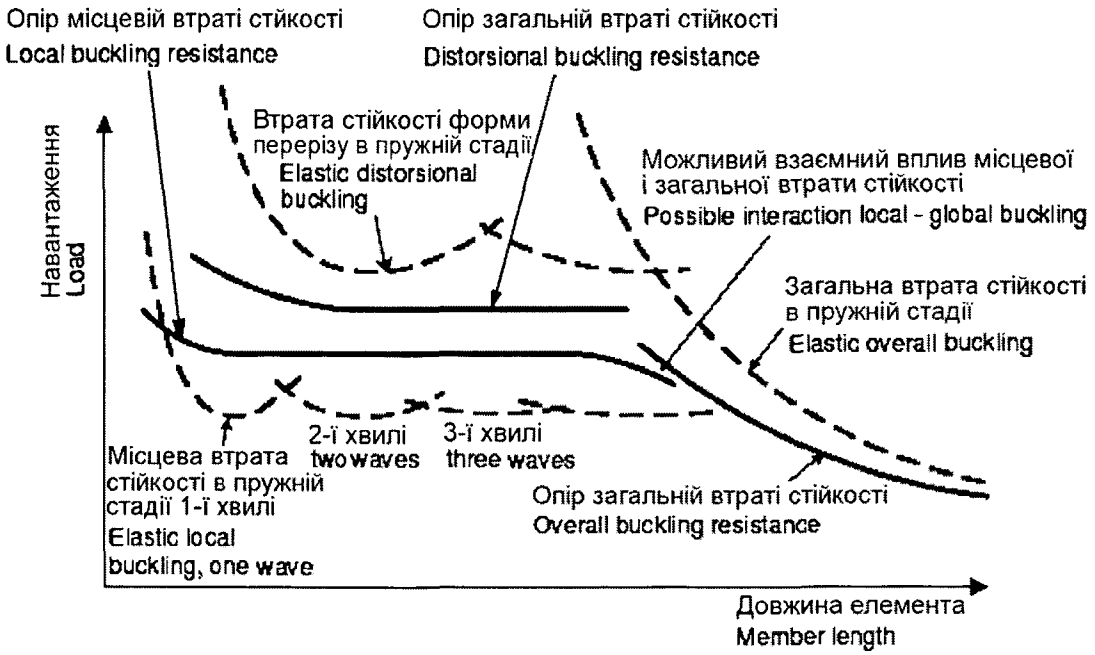


Рисунок 5.5b – Приклади залежності навантаження при втраті стійкості в пружній стадії та опору втраті стійкості від довжини елемента

Figure 5.5b – Examples of elastic buckling load and buckling resistance as a function of member length

5.5.2 *Плоскі елементи без елементів жорсткості*

(1) Ефективну ширину елементів без елементів жорсткості необхідно визначати згідно з EN 1993-1-5, використовуючи теоретичну ширину b_p для $\bar{b}$ шляхом врахування понижувального коефіцієнта для втрати стійкості листів, виходячи з їх умовної гнучкості $\bar{\lambda}_p$.

(2) Теоретична ширина b_p плоского елемента повинна бути визначена за рисунком 5.1 в підрозділі 5.1.4. У випадку, коли плоский елемент є нахиленою площиною, то приймається висота за нахилом.

Примітка. Для решти випадків більш точний метод визначення ефективної ширини наведено в додатку Д.

(3) При визначенні за методом EN 1993-1-5 можуть бути застосовані такі положення:

– співвідношення напружень ψ за таблицями 4.1 і 4.2, яке необхідне для визначення ефективної ширини полиць профілю під дією градієнта напружень, може бути обчислене з використанням характеристик повного перерізу;
– співвідношення напружень Ψ за таблицями 4.1 і 4.2, яке необхідне для визначення ефективної ширини стінки, може бути обчислене з використанням ефективної площі стиснутої полиці і повної площі стінки;
– характеристики ефективного перерізу можуть бути уточнені з використанням співвідношення напружень Ψ, яке обчислене для визначеного ефективного поперечного перерізу замість повного перерізу. Мінімальна кількість кроків в ітераційному розрахунку з градієнтом напруженого стану дорівнює двом;
– спрощений метод, наведений в 5.5.3.4, може бути використаний для стінок трапецієподібних листів, які знаходяться в умовах змінного напруженого стану.

5.5.3 *Плоскі елементи з крайовими або проміжними елементами жорсткості*

5.5.3.1 *Загальні положення*

(1) Розрахунок стиснених елементів з крайовими або проміжними елементами жорсткості повинен ґрунтуватися на припущенні, що елемент жорсткості працює як стиснутий з непе-

5.5.2 *Plane elements without stiffeners*

(1) The effective widths of unstiffened elements should be obtained from EN 1993-1-5 using the notional flat width b_p for $\bar{b}$ by determining the reduction factors for plate buckling based on the plate slenderness $\bar{\lambda}_p$.

(2) The notional flat width b_p of a plane element should be determined as specified in figure 5.1 of section 5.1.4. In the case of plane elements in a sloping webs, the appropriate slant height should be used.

NOTE: For outstands an alternative method for calculating effective widths is given in Annex D.

(3) In applying the method in EN 1993-1-5 the following procedure may be used:

– The stress ratio ψ, from tables 4.1 and 4.2 used to determine the effective width of flanges of a section subject to stress gradient, may be based on gross section properties.
– The stress ratio Ψ, from table 4.1 and 4.2 used to determine the effective width of web, may be obtained using the effective area of compression flange and the gross area of the web.
– The effective section properties may be refined by using the stress ratio Ψ based on the effective cross- section already found in place of the gross cross-section. The minimum steps in the iteration dealing with the stress gradient are two.
– The simplified method given in 5.5.3.4 may be used in the case of webs of trapezoidal sheeting under stress gradient.

5.5.3 *Plane elements with edge or intermediate stiffeners*

5.5.3.1 *General*

(1) The design of compression elements with edge or intermediate stiffeners should be based on the assumption that the stiffener behaves as a compression member with continuous partial

рервним закріпленням пружно-податливими в'язями, жорсткість яких залежить від граничних умов і згинальної жорсткості суміжних плоских елементів.

(2) Жорсткість пружно-податливих в'язей елемента жорсткості повинна визначатись прикладенням одиничного навантаження u на одиницю довжини, як вказано на рисунку 5.6. Жорсткість в'язей K на одиницю довжини може бути визначена за формулою:

restraint, with a spring stiffness that depends on the boundary conditions and the flexural stiffness of the adjacent plane elements.

(2) The spring stiffness of a stiffener should be determined by applying an unit load per unit length u as illustrated in figure 5.6. The spring stiffness K per unit length may be determined from:

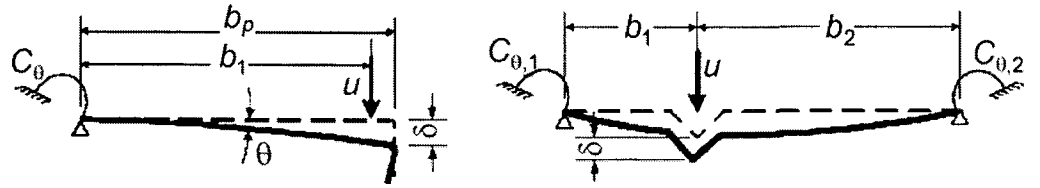
$$K = u / \delta \,, \tag{5.9}$$

де:

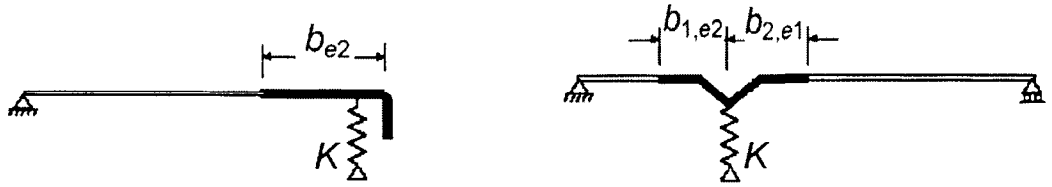
δ – переміщення елемента жорсткості від навантаження u, що діє у центрі тяжіння b_1 ефективної частки поперечного перерізу.

where:

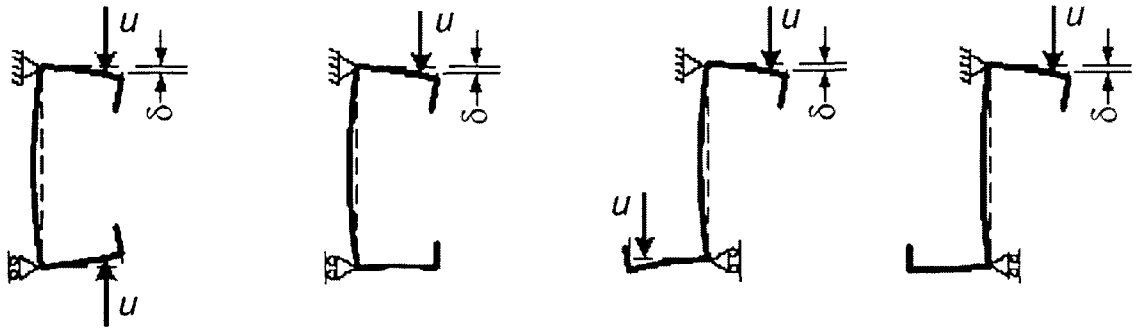
δ is the deflection of the stiffener due to the unit load u acting in the centroid (b_1) of the effective part of the cross-section.



a – фактична схема
a) Actual system



b – еквівалентна схема
b) Equivalent system



Стиск	Згин	Стиск	Згин
Compression	Bending	Compression	Bending

c – розрахункові схеми для визначення δ елементів С- і Z-подібної форми
c) Calculation of δ for C and Z sections

Рисунок 5.6 – Визначення жорсткості в'язі
Figure 5.6 – Determination of spring stiffness

(3) При визначенні кутових жорсткостей в'язі C_0, $C_{\theta,1}$ і $C_{\theta,2}$ в залежності від геометрії поперечного перерізу повинні враховуватись інші елементи жорсткості, які розташовані на цьому елементі або на будь-якому іншому елементі поперечного перерізу, що піддається стисненню.

(4) Для крайового елемента жорсткості переміщення δ визначається за формулою:

$$\delta = \theta b_p + \frac{u b_p^3}{3} \cdot \frac{12(1-\nu^2)}{Et^3}, \tag{5.10a}$$

де:

(5) Якщо крайові елементи жорсткості є відгинами полиць C- і Z-подібних перерізів, то C_θ повинна визначатись від одиничного навантаження u, що діє, як показано на рис. 5.6(c). Внаслідок чого для полиці 1 вираз жорсткості в'язі K_1 є таким:

$$K_1 = \frac{Et^3}{4(1-\nu^2)} \cdot \frac{1}{b_1^2 h_w + b_1^3 + 0{,}5 b_1 b_2 h_w k_f}, \tag{5.10b}$$

де:

b_1 – відстань від перетину стінки і полиці до центра тяжіння ефективної площі крайового відгину (включаючи ефективну частку полиці b_{e2}) на полиці 1, див. рисунок 5.6(a);

b_2 – відстань від перетину стінки з полицею до центра тяжіння ефективної площі крайового відгину (включаючи ефективну частку полиці) на полиці 2;

h_w – висота стінки;

k_f = 0 – якщо полиця 2 розтягнена (тобто для балки, яка згинається відносно осі y-y);

$k_f = \frac{A_{s2}}{A_{s1}}$ – при стиснутій полиці 2 (як при осьовому стиску стрижня);

k_f = 1 – при стиску симетричного перерізу.

A_{s1} і A_{s2} – ефективна площа відгину (включаючи ефективну частку b_{e2}, див. рисунок 5.6(b)) для полиць 1 і 2 відповідно.

(6) Для проміжного елемента жорсткості значення кутової жорсткості в'язей $C_{\theta,1}$ та $C_{\theta,2}$ можна приблизно прийняти таким, що дорів-

(3) In determining the values of the rotational spring stiffnesses C_0, $C_{\theta,1}$ and $C_{\theta,2}$ from the geometry of the cross-section, account should be taken of the possible effects of other stiffeners that exist on the same element, or on any other element of the cross-section that is subject to compression.

(4) For an edge stiffener, the deflection δ should be obtained from:

with:

$$\theta = u b_p / C_\theta .$$

(5) In the case of the edge stiffeners of lipped C-sections and lipped Z-sections, C_θ should be determined with the unit loads u applied as shown in figure 5.6(c). This results in the following expression for the spring stiffness K_1 for the flange 1:

where:

b_1 is the distance from the web-to-flange junction to the gravity center of the effective area of the edge stiffener (including effective part b_{e2} of the flange) of flange 1, see figure 5.6(a);

b_2 is the distance from the web-to-flange junction to the gravity center of the effective area of the edge stiffener (including effective part of the flange) of flange 2;

h_w is the web depth;

k_f = 0 if flange 2 is in tension (e.g. for beam in bending about the y-y axis);

$k_f = \frac{A_{s2}}{A_{s1}}$ if flange 2 is also in compression (e.g. for a beam in axial compression);

k_f = 1 for a symmetric section in compression.

A_{s1} and A_{s2} is the effective area of the edge stiffener (including effective part b_{e2} of the flange, see figure 5.6(b)) of flange 1 and flange 2 respectively.

(6) For an intermediate stiffener, as a conservative alternative the values of the rotational spring stiffnesses $C_{\theta,1}$ and $C_{\theta,2}$ may be taken as equal

нює нулю і переміщення δ можна визначити за формулою:

to zero, and the deflection δ may be obtained from:

$$\delta = \frac{ub_1^2 b_2^2}{3(b_1+b_2)} \cdot \frac{12(1-\nu^2)}{Et^3} . \quad (5.11)$$

(7) Понижувальний коефіцієнт для опору загальній втраті стійкості форми перерізу χ_d (згинальна форма втрати стійкості елемента жорсткості) повинен визначатись з урахуванням умовної гнучкості $\bar{\lambda}_d$ таким чином:

(7) The reduction factor χ_d for the distortional buckling resistance (flexural buckling of a stiffener) should be obtained from the relative slenderness $\bar{\lambda}_d$ from:

$$\chi_d = 1,0 \text{ при (if) } \bar{\lambda}_d \le 0,65 , \quad (5.12a)$$

$$\chi_d = 1,47 - 0,723\bar{\lambda}_d \text{ при (if) } 0,65 < \bar{\lambda}_d < 1,38 , \quad (5.12b)$$

$$\chi_d = \frac{0,66}{\bar{\lambda}_d} \text{ при (if) } \bar{\lambda}_d \ge 1,38 , \quad (5.12c)$$

де:

where:

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{f_{yb}/\sigma_{cr,s}} , \quad (5.12d)$$

де:

$\sigma_{cr,s}$ – критичне напруження в пружній стадії для елемента (тів) жорсткості згідно з 5.5.3.2, 5.5.3.3 або 5.5.3.4.

where:

$\sigma_{cr,s}$ is the elastic critical stress for the stiffener(s) from 5.5.3.2, 5.5.3.3 or 5.5.3.4.

(8) Альтернативно критичне напруження в пружній стадії $\sigma_{cr,s}$ може бути визначено пружним розрахунком першого порядку на втрату стійкості за недеформованою схемою з використанням чисельних методів (див. 5.5.1(7)).

(8) Alternatively, the elastic critical buckling stress $\sigma_{cr,s}$ may be obtained from elastic first order buckling analysis using numerical methods (see 5.5.1(7)).

(9) Для плоского елемента з крайовим і проміжним елементом (тами) жорсткості за відсутності більш точного методу розрахунку, вплив проміжного елемента (тів) жорсткості можна не враховувати.

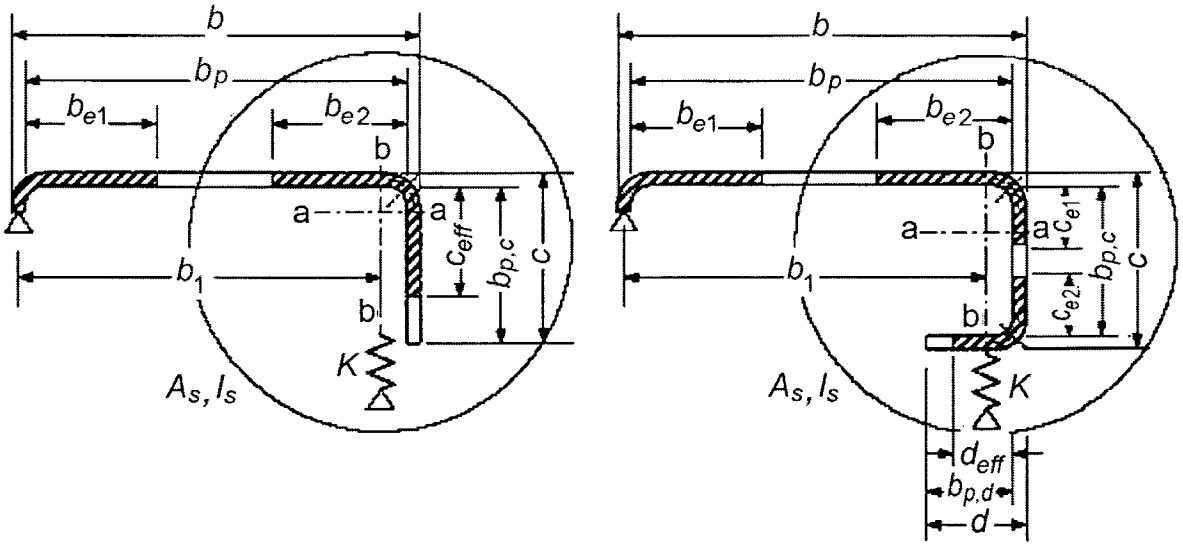
(9) In the case of a plane element with an edge and intermediate stiffener (s) in the absence of a more accurate method the effect of the intermediate stiffener(s) may be neglected.

5.5.3.2 *Плоскі елементи з крайовими відгинами*

5.5.3.2 *Plane elements with edge stiffeners*

(1) Для крайового відгину наведена нижче методика може застосовуватись, якщо кут між відгином і плоским елементом знаходиться в межах від 45° до 135° і виконуються вимоги 5.2.

(1) The following procedure is applicable to an edge stiffener if the requirements in 5.2 are met and the angle between the stiffener and the plane element is between 45° and 135°.



$b / t \leq 60$
a) одинарний
a) single edge fold

$b / t < 90$
b) подвійний
b) double edge fold

Рисунок 5.7 – Крайові відгини
Figure 5.7 – Edge stiffeners

(2) Поперечний переріз крайового відгину повинен складатись з ефективної частки елемента жорсткості, тобто частки *c* або часток *c* і *d*, як вказано на рисунку 5.7, плюс ефективна частка плоского відрізку b_p.

(3) Алгоритм визначення ефективної ширини стиснутих полиць з елементами жорсткості у вигляді відгинів наведений на рисунку 5.8 і повинен складатись з таких етапів:

Етап 1: визначається початковий ефективний переріз елемента жорсткості з використанням ефективної ширини, яка обчислюється при $\sigma_{com,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M0}$, див. (4) і (5);

Етап 2: визначається понижувальний коефіцієнт загальної втрати стійкості форми перерізу (згинальна форма втрати стійкості крайового елемента жорсткості), використовуючи початковий ефективний переріз елемента жорсткості і наявність неперервної пружно-податливої опори, див. (6), (7) і (8);

Етап 3: ітераційним розрахунком уточнюється понижувальний коефіцієнт втрати стійкості форми перерізу, див. (9), (10).

(4) Початкові значення ефективної ширини b_{e1} і b_{e2}, що наведені на рисунку 5.7, визначаються згідно з 5.5.2 з припущенням, що плоский елемент b_p закріплений з двох боків, див. таблицю 4.1 EN 1993-1-5.

(2) The cross-section of an edge stiffener should be taken as comprising the effective portions of the stiffener, element *c* or elements *c* and *d* as shown in figure 5.7, plus the adjacent effective portion of the plane element b_p.

(3) The procedure, which is illustrated in figure 5.8, should be carried out in steps as follows:

– **Step 1:** Obtain an initial effective cross-section for the stiffener using effective widths determined by assuming that the stiffener gives full restraint and that $\sigma_{com,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M0}$, see (4) to (5);

– **Step 2:** Use the initial effective cross-section of the stiffener to determine the reduction factor for distortional buckling (flexural buckling of a stiffener), allowing for the effects of the continuous spring restraint, see (6), (7) and (8);

– **Step 3:** Optionally iterate to refine the value of the reduction factor for buckling of the stiffener, see (9) and (10).

(4) Initial values of the effective widths b_{e1} and b_{e2} shown in figure 5.7 should be determined from clause 5.5.2 by assuming that the plane element b_p is doubly supported, see table 4.1 in EN 1993-1-5.

(5) Початкові значення ефективної ширини, що показані на рисунку 5.7, повинні визначатись в такий спосіб:

(5) Initial values of the effective widths ceff and deff shown in figure 5.7 should be obtained as follows:

а) для одинарного відгину:

a) for a single edge fold stiffener:

$$c_{eff} = \rho b_{p,c} , \tag{5.13a}$$

де ρ визначається в 5.5.2 з урахуванням коефіцієнта втрати стійкості k_σ:

with ρ obtained from 5.5.2, except using a value of the buckling factor k_σ given by the following:

– якщо $b_{p,c} / b_p \le 0,35$:

– if $b_{p,c} / b_p \le 0,35$:

$$k_\sigma = 0,5; \tag{5.13b}$$

– якщо $0,35 < b_{p,c} / b_p \le 0,6$:

– if $0,35 < b_{p,c} / b_p \le 0,6$:

$$k_\sigma = 0,5 + 0,83\sqrt[3]{\left(b_{p,c}/b_p - 0,35\right)^2}; \tag{5.13c}$$

б) для подвійного відгину:

b) for a double edge fold stiffener:

$$c_{eff} = \rho b_{p,c} , \tag{5.13d}$$

де ρ визначається за 5.5.2 з урахуванням коефіцієнта втрати стійкості k_σ для закріпленого з двох боків елемента за таблицею 4.1 EN 1993-1-5.

with ρ obtained from 5.5.2 with a buckling factor k_σ for a doubly supported element from table 4.1 in EN 1993-1-5

$$d_{eff} = \rho b_{p,d} , \tag{5.13e}$$

де ρ визначається за 5.5.2 з урахуванням коефіцієнта k_σ, як для відокремленого елемента, за таблицею 4.2 EN 1993-1-5.

with ρ otained from 5.5.2 with a buckling factor k_σ for an outstand element from table 4.2 in EN 1993-1-5.

(6) Ефективна площа поперечного перерізу A_s крайового відгину визначається за формулами:

(6) The effective cross-sectional area of the edge stiffener A_s should be obtained from:

$$A_s = t(b_{e2} + c_{eff}) \tag{5.14a}$$

або

or

$$A_s = t(b_{e2} + c_{e1} + c_{e2} + d_{eff}) . \tag{5.14b}$$

Примітка. За необхідності враховуються закруглення, див. 5.1.

NOTE: The rounded corners should be taken into account if needed, see 5.1.

(7) Критичне напруження $\sigma_{cr,s}$ втрати стійкості крайового відгину в пружній стадії визначається за формулою:

(7) The elastic critical buckling stress $\sigma_{cr,s}$ for an edge stiffener should be obtained from:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2\sqrt{KEI_s}}{A_s} , \tag{5.15}$$

де:

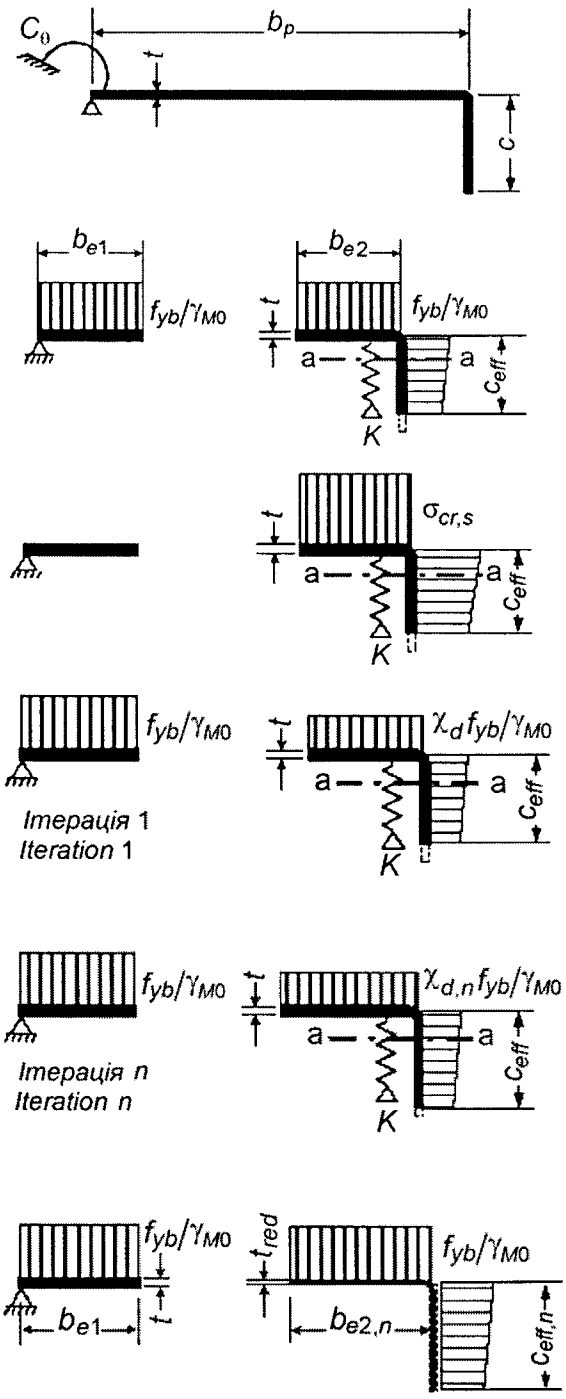
where:

K – погонна жорсткість в'язі, див. 5.5.3.1(2);

K is the spring stiffness per unit length, see 5.5.3.1(2).

I_s – момент інерції ефективного перерізу відгину, визначений за ефективною площею A_s відносно центральної осі a – a ефективного поперечного перерізу, див. рисунок 5.7.

I_s is the effective second moment of area of the stiffener, taken as that of its effective area A_s about the centroidal axis a – a of its effective cross-section, see figure 5.7.



a) Повний поперечний переріз і граничні умови
a) Gross cross-section and boundary conditions

b) **Етап 1:** ефективний поперечний переріз при $K = \infty$ на базі $\sigma_{com,Ed} = f_{yb}/\gamma_{M0}$
b) **Step 1:** Effective cross-section for $K = \infty$ based on $\sigma_{com,Ed} = f_{yb}/\gamma_{M0}$

c) **Етап 2:** критичне напруження $\sigma_{cr,s}$ в пружній стадії для ефективної площі A_s із етапу 1
c) **Step 2:** Elastic critical stress $\sigma_{cr,s}$ for effective area of stiffener A_s from step 1

d) Знижена міцність $\chi_d f_{yb}/\gamma_{M0}$ для елемента жорсткості з ефективною площею A_s і понижувальним коефіцієнтом χ_d на базі $\sigma_{cr,s}$
d) Reduced strength $\chi_d f_{yb}/\gamma_{M0}$ for effective area of stiffener A_s, with reduction factor χ_d based on $\sigma_{cr,s}$

e) **Етап 3:** повторюється етап 1 для розрахунку ефективної ширини із зниженим напруженням стиску $\sigma_{com,Ed,i} = \chi_d f_{yb}/\gamma_{M0}$ з χ_d із ітерації 1 доти, поки $\chi_{d,n} \approx \chi_{d,(n-1)}$, але $\chi_{d,n} \leq \chi_{d,(n-1)}$
e) **Step 3:** Optionally repeat step 1 by calculating the effective width with a reduced compressive stress $\sigma_{com,Ed,i} = \chi_d f_{yb}/\gamma_{M0}$ with χ_d from previous iteration, continuing until $\chi_{d,n} \approx \chi_{d,(n-1)}$ but $\chi_{d,n} \leq \chi_{d,(n-1)}$)

f) Приймається ефективний поперечний переріз з b_{e2}, c_{eff} і приведена товщина t_{red}, що кореспондується з $\chi_{d,n}$
f) Adopt an effective cross-section with b_{e2}, c_{eff} and reduced thickness t_{red} corresponding to $\chi_{d,n}$

Рисунок 5.8 – Опір стиску полиці з крайовим відгином
Figure 5.8 – Compression resistance of a flange with an edge stiffener

(8) Альтернативно критичне напруження $\sigma_{cr,s}$ при втраті стійкості в пружній стадії можна визначити, використовуючи числові методи пружних розрахунків першого порядку на втрату стійкості, див. 5.5.1(7).

(9) Понижувальний коефіцієнт загальної втрати стійкості χ_d (згинальна форма втрати стійкості крайового елемента жорсткості) визначається в залежності від величини $\sigma_{cr,s}$ за методом 5.5.3.1(7).

(8) Alternatively, the elastic critical buckling stress $\sigma_{cr,s}$ may be obtained from elastic first order buckling analyses using numerical methods, see 5.5.1(7).

(9) The reduction factor χ_d for the distortional buckling (flexural buckling of a stiffener) resistance of an edge stiffener should be obtained from the value of $\sigma_{cr,s}$ using the method given in 5.5.3.1(7).

(10) Якщо $\chi_d < 1$, значення понижувального коефіцієнта стійкості можна визначити ітераційно, починаючи з модифікованих значень ρ, визначених згідно з 5.5.2(5), приймаючи $\sigma_{com,Ed,i}$ як $\chi_d f_{yb}/\gamma_{M0}$ за умови, що:

(10) If $\chi_d < 1$ it may be refined iteratively, starting the iteration with modified values of ρ obtained using 5.5.2(5) with $\sigma_{com,Ed,i}$ equal to $\chi_d f_{yb}/\gamma_{M0}$, so that:

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\chi_d} \ . \tag{5.16}$$

(11) Приведена ефективна площа елемента жорсткості $A_{s,red}$ з урахуванням згинальної форми втрати стійкості визначається так:

(11) The reduced effective area of the stiffener $A_{s,red}$ allowing for flexural buckling should be taken as:

$$A_{s,red} = \chi_d A_s \frac{f_{yb}/\gamma_{M0}}{\sigma_{com,Ed}} \text{ але (but) } A_{s,red} \geq A_s \ , \tag{5.17}$$

де

$\sigma_{com,Ed}$ – напруження стиску вздовж центральної осі елемента жорсткості обчислене для ефективного поперечного перерізу.

(12) При визначенні геометричних характеристик ефективного поперечного перерізу приведена ефективна площа $A_{s,red}$ повинна визначатись за приведеною товщиною $t_{red} = t A_{s,red}/A_s$ для усіх елементів, які включені в A_s.

where

$\sigma_{com,Ed}$ is compressive stress at the centreline of the stiffener calculated on the basis of the effective cross-section.

(12) In determining effective section properties, the reduced effective area $A_{s,red}$ should be repreented by using a reduced thickness $t_{red} = t A_{s,red}/A_s$ for all the elements included in A_s.

5.5.3.3 *Плоскі елементи з проміжними елементами жорсткості*

(1) Алгоритм, що наводиться нижче, можна застосовувати для одного або двох однаково вигнутих або скруглених елементів жорсткості з урахуванням того, що всі плоскі елементи розраховані згідно з 5.5.2.

(2) Поперечний переріз проміжного елемента жорсткості приймається таким, що складений із самого елемента та суміжних ефективних частин плоских відрізків $b_{p,1}$ і $b_{p,2}$, див. рисунок 5.9.

(3) Алгоритм, показаний на рисунку 5.10, складається з таких етапів:

Етап 1: визначення початкового ефективного перерізу елемента жорсткості за ефективною шириною, обчисленою за умови, що елемент жорсткості забезпечує повне защемлення і $\sigma_{com,Ed} = f_{yb}/\gamma_{M0}$, див. (4) і (5);

Етап 2: для визначення понижувального коефіцієнта загальної втрати стійкості (згинальна форма втрати стійкості проміжного елемента жорсткості) використовується початковий поперечний переріз елемента жорсткості з припущенням щодо наявності неперервної пружно-податливої опори, див. (6), (7) і (8);

5.5.3.3 *Plane elements with intermediate stiffeners*

(1) The following procedure is applicable to one or two equal intermediate stiffeners formed by grooves or bends provided that all plane elements are calculated according to 5.5.2.

(2) The cross-section of an intermediate stiffener should be taken as comprising the stiffener itself plus the adjacent effective portions of the adjacent plane elements $b_{p,1}$ and $b_{p,2}$ shown in figure 5.9.

(3) The procedure, which is illustrated in figure 5.10, should be carried out in steps as follows:

- **Step 1:** Obtain an initial effective cross-section for the stiffener using effective widths determined by assuming that the stiffener gives full restraint and that $\sigma_{com,Ed} = f_{yb}/\gamma_{M0}$, see (4) and (5);
- **Step 2:** Use the initial effective cross-section of the stiffener to determine the reduction factor for distortional buckling (flexural buckling of an intermediate stiffener), allowing for the effects of the continuous spring restraint, see (6), (7) and (8);

Етап 3: уточнення понижувального коефіцієнта загальної втрати стійкості елемента жорсткості здійснюється ітеративно, див. (9) і (10).

(4) Початкові значення ефективної ширини $b_{1,e2}$ і $b_{2,e1}$, див. рисунок 5.9, повинні визначатись за 5.5.2 з припущенням, що плоскі елементи $b_{p,1}$ і $b_{p,2}$ закріплені з двох боків, див. 4.1 EN 1993-1-5.

– Step 3: Optionally iterate to refine the value of the reduction factor for buckling of the stiffener, see (9) and (10).

(4) Initial values of the effective widths $b_{1,e2}$ and $b_{2,e1}$ shown in figure 5.9 should be determined from 5.5.2 by assuming that the plane elements $b_{p,1}$ and $b_{p,2}$ are doubly supported, see table 4.1 in EN 1993-1-5.

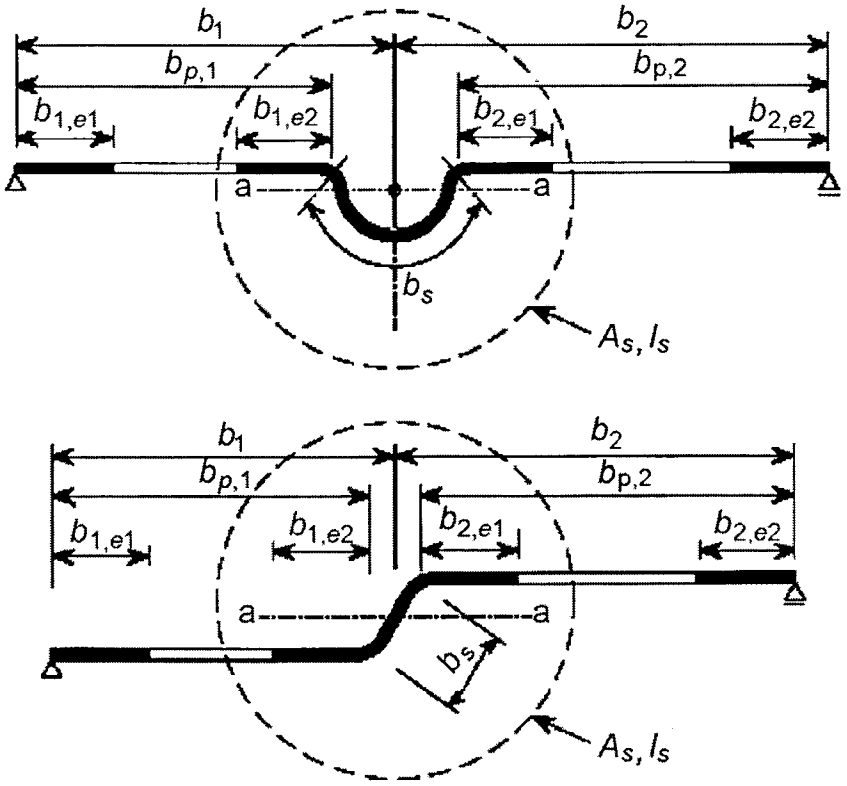


Рисунок 5.9 – Проміжні елементи жорсткості

Figure 5.9 – Intermediate stiffeners

(5) Ефективна площа поперечного перерізу проміжного елемента жорсткості A_s повинна визначатися за формулою:

(5) The effective cross-sectional area of an intermediate stiffener A_s should be obtained from:

$$A_s = t(b_{1,e2} + b_{1,e2} + b_s), \tag{5.18}$$

де b_s – ширина елемента жорсткості, див. рисунок 5.9.

in which the stiffener width b_s is as shown in figure 5.9.

Примітка. За необхідності враховуються закруглення згинів, див. 5.1.

NOTE: The rounded corners should be taken into account if needed, see 5.1.

(6) Критичне напруження $\sigma_{cr,s}$ при втраті стійкості проміжного елемента жорсткості повинно визначатися за формулою:

(6) The critical buckling stress $\sigma_{cr,s}$ for an intermediate stiffener should be obtained from:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2\sqrt{KEI_s}}{A_s}, \tag{5.19}$$

де:

K – погонна жорсткість в'язі, див. 5.5.3.1(2);

I_s – момент інерції ефективного перерізу, визначений за ефективною площею A_s відносно центральної осі a – a ефективного поперечного перерізу, див. рисунок 5.9.

(7) Альтернативно критичне напруження $\sigma_{cr,s}$ при втраті стійкості в пружній стадії можна визначити числовими методами пружного розрахунку першого порядку на втрату стійкості, див. 5.5.1(7).

(8) Понижувальний коефіцієнт для опору загальній втраті стійкості форми перерізу χ_d (згинальна форма втрати стійкості проміжного елемента жорсткості) визначається в залежності від значення $\sigma_{cr,s}$ за методикою 5.5.3.1(7).

(9) Якщо $\chi_d < 1$, значення понижувального коефіцієнта можна визначити ітераційно, починаючи з модифікованих значень ρ, обчислених за 5.5.2(5), приймаючи $\sigma_{com,Ed,i}$ як $\chi_d f_{yb}/\gamma_{M0}$ за умови, що:

where:

K is the spring stiffness per unit length, see 5.5.3.1(2);

I_s is the effective second moment of area of the stiffener, taken as that of its effective area A_s about the centroidal axis a – a of its effective cross-section, see figure 5.9.

(7) Alternatively, the elastic critical buckling stress $\sigma_{cr,s}$ may be obtained from elastic first order buckling analyses using numerical methods, see 5.5.1(7).

(8) The reduction factor χ_d for the distortional buckling resistance (flexural buckling of an intermediate stiffener) should be obtained from the value of $\sigma_{cr,s}$ using the method given in 5.5.3.1(7).

(9) If $\chi_d < 1$ it may optionally be refined iteratively, starting the iteration with modified values of ρ obtained using 5.5.2(5) with $\sigma_{com,Ed,i}$ equal to $\chi_d f_{yb}/\gamma_{M0}$, so that:

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\chi_d} \ . \tag{5.20}$$

(10) Приведена ефективна площа елемента жорсткості $A_{s,red}$, що обумовлена загальною втратою стійкості форми перерізу (згинальна форма втрати стійкості елемента жорсткості), визначається як:

(10) The reduced effective area of the stiffener $A_{s,red}$ allowing for distortional buckling (flexural buckling of a stiffener) should be taken as:

$$A_{s,red} = \chi_d A_s \frac{f_{yb}/\gamma_{M0}}{\sigma_{com,Ed}} \text{ але (but) } A_{s,red} \le A_s \ , \tag{5.21}$$

де:

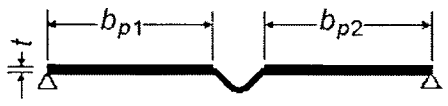
$\sigma_{com,Ed}$ – напруження стиску вздовж центральної осі елемента жорсткості, обчислене для ефективного поперечного перерізу.

(11) При визначенні геометричних характеристик ефективного поперечного перерізу приведена ефективна площа $A_{s,red}$ повинна бути обчислена за приведеною товщиною $t_{red} = t A_{s,red}/A_s$ для всіх елементів, що включені в A_s.

where:

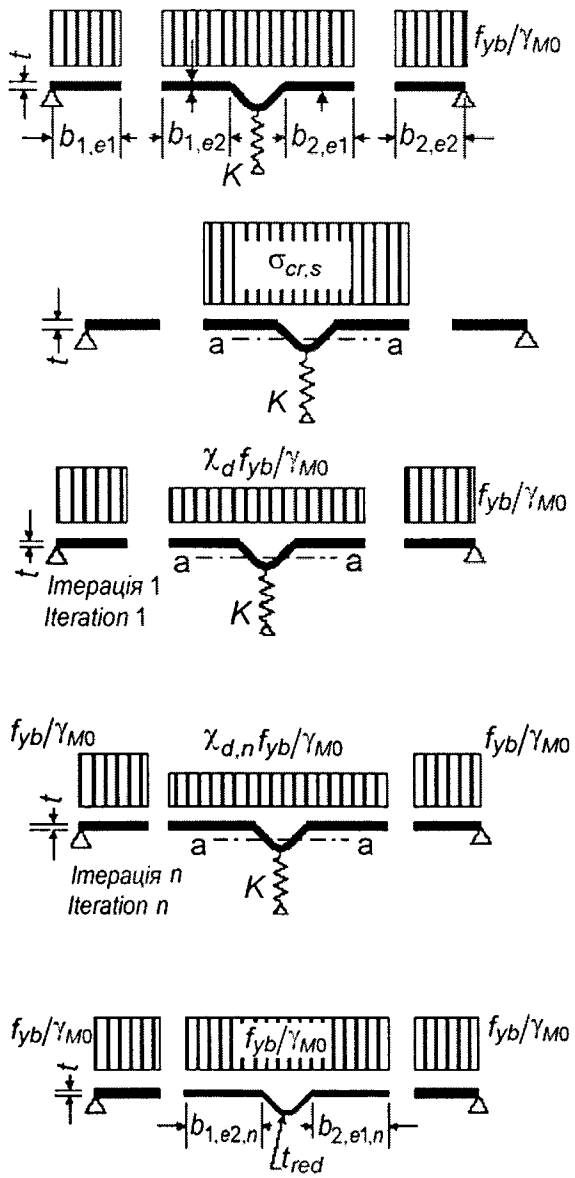
$\sigma_{com,Ed}$ is compressive stress at the centreline of the stiffener calculated on the basis of the effective cross-section.

(11) In determining effective section properties, the reduced effective area $A_{s,red}$ should be repreented by using a reduced thickness $t_{red} = t A_{s,red}/A_s$ s for all the elements included in A_s.



a) Повний поперечний переріз і граничні умови

a) Gross cross-section and boundary conditions



b) **Етап 1:** ефективний поперечний переріз при $K = \infty$ на базі $\sigma_{com,Ed} = f_{yb}/\gamma_{M0}$

b) **Step 1:** Effective cross-section for $K = \infty$ based on $\sigma_{com,Ed} = f_{yb}/\gamma_{M0}$

c) **Етап 2:** критичне напруження $\sigma_{cr,s}$ в пружній стадії з ефективною площею A_s елемента з етапу 1

c) **Step 2:** Elastic critical stress $\sigma_{cr,s}$ for effective area of stiffener A_s from step 1

d) Знижена міцність $\chi_d f_{yb}/\gamma_{M0}$ елемента жорсткості з ефективною площею A_s і понижувальним коефіцієнтом χ_d на базі $\sigma_{cr,s}$

d) Reduced strength $\chi_d f_{yb}/\gamma_{M0}$ for effective area of stiffener A_s, with reduction factor χ_d based on $\sigma_{cr,s}$

e) **Етап 3:** повторюється етап 1 для розрахунку ефективної ширини із зменшеним напруженням стиску $\sigma_{com,Ed,i} = \chi_d f_{yb}/\gamma_{M0}$ з χ_d попередньої ітерації до виконання умови $\chi_{d,n} \approx \chi_{d,(n-1)}$, але $\chi_{d,n} \leq \chi_{d,(n-1)}$

e) **Step 3:** Optionally repeat step 1 by calculating the effective width with a reduced compressive stress $\sigma_{com,Ed,i} = \chi_d f_{yb}/\gamma_{M0}$ with χ_d from previous iteration, continuing until $\chi_{d,n} \approx \chi_{d,(n-1)}$ but $\chi_{d,n} \leq \chi_{d,(n-1)}$)

f) Приймається ефективний поперечний переріз з $b_{1,e2}$, $b_{2,e}$ і приведена товщина t_{red} відповідно $\chi_{d,n}$

f) Adopt an effective cross-section with $b_{1,e2}$, $b_{2,e}$ and reduced thickness t_{red} corresponding to $\chi_{d,n}$

Рисунок 5.10 – Опір стиску полиці з проміжним елементом жорсткості

Figure 5.10 – Compression resistance of a flange with an intermediate stiffener

5.5.3.4 *Трапецієподібні листові профілі з проміжними елементами жорсткості*

5.5.3.4.1 Загальні положення

(1) Вимоги 5.5.3.4 розповсюджуються на трапецієподібні профлисти і застосовуються разом з 5.5.3.3 як для полиць, так і для стінок з проміжними елементами жорсткості.

(2) Урахування сумісної роботи проміжних елементів жорсткості як для полиць, так і для стінок при втраті стійкості виконується за методикою 5.5.3.4.4.

5.5.3.4 *Trapezoidal sheeting profiles with intermediate stiffeners*

5.5.3.4.1 General

(1) This sub-clause 5.5.3.4 should be used for trapezoidal profiled sheets, in association with 5.5.3.3 for flanges with intermediate flange stiffeners and 5.5.3.3 for webs with intermediate stiffeners.

(2) Interaction between the buckling of intermediate flange stiffeners and intermediate web stiffeners should also be taken into account using the method given in 5.5.3.4.4.

5.5.3.4.2 Полиці з проміжними елементами жорсткості

(1) При рівномірному стиску допускається, що ефективний поперечний переріз полиці з проміжними елементами жорсткості складається із приведеної ефективної площі $A_{s,red}$, яка включає переріз елемента жорсткості і дві прилеглі стрічки завширшки $0{,}5b_{eff}$ (або 15 t, див. рисунок 5.11).

(2) При одному елементі жорсткості в центрі полиці критичне напруження $\sigma_{cr,s}$ при втраті стійкості в пружній стадії визначається за формулою:

5.5.3.4.2 Flanges with intermediate stiffeners

(1) If it is subject to uniform compression, the effective cross-section of a flange with intermediate stiffeners should be assumed to consist of the reduced effective areas $A_{s,red}$ including two strips of width $0{,}5b_{eff}$ (or 15 t, see figure 5.11) adjacent to the stiffener.

(2) For one central flange stiffener, the elastic critical buckling stress $\sigma_{cr,s}$ should be obtained from:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4{,}2k_w E}{A_s}\sqrt{\frac{I_s t^3}{4b_p^2(2b_p + 3b_s)}}, \tag{5.22}$$

де:

b_p – теоретична ширина плоского елемента, див. рисунок 5.11;

b_s – ширина елемента жорсткості за периметром, див. рисунок 5.11;

A_s, I_s – площа і момент інерції перерізу елемента жорсткості згідно з рисунком 5.11;

k_w – коефіцієнт, що враховує часткове защемлення від повороту підсиленої елементом жорсткості полиці, яке створюється стінками або іншими прилеглими елементами, див. (5) і (6). При осьовому стиску для визначення ефективної площі k_w = 1,0.

Формула (5.22) може застосовуватись і для елементів жорсткості у вигляді широких гофрів, плоска частина яких зменшена за умови місцевої втрати стійкості, а b_p у формулі (5.22) замінюється на більше із значень b_p або $0{,}25\,(3b_p + b_r)$, див. рисунок 5.11. Цей підхід можна використовувати і для полиць з двома або декількома широкими гофрами.

(3) При симетричному розташуванні на полиці двох елементів жорсткості критичне напруження $\sigma_{cr,s}$ при втраті стійкості в пружній стадії повинно визначатись за формулою:

where:

b_p is the notional flat width of plane element shown in figure 5.11;

b_s is the stiffener width, measured around the perimeter of the stiffener, see figure 5.11;

A_s, I_s are the cross-section area and the second moment of area of the stiffener cross-section according to figure 5.11;

k_w is a coefficient that allows for partial rotational restraint of the stiffened flange by the webs or other adjacent elements, see (5) and (6). For the calculation of the effective cross-section in axial compression the value k_w = 1,0.

The equation (5.22) may be used for wide grooves provided that flat part of the stiffener is reduced due to local buckling and b_p in the equation (5.22) is replaced by the larger of b_p and $0{,}25\,(3b_p + b)$, see figure 5.11. Similar method is valid for flange with two or more wide grooves.

(3) For two symmetrically placed flange stiffeners, the elastic critical buckling stress $\sigma_{cr,s}$ should be obtained from:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4{,}2k_w E}{A_s}\sqrt{\frac{I_s t^3}{8b_1^2(3b_e + 4b_1)}}, \tag{5.23a}$$

де:

with:

$$b_e = 2b_{p,1} + b_{p,2} + 2b_s,$$

$$b_1 = b_{p,1} + 0{,}5\, b_r ,$$

де:

$b_{p,1}$ – теоретична ширина крайнього плоского елемента, як показано на рисунку 5.11;

$b_{p,2}$ – теоретична ширина середнього плоского елемента, як показано на рисунку 5.11;

b_r – загальна ширина елемента жорсткості, як показано на рисунку 5.11;

A_s , I_s – площа і момент інерції поперечного перерізу елемента жорсткості.

where:

$b_{p,1}$ is the notional flat width of an outer plane element, as shown in figure 5.11;

$b_{p,2}$ is the notional flat width of the central plane element, as shown in figure 5.11;

b_r is the overall width of a stiffener, see figure 5.11;

A_s , I_s are the cross-section area and the second moment of area of the stiffener cross-section according to figure 5.11.

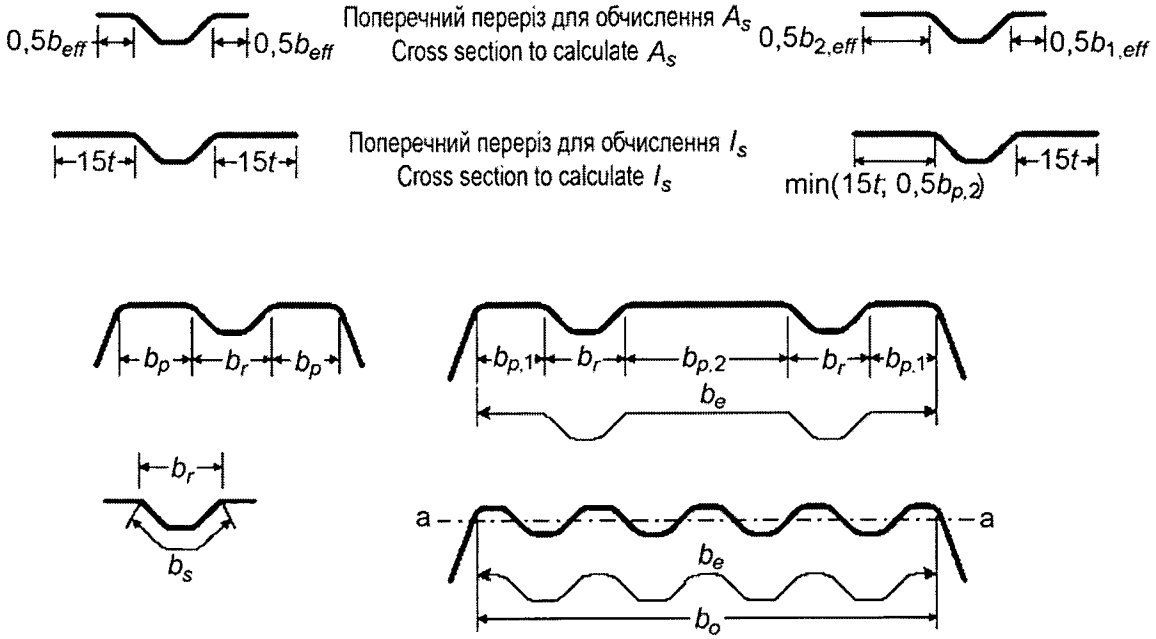


Рисунок 5.11 – Стиск полиці з одним, двома або декількома елементами жорсткості

Figure 5.11 – Compression flange with one, two or multiple stiffeners

(4) Для декількох елементів жорсткості на полиці (трьох однакових або більше) ефективна площа всієї полиці дорівнює:

(4) For a multiple stiffened flange (three or more equal stiffeners) the effective area of the entire flange is

$$A_{eff} = \rho b_{et} , \qquad (5.23b)$$

де ρ – понижувальнийний коефіцієнт (див. додаток E EN 1993-1-5) відповідно до гнучкості $\bar{\lambda}_p$, що базується на напруженні при втраті стійкості в пружній стадії

where ρ is the reduction factor according to EN 1993-1-5, Annex E for the slenderness $\bar{\lambda}_p$ based on the elastic buckling stress

$$\sigma_{cr,s} = 1{,}8E\sqrt{\frac{I_s t}{b_o^2 b_e^3}} + 3{,}6\frac{Et^2}{b_o^2} , \qquad (5.23c)$$

де:

I_s – сумарний момент інерції елементів жорсткості відносно центральної осі a – a без врахування товщини, вираженої як $bt^3/12$;

where:

I_s is the sum of the second moment of area of the stiffeners about the centroidal axis a – a, neglecting the thickness terms $bt^3/12$;

b_o – ширина полиці (див. рисунок 5.11);

b_e – розгорнута ширина полиці (див. рисунок 5.11).

(5) Значення k_w може бути визначено з урахуванням довжини хвилі l_b полиці, яка втратила стійкість при стиску, в такий спосіб:

– якщо $l_b / s_w \geq 2$:

$$k_w = k_{wo} ; \tag{5.24a}$$

– якщо $l_b / s_w < 2$:

$$k_w = k_{wo} - (k_{wo} - 1)\left[\frac{2 l_b}{s_w} - \left(\frac{l_b}{s_w}\right)^2\right], \tag{5.24b}$$

де:

s_w – висота стінки по нахилу, див. рис. 5.1(c).

(6) Альтернативно коефіцієнт защемлення від повороту k_w може бути з запасом прийнятий 1,0, як при шарнірному з'єднанні.

(7) Значення l_b і k_{wo} можуть бути визначені за формулами:

– для стиснутої полиці з одним елементом жорсткості:

$$l_b = 3{,}07 \sqrt[4]{\frac{l_s b_p^2 (2b_p + 3b_s)}{t^3}}, \tag{5.25}$$

$$k_{wo} = \sqrt{\frac{s_w + 2b_d}{s_w + 0{,}5 b_d}}, \tag{5.26}$$

де:

$$b_d = 2b_p + b_s;$$

– для стиснутої полиці з двома або трьома елементами жорсткості:

$$l_b = 3{,}65 \sqrt[4]{l_s b_1^2 (3b_e - 4b_1)/t^3}, \tag{5.27}$$

$$k_{wo} = \sqrt{\frac{(2b_e + s_w)(3b_e - 4b_1)}{b_1(4b_e - 6b_1) + s_w(3b_e - 4b_1)}}. \tag{5.28}$$

(8) Приведена ефективна площа елемента жорсткості $A_{s,red}$ з можливою загальною втратою стійкості (згинальна форма втрати стійкості проміжного елемента жорсткості), повинна визначатись за формулою:

$$A_{s,red} = \chi_d A_s \frac{f_{yb} / \gamma_{M0}}{\sigma_{com,cer}} \text{ але (but) } A_{s,red} \leq A_s . \tag{5.29}$$

b_o is the width of the flange as shown in figure 5.11;

b_e is the developed width of the flange as shown in figure 5.11.

(5) The value of k_w may be calculated from the compression flange buckling wavelength l_b as follows:

– if $l_b / s_w \geq 2$:

– if $l_b / s_w < 2$:

where:

s_w is the slant height of the web, see figure 5.1(c).

(6) Alternatively, the rotational restraint coefficient k_w may conservatively be taken as equal to 1,0 corresponding to a pin-jointed condition.

(7) The values of l_b and k_{wo} may be determined from the following:

– for a compression flange with one intermediate stiffener:

with:

– for a compression flange with two intermediate stiffeners:

(8) The reduced effective area of the stiffener $A_{s,red}$ allowing for distortional buckling (flexural buckling of an intermediate stiffener) should be taken as:

(9) Якщо стінки поперечного перерізу не підсилені елементами жорсткості, значення понижувального коефіцієнта χ_d треба визначати за методикою 5.5.3.1(7), використовуючи $\sigma_{cr,s}$.

(9) If the webs are unstiffened, the reduction factor χ_d should be obtained directly from $\sigma_{cr,s}$ using the method given in 5.5.3.1(7).

(10) При підсиленні стінок елементами жорсткості понижувальний коефіцієнт χ_d треба визначати за 5.5.3.1(7), враховуючи модифіковане критичне напруження $\sigma_{cr,\mathrm{mod}}$ в пружній стадії згідно з 5.5.3.4.4.

(10) If the webs are also stiffened, the reduction factor χ_d should be obtained using the method given in 5.5.3.1(7), but with the modified elastic critical stress $\sigma_{cr,\mathrm{mod}}$ given in 5.5.3.4.4.

(11) При обчисленні геометричних характеристик ефективного перерізу приведену ефективну площу $A_{s,red}$ необхідно визначати із приведеною товщиною $t_{red} = tA_{s,red}/A_s$ для всіх елементів, що включені в A_s.

(11) In determining effective section properties, the reduced effective area $A_{s,red}$ should be repreented by using a reduced thickness $t_{red} = tA_{s,red}/A_s$ for all the elements included in A_s.

(12) При розрахунках за граничними станами експлуатаційної придатності характеристики ефективного перерізу необхідно визначати з використанням розрахункової товщини *t*.

(12) The effective section properties of the stiffeners at serviceability limit states should be based on the design thickness *t*.

5.5.3.4.3 Стінки з елементами жорсткості не більше двох

5.5.3.4.3 Webs with up to two intermediate stiffeners

(1) Ефективний поперечний переріз стиснутої зони стінки (або іншої частини перерізу, яка знаходиться в нерівномірному напруженому стані) приймається таким, що складається з приведеної ефективної площі $A_{s,red}$ не більше ніж двох проміжних елементів жорсткості ділянки, що прилягає до стиснутої полиці і ділянки, що прилягає до центральної осі ефективного поперечного перерізу, див. рисунок 5.12.

(1) The effective cross-section of the compression zone of a web (or other element of a cross-section that is subject to stress gradient) should be assumed to consist of the reduced effective areas $A_{s,red}$ of up to two intermediate stiffeners, a strip adjacent to the compression flange and a strip adjacent to the centroidal axis of the effective cross-section, see figure 5.12.

(2) Ефективний поперечний переріз стінки, що показаний на рисунку 5.12, повинен включати:

a) ділянку шириною $s_{eff,1}$, що прилягає до стиснутої полиці;

b) приведену ефективну площу $A_{s,red}$ одного або двох елементів жорсткості;

c) ділянку шириною $s_{eff,n}$, що прилягає до центральної осі;

d) частину стінки, що розтягнута.

(2) The effective cross-section of a web as shown in figure 5.12 should be taken to include:

a) a strip of width $s_{eff,1}$ adjacent to the compression flange;

b) the reduced effective area $A_{s,red}$ of each web stiffener, up to a maximum of two;

c) a strip of width $s_{eff,n}$ adjacent to the effective centroidal axis;

d) the part of the web in tension.

(3) Ефективна площа елемента жорсткості повинна визначатися так:

(3) The effective areas of the stiffeners should be obtained from the following:

– для одного або для найближчого елемента жорсткості до стиснутої полиці:

– for a single stiffener, or for the stiffener closer to the compression flange:

$$A_{sa} = t(s_{eff,2} + s_{eff,3} + s_{sa}); \tag{5.30}$$

– для другого елемента жорсткості:

– for a second stiffener:

$$A_{sb} = t(s_{eff,4} + s_{eff,5} + s_{sb}), \tag{5.31}$$

де розміри від $s_{eff,1}$ до $s_{eff,n}$, s_{sa} і s_{sb} вказані на рисунку 5.12.

in which the dimensions $s_{eff,1}$ to $s_{eff,n}$ and s_{sa} and s_{sb} are as shown in figure 5.12.

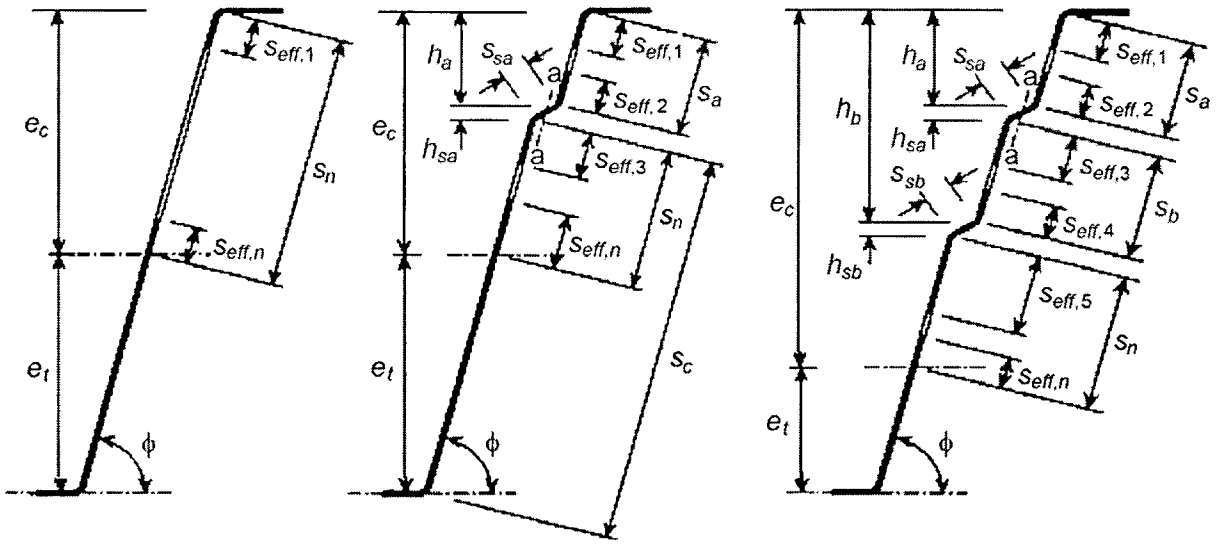


Рисунок 5.12 – Ефективні поперечні перерізи стінок трапецієподібних профлистів
Figure 5.12 – Effective cross-sections of webs of trapezoidal profiled sheets

(4) Початкове положення ефективної центральної осі необхідно визначати, враховуючи ефективні поперечні перерізи полиць і повний переріз стінок. У цьому випадку ефективна базова ширина $s_{eff,0}$ визначається за формулою:

(4) Initially the location of the effective centroidal axis should be based on the effective cross-sections of the flanges but the gross cross-sections of the webs. In this case the basic effective width $s_{eff,0}$ should be obtained from:

$$s_{eff,0} = 0,76t\sqrt{E/(\gamma_{M0})\sigma_{com,Ed}}\ , \tag{5.32}$$

де:

$\sigma_{com,Ed}$ – напруження в стиснутій полиці при досягненні границі несучої здатності перерізу.

(5) Якщо стінка нестійка, розміри від $s_{eff,1}$ до $s_{eff,n}$ визначаються таким чином:

where:

$\sigma_{com,Ed}$ is the stress in the compression flange when the cross-section resistance is reached.

(5) If the web is not fully effective, the dimensions $s_{eff,1}$ to $s_{eff,n}$ should be determined as follows:

$$s_{eff,1} = s_{eff,0}\ , \tag{5.33a}$$

$$s_{eff,2} = (1+0,5h_a/e_c)s_{eff,0}\ , \tag{5.33b}$$

$$s_{eff,3} = [1+0,5(h_a+h_{sa})/e_c]s_{eff,0}\ , \tag{5.33c}$$

$$s_{eff,4} = (1+0,5h_b/e_c)s_{eff,0}\ , \tag{5.33d}$$

$$s_{eff,5} = [1+0,5(h_b+h_{sb})/e_c]s_{eff,0}\ , \tag{5.33e}$$

$$s_{eff,n} = 1,5s_{eff,0}\ , \tag{5.33f}$$

де:

e_c – відстань від ефективної центральної осі до центральної лінії стиснутої полиці, див. рисунок 5.12;

розміри h_a, h_b, h_{sa}, h_{sb} вказані на рисунку 5.12.

(6) Розміри від $s_{eff,1}$ до $s_{eff,n}$ спочатку повинні визначатись згідно з (5) і, якщо плоский елемент, що розглядається, є стійким, коригуються з урахуванням таких положень:

where:

e_c is the distance from the effective centroidal axis to the system line of the compression flange, see figure 5.12;

and the dimensions h_a, h_b, h_{sa} and h_{sb} are as shown in figure 5.12.

(6) The dimensions $s_{eff,1}$ to $s_{eff,n}$ should initially be determined from (5) and then revised if the relevant plane element is fully effective, using the following:

– в стінці без елементів жорсткості, якщо при $s_{eff,1} + s_{eff,n} \geq s_n$ стінка не втрачає стійкості, в ефективну площу стінки включають:

– in an unstiffened web, if $s_{eff,1} + s_{eff,n} \geq s_n$ the entire web is effective, so revise as follows:

$$s_{eff,1} = 0,4 s_n \,, \tag{5.34a}$$

$$s_{eff,n} = 0,6 s_n \,; \tag{5.34b}$$

– в стінці, підсиленої елементом жорсткості, якщо при $s_{eff,1} + s_{eff,2} \geq s_a$ частка стінки s_a не втрачає стійкості, в ефективну площу стінки включають:

– in stiffened web, if $s_{eff,1} + s_{eff,2} \geq s_a$ the whole of s_a is effective, so revise as follows:

$$s_{eff,1} = \frac{s_a}{2 + 0,5 h_a / e_c} \,, \tag{5.35a}$$

$$s_{eff,2} = s_a \frac{(1 + 0,5 h_a / e_c)}{2 + 0,5 h_a / e_c} \,; \tag{5.35b}$$

– в стінці з одним елементом жорсткості, якщо при $s_{eff,3} + s_{eff,n} \geq s_n$ частка стінки s_n не втрачає стійкості, в ефективну площу стінки включають:

– in a web with one stiffener, if $s_{eff,3} + s_{eff,n} \geq s_n$ the whole of s_n is effective, so revise as follows:

$$s_{eff,3} = s_n \frac{[1 + 0,5(h_a + h_{sa})/e_c]}{2,5 + 0,5(h_a + h_{sa})/e_c} \,, \tag{5.36a}$$

$$s_{eff,n} = \frac{1,5 s_n}{2,5 + 0,5(h_a + h_{sa})/e_c} \,; \tag{5.36b}$$

– в стінці з двома елементами жорсткості:
– якщо при $s_{eff,3} + s_{eff,4} \geq s_b$ частка стінки s_b не втрачає стійкості, в ефективну площу стінки включають:

– in a web with two stiffeners:
– if $s_{eff,3} + s_{eff,4} \geq s_b$ the whole of s_b is effective, so revise as follows:

$$s_{eff,3} = s_b \frac{1 + 0,5(h_a + h_{sa})/e_c}{2 + 0,5(h_a + h_{sa} + h_b)/e_c} \,, \tag{5.37a}$$

$$s_{eff,4} = s_b \frac{1 + 0,5 h_b / e_c}{2 + 0,5(h_a + h_{sa} + h_b)/e_c} \,; \tag{5.37b}$$

– якщо при $s_{eff,5} + s_{eff,n} \geq s_n$ і частка стінки s_n не втрачає стійкості, в ефективну площу стінки включають:

– if $s_{eff,5} + s_{eff,n} \geq s_n$ the whole of s_n is effective, so revise as follows:

$$s_{eff,5} = s_n \frac{1 + 0,5(h_b + h_{sb})/e_c}{2,5 + 0,5(h_b + h_{sb})/e_c} \,, \tag{5.38a}$$

$$s_{eff,n} = \frac{1,5 s_n}{2,5 + 0,5(h_b + h_{sb})/e_c} \,. \tag{5.38b}$$

(7) Для одинарного елемента жорсткості, а в стінці з двома елементами жорсткості, для найближчого елемента жорсткості до стиснутої полиці критичне напруження при втраті стійкості в пружній стадії $\sigma_{cr,sa}$ необхідно визначати за формулою:

(7) For a single stiffener, or for the stiffener closer to the compression flange in webs with two stiffeners, the elastic critical buckling stress $\sigma_{cr,sa}$ should be determined using:

$$\sigma_{cr,sa} = \frac{1{,}05 k_f E \sqrt{I_s t^3 s_1}}{A_{sa} s_2 (s_1 - s_2)}, \tag{5.39a}$$

де значення s_1 приймається:

– для одинарного елемента жорсткості:

in which s_1 is given by the following:

– for a single stiffener:

$$s_1 = 0{,}9(s_a + s_{sa} + s_c); \tag{5.39b}$$

– в стінці з двома елементами жорсткості для найближчого до стиснутої полиці:

– for the stiffener closer to the compression flange, in webs with two stiffeners:

$$s_1 = s_a + s_{sa} + s_b + 0{,}5(s_{sb} + s_c), \tag{5.39c}$$

де:

with:

$$s_2 = s_1 - s_a - 0{,}5 s_{sa}, \tag{5.39d}$$

де:

k_f – коефіцієнт, яким враховується часткове закріплення стінки полицями від повороту;

I_s – момент інерції поперечного перерізу елемента жорсткості, що включає його ширину s_{sa} і дві прилеглі частки стінки шириною $s_{eff,1}$ кожна відносно власної центральної осі, паралельної площині елементів стінки, див. рисунок 5.13. При обчисленні I_s можливу відмінність нахилів плоских елементів стінки по обидва боки від елемента можна не враховувати;

s_c – див. рисунок 5.12.

where:

k_f is a coefficient that allows for partial rotational restraint of the stiffened web by the flanges;

I_s is the second moment of area of a stiffener cross-section comprising the fold width s_{sa} and two adjacent strips, each of width $s_{eff,1}$, about its own centroidal axis parallel to the plane web elements, see figure 5.13. In calculating I_s the possible difference in slope between the plane web elements on either side of the stiffener may be neglected;

s_c as defined in Figure 5.12.

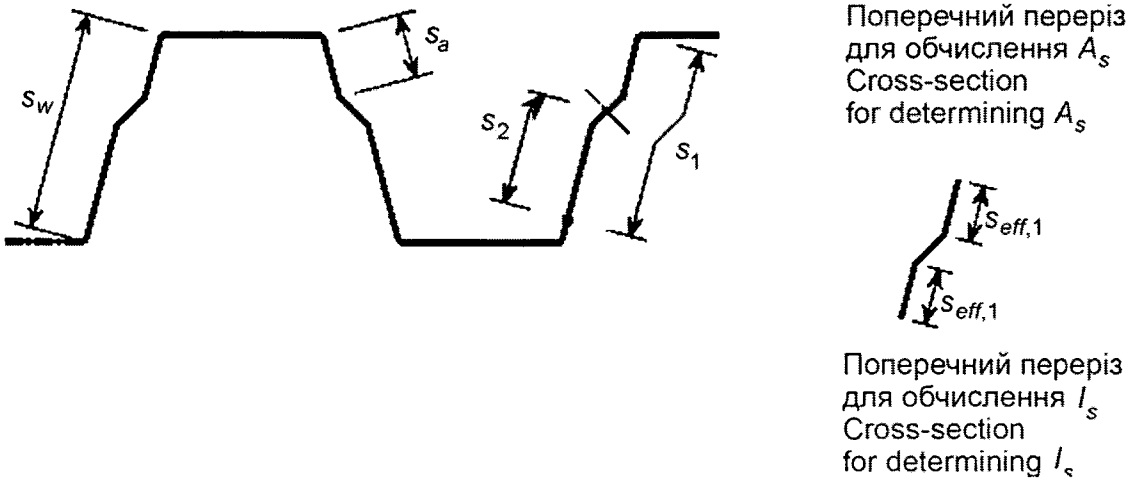


Рисунок 5.13 – Елементи жорсткості в трапецієподібних профлистах

Figure 5.13 – Web stiffeners for trapezoidal profiled sheeting

(8) У разі відсутності детальнішого дослідження коефіцієнт закріплення від повороту k_f можна приймати 1,0, як при шарнірному з'єднанні.

(8) In the absence of a more detailed investigation, the rotational restraint coefficient k_f may conservatively be taken as equal to 1,0 corresponding to a pin-jointed condition.

(9) Для одинарного стиснутого елемента жорсткості або в стінці з двома елементами жорсткості для найближчого елемента до стиснутої полиці їх приведена ефективна площа $A_{sa,red}$ визначається за формулою:

(9) For a single stiffener in compression, or for the stiffener closer to the compression flange in webs with two stiffeners, the reduced effective area $A_{sa,red}$ should be determined from:

$$A_{sa,red} = \frac{\chi_d A_{sa}}{1-(h_a + 0,5h_{sa})/e_c}. \quad (5.40)$$

(10) Для полиць, не підсилених елементами жорсткості, понижувальний коефіцієнт χ_d визначається за методикою 5.5.3.1(7).

(10) If the flanges are unstiffened, the reduction factor χ_d should be obtained directly from $\sigma_{cr,sa}$ using the method given in 5.5.3.1(7).

(11) Для полиць, підсилених елементами жорсткості, понижувальний коефіцієнт χ_d визначається за методикою 5.5.3.1(7), але з уточненим критичним напруженням $\sigma_{cr,\mathrm{mod}}$ в пружній стадії згідно з 5.5.3.4.4.

(11) If the flanges are also stiffened, the reduction factor χ_d should be obtained using the method given in 5.5.3.1(7), but with the modified elastic critical stress $\sigma_{cr,\mathrm{mod}}$ given in 5.5.3.4.4.

(12) Для розтягнутого одинарного елемента жорсткості приведену ефективну площу $A_{sa,red}$ треба приймати A_{sa}.

(12) For a single stiffener in tension, the reduced effective area $A_{sa,red}$ should be taken as equal to A_{sa}.

(13) В стінках з двома елементами жорсткості ефективна площа $A_{sb,red}$ для другого елемента повинна прийматись A_{sb}.

(13) For webs with two stiffeners, the reduced effective area $A_{sb,red}$ for the second stiffener, should be taken as equal to A_{sb}.

(14) При обчисленні геометричних характеристик ефективного перерізу приведена ефективна площа $A_{sa,red}$ повинна визначатись за приведеною товщиною $t_{red} = \chi_d t$ для всіх елементів, які включені в A_{sa}.

(14) In determining effective section properties, the reduced effective area $A_{sa,red}$ should be represented by using a reduced thickness $t_{red} = \chi_d t$ for all the elements included in A_{sa}.

(15) При розрахунку за граничними станами експлуатаційної придатності геометричні характеристики ефективного поперечного перерізу елементів жорсткості повинні визначатись з розрахунковою товщиною t.

(15) The effective section properties of the stiffeners at serviceability limit states should be based on the design thickness t.

(16) Характеристики ефективного перерізу можуть бути скориговані ітераційно, виходячи зі встановленого попередньою ітерацією положення центральної осі ефективного поперечного перерізу стінок і визначених ефективних поперечних перерізів полиць з урахуванням зменшеної товщини t_{red} для всіх складових, що включені в площу елементів жорсткості полиць A_s. Ітерація повинна проводитись на базі збільшеної ефективної ширини $s_{eff,0}$, яка визначається за формулою:

(16) Optionally, the effective section properties may be refined iteratively by basing the location of the effective centroidal axis on the effective cross-sections of the webs determined by the previous iteration and the effective cross-sections of the flanges determined using the reduced thickness t_{red} for all the elements included in the flange stiffener areas A_s. This iteration should be based on an increased basic effective width $s_{eff,0}$ obtained from:

$$s_{eff,0} = 0,95t\sqrt{\frac{E}{\gamma_{M0}\sigma_{com,Ed}}}. \quad (5.41)$$

5.5.3.4.4 Профлисти з елементами жорсткості на полицях і стінках

(1) Для профлистів з проміжними елементами жорсткості на полицях і стінках, див. рисунок 5.14, взаємодія між загальною втратою стійкості форми перерізу (згинальна форма втрати стійкості елементами жорсткості полиць і стінок) повинна враховуватись використанням уточненого критичного напруження $\sigma_{cr,mod}$ для обох типів елементів жорсткості при роботі в пружній стадії, яке визначається за формулою:

5.5.3.4.4 Sheeting with flange stiffeners and web stiffeners

(1) In the case of sheeting with intermediate stiffeners in the flanges and in the webs, see figure 5.14, interaction between the distorsional buckling (flexural buckling of the flange stiffeners and the web stiffeners) should be allowed for by using a modified elastic critical stress $\sigma_{cr,mod}$ for both types of stiffeners, obtained from

$$\sigma_{cr,mod} = \frac{\sigma_{cr,s}}{\sqrt[4]{1+\left[\beta_s \frac{\sigma_{cr,s}}{\sigma_{cr,sa}}\right]}}, \qquad (5.42)$$

де:

$\sigma_{cr,s}$ – критичне напруження в пружній стадії для проміжного елемента жорсткості для полиці з одинарним елементом згідно з 5.5.3.4.2(2) і згідно з 5.5.3.4.2(3) для полиці з двома елементами жорсткості;

$\sigma_{cr,sa}$ – критичне напруження в пружній стадії для одинарного або для найближчого елемента до стиснутої полиці при стінці з двома елементами жорсткості, див. 5.5.3.4.3(7);

A_s – ефективна площа перерізу проміжного елемента жорсткості полиці;

A_{sa} – ефективна площа перерізу проміжного елемента жорсткості стінки;

$\beta_s = 1-(h_a + 0{,}5h_{ha})/e_c$ – для профілю, що згинається;

$\beta_s = 1$ – для центрально стиснутого профілю.

where:

$\sigma_{cr,s}$ is the elastic critical stress for an intermediate flange stiffener, see 5.5.3.4.2(2) for a flange with a single stiffener or 5.5.3.4.2(3) for a flange with two stiffeners;

$\sigma_{cr,sa}$ is the elastic critical stress for a single web stiffener, or the stiffener closer to the compression flange in webs with two stiffeners, see 5.5.3.4.3(7);

A_s is the effective cross-section area of an intermediate flange stiffener;

A_{sa} is the effective cross-section area of an intermediate web stiffener;

$\beta_s = 1-(h_a + 0{,}5h_{ha})/e_c$ for a profile in bending;

$\beta_s = 1$ for a profile in axial compression.

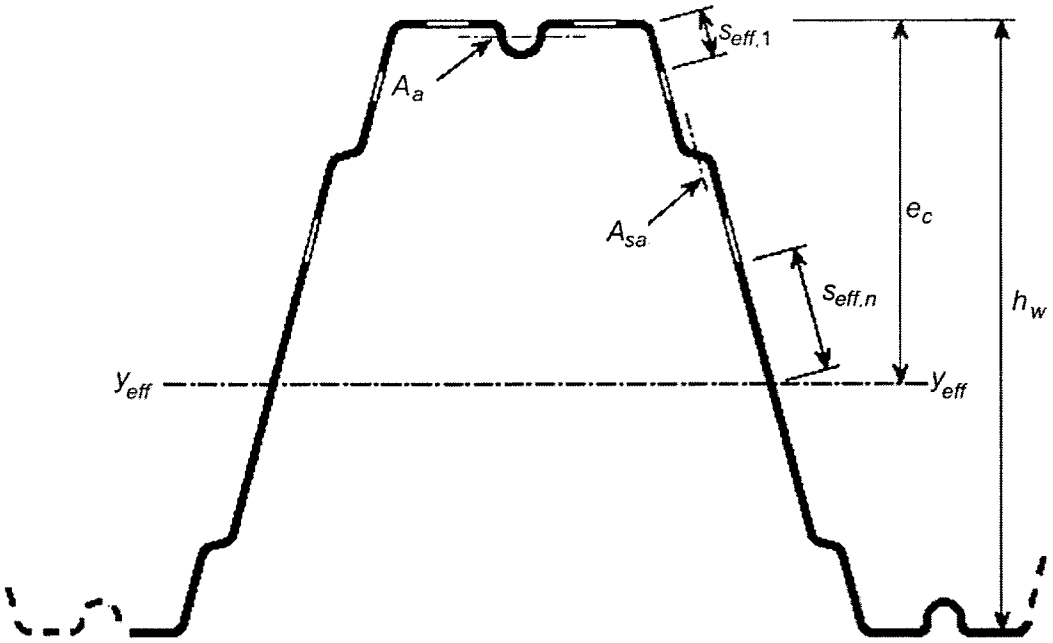


Рисунок 5.14 – Трапецієподібний профлист з елементами жорсткості на полицях і стінках
Figure 5.14 – Trapezoidal profiled sheeting with flange stiffeners and web stiffeners

5.6 Втрата стійкості металевих листів між елементами кріплення

(1) Втрата стійкості металевих листів між елементами кріплення повинна перевірятись для елементів, що компонуються з листів і механічних кріпильних виробів, див. таблицю 3.3 EN 1993-1-8.

6 ГРАНИЧНІ СТАНИ ЗА НЕСУЧОЮ ЗДАТНІСТЮ

6.1 Опір поперечного перерізу

6.1.1 *Загальні положення*

(1) При проектуванні замість розрахунку на опір можуть використовуватись результати експериментальних випробувань.

Примітка. У непружній стадії роботи матеріалу для оцінки несучої здатності перерізів з відносно високим співвідношенням b_p / t або при врахуванні впливу зсуву при викривленнях стінки проектувати краще за результатами експериментальних випробувань.

(2) При проектуванні і розрахунках вплив місцевої втрати стійкості елементів необхідно враховувати шляхом використання геометричних характеристик ефективного перерізу згідно з 5.5.

(3) Перевірку елементів на опір втраті стійкості необхідно виконувати згідно з 6.2.

5.6 Plate buckling between fasteners

(1) Plate buckling between fasteners should be checked for elements composed of plates and mechanical fasteners, see Table 3.3 of EN 1993-1-8.

6 ULTIMATE LIMIT STATES

6.1 Resistance of cross-sections

6.1.1 *General*

(1) Design assisted by testing may be used instead of design by calculation for any of these resistances.

NOTE: Design assisted by testing is particularly likely to be beneficial for cross-sections with relatively high b_p / t ratios, e.g. in relation to inelastic behaviour, web crippling or shear lag.

(2) For design by calculation, the effects of local buckling should be taken into account by using effective section properties determined as specified in Section 5.5.

(3) The buckling resistance of members should be verified as specified in Section 6.2.

(4) Для елементів, схильних до зміни початкової форми поперечного перерізу, повинна враховуватись можлива втрата стійкості стиснутих і зігнутих в боковому напрямку полок, див. 5.5 і 10.1.

(4) In members with cross-sections that are susceptible to cross-sectional distortion, account should be taken of possible lateral buckling of compression flanges and lateral bending of flanges generally, see 5.5, and 10.1.

6.1.2 *Осьовий розтяг*

(1) Розрахунковий опір поперечного перерізу при осьовому розтягу $N_{t,Rd}$ треба визначати за формулою:

6.1.2 *Axial tension*

(1) The design resistance of a cross-section for uniform tension $N_{t,Rd}$ should be determined from:

$$N_{t,Rd} = \frac{f_{ya} A_g}{\gamma_{M0}} \text{ але (but) } N_{t,Rd} \le F_{n,Rd}, \quad (6.1)$$

де:

A_g – повна площа поперечного перерізу;

$F_{n,Rd}$ – опір перерізу нетто, послабленого в місцях встановлення кріпильних виробів, див. 8.4;

f_{ya} – середнє значення границі текучості, див. 3.2.3.

where:

A_g is the gross area of the cross-section;

$F_{n,Rd}$ is the net-section resistance from 8.4 for the appropriate type of mechanical fastener;

f_{ya} is the average yield strength, see 3.2.3.

(2) Для кутика, прикріпленого однією поличкою, як і для інших типів перерізів, які прикріплюються з ексцентриситетом, розрахунковий опір треба визначати відповідно до вказівок 3.6.3, EN 1993-1-8.

(2) The design resistance of an angle for uniform tension connected through one leg, or other types of section connected through outstands, should be determined as specified in EN 1993-1-8, 3.6.3.

6.1.3 *Осьовий стиск*

(1) При осьовому стиску розрахунковий опір поперечного перерізу $N_{c,Rd}$ визначається в такий спосіб:

6.1.3 *Axial compression*

(1) The design resistance of a cross-section for compression $N_{c,Rd}$ should be determined from:

– у разі, коли ефективна площа перерізу A_{eff} менше повної площі A_g (зменшення як результат місцевої і/або загальної втрати стійкості перерізу):

– if the effective area A_{eff} is less than the gross area A_g (section with reduction due to local and/or distortional buckling)

$$N_{c,Rd} = A_{eff} f_{yb} / \gamma_{M0}; \quad (6.2)$$

– у разі, коли ефективна площа A_{eff} дорівнює повній площі перерізу A_g (тобто місцева або загальна втрата стійкості перерізу виключена)

– if the effective area A_{eff} is equal to the gross area A_g (section with no reduction due to local or distortional buckling)

$$N_{c,red} = A_g \left(f_{yb} + (f_{ya} - f_{yb}) 4 \left(1 - \bar{\lambda}_e / \bar{\lambda}_{e0}\right)\right) / \gamma_{M0}, \quad \begin{matrix}\text{але не більше ніж} \\ \text{(but not more than)}\end{matrix} \quad A_g f_{ya} / \gamma_{M0}, \quad (6.3)$$

де:

A_{eff} – ефективна площа поперечного перерізу згідно з 5.5, приймаючи при рівномірному стиску напруження f_{yb};

f_{ya} – середнє значення границі текучості, див. 3.2.2;

f_{yb} – основне значення границі текучості;

$\bar{\lambda}_{e\max}$ – умовна гнучкість елемента, яка відповідає найбільшому співвідношенню $\bar{\lambda}_e / \bar{\lambda}_{e0}$.

where:

A_{eff} is the effective area of the cross-section, obtained from Section 5.5 by assuming a uniform compressive stress equal to f_{yb};

f_{ya} is the average yield strength, see 3.2.2;

f_{yb} is the basic yield strength;

$\bar{\lambda}_{e\max}$ is the relative slenderness of the element which corresponds to the largest value of $\bar{\lambda}_e / \bar{\lambda}_{e0}$.

Для плоских елементів $\bar{\lambda}_e = \bar{\lambda}_p$ і $\bar{\lambda}_{e0} = 0{,}673$, див. 5.5.2.

Для елементів, підсилених ребрами жорсткості $\bar{\lambda}_e = \bar{\lambda}_d$ і $\bar{\lambda}_{e0} = 0{,}65$, див. 5.5.3.

(2) Внутрішнє поздовжнє зусилля в елементі необхідно приймати діючим в центрі тяжіння повного поперечного перерізу елемента. Така передумова консервативна, але може бути використана без додаткового аналізу. Додатковий аналіз може дати більш реальне розташування внутрішнього зусилля, наприклад, у разі рівномірного стиску елемента нормальною силою.

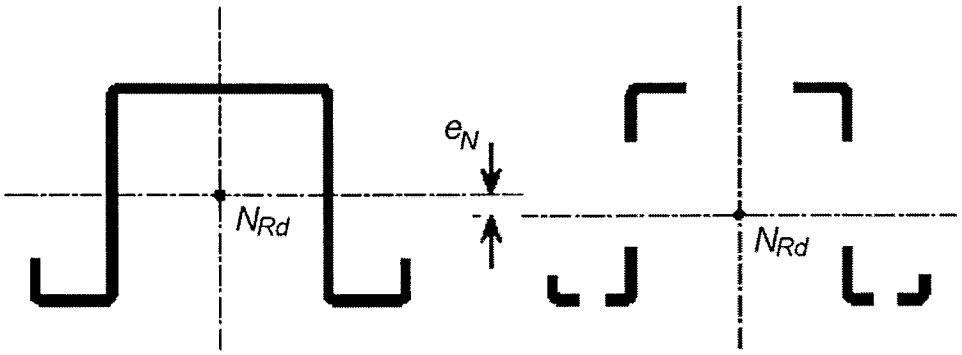
(3) Розрахункова несуча здатність визначена при дії осьового зусилля в центрі тяжіння повного поперечного перерізу. Якщо напрямок дії не збігається з центром тяжіння, необхідно враховувати ексцентриситет e_N відносно нейтральної осі (рисунок 6.1), який визначається згідно з 6.1.9. Якщо врахування ексцентриситету приводить до покращення результату при визначенні напружень, його можна не враховувати при виконанні розрахунку за границею текучості і відсутності в перерізі напруження стиску.

For plane elements $\bar{\lambda}_e = \bar{\lambda}_p$ and $\bar{\lambda}_{e0} = 0{,}673$, see 5.5.2.

For stiffened elements $\bar{\lambda}_e = \bar{\lambda}_d$ and $\bar{\lambda}_{e0} = 0{,}655$, see 5.5.3.

(2) he internal axial force in a member should be taken as acting at the centroid of its gross cross-section. This is a conservative assumption, but may be used without further analysis. Further analysis may give a more realistic situation of the internal forces for instance in case of uniformly building-up of normal force in the compression element.

(3) The design compression resistance of a cross-section refers to the axial load acting at the centroid of its effective cross-section. If this does not coincide with the centroid of its gross cross-section, the shift e_N of the centroidal axes (see figure 6.1) should be taken into account, using the method given in 6.1.9. When the shift of the neutral axis gives a favourable result in the stress check, then that shift should be neglected only if the shift has been calculated at yield strength and not with the actual compressive stresses.



Повний поперечний переріз
Gross gross-section

Ефективний поперечний переріз
Effective gross-section

Рисунок 6.1 – Ефективний поперечний переріз при стиску
Figure 6.1 – Effective cross-section under compression

6.1.4 *Згинальний момент*

6.1.4.1 *Опір стиснутої полиці при роботі в пружній і пружно-пластичній стадії*

(1) Розрахунковий опір поперечного перерізу при дії моменту відносно однієї з головних осей $M_{c,Rd}$ визначається в такий спосіб (див. рисунок 6.2):

6.1.4 *Bending moment*

6.1.4.1 *Elastic and elastic-plastic resistance with yielding at the compressed flange*

(1) The design moment resistance of a cross-section for bending about one principal axis $M_{c,Rd}$ is determined as follows (see figure 6.2):

– у разі, коли момент опору ефективного перерізу W_{eff} менше ніж пружний момент опору повного перерізу W_{el}

– if the effective section modulus W_{eff} is less than the gross elastic section modulus W_{el}

$$M_{c,Rd} = W_{eff}\, f_{yb} / \gamma_{M0}\ ; \qquad (6.4)$$

– у разі, коли момент опору ефективного перерізу W_{eff} і пружний момент опору W_{el} повного перерізу дорівнюють:

– if the effective section modulus W_{eff} is equal to the gross elastic section modulus W_{el}

$$M_{c,Rd} = f_{yb}\left(W_{el} + (W_{pl} - W_{el})\,4\left(1 - \overline{\lambda}_{e\max}/\overline{\lambda}_{e0}\right)\right)/\gamma_{M0}\ , \quad \begin{matrix}\text{але не більше ніж}\\ \text{(but not more than)}\end{matrix} \quad W_{pl}\, f_{yb}/\gamma_{M0}\ , \qquad (6.5)$$

де

$\overline{\lambda}_{e\max}$ – умовна гнучкість елемента, яка відповідає найбільшому співвідношенню $\overline{\lambda}_e/\overline{\lambda}_{e0}$.

Для плоских елементів, закріплених з двох боків $\overline{\lambda}_e = \overline{\lambda}_p$ і $\overline{\lambda}_{e0} = 0{,}5 + \sqrt{0{,}25 - 0{,}055(3+\psi)}$, де ψ – співвідношення напружень, див. 5.5.2.

Для плоских елементів, що закріплені з одного боку $\overline{\lambda}_e = \overline{\lambda}_p$ і $\overline{\lambda}_{e0} = 0{,}673$, див. 5.5.2.

Для елементів, підкріплених елементами жорсткості $\overline{\lambda}_e = \overline{\lambda}_d$ і $\overline{\lambda}_{e0} = 0{,}65$, див. 5.5.3.

Залежність опору при дії згинального моменту від умовної гнучкості елемента вказано на рисунку 6.2.

where

$\overline{\lambda}_{e\max}$ is the slenderness of the element which correspond to the largest value of $\overline{\lambda}_e/\overline{\lambda}_{e0}$.

For double supported plane elements $\overline{\lambda}_e = \overline{\lambda}_p$ and $\overline{\lambda}_{e0} = 0{,}5 + \sqrt{0{,}25 - 0{,}055(3+\psi)}$ where ψ is the stress ratio, see 5.5.2;

For outstand elements $\overline{\lambda}_e = \overline{\lambda}_p$ and $\overline{\lambda}_{e0} = 0{,}673$, see 5.5.2;

For stiffened elements $\overline{\lambda}_e = \overline{\lambda}_d$ and $\overline{\lambda}_{e0} = 0{,}65$, see 5.5.3.

The resulting bending moment resistance as a function of a decisive element is illustrated in the figure 6.2.

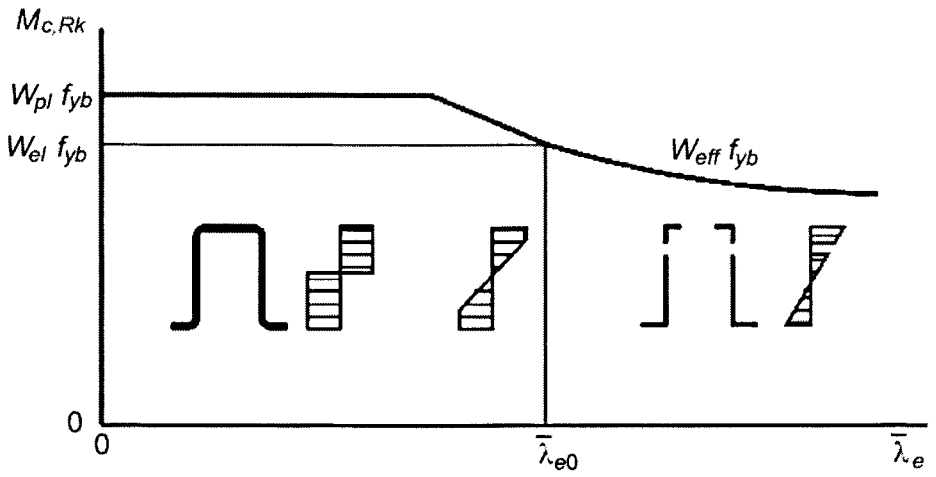


Рисунок 6.2 – Залежність згинального моменту від умовної гнучкості
Figure 6.2 – Bending moment resistance as a function of slenderness

(2) Формула (6.5) придатна для застосування за таких умов:

а) згинальний момент діє тільки відносно однієї з головних осей;

(2) Expression (6.5) is applicable provided that the following conditions are satisfied:

a) Bending moment is applied only about one principal axes of the cross-section;

b) елемент не схильний до крутіння або до крутильної чи згинально-крутильної форми втрати стійкості, або до втрати стійкості за поперечно-крутильною формою чи загальної втрати стійкості;

b) The member is not subject to torsion or to torsional, torsional flexural or lateral-torsional or distortional buckling;

c) кут ϕ між стінкою (див. рисунок 6.5) і полицею більше ніж 60°.

c) The angle ϕ between the web (see figure 6.5) and the flange is larger than 60°.

(3) Якщо вимоги (2) задовольняються не повністю:

(3) If (2) is not fulfilled the following expression may be used:

$$M_{c,Rd} = W_{el} f_{ya} / \gamma_{M0} \cdot \quad (6.6)$$

(4) Ефективний момент опору W_{eff} повинен визначатись на базі ефективного поперечного перерізу, який піддається згину тільки відносно головної осі при максимальному напруженні $\sigma_{max,Ed}$, яке дорівнює f_{yb}/γ_{M0}, допускаючи при цьому, що ефекти місцевої і загальної втрати стійкості враховано згідно з 5.5. При розгляді повинен враховуватись ефект нерівномірного розподілення напружень в перерізі.

(4) The effective section modulus W_{eff} should be based on an effective cross-section that is subject only to bending moment about the relevant principal axis, with a maximum stress $\sigma_{max,Ed}$ equal to f_{yb}/γ_{M0}, allowing for the effects of local and distortional buckling as specified in Section 5.5. Where shear lag is relevant, allowance should also be made for its effects.

(5) Відношення $\psi = \sigma_2/\sigma_1$, що використовується для обчислення ефективних ділянок стінки, може бути отримано з використанням перерізу, який складається з ефективної площі полиці і повної площі стінки, див. рисунок 6.3.

(5) The stress ratio $\psi = \sigma_2/\sigma_1$ used to determine the effective portions of the web may be obtained by using the effective area of the compression flange but the gross area of the web, see figure 6.3.

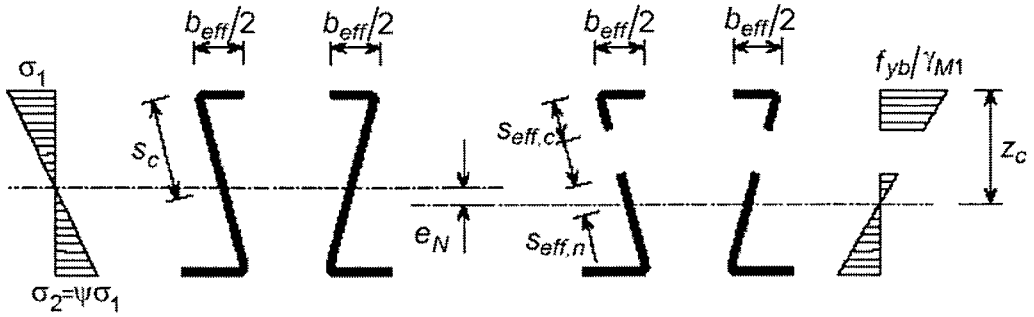


Рисунок 6.3 – Ефективний поперечний переріз для визначення опору при дії граничного згинального моменту

Figure 6.3 – Effective cross-section for resistance to bending moments

(6) При початковому розвитку текучості в стиснутому волокні поперечного перерізу, окрім врахування вимог 6.1.4.2, значення W_{eff} треба визначати з урахуванням лінійного розподілу напружень в поперечному перерізі.

(6) If yielding occurs first at the compression edge of the cross-section, unless the conditions given in 6.1.4.2 are met the value of W_{eff} should be based on a linear distribution of stress across the cross-section.

(7) При згині відносно двох осей використовується критерій:

(7) For biaxial bending the following criterion may be used:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} \le 1, \quad (6.7)$$

де:

$M_{y,Ed}$ – згинальний момент відносно осі y – y;

$M_{z,Ed}$ – згинальний момент відносно осі z – z;

$M_{cy,Rd}$ – граничний момент відносно осі y – y, що сприймається поперечним перерізом;

$M_{cz,Rd}$ – граничний момент відносно осі z – z, що сприймається поперечним перерізом.

(8) Якщо в статичному розрахунку приймається допущення про перерозподіл згинальних моментів, це повинно бути підтверджено результатами випробувань згідно з вимогами розділу 9 при виконанні умов 7.2.

6.1.4.2 *Опір розтягнутої полиці при роботі в пружній і пружно-пластичній стадії*

(1) При дії згинального моменту тільки відносно однієї головної осі поперечного перерізу, а текучість з'являється спочатку в крайньому розтягнутому волокні, пластична робота розтягнутої зони може враховуватись без обмеження деформацій доти, поки максимальне напруження $\sigma_{com,Ed}$ не досягне значення f_{yb}/γ_{M0}. У цьому розділі розглядається тільки згин. У випадку сумісної дії осьової сили і згину необхідно користуватись рекомендаціями 6.1.8 або 6.1.9.

(2) Ефективний момент опору $W_{pp,eff}$ перерізу при обмежених пластичних деформаціях в такому випадку визначається на підставі білінійного розподілення напружень в розтягнутій зоні, але лінійного – в стиснутій.

(3) Ефективна ширина b_{eff} елемента під дією напружень різного знака без проведення більш точного аналізу при білінійному розподілі напружень може визначитися згідно з 5.5.2 на базі b_c (див. рисунок 6.4), приймаючи при цьому $\psi = -1$.

where:

$M_{y,Ed}$ is the bending moment about the major main axis;

$M_{z,Ed}$ is the bending moment about the minor main axis;

$M_{cy,Rd}$ is the resistance of the cross-section if subject only to moment about the main y – y axis;

$M_{cz,Rd}$ is the resistance of the cross-section if subject only to moment about the main z – z axis.

(8) If redistribution of bending moments is assumed in the global analysis, it should be demonstrated from the results of tests in accordance with Section 9 that the provisions given in 7.2 are satisfied.

6.1.4.2 *Elastic and elastic-plastic resistance with yielding at the tension flange only*

(1) Provided that bending moment is applied only about one principal axis of the cross-section, and provided that yielding occurs first at the tension edge, plastic reserves in the tension zone may be utilised without any strain limit until the maximum compressive stress $\sigma_{com,Ed}$ reaches f_{yb}/γ_{M0}. In this clause only the bending case is considered. For axial load and bending the clause 6.1.8 or 6.1.9 should be applied.

(2) In this case, the effective partially plastic section modulus $W_{pp,eff}$ should be based on a stress distribution that is bilinear in the tension zone but linear in the compression zone.

(3) In the absence of a more detailed analysis, the effective width b_{eff} of an element subject to stress gradient may be obtained using 5.5.2 by basing b_c on the bilinear stress distribution (see figure 6.4), by assuming $\psi = -1$.

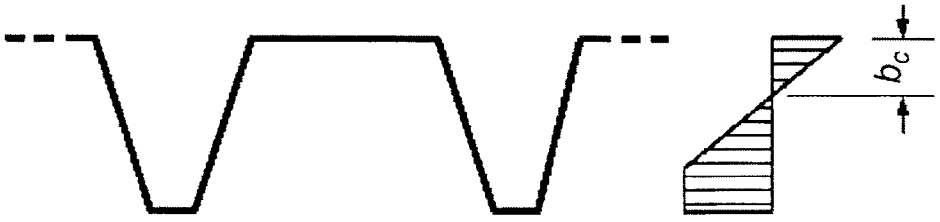


Рисунок 6.4 – Величина b_c для визначення ефективної ширини

Figure 6.4 – Measure b_c for determination of effective width

(4) Загальний розрахунок, виконаний з урахуванням перерозподілу згинальних моментів, повинен бути підтверджений результатами випробувань згідно з вимогами розділу 9 за умови виконання вимог, наведених в 7.2.

(4) If redistribution of bending moments is assumed in the global analysis, it should be demonstrated from the results of tests in accordance with Section 9 that the provisions given in 7.2 are satisfied.

6.1.4.3 *Ефект запізнення зсуву*

(1) Ефект запізнення зсуву повинен враховуватись згідно з вимогами EN 1993-1-5.

6.1.4.3 *Effects of shear lag*

(1) The effects of shear lag should be taken into account according to EN 1993-1-5.

6.1.5 ***Зсувне зусилля***

(1) Опір поперечного перерізу до зсуву визначається за виразом:

6.1.5 ***Shear force***

(1) The design shear resistance $V_{b,Rd}$ should be determined from:

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin\varphi} t f_{bv}}{\gamma_{M0}}, \qquad (6.8)$$

де:

f_{bv} – межа міцності при зсуві, що враховує втрату стійкості стінки, наведена в таблиці 6.1;

h_w – висота стінки між серединними площинами (нейтральними осями) полиць (див. рисунок 5.1(c));

ϕ – кут нахилу стінки відносно полиць, див рисунок 6.5.

where:

f_{bv} is the shear strength considering buckling according to Table 6.1;

h_w is the web height between the midlines of the flanges, see figure 5.1(c);

ϕ is the slope of the web relative to the flanges, see figure 6.5.

Таблиця 6.1 – Межа міцності f_{bv} при зсуві з урахуванням втрати стійкості

Table 6.1 – Shear buckling strength f_{bv}

Умовна гнучкість стінки Relative web slenderness	Стінка без елемента жорсткості на опорі Web without stiffening at the support	Стінка з елементом жорсткості на опорі [1)] Web with stiffening at the support [1)]
$\bar{\lambda}_w \le 0{,}83$	$0{,}58\, f_{yb}$	$0{,}58\, f_{yb}$
$0{,}83 < \bar{\lambda}_w < 1{,}40$	$0{,}48\, f_{yb} / \bar{\lambda}_w$	$0{,}48\, f_{yb} / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \ge 1{,}40$	$0{,}67\, f_{yb} / \bar{\lambda}_w^2$	$0{,}48\, f_{yb} / \bar{\lambda}_w$

[1)] Елемент жорсткості на опорі, наприклад, ребра жорсткості, які встановлюються для виключення викривлення стінки і розраховані на сприйняття опорної реакції.

[1)] Stiffening at the support, such as cleats, arranged to prevent distortion of the web and designed to resist the support reaction.

(2) Умовна гнучкість стінки $\bar{\lambda}_w$ повинна визначатись так:

– для стінок без повздовжніх ребер жорсткості:

(2) The relative web slenderness $\bar{\lambda}_w$ should be obtained from the following:

– for webs without longitudinal stiffeners:

$$\bar{\lambda}_w = 0{,}346 \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}; \qquad (6.10a)$$

– для стінок з повздовжніми ребрами жорсткості, див. рисунок 6.5:

– for webs with longitudinal stiffeners, see figure 6.5:

$$\bar{\lambda}_w = 0{,}346\frac{s_d}{t}\sqrt{\frac{5{,}34}{k_\tau}\frac{f_{yb}}{E}}\text{, але (but) } \bar{\lambda}_w \geq 0{,}346\frac{s_p}{t}\sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}\text{,} \qquad (6.10b)$$

при цьому:

with:

$$k_\tau = 5{,}34 + \frac{2{,}10}{t}\left(\frac{\sum I_s}{s_d}\right)^{1/3},$$

де:

I_s – момент інерції перерізу одинарного повздовжнього ребра жорсткості згідно з 5.5.3.4.3(7) відносно осі a – a, як показано на рисунку 6.5;

s_d – загальна за нахилом висота стінки, як показано на рисунку 6.5;

s_p – висота за нахилом найбільшої плоскої частки стінки, див. рисунок 6.5;

s_w – показана на рисунку 6.5 висота стінки за нахилом між середніми точками кутів згину, див. рисунок 5.1(c).

where:

I_s is the second moment of area of the individual longitudinal stiffener as defined in 5.5.3.4.3(7), about the axis a – a as indicated in figure 6.5;

s_d is the total developed slant height of the web, as indicated in figure 6.5;

s_p is the slant height of the largest plane element in the web, see figure 6.5;

s_w is the slant height of the web, as shown in figure 6.5, between the midpoints of the corners, these points are the median points of the corners, see figure 5.1(c).

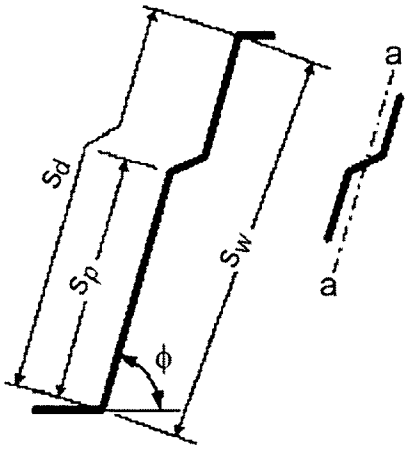


Рисунок 6.5 – Повздовжнє ребро жорсткості стінки

Figure 6.5 – Longitudinally stiffened web

6.1.6 *Крутний момент*

(1) При дії навантаження з ексцентриситетом відносно центра зсуву поперечного перерізу необхідно враховувати вплив крутіння.

(2) При визначенні крутного моменту, положення центральної осі, центра згину і приведеного центра обертання необхідно розглядати повний поперечний переріз.

6.1.6 *Torsional moment*

(1) Where loads are applied eccentric to the shear centre of the cross-section, the effects of torsion should be taken into account.

(2) The centroidal axis and shear centre and imposed rotation centre to be used in determining the effects of the torsional moment, should be taken as those of the gross cross-section.

(3) Нормальні напруження від поздовжньої сили N_{Ed} і згинальних моментів $M_{y,Ed}$ і $M_{z,Ed}$ повинні визначатись на базі відповідних ефективних поперечних перерізів згідно з 6.1.2 – 6.1.4. Дотичні напруження від поперечних сил і від вільного крутіння (за Сен-Венаном), нормальні і дотичні напруження від депланації перерізу повинні визначатись за характеристиками повного поперечного перерізу.

(3) The direct stresses due to the axial force N_{Ed} and the bending moments $M_{y,Ed}$ and $M_{z,Ed}$ should be based on the respective effective cross-sections used in 6.1.2 to 6.1.4. The shear stresses due to transverse shear forces, the shear stress due to uniform (St. Venant) torsion and the direct stresses and shear stresses due to warping, should all be based on the properties of the gross cross-section.

(4) В поперечних перерізах, схильних до крутіння, повинні виконуватись такі умови (наприклад, дозволено використання середнього значення границі текучості, див. 3.2.2):

(4) In cross-sections subject to torsion, the following conditions should be satisfied (average yield strength is allowed here, see 3.2.2):

$$\sigma_{tot,Ed} \le f_{ya}/\gamma_{M0}\,, \tag{6.11a}$$

$$\tau_{tot,Ed} \le \frac{f_{ya}/\sqrt{3}}{\gamma_{M0}}\,, \tag{6.11b}$$

$$\sqrt{\sigma_{tot,Ed}^{2}+3\,\tau_{tot,Ed}^{2}} \le 1{,}1\frac{f_{ya}}{\gamma_{M0}}\,, \tag{6.11c}$$

де:

$\sigma_{tot,Ed}$ – розрахункове повне нормальне напруження, обчислене для ефективного поперечного перерізу;

$\tau_{tot,Ed}$ – розрахункове повне дотичне напруження, обчислене для повного поперечного перерізу.

where:

$\sigma_{tot,Ed}$ is the design total direct stress, calculated on the relevant effective cross-section;

$\tau_{tot,Ed}$ is the design total shear stress, calculated on the gross cross-section.

(5) Сумарні нормальні $\sigma_{tot,Ed}$ і дотичні $\tau_{tot,Ed}$ напруження обчислюються за формулами:

(5) The total direct stress $\sigma_{tot,Ed}$ and the total shear stress $\tau_{tot,Ed}$ should by obtained from:

$$\sigma_{tot,Ed} = \sigma_{N,Ed} + \sigma_{My,Ed} + \sigma_{Mz,Ed} + \sigma_{w,Ed}\,, \tag{6.12a}$$

$$\tau_{tot,Ed} = \tau_{Vy,Ed} + \tau_{Vz,Ed} + \tau_{t,Ed} + \tau_{w,Ed}\,, \tag{6.12b}$$

де:

$\sigma_{My,Ed}$ – розрахункове напруження від згинального моменту $M_{y,Ed}$ (визначається для ефективного поперечного перерізу);

$\sigma_{Mz,Ed}$ – розрахункове нормальне напруження від згинального моменту $M_{z,Ed}$ (визначається для ефективного поперечного перерізу);

$\sigma_{N,Ed}$ – розрахункове нормальне напруження від поздовжньої сили N_{Ed} (визначається для ефективного поперечного перерізу);

$\sigma_{w,Ed}$ – розрахункове нормальне напруження від депланації (визначається для повного поперечного перерізу);

$\tau_{Vy,Ed}$ – розрахункове зсувне напруження зсуву від поперечної зсувної сили $V_{y,Ed}$ (визначається для повного поперечного перерізу);

where:

$\sigma_{My,Ed}$ is the design direct stress due to the bending moment $M_{y,Ed}$ (using effective cross-section);

$\sigma_{Mz,Ed}$ is the design direct stress due to the bending moment $M_{z,Ed}$ (using effective cross-section);

$\sigma_{N,Ed}$ is the design direct stress due to the axial force N_{Ed} (using effective cross-section);

$\sigma_{w,Ed}$ is the design direct stress due to warping (using gross cross-section);

$\tau_{Vy,Ed}$ is the design shear stress due to the transverse shear force $V_{y,Ed}$ (using gross cross-section);

$\tau_{Vz,Ed}$ – розрахункове зсувне напруження від поперечної зсувної сили $V_{z,Ed}$ (визначається для повного поперечного перерізу);

$\tau_{t,Ed}$ – розрахункове дотичне напруження від вільного крутіння (за Сен-Венаном) (визначається для повного поперечного перерізу);

$\tau_{w,Ed}$ – розрахункове дотичне напруження від депланації (визначається для повного поперечного перерізу).

$\tau_{Vz,Ed}$ is the design shear stress due to the transverse shear force $V_{z,Ed}$ (using gross cross-section);

$\tau_{t,Ed}$ is the design shear stress due to uniform (St. Venant) torsion (using gross cross-section);

$\tau_{w,Ed}$ is the design shear stress due to warping (using gross cross-section).

6.1.7 *Місцеві поперечні сили*

6.1.7 *Local transverse forces*

6.1.7.1 *Загальні положення*

6.1.7.1 *General*

(1)P Для виключення зминання, викривлення і втрати стійкості стінки при дії опорної реакції або іншої місцевої поперечної сили, які передаються через полицю, величина такої сили повинна задовольняти умову:

(1)P To avoid crushing, crippling or buckling in a web subject to a support reaction or other local transverse force applied through the flange, the transverse force F_{Ed} shall satisfy:

$$F_{ed} \leq R_{w,Rd} \,, \tag{6.13}$$

де:

$R_{w,Rd}$ – місцевий поперечний опір стінки.

where:

$R_{w,Rd}$ is the local transverse resistance of the web.

(2) Місцевий поперечний опір стінки визначається так:

a) якщо стінка без елементів жорсткості:
- для поперечного перерізу з однією стінкою згідно з 6.1.7.2;
- в будь-якому іншому випадку, включаючи і профлисти, згідно з 6.1.7.3;

b) якщо стінка з елементами жорсткості згідно з 6.1.7.4.

(2) The local transverse resistance of a web $R_{w,Rd}$ should be obtained as follows:

a) for an unstiffened web:
- for a cross-section with a single web: from 6.1.7.2;
- for any other case, including sheeting: from 6.1.7.3;

b) for a stiffened web: from 6.1.7.4.

(3) При передачі місцевого навантаження чи опорної реакції через ребро жорсткості, яке підсилює стінку, виключає її викривлення і здатне сприймати місцеву поперечну силу, перевірка стінки на місцевий опір не здійснюється.

(3) Where the local load or support reaction is applied through a cleat that is arranged to prevent distortion of the web and is designed to resist the local transverse force, the local resistance of the web to the transverse force need not be considered.

(4) В балках, що складаються з двох елементів швелерного або будь-якого іншого перерізу і об'єднуються стінками, місця деталей кріплення стінок повинні розташовуватись ближче до полиць.

(4) In beams with I-shaped cross-sections built up from two channels, or with similar cross-sections in which two components are interconnected through their webs, the connections between the webs should be located as close as practicable to the flanges of the beam.

6.1.7.2 *Поперечні перерізи з однією стінкою без елементів жорсткості*

(1) Місцевий поперечний опір стінки для поперечних перерізів з однією стінкою без елементів жорсткості, див. рисунок 6.6, може бути визначений згідно з вказівками (2), якщо переріз відповідає таким критеріям:

6.1.7.2 *Cross-sections with a single unstiffened web*

(1) For a cross-section with a single unstiffened web, see figure 6.6, the local transverse resistance of the web may be determined as specified in (2), provided that the cross-section satisfies the following criteria:

$$h_w / t \le 200 , \tag{6.14a}$$

$$r / t \le 6 , \tag{6.14b}$$

$$45° \le \phi \le 90° , \tag{6.14c}$$

де:

h_w – висота стінки між серединними площинами полиць;

r – внутрішній радіус кутів згину;

ϕ – кут нахилу стінки відносно полиць, град.

where:

h_w is the web height between the midlines of the flanges;

r is the internal radius of the corners;

ϕ is the angle of the web relative to the flanges [degrees].

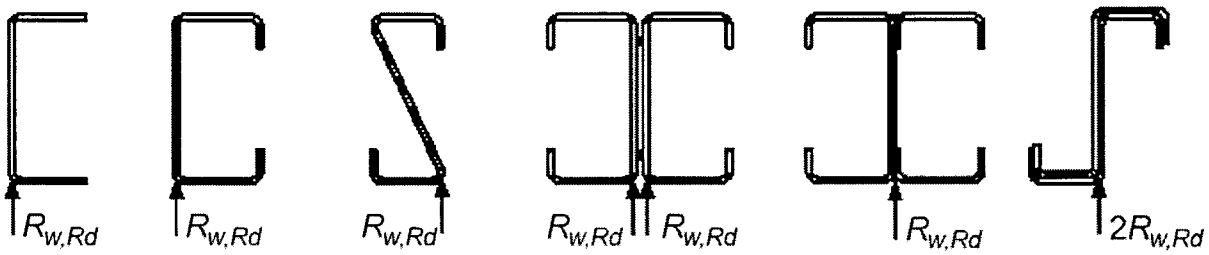


Рисунок 6.6 – Зразки профілів з однією стінкою

Figure 6.6 – Examples of cross-sections with a single web

(2) Для поперечних перерізів, що відповідають критеріям (1), місцевий поперечний опір стінки $R_{w,Rd}$ може визначатися за формулами, що наведені на рисунку 6.7.

(3) Значення коефіцієнтів k_1 – k_5 визначаються так:

(2) For cross-sections that satisfy the criteria specified in (1), the local transverse resistance of a web $R_{w,Rd}$ may be determined as shown if figure 6.7.

(3) The values of the coefficients k_1 to k_5 should be determined as follows:

$$k_1 = 1{,}33 - 0{,}33\, k ,$$

$$k_2 = 1{,}15 - 0{,}15\, r/t \quad \text{але (but)} \quad k_2 \ge 0{,}50 \quad \text{і (and)} \quad k_2 \le 1{,}0 ,$$

$$k_3 = 0{,}7 + 0{,}3\,(\phi / 90)^2 ,$$

$$k_4 = 1{,}22 - 0{,}22\, k ,$$

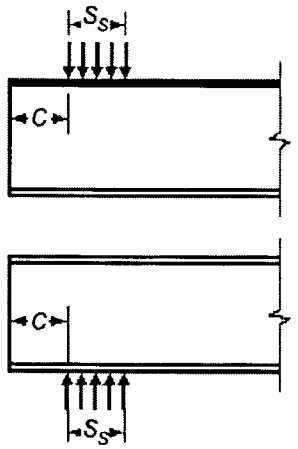
$$k_5 = 1{,}06 - 0{,}06\, r/t \quad \text{але (but)} \quad k_5 \le 1{,}0 ,$$

де:

$k = f_{yb} / 228$ [f_{yb} – Н/мм^2].

where:

$k = f_{yb} / 228$ [with f_{yb} in N/mm^2].



a) Для одиночного місцевого навантаження або опорної реакції:
a) For a single local load or support reaction

i) $c \le 1{,}5h_w$ від вільного краю:
i) $c \le 1{,}5h_w$ clear from a free end:

– для профілів з полицями, підсиленими елементами жорсткості:
– for a cross-section with stiffened flanges:

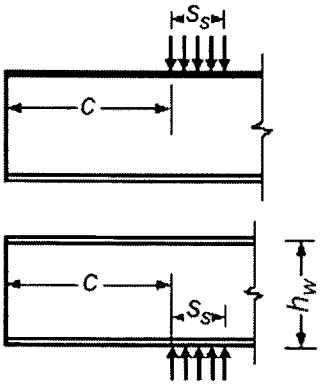
$$R_{w,Rd} = \frac{k_1 k_2 k_3 \left[9{,}04 - \frac{h_w/t}{60}\right]\left[1 + 0{,}01\frac{s_s}{t}\right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}}; \qquad (6.15a)$$

– для полиць без елементів жорсткості:
– for a cross-section with unstiffened flanges:
– якщо (if) $s_s/t \le 60$:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_1 k_2 k_3 \left[5{,}92 - \frac{h_w/t}{132}\right]\left[1 + 0{,}01\frac{s_s}{t}\right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}}; \qquad (6.15b)$$

– якщо (if) $s_s/t > 60$:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_1 k_2 k_3 \left[5{,}92 - \frac{h_w/t}{132}\right]\left[0{,}71 + 0{,}015\frac{s_s}{t}\right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}}. \qquad (6.15c)$$



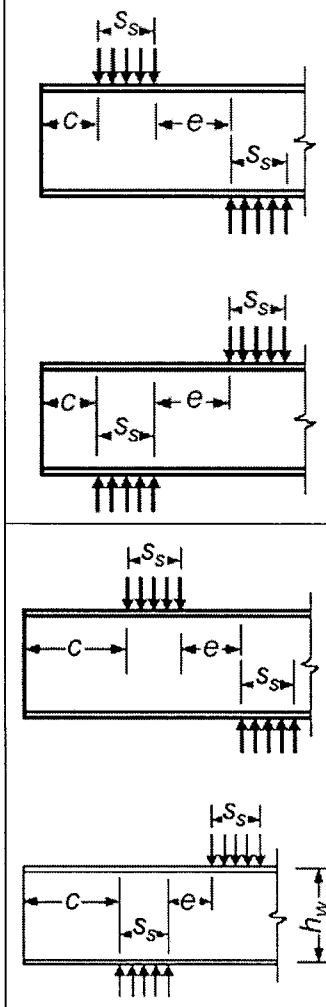
ii) $c > 1{,}5h_w$ від вільного краю:
ii) $c > 1{,}5h_w$ clear from a free end:
– якщо (if) $s_s/t \le 60$:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_3 k_4 k_5 \left[14{,}7 - \frac{h_w/t}{49{,}5}\right]\left[1 + 0{,}007\frac{s_s}{t}\right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}}; \qquad (6.15d)$$

– якщо (if) $s_s/t > 60$:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_3 k_4 k_5 \left[14{,}7 - \frac{h_w/t}{49{,}5}\right]\left[0{,}75 + 0{,}011\frac{s_s}{t}\right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}}. \qquad (6.15e)$$

Рисунок 6.7a – Місцеві навантаження і опорні реакції – поперечні перерізи з однією стінкою
Figure 6.7a) – Local loads and supports – cross-sections with a single web



b) Для двох протидіючих сил з відстанню між ними менше ніж 1,5 h_w:
b) For two opposing local transverse forces closer together than 1,5 h_w:

i) $c \le 1{,}5h_w$ від вільного краю:
i) $c \le 1{,}5h_w$ clear from a free end:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_1 k_2 k_3 \left[6{,}66 - \frac{h_w/t}{64}\right]\left[1+0{,}01\frac{s_s}{t}\right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}}. \qquad (6.15f)$$

ii) $c > 1{,}5h_w$ від вільного краю:
ii) $c > 1{,}5h_w$ clear from a free end:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_3 k_4 k_5 \left[21{,}0 - \frac{h_w/t}{16{,}3}\right]\left[1+0{,}0013\frac{s_s}{t}\right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}}. \qquad (6.15g)$$

Рисунок 6.7b – Місцеві навантаження і опорні реакції – поперечні перерізи з однією стінкою
Figure 6.7b) – Local loads and supports – cross-sections with a single web

(4) Якщо поворот стінки виключається за рахунок відповідного її закріплення або за геометрією перерізу (наприклад, перерізи 4-й і 5-й на рисунку 6.6), місцевий поперечний опір стінки $R_{w,Rd}$ може визначатись так:

а) для одиночної сили чи опорної реакції:

і) $c < 1{,}5h_w$ (на вільному кінці або біля нього), для перерізів з полицями без або з елементами жорсткості:

(4) If the web rotation is prevented either by suitable restraint or because of the section geometry (e.g. I-beams, see fourth and fifth from the left in the figure 6.6) then the local transverse resistance of a web $R_{w,Rd}$ may be determined as follows:

a) for a single load or support reaction

i) $c < 1{,}5h_w$ (near or at free end) for a cross-section of stiffened and unstiffened flanges

$$R_{w,Rd} = \frac{k_7 \left[8{,}8 + 1{,}1\sqrt{\frac{s_s}{t}}\right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}}; \qquad (6.16a)$$

ii) $c > 1{,}5h_w$ (далеко від вільного кінця), для перерізів з полицями без або з елементами жорсткості:

ii) $c > 1{,}5h_w$ (far from free end) for a cross-section of stiffened and unstiffened flanges

$$R_{w,Rd} = \frac{k_5^* k_6 \left[13{,}2 + 2{,}87\sqrt{\frac{s_s}{t}}\right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}}; \qquad (6.16b)$$

b) для протидіючих навантажень або реакцій:

i) $c < 1{,}5h_w$ (на вільному кінці або біля нього), для перерізів з полицями без або з елементами жорсткості:

b) for opposite loads or reactions

i) $c < 1{,}5h_w$ (near or at free end) for a cross-section of stiffened and unstiffened flanges

$$R_{w,Rd} = \frac{k_{10} k_{11} \left[8{,}8 + 1{,}1\sqrt{\frac{s_s}{t}}\right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}}; \qquad (6.16c)$$

ii) $c > 1{,}5h_w$ (далеко від вільного кінця), для перерізів з полицями без або з елементами жорсткості:

ii) $c > 1{,}5h_w$ (loads or reactions far from free end) for a cross-section of stiffened and unstiffened flanges

$$R_{w,Rd} = \frac{k_8 k_9 \left[13{,}2 + 2{,}87\sqrt{\frac{s_s}{t}}\right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}}. \qquad (6.16d)$$

Тут коефіцієнти $k_5^* - k_{11}$ повинні визначатись так:

Where the values of coefficients k_5^* to k_{11} should be determined as follows:

$$k_5^* = 1{,}49 - 0{,}53\,k \text{ але (but) } k_5^* \geq 0{,}6,$$

$$k_6 = 0{,}88 - 0{,}12\,t/1{,}9,$$

$k_7 = 1 + s_s / t / 750$, якщо (if) $s_s / t < 150$; $k_7 = 1{,}20$, якщо (if) $s_s / t > 150$,

$k_8 = 1 / k$, якщо (if) $s_s / t < 66{,}5$; $k_8 = (1{,}10 - s_s / t / 665) / k$, якщо (if) $s_s / t > 66{,}5$

$$k_9 = 0{,}82 + 0{,}15\,t / 1{,}9$$

$$k_{10} = (0{,}98 - s_s / t / 865) / k$$

$$k_{11} = 0{,}64 + 0{,}31\,t/1{,}9$$

де:

$k = f_{yb} / 228$ [f_{yb} – Н/мм^2].

s_s – номінальна довжина жорсткої опори.

У разі двох рівних протидіючих місцевих поперечних сил, розподілених на неоднаковій довжині, повинно прийматися найменше значення s_s.

where:

$k = f_{yb} / 228$ [with f_{yb} in N/mm^2].

s_s is the nominal length of stiff bearing.

In the case of two equal and opposite local transverse forces distributed over unequal bearing lengths, the smaller value of s_s should be used.

6.1.7.3 *Поперечні перерізи з двома або більше стінками без елементів жорсткості*

(1) В поперечних перерізах з двома або більше стінками, в тому числі і профлисти, див. рисунок 6.8, місцевий поперечний опір стінки без елементів жорсткості повинен визначатися згідно з (2) за умови, якщо:

6.1.7.3 *Cross-sections with two or more unstiffened webs*

(1) In cross-sections with two or more webs, including sheeting, see figure 6.8, the local transverse resistance of an unstiffened web should be determined as specified in (2), provided that both of the following conditions are satisfied:

– відстань c від навантаженої частини до вільного краю не менше ніж 40 мм, див. рисунок 6.9;
– поперечний переріз відповідає таким критеріям:

– the clear distance c from the bearing length for the support reaction or local load to a free end, see figure 6.9, is at least 40 mm;
– the cross-section satisfies the following criteria:

$$r / t \le 10, \tag{6.14a}$$

$$h_w / t \le 200 \sin\phi\,, \tag{6.14b}$$

$$45° \le \phi \le 90°, \tag{6.14c}$$

де:
h_w – висота стінки між серединними площинами полиць;
r – внутрішній радіус кутів згину;
ϕ – кут нахилу стінки відносно полиць, град.

where:
h_w is the web height between the midlines of the flanges;
r is the internal radius of the corners;
ϕ is the angle of the web relative to the flanges [degrees].

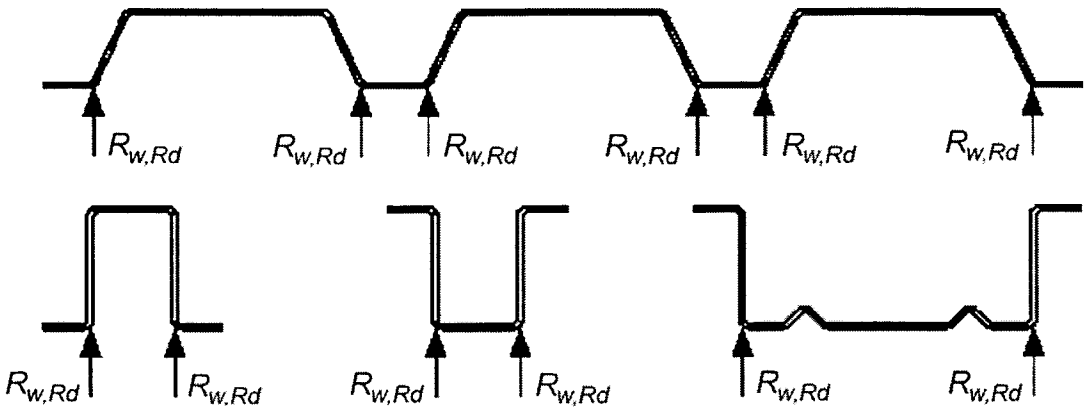


Рисунок 6.8 – Зразки профілів з двома стінками
Figure 6.8 – Examples of cross-sections with two or more webs

(2) При дотриманні двох умов, наведених в (1), місцевий поперечний опір $R_{w,Rd}$ кожної стінки профілю визначається за формулою:

(2) Where both of the conditions specified in (1) are satisfied, the local transverse resistance $R_{w,Rd}$ per web of the cross-section should be determined from

$$R_{w,Rd} = at^2 \sqrt{f_{yb} E}\left(1 - 0{,}1\sqrt{r/t}\right)\left[0{,}5 + \sqrt{0{,}02 l_a / t}\right]\left(2{,}4 + (\phi/90)^2\right)/\gamma_{M1}\,, \tag{6.18}$$

де:
l_a – ефективна довжина опорної частини для відповідної категорії, див. (3);
α – коефіцієнт для відповідної категорії, див (3).

(3) Значення l_a і α необхідно приймати згідно з (4) та (5) відповідно. Максимальне розрахункове значення l_a = 200 мм. Для опори холодноформованого профілю з однією стінкою або

where:
l_a is the effective bearing length for the relevant category, see (3);
α is the coefficient for the relevant category, see (3).

(3) The values of l_a and α should be obtained from (4) and (5) respectively. The maximum design value for l_a = 200 mm. When the support is a cold-formed section with one web or round tube,

круглої труби величина s_s приймається 10 мм. Відповідна категорія (1 або 2) залежить від відстані e між місцевим навантаженням і найближчою опорою або відстані c від опорної реакції, або місцевого навантаження до вільного краю, див. рисунок 6.9.

for s_s should be taken a value of 10 mm. The relevant category (1 or 2) should be based on the clear distance e between the local load and the nearest support, or the clear distance c from the support reaction or local load to a free end, see figure 6.9.

(4) Значення ефективної довжини опорної частини l_a повинно визначатись в такий спосіб:

(4) The value of the effective bearing length l_a should be obtained from the following:

a) для категорії 1:

a) for Category 1:

$$l_a = 10 \text{ мм (mm)} ; \tag{6.19a}$$

b) для категорії 2:

b) for Category 2:

$$-\beta_v \le 0{,}2 : \; l_a = s_s , \tag{6.19b}$$

$$-\beta_v \ge 0{,}3 : \; l_a = 10 \text{ мм (mm)}; \tag{6.19c}$$

– $0{,}2 < \beta_v < 0{,}3$: l_a визначається за лінійною інтерполяцією між значеннями l_a від 0,2 до 0,3,

– $0{,}2 < \beta_v < 0{,}3$: Interpolate linearly between the values of l_a for 0,2 and 0,3

де:

with:

$$\beta_v = \frac{|V_{Ed,1}| - |V_{Ed,2}|}{|V_{Ed,1}| + |V_{Ed,2}|} ,$$

$|V_{Ed,1}|$ і $|V_{Ed,2}|$ – абсолютні величини поперечних сил на кожній стороні від місцевого навантаження або опорної реакції, при цьому $|V_{Ed,1}| \ge |V_{Ed,2}|$ і s_s розташована біля жорсткої опори.

in which $|V_{Ed,1}|$ and $|V_{Ed,2}|$ are the absolute values of the transverse shear forces on each side of the local load or support reaction, and $|V_{Ed,1}| \ge |V_{Ed,2}|$ and s_s is the length of stiff bearing.

(5) Значення коефіцієнта α повинні прийматись такими:

(5) The value of the coefficent α should be obtained from the following:

a) для категорії 1:

– для профлистів:

a) for Category 1:

– for sheeting profiles:

$$\alpha = 0{,}075; \tag{6.20a}$$

– для касетних і омега профілів:

– for liner trays and hat sections:

$$\alpha = 0{,}057; \tag{6.20b}$$

b) для категорії 2:

– для профлистів:

b) for Category 2:

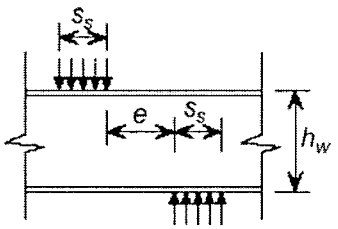
– for sheeting profiles:

$$\alpha = 0{,}15; \tag{6.20c}$$

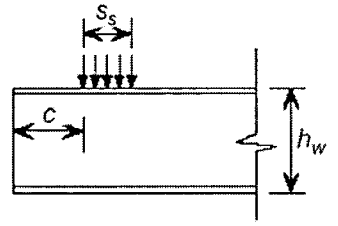
– для касетних і омега профілів:

– for liner trays and hat sections:

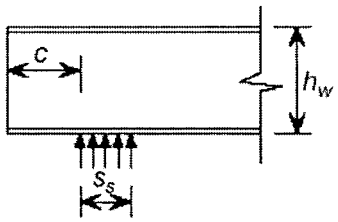
$$\alpha = 0{,}115. \tag{6.20d}$$



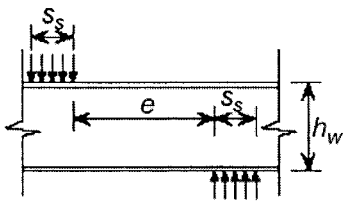
Категорія 1
Category 1
– місцеве навантаження розташоване на відстані $e \leq 1{,}5\ h_w$ від найближчої опори;
– local load applied with $e \leq 1{,}5\ h_w$ clear from the nearest support;



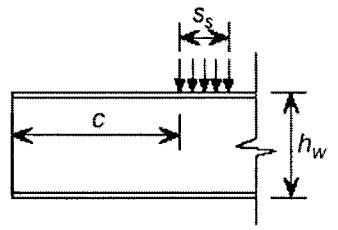
Категорія 1
Category 1
– місцеве навантаження розташоване на відстані $c \leq 1{,}5\ h_w$ від вільного краю;
– local load applied with $c \leq 1{,}5\ h_w$ clear from a free end;



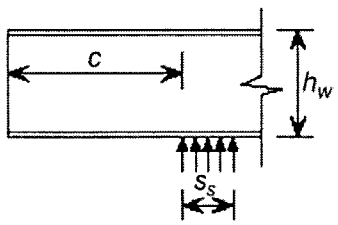
Категорія 1
Category 1
– опорна реакція розташована на відстані $c \leq 1{,}5\ h_w$ від вільного краю.
– reaction at end support with $c \leq 1{,}5\ h_w$ clear from a free end.



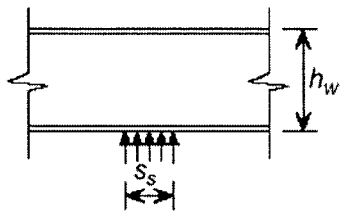
Категорія 2
Category 2
– місцеве навантаження розташоване на відстані $e > 1{,}5\ h_w$ від найближчої опори;
– local load applied with $e > 1{,}5\ h_w$ clear from the nearest support;



Категорія 2
Category 2
– місцеве навантаження розташоване на відстані $c > 1{,}5\ h_w$ від вільного краю;
– local load applied with $c > 1{,}5\ h_w$ clear from a free end;



Категорія 2
Category 2
– реакція на крайній опорі розташована на відстані $c > 1{,}5\ h_w$ від вільного краю;
– reaction at end support with $c > 1{,}5\ h_w$ clear from a free end;



Категорія 2
Category 2
– реакція на проміжній опорі.
– reaction at internal support.

Рисунок 6.9 – Місцеві навантаження і опорні реакції – категорії профілів з однією і більше стінками

Figure 6.9 – Local loads and supports – categories of cross-sections with two or more webs

6.1.7.4 *Стінки з елементами жорсткості*

(1) Місцевий поперечний опір стінки з елементами жорсткості може бути визначений згідно з (2) для профілів з повздовжніми елементами жорсткості у вигляді подвійного вигину стінки в обидва боки від серединних ліній стінки від точок перетину з полицями, див. рисунок 6.10, з дотриманням умови:

6.1.7.4 *Stiffened webs*

(1) The local transverse resistance of a stiffened web may be determined as specified in (2) for cross-sections with longitudinal web stiffeners folded in such a way that the two folds in the web are on opposite sides of the system line of the web joining the points of intersection of the midline of the web with the midlines of the flanges, see figure 6.10, that satisfy the condition:

$$2 < \frac{e_{max}}{t} < 12\,, \tag{6.21}$$

де:

e_{max} – більший ексцентриситет точок згину стінки відносно прямої, що з'єднує кінці стінки.

(2) Для перерізів зі стінками з елементами жорсткості, що відповідають (1), місцевий поперечний опір стінки може бути визначений множенням відповідних значень згідно з 6.1.7.2 або 6.1.7.3 подібної стінки без елементів жорсткості на коефіцієнт:

where:

e_{max} is the larger eccentricity of the folds relative to the system line of the web.

(2) For cross-sections with stiffened webs satisfying the conditions specified in (1), the local transverse resistance of a stiffened web may be determined by multiplying the corresponding value for a similar unstiffened web, obtained from 6.1.7.2 or 6.1.7.3 as appropriate, by the factor a,s given by:

$$k_{a,s} = 1,45 - 0,05 e_{max}/t \text{ але (but) } k_{a,s} \le 0,95 + 35000 t^2 e_{min}/(b_d^2 s_p)\,, \tag{6.22}$$

де:

b_d – розгорнута ширина полиці, що навантажена, див. рисунок 6.10;

e_{min} – менший ексцентриситет точок згину відносно прямої, що з'єднує кінці стінки;

s_p – висота за нахилом плоскої частки стінки, найближчої до полиці, див. рисунок 6.10.

where:

b_d is the developed width of the loaded flange, see figure 6.10;

e_{min} is the smaller eccentricity of the folds relative to the system line of the web;

s_p is the slant height of the plane web element nearest to the loaded flange, see figure 6.10.

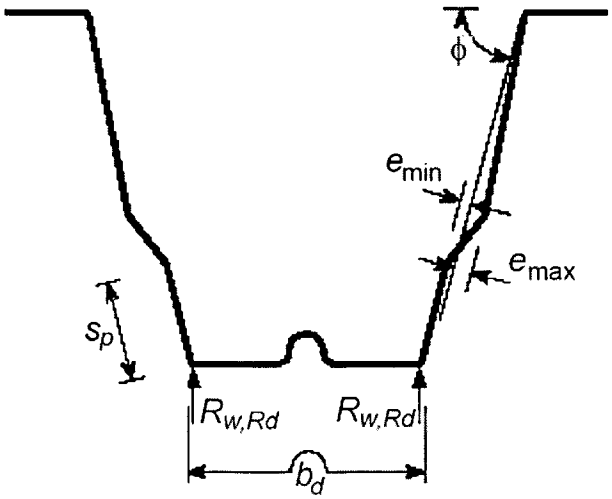


Рисунок 6.10 – Стінки з елементами жорсткості

Figure 6.10 – Stiffened webs

6.1.8 *Сумісна дія розтягу і згину*

(1) При сумісній дії на профілі поздовжнього розтягу N_{Ed} і згинальних моментів $M_{y,Ed}$ і $M_{z,Ed}$ повинна виконуватись умова:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} \le 1, \qquad (6.23)$$

де:

$N_{t,Rd}$ – розрахунковий опір поперечних перерізів при рівномірному розтягу (6.12);

$M_{cy,Rd,ten}$ – розрахунковий опір поперечного перерізу при максимальному розтягувальному напруженні від моменту, що діє відносно осі y – y (6.1.4);

$M_{cz,Rd,ten}$ – розрахунковий опір поперечного перерізу при максимальному розтягувальному напруженні від моменту, що діє відносно осі z – z (6.1.4).

(2) Якщо $M_{cy,Rd,com} \le M_{cy,Rd,ten}$ або $M_{cz,Rd,com} \le M_{cz,Rd,ten}$ (тут $M_{cy,Rd,com}$ і $M_{cz,Rd,com}$ – опір поперечного перерізу при максимальному стискальному напруженні від моменту, що діє відносно відповідної осі), повинна виконуватись така умова:

6.1.8 *Combined tension and bending*

(1) Cross-sections subject to combined axial tension N_{Ed} and bending moments $M_{y,Ed}$ and $M_{z,Ed}$ should satisfy the criterion:

where:

$N_{t,Rd}$ is the design resistance of a cross-section for uniform tension (6.1.2);

$M_{cy,Rd,ten}$ is the design moment resistance of a cross-section for maximum tensile stress if subject only to moment about the y – y axis (6.1.4);

$M_{cz,Rd,ten}$ is the design moment resistance of a cross-section for maximum tensile stress if subject only to moment about the z – z axis (6.1.4).

(2) If $M_{cy,Rd,com} \le M_{cy,Rd,ten}$ or $M_{cz,Rd,com} \le M_{cz,Rd,ten}$ (where $M_{cy,Rd,com}$ and $M_{cz,Rd,com}$ are the moment resistances for the maximum compressive stress in a cross-section that is subject only to moment about the relevant axis), the following criterion should also be satisfied:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} - \frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \le 1. \qquad (6.24)$$

6.1.9 *Сумісна дія стиску і згину*

(1) При сумісній дії на профілі поздовжнього стиснення NEd і згинальних моментів $M_{y,Ed}$ і $M_{z,Ed}$ повинна виконуватись умова:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} \le 1, \qquad (6.25)$$

де $N_{c,Rd}$ визначають згідно з 6.1.3, а $M_{cy,Rd,com}$ і $M_{cz,Rd,com}$ – згідно з 6.1.8.

(2) Додаткові моменти $\Delta M_{y,Ed}$ і $\Delta M_{z,Ed}$ від зміщення центральних осей повинні прийматись:

$$\Delta M_{y,Ed} = N_{Ed}\, e_{Ny}$$

$$\Delta M_{z,Ed} = N_{Ed}\, e_{Nz}$$

де e_{Ny} і e_{Nz} – зміщення центральних осей y – y і z – z відносно осьових зусиль, див. 6.1.3(3).

6.1.9 *Combined compression and bending*

(1) Cross-sections subject to combined axial compression NEd and bending moments $M_{y,Ed}$ and $M_{z,Ed}$ should satisfy the criterion:

in which $N_{c,Rd}$ is as defined in 6.1.3, $M_{cy,Rd,com}$ and $M_{cz,Rd,com}$ are as defined in 6.1.8.

(2) The additional moments $\Delta M_{y,Ed}$ and $\Delta M_{z,Ed}$ due to shifts of the centroidal axes should be taken as:

in which e_{Ny} and e_{Nz} are the shifts of y – y and z – z centroidal axis due to axial forces, see 6.1.3(3).

(3) Якщо $M_{cy,Rd,ten} \le M_{cy,Rd,com}$ або $M_{cz,Rd,ten} \le M_{cz,Rd,com}$, повинна бути відповідність за таким критерієм:

(3) If $M_{cy,Rd,ten} \le M_{cy,Rd,com}$ or $M_{cz,Rd,ten} \le M_{cz,Rd,com}$ the following criterion should also be satisfied:

$$\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} - \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \le 1, \qquad (6.26)$$

де $M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$ визначені в 6.1.8.

in which $M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$ are as defined in 6.1.8.

6.1.10 *Сумісна дія зсувної і поздовжньої сили та згинального моменту*

(1) Для поперечних перерізів при сумісній дії поздовжньої сили N_{Ed}, згинального моменту M_{Ed} і поперечної сили V_{Ed} вплив останньої не враховується, якщо $V_{Ed} \le 0{,}5V_{w,Rd}$. У випадку, коли зсувна сила більше ніж половина опору стінки до зсуву, повинна виконуватись умова:

6.1.10 *Combined shear force, axial force and bending moment*

(1) For cross-sections subject to the combined action of an axial force N_{Ed}, a bending moment M_{Ed} and a shear force V_{Ed} no reduction due to shear force need not be done provided that $V_{Ed} \le 0{,}5V_{w,Rd}$. If the shear force is larger than half of the shear force resistance then following equations should be satisfied:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right)\left(\frac{2V_{Ed}}{V_{w,Rd}} - 1\right)^2 \le 10, \qquad (6.27)$$

де:

N_{Rd} – розрахунковий опір поперечного перерізу при рівномірному розтягу або стиску, що наведений в 6.1.2 або 6.1.3;

$M_{y,Rd}$ – розрахунковий опір поперечного перерізу при дії моменту, що наведений в 6.1.4;

$V_{w,Rd}$ – розрахунковий опір стінки до зсуву, що наведений в 6.1.5(1);

$M_{f,Rd}$ – момент опору поперечного перерізу, що складається тільки з ефективної площі полиць, див. EN 1993-1-5;

$M_{pl,Rd}$ – момент опору поперечного перерізу в пластичній стадії, див. EN 1993-1-5.

Для елементів і профлистів з більш ніж однією стінкою $V_{w,Rd}$ дорівнює сумі опорів всіх стінок, що складають переріз. Див. EN 1993-1-5.

where:

N_{Rd} is the design resistance of a cross-section for uniform tension or compression given in 6.1.2 or 6.1.3;

$M_{y,Rd}$ is the design moment resistance of the cross-section given in 6.1.4;

$V_{w,Rd}$ is the design shear resistance of the web given in 6.1.5(1);

$M_{f,Rd}$ is the moment of resistance of a cross-section consisting of the effective area of flanges only, see EN 1993-1-5;

$M_{pl,Rd}$ is the plastic moment of resistance of the cross-section, see EN 1993-1-5.

For members and sheeting with more than one web $V_{w,Rd}$ is the sum of the resistances of the webs. See also EN 1993-1-5.

6.1.11 *Сумісна дія згинального моменту і місцевого навантаження або опорної реакції*

(1) При одночасній дії на поперечний переріз згинального моменту M_{Ed} і поперечної сили від місцевого навантаження або опорної реакції F_{Ed} повинні виконуватись такі умови:

6.1.11 *Combined bending moment and local load or support reaction*

(1) Cross-sections subject to the combined action of a bending moment M_{Ed} and a transverse force due to a local load or support reaction F_{Ed} should satisfy the following:

$$M_{Ed}/M_{c,Rd} \le 1, \quad (6.28a)$$

$$F_{Ed}/R_{w,Rd} \le 1, \quad (6.28b)$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \le 1{,}25, \quad (6.28c)$$

де:

$M_{c,Rd}$ – момент опору для перерізу згідно з 6.1.4.1(1);

$R_{w,Rd}$ – місцевий поперечний опір стінки згідно з 6.1.7. У виразі (6.28c) згинальний момент M_{Ed} може бути обчислений біля краю опори. Для елементів і профлистів з більш ніж однією стінкою $R_{w,Rd}$ приймається як сума несучої здатності стінок.

where:

$M_{c,Rd}$ is the moment resistance of the cross-secion given in 6.1.4.1(1);

$R_{w,Rd}$ is the appropriate value of the local transverse resistance of the web from 6.1.7. In equation (6.28c) the bending moment M_{Ed} may be calculated at the edge of the support. For members and sheeting with more than one web, $R_{w,Rd}$ is the sum of the local transverse resistances of the individual webs.

6.2 Опір втраті стійкості

6.2.1 Загальні положення

(1) Для елементів з поперечними перерізами, схильними до скручування, повинна враховуватись можлива поперечно-крутильна форма втрати стійкості стиснутих полиць і в більшій мірі полиць, що згинаються в своїй площині.

(2) Ефекти місцевої і загальної втрати стійкості необхідно враховувати згідно з вказівками 5.5.

6.2.2 *Загальна форма втрати стійкості*

(1) Розрахунковий опір втраті стійкості $N_{b,Rd}$ при повздовжньому згині необхідно визначати за EN 1993-1-1, користуючись відповідною кривою згідно з таблицею 6.3 в залежності від типу поперечного перерізу, форми втрати стійкості і границі текучості, див. (3).

(2) Крива втрати стійкості для поперечних перерізів, не наведених в таблиці 6.3, може бути отримана тотожно.

(3) Опір втраті стійкості для замкнутих складених поперечних перерізів необхідно визначати, використовуючи:

- криву втрати стійкості *b* у поєднанні з границею текучості f_{yb} плоского листа, з якого холодним формуванням виробляється елемент;
- криву втрати стійкості *c* у поєднанні з середнім значенням границі текучості f_{ya}, яка визначається для елемента після його формування згідно з 3.2.3 при $A_{eff} = A_g$.

6.2 Buckling resistance

6.2.1 *General*

(1) In members with cross-sections that are susceptible to cross-sectional distortion, account should be taken of possible lateral buckling of compression flanges and lateral bending of flanges generally.

(2) The effects of local and distortional buckling should be taken into account as specified in Section 5.5.

6.2.2 *Flexural buckling*

(1) The design buckling resistance $N_{b,Rd}$ for flexural buckling should be obtained from EN 1993-1-1 using the appropriate buckling curve from table 6.3 according to the type of cross-section, axis of buckling and yield strength used, see (3).

(2) The buckling curve for a cross-section not included in table 6.3 may be obtained by analogy.

(3) The buckling resistance of a closed built-up cross-section should be determined using either:

- buckling curve *b* in association with the basic yield strength f_{yb} of the flat sheet material out of which the member is made by cold forming;
- buckling curve *c* in association with the average yield strength f_{ya} of the member after cold forming, determined as specified in 3.2.3, provided that $A_{eff} = A_g$.

6.2.3 *Крутильна та згинально-крутильна форми втрати стійкості*

(1) Для елементів відкритого кососиметричного поперечного перерізу (наприклад, Z-подібних прогонів з однаковими полицями) повинна враховуватись така можливість, що опір елемента за умови втрати стійкості за крутильною формою може бути менше ніж опір елемента втраті стійкості за згинальною формою.

(2) Для елементів відкритого поперечного перерізу з однією віссю симетрії, див. рисунок 6.12, повинна враховуватись така можливість, що опір елемента за умови втрати стійкості за згинально-крутильною формою може бути менше ніж опір елемента втраті стійкості за згинальною формою.

6.2.3 *Torsional buckling and torsional-flexural buckling*

(1) For members with point-symmetric open cross-sections (e.g Z-purlin with equal flanges), account should be taken of the possibility that the resistance of the member to torsional buckling might be less than its resistance to flexural buckling.

(2) For members with mono-symmetric open cross-sections, see figure 6.12, account should be taken of the possibility that the resistance of the member to torsional-flexural buckling might be less than its resistance to flexural buckling+.

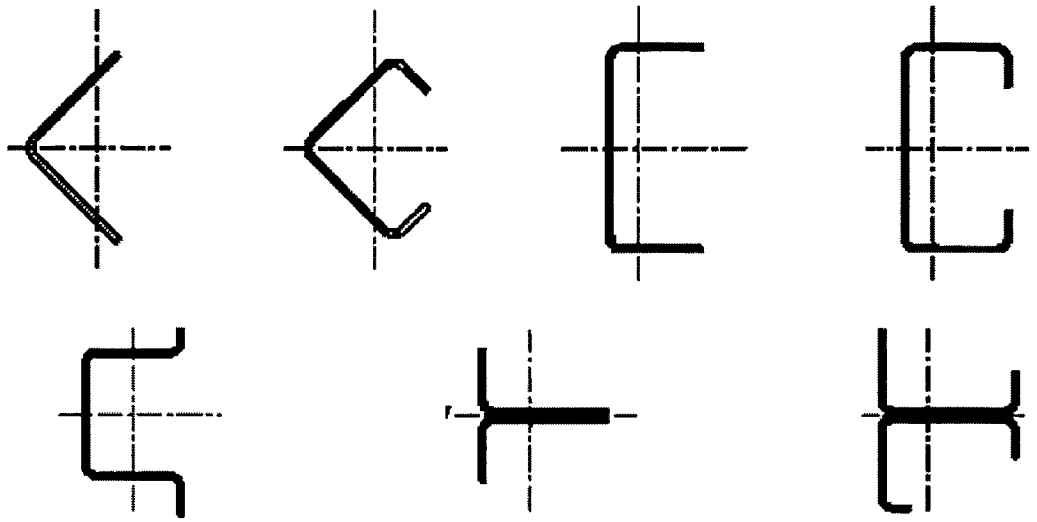


Рисунок 6.12 – Профілі з однією віссю симетрії, схильні до втрати стійкості за згинально-крутильною формою

Figure 6.12 – Monosymmetric cross-sections susceptible to torsional-flexural buckling

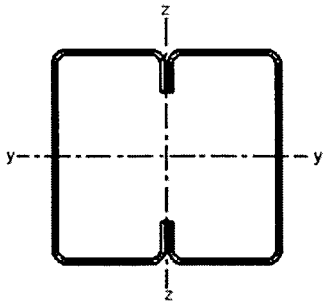
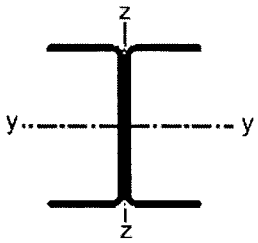
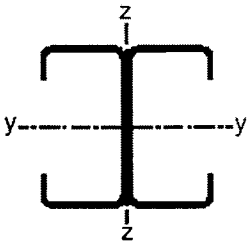
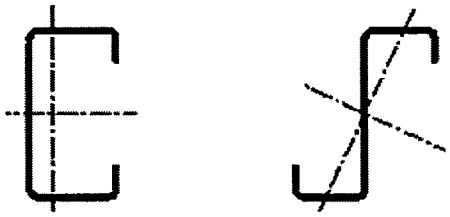
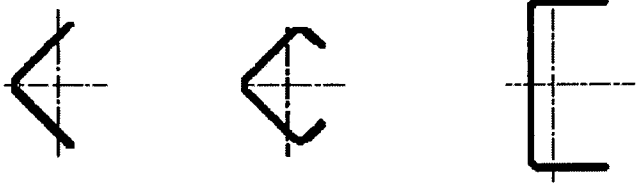
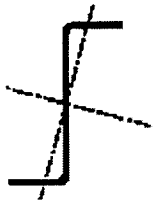
(3) Для елементів асиметричного відкритого поперечного перерізу повинна враховуватись така можливість, що опір за умови втрати стійкості за крутильною або згинально-крутильною формою може бути менше ніж опір елемента втраті стійкості за згинальною формою.

(4) Розрахунковий опір втраті стійкості $N_{b,Rd}$ за умови втрати стійкості за крутильною або згинально-крутильною формою необхідно визначити згідно з 6.3.1.1 EN 1993-1-1, користуючись відповідною кривою втрати стійкості відносно осі z – z згідно з таблицею 6.3.

(3) For members with non-symmetric open cross-sections, account should be taken of the possibility that the resistance of the member to either torsional or torsional-flexural buckling might be less than its resistance to flexural buckling.

(4) The design buckling resistance $N_{b,Rd}$ for torsional or torsional-flexural buckling should be obtained from EN 1993-1-1, 6.3.1.1 using the relevant buckling curve for buckling about the z – z axis obtained from table 6.3.

Таблиця 6.3 – Криві втрати стійкості профілів різних типів
Table 6.3 – Appropriate buckling curve for various types of cross-section

Тип профілю Type of cross-section		Втрата стійкості відносно осі Buckling about axis	Крива втрати стійкості Buckling curve
	при використанні f_{yb} if f_{yb} is used	Будь-яка Any	b
	при використанні f_{ya} if f_{ya} is used *)	Будь-яка Any	c
 		y – y z – z	a b
		Будь-яка Any	b
		Будь-яка Any	c
	або будь-який поперечний переріз or other cross-section	Будь-яка Any	c

*) Середню величину границі текучості f_{ya} не дозволяється використовувати, крім випадку $A_{eff} = A_g$.
*) The average yield strength f_{ya} should not be used unless $A_{eff} = A_g$.

(5) Критична сила $N_{cr,T}$ для крутильної форми втрати стійкості в пружній стадії роботи для вільно обпертої балки повинна визначатись за виразом:

(5) The elastic critical force $N_{cr,T}$ for torsional buckling of simply supported beam should be determined from:

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_o^2}\left(GI_t + \frac{\pi^2 EI_w}{l_T^2}\right), \qquad (6.33a)$$

тут:

with:

$$i_o^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_o^2 + z_o^2 \,, \tag{6.33b}$$

де:

where:

G – модуль зсуву;

G is the shear modulus;

I_t – постійна кручення повного перерізу;

I_t is the torsion constant of the gross cross-section;

I_w – постійна депланації повного перерізу;

I_w is the warping constant of the gross cross-section;

i_y – радіус інерції повного перерізу відносно осі y – y;

i_y is the radius of gyration of the gross cross-secion about the y – y axis;

i_z – радіус інерції повного перерізу відносно осі z – z;

i_z is the radius of gyration of the gross cross-secion about the z – z axis;

l_T – розрахункова довжина елемента, що втрачає стійкість за крутильною формою;

l_T is the buckling length of the member for torsional buckling;

y_o, z_o – координати центра зсуву відносно центра тяжіння повного перерізу.

y_o, z_o are the shear centre co-ordinates with respect to the centroid of the gross cross-section.

(6) Для перерізів з двома осями симетрії (наприклад, $y_o = z_o = 0$), критична сила $N_{cr,TF}$ для згинально-крутильної форми втрати стійкості в пружній стадії повинна визначатися за виразом:

(6) For doubly symmetric cross-sections (e.g. $y_o = z_o = 0$), the elastic critical force $N_{cr,TF}$ for torsional-flexural buckling should be determined from:

$$N_{cr,TF} = N_{cr,T} \,, \tag{6.34}$$

при цьому $N_{cr,T} < N_{cr,y}$ і $N_{cr,T} < N_{cr,z}$.

provided $N_{cr,T} < N_{cr,y}$ and $N_{cr,T} < N_{cr,z}$.

(7) Для поперечних перерізів симетричних відповідно осі y – y (наприклад, $z_o = 0$) при крутильно-згинальній формі втрати стійкості в пружній стадії критична сила $N_{cr,TF}$ повинна визначатися за виразом:

(7) For cross-sections that are symmetrical about the y – y axis (e.g. $z_o = 0$), the elastic critical force $N_{cr,TF}$ for torsional-flexural buckling should be determined from:

$$N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,y}}{2\beta}\left[1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}\right)^2 + 4\left(\frac{y_o}{i_o}\right)^2 \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}}\right], \tag{6.35}$$

де:

with:

$$\beta = 1 - \left(\frac{y_o}{i_o}\right)^2 .$$

(8) Розрахункова довжина l_T елемента, який втрачає стійкість за крутильною або згинально-крутильною формою, повинна визначатись з урахуванням ступеня його закріплення від скручування і депланації на кожному кінці елемента довжиною L_T.

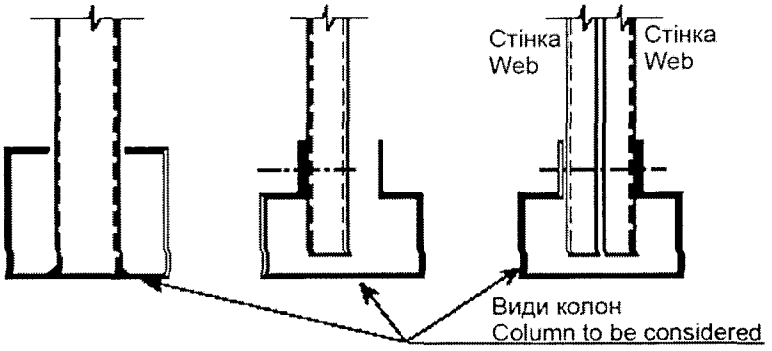
(8) The buckling length l_T for torsional or torsional-flexural buckling should be determined taking into account the degree of torsional and warping restraint at each end of the system length L_T.

(9) В залежності від типу з'єднання по кінцях елемента можуть прийматись такі значення l_T / L_T:

(9) For practical connections at each end, the value of l_T / L_T may be taken as follows:

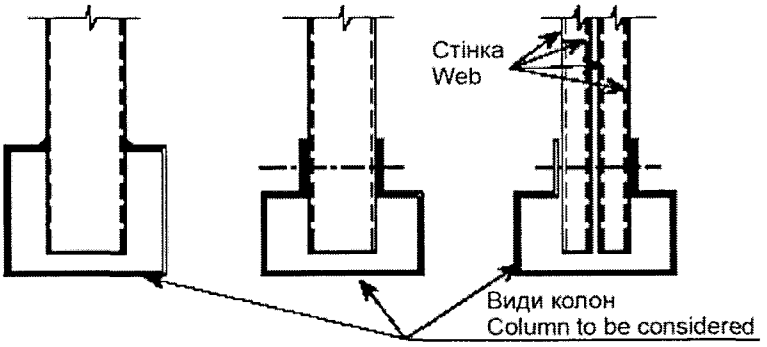
– 1,0 для з'єднань з частковим закріпленням від скручування і депланації, див. рисунок 6.13(a);
– 0,7 для з'єднань з суттєвим закріпленням від скручування і депланації, див. рисунок 6.13(b).

– 1,0 for connections that provide partial restraint against torsion and warping, see figure 6.13(a);
– 0,7 for connections that provide significant restraint against torsion and warping, see figure 6.13(b).



a – з'єднання з частковим закріпленням від скручування і депланації
a) connections capable of giving partial torsional and warping restraint

Замкнуті перерізи або перерізи з болтами, що проходять через дві стінки елемента
Hollow sections or sections with bolts passing through two webs *per member*



b – з'єднання з суттєвим закріпленням від скручування і депланації
b) connections capable of giving significant torsional and warping restraint

Рисунок 6.13 – Закріплення від скручування і депланації
Figure 6.13 – Torsional and warping restraint from practical connections

6.2.4 *Поперечно-крутильна форма втрати стійкості елементів при згині*

(1) Розрахунковий опір втраті стійкості елемента, схильного до крутильної форми втрати стійкості, повинен визначатись відповідно до EN 1993-1-1, підрозділ 6.3.2.2, використовуючи криву втрати стійкості *b*.

(2) Цей метод не застосовується для перерізів із суттєвим кутом між головними осями ефективного і повного перерізів .

6.2.4 *Lateral-torsional buckling of members subject to bending*

(1) The design buckling resistance moment of a member that is susceptible to lateral-torsional buckling should be determined according to EN 1993-1-1, section 6.3.2.2 using the lateral buckling curve *b*.

(2) This method should not be used for the sections that have a significant angle between the principal axes of the effective cross-section, compared to those of the gross cross-section.

6.2.5 *Осьовий стиск зі згином*

(1) Взаємодія між осьовою силою і згинальним моментом враховується при розрахунку другого порядку, як вказано в EN 1993-1-1, на базі характеристик ефективного поперечного перерізу згідно з 5.5. Див. також 5.3.

(2) Альтернативно можна скористатись формулою (6.36):

$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}}\right)^{0,8}+\left(\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}}\right)^{0,8}\le 1,0\,, \qquad (6.36)$$

де $N_{b,Rd}$ – розрахунковий опір втраті стійкості елемента, обчислений згідно з 6.2.2 (згинальна, крутильна, згинально-крутильна форми втрати стійкості) і $M_{b,Rd}$ – розрахунковий опір елемента при дії моменту згідно з 6.2.4 з урахуванням за необхідності M_{Ed} як вплив від ефектів нейтральної осі.

6.3 Осьовий розтяг зі згином

(1) Застосовуються прийоми, як і при стиску згідно з 6.2.5.

6.2.5 *Bending and axial compression*

(1) The interaction between axial force and bending moment may be obtained from a second-order analysis of the member as specified in EN 1993-1-1, based on the properties of the effective cross-section obtained from Section 5.5. See also 5.3.

(2) As an alternative the interaction formula (6.36) may be used

where $N_{b,R}$ is the design buckling resistance of a compression member according to 6.2.2 (flexural, torsional or torsional-flexural buckling) and $M_{b,Rd}$ is the design bending moment resistance according to 6.2.4 and M_{Ed} includes the effects of shift of neutral axis, if relevant.

6.3 Bending and axial tension

(1) The interaction equations for compressive force in 6.2.5 are applicable.

7 ГРАНИЧНІ СТАНИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ПРИДАТНОСТІ

7.1 Загальні положення

(1) Для холодноформованих елементів і профлистів повинні застосовуватися правила розрахунку за граничними станами експлуатаційної придатності, що наведені в розділі 7 EN 1993-1-1.

(2) При розрахунку за граничними станами експлуатаційної придатності повинні враховуватися характеристики ефективного поперечного перерізу холодноформованих елементів і профлистів згідно з 5.1.

(3) Момент інерції може бути визначений альтернативно інтерполяцією між повним і ефективним поперечними перерізами за виразом:

7 SERVICEABILITY LIMIT STATES

7.1 General

(1) The rules for serviceability limit states given in Section 7 of EN 1993-1-1 should also be applied to coldformed members and sheeting.

(2) The properties of the effective cross-section for serviceability limit states obtained from Section 5.1 should be used in all serviceability limit state calculations for cold-formed members and sheeting.

(3) The second moment of area may be calculated alternatively by interpolation of gross cross-section and effective cross-section using the expression

$$I_{fic}=I_{gr}-\frac{\sigma_{gr}}{\sigma}\left(I_{gr}-I(\sigma)_{eff}\right), \qquad (7.1)$$

де:

I_{gr} – момент інерції повного поперечного перерізу;

where:

I_{gr} is second moment of area of the gross cross-section;

σ_{gr} – максимальне згинальне напруження стиску за граничними станами експлуатаційної придатності на базі повного поперечного перерізу (в формулі зі знаком "плюс");

$I(\sigma)_{eff}$ – момент інерції ефективного поперечного перерізу, обчислений з урахуванням місцевої втрати стійкості при максимальному напруженні $\sigma \geq \sigma_{gr}$, при цьому за абсолютним значенням максимальне напруження є найбільшим у межах розрахункової довжини елемента, що розглядається.

(4) Момент інерції ефективного перерізу I_{eff} (або I_{fic}) вздовж прольоту може бути змінним. Альтернативно може використовуватись постійне значення моменту, обчисленого на базі максимального абсолютного прольотного моменту від нормативного навантаження.

7.2 Пластичні деформації

(1) При визначенні розрахункового опору з урахуванням повного розвитку пластичних деформацій комбінацію опорного моменту і реакції на проміжній опорі необхідно приймати з коефіцієнтом не більше ніж 0,9 з використанням $\gamma_{M,ser}$, див. розділ 2(5).

(2) Об'єднаний розрахунковий опір можна визначати згідно з 6.1.11, але для граничних станів експлуатаційної придатності слід використовувати ефективний поперечний переріз і $\gamma_{M,ser}$.

7.3 Прогини

(1) Прогини можуть визначатись з припущенням роботи в пружній стадії.

(2) При визначенні прогинів, зусиль і моментів необхідно враховувати вплив піддатливості з'єднань (наприклад, при нерозрізних балочних системах із з'єднаннями внапуск і на накладках).

8 РОЗРАХУНОК З'ЄДНАНЬ

8.1 Загальні положення

(1) Припущення та вимоги щодо розрахунку з'єднань див. EN 1993-1-8.

(2) Правила, що наведені нижче, стосуються елементів товщиною $t_{cor} \leq 4$ мм, які в EN 1993-1-8 не розглядаються.

σ_{gr} is maximum compressive bending stress in the serviceability limit state, based on the gross crosssection (positive in formula);

$I(\sigma)_{eff}$ is the second moment of area of the effective cross-section with allowance for local buckling calculated for a maximum stress $\sigma \geq \sigma_{gr}$, in which the maximum stress is the largest absolute value of stresses within the calculation length considered.

(4) The effective second moment of area I_{eff} (or I_{fic}) may be taken as variable along the span. Alternatively a uniform value may be used, based on the maximum absolute span moment due to serviceability loading.

7.2 Plastic deformation

(1) In case of plastic global analysis the combination of support moment and support reaction at an internal support should not exceed 0,9 times the combined design resistance, determined using $\gamma_{M,ser}$, see section 2(5).

(2) The combined design resistance may be determined from 6.1.11, but using the effective cross-section for serviceability limit states and $\gamma_{M,ser}$.

7.3 Deflections

(1) The deflections may be calculated assuming elastic behaviour.

(2) The influence of slip in the connections (for example in the case of continuous beam systems with sleeves and overlaps) should be considered in the calculation of deflections, forces and moments.

8 DESIGN OF JOINTS

8.1 General

(1) For design assumptions and requirements of joints see EN 1993-1-8.

(2) The following rules apply to core thickness $t_{cor} \leq 4$ mm, not covered by EN 1993-1-8.

8.2 З'єднання стиснутих елементів, кінцеві та внапуск

(1) З'єднання стиснутих елементів, кінцеві або внапуск, повинні бути рівноміцними з основним елементом або розраховані на дію додаткового згинального моменту внаслідок деформованої схеми елемента, як доповнення до внутрішнього зусилля стиску N_{Ed} і до внутрішніх моментів $M_{y,Ed}$ та $M_{z,Ed}$, що обчислені при загальних розрахунках.

(2) Якщо розрахунок другого порядку не виконувався, додатковий момент ΔM_{Ed} повинен прийматись в поперечному перерізі відносно осі, якій відповідає найменше значення понижувального коефіцієнта χ при згинальній формі втрати стійкості, див. 6.2.2.1(2). Величина ΔM_{Ed} обчислюється за формулою:

8.2 Splices and end connections of members subject to compression

(1) Splices and end connections in members that are subject to compression, should either have at least the same resistance as the cross-section of the member, or be designed to resist an additional bending moment due to the second-order effects within the member, in addition to the internal compressive force N_{Ed} and the internal moments $M_{y,Ed}$ and $M_{z,Ed}$ obtained from the global analysis.

(2) In the absence of a second-order analysis of the member, this additional moment ΔM_{Ed} should be taken as acting about the cross-sectional axis that gives the smallest value of the reuction factor χ for flexural buckling, see 6.2.2.1(2), with a value determined from:

$$\Delta M_{Ed} = N_{Ed}\left(\frac{1}{\chi}-1\right)\frac{W_{eff}}{A_{eff}}\sin\frac{\pi a}{l}, \qquad (8.1a)$$

де:

A_{eff} – ефективна площа поперечного перерізу;

a – відстань до найближчої точки перегину від з'єднання кінцевого або внапуск;

l – розрахункова довжина між точками перегину частини елемента, що втратив стійкість відносно певної осі;

W_{eff} – момент опору ефективного поперечного перерізу при згині відносно певної осі.

Такого типу з'єднання повинні також розраховуватись з урахуванням додаткової внутрішньої зсувної сили:

where:

A_{eff} is the effective area of the cross-section

a is the distance from the splice or end connection to the nearer point of contraflexure;

l is the buckling length of the member between points of contraflexure, for buckling about the relevant axis;

W_{ef} is the section modulus of the effective cross-section for bending about the relevant axis.

Splices and end connections should be designed to resist an additional internal shear force

$$\Delta V_{Ed} = \frac{\pi N_{Ed}}{l}\left(\frac{1}{\chi}-1\right)\frac{W_{eff}}{A_{eff}}. \qquad (8.1b)$$

(3) З'єднання кінцеві та внапуск повинні виконуватись так, щоб зусилля передавались ними на ефективні частки поперечного перерізу.

(4) Якщо конструктивне виконання з'єднань на кінцях елементів не дозволяє чітко визначити лінію дії внутрішньої осьової сили, необхідно встановити можливий ексцентриситет її дії і врахувати в розрахунку відповідні додаткові моменти, незважаючи на те, що елемент може мати і одне з'єднання, кінцеве або внапуск.

(3) Splices and end connections should be designed in such a way that load may be transmitted to the effective portions of the cross-section.

(4) If the constructional details at the ends of a member are such that the line of action of the internal axial force cannot be clearly identified, a suitable eccentricity should be assumed and the resulting moments should be taken into account in the design of the member, the end connections and the splice, if there is one.

8.3 З'єднання на механічних засобах кріплення

(1) За формою з'єднання на механічних засобах кріплення повинні бути компактними. Розташування кріпильних виробів повинно забезпечувати нормальні умови їх встановлення в процесі монтажу або ремонту.

Примітка. Додаткову інформацію див. у 1-8 EN 1993.

(2) Зусилля зсуву на окремі кріпильні вироби допускаються такими, що дорівнюють за умови:

- кріпильні вироби мають достатню пластичність;
- зріз не є критичною формою руйнування.

(3) При визначенні опору кріпильних виробів, на які здебільшого діють статичні навантаження, треба керуватись вказівками:

- таблиці 8.1 для заклепок при однобічному клепанні;
- таблиці 8.2 для самонарізних ґвинтів;
- таблиці 8.3 для дюбелів;
- таблиці 8.4 для болтів.

Примітка. Для визначення розрахункового опору кріпильних виробів за результатами випробувань див. 9(4).

(4) В таблицях 8.1 – 8.4 прийняти такі познаки:

A – повна площа поперечного перерізу кріпильного виробу;

A_s – площа перерізу розтягнутої частини кріпильного виробу;

A_{net} – площа послабленого перерізу елемента, що з'єднується;

$\beta_{L,f}$ – знижувальний коефіцієнт для протяжних вузлів згідно з EN 1993-1-8;

d – номінальний діаметр кріпильного виробу;

d_o – номінальний діаметр отвору;

d_w – діаметр шайби або головки кріпильного виробу;

e_1 – відстань вздовж зусилля від центра кріпильного виробу до найближчого краю елемента, що з'єднується, див. рисунок 8.1;

e_2 – відстань поперек зусиллю від центра кріпильного виробу до найближчого краю елемента, що з'єднується, див. рисунок 8.1;

8.3 Connections with mechanical fasteners

(1) Connections with mechanical fasteners should be compact in shape. The positions of the fasteners should be arranged to provide sufficient room for satisfactory assembly and maintenance.

NOTE: More information see Part 1-8 of EN 1993.

(2) The shear forces on individual mechanical fasteners in a connection may be assumed to be equal, provided that:

- the fasteners have sufficient ductility;
- shear is not the critical failure mode.

(3) For design by calculation the resistances of mechanical fasteners subject to predominantly static loads should be determined from:

- table 8.1 for blind rivets;
- table 8.2 for self-tapping screws;
- table 8.3 for cartridge fired pins;
- table 8.4 for bolts.

NOTE: For determining the design resistance of mechanical fasteners by testing see 9(4).

(4) In tables 8.1 to 8.4 the meanings of the symbols should be taken as follows:

A the gross cross-sectional area of a fastener;

A_s the tensile stress area of a fastener;

A_{net} the net cross-sectional area of the connected part;

$\beta_{L,f}$ the reduction factor for long joints according to EN 1993-1-8;

d the nominal diameter of the fastener;

d_o the nominal diameter of the hole;

d_w the diameter of the washer or the head of the fastener;

e_1 the end distance from the centre of the fastener to the adjacent end of the connected part, in the direction of load transfer, see figure 8.1;

e_2 the edge distance from the centre of the fastener to the adjacent edge of the connected part, in the direction perpendicular to the direction of load transfer, see figure 8.1;

f_{ub} – тимчасовий опір розтягу матеріалу кріпильного виробу;

$f_{u,sup}$ – тимчасовий опір розтягу опорного елемента, в який встановлюється ґвинт;

n – кількість листів, які кріпляться до опорного елемента за допомогою ґвинта або дюбеля;

n_f – кількість кріпильних виробів в одному з'єднанні;

p_1 – відстань між центрами кріпильних виробів вздовж зусилля, див. рисунок 8.1;

p_2 – відстань між центрами кріпильних виробів поперек зусиллю, див. рисунок 8.1;

t – товщина найтоншого елемента в з'єднанні;

t_1 – товщина найтовщого елемента в з'єднанні;

t_{sup} – товщина опорного елемента, в якому закріплюється ґвинт або дюбель.

(5) При визначенні розрахункового опору кріпильних виробів частковий коефіцієнт надійності γ_M приймається γ_{M2}.

Примітка. Величина γ_{M2} може бути наведена в Національному додатку. Рекомендується приймати γ_{M2} = 1,25.

f_{ub} the ultimate tensile strength of the fastener material;

$f_{u,sup}$ the ultimate tensile strength of the supporting member into which a screw is fixed;

n the number of sheets that are fixed to the supporting member by the same screw or pin;

n_f the number of mechanical fasteners in one connection;

p_1 the spacing centre-to-centre of fasteners in the direction of load transfer, see figure 8.1;

p_2 the spacing centre-to-centre of fasteners in the direction perpendicular to the direction of load transfer, see figure 8.1;

t the thickness of the thinner connected part or sheet;

t_1 the thickness of the thicker connected part or sheet;

t_{sup} the thickness of the supporting member into which a screw or a pin is fixed.

(5) The partial factor γ_M for calculating the design resistances of mechanical fasteners should be taken as γ_{M2}.

NOTE: The value γ_{M2} may be given in the National Annex. The value γ_{M2} = 1,25 is recommended.

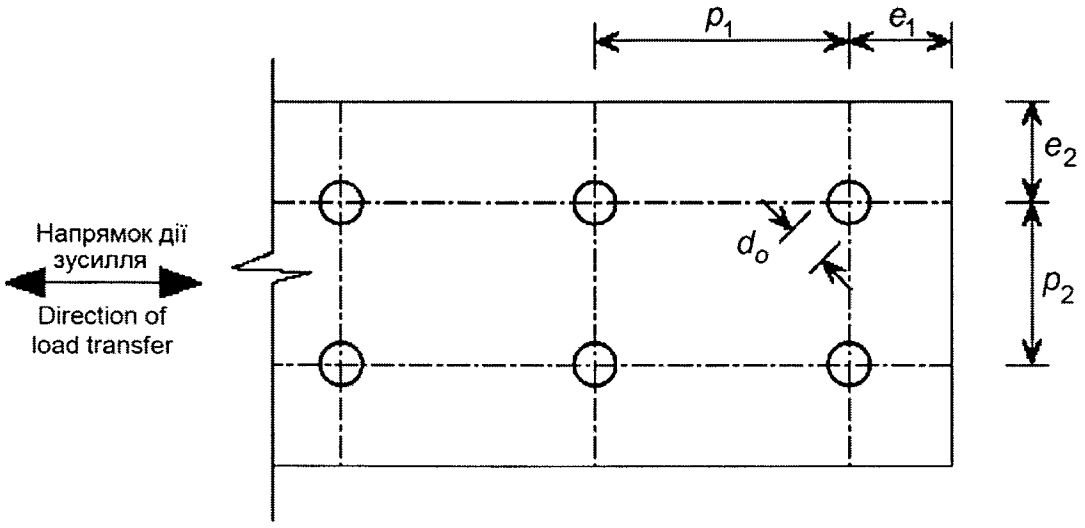


Рисунок 8.1 – Розташування кріпильних виробів

Figure 8.1 – End distance, edge distance and spacings for fasteners and spot welds

(6) Якщо опір висмикуванню кріпильного виробу $F_{o,Rd}$ менший ніж продавлюванню $F_{p,Rd}$, деформативність з'єднання повинна визначатись за результатами випробувань.

(7) Якщо кріпильні вироби в гофрах профлистів розташовуються не по центру, опір самонарізних ґвинтів і дюбелів продавлюванню, що наведений в таблицях 8.2 і 8.3, повинен бути зменшений. Так, при зміщенні кріпильного виробу від центра полиці на чверть її ширини розрахунковий опір приймається $0{,}9F_{p,Rd}$, а при розташуванні кріпильних виробів на такій же відстані від центра в обидва боки приймається $0{,}7F_{p,Rd}$ на кожний кріпильний виріб, див. рисунок 8.2.

(6) If the pull-out resistance $F_{o,Rd}$ of a fastener is smaller than its pull-through resistance $F_{p,Rd}$ the deformation capacity should be determined from tests.

(7) The pull-through resistances given in tables 8.2 and 8.3 for self-tapping screws and cartridge fired pins should be reduced if the fasteners are not located centrally in the troughs of the sheeting. If attachment is at a quarter point, the design resistance should be reduced to $0{,}9F_{p,Rd}$ and if there are fasteners at both quarter points, the resistance should be taken as $0{,}7F_{p,Rd}$ per fastener, see figure 8.2.

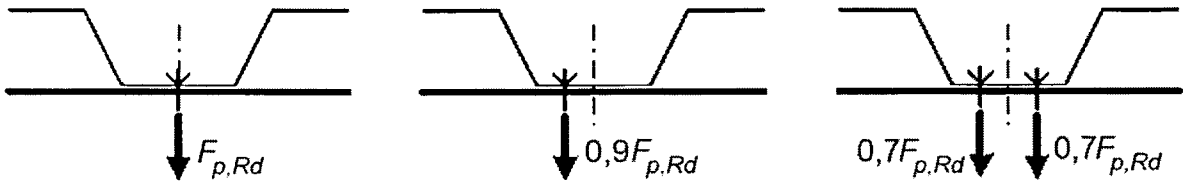


Рисунок 8.2 – Зниження опору кріпильних виробів до висмикування у залежності від схеми їх розташування

Figure 8.2 – Reduction of pull through resistance due to the position of fasteners

(8) Якщо кріпильний виріб одночасно піддається впливу зсуву і розтягу за умови, що $F_{t,Rd}$ та $F_{v,Rd}$ визначені згідно з таблицями 8.1 – 8.4, опір з'єднання перевіряється за умови:

(8) For a fastener loaded in combined shear and tension, provided that both $F_{t,Rd}$ and $F_{v,Rd}$ are determined by calculation on the basis of tables 8.1 to 8.4, the resistance of the fastener to combined shear and tension may be verified using:

$$\frac{F_{t,Rd}}{\min(F_{p,Rd}, F_{o,Rd})} + \frac{F_{v,Rd}}{\min(F_{b,Rd}, F_{n,Rd})} \le 1. \qquad (8.2)$$

(9) Зміну форми повного поперечного перерізу можна не враховувати, якщо розрахунковий опір визначений за розрахунком згідно з таблицями 8.1 – 8.4 і при здійсненні кріплення через полицю шириною не більше ніж 150 мм.

(9) The gross section distortion may be neglected if the design resistance is obtained from tables 8.1 to 8.4, provided that the fastening is through a flange not more than 150 mm wide.

(10) Діаметр отворів для ґвинтів повинен відповідати технічним умовам виробника. Такі умови повинні бути побудовані за наступними критеріями:

- момент закручування повинен бути більше ніж момент для нарізання різьби в елементі, що з'єднується;
- момент закручування повинен бути менше ніж момент, що може призвести до зриву різьби або до зрізу головки виробу;

(10) The diameter of holes for screws should be in accordance with the manufacturer's guidelines. These guidelines should be based on following criteria:

- the applied torque should be just higher than the threading torque;
- the applied torque should be lower than the thread stripping torque or head-shearing torque;

– момент закручування повинен бути не більше 2/3 моменту, що може призвести до зрізу головки.

– the threading torque should be smaller than 2/3 of the head-shearing torque.

(11) Для протяжних вузлів необхідно враховувати понижувальний коефіцієнт $\beta_{L,f}$ згідно з EN 1993-1-8, 3.8.

(11) For long joints a reduction factor $\beta_{L,f}$ should be taken into account according to EN 1993-1-8, 3.8.

(12) Ці правила розрахунку заклепок для однобічного клепання можна застосовувати у випадках, коли діаметр отвору не перевищує діаметра заклепки більше ніж на 0,1 мм.

(12) The design rules for blind rivets are valid only if the diameter of the hole is not more than 0,1 mm larger than the diameter of the rivet.

(13) Для з'єднань на болтах M12 і M14, коли діаметр отворів на 2 мм більше діаметра болтів, правила наведені в EN 1993-1-8.

(13) For the bolts M12 and M14 with the hole diameters 2 mm larger than the bolt diameter, reference is made to EN 1993-1-8.

Таблиця 8.1 – Розрахунок несучої здатності заклепок при однобічному клепанні [1)]
Table 8.1 – Design resistances for blind rivets [1)]

Заклепки при роботі на зсув: **Rivets loaded in shear:**
Опір зминанню: Bearing resistance: $F_{b,Rd} = \alpha f_u d t/\gamma_{M2}$, але (but) $F_{b,Rd} \le f_u e_1 t/(1{,}2\gamma_{M2})$, де α приймається в залежності: In which α is given by the following: – якщо (if) $t = t_1$; $\alpha = 3{,}6\sqrt{t/d}$, але (but) $\alpha \le 2{,}1$ – якщо (if) $t_1 \ge 2{,}5t$: $\alpha = 2{,}1$ – якщо (if) $t < t_1 < 2{,}5t$: α приймають за лінійною інтерполяцією. α obtain a by linear interpolation. Опір перерізу нетто: Net-section resistance: $F_{n,Rd} = A_{net} f_u/\gamma_{M2}$. Опір зрізу: Shear resistance: Опір зрізу $F_{v,Rd}$ визначають за результатами випробувань *[1)] Shear resistance $F_{v,Rd}$ to be determined by testing *[1)] and $F_{v,Rd} = F_{v,Rk}/\gamma_{M2}$.
Умови: [4)] Conditions: [4)] $F_{v,Rd} = \ge 1{,}2F_{b,Rd}/(n_f\beta_{L,f})$. або (or) $F_{v,Rd} \ge 1{,}2F_{n,Rd}$.
Заклепки при роботі на розтяг: [2)] **Rivets loaded in tension:** [2)]
Опір продавлюванню: Pull-through resistance: Опір продавлюванню $F_{p,Rd}$ визначають за результатами випробувань *[1)]. Pull-through resistance$F_{p,Rd}$ to be determined by testing *[1)]. Опір висмикуванню: Pull-out resistance:

Кінець таблиці 8.1

Для заклепок не визначається. Not relevant for rivets. Опір розтягу: Tension resistance: Опір розтягу $F_{t,Rd}$ визначають за результатами випробувань *1). Tension resistance $F_{t,Rd}$ to be determined by testing *1).
Умови: Conditions: $F_{t,Rd} \geq \Sigma F_{p,Rd}$.
Сфера застосування: 3) **Range of validity:** 3)
$e_1 \geq 1{,}5d$, $p_1 \geq 3d$; 2,6 мм (mm) $\leq d \leq$ 6,4 мм (mm) $e_2 \geq 1{,}5d$, $p_2 \geq 3d$; $f_u \leq 550$ Н/мм^2 (N/mm^2)
1) Допускається, що накладна головка заклепки розташована над найтоншим з листів, що з'єднуються. 1) In this table it is assumed that the thinnest sheet is next to the preformed head of the blind rivet. 2) Заклепки з потайною головкою в з'єднаннях на розтяг не застосовують. 2) Blind rivets are not usually used in tension. 3) Діапазон застосування таких заклепок може бути іншим при визначенні опору за результатами випробувань. 3) Blind rivets may be used beyond this range of validity if the resistance is determined from the results of tests. 4) Такі умови повинні виконуватись за необхідності обмеження деформативності з'єднання. Якщо умови не виконуються, деформативність з'єднання необхідно обмежувати іншими елементами конструкції. 4) The required conditions should be fulfilled when deformation capacity of the connection is needed. When these conditions are not fulfilled there should be proved that the needed deformation capacity will be provided by other parts of the structure.

Примітка.*1) В Національному додатку може надаватись додаткова інформація щодо опору заклепок зсуву, продавлюванню та розтягу.

NOTE:*1) The National Annex may give further information on shear resistance of blind rivets loaded in shear and pull-through resistance and tension resistance of blind rivets loaded in tension.

Таблиця 8.2 – Розрахунок несучої здатності самонарізних гвинтів [1)]
Table 8.2 – Design resistances for self-tapping screws [1)]

Самонарізні ґвинти в з'єднаннях, що працюють на зсув:
Screws loaded in shear:

Опір зминанню:
Bearing resistance:

$$F_{b,Rd} = \alpha f_u d t / \gamma_{M2},$$

де α приймається в залежності:
In which α is given by the following:

– якщо (if) $t = t_1$; $\alpha = 3{,}2\sqrt{t/d}$, але (but) $\alpha \le 2{,}1$

– якщо (if) $t_1 \ge 2{,}5t$ та (and) $t < 1{,}0$ мм (mm): $\alpha = 3{,}2\sqrt{t/d}$, але (but) $\alpha \le 2{,}1$

– якщо (if) $t_1 \ge 2{,}5t$ та (and) $t \ge 1{,}0$ мм (mm): $\alpha \le 2{,}1$

– якщо (if) $t < t_1 < 2{,}5t$ α приймають за лінійною інтерполяцією.
α obtain a by linear interpolation.

Опір перерізу нетто:
Net-section resistance:

$$F_{n,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2}.$$

Опір зрізу:
Shear resistance:

Опір зрізу $F_{v,Rd}$ визначають за результатами випробувань [*2)]
Shear resistance $F_{v,Rd}$ to be determined by testing [*2)]

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rk} / \gamma_{M2}.$$

Умови: [4)]
Conditions: [4)]

$F_{v,Rd} \ge 1{,}2 F_{b,Rd}$.

або (or) $\sum F_{v,Rd} \ge 1{,}2 F_{n,Rd}$.

Самонарізні ґвинти при роботі на розтяг
Screws loaded in shear:

Опір продавлюванню: [2)]
Pull-through resistance: [2)]

– для статичних навантажень:
– for static loads

$$F_{p,Rd} = d_w t f_u / \gamma_{M2}$$

– для ґвинтів при дії вітру або при сполученні статичних навантажень і вітру:
– for screws subject to wind loads and combination of wind loads and static loads:

$$F_{p,Rd} = 0{,}5 d_w t f_u / \gamma_{M2}$$

Опір висмикуванню:
Pull-out resistance:

– якщо (if) $t_{sup}/s < 1$ $F_{o,Rd} = 0{,}45 d\, t_{sup} f_{u,sup} / \gamma_{M2}$ (крок різі);
(s is the thread pitch);

– якщо (if) $t_{sup}/s \ge 1$ $F_{o,Rd} = 0{,}65 d\, t_{sup} f_{u,sup} / \gamma_{M2}$.

Опір розтягу:
Tension resistance:

Опір розтягу $F_{t,Rd}$ визначають за результатами випробувань [*2)].
Tension resistance Ft,Rd to be determined by testing [*2)].

Кінець таблиці 8.2

Умови: [4] Conditions: [4]	$F_{t,Rd} \geq \Sigma F_{p,Rd}$.
або (or)	$F_{t,Rd} \geq F_{o,Rd}$.
Сфера застосування: [3] **Range of validity:** [3]	
Загальне: Generally:	$e_1 \geq 3d$, $p_1 \geq 3d$, 3,0 мм (mm) $\leq d \leq$ 8,0 мм (mm), $e_2 \geq 1{,}5d$, $p_2 \geq 3d$.
Для розтягу: For tension:	0,5 мм (mm) $\leq t \leq$ 1,5 мм (mm) та (and) $t_1 \geq$ 0,9 мм (mm),
$f_u \leq$ 550 Н/мм^2 (N/mm^2)	

[1] Допускається, що головка ґвинта розташована над найтоншим з листів, що з'єднуються.
[1] In this table it is assumed that the thinnest sheet is next to the head of the screw.
[2] Допускається, що шайба досить жорстка, що виключає небажану її деформацію та відрив головки ґвинта.
[2] These values assume that the washer has sufficient rigidity to prevent it from being deformed appreciably or pulled over the head of the fastener.
[3] Самонарізні ґвинти можуть застосовуватись в іншому діапазоні при визначенні їх опору за результатами випробувань.
[3] Self-tapping screws may be used beyond this range of validity if the resistance is determined from the results of tests.
[4] Такі умови повинні виконуватись за необхідності обмеження деформативності з'єднання. Якщо умови не виконуються, деформативність з'єднання необхідно обмежувати іншими елементами конструкції.
[4] The required conditions should be fulfilled when deformation capacity of the connection is needed. When these conditions are not fulfilled there should be proved that the needed deformation capacity will be provided by other parts of the structure.

Примітка. *[2] В Національному додатку може бути надана додаткова інформація щодо опору самонарізних ґвинтів зрізу і розтягу.

NOTE: *[2] The National Annex may give further information on shear resistance of self-tapping skrews loaded in shear and tension resistance of self-tapping skrews loaded in tension.

Таблиця 8.3 – Розрахунок несучої здатності дюбелів
Table 8.3 – Design resistances for cartridge fired pins

Дюбелі при роботі на зсув: **Pins loaded in shear:**
Опір зминанню: Bearing resistance: $F_{b,Rd} = 3{,}2 f_u d\, t/\gamma_{M2}$, Опір перерізу нетто: Net-section resistance: $F_{n,Rd} = A_{net} f_u/\gamma_{M2}$. Опір зрізу: Shear resistance: Опір зрізу $F_{v,Rd}$ визначають за результатами випробувань *[3] Shear resistance $F_{v,Rd}$ to be determined by testing *[3] $F_{v,Rd} = F_{v,Rk}/\gamma_{M2}$.
Умови: [3] Conditions: [3] $F_{v,Rd} \geq 1{,}5\Sigma F_{b,Rd}$ або (or) $\Sigma F_{v,Rd} \geq 1{,}5 F_{n,Rd}$.

Кінець таблиці 8.3

Дюбелі при роботі на розтяг: **Pins loaded in tension:**
Опір продавлюванню: [1] Pull-through resistance: [1] – для статичних навантажень: – for static loads $F_{p,Rd} = d_w t f_u / \gamma_{M2}$; – дія вітрових навантажень і комбінації вітрових і статичних навантажень: – for wind loads and combination of wind loads and static loads: $F_{p,Rd} = 0{,}5 d_w t f_u / \gamma_{M2}$. Опір висмикуванню: Pull-out resistance: Опрі висмикуванню $F_{o,Rd}$ визначається за результатами випробувань *[3]. Pull-out resistance $F_{o,Rd}$ to be determined by testing *[3]. Опір розтягу: Tension resistance: Опір розтягу $F_{t,Rd}$ визначають за результатами випробувань *[3]. Tension resistance Ft,Rd to be determined by testing *[3].
Умови: [3] Conditions: [3] $F_{o,Rd} \geq \sum F_{p,Rd}$ або (or) $F_{t,Rd} \geq F_{o,Rd}$.
Сфера застосування: [2] **Range of validity:** [2]
Загальне: Generally: $e_1 \geq 4{,}5d$, 3,7 мм (mm) $\leq d \leq$ 6,0 мм (mm), $e_2 \geq 4{,}5d$ для (for) d = 3,7 мм (mm): $t_{sup} \geq$ 4,0 мм (mm), $p_1 \geq 4{,}5d$ для (for) d = 4,5 мм (mm): $t_{sup} \geq$ 6,0 мм (mm), $p_2 \geq 4{,}5d$ для (for) d = 5,2 мм (mm): $t_{sup} \geq$ 8,0 мм (mm), $f_u \leq$ 550 Н/мм^2 (N/mm^2) Для розтягу: For tension: 0,5 мм (mm) $\leq t \leq$ 1,5 мм (mm), $t_{sup} \geq$ 6,0 мм (mm).
[1] Допускається, що шайба досить жорстка, що виключає небажану її деформацію та відрив головки дюбеля. [1] These values assume that the washer has sufficient rigidity to prevent it from being deformed appreciably or pulled over the head of the fastener. [2] Дюбелі можуть бути використані в іншому діапазоні при визначенні їх опору за результатами випробувань. [2] Cartridge fired pins may be used beyond this range of validity if the resistance is determined from the results of tests. [3] Такі умови повинні виконуватись за необхідності обмеження деформативності з'єднання. Якщо умови не виконуються, деформативність з'єднання необхідно обмежувати іншими елементами конструкції. [3] The required conditions should be fulfilled when deformation capacity of the connection is needed. When these conditions are not fulfilled there should be proved that the needed deformation capacity will be provided by other parts of the structure.

Примітка. *[3] В Національному додатку може бути надана додаткова інформація щодо опору дюбелів при роботі на зріз, висмикування і розтяг.

NOTE: *[3] The National Annex may give further information on shear resistance of cartrige fired pins loaded in shear and pull-out resistance and tension resistance of cartridge fired pins loaded in tension.

Таблиця 8.4 – Розрахунок несучої здатності болтів
Table 8.4 – Design resistances for bolts

Болти при роботі на зсув: **Bolts loaded in shear:**
Опір зминанню: [2] Bearing resistance: [2] $F_{b,Rd} = 2{,}5\alpha_b k_t f_u d\, t/\gamma_{M2}$, де α_b найменша величина від 1,0 або $e_1/(3d)$ і with α_b is the smallest of 1,0 or $e_1/(3d)$ and $k_1 = (0{,}8t + 1{,}5)/2{,}5$ для (for) 0,75 мм (mm) $\le t \le$ 1,25 мм (mm); $k_1 = 1{,}0$ для (for) $t >$ 1,25 мм (mm). Опір перерізу нетто: Net-section resistance: $F_{n,Rd} = \left(1 + 3r\,(d_o/u - 0{,}3)\right) A_{net} f_u/\gamma_{M2}$, але (but) $F_{n,Rd} \le A_{net} f_u/\gamma_{M2}$. де: with: $r =$ [кількість болтів в поперечному перерізі] / [загальна кількість болтів у з'єднанні]; [number of bolts at the cross-section] / [total number of bolts in the connection]; $u = 2e_2$, але (but) $u \le p_2$. Опір зрізу: Shear resistance: – для класів міцності 4.6, 5.6 і 8.8: – for strength grades 4.6, 5.6 and 8.8: $F_{v,Rd} = 0{,}6 f_{ub} A_s/\gamma_{M2}$; – для класів міцності 4.8, 5.8, 6.8 і 10.9: – for strength grades 4.8, 5.8, 6.8 and 10.9: $F_{v,Rd} = 0{,}5 f_{ub} A_s/\gamma_{M2}$.
Умови: [3] Conditions: [3] $F_{v,Rd} \ge 1{,}2 \sum F_{b,Rd}$ або (or) $\sum F_{v,Rd} \ge 1{,}2 F_{n,Rd}$.
Болти при роботі на розтяг: **Bolts loaded in tension:**
Опір продавлюванню: Pull-through resistance: Опір продавлюванню $F_{p,Rd}$ визначається за результатами випробувань *[4]. Pull-through resistance $F_{p,Rd}$ to be determined by testing *[4]. Опір висмикуванню: болтів не стосується. Pull-out resistance: Not relevant for bolts. Опір розтягу: Tension resistance: $F_{t,Rd} = 0{,}9 f_{ub} A_s/\gamma_{M2}$.
Умови: [3] Conditions: [3] $F_{t,Rd} \ge \sum F_{p,Rd}$.

Кінець таблиці 8.4

Сфера застосування: [1] **Range of validity:** [1]		
$e_1 \geq 1{,}0 d_o$, $p_1 \geq 3 d_o$, 3 мм (mm) $> t \geq$ 0,75 мм (mm).	Мінімальний розмір болта: Minimum bolt size:	M6.
$e_2 \geq 1{,}5 d_o$, $p_2 \geq 3 d_o$,	Класи міцності: Strength grades:	4.6 – 10.9.
$f_u \leq 550$ Н/мм^2 (N/mm^2).		

[1] Болти можуть бути використані в іншому діапазоні при визначенні їх опору за результатами випробувань.
[1] Bolts may be used beyond this range of validity if the resistance is determined from the results of tests.
[2] При товщинах 3 мм і більше необхідно користуватись правилами EN 1993-1-8.
2) For thickness larger than or equal to 3 mm the rules for bolts in EN 1993-1-8 should be used.
[3] Такі умови повинні виконуватись за необхідності обмеження деформативності з'єднання. Якщо умови не виконуються, деформативність з'єднання необхідно обмежувати іншими елементами конструкції.
[3] The required conditions should be fulfilled when deformation capacity of the connection is needed. When these conditions are not fulfilled there should be proved that the needed deformation capacity will be provided by other parts of the structure.

Примітка. [*4)] В Національному додатку може надаватись додаткова інформація щодо опору болтів продавлюванню при розтягу.

NOTE: [*4)] The National Annex may give further information on pull-through resistance of bolts loaded in tension.

8.4 Точкове зварювання

(1) Точкове зварювання може бути застосоване для прокатного або оцинкованого основного матеріалу товщиною до 4 мм за умови, що товщина більш тонкого елемента в з'єднанні не перевищує 3,0 мм.

(2) Точкове зварювання виконується або зварюванням опором (контактне зварювання) або проплавленням.

(3) Розрахунковий опір $F_{v,Rd}$ зварної точки на зріз виконується згідно з таблицею 8.5.

(4) В таблиці 8.5 прийняті такі позначки:

A_{net} – послаблена площа поперечного перерізу елемента, що з'єднується;

n_w – кількість зварних точок в одному з'єднанні;

t – товщина найтоншого елемента або листа у з'єднанні, мм;

t_1 – товщина найтовщого елемента або листа у з'єднанні, мм;

параметри e_1 , e_2 , p_1 , p_2 , див. 8.3(5).

(5) При обчисленні розрахункового опору зварних точок частковий коефіцієнт надійності γ_M приймається γ_{M2}.

8.4 Spot welds

(1) Spot welds may be used with as-rolled or galvanized parent material up to 4,0 mm thick, provided that the thinner connected part is not more than 3,0 mm thick.

(2) Spot welds may be either resistance welded or fusion welded.

(3) The design resistance $F_{v,Rd}$ of a spot weld loaded in shear should be determined using table 8.5.

(4) In table 8.5 the meanings of the symbols should be taken as follows:

A_{net} is the net cross-sectional area of the connected part;

n_w is the number of spot welds in one connection;

t is the thickness of the thinner connected part or sheet [mm];

t_1 is the thickness of the thicker connected part or sheet [mm];

and the end and edge distances e_1 and e_2 and the spacings p_1 and p_2 are as defined in 8.3(5).

(5) The partial factor γ_M for calculating the design resistances of spot welds should be taken as γ_{M2}.

Примітка. Значення γ_{M2} може бути наведено в Національному додатку. Рекомендується приймати γ_{M2} = 1,25.

NOTE: The National Annex may chose the value of γ_{M2}. The value γ_{M2} = 1,25 is recommended.

Таблиця 8.5 – Розрахунок несучої здатності зварних точок
Table 8.5 – Design resistances for spot welds

Зварні точки при роботі на зсув: **Spot welds loaded in shear:**
Опір зминанню і розриву: Tearing and bearing resistance: – якщо (if) $t \le t_1 < 2,5t$: $F_{tb,Rd} = 2,7\sqrt{t}\, d_s f_u / \gamma_{M2}$, тут t в мм (with t in mm) – якщо (if) $t_1 > 2,5t$: $F_{tb,Rd} = 2,7\sqrt{t}\, d_s f_u / \gamma_{M2}$, але (but) $F_{tb,Rd} \le 0,7 d_s^2 f_u / \gamma_{M2}$ і (and) $F_{tb,Rd} \le 3,1\, t d_s f_u / \gamma_{M2}$. Несуча здатність краю елемента: End resistance $F_{e,Rd} \le 1,4\, t e_1 f_u / \gamma_{M2}$. Опір перерізу нетто: Net section resistance: $F_{n,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2}$. Опір зрізу: Shear resistance: $F_{v,Rd} = \frac{\pi}{4} d_s^2 f_u / \gamma_{M2}$.
Умови: Conditions: $F_{v,Rd} \ge 1,25 F_{tb,Rd}$, або (or) $F_{v,Rd} \ge 1,25 F_{e,Rd}$, або (or) $\Sigma F_{v,Rd} \ge 1,25 F_{n,Rd}$.
Сфера застосування: **Range of validity:**
$2d_s \le e_1 \le 6d_s$, $3d_s \le p_1 \le 8d_s$, $e_2 \le 4d_s$, $3d_s \le p_2 \le 6d_s$.

(6) Внутрішній діаметр d_s повинен визначатись так:

– при зварюванні проплавленням:

$$d_s = 0,5t + 5 \text{ мм (mm)};$$

– при зварюванні опором:

$$d_s = 5\sqrt{t}\text{ , тут } t \text{ в мм (with } t \text{ in mm)}.$$

(6) The interface diameter d_s of a spot weld should be determined from the following:

– for fusion welding:

– for resistance welding:

(7) Значення d_s зварної точки, яка була виконана в реальних умовах, повинне бути перевірено випробуванням на зріз зразків з одиночним напуском, як показано на рисунку 8.3, за правилами розділу 9. Товщина t в зразку повинна відповідати товщині, використаній на практиці.

(7) The value of d_s actually produced by the welding procedure should be verified by shear tests in accordance with Section 9, using single-lap test specimens as shown in figure 8.3. The thickness t of the specimen should be the same as that used in practice.

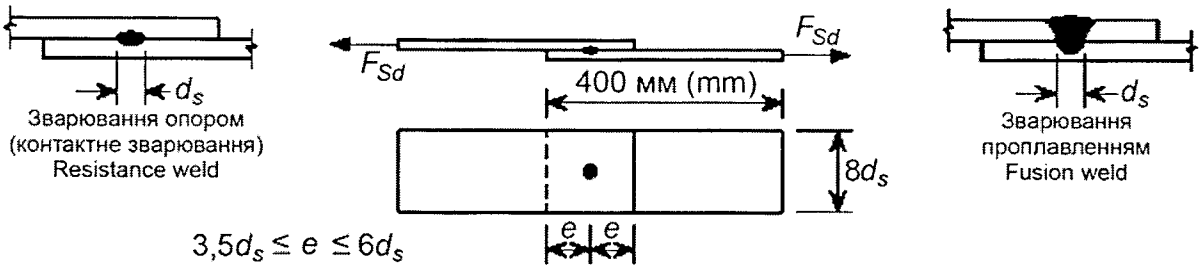


Рисунок 8.3 – Зразки для випробувань зварних точок на зріз
Figure 8.3 – Test specimen for shear tests of spot welds

8.5 Зварювання внапуск

8.5.1 *Загальні положення*

(1) Вимоги цього розділу повинні застосовуватись при проектуванні з'єднань внапуск, що виконуються дуговим зварюванням, при товщині елементів не більше ніж 4,0 мм. Для більшої товщини вказівки на проектування наводяться в EN 1993-1-8.

(2) Розміри зварних швів повинні обиратися такими, щоб міцність з'єднання визначалась не зварним швом, а товщиною елементів або листів, що з'єднуються.

(3) Можна допустити, що при катеті шва не менше товщини елемента або листа, які з'єднуються, вимога (2) виконується.

(4) При розрахунку опору зварного з'єднання внапуск частковий коефіцієнт надійності γ_M повинен прийматися γ_{M2}.

Примітка. Значення γ_{M2} може бути наведено в Національному додатку. Рекомендується приймати γ_{M2} = 1,25.

8.5.2 *Кутові шви зварних з'єднань*

(1) Розрахунковий опір $F_{w,Rd}$ кутового зварного шва повинен визначатися за формулою:

– для флангового шва:

$$F_{w,Rd} = tL_{w,s}(0{,}9 - 0{,}45L_{w,s}/b)f_u/\gamma_{M2}\text{, якщо (if) } L_{w,s} \le b\text{;} \quad (8.4a)$$

$$F_{w,Rd} = 0{,}45tbf_u/\gamma_{M2}\text{, якщо (if) } L_{w,s} > b\text{;} \quad (8.4b)$$

– для лобового (торцевого) шва:

$$F_{w,Rd} = tL_{w,e}(1 - 0{,}3L_{w,e}/b)f_u/\gamma_{M2} \quad (8.4c)$$

для лобового шва, якщо $L_{w,s} \le b$
[for one weld and if $L_{w,s} \le b$]

де:
b – ширина елемента або листа, що з'єднується, див. рисунок 8.4;

8.5 Lap welds

8.5.1 *General*

(1) This clause 8.5 should be used for the design of arc-welded lap welds where the parent material is 4,0 mm thick or less. For thicker parent material, lap welds should be designed using EN 1993-1-8.

(2) The weld size should be chosen such that the resistance of the connection is governed by the thickness of the connected part or sheet, rather than the weld.

(3) The requirement in (2) may be assumed to be satisfied if the throat size of the weld is at least equal to the thickness of the connected part or sheet.

(4) The partial factor γ_M for calculating the design resistances of lap welds should be taken as γ_{M2}.

NOTE: The National Annex may give a choice of γ_{M2}. The value γ_{M2} = 1,25 is recommended.

8.5.2 *Fillet welds*

(1) The design resistance $F_{w,Rd}$ of a fillet-welded connection should be determined from the following:

– for a side fillet that is one of a pair of side fillets:

– for an end fillet:

where:
b is the width of the connected part or sheet, see figure 8.4;

$L_{w,e}$ – ефективна довжина лобового шва, див. рисунок 8.4;

$L_{w,s}$ – ефективна довжина флангового шва, див. рисунок 8.4.

$L_{w,e}$ is the effective length of the end fillet weld, see figure 8.4;

$L_{w,s}$ is the effective length of a side fillet weld, see figure 8.4.

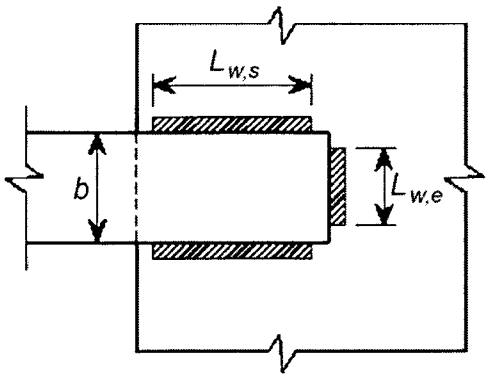


Рисунок 8.4 – З'єднання внапуск
Figure 8.4 – Fillet welded lap connection

(2) Якщо з'єднання виконується за допомогою лобових і флангових кутових швів, загальний опір такого з'єднання повинен визначатися як сума опорів цих швів. При цьому необхідно враховувати положення центра тяжіння і відповідний розподіл зусиль.

(2) If a combination of end fillets and side fillets is used in the same connection, its total resistance should be taken as equal to the sum of the resistances of the end fillets and the side fillets. The position of the centroid and realistic assumption of the distribution of forces should be taken into account.

(3) Ефективна довжина L_w кутового шва повинна прийматись як повна довжина, включаючи кінцеві частки шва. При забезпеченні формування шва повним перерізом по всій довжині його ефективна довжина не повинна зменшуватись ні на початку, ні в кінці зварювання.

(3) The effective length L_w of a fillet weld should be taken as the overall length of the full-size fillet, including end returns. Provided that the weld is full size throughout this length, no reduction in effective length need be made for either the start or termination of the weld

(4) В розрахункових з'єднаннях не допускаються кутові шви ефективною довжиною менше ніж вісім товщин найтоншого елемента у з'єднанні.

(4) Fillet welds with effective lengths less than 8 times the thickness of the thinner connected part should not be designed to transmit any forces.

8.5.3 *Дугове точкове зварювання*

(1) Дугове точкове зварювання можна застосовувати у з'єднаннях, які сприймають зусилля від зсуву.

(2) Дугове точкове зварювання не може застосовуватись у з'єднаннях елементів або листів, загальна товщина $\sum t$ яких перевищує 4 мм.

(3) Дугове точкове зварювання повинне мати внутрішній діаметр не менше ніж 10 мм.

(4) В з'єднаннях з товщиною елемента або листа менше ніж 0,7 мм необхідно застосовувати так звану зварну шайбу, див. рисунок 8.5.

8.5.3 *Arc spot welds*

(1) Arc spot welds should not be designed to transmit any forces other than in shear.

(2) Arc spot welds should not be used through connected parts or sheets with a total thickness $\sum t$ of more than 4 mm.

(3) Arc spot welds should have an interface diameter ds of not less than 10 mm.

(4) If the connected part or sheet is less than 0,7 mm thick, a weld washer should be used, see figure 8.5.

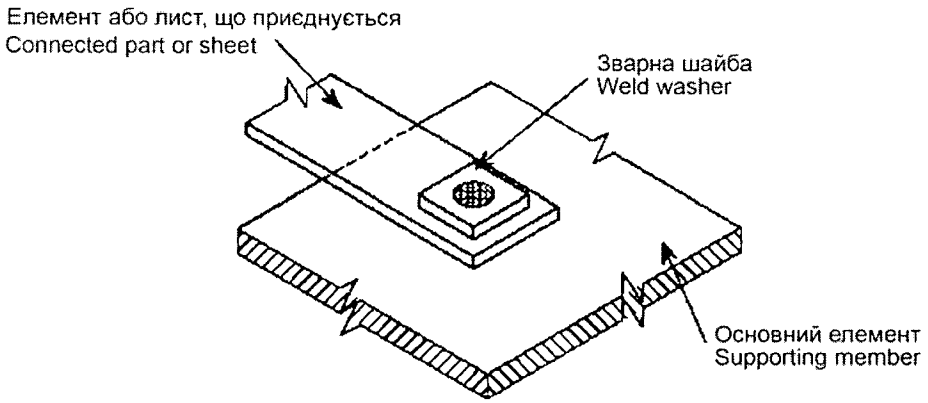


Рисунок 8.5 – Дугове точкове зварювання зі зварною шайбою
Figure 8.5 – Arc spot weld with weld washer

(5) Відстань від місця точкового зварювання до кінця і краю листа повинна прийматись так:

(i) мінімальна відстань вздовж зусилля зрізу від центра зварної точки до найближчого краю прилеглої зварної точки або до кінця елемента, що з'єднується, і до якого прикладене зусилля, повинна бути не менше величини e_{min}, яка визначається:

при

$$f_u/f_y < 1{,}15:$$

$$e_{min} = 1{,}8\frac{F_{w,Sd}}{tf_u/\gamma_{M2}};$$

при

$$f_u/f_y \geq 1{,}15:$$

$$e_{min} = 2{,}1\frac{F_{w,Sd}}{tf_u/\gamma_{M2}};$$

(ii) мінімальна відстань від центра круглої зварної точки до краю елемента у з'єднанні в будь-якому напрямку дії зусилля повинна бути не менше ніж $1{,}5d_w$, де d_w – видимий діаметр зварної точки;

(iii) мінімальна відстань між краями овальної зварної точки і листа в будь-якому напрямку дії зусилля повинно бути не менше ніж $1{,}0d_w$.

(6) Розрахунковий опір зрізу $F_{w,Rd}$ круглої зварної точки визначається за формулою:

$$F_{w,Rd} = (\pi/4)d_s^2 \times 0{,}625 f_{uw}/\gamma_{M2}, \qquad (8.5a)$$

де:

f_{uw} – тимчасовий опір матеріалу зварювального електрода;

(5) Arc spot welds should have adequate end and edge distances as given in the following:

(i) The minimum distance measured parallel to the direction of force transfer, from the centreline of an arc spot weld to the nearest edge of an adjacent weld or to the end of the connected part towards which the force is directed, should not be less than the value of e_{min} given by the following:

if

$$f_u/f_y < 1{,}15:$$

$$e_{min} = 1{,}8\frac{F_{w,Sd}}{tf_u/\gamma_{M2}};$$

if

$$f_u/f_y \geq 1{,}15:$$

$$e_{min} = 2{,}1\frac{F_{w,Sd}}{tf_u/\gamma_{M2}};$$

(ii) The minimum distance from the centreline of a circular arc spot weld to the end or edge of the connected sheet should not be less than $1{,}5d_w$ where d_w is the visible diameter of the arc spot weld;

(iii) The minimum clear distance between an elongated arc spot weld and the end of the sheet and between the weld and the edge of the sheet should not be less than $1{,}0d_w$.

(6) The design shear resistance $F_{w,Rd}$ of a circular arc spot weld should be determined as follows:

$$F_{w,Rd} = (\pi/4)d_s^2 \times 0{,}625 f_{uw}/\gamma_{M2}, \qquad (8.5a)$$

where:

f_{uw} is the ultimate tensile strength of the welding electrodes;

$F_{w,Rd}$ не повинна перевищувати величин, що наведені нижче:

– якщо

$F_{w,Rd}$ should not be taken as more than the resistance given by the following:

– if

$$d_p/\Sigma t \le 18(420/f_u)^{0,5}:$$

$$F_{w,Rd} = 1,5 d_p \Sigma t f_u/\gamma_{M2}; \quad (8.5b)$$

– якщо

– if

$$18(420/f_u)^{0,5} < d_p/\Sigma t < 30(420/f_u)^{0,5}:$$

$$F_{w,Rd} = 27(420/f_u)^{0,5}(\Sigma t)^2 f_u/\gamma_{M2}; \quad (8.5c)$$

– якщо

– if

$$d_p/\Sigma t \ge 30(420/f_u)^{0,5}:$$

$$F_{w,Rd} = 0,9 d_p \Sigma t f_u/\gamma_{M2}, \quad (8.5d)$$

тут d_p приймається згідно з (8).

with d_p according to (8).

(7) Внутрішній діаметр d_s зварної точки, див. рисунок 8.6, визначається так:

(7) The interface diameter d_s of an arc spot weld, see figure 8.6, should be obtained from:

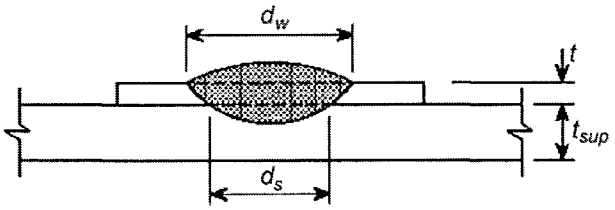
$$d_s = 0,7 d_w - 1,5\Sigma t, \text{ але (but) } d_s \ge 0,55 d_w, \quad (8.6)$$

де:

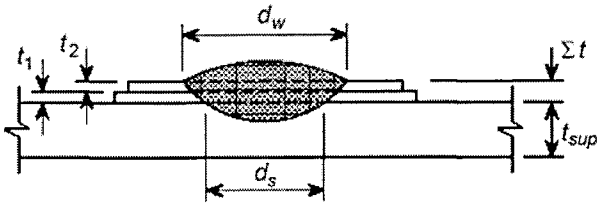
d_w – видимий діаметр зварної точки, див. рисунок 8.6.

where:

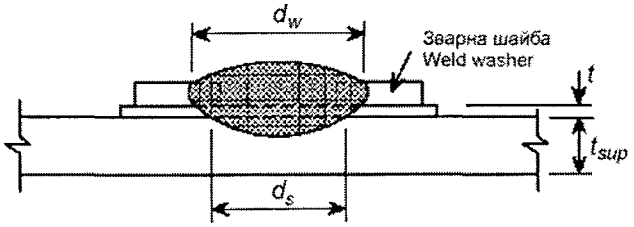
d_w is the visible diameter of the arc spot weld, see figure 8.6.



a) з'єднання одного листа ($\Sigma t = t$)
a) Single connected sheet



b) з'єднання двох листів ($\Sigma t = t_1 + t_2$)
b) Two connected sheetst



c) з'єднання одного листа за допомогою зварної шайби
c) Single connected sheet with weld washer

Рисунок 8.6 – Дугове точкове зварювання
Figure 8.6 – Arc spot welds

(8) Ефективний зовнішній діаметр d_p зварної точки визначається так:

– при з'єднанні одного листа або елемента товщиною t:

(8) The effective peripheral diameter d_p of an arc spot weld should be obtained as follows:

– for a single connected sheet or part of thickness t:

$$d_p = d_w - t\,; \tag{8.7a}$$

– при з'єднанні декількох листів загальною товщиною $\sum t$:

– for multiple connected sheets or parts of total thickness $\sum t$:

$$d_p = d_w - 2\sum t\,. \tag{8.7b}$$

(9) Розрахунковий опір $F_{w,Rd}$ зварної точки овальної форми визначається за формулою:

(9) The design shear resistance $F_{w,Rd}$ of an elongated arc spot weld should be determined from:

$$F_{w,Rd} = \left[(\pi/4)d_s^2 + L_w d_s\right] \times 0{,}625 f_{uw}/\gamma_{M2}\,, \tag{8.8a}$$

але $F_{w,Rd}$ не повинне перевищувати величини, визначеної за формулою:

but $F_{w,Rd}$ should not be taken as more than the peripheral resistance given by:

$$F_{w,Rd} = (0{,}5L_w + 1{,}67d_p)\sum t f_u/\gamma_{M2}\,, \tag{8.8b}$$

де:

L_w – довжина овальної зварної точки, яка наведена на риунку. 8.7.

where:

L_w is the length of the elongated arc spot weld, measured as shown in figure 8.7.

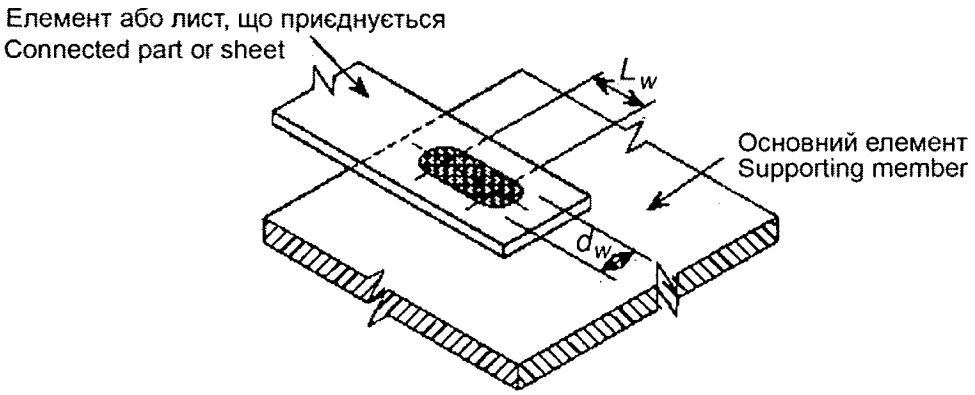


Рисунок 8.7 – Дугова точка зварювання овальної форми
Figure 8.7 – Elongated arc spot weld

9 РОЗРАХУНОК ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИПРОБУВАНЬ

(1) Цей розділ можливий для використання у разі застосування принципів розрахунку за результатами випробувань, які викладені в EN 1990 та EN 1993-1-1(2.5), з додатковими вимогами, специфічними для холодноформованих елементів і профлистів.

(2) Випробування повинні проводитися за регламентом, що наведений в додатку А.

Примітка 1. Інформація щодо випробувань може бути наведена в Національному додатку як доповнення до додатка А.

9 DESIGN ASSISTED BY TESTING

(1) This Section 9 may be used to apply the principles for design assisted by testing given in EN 1990 and in Section 2.5. of EN 1993-1-1, with the additional specific requirements of cold-formed members and sheeting.

(2) Testing should apply the principles given in Annex A.

NOTE 1: The National Annex may give further information on testing in addition to Annex A.

Примітка 2. У додатку А викладено порядок дії в процесі:
- випробування профлистів і касетних профілів;
- випробування холодноформованих елементів;
- випробування фрагментів і конструкцій в цілому;
- випробування балок, закріплених настилом від скручування;
- обробки результатів випробувань для визначення розрахункових величин.

(3) Випробування сталі на розтяг повинні проводитись згідно з EN 10002-1. Інші властивості сталі повинні визначатись у відповідності з діючими Європейськими стандартами.

(4) Випробування кріпильних виробів і з'єднань повинно проводитись у відповідності до Європейського або інтернаціонального стандарту, які діють.

Примітка. Необхідну інформацію щодо випробувань кріпильних виробів відповідно до Європейського або інтернаціонального стандарту можна отримати із:

ECCS Публікація № 21 (1983): Європейські рекомендації стосовно сталевих конструкцій: розрахунки і випробування з'єднань сталевих листів і профлистів;

ECCS Публікація № 42 (1983): Європейські рекомендації стосовно сталевих конструкцій: метвироби для кріплення сталевих листів і профлистів.

NOTE 2: Annex A gives standardised procedures for:

- tests on profiled sheets and liner trays;
- tests on cold-formed members;
- tests on structures and portions of structures;
- tests on beams torsionally restrained by sheeting;
- evaluation of test results to determine design values.

(3) Tensile testing of steel should be carried out in accordance with EN 10002-1. Testing of other steel properties should be carried out in accordance with the relevant European Standards.

(4) Testing of fasteners and connections should be carried out in accordance with the relevant European Standard or International Standard.

NOTE: Pending availability of an appropriate European or International Standard, information on testing procedures for fasteners may be obtained from:

ECCS Publication No. 21 (1983): European recommendations for steel construction: the design and testing of connections in steel sheeting and sections;

ECCS Publication No. 42 (1983): European recommendations for steel construction: mechanical fasteners for use in steel sheeting and sections.

10 СПЕЦІАЛЬНІ ПРАВИЛА ДЛЯ ПРОГОНІВ, КАСЕТНИХ ПРОФІЛІІВ ТА ПРОФЛИСТІВ

10.1 Балки, розкріплені настилом

10.1.1 *Загальні положення*

(1) Викладені в 10.1 вимоги можуть бути застосовані для балок (в цьому розділі – прогони із Z-, C-, Σ-, U-, Ω-подібних профілів, у яких $h/t < 233$ і $c/t \leq 20$ при одинарному відгині і $d/t \leq 20$ при подвійному крайовому відгині.

Примітка. У разі перевірки випробуванням можливі інші обмеження. Інформація щодо випробувань може бути надана в Національному додатку. Стандартні способи випробувань рекомендовані в додатку А.

(2) Наведені тут вимоги застосовуються для нерозрізних, об'єднаних внапуск або накладками балок, що розкріплені в площині згину.

10 SPECIAL CONSIDERATIONS FOR PURLINS, LINER TRAYS AND SHEETINGS

10.1 Beams restrained by sheeting

10.1.1 *General*

(1) The provisions given in this clause 10.1 may be applied to beams (called purlins in this Section) of Z, C, Σ, U and Hat cross-section with $h/t < 233$, $c/t \leq 20$ for single fold and $d/t \leq 20$ for double edge fold.

NOTE: Other limits are possible if verified by tersting. The National Annex may give informations on tests. Standard tests as given in Annex A are recommended.

(2) These provisions may be used for structural systems of purlins with anti-sag bars, continuous, sleeved and overlapped systems.

(3) Наведені тут вимоги можуть також застосовуватись для холодноформованих елементів фахверку, балок перекриттів інших подібних типів балок, які, як правило, розкріплені настилом.

(3) These provisions may also be applied to cold-formed members used as side rails, floor beams and other similar types of beam that are similarly restrained by sheeting.

(4) Елементи фахверку розраховуються на тиск і від'ємну дію вітру аналогічно розрахунку прогонів на відповідні навантаження.

(4) Side rails may be designed on the basis that wind pressure has a similar effect on them to gravity loading on purlins, and that wind suction acts on them in a similar way to uplift loading on purlins.

(5) Повне неперервне розкріплення з площини згину може створюватися сталевим настилом з трапецієподібними гофрами або іншими профлистами скінченної жорсткості, які через нижні полиці настилу з'єднуються з полицею прогону. Прогін, розкріплений настилом з трапецієподібними гофрами, можна вважати розкріпленим із площини при виконанні також вимоги 10.1.1(6). В інших випадках (наприклад, при кріпленні настилу через верхні полиці), ступінь закріплення повинен засновуватись або на досвіді, або визначатись випробуванням.

(5) Full continuous lateral restraint may be supplied by trapezoidal steel sheeting or other profiled steel sheeting with sufficient stiffness, continuously connected to the flange of the purlin through the troughs of the sheets. The purlin at the connection to trapetzoidal sheeting may be regarded as laterally restrained, if clause 10.1.1(6) is fulfilled. In other cases (for example, fastening through the crests of the sheets) the degree of restraint should either be validated by experience, or determined from tests.

Примітка. Вказівки щодо випробувань, див. додаток А.

NOTE: For tests see Annex A.

(6) У разі, якщо при з'єднанні настилу з трапецієподібними гофрами з прогоном умова за рівнянням (10.1a) задовольняється, можна вважати, що такий прогін розкріплений в площині настилу:

(6) If the trapetzoidal sheeting is connected to a purlin and the condition expressed by the equation (10.1a) is met, the purlin at the connection may be regarded as being laterally restrained in the plane of the sheeting:

$$S \geq \left(EI_w \frac{\pi^2}{L^2} + GI_t + EI_z \frac{\pi^2}{L^2} 0{,}25h^2 \right) \frac{70}{h^2}, \qquad (10.1a)$$

де:

S – частка зсувної жорсткості, що забезпечується настилом для елемента, який розглядається, при з'єднанні в кожній хвилі настилу (у разі кріплення настилу до прогону через хвилю замість S треба приймати 0,20 S);

I_w – секторіальний момент інерції прогону;

I_t – момент інерції прогону при вільному крутінні;

I_z – момент інерції поперечного перерізу прогону відносно меншої жорсткості осі;

L – проліт прогону;

h – висота прогону.

where:

S is the portion of the shear stiffness provided by the sheeting for the examined member connected to the sheeting at each rib (If the sheeting is connected to a purlin every second rib only, then S should be substituted by 0,20 S);

I_w is the warping constant of the purlin;

I_t is the torsion constant of the purlin;

I_z is the second moment of area of the cross-section about the minor axis of the cross-section of the purlin;

L is the span of the purlin;

h is the height of the purlin.

Примітка 1. Формула (10.1a) може застосовуватись для оцінки стійкості поясів балок із площини у поєднанні з іншими типами настилів при обґрунтуванні їх з'єднання відповідним розрахунком.

NOTE 1: The equation (10.1a) may also be used to determine the lateral stability of member flanges used in combination with other types of cladding than trapezoidal sheeting, provided that the connections are of suitable design.

Примітка 2. Зсувна жорсткість S може визначатись за рекомендаціями ECCS (див. примітку 9(4)) або визначатись випробуванням.

NOTE 2: The shear stiffness S may be calculated using ECCS guidance (see Note in 9(4)) or determined by tests.

(7) Якщо результати випробувань не підтверджують ефективність опорних закріплень, то прогін на опорах повинен мати деталі, які виключають можливість його крутіння і бокового горизонтального зміщення. Ефекти зусиль, що діють в площині настилу і передаються на опори прогону, необхідно враховувати при проектуванні опорних кріплень.

(7) Unless alternative support arrangements may be justified from the results of tests the purlin should have support details, such as cleats, that prevent rotation and lateral displacement at its supports. The effects of forces in the plane of the sheeting, that are transmitted to the supports of the purlin, should be taken into account in the design of the support details.

(8) Робота прогону, який розкріплений із площини згину, повинна бути змодельована згідно з рисунком 10.1. З'єднання прогону і настилу може допускати часткове закріплення прогону від крутіння. Таке закріплення від крутіння може бути зображено у вигляді кутової в'язі з жорсткістю CD. Напруження у вільному поясі, безпосередньо не з'єднаному з настилом, повинні розраховуватись з урахуванням впливу згину в робочій площині і крутіння, але виключаючи згин із площини від викривлення поперечного перерізу. Кріплення прогону від повороту, що забезпечується настилом, необхідно визначати згідно з 10.1.5.

(8) The behaviour of a laterally restrained purlin should be modelled as outlined in figure 10.1. The connection of the purlin to the sheeting may be assumed to partially restrain the twisting of the purlin. This partial torsional restraint may be represented by a rotational spring with a spring stiffness CD. The stresses in the free flange, not directly connected to the sheeting, should then be calculated by superposing the effects of in-plane bending and the effects of torsion, including lateral bending due to cross-sectional distortion. The rotational restraint given by the sheeting should be determined following 10.1.5.

(9) Для однопрольотного прогону у разі стиснення вільного поясу підйомним навантаженням (від'ємна дія вітру), при розрахунку необхідно враховувати підвищення напруження від крутіння і викривлення.

(9) Where the free flange of a single span purlin is in compression under uplift loading, allowance should also be made for the amplification of the stresses due to torsion and distortion.

(10) Зсувна жорсткість настилу з трапеціє-подібними гофрами при з'єднанні з прогоном в кожній хвилі, а також з'єднаного з кожної сторони напуску визначається так:

(10) The shear stiffness of trapezoidal sheeting connected to the purlin at each rib and connected in every side overlap may be calculated as

$$S = 1000\sqrt{t^3}\left(50 + 10\sqrt[3]{b_{roof}}\right)\frac{S}{h_w}\ (N), \quad t \text{ та (and) } b_{roof} \text{ в мм (in mm)}, \qquad (10.1b)$$

де t – розрахункова товщина настилу; b_{roof} – ширина покриття; s – крок прогонів; h_w – висота гофрів настилу. Усі розміри в мм. Для настилів з касетними профілями зсувна жорсткість є S_v, помножена на крок прогонів, де S_v визначається згідно з 10.3.5(6).

where t is the design thickness of sheeting, b_{roof} is the width of the roof, s is the distance between the purlins and h_w is the profile depth of sheeting. All dimensions are given in mm. For liner trays the shear stiffness is S_v times distance between purlins, where S_v is calculated according to 10.3.5(6).

10.1.2 ***Методи розрахунку***

(1) При виконанні розрахунку за недеформованою схемою для оцінки тенденції щодо горизонтального зміщення вільного пояса (що призводить до появи додаткового напруження) повинен використовуватись метод, наведений в 10.1.3 і 10.1.4, при цьому прогін розглядається як балка, на яку діє бокове навантаження $q_{h,Ed}$, див. рисунок 10.1.

(2) При застосуванні вказаного методу кутова в'язь замінюється на еквівалентну кутову в'язь з жорсткістю K. При визначенні K повинен враховуватись вплив викривлення поперечного перерізу. Для цього вільний пояс може розглядатись як стиснутий елемент з неперервною горизонтальною пружно-податливою опорою жорсткістю K, на який діє нерівномірна осьова сила.

(3) При стисненні вільного пояса при згині в основній площині (наприклад, при дії підйомного навантаження) необхідно виконувати перевірочний розрахунок на можливість втрати його стійкості із площини згину.

(4) Для більш точного розрахунку може бути використаний числовий метод, при цьому значення жорсткості кутової в'язі C_D приймають згідно з 10.1.5.2. Одночасно повинно бути зроблено допущення відносно початкового згину e_o вільного пояса, визначеного в 5.3. Ця початкова недосконалість повинна бути сумісна з можливою формою втрати стійкості, що визначається вектором власних значень, отриманим при розрахунку на втрату стійкості за теорією першого порядку в пружній стадії.

(5) Числовий метод розрахунку з використанням жорсткості кутової в'язі C_D, що отримана із 10.1.5.2, може також застосовуватись і за відсутності закріплення пояса із площини або якщо критерій ефективності розкріплення не з'ясовано. При застосуванні числового методу необхідно враховувати згин у двох площинах, крутильну жорсткість за Сен-Венаном і жорсткість депланації відносно визначеної осі крутіння.

(6) При виконанні розрахунку другого порядку повинні враховуватись ефективні перерізи і жорсткість з урахуванням місцевої втрати стійкості.

Примітка. Спрощений розрахунок прогонів C-, Z-, Σ-подібної форми перерізу див. додаток E.

10.1.2 ***Calculation methods***

(1) Unless a second order analysis is carried out, the method given in 10.1.3 and 10.1.4 should be used to allow for the tendency of the free flange to move laterally (thus inducing additional stresses) by treating it as a beam subject to a lateral load $q_{h,Ed}$, see figure 10.1.

(2) For use in this method, the rotational spring should be replaced by an equivalent lateral linear spring of stiffness K. In determining K the effects of cross-sectional distortion should also be allowed for. For this purpose, the free flange may be treated as a compression member subject to a non-uniform axial force, with a continuous lateral spring support of stiffness K.

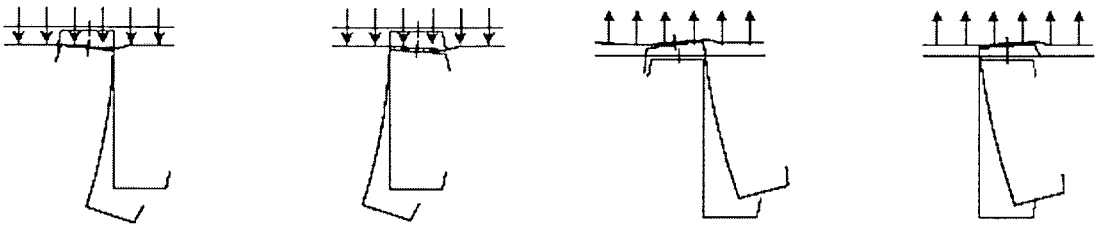
(3) If the free flange of a purlin is in compression due to in-plane bending (for example, due to uplift loading in a single span purlin), the resistance of the free flange to lateral buckling should also be verified.

(4) For a more precise calculation, a numerical analysis should be carried out, using values of the rotational spring stiffness C_D obtained from 10.1.5.2. Allowance should be made for the effects of an initial bow imperfection of (e_o) in the free flange, defined as in 5.3. The initial imperfection should be compatible with the shape of the relevant buckling mode, determined by the eigen-vectors obtained from the elastic first order buckling analysis.

(5) A numerical analysis using the rotational spring stiffness C_D obtained from 10.1.5.2 may also be used if lateral restraint is not supplied or if its effectiveness cannot be proved. When the numerical analysis is carried out, it should take into account the bending in two directions, torsional St Venant stiffness and warping stiffness about the imposed rotation axis.

(6) If a 2nd order analysis is carried out, effective sections and stiffness, due to local buckling, should be taken into account.

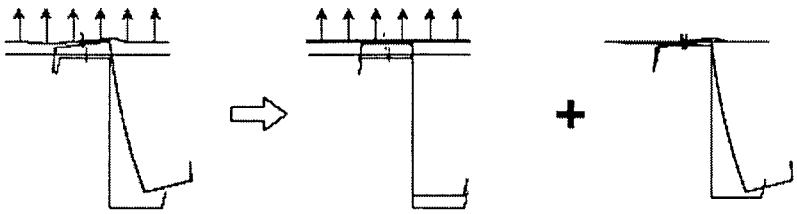
NOTE: For a simplified design of purlins made of C-, Z- and Σ-cross sections see Annex E.



Гравітаційне навантаження
Gravity loading

Підйомне навантаження
Uplift loading

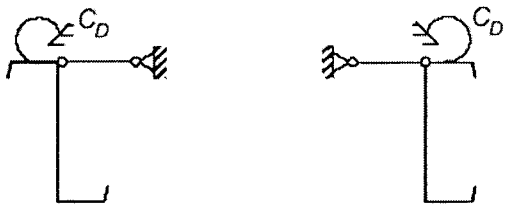
a) Z- і C-подібні перерізи прогонів, верхній пояс яких з'єднаний з настилом
a) Z and C section purlin with upper flange connected to sheeting



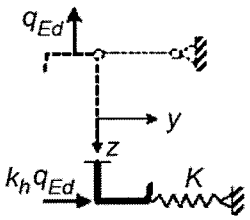
Згин в площині
In-plane bending

Крутіння і згин з площини
Torsion and lateral bending

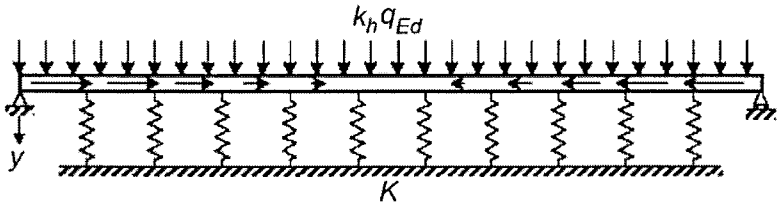
b) загальна деформація, що поділена на дві частини
b) Total deformation split into two parts



c) модель прогону, розкріпленого із площини кутовою в'яззю з жорсткістю C_D , що утворюється настилом
c) Model purlin as laterally braced with rotationally spring restraint C_D from sheeting



d) для спрощення розрахунків заміна кутової в'язі жорсткістю C_D на лінійну в'язь жорсткістю K
d) As a simplification replace the rotational spring C_D by a lateral spring stiffness K



e) вільний пояс прогону, змодельований як балка на пружній основі. Модель зображує ефект від крутіння і згину із площини (включаючи викривлення поперечного перерізу) для однопрольотного прогону при підйомному навантаженні
e) Free flange of purlin modelled as beam on elastic foundation. Model representing effect of torsion and lateral bending (including cross section distortion) on single span with uplift loading

Рисунок 10.1 – Моделювання розкріплення прогонів настилом від крутіння із площини
Figure 10.1 – Modelling laterally braced purlins rotationally restrained by sheeting

10.1.3 ***Розрахункові критерії***

10.1.3.1 *Однопрольотні прогони*

(1) Під гравітаційним навантаженням однопрольотний прогін за опором поперечного перерізу повинен задовольняти критерії, наведені в 10.1.4.1, а за стійкістю вільного пояса – критерії, наведені в 10.1.4.2.

(2) Під підйомним навантаженням однопрольотний прогін за опором поперечного перерізу повинен задовольняти критерії, наведені в 10.1.4.1, і за стійкістю вільного пояса – критерії, наведені в 10.1.4.2.

10.1.3.2 *Багатопрольотні нерозрізні прогони при гравітаційному навантаженні*

(1) В прогоні, який є фізично нерозрізним в двох або більше прольотах без стикування внапуск, або на накладках, моменти при гравітаційному навантаженні можуть визначатися розрахунком або на підставі результатів випробувань.

(2) Визначення моментів здійснюється на підставі загального розрахунку в пружній стадії. Прогін повинен відповідати критерію за опором поперечного перерізу, наведеному в 10.1.4.1. Для моменту на проміжній опорі повинен задовольнятися критерій за стійкістю вільного пояса, наведений в 10.1.4.2. На середній опорі повинна здійснюватись перевірка на сумісну дію згинального моменту і опорної реакції (при нерозкріпленні стінки від втрати стійкості), а також згинального моменту і зсувної сили, що залежать від випадку, який розглядається.

(3) Альтернативно моменти можуть бути визначені за результатами випробувань відповідно до розділу 9 і додатка А.5 при скручуванні прогону на проміжній опорі.

Примітка. Методика відповідних випробувань наведена в додатку А.

(4) Розрахункове граничне значення опорного моменту $M_{sup,Rd}$ від погонного навантаження q_{Ed} визначається на перетині двох кривих, що характеризують розрахункові значення:

– залежності повороту від опорного моменту, що отриманий при випробуванні згідно з розділом 9 і додатком А.5;
– теоретичного співвідношення між опорним моментом $M_{sup,Rd}$ і відповідним поворотом ϕ_{Ed} в пластичному шарнірі прогону на опорі.

10.1.3 ***Design criteria***

10.1.3.1 *Single span purlins*

(1) For gravity loading, a single span purlin should satisfy the criteria for cross-section resistance given in 10.1.4.1. If it is subject to axial compression, it should also satisfy the criteria for stability of the free flange given in 10.1.4.2.

(2) For uplift loading, a single span purlin should satisfy the criteria for cross-section resistance given in 10.1.4.1 and the criteria for stability of the free flange given in 10.1.4.2.

10.1.3.2 *Two-spans continuous purlins with gravty load*

(1) The moments due to gravity loading in a purlin that is physically continuous over two spans without overlaps or sleeves, may either be obtained by calculation or based on the results of tests.

(2) If the moments are calculated they should be determined using elastic global analysis. The purlin should satisfy the criteria for cross-section resistance given in 10.1.4.1. For the moment at the internal support, the criteria for stability of the free flange given in 10.1.4.2 should also be satisfied. For mid-support should be checked also for bending moment + support reaction (web crippling if cleats are not used) and for bending moment + shear forces depending on the case under consideration.

(3) Alternatively the moments may be determined using the results of tests in accordance with Section 9 and Annex A.5 on the moment-rotation behaviour of the purlin over the internal support.

NOTE: Appropriate testing procedures are given in Annex A.

(4) The design value of the resistance moment at the supports $M_{sup,Rd}$ for a given value of the load per unit length q_{Ed} , should be obtained from the intersection of two curves representing the design values of:

– the moment-rotation characteristic at the support, obtained by testing in accordance with Section 9 and Annex A.5;
– the theoretical relationship between the support moment $M_{sup,Rd}$ and the corresponding plastic hinge rotation ϕ_{Ed} in the purlin over the support.

Для остаточного визначення розрахункового значення опорного моменту $M_{sup,Ed}$ необхідно враховувати вплив горизонтального навантаження на вільний пояс і/або втрати стійкості цього пояса в зоні середньої опори, що частково враховується на проміжній опорі при випробуваннях згідно з A.5.2. Якщо вільний пояс на опорі є фізично нерозрізним, а відстань від опори до найближчого розкріплення із площини більше ніж 0,5*s*, опір на середній опорі повинен визначатись з урахуванням бокового навантаження $q_{h,Ed}$ згідно з 10.1.4.2. Альтернативно для визначення ефекту поперечного навантаження на вільний пояс і/або втрати стійкості цього пояса біля середньої опори можуть застосовуватись натурні випробування багатопрольотних прогонів.

(5) Моменти в прольоті повинні визначатися в залежності від величини опорного моменту.

(6) Для прогону з двома рівними прольотами можна використовувати формули:

To determine the final design value of the support moment $M_{sup,Ed}$ allowance should be made for the effect of the lateral load in the free flange and/or the buckling stability of that free flange around the mid-support, which are not fully taken into account by the internal support test as given in clause A.5.2. If the free flange is physically continued at the support and if the distance between the support and the nearest anti-sag bar is larger than 0,5*s*, the lateral load $q_{h,Ed}$ according to 10.1.4.2 should be taken into account in verification of the resistance at mid-support. Alternatively, full-scale tests for two or multi-span purlins may be used to determine the effect of the lateral load in the free flange and/or the buckling stability of that free flange around the midsupport.

(5) The span moments should then be calculated from the value of the support moment.

(6) The following expressions may be used for a purlin with two equal spans:

$$\phi_{Ed} = \frac{L}{12EI_{eff}}\left[q_{Ed}L^2 - 8M_{sup,Ed}\right], \qquad (10.2a)$$

$$M_{spn,Ed} = \frac{\left(q_{Ed}L^2 - 2M_{sup,Ed}\right)^2}{8q_{Ed}L^2}, \qquad (10.2b)$$

де:

I_{eff} – момент інерції ефективного перерізу для моменту $M_{spn,Ed}$;

L – проліт;

$M_{spn,Ed}$ – максимальний момент в прольоті.

(7) Для прогонів з двома різними прольотами і при нерівномірному навантаженні (наприклад, накопичення снігу) та для інших подібних випадків, які потребують відповідних розрахунків, формули (10.2a) і (10.2b) є приблизними і не можуть бути застосовані.

(8) Максимальний прольотний момент повинен задовольняти критерій за опором поперечного перерізу, що наведений в 10.1.4.1. Альтернативно величина граничного прольотного моменту $M_{spn,Ed}$ може бути визначена через випробування. Випробовувати можна однопрольотний елемент довжиною, що дорівнює відстані між точками перегину прогону у прольоті.

where:

I_{eff} is the effective second moment of area for the moment $M_{spn,Ed}$;

L is the span;

$M_{spn,Ed}$ is the maximum moment in the span.

(7) The expressions for a purlin with two unequal spans, and for non-uniform loading (e.g. snow accumulation), and for other similar cases, the formulas (10.2a) and (10.2b) are not valid and appropriate analysis should be made for these cases.

(8) The maximum span moment $M_{spn,Ed}$ in the purlin should satisfy the criteria for cross-section resistance given in 10.1.4.1. Alternatively the resistance moment in the span may be determined by testing. A single span test may be used with a span comparable to the distance between the points of contraflexure in the span.

10.1.3.3 *Двопрольотні нерозрізні прогони при підйомному навантаженні*

(1) В прогоні, який є фізично нерозрізним в двох або більше прольотах без стиків, внапуск або на накладках, моменти при дії підйомного навантаження повинні визначатись на підставі загального аналізу в пружній стадії.

(2) Момент на проміжній опорі повинен задовольняти критерій за опором поперечного перерізу, наведений в 10.1.4.1. Оскільки опорна реакція є зусиллям розтягу, її сумісна дія з опорним моментом не враховується. Переріз на середній опорі перевіряється на сумісну дію згинального моменту і зсувної сили.

(3) Моменти в прольоті повинні задовольняти критерій стійкості для вільного пояса, що наведений в 10.1.4.2.

10.1.3.4 *Нерозрізні прогони, які стикуються на накладках або внапуск*

(1) Моменти в прогонах, нерозрізність яких на проміжних опорах забезпечується стикуванням внапуск або на накладках, повинні визначатись з урахуванням геометричних характеристик ефективного поперечного перерізу і впливу напуску або накладок.

(2) Можливо проведення випробувань опорних з'єднань для визначення:
- згинальної жорсткості опорних з'єднань внапуск або на накладках;
- залежності кута повороту опорних з'єднань від моменту. Перерозподіл згинальних моментів в пластичній стадії в стиках внапуск і на накладках може бути допущений тільки при відмові елементів опорних закріплень, що запобігають горизонтальним переміщенням на опорі;
- опору стикових опорних частин при сумісній дії опорної реакції і моменту;
- опору частин поза стиками при сумісній дії зсувної сили і згинального моменту.

Альтернативно характеристики опорних деталей можуть бути визначені числовим методом у разі обґрунтування розрахункових процедур достатньою кількістю випробувань.

(3) При дії гравітаційного навантаження прогін повинен задовольняти критерії:

10.1.3.3 *Two-span continuous purlins with uplift loading*

(1) The moments due to uplift loading in a purlin that is physically continuous over two spans without overlaps or sleeves, should be determined using elastic global analysis.

(2) The moment over the internal support should satisfy the criteria for cross-section resistance given in 10.1.4.1. Because the support reaction is a tensile force, no account need be taken of its interaction with the support moment. The mid-support should be checked also for ineraction of bending moment and shear forces.

(3) The moments in the spans should satisfy the criteria for stability of the free flange given in 10.1.4.2.

10.1.3.4 *Purlins with semi-continuity given by overlaps or sleeves*

(1) The moments in purlins in which continuity over two or more spans is given by overlaps or sleeves at internal supports, should be determined taking into account the effective section properties of the cross-section and the effects of the overlaps or sleeves.

(2) Tests may be carried out on the support details to determine:
- the flexural stiffness of the overlapped or sleeved part;
- the moment-rotation characteristic for the overlapped or sleeved part. Note, that only when the failure occurs at the support with cleat or similar preventing lateral displacements at the support, then the plastic redistribution of bending moments may be used for sleeved and overlapped systems;
- the resistance of the overlapped or sleeved part to combined support reaction and moment;
- the resistance of the non-overlapped unsleeved part to combined shear force and bending moment.

Alternatively the characteristics of the mid-support details may be determined by numerical methods if the design procedure is at least validated by a relevant numbers of tests.

(3) For gravity loading, the purlin should satisfy the following criteria:

– за опором проміжних опор при сумісній дії опорної реакції і моменту, які визначені, наприклад, розрахунками на підставі випробувань;
– за опором в зоні обпирання при сумісній дії зсувної сили і згинального моменту, які визначені, наприклад, розрахунками на підставі випробувань;
– за опором поперечного перерізу в прольотах критерій наведено в 10.1.4.1;
– за стійкістю вільного пояса прогону при осьовому стиску критерій наведено в 10.1.4.2.

(4) При підйомному навантаженні прогін повинен задовольняти критерії:
– за опором на проміжних опорах при сумісній дії опорної реакції і моменту, визначених, наприклад, на підставі випробувань, враховуючи, що опорна реакція при цьому є зусиллям розтягу;
– за опором в зоні обпирання при сумісній дії поперечної сили і згинального моменту, які визначені, наприклад, розрахунками на підставі випробувань;
– за стійкістю вільного пояса в прольотах критерій наведено в 10.1.4.2;
– за стійкістю вільного пояса прольоту при осьовому стиску критерій наведено в 10.1.4.2.

10.1.3.5 *Критерій експлуатаційної придатності*

(1) Прольоти повинні задовольняти критерій експлуатаційної придатності.

10.1.4 ***Розрахунковий опір***

10.1.4.1 *Опір поперечного перерізу*

(1) Опір поперечного перерізу прольоту при сумісній дії осьової сили і поперечного навантаження слід визначати як суму напружень відповідно до рисунка 10.2:
– від згинального моменту $M_{y,Ed}$ в площині;
– від осьової сили N_{Ed};
– від еквівалентного поперечного навантаження $q_{h,Ed}$, що діє на вільну полицю і призводить до крутіння і бокового згину, див. (3).

(2) Максимальні напруження в поперечному перерізі повинні задовольняти такі умови:
– для розкріпленої полиці:

– at internal supports, the resistance to combined support reaction and moment determined e.g. by calculation assisted by testing;
– near supports, the resistance to combined shear force and bending moment determined e.g. by calculation assisted by testing;
– in the spans, the criteria for cross-section resistance given in 10.1.4.1;
– if the purlin is subject to axial compression, the criteria for stability of the free flange given in 10.1.4.2.

(4) For uplift loading, the purlin should satisfy the following criteria:
– at internal supports, the resistance to combined support reaction and moment determined e.g. by calculation assisted by testing, taking into account the fact that the support reaction is a tensile force in this case;
– near supports, the resistance to combined shear force and bending moment determined e.g. by calculation assisted by testing;
– in the spans, the criteria for stability of the free flange given in 10.1.4.2;
– if the purlin is subjected to axial compression, the criteria for stability of the free flange is given in 10.1.4.2.

10.1.3.5 *Serviceability criteria*

(1) The serviceability criteria relevant to purlins should also be satisfied.

10.1.4 ***Design resistance***

10.1.4.1 *Resistance of cross-sections*

(1) For a purlin subject to axial force and transverse load the resistance of the cross-section should be verified as indicated in figure 10.2 by superposing the stresses due to:
– the in-plane bending moment $M_{y,Ed}$;
– the axial force N_{Ed};
– an equivalent lateral load $q_{h,Ed}$ acting on the free flange, due to torsion and lateral bending, see (3).

(2) The maximum stresses in the cross-section should satisfy the following:
– restrained flange:

$$\sigma_{max,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{eff,y}} + \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} \le f_y / \gamma_M \; ; \qquad (10.3a)$$

– для вільної полиці:

– free flange:

$$\sigma_{max,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{eff,y}} + \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} + \frac{M_{fz,Ed}}{W_{fz}} \le f_y / \gamma_M \; ; \qquad (10.3b)$$

де:

A_{eff} – ефективна площа поперечного перерізу при рівномірному стиску;

f_y – границя текучості, яка визначається згідно з 3.2.1(5);

$M_{fz,Ed}$ – згинальний момент у вільній полиці від поперечного навантаження $q_{h,Ed}$, див. формулу (10.4);

$W_{eff,y}$ – момент опору ефективного поперечного перерізу при згині відносно осі y – y;

W_{fz} – пружний момент опору повного перерізу вільної полиці і частки стінки відносно осі z – z; за відсутності більш детального аналізу висота частки стінки може бути прийнята 1/5 висоти стінки, яка вимірюється між точками перетину серединних площин стінки і полиць для C- і Z-подібних перерізів і 1/6 висоти стінки для Σ-подібних перерізів, див. рисунок 10.2;

і $\gamma_M = \gamma_{M0}$, якщо $A_{eff} = A_g$ або якщо $W_{eff,y} = W_{el,y}$ і $N_{Ed} = 0$, в решті випадків $\gamma_M = \gamma_{M1}$.

where:

A_{eff} is the effective area of the cross-section for only uniform compression;

f_y is the yield strength as defined in 3.2.1(5);

$M_{fz,Ed}$ is the bending moment in the free flange due to the lateral load $q_{h,E}$, see formula (10.4);

$W_{eff,y}$ is the effective section modulus of the cross-section for only bending about the y – y axis;

W_{fz} is the gross elastic section modulus of the free flange plus the contributing part of the web for bending about the z – z axis; unless a more sophisticated analysis is carried out the contributing part of the web may be taken equal to 1/5 of the web height from the point of web-flange intersection in case of C- and Z-sections and 1/6 of the web height in case of Σ-section, see Figure 10.2;

and $\gamma_M = \gamma_{M0}$ if $A_{eff} = A_g$ or if $W_{eff,y} = W_{el,y}$ and $N_{Ed} = 0$, otherwise $\gamma_M = \gamma_{M1}$.

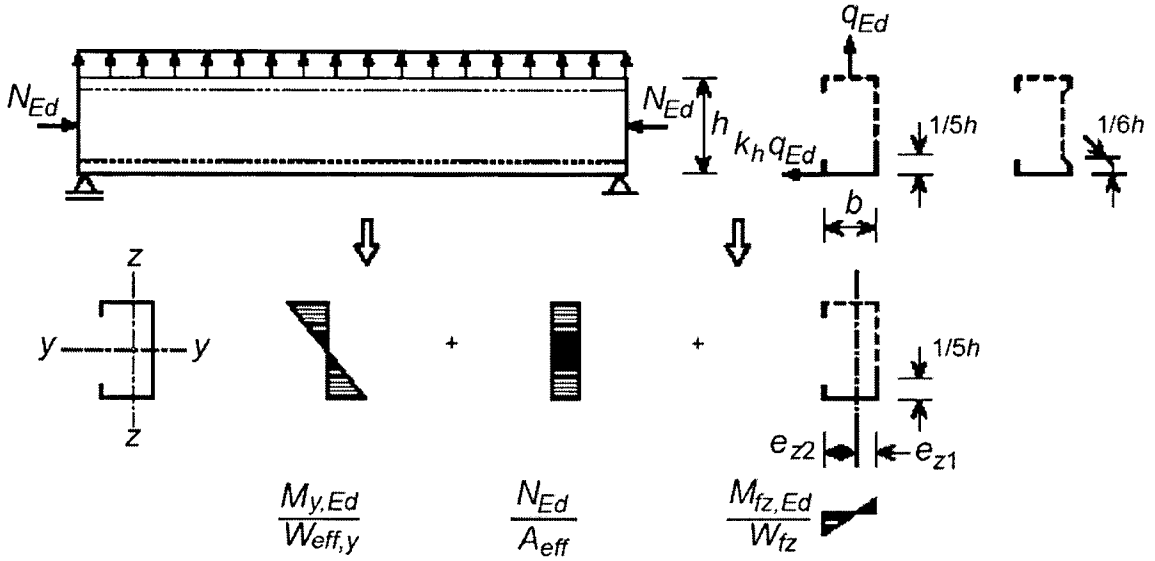


Рисунок 10.2 – Накладення напружень

Figure 10.2 – Superposition of stresses

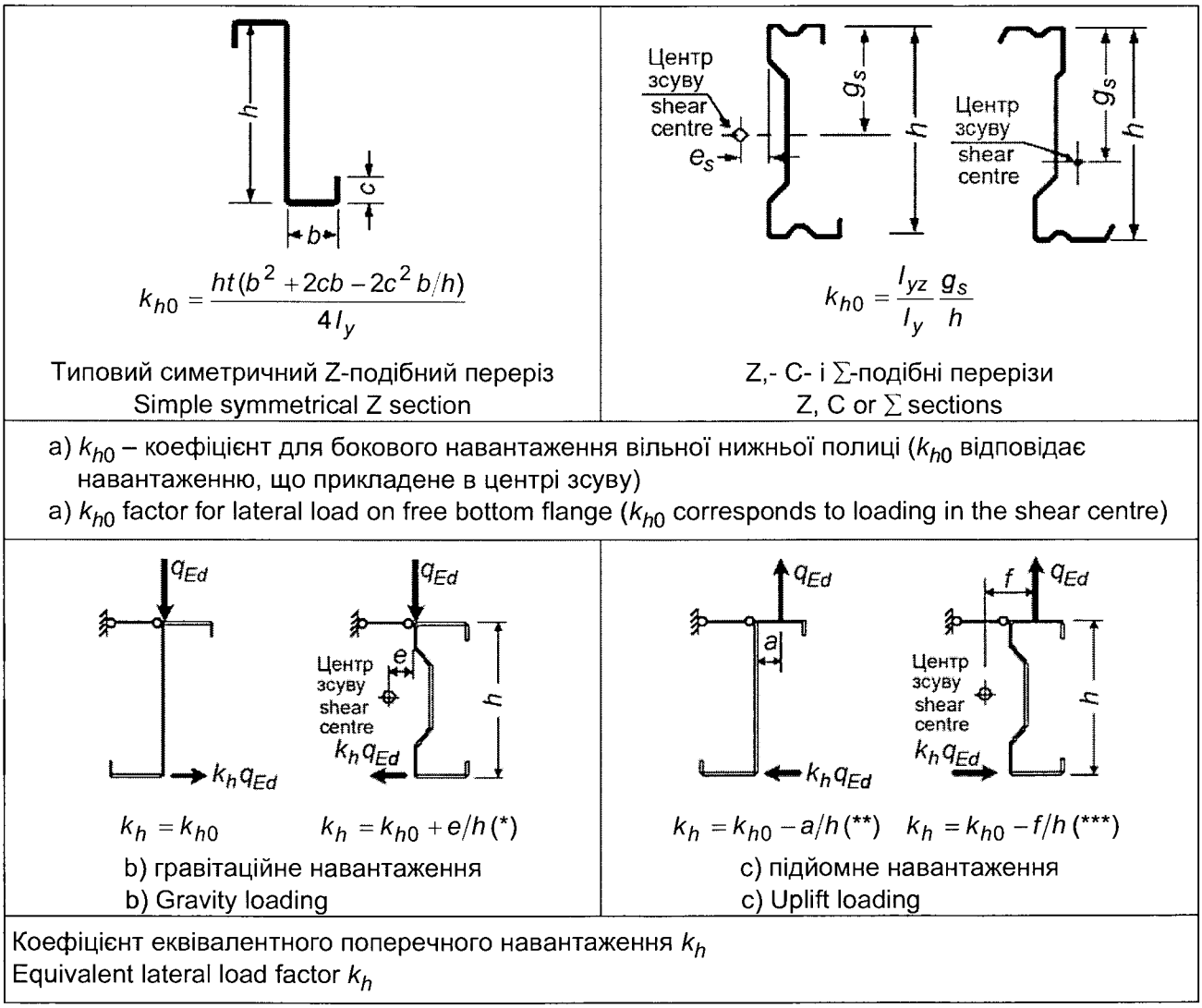
(3) Бокове навантаження $q_{h,Ed}$ на вільну полицю, що еквівалентне дії крутіння і згину з площини, повинно бути прийнято:

(3) The equivalent lateral load $q_{h,Ed}$ acting on the free flange, due to torsion and lateral bending, should be obtained from:

$$q_{h,Ed} = k_h \, q_{Ed} \, . \tag{10.4}$$

(4) Для типових поперечних перерізів k_h визначається згідно з рисунком 10.3.

(4) The coefficient k_h should be obtained as indicated in figure 10.3 for common types of cross-section.



(*) При розташуванні центра зсуву праворуч від навантаження q_{Ed} навантаження діє в протилежному напрямку.

(**) Якщо $a/h > k_{h0}$, навантаження діє в протилежному напрямку.

(***) Величина f обмежує положення навантаження q_{Ed} між повздовжніми кромками верхньої полиці.

(*) If the shear centre is at the right hand side of the load q_{Ed} then the load is acting in the opposite direction.

(**) If $a/h > k_{h0}$ then the load is acting in the opposite direction.

(***) The value of f is limited to the position of the load q_{Ed} between the edges of the top flange.

Рисунок 10.3 – Перетворення крутіння і поперечного згину в еквівалентне поперечне навантаження $k_h \, q_{Ed}$

Figure 10.3 – Conversion of torsion and lateral bending into an equivalent lateral load $k_h \, q_{Ed}$

(5) Згинальний момент із площини $M_{fz,Ed}$ визначається за формулою (10.5), окрім балок з розтягнутою вільною полицею, в якій завдяки сприятливому впливу кривини полиці і ефекту деформації геометричної схеми, момент $M_{fz,Ed}$ може бути прийнятим таким, що дорівнює нулю:

(5) The lateral bending moment $M_{fz,Ed}$ may be determined from expression (10.5) except for a beam with the free flange in tension, where, due to positive influence of flange curling and second order effect moment $M_{fz,Ed}$ may be taken equal to zero:

$$M_{fz,Ed} = \kappa_R M_{0,fz,Ed} \ , \tag{10.5}$$

де:

$M_{0,fz,Ed}$ – початковий згинальний момент із площини в вільній полиці без пружно-податливої опори;

κ_R – поправочний коефіцієнт для ефективної пружно-податливої опори.

where:

$M_{0,fz,Ed}$ is the initial lateral bending moment in the free flange without any spring support;

κ_R is a correction factor for the effective spring support.

(6) Початковий згинальний момент із площини в вільній полиці $M_{0,fz,Ed}$ визначається згідно з таблицею 10.1 для критичних точок в прольоті, на опорах, в точках розкріплення і між ними. Сфера застосування таблиці 10.1 обмежена в діапазоні $R \leq 40$.

(6) The initial lateral bending moment in the free flange $M_{0,fz,Ed}$ may be determined from table 10.1 for the critical locations in the span, at supports, at anti-sag bars and between anti-sag bars. The validity of the table 10.1 is limited to the range $R \leq 40$.

(7) Поправочний коефіцієнт R для точки, що розглядається, і відповідних граничних умов визначається згідно з таблицею 10.1 (або за теорією розрахунку балок на пружній основі за Вінклером) із застосуванням коефіцієнта R для пружно-податливої опори, який визначається за виразом:

(7) The correction factor R for the relevant location and boundary conditions, may be determined from table 10.1 (or using the theory of beams on the elastic Winkler foundation), using the value of the coefficient R of the spring support given by:

$$R = \frac{KL_a^4}{\pi^4 E I_{fz}} \ , \tag{10.6}$$

де:

I_{fz} – момент інерції повного поперечного перерізу вільної полиці з часткою стінки при згині відносно осі z – z, див. 10.1.4.1(2). При застосуванні числового розрахунку див. 10.1.2(5);

K – погонна жорсткість в'язі згідно з 10.1.5.1;

L_a – відстань між точками закріплення, а за відсутності L – проліт.

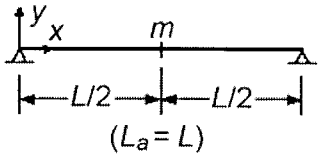
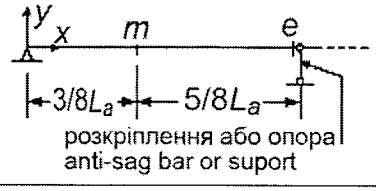
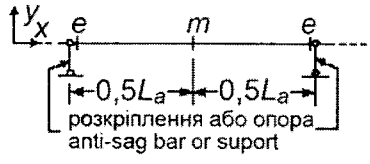
where:

I_{fz} is the second moment of area of the gross cross-section of the free flange plus the contributing part of the web for bending about the z – z axis, see 10.1.4.1(2); when numerical analysis is carried out, see 10.1.2(5);

K is the lateral spring stiffness per unit length from 10.1.5.1;

L_a is the distance between anti-sag bars, or if none are present, the span L of the purlin.

Таблиця 10.1 – Значення початкового моменту $M_{0,fz,Ed}$ і поправочного коефіцієнта κ_R
Table 10.1 – Values of initial moment $M_{0,fz,Ed}$ and correction factor κ_R

Схема System	Точка Location	$M_{0,fz,Ed}$	κ_R
	*m*	$\frac{1}{8} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1-0{,}0225R}{1+1{,}013R}$
	*m*	$\frac{9}{128} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1-0{,}0141R}{1+0{,}416R}$
	e	$-\frac{1}{8} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1+0{,}0314R}{1+0{,}396R}$
	*m*	$-\frac{1}{24} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1-0{,}0125R}{1+0{,}198R}$
	e	$-\frac{1}{12} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1+0{,}0178R}{1+0{,}191R}$

10.1.4.2 *Опір втраті стійкості вільної полиці*

(1) При стисненні вільної полиці її опір втраті стійкості можна оцінити, використовуючи формулу:

10.1.4.2 *Buckling resistance of free flange*

(1) If the free flange is in compression, its buckling resistance should be verified using:

$$\frac{1}{\chi_{LT}} \left(\frac{M_{y,Ed}}{W_{eff,y}} + \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} \right) + \frac{M_{fz,Ed}}{W_{fz}} \le f_{yb} / \gamma_{M1}, \tag{10.7}$$

тут χ_{LT} – понижувальний коефіцієнт для поперечно-пружної форми втрати стійкості (згинальна форма втрати стійкості вільної полиці).

Примітка. Величина χ_{LT} може бути надана в Національному додатку. При користуванні EN 1993-1-1, 6.3.2.3 для визначення умовної гнучкості $\bar{\lambda}_{fz}$, що наведена (2), рекомендується використовувати криву втрати стійкості *b* ($a_{LT} = 0,34$; $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$; $\beta = 0,75$).

При стисненні осьовою силою N_{Ed}, враховуючи, що понижувальний коефіцієнт втрати стійкості відносно головної осі менше ніж при перевірці втрати стійкості полиці із площини, наприклад, коли багато розкріплень із площини, необхідно провести перевірки згідно з 6.2.2 і 6.2.4.

in which χ_{LT} is the reduction factor for lateral torsional buckling (flexural buckling of the free flange).

NOTE: The use of the χ_{LT}-value may be chosen in the National Annex. The use of EN 1993-1-1, 6.3.2.3 using buckling curve *b* ($a_{LT} = 0,34$; $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$; $\beta = 0,75$) is recommended for the relative slenderness $\bar{\lambda}_{fz}$ given in (2). In the case of an axial compression force N_{Ed}, when the reduction factor for buckling around the strong axis is smaller than the reduction factor for lateral flange buckling, e.g. in the case of many anti-sag bars, this failure mode should also be checked following clause 6.2.2 and 6.2.4.

(2) Умовна гнучкість $\bar{\lambda}_{fz}$ при перевірці вільної полиці визначається як:

(2) The relative slenderness $\bar{\lambda}_{fz}$ for flexural buckling of the free flange should be determined from:

$$\bar{\lambda}_{fz} = \frac{l_{fz} / i_{fz}}{\lambda_1}, \tag{10.8}$$

із:

with:

$$\lambda_1 = \pi \left[E / f_{yb} \right]^{0,5},$$

де:

l_{fz} – розрахункова довжина вільної полиці згідно з (3) – (7);

i_{fz} – радіус інерції повного поперечного перерізу вільної полиці з часткою стінки, що примикає, при згині відносно осі z – z, див. 10.1.4.1(2).

(3) Для гравітаційного навантаження, якщо $0 \le R \le 200$, довжина вільної полиці при перевірці на стійкість у разі змінності напруження стиску за довжиною L, що наведена на рисунку 10.4, визначається так:

where:

l_{fz} is the buckling length for the free flange from (3) to (7);

i_{fz} is the radius of gyration of the gross cross-secion of the free flange plus the contributing part of the web for bending about the z – z axis, see 10.1.4.1(2).

(3) For gravity loading, provided that $0 \le R \le 200$, the buckling length of the free flange for a variation of the compressive stress over the length L as shown in figure 10.4 may be obtained from:

$$l_{fz} = \eta_1 L_a \left(1 + \eta_2 R^{\eta_3}\right)^{\eta_4}, \qquad (10.9)$$

де:

L_a – відстань між закріпленнями із площини, а за відсутності проліт прогону L;

R – коефіцієнт, наведений в 10.1.4.1(7);

$\eta_1 - \eta_4$ – коефіцієнти, що залежать від кількості закріплень, наведені в таблиці 10.2a. Таблицями 10.2a і 10.2b можна користуватись для рівномірно навантажених балок з рівними прольотами без стиків внапуск або на накладках і з жорстким розкріпленням вільної полиці із площини. Ці таблиці можна використовувати і для систем із стиками внапуск або на накладках при забезпеченні повної нерозрізності. В інших випадках розрахункова довжина може визначатись прийнятним методом розрахунку або за допомогою таблиці 10.2a при трьох закріпленнях в прольоті, за винятком консолей.

Примітка. За можливості повороту у стиках внапуск або на накладках момент в прольоті може бути значно більше ніж без повороту, що призведе до збільшення розрахункової довжини прольоту. Без урахування реального розподілу моментів надійність розрахунку може бути знижена.

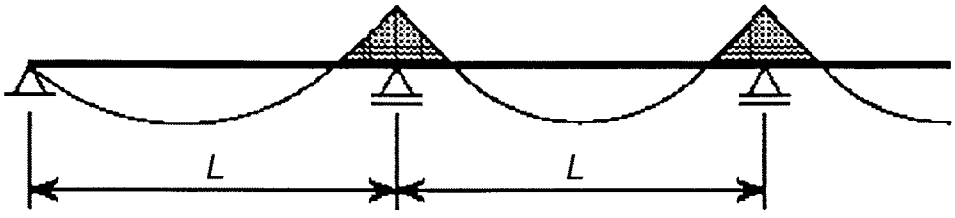
where:

L_a is the distance between anti-sag bars, or if none are present, the span L of the purlin;

R is as given in 10.1.4.1(7);

and η_1 to η_4 are coefficients that depend on the number of anti-sag bars, as given in table 10.2a. The tables 10.2a and 10.2b are valid only for equal spans uniformly loaded beam systems without overlap or sleeve and with anti-sag bars that provide lateral rigid support for the free flange. The tables may be used for systems with sleeves and overlaps provided that the connection system may be considered as fully continuous. In other cases the buckling length should be determined by more appropriate calculations or, except cantilevers, the values of the table 10.2a for the case of 3 anti-sag bars per field may be used.

NOTE: Due to rotations in overlap or sleeve connection, the field moment may be much larger than without rotation which results also in longer buckling lengths in span. Neglecting the real moment distribution may lead to unsafe design.



Заштриховані зони стиску
[Dotted areas show regions in compression]

Рисунок 10.4 – Зміни напружень стиску у вільній полиці при гравітаційному навантаженні
Figure 10.4 – Varying compressive stress in free flange for gravity load cases

Таблиця 10.2a – Коефіцієнт η_i при кількості закріплень 0, 1, 2, 3, 4 при гравітаційному навантаженні

Table 10.2a – Coefficients η_i for down load with 0, 1, 2, 3, 4 anti-sag bars

Місце розташування Situation	Кількість розкріплень Anti sag-bar Number	η_1	η_2	η_3	η_4
Крайній проліт End span	0	0,414	1,72	1,11	–0,178
Проміжний проліт Intermediate span		0,657	8,17	2,22	–0,107
Крайній проліт End span	1	0,515	1,26	0,868	–0,242
Проміжний проліт Intermediate span		0,596	2,33	1,15	–0,192
Крайній і проміжний прольоти End and intermediate span	2	0,596	2,33	1,15	–0,192
Крайній і проміжний прольоти End and intermediate span	3 та (and) 4	0,694	5,45	1,27	–0,168

Таблиця 10.2b – Коефіцієнт η_i при кількості закріплень 0, 1, 2, 3, 4 при підйомному навантаженні

Table 10.2b -- Coefficients η_i for uplift load with 0, 1, 2, 3, 4 anti-sag bars

Місце розташування Situation	Кількість розкріплень Anti sag-bar Number	η_1	η_2	η_3	η_4
Один проліт Simple span	0	0,694	5,45	1,27	–0,168
Крайній проліт End spa		0,515	1,26	0,868	–0,242
Проміжний проліт Intermediate span		0,306	0,232	0,742	–0,279
Один проліт і крайні прольоти Simple and end spans	1	0,800	6,75	1,49	–0,155
Проміжний проліт Intermediate span		0,515	1,26	0,868	00,242
Один проліт Simple span	2	0,902	8,55	2,18	–0,111
Крайній і проміжний прольоти End and intermediate spans		0,800	6,75	1,49	–0,155
Один проліт і крайні прольоти Simple and end spans	3 та (and) 4	0,902	8,55	2,18	–0,111
Проміжний проліт Intermediate span		0,800	6,75	1,49	–0,155

(4) Для гравітаційного навантаження при кількості закріплень більше трьох на рівній відстані одна від одної за умовами, відмінними від наведених в (3), розрахункова довжина для перевірки полиці на стійкість приймається не більше ніж довжина при двох закріпленнях, тобто $L_a = L/3$. Це положення застосовується тільки за відсутності осьового зусилля стиску.

(4) For gravity loading, if there are more than three equally spaced anti-sag bars, and under conditions specified in (3), the buckling length need not be taken as greater than the value for two anti-sag bars, with $L_a = L/3$. This clause is valid only if there is no axial compressive force.

(5) При майже постійному напруженні стиску на довжині L від дії досить значної осьової сили розрахункова довжина полиці при перевірці стійкості визначається з використанням коефіцієнта і за таблицею 10.2a при кількості розкріплень на проліт більше трьох і при відстані між ними L_a.

(5) If the compressive stress over the length L is almost constant, due to the application of a relatively large axial force, the buckling length should be determined using the values of i from table 10.2a for the case shown as more than three anti-sag bars per span, but the actual spacing L_a.

(6) Для підйомного навантаження, коли розкріплення не застосовуються, за умови $0 \le R_0 \le 200$, розрахункова довжина вільної полиці при перевірці стійкості при змінному напруженні стиску по довжині L_0, як показано на рисунку 10.5, визначається за формулою:

(6) For uplift loading, when anti-sag bars are not used, provided that $0 \le R_0 \le 200$, the buckling length of the free flange for variations of the compressive stress over the length L_0 as shown in figure 10.5, may be obtained from:

$$L_{fz} = 0,7L_0\left(1+13,1R_0^{1,6}\right)^{-0,125}, \qquad (10.10a)$$

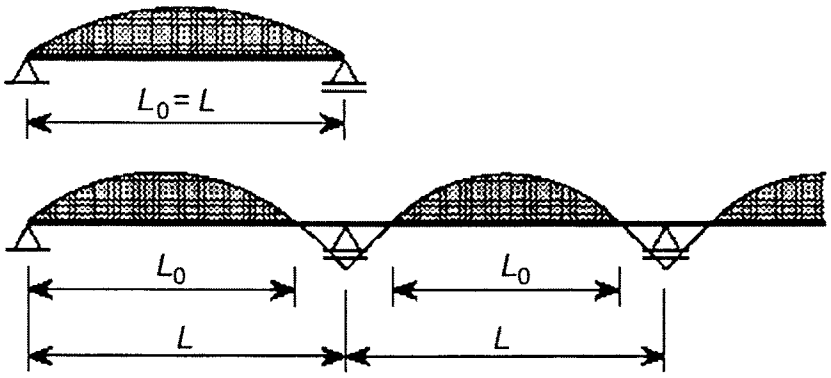
з:

with:

$$R_0 = \frac{KL_0^4}{\pi^4 E I_{fz}}, \qquad (10.10b)$$

тут I_{fz} і K визначаються згідно з 10.1.4.1(7). Альтернативно розрахункова довжина вільної полиці при перевірці стійкості може бути встановлена за таблицею 10.2b у поєднанні з рівнянням, наведеним в 10.1.4.2(3).

in which I_{fz} and K are as defined in 10.1.4.1(7). Alternatively, the buckling length of the free flange may be determined using the table 10.2b in combination with the equation given in 10.1.4.2(3).



Заштриховані зони стиску
[Dotted areas show regions in compression]

Рисунок 10.5 – Зміна напружень стиску у вільній полиці при підйомному навантаженні
Figure 10.5 – Varying compressive stress in free flange for uplift casess

(7) При дії підйомного навантаження у разі ефективного з рівномірним кроком розкріплення вільної полиці із площини розрахункова довжина при перевірці стійкості може бути наближено прийнята згідно з (5) у допущенні рівномірного розподілення моменту за довжиною. Формула (10.10a) може застосовуватись за умовами, наведеними в (3). За відсутності відповідних розрахунків необхідно керуватись 10.1.4.2(5).

(7) For uplift loading, if the free flange is effectively held in position laterally at intervals by anti-sag bars, the buckling length may conservatively be taken as that for a uniform moment, determined as in (5).The formula (10.10a) may be applied under conditions specified in (3). If there are no appropriate calculations, reference should be made to 10.1.4.2(5).

10.1.5 *Обмеження повороту пружністю настилу*

10.1.5.1 *Жорсткість поперечної лінійної опори*

(1) Пружно-податлива опора, що створюється настилом для вільної полиці прогону з площини згину, моделюється як лінійна пружна в'язь, яка діє на вільну полицю, див. рисунок 10.1. Загальна бокова жорсткість лінійної в'язі K на одиницю довжини визначається за формулою:

10.1.5 *Rotational restraint given by the sheeting*

10.1.5.1 *Lateral spring stiffness*

(1) The lateral spring support given to the free flange of the purlin by the sheeting should be modelled as a lateral spring acting at the free flange, see figure 10.1. The total lateral spring stiffness K per unit length should be determined from:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_A} + \frac{1}{K_B} + \frac{1}{K_C}, \tag{10.11}$$

де:

K_A – бокова жорсткість, що відповідає крутильній жорсткості з'єднання настилу з прогоном;

K_B – бокова жорсткість від депланації поперечного перерізу прогону;

K_C – бокова жорсткість, що створюється згинальною жорсткістю настилу.

where:

K_A is the lateral stiffness corresponding to the rotational stiffness of the joint between the sheeting and the purlin;

K_B is the lateral stiffness due to distortion of the cross-section of the purlin;

K_C is the lateral stiffness due to the flexural stiffness of the sheeting.

(2) Враховуючи, що K_C дуже значна величина у порівнянні з K_A і K_B, значення $1/K_C$ можна не враховувати. Значення K при цьому можна визначити так:

(2) Normally it may be assumed to be safe as well as acceptable to neglect $1/K_C$ because K_C is very large compared to K_A and K_B. The value of K should then be obtained from:

$$K = \frac{1}{(1/K_A + 1/K_B)}. \tag{10.12}$$

(3) Значення $(1/K_A + 1/K_B)$ можна визначити або через випробування, або розрахунком.

Примітка. Процедура відповідних випробувань наведена в додатку А.

(3) The value of $(1/K_A + 1/K_B)$ may be obtained either by testing or by calculation.

NOTE: Appropriate testing procedures are given in Annex A.

(4) Жорсткість бокової в'язі K на одиницю довжини визначається за формулою:

(4) The lateral spring stiffness K per unit length may be determined by calculation using:

$$\frac{1}{K} = \frac{4(1-\nu^2)h^2(h_d + b_{\text{mod}})}{Et^3} + \frac{h^2}{C_D}, \tag{10.13}$$

де b_{mod} визначається так:

in which the dimension b_{mod} is determined as follows:

– при дії еквівалентної горизонтальної сили $q_{h,Ed}$ на стінку прогону у місці контакту з настилом:

– for cases where the equivalent lateral force $q_{h,Ed}$ bringing the purlin into contact with the sheeting at the purlin web:

$$b_{mod} = a\ ;$$

– при дії еквівалентної горизонтальної сили $q_{h,Ed}$ на полицю прогону у місці контакту з настилом:

– for cases where the equivalent lateral force $q_{h,Ed}$ bringing the purlin into contact with the sheeting at the tip of the purlin flange:

$$b_{mod} = 2a + b\ ,$$

де:

t – товщина прогону;

a – відстань від точки прикріплення настилу до стінки прогону, див. рисунок 10.6;

b – ширина полиці прогону, до якої прикріплений настил, див. рисунок 10.6;

C_D – загальна жорсткість кутової в'язі згідно з 10.1.5.2;

h – повна висота прогону;

h_d – розгорнута висота стінки прогону, див. рисунок 10.6.

where:

t is the thickness of the purlin;

a is the distance from the sheet-to-purlin fastener to the purlin web, see figure 10.6;

b is the width of the purlin flange connected to the sheeting, see figure 10.6

C_D is the total rotational spring stiffness from 10.1.5.2;

h is the overall height of the purlin;

h_d is the developed height of the purlin web, see figure 10.6.

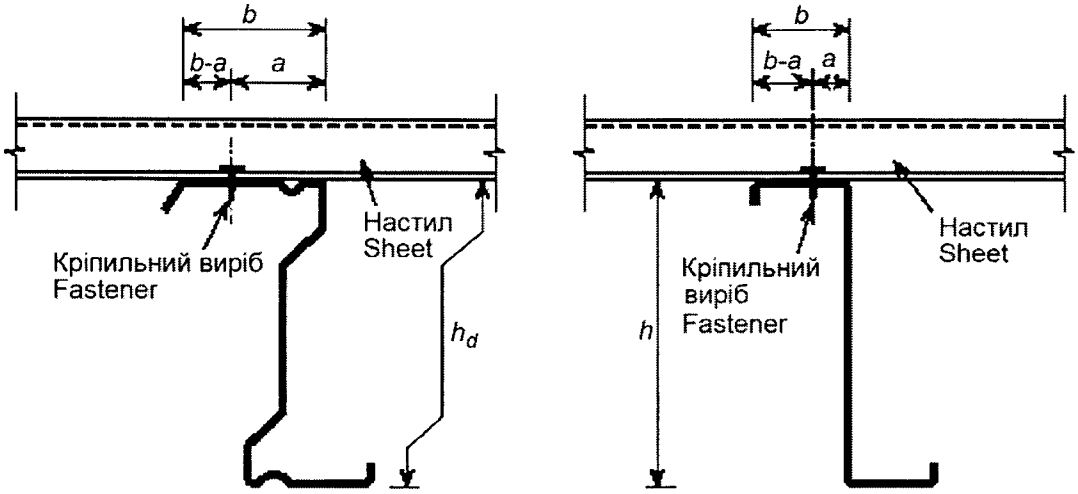


Рисунок 10.6 – Кріплення настилу до прогону

Figure 10.6 – Purlin and attached sheeting

10.1.5.2 *Жорсткість кутової в'язі*

(1) Обмеження повороту прогону за допомогою настилу, що прикріплений до його верхньої полиці, повинно моделюватись як кутова в'язь до верхньої полиці, див. рисунок 10.1. Загальна жорсткість кутової в'язі C_D визначається за формулою:

10.1.5.2 *Rotational spring stiffness*

(1) The rotational restraint given to the purlin by the sheeting that is connected to its top flange, should be modelled as a rotational spring acting at the top flange of the purlin, see figure 10.1. The total rotational spring stiffness C_D should be determined from:

$$C_D = \frac{1}{\left(1/C_{D,A} + 1/C_{D,C}\right)}\ , \qquad (10.14)$$

де:

$C_{D,A}$ – жорсткість кутової в'язі, яка створюється з'єднанням настилу з прогоном;

$C_{D,C}$ – жорсткість кутової в'язі, що відповідає згинальній жорсткості настилу.

(2) Як правило, $C_{D,A}$ розраховується згідно з вказівками (5) і (7). Альтернативно $C_{D,A}$ може бути визначено за результатами випробувань, див. (9).

(3) Величина $C_{D,C}$ приймається як мінімальна, що визначена згідно з розрахунковими моделями, які наведені на рисунку 10.7, з урахуванням повороту суміжних прогонів і ступеня нерозрізності настилу, використовуючи вираз:

where:

$C_{D,A}$ is the rotational stiffness of the connection between the sheeting and the purlin;

$C_{D,C}$ is the rotational stiffness corresponding to the flexural stiffness of the sheeting.

(2) Generally $C_{D,A}$ may be calculated as given in (5) and (7). Alternatively $C_{D,A}$ may be obtained by testing, see (9).

(3) The value of $C_{D,C}$ may be taken as the minimum value obtained from calculational models of the type shown in figure 10.7, taking account of the rotations of the adjacent purlins and the degree of continuity of the sheeting, using:

$$C_{D,C} = m / \theta \,, \tag{10.15}$$

де:

m – момент, що діє на одиницю ширини, як вказано на рисунку 10.7;

θ – кут повороту, який вимірюється відповідно до рисунка 10.7, радіан.

where:

m is the applied moment per unit width of sheeting, applied as indicated in figure 10.7;

θ is the resulting rotation, measured as indicated in figure 10.7 [radians].

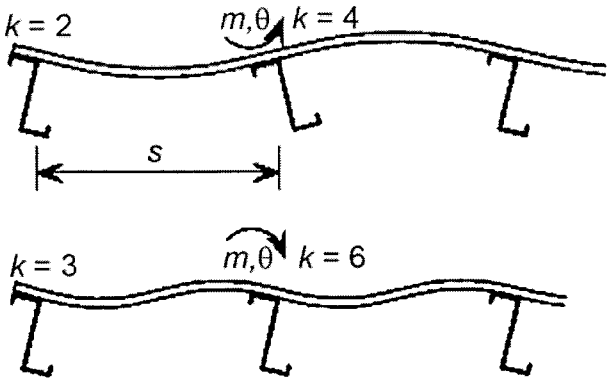


Рисунок 10.7 – Модель для визначення $C_{D,C}$

Figure 10.7 – Model for calculating $C_{D,C}$

(4) Альтернативно величину $C_{D,C}$ із запасом обчислюють за виразом:

(4) Alternatively a conservative value of $C_{D,C}$ may be obtained from:

$$C_{D,C} = \frac{kEI_{eff}}{s} \,, \tag{10.16}$$

при цьому k – числовий коефіцієнт, величина якого приймається:

- край настилу, рисунок 10.7 верхній $k = 2$;
- край настилу, рисунок 10.7 нижній $k = 3$;
- середина настилу, рисунок 10.7 верхній $k = 4$;
- середина настилу, рисунок 10.7 нижній $k = 6$;

in which k is a numerical coefficient, with values as follows:

- end, upper case of figure 10.7 $k = 2$;
- end, lower case of figure 10.7 $k = 3$;
- mid, upper case of figure 10.7 $k = 4$;
- mid, lower case of figure 10.7 $k = 6$;

де:

l_{eff} – ефективний момент інерції одиничної ширини настилу;

s – крок прогонів.

(5) За умови, що настил кріпиться до прогону посередині своєї полиці, величину $C_{D,A}$ для настилу з трапецієподібними гофрами у з'єднанні з верхньою полицею прогону можна визначити в такий спосіб (див. таблицю 10.3):

where:

l_{eff} is the effective second moment of area per unit width of the sheeting;

s is the spacing of the purlins.

(5) Provided that the sheet-to-purlin fasteners are positioned centrally on the flange of the purlin, the value of $C_{D,A}$ for trapezoidal sheeting connected to the top flange of the purlin may be determined as follows (see table 10.3):

$$C_{D,A} = C_{100} \cdot k_{ba} \cdot k_t \cdot k_{bR} \cdot k_A \cdot k_{bT}, \qquad (10.17)$$

тут:

where

$k_{ba} = (b_a/100)^2$, якщо (if) b_a < 125 мм (mm);

$k_{ba} = 1{,}25(b_a/100)^2$, якщо (if) 125 мм (mm) ≤ b_a < 200 мм (mm);

$k_t = (t_{nom}/0{,}75)^{1{,}1}$, якщо (if) $t_{nom} \geq 0{,}75$ мм (mm); позитивне положення / positive position;

$k_t = (t_{nom}/0{,}75)^{1{,}5}$, якщо (if) $t_{nom} \geq 0{,}75$ мм (mm); негативне положення / negative position;

$k_t = (t_{nom}/0{,}75)^{1{,}5}$, якщо (if) t_{nom} < 0,75 мм (mm);

$k_{bR} = 1{,}0$, якщо (if) $b_R \leq 185$ мм (mm);

$k_{bR} = 185/b_R$, якщо (if) b_R > 185 мм (mm);

для гравітаційного навантаження:

for gravity load:

$k_A = 1{,}0 + (A - 1{,}0) \cdot 0{,}08$, якщо (if) t_{nom} = 0,75 мм (mm); позитивне положення / positive position;

$k_A = 1{,}0 + (A - 1{,}0) \cdot 0{,}16$, якщо (if) t_{nom} = 0,75 мм (mm); негативне положення / negative position;

$k_A = 1{,}0 + (A - 1{,}0) \cdot 0{,}095$, якщо (if) t_{nom} = 1,00 мм (mm); позитивне положення / positive position;

$k_A = 1{,}0 + (A - 1{,}0) \cdot 0{,}095$, якщо (if) t_{nom} = 1,00 мм (mm); негативне положення / negative position;

- при t = 0,75 і t = 1,0 мм значення можна визначити лінійною інтерполяцією;
- при t < 0,75 мм формула не дійсна;
- при t > 1 мм в формулі приймається t = 1 мм;

- linear interpolation between t = 0,75 and t = 1,0 mm is allowed
- for t < 0.75 mm the formula is not valid;
- for t > 1 mm, the formula needs to be used with t = 1 mm

для підйомного навантаження:

for uplift load:

$$k_A = 1{,}0;$$

$$k_{bT} = \sqrt{\frac{b_{T,\max}}{b_T}}, \text{ якщо (if) } b_T > b_{T,\max},$$

інакше

otherwise

$$k_{bT} = 1;$$

A кН/м [kN/m] ≤ 12 кН/м (kN/m)

навантаження, що передається на балку настилом;

де:

b_a – ширина полиці прогону, мм;

b_R – ширина хвилі настилу, мм;

b_T – ширина полиці настилу, прикріпленої до прогону;

$b_{T,max}$ – згідно з таблицею 10.3;

C_{100} – коефіцієнт повороту, що дорівнює $C_{D,A}$ при b_a = 100 мм.

(6) За відсутності між настилом і прогоном зазору значення коефіцієнта повороту C_{100} можна приймати за таблицею 10.3.

(7) Альтернативно $C_{D,A}$ можна прийняти 130p, Нм/м/рад, де p – кількість закріплень настилу до прогону на погонному метрі його довжини (але не більше одного у хвилі настилу) за умови, що:

- ширина полиці настилу, в якій він кріпиться, не перевищує 120 мм;
- номінальна товщина t настилу не менше ніж 0,66 мм;
- відстань a або $b - a$ між центром кріпильного виробу і центром повороту прогону (в залежності від напрямку повороту), як наведено на рисунку 10.6, не менше ніж 25 мм.

(8) При врахуванні впливу викривлення поперечного перерізу, див. 10.1.5.1, дозволяється $C_{D,C}$ не враховувати, тому що жорсткість в'язі в основному залежить від величини $C_{D,A}$ і викривлення перерізу.

(9) Альтернативно значення $C_{D,A}$ можуть бути обчислені за результатами випробувань та розрахунком.

(10) При отриманні величини $(1 / K_A + 1 / K_B)$ за результатами випробувань (мм/Н згідно з A.5.3(3)) величина $C_{D,A}$ для гравітаційного або підйомного навантаження визначається так:

load introduced from sheeting to beam;

where:

b_a is the width of the purlin flange [in mm];

b_R is the corrugation width [in mm];

b_T is the width of the sheeting flange through which it is fastened to the purlin;

$b_{T,max}$ is given in Table 10.3;

C_{100} is a rotation coefficient, representing the value of $C_{D,A}$ if b_a = 100 mm.

(6) Provided that there is no insulation between the sheeting and the purlins, the value of the rotation coefficient C_{100} may be obtained from table 10.3.

(7) Alternatively $C_{D,A}$ may be taken as equal to 130p [Nm/m/rad], where p is the number of sheet-to-purlin fasteners per metre length of purlin (but not more than one per rib of sheeting), provided that:

- the flange width b of the sheeting through which it is fastened does not exceed 120 mm;
- the nominal thickness t of the sheeting is at least 0,66 mm;
- the distance a or $b - a$ between the centreline of the fastener and the centre of rotation of the purlin (depending on the direction of rotation), as shown in figure 10.6, is at least 25 mm.

(8) If the effects of cross-section distortion have to be taken into account, see 10.1.5.1, it may be assumed to be realistic to neglect $C_{D,C}$, because the spring stiffness is mainly influenced by the value of $C_{D,A}$ and the cross-section distortion.

(9) Alternatively, values of $C_{D,A}$ may be obtained from a combination of testing and calculation.

(10) If the value of $(1 / K_A + 1 / K_B)$ is obtained by testing (in mm/N in accordance with A.5.3(3)), the values of $C_{D,A}$ for gravity loading and for uplift loading should be determined from:

$$C_{D,A} = \frac{h^2 / l_A}{\left(1/K_A + 1/K_B\right) - 4(1-\nu^2)h^2\left(h_d + b_{\text{mod}}\right)/\left(Et^3 l_B\right)}, \qquad (10.18)$$

де b_{mod}, h і h_d наведено в 10.1.5.1(4), l_A – модульна ширина настилу, що випробовується, l_B – довжина балки, що випробовується.

Примітка. Рекомендації щодо випробувань, див. A.5.3(3).

in which b_{mod}, h and h_d are as defined in 10.1.5.1(4) and l_A is the modular width of tested sheeting and l_B is the length of tested beam.

NOTE: For testing see Annex A.5.3(3).

Таблиця 10.3 – Коефіцієнт повороту C_{100} для сталевого настилу з трапецієподібними гофрами
Table 10.3 – Rotation coefficient C_{100} for trapezoidal steel sheeting

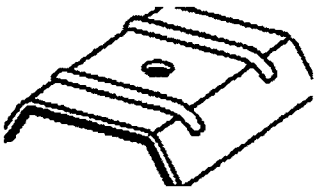
Розташування настилу Positioning of sheeting		Закріплення настилу в полиці Sheet fastened through		Крок закріплень Pitch of fasteners		Діаметр шайби, мм Washer diameter [mm]	C_{100}, кНм/м [kNm/m]	$b_{T,max}$, мм [mm]
Позитивне [1] Positive [1]	Негативне [1] Negative [1]	Нижній Trough	Верхній Crest	$e = b_R$	$e = 2b_R$			
При гравітаційному навантаженні: For gravity loading:								
×		×		×		22	5,2	40
×		×			×	22	3,1	40
	×		×	×		K_a	10,0	40
	×		×		×	K_a	5,2	40
	×	×		×		22	3,1	120
	×	×			×	22	2,0	120
При підйомному навантаженні: For uplift loading:								
×		×		×		16	2,6	40
×		×			×	16	1,7	40

Познаки:
Key:

b_R ширина хвилі;
is the corrugation width;

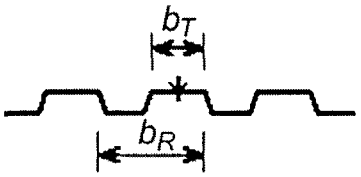
b_T ширина полиці настилу, що кріпиться до прогону.
is the width of the sheeting flange through which it is fastened to the purlin.

K_a позначка сталевої сідлоподібної шайби, що показана нижче, при $t \geq 0{,}75$ мм,
indicates a steel saddle washer as shown below with $t \geq 0{,}75$ mm



Кріплення настилу:
Sheet fastened:
– через нижню полицю:
– through the trough:

– через верхню полицю:
– through the crest:



Величини з цієї таблиці можна застосовувати при:
The values in this table are valid for:

– кріпленні настилу самонарізними ґвинтами діаметром: ∅ = 6,3 мм (mm);
– sheet fastener screws of diameter:

– сталевих шайбах товщиною: $t_w \geq 1{,}0$ мм (mm).
– steel washers of thickness:

[1] Розташування настилу є позитивним, коли він вузькими полицями вкладається на прогін, а негативним – коли широкими полицями.

[1] The position of sheeting in positive when the narrow flange is on the purlin and negative when the wide flange is on the purlin.

10.1.6 *Зусилля і реакції в кріпленнях настилу до прогону*

(1) В кріпленнях настилу до прогону кріпильні вироби повинні перевірятись на сумісну дію зусилля зрізу $q_s e$ перпендикулярного до полиці, і зусилля розтягу $q_t e$, де q_s і q_t можна визначити згідно з таблицею 10.4, а e – крок закріплень. Зусилля зрізу від стабілізуючого ефекту, див. EN1993-1-1, повинно додаватись до зусилля зрізу. До того ж зусилля зрізу від настилу як діафрагми, яке діє паралельно полиці, векторіально додається до q_s.

10.1.6 *Forces in sheet/purlin fasteners and reaction forces*

(1) Fasteners fixing the sheeting to the purlin should be checked for a combination of shear force $q_s e$, perpendicular to the flange, and tension force $q_t e$ where q_s and q_t may be calculated using table 10.4 and e is the pitch of the fasteners. Shear force due to stabilising effect, see EN1993-1-1, should be added to the shear force. Furthermore, shear force due to diaphragm action, acting parallel to the flange, should be vectorially added to q_s.

Таблиця 10.4 – Зусилля зрізу і розтягу в кріпленнях вздовж балки
Table 10.4 – Shear force and tensile force in fastener along the beam

Тип балки і навантаження Beam and loading	Зусилля зрізу на одиницю довжини q_s Shear force per unite length q_s	Зусилля розтягу на одиницю довжини q_t Tensile force per unit length q_t
Z-подібна, гравітаційне навантаження Z-beam, gravity loading	$(1.\xi)k_h q_{Ed}$, можна прийняти таким, що дорівнює 0 $(1.\xi)k_h q_{Ed}$, may be taken as 0	0
Z-подібна, підйомне навантаження Z-beam, uplift loading	$(1.\xi)(k_h - a/h)\, q_{Ed}$	$\lvert \xi k_h q_{Ed}\, h/a \rvert + q_{Ed}$ $(a \cong b/2)$
C-подібна, гравітаційне навантаження C-beam, gravity loading	$(1-\xi)k_h q_{Ed}$	$\xi k_h q_{Ed}\, h/a$
C-подібна, підйомне навантаження C-beam, uplift loading	$(1-\xi)(k_h - a/h)\, q_{Ed}$	$\xi k_h q_{Ed}\, h/a\,(b-a) + q_{Ed}$

(2) Кріпильні вироби в закріпленнях прогонів на опорах необхідно перевіряти на дію в площині стінки реакції R_w і в площині полиць поперечних реакцій R_1 і R_2, див. рисунок 10.8. Зусилля R_1 і R_2 визначаються за формулами, що наведені в таблиці 10.5. Зусилля R_2 включає також скатну складову для покриттів з нахилом. Якщо R_1 позитивна, зусилля в кріпленні відсутнє. R_2 передається настилом на верхню полицю прогону і далі на кроквяну конструкцію (головну балку) завдяки з'єднувальному елементу (опорний елемент), або за допомогою спеціальних зсувних з'єднань безпосередньо на основний або подібний елемент. На проміжних опорах нерозрізних прогонів реакції приймаються у 2,2 раза більше значень, що наведені в таблиці 10.5.

(2) The fasteners fixing the purlins to the supports should be checked for the reaction force R_w in the plane of the web and the transverse reaction forces R_1 and R_2 in the plane of the flanges, see figure 10.8. Forces R_1 and R_2 may be calculated using table 10.5. Force R_2 should also include loads parallel to the roof for sloped roofs. If R_1 is positive there is no tension force on the fastener. R_2 should be transferred from the sheeting to the top flange of the purlin and further on to the rafter (main beam) through the purlin/rafter connection (support cleat) or via special shear connectors or directly to the base or similar element. The reaction forces at an inner support of a continuous purlin may be taken as 2,2 times the values given in table 10.5.

Примітка. Для покриттів з нахилом поперечні навантаження розглядаються як складові вертикального навантаження, що діє перпендикулярно до площини покриття і паралельно – в цій площині.

NOTE: For sloped roofs the transversal loads to the purlins are the perpendicular (to the roof plane) components of the vertical loads and parallel components of the vertical loads are acting on the roof plane.

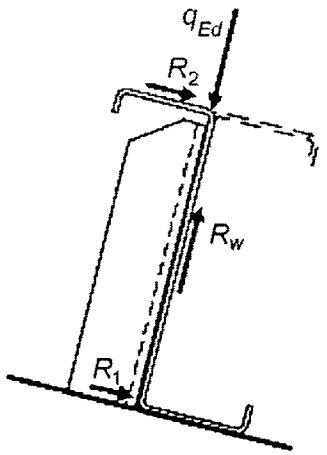


Рисунок 10.8 – Опорні реакції
Figure 10.8 – Reaction forces at support

Таблиця 10.5 – Опорні реакції для вільно обпертої балки
Table 10.5 – Reaction force at support for simply supported beam

Тип балки і навантаження Beam and loading	Реакція на нижній пояс R_1 Reaction force on bottom flange R_1	Реакція на верхній пояс R_2 Reaction force on top flange R_2
Z-подібна, гравітаційне навантаження Z-beam, gravity loading	$(1-\zeta)k_h q_{Ed} L/2$	$(1+\zeta)k_h q_{Ed} L/2$
Z-подібна, підйомне навантаження Z-beam, uplift loading	$-(1-\zeta)k_h q_{Ed} L/2$	$-(1+\zeta)k_h q_{Ed} L/2$
C-подібна, гравітаційне навантаження C-beam, gravity loading	$-(1-\zeta)k_h q_{Ed} L/2$	$(1-\zeta)k_h q_{Ed} L/2$
C-подібна, підйомне навантаження C-beam, uplift loading	$(1-\zeta)k_h q_{Ed} L/2$	$-(1-\zeta)k_h q_{Ed} L/2$

10.2 Касетні профілі з розв'язкою настилом

10.2.1 *Загальні положення*

(1) Касетні профілі – це, як показано на рисунку 10.9, великі швелероподібні профілі з двома стінками, з двома вузькими і з однією широкою загальною полицями. Дві вузькі полиці зверху повинні бути із площини розв'язані сталевим профнастилом, що прикріплюється до них.

(2) Опір зрізу стінок касетних профілів і сприйняття місцевого поперечного навантаження визначається згідно з 6.1.5 – 6.1.11, але з урахуванням величини $M_{c,Rd}$ згідно з (3) або (4).

10.2 Liner trays restrained by sheeting

10.2.1 *General*

(1) Liner trays should be large channel-type sections, with two narrow flanges, two webs and one wide flange, generally as shown in figure 10.9. The two narrow flanges should be laterally restrained by attached profiled steel sheeting.

(2) The resistance of the webs of liner trays to shear forces and to local transverse forces should be obtained using 6.1.5 to 6.1.11, but using the value of $M_{c,Rd}$ given by (3) or (4).

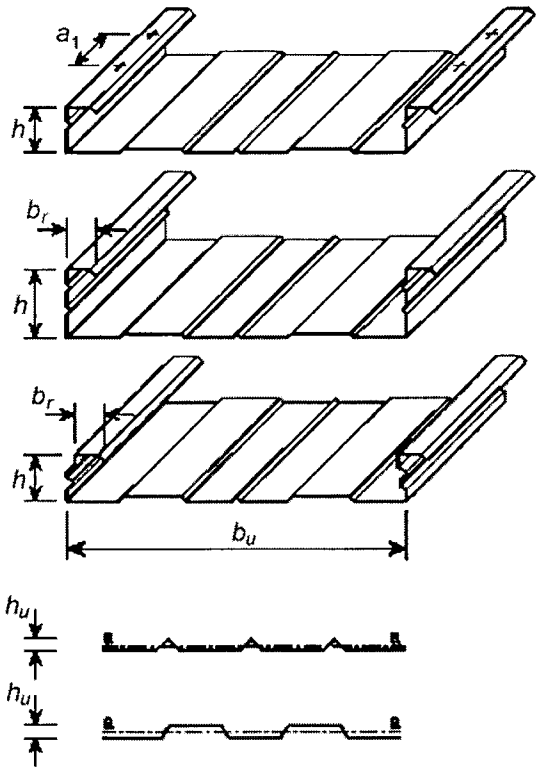


Рисунок 10.9 – Геометрія типового касетного профілю
Figure 10.9 – Typical geometry for liner trays

(3) Опір при дії моменту $M_{c,Rd}$ для касетного профілю визначається згідно з 10.2.2, враховуючи, що:

- їх геометричні розміри в діапазоні згідно з таблицею 10.6;
- висота гофрів широкої полиці не перевищує $h/8$, де h – загальна висота касетного профілю.

(3) The moment resistance $M_{c,Rd}$ of a liner tray may be obtained using 10.2.2 provided that:

- the geometrical properties are within the range given in table 10.6;
- the depth hu of the corrugations of the wide flange does not exceed $h/8$, where h is the overall depth of the liner tray.

Таблиця 10.6 – Діапазон застосування 10.2.2
Table 10.6 – Range of validity of 10.2.2

0,75 мм (mm)	≤	t_{nom} ≤	1,5 мм (mm)
30 мм (mm)	≤	b_f ≤	60 мм (mm)
60 мм (mm)	≤	h ≤	200 мм (mm)
300 мм (mm)	≤	b_u ≤	600 мм (mm)
		I_a/b_u ≤	10 мм^4/мм (mm^4/mm)
		s_1 ≤	1000 мм (mm)

(4) Альтернативно опір при дії моменту для касетного профілю може бути визначений при випробуванні, при цьому місцеві навантаження від випробувального обладнання на елементи перерізу профілю не повинні передаватись.

Примітка. Рекомендації щодо випробувань наведено в додатку А.

(4) Alternatively the moment resistance of a liner tray may be determined by testing provided that it is ensured that the local behaviour of the liner tray is not affected by the testing equipment.

NOTE: Appropriate testing procedures are given in annex A.

10.2.2 *Опір при дії моменту*

10.2.2.1 *Широка полиця стиснута*

(1) При стиснутій широкій полиці касетного профілю опір при дії моменту повинен визначатися за послідовною процедурою, яка наведена на рисунку 10.10:

Етап 1: визначити ефективну площу всіх стиснутих частин поперечного перерізу, беручи до уваги співвідношення напружень $\psi = \sigma_2/\sigma_1$, обчислених для ефективної ширини стиснутих полиць, але при повній площі стінок;

Етап 2: визначити центр тяжіння ефективного поперечного перерізу і обчислити опір при дії моменту за формулою:

10.2.2 *Moment resistance*

10.2.2.1 *Wide flange in compression*

(1) The moment resistance of a liner tray with its wide flange in compression should be determined using the step-by-step procedure outlined in figure 10.10 as follows:

- **Step 1:** Determine the effective areas of all compression elements of the cross-section, based on values of the stress ratio $\psi = \sigma_2/\sigma_1$ obtained using the effective widths of the compression flanges but the gross areas of the webs;
- **Step 2:** Find the centroid of the effective cross-section, then obtain the moment resistance $M_{c,Rd}$ from:

$$M_{c,Rd} = 0{,}8\, W_{eff,\min} f_{yb} / \gamma_{M0}\,, \qquad (10.19)$$

де:

with:

$$W_{eff,\min} = I_{y,eff} / z_c\,, \text{ але (but) } W_{eff,\min} \le I_{y,eff} / z_t;$$

тут z_c і z_t визначаються згідно з рисунком 10.10.

where z_c and z_t are as indicated in figure 10.10.

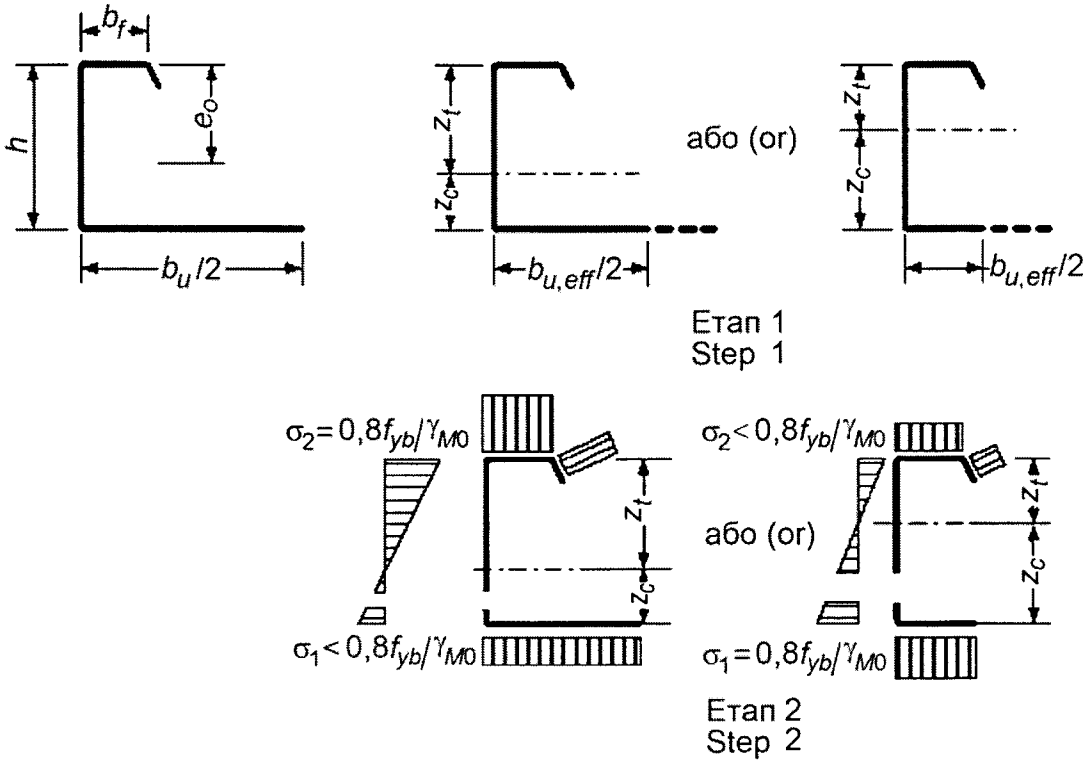


Рисунок 10.10 – Визначення опору при дії моменту – широка полиця стиснута

Figure 10.10 – Determination of moment resistance – wide flange in compression

10.2.2.2 *Широка полиця розтягнена*

(1) Граничний момент для касетного профілю при розтягненій широкій полиці повинен визначатися за послідовною процедурою, яка наведена на рисунку 10.11:

Етап 1: визначити центр тяжіння повного поперечного перерізу;

Етап 2: визначити ефективну ширину полиці $b_{u,eff}$ з урахуванням можливого викривлення за формулою:

10.2.2.2 *Wide flange in tension*

(1) The moment resistance of a liner tray with its wide flange in tension should be determined using the step-by-step procedure outlined in figure 10.11 as follows:

- Step 1: Locate the centroid of the gross cross-section;
- **Step 2:** Obtain the effective width of the wide flange $b_{u,eff}$, allowing for possible flange curling, from:

$$b_{u,eff} = \frac{53,3 \cdot 10^{10} e_o^2 t^3 t_{eq}}{hLb_u^3}, \qquad (10.20)$$

де

b_u – повна ширина широкої полиці;

e_o – відстань від центральної осі повного поперечного перерізу до центральної осі вузьких полиць;

h – загальна висота касетного профілю;

L – проліт касетного профілю;

t_{eq} – еквівалентна товщина широкої полиці:

where:

b_u the overall width of the wide flange;

e_o the distance from the centroidal axis of the gross cross-section to the centroidal axis of the narrow flanges;

h the overall depth of the liner tray;

L the span of the liner tray;

t_{eq} the equivalent thickness of the wide flange, given by:

$$t_{eq} = \left(12 I_a / b_u\right)^{1/3};$$

I_a – момент інерції широкої полиці відносно центра тяжіння, див. рисунок 10.9.

Етап 3: визначити ефективну площу стиснутих частин поперечного перерізу, беручи до уваги співвідношення напружень $\psi = \sigma_2/\sigma_1$, обчислених для ефективної ширини полиць, але при повній площі стінок;

Етап 4: визначити центр тяжіння ефективного поперечного перерізу і опір втраті стійкості $M_{b,Rd}$ при дії моменту за таким виразом:

I_a the second moment of area of the wide flange, about its own centroid, see figure 10.9.

- **Step 3:** Determine the effective areas of all the compression elements, based on values of the stress ratio $\psi = \sigma_2/\sigma_1$ obtained using the effective widths of the flanges but the gross areas of the webs;
- **Step 4:** Find the centroid of the effective cross-section, then obtain the buckling resistance moment $M_{b,Rd}$ using:

$$M_{b,Rd} = 0,8\beta_b W_{eff,com} f_{yb} / \gamma_{M0}, \text{ але (but) } M_{b,Rd} \le 0,8 W_{eff,t} f_{yb} / \gamma_{M0}, \qquad (10.21)$$

де:

with:

$$W_{eff,com} \le I_{y,eff} / z_c,$$

$$W_{eff,t} \le I_{y,eff} / z_t,$$

поправочний коефіцієнт β_b приймається при:

in which the correlation factor β_b is given by the following:

– $s_1 \le 300$ мм:

– if $s_1 \le 300$ mm:

$$\beta_b = 1,0,$$

– 300 мм $\le s_1 \le$ 1000 мм:

– if 300 mm $\le s_1 \le$ 1000 mm:

$$\beta_b = 1,5 - s_1/2000,$$

де:

s_1 – крок кріпильних виробів, що розкріплюють верх вузьких полиць із площини, див. рисунок 10.9.

(2) Ефекти запізнення зсуву не враховуються при $L/b_{u,eff} \geq 25$, а в іншому випадку понижувальний коефіцієнт ρ повинен визначатись згідно з 6.1.4.3.

(3) Викривлення полиці при визначенні прогинів не враховується.

(4) В практиці опір при дії моменту для касетного профілю з широкою полицею без елементів жорсткості спрощено може бути розрахований, прийнявши ефективну площу розтягнутої широкої полиці, що дорівнює площі перерізу двох стиснутих вузьких полиць.

where:

s_1 is the longitudinal spacing of fasteners supplying lateral restraint to the narrow flanges, see figure 10.9.

(2) The effects of shear lag need not be considered if $L/b_{u,eff} \geq 25$. Otherwise a reduced value of ρ should be determined as specified in 6.1.4.3.

(3) Flange curling need not be taken into account in determining deflections at serviceability limit states.

(4) As a simplified alternative, the moment resistance of a liner tray with an unstiffened wide flange may be approximated by taking the same effective area for the wide flange in tension as for the two narrow flanges in compression combined.

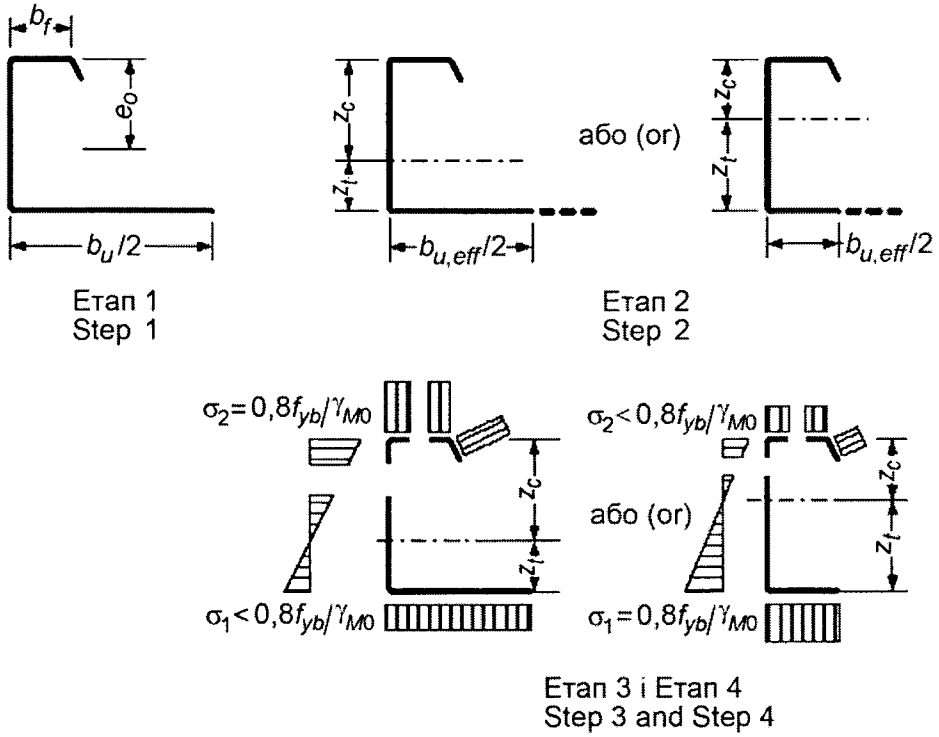


Рисунок 10.11 – Визначення опору при дії моменту – широка полиця розтягнута

Figure 10.11 – Determination of moment resistance – wide flange in tension

10.3 Врахування діафрагм жорсткості при проектуванні

10.3.1 *Загальні положення*

(1) Взаємодія конструктивних елементів і настилу як окремих частин, що разом створюють комбіновану конструкцію, розглядається у 10.3.

10.3 Stressed skin design

10.3.1 *General*

(1) The interaction between structural members and sheeting panels that are designed to act together as parts of a combined structural system, may be allowed for as described in this clause 10.3.

(2) Вимоги цього розділу повинні застосовуватись тільки до листових діафрагм, що виготовлені зі сталі.

(3) Діафрагми можуть створюватись профнастилом, що використовується в покриттях, перекриттях і стінових огорожах. Вони можуть також створюватись касетними профілями в стінових огорожах і покриттях.

Примітка. Інформацію щодо розрахунку таких діафрагм можна отримати із:
ECCS Публікація № 88 (1995): Європейські рекомендації щодо застосування металевих настилів, які діють як діафрагми.

(2) The provisions given in this clause should be applied only to sheet diaphragms that are made of steel.

(3) Diaphragms may be formed from profiled sheeting used as roof or wall cladding or for floors. They may also be formed from wall or roof structures based upon liner trays.

NOTE: Information on the verification of such diaphragms may be obtained from:
ECCS Publication No. 88 (1995): European recommendations for the application of metal sheeting acting as a diaphragm.

10.3.2 *Вплив діафрагми*

(1) При розрахунку напружених обшивок треба брати до уваги, що завдяки зсувній жорсткості і міцності діафрагми з настилів в покриттях, перекриттях і стінових огорожах підвищують загальну жорсткість і міцність каркасів в цілому.

(2) Покриття і перекриття розглядаються як балки-стінки, що розташовуються по довжині будівлі, сприймають в своїй площині горизонтальні навантаження і передають їх на торці або на проміжні в'язеві рами. Настил розглядається як стінка балки, що сприймає в своїй площині зсувне горизонтальне навантаження, а крайні елементи як пояси балки, що сприймають осьові зусилля розтягу і стиску, див. рисунки 10.12 і 10.13.

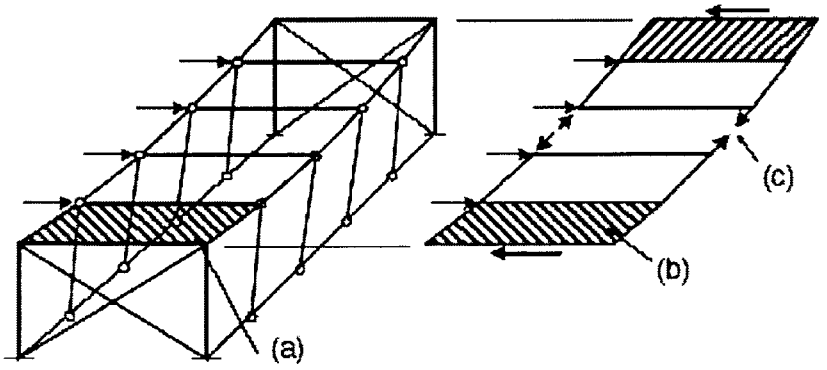
(3) Прямокутні стінові панелі розглядаються спрощено як в'язеві системи – діафрагми, які сприймають зусилля у своїй площині.

10.3.2 *Diaphragm action*

(1) In stressed skin design, advantage may be taken of the contribution that diaphragms of sheeting used as roofing, flooring or wall cladding make to the overall stiffness and strength of the structural frame, by means of their stiffness and strength in shear.

(2) Roofs and floors may be treated as deep plate girders extending throughout the length of a building, resisting transverse in-plane loads and transmitting them to end gables, or to intermediate stiffened frames. The panel of sheeting may be treated as a web that resists in-plane transverse loads in shear, with the edge members acting as flanges that resist axial tension and compression forces, see figures 10.12 and 10.13.

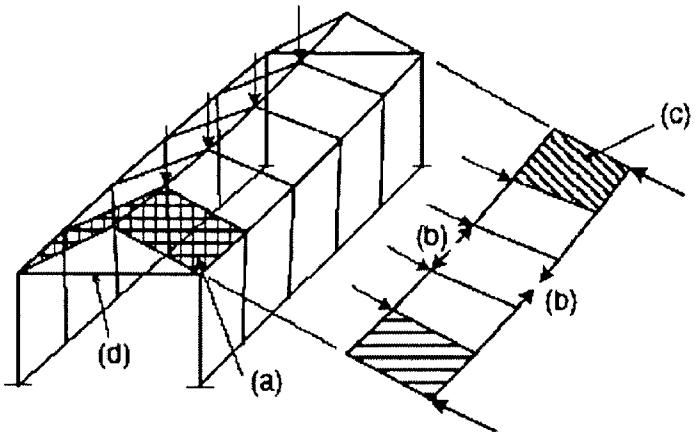
(3) Similarly, rectangular wall panels may be treated as bracing systems that act as shear diaphragms to resist in-plane forces.



Познаки:
a – настил
b – зона зсуву в настилі
c – поясні зусилля в крайніх елементах

Key:
(a) Sheeting
(b) Shear field in sheeting
c) Flange forces in edge members

Рисунок 10.12 – Діафрагма з настилу плоского покриття будівлі
Figure 10.12 – Stressed skin action in a flat-roof building



Позначки:
a – настил
b – поясні зусилля в крайніх елементах
c – зона зсуву в настилі
d – затяжка для сприйняття зусиль від настилу покриття

Key:
(a) Sheeting
(b) Flange forces in edge members
(c) Shear field in sheeting
(d) Gable tie required to resist forces in roof sheeting

Рисунок 10.13 – Діафрагма з настилу двоскатного покриття будівлі
Figure 10.13 – Stressed skin action in a pitched roof building

10.3.3 *Обов'язкові умови*

(1) Методи розрахунку напружених обшивок (діафрагм), що є складовою частиною каркаса, можна застосовувати за умови, що:

- настил, окрім виконання основної функції, повинен мати зсувну жорсткість, достатню для виключення можливості переміщення конструкції в своїй площині;
- діафрагми повинні мати повздовжні крайові елементи, які здатні сприймати зусилля, що виникають при діафрагмовій роботі;
- зусилля від діафрагм покриттів і перекриттів передаються на фундаменти в'язевими рамами, іншими діафрагмами або іншими методами, які перешкоджають зміщенню рам;
- використовуються відповідні з'єднання, що передають зусилля від діафрагми на основний сталевий каркас і об'єднують крайові елементи при роботі їх в якості поясів;
- настил розглядається як конструктивна частина, що не може бути видалена без відповідної компенсації;
- в розрахунках і кресленнях при проектуванні необхідно акцентувати увагу на те, що будівля запроектована з урахуванням роботи діафрагми жорсткості;
- для настилу, орієнтованого гофрами вздовж покриття, зусилля в поясах при діафрагмовій роботі сприймаються настилом.

10.3.3 *Necessary conditions*

(1) Methods of stressed skin design that utilize sheeting as an integral part of a structure, may be used only under the following conditions:

- the use made of the sheeting, in addition to its primary purpose, is limited to the formation of shear diaphragms to resist structural displacement in the plane of that sheeting;
- the diaphragms have longitudinal edge members to carry flange forces arising from diaphragm action;
- the diaphragm forces in the plane of a roof or floor are transmitted to the foundations by means of braced frames, further stressed-skin diaphragms, or other methods of sway resistance;
- suitable structural connections are used to transmit diaphragm forces to the main steel framework and to join the edge members acting as flanges;
- the sheeting is treated as a structural component that cannot be removed without proper consideration;
- the project specification, including the calculations and drawings, draws attention to the fact that the building is designed to utilize stressed skin action;
- in sheeting with the corrugation oriented in the longitudinal direction of the roof the flange forces due to diaphragm action may be taken up by the sheeting.

(2) Робота настилів як діафрагм жорсткості враховується при розрахунках, насамперед, низьких будівель або в перекриттях і на фасадах високих будівель.

(3) Напружені обшивки діафрагм рекомендується використовувати для сприйняття вітрових, снігових, а також інших навантажень, які передаються на конструкції безпосередньо через настил. Вони можуть також використовуватись для сприйняття незначних рухомих навантажень, наприклад, гальмівних зусиль легких підвісних кранів або підйомників на монореях, але не можуть використовуватись для сприйняття довготривалих зовнішніх навантажень, наприклад, від обладнання.

10.3.4 ***Діафрагми із сталевих профлистів***

(1) В діафрагмі із сталевого профнастилу, див. рисунок 10.14, обидва торці листів повинні бути закріплені на опорних елементах самонарізними ґвинтами, дюбелями, зварюванням, болтами або іншими типами кріплень, які не висмикуються, або не зрізаються до руйнування настилу. Всі типи кріплень повинні встановлюватись в опорний елемент безпосередньо через настил, наприклад, через гофри профлистів, якщо розрахунком не передбачено інші заходи щодо забезпечення ефективної передачі зусиль.

(2) Повздовжні стики суміжних листів повинні виконуватись на заклепках, самонарізних ґвинтах, зварюванням або в будь-який інший спосіб і не повинні висмикуватись або зрізатись до руйнування настилу. Крок кріплень не повинен бути більшим ніж 500 мм.

(3) Відстані від усіх типів кріплень до країв або торців листів повинні бути достатніми для виключення передчасного руйнування настилу.

(4) Невеличкі, будь-як розташовані отвори, що утворюються на площі не більше ніж 3 % від загальної площі перекриття, можуть бути утворені без спеціального розрахунку за умови, що загальна кількість кріплень не зменшилась. Отвори, що розташовуються на площі до 15 % від загальної площі перекриття (площі поверхні діаграми, що враховується для розрахунку), розміщуються згідно з детальним розрахунком. Ділянки із значними отворами повинні бути розділені на менші ділянки, кожна з яких працює як окрема діафрагма.

(2) Stressed skin design may be used predominantly in low-rise buildings, or in the floors and facades of highrise buildings.

(3) Stressed skin diaphragms may be used predominantly to resist wind loads, snow loads and other loads that are applied through the sheeting itself. They may also be used to resist small transient loads, such as surge from light overhead cranes or hoists on runway beams, but may not be used to resist permanent external loads, such as those from plant.

10.3.4 ***Profiled steel sheet diaphragms***

(1) In a profiled steel sheet diaphragm, see figure 10.14, both ends of the sheets should be attached to the supporting members by means of self-tapping screws, cartridge fired pins, welding, bolts or other fasteners of a type that will not work loose in service, pull out, or fail in shear before causing tearing of the sheeting. All such fasteners should be fixed directly through the sheeting into the supporting member, for example through the troughs of profiled sheets, unless special measures are taken to ensure that the connections effectively transmit the forces assumed in the design.

(2) The seams between adjacent sheets should be fastened by rivets, self-drilling screws, welds, or other fasteners of a type that will not work loose in service, pull out, or fail in shear before causing tearing of the sheeting. The spacing of such fasteners should not exceed 500 mm.

(3) The distances from all fasteners to the edges and ends of the sheets should be adequate to prevent premature tearing of the sheets.

(4) Small randomly arranged openings, up to 3 % of the relevant area, may be introduced without special calculation, provided that the total number of fasteners is not reduced. Openings up to 15 % of the relevant area (the area of the surface of the diaphragm taken into account for the calculations) may be introduced if justified by detailed calculations. Areas that contain larger openings should be split into smaller areas, each with full diaphragm action.

(5) Усі настили, якими утворюється діафрагма, в першу чергу повинні розраховуватись на згин. Для недопущення зниження несучої здатності настилу при згині, коли він одночасно використовується і як діафрагма жорсткості, напруження в ньому від роботи як діафрагми не повинно перевищувати $0,25 f_{yb} / \gamma_{M1}$.

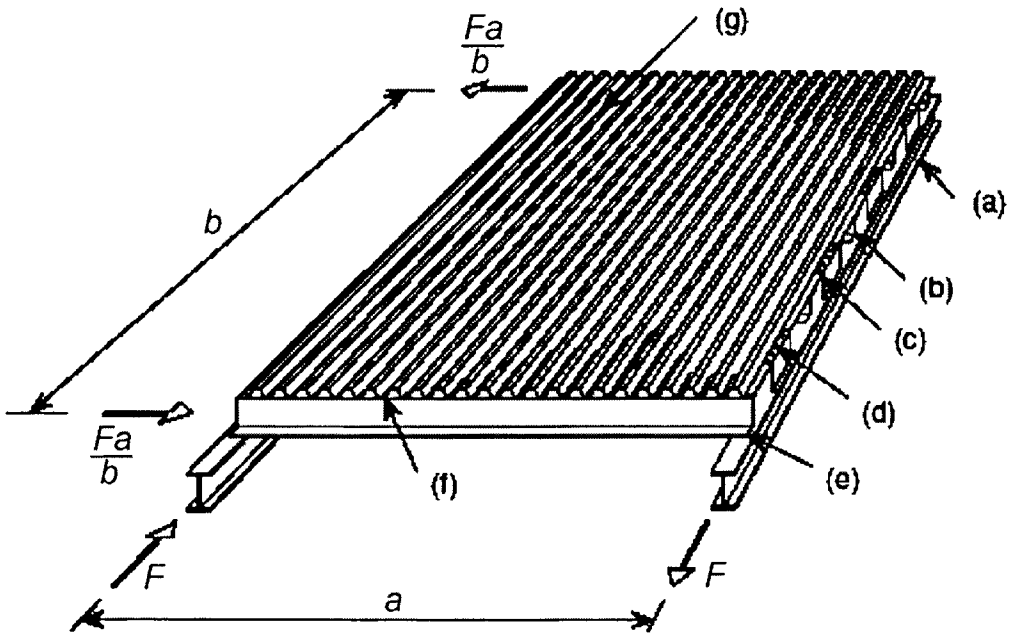
(6) Опір діафрагми зсуву повинен визначатись мінімальною величиною граничної міцності повздовжніх стиків або кріплень настилу на опорах паралельно гофрам або для діафрагм, закріплених тільки по повздовжніх крайових елементах і з кріпленням листів настилу по торцях. Розрахунковий опір зсуву діафрагми повинен перевищувати цей рівень при:

- руйнуванні кріплень листів до прогонів від зсуву і від'ємної дії вітру не менше ніж на 40 %;
- будь-якій іншій формі руйнування не менше ніж на 25 %.

(5) All sheeting that also forms part of a stressed-skin diaphragm should first be designed for its primary purpose in bending. To ensure that any deterioration of the sheeting would be apparent in bending before the resistance to stressed skin action is affected, it should then be verified that the shear stress due to diaphragm action does not exceed $0,25 f_{yb} / \gamma_{M1}$.

(6) The shear resistance of a stressed-skin diaphragm should be based on the least tearing strength of the seam fasteners or the sheet-to-member fasteners parallel to the corrugations or, for diaphragms fastened only to longitudinal edge members, the end sheet-to-member fasteners. The calculated shear resistance for any other type of failure should exceed this minimum value by at least the following:

- for failure of the sheet-to-purlin fasteners under combined shear and wind uplift, by at least 40 %;
- for any other type of failure, by at least 25 %.



Познаки:
a – кроква
b – прогін
c – в'язь проти зсуву
d – кріплення настилу до в'язі зсуву
e – прогін
f – кріплення настилу до прогону
g – кріплення суміжних листів

Key:
(a) Rafter
(b) Purlin
(c) Shear connector
(d) Sheet-to-shear connector fastener
(e) Purlin
(f) Sheet-to-purlin fastener
(g) Seam fastener

Рисунок 10.14 – Схема окремої панелі
Figure 10.14 – Arrangement of an individual panel

10.3.5 *Діафрагми із сталевих касетних профілів*

(1) Для утворення діафрагм широкі полиці касетних профілів повинні мати підсилену жорсткість.

(2) Касетні профілі в діафрагмах повинні з'єднуватись між собою по стінках повздовжніх країв на кріпильних виробах (як правило, на заклепках), з кроком закріплень e_s не більше ніж 300 мм на відстані e_u не більше ніж 30 мм від широкої полиці, як показано на риунку 10.15.

10.3.5 *Steel liner tray diaphragms*

(1) Liner trays used to form shear diaphragms should have stiffened wide flanges.

(2) Liner trays in shear diaphragms should be inter-connected by seam fasteners through the web at a spacing e_s of not more than 300 mm by seam fasteners (normally blind rivets) located at a distance e_u from the wide flange of not more than 30 mm, all as shown in figure 10.15.

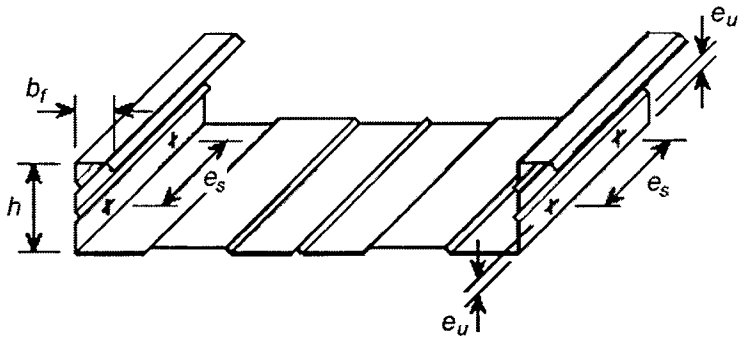


Рисунок 10.15 – Розташування кріпильних виробів у повздовжніх стиках
Figure 10.15 – Location of seam fastenersl

(3) Для більш точної оцінки дефектів у з'єднанні можна застосовувати методику таку ж, яка прийнята для настилів із профлистів з трапецієподібними гофрами.

(3) An accurate evaluation of deflections due to fasteners may be made using a similar procedure to that for trapezoidal profiled sheeting.

(4) В граничному стані за несучою здатністю зсувна сила $T_{v,Ed}$ від розрахункових навантажень не повинна перевищувати $T_{v,Rd}$:

(4) The shear flow $T_{v,Ed}$ due to ultimate limit states design loads should not exceed $T_{v,Rd}$ given by:

$$T_{v,Rd} = 8,43E\sqrt[4]{I_a(t/b_u)^9}, \qquad (10.22)$$

де:

I_a – момент інерції широкої полиці відносно власної осі, див. рисунок 10.9;

b_u – загальна ширина широкої полиці.

where:

I_a is the second moment of area of the wide flange about it own centroid, see figure 10.9;

b_u is the overall width of the wide flange.

(5) Зсувна сила $T_{v,ser}$ від нормативних навантажень не повинна перевищувати $T_{v,Cd}$:

(5) The shear flow $T_{v,ser}$ due to serviceability design loads should not exceed $T_{v,Cd}$ given by:

$$T_{v,Cd} = S_v/375, \qquad (10.23)$$

де:

S_v – зсувна жорсткість діафрагми на одиницю довжини прольоту касетних профілів.

where:

S_v is the shear stiffness of the diaphragm, per unit length of the span of the liner trays.

(6) Зсувна жорсткість S_v на одиницю довжини може бути визначена за формулою:

(6) The shear stiffness S_v per unit length may be obtained from:

$$S_v = \frac{\alpha L b_u}{e_s(b - b_u)}, \qquad (10.24)$$

де:

L – загальна довжина діафрагми (вздовж прольоту касетних профілів);

b – ширина діафрагми ($b = \sum b_u$);

α – коефіцієнт жорсткості.

(7) Коефіцієнт жорсткості α із запасом приймається 2000 Н/мм, якщо відсутні більш точні дані, що отримані за результатами випробувань.

where:

L is the overall length of the shear diaphragm (in the direction of the span of the liner trays);

b is the overall width of the shear diaphragm ($b = \sum b_u$);

α is the stiffness factor.

(7) The stiffness factor α may be conservatively be taken as equal to 2000 N/mm unless more accurate values are derived from tests.

10.4 Перфорований настил

(1) Перфорований настил з отворами, розташованими у формі рівностороннього трикутника, може бути розрахований за правилами для суцільного настилу за умови модифікації їх введенням ефективної товщини у відповідності з наведеним нижче.

Примітка. Такі правила розрахунку надають значення із запасом. Більш точні економічні рішення можуть бути отримані розрахунком за результатами випробувань, див. розділ 9.

(2) При виконанні умови $0,2 \le d/a \le 0,9$ характеристики повного перерізу розраховуються згідно з 5.1, але із заміною t на $t_{a,eff}$, яка визначається за виразом:

10.4 Perforated sheeting

(1) Perforated sheeting with the holes arranged in the shape of equilateral triangles may be designed by calculation, provided that the rules for non-perforated sheeting are modified by introducing the effective thicknesses given below.

NOTE: These calculation rules tend to give rather conservative values. More economical solutions might be obtained from design assisted by testing, see Section 9.

(2) Provided that $0,2 \le d/a \le 0,9$ gross section properties may be calculated using 5.1, but replacing t by $t_{a,eff}$ obtained from:

$$t_{a,eff} = 1,18t\left(1-\frac{d}{0,9a}\right), \qquad (10.25)$$

де:

d – діаметр отвору перфорації;

a – відстань між центрами отворів перфорації.

where:

d is the diameter of the perforations;

a is the spacing between the centres of the perforations.

(3) При виконанні умови $0,2 \le d/a \le 0,9$ характеристики ефективного перерізу розраховуються згідно з розділом 5, але із заміною t на $t_{b,eff}$, яка визначається за виразом:

(3) Provided that $0,2 \le d/a \le 0,9$ effective section properties may be calculated using Section 5, but replacing t by $t_{b,eff}$ obtained from:

$$t_{b,eff} = t\sqrt[3]{1,18(1-d/a)}\,. \qquad (10.26)$$

(4) Опір однієї стінки при дії місцевої поперечної сили розраховується згідно з 6.1.9 із заміною t на $t_{c,eff}$, яка визначається за виразом:

(4) The resistance of a single web to local transverse forces may be calculated using 6.1.9, but replacing t by $t_{c,eff}$ obtained from:

$$t_{c,eff} = t\left[1-(d/a)^2\, s_{per}/s_w\right]^{3/2}, \qquad (10.27)$$

де:

s_{per} – висота частини перфорованої стінки за нахилом;

s_w – загальна висота стінки за нахилом.

where:

s_{per} is the slant height of the perforated portion of the web;

s_w is the total slant height of the web.

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

МЕТОДИ ВИПОБУВАНЬ

А.1 Загальні положення

(1) В цьому додатку наведені відповідні стандартні методики проведення випробувань і обробки результатів, які необхідні для розрахунків.

Примітка 1. При застосуванні холодноформованих елементів і профлистів, як правило, використовується багато стандартних виробів, розрахунки яких можуть не дати економічних рішень, тому здебільшого перевага надається проектуванню за результатами випробувань.

Примітка 2. У Національному додатку може бути наведена додаткова інформація щодо випробувань.

Примітка 3. У Національному додатку можуть бути наведені коефіцієнти для коригування вже існуючих результатів випробувань до еквівалентних результатів стандартних випробувань, проведених відповідно до цього додатка.

(2) Цей додаток застосовується при випробуванні:

- профлистів і касетних профілів, див. А.2;
- холодноформованих профілів, див. А.3;
- конструкцій в цілому та їх частин, див. А.4;
- балок, розкріплених від крутіння, див. А.5;
- при обробці результатів для визначення розрахункових значень, див. А.6.

А.2 Випробування профлистів і касетних профілів

А.2.1 *Загальні положення*

(1) Дана методика представлена для профлистів, але, незважаючи на це, засновані на тих же принципах методики випробувань можуть використовуватися також і для касетних профілів та інших типів настилів (наприклад, настилів, вказаних в EN 508).

(2) Навантаження може прикладатись за допомогою повітряних мішків або вакуумної камери, системи зі сталевих або дерев'яних поперечних балок, що створюють навантаження, наближене до рівномірно розподіленого.

ANNEX A
[normative]

TESTING PROCEDURES

A.1 General

(1) This annex A gives appropriate standardized testing and evaluation procedures for a number of tests that are required in design.

NOTE 1: In the field of cold-formed members and sheeting, many standard products are commonly used for which design by calculation might not lead to economical solutions, so it is frequently desirable to use design assisted by testing.

NOTE 2: The National Annex may give further information on testing.

NOTE 3: The National Annex may give conversion factors for existing test results to be equivalent to the outcome of standardised tests according to this annex.

(2) This annex covers:

- tests on profiled sheets and liner trays, see A.2;
- tests on cold-formed members, see A.3;
- tests on structures and portions of structures, see A.4;
- tests on torsionally restrained beams, see A.5;
- evaluation of test results to determine design values, see A.6.

A.2 Tests on profiled sheets and liner trays

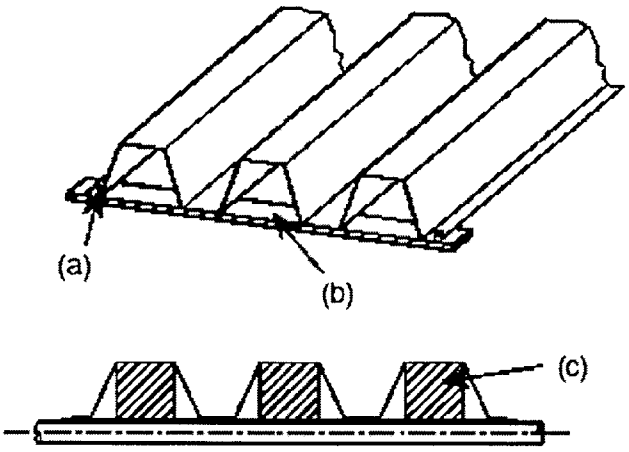
A.2.1 *General*

(1) Although these test procedures are presented in terms of profiled sheets, similar test procedures based on the same principles may also be used for liner trays and other types of sheeting (e.g. sheeting mentioned in EN 508).

(2) Loading may be applied through air bags or in a vacuum chamber or by steel or timber cross beams arranged to approximate uniformly distributed loading.

(3) Для виключення при випробуваннях зминання гофрів зразків можуть бути застосовані поперечні в'язі або інші пристосування, такі як дерев'яні бруси. Деякі приклади наведено на рисунку А.1.

(3) To prevent spreading of corrugations, transverse ties or other appropriate test accessories such as timber blocks may be applied to the test specimen. Some examples are given in figure A.1.



Познаки:
a –заклепка або ґвинт
b – поперечна в'язь (металева штаба)
c – дерев'яні бруси

Key:
(a) Rivet or screw
(b) Transverse tie (metal strip)
(c) Timber blocks

Рисунок А.1 – Приклади відповідних пристосувань для випробувань
Figure A.1 – Examples of appropriate test accessories

(4) Для випробувань на підйомне навантаження випробувальна установка повинна імітувати дійсну роботу профлиста за реальних умов, що виникають при експлуатації. Тип з'єднань листів до опор повинен бути таким же, який використовується на практиці.

(4) For uplift tests, the test set-up should realistically simulate the behaviour of the sheeting under practical conditions. The type of connections between the sheet and the supports should be the same as in the connections to be used in practice.

(5) Щоб отримати результати з широкою сферою застосування і виключити вплив защемлення на опорах на результати випробувань, бажано використовувати шарнірне або коткове обпирання.

(5) To give the results a wide range of applicability, hinged and roller supports should preferably be used, to avoid any influence of rotational restraint at the supports on the test results.

(6) Напрямок навантаження повинен залишатися перпендикулярним до початкової поверхні листа протягом усього процесу випробувань.

(6) It should be ensured that the direction of the loading remains perpendicular to the initial plane of the sheet throughout the test procedure.

(7) Для виключення впливу деформації опор повинні також вимірюватися прогини на обох кінцях зразків.

(7) To eliminate the deformations of the supports, the deflections at both ends of the test specimen should also be measured.

(8) Результат випробування – це максимальна величина навантаження, що безпосередньо призвела до руйнування зразка або передувала цьому руйнуванню.

(8) The test result should be taken as the maximum value of the loading applied to the specimen either coincident with failure or immediately prior to failure as appropriate.

A.2.2 *Випробування однопрольотних зразків*

(1) Випробування згідно з рисунком А.2 може бути використано для визначення опору при дії моменту в середині прольоту (за відсутності сили зсуву) і ефективної згинальної жорсткості.

(2) Проліт повинен обиратись так, щоб результати випробувань дозволяли оцінити опір зразка при згині.

(3) Опір при дії моменту повинен визначатись за результатами випробувань.

(4) Згинальна жорсткість повинна визначатись за графіком залежності прогину від навантаження.

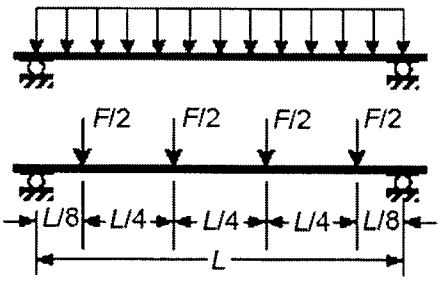
A.2.2 *Single span test*

(1) A test set-up equivalent to that shown in figure A.2 may be used to determine the midspan moment resistance (in the absence of shear force) and the effective flexural stiffness.

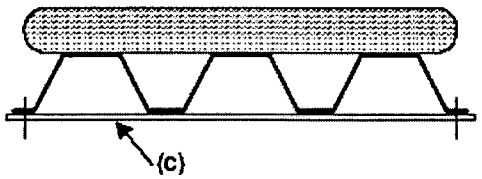
(2) The span should be chosen such that the test results represent the moment resistance of the sheet.

(3) The moment resistance should be determined from the test result.

(4) The flexural stiffness should be determined from a plot of the load-deflection behaviour.

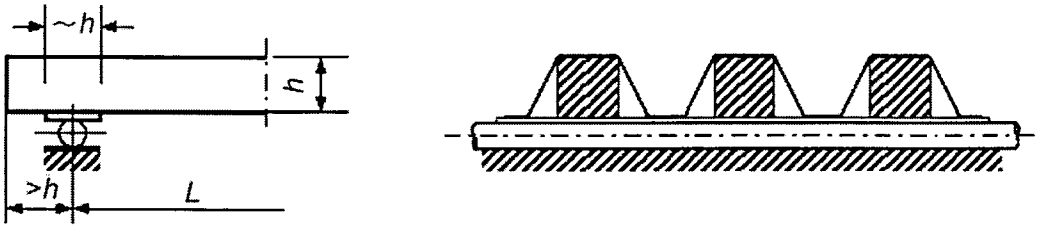


a) Рівномірно розподілене навантаження і приклад альтернативних еквівалентних зосереджених навантажень
a) Uniformly distributed loading and an example of alternative equivalent line loads

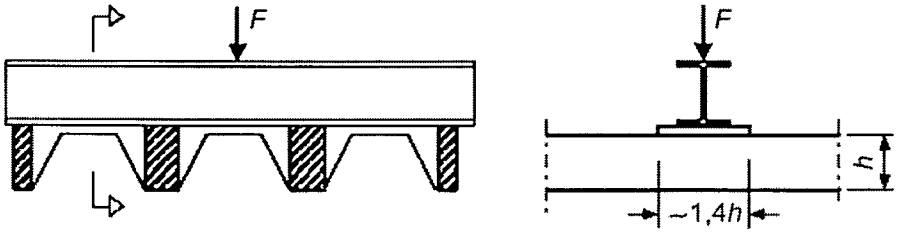


c – поперечна в'язь
(c) Transverse tie

b) Розподілене навантаження, прикладене за допомогою повітряного мішка (у якості альтернативи за допомогою вакуумного стенда)
b) Distributed loading applied by an airbag (alternatively by a vacuum test rig)



c) Приклад опорних пристосувань проти зминання
c) Example of support arrangements for preventing distortion



d) Приклад способу прикладення зосередженого навантаження
d) Example of method of applying a line load

Рисунок А.2 – Основні дані для випробувань однопрольотних зразків
Figure A.2 – Test set-up for single span tests

A.2.3 *Випробування двопрольотних зразків*

(1) Випробування згідно з рисунком A.3 може бути використане для визначення опору нерозрізного дво- або багатопрольотного зразка від одночасної дії на проміжних опорах моменту і зсувної сили та його опору спільній дії моменту і опорної реакції для даної ширини опори.

(2) Навантаження повинно бути переважно рівномірно розподіленим (наприклад, прикладеним з використанням повітряного мішка або вакуум-камери).

(3) У якості альтернативи може бути використане будь-яке число зосереджених навантажень (поперек прольоту), розташованих для створення моментів і сил, відповідних ефектам від рівномірно розподіленого навантаження. Деякі приклади раціональних схем наведено на рисунку A.4.

A.2.3 *Double span test*

(1) The test set-up shown in figure A.3 may be used to determine the resistance of a sheet that is continuous over two or more spans to combinations of moment and shear at internal supports, and its resistance to combined moment and support reaction for a given support width.

(2) The loading should preferably be uniformly distributed (applied using an air bag or a vacuum chamber, for example).

(3) Alternatively any number of line loads (transverse to the span) may be used, arranged to produce internal moments and forces that are appropriate to represent the effects of uniformly distributed loading. Some examples of suitable arrangements are shown in figure A.4.

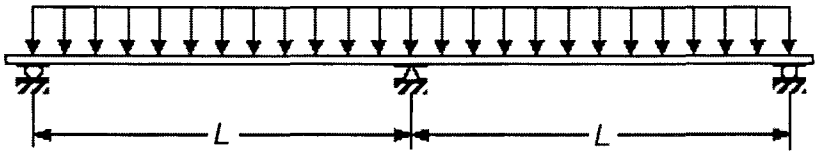


Рисунок A.3 – Схема випробувань двопрольотних зразків
Figure A.3 – Test setup for double span tests

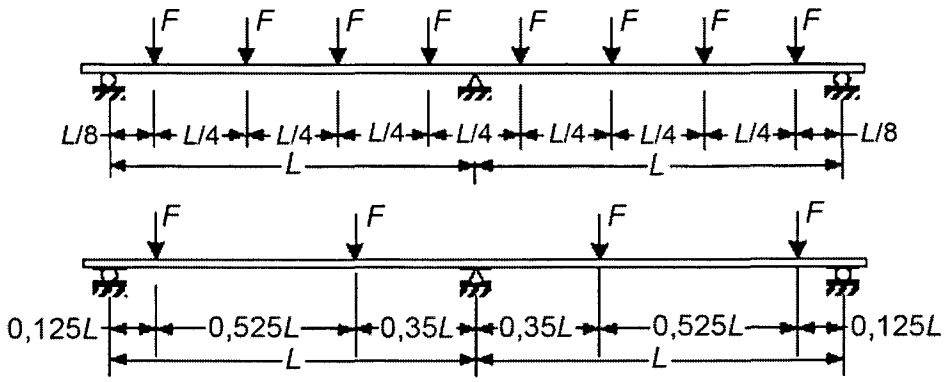


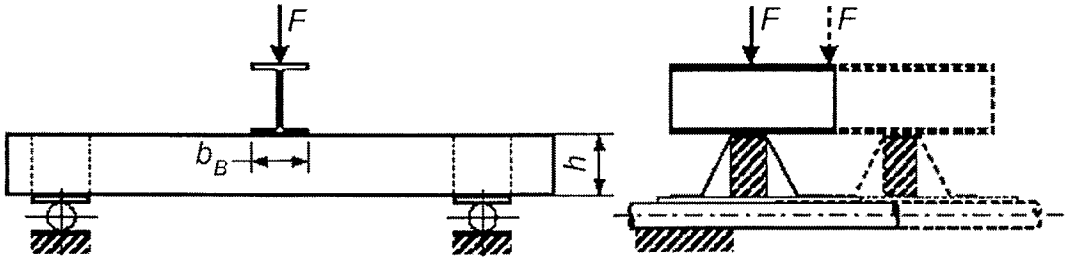
Рисунок A.4 – Приклади можливих схем прикладення зосереджених навантажень
Figure A.4 – Examples of suitable arrangements of alternative line loads

A.2.4 *Випробування на проміжній опорі*

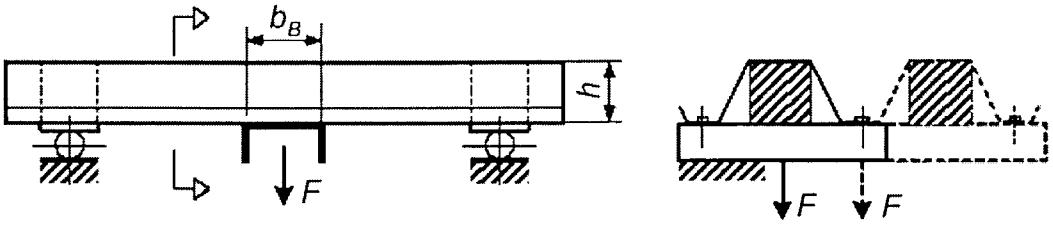
(1) У якості альтернативи до A.2.3 для визначення опору нерозрізного дво- або багатопрольотного листа при спільній дії моменту й поперечної сили на проміжних опорах та його опору спільній дії моменту й опорної реакції для даної ширини опори може бути використана схема, що вказана на рисунку A.5.

A.2.4 *Internal support test*

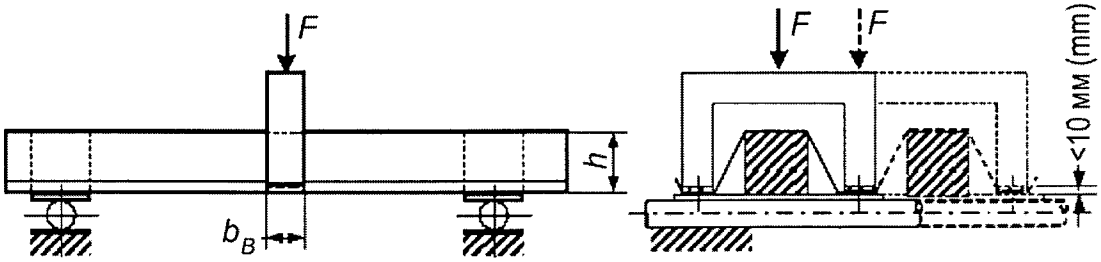
(1) As an alternative to A.2.3, the test set-up shown in figure A.5 may be used to determine the resistance of a sheet that is continuous over two or more spans to combinations of moment and shear at internal supports, and its resistance to combined moment and support reaction for a given support width.



a) Проміжна опора під гравітаційним навантаженням
a) Internal support under gravity loading



b) Проміжна опора при підйомному навантаженні
b) Internal support under uplift loading



c) Проміжна опора при навантаженні, прикладеному до розтягнутої полиці
c) Internal support with loading applied to tension flange

Рисунок А.5 – Схеми випробувань на проміжній опорі
Figure A.5 – Test set-up for internal support test

(2) Проліт зразка s, що використовується для зображення частини настилу між точками перегину з кожної сторони від проміжної опори в нерозрізному листі із двома або більше рівними прольотами L, приймається за виразом:

(2) The test span s used to represent the portion of the sheet between the points of contraflexure each side of the internal support, in a sheet continuous over two equal spans L may be obtained from:

$$s = 0,4L \qquad \text{(A.1)}$$

(3) В пластичній стадії, якщо можливий перерозподіл опорного моменту, проліт зразка s повинен бути зменшений залежно від співвідношення опорного моменту і зсувної сили.

(3) If plastic redistribution of the support moment is expected, the test span s should be reduced to represent the appropriate ratio of support moment to shear force.

(4) Ширина b_B балки, через яку передається навантаження при випробуванні, повинна вибиратися такою, як дійсна ширина опори, що застосовується на практиці.

(4) The width b_B of the beam used to apply the test load should be selected to represent the actual support width to be used in practice.

(5) Кожен результат випробувань може бути використано для визначення опору при сумісній дії згинального моменту і опорної реакції (або зсувної сили) для конкретних прольоту і ширини опори. Для отримання результатів

(5) Each test result may be used to represent the resistance to combined bending moment and support reaction (or shear force) for a given span and a given support width. To obtain information about the interaction of bending moment

взаємодії згинального моменту і опорної реакції випробування повинні бути проведені в декількох різних прольотах.

(6) Обробку результатів випробувань, див. A.5.2.3.

A.2.5 *Випробування на крайній опорі*

(1) Схема випробувань згідно з рисунком A.6 може бути використана для визначення опору на зсув листа на крайній опорі.

(2) Для визначення опору листа на зсув при різній довжині u від внутрішньої межі крайньої опори до торця зразка, див. рисунок A.6, повинні бути проведені окремі випробування.

Примітка. Максимальне значення опорної реакції, що визначено під час випробувань на згин, може бути використано як нижня межа опору як на зсув, так і на дію місцевої поперечної сили.

and support reaction, tests should be carried out for several different spans.

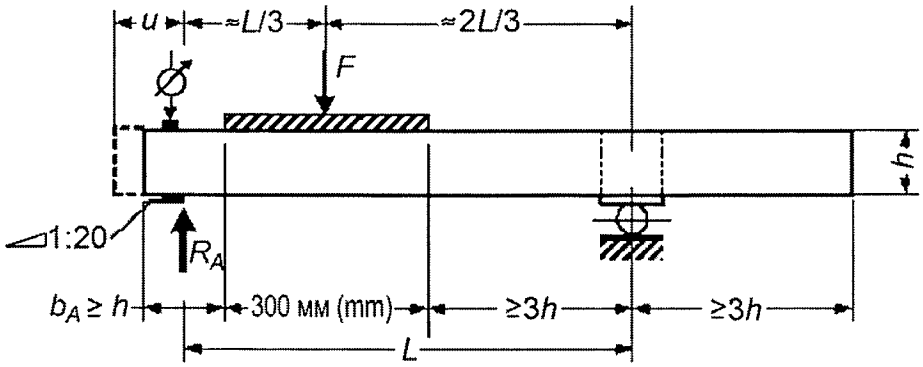
(6) Interpretation of test results, see A.5.2.3.

A.2.5 *End support test*

(1) The test set-up shown in figure A.6 may be used to determine the shear resistance of a sheet at an end support.

(2) Separate tests should be carried out to determine the shear resistance of the sheet for different lengths u from the contact point at the inner edge of the end support, to the actual end of the sheet, see figure A.6.

NOTE: Value of maximum support reaction measured during a bending test may be used as a lower bound for section resistance to both shear and local transverse force.



Познаки:
b_A – ширина опори;
u – відстань від краю листа до внутрішньої межі опори

Key:
b_A = support length
u = length from internal edge of end support to end of sheet

Рисунок A.6 – Схема випробувань для крайньої опори
Figure A.6 – Test set-up for end support tests

A.3 Випробування холодноформованих елементів

A.3.1 *Загальні положення*

(1) При випробовуванні кожний зразок за всіма показниками повинен бути подібним частині або цілій конструкції, яку він представляє.

(2) Умови обпирання зразків повинні бути ідентичними тим, що застосовуються на практиці. Якщо цього досягти не можна, в якості альтернативи повинні використовуватися менш сприятливі умови обпирання, які занижують несучу здатність або підвищують гнучкість.

A.3 Tests on cold-formed members

A.3.1 *General*

(1) Each test specimen should be similar in all respects to the component or structure that it represents.

(2) The supporting devices used for tests should preferably provide end conditions that closely reproduce those supplied by the connections to be used in service. Where this cannot be achieved, less favourable end conditions that decrease the load carrying capacity or increase the flexibility should be used, as relevant.

(3) Пристрої для прикладення навантажень при випробуванні повинні відтворювати реальні умови цього процесу. Ці пристрої не повинні підвищувати опір поперечного перерізу при поперечних деформаціях у порівнянні з тим, який був би отриманий у випадку перевантаження при експлуатації. Вони не повинні також створювати зосереджені навантаження в місцях найбільшого опору.

(4) Якщо дана комбінація навантажень включає сили, що діють більш ніж по одній лінії, кожна стадія навантаження при випробуванні повинна бути пропорційною до кожної із цих сил.

(5) На кожній стадії навантаження переміщення або деформації повинні вимірятися в одному або декількох характерних місцях конструкції. Відліки переміщень або деформацій не повинні зніматися, поки конструкція повністю не стабілізується після чергового ступеня навантаження.

(6) Зразок вважається зруйнованим у кожному з наступних випадків:
- обвалення або розрив;
- розвиток тріщини в життєво важливій частині зразка;
- надмірні переміщення.

(7) У результаті випробувань повинно бути отримано максимальне значення навантаження, прикладене до зразка або в момент руйнування, або безпосередньо перед руйнуванням.

(8) Точність усіх вимірів повинна відповідати вимірюваній величині і у кожному разі не повинна перевищувати ±1 % від параметра, що визначається. До уваги також повинні братись нижче наведені значення (п.9).

(9) Виміри геометричних параметрів поперечного перерізу зразка, що випробовується, повинні включати:
- загальні розміри (ширина, висота і довжина) з точністю ±1,0 мм;
- ширину плоских частин перерізу з точністю ±1,0 мм;
- радіуси згинів з точністю ±1,0 мм;
- нахил плоских частин з точністю ±2,0°;
- кути між плоскими поверхнями з точністю ±2,0°;

(3) The devices used to apply the test loads should reproduce the way that the loads would be applied in service. It should be ensured that they do not offer more resistance to transverse deformations of the crosssection than would be available in the event of an overload in service. It should also be ensured that they do not localize the applied forces onto the lines of greatest resistance.

(4) If the given load combination includes forces on more than one line of action, each increment of the test loading should be applied proportionately to each of these forces.

(5) At each stage of the loading, the displacements or strains should be measured at one or more principal locations on the structure. Readings of displacements or strains should not be taken until the structure has completely stabilized after a load increment.

(6) Failure of a test specimen should be considered to have occurred in any of the following cases:
- at collapse or fracture;
- if a crack begins to spread in a vital part of the specimen;
- if the displacement is excessive.

(7) The test result should be taken as the maximum value of the loading applied to the specimen either coincident with failure or immediately prior to failure as appropriate.

(8) The accuracy of all measurements should be compatible with the magnitude of the measurement concerned and should in any case not exceed ±1 % of the value to be determined. The following magnitudes (in clause (9)) must also be fulfilled.

(9) The measurements of the cross-sectional geometry of the test specimen should include:
- the overall dimensions (width, depth and length) to an accuracy of ±1,0 mm;
- widths of plane elements of the cross-section to an accuracy of ±1,0 mm;
- radii of bends to an accuracy of ±1,0 mm;
- inclinations of plane elements to an accuracy of ±2,0°;
- angles between flat surfaces to an accuracy of ±2,0°;

– розташування й розміри проміжних елементів жорсткості з точністю ± 1,0 мм;
– товщина вихідного матеріалу з точністю ± 0,01 мм;
– точність усіх вимірів поперечного перерізу не повинна перевищувати 0,5 % від номінальних розмірів.

(10) Вимірюються також інші геометричні параметри, а саме:
– розташування частин відносно одна до одної;
– розташування кріплень;
– величина крутного моменту при затягуванні кріпильних виробів тощо.

A.3.2 *Випробування профілю повного перерізу на стиск*

A.3.2.1 *Випробування короткого стояка*

(1) Випробування короткого стояка можуть бути використані для оцінки ефектів місцевої втрати стійкості в тонкостінних профілях на величину співвідношення $\beta_A = A_{eff}/A_g$ і визначення розташування ефективної нейтральної осі.

(2) У разі, якщо місцева втрата стійкості плоских елементів перерізу веде до втрати несучої здатності профілю, то зразок повинен мати довжину, як мінімум у 3 рази більше ширини його найбільш широкого плоского елемента.

(3) Для перфорованих профілів довжина зразка повинна включати не менше ніж п'ять отворів перфорації, причому зразок повинен відрізуватись по середній лінії між двома отворами перфорації.

(4) Для профілів, що мають крайові відгини або проміжні елементи жорсткості, довжина зразка повинна бути такою ж, як припустима розрахункова довжина елемента жорсткості при втраті ним стійкості.

(5) При загальній довжині зразка, що перевищує 20 мінімальних радіусів інерції i_{min} повного поперечного перерізу профілю, проміжні розкріплення із площини повинні розташовуватися із кроком не більше ніж 20 i_{min}.

(6) Перед випробуваннями розміри поперечного перерізу зразка повинні бути перевірені на відповідність граничним відхиленням.

– locations and dimensions of intermediate stiffeners to an accuracy of ± 1,0 mm;
– the thickness of the material to an accuracy of ± 0,01 mm;
– accuracy of all measurements of the cross-section has to be taken as equal to maximum 0,5 % of the nominal values.

(10) All other relevant parameters should also be measured, such as:
– locations of components relative to each other;
– locations of fasteners;
– the values of torques etc. used to tighten fasteners.

A.3.2 *Full cross-section compression tests*

A.3.2.1 *Stub column test*

(1) Stub column tests may be used to allow for the effects of local buckling in thin gauge cross-sections, by determining the value of the ratio $\beta_A = A_{eff}/A_g$ and the location of the effective centroidal axis.

(2) If local buckling of the plane elements governs the resistance of the cross-section, the specimen should have a length of at least 3 times the width of the widest plate element.

(3) The lengths of specimens with perforated cross-sections should include at least 5 pitches of the perforations, and should be such that the specimen is cut to length midway between two perforations.

(4) In the case of a cross-section with edge or intermediate stiffeners, it should be ensured that the length of the specimen is not less than the expected buckling lengths of the stiffeners.

(5) If the overall length of the specimen exceeds 20 times the least radius of gyration of its gross cross-section i_{min}, intermediate lateral restraints should be supplied at a spacing of not more than 20 i_{min}.

(6) Before testing, the tolerances of the cross-sectional dimensions of the specimen should be checked to ensure that they are within the permitted deviations.

(7) Кінці зразка після відрізання повинні бути плоскими і перпендикулярними до поздовжньої осі.

(8) Осьове зусилля стиску повинне передаватись на кожний кінець зразка через опорні пластини товщиною не менше ніж 30 мм, які виступають за переріз зразка по контуру не менше ніж на 10 мм.

(9) В випробувальній машині зразок повинен розташовуватися між шаровими опорами на кожному кінці. В опорних пластинах повинні бути передбачені невеликі висвердлені заглиблення для шарових опор. Ці опори повинні розташовуватись на одній лінії із центром тяжіння розрахункового ефективного перерізу зразка. Якщо положення центра тяжіння ефективного перерізу розраховане не точно, його можна уточнити за допомогою серії випробувань.

(10) У відкритому поперечному перерізі може бути виправлена можлива серпоподібність.

(11) Випробування коротких стояків можуть бути використані для визначення опору стиску поперечного перерізу. Для інтерпретації результатів випробувань повинні варіюватись наступні параметри:

- товщина;
- співвідношення b_p/t;
- співвідношення f_u/f_{yb};
- тимчасовий опір f_u і границя текучості f_{yb};
- положення центра тяжіння ефективного перерізу зразка;
- відхилення форми поперечного перерізу профілю;
- метод холодного профілювання (наприклад, збільшення границі текучості за рахунок деформування, яке згодом виключається).

A.3.2.2 *Випробування елемента на втрату стійкості*

(1) Випробування елемента на втрату стійкості може бути використано для визначення опору тонкостінних стиснутих елементів при загальній втраті стійкості (включаючи згинальну, крутильну та згинально-крутильну форми втрати стійкості) і оцінки взаємодії місцевої та загальної втрати стійкості.

(7) The cut ends of the specimen should be flat, and should be perpendicular to its longitudinal axis.

(8) An axial compressive force should be applied to each end of the specimen through pressure pads at least 30 mm thick, that protrude at least 10 mm beyond the perimeter of the cross-section.

(9) The test specimen should be placed in the testing machine with a ball bearing at each end. There should be small drilled indentations in the pressure pads to receive the ball bearings. The ball bearings should be located in line with the centroid of the calculated effective cross-section. If the calculated location of this effective centroid proves not to be correct, it may be adjusted within the test series.

(10) In the case of open cross-sections, possible spring-back may be corrected.

(11) Stub column tests may be used to determine the compression resistance of a cross-section. In interpreting the test results, the following parameters should be treated as variables:

- the thickness;
- the ratio b_p/t;
- the ratio f_u/f_{yb};
- the ultimate strength f_u and the yield strength f_{yb};
- the location of the centroid of the effective cross-section;
- imperfections in the shape of the elements of the cross-section;
- the method of cold forming (for example increasing the yield strength by introducing a deformation that is subsequently removed).

A.3.2.2 *Member buckling test*

(1) Member buckling tests may be used to determine the resistance of compression members with thin gauge cross-sections to overall buckling (including flexural buckling, torsional buckling and torsional-flexural buckling) and the interaction between local buckling and overall buckling.

(2) Що стосується методу випробувань в цілому, він такий же, як і для випробування коротких стояків згідно з A.3.2.1.

(2) The method of carrying out the test should be generally as given for stub column tests in A.3.2.1.

(3) Для визначення кривої втрати стійкості для даного типу профілю і даної марки сталі випробування зразків на осьове навантаження проводяться за особливою методикою. Значення умовної гнучкості , що приймаються при перевірці, і мінімальна кількість випробувань *n* для кожного значення наведено в таблиці A.1.

(3) A series of tests on axially loaded specimens may be used to determine the appropriate buckling curve for a given type of cross-section and a given grade of steel, produced by a specific process. The values of relative slenderness to be tested and the minimum number of tests *n* at each value, should be as given in table A.1.

Таблиця A.1 – Значення умовної гнучкості й кількість випробувань
Table A.1 – Relative slenderness values and numbers of tests

$\bar{\lambda}$	0,2	0,5	0,7	1,0	1,3	1,6	2,0	3,0
N	3	5	5	5	5	5	5	5

(4) Подібне випробування може бути використано також для визначення впливу проміжних закріплень на опір втраті стійкості елемента за крутильною формою.

(4) Similar tests may also be used to determine the effect of introducing intermediate restraints on the torsional buckling resistance of a member.

(5) Для інтерпретації результатів випробувань повинні варіюватись такі параметри:
- параметри для випробувань коротких стояків згідно з A.3.2.1(11);
- загальне значення відхилення від прямолінійності і його порівняння зі стандартним значенням, див. (6);
- тип кінцевого або проміжного закріплення (від згину, обертання або того і другого разом).

(5) For the interpretation of the test results the following parameters should be taken into account:
- the parameters listed for stub column tests in A.3.2.1(11);
- overall lack of straightness imperfections compared to standard production output, see (6);
- type of end or intermediate restraint (flexural, torsional or both).

(6) Загальне значення відхилення від прямолінійності повинне враховуватися в такий спосіб:

(6) Overall lack of straighness may be taken into account as follows:

a) за допомогою відповідного розрахунку визначити критичне навантаження стиску $F_{cr,bow,test}$ для елемента з початковим вигином, що дорівнює відхиленню від прямолінійності зразка, який випробовується;

a) Determine the elastic critical compression load of the member by an appropriate analysis with initial bow equal to test sample: $F_{cr,bow,test}$

b) так само, як a), але з початковим вигином, що дорівнює максимально допустимому, встановленому стандартом на профіль: $F_{cr,bow,\max,nom}$;

b) As a) but with an initial bow equal to the maximum allowed according to the product specification: $F_{cr,bow,\max,nom}$

c) Додатковий поправочний коефіцієнт: $F_{cr,bow,\max,nom} / F_{cr,bow,test}$

c) Additional correction factor: $F_{cr,bow,\max,nom} / F_{cr,bow,test}$

A.3.3 *Випробування профілів повного перерізу на розтяг*

A.3.3 *Full cross-section tension test*

(1) Ці випробування можуть застосовуватись для визначення середньої величини границі текучості профілю f_{ya} .

(1) This test may be used to determine the average yield strength f_{ya} of the cross-section.

(2) Довжина зразка повинна бути не менше п'ятикратної ширини найширшої плоскої частини поперечного перерізу.

(3) Навантаження повинно передаватись через кінцеві опори, що забезпечують рівномірне розподілення напружень в поперечному перерізі.

(4) Зона руйнування повинна розташовуватися від кінцевих опор на відстані не менше ніж ширина найбільш широкої плоскої частини поперечного перерізу.

A.3.4 *Випробування профілю повного перерізу на згин*

(1) Ці випробування можуть застосовуватись для визначення опору профілю при згині і скручуванні.

(2) Довжина зразка повинна бути не менше ніж у 15 разів більше найбільшого поперечного розміру профілю. Відстань між закріпленнями стиснутого пояса із площини повинна бути такою ж, яку застосовують на практиці.

(3) Для створення зони чистого згину, довжина якої повинна бути не менше ніж 0,2 прольоту і не більше ніж 0,33 прольоту, до зразка прикладається згинальний момент із пари зосереджених сил. Ці навантаження прикладаються в центрі зсуву перерізу профілю. Профіль повинен бути закріплений від скручування в точках прикладення навантаження. В точках прикладання навантаження, у разі необхідності, повинна бути забезпечена місцева стійкість зразка, щоб гарантувати руйнування зразка в центральній частині прольоту. Прогини вимірюються в точках прикладання навантажень в середині прольоту і на опорах зразка.

(4) Для інтерпретації результатів випробувань повинні варіюватись такі параметри, як:
- товщина;
- відношення b_p/t;
- відношення f_u/f_{yb};
- тимчасовий опір f_u і границя текучості f_{yb};
- відмінність при закріпленні і під час випробувань на практиці;
- умови обпирання.

(2) The specimen should have a length of at least 5 times the width of the widest plane element in the crosssection.

(3) The load should be applied through end supports that ensure a uniform stress distribution across the crosssection.

(4) The failure zone should occur at a distance from the end supports of not less than the width of the widest plane element in the cross-section.

A.3.4 *Full cross-section bending test*

(1) This test may be used to determine the moment resistance and rotation capacity of a cross-section.

(2) The specimen should have a length of at least 15 times its greatest transversal dimension. The spacing of lateral restraints to the compression flange should not be less than the spacing to be used in service.

(3) A pair of point loads should be applied to the specimen to produce a length under uniform bending moment at midspan of at least 0,2 × (span) but not more than 0,33 × (span). These loads should be applied through the shear centre of the cross-section. The section should be torsionally restrained at the load points. If necessary, local buckling of the specimen should be prevented at the points of load application, to ensure that failure occurs within the central portion of the span. The deflection should be measured at the load positions, at midspan and at the ends of the specimen.

(4) In interpreting the test results, the following parameters should be treated as variables:
- the thickness;
- the ratio b_p/t;
- the ratio f_u/f_{yb};
- the ultimate strength f_u and the yield strength f_{yb};
- differences between restraints used in the test and those available in service;
- the support conditions.

А.4 Випробування конструкцій та їх частин

А.4.1 *Приймальне випробування*

(1) Приймальне випробування без руйнування можна використовувати для підтвердження нормальної роботи конструкції або її частини.

(2) При приймальному випробуванні навантаження необхідно приймати сумарно від:
- 1,0 × (фактична власна вага під час випробувань);
- 1,15 × (інші постійні навантаження);
- 1,25 × (короткочасні навантаження),
  але немає необхідності приймати навантаження більше допустимого розрахункого навантаження і допустимого нормативного навантаження у випадках (вкрай рідких) комбінацій нормативних навантажень.

(3) Перед проведенням приймального випробування можливо доцільно зробити пробне навантаження (навантаження, що не перевищує нормативного значення) і після цього зняти навантаження.

(4) Спочатку на конструкцію повинно передаватися повне нормативне навантаження. При цьому конструкція повинна працювати тільки в пружній стадії. Після зняття навантаження залишковий прогин не повинен перевищувати 20 % від максимально зафіксованого. Якщо це не підтверджується, цей етап випробувань необхідно повторити. У повторному циклі навантажена конструкція повинна демонструвати лінійну роботу від нормативного навантаження, а залишковий прогин не повинен перевищувати 10 % від максимального, що зафіксований.

(5) Під час приймального випробування навантаження прикладається поетапно рівними частинами, з рівними інтервалами за часом і з виміром прогинів на кожному етапі. У разі, якщо прогини стають значно нелінійними, поетапне навантаження повинно бути зменшено.

(6) При досягненні при приймальному випробуванні необхідного рівня навантаження, воно повинне залишатись незмінним між декількома послідовними записами показників і вимірами прогинів для встановлення залежності різних деформацій конструкції за часом, таких, наприклад, як деформації закріплень або деформації, що викликаються повзучістю в цинковому покритті.

A.4 Tests on structures and portions of structures

A.4.1 *Acceptance test*

(1) This acceptance test may be used as a non-destructive test to confirm the structural performance of a structure or portion of a structure.

(2) The test load for an acceptance test should be taken as equal to the sum of:
- 1,0 × (the actual self-weight present during the test);
- 1,15 × (the remainder of the permanent load);
- 1,25 × (the variable loads)
  but need not be taken as more than the mean of the total ultimate limit state design load and the total serviceability limit state design load for the characteristic (rare) load combination.

(3) Before carrying out the acceptance test, preliminary bedding down loading (not exceeding the characteristic values of the loads) may optionally be applied, and then removed.

(4) The structure should first be loaded up to a load equal to the total characteristic load. Under this load it should demonstrate substantially elastic behaviour. On removal of this load the residual deflection should not exceed 20 % of the maximum recorded. If these criteria are not satisfied this part of the test procedure should be repeat. In this repeat load cycle, the structure should demonstrate substantially linear behaviour up to the characteristic load and the residual deflection should not exceed 10 % of the maximum recorded.

(5) During the acceptance test, the loads should be applied in a number of regular increments at regular time intervals and the principal deflections should be measured at each stage. When the deflections show significant non-linearity, the load increments should be reduced.

(6) On the attainment of the acceptance test load, the load should be maintained for being no changes between a set of adjacent readings and deflection measurements should be taken to establish whether the structure is subject to any time-dependent deformations, such as deformations of fasteners or deformations arising from creep in the zinc layer.

(7) Зняття навантажень повинно виконуватись рівними ступенями з записом прогинів на кожному етапі.

(8) Конструкція повинна бути здатною витримати попереднє випробувальне навантаження без значних місцевих зминань або дефектів, які б засвідчували непридатність конструкції для використання після випробувань.

A.4.2 *Випробування на міцність*

(1) Випробування на міцність можуть бути використані для підтвердження розрахункової несучої здатності конструкції в цілому або її частини. При певній кількості однакових конструкцій, запроектованих за однією методикою, і один або більше з їх прототипів при випробуванні відповідають всім вимогам щодо їх міцності, решта цих конструкцій завдяки їх тотожності прототипам за всіма відповідними показниками може використовуватись без випробувань.

(2) Перед проведенням випробувань на міцність необхідно провести приймальні випробування зразків згідно з А.4.1.

(3) Навантаження повинно здійснюватись ступенями до рівня, що відповідає несучій здатності за міцністю з вимірами прогинів на кожному етапі навантаження. Для підтвердження відсутності повзучості граничне навантаження на конструкцію утримується протягом не менше ніж 1 год з вимірами в цей час прогинів.

(4) Зняття навантаження повинно виконуватись рівними ступенями з записом прогинів на кожному етапі.

(5) Повне випробувальне навантаження (з власною вагою включно) при випробуванні на міцність F_{str} повинно визначатись на підставі повного розрахункового навантаження F_{Ed}, яке обчислюється за розрахунком для граничних станів за несучою здатністю з використанням формули:

(7) Unloading should be completed in regular decrements, with deflection readings taken at each stage.

(8) The structure should prove capable of sustaining the acceptance test load, and there should be no significant local distortion or defects likely to render the structure unserviceable after the test.

A.4.2 *Strength test*

(1) This strength test may be used to confirm the calculated load carrying capacity of a structure or portion of a structure. Where a number of similar items are to be constructed to a common design and one or more prototypes have been submitted to and met all the requirements of this strength test, the others may be accepted without further testing provided that they are similar in all relevant respects to the prototypes.

(2) Before carrying out a strength test the specimen should first pass the acceptance test detailed in A.4.1.

(3) The load should then be increased in increments up to the strength test load and the principal deflections should be measured at each stage. The strength test load should be maintained for at least one hour and deflection measurements should be taken to establish whether the structure is subject to creep.

(4) Unloading should be completed in regular decrements with deflection readings taken at each stage.

(5) The total test load (including self-weight) for a strength test F_{str} should be determined from the total design load F_{Ed} specified for ultimate limit state verifications by calculation, using:

$$F_{str} = \gamma_{Mi}\, \mu_F\, F_{Ed}\,, \tag{A.2}$$

де μ_F – відповідний коефіцієнт за навантаженням; γ_{Mi} – коефіцієнт надійності за граничним станом.

(6) Поправочний коефіцієнт за навантаженням μ_F враховує вплив навантаження на зміну несучої здатності конструкції або її частини в залежності від границі текучості матеріалу,

in which μ_F is the load adjustment coefficient and γ_{Mi} is the partial coefficient of the ultimate limit state.

(6) The load adjustment coefficient μ_F should take account of variations in the load carrying capacity of the structure, or portion of a structure, due to the effects of variation in the material yield

місцевої та загальної втрати стійкості і будь-яких інших параметрів і обставин.

(7) Поправочний коефіцієнт за навантаженням μ_F може бути прийнятим таким, що дорівнює відношенню величини граничного навантаження за несучою здатністю при середньому значенні границі текучості f_{ym} до відповідної величини при номінальному значенні границі текучості f_{yb} в тому випадку, якщо реальне представлення щодо несучої здатності конструкції або її частини отримано розрахунковим шляхом згідно з вимогами цього стандарту, або іншим допустимим методом розрахунку з урахуванням впливу всіх форм втрати стійкості.

(8) Значення f_{ym} повинно визначатись на підставі виміряних границь текучості матеріалу $f_{yb,obs}$ для різних елементів або частин конструкції, враховуючи їх відповідну важливість.

(9) Якщо реальні теоретичні представлення щодо несучої здатності не можуть бути отримані, тоді значення поправочного коефіцієнта за навантаженням μ_F повинно прийматись таким, що дорівнює поправочному коефіцієнту за опором μ_R згідно з A.6.2.

(10) При випробувальному навантаженні зразок не повинен втратити стійкість або мати тріщини у будь-якій частині.

(11) Після зняття навантаження прогин повинен зменшитись не менше ніж на 20 %.

A.4.3 *Випробування зразка до повного руйнування*

(1) Випробування до повного руйнування здійснюються для визначення реального механізму руйнування і граничної несучої здатності конструкції або її вузла. Якщо в подальшому зразок не підлягає використанню, то його після проведення випробувань на міцність згідно з A.4.2 можна використати для отримання додаткової інформації.

(2) Альтернативно випробування до повного руйнування можуть здійснюватись для визначення реальної несучої здатності на дію розрахункового граничного навантаження при випробуванні. Враховуючи, що спочатку проводяться приймальні випробування та випробування на міцність, оцінка гранично можливої величини розрахункового навантаження повинна бути зроблена на підставі цих випробувань.

strength, local buckling, overall buckling and any other relevant parameters or considerations.

(7) Where a realistic assessment of the load carrying capacity of the structure, or portion of a structure, may be made using the provisions of this Part 1-3 of EN 1993 for design by calculation, or another proven method of analysis that takes account of all buckling effects, the load adjustment coefficient μ_F may be taken as equal to the ratio of (the value of the assessed load carrying capacity based on the averaged basic yield strength f_{ym}) compared to (the corresponding value based on the nominal basic yield strength f_{yb}).

(8) The value of f_{ym} should be determined from the measured basic strength $f_{yb,obs}$ of the various components of the structure, or portion of a structure, with due regard to their relative importance.

(9) If realistic theoretical assessments of the load carrying capacity cannot be made, the load adjustment coefficient μ_F should be taken as equal to the resistance adjustment coefficient μ_R defined in A.6.2.

(10) Under the test load there should be no failure by buckling or rupture in any part of the specimen.

(11) On removal of the test load, the deflection should be reduced by at least 20 %.

A.4.3 *Prototype failure test*

(1) A test to failure may be used to determine the real mode of failure and the true load carrying capacity of a structure or assembly. If the prototype is not required for use, it may optionally be used to obtain this additional information after completing the strength test described in A.4.2.

(2) Alternatively a test to failure may be carried out to determine the true design load carrying capacity from the ultimate test load. As the acceptance and strength test procedures should preferably be carried out first, an estimate should be made of the anticipated design load carrying capacity as a basis for such tests.

(3) Перед початком випробувань зразка до повного руйнування спочатку проводяться випробування на міцність згідно з А.4.2. На підставі роботи зразка при випробуванні на міцність для нього може бути встановлено граничне значення розрахункового навантаження.

(4) В процесі випробувань до руйнування навантаження спочатку прикладається ступенями до рівня, що відповідає випробуванню на міцність. У подальшому ступені навантаження повинні обиратися за оцінкою графіка прогинів.

(5) Граничним навантаженням, що відповідає втраті несучої здатності, повинно бути випробувальне навантаження в ту мить, коли конструкція або її частина не можуть сприймати будь-яке збільшення навантаження.

Примітка. Це може статися при значному викривленні елемента. В деяких випадках значна деформація може визначати завершення випробувань.

A.4.4 *Порівняльні випробування*

(1) Порівняльні випробування можуть використовуватись для:

- перевірки роботи конструкції під навантаженням для порівняння з даними, що отримані за аналітичними розрахунковими моделями;
- визначення кількісних значень параметрів розрахункових моделей, таких як міцність або жорсткість елементів або вузлів.

A.5 Випробування балок, закріплених від скручування

A.5.1 *Загальні положення*

(1) Методика цих випробувань може бути застосована для балок, які частково закріплені від скручування сталевим профнастилом з трапецієподібними гофрами або подібними настилами.

(2) Ця методика може бути використана для прогонів, ригелів, балок перекриттів і інших подібних типів при відповідному розкріпленні.

(3) Before carrying out a test to failure, the specimen should first pass the strength test described in A.4.2. Its estimated design load carrying capacity may then be adjusted based on its behaviour in the strength test.

(4) During a test to failure, the loading should first be applied in increments up to the strength test load. Subsequent load increments should then be based on an examination of the plot of the principal deflections.

(5) The ultimate load carrying capacity should be taken as the value of the test load at that point at which the structure or assembly is unable to sustain any further increase in load.

NOTE: At this point gross permanent distortion is likely to have occurred. In some cases gross deformation might define the test limit.

A.4.4 *Calibration test*

(1) A calibration test may be used to:

- verify load bearing behaviour relative to analytical design models;
- quantify parameters derived from design models, such as strength or stiffness of members or joints.

A.5 Tests on torsionally restrained beams

A.5.1 *General*

(1) These test procedures may be used for beams that are partially restrained against torsional displacement, by means of trapezoidal profiled steel sheeting or other suitable cladding.

(2) These procedures may be used for purlins, side rails, floor beams and other similar types of beams that have relevant restraint conditions.

A.5.2 *Випробування для проміжної опори*

A.5.2.1 *Схема випробувань*

(1) Схема випробувань, що наведена на рисунку A.7, може бути використана для визначення несучої здатності нерозрізної балки з двома або більше прольотами при сумісній дії згинального моменту і зсувної сили на проміжних опорах.

Примітка. Схема також може використовуватись для систем, що з'єднуються на накладках або внапуск.

A.5.2 *Internal support test*

A.5.2.1 *Test set-up*

(1) The test set-up shown in figure may be used to determine the resistance of a beam that is continuous over two or more spans, to combinations of bending moment and shear force at internal supports.

NOTE: The same test set-up may be used for sleeved and overlap systems.

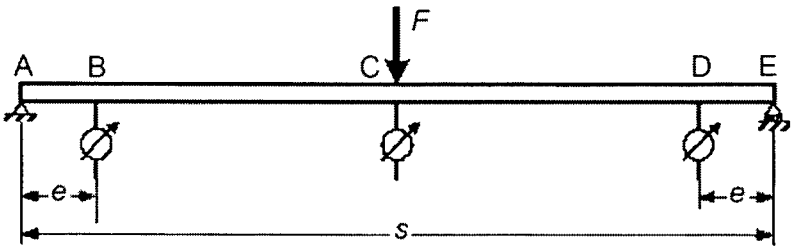


Рисунок A.7 – Схема випробувань для проміжної опори
Figure A.7 – Test set-up for internal support tests

(2) Опори **A** і **E** повинні бути відповідно шарнірною і котковою. Поворот балки відносно поздовжньої осі на цих опорах може бути виключений, наприклад, за допомогою упорів.

(3) Спосіб прикладення навантаження в точці **C** повинен бути таким, як при експлуатації.

Примітка. У багатьох випадках це означає, що зміщення обох полиць в точці **C** виключається.

(4) Розташовані на відстані *e* від кожної опори прилади для вимірювання переміщень, див. рисунок A.7, повинні фіксувати в точках **B** і **D** можливі переміщення для виключення їх із результатів визначених переміщень в точці **C**.

(5) Проліт *s* повинен бути обраний так, щоб створювалось співвідношення величин згинального моменту і зсувної сили таким же, яке можливе в реальних умовах при граничному розрахунковому навантаженні.

(6) Для двопрольотних балок з прольотом *L* при рівномірно розподілених навантаженнях проліт *s* обирається рівним 0,4*L*. Але, якщо буде враховуватись перерозподіл опорного моменту в пластичній стадії, проліт *s* при випробуванні повинен бути зменшеним в залежності від відповідного співвідношення опорного моменту і зсувної сили.

(2) The supports at **A** and **E** should be hinged and roller supports respectively. At these supports, rotation about the longitudinal axis of the beam may be prevented, for example by means of cleats.

(3) The method of applying the load at **C** should correspond with the method to be used in service.

NOTE: In many cases this will mean that lateral displacement of both flanges is prevented at **C**.

(4) The displacement measurements at points **B** and **D** located at a distance *e* from each support, see figure A.7, should be recorded to allow these displacements to be eliminated from the results analysis.

(5) The test span *s* should be chosen to produce combinations of bending moment and shear force that represent those expected to occur in practical application under the design load for the relevant limit state.

(6) For double span beams of span *L* subject to uniformly distributed loads, the test span *s* should normally be taken as equal to 0,4*L*. However, if plastic redistribution of the support moment is expected, the test span *s* should be reduced to represent the appropriate ratio of support moment to shear force.

A.5.2.2 *Проведення випробування*

(1) До загальних правил випробувань додатково повинні бути враховані окремі специфічні аспекти.

(2) Випробування і запис прогинів повинні виконуватись до того часу, коли прикладене навантаження буде на 10 % – 15 % менше максимально допустимого або прогин досягне значення у шість разів більше ніж величина максимального прогину в пружній стадії.

A.5.2.3 *Обробка результатів випробувань*

(1) Виміряні фактичні результати випробувань $R_{obs,i}$ повинні бути скориговані згідно з A.6.2 для отримання значень $R_{adj,i}$, пов'язаних з номінальною базовою границею текучості f_{yb} і розрахунковою товщиною сталі, див. 3.2.4.

(2) Для кожної величини прольоту s опорна реакція R повинна бути отримана як скориговане значення максимального навантаження F_{max} в прольоті s. Відповідне значення опорного моменту M повинне визначатись як:

A.5.2.2 *Execution of tests*

(1) In addition to the general rules for testing, the following specific aspects should be taken into account.

(2) Testing should continue beyond the peak load and the recording of the deflections should be continued either until the applied load has reduced to between 10 % and 15 % of its peak value or until the deflection has reached a value 6 times the maximum elastic displacement.

A.5.2.3 *Interpretation of test results*

(1) The actual measured test results $R_{obs,i}$ should be adjusted as specified in A.6.2 to obtain adjusted values $R_{adj,i}$ related to the nominal basic yield strength f_{yb} and design thickness t of the steel, see 3.2.4.

(2) For each value of the test span s the support reaction R should be taken as the mean of the adjusted values of the peak load F_{max} for that value of s. The corresponding value of the support moment M should then be determined from:

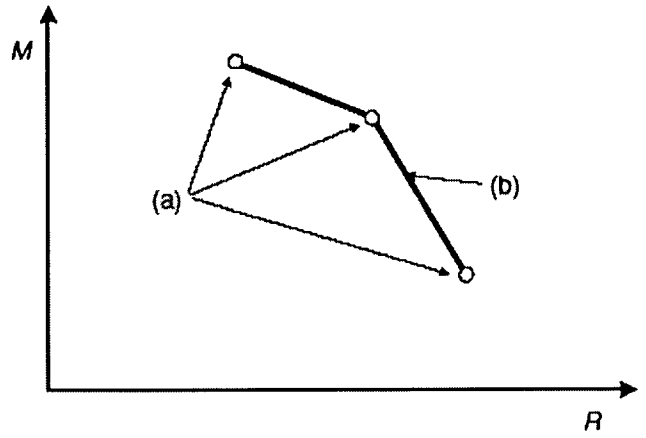
$$M = \frac{sR}{4}. \qquad \text{(A.3)}$$

Зазвичай вплив постійного навантаження повинен враховуватись при визначенні моменту M згідно з (A.3).

(3) Обидві величини M і R для кожної величини прольоту s повинні бути відображені графічно, як показано на рисунку A.8. Для проміжних сполучень M і R значення їх можуть визначатися за лінійною інтерполяцією.

Generally the influence of the dead load should be added when calculating the value of moment M following the expression (A.3).

(3) The pairs of values of M and R for each value of s should be plotted as shown in figure A.8. Pairs of values for intermediate combinations of M and R may then be determined by linear interpolation.



(a) – результати випробувань для різних прольотів s, (b) – лінія інтерполяції
(a) test results for different test spans s, (b) linear interpolation

Рисунок A.8 – Співвідношення між опорними моментом M і реакцією R
Figure A.8 – Relation between support moment M and support reaction R

(4) Чистий прогин в точці прикладення навантаження **C** на рисунку A.7 можна отримати відніманням від виміряного повного значення середнього значення прогинів, виміряних в точках **B** і **D**, розташованих на відстані *e* від опор **A** і **E**, див. рисунок A.7.

(5) Для кожного випробування прикладене навантаження повинно відповідати на графіку чистому прогину, див. рисунок A.9. Згідно з графіком поворот θ повинен бути отриманий для діапазону величин прикладеного навантаження як:

(4) The net deflection at the point of load application **C** in figure A.7 should be obtained from the gross measured values by deducting the mean of the corresponding deflections measured at the points **B** and **D** located at a distance *e* from the support points **A** and **E**, see figure A.7.

(5) For each test the applied load should be plotted against the corresponding net deflection, see figure A.9. From this plot, the rotation θ should be obtained for a range of values of the applied load using:

$$\theta = \frac{2\left(\delta_{pl} - \delta_e - \delta_{el}\right)}{0{,}5s - e}, \tag{A.4a}$$

$$\theta = \frac{2\left(\delta_{pl} - \delta_e - \delta_{lin}\right)}{0{,}5s - e}, \tag{A.4b}$$

де:

δ_{el} – чистий прогин від даного навантаження на висхідній частині кривої до F_{max};

δ_{pl} – чистий прогин від того ж навантаження на спадаючій частині кривої після F_{max};

δ_{lin} – фактичний чистий прогин від даного навантаження, що був отриманий протягом лінійної роботи, див. рисунок A.9;

δ_e – середнє значення прогину, що виміряний на відстані *e* від опори, див. рисунок A.7;

s – випробувальний проліт;

e – відстань між опорою і точкою вимірювання прогину, див. рисунок A.7.

where:

δ_{el} is the net deflection for a given load on the rising part of the curve, before F_{max};

δ_{pl} is the net deflection for the same load on the falling part of the curve, after F_{max};

δ_{lin} is the fictive net deflection for a given load, that would be obtained with a linear behaviour, see figure A.9;

δ_e is the average deflection measured at a distance *e* from the support, see figure A.7;

s is the test span;

e is the distance between a deflection measurement point and a support, see figure A.7.

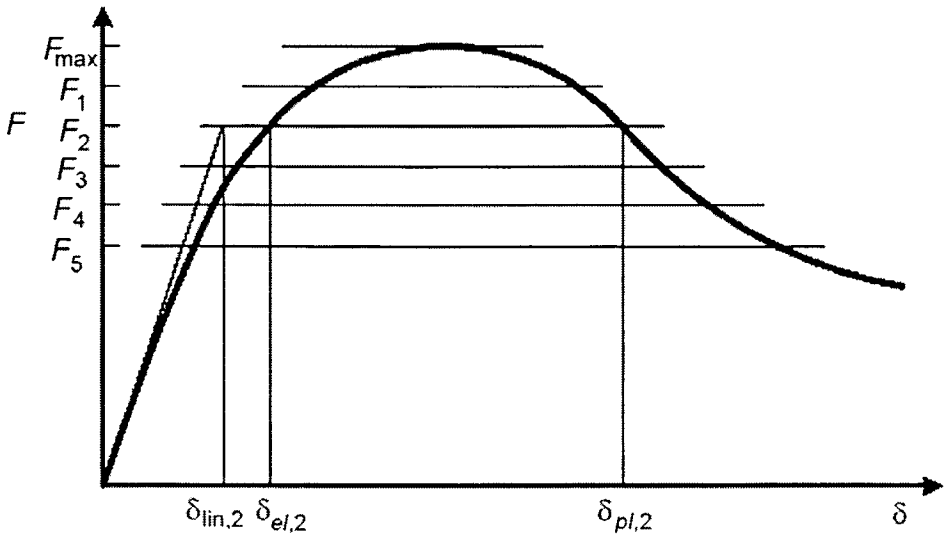


Рисунок A.9 – Залежність між навантаженням *F* і чистим прогином δ

Figure A.9 – Relation between load *F* and net deflection δ

Вираз (A.4a) використовується, якщо розрахунки виконані для ефективного поперечного перерізу. Вираз (A.4b) використовують, якщо розрахунки виконані для повного поперечного перерізу.

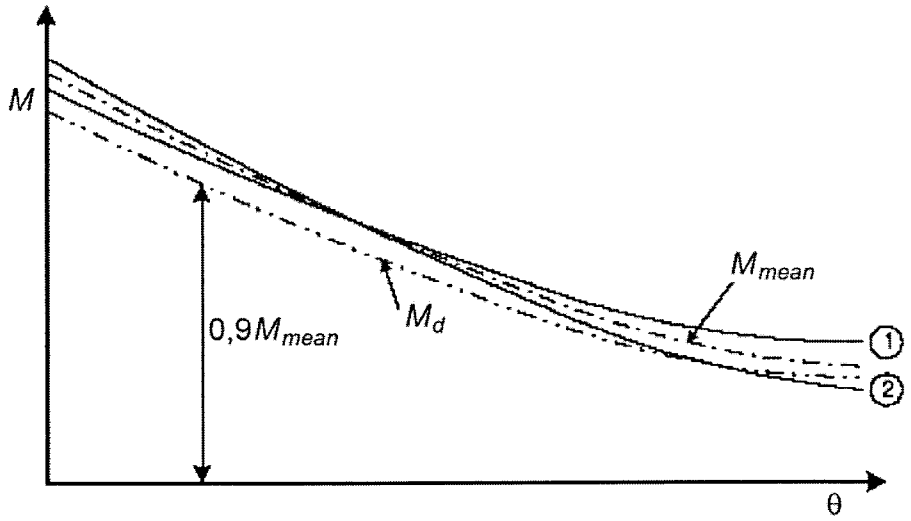
(6) Співвідношення між M і θ повинні бути зображені графічно, як показано на рисунку A.10, в процесі кожного випробування для даного прольоту s, що відповідає величині прольоту балки L. Розрахункова залежність $M - \theta$ для опору балки на проміжній опорі за умови згину повинна бути прийнята 0,9 від середнього значення моментів M для всіх випробувань балок прольотом L.

Примітка. При повномасштабному проведенні випробувань для визначення ефекту горизонтального навантаження і втрати стійкості вільної полиці в зоні середньої опори вищенаведене зниження повинно бути меншим ніж 0,9, див. 10.1.3.2(4).

The expression (A.4a) is used when analyses are done based on the effective cross-section. The expression (A.4b) is used when analyses are done based on the gross cross-section.

(6) The relationship between M and θ should then be plotted for each test at a given test span s corresponding to a given value of beam span L as shown in figure A.10. The design $M - \theta$ characteristic for the moment resistance of the beam over an internal support should then be taken as equal to 0,9 times the mean value of M for all the tests corresponding to that value of the beam span L.

NOTE: Smaller value than 0,9 for reduction should be used, if the full-scale tests are used to determine effect of lateral load and buckling of free flange around the mid-support, see 10.1.3.2(4).



M_{mean} – середня величина;
M_d – розрахункова величина

M_{mean} = mean value,
M_d = design value

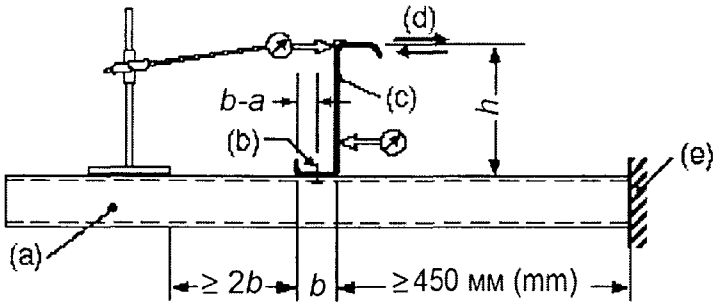
Рисунок A.10 – Типова залежність момент-поворот ($M - \theta$)
Figure A.10 – Derivation of moment-rotation ($M - \theta$) characteristic

A.5.3 *Оцінка щодо обмеження скручуванню*

(1) Схеми випробувань, що наведені на рисунку A.11, можуть бути використані для оцінки ступеня розкріплення від скручування, яке створює прикріплений настил або інший елемент, що розташовується в прольоті перпендикулярно до балки.

A.5.3 Determination of torsional restraint

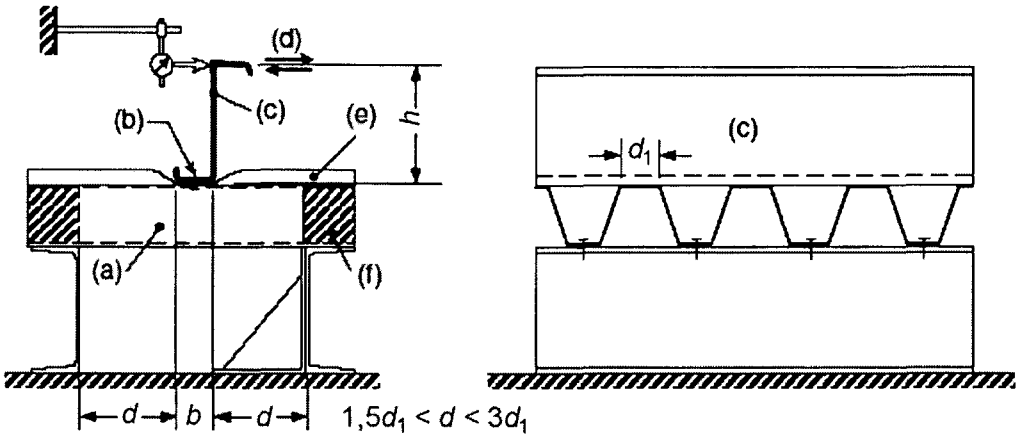
(1) The test set-up shown in figure A.11 may be used to determine the amount of torsional restraint given by adequately fastened sheeting or by another member perpendicular to the span of the beam.



Позначки:
(a) – настил,
(b) – метвиріб,
(c) профіль,
(d) навантаження,
(e) жорстка опора

Key:
(a) sheeting,
(b) fastener,
(c) profile,
(d) load,
(e) clamped support

a) Варіант 1
a) Alternative 1



Позначки:
(a) – настил,
(b) – кріпильний виріб,
(c) – профіль,
(d) – навантаження,
(e) – ізоляція за необхідності,
(f) – дерев'яні вкладки

Key:
(a) sheeting,
(b) fastener,
(c) profile,
(d) load,
(e) insulation if available,
(f) timber blocks

a) Варіант 2
a) Alternative 2

Рисунок А.11 – Експериментальне визначення жорсткостей K_A і K_B
Figure A.11 – Experimental determination of spring stiffness K_A and K_B

(2) За цими схемами випробувань розглядаються два види закріплення від скручування з різними характеристиками жорсткості:

a) погонна жорсткість із площини K_A, яка відповідає крутильній жорсткості з'єднання настилу з балкою;

b) погонна жорсткість із площини K_B, яка відповідає депланації поперечного перерізу прогону.

(2) This test set-up covers two different contributions to the total amount of restraint as follows:

a) The lateral stiffness K_A per unit length corresponding to the rotational stiffness of the connection between the sheeting and the beam;

b) The lateral stiffness K_B per unit length due to distortion of the cross-section of the purlin.

(3) Загальна повздовжня жорсткість визначається за формулою:

(3) The combined restraint per unit length may be determined from:

$$(1/K_A + 1/K_B) = \delta / F\,, \qquad \text{(A.5)}$$

де:

F – навантаження на одиницю довжини зразка, який випробовується і викликає горизонтальне переміщення $h/10$;

h – загальна висота зразка;

δ – горизонтальне переміщення верхньої полиці за направленням дії F.

(4) При оцінці результатів випробувань окремі параметри повинні бути прийняті як змінні, а саме:

- кількість кріпильних виробів на одиницю довжини зразка;
- тип кріпильних виробів;
- згинальна жорсткість балки, що залежить від її товщини;
- згинальна жорсткість нижньої полиці настилу, що залежить від її товщини;
- розташування кріпильних виробів на полиці настилу;
- відстань від кріпильних виробів до центра повороту балки;
- загальна висота балки;
- наявність ізоляції між балкою і настилом.

where:

F is the load per unit length of the test specimen to produce a lateral deflection of $h/10$;

h is the overall depth of the specimen;

δ is the lateral displacement of the top flange in the direction of the load F.

(4) In interpreting the test results, the following parameters should be treated as variables:

- the number of fasteners per unit length of the specimen;
- the type of fasteners;
- the flexural stiffness of the beam, relative to its thickness;
- the flexural stiffness of the bottom flange of the sheeting, relative to its thickness;
- the positions of the fasteners in the flange of the sheeting;
- the distance from the fasteners to the centre of rotation of the beam;
- the overall depth of the beam;
- the possible presence of insulation between the beam and the sheeting.

A.6 Обробка результатів випробувань

A.6.1 *Загальні положення*

(1) Зразок, що випробовується, можна вважати зруйнованим, якщо навантаження при випробуванні досягло максимального значення або деформації перевищили граничні значення.

(2) Певні деформації елементів повинні задовольняти загальні вимоги:

A.6 Evaluation of test results

A.6.1 *General*

(1) A specimen under test should be regarded as having failed if the applied test loads reach their maximum values, or if the gross deformations exceed specified limits.

(2) The gross deformations of members should generally satisfy:

$$\delta \le L/50\,, \qquad \text{(A.6)}$$

$$\phi \le 1/50\,, \qquad \text{(A.7)}$$

де

δ – максимальний прогин балки прольотом L ;

ϕ – кут нахилу конструкції.

(3) При випробуванні з'єднань або їх частин, де необхідна точна оцінка деформацій (наприклад, при визначенні залежності момент-поворот при накладках), розвиток деформацій під час випробувань, не обмежується.

where:

δ is the maximum deflection of a beam of span L ;

ϕ is the sway angle of a structure.

(3) In the testing of connections, or of components in which the examination of large deformations is necessary for accurate assessment (for example, in evaluating the moment-rotation characteristics of sleeves), no limit need be placed on the gross deformation during the test.

(4) Під час випробувань необхідно додержуватись певних правил безпеки у разі пластичної або можливої крихкої форми руйнування. Враховуючи, що крихкі форми руйнування під час великомасштабних випробувань, як правило, не проявлюються, за необхідності повинні бути проведені додаткові більш детальні випробування.

Примітка. Описаний випадок – виключно для з'єднань.

A.6.2 *Коригування результатів випробувань*

(1) Результати випробувань повинні бути дещо скориговані для врахування відмінності виміряних при випробуванні характеристик зразків з номінальними значеннями.

(2) Виміряна основна границя текучості $f_{yb,obs}$ не повинна відрізнятися більше ніж на 25 % від номінальної базової границі текучості f_{yb}, тобто $f_{yb,obs} \geq 0{,}75\, f_{yb}$.

(3) Виміряна товщина t_{obs} не повинна перевищувати номінальну товщину матеріалу t_{nom} (див. 3.2.4) більше ніж на 12 %.

(4) Коригування повинні бути виконані і по відношенню до виміряних значень товщин матеріалу $t_{obs,cor}$ і базової границі текучості $f_{yb,obs}$ при всіх випробуваннях, крім таких, де ці параметри використовувались для перевірки розрахункової моделі, в яких вказівки (5) не можуть бути застосовані.

(5) Скориговане значення $R_{adj,i}$, як результат i-го випробування, повинно бути визначено з використанням результату випробувань $R_{obs,i}$:

(4) An appropriate margin of safety should be available between a ductile failure mode and possible brittle failure modes. As brittle failure modes do not usually appear in large scale tests, additional detail tests should be carried out where necessary.

NOTE: This is often the case for connections.

A.6.2 *Adjustment of test results*

(1) Test results should be appropriately adjusted to allow for variations between the actual measured properties of the test specimens and their nominal values.

(2) The actual measured basic yield strength $f_{yb,obs}$ should not deviate by more than – 25 % from the nominal basic yield strength f_{yb} i.e. $f_{yb,obs} \geq 0{,}75\, f_{yb}$.

(3) The actual measured thickness t_{obs} should not exceed the nominal material thickness t_{nom} (see 3.2.4) by more than 12 %.

(4) Adjustments should be made in respect of the actual measured values of the core material thickness $t_{obs,cor}$ and the basic yield strength $f_{yb,obs}$ for all tests, except if values measured in tests are used to calibrate a design model then provisions of (5) need not be applied.

(5) The adjusted value $R_{adj,i}$ of the test result for test i should be determined from the actual measured test result $R_{obs,i}$ using:

$$R_{adj,i} = R_{obs,i} / \mu_R \,, \tag{A.8}$$

де μ_R – поправочний коефіцієнт за опором:

in which μ_R is the resistance adjustment coefficient given by:

$$\mu_R = \left(\frac{f_{yb,obs}}{f_{yb}} \right)^{\alpha} \left(\frac{t_{obs,cor}}{t_{cor}} \right)^{\beta} . \tag{A.9}$$

(6) Показник ступеня α в формулі (A.9) приймається в залежності:

– якщо $f_{yb,obs} \leq f_{yb}$: $\alpha = 0$;
– якщо $f_{yb,obs} > f_{yb}$: $\alpha = 1$.

Для профлистів або касетних профілів, в яких стиснуті елементи мають досить значні відношення b_p / t, втрата місцевої стійкості є формою руйнування: $\alpha = 0{,}5$.

(6) The exponent α for use in expression (A.9) should be obtained as follows:

– if $f_{yb,obs} \leq f_{yb}$: $\alpha = 0$;
– if $f_{yb,obs} > f_{yb}$: $\alpha = 1$.

For profiled sheets or liner trays in which compression elements have such large b_p / t ratios that local buckling is clearly the failure mode: $\alpha = 0{,}5$.

(7) Показник ступеня β в формулі (A.9) приймається в залежності:

- якщо $t_{obs,cor} \le t_{cor}$: $\beta = 1$;
- якщо $t_{obs,cor} > t_{cor}$:
- для випробувань профлистів або касетних профілів $\beta = 2$;
- для випробування конструкцій або їх частин:
  - при $b_p/t \le (b_p/t)_{\lim}$, $\beta = 1$,
  - при $b_p/t > 1{,}5(b_p/t)_{\lim}$, $\beta = 2$,
  - при $(b_p/t)_{\lim} < b_p/t < 1{,}5(b_p/t)_{\lim}$:

  β приймається за лінійною інтерполяцією і граничне відношення ширини до товщини $(b_p/t)_{\lim}$ визначається за формулою:

(7) The exponent β for use in expression (A.9) should be obtained as follows:

- if $t_{obs,cor} \le t_{cor}$: $\beta = 1$;
- if $t_{obs,cor} > t_{cor}$:
- for tests on profiled sheets or liner trays $\beta = 2$
- for tests on members, structures or portions of structures:
  - if $b_p/t \le (b_p/t)_{\lim}$, $\beta = 1$,
  - if $b_p/t > 1{,}5(b_p/t)_{\lim}$, $\beta = 2$,
  - if $(b_p/t)_{\lim} < b_p/t < 1{,}5(b_p/t)_{\lim}$:

  obtain β by linear interpolation.
  in which the limiting width-to thickness ratio $(b_p/t)_{\lim}$ given by:

$$(b_p/t)_{\lim} = 0{,}64\sqrt{\frac{Ek_\sigma}{f_{yb}}}\sqrt{\frac{f_{yb}/\gamma_{M1}}{\sigma_{com,Ed}}} \cong 19{,}1\,\varepsilon\sqrt{k_\sigma}\sqrt{\frac{f_{yb}/\gamma_{M1}}{\sigma_{com,Ed}}}, \qquad \text{(A.10)}$$

де:

b_p – номінальна ширина плоского елемента;

k_σ – коефіцієнт щодо втрати стійкості згідно з таблицею 4.1 або 4.2 EN 1993-1-5;

$\sigma_{com,Ed}$ – найбільше в елементі розрахункове напруження стиску за граничним станом за несучою здатністю.

Примітка. Значення, яке визначено згідно з A.6.2, можна не враховувати, якщо при випробуванні зразків з $t_{obs,cor}/t_{cor} \le 1{,}06$, отриманий результат не перевищує 1,02 $R_{adj,i}$.

where:

b_p is the notional flat width of a plane element;

k_σ is the relevant buckling factor from table 4.1 or 4.2 in EN 1993-1-5;

$\sigma_{com,Ed}$ is the iargest calculated compressive stress in the element, at the ultimate limit state.

NOTE: In the case of available test report concerning sheet specimens with $t_{obs,cor}/t_{cor} \le 1{,}06$ readjustment of existing value not exceeding 1,02 times the $R_{adj,i}$ value according to A.6.2 may be omitted.

A.6.3 *Характеристичні значення*

A.6.3.1 *Загальні положення*

(1) Характеристичні значення можуть визначатись статистично за наявності результатів не менше ніж чотирьох випробувань.

Примітка. Доцільніше мати більшу кількість результатів випробувань особливо, якщо коливання їх достатньо значні.

(2) При кількості результатів випробувань не більше трьох може бути застосований метод згідно з A.6.3.3.

(3) Якщо необхідно визначити максимальне або середнє характеристичне значення, можна використати відповідне перетворення вимог, заданих для мінімального характеристичного значення. Мінімальне характеристичне значення визначається з використанням таких вимог.

A.6.3 *Characteristic values*

A.6.3.1 *General*

(1) Characteristic values may be determined statistically, provided that there are at least 4 test results.

NOTE: A larger number is generally preferable, particularly if the scatter is relatively wide.

(2) If the number of test results available is 3 or less, the method given in A.6.3.3 may be used.

(3) The characteristic minimum value should be determined using the following provisions. If the characteristic maximum value or the characteristic mean value is required, it should be determined by using appropriate adaptations of the provisions given for the characteristic minimum value.

(4) Характеристичне значення R_k , яке отримане за результатами чотирьох випробувань, визначається за формулою:

(4) The characteristic value R_k determined on the basis of at least 4 tests may be obtained from:

$$R_k = R_m +/- k s \,, \qquad \text{(A.11)}$$

де:

s – стандартне відхилення результатів випробувань;

k – коефіцієнт, що враховує обсяг вибірки за таблицею А.2;

R_m – середнє арифметичне значення скоригованих результатів випробувань R_{adj} ;

Знак "+" або "–" повинен обиратись для конкретного значення, що розглядається.

Примітка. Як правило, для характеристичного значення опору обирається знак "–", а для повороту, наприклад, можуть бути прийнятими обидва знаки.

(5) Стандартне відхилення s визначається за формулою:

where:

s is the standard deviation;

k is the appropriate coefficient from table A.2;

R_m is the mean value of the adjusted test results R_{adj} ;

The unfavourable sign "+" or "–" should be adopted for given considered value.

NOTE: As general rule, for resistance characteristic value, the sign "–" should be taken and e.g. for rotation characteristic value, both are to be considered.

(5) The standard deviation s may be determined using:

$$s = \left[\sum_{j=1}^{n}\left(R_{adj,i} - R_m\right)^2 /(n-1)\right]^{0,5} \equiv \left[\left[\sum_{i=1}^{n}\left(R_{adj,i}\right)^2 - (1/n)\left(\sum_{i=1}^{n} R_{adj,i}\right)^2\right] /(n-1)\right]^{0,5} , \qquad \text{(A.12)}$$

де:

$R_{adj,i}$ – відповідний результат i-го випробування;

n – кількість випробувань.

where:

$R_{adj,i}$ is the adjusted test result for test i ;

n is the number of tests.

Таблиця А.2 – Значення коефіцієнта k

Table A.2 – Values of the coefficient k

N	4	5	6	8	10	20	30	∞
k	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

A.6.3.2 *Характеристичні значення при серійних випробуваннях*

(1) Серійні випробування, що проводяться на деякій кількості подібних конструкцій, їх частин, елементів, листів, інших складових конструкцій, в яких один або декілька параметрів відрізняються, можуть розглядатись як єдина серія випробувань за умови, що всі вони мають однакову форму руйнування. Параметри, що можуть відрізнятись, – це розміри поперечного перерізу, прольоти, товщина і міцність матеріалу.

(2) Характеристичний опір елементів з цієї серії може визначатись на підставі відповідної розрахункової залежності, що зв'язує результати випробувань з усіма обумовленими вище

A.6.3.2 *Characteristic values for families of tests*

(1) A series of tests carried out on a number of otherwise similar structures, portions of structures, members, sheets or other structural components, in which one or more parameters is varied, may be treated as a single family of tests, provided that they all have the same failure mode. The parameters that are varied may include cross-sectional dimensions, spans, thicknesses and material strengths.

(2) The characteristic resistances of the members of a family may be determined on the basis of a suitable design expression that relates the test results to all the relevant parameters. This design

параметрами. Ця розрахункова залежність може бути заснована на відповідних рівняннях будівельної механіки або визначатись емпіричним шляхом.

(3) Розрахункова залежність доповнюється коефіцієнтами, які допомагають оптимізувати співвідношення результатів випробувань для більш точного і практичного визначення нормативного опору.

Примітка. Інформація щодо цієї методики наведена в додатку D EN 1990.

(4) Для розрахунку стандартного відхилення *s* кожен результат випробувань спочатку повинен бути нормалізований шляхом поділу його на відповідне значення, що отримане із розрахункової залежності. Якщо розрахункову залежність перетворити згідно з (3), середнє арифметичне значення нормалізованих результатів буде дорівнювати одиниці. Кількість випробувань *n* повинна дорівнювати загальній кількості серійних випробувань.

(5) В серії, що складається з чотирьох або більше випробувань, характеристичний опір R_k повинен визначатися за формулою (A.11), при цьому R_m приймається таким, що дорівнює значенню, що отримано з розрахункової залежності з використанням коефіцієнта *k* згідно з таблицею A.2, який відповідає кількості випробувань *n* за серією.

A.6.3.3 *Характеристичні значення при невеликій кількості випробувань*

(1) При проведенні тільки одного випробування характеристичний опір R_k повинен визначатися в залежності від результату випробувань R_{adj} з використанням формули:

expression may either be based on the appropriate equations of structural mechanics, or determined on an empirical basis.

(3) The design expression should be modified to predict the mean measured resistance as accurately as practicable, by adjusting the coefficients to optimize the correlation.

NOTE: Information on this process is given Annex D of EN 1990.

(4) In order to calculate the standard deviation *s* each test result should first be normalized by dividing it by the corresponding value predicted by the design expression. If the design expression has been modified as specified in (3), the mean value of the normalized test results will be unity. The number of tests *n* should be taken as equal to the total number of tests in the family.

(5) For a family of at least four tests, the characteristic resistance R_k should then be obtained from expression (A.11) by taking R_m as equal to the value predicted by the design expression, and using the value of *k* from table A.2 corresponding to a value of *n* equal to the total number of tests in the family.

A.6.3.3 *Characteristic values based on a small number of tests*

(1) If only one test is carried out, then the characteristic resistance R_k corresponding to this test should be obtained from the adjusted test result R_{adj} using:

$$R_k = 0,9\,\eta_k\,R_{adj}\,, \tag{A.13}$$

де η_k – коефіцієнт, що враховує форму руйнування:

– при пластичному руйнуванні

$$\eta_k = 0,9\,;$$

– при розвитку надмірних деформацій

$$\eta_k = 0,9\,;$$

– при місцевій втраті стійкості

$$\eta_k = 0,8 \ldots 0,9$$

в залежності від впливу її на роботу взагалі;

– при загальній втраті стійкості:

$$\eta_k = 0,7\,.$$

in which η_k should be taken as follows, depending on the failure mode:

– yielding failure:

– gross deformation:

– local buckling:

depending on effects on global behaviour in tests;

– overall instability:

(2) В серії з двох або трьох випробувань за умови, що кожен результат $R_{adj,i}$ при випробуваннях відрізняється від середнього значення R_m в межах ±10 %, характеристичний опір R_k за результатами випробувань визначається як:

(2) For a family of two or three tests, provided that each adjusted test result $R_{adj,i}$ is within ±10 % of the mean value R_m of the adjusted test results, the characteristic resistance R_k should be obtained using:

$$R_k = \eta_k R_m. \tag{A.14}$$

(3) Характеристичні значення жорсткості (наприклад, згинальна або крутильна) приймаються як середньоарифметичне значення не менше ніж двох випробувань за умови, що кожен з результатів відрізняється від середньоарифметичного значення в межах ±10 %.

(3) The characteristic values of stiffness properties (such as flexural or rotational stiffness) may be taken as the mean value of at least two tests, provided that each test result is within ±10 % of the mean value.

(4) При проведенні одного випробування характеристичне значення жорсткості зменшують до 0,95 або збільшують до 1,05 в несприятливий бік.

(4) In the case of one single test the characteristic value of the stiffness is reduced by 0,95 for favourable value and increased by 1,05 for non-favourable value.

A.6.4 ***Розрахункові значення***

(1) Розрахункове значення опору R_d повинно встановлюватися в залежності від характеристичного нормативного значення R_k, яке визначено під час випробувань як:

A.6.4 ***Design values***

(1) The design value of a resistance R_d should be derived from the corresponding characteristic value R_k determined by testing, using:

$$R_d = \eta_{sys} \frac{R_k}{\gamma_M}, \tag{A.15}$$

де:

γ_M – частковий коефіцієнт надійності;

η_{sys} – коефіцієнт перетворення, яким враховується відмінність умов роботи під час випробувань і при експлуатації.

where:

γ_M is the partial factor for resistance;

η_{sys} is a conversion factor for differences in behaviour under test conditions and service conditions.

(2) Значення η_{sys} повинно визначатись в залежності від моделі випробувань.

(2) The appropriate value for η_{sys} should be determined in dependance of the modelling for testing.

(3) Для настилів та інших профілів, які випробовуються із застосуванням відомих стандартних методик (включаючи A.3.2.1 – випробування коротких стояків, A.3.3 – випробування на розтяг і A.3.4 – випробування на згин) коефіцієнт η_{sys} приймається 1,0. Для випробування балок, закріплених від повороту згідно з розділом A.5, η_{sys} приймається також 1,0.

(3) For sheeting and for other well defined standard testing procedures (including A.3.2.1 stub column tests, A.3.3 tension tests and A.3.4 bending tests) η_{sys} may be taken as equal to 1,0. For tests on torsionally restrained beams conformed to the section A.5, η_{sys} = 1,0 may also be taken.

(4) Для інших видів випробувань, за яких можливий фактор нестабільності чи робота конструкцій або їх частин, не може бути достатньо досліджена, для забезпечення необхідної надійності значення η_{sys} повинно прийматись виходячи з реальних умов випробувань.

(4) For other types of tests in which possible instability phenomena, or modes of behaviour, of structures or structural components might not be covered sufficiently by the tests, the value of sys should be assessed taking into account the actual testing conditions, in order to achieve the necessary reliability.

Примітка: Частковий коефіцієнт надійності γ_M може бути наведений в Національному додатку. Окрім значень, що наведені в додатку Д EN 1990, рекомендується використовувати значення з розділів 2 або 8.

A.6.5 *Експлуатаційна придатність*

(1) Необхідно враховувати вимоги, що наведені в розділі 7.

NOTE: The partial factor γ_M may be given in the National Annex. It is recommended to use the M-values as chosen in the design by calculation given in section 2 or section 8 of this part unless other values result from the use of Annex D of EN 1990.

A.6.5 *Serviceability*

(1) The provisions given in Section 7 should be satisfied.

ДОДАТОК В
(довідковий)

ANNEX B
[informative]

ДОВГОВІЧНІСТЬ КРІПИЛЬНИХ ВИРОБІВ

DURABILITY OF FASTENERS

(1) Для конструкцій класів I, II і III може використовуватись таблиця В.1.

(1) In Construction Classes I, II and III table B.1 may be applied.

Таблиця В.1 – Матеріал кріпильних виробів в залежності від корозійного середовища (стосується тільки кріплення листових матеріалів). Враховується тільки вірогідність корозії. Класифікація середовища прийнята згідно з EN ISO 12944-2.

Table B.1 – Fastener material with regard to corrosion environment (and sheeting material only for information). Only the risk of corrosion is considered. Classification of environment according to EN ISO 12944-2.

Класифікація середовища Classification of environment	Матеріал листа Sheet material	Матеріал кріпильних виробів Material of fastener					
		Алюміній Aluminium	Електролізно-оцинкована сталь. Товщина покриття > 7 мкм Electro galvanized steel. Coat thickness > 7 μm	Гарячеоцинкована сталь [b]. Товщина покриття > 45 мкм Hot-dip zinc coated steel [b]. Coat thickness > 45 μm	Зміцнена нержавіюча сталь, Stainless steel, case hardened. 1.4006 [d]	Сталь нержавіюча, Stainless steel, 1.4301 [d] 1.4436 [d]	Сплав [a] Monel [a]
C1	A, B, C	X	X	X	X	X	X
	D, E, S	X	X	X	X	X	X
C2	A	X	–	X	X	X	X
	C, D, E	X	–	X	X	X	X
	S	X	–	X	X	X	X
C3	A	X	–	X	–	X	X
	C, E	X	–	X	(X)[c]	(X)[c]	–
	D	X	–	X	–	(X)[c]	X
	S	–	–	X	X	X	X
C4	A	X	–	(X)[c]	–	(X)[c]	–
	D	–	–	X	–	(X)[c]	–
	E	X	–	X	–	(X)[c]	–
	S	–	–	X	–	X	X
C5-I	A	X	–	–	–	(X)[c]	–
	D[f]	–	–	X	–	(X)[c]	–
	S	–	–	–	–	X	–
C5-M	A	X	–	–	–	(X)[c]	–
	D[f]	–	–	X	–	(X)[c]	–
	S	–	–	–	–	X	–

Примітка. Кріпильні вироби із сталі без покриття можуть використовуватись в корозійному середовищі класу С1.

A – алюміній незалежно від покриття поверхні;

B – сталевий лист без покриття;

C – гарячеоцинкований сталевий лист (Z275) або з алюмоцинковим покриттям (AZ150);

D – гарячеоцинкований сталевий лист з лакофарбовим або полімерним покриттям;

E – сталевий лист з алюмоцинковим покриттям (AZ185);

S – нержавіюча сталь;

X – рекомендований тип матеріалу з урахуванням корозії;

(X) – рекомендований тип матеріалу з урахуванням корозії за специфічних умов;

"–" – матеріал, що не рекомендується для застосування в корозійному середовищі;

[a] – стосується тільки заклепок;

[b] – стосується тільки гвинтів і гайок;

[c] – ізолююча шайба із довговічного матеріалу між листом і кріпильним виробом;

[d] – нержавіюча сталь EN 10 088;

[e] – вірогідність зникнення кольору;

[f] – обов'язкова перевірка листа постачальником.

(2) Класифікація зовнішнього середовища згідно з EN-ISO 12944-2 наведена в таблиці В. 2.

NOTE: Fastener of steel without coating may be used in corrosion classification class C1.

A = Aluminium irrespective of surface finish

B = Un-coated steel sheet

C = Hot-dip zinc coated (Z275) or aluzink coated (AZ150) steel sheet

D = Hot-dip zinc coated steel sheet + coating of paint or plastics

E = Aluzink coated (AZ185) steel sheet

S = Stainless steel

X = Type of material recommended from the corrosion standpoint

(X) = Type of material recommended from the corrosion standpoint under the specified condition only

– = Type of material not recommended from the corrosion standpoint

[a] Refers to rivets only

[b] Refers to screws and nuts only

[c] Insulating washer, of material resistant to ageing, between sheeting and fastener

[d] Stainless steel EN 10 088

[e] Risk of discoloration

[f] Always check with sheet supplier

(2) The environmental classification following EN-ISO 12944-2 is presented in table B.2.

Таблиця В.2 – Класифікація атмосферного середовища щодо впливу на корозію згідно з EN ISO 12944-2 і характеристика типів зовнішнього середовища

Table B.2 – Atmospheric-corrosivity categories according to EN ISO 12944-2 and examples of typical environments

Категорія корозійного середовища Corrosivity category	Ступінь корозійної небезпеки Corrosivity level	Характеристика типів середовища в залежності від кліматичного впливу (довідково) Examples of typical environments in a temperate climate (informative)	
		Зовнішнє середовище Exterior	Внутрішнє середовище Interior
C1	Дуже низький Very low	–	Будівлі, що опалюються з чистим повітрям, наприклад, офіси, магазини, школи, готелі. Heated buildings with clean atmospheres, e.g. offices, shops, schools and hotels.
C2	Низький Low	Атмосфера з низьким рівнем забруднення. В основному, сільська місцевість. Atmospheres with low level of pollution. Mostly rural areas.	Будівлі без опалення, де можливе утворення конденсату, наприклад, склади, спортивні зали. Unheated buildings where condensation may occur, e.g. depots, sport halls.

Кінець таблиці В.2

Категорія корозійного середовища Corrosivity category	Ступінь корозійної небезпеки Corrosivity level	Характеристика типів середовища в залежності від кліматичного впливу (довідково) Examples of typical environments in a temperate climate (informative)	
		Зовнішнє середовище Exterior	Внутрішнє середовище Interior
C3	Середній Medium	Міська і промислова атмосфера з помірним вмістом сірчистого ангідриду. Області узбережжя з низьким вмістом солі. Urban and industrial atmospheres, moderate sulphur dioxide pollution. Coastal areas with low salinity.	Виробничі приміщення з високою вологістю і деякими виділеннями у повітря, наприклад, підприємства з виготовлення харчових продуктів, пральні, броварні. Production rooms with high humidity and some air pollution, e.g. food-processing plants, laundries, breweries and dairies.
C4	Високий High	Промислові зони, узбережжя з середнім вмістом солі. Industrial areas and coastal areas with moderate salinity.	Хімічні заводи, плавальні басейни, прибережні судноверфі. Chemical plants, swimming pools, coastal ship- and boatyards.
C5-I	Дуже високий (промисловий) Very high (industrial)	Промислові зони з високою вологістю і агресивною атмосферою. Industrial areas with high humidity and aggressive atmosphere.	Будівлі або райони з майже постійним конденсатом і високим забрудненням повітря. Building or areas with almost permanent condensation and with high pollution.
C5-M	Дуже високий (морський) Very high (marine)	Прибережні приморські райони з високим вмістом солей. Coastal and offshore areas with high salinity.	Будівлі або райони з майже постійним конденсатом і високим забрудненням повітря. Building or areas with almost permanent condensation and with high pollution.

ДОДАТОК С
(довідковий)

ANNEX C
[informative]

КОНСТАНТИ ПОПЕРЕЧНИХ ПЕРЕРІЗІВ ТОНКОСТІННИХ ПРОФІЛІВ

CROSS SECTION CONSTANTS FOR THIN-WALLED CROSS SECTIONS

С.1 Відкритий профіль

C.1 Open cross sections

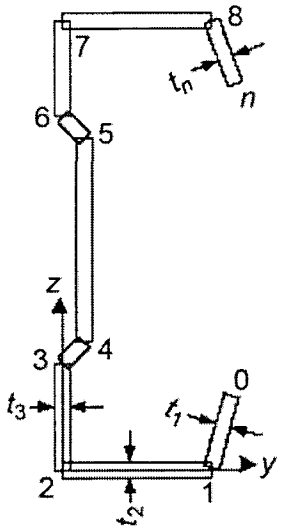


Рисунок С.1 – Вузлові з'єднання поперечного перерізу

Figure C.1 – Cross section nodes

(1) Поділити поперечний переріз на *n* частин. Нумерація частин від 1 до *n*. Позначити вузли між частинами. Номери вузлів від 0 до *n*. Частина *i* обмежується вузлами *i* – 1 та *i*. Позначити вузли, координати і товщину (ефективну).

(1) Divide the cross section into *n* parts. Number the parts 1 to *n*. Insert nodes between the parts. Number the nodes 0 to *n*. Part i is then defined by nodes *i* – 1 and *i*. Give nodes, co-ordinates and (effective) thickness.

Вузли і частини:

Nodes and parts

$$j = 0...n\ ,\ \ i = 1...n$$

Площа частин поперечного перерізу:

Area of cross section parts

$$dA_i = \left[t_i \sqrt{\left(y_i - y_{i-1}\right)^2 + \left(z_i - z_{i-1}\right)^2} \right].$$

Площа поперечного перерізу:

Cross section area

$$A = \sum_{i=1}^{n} dA_i\ .$$

Статичний момент і координата центра тяжіння перерізу відносно осі *y*:

First moment of area with respect to *y*-axis and coordinate for gravity centre

$$S_{y0} = \sum_{i=1}^{n} (z_i - z_{i-1}) \frac{dA_i}{2}\ ;\ z_{gc} = \frac{S_{y0}}{A}\ .$$

Момент інерції перерізу відносно початкової осі *y* і нової осі *y*, що проходить через центр тяжіння перерізу:

Second moment of area with respect to original *y*-axis and new *y*-axis through gravity centre

$$I_{y0} = \sum_{i=1}^{n}\left[(z_i)^2 + (z_{i-1})^2 + z_i \cdot z_{i-1})\right]\frac{dA_i}{3}\ ;\ \ I_y = I_{y0} - Az_{gc}^2\ .$$

Статичний момент і координата центра тяжіння перерізу відносно осі *z*:

First moment of area with respect to *z*-axis and gravity centre

$$S_{z0} = \sum_{i=1}^{n}(y_i + y_{i-1})\frac{dA_i}{2}\ ;\ y_{gc} = \frac{S_{z0}}{A}\ .$$

Момент інерції відносно початкової осі *z* і нової осі *z*, що проходить через центр тяжіння перерізу:

Second moment of area with respect to original *z*-axis and new *z*-axis through gravity centre

$$I_{z0} = \sum_{i=1}^{n}\left[(z_i)^2 + (z_{i-1})^2 + z_i \cdot z_{i-1})\right]\frac{dA_i}{3}\ ;\ \ I_z = I_{z0} - Ay_{gc}^2\ .$$

Відцентровий момент інерції перерізу відносно осей *y* та *z* і нових осей, що проходять через центр тяжіння:

Product moment of area with respect of original *y*- and *z*-axis and new axes through gravity centre

$$I_{yz0} = \sum_{i=1}^{n}(2 \cdot y_{i-1} \cdot z_{i-1} + 2 \cdot y_i \cdot z_i + y_{i-1} \cdot z_i + y_i \cdot z_{i-1})\frac{dA_i}{6}\ ;\ I_{yz} = I_{yz0} = \frac{S_{y0}S_{z0}}{A}\ .$$

Головна вісь:

Principal axis

$$\alpha = \frac{1}{2}\operatorname{arctah}\left(\frac{2I_{yz}}{I_z - I_y}\right),$$

при цьому

if

$$(I_z - I_y) \neq 0\ ,$$

інакше

otherwise

$$\alpha = 0\ ;$$

$$I\xi = \frac{1}{2}\left[I_y + I_z + \sqrt{(I_z - I_y)^2 + 4I_{yz}^2}\right];$$

$$I\eta = \frac{1}{2}\left[I_y + I_z - \sqrt{(I_z - I_y)^2 + 4I_{yz}^2}\right].$$

Секторіальні координати:

Sectorial co-ordinates

$$\omega_0 = 0\ ,\ \ \omega_{0_i} = y_{i-1} \cdot z_i - y_i \cdot z_{i-1}\ ,\ \ \omega_i = \omega_{i-1} + \omega_{0_i}\ .$$

Середнє значення секторіальної координати:

Mean of sectorial coordinate

$$I_\omega = \sum_{i=1}^{n}(\omega_{i-1} + \omega_i)\frac{dA_i}{2}\ ;\ \omega_{mean} = \frac{I_\omega}{A}\ .$$

Секторіальні константи: Sectorial constants

$$I_{y\omega 0} = \sum_{i=1}^{n}\left(2\cdot y_{i-1}\cdot\omega_{i-1} + 2\cdot y_i\cdot\omega_i + y_{i-1}\cdot\omega_i + y_i\cdot\omega_{i-1}\right)\frac{dA_i}{6};\quad I_{y\omega} = I_{y\omega 0} - \frac{S_{z0}I_\omega}{A},$$

$$I_{z\omega 0} = \sum_{i=1}^{n}\left(2\cdot\omega_{i-1}\cdot z_{i-1} + 2\cdot\omega_i\cdot z_i + \omega_{i-1}\cdot z_i + \omega_i\cdot z_{i-1}\right)\frac{dA_i}{6};\quad I_{z\omega} = I_{z\omega 0} - \frac{S_{y0}I_\omega}{A},$$

$$I_{\omega\omega 0} = \sum_{i=1}^{n}\left[(\omega_i)^2 + (\omega_{i-1})^2 + \omega_i\,\omega_{i-1}\right]\frac{dA_i}{6};\qquad I_{\omega\omega} = I_{\omega\omega 0} - \frac{I_\omega^2}{A}.$$

Центр зсуву: Shear centre

$$y_{sc} = \frac{I_{z\omega}I_z - I_{y\omega}I_{yz}}{I_yI_z - I_{yz}^2};\quad z_{sc} = \frac{-I_{y\omega}I_y + I_{z\omega}I_{yz}}{I_yI_z - I_{yz}^2};\quad \left(I_yI_z - I_{yz}^2 \neq 0\right).$$

Константа депланації: Warping constant

$$I_w = I_{\omega\omega} + z_{sc}I_{y\omega} - y_{sc}I_{z\omega}.$$

Крутильні константи: Torsion constants

$$I_t = \sum_{i=1}^{n} dA_i\,\frac{(t_i)^2}{3};\quad W_t = \frac{I_t}{\min(t)}.$$

Секторіальна координата центра зсуву: Sectorial co-ordinate with respect to shear centre

$$\omega_{s_j} = \omega_j - \omega_{mean} + z_{sc}\,(y_j - y_{gc}) - y_{sc}\,(z_j - z_{gc}).$$

Максимальна секторіальна координата і секторіальний момент опору (при обмеженні скручування): Maximum sectorial co-ordinate and warping modulus

$$\omega_{\max} = \max\left(|\omega_s|\right);\quad W_w = \frac{I_w}{\omega_{\max}}.$$

Відстань між центрами зсуву і тяжіння: Distance between shear centre and gravity centre

$$y_s = y_{sc} - y_{gc};\quad z_s = z_{sc} - z_{gc}.$$

Полярний момент інерції відносно центра зсуву: Polar moment of area with respect to shear centre

$$I_p = I_y + I_z + A\left(y_s^2 + z_s^2\right).$$

Коефіцієнт асиметрії z_j і y_j: Non-symmetry factors z_j and y_j

$$z_j = z_s - \frac{0{,}5}{I_y}\sum_{i=1}^{n}\left[\left(z_{c_i}\right)^3 + z_{c_i}\left[\frac{\left(z_i - z_{i-1}\right)^2}{4} + \left(y_{c_i}\right)^2 + \frac{\left(y_i - y_{i-1}\right)^2}{12}\right] + y_{c_i}\,\frac{\left(y_i - y_{i-1}\right)\cdot\left(z_i - z_{i-1}\right)}{6}\right]dA_i;$$

$$y_j = y_s - \frac{0{,}5}{I_z}\sum_{i=1}^{n}\left[\left(y_{c_i}\right)^3 + y_{c_i}\left[\frac{\left(y_i - y_{i-1}\right)^2}{4} + \left(z_{c_i}\right)^2 + \frac{\left(z_i - z_{i-1}\right)^2}{12}\right] + z_{c_i}\,\frac{\left(z_i - z_{i-1}\right)\cdot\left(y_i - y_{i-1}\right)}{6}\right]dA_i,$$

де координати центра частин поперечного перерізу відносно центра зсуву:

where the coordinates for the centre of the cross section parts with respect to shear center are

$$y_{c_i} = \frac{y_i + y_{i-1}}{2} - y_{gc} \; ; \quad z_{c_i} = \frac{z_i + z_{i-1}}{2} - z_{gc} \; .$$

Примітка. $z_j = 0$ ($y_j = 0$) для поперечних перерізів, в яких вісь y (вісь z) є віссю симетрії, див. рис. С.1.

NOTE: $z_j = 0$ ($y_j = 0$) for cross sections with y-axis (z-axis) being axis of symmetry, see Figure C.1.

С.2 Константи поперечних перерізів для профілів з відгинами

(1) Для поперечних перерізів з відгинами можна користуватись формулами згідно з С.1. Для цього необхідно перейти від товщини відгину $t = 0$ до наступної частини з $t \neq 0$, див. 3 – 4 – 5 і 6 – 7 на рисунку С.2. Перерізи з відгинами – це такі, в яких більше ніж дві частини з'єднуються в одній точці.

C.2 Cross section constants for open cross section with branches

(1) In cross sections with branches, formulae in C.1 can be used. However, follow the branching back (with thickness $t = 0$) to the next part with thickness $t \neq 0$, see branch 3 – 4 – 5 and 6 – 7 in Figure C.2. A section with branches is a section with points where more than two parts are joined together.

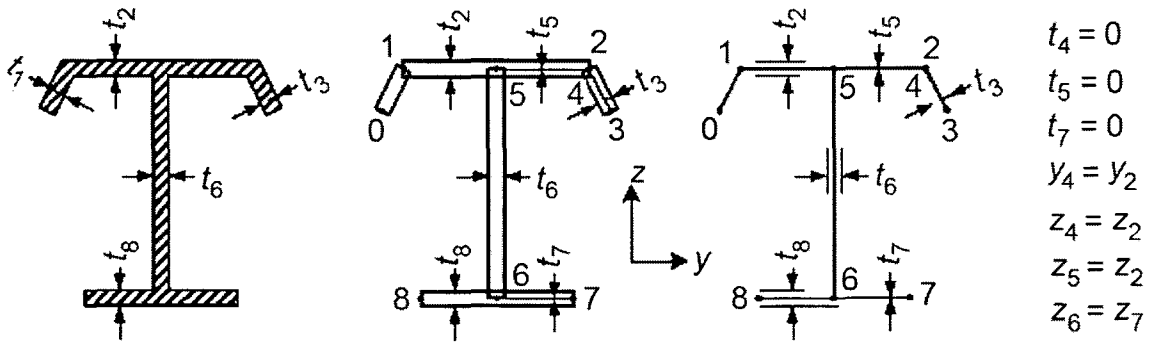


Рисунок С.2 – Вузлові з'єднання і частини поперечного перерізу з відводами

Figure C.2 – Nodes and parts in a cross section with branches

С.3 Крутильні константи і центр зсуву профілю з замкненою частиною

C.3 Torsion constant and shear centre of cross section with closed part

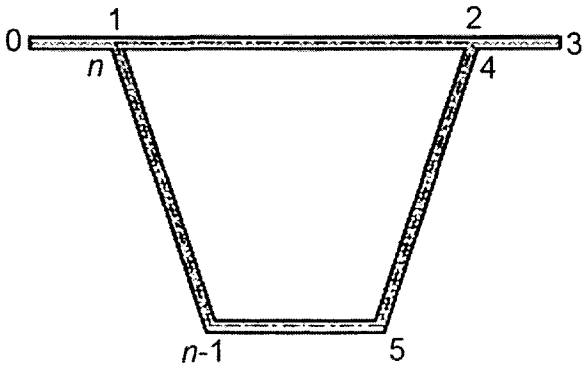


Рисунок С.3 – Профіль з замкненою частиною

Figure C.3 – Cross section with closed part

(1) Для симетричних або несиметричних перерізів з замкненою частиною, рисунок С.3, константи при вільному скручуванні визначаються, як наведено нижче:

(1) For a symmetric or non-symmetric cross section with a closed part, Figure C.3, the torsion constant is given by

$$I_t = \frac{4A_t^2}{S_t} \text{ і (and) } W_t = 2A_t \min(t_i),$$

де

where

$$A_t = 0{,}5\sum_{i=2}^{n}(y_i - y_{i-1})(z_i + z_{i-1});$$

$$S_t = \sum_{i=2}^{n}\frac{\sqrt{(y_i - y_{i-1})^2 + (z_i - z_{i-1})^2}}{t_i}, \ (t_i \neq 0).$$

ДОДАТОК Д
(довідковий)

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ШИРИНИ І ТОВЩИНИ КРАЙОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗМІШАНИМ МЕТОДОМ

(1) В цьому додатку наведений метод визначення ефективної ширини крайових стиснутих елементів, як альтернатива 5.5.2. Ефективна площа елемента складається із частки з ефективною шириною b_{e0} і частки з ефективною товщиною t_{eff} на останній ширині елемента з повною шириною b_p , див. таблицю Д.1.

При визначенні коефіцієнта втрати стійкості k_σ згідно з таблицею Д.1 умовна гнучкість $\bar{\lambda}_p$ і понижувальний коефіцієнт ρ визначається згідно з 5.5.2.

Коефіцієнт співвідношення напружень ψ , що використовується для обчислення коефіцієнта втрати стійкості k_σ, визначається, виходячи з розподілення напруження в повному поперечному перерізі.

(2) Опір перерізу повинен визначатися за припущенням про розподілення напруження в перерізі при роботі в пружній стадії.

ANNEX D
[informative]

MIXED EFFECTIVE WIDTH/EFFECTIVE THICKNESS METHOD FOR OUTSTAND ELEMENTS

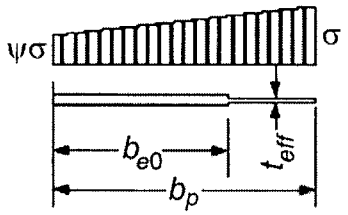
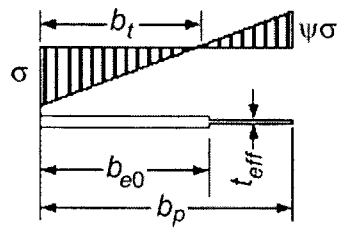
(1) This annex gives an alternative to the effective width method in 5.5.2 for outstand elements in compression. The effective area of the element is composed of the element thickness times an effective width b_{e0} and an effective thickness t_{eff} times the rest of the element width b_p. See Table D.1.

The slenderness parameter $\bar{\lambda}_p$ and reduction factor ρ is found in 5.5.2 for the buckling factor k_σ in Table D.1.

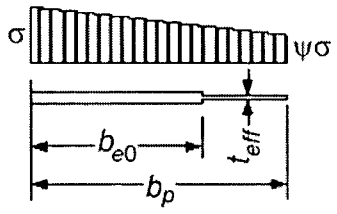
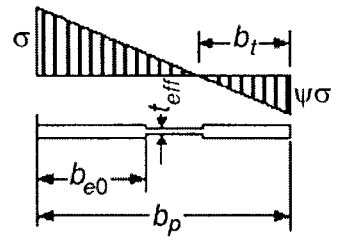
The stress relation factor ψ in the buckling factor k_σ may be based on the stress distribution for the gross cross section.

(2) The resistance of the section should be based on elastic stress distribution over the section.

Таблиця D.1 – Стиснуті крайові елементи
Table D.1 – Outstand compression elements

Максимальний стиск на вільному повздовжньому краї Maximum compression at free longitudinal edge		
Розподілення напруження Stress distribution	Ефективні ширина і товщина Effective width and thickness	Коефіцієнт втрати стійкості Buckling factor
	$1 \geq \psi \geq 0$ $b_{e0} = 0{,}42 b_p$ $t_{eff} = (1{,}75\rho - 0{,}75)t$	$1 \geq \psi \geq -2$ $k_{eff} = \dfrac{1{,}7}{3+\psi}$
	$\psi < 0$ $b_{e0} = \dfrac{0{,}42 b_p}{(1-\psi)} + b_t < b_p$ $b_t = \dfrac{\psi b_p}{(\psi - 1)}$ $t_{eff} = (1{,}75\rho - 0{,}75 - 0{,}15\psi)t$	$-2 > \psi \geq -3$ $k_\sigma = 3{,}3(1+\psi) + 1{,}25\psi^2$ $\psi < -3$ $k_\sigma = 0{,}29(1-\psi)^2$

Кінець таблиці Д.1

Максимальний стиск на обпертому повздовжньому краї Maximum compression at supported longitudinal edge		
Розподілення напруження Stress distribution	Ефективні ширина і товщина Effective width and thickness	Коефіцієнт втрати стійкості Buckling factor
	$1 \geq \psi \geq 0$ $b_{e0} = 0,42 b_p$ $t_{eff} = (1,75\rho - 0,75)t$	$1 \geq \psi \geq 0$ $k_\sigma = \dfrac{1,7}{1+3\psi}$
	$\psi < 0$ $b_{e0} = \dfrac{0,42 b_p}{(1-\psi)}$ $b_t = \dfrac{\psi b_p}{(\psi - 1)}$ $t_{eff} = (1,75\rho - 0,75)t$	$0 \geq \psi \geq -1$ $k_\sigma = 1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2$ $\psi < -1$ $k_\sigma = 5,98(1-\psi)^2$

ДОДАТОК Е
(довідковий)

НАБЛИЖЕНИЙ РОЗРАХУНОК ПРОГОНІВ

(1) Прогони С-, Z- або ∑-подібної форми перерізу з додатковими елементами жорсткості на стінці або полиці або без них розраховуються згідно з (2) – (4) за таких умов:

- розміри поперечного перерізу відповідають наведеним в таблиці Е.1;
- прогони із площини розкріплені профнастилом з трапецієподібними гофрами, причому горизонтальне розкріплення є неперервним і задовольняє вимоги нерівності (10.1a);
- прогони розкріплені від повороту профнастилом з трапецієподібними гофрами згідно з таблицею Е.1;
- прогони мають рівні прольоти з рівномірним навантаженням.

Цей метод не застосовується:

- для систем, в яких для розкріплення застосовуються стрижні;
- для систем, що з'єднуються внапуск або на накладках;
- для систем, що сприймають осьове зусилля N_{Ed}.

Примітка. Обмеження або можливість застосування цього методу може бути наведено в Національному додатку.

ANNEX E
[informative]

SIMPLIFIED DESIGN FOR PURLINS

(1) Purlins with C-, Z- and ∑-cross-sections with or without additional stiffeners in web or flange may be designed due to (2) to (4) if the following conditions are fulfilled:

- the cross-section dimension are within the range of table E.1;
- the purlins are horizontally restraint by trapezoidal sheeting where the horizontal restraint fulfill the conditions of the equation (10.1a);
- the purlins are restraint rotationally by trapezoidal sheeting and the conditions of table E.1 are met;
- the purlins have equal spans and uniform loading.

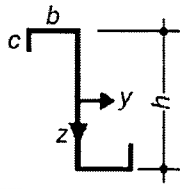
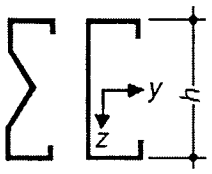
This method should not be used:

- for systems using anti-sag bars;
- for sleeve or overlapping systems;
- for application of axial forces N_{Ed}.

NOTE: The limitation and validity of this method may be given in the National Annex.

Таблиця Е.1 – Обмеження при застосуванні наближеного методу розрахунків із використанням інших обмежень згідно з таблицею 5.1 і розділом 5.2 (вісь *y* паралельна і вісь *z* перпендикулярна до верхньої полиці)

Table E.1 – Limitations to be fulfilled if the simplified design method is used and other limits as in Table 5.1 and section 5.2 (the axis *y* and *z* are parallel respect rectangular to the top flange)

Тип прогону purlins	*t*, мм (mm)	*b/t*	*h/t*	*h/b*	*c/t*	*b/c*	*L/h*
	≥ 1,25	≤ 55	≤ 160	≤ 3,43	≤ 20	≤ 4,0	≥ 15
	≥ 1,25	≤ 55	≤ 160	≤ 3,43	≤ 20	≤ 4,0	≥15

(2) Розрахункове значення згинального моменту повинно задовольняти умову:

(2) The design value of the bending moment MEd should satisfy

$$\frac{M_{Ed}}{M_{LT,Rd}} \le 1, \tag{E.1}$$

де:

where

$$M_{LT,Rd} = \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}}\right) W_{eff,y} \frac{\chi_{Lt}}{k_d} \tag{E.2}$$

і

$W_{eff,y}$ – момент опору ефективного поперечного перерізу відносно осі y-y;

χ_{Lt} – понижувальний коефіцієнт, що враховує втрату стійкості плоскої форми згину в залежності від $\bar{\lambda}_{LT}$ згідно з 6.2.3, де α_{LT} замінюється на $\alpha_{LT,eff}$;

і

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{eff,y} f_y}{M_{cr}}}, \tag{E.3}$$

$$\alpha_{LT,eff} = \alpha_{LT} \sqrt{\frac{W_{el,y}}{W_{eff,y}}} \tag{E.4}$$

і

α_{LT} – коефіцієнт недосконалості згідно з 6.2.3;

$W_{el,y}$ – момент опору повного поперечного перерізу відносно осі y-y;

k_d – коефіцієнт, що враховує не підкріплену частину прогону, визначається за формулою (E.5) і таблицею E.2;

and

$W_{eff,y}$ is section modulus of the effective cross-section with regard to the y-y axis;

χ_{Lt} is reduction factor for lateral torsional buckling in dependency of $\bar{\lambda}_{LT}$ due to 6.2.3, where α_{LT} is substituted by $\alpha_{LT,eff}$;

and

and

α_{LT} is imperfection factor due to 6.2.3;

$W_{el,y}$ is section modulus of the gross cross-section with regard to the y-y axis;

k_d is coefficient for consideration of the non restraint part of the purlin according to equation (E.5) and table E.2;

$$k_d = \left(\alpha_1 - \alpha_2 \frac{L}{h}\right), \text{ але (but) } \ge 1{,}0, \tag{E.5}$$

α_1, α_2 – коефіцієнти згідно з таблицею E.2;

L – проліт прогону;

h – повна висота прогону.

α_1, α_2 coefficients from table E.2;

L span of the purlin;

h overall depth of the purlin.

Таблиця Е.2 – Коефіцієнти α_1, α_2 для формули (Е.5)
Table E.2 – Coefficients α_1, α_2 for equation (E.5)

Схема System	Прогони Z-подібні Z-purlins		Прогони С-подібні C-purlins		Прогони Σ-подібні Σ-purlins	
	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2
Однопрольотна балка, гравітаційне навантаження single span beam gravity load	1,0	0	1,1	0,002	1,1	0,002
Однопрольотна балка, підйомне навантаження single span beam uplift load	1,3	0	3,5	0,050	1,9	0,020
Нерозрізна балка, гравітаційне навантаження continuous beam gravity load	1,0	0	1,6	0,020	1,6	0,020
Нерозрізна балка, підйомне навантаження continuous beam uplift load	1,4	0,010	2,7	0,040	1,0	0

(3) Понижувальний коефіцієнт χ_{Lt} приймається згідно з (Е.6) при гравітаційному навантаженні однопрольотної балки або за умови (Е.7)

(3) The reduction factor χ_{Lt} c may be chosen by equation (E.6), if a single span beam under gravity load is present or if equation (E.7) is met

$$\chi_{Lt} = 1{,}0\,, \tag{E.6}$$

$$C_D \geq \frac{M_{el,u}^2}{EI_v} k_\vartheta\,, \tag{E.7}$$

де:

where

$$M_{el,u} = W_{el,u} f_y \tag{E.8}$$

момент в пружній стадії в повному поперечному перерізі відносно головної осі u-u;

I_v – момент інерції повного поперечного перерізу відносно другорядної осі v-v;

k_ϑ – коефіцієнт, що враховує статичну схему прогону згідно з таблицею Е.3.

Примітка. Для С- і Σ-подібних прогонів з рівними полицями $I_v = I_z$, $W_u = W_y$, і $M_{el,u} = M_{el,y}$. Умовні познаки осей наведені на рисунку 1.7 в 1.6.4.

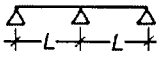
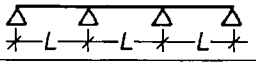
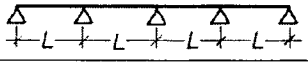
elastic moment of the gross cross-section with regard to the major u-u axis;

I_v moment of inertia of the gross cross-section with regard to the minor v-v axis;

k_ϑ factor for considering the static system of the purlin due to table E.3.

NOTE: For equal flanged C-purlins and Σ-purlins $I_v = I_z$, $W_u = W_y$, and $M_{el,u} = M_{el,y}$. Conventions used for cross section axes are shown in Figure 1.7 and section 1.6.4.

Таблиця Е.3 – Коефіцієнт k_ϑ
Table E.3 – Factors k_ϑ

Статична схема Statical system	Гравітаційне навантаження Gravity load	Підйомне навантаження Uplift load
	–	0,210
	0,07	0,029
	0,15	0,066
	0,10	0,053

(4) Для випадків, що не розглядають в (3), понижувальний коефіцієнт χ_{Lt} обчислюється згідно з 6.2.4 в залежності від $\bar{\lambda}_{LT}$ і $\alpha_{LT,eff}$.

Граничний момент M_{cr} в пружній стадії при втраті стійкості за поперечно-крутильною формою обчислюється згідно з (E.9):

(4) The reduction factor χ_{Lt} should be calculated according to 6.2.4 using $\bar{\lambda}_{LT}$ and $\alpha_{LT,eff}$ in cases which are not met by (3). The elastic critical moment for lateral-torsional buckling M_{cr} may be calculated by the equation (E.9):

$$M_{cr} = \frac{k}{L}\sqrt{GI_t^* EI_v}\,, \tag{E.9}$$

де:

I_t^* – фіктивний момент інерції за Сен-Венаном при вільному скручуванні, який враховує ефективність закріплення від крутіння (E.10) і (E.11)

where

I_t^* is the fictitious St. Venant torsion constant considering the effective rotational restraint by equation (E.10) and (E.11):

$$I_t^* = I_t + C_D \frac{L^2}{\pi^2 G}\,, \tag{E.10}$$

I_t – момент інерції при вільному скручуванні за Сен-Венаном;

I_t is St. Venant torsion constant of the purlin;

$$1/C_D = \frac{1}{C_{D,A}} + \frac{1}{C_{D,B}} + \frac{1}{C_{D,C}}\,, \tag{E.11}$$

$C_{D,A}$, $C_{D,C}$ – крутильні жорсткості згідно з 10.1.5.2;

$C_{D,A}$, $C_{D,C}$ rotational stiffnesses due to 10.1.5.2;

$C_{D,B}$ – крутильна жорсткість прогону при деплanації його поперечного перерізу згідно з 10.1.5.1, $C_{D,B} = K_B h^2$, де h – висота прогону; K_B визначається згідно з 10.1.5.1;

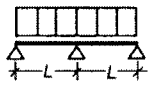
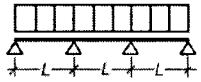
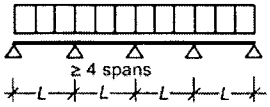
$C_{D,B}$ rotational stiffnesses due to distorsion of the cross-section of the purlin due to 10.1.5.1, $C_{D,B} = K_B h^2$, where h = depth of the purlin and K_B according to 10.1.5.1;

k – коефіцієнт, що враховує втрату стійкості за поперечно-крутильною формою згідно з таблицею E.4.

k lateral torsional buckling coefficient due to table E.4.

Таблиця E.4 – Коефіцієнт k втрати стійкості плоскої форми згину для прогонів з розкріпленої від крутіння верхньої полиці

Table E.4 – Lateral torsional buckling coefficients k for purlins restrained horizontally at the upper flange

Статична схема Statical system	Гравітаційне навантаження Gravity load	Підйомне навантаження Uplift load
	∞	10,3
	17,7	27,7
	12,2	18,3
	14,6	20,5

ДОДАТОК НА
(довідковий)

ПЕРЕЛІК НАЦІОНАЛЬНИХ СТАНДАРТІВ УКРАЇНИ (ДСТУ), ІДЕНТИЧНИХ МІЖДЕРЖАВНИМ СТАНДАРТАМ, ПОСИЛАННЯ НА ЯКІ Є В EN 1993-1-3:2006

Познака та назва європейського стандарту	Ступінь відповідності	Познака та назва національного стандарту України (ДСТУ)
EN 1993 Eurocode 3 – Design of steel structures Part 1-1 to part 1-12	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. – Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1993-1-1:2005, IDT)
	IDT	– Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1993-1-2:2005, IDT)
	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1993-1-4:2012 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. – Частина 1-4. Загальні положення. Додаткові правила для нержавіючої сталі (EN 1993-1-4:2004, IDT)
	IDT	– Частина 1-5. Пластинчасті конструктивні елементи (EN 1993-1-5:2006, IDT)
	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1993-1-6:2011 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. – Частина 1-6. Міцність та стійкість оболонок (EN 1993-1-6:2007, IDT)
	IDT	– Частина 1-8. Проектування з'єднань (EN 1993-1-8:2005, IDT)
	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1993-1-7:2012 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. – Частина 1-7. Пластинчасті конструкції при навантаженні поза межами площини (EN 1993-1-7:2007, IDT)
	IDT	– Частина 1-9. Витривалість (EN 1993-1-9:2005, IDT)
	IDT	– Частина 1-10. Тріщиностійкість матеріалу та його властивості у напрямі товщини прокату (EN 1993-1-10:2005, IDT)
	IDT	– Частина 1-11. Проектування конструкцій з розтягнутими елементами (EN 1993-1-11:2006, IDT)
	IDT	– Частина 1-12. Додаткові правила до EN 1993 для сталей класів не вище S 700 (EN 1993-1-12:2007, IDT)
EN 10025-1 Hot-rolled products of structural steels – Part 1: General delivery conditions		ДСТУ 10025-1:2007 Вироби із гарячекатаних конструкційних сталей. Частина 1. Загальні умови постачання

Познака та назва європейського стандарту	Ступінь відповідності	Познака та назва національного стандарту України (ДСТУ)
EN 10025-2 Hot-rolled products of structural steels – Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels		ДСТУ 10025-2:2007 Вироби із гарячекатаних конструкційних сталей. Частина 2. Технічні умови постачання нелегованих конструкційних сталей
EN 10025-3 Hot-rolled products of structural steels – Part 3: Technical delivery conditions for normalized/normalized rolled weldable fine grain structural steels		ДСТУ 10025-3:2007 Вироби із гарячекатаних конструкційних сталей. Частина 3. Технічні умови постачання нормалізованих/нормалізованих під час прокатки зварюваних дрібнозернистих сталей
EN 10025-4 Hot-rolled products of structural steels – Part 4: Technical delivery conditions for thermomechanical rolled weldable fine grain structural steels		ДСТУ 10025-4:2007 Вироби із гарячекатаних конструкційних сталей. Частина 4. Технічні умови постачання термозміцнених катаних зварюваних дрібнозернистих конструкційних сталей
EN 10025-5 Hot-rolled products of structural steels – Part 5: Technical delivery conditions for structural steels with improved atmospheric corrosion resistance		ДСТУ 10025-5:2007 Вироби із гарячекатаних конструкційних сталей. Частина 5. Технічні умови постачання конструкційних сталей підвищеної стійкості до атмосферної корозії
EN 10149 Hot rolled flat products made of high yield strength steels for cold-forming: Part 3: Delivery conditions for thermomechanical rolled steels		ДСТУ 10149-3:2009 Гарячекатані плоскі листи із високоміцної сталі для холодного профілювання. Частина 3. Умови постачання термозміцнених прокатних сталей
EN 10204 Metallic products. Types of inspection documents (includes amendment A 1:1995)		ДСТУ 10204-2001 Метали. Види контрольних документів (включаючи зміну А 1:1995)
EN 1994 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1994-1-1:2010 Єврокод 4. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1994-1-1:2004, IDT)
	IDT	ДСТУ-Н Б EN 1994-1-2:20XX Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1994-1-2:2005, IDT)

ЄВРОПЕЙСЬКИЙ СТАНДАРТ
UROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

EN 1993-1-3:2006/AC

листопад 2009
November 2009

ICS 91.010.30

(Український переклад англомовної версії)
English version

Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій Частина 1-3. Загальні правила. Додаткові правила для холодноформованих елементів і профільованих листів

Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-3: General rules – Supplementary rules for cold-formed members and sheeting

Ця поправка вступає в силу з 11 листопада 2009 року і вноситься у три офіційні мовні версії EN.
This corrigendum becomes effective on 11 November 2009 for incorporation in the three official language versions of the EN.

ЄВРОПЕЙСЬКИЙ КОМІТЕТ ІЗ СТАНДАРТИЗАЦІЇ
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION

Дирекція: вулиця Марнікс 17, Б-1000 Брюссель
Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels

© 2009 CEN Всі права на використання у будь-якій формі та в будь-якій спосіб у всьому світі належать національним членам CEN

© 2009 CEN All rights of exploitation in any form and by any means reserved worldwide for CEN national Members.

Ref. No.:EN 1993-1-3:2006/AC:2009 D/E/F

1) Зміна в 1.1
Підпункт "(1)", *видалити слово* "тонколистових".

2) Зміна в 3.2.1
Підпункт "(1)", *замінити* "тимчасовий опір" *на* "границя міцності".

3) Зміна в 3.2.4
Підпункт "(3)", *у виразі* "(3.3b)" *виключити другий знак дорівнює* "=".

4) Зміна в розділі 4
Підпункт "(1)", "**Примітка**", *замінити* "EN 1090, 9.3.1" *на* "EN 1090-2, 9.3.1".

5) Зміна в 5.5.2
Підпункт "(3)", *замінити слова* "в таблицях 4.1 і 4.2" *на* "в таблицях 4.1 і 4.2 EN 1993-1-5".

6) Зміна в 5.5.3.2
Підпункт "(10)", *замінити* "5.5.2(5)" *на* "5.5.2(1)".

7) Зміна в 5.5.3.3
Підпункт "(9)", *замінити* "5.5.2(5)" *на* "5.5.2(1)".

8) Зміна в 5.5.3.4.4
Підпункт "(1)", *2-й рядок, замінити* "взаємодія між втратою стійкості форми перерізу (згинальна форма втрати стійкості елементів жорсткості полиці і стінки)" *на* "взаємодія між згинальною формою втрати стійкості елементів жорсткості полиці і стінки".

9) Зміна в 6.1.2
Підпункт "(1)", *замінити* "див. 3.2.3" *на* "див. 3.2.2".
Підпункт "(2)", *замінити* "EN 1993-1-8, 3.6.3" *на* "EN 1993-1-8, 3.10.3".

10) Зміна в 6.1.3
Підпункт "(1)", *вилучити:*
" $\bar{\lambda}_{e\max}$ умовна гнучкість елемента, яка відповідає найбільшому співвідношенню $\bar{\lambda}_e/\bar{\lambda}_{e0}$;".

11) Зміна в 6.1.4.1
Підпункт "(1)", *вилучити 12-й рядок:*
"Для елементів, що підкріплені елементами жорсткості, $\bar{\lambda}_e = \bar{\lambda}_d$ і $\bar{\lambda}_{e0} = 0{,}65$, див. 5.5.3."

12) Зміна в 6.1.7.2
Підпункт "(4)", *у формулі* "(6.16d)", *рівняння для* "k_7", "k_8" і "k_{10}", *замінити:*
– "$k_7 = 1 + s_s / t\,/750$" *на*
"$k_7 = 1 + h_w / (t \times 750)$";

1) Modification to 1.1
Paragraph "(1)", *delete three times* "thin gauge".

2) Modification to 3.2.1
Paragraph "(1)", *replace* "tensile strength" *with* "ultimate tensile strength".

3) Modification to 3.2.4
Paragraph "(3)", *in Equation* "(3.3b)", *delete the second* "=" sign.

4) Modification to Clause 4
Paragraph "(1)", "NOTE", *replace* "EN 1090, 9.3.1" *with* "EN 1090-2, 9.3.1".

5) Modification to 5.5.2
Paragraph "(3)", *replace two times* "from tables 4.1 and 4.2" *with* "from tables 4.1 and 4.2 of EN 1993-1-5".

6) Modification to 5.5.3.2
Paragraph "(10)", *replace* "5.5.2(5)" *with* "5.5.2(1)".

7) Modification to 5.5.3.3
Paragraph "(9)", *replace* "5.5.2(5)" *with* "5.5.2(1)".

8) Modification to 5.5.3.4.4
Paragraph "(1)", *2nd line, replace* "interaction between the distortional buckling (flexural buckling of the flange stiffeners and the web stiffeners)" *with* "interaction between the flexural buckling of the flange stiffeners and the web stiffeners".

9) Modifications to 6.1.2
Paragraph "(1)", *replace* "see 3.2.3" *with* "see 3.2.2".
Paragraph "(2)", *replace* "EN 1993-1-8, 3.6.3" *with* "EN 1993-1-8, 3.10.3".

10) Modification to 6.1.3
Paragraph "(1)", *delete:*
" $\bar{\lambda}_{e\max}$ is the relative slenderness of the element which corresponds to the largest value of $\bar{\lambda}_e/\bar{\lambda}_{e0}$;".

11) Modification to 6.1.4.1
Paragraph "(1)", *delete the 12th line:*
"For stiffened elements $\bar{\lambda}_e = \bar{\lambda}_d$ and $\bar{\lambda}_{e0} = 0{,}65$, see 5.5.3."

12) Modifications to 6.1.7.2
Paragraph "(4)", *under Equation* "(6.16d)", *Equations for* "k_7", "k_8" and "k_{10}", *replace:*
– "$k_7 = 1 + s_s / t\,/750$" *with*
"$k_7 = 1 + h_w / (t \times 750)$";

– "$k_8 = (1{,}10 - s_s / t / 665 / k$ " *на*
"$k_8 = (1{,}10 - h_w / (t \times 665)) / k$ ";
– *і* "$k_{10} = (0{,}98 - s_s / t / 865 / k$ " *на*
"$k_{10} = (0{,}98 - h_w / (t \times 865)) / k$ ";

13) Зміна в 6.1.9

Підпункт "(3)", *замінити*
"$M_{cy,Rd,ten} \leq {}_{cy,Rd,com}$" *на* "$M_{cy,Rd,ten} \leq M_{cy,Rd,com}$".

14) Зміна в 6.2.3

Підпункт "(6)", *замінити*
"(6) Для перерізів з двома осями симетрії (наприклад, $y_o = z_o = 0$) критична сила $N_{cr,TF}$ для згинально-крутильної форми втрати стійкості в пружній стадії повинна визначатися за формулою:

$$N_{cr,TF} = N_{cr,T} \qquad (6.34)$$

при цьому $N_{cr,T} < N_{cr,y}$ і $N_{cr,T} < N_{cr,z}$."

на
"(6) Для перерізів з двома осями симетрії (наприклад, $y_o = z_o = 0$) критична сила в пружній стадії N_{cr} повинна визначатись за формулою:

$$N_{cr} = N_{cr,i}, \qquad (6.34)$$

де $N_{cr,i}$ повинна визначатись як найменше з цих значень: $N_{cr,y}$, $N_{cr,z}$, $N_{cr,T}$."

15) Зміна в 6.2.5

Підпункт "(2)", *1-й рядок, замінити* "(6.38)" *на* "(6.36)".

16) Зміна в 8.2

Підпункт "(2)", *замінити* "6.2.2.1(2)" *на* "6.2.2(1)".

17) Зміна в 8.3

Підпункт "(13)", "Таблиця 8.2", "Примітка:*2)", *виправити друкарську помилку в слові* "ґвинти".
Підпункт "(13)", "Таблиця 8.4", Сфера застосування *замінити* "3 мм > $t \geq$ 0,75 мм" *на* "0,75 мм ≤ t < 3 мм".

18) Зміна в 8.5.3

Підпункт "(5)", *підпункт* "(i)", *замінити* "$F_{w,Sd}$" *на* "$F_{w,Rd}$".

19) Зміна в 10.1.1

Підпункт "(5)", *виправити друкарську помилку в слові* "трапецієвидний".
Підпункт "(6)", *тотожно* "(5)".

20) Зміна в 10.1.4.2

Підпункт "(7)", *у тексті замінити* "формула (10.10a)" *на* "формула (10.9)", *а також* "10.1.4.2(5)" *на* "(5)".

– "$k_8 = (1{,}10 - s_s / t / 665 / k$ " *with*
"$k_8 = (1{,}10 - h_w / (t \times 665)) / k$ ";
– *and* "$k_{10} = (0{,}98 - s_s / t / 865 / k$ " *with*
"$k_{10} = (0{,}98 - h_w / (t \times 865)) / k$ ";

13) Modification to 6.1.9

Paragraph "(3)", *replace*
"$M_{cy,Rd,ten} \leq {}_{cy,Rd,com}$" *with* "$M_{cy,Rd,ten} \leq M_{cy,Rd,com}$".

14) Modification to 6.2.3

Paragraph "(6)", *replace*
"(6) For doubly symmetric cross-sections (e.g. $y_o = z_o = 0$), the elastic critical force $N_{cr,TF}$ for torsional-flexural buckling should be determined from:

$$N_{cr,TF} = N_{cr,T} \qquad (6.34)$$

provided $N_{cr,T} < N_{cr,y}$ and $N_{cr,T} < N_{cr,z}$."

with:
"(6) For doubly symmetric cross-sections (e.g. $y_o = z_o = 0$), the elastic critical force N_{cr} should be determined from:

$$N_{cr} = N_{cr,i}, \qquad (6.34)$$

where $N_{cr,i}$ should be determined as minimum from three values: $N_{cr,y}$, $N_{cr,z}$, $N_{cr,T}$."

15) Modification to 6.2.5

Paragraph "(2)", *1st line, replace* "(6.38)" *with* "(6.36)".

16) Modification to 8.2

Paragraph "(2)", *replace* "6.2.2.1(2)" *with* "6.2.2(1)".

17) Modifications to 8.3

Paragraph "(13)", "Table 8.2", "NOTE:*2)", *replace two times* "skrews" *with* "screws".
Paragraph "(13)", "Table 8.4", *8th row from the top, replace* "3 мм > $t \geq$ 0,75 мм" *with* "0,75 mm ≤ t < 3 mm ".

18) Modification to 8.5.3

Paragraph "(5)", *list entry* "(i)", *replace two times* "$F_{w,Sd}$" *with* "$F_{w,Rd}$".

19) Modifications to 10.1.1

Paragraph "(5)", *correct* "trapetzoidal" *into* "trapezoidal".
Paragraph "(6)", *correct* "trapetzoidal" *into* "trapezoidal".

20) Modifications to 10.1.4.2

Paragraph "(7)", *2nd and 3rd lines, replace* "The formula (10.10a)" *with* "The formula (10.9)".
Paragraph "(7)", *4th line, replace* "10.1.4.2(5)" *with* "(5)".

21) Зміна в 10.1.6

Підпункт "(2)", "Таблиця 10.5", *для реакції* R_1 *в третьому рядку замінити*
"$-1\,(1-\zeta)\,k_h\,q_{Ed}\,L/2$" *на* "$(1-\zeta)\,k_h\,q_{Ed}\,L/2$".

Підпункт "(2)", "Таблиця 10.5", *для реакції* R_2 *в третьому рядку замінити* "$(1-\zeta)\,k_h\,q_{Ed}\,L/2$" *на* "$-1\,(1-\zeta)\,k_h\,q_{Ed}\,L/2$".

Підпункт "(2)", "Таблиця 10.5", *для реакції* R_1 *в четвертому рядку замінити*
"$1\,(1-\zeta)\,k_h\,q_{Ed}\,L/2$" *на* "$-(1-\zeta)\,k_h\,q_{Ed}\,L/2$".

Параграф "(2)", "Таблиця 10.5", *для реакції* R_2 *в четвертому рядку замінити*
"$-1\,(1-\zeta)\,k_h\,q_{Ed}\,L/2$" *на* "$(1-\zeta)\,k_h\,q_{Ed}\,L/2$".

Підпункт "(3)", *доповнити редакцію*

"Коефіцієнт ς можна приймати як $\varsigma = 1-\sqrt[3]{\kappa_R^2}$, де поправочний коефіцієнт κ_R наведено в таблиці 10.1, а ξ приймається як $\xi = 1{,}5\,\varsigma$.".

22) Зміна в 10.2.1

Підпункт "(1)", *в другому реченні слова* "розв'язані сталевим профнастилом" *замінити на* "розв'язані сталевим профнастилом чи прогоном, чи подібним елементом".

23) Зміна в 10.4

Підпункт "(2)", *замінити* "згідно з 5.1" *на* "згідно з 5".

Підпункт "(2)", *в рівнянні* "(10.25)", *замінити*

"$t_{a,eff} = 1{,}18\,t\left(1-\dfrac{d}{0{,}9\,a}\right)$" *на:*

"$t_{a,eff} = 1{,}18\,t\left(1-0{,}9\,\dfrac{d}{a}\right)$".

Підпункт "(4)", *замінити* "згідно з 6.1.9" *на* "згідно з 6.1.7".

24) Зміна в А.4.1

Підпункт "(2)", *6-й рядок, вилучити* "(дуже рідко)".

25) Зміна в А.6.2

Підпункт "(5)", *визначення* μ_R *викласти в редакції* "μ_R – поправочний коефіцієнт".

Підпункт "(7)", *після примітки додати звичайним текстом пункт:*

21) Modifications to 10.1.6

Paragraph "(2)", "Table 10.5", *4th row* "C-beam, gravity loading", *second column* "Reaction force on bottom flange R_1 ", *replace* "$-1\,(1-\zeta)\,k_h\,q_{Ed}\,L/2$" with "$(1-\zeta)\,k_h\,q_{Ed}\,L/2$".

Paragraph "(2)", "Table 10.5", *4th row* "C-beam, gravity loading", *third column* "Reaction force on top flange R_2", *replace* "$(1-\zeta)\,k_h\,q_{Ed}\,L/2$" *with* "$-1\,(1-\zeta)\,k_h\,q_{Ed}\,L/2$".

Paragraph "(2)", "Table 10.5", *5th row* "C-beam, uplift loading", *second column* "Reaction force on bottom flange R_1", *replace* " $1\,(1-\zeta)\,k_h\,q_{Ed}\,L/2$" *with* "$-(1-\zeta)\,k_h\,q_{Ed}\,L/2$".

Paragraph "(2)", "Table 10.5", *5th row* "C-beam, uplift loading", *third column* "Reaction force on top flange R_2", *replace* "$-1\,(1-\zeta)\,k_h\,q_{Ed}\,L/2$" *with* "$(1-\zeta)\,k_h\,q_{Ed}\,L/2$".

Paragraph "(3)", replace this paragraph with the following one:

"(3) The factor ς may be taken as $\varsigma = 1-\sqrt[3]{\kappa_R^2}$ where κ_R is the correction factor given in Table 10.1, and the factor ξ may be taken as $\xi = 1{,}5\,\varsigma$."

22) Modification to 10.2.1

Paragraph "(1)", *replace in the second sentence* "by attached profiled steel sheeting" *with* "by attached profiled steel sheeting or by steel purlin or by similar component".

23) Modifications to 10.4

Paragraph "(2)", *replace in the first sentence* "using 5.1" *with* "using 5".

Paragraph "(2)", *Equation* "(10.25)", *replace* "$t_{a,eff} = 1{,}18\,t\left(1-\dfrac{d}{0{,}9\,a}\right)$" *with:*

"$t_{a,eff} = 1{,}18\,t\left(1-0{,}9\,\dfrac{d}{a}\right)$".

Paragraph "(4)", *replace in the first sentence* "using 6.1.9" *with* "using 6.1.7".

24) Modification to A.4.1

Paragraph "(2)", *6th line, delete* "(rare)".

25) Modifications to A.6.2

Paragraph "(5)", *replace* "in which μ_R is the resistance adjustment coefficient" *with* "in which μ_R is the adjustment coefficient".

Paragraph "(7)", *add after the note as normal clause text:*

"Для коригування моменту інерції поперечного перерізу, коли при навантаженні, що відповідає граничному стану експлуатаційної придатності, спостерігається лінійна залежність, показники ступеня в формулі (A.9) повинні прийматися так: $\alpha = 0$; $\beta = 1{,}0$."

26) Зміна в Додатку E

Підпункт "(1)", *замінити* "прогони розкріплені... згідно з таблицею E.1" *на* "прогони розкріплені... згідно з таблицею 10.3".

Підпункт "(3)", "**Примітка**", *замінити посилання* "1.6.4" *на* "1.5.4".

"For the adjustment of second moment of area, where linear behaviour is observed under the serviceability limit state loading, the exponents in the formula (A.9) should be taken as follows: $\alpha = 0$ and $\beta = 1{,}0$."

26) Modifications to Annex E

Paragraph "(1)", *replace* "the purlins are restraint... of table E.1 are met" *with* "the purlins are restrained ... of table 10.3 are met".

Paragraph "(3)", "**NOTE**", *replace reference to* "1.6.4" *with* "1.5.4".

УКНД: 91.080.10

Ключові слова: сталеві конструкції, холодноформовані профілі, профлисти, граничні стани, міцність, надійність, стійкість, несуча здатність, безпека, довговічність, сталь, розрахунки, проектування, кріпильні вироби, випробування.