

KAREL POSPISIL<sup>1)</sup>  
 MICHAL JANKU<sup>2)</sup>  
 JOSEF STRYK<sup>3)</sup>  
 VITEZSLAV POSPISIL<sup>4)</sup>  
 DAGMAR POSPISILOVA<sup>5)</sup>

## CONCEPT OF UNIFICATION OF MUTUALLY INCOMPATIBLE INFORMATION MODELS AND DATA STORED IN RELATIONAL DATABASES OF ROAD ADMINISTRATIONS

## KONCEPCJA UJEDNOLICENIA WZAJEMNIE NIEKOMPATYBILNYCH MODELI INFORMACYJNYCH ORAZ DANYCH PRZECHOWYWANYCH W RELACYJNYCH BAZACH DANYCH ZARZĄDCÓW DRÓG

**STRESZCZENIE.** Zarządcy dróg wprowadzają rozwiązania BIM (modelowanie informacji o budowlach) w programach pilotażowych dotyczących nowo budowanych oraz przebudowywanych odcinków dróg. Każdy z takich modeli jest przetwarzany zgodnie z normami i praktykami BIM obowiązującymi w momencie jego powstania. W związku z tym uzyskane modele są niekompatybilne i nie mogą być połączone w większy model sieci drogowej czy nawet jej wybranych części. Istniejące konstrukcje często nie są w ogóle brane pod uwagę w BIM, dopóki nie zostanie zaplanowana ich przebudowa. Ponadto zarządcy dróg zwykle przechowują dane jako stałe i zmienne wartości parametrów obiektu w relacyjnych bazach danych. W zaistniałej sytuacji stosunkowo niewielka liczba obiektów jest opisana we wzajemnie niekompatybilnych modelach, a dane większości obiektów znajdują się w relacyjnych bazach danych. Zarządcy dróg funkcjonują więc w heterogenicznych środowiskach informatycznych. Celem niniejszej pracy jest analiza opisanego problemu oraz przedstawienie proponowanych metod: metody ujednolicenia modeli, metody tworzenia kompatybilnych uproszczonych modeli informacyjnych z wykorzystaniem informacji już przechowywanych w relacyjnych bazach danych, jak również metody przechowywania danych na poziomie zarządzanej sieci drogowej celem wsparcia zarządców dróg i potraktowania ich systemów zarządzania zasobami jako dynamicznej części BIM.

**SŁOWA KLUCZOWE:** BIM, BMS, model sieci drogowej, PMS, relacyjna baza danych, system zarządzania zasobami.

**ABSTRACT.** Road Administrations (RAs) implement Building Information Modelling (BIM) through pilot projects developed for new or reconstructed structures. Each model is processed with respect to BIM standards and practices valid at the time of its creation. Consequently, models are incompatible and cannot be interconnected to create a combined model of the managed network or even its selected parts. Existing structures are often not included in the BIM effort until some major repair is planned. In addition, RAs usually store data on fixed and variable parameters of structures in relational databases. This results in a situation in which a relatively small number of structures are included in mutually incompatible models and data regarding the majority of structures is contained in relational databases. It creates a heterogeneous data environment for RAs. The goals of the paper are as follows: to analyse the described problem, to propose a method of model unification models, a method of creation of simplified compatible information models using data on existing structures stored in relational databases and a method of storing data at the level of the managed network, to support RA asset management systems which can be treated as a dynamic part of BIM.

**KEYWORDS:** asset management system, BIM, BMS, PMS, relational database, road network model.

<sup>1)</sup> Brno University of Technology, Institute of Forensic Engineering, 118 Purkynova St., Brno, 61200; [pospisil@vut.cz](mailto:pospisil@vut.cz) (✉)

<sup>2)</sup> Transport Research Centre (CDV), 33a Lisenska St., Brno, 63600, [michal.janku@cdv.cz](mailto:michal.janku@cdv.cz)

<sup>3)</sup> Transport Research Centre (CDV), 33a Lisenska St., Brno, 63600, [josef.stryk@cdv.cz](mailto:josef.stryk@cdv.cz)

<sup>4)</sup> Janeway, Limited Liability Company, 79 Kainarova St., Brno, 61600, [vitezslav.pospisil@janeway.cz](mailto:vitezslav.pospisil@janeway.cz)

<sup>5)</sup> Transport Research Centre (CDV), 33a Lisenska St., Brno, 63600, [dagmar.pospisilova@cdv.cz](mailto:dagmar.pospisilova@cdv.cz)

## 1. WSTĘP

Rozwiązania BIM (modelowanie informacji o budynku, ang. *building information modelling*) mają potencjał do zredukowania w przebiegu inwestycji niepewności, błędów projektowych i opóźnień; mogą także przyczynić się do skuteczniejszego unikania sporów w branży budowlanej [1, 2]. BIM oparte jest na założeniu, że możliwe jest stworzenie i utrzymywanie „cyfrowego bliźniaka” planowanej lub istniejącej konstrukcji (lub całej ich sieci) [2-5]. Takie bliźniaki są opisywane z zastosowaniem informacji graficznych i niegraficznych.

Informacje graficzne służą do wizualizacji dokumentowanego obiektu, odwzorowania relacji przestrzennych między elementami, obliczeń objętości, monitorowania potencjalnych kolizji itp. Informacje niegraficzne wykorzystywane są w powiązanych zastosowaniach, m.in. w systemach zarządzania zasobami (AMS, ang. *asset management system*), systemach zarządzania stanem nawierzchni (PMS, ang. *pavement management system*), systemach zarządzania obiektami mostowymi (BMS, ang. *bridge management system*) itd. [4, 6-8].

Typowym sposobem na stworzenie cyfrowego bliźniaka jest narysowanie go w odpowiednim programie CAD (ang. *computer aided design*) [1], najlepiej z zastosowaniem ustandaryzowanych bibliotek elementów zawierających również informacje niegraficzne o każdym z nich, a następnie zapisanie go w formacie wymiany danych BIM [9]. Odwzorowanie w programach CAD wszystkich istniejących dróg, mostów, tuneli i innych obiektów zarządzanych przez danego administratora krajowego, regionalnego lub miejskiego to bardzo czasochłonna i kosztowna praca.

Z drugiej strony, każdy zarządca dysponuje już danymi o swojej sieci przechowywanymi w formie parametrów stałych i zmiennych. Parametry zmienne opisują stopniową degradację danego elementu, zgodnie z odnośnymi instrukcjami i wytycznymi [10-13]. Stałe i zmienne parametry obiektów są często przechowywane w relacyjnych bazach danych [14] i wykorzystywane w funkcjonowaniu systemów PMS i BMS.

Ponadto w wielu krajach opracowano różne systemy informacji geograficznej GIS (ang. *geographic information system*), łączące różne typy danych niegraficznych z konkretnymi lokalizacjami na mapie. Wśród przykładowych systemów tego rodzaju wymienić można niemiecki projekt z 2014 r. [15] oraz złożony GIS sieci dróg i autostrad w Czechach [16].

Podstawowym celem projektu niemieckiego [15] było utworzenie geobazy zawierającej wszystkie mosty i drogi podlegające zarządowi przez gminy, celem dokonania obliczeń powierzchni utrzymywanych nawierzchni i mostów. Ma to umożliwić dalsze analizy danych, z uwzględnieniem potrzeb

## 1. INTRODUCTION

BIM (Building Information Modelling) has a potential to reduce project uncertainties, design errors and delays, facilitating effective dispute management in the construction industry [1,2]. BIM is based on the central idea that a digital twin of an intended or existing structure (or an entire network of structures) can be created and managed [2-5]. The twins are interpreted in terms of their graphical and non-graphical information.

While graphical information is used to obtain a visual overview of the documented structure, spatial location of individual elements, calculation of volumes, monitoring of spatial conflicts with other structures etc., non-graphical information is used for connected applications, for example for the asset management systems (AMS), including pavement management system (PMS), bridge management system, etc. [4, 6-8].

The usual way to create a digital twin is to draw it in a suitable CAD (Computer Aided Design) system [1], preferably using standardized libraries of elements that include non-graphical information about each of them, and then save it in a BIM exchange format [9]. Redrawing all the existing roads, bridges, tunnels and other structures managed by a particular national, local or municipal road administration (RA) is a very lengthy and costly job.

At the same time, each RA has data describing the network it manages in the form of both fixed (inbuilt or non-variable) and variable parameters. Variable parameters evaluate degradation or deterioration of a structure element, as described in relevant manuals or guidelines [10-13]. The data on fixed and variable parameters are often stored in relational databases of various structures [14] and used, for example, for the operation of PMS and BMS.

In addition, various geographical information systems (GIS) have been created over time in different countries to link different types of non-graphical data to specific locations on the map. Examples of such systems include the German project from 2014 [15] and a complex GIS of road and motorway network in the Czech Republic [16].

The primary goal of the German project [15] was to create a geodatabase that contained all bridges and roads under municipal responsibility, in order to perform calculations of areas of the maintained pavements and bridges. This should enable further analysis of the data, with regard to the investment needs of municipalities for the construction and future maintenance of bridge infrastructure. The initial

inwestycyjnych gmin w zakresie budowy i przyszłego utrzymania infrastruktury. Wstępne opisowe analizy oraz wyniki w formie kartograficznej przygotowane w ramach tego projektu mają wesprzeć klientów w ich dalszych analizach. Ponieważ obróbka informacji geoprzestrzennych prowadzona jest w programie ArcGIS firmy ESRI, ostateczny eksport geodanych następuje w formacie wektorowym Shapefile (\*.shp) oraz w powszechnie używanych formatach tabelarycznych. Powinno to zapewnić możliwość dalszej obróbki i analizy danych w arkuszach kalkulacyjnych i darmowych programach geoinformacyjnych [15].

Logicznym następstwem starań administratorów dróg na polu digitalizacji było przyspieszenie implementacji systemów BIM w branży drogowej. W USA i Europie uruchomiono wiele programów pilotażowych dotyczących infrastruktury drogowej; miały one na celu weryfikację gotowości projektantów i krajowych lub regionalnych zarządców dróg na pracę w systemach BIM. Konferencja Europejskich Dyrektorów Dróg (CEDR) we współpracy z krajowymi administratorami wprowadziła trzy programy pilotażowe BIM, podporządkowane następującym celom [17]:

- Program pilotażowy 1: Integracja i wizualizacja 3D danych z monitoringu w modelu BIM tunelu.
- Program pilotażowy 2: Łączenie i wizualizacja danych o stanie technicznym w modelu BIM mostu.
- Program pilotażowy 3: Poprawa starszych danych przez łączenie modelu BIM drogi z GIS

Dla przykładu, Czeska Dyrekcja Dróg (RSD) uruchomiła 32 programy pilotażowe, obejmujące 28 nowych odcinków autostrad (wraz z obiektami mostowymi), 3 osobne mosty oraz 1 tunel [18]. W Niemczech, celem zademonstrowania opracowanej koncepcji BIM dotyczącej mostów, do implementacji zarządzania danymi w projektowaniu i wykonawstwie wytypowano nowy obiekt BW 27/1 na autostradzie A99 [19].

Zarządcy dróg stopniowo przechodzą od programów pilotażowych BIM do rutynowego stosowania BIM w projektowaniu nowych i przebudowywanych dróg i obiektów. Jak już wspomniano, przeniesienie istniejących dróg do formatu BIM jest kosztowne i czasochłonne; dlatego też zarządcy dróg jak na razie pomijają większość istniejących dróg i obiektów w swoich wysiłkach związanych z BIM.

Programy pilotażowe, uruchamiane w czasach rozwijanej stopniowo normalizacji, są często wzajemnie niekompatybilne i nie mogą zaowocować powstaniem modelu całej sieci. Wobec opisanych powyżej faktów, niniejszej pracy przyświecać będą cztery cele:

- 1) analiza opisanego problemu,

descriptive analyses and preparation of the results in cartographic form as a part of this project are intended to support the client in further analyses. Since the geoinformation work is carried out with the ArcGIS software from ESRI, the final export of the geodata into individual vector data in the Shapefile format (\*.shp) as well as into common table formats should ensure the possibility of further processing and analysis in common spreadsheet programs or freely accessible geoinformation programs [15].

Logically following the RAs' efforts in the field of digitalization, the implementation of BIM systems in road construction sector accelerated. There were many pilot highway infrastructure projects in the US and Europe, which should verify the ability of designers and national or local road administrators to work with BIM [17]. CEDR (Conference of European Directors of Roads), an association of European national RAs, introduces three BIM pilot projects with the following aims [17]:

- Pilot Project 1: Integration and 3D visualisation of monitoring data within a BIM model of a tunnel.
- Pilot Project 2: Linking and visualizing condition data with a bridge BIM model.
- Pilot Project 3: Enhancing legacy data by linking the BIM model of a road to a GIS.

For example, the Czech Road Administration elaborated 32 pilot projects targeted at 28 new motorway sections (including bridges), 3 separate bridges and 1 tunnel [18]. In Germany, to demonstrate the developed concepts of the BIM IFC bridge standard, the new construction project BW 27/1 on the A99 motorway was chosen for implementation of data management in planning and construction [19].

RAs are gradually moving from pilot BIM projects to the routine "BIM based" design of new and rehabilitated roads and structures. As mentioned above, redrawing existing roads into the BIM format is money- and time-consuming; that is why the majority of existing roads and structures are still omitted in the BIM effort taken by the RAs.

Pilot projects developed at a time of gradually developing standardization are often incompatible with each other and can hardly give rise to a model of the entire network. In the light of the facts described above, this research paper is devoted to the following four goals:

- 1) to analyse the described problem,
- 2) to propose a unification method for the existing and newly created models,

- 2) zaproponowanie metody unifikacji istniejących i nowo utworzonych modeli,
- 3) zaproponowanie metody tworzenia kompatybilnych uproszczonych modeli informacyjnych z wykorzystaniem informacji o istniejących konstrukcjach, już przechowywanych w relacyjnych bazach danych,
- 4) zaproponowanie metody przechowywania danych na poziomie zarządzanej sieci drogowej celem wsparcia codziennych działań zarządców dróg, w tym ich systemów zarządzania zasobami (PMS, BMS itd.), które mogą być potraktowane jako dynamiczna część BIM.

Zaproponowana metodyka powinna umożliwiać rozszerzanie BIM na wszystkie drogi i obiekty podlegające danemu zarządcy. Jest to założenie analogiczne do założeń czynionych w latach 90. ubiegłego wieku, gdy wielu zarządców stopniowo przekształcało dokumentację „papierową” w „komputerową”.

## 2. MATERIAŁY I METODY

### 2.1. PODEJŚCIE ANALITYCZNE

Problem przeanalizowano w kategoriach normalizacji międzynarodowej i krajowej, jak również realnych wdrożeń. Analizy norm międzynarodowych oparte są na OpenBIM [9, 20, 21], staraniach społeczności buildingSMART [22], normalizacji ISO i zaleceniach W3C [23-27].

Wiedza o rzeczywistych implementacjach BIM na poziomie europejskim została zaczerpnięta z dokumentów CEDR, która w 2022 roku zrealizowała wewnętrzny projekt poświęcony wdrożeniom BIM przez europejskich krajowych zarządców dróg [17]. Zgłaszano tam również powiązania z GIS oraz innymi systemami zarządców. Jako że temat integracji GIS-BIM w środowisku heterogenicznym był już omawiany [17, 28], badania opisane w niniejszym artykule nie dotyczą tego problemu.

Zastosowanie BIM przez zarządców krajowych było opisane w raporcie technicznym CEDR opublikowanym w 2017 roku [29]. W dokumencie CEDR z roku 2016 [30] podkreślono wagę łączenia BIM z AMS. W ramach pogłębionej analizy krajowej rozpatrzono normy i systemy czeskiego Krajowego Funduszu Infrastruktury Transportowej (SFDI) [31, 32] oraz czeskiej administracji drogowej (RSD) [14, 16, 32, 33].

Propozycje metod unifikacji istniejących i nowych modeli, zastosowania istniejących danych przechowywanych w bazach relacyjnych oraz przechowywania danych z myślą o ich wykorzystaniu w systemach różnych zarządców wynikają z analizy problemu [17, 28, 32, 33]. Choć implementacja jest omówiona na przykładzie czeskiej administracji drogowej, zasięg zastosowań jest dużo szerszy; każdy znany autorom niniejszej pracy

- 3) to propose a method of using data on existing structures stored in relational databases for creation of simplified compatible information models, and
- 4) to outline a method of storing data at the level of the managed network to support everyday activities of RAs, including their Asset Management Systems (PMS, BMS etc.), which can be treated as a dynamic part of BIM.

The proposed methodologies should permit spreading of BIM among all roads and their structures maintained by a particular RA. This is the same ambition as in the 1990s, when many RAs transformed “paper based” documentation to “computer based” documentation.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1. ANALYTICAL APPROACH

The problem was analysed in terms of international and national standardization and real implementation. Analyses of international standardization are based on OpenBIM [9, 20, 21], efforts of the BuildingSMART community [22], ISO standardization and W3C recommendation [23-27].

Real implementation experiences on European level were taken from the documents by CEDR, which completed an internal project focused on BIM implementation by European National Road Administrations (NRAs) in 2022 [17]. They reported links to GIS and other systems of RAs as well. As the theme of GIS-BIM integration in heterogenous data environment has already been discussed [17, 28], the research described in the paper does not deal with this problem.

Utilization of BIM for NRAs was described in the CEDR technical report published in 2017 [29]. The CEDR document dated 2016 [30] highlighted the importance of link between BIM and AMS. For a deeper national approach, analysis of standards and systems of the Czech State Fund of Transport Infrastructure (SFDI) [31, 32] and the Czech Road Administration (Czech RA) [14, 16, 32, 33] were performed.

The proposal of the methods unifying the existing and newly created models, usage of existing data stored in relational databases and storing data to be used within the systems of other RAs follows the analysis of the problem [17, 28, 32, 33]. Although the implementation is shown on the example of Czech RA, its application is much broader, because every road administration known to the authors of this paper has a heterogeneous environment of gradually

zarządca dróg przechowuje swoje obecne dane w relacyjnych bazach danych i funkcjonuje w heterogenicznym środowisku informacyjnym, powstałym w wyniku stopniowego gromadzenia różnych modeli cyfrowych [17, 28, 32]. Fakt, że stosowane bazy danych mogą mieć odmienną strukturę czy zawartość, nie wpływa znacząco na zaproponowaną metodykę.

## 2.2. FORMATY DANYCH W BIM

### 2.2.1. Formaty otwarte i zamknięte

Systemy CAD wykorzystywane na pierwszym etapie tworzenia modeli BIM zwykle zapisują dane we własnościowych zamkniętych formatach. Modele przechowywane w takich formatach są często nazywane ClosedBIM [1, 9], w odróżnieniu od preferowanych w toku zamówień publicznych rozwiązań otwartych (OpenBIM), które oparte są na powszechnie dostępnych formatach wymiany danych i pozwalają uniknąć przyszłego uzależnienia od jednego dostawcy rozwiązań [9, 20, 21]. W rezultacie inwestorzy publiczni zazwyczaj wymagają stosowania standardów IFC (Industry Foundation Classes), definiujących schematy danych oraz inne elementy zapewniające otwarty charakter rozwiązania.

IFC to otwarty i neutralny model danych oraz format ich wymiany, opracowany przez buildingSMART [22] i stosowany w architekturze, inżynierii oraz budownictwie. Standard IFC został zaprojektowany z myślą o wymianie danych cyfrowych o budynku pomiędzy różnymi programami i systemami przez cały cykl życia budynku, włączając projektowanie, fazę wykonawczą, eksploatację i utrzymanie.

### 2.2.2. Normalizacja

IFC definiuje ustandaryzowany i ustrukturyzowany sposób przedstawiania budynków i budowli, ich właściwości, ilości, relacji i geometrii, pozwalając na spójną i niezawodną wymianę informacji o obiekcie między różnymi interesariuszami i branżami zaangażowanymi w jego cykl życia. Standard IFC umożliwia wymianę danych geometrycznych i niegeometrycznych, przez co jest użytecznym narzędziem, ułatwiającym współpracę i komunikację w sektorze architektury, inżynierii i budownictwa.

Zgodnie z normą 16739-1:2018 [23], IFC określa schemat danych oraz strukturę formatu wymiany danych. Schemat danych jest zdefiniowany w języku EXPRESS zgodnie z ISO 10303-11:2004 [24] oraz w XML Schema Definition Language (XSD), zgodnie z rekomendacją W3C [25]. Definicja schematu w EXPRESS jest traktowana jako źródłowa, zaś definicja XML Schema jest generowana ze schematu w EXPRESS, zgodnie z regułami mapowania zdefiniowanymi w ISO 10303-28:2007 [26]. Do formatów wymiany danych należą format tekstowy zgodny ISO 10303-21:2002 [27] oraz

emerging digital models and stores its current data in relational databases [17, 28, 32]. The fact that these databases have different structures, contents and details does not significantly change the proposed methodology

## 2.2. DATA FORMATS FOR BIM

### 2.2.1. Open and closed formats

CAD systems involved in the initial phase of creation of building information models usually use their own proprietary closed formats of data storage. Models stored in such data formats are often referred to as the ClosedBIM [1, 9]. In contrast, public procurers (RAs) usually prefer open solutions (OpenBIM) based on freely available exchange formats, in order to avoid possible future vendor lock-in [9, 20, 21]. Therefore, they have generally opted for the IFC (Industry Foundation Classes) standards defining schemas and other necessities, which meet this requirement.

IFC is an open and neutral data model and exchange format developed by buildingSMART [22], used in the architecture, engineering, and construction (AEC) industry. IFC is designed to enable interoperability and exchange of digital building information across different software applications and systems throughout the entire building lifecycle, including design, construction, operation, and maintenance.

### 2.2.2. Standardization

IFC defines a standardized and structured way of representing building objects, their properties, quantities, relationships, and geometry, allowing the consistent and reliable exchange of building information among different stakeholders and disciplines involved in the building process. IFC supports the exchange of both geometric and non-geometric data, making it a powerful tool for facilitating collaboration and communication in the AEC industry.

According to the standard 16739-1:2018 [23], the IFC specifies a data schema and an exchange file format structure. The data schema is defined in the EXPRESS data specification language, defined in ISO 10303-11:2004 [24], and XML Schema definition language (XSD), defined in XML Schema W3C Recommendation [25]. The EXPRESS schema definition is the source and the XML schema definition is generated from the EXPRESS schema according to the mapping rules defined in ISO 10303-28:2007 [26]. The exchange file formats for exchanging and sharing data are clear text defined in

eXtensible Markup Language (XML) zgodny z rekomendacją XMLW3C [25]. Informacje wyrażone w obu językach, tj. EXPRESS i XML, mają charakter tekstowy. Oznacza to, że format wymiany danych składa się z tekstu, opisującego zarówno graficzne, jak i niegraficzne informacje o obiekcie i wszystkich jego elementach. Fakt ten przekłada się na liczne ograniczenia IFC w porównaniu z własnościowymi formatami systemów CAD, które posiadają wiele i złożonych funkcji. Jest to kompromis związany z korzystaniem z rozwiązania otwartego.

### 2.2.3. Nazewnictwo i struktura IFC

Podstawowy dla IFC termin „schemat” jest powszechnie stosowany w odniesieniu do pliku zawierającego definicje struktury i właściwości encji w danym pliku IFC. Schemat IFC zawiera definicje encji, ich atrybutów, relacji i właściwości, tym samym tworząc ustandaryzowaną semantykę, która zapewnia interoperacyjność i wymianę danych między różnymi programami i systemami w sektorze architektury, inżynierii i budownictwa.

Termin „encja” odpowiada podstawowej jednostce w modelu danych. Encja to abstrakcyjna koncepcja reprezentująca w sposób ogólny typ obiektu, na przykład ściany, drzwi, okna, sufity itp. (w nowszych wersjach IFC również drogi, nawierzchnie itp.). Encja w IFC zawiera definicje podstawowych właściwości i ich atrybutów, wspólnych dla wszystkich wystąpień (instancji) danego rodzaju obiektu w modelu informacyjnym. Na przykład definicja encji „Wall” (ściana) może uwzględniać geometrię, materiał, grubość i kolor.

Nazwy typów, encji, reguł i funkcji rozpoczynają się prefiksem „Ifc” i składają się z angielskich słów zapisywanych w konwencji PascalCase (bez podkreślników, każde słowo wielką literą). Konwencja nazewnictwa odzwierciedla hierarchię koncepcji. Oznacza to na przykład, że encje „Slab” (płyta) czy „Pavement” (nawierzchnia) będą nazywać się odpowiednio: IfcSlab i IfcPavement. Uwaga: termin „element” oznacza konkretne wystąpienie encji.

W standardzie IFC właściwości i ilości (dane ilościowe to np. pola powierzchni, objętości) przypisane encji są zdefiniowane poprzez atrybuty, stanowiące część definicji tej encji. Każdej encji w BIM można przypisać wielorakie zestawy właściwości i ilości zdefiniowane w standardzie IFC, składające się z atrybutów odzwierciedlających wybraną grupę cech. Atrybuty to pojedyncze konkretne cechy, takie jak kolor, długość, ciężar, wytrzymałość, trwałość, koszt itp., które mogą być przypisane encjom w celu opisanie ich różnych aspektów. Zestawy właściwości i ilości są używane do grupowania powiązanych atrybutów w logiczne zestawy. Atrybuty stanowią odzwierciedlenie rzeczywistych wartości lub informacji, opisujących właściwości i ilości przypisane encji w zestawach.

ISO 10303-21:2002 [27], eXtensible Markup Language (XML), defined in XMLW3C Recommendation [25]. Information expressed in both languages, i.e. EXPRESS and XML, are textual. It simply means that the exchange format consists of text describing both graphical and non-graphical (information) representations of a structure and all its elements. This fact generates many limitations in comparison with CAD proprietary formats with sophisticated abilities. This is the trade-off of using an open solution.

### 2.2.3. Definition of Terms and IFC Arrangement

The crucial IFC term “schema” is commonly used to describe a file of definitions that specify the structure and properties of entities in a given IFC file. A schema in IFC contains entity definitions, their attributes, relationships, and properties, and thus creates standardized semantics that enable interoperability and data exchange between different programs and systems in the AEC industry.

The term “entity” is dedicated to the basic unit of the data model. An entity is an abstract concept that represents a general type of object, such as a wall, door, window, ceiling etc. (in later versions of IFC also road, pavement etc.). An entity in IFC contains the definition of basic properties and their attributes that are common to all instances of this type of object within the information model. For example, a “Wall” entity may have a definition that includes its geometry, material, thickness and color.

Data item names for types, entities, rules, and functions begin with the prefix “Ifc” and continue with English words in the PascalCase naming convention (no underscore, first letter of the word capitalized). A naming convention describes a hierarchy of concepts. It means that, for example, a “Slab” or “Pavement” entity is named IfcSlab or IfcPavement. Note: the term “element” is a concrete representation of the entity.

In the IFC standard, properties and quantities of an entity are defined through attributes, which are part of the definition of a specific entity. Each entity in BIM can be assigned multiple property and quantity sets defined by the IFC standard, which consist of attributes that represent a specific set of properties for that entity. Attributes are individual specific properties such as colour, length, weight, strength, durability, cost, and others, that can be assigned to entities and describe their various aspects. Property and quantity sets are used to group related attributes into logical sets that describe specific aspects of an object. Attributes represent the actual values or information that

Zestawy właściwości i ilości są oznaczane poprzez użycie prefiksów – odpowiednio Pset\_ oraz Qto\_ – a dalszy ciąg ich nazw zapisuje się zgodnie z konwencją PascalCase, stosując słowa angielskie odwzorowujące hierarchię koncepcji, np. Pset\_PrecastConcreteElementGeneral.

Poza encjami, właściwościami i innymi predefiniowanymi narzędziami, standard IFC daje szerokie możliwości definiowania rozwiązań indywidualnie przez użytkownika, mogą one jednak doprowadzić do braku kompatybilności w „środowisku BIM”.

## 2.3. MIĘDZYNARODOWY ROZWÓJ IFC

### 2.3.1. Wersje IFC

Schematy IFC były rozwijane od końca dwudziestego wieku. Trzykrotnie doszło do ich normalizacji pod postacią norm ISO, spośród których najnowszą jest ISO 16739-1:2018 [23], odpowiadająca IFC w wersji 4.0.2.1 (dalej zwanej wersją 4.0). O ile IFC w wersji 4.4 jest jeszcze w fazie rozwoju, IFC w wersji 4.3.0.1 (dalej zwanej wersją 4.3) stanowi podstawę nowej normy ISO, która niebawem ma zostać opublikowana [22].

### 2.3.2. IFC w wersji 4.0

Wersja 4.0 IFC, zdefiniowana w normie ISO [23] stanowi ostatnią „znormalizowaną” wersję IFC. Zawiera ona schematy takie jak: „Building Elements”, „Geometric Representation”, „Construction Management”, „Physical Quantity”, „Cost”, „Classification” czy „Context”. Każdy schemat danych poświęcony jest konkretnemu aspektowi inwestycji budowlanej i dostarcza ustandaryzowanych definicji encji wraz z zestawami właściwości i ilości użytecznymi w jego kontekście.

Schemat „Building Elements” składa się z encji odpowiadających konkretnym częściom budynku. Poniżej przedstawiono listę wybranych encji (elementów) zaczerpniętych z normy (ISO 2018):

- IfcWall: Odzwierciedla ścianę lub przepierzenie wewnątrz lub na zewnątrz budynku.
- IfcColumn: Odzwierciedla pionowy słup lub filar stanowiący element nośny.
- IfcBeam: Odzwierciedla poziomą belkę lub pręt stanowiący element nośny.
- IfcSlab: Odzwierciedla poziomą płytę lub strop stanowiący przegrodę poziomą.
- IfcDoor: Odzwierciedla drzwi stanowiące przegrodę pionową lub służące jako wejście/wyjście.
- IfcWindow: Odzwierciedla okno służące do wentylacji i oświetlenia pomieszczenia.
- IfcRoof: Odzwierciedla dach, chroniący budynek lub budowlę przed oddziaływaniami atmosferycznymi.

describe the properties and quantity of the entity based on the assigned sets.

Property and quantity sets are expressed using Pset\_ and Qto\_ prefixes, respectively, and continue with English words in the PascalCase naming convention describing a hierarchy of concepts, e.g. Pset\_PrecastConcreteElementGeneral.

Beside the entities, properties and other predefined tools specified in the IFC standard, there are wide possibilities for user-defined ones, but they may cause incompatibility in the “BIM environment”.

## 2.3. INTERNATIONAL DEVELOPMENT OF IFC

### 2.3.1. Versions of IFC

The IFC schemas have been developed since the end of the twentieth century. They were standardized three times as ISO standards, most recently as ISO 16739-1:2018 [23], which reflected the IFC version 4.0.2.1 (hereinafter referred to as version 4.0). While version IFC 4.4 is under development, IFC version 4.3.0.1 is in balloting process for a new version of ISO standard [22] (hereinafter referred to as version 4.3).

### 2.3.2. IFC version 4.0

IFC version 4.0 defined in ISO [23] is the latest “standardized” version of IFC. It consists of schemas such as “Building Elements”, “Geometric Representation”, “Construction Management”, “Physical Quantity”, “Cost”, “Classification”, “Context” and others. Each schema focuses on a specific aspect of a construction project and provides standardized definitions for entities and sets of properties and quantities that are relevant in their context.

The schema “Building Elements” consists of specific entities defining specific parts of a building. A selection of the entities (elements) taken from (ISO 2018) follows:

- IfcWall: Represents a wall or partition that can be used for interior or exterior purposes.
- IfcColumn: Represents a vertical post or pillar that serves to support a structure.
- IfcBeam: Represents a horizontal beam or bar that serves to support a structure.
- IfcSlab: Represents a horizontal plate or floor that separates different spaces or serves as a floor.
- IfcDoor: Represents a door that separates different spaces or serves as an entrance or exit.
- IfcWindow: Represents a window that serves for ventilation and lighting of a room.

- IfcStair: Odzwierciedla klatkę schodową, służącą do przemieszczania się między kondygnacjami.
- IfcSpace: Odzwierciedla przestrzeń w budynku służącą określonym celom, na przykład biuro, pokój dzienny, magazyn.

Analizując listę nazw encji wchodzących w skład schematu „Building Elements” łatwo zauważyć, że nie ma możliwości bezpośredniego odwzorowania warstwy nawierzchni czy innych elementów infrastruktury transportowej. Można dokonać tego jedynie w sposób pośredni – na przykład warstwa nawierzchni może być odwzorowana z zastosowaniem encji IfcSlab.

Jak wspomniano, każda encja posiada określone predefiniowane zestawy właściwości i ilości. Jest tak również w przypadku encji IfcSlab. Zestawy te zostały opracowane z myślą o płytach i stropach używanych w budynkach, a nie o warstwach nawierzchni, jak widać po poniższej liście zaczerpniętej z normy ISO [23]:

- Zestawy właściwości:
  - Pset\_SlabCommon,
  - Pset\_ConcreteElementGeneral,
  - Pset\_PrecastConcreteElementFabrication,
  - Pset\_PrecastConcreteElementGeneral,
  - Pset\_ReinforcementBarPitchOfSlab,
  - Pset\_EnvironmentalImpactIndicators,
  - Pset\_EnvironmentalImpactValues,
  - Pset\_Condition,
  - Pset\_ManufacturerOccurrence,
  - Pset\_ManufacturerTypeInformation,
  - Pset\_ServiceLife,
  - Pset\_Warranty,
- Zestawy ilości:
  - Qto\_SlabBaseQuantities.

Zastosowanie powyższych zestawów właściwości i ilości encji IfcSlab do opisu warstw nawierzchni nie jest powszechnie ustandaryzowane. W związku z tym forma takiego opisu lub sposób przyjęcia właściwości IfcSlab może różnić się znacząco między rysunkami i dokumentami przygotowanymi przez różnych inżynierów. Może to spowodować niekompatybilność wymienianych projektów lub niejednoznaczności w składanych dokumentach

### 2.3.3. IFC w wersjach 4.3 i wyższych

Wspomniane niespójności w formacie dokumentów IFC, przekładające się na niejednoznaczne definicje elementów

- IfcRoof: Represents a roof that protects a building or structure from weather influences.
- IfcStair: Represents a staircase that serves for movement between different levels in a building.
- IfcSpace: Represents a space in a building that serves a certain purpose, such as an office, living room, or storage room.

Analysing the names of the listed entities, which are parts of the "Building Elements" schema, it is visible there is no direct possibility to express a pavement layer or another transportation structure or its component. There are only indirect ways to do so. For example, a pavement layer can be expressed using the IfcSlab entity.

As mentioned above, each entity has specific predefined sets of properties and quantities assigned. The same is true in the case of the IfcSlab entity. The sets are designed for a slab used in a building, and not for a pavement layer, as visible from the following list taken from the ISO standard [23]:

- Sets of Properties:
  - Pset\_SlabCommon,
  - Pset\_ConcreteElementGeneral,
  - Pset\_PrecastConcreteElementFabrication,
  - Pset\_PrecastConcreteElementGeneral,
  - Pset\_ReinforcementBarPitchOfSlab,
  - Pset\_EnvironmentalImpactIndicators,
  - Pset\_EnvironmentalImpactValues,
  - Pset\_Condition,
  - Pset\_ManufacturerOccurrence,
  - Pset\_ManufacturerTypeInformation,
  - Pset\_ServiceLife,
  - Pset\_Warranty,
- Set of Quantities:
  - Qto\_SlabBaseQuantities.

Usage of the above sets of properties and quantities of the IfcSlab entity for description of pavement layers is not commonly standardized. Therefore, the form of such description, or the manner in which IfcSlab properties are taken, may vary between construction drawings and documentation prepared by different structural engineers. It may cause incompatibility in the exchanged designs or uncertainties in the submitted documents.

### 2.3.3. IFC versions 4.3 and higher

The above-mentioned inconsistencies in the format of the IFC documents resulting in uncertainties in definitions of



infrastruktury transportowej, zostały usunięte w wersji 4.3. W wersji tej w domenach IFC poświęconych drogom i kolejom dodano nowe schematy oraz odpowiednie encje [22]:

- `IfcAlignment`: Określa poziome i pionowe położenie osi obiektów liniowych infrastruktury transportowej, takich jak drogi, koleje czy tunele.
- `IfcBridge`: Określa obiekty mostowe wraz z ich elementami, częściami i ich wzajemnymi połączeniami.
- `IfcCivilElement`: Określa ogólny element budowlany i jego właściwości.
- `IfcRailway`: Określa encje charakterystyczne dla kolei, takie jak tory, zwrotnice, sygnalizatory i inne obiekty.
- `IfcRoad`: Określa encje związane z projektowaniem dróg, w tym osie, profile, przekroje poprzeczne i warstwy nawierzchni.
- `IfcPavement`: Określa koncepcję konstrukcji nawierzchni, reprezentującą różne warstwy wchodzące w skład nawierzchni – takie jak podbudowa pomocnicza, podbudowa, warstwa ścieralna – wraz z ich właściwościami materiałowymi i grubościami. Zawiera również definicję oznakowania poziomego i innych powiązanych cech.
- `IfcTunnel`: Określa encje typowe dla tuneli, w tym elementy, części i ich wzajemne połączenia.

Oznacza, to że od wersji 4.3 drogi (oraz koleje) posiadają w IFC własne encje i właściwości. Nie jest już konieczne określanie ich z zastosowaniem ogólnych definicji, jak w poprzednich wersjach formatu IFC. Na przykład nawierzchnia drogowa jest przedstawiana za pomocą konkretnej encji `IfcPavement`, stanowiącej podtyp encji `IfcProduct`, lub za pomocą `IfcSlab` omówionej w poprzednim podrozdziale. W porównaniu z encją `IfcSlab`, encja `IfcPavement` wyróżnia się własnym systemem przypisanych zestawów właściwości, lepiej dopasowanym do charakterystyki nawierzchni drogowych:

- Zestawy właściwości:
  - `Pset_Condition`,
  - `Pset_ConstructionAdministration`,
  - `Pset_ConstructionOccurrence`,
  - `Pset_ElementKinematics`,
  - `Pset_EnvironmentalCondition`,
  - `Pset_EnvironmentalImpactIndicators`,
  - `Pset_EnvironmentalImpactValues`,
  - `Pset_InstallationOccurrence`,
  - `Pset_MaintenanceStrategy`,
  - `Pset_MaintenanceTriggerCondition`,
  - `Pset_MaintenanceTriggerDuration`,

transportation structure elements have been solved in IFC version 4.3. New schemas in the Road and Railway domains of IFC and their entities have been added [22]:

- `IfcAlignment`: Defines horizontal and vertical alignments of linear transportation infrastructure, such as roads, railways, and tunnels.
- `IfcBridge`: Defines bridge objects including elements, parts and their connectivity.
- `IfcCivilElement`: Defines civil engineering elements and their properties.
- `IfcRailway`: Defines railway-specific entities, such as tracks, turnouts, signals, and other objects.
- `IfcRoad`: Defines entities for road design, including road alignments, profiles, cross sections, and pavement layers.
- `IfcPavement`: Defines the concept of a pavement structure, which represents the different layers forming a pavement, such as sub-base, base, and wearing courses, as well as their material properties and thicknesses. It also includes the definition of pavement markings and other related features.
- `IfcTunnel`: Defines tunnel-specific entities, including tunnel elements, tunnel parts, and their connectivity.

This means that since version 4.3, roads (railways as well) have their own entities and properties and thus do not have to use the generic definitions of previous versions of the IFC format. For example, for pavement representation there is a specific entity named `IfcPavement`, which is a subtype of `IfcProduct` entity, as well as `IfcSlab` discussed in the previous subsection. In comparison with the `IfcSlab` entity, the `IfcPavement` entity has its own system of assigned sets of properties which better fits the specifics of pavement structures, i.e.:

- Sets of Properties:
  - `Pset_Condition`,
  - `Pset_ConstructionAdministration`,
  - `Pset_ConstructionOccurrence`,
  - `Pset_ElementKinematics`,
  - `Pset_EnvironmentalCondition`,
  - `Pset_EnvironmentalImpactIndicators`,
  - `Pset_EnvironmentalImpactValues`,
  - `Pset_InstallationOccurrence`,
  - `Pset_MaintenanceStrategy`,
  - `Pset_MaintenanceTriggerCondition`,
  - `Pset_MaintenanceTriggerDuration`,

- Pset\_MaintenanceTriggerPerformance,
- Pset\_ManufacturerOccurrence,
- Pset\_ManufacturerTypeInformation,
- Pset\_PavementCommon,
- Pset\_PavementSurfaceCommon,
- Pset\_RepairOccurrence,
- Pset\_Risk,
- Pset\_ServiceLife,
- Pset\_Tiling,
- Pset\_Tolerance,
- Pset\_Uncertainty,
- Pset\_Warranty.
- Zestawy ilości:
  - Qto\_BodyGeometryValidation,
  - Qto\_PavementBaseQuantities.

Na podstawie analizy nazw wprowadzonych zestawów właściwości można stwierdzić, że schematy IFC są już gotowe do użycia nie tylko w fazie projektowej infrastruktury transportowej, lecz także w zarządzaniu infrastrukturą w okresie eksploatacji (np. w systemach PMS, BMS). Zawierają one zestawy właściwości odzwierciedlające strategię utrzymaniową oraz wartości graniczne mające skutkować podjęciem określonych zabiegów.

## 2.4. ROZWÓJ IFC I RELACYJNYCH BAZ DANYCH W CZECHACH NA POZIOMIE KRAJOWYM

### 2.4.1. Rozwój krajowego standardu BIM

Obok inicjatyw międzynarodowych, w niektórych krajach definiowane są również krajowe standardy BIM. Do krajów tych należą Czechy, gdzie ogłoszony został standard Krajowego Funduszu Infrastruktury Transportowej (SFDI) [31]. Standard SFDI ma na celu określenie sposobu stosowania znormalizowanej wersji IFC 4.0 [23] w odniesieniu do infrastruktury transportowej. Zawiera on definicje własnych encji oraz zestawów właściwości. W standardzie uwzględniono wszystkie istotne obiekty infrastrukturalne (zarówno drogowe, jak i kolejowe). Obecnie standard skupia się na fazie projektowej, ale jest również rozwijany z myślą o zarządzaniu całym cyklem życia konstrukcji istniejących i nowo budowanych.

Standard SFDI [31] określa sposoby jednolitego wdrożenia schematów IFC w wersji 4.0 do opisu elementów infrastruktury drogowej. Jak zauważono w podrozdziale 2.3.2 artykułu, w schematach ISO [23] nie ma bezpośredniego sposobu na odwzorowanie konstrukcji transportowych i ich elementów,

- Pset\_MaintenanceTriggerPerformance,
- Pset\_ManufacturerOccurrence,
- Pset\_ManufacturerTypeInformation,
- Pset\_PavementCommon,
- Pset\_PavementSurfaceCommon,
- Pset\_RepairOccurrence,
- Pset\_Risk,
- Pset\_ServiceLife,
- Pset\_Tiling,
- Pset\_Tolerance,
- Pset\_Uncertainty,
- Pset\_Warranty.
- Set of Quantities:
  - Qto\_BodyGeometryValidation,
  - Qto\_PavementBaseQuantities.

Analysing the labels of the introduced property sets, it can be stated that IFC schemas are now ready not only for the design phases of transportation infrastructure projects, but also for lifetime infrastructure management (such as PMS, BMS etc.). They include sets of properties for maintenance strategy and triggers for employing appropriate remedial measures.

## 2.4. CZECH NATIONAL DEVELOPMENT OF IFC AND RELATIONAL DATABASES

### 2.4.1. Development of the BIM standard

Beside the international initiatives, there are also national approaches in some countries, including the Czech Republic, where there is a national standard of the State Fund for Transport Infrastructure (SFDI) [31]. The SFDI standard seeks to adopt the standardized IFC version 4.0 [23] for transport structures, defining its own entities and their property sets. It covers all the important transport infrastructure objects (both road and rail). The standard is currently focused on the design process, but it is also being developed for life cycle management of existing or newly built structures.

The SFDI standard [31] determines ways to uniformly adopt IFC version 4.0 schemas for describing elements of transportation structures. As noted in subsection 2.3.2 of this paper, there is no direct way to describe transportation structures and their elements in the ISO [23] schemas, and newer versions containing the relevant schemas have not been standardized yet. The national standardization body does not accept the use of non-standardized schemas.

a nowsze wersje z odpowiednimi schematami nie zostały jeszcze uwzględnione w normach. Krajowa jednostka normalizacyjna nie akceptuje użycia schematów niezawartych w normach. Tabl. 1 i 2 przedstawiają krótkie podsumowanie podejścia krajowego. Tabl. 1 zawiera przetłumaczony fragment standardu krajowego odnoszący się do warstw nawierzchni. Krajowy standard SFDI [31] zawiera definicję własnych zestawów właściwości. Przykładowe opisy przedstawiono w Tabl. 2.

Tables 1 and 2 briefly summarize the national approach. Table 1 illustrates a translated excerpt from the national standard related to pavement layers. The national SFDI standard [31] defines its own sets of properties. An example of their description is shown in Table 2.

Table 1. The Pavement group of elements, an excerpt from the Czech National Standard [31]

Tablica 1. Grupa elementów „Nawierzchnia”, fragment czeskiego standardu krajowego [31]

Entity Encja	Relevance <sup>*)</sup> and precision <sup>**)</sup> Znaczenie <sup>*)</sup> i precyzja <sup>**)</sup>				Geometry of structure Geometria	Property Sets <sup>***)</sup> Zestawy właściwości <sup>***)</sup>						Colour code <sup>****)</sup> Kod koloru <sup>****)</sup>
	LP	BP	PT	CE		I	S	E	Z	M	F	
Pavement / Nawierzchnia	P100	P2	–	–	3DSolid	1	1	1	1	2, 6	1	3
Footpath / Chodnik	P100	P2	–	–	3DSolid	1	1	1	1	2, 6	1	2
Cyclepath / Ścieżka rowerowa	P100	P2	–	–	3DSolid	1	1	1	1	2, 6	1	2
Concrete layer / Warstwa betonu	–	–	P2	P1	3DSolid	1	1	1	1	2, 3, 6	1	2
Surface dressing Powierzchniowe utrwalenie	–	–	P2	P1	3DSurface	1	1	1	1	2	1	2
Surface course / Warstwa ścieralna	–	–	P2	P1	3DSolid	1	1	1	1	2, 3, 6	1	3
Base course / Podbudowa asfaltowa	–	–	P2	P1	3DSolid	1	1	1	1	2, 3, 6	1	3
Upper bedding course Górna podbudowa pomocnicza	–	–	P2	P1	3DSolid	1	1	1	1	2, 3, 6	1	3
Lower bedding course Dolna podbudowa pomocnicza	–	–	P2	P1	3DSolid	1	1	1	1	2, 3, 6	1	3
Infiltration spraying Skropienie regeneracyjne powierzchniowe	–	–	P2	P1	3DSurface	1	1	1	1	2	1	11
Tack coat Skropienie międzywarstwowe	–	–	P2	P1	3DSurface	1	1	1	1	2	1	11
Membrane/ Membrana	–	–	P2	P1	3DSurface	1	1	1	1	2	1	12
Paving block and sets / Bruk i kostka	–	–	P2	P1	3DSolid	1	1	1	1	2, 3, 6	1	2
Unpaved surface course Nawierzchnia nieulepszona	–	–	P2	P1	3DSolid	1	1	1	1	2, 3, 6	1	2
Elastic asphalt sealing Elastyczna masa zalewowa	–	–	P2	P1	3DSolid	1	1	1	1	1, 3	1	13
Geosynthetics / Geosyntetyki	–	–	P2	P1	3DSurface	1	1	1	1	2	1	16
Coats / Skropienia powierzchniowe	–	–	P2	P1	3DSurface	1	1	1	1	2	1	3
Paved shoulder / Pobocze utwardzone	–	–	P2	P1	3DSolid	1	1	1	1	3	1	3
Kerb (Curb) / Krawężnik	–	–	P2	P1	3DSolid	1	2	1	1	1	1	12
Filling / Materiał zasypowy	–	–	P2	P1	3DSolid	1	2	1	1	2, 3, 6	1	12

\*) Relevance to the phases of project documentation: LP: Land-use Proceedings, BP: Building Permit, PT: Public Tendering, CE: Construction Execution / Znaczenie w kolejnych fazach inwestycji: LP: Procedury planistyczne, BP: Pozwolenie na budowę, PT: Zamówienie publiczne, CE: Faza wykonawcza.

\*\*) Standard defines the required levels (P1, P2, P100) of precision for project documentation elaboration / Standard określa wymagane poziomy precyzji (P1, P2, P100) w dokumentacji.

\*\*\*) Standard defines own property sets I, S, E, Z, M, F; each consists of numbered specific property sets, e.g. in sub-column S number 2 corresponds to CZ\_S2 "Prop. Set" column in Table 2 / Standard definiuje własne zestawy właściwości I, S, E, Z, M, F; każdy z nich składa się z ponumerowanych zestawów właściwości, np. kolumna S, numer 2 odpowiada CZ\_S2 w kolumnie „Zestaw wł.” w Tabl. 2.

\*\*\*\*) Standard defines seventeen (17) colours and their number-codes / Standard definiuje siedemnaście (17) barw wraz z kodami liczbowymi.

Table 2. Selected sets of properties, an excerpt from the Czech National Standard [31]  
 Tablica 2. Wybrane zestawy właściwości, fragment czeskiego standardu krajowego [31]

Set of properties <sup>*)</sup> Zestaw właściwości <sup>*)</sup>	Relevance <sup>**)</sup> Znaczenie <sup>**)</sup>				Property Attribute <sup>***)</sup> Nazwa właściwości <sup>***)</sup>	IFC Property <sup>***)</sup> Właściwość wg IFC <sup>***)</sup>	Example Przykład
	LP	BP	PT	CE			
CZ_I1	x	x	x	x	Label of Object / Oznaczenie obiektu	ObjectDesignation	SO101
	x	x	x	x	Label of Sub-Object / Oznaczenie podobiektu	SubObjectDesignation	101.01
	x	x	x	x	Label of Object Part / Oznaczenie części obiektu	ObjectPartDesignation	A, B, C
	x	x	x	x	Design Phase / Faza projektu	DesignPhase	LP, CE
	x	x	x	x	Object Name / Nazwa obiektu	SiteObjectDesignation	Tower Bridge
	x	x	x	x	Kilometrage from / Kilometraż od	StationingFrom	54.454 98
	x	x	x	x	Kilometrage to / Kilometraż do	StationingTo	56.987 05
	x	x	x	x	Element Label / Oznaczenie elementu	IfcCZElement	Drain-Pipe Kolektor
	x	x	x	x	Element Set / Zbiór elementów	IfcCZElementGroup	Drainage Odwodnienie
	x	x	x	x	Classification System / System klasyfikacji	ClassificationSystem	OTSKP
	x	x	x	x	Item Label / Oznaczenie w systemie klasyfikacji	ClassificationReference	454.998.878
x	x	x	x	Property Template / Szablon	DataTemplateID	DR.DP.0909	
CZ_S1	x	x	x	x	Material / Materiał	Material	Aggregate Kruszywo
		x	x	x	Specification / Specyfikacja	MaterialSpecification	ČSN, ASTM
			x	x	Detailed Specification / Szczegółowa specyfikacja	MaterialDetailedSpecification	recycled z recyklingu
			x	x	Reference / Identyfikator	Reference	767665
CZ_S2	x	x	x		Product Type / Typ produktu	ConstructionProductType	Road Kerb Krawężnik drogowy
		x	x	x	Product / Produkt	ConstructionProduct	ABO250/100
		x	x	x	Specification / Specyfikacja	ConstructionProduct- -Specification	–
		x	x	x	Detailed Specification / Szczegółowa specyfikacja	ConstructionProduct- -DetailedSpecification	–
		x	x	x	Reference / Identyfikator	Reference	–
				x	Producer / Producent	Manufacturer	–
	x	x	x	Product Category / Kategoria produktu	ConstructionProductCategory	–	
CZ_E1	x	x	x	x	Beginning Date / Data rozpoczęcia	ConstructionStart	–
	x	x	x	x	Finishing Date / Data zakończenia	ConstructionEnd	–
	x	x	x	x	Duration / Czas trwania	ConstructionDuration	–
			x	x	Commissioning Date / Data zamówienia	Commissioning	–
	x	x	x	x	Construction Phase / Faza budowy	PhaseName	–

<sup>\*)</sup> Other property sets referred to in Table 1 are defined similarly, cf. footnote 3 of Table 1 / Inne zestawy właściwości wymienione w Tabl. 1 są zdefiniowane analogicznie, por. przypis 3 w Tabl. 1.

<sup>\*\*)</sup> Relevance to phases of project documentation: LP: Land-use Proceedings, BP: Building Permit, PT: Public Tendering, CE: Construction Execution / Oznaczenie w kolejnych fazach inwestycji: LP: Procedury planistyczne, BP: Pozwolenie na budowę, PT: Zamówienie publiczne, CE: Faza wykonawcza.

<sup>\*\*\*)</sup> IfcDateTime data type is defined for Beginning/Finishing/Commissioning Date attributes; IfcDuration for the Duration attribute and IfcLabel is the definition type of all the other displayed attributes represented by "String" data type (except for "DoublePrecision" data type in the case of attributes "kilometrage from/to"). For the attribute "Design Phase" a special "string-based type" CZPEnum\_DesignPhase is defined alternatively / Typ danych IfcDateTime jest przypisany do atrybutów: Data rozpoczęcia, Data zakończenia, Data zamówienia; IfcDuration do atrybutu Czas trwania, a IfcLabel to typ danych zdefiniowany dla wszystkich innych wymienionych atrybutów reprezentowanych przez ciąg znaków (typ „String”), pomijając atrybuty „Kilometraż od/do”, którym przypisano typ liczbowy „DoublePrecision”. Dla atrybutu „Faza projektu” zdefiniowano alternatywnie specjalny „oparty na ciągu znaków” typ CZPEnum\_DesignPhase.

### 2.4.2. Dane w relacyjnych bazach danych i GIS

Zarządcy dróg przechowują informacje o infrastrukturze w relacyjnych bazach danych i GIS. Ich zbiory danych opisują zarządzaną sieć w zakresie geometrii oraz odwzorowań poszczególnych technologii, włączając w to parametry zmienne odrębnych obiektów, takich jak nawierzchnie, mosty, tunele, mury, znaki drogowe, urządzenia telematyczne itp. Co oczywiste, z czasem każdy zarządca stworzył własny zestaw danych i w pewnym stopniu dostosował go do swoich potrzeb. W związku z tym zestawy danych stosowane przez poszczególnych zarządców mogą wykazywać znaczne różnice, zarówno pod względem struktury danych, jak i kompletności. Dla przykładu w Tabl. 3 przedstawiono ogólną strukturę zestawu danych stosowanego przez czeską krajową administrację drogową [14].

Analiza zestawu danych zaprezentowanego w Tabl. 3 wykazuje, że w zestawie przechowywane są informacje o poziomym i pionowym przebiegu osi wszystkich dróg, szerokości dróg, jak również materiałach użytych we wszystkich warstwach (wraz z podłożem). Jak widać, parametry zmienne zostały w pełni uwzględnione tylko dla nawierzchni.

### 2.4.2. Data in relational databases and GIS

RAs store their infrastructure data in data sets composed of relational databases and GIS. The data sets describe the managed network in terms of geometry and representation of individual technologies, including variable parameters of individual objects such as pavements, bridges, tunnels, walls, traffic signs, telematic devices etc. It is obvious that over time each RA has created its own data set and customized it to a certain degree to suit its individual needs. Therefore, analyses of data sets used by particular RAs can indicate significant differences, both in terms of data structure and completeness. As an example, the overall structure of the data set used by the Czech RA [14] is shown in Table 3.

Analysis of the structure of the data sets presented in the Table 3 clearly shows that the data sets contain information about horizontal and vertical alignment of any road route, its width and the material composition of any individual pavement layer, including its subgrade. As visible, variable parameters are fully included for pavements only.

Table 3. Structure of the Czech RA data sets [14]  
Tablica 3. Struktura zestawów danych czeskiej krajowej administracji drogowej [14]

Groups of Parameters / Grupy parametrów	Parameters / Parametry
Node Localization System System lokalizacji punktów węzłowych	Nodes / Punkty węzłowe
	Sections / Odcinki
	Complex intersection directions / Kierunki na skrzyżowaniach złożonych
	Parameters of road alignment / Parametry osi
Fixed Parameters Parametry stałe obiektów	Roads / Drogi
	Intersections / Skrzyżowania
	Bridges / Mosty
	Underpasses / Przepusty
	Rail crossings / Przejazdy kolejowe
	Tunnels / Tunele
	Subgrade and Pavement layers / Podłoże i warstwy nawierzchni
	Geometric road alignment / Geometria osi
Variable parameters Parametry zmienne obiektów	Skid resistance / Szorstkość
	Longitudinal unevenness / Równość podłużna
	Transverse unevenness / Równość poprzeczna
	Depth of water in the rut / Głębokość wody w koleinie
	Macrotexture / Makrotekstura
	Deterioration / Pogorszenie stanu
	Video-documentation / Wideodokumentacja
	Traffic census / Pomiar ruchu

### 3. WYNIKI

#### 3.1. ANALIZA ŚRODOWISKA BIM ORAZ IDENTYFIKACJA PROBLEMU

W wielu krajach przeprowadzono już programy pilotażowe z zastosowaniem ewoluujących wersji IFC i ich klonów w ramach przygotowań do wdrożenia BIM w odniesieniu do infrastruktury transportowej. Jak pokazano w poprzednim rozdziale, w każdej kolejnej wersji normy – a wręcz w obrębie jednej wersji IFC – możliwe jest odnotowanie tej samej encji na różne sposoby. W przyszłości pojawią się nowsze, udoskonalone wersje IFC, co oznacza, że analizowany problem braku kompatybilności między modelami będzie nadal aktualny.

Niestety, omawiana niekompatybilność nie jest syntaktyczna, lecz semantyczna. Oznacza to, że poszczególne wersje różnią się całkowicie przyjętymi koncepcjami i filozofią. Na dodatek dość luźna koncepcja IFC pozwala użytkownikom na wprowadzanie do systemu indywidualnych rozwiązań, co pogłębia niekompatybilność.

Nie byłby to problem, gdyby BIM stosowano w odniesieniu do odizolowanych budynków (obiektów) lub tylko w celu odwzorowania graficznego, bez kontaktu z systemami informatycznymi innych zarządców. Niemniej jednak, w przypadku infrastruktury transportowej, gdy poszczególne konstrukcje tworzą sieć, a administratorzy muszą zarządzać nią jako całością, takie heterogeniczne środowisko informatyczne jest nie do zaakceptowania. Jedno z możliwych rozwiązań mogłoby polegać na nielączeniu swojego BIM z systemami innych zarządców, oznaczałoby to jednak konieczność pozyskiwania – a przede wszystkim utrzymywania – wielkich ilości zduplikowanych danych.

Jak pokazano w poprzednim rozdziale, na przykład nawierzchnia, stanowiąca kluczowy element infrastruktury transportowej, w wersji 4.0 IFC może być przedstawiona za pomocą encji `IfcSlab` na różne sposoby: poprzez użycie nieprzewidzianych w normie zestawów właściwości zdefiniowanych przez użytkownika, poprzez nieprzewidziane w normie użycie normowych zestawów właściwości lub poprzez użycie ustandaryzowanych na poziomie krajowym zestawów właściwości charakterystycznych dla danego kraju, a zatem niekompatybilnych ze standardami międzynarodowymi. W późniejszych wersjach IFC – od 4.3 wzwyż – ta sama nawierzchnia może być odwzorowana z zastosowaniem encji `IfcPavement`.

Ten brak kompatybilności między różnymi wersjami IFC i standardami krajowymi rodzi problemy w kontekście interoperacyjności i jednolitości we wdrożeniach BIM w inwestycjach transportowych. Przygotowując model IFC pojedynczej konstrukcji nie trzeba zwracać nadmiernej uwagi na

### 3. RESULTS

#### 3.1. ANALYSES OF THE BIM ENVIRONMENT AND PROBLEM IDENTIFICATION

In many countries a number of pilot projects have been carried out using the evolving IFC versions and their clones as part of preparations for implementing BIM in the field of transportation infrastructure. As demonstrated in the previous section, in each version of the standard – and, ultimately, even within a single version – the same entity can be recorded in a number of different ways. The future will bring new and refined versions of IFC, which means that the analysed problem of incompatibility between models will still be a valid concern.

Unfortunately, this incompatibility is not syntactic, but semantic. It means that individual versions differ completely in their concept and philosophy itself. In addition, the somewhat loose concept of IFC allows users to introduce individual approaches to the system, which further deepens the incompatibility.

Of course, this would not have been a problem if BIM was used for isolated buildings (structures) or only as a graphical representation, without connection to information systems of particular RAs. In the case of transport infrastructure, in which individual structures form a network and RAs must control the managed network as a whole, such a heterogeneous environment is unacceptable. Indeed, a possible solution may consist in not connecting one's BIM with other RA's information systems, but this would mean that great quantities of data would be acquired and, above all, maintained in duplicate.

As shown in the previous section, a pavement, for example, as a key element of transportation infrastructure, can be represented in version 4.0 of IFC using the `IfcSlab` entity, through: non-standardized user-defined property sets, non-standardized use of standardized property sets, or nationally-standardized property sets that are country-specific and therefore not internationally compatible. In later versions of the IFC format, specifically versions 4.3 and higher, the same pavement can be expressed using the `IfcPavement` entity.

This lack of compatibility in different IFC versions and national standards poses challenges in achieving interoperability and consistency in BIM implementation for transportation projects. When using an IFC model for a single structure, there is no need to pay excessive attention to the compatibility of documentation with other projects. However, in the case of transportation infrastructure,

kompatybilność dokumentacji z innymi projektami. W przypadku zarządzania infrastrukturą transportową należy jednak dysponować informacjami zarówno o poszczególnych częściach, jak i o całości sieci, aby przewidywać ich stan i podejmować optymalne decyzje.

Dodatkowym problemem – obok braku kompatybilności formatów IFC – jest brak synchronizacji z relacyjnymi bazami danych używanymi przez poszczególnych zarządców, którzy łączą się z różnymi systemami i różnorodnie kształtują swoje środowiska informatyczne.

### **3.2. ZARYS KONCEPCJI HOMOGENIZACJI I PRZECHOWYWANIA DANYCH**

Modele informacyjne utworzone w różnych wersjach IFC są niekompatybilne, ponieważ opierają się na normach o różnym stopniu złożoności podejścia do obiektów infrastruktury drogowej. W praktyce utrudnia to stworzenie jednorodnego modelu sieci z istniejących podmodeli, jako że każdy podmodel może już zawierać ten sam obiekt wyrażony za pomocą różnych encji IFC z różnymi zmiennymi. Ponadto plik XML – będący de facto zapisem danych IFC – nie może być wykorzystany efektywnie w formie bazy danych. Niekompatybilność formatów utrudnia sprawdzenie, które składniki zostały zawarte – w której konkretnie strukturze i w jakiej liczbie.

Z drugiej strony, zarządcy dróg tradycyjnie przechowywali dane o stałych i zmiennych parametrach poszczególnych składników zarządzanej sieci w relacyjnych bazach danych i GIS. To rozwiązanie zapewniało kompatybilność danych wewnątrz organizacji. Obecnie większość tych danych nie została jeszcze objęta wysiłkami związanymi z wdrożeniem BIM przez poszczególnych zarządców. Problem dostosowania istniejących danych do użycia w BIM nie jest niemożliwy do rozwiązania – przynajmniej na poziomie podstawowych zastosowań. Dostosowanie baz danych do nowych struktur wydaje się względnie prostsze niż dostosowanie zapisu tekstowego, czyli plików IFC. Jest to związane z faktem, że relacyjne bazy danych mogą być udoskonalane za pomocą zapytań i manipulowania danymi, podczas gdy dostosowanie plików tekstowych IFC może wymagać skomplikowanych procesów ETL (wyodrębniania, przekształcania i ładowania danych). Ponadto relacyjne bazy danych i GIS często mają już wdrożone procedury i narzędzia zarządzania danymi, podczas gdy zarządzanie plikami IFC i ich aktualizowanie może przysporzyć problemów w kontekście złożoności technicznej, spójności danych oraz procesów zarządzania danymi. Każda nowa cecha lub właściwość przechowywanych danych może być dodana łatwiej i efektywniej do relacyjnej bazy danych niż do pliku IFC w formacie XML.

it is necessary to have information about the individual parts as well as the network as a whole, in order to predict their condition and make optimum management decisions.

An additional problem, apart from the described incompatibility of IFC formats, lies in the incompatibility with relational databases used by RAs, which are generally connected to other systems and form their data and information environment differently.

### **3.2. OUTLINE OF THE CONCEPT OF DATA HOMOGENIZATION AND STORAGE**

The information models created in different versions of IFC are incompatible, as they are based on different sophistication of the standard in relation to transport infrastructure objects. This effectively makes it difficult to create a unified network model from existing sub-models, since each sub-model may already include one and the same component expressed using a different IFC entity with different attributes. Apart from the fact that an XML file – which is a de facto representation of IFC data – cannot be used effectively in a database form, the incompatibility of formats makes it difficult to determine which components are included in which specific structure and in what number.

On the other hand, RAs traditionally stored data on fixed and variable parameters of individual objects within the managed network in relational databases and GIS data sets. This solution ensured internal data compatibility. Currently this data is still mostly outside of the scope of BIM implementation efforts taken by individual RA. At the same time, the problem of adapting them for use in BIM is not unsolvable, at least for basic or entry-level use. Upgrading these databases to new structures appears to be relatively simpler than upgrading the textual representation, which is in the form of IFC files. This is due to the fact that relational databases can be updated through structured queries and data manipulation, while upgrading textual IFC files may require complex data extraction, transformation, and loading (ETL) processes. Additionally, relational databases and GIS often have established data management procedures and tools in place, whereas managing and upgrading IFC files may pose challenges in terms of technical complexity, data consistency, and data management processes. Any new feature or property of stored data can be added into the relational database easier and more effectively than to an IFC file in XML format.

Można więc wnioskować, że nawet w erze BIM zarządzanie danymi poprzez relacyjne bazy danych i GIS może okazać się korzystne na poziomie zarządcy drogowego. Format IFC może natomiast służyć jako format wymiany danych między odmiennymi systemami, pozwalając na dzielenie informacji graficznych i niegraficznych między zarządcami, projektantami i innymi interesariuszami. W ten sposób można połączyć zalety różnych technologii i podejść, osiągając wydajne zarządzanie danymi w projektach BIM dla infrastruktury transportowej, zarówno w kontekście wymiany danych między różnymi aktorami, jak i współdzielenia informacji między różnymi fazami inwestycji. Biorąc pod uwagę opisany stan faktyczny i starając się zachować zalety zarówno modeli BIM, jak i relacyjnych baz danych, zaproponowano koncepcje interpretera oraz katalogu, które zostaną opisane w kolejnych podrozdziałach.

### 3.3. INTERPRETER JAKO PROGRAM DO KONWERSJI DANYCH

Utrzymanie danych w relacyjnych bazach danych i GIS oraz ich wymiana poprzez pliki IFC wymaga istnienia odpowiedniego translatora lub interpretera (kompilatora, dekompiletora), umożliwiającego konwersję danych przechowywanych w relacyjnych bazach danych i GIS do formatu IFC i z powrotem. Interpreter może być dostosowywany do każdej stosowanej wersji IFC.

Rozszerzając tę ideę, możliwe jest stworzenie wyspecjalizowanego interpretera przeznaczonego do wymiany danych między bazą zarządcy a konkretnym własnościowym formatem CAD typu „ClosedBIM”, jak również do bezpośredniej interakcji między przechowywanymi danymi a systemem CAD. Na Rys. 1 przedstawiono ogólnie ideę interpretera.

Podstawą przygotowania funkcjonalnego interpretera jest zrozumienie, czym w rzeczywistości jest IFC. Jak już wspomniano, IFC to zasadniczo tekstowy opis modelu w XML. Jako że skrót XML oznacza „eXtensible Markup Language” („rozszerzalny język znaczników”), jest to z natury język, którego składnia określa znaczenie każdego przechowywanego słowa i liczby. Składnia określa, które dane przynależą np. do belki, jej długości, materiału, ciężaru, ceny itd. Jest to ciągły – choć ustrukturyzowany – tekst, w którym identyfikacja każdej encji z jej właściwościami jest powtórzona wielokrotnie. W odróżnieniu od XML, relacyjne bazy danych bezpośrednio określają encję w nazwach tabel lub ich kolumn. Właściwości encji zwykle odpowiadają nazwy kolumn. W związku z tym dopisywanie danych do tabeli jest ogólnie bardziej wydajne niż do pliku XML; w bazie danych logika nie jest definiowana od początku dla każdego elementu, a wynika z nazwy i nagłówka tabeli, co prowadzi do jednoznacznej interpretacji danych.

Therefore, it can be inferred that even in the BIM era, data management through relational databases and GIS could still be advantageous at the level of RA. The IFC format can serve as an intermediary for data exchange between different systems, for sharing graphical and non-graphical information among RAs, designers and other stakeholders. This way, the benefits of various technologies and approaches can be leveraged to achieve efficient data management in BIM projects for transportation infrastructure, both in terms of data exchange between different actors and in terms of sharing data and information between different phases of the project. Taking into account the described starting points and aiming to keep the advantages of both building information models and relational databases, the interpreter and catalogue concepts are introduced in the next subsections.

### 3.3. INTERPRETER AS A PROGRAM FOR CONVERSION OF DATA

Maintenance of data in relational databases and GIS and their exchange via IFC files requires the existence of a suitable translator or interpreter (compiler, decompiler), which will enable conversion of the data stored in relational databases and GIS to the IFC format and back. The interpreter may be adjusted for each IFC version used.

Extending the idea, a specific interpreter may be created for data exchange between RA database and a specific proprietary CAD format of “ClosedBIM”, as well as to make direct interaction between the data stored and a CAD system. Fig. 1 shows the idea of the interpreter from and to IFC file.

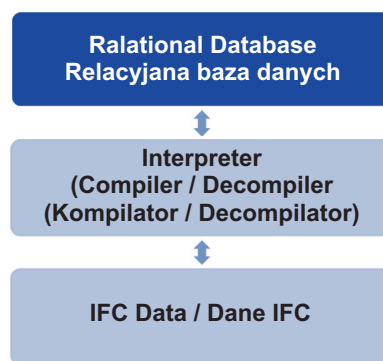


Fig. 1. General idea of an interpreter  
Rys. 1. Schemat idei interpretera

The essence of preparing a functioning interpreter lies in understanding what IFC actually is. As previously mentioned, IFC is essentially a textual description of a model in XML. Since the abbreviation XML stands for eXtensible Markup Language, it is essentially a language whose syntax determines the meaning of every word and number



Biorąc pod uwagę specyfikę dopisywania danych do tabel (relacyjnych baz danych) oraz do określonego formatu XML, funkcją interpretera jest dodanie odpowiedniej składni, definiującej element i jego właściwości na podstawie odpowiednich danych z tabeli i jej właściwych kolumn podczas przeniesienia danych z bazy relacyjnej do XML. Przy działaniu odwrotnym, tj. przenoszeniu danych z XML do relacyjnej bazy danych, interpreter odczytuje znaczniki identyfikujące element i właściwość, po czym zapisuje wartość we właściwej kolumnie odpowiedniej tabeli. Innymi słowy, interpreter otacza dane pobrane z tabeli odpowiednimi znacznikami XML podczas przenoszenia ich z bazy danych do XML. Usuwa znaczniki i umieszcza dane w odpowiednich tabelach podczas przepisywania danych z XML do relacyjnych baz danych.

### 3.4. KATALOG KOMPONENTÓW

#### 3.4.1. Koncepcja katalogu

Jeśli ma zostać osiągnięta kompatybilność między modelami informacyjnymi odrębnych konstrukcji zarządzanych przez daną administrację, nieodzowne jest stosowanie we wszystkich modelach tych samych opisów dla tych samych elementów. Można to osiągnąć, wprowadzając katalog komponentów (elementów), które mogą być stosowane przez daną administrację drogową.

O ile w budownictwie kubaturowym występuje znacząca różnorodność elementów i materiałów, których można użyć w budynku, zaś każdy projektant i inwestor może wprowadzić do projektu wiele unikalnych detali, w przypadku infrastruktury transportowej preferowane jest ujednoczone podejście. Pozwala to na spójne zarządzanie całą siecią i jej właściwe utrzymanie.

Można założyć, że wielu zarządców dróg – podobnie jak czeska administracja drogową – posiada listę zatwierdzonych produktów, dopuszczonych do użycia w budowanej czy zarządzanej przez nich infrastrukturze. Jeśli tak jest, to można stworzyć katalog takich produktów (encji, komponentów), z których miałby wybierać projektant czy wykonawca. Na Rys. 2 przedstawiono ideę katalogu komponentów.

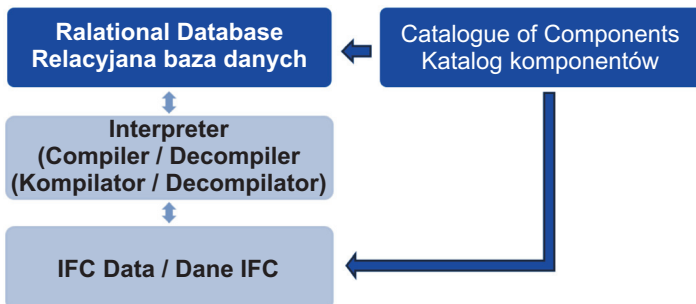


Fig. 2. Introduction of a catalogue of components  
Rys. 2. Wprowadzenie katalogu komponentów

recorded. It determines which data belongs to, for example, a beam, its length, material, weight, price, and so on. It is a continuous, albeit structured, text in which identification of each entity and its properties is repeated multiple times. In contrast, relational databases directly specify the entity either in the names of tables or their columns. The properties of an entity usually correspond to the column name. Therefore, data entry into a table is generally more efficient than in XML format, as the logic is not defined again for each element, but it is given by the name and header of the table, leading to unambiguous interpretation of data.

In the light of this understanding of tables (relational databases) and data entry in a specific XML format, the function of the interpreter lies in adding the appropriate syntax to define an element and its properties based on the association of specific data with a table and its column during the translation of relational data into XML. In the reverse translation, i.e. from XML to a relational database, the interpreter reads the identified element and property and writes it into the appropriate column of the corresponding table. In other words, the interpreter complements tabular data with appropriate XML markup during the translation from relational database to XML. It removes the markup and places the data in the correct tables during the reverse translation from XML to relational data.

### 3.4. CATALOGUE OF COMPONENTS

#### 3.4.1. Concept of the catalogue

If compatibility among the information models of individual structure sets within a particular RA is to be achieved, it is crucial that the same elements have the same designations in all models. This can be achieved by introducing a catalogue of components (elements) that can be used within a given RA.

While in the field of building construction there is a considerable diversity of elements and materials a structure can be built from, and each designer and customer can include a number of unique details in the design, in transport infrastructure a unified approach is preferred. This enables uniform management and maintenance of the entire network.

It can be assumed that a number of RAs, similarly to the Czech RA, have a list of approved, certified products that can be used on the structures they manage or build. If this is true, a catalogue of such products (entities, components) can be created, from which the designer or structural engineer is to choose. Fig. 2 shows the idea of the catalogue of components.

### 3.4.2. Rodzaje komponentów w katalogu

Katalog może zawierać dwa podstawowe rodzaje komponentów, tj. komponenty o ustalonych (stałych) i nieustalonych (zmiennych) kształtach i wymiarach. Do komponentów pierwszego rodzaju zaliczają się głównie zunifikowane, ustandaryzowane produkty – np. belki prefabrykowane, łożyska mostowe, krawężniki, koryta odwodnieniowe, balustrady itp. – które powinny mieć przypisane ustalone (stałe) informacje graficzne (kształt i wymiary) i niegraficzne.

Wiele części obiektów ukształtowanych i zwymiarowanych przez projektantów w dokumentacji należy do komponentów drugiego rodzaju. Są to np. warstwy nawierzchni, izolacja mostu, budowle ziemne czy belki betonowane na miejscu. Te komponenty często mają indywidualne („zaprojektowane”) wymiary i kształty; zatem tylko nieliczne spośród ich atrybutów niegraficznych są stałe.

Komponenty obu wyróżnionych rodzajów są podczas eksploatacji narażone na obciążenie ruchem, wpływ czynników atmosferycznych oraz inne naturalne i sztuczne oddziaływania; co za tym idzie, doznają postępującej degradacji. Pogorszenie stanu każdego komponentu może być opisane określonym zestawem parametrów zmiennych. Przykładowa lista takich parametrów dla warstwy ścieralnej została przedstawiona w Tabl. 3, jednakże dla większości innych komponentów i obiektów nie zostały one jeszcze zdefiniowane.

### 3.4.3. Organizacja właściwości komponentów

Bez względu na to, czy komponent ma ustalony kształt i wymiary, powinien zawsze posiadać zdefiniowaną strukturę atrybutów (zestawy właściwości) w katalogu. Jednocześnie wartości atrybutów opisujących stałe parametry powinny być wymienione dla każdego komponentu bezpośrednio w katalogu. Wartości atrybutów opisujących „projektowane” i zmienne parametry są wyjątkowe dla każdego indywidualnego komponentu, a zatem nie mogą być częścią katalogu. Niemniej jednak, mogą być przechowywane w zbiorze danych zarządcy.

Podsumowując, każdy komponent ma kilka zestawów właściwości, które są zawsze zdefiniowane w katalogu, ale wartości poszczególnych atrybutów są umieszczane bądź w katalogu, bądź w zbiorze danych zarządcy, według struktury podsumowanej w Tabl. 4.

Wartości atrybutów odzwierciedlających parametry zmienne zmieniają się z czasem dla każdej konkretnej encji, a w przypadku generalizacji mogą być zawarte w definicjach krzywych degradacji każdego komponentu. Wynika z tego, że atrybuty opisujące parametry zmienne muszą umożliwiać

### 3.4.2. Kinds of components in the catalogue

The component catalogue can contain two basic kinds of components, i.e. components with constant and non-constant shapes and dimensions. The first kind of components includes mostly unified, standardized products e.g. precast beams, bridge bearings, kerbs, drainage channels, railings, etc., which should have invariable (constant) graphical (shape and dimensions) and non-graphical information.

Many parts of structures shaped and sized by structural engineers in their construction documentation include the second kind of components. They are e.g. pavement layers, bridge insulation, earth bodies, in-place-cast beams, etc. This kind of components often have specific (“by design”) dimensions and shapes; therefore, only several of their non-graphical attributes are invariable.

Both the above-described types of components are exposed to traffic loading, weather conditions and other natural and artificial forces within their lifetime; therefore, they degrade. Degradation of each component may be described by a specific set of variable parameters. An example list for pavement wearing courses is shown in Table 3, but for the majority of other components and structure types they have not yet been defined.

### 3.4.3. Organisation of the component properties

Whether a component has a certain shape and dimension or not, it should always have a defined attribute structure (property sets) in the catalogue. At the same time, the values of the attributes defining the constant parameters should be listed for each specific component directly in the component catalogue. The values of the attributes describing the “by design” and variable parameters are specific to each individual component and therefore cannot be part of the catalogue; however, they can be included in the RA’s data set.

In summary, each component has several types of property sets which are defined in the catalogue, but values of their attributes are placed either in the catalogue or the RA’s data set and assigned to the structure summarized in Table 4.

The attribute values of variable parameters change over time for each specific entity and, in the case of generalization, are included in the definitions of degradation curves of each type of component. It follows that the attributes describing the variable parameters must make it possible

przechowywanie zestawu wartości zaobserwowanych w różnych momentach cyklu życia danego komponentu.

to store a set of values observed at different times of the particular component's life cycle.

Table 4. Types of property sets and their property attribute value placement  
Tablica 4. Typy zestawów właściwości i lokalizacja wartości ich atrybutów

Kind of component Rodzaj komponentu	Parameter / Parametr		
	Fixed graphical Stały graficzny	Fixed non-graphical Stały niegraficzny	Variable Zmienny
Standardized product Produkt standaryzowany	Catalogue Katalog	Catalogue Katalog	RA's data set Zbiór danych zarządcy
By design Projektowany	RA's data set Zbiór danych zarządcy	RA's data set or Catalogue <sup>*)</sup> Zbiór danych zarządcy lub katalog <sup>*)</sup>	RA's data set Zbiór danych zarządcy
<sup>*)</sup> In the case of fixed non-graphical parameters of "by design" components, some parameters (typically, material parameters) can be defined in the catalogue and other (e.g. dimensional) in the RA's data set / W przypadku stałych niegraficznych parametrów dla komponentów „projektowanych”, niektóre parametry (zazwyczaj parametry materiałowe) mogą być zdefiniowane w katalogu, zaś inne (np. Wymiary) w zestawie danych zarządcy.			

Co oczywiste, w wielu przypadkach samo pojawienie się katalogu komponentów wymusi aktualizację struktury relacyjnej bazy danych. W niektórych przypadkach dodane zostaną nowe informacje, np. identyfikator danego komponentu i jego współrzędne w obrębie danej konstrukcji, względem zdefiniowanego punktu odniesienia. W innych przypadkach informacje z relacyjnej bazy danych zostaną przeniesione do katalogu komponentów. Sam katalog komponentów powinien być relacyjną bazą danych, zawierającą alfanumeryczne identyfikatory komponentów, konkretne definicje atrybutów dla każdego typu komponentu oraz – w przypadku atrybutów opisujących stałe parametry – wartości tych atrybutów. Tam, gdzie to uzasadnione (patrz powyżej), katalog powinien również zawierać informację graficzną o danym komponentcie, zazwyczaj w formacie IFC.

### 3.5. PROJEKT ZASTOSOWANIA KONCEPCJI W CZECHACH

#### 3.5.1. Proponowany katalog komponentów

Koncepcja opisana w poprzednim rozdziale stanowiła podstawę projektu przedstawionego poniżej. Do dostępnych źródeł należą: krajowy standard danych, wdrażający IFC w wersji 4.0 [31] w odniesieniu do infrastruktury transportowej (dróg i kolei), zestawy danych zawierające stałe i zmienne parametry istniejących obiektów [32], jak również starania podjęte w 2018 r. przez autorów artykułu celem wprowadzenia katalogów komponentów, wzmiankowane w [33].

Na podstawie analizy systemów czeskiej administracji drogowej [32, 33] stwierdzono, że produkty i technologie uwzględnione jako odrębne komponenty w katalogu powinny być zorganizowane w czteropoziomowej strukturze, na którą mają składać się: Typ obiektu (zasobu) – Typ komponentu – Klasa produktu – Produkt. Jak pokazano w Tabl. 5, każda „klasa

It is obvious that the very existence of the component catalogue in many cases causes the need to upgrade relational database structures. In some cases, new items will be added, e.g. the identifier of the relevant component and the coordinates of its location in the given structure relative to the defined reference point. In other cases, the relational information will be moved to the component catalogue. The component catalogue should itself be a relational database containing alphanumeric identifiers of components, specific attribute definitions for each type of component, and – in the case of attributes describing fixed parameters – attribute values. In relevant cases (see above) the catalogue should also contain a graphical form of the given type of component, usually in the IFC format.

### 3.5. THE DESIGNED APPLICATION OF THE CONCEPT IN THE CZECH REPUBLIC

#### 3.5.1. Proposed catalogue of components

The concept introduced in the previous section served as basis for the design of the solution described in this section. The available sources include specific national standard implementing the IFC version 4.0 [31] in the field of transport infrastructure (both road and railway), data sets of fixed and variable parameters of the existing structures [32] and the effort to establish catalogues of components initiated by the authors of the paper in 2018, as cited in [33].

According to the analyses of Czech RA systems [32, 33], products and technologies included as specific components in the catalogue should be structured in a four-level structure, comprising: Structure (Asset) Type – Component Type – Product Class – Product. Each Product Class has its own set of properties in the catalogue, as shown in

produktu” ma w katalogu swój własny zestaw właściwości. Katalog może być aktualizowany w sposób ciągły poprzez dodawanie nowych produktów i technologii.

Table 5. The catalogue can be continually updated by adding new products and technologies.

Table 5. The proposed structure of the catalogue  
Tablica 5. Proponowana struktura katalogu

Structure Type Typ obiektