



ОЦІНКА РИЗИКУ ВИКОРИСТАННЯ ПРОФІЛЬОВАНИХ МЕТАЛЕВИХ ЛИСТІВ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА ДОРОЖНІХ ГРУНТОВИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

АНОТАЦІЯ. Процес будівництва пов'язаний з ризиком невідповідності будівельних робіт основним вимогам як польських, так і європейських норм. З метою зменшення наслідків подій, пов'язаних з вищевказаним ризиком, продукти піддаються стандартизації або технічній оцінці перед їх виходом на ринок. Методи оцінки ризику призначені для виявлення суттєвих характеристик будівельних продуктів шляхом аналізу їх впливу на відповідність будівельних виробів, до яких вони включені, до основних вимог. У даній статті представлена оцінка ризику, пов'язаного з включенням до складу виробів комплексу продуктів з профільованого металевих листа, призначених для будівництва автодорожніх мостів, шляхопроводів і тунелів. Був розроблений оригінальний якісний метод оцінки ризику, пов'язаного з включенням будівельного продукту у виробу, а також підтверджена його корисність. Було продемонстровано, що, незважаючи на необхідність проведення оцінки ризику на етапі технічної оцінки, її недостатньо для ефективного управління ризиком виведення будівельного продукту на ринок.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: будівельна продукція, профільовані листи, оцінка ризику, ґрунтові огороджувальні конструкції, якісний метод, дорожні мости, дорожні естакади, дорожні тунелі.

1. ВСТУП

Виробництво продуктів із профільованих металевих листів для будівельного застосування відноситься до кінця 19 століття, а саме до 1875 року, коли вони вперше почали вироблятися в Росії. Незабаром після цього процес був запатентований в США James H. Watson [1]. Польська програма будівництва автомагістралей і швидкісних автомагістралей, реалізована відповідно до вимог ЄС з охорони навколишнього середовища, викликала попит на конструкції, що підтримують міграцію тварин. Ці конструкції не обмежуються скотопрогонами, інтегрованими в насипи автомагістралі, але включають в себе також естакади, заповнені ґрунтом для підтримки росту місцевої рослинності. Ідеально підходять

для цієї мети ґрунтові огорожувальні конструкції з профільованих металевих листів з внутрішнім прольотом, достатнім для розміщення проїжджої частини шириною 10,5 м разом з узбіччями і кюветами, а також з внутрішнім підйомом, достатнім для того, щоб розмістити 4,70 м вертикального зазору дороги (рис. 1). Недоліком даного рішення є те, що в разі руйнування конструкції необхідно закрити всю ділянку магістральної лінії між розв'язками в обох напрямках руху на весь час ремонту конструкції, в якому ґрунт відіграє основну роль в опорі навантаженням.



Мал. 1. Біопрехід з огорожувальною конструкцією з ґрунту на швидкісній автомагістралі S8 (фото В. Ясинського 2017).

Реалізація кожної інноваційної конструкції вимагає виявлення ряду ризиків, як під час будівництва, так і протягом терміну її служби. З цієї причини Вроцлавський технологічний університет у співпраці з ТОВ "ViaCon" і Опольським технологічним університетом приступив до реалізації проекту, що включає в себе теоретичні аналізи та натурні випробування огорожувальних конструкцій з ґрунту. Деформації завершеної конструкції металевих ящика, що піддається навантаженню від залізничного транспорту, досліджували Machelski та Korusiewicz [2]. Результати випробувань деформацій і прогинів профільованих металевих листових огорож при засипці виїмки були опубліковані Kunecki та Korusiewicz [3]. Питання, пов'язані з питомим опором ґрунту в місцях розташування металевих листів і ґрунтовою корозією, були представлені Vêben в роботі [4]. Цитовані в цій статті і в багатьох інших відповідних публікаціях ресурси сформували теоретичні основи проектування та будівництва ґрунтових огорожувальних конструкцій, тим самим зменшивши ризик, пов'язаний з їх використанням в транспортній інфраструктурі. Ще важливіше те, що вони створили базу знань для проведення відповідних оцінок ризику. Стаття про аналіз ризику в архітектурі була опублікована Szer [5] з Головного управління будівельного контролю, в якій він описав цікаві випадки обвалів конструкцій в Польщі і представив відповідні статистичні дані за період 1995-2010 рр. Теоретичні основи оцінки ризику, пов'язаного з виробництвом і придбанням продуктів, можна знайти в статті Szymonik з Ченстоховського Технологічного університету [6], що стосується реалізації захисних проектів. Klimczak з Інституту будівельних досліджень

опублікував статтю про ризик, пов'язаний з розміщенням будівельних продуктів на ринку в контексті вимог, встановлених в Постанові Європейського парламенту і Ради [7]. Однак автор обмежився описом правових аспектів даного питання. Істотні елементи аналізу пожежного ризику, описані Watts та Hall в розділі [8], застосовуються для критерію пожежної безпеки - одного з семи основних вимог, що пред'являються до будівельних робіт. Однак ні в одній із статей, відомих автору, досі не представлено детальний метод оцінки ризику або результати, пов'язані з будівельними продуктами або ґрунтовими огорожувальними конструкціями. Метою автора при написанні даної статті є представлення власного якісного методу оцінки ризику, пов'язаного із застосуванням включення будівельних продуктів у виробу і демонстрація їх придатності на основі комплексу профільованих металевих листових продуктів, призначених для будівництва ґрунтових огорожувальних конструкцій.

2. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ПРАВОВІ ЗАСАДИ

Використання будівельних продуктів пов'язане з ризиком того, що готові вироби можуть не відповідати основним вимогам до будівельних виробів як Регламенту (ЄС) № 305/2011 Європейського Парламенту та Ради (CPR) [9], так і Польського будівельного законодавства [10]. Ці вимоги впливають з основних потреб людини і основних цінностей, згаданих в польській Конституції. З метою мінімізації ризику незадоволення основних потреб готовими виробами, нормативними актами вводиться вимога нормалізації або технічної оцінки будівельних продуктів в якості умови їх розміщення на ринку і включення до складу виробів. Експлуатаційні характеристики будівельних продуктів щодо їх передбачуваного використання оцінюються органами технічної оцінки (ТАВ) щодо їх використання або з урахуванням Європейської технічної оцінки (ЕТА), або Національної технічної оцінки (НТА), або, в крайньому випадку, тільки Національними технічними оціночними органами.

У Таблиці 2 Додатка IV до CPR під назвою "Вимоги до ТАВ" включено проведення аналізу ризиків до компетенції органу, рішення якого необхідно для видачі ЕТА [9], [7], і яка за станом на 1 січня 2017 року відноситься також до НТА. З 2 травня 2013 року Науково-дослідний інститут доріг і мостів (IBDiM) проводить оцінку ризиків з використанням методології, розробленої автором даної статті, спочатку для окремих процедур технічного узгодження [11], а потім і для ЕТА [12]. Методології оцінки ризику були адаптовані відповідно до критеріїв управління ризиком ISO 31000 діє до: 2012 [13], введеними в Польщі Польським комітетом по стандартизації в березні 2012 року. З 7 серпня 2017 року обов'язковим є проведення оцінки ризику в рамках всіх процедур ТАВ, що виконує IBDiM, по відношенню до:

- Європейських оціночних документів (EAD) - оцінка ризику проводиться під час попередньої оцінки заявки на отримання ЕТА, як зазначено в ст. 19 CPR [9],
- Національних технічних оцінок - оцінка ризику проводиться в рамках процесу розгляду заявок, згаданого в пункті 4.2 Постанови Міністра інфраструктури та

будівництва [14] про Національні технічні оцінки.

Оцінка ризику здійснюється технічними експертами IBDiM, які є об'єктивними і не пов'язані із зацікавленою стороною (або сторонами), що спеціалізуються в області, що відповідає даному будівельному продукту (продуктам). Їхній освітній рівень, професійні досягнення або досвід в галузі будівництва забезпечують виконання вимог, встановлених для ТАВ в Постанові № 305/2011, включаючи вимогу наявності "персоналу, що володіє відповідними знаннями про взаємозв'язок між процесами виробництва і характеристиками продукції, що відносяться до управління заводським виробництвом" [9]. Кожну оцінку технічного експерта перевіряє фахівець ТАВ з оцінки ризиків, який має відповідну підготовку в галузі будівництва і володіє компетенцією "Ідентифікувати можливі ризики та переваги використання інноваційної будівельної продукції ...". [9]. Спочатку велике число змін, внесених в ході перевірки оцінок ризику, потребувало постійної підготовки технічних експертів.

Використовуючи метод оцінки ризику, можна було точно визначити характеристики будівельних продуктів, які відповідають польським і європейським нормативним вимогам, що пред'являються до будівельних виробів, і на цій основі визначити ті експлуатаційні характеристики, які повинні бути заявлені виробниками. Даний метод використовується вже шість років, і за цей період кількість перевірених і заявлених експлуатаційних характеристик різних будівельних продуктів з було ефективно зменшено. Це підтверджує корисність даного методу при видачі Національних технічних оцінок і EAD.

3. МЕТОДИ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ОЦІНКИ РИЗИКУ

Міжнародний стандарт ISO 31000 діє до: 2012 [13] визначає ризик як "вплив невизначеності на цілі". Відносно будівельної продукції це ефект невизначеності, пов'язаний з експлуатаційними характеристиками і дотриманням основних вимог при виконанні робіт, до яких вони включені. Положення стандартів НАТО "Взаємне державне забезпечення якості" (GQA) і "AQAP", що застосовуються до військових структур, визначають ризик як набір з двох основних елементів:

- 1) ймовірність недосягнення бажаного результату,
- 2) наслідки або вплив такої невдачі [6].

Типи оцінки ризику діляться на дві категорії: кількісну і якісну.

Кількісний метод визначає ризик E (C) як добуток імовірності небажаної події та очікуваного значення його небажаних наслідків. В ISO 13824: 2009 [15] цей ризик також визначається як очікування наслідків, що обчислюється за допомогою наступної формули:

$$E(C) = \sum_{i=1}^n c_i \cdot p_i, \quad (1)$$

де:

n – кількість передбачуваних наслідків,

c_i – ймовірність виникнення i^{th} наслідку,

p_i – i^{th} наслідок, який може бути виражено у вигляді фінансового збитку.

Якісні методи використовуються в тих випадках, коли неможливо оцінити наслідки події і точно оцінити ймовірність її настання. У цих методах ймовірність настання небажаної події та її наслідки викладаються в безрозмірній формі експертами, які використовують свої знання, досвід і інтуїцію. У цьому випадку наслідки події (недосягнення бажаного результату) найчастіше представляються в описовій формі у вигляді контрольного списку, при чому ризики оцінюються як прийнятні або неприйнятні. Одним з найбільш докладних якісних методів є NIST SP 800-30 [16], який використовується в США для оцінки ризиків безпеки інформаційних систем. Він визначає три рівні ймовірності загрози p настання небажаної події:

- високий - для якого $p = 1,0$,
- середній - для якого $p = 0,5$,
- низький - для якого $p = 0,1$.

Вплив події W виражається як процентна загроза недосягнення мети, яка може бути:

- високою - для якого $c = 100$,
- середньою - для якого $c = 50$,
- низькою - для якого $c = 10$.

Для кращого розуміння методу NIST SP 800-30 [16] його автори побудували матрицю рівня ризику (Табл. 1), котра відносить ризики до ймовірності події та їх відповідним впливам. У цій матриці ризик оцінюється за трирівневою шкалою. На основі числових значень, наведених у цій Таблиці, рівень ризику може бути оцінений як:

- низький, якщо ризик визнаний прийнятним, але заходи щодо його зниження виправдані ($1 < R \leq 10$),
- середній, коли план коригувальних дій повинен бути розроблений і реалізований в розумні терміни ($10 < R \leq 50$),
- високий, коли ризик був визнаний неприйнятним, а коригувальні дії повинні бути здійснені в найкоротші терміни ($50 < R \leq 100$).

Таблиця 1. Матриця рівня ризику відповідно до [16].

Ймовірність загрози	Вплив		
	Низький (10)	Середній (50)	Високий (100)
Висока / (1.0)	Низький $10 \times 1.0 = 10$	Середній $50 \times 1.0 = 50$	Високий $100 \times 1.0 = 100$
Середня (0.5)	Низький $10 \times 0.5 = 5$	Середній $50 \times 0.5 = 25$	Середній $100 \times 0.5 = 50$

Низька (0.1)	Низький $10 \times 0.1=1$	Низький $50 \times 0.1=5$	Низький $100 \times 0.1= 10$
--------------	---------------------------	---------------------------	------------------------------

Перевага методу NIST SP 800-30 полягає в тому, що він вимагає розрахунків і оцінок або кількісної оцінки наслідків або аналізу частоти загрозливих подій. Хоча ці результати оцінки ризику є приблизними, вони можуть бути використані з метою практичності. Завдяки інтуїтивному методу визначення ймовірності подій і впливів матриця рівня ризику може бути використана для оцінки ризику експертами ТАВ. Певні проблеми можуть бути пов'язані з суб'єктивним характером оцінки ризику даного типу і отриманими різними балами, що були виставлені різними експертами для однієї і тієї ж події. У методі оцінки ризику, розробленому IBDiM, використовується рейтингова шкала, яка виявилася такою ж, як і в методі NIST SP 800-30 [16].

Критерієм ризику включення будівельної продукції у виробу, як визначено ISO 31000:2012 [13], є невиконання хоча б одного з семи основних вимог, зазначених в [9], [10], які наведені в Табл. 2.

Таблиця 2 Основні вимоги до будівельних виробів відповідно до [9].

№	Найменування вимоги
1	Механічна міцність і стабільність
2	Безпека в разі пожежі
3	Гігієна, здоров'я і навколишнє середовище
4	Безпека і доступність у використанні
5	Захист від шуму
6	Економія енергії та збереження тепла
7	Стале використання природних ресурсів

Основні вимоги встановлюються для автономних будівель або споруд в комплекті з послугами та обладнанням, як зазначено в ст. 3.3 Польського будівельного законодавства [10]. До об'єктів і споруд транспортної інфраструктури, перерахованими в даному положенні, відносяться: аеропорт, автодорога, залізнична лінія, річковий міст, шляхопровід, віадук, тунель, водопропускна труба, при цьому перелік не є вичерпним.

Відповідно до ISO 31000:2012 [13] процес оцінки ризиків включає в себе:

- ідентифікацію ризиків,

- аналіз ризику,
- оцінку ризику [13].

У використовуваному IBDiM методі ідентифікація джерел ризику того, що вироби можуть не відповідати основним вимогам, охоплює всі потенційні істотні характеристики будівельного продукту без обмеження їх кількості. Метою аналізу і оцінки ризику для відповідних істотних характеристик продукту є ідентифікація тих, які мають відношення до відповідності виробів основним вимогам.

4. ОЦІНКА РИЗИКУ ВИКОРИСТАННЯ ПРОФІЛЬОВАНИХ МЕТАЛЕВИХ ЛИСТІВ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА ДОРОЖНИХ ГРУНТОВИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Оцінка ризику для комплексу конструктивних елементів з профільованого металевих листа, призначених для вбудовування в конструкції транспортної інфраструктури, буде використана як основа для встановлення вимог, що стосуються оцінки, перевірки та декларування експлуатаційних характеристик в документах Національної технічної оцінки. Відповідні істотні характеристики будівельного продукту були визначені на підставі будівельних регламентів і з використанням професійного досвіду фахівців ТАВ, відповідно до вказівок ст. 9.6 польського Закону про будівельні продукти [17]. Оцінка була проведена на предмет ризику невиконання відповідних основних вимог, як детально описано нижче.

- Механічна міцність і стабільність.

Це основна вимога до будівельних робіт, вказана першою в Таблиці 2. CPR вимагає, щоб будівельні вироби проектувалися і будувалися таким чином, щоб навантаження, які зобов'язані діяти на них під час їхнього будівництва і використання, не приводили до якого-небудь з нижчеперелічених наслідків:

"а) обвалення всієї конструкції або частини виробу,

б) значні деформації в неприпустимій мірі,

в) пошкодження інших частин будівельних виробів, арматури або встановленого обладнання в результаті значного деформування несучої конструкції,

д) збиток, заподіяний подією, в обсязі, що є непропорційним відповідно до первісної причини "[9].

Польові випробування, проведені авторами роботи [3] під час відсіпки досліджуваної водопропускної споруди, показали, що найбільший ризик, пов'язаний з навантаженням на оболонки великого прольоту, виникає під час будівництва. Однак, згідно з даними, отриманими від Головного управління будівельного нагляду Польщі, в період 1995-2010 рр. переважна більшість обвалів, а саме 91% всіх обвалів сталися під час використання, а не під час будівництва [5].

Ризик невиконання першої основної вимоги під час будівництва було визначено кількісним методом структурного руйнування теоретичної споруди біопереходу, побудованого над автомагістраллю. Вартість будівництва (ціна пропозиції) моста

довжиною 74 м і шириною 40 м була взята за 7 800 000 злотих плюс ПДВ, застосований за ставкою 23%. Ризик обмежений виключно до збільшення вартості будівництва становить:

$$R = c \cdot p = \text{PLN } 7,800,000 \cdot 1.23 \cdot 0.25 \cdot 0.01 = \quad (2)$$

$$= \text{PLN } 23,985,$$

Де:

c - збільшення вартості будівництва естакади (25% від ціни пропозиції),

p - ймовірність події, взята при 0,01 (один раз на 100 побудованих естакад).

Незважаючи на більш високу ймовірність настання події під час будівництва, в порівнянні з терміном служби, із закритою для руху автодорогою, наслідки цієї події не будуть важкими. Таким чином, пов'язаний ризик буде меншим, ніж ризик на етапі експлуатації. Ризик невиконання першої основної вимоги на етапі експлуатації визначався кількісним методом структурного руйнування вищезгаданої теоретичної структури біопереходу над автодорогою. Ця подія призведе до незапланованого закриття обох проїжджих частин на 80-кілометровій ділянці автостради як мінімум на 60 днів зі щоденним рухом 40 000 легкових і 7000 важких транспортних засобів і платою за проїзд в розмірі 18 злотих і 30 злотих відповідно. Вартість демонтажу і реконструкції естакади була взята в розмірі 2 300 000 злотих і 7 800 000 злотих плюс ПДВ, застосований за ставкою 23%. Таким чином, була отримана наступна вартість ризику:

$$R = \sum_{i=1}^n c_i \cdot p_i = (\text{PLN } 2,300,000 + \text{PLN } 7,800,000) \cdot$$

$$1.23 \cdot 0.001 + 0.001 \cdot (40,000 \cdot \text{PLN } 18 + 7,000 \cdot \text{PLN } 30) \cdot$$

$$\cdot 60 = \text{PLN } 68,223 , \quad (3)$$

Де

$n = 2$ – число наслідків подій,

c_i – значення наслідків подій відповідно для:

$i = 1$ – вартість демонтажу і реконструкції даного біопереходу,

$i = 2$ – втрата доходу від плати за проїзд під час демонтажу і реконструкції (для безкоштовних автомагістралей цю вартість слід перекласти на соціальні витрати, пов'язані з використанням альтернативного, більш довгого на 4 км маршруту, а також екологічні витрати, пов'язані зі збільшенням часу в дорозі, збільшенням експлуатаційних витрат транспортного засобу, викидів вихлопних газів, підвищеним ризиком ДТП і т.д.),

p_i – ймовірність настання наслідків обох подій взята на рівні 0,001 (за даними [18] річна ймовірність обвалення моста в США падає в діапазоні від 10^{-3} до 10^{-5}).

Ризик, що оцінюється кількісним методом, стосується невиконання перших основних вимог з якої-небудь причини, включаючи як виявлені, так і невиявлені джерела ризику. Якісний метод аналізу використовувався для оцінки рівня ризику окремо по кожному з виявлених джерел. З цією метою характеристики, що мають відношення до дотримання теоретичних вимог до біопереходу, відповідають першій з основних вимог, що були вибрані з усіх істотних характеристик комплексу елементів конструкції профільованого металевго листа та були призначені відповідні оціночні рівні ризику наступним чином:

- точка текучості металу - висока,
- граничне подовження металу - високе,
- товщина профільованих металевих листів, відхилення - середнє,
- міцність болтів і гайок - висока,
- міцність болтових з'єднань - висока,
- геометричні відхилення конструкції під час збірки - високі,
- несуча здатність заглибленої конструкції - висока,
- реакція на вогонь - висока (Таблиця 3).

- Безпека у разі пожежі.

Це друга основна вимога, яке застосовується до будівельних виробів. Одне з відповідних положень СРР говорить, що будівельні вироби повинні бути спроектовані і побудовані таким чином, щоб у разі виникнення пожежі: "несуча здатність конструкції може бути прийнята за певний період часу" [9]. Дотримання цього критерію має забезпечуватися проектувальником естакади автомагістралі, який повинен слідувати вимогам Правил [19]. Однак слід мати на увазі, що ймовірність виникнення пожежі під естакадою пов'язана з ймовірністю дорожньо-транспортної пригоди транспортного засобу, що перевозить легкозаймисті речовини в цьому місці. Ймовірність того, що така подія відбудеться саме в цьому місці, дуже мала. При цьому, якщо вона все-таки відбудеться, то металева оболонка може розм'якшитися під впливом високої температури, а ґрунт, що лежить на ній, може зісковзнути на проїжджу частину, що призведе до матеріальних збитків і створить загрозу для життя людей. При цьому було визначено "високий" рівень ризику для реакції на пожежу за допомогою якісного методу оцінки ризику.

- Гігієна, здоров'я і навколишнє середовище.

Це третя основна вимога, яка, як і друга вимога, повинна дотримуватися проектувальником при проектуванні будівництва. Так як вплив очікуваних подій важко оцінити, то якісний метод оцінки ризику є єдиним варіантом. Істотними характеристиками, що мають відношення до виконання цієї вимоги будівельним виробом, є: реакція на вогонь і виділення небезпечних речовин. Однак рівень ризику, пов'язаного з ними, оцінювався у якісному середовищі як "середній".

- Безпека і доступність при використанні.

Це четверта основна вимога, яка визначена в правилах CPR наступним чином: "Будівельні вироби повинні проектуватися і будуватися таким чином, щоб вони не представляли неприйнятної ризику нещасних випадків або пошкоджень при експлуатації або в процесі експлуатації, таких як ковзання, падіння, зіткнення, опіки, ураження електричним струмом, травми від вибуху і крадіжки зі зломом. Зокрема, будівельні вироби повинні проектуватися і будуватися з урахуванням доступності та використання для інвалідів "[9]. У разі дорожніх конструкцій ймовірність невиконання цієї вимоги повинна бути ув'язана з імовірністю зниження рівня безпеки дорожнього руху. Наслідком цих подій будуть соціальні витрати, пов'язані з дорожньо-транспортними пригодами. Ризик невиконання четвертої основної вимоги щодо більшості істотних характеристик будівельного виробу оцінювався якісним методом, і був оцінений як "середній" або "низький" рівень у всіх випадках, за винятком реакції на пожежу, для якого був встановлений "високий" рівень (Табл. 3).

- Захист від шуму.

Це п'ята основна вимога. Не може бути ніяких сумнівів в тому, що вона виконується за допомогою ґрунтових огорожувальних конструкцій. Як шум, так і вібрація, створювані транспортними засобами, пішоходами або тваринами, що переміщуються по цих конструкціях, гасяться шаром ґрунту, покладеним прямо над профільованою металевією конструкцією. Це було підтверджено результатами дослідження закопаної металевією коробчастої конструкції під рейковим навантаженням, представленим в [2], де було встановлено, що поїзд рухається плавно відповідно до характеристик основи. Таким чином, можна припустити, що ймовірність виникнення шуму від подібних конструкцій при русі по дорозі або рухом тварин мала і, отже, ризик невиконання п'ятого основної вимоги "малий".

- Економія енергії і утримання тепла.

Шоста основна вимога стосується будівельних виробів, при яких повинен бути забезпечений тепловий комфорт в залежності від типу займаної площі. Крім приміщень, призначених для проживання людей, ґрунтові конструкції не мають теплоізоляції і, тим не менше, придатні для експлуатації при різних температурах навколишнього середовища. Метод будівництва таких конструкцій за визначенням - економічний з точки зору енергоспоживання, в порівнянні зі звичайними мостами і естакадами з бетону або сталі. Для всіх істотних характеристик було встановлено "низький" рівень ризику.

- Стале використання природних ресурсів.

Сьома основна вимога передбачає, що будівельні вироби повинні проектуватися, будуватися і демонтуватися таким чином, щоб використання природних ресурсів було стійким і, зокрема, забезпечувало наступне:

"а) можливість повторного використання або переробки будівельних виробів, їх матеріалів і частин після знесення",

б) довговічність будівельних виробів,

с) використання в будівельних виробках екологічно чистої сировини і вторинних матеріалів "[9].

Будівельні продукти, що входять до складу ґрунтових конструкцій, є металевими будівельними продуктами і ґрунтовою відсіпкою, які є екологічно чистими матеріалами. Особливу увагу в цьому випадку слід звернути на довговічність, для якої необхідно провести детальний аналіз.

Загальні критерії довговічності для автодорожніх мостів і шляхопроводів наведені у відповідному регламенті про технічні умови дорожніх конструкцій [19] в якості середнього розрахункового терміну служби їх основних компонентів, не призначених для періодичної заміни. Відповідно до вищевказаного регламенту, розрахунковий термін служби повинен становити не менше 100 років для масивних арочних і плиткових конструкцій і тунелів, і не менше 15 років для нових систем захисного лакофарбового покриття. У ґрунтових конструкціях до основних елементів, що не призначені для періодичної заміни, відносяться ґрунт і металеві листи. Таким чином, саме довговічність металевих листів, захищених захисними покриттями, що наносяться на верхню частину огорожувальної конструкції, визначає необхідний термін служби конструкції в цілому, тобто 100 років.

Ризик невиконання сьомої основної вимоги можна розрахувати кількісним методом за допомогою рівняння (1) для передбачуваної корозії металевих профільованих листів теоретичної конструкції біопереходу, як описано вище відповідно до першої основної вимоги. Імовірність цієї події може становити від 1 до 100, що дає значення ризику, що дорівнює десятикратним значенням, отриманим для стійкості конструкції.

Високий ризик виникнення ґрунтової корозії профільованих металевих листів був підтверджений Вебен, який виміряв питомий опір ґрунту відсіпки, отримавши результати принаймні 30 фтм [4]. Обтяжуючим фактором є недоступність заглиблених поверхонь сталевих листів для огляду під час періодичних оглядів мостів, що може свідчити про розвиток корозії.

За вищезгаданих причин, розрахунок ризику повинен включати в себе проведення контрольних заходів вже на стадії проектування конструкції. Рішення включають в себе додатковий захист від корозії або допуск на корозію за рахунок збільшення товщини профільованого металевих листів. Нанесений цинковий або алюмоцинковий шар, який є основним заходом захисту, додатково захищений епоксидним або полімерним лакофарбовим покриттям. Загальна довговічність вищевказаної системи повинна бути розрахована за допомогою рівняння, наведеного в [1]:

$$S_{du} = k(S_{zn} + S_{pow}), \quad (4)$$

Де:

S_{du} - довговічність системи композитного антикорозійного покриття,

S_{zn} - довговічність цинкових або алюмоцинкових покриттів на металевій основі,

S_{pow} - довговічність лакофарбових покриттів,

k - зростаючий коефіцієнт ($k =$ від 1,2 до 2,5).

Повторне використання металобрухту після закінчення терміну служби і демонтажу конструкції залежить від досягнення передбачуваної довговічності антикорозійного покриття. Національна технічна оцінка повинна визначити умови використання будівельного продукту, щоб забезпечити досягнення передбачуваної довговічності конструкції. Ці умови використання повинні без обмежень забезпечувати герметичність з'єднань між листовими панелями і отримання відповідних параметрів відсіпки для запобігання вимивання ґрунту з кільцевого зазору над листами дощовою водою або водою, що стікає під конструкцію. У дорожніх естакадах як захисний засіб розробляються геомембранні і підповерхневі дренажні системи. В кінці 1982 року або початку 1983 року автор став свідком кількох обвалів водопропускних труб з профільованих металевих листів на дорозі між Хадба і Тархуна в Лівії, які були викликані дією води, і тому він настійно рекомендує вищезазначені заходи захисту.

В цьому випадку був використаний якісний метод оцінки ризику. Наступні основні характеристики профільованих металевих листів були відібрані як такі, що мають відношення до дотримання сьомої основної вимоги при теоретичному біопереході, і відповідні рівні ризику були оцінені наступним чином:

- товщина профільованого металевого листа, відхилення - високі,
- товщина антикорозійного покриття, що наноситься на металеві листи - висока,
- товщина антикорозійного покриття на болтах - висока,
- товщина додаткового антикорозійного покриття - висока,
- адгезія додаткового антикорозійного покриття - висока,
- обробка металевих листів і профілів - висока (Таблиця 3).

Таблиця 3. Заповнений фрагмент схеми оцінки ризику використання комплектів конструктивних елементів з профільованих металевих листів для дорожніх конструкцій

№	Походження ідентифікації ризику	Аналіз ризику							Оцінка ризику	Процедура оцінки ризику
	Основні характеристики будівельного виробу, істотні з урахуванням його передбачуваного застосування та очікувані його виробником	Критерій імовірності невиконання конструкцією основних вимог до будівельних робіт							Ризик [Задовільно / Неприйнятно]	Необхідна оцінка і перевірка, а також заявлені функціональні властивості щодо основних характеристик будівельного виробу [Так / Ні]
		Рівень ризику [L / низький] [M / середній] [H / високий] (Відповідно до Таблиці 1)								
		№ основної вимоги (відповідно до Таблиці 2)								
1	2	3	4	5	6	7				
1	Точка текучості металу	H	L	L	M	L	L	L	Неприйнятно	Так
2	Граничне подовження металу	H	L	L	M	L	L	L	Неприйнятно	Так
3	Товщина профільованих листів металу, відхилення	M	L	L	L	L	L	L	Неприйнятно	Так
4	Міцність болтів і гайок	H	L	L	M	M	L	L	Неприйнятно	Так
5	Міцність болтових з'єднань	H	L	L	M	L	L	L	Неприйнятно	Так
6	Геометричні відхилення конструкції під час збірки	H	L	L	M	L	L	L	Неприйнятно	Так
7	Вантажопідйомність заглибленої конструкції	H	L	L	M	L	L	L	Неприйнятно	Так
8	Реакція на вогонь	H	H	M	H	L	L	L	Неприйнятно	Так
9	Викид небезпечних речовин	L	L	M	L	L	L	L	Задовільно	Ні
10	Колір антикорозійного покриття з боку дорожнього покриття	L	L	L	M	L	L	L	Задовільно	Ні

11	Товщина антикорозійного покриття, що наноситься на металеві профільовані листи	L	L	L	L	L	L	H	Неприйнятно	Так
12	Товщина антикорозійного покриття на болтах	L	L	L	L	L	L	H	Неприйнятно	Так
13	Товщина додаткового антикорозійного покриття	L	L	L	L	L	L	H	Неприйнятно	Так
14	Адгезія додаткових антикорозійних покриттів	L	L	L	L	L	L	H	Неприйнятно	Так
15	Обробка металевих листів і профілів	L	L	L	M	L	L	H	Неприйнятно	Так

У якісному методі визначаються істотні характеристики будівельної продукції, за якими слід планувати заходів щодо зниження ризику - усунення ризику, як визначено в ISO 31000 діє до: 2012 [13]. Ризик невиконання основних вимог ґрунтового огорожувального переходу, оцінений за вищевказаним методом, був внесений в Таблицю оцінки ризику (Таблиця 3).

Діаграма, підготовлена в IVDiM, включає в себе ідентифікацію джерел ризику з подальшим аналізом ризику, оцінку ризику і рішення про попередження ризику. Діаграма використовується для оцінки ризику за відповідними джерелами ризику. Ризики класифікуються як прийнятні або неприйнятні, останній, якщо він отримав хоча б одну Н або кілька М балів, як зазначено у відповідному рядку. При оцінці ризику як неприйнятного в графі "Усунення ризиків" вважається за необхідне визначити рівні або класи експлуатаційних характеристик будівельних продуктів і методи їх тестування. Розглянуті таким чином експлуатаційні характеристики включаються ТАВ в національні документи з технічної оцінки, а потім, при випуску продукту на ринок, задекларуються виробником в національній Декларації про робочі характеристики, підготовленій за зразком, включеним до постанови [20].

На оціночній карті оцінюється ризик розміщення на ринку комплексу конструкційних профільованих металевих листових елементів, перераховуються вигоди від його комерційної доступності:

- можливість будівництва екологічно безпечних естакад і підземних переходів для диких тварин,
- зниження питомої вартості будівництва біопереходів з розрахунку приблизно від 5000 злотих / м² до приблизно 2500 злотих / м².

Значення ризику, оцінене кількісним методом, дає відчуття масштабу наслідків, але не представляється корисним для оцінки впливу невизначеності, пов'язаної з відповідними експлуатаційними характеристиками будівельних продуктів, на дотримання основних вимог структурою, в яку вони включені. Саме тут може зіграти свою роль метод якісної оцінки, розроблений IBDiM. Він дозволяє визначити суттєві характеристики продукту, що мають відношення до відповідності виробів основним вимогам. На основі лабораторних результатів випробувань попередньо вибрані характеристики ТАВ визначає експлуатаційні характеристики, які повинні бути забезпечені і заявлені виробником. Потім ризик відповідності робіт основним вимогам передається проектувальнику і будівельникові, які несуть відповідальність за використання продукту із заявленими та відповідними експлуатаційними характеристиками.

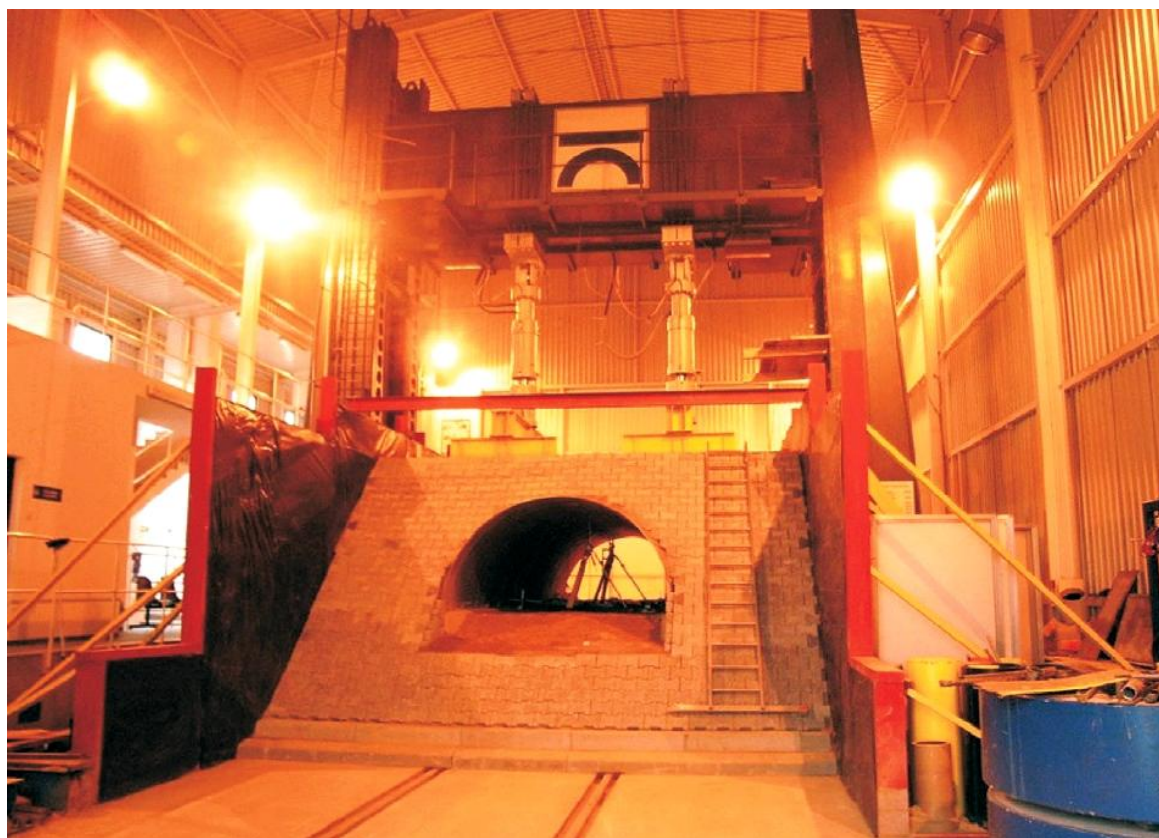
5. УПРАВЛІНЯ РИЗИКАМИ

Оцінка ризиків є частиною більш широкого процесу управління ризиками, описаного в міжнародних стандартах [13], [15]. На рис. 2 представлена модель процесу управління ризиками, що застосовується в Польщі відповідними організаціями / структурами (названими в круглих дужках), відповідальними за конкретні завдання процесу розміщення на ринку інноваційних будівельних продуктів. Взаємодія між залученими організаціями не визначене на рівні, що забезпечує доступність інформації в обсязі, визначеному вищезазначеними стандартами.

Мал. 2. Модель процесу управління ризиками, що застосовується в Польщі щодо розміщення на ринку будівельних продуктів (синій колір) з позначеними недоліками взаємодій, описаних у стандарті ISO 31000 діє до: 2012 (червоний колір)



Контекст управління ризиками впливає з положень польських і європейських нормативних актів, описаних в розділі 2. Органи технічної оцінки, що діють на основі цих приписів, оцінюють ризик, пов'язаний з надійністю будівельного виробу, а потім, на підставі результатів випробувань, оцінюють його експлуатаційні характеристики (рис . 3 і 4). Для підтвердження точності методів статичного і міцнісного аналізу, що застосовуються виробником для конструкцій певної форми, що взаємодіють із відсипкою, їхня несуча здатність перевіряється в ході повномасштабних випробувань з використанням методів, описаних в [21]. Випуском національного документа з технічної оцінки ТАВ підтверджується, що експлуатаційні характеристики будівельного продукту були визнані відповідними призначенню. Ці властивості виражаються рівнями або класами розрахунків і експлуатаційних характеристик або в описовій формі і включаються в національний документ про технічну оцінку разом з використовуваними методами випробувань і заводськими вимогами з контролю якості. ТАВ вказує також необхідну національну систему оцінки і перевірки сталості характеристик - відповідно до діючих в даний час обов'язкових правил [20].



Мал. 3. Повномасштабне випробування несучої здатності ґрунтової огороджувальної конструкції (фото R. Gut 2017).



Мал. 4. Випробування на стиск болтового з'єднання профільованих металевих листів (фото R. Gut 2017).

Метод усунення ризику, що включає дії виробника і акредитованого органу з сертифікації, охоплюється національною системою оцінки відповідності. До кінця 2016 року великопрогонові профільовані металеві листові конструкції підпадали під дію "Системи 1", яка вимагає сертифікації даної продукції незалежним органом. Згідно зі зміненими правилами, що вступили в силу з 1 січня 2017 року, оцінка і перевірка сталості експлуатаційних характеристик будівельної продукції повинна проводитися в "Системі 2+" як мінімальна вимога, де більшість завдань покладається на виробника. Виробник визначає тип продукту, здійснює заводський виробничий контроль і проводить випробування зразків, відібраних на заводі-виробнику, відповідно до власної програми випробувань виробника. Роль акредитованого сертифікаційного органу обмежується первинним оглядом заводу і системи заводського виробничого контролю та її постійним наглядом і оцінкою [20]. Імовірно, нормативна постанова до закону [17], що встановлює систему оцінки відповідності, не була прийнято на основі оцінки ризику, хоча інша постанова до того ж закону вимагає видачі документа про національну технічну оцінку після такої оцінки.

Моніторинг та огляд, як визначено в ISO 31000 діє до: 2012 [13], здійснюються державними органами, що уповноважують продаж або розміщення на ринку будівельної продукції. В силу закону [17] такими є:

- Провінційні інспектори будівельного контролю,
- Генеральний інспектор будівельного контролю.

До їхніх обов'язків входить проведення як планових, так і позапланових перевірок і адміністративних процедур, які можуть привести до несхвалення продукту.

Міжнародні стандарти [13], [15], в свою чергу, встановлюють детальні вимоги до процесу управління ризиками. Всі компоненти процесу для встановлення контексту, оцінки ризику та оцінки варіантів усунення пов'язані між собою двома завданнями:

- комунікація і консультування,
- моніторинг і огляд,

експлуатаційні характеристики яких безпосередньо не вимагаються ні європейськими, ні польськими нормативами по будівельним продуктам [9], [17]. Таким чином, випадково відбувається отримання і передача інформації про некондиційні, але ще не відхилені будівельні вироби. Слід зазначити, що ТАВ отримують інформацію про структурні руйнування, викликані неадекватними експлуатаційними характеристиками будівельних продуктів, по різних каналах зв'язку і після значної затримки, що не сприяє застосуванню сучасних знань в оцінці ризику, що проводиться в той час. Без структурованої зміни нормативних актів про будівельні продукти управління ризиками щодо їх надійності у використанні, яке в даний час базується на передбачуваній позитивній адміністративній практиці або на виконанні завдань з контролю, може виявитися відкладеним і, отже, неефективним.

6. ВИСНОВКИ

Власний метод IVDiM якісної оцінки ризику для будівельних продуктів виявився корисним у процедурах національної технічної оцінки та видачі європейського оціночного документу. Для досягнення порівнянності результатів і забезпечення доступу до поточних знань були визначені наступні потреби:

- постійне навчання персоналу ТАВ і технічних експертів з питань оцінки ризику,
- створення форуму для обміну інформацією між учасниками процесу управління ризиками.

Було продемонстровано, що, незважаючи на необхідність проведення оцінки ризиків на етапі технічної оцінки, її недостатньо для ефективного управління ризиком виведення будівельного продукту на ринок. Вищевикладене є результатом системної несумісності між процесом видачі дозволів на розміщення будівельних продуктів на ринку, який описаний як в європейських, так і в польських законах і постановах, що

стосуються будівельних продуктів [9], [17], і процесом управління ризиками відповідно до вимог міжнародних стандартів [13], [15].

MAREK MISTEWICZ¹⁾

RISK ASSESSMENT OF THE USE OF CORRUGATED METAL SHEETS FOR CONSTRUCTION OF ROAD SOIL-SHELL STRUCTURES

OCENA RYZYKA STOSOWANIA METALOWYCH BLACH FALISTYCH DO BUDOWY DROGOWYCH KONSTRUKCJI GRUNTOWO-POWŁOKOWYCH

STRESZCZENIE. W procesie budowlanym występuje ryzyko niespełnienia przez wznoszone obiekty podstawowych wymagań przepisów prawa obowiązującego w Polsce i w Europie. Aby ograniczyć skutki zdarzeń związanych z tym ryzykiem wymaga się, aby stosowane w budownictwie wyroby podlegały normalizacji albo ocenie technicznej przed wprowadzeniem ich do obrotu rynkowego. Metody oceny ryzyka służą do wyselekcjonowania zasadniczych charakterystyk wyrobu budowlanego, na podstawie analizy ich wpływu na spełnienie podstawowych wymagań przez budowlę, w której wyrób ma zostać wbudowany. W artykule przeprowadzono ocenę ryzyka stosowania zestawu wyrobów, wykonanych z metalowych blach falistych, przeznaczonych do budowy mostów, wiaduktów i tuneli drogowych. Opracowano autorską metodę jakościową oceny ryzyka w przypadku stosowania wyrobów budowlanych i potwierdzono jej przydatność. Wykazano, że ocena ryzyka na etapie opracowania oceny technicznej jest warunkiem koniecznym, jednak niewystarczającym do skutecznego zarządzania ryzykiem związanym z wprowadzaniem do obrotu rynkowego wyrobów budowlanych.

SŁOWA KLUCZOWE: blachy faliste, konstrukcje gruntowo-powłokowe, metoda jakościowa, mosty drogowy, ocena ryzyka, tunele drogowy, wiadukty drogowy, wyroby budowlane.

ABSTRACT. The process of construction involves a risk of non-compliance of the construction works with the basic requirements of both Polish and European regulations. In order to mitigate the consequences of events related to the above-mentioned risk the products are subject to standardisation or technical evaluation prior to their placement on the market. The risk assessment methods are designed to identify the essential characteristics of construction products by analysing their effect on compliance of the construction works in which they are incorporated with the basic requirements. This article presents risk assessment related to incorporation in the works of a set of corrugated metal sheet products designed for construction of road bridges, overpasses and tunnels. An original qualitative method of risk assessment related to incorporation of a construction product in the works was conceived and its usefulness was confirmed. It has been demonstrated that while it is indispensable to carry out the risk assessment at the technical assessment stage, it is not, however, sufficient for efficient managing the risk of placing construction product on the market.

KEYWORDS: construction products, corrugated metal sheets, risk assessment, soil-shell structures, qualitative method, road bridges, road overpasses, road tunnels.

DOI: 10.7409/rabdim.019.006

¹⁾ Instytut Badawczy Dróg i Mostów, ul. Instytutowa 1, 03-302 Warszawa; mmistewicz@ibdim.edu.pl

1. WPROWADZENIE

Produkcja wyrobów budowlanych z metalowych blach falistych rozpoczęła się pod koniec XIX wieku w 1875 roku w Rosji. Niedługo potem w USA, w roku 1886 metodę produkcji opatentował James H. Watson [1]. Program budowy autostrad i dróg ekspresowych w Polsce, realizowany z uwzględnieniem wymagań Unii Europejskiej dot. ochrony środowiska naturalnego, wywołał zapotrzebowanie na konstrukcje umożliwiające przemieszczanie się zwierząt. Potrzeby te obejmowały nie tylko wykonanie usytuowanych w nasypach przejść pod autostradami, ale również zbudowanie ponad jezdnią wiaduktów, pokrytych warstwą ziemi, w której można posadzić lokalną roślinność. Do realizacji tego celu nadają się świetnie konstrukcje gruntowo-powłokowe z blach falistych o rozpiętościach umożliwiających przekroczenie 10,5-metrowej jezdni z poboczami i rowami oraz o prześwicie pionowym dostosowanym do skrajni drogowej wynoszącej 4,70 m (Rys. 1). Wadą takiego rozwiązania jest konieczność wyłączenia na długi czas odcinka autostrady z ruchu międzywęzłowego, jednocześnie w obu kierunkach, podczas usuwania awarii konstrukcji, w przypadku której grunt ma istotny udział w przenoszeniu obciążeń.



Fig. 1. Wildlife overpass with soil-shell structure on S8 expressway (photo by W. Jasiński, 2017)

Rys. 1. Wiadukt o konstrukcji gruntowo-powłokowej zlokalizowany nad drogą ekspresową S8, przeznaczony jako przejście dla zwierząt (fot. W. Jasiński, 2017)

Zastosowanie każdej innowacyjnej konstrukcji wymaga zidentyfikowania wielu ryzyk występujących zarówno na etapie ich budowy, jak i podczas użytkowania w przewidywanym okresie. Z tego powodu Politechnika Wrocławska we współpracy z ViaCon sp. z o.o. i Politechniką Opolską podjęły analizy teoretyczne i badania w skali naturalnej budowli gruntowo-powłokowych. Deformacje gotowego obiektu gruntowo-powłokowego pod obciążeniem użytkowym kolejowym zbadali Cz. Machelski i L. Korusiewicz [2]. Wyniki

1. INTRODUCTION

Production of corrugated metal sheet products for construction applications dates back to the end of 19th century, specifically to the year 1875 when they were first produced in Russia. Shortly after, the process was patented in the USA by James H. Watson [1]. The Polish motorway and expressway construction programme, implemented in compliance with the EU environmental protection requirements generated a demand for structures supporting migration of animals. These structures are not limited to underpasses integrated into the motorway embankments but include also overpasses, filled with earth to support growth of local vegetation. Ideally suited for that purpose are soil-shell structures made of corrugated metal sheets with inside span sufficient to accommodate 10.5 m wide carriageway together with shoulders and ditches and with the inside rise sufficient to accommodate 4.70 m vertical clearance of the road (Fig. 1). The disadvantage of this solution is that should a structural failure occur, it is necessary to close the entire mainline section between the interchanges in both directions of travel for the whole time of repair of the structure in which soil plays a major role in resisting the loads.

The implementation of every innovative structure requires identification of a number of risks, both during construction and during their service lifetime. For this reason, the Wrocław University of Technology in collaboration with ViaCon sp. z o.o. and the Opole University of Technology embarked upon a project comprising theoretical analyses and natural scale testing of soil-shell structures. The deformations of a completed buried metal box structure subjected to railway service load were investigated by Machelski and Korusiewicz [2]. The results of testing the deformations and deflections of corrugated metal sheet shells during backfilling were published by Kunecki and Korusiewicz [3]. The issues related to soil resistivity at steel shells and soil corrosion were presented by Bęben in [4]. The resources cited in this article and many other relevant publications formed the theoretical bases for design and construction of soil-shell structures, thus reducing the risk involved in their use in transport infrastructure applications. Even more importantly, they have built a knowledge base for carrying out the relevant risk assessments. An article on risk analysis in architecture was published by Szer [5] from the General Office of Building Control in which he described interesting cases of structural collapses in Poland and presented the relevant statistical data for the period 1995-2010. The theoretical bases for risk assessment in

badań odkształceń i ugięć powłok z blach falistych podczas ich zasypywania gruntem oraz obliczeń naprężeń opublikowali B. Kunecki i L. Korusiewicz [3]. Zagadnienia rezystrywności gruntu wokół stalowych powłok i korozji ziemnej przedstawił D. Bęben w publikacji [4]. Cytowane prace oraz wiele innych o podobnej tematyce, stworzyły podstawy teoretyczne do projektowania oraz budowy konstrukcji gruntowo-powłokowych i tym samym zmniejszyły ryzyko ich stosowania w inżynierii komunikacyjnej, a przede wszystkim stworzyły bazę wiedzy dla ocen tego ryzyka. Artykuł na temat analizy ryzyka w budownictwie opublikował J. Szer [5] z Głównego Urzędu Nadzoru Budowlanego, opisując interesujące przypadki katastrof budowlanych w Polsce i dotyczące ich dane statystyczne z lat 1995-2010. Podstawy teoretyczne ocen ryzyka w odniesieniu do produkcji i nabywania wyrobów opisał A. Szymonik z Politechniki Częstochowskiej w artykule [6] dotyczącym realizacji potrzeb obronnych. W. Klimczak z Instytutu Techniki Budowlanej opublikował artykuł na temat ryzyka wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych w kontekście wymagań zawartych w rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej [7]. Autor ograniczył się do przedstawienia wyłącznie aspektów prawnych opisywanego zagadnienia. Podstawy ocen ryzyka pożarowego, które opisali J.M. Watts i J.R. Hall w rozdziale pracy [8] znajdują zastosowanie w odniesieniu do jednego z siedmiu kryteriów, które powinna spełniać budowla – bezpieczeństwa pożarowego. W żadnym ze znanych autorowi artykułów nie przedstawiono szczegółowej metodologii i wyników ocen ryzyka, które dotyczą stosowania wyrobów budowlanych lub konstrukcji gruntowo-powłokowych. Celem artykułu jest przedstawienie autorskiej metody jakościowej oceny ryzyka stosowania wyrobów budowlanych i wykazanie jej przydatności na przykładzie analizy dotyczącej zestawu metalowych blach falistych przeznaczonych do gruntowo-powłokowych konstrukcji inżynierskich.

2. UWARUNKOWANIA ORGANIZACYJNO-PRAWNE

Stosowanie wyrobów w budownictwie jest obarczone ryzykiem niespełnienia przez wznoszone obiekty budowlane podstawowych wymagań, określonych zarówno w Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 (CPR) [9] jak i w polskim Prawie budowlanym [10]. Wymagania te wynikają wprost z podstawowych potrzeb człowieka oraz wartości najwyższych wymienionych w Konstytucji RP. W celu zminimalizowania ryzyka niespełnienia przez obiekty budowlane podstawowych wymagań, przepisy prawne stawiają warunek, aby wyroby budow-

relation to manufacturing and acquisition of products can be found in the article by Szymonik from the Częstochowa University of Technology [6] concerning implementation of defence projects. Klimczak from the Building Research Institute published an article on the risk involved in placing construction products on the market in the context of the requirements set forth in Regulation of the European Parliament and of the Council [7]. However, the author limited the presentation to describing legal aspects of this issue. The essential elements of fire risk analysis, as described by Watts and Hall in a chapter of [8] are applied for the fire safety criterion – one of the seven basic requirements for construction works. However, none of the articles known to the author presents a detailed risk assessment method or results in relation to construction products or soil-shell structures. The author's intention in writing this article was to present his own qualitative assessment method for assessing the risk related to use incorporation of construction products in the works and demonstrate its suitability on the basis of a set of corrugated metal sheet products designed for construction of soil-shell structures.

2. ORGANIZATIONAL-LEGAL CONSIDERATIONS

Use of construction products involves a risk that the completed works may fail to comply with the basic requirements for construction works of both the Regulation (EU) No. 305/2011 of the European Parliament and of the Council (CPR) [9] and of the Polish Building Law [10]. These requirements result from the basic needs of man and from the core values mentioned in the Polish Constitution. In order to minimise the risk of failure to satisfy the basic needs by the completed works, the regulations impose the requirement of normalisation or technical assessment of construction products as a condition of placing them on the market and incorporation in the works. The performance characteristics of construction products in relation to their intended use are assessed by Technical Assessment Bodies (TAB) in relation to applications for either European Technical Assessment (ETA) or National Technical Assessments (NTA) or, in the latter case only - by the National Technical Assessment Bodies.

Table 2 of Annex IV to CPR headed "Requirements for TABs" lists conducting a risk analysis as the competence of the body, necessary for issuing ETA [9], [7] which, as of Jan. 1, 2017, relates also to NTA. The Road and Bridge Research Institute (IBDiM) has been carrying out risk assessment since May 2, 2013 using the methodology de-

lane podlegały normalizacji albo ocenie technicznej przed wprowadzeniem ich do obrotu rynkowego i wbudowaniem w obiekty budowlane. Właściwości użytkowe wyrobów budowlanych w odniesieniu do zamierzonego zastosowania oceniają jednostki oceny technicznej (JOT), w ramach prowadzonych postępowań o wydanie europejskich ocen technicznych (EOT) lub krajowych ocen technicznych (KOT) oraz krajowe jednostki oceny technicznej (KJOT) – wyłącznie w odniesieniu do KOT.

Rozporządzenie CPR w załączniku IV Tabeli 2 „Wymagania dotyczące jednostek ds. oceny technicznej”, wymienia analizę ryzyka – jako kompetencję jednostki, niezbędną do wydawania EOT [9], [7], która od 1 stycznia 2017 r. odnosi się również do KOT. W Instytucie Badawczym Dróg i Mostów analizy ryzyka są wykonywane od 2 maja 2013 roku na podstawie metodologii opracowanej przez autora, początkowo w odniesieniu do niektórych aprobat technicznych [11], a następnie EOT [12]. Techniki oceny ryzyka zostały dostosowane do wymagań normy międzynarodowej PN-ISO 31000:2012 [13] dot. zarządzania ryzykiem – wprowadzonej przez Polski Komitet Normalizacyjny w marcu 2012 r. Od 7 sierpnia 2017 roku został wprowadzony obowiązek oceny ryzyka we wszystkich postępowaniach prowadzonych przez JOT IBDiM odnoszących się do wydawanych:

- europejskich dokumentów oceny (EDO) – ocenę wykonuje się na etapie wstępnej weryfikacji merytorycznej wniosku o wydanie EOT, o czym mowa w art. 19 Rozporządzenia CPR [9],
- KOT – ocenę wykonuje się na etapie pisemnego stanowiska do wniosku, o którym mowa w § 4, ust. 2 rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Budownictwa [14] w sprawie krajowych ocen technicznych.

Oceny ryzyka wykonują obiektywni i niezależni od zainteresowanych podmiotów eksperci techniczni IBDiM o specjalnościach odpowiednich dla poszczególnych wyrobów budowlanych. Wykształcenie, dorobek badawczy lub praktyka budowlana tych ekspertów zapewniają spełnienie przez JOT wymagań ustalonych w rozporządzeniu nr 305/2011 m.in. takich jak „odpowiednią znajomość związków zachodzących między procesami produkcyjnymi a charakterystykami wyrobów związanymi z zakładową kontrolą produkcji” [9]. Każda ocena eksperta technicznego podlega weryfikacji przez pracownika JOT, specjalizującego się w sporządzaniu ocen ryzyka, który odbył praktykę budowlaną i ma kompetencje określania „możliwych zagrożeń i korzyści związanych ze stosowaniem innowacyjnych wyrobów budowlanych...” [9]. Początkowo duża liczba korekt wprowadzanych podczas weryfikacji ocen ryzyka wywołała potrzebę ustawicznego szkolenia ekspertów technicznych.

veloped by the author of this article, initially for selected Technical Approval procedures [11] and subsequently for ETA as well [12]. The risk assessment techniques were adapted to comply with the risk management criteria of ISO 31000:2012 [13] introduced in Poland by the Polish Committee for Standardisation in March 2012. Since Aug. 7, 2017 it is obligatory to carry out risk assessment as part of all procedures of IBDiM's TAB in relation to:

- European Assessment Documents (EAD) – risk assessment is carried out during the preliminary evaluation of the ETA application, as mentioned in Art. 19 of CPR [9],
- National Technical Assessments – risk assessment is carried out as part of application review process mentioned in Paragraph 4.2 of the Regulation of the Minister of Infrastructure and Construction [14] on the National Technical Assessments.

The risk assessment is carried out by IBDiM technical experts, who are objective and not related to the interested party (or parties), specialising in the field appropriate to the construction product(s) in question. Their educational background, professional accomplishments, or experience in the field of construction ensure satisfying the requirements set out for TABs in the Regulation No. 305/2011, including requirement of having “staff with appropriate knowledge of the relationship between the manufacturing processes and the product characteristics related to factory production control” [9]. Each assessment by a technical expert is verified by TAB’s risk assessment specialist with appropriate training in construction who has competences to “Identify the possible risks and benefits for the use of innovative construction products ...” [9]. The initially large number of revisions made during verification of risk assessments necessitated continuous training of technical experts.

With the risk assessment method in hand it was possible to pinpoint the characteristics of construction products which are relevant to meeting the Polish and European code requirements by the construction works and, on this basis, identify those performance characteristics which must be declared by the manufacturers. This method has been used for six years and in this period the number of tested and declared performance characteristics of various construction products has been effectively reduced. This confirms usefulness of this method in issuing National Technical Assessments and EADs.

Dzięki zastosowaniu metody oceny ryzyka stało się możliwe wyselekcjonowanie z wielu charakterystyk wyrobów budowlanych – tych, które mają istotny wpływ na spełnienie wymagań prawa polskiego i europejskiego przez budowlę, w które te wyroby mają zostać wbudowane, a na tej podstawie ustalenie badanych właściwości użytkowych, które mają obowiązek deklarować producenci wyrobów. W okresie sześcioletniego stosowania tej metody liczba badanych i deklarowanych właściwości użytkowych wielu wyrobów budowlanych uległa racjonalnemu zmniejszeniu. Potwierdziło to jej przydatność podczas wydawania krajowych ocen technicznych oraz europejskich dokumentów oceny.

3. METODY STOSOWANE DO OCEN RYZYKA

Zgodnie z definicją zawartą w normie międzynarodowej PN-ISO 31000:2012 [13] „Ryzyko to wpływ niepewności na cele”. W odniesieniu do wyrobów budowlanych jest to wpływ niepewności właściwości użytkowych wyrobów budowlanych na spełnienie podstawowych wymagań przez budowlę, w które zostały wbudowane. W przepisach Organizacji Traktatu Północnoatlantyckiego NATO, dotyczących wzajemnej realizacji rządowego zapewnienia jakości GQA i normach AQAP, które mają zastosowanie do wyrobów budowlanych stosowanych w budowlach obronnych, ryzyko jest identyfikowane jako zbiór dwóch głównych elementów:

- 1) prawdopodobieństwo nieosiągnięcia określonego rezultatu,
- 2) konsekwencje lub skutki nieosiągnięcia określonego rezultatu [6].

Oceny ryzyka wykonuje się z wykorzystaniem metod ilościowych lub metod jakościowych.

Metoda ilościowa określa ryzyko $E(C)$ jako iloczyn wartości prawdopodobieństwa wystąpienia niepożądanego zdarzenia i wartości jego negatywnych skutków. W normie międzynarodowej ISO 13824:2009 [15] ryzyko jest również określane jako przewidywana konsekwencja, obliczana według wzoru:

$$E(C) = \sum_{i=1}^n c_i \cdot p_i, \quad (1)$$

gdzie:

- n – liczba konsekwencji spodziewanych zdarzeń,
- c_i – prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia niepożądanego i ,
- p_i – konsekwencja zdarzenia i , która może być wyrażona wartością straty finansowej.

3. METHODS APPLIED FOR RISK ASSESSMENTS

The international standard ISO 31000:2012 [13] defines the risk as the “effect of uncertainty on objectives”. In relation to construction products it is the effect of uncertainty related to the performance characteristics and compliance with the basic requirements by the works in which they are incorporated. The provisions of NATO Mutual Government Quality Assurance (GQA) and AQAP standards applicable to military structures define the risk as a set of two main items:

- 1) probability of failure to attain the desired result,
- 2) consequence or effect of such failure [6].

The types of risk assessment fall in two categories: quantitative and qualitative.

The quantitative method defines the risk $E(C)$ as a product of probability of an undesired event and the expected value of its undesirable consequences. In ISO 13824:2009 [15] that risk is also defined as the expectation of consequences, calculated with the following equation:

$$E(C) = \sum_{i=1}^n c_i \cdot p_i, \quad (1)$$

where:

- n – the number of assumed consequences,
- c_i – the probability of occurrence of the i^{th} consequence,
- p_i – the i^{th} consequence, which can be expressed as a financial loss.

Qualitative methods are used when it is not possible to value the consequences of the event and precisely estimate the probability of its occurrence. In these methods the probability of occurrence of an undesirable event and the consequence of the event are stated in a dimension-less form by experts utilising their knowledge, experience and intuition. In this case the impact of an event (failure to achieve the desired outcome) is presented most often in a descriptive manner as a check list, with the risks rated as acceptable or unacceptable. One of most detailed qualitative methods is NIST SP 800-30 [16] used in the USA for information systems security risk assessment. It specifies three levels of threat likelihood p of an undesired event to occur:

- high – for which $p = 1.0$,
- medium – for which $p = 0.5$,
- low – for which $p = 0.1$.

Metody jakościowe stosuje się w wypadku braku możliwości wyceny skutków oddziaływania zdarzenia i dokładnej oceny prawdopodobieństwa jego wystąpienia. Są to metody bezwymiarowe, w których prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia niepożądanego i skutek jego oddziaływania identyfikują eksperci na podstawie wiedzy, doświadczenia i intuicji. W tym przypadku konsekwencje zdarzenia (nieosiągnięcia określonego rezultatu) są najczęściej przedstawiane w sposób opisowy w formie listy kontrolnej, gdzie ryzyko wystąpienia konsekwencji jest dzielone na akceptowalne i nieakceptowalne. Jedną z bardziej szczegółowych metod jakościowych jest metoda NIST SP 800-30 [16] stosowana w USA do oceny ryzyka dot. bezpieczeństwa systemów informatycznych. Przewidziano w niej trzy wartości prawdopodobieństwa p wystąpienia niepożądanego zdarzenia:

- wysoką, dla której $p = 1,0$;
- średnią, dla której $p = 0,5$;
- niską, dla której $p = 0,1$.

Konsekwencja zdarzenia W jest wyrażona procentowym zagrożeniem osiągnięcia celu i oceniana przez przyjęcie jednej z trzech wartości jako:

- wysoka, dla której $c = 100$;
- średnia, dla której $c = 50$;
- niska, dla której $c = 10$.

Dla lepszego zrozumienia metody NIST SP 800-30 [16], jej autorzy zbudowali macierz poziomów ryzyka (Tabl. 1) pokazującą jego zależność od prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia i skutku oddziaływania. W macierzy ryzyko jest oszacowane w trójstopniowej skali. Na podstawie zamieszczonych w niej danych liczbowych poziom ryzyka można ocenić jako:

- niski, gdy zostało ono uznane za akceptowalne, pomimo celowości prowadzenia działań zapobiegawczych ($1 < R \leq 10$),
- średni, gdy występuje potrzeba opracowania planu działań zapobiegawczych i ich przeprowadzenia w określonym przedziale czasu ($10 < R \leq 50$),
- wysoki, gdy zostało ono uznane za nieakceptowalne, ponieważ występuje duża potrzeba jak najszybszego przeprowadzenia działań zapobiegawczych ($50 < R \leq 100$).

Zaletami metody NIST SP 800-30 jest brak konieczności wykonywania obliczeń i wycen, a także ilościowej oceny skutków oraz analizowania częstości występowania zagrożeń. Uzyskane wyniki oceny ryzyka są przybliżone, jednak w pełni przydatne do celów praktycznych. Z uwagi na intuicyjny sposób identyfikowania prawdopodobieństw

The impact of an event W is expressed as a percent threat of not attaining the goal which can be:

- high – for which $c = 100$,
- medium – for which $c = 50$,
- low – for which $c = 10$.

In order to improve understanding of the NIST SP 800-30 method [16] its authors built a Risk-Level Matrix (Table 1) relating the risks to the probability of an event and their respective impacts. In this matrix the risk is rated on a three level scale. Basing on the numerical values given in this table, the risk level can be rated as:

- low, when the risk has been judged acceptable, yet mitigating measures are justified ($1 < R \leq 10$),
- medium, when a corrective action plan must be developed and implemented within a reasonable period of time ($10 < R \leq 50$),
- high, when the risk has been judged unacceptable and corrective actions must be implemented as soon as possible ($50 < R \leq 100$).

Table 1. Risk-Level Matrix acc. to [16]
Tablica 1. Macierz poziomów ryzyka wg [16]

Threat likelihood Prawdopodobieństwo zdarzenia	Impact Konsekwencje zdarzenia		
	Low / Niskie (10)	Medium / Średnie (50)	High / Wysokie (100)
High / Wysokie (1.0)	Low / Niskie $10 \times 1.0 = 10$	Medium / Średnie $50 \times 1.0 = 50$	High / Wysokie $100 \times 1.0 = 100$
Medium / Średnie (0.5)	Low / Niskie $10 \times 0.5 = 5$	Medium / Średnie $50 \times 0.5 = 25$	Medium / Średnie $100 \times 0.5 = 50$
Low / Niskie (0.1)	Low / Niskie $10 \times 0.1 = 1$	Low / Niskie $50 \times 0.1 = 5$	Low / Niskie $100 \times 0.1 = 10$

The advantage of the NIST SP 800-30 method is that it does not need calculations and valuations or quantitative evaluation of consequences or analysis of the threat event frequency. While approximate, these results of risk assessment can be used for the sake of practicality. Due to intuitive method of determining the probability of events and impacts the risk-level matrix can be of use for the risk assessment by TAB experts. Certain problems can be associated with the subjective nature of this type risk assessment and the resulting different scores given for the same event by different experts. The risk assessment method developed by IBDiM uses the rating scale which turned out to be the same as in the NIST SP 800-30 method [16].

występowania zdarzeń i skutków ich oddziaływania macierz poziomów ryzyka może być przydatna do oceny ryzyka przez ekspertów JOT. Pewne problemy może stwarzać subiektywny charakter oszacowania ryzyka i związane z nim różne oceny takiego samego zdarzenia przez różnych ekspertów. W metodzie oceny ryzyka, opracowanej w IBDiM, przyjęto skalę ocen, która okazała się taką samą, jak w metodzie NIST SP 800-30 [16]. Jako kryterium ryzyka stosowania wyrobów budowlanych, w rozumieniu normy PN-ISO 31000:2012 [13], przyjęto niespełnienie przez obiekty budowlane, w których je zastosowano, co najmniej jednego z siedmiu podstawowych wymagań, o których mowa w [9], [10], zestawionych w Tabl. 2.

Podstawowe wymagania zostały postawione w odniesieniu do budowli, stanowiących całość techniczno-użytkową wraz z instalacjami i urządzeniami, o których mowa w art. 3, pkt 3 ustawy [10]. W odniesieniu do budownictwa komunikacyjnego przepis ten wymienia budowle: lotnisko, drogę, linię kolejową, most, wiadukt, estakadę, tunel, przepust, lecz nie zamyka ich katalogu.

Zgodnie z normą PN-ISO 31000:2012 [13] ocena ryzyka obejmuje:

- identyfikację ryzyka,
- analizę ryzyka,
- ewaluację (oszacowanie) ryzyka [13].

W wypadku metody stosowanej w IBDiM identyfikacja źródeł ryzyka nie spełnienia przez budowlę podstawowych wymagań, obejmując zbiór wszystkich potencjalnych zasadniczych charakterystyk wyrobu budowlanego, bez ograniczania ich liczby. Analiza i oszacowanie ryzyka w odniesieniu do poszczególnych zasadniczych charakterystyk ma na celu wybór tych, które mają istotny wpływ na spełnienie przez budowlę podstawowych wymagań.

4. OCENA RYZYKA STOSOWANIA METALOWYCH BLACH FALISTYCH W KONSTRUKCJACH GRUNTOWO-POWŁOKOWYCH

Ocena ryzyka związanego ze stosowaniem zestawu metalowych elementów konstrukcyjnych z blachy falistej do budowy obiektów inżynierskich ma stanowić podstawę do ustalenia w KOT wymagań dotyczących oceny, weryfikacji i deklarowania właściwości użytkowych. Zasadnicze charakterystyki wyrobu budowlanego zostały zidentyfikowane z wykorzystaniem przepisów techniczno-budowlanych oraz wiedzy technicznej ekspertów JOT, zgodnie z wytycznymi zawartymi w art. 9 ust. 6 Ustawy o wyrobach budowlanych

The risk criterion for incorporation of construction products in the works, as defined by ISO 31000:2012 [13] is the failure of the works to meet at least one of the seven basic requirements mentioned in [9], [10], which are compiled in Table 2.

Table 2 Basic requirements for construction works acc. to [9]

Tablica 2. Podstawowe wymagania dla obiektów budowlanych wg [9]

No. / Nr	Name of a requirement / Nazwa wymagania
1	Mechanical resistance and stability Nośność i stateczność
2	Safety in case of fire Bezpieczeństwo pożarowe
3	Hygiene, health and the environment Higiena, zdrowie i środowisko
4	Safety and accessibility in use Bezpieczeństwo użytkowania i dostępność obiektów
5	Protection against noise Ochrona przed hałasem
6	Energy economy and heat retention Oszczędność energii i izolacyjność cieplna
7	Sustainable use of natural resources Zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych

The basic requirements are set out for self-contained buildings or structures, complete with services and equipment, as mentioned in Art. 3.3 of the Polish Building Law [10]. The transport infrastructure facilities and structures listed in this provision include: airport, road, railway line, river bridge, overpass, viaduct, tunnel, culvert, noting that the list is not exhaustive.

In accordance with ISO 31000:2012 [13] the risk assessment process comprises:

- risk identification,
- risk analysis,
- risk evaluation [13].

In the method used by IBDiM identification of the risk sources that the works may fail to satisfy the basic requirements covers all the potential essential characteristics of a construction product with no limitation imposed on their number. The purpose of the risk analysis and evaluation for the respective essential characteristics of the product is to identify those which are relevant to compliance of the works with the basic requirements.

[17]. Ocenie poddano ryzyko niespełnienia następujących podstawowych wymagań:

- Wymaganie nośności i stateczności.
Jest ono podstawowym kryterium dotyczącym obiektów budowlanych, wymienionym jako pierwsze w Tabl. 2. Rozporządzenie CPR wymaga zaprojektowania i wykonania tych obiektów w taki sposób, aby obciążenia mogące na nie działać podczas budowy i użytkowania nie prowadziły do:
 - a) katastrofy „zawalenia się całego obiektu budowlanego lub jego części,
 - b) znacznych odkształceń o niedopuszczalnym stopniu,
 - c) uszkodzenia innych części obiektów budowlanych, urządzeń lub zamontowanego wyposażenia w wyniku znacznych odkształceń elementów nośnych konstrukcji,
 - d) uszkodzenia na skutek wypadku w stopniu nieproporcjonalnym do wywołującej go przyczyny” [9].

W wyniku badań polowych podczas układania zasypki autorzy pracy [3] stwierdzili, że najbardziej niebezpiecznym stadium w procesie obciążania powłoki przepustu łukowego o dużej rozpiętości jest etap jego budowy. Jednak wg informacji pochodzących z Głównego Urzędu Nadzoru Budowlanego i odnoszących się do wszystkich budynków i budowli, 91% katastrof budowlanych, które wydarzyły się w Polsce w latach 1995-2010 miało miejsce w okresie użytkowania tych obiektów [5].

Ryzyko niespełnienia pierwszego podstawowego wymagania podczas budowy, zostało obliczone metodą ilościową przy założeniu utraty stateczności przez hipotetyczny wiadukt dla zwierząt nad autostradą. Koszt budowy (cenę ofertową) wiaduktu o długości 74 m i szerokości 40 m przyjęto w kwocie 7 800 000 zł plus 23% podatku VAT. Ryzyko, które dotyczy wyłącznie wzrostu kosztów budowy, wyniosło:

$$R = c \cdot p = 7\,800\,000 \text{ zł} \cdot 1,23 \cdot 0,25 \cdot 0,01 = 23\,985 \text{ zł}, \quad (2)$$

gdzie:

- c – kwota wzrostu kosztów budowy wiaduktu (25% ceny ofertowej),
- p – prawdopodobieństwo zdarzenia przyjęto jako równe 0,01 (jeden przypadek na 100 budowanych wiaduktów).

Pomimo wyższego prawdopodobieństwa takiego zdarzenia podczas budowy, w porównaniu do okresu użytkowania, jego skutki występujące na nieudostępnionej jeszcze dla ruchu autostradzie będą nieznaczne. Zatem związane

4. RISK ASSESSMENT OF THE USE OF CORRUGATED METAL SHEETS FOR CONSTRUCTION OF ROAD SOIL-SHELL STRUCTURES

The risk assessment for a set of structural corrugated sheet metal elements designed for incorporation in transport infrastructure structures will be used as the basis for setting out the requirements relating to evaluation, verification and declaration of performance characteristics in the National Technical Assessment documents. The relevant essential characteristics of the construction product were identified on the basis of the construction regulations and using the professional experience of TAB's specialists, pursuant to the guidelines of Art. 9.6 of the Polish Construction Products Act [17]. The assessment was carried out for the risk of not meeting the respective basic requirements, as detailed below.

- Mechanical resistance and stability.
is it the basic requirement for construction works, listed first in Table 2. CPR requires that the construction works must be designed and built in such a way that the loadings that are liable to act on them during their constructions and use will not lead to any of the following:
 - “a) collapse of the whole or part of the work,
 - b) major deformations to an inadmissible degree,
 - c) damage to other parts of the construction works or to fittings or installed equipment as a result of major deformation of the load-bearing construction,
 - d) damage by an event to an extent disproportionate to the original cause” [9].

The field tests carried out by the authors of [3] during backfilling of the examined culvert revealed that the highest risk related to loading of large span shells occurs during construction. However, according to the information obtained from the Polish Chief Building Control Office in the period 1995-2010 a vast majority, namely 91% of all collapses occurred during use rather than during construction [5].

The risk of failure to comply with the first basic requirement during construction was determined with the quantitative method for structural collapse of a theoretical wildlife crossing structure constructed over the motorway. The cost of construction (bid price) of a 74 m long by 40 m wide bridge was taken at PLN 7,800,000 plus VAT applied at 23% rate. The risk, limited exclusively to the increase in the cost of construction is:

z nim ryzyko będzie mniejsze od ryzyka w okresie użytkowania budowli. Ryzyko niespełnienia pierwszego podstawowego wymagania w okresie użytkowania, zostało obliczone metodą ilościową przy założeniu utraty stateczności przez wyżej opisany hipotetyczny wiadukt dla zwierząt, nad hipotetycznym odcinkiem autostrady płatnej. Skutkiem takiego zdarzenia będzie nieplanowane wyłączenie z ruchu obu jezdni autostrady na odcinku o długości 80 km na okres co najmniej 60 dni przy natężeniu ruchu 40 000 pojazdów osobowych na dobę i 7 000 pojazdów ciężarowych na dobę oraz przy opłatach za przejazd autostradą pojazdu osobowego – 18 zł albo ciężarowego – 30 zł. Koszty rozbiórki i odbudowy wiaduktu przyjęto odpowiednio w kwotach 2 300 000 zł i 7 800 000 zł plus 23% podatku VAT. Ryzyko wyniosło:

$$R = \sum_{i=1}^n c_i \cdot p_i = (2\,300\,000 \text{ zł} + 7\,800\,000 \text{ zł}) \cdot 1,23 \cdot 0,001 + 0,001 \cdot (40\,000 \cdot 18 \text{ zł} + 7\,000 \cdot 30 \text{ zł}) \cdot 60 = 68\,223 \text{ zł},$$

gdzie:

$n = 2$ – liczba konsekwencji zdarzeń,

c_i – wartość konsekwencji zdarzeń, odpowiednio dla:
 $i = 1$ – poniesienie kosztów rozbiórki i odbudowy wiaduktu dla zwierząt,

$i = 2$ – utrata przychodów z opłat autostradowych w okresie rozbiórki i odbudowy (w przypadku wiaduktu zlokalizowanego nad autostradą niepłatną będą to koszty społeczne użytkowników drogi alternatywnej, dłuższej o 4 km i koszty środowiska, związane z wydłużeniem czasu podróży, wzrostem kosztów eksploatacji pojazdów i emisji spalin i wzrostem ryzyka wypadków drogowych itp.),

p_i – prawdopodobieństwo wystąpienia obu konsekwencji zdarzeń przyjęto jako równe 0.001 (wg pracy [18] prawdopodobieństwo katastrof mostów w USA wynosi od 10^{-3} do 10^{-5} rocznie).

Ryzyko ocenione metodą ilościową dotyczy niespełnienia pierwszego podstawowego wymagania z wszelkich możliwych przyczyn – źródeł ryzyka zidentyfikowanych i niezidentyfikowanych. Aby ocenić poziom ryzyka dla każdego ze zidentyfikowanych jego źródeł oddzielnie, analizę wykonano metodą jakościową. W tym celu z zasadniczych charakterystyk zestawu metalowych elementów konstrukcyjnych z blachy falistej wyselekcjonowano te, które mają wpływ na spełnienie przez hipotetyczny

$$R = c \cdot p = \text{PLN } 7,800,000 \cdot 1,23 \cdot 0,25 \cdot 0,01 = \text{PLN } 23,985,$$

where:

c – increase in the cost of overpass construction (25% of the bid price),

p – probability of the event, taken at 0.01 (once per 100 constructed overpasses).

Despite a higher probability of occurrence during construction, as compared to the service lifetime, with the motorway closed as yet to traffic the consequences of this event will not be severe. As such, the risk involved will be smaller than the risk during the operation phase. The risk of failure to comply with the first basic requirement during the operation phase was determined with the quantitative method for a structural collapse of the above-mentioned theoretical wildlife crossing structure over the motorway. This event will result in unplanned closure of both carriageways over an 80 km long section of the motorway for a minimum of sixty days with daily traffic level of 40,000 passenger cars and 7,000 heavy vehicles and toll rates of 18 PLN and 30 PLN respectively. The cost of removal and reconstruction of the overpass was taken at million PLN 2,300,000 and 7,800,000 plus VAT applied at 23% rate. Thus, the following risk value was obtained:

$$R = \sum_{i=1}^n c_i \cdot p_i = (\text{PLN } 2,300,000 + \text{PLN } 7,800,000) \cdot 1,23 \cdot 0,001 + 0,001 \cdot (40,000 \cdot \text{PLN } 18 + 7,000 \cdot \text{PLN } 30) \cdot 60 = \text{PLN } 68,223,$$

where:

$n = 2$ – number of consequences of events,

c_i – value of consequences of events, respectively for:

$i = 1$ – cost of removal and reconstruction of the wildlife overpass in question,

$i = 2$ – loss of revenue from toll during removal and reconstruction (for toll-free motorways this cost should be replaced by the social cost of using the alternative, 4 km longer route and the environmental cost related to longer travel time, increase in the vehicle operating cost, exhaust emissions, higher risk of accidents, etc.),

p_i – probability of occurrence of consequences of both events was taken at 0.001 (according to [18] the annual probability of bridge collapse in USA falls in the range from 10^{-3} to 10^{-5}).

wiadukt dla zwierząt nad autostradą, pierwszego z podstawowych wymagań i oceniono odpowiadające im poziomy ryzyka:

- granica plastyczności stali - wysokie,
- wydłużenie stali przy zerwaniu - wysokie,
- grubość blach falistych, odchyłki - średnie,
- wytrzymałość śrub i nakrętek - wysokie,
- wytrzymałość połączeń śrubowych - wysokie,
- odchyłki geometrii konstrukcji podczas montażu - wysokie,
- nośność konstrukcji z naziemem - wysokie,
- reakcja na ogień - wysokie (Tabl. 3).

- Bezpieczeństwo pożarowe.

To drugie podstawowe wymaganie dla obiektów budowlanych. W rozporządzeniu CPR czytamy m.in., że obiekty budowlane muszą być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby w wypadku wybuchu pożaru „nośność konstrukcji została zachowana przez określony czas” [9]. Warunki techniczne wynikające z tego wymagania powinien spełnić projektant wykonując projekt budowlany wiaduktu nad autostradą zgodnie z wymaganiami podanymi w rozporządzeniu [19]. Jednak prawdopodobieństwo wybuchu pożaru pod wiaduktem jest związane z prawdopodobieństwem wypadku drogowego z udziałem pojazdów przewożących substancje palne. Prawdopodobieństwo takiego zdarzenia jest bardzo małe. Wskutek wysokiej temperatury pożaru metalowa powłoka może ulec uplastycznieniu, a spoczywający na niej grunt osunąć się na jezdnię powodując straty materialne i zagrożenie życia. Dlatego ryzyko, które dotyczy reakcji na ogień, zostało ocenione metodą jakościową, jako - wysokie.

- Higiena, zdrowie i środowisko.

Stanowi trzecie podstawowe wymaganie i podobnie jak drugie powinno zostać spełnione przez projektanta wiaduktu w projekcie budowlanym. Ponieważ skutek ewentualnych zdarzeń jest trudny do oszacowania zastosowanie ma tu wyłącznie metoda jakościowa. Zasadniczymi charakterystykami, które mają wpływ na spełnienie przez wyrób budowlany tego wymagania są: reakcja na ogień i uwalnianie substancji niebezpiecznych. Jednak ryzyko z nimi związane oceniono metodą jakościową, jako - średnie.

- Bezpieczeństwo użytkowania i dostępność obiektów.

Jest czwartym podstawowym wymaganiem definiowanym w rozporządzeniu CPR w następujący sposób: „Obiekty budowlane muszą być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby nie stwarzały niedopuszczalnego ryzyka wypadków lub szkód w użytkowaniu lub w eksploatacji,

The risk estimated with quantitative method concerns failure to meet the first basic requirements due to any cause, including both identified and unidentified risk sources. Qualitative method of analysis was used to assess the risk level separately for each of the identified sources. To this end, the characteristics relevant to the theoretical wildlife overpass's compliance with the first of the basic requirements were selected from all the essential characteristics of the set of structural corrugated metal sheet elements and were assigned the relevant estimated risk levels as follows:

- yield point of steel - high,
- steel ultimate elongation - high,
- thickness of corrugated metal sheets, deviations - medium,
- strength of bolts and nuts - high,
- strength of bolted connections - high,
- geometrical deviations of a structure during assembling - high,
- load-bearing capacity of a buried structure - high,
- reaction to fire - high (Table 3).

- Safety in case of fire.

It is the second basic requirement applicable to construction works. One of the relevant provisions of CPR reads that the construction works must be designed and built in such a way that in the event of an outbreak of fire: “the load-bearing capacity of the construction can be assumed for a specific period of time” [9]. Compliance with this criterion must be ensured by the motorway overpass designer who shall follow the requirements of regulation [19]. Note, however, that the probability of an outbreak of fire under the overpass is related to the probability of occurrence of a road accident of a vehicle carrying flammable substances at that location. The probability of such an event taking place right there is very small. This said, should it occur anyway, the metal shell could soften due to exposure to high temperature and the soil resting on it could slip onto the carriageway causing material losses and life hazard. This being so, a “high” level of risk was determined for reaction to fire with the qualitative risk assessment method.

- Hygiene, health and the environment.

It is the third basic requirement which, similarly to the second requirement, must be complied with by the designer in the construction design. Since the impact of expectable events is difficult to estimate, qualitative risk assessment method is the only option. The essential characteristics relevant to satisfaction of this requirement by the building product are: reaction to fire

takich jak poślizgnięcia, upadki, zderzenia, oparzenia, porażenia prądem elektrycznym i obrażenia w wyniku eksplozji lub włamania. W szczególności obiekty budowlane muszą być zaprojektowane i wykonane z uwzględnieniem ich dostępności dla osób niepełnosprawnych i ich użytkowania przez takie osoby” [9]. W przypadku drogowych obiektów inżynierskich prawdopodobieństwo niespełnienia tego wymagania należy utożsamiać z prawdopodobieństwem pogorszenia stanu bezpieczeństwa ruchu drogowego. Konsekwencją zdarzeń będą społeczne koszty wypadków drogowych. Ryzyko niespełnienia czwartego podstawowego wymagania w odniesieniu do większości z zasadniczych charakterystyk analizowanego wyrobu budowlanego oceniono metodą jakościową jako - średnie lub niskie, a jedynie w wypadku reakcji na ogień jako - wysokie (Tabl. 3).

- Ochrona przed hałasem.

Spełnienie piątego podstawowego wymagania przez konstrukcje gruntowo-powłokowe nie budzi wątpliwości. Zarówno hałas, jak i drgania wywołane przez pojazdy, pieszych lub zwierzęta poruszające się po tych budowlach są tłumione przez warstwę gruntu ułożoną wprost na powłoce z metalowych blach falistych. Potwierdzają ten fakt badania obiektu gruntowo-powłokowego pod obciążeniem kolejowym przedstawione w pracy [2], podczas których stwierdzono płynność jazdy z uwagi na zastosowane podłoże. Można więc przyjąć, że prawdopodobieństwo wygenerowania hałasu przez tego typu budowle pod obciążeniem drogowym albo wywołane ruchem zwierząt jest małe, a ryzyko niespełnienia piątego podstawowego wymagania - niskie.

- Oszczędność energii i izolacyjność cieplna.

Szóste podstawowe wymaganie dotyczy obiektów budowlanych, z których funkcji wynika potrzeba zachowania komfortu cieplnego. Izolacji cieplnych nie stosuje się w drogowych obiektach gruntowo-powłokowych, które nie zawierają pomieszczeń przeznaczonych na pobyt ludzi i mogą być użytkowane w zmiennych temperaturach otoczenia. Technologia budowy konstrukcji gruntowo-powłokowych jest z założenia energooszczędna, w porównaniu do technologii budowy klasycznych mostów i wiaduktów z betonu lub stali. Dla wszystkich zasadniczych charakterystyk ryzyko oceniono jako niskie.

- Zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych.

Siódme wymaganie podstawowe stanowi, że obiekty budowlane muszą być zaprojektowane, wykonane i mieć możliwość demontażu w taki sposób, aby wykorzystanie zasobów naturalnych było zrównoważone i zapewniało w szczególności:

and giving off dangerous substances. However, the level of risk related to them was assessed with the qualitative medium as “medium”.

- Safety and accessibility in use.

It is the fourth basic requirement defined in CPR regulation as follows: “The construction works must be designed and built in such a way that they do not present unacceptable risks of accidents or damage in service or in operation such as slipping, falling, collision, burns, electrocution, injury from explosion and burglaries. In particular, construction works must be designed and built taking into consideration accessibility and use for disabled persons” [9]. In the case of road structures the probability of failure to comply with this requirement should be linked with the probability of lower safety of road traffic. The consequence of these events will be the social costs of road accidents. The risk of failure to comply with the fourth basic requirements in relation to a majority of the essential characteristics of the construction product was assessed with the qualitative method and rated as “medium” or “low” level in all cases except for reaction to fire for which “high” level was established (Table 3).

- Protection against noise.

It is the fifth basic requirement. There can be no doubt that it is satisfied by soil-shell structures. Both noise and vibration induced by vehicles, pedestrians or animals travelling on these structures are damped by the layer of soil laid right atop the corrugated metal sheet shell. This has been confirmed by the results of investigation of a buried metal box structure under rail load presented in [2] where the train was found to run smoothly owing to the base characteristics. As such, we can assume that the probability of noise generation by structures of this kind, when subjected to road or wildlife traffic is small and thus the risk of failure to comply with the fifth basic requirement is “small”.

- Energy economy and heat retention.

The sixth basic requirement concerns construction works in which thermal comfort must be ensured in relation to their occupancy type. While not including any spaces intended for human occupation, soil-shell structures are not provided with thermal insulation and yet are suited for operation at varying ambient temperatures. The method of construction of such structures is by definition economic from the point of view of energy use, as compared to conventional bridges and overpasses made of concrete or steel. For all the essential characteristics “low” risk level was established.

- „a) ponowne wykorzystanie lub recykling obiektów budowlanych oraz wchodzących w ich skład materiałów i części po rozbiórce,
 b) trwałość obiektów budowlanych,
 c) wykorzystanie w obiektach budowlanych przyjaznych środowisku surowców i materiałów wtórnych” [9].

W budowlach gruntowo-powłokowych wykorzystuje się wyroby budowlane ze stali i zasypkę gruntową, które są przyjazne środowisku. Problemem wymagającym szczególnej analizy jest trwałość tego typu konstrukcji.

Wymagania ogólne dotyczące trwałości mostów i wiaduktów drogowych zostały ustalone w drodze rozporządzenia [19] w sprawie warunków technicznych – jako średnia trwałość ich podstawowych elementów niepodlegających okresowej wymianie. Zgodnie z rozporządzeniem okres użytkowania należy przyjmować – nie mniejszy niż 100 lat dla masywnych konstrukcji łukowych i płytowych oraz tuneli i nie mniejszy niż 15 lat dla nowych malarskich powłok ochronnych.

W konstrukcjach gruntowo-powłokowych podstawowymi elementami niepodlegającymi okresowej wymianie są grunt i stalowa blacha. A więc trwałość blachy, zabezpieczonej powłokami ochronnymi na pokrytej gruntem powierzchni, wyznacza okres użytkowania całej konstrukcji – ustalony na 100 lat.

Ryzyko niespełnienia siódmego podstawowego wymagania można obliczyć metodą ilościową według wzoru (1), przy założeniu korozji metalowych blach falistych w hipotetycznym wiadukcie dla zwierząt nad autostradą, opisanym wyżej w odniesieniu do pierwszego podstawowego wymagania. Prawdopodobieństwo takiego zdarzenia może wynosić 1 na 100 przypadków, a wówczas ryzyko będzie równe dziesięciokrotności ryzyka obliczonego dla przypadku utraty stateczności.

Wysokie zagrożenie korozją ziemną stalowych blach falistych wiaduktów stwierdził D. Bęben, badając rezystywność zasypek gruntowych, która wyniosła co najmniej $30 \Omega\text{m}$ [4]. Okolicznością towarzyszącą temu zagrożeniu jest brak możliwości stwierdzenia korozji na zasypanych gruntem powierzchniach blach stalowych przez inspektorów mostowych podczas okresowych kontroli budowl.

Z opisanych powodów, w ramach postępowania z ryzykiem stają się niezbędne działania zapobiegawcze już na etapie projektowania wiaduktów. Należy wówczas wykonywać projekty dodatkowych zabezpieczeń antykorozyjnych albo przewidzieć naddatki grubości blach falistych. Podstawową warstwę powłoki antykorozyjnej, wykonywaną metodą metalizacji cynkowej lub alucynkowej, zabezpiecza się

- Sustainable use of natural resources.

The seventh basic requirement stipulates that the construction works must be designed, built and demolished in such a way that the use of natural resources is sustainable and in particular ensure the following:

- “a) reuse or recyclability of the construction works, their materials and parts after demolition,
 b) durability of the construction works,
 c) use of environmentally compatible raw and secondary materials in the construction work” [9].

The construction products incorporated in soil-shell structures are steel construction products and soil backfill, these being environmentally compatible materials. Particular attention must be paid in this case to durability for which a detailed analysis must be carried out.

The general durability criteria are given for road bridges and overpasses in the relevant regulation on the technical conditions for roads structures [19] as the average design lifetimes of their basic components not intended to be periodically replaced. According to the above-mentioned regulation the design lifetime should be not less than 100 years for massive arch and slab structures and tunnels and min. 15 years for new protective paint coating systems. In soil-shell structures the main elements which are not designed for periodic replacement include the soil and steel sheets. As such, it is the durability of the steel sheet, protected with protective coatings applied on shell top to be buried that determines the required lifetime of the structure as a whole, i.e. 100 years.

The risk of failure to comply with the seventh basic requirement can be calculated with the quantitative method using equation (1) for the assumed corrosion of the metallic corrugated metal sheets of the theoretical wildlife crossing structure over the motorway, as described above in relation to the first basic requirement. The probability of this event could be 1 in 100, giving the risk value equal to ten times the value obtained for stability of structure.

High risk of soil corrosion of corrugated steel sheets was confirmed by Bęben who measured the resistivity of backfill soil obtained results at least $30 \Omega\text{m}$ [4]. An aggravating factor is the inaccessibility of the buried steel sheet surfaces for inspection during periodical bridge inspections which could reveal development of corrosion.

For the above reasons, the risk treatment must include implementation of control measures already at the structural design phase. The solutions include extra protection against corrosion or corrosion allowance by increasing

dotychczasowymi warstwami malarskimi z farb epoksydowych i polimerowych. Trwałość takiego systemu złożonego powinna zostać obliczona według wzoru, podanego w [1]:

$$S_{du} = k(S_{Zn} + S_{pow}), \quad (4)$$

gdzie:

S_{du} – okres trwałości systemu złożonego,

S_{Zn} – okres trwałości powłoki cynkowej lub alucynkowej na stali,

S_{pow} – okres trwałości powłoki malarskiej,

k – współczynnik zwiększający ($k = 1,2 \div 2,5$).

Osiągnięcie założonej trwałości powłok antykorozyjnych warunkuje możliwość ponownego wykorzystania złomu stalowego w hucie po zakończeniu użytkowania i rozbiórce budowli. W krajowej ocenie technicznej konieczne jest określenie warunków stosowania wyrobu budowlanego, zapewniających trwałość budowli. Ich przestrzeganie, między innymi powinno zapewnić szczelność połączeń pomiędzy arkuszami blach oraz uzyskanie właściwych parametrów materiału zasympki w taki sposób, aby zapobiec erozji gruntu nad blachami przez wodę opadową lub wodę płynącą pod obiektem. W obiektach nad drogami projektuje się dodatkowo geomembrany i drenaże. Takie działania zapobiegawcze są zdaniem autora wskazane, ponieważ był świadkiem kilku, spowodowanych przez wodę katastrof przepustów z blach falistych, które wydarzyły się na przełomie 1982 i 1983 r. w Libii na drodze Hadba-Tarhuna.

Ocenę ryzyka wykonano metodą jakościową. Z zasadniczych charakterystyk zestawu metalowych elementów konstrukcyjnych z blachy falistej wybrano te, które mają istotny wpływ na spełnienie siódmego podstawowego wymagania przez hipotetyczny wiadukt dla zwierząt nad autostradą i przypisano im poziomy ryzyka:

- grubość blach falistych, odchyłki - wysokie,
- grubość powłok antykorozyjnych na blachach falistych - wysokie,
- grubość powłok antykorozyjnych na śrubach - wysokie,
- grubość dodatkowych powłok antykorozyjnych - wysokie,
- przyczepność dodatkowych powłok antykorozyjnych - wysokie,
- wykończenie arkuszy blach i kształtowników - wysokie (Tabl. 3).

the corrugated metal sheet thickness. The spray applied zinc or aluzinc coat, which is the main protection measure, is additionally protected by epoxy or polymer paint coats. The overall durability of the above system should be calculated with the equation given in [1]:

$$S_{du} = k(S_{Zn} + S_{pow}), \quad (4)$$

where:

S_{du} – durability of the composite anti-corrosion coating system,

S_{Zn} – durability of zinc or aluzinc coatings on steel substrate,

S_{pow} – durability of paint coatings,

k – increasing factor ($k = 1.2$ up to 2.5).

Reuse of steel scrap after the end of service life and demolition of the structure is conditional on achieving the assumed durability of anti-corrosion coatings. The National Technical Assessment must determine the conditions of use of a construction product so that it ensures achieving the assumed durability of the structure. These conditions of use should, without limitation, ensure tight joints between sheet panels and obtaining appropriate backfill parameters to prevent washing out of soil from the annular space over the sheets by rainwater or by water flowing under the structure. In road overpasses geomembrane and subsurface drainage systems are designed as a protection measure. In late 1982 or early 1983 the author witnessed a few collapses of culverts made of corrugated metal sheets on the road between Hadba and Tarhuna in Libya that were caused by the action of water and thus he considers the above-mentioned protection measures highly recommended.

Qualitative risk assessment method was used in this case. The following essential characteristics of corrugated metal sheets were selected as being relevant for compliance of the seventh basic requirement by the theoretical wildlife crossing over the motorway and the relevant risk levels were estimated as follows:

- thickness of corrugated metal sheets, deviations - high,
- thickness of anti-corrosion coatings applied on corrugated metal sheets - high,
- thickness of anti-corrosion coatings on bolts - high,
- thickness of additional anti-corrosion coatings - high,
- adhesion of additional anti-corrosion coatings - high,
- finishing of steel sheets and shapes - high (Table 3).

Table 3. Filled up fragment of the risk assessment chart of using sets of structural elements of corrugated metal sheets for road structures
 Tablica 3. Wypełniony fragment karty oceny ryzyka stosowania zestawu metalowych elementów konstrukcyjnych z blachy falistej do budowy drogowych obiektów inżynierskich

No. Lp.	Origins of risk identification Identyfikacja źródeł ryzyka	Analysis of risk Analiza ryzyka							Risk evaluation Ewaluacja ryzyka	Risk procedure Postępowanie z ryzykiem
		Criterion / Kryterium: Probability of unfulfilling by structure basic requirements regarding building works Prawdopodobieństwo niespełnienia przez budowlę podstawowych wymagań dot. obiektów budowlanych Risk level / Poziom ryzyka [L/N low / niski] [M/S medium / średni] [H/W high / wysoki] (acc. to Table 1 / wg Tabl. 1) No. of the basic requirement (acc. to Table 2) Nr podstawowego wymagania (wg Tabl. 2)								
		1	2	3	4	5	6	7		
	Basic characteristics of a construction product, essential considering intended applications of it and expected by its manufacturer Zasadnicze charakterystyki wyrobu budowlanego istotne z uwagi na zamierzone zastosowanie wyrobu przewidziane przez producenta									Requested assessment and verification as well as declared functional properties regarding basic features of the construction product Wymagana ocena i weryfikacja oraz deklarowanie właściwości użytkowych w odniesieniu do zasadniczych charakterystyk wyrobu budowlanego [Yes / No] [Tak / Nie]
1	Yield point of steel Granica plastyczności stali	H/W	L/N	L/N	M/S	L/N	L/N	L/N	Unacceptable / Nieakceptowalne	Yes / Tak
2	Steel ultimate elongation Wydłużenie stali przy zerwaniu	H/W	L/N	L/N	M/S	L/N	L/N	L/N	Unacceptable / Nieakceptowalne	Yes / Tak
3	Thickness of corrugated metal sheets, deviations / Grubość blach falistych, odchyłki	Ś	L/N	L/N	L/N	L/N	L/N	L/N	Unacceptable / Nieakceptowalne	Yes / Tak
4	Strength of bolts and nuts Wytrzymałość śrub i nakrętek	H/W	L/N	L/N	M/S	M/S	L/N	L/N	Unacceptable / Nieakceptowalne	Yes / Tak
5	Strength of bolted connections Wytrzymałość połączeń śrubowych	H/W	L/N	L/N	M/S	L/N	L/N	L/N	Unacceptable / Nieakceptowalne	Yes / Tak
6	Geometrical deviations of a structure during assembling / Odchyłki geometrii konstrukcji podczas montażu	H/W	L/N	L/N	M/S	L/N	L/N	L/N	Unacceptable / Nieakceptowalne	Yes / Tak
7	Load-bearing capacity of a buried structure Nośność konstrukcji z naziosem	H/W	L/N	L/N	M/S	L/N	L/N	L/N	Unacceptable / Nieakceptowalne	Yes / Tak
8	Reaction to fire / Reakcja na ogień	H/W	H/W	M/S	H/W	L/N	L/N	L/N	Unacceptable / Nieakceptowalne	Yes / Tak
9	Releasing hazardous substances / Uwalnianie substancji niebezpiecznych	L/N	L/N	M/S	L/N	L/N	L/N	L/N	Acceptable / Akceptowalne	Not / Nie
10	Colour of anti-corrosion coatings from the pavement side / Kolor powłok antykorozyjnych od strony jezdni	L/N	L/N	L/N	M/S	L/N	L/N	L/N	Acceptable / Akceptowalne	Not / Nie
11	Thickness of anti-corrosion coatings applied on corrugated metal sheets / Grubość powłok antykorozyjnych na blachach falistych	L/N	L/N	L/N	L/N	L/N	L/N	L/N	Unacceptable / Nieakceptowalne	Yes / Tak
12	Thickness of anti-corrosion coatings on bolts Grubość powłok antykorozyjnych na śrubach	L/N	L/N	L/N	L/N	L/N	L/N	L/N	Unacceptable / Nieakceptowalne	Yes / Tak
13	Thickness of additional anti-corrosion coatings Grubość dodatkowych powłok antykorozyjnych	L/N	L/N	L/N	L/N	L/N	L/N	L/N	Unacceptable / Nieakceptowalne	Yes / Tak
14	Adhesion of additional anti-corrosion coatings Przyczepność dodatkowych powłok antykorozyjnych	L/N	L/N	L/N	L/N	L/N	L/N	L/N	Unacceptable / Nieakceptowalne	Yes / Tak
15	Finishing of steel sheets and shapes Wykończenie arkuszy blach i kształtowników	L/N	L/N	L/N	M/S	L/N	L/N	L/N	Unacceptable / Nieakceptowalne	Yes / Tak

Metoda jakościowa umożliwiła przeprowadzenie selekcji zasadniczych charakterystyk wyrobu budowlanego, a następnie zaplanowanie działań zapobiegawczych – postępowania z ryzykiem w rozumieniu normy PN-ISO 31000:2012 [13]. Oszacowane tą metodą ryzyko niespełnienia wymagań podstawowych przez wiadukt dla zwierząt zbudowany z metalowych blach falistych, zostało zapisane na karcie ryzyka (Tabl. 3).

Opracowana w IBDiM karta zawiera identyfikację źródeł ryzyka, a następnie analizę i ewaluację (oszacowanie) ryzyka oraz decyzję dotyczącą postępowania z ryzykiem. Na karcie przeprowadza się oszacowanie ryzyka w odniesieniu do poszczególnych jego źródeł. Ryzyko dzieli się na akceptowalne albo nieakceptowalne – w którego przypadku w odpowiednim wierszu znajduje się co najmniej jedna ocena W lub kilka ocen Ś. Przy ryzyku nieakceptowalnym zapisanym w kolumnie karty zatytułowanej „Postępowanie z ryzykiem”, podejmowana jest decyzja o konieczności ustalenia poziomów lub klas właściwości użytkowych wyrobu budowlanego oraz metod ich badania. Opisane w ten sposób właściwości użytkowe wyrobu JOT zamieszczone zostają w krajowej ocenie technicznej, a następnie przy wprowadzaniu wyrobu do obrotu, deklaruje je producent w krajowej deklaracji właściwości użytkowych, sporządzonej wg wzoru zamieszczonego w rozporządzeniu [20].

Na karcie ryzyka wprowadzania do obrotu zestawu metalowych elementów konstrukcyjnych z blachy falistej zostały wyszczególnione korzyści wynikające z dopuszczenia tego wyrobu do sprzedaży:

- możliwość budowy przyjaznych dla środowiska naturalnego wiaduktów dla zwierząt nad i pod drogami,
- obniżenie jednostkowych kosztów budowy wiaduktów dla zwierząt z około 5 000 zł/m² do około 2 500 zł/m².

Wartość ryzyka oszacowana metodą ilościową zobrazowała skalę konsekwencji, jednak okazała się nieprzydatna do oceny wpływu niepewności poszczególnych właściwości użytkowych wyrobu budowlanego na spełnienie podstawowych wymagań przez budowlę, w którą ten wyrób ma zostać wbudowany. Przydatna do tej oceny okazała się opracowana w IBDiM metoda jakościowa oceny ryzyka. Jej stosowanie umożliwia wyselekcjonowanie zasadniczych charakterystyk wyrobu, które mają istotny wpływ na spełnienie przez budowlę podstawowych wymagań. Na podstawie wyników laboratoryjnych badań wcześniej wyselekcjonowanych charakterystyk wyrobu, JOT ustala jego właściwości użytkowe, których utrzymywanie i deklarowanie staje się obowiązkiem producenta. Wówczas ryzyko spełnienia przez budowlę podstawowych wymagań zostaje przeniesione na jej projektanta

In the qualitative method the essential characteristics of the construction products are identified, followed by planning of mitigation measures – risk treatment as defined in ISO 31000:2012 [13]. The risk of failure to comply with the basic requirements by the soil-shell overpass, assessed with the above-mentioned method was entered in the risk assessment chart (Table 3).

The chart prepared in IBDiM comprises identification of the risk sources, followed by risk analysis, risk evaluation and risk treatment decision. The chart is used to assess the risk for the respective risk sources. Risks are classified either as acceptable or unacceptable, the latter when it has received is at least one H or several M scores, as given in the appropriate line. When the risk is rated as unacceptable in the column headed “Risk Treatment” it is considered necessary to determine levels or classes of performance characteristics of the construction products and the methods to test them. The performance characteristics described in this way are included by TAB in the national technical assessment documents and then, at the time of placing the product on the market, they are declared by the manufacturer in the national Declaration of Performance, prepared using the template included in the ordinance regulation [20].

On the assessment chart evaluated risk of placing the set of structural corrugated metal sheet products on the market the benefits from its commercial availability were listed:

- possibility of construction of environmentally compatible wildlife overpasses and underpasses,
- reduction of the unit cost of wildlife crossing construction from ca. 5,000 PLN/m² to ca. 2,500 PLN/m².

The risk value assessed with the quantitative method gives the sense of scale of the consequences but appears not useful to evaluate the effect of uncertainty related to the respective performance characteristics of the construction products on the compliance with the basic requirements by the structure in which they are incorporated. This is where the qualitative assessment method developed by IBDiM can come to play. It enables identification of the essential characteristics of the product relevant to compliance of the works with the basic requirements. On the basis of laboratory results of testing the pre-selected characteristics TAB determines the performance characteristics which must be ensured and declared by the manufacturer. Then the risk of compliance of the works with the basic requirements is transferred to the designer and to the builder, who are accountable for

i budowniczego, którzy odpowiadają za zastosowanie wyrobu budowlanego o zadeklarowanych i odpowiednich właściwościach użytkowych.

5. ZARZĄDZANIE RYZYKIEM

Ocena ryzyka jest fragmentem szerszego procesu zarządzania ryzykiem opisanego w normach międzynarodowych [13], [15]. Na Rys. 2 pokazano model realizowanego w Polsce procesu zarządzania ryzykiem oraz jednostki organizacyjne (podane w nawiasach) właściwe dla poszczególnych działań – w odniesieniu do wprowadzania do obrotu rynkowego innowacyjnych wyrobów budowlanych. W procesie nie zostały przewidziane zadania w relacjach pomiędzy wszystkimi jednostkami organizacyjnymi w stopniu zapewniającym dostępność informacji oraz w zakresie opisanym w ww. normach.

using a product with declared and appropriate performance characteristics.

5. RISK MANAGEMENT

Risk assessment is part of a broader risk management process described in the international standards [13], [15]. Fig. 2 presents a model of the risk management process applied in Poland by the respective organisations/ entities (named in round brackets) responsible for the specific tasks of the process of placing innovative construction products on the market. The interactions between the involved organisations are not defined at the level ensuring availability of information to the extent defined in the above-mentioned standards.

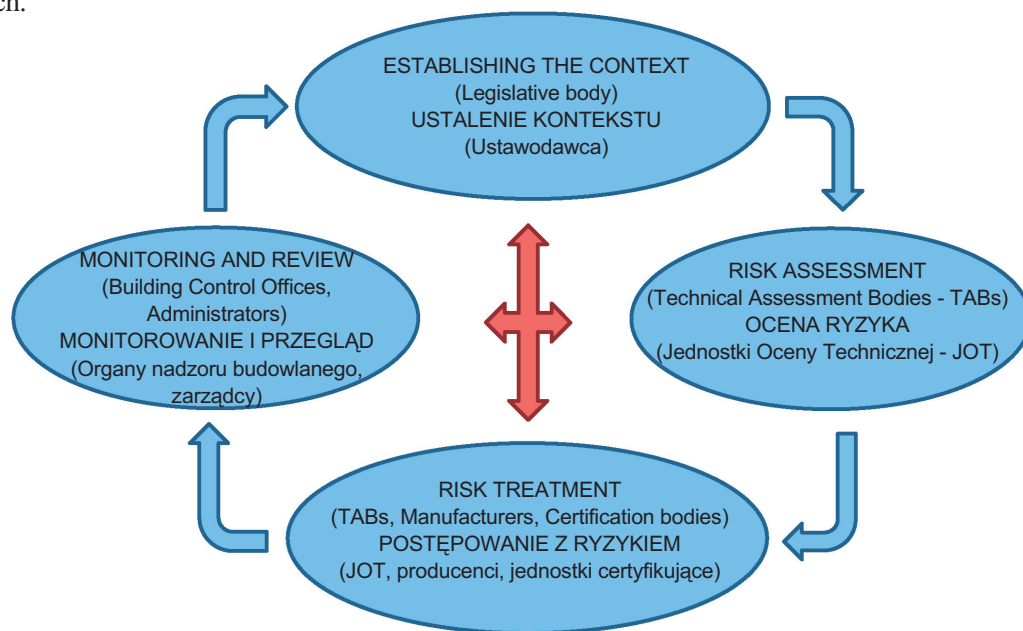


Fig. 2. Model of the risk management process applied in Poland in relation to placing construction products on the market (in blue colour) with designated lacks of interactions described in ISO 31000:2012 (in red colour)

Rys. 2. Model realizowanego w Polsce procesu zarządzania ryzykiem wprowadzania do obrotu rynkowego wyrobów budowlanych (w kolorze niebieskim) z oznaczeniem braku zadań w relacjach opisanych w PN-ISO 31000:2012 (w kolorze czerwonym)

Kontekst zarządzania ryzykiem wynika z przepisów obowiązujących w Polsce i w Europie, opisanych w rozdziale 2. Jednostki oceny technicznej, działając na podstawie tych przepisów, oceniają ryzyko stosowania wyrobu budowlanego, a następnie na podstawie wyników badań dokonują oceny właściwości użytkowych wyrobu (Rys. 3 i 4). W celu potwierdzenia, zastosowanych przez producenta metod obliczeń statyczno-wytrzymałościowych konstrukcji określonego kształtu z naziemem – w skali naturalnej badana jest jej nośność przy użyciu metod opisanych w [21]. Wydając

The risk management context results from the provisions of the Polish and European regulations, as described in chapter 2. The Technical Assessment Bodies acting on the basis of these regulations assess the risk related to the construction product reliability and then, on the basis of test results, evaluate its performance characteristics (Figs. 3 and 4). In order to confirm the accuracy of the static and strength analysis methods used by the manufacturer for structures of a specific shape interacting with backfill, their load-bearing capacity is checked in full scale tests

krajową ocenę techniczną, JOT stwierdzają pozytywną ocenę właściwości użytkowych wyrobu budowlanego w odniesieniu do zamierzonego zastosowania. Właściwości te wyrażone w poziomach lub klasach albo w sposób opisowy są zamieszczane w KOT wraz z metodami ich badań i obliczeń oraz wymaganiami dotyczącymi zakładowej kontroli produkcji. JOT wskazują również wymagany krajowy system oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych – zgodny z aktualnie obowiązującymi przepisami [20].



Fig 3. Full-scale test of soil-shell structure load-bearing capacity (photo by R. Gut, 2017)

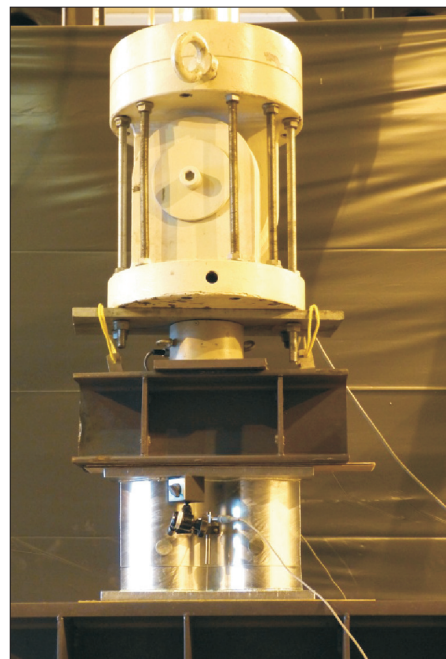
Rys. 3. Badanie nośności konstrukcji gruntowo-powłokowej w skali naturalnej (fot.: R. Gut, 2017)

Fig. 4. Compression test of bolted connection of corrugated metal sheets (photo by R. Gut, 2017)

Rys. 4. Badanie wytrzymałości na ściskanie połączenia śrubowego blach falistych (fot.: R. Gut, 2017)

Sposób postępowania z ryzykiem, obejmujący działania producenta i akredytowanej jednostki certyfikującej jest objęty systemem krajowym. Do końca 2016 roku oceny zgodności wielkogabarytowych konstrukcji z blach falistych dokonywano w systemie 1, który wymagał certyfikacji tych wyrobów przez jednostkę niezależną. Od 1 stycznia 2017 roku znolizowane przepisy o wyrobach budowlanych dopuszczają co najwyżej system 2+ oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych, w którym większość zadań spoczywa na producencie. Producent określa typ wyrobu budowlanego, prowadzi zakładową kontrolę produkcji i badania próbek pobranych w zakładzie produkcyjnym, zgodnie z ustalonym przez niego planem badań. Rola jednostki akredytowanej została ograniczona do przeprowadzenia wstępnej inspekcji zakładu produkcyjnego i zakładowej kontroli produkcji, wydania krajowego certyfikatu zgodności zakładowej kontroli produkcji oraz kontynuacji nadzoru i oceny

using the methods described in [21]. By issuing the national technical assessment document TAB confirms that the performance characteristics of the construction product were found appropriate to the intended use. These properties are expressed by the levels or classes of performance or in descriptive form and included in the National Technical Assessment document, together with the test and calculation methods used and factory quality control requirements. TAB indicate also the required national system of assessment and verification of constancy of performance – in accordance with the currently binding regulations [20].



The risk treatment method, comprising the actions of the manufacturer and accredited certification body is covered by the national conformity assessment system. Until the end of 2016 large-span corrugated metal sheet structures were subject to “System 1” which requires certification of these products by an independent body. According to the amended regulations, in force since Jan. 1, 2017, assessment and verification of the constancy of performance of construction products must be done in “System 2+” as a minimum requirement, where most of the tasks lie with the manufacturer. The manufacturer determines the product-type, exercises factory production control and carries out testing of samples taken at the factory in accordance with the manufacturer’s own testing program. The role of the accredited certification body is limited to initial inspection of the factory and of the factory production control system and its continuous surveillance and assessment

zakładowej kontroli produkcji [20]. Można przypuszczać, że przepis wykonawczy ustawy [17] ustalający systemy ocen zgodności nie został wydany na podstawie ocen ryzyka, pomimo iż innym przepisem tej samej ustawy wprowadzono wymóg sporządzania KOT po wykonaniu takich ocen.

Monitorowanie i przegląd, w rozumieniu normy PN-ISO 31000:2012 [13], wykonują organa właściwe w sprawach wyrobów budowlanych wprowadzonych do obrotu lub udostępnionych na rynku krajowym, którymi z mocy ustawy [17] są:

- wojewódzcy inspektorzy nadzoru budowlanego,
- Główny Inspektor Nadzoru Budowlanego.

Do ich obowiązków należy prowadzenie planowych i doraźnych kontroli oraz postępowań administracyjnych, w których wyniku wyrób budowlany może zostać zakwestionowany.

W normach międzynarodowych [13] i [15] proces zarządzania ryzykiem został objęty szczegółowymi wymaganiami. Wszystkie składniki procesu ustalające kontekst, oceniające ryzyko i obejmujące postępowanie z ryzykiem zostały tam powiązane dwoma zadaniami:

- komunikacja i konsultacje,
- monitorowanie i przegląd.

Obowiązek ich wykonywania nie wynika wprost ani z europejskich ani z polskich przepisów o wyrobach budowlanych [9], [17]. Stąd pozyskiwanie i przekazywanie informacji na temat wadliwych, lecz jeszcze niezakwestionowanych wyrobów budowlanych odbywa się incydentalnie. Należy podkreślić, że wiadomości o katastrofach budowlanych, spowodowanych nieodpowiednimi właściwościami użytkowymi wbudowanych w nie wyrobów budowlanych, są przekazywane do JOT różnymi kanałami i z dużym opóźnieniem, co nie stwarza warunków do wykorzystywania aktualnej wiedzy w przeprowadzanych ocenach ryzyka. Bez systemowej zmiany przepisów o wyrobach budowlanych, zarządzanie ryzykiem stosowania wyrobów budowlanych, które obecnie odbywa się przy założeniu dobrych praktyk administracyjnych lub na podstawie realizacji zadań kontrolnych, może okazać się opóźnione, a zatem nieskuteczne.

6. WNIOSKI

Opracowana w IBDiM metoda jakościowa oceny ryzyka stosowania wyrobów budowlanych okazała się przydatna przy wydawaniu krajowych ocen technicznych i europejskich dokumentów oceny. W celu zapewnienia porównywalności uzyskiwanych wyników oraz aktualności wiedzy stwierdzono potrzeby:

[20]. Presumably, the regulatory ruling to the Act [17] establishing the conformity assessment system was not issued on the basis of risk assessments although another ruling to the same Act requires issuing of the National Technical Assessment document following such assessments.

Monitoring and review, as defined in ISO 31000:2012 [13] are performed by governmental bodies authorising the construction products for sale or placing on the market. By virtue of the law [17] these are:

- Province Inspectors of Building Control,
- General Inspector of Building Control.

Their responsibility includes carrying out both planned and unplanned inspections and administrative procedures which can lead to disapproval of the product.

The international standards [13], [15], in turn, set out detailed requirements for the risk management process. All the process components to establish the context, evaluate the risk and evaluate treatment options are linked by two tasks:

- communication and consultation,
- monitoring and review,

whose performance is not directly required by either European or Polish regulations on construction products [9], [17]. As such, acquisition and communication of information on faulty but not as yet disapproved construction products occurs incidentally. It is worth to note that TABs receive information on structural collapses caused by inadequate performance characteristics of construction products through different communication channels and after a considerable delay, and this does not favour application of the current knowledge in risk assessment being carried out at the time. Without a structured change of the regulations on construction products, the management of risk in relation to their reliability in use, which currently is based on assumed good administrative practice or on carrying out control tasks, may turn out to be delayed and thus ineffective.

6. CONCLUSIONS

The IBDiM's own qualitative risk assessment method for construction products turned out to be useful in the National Technical Assessment and European Assessment Document issuing procedures. The following needs have been identified in order to achieve comparability of results and ensure access to the current knowledge:

- ustawicznego szkolenia personelu jednostki oceny technicznej (JOT) i ekspertów technicznych w zakresie ocen ryzyka,
- stworzenia forum wymiany informacji pomiędzy uczestnikami procesu zarządzania ryzykiem.

Wykazano, że ocena ryzyka na etapie opracowania oceny technicznej jest warunkiem koniecznym, jednak niewystarczającym do skutecznego zarządzania ryzykiem związanym z wprowadzaniem do obrotu rynkowego wyrobów budowlanych. Wynika to z niezgodności systemowej między procesem wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych, opisanym zarówno w europejskich jak i w polskich przepisach o wyrobach budowlanych [9], [17], a procesem zarządzania ryzykiem wg norm międzynarodowych [13], [15].

BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] Janusz L., Madaj A.: Obiekty inżynierskie z blach fali-
stych. Projektowanie i wykonawstwo, Wydawnictwa Kom-
munikacji i Łączności, Warszawa 2007
- [2] Machelski C., Korusiewicz L.: Deformation of buried cor-
rugated metal box structure under railway load. Roads and
Bridges - Drogi i Mosty, **16**, 3, 2017, 191-201, DOI:
10.7409/rabdim.017.013
- [3] Kunecki B., Korusiewicz L.: Field tests of large-span metal
arch culvert during backfilling. Roads and Bridges - Drogi i
Mosty, **12**, 3, 2013, 283-295, DOI: 10.7409/rabdim.013.020
- [4] Bęben D.: Evaluation of backfill corrosivity around steel
road culverts. Roads and Bridges - Drogi i Mosty, **12**, 3,
2013, 255-268, DOI: 10.7409/rabdim.013.018
- [5] Szer J.: Analiza ryzyka w budownictwie i jego skutki,
Przegląd Budowlany, **83**, 9, 2012, 42-49
- [6] Szymonik A.: Problemy zarządzania ryzykiem w procesach
realizacji wyrobów obronnych w aspekcie wymagań
NATO, Logistyka, **6**, 2006, 31-33
- [7] Klimczak W.: Problematyka ryzyka w rozporządzeniu Par-
lamentu Europejskiego i Rady UE, nr 305/2011. Prace Insty-
tutu Techniki Budowlanej, **42**, 2, 2013, 13-26
- [8] Watts J.M., Hall J.R.: Introduction to Fire Risk Analysis,
in: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering Fifth
Edition, Editor-in-Chief M.J. Hurley, Springer 2016
- [9] Regulation (EU) No. 305/2011 of the European Parliament
and of the Council of 9 March 2011 laying down harmo-
nised conditions for the marketing of construction products
and repealing Council Directive 89/106/EEC. Official
Journal of the European Union, L 88, 4.4.2011, 5-43
- [10] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane. Tekst
jednolity, Dz. U. z 2018 r., poz. 1202 ze zmianami
- [11] Zarządzenie nr 8/2013 z dnia 25 kwietnia 2013 r. Dyrektora
Instytutu Badawczego Dróg i Mostów w sprawie wykonywa-
nia analizy ryzyka przy opracowywaniu aprobat technicz-
nych
- [12] Zarządzenie nr 14/2017 z dnia 4.08.2017 r. Dyrektora Insty-
tutu Badawczego Dróg i Mostów w sprawie procedury anali-
zy ryzyka związanego ze stosowaniem wyrobu budowlanego
w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów
- [13] PN-ISO 31000:2012 Zarządzanie ryzykiem - Zasady i wytycz-
ne / Risk management - Principles and guidelines, Polski Komit-
tet Normalizacyjny, Warszawa, 2012
- [14] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia
17 listopada 2016 r. w sprawie krajowych ocen technicznych.
Dz. U. z 2016 r., poz. 1968
- [15] ISO 13824:2009 Bases for design of structures - General
principles on risk assessment of systems involving structures
- [16] Stoneburner G., Goguen A., Feringa A.: Risk Management
Guide for Information Technology Systems. National Insti-
tute of Standards and Technology, Special Publication
800-30, USA 2002
- [17] Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych.
Tekst jednolity, Dz. U. z 2019 r., poz. 266
- [18] Nowak A.S., Collins K.R.: Reliability of Structures, Second
Edition. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton -
London - New York, 2013
- [19] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej
z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych jak-
im powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich
usytuowanie. Dz. U. z 2000 r., poz. 735
- [20] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia
17 listopada 2016 r. w sprawie sposobu deklarowania
właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu
znakowania ich znakiem budowlanym. Dz. U. z 2016 r., poz.
1966, Dz. U. z 2018 r., poz. 1233
- [21] Machelski C., Korusiewicz L.: Testing the load capacity of
a soil-steel box structure. Roads and Bridges - Drogi i Mosty,
17, 3, 2018, 181-191, DOI: 10.7409/rabdim.018.011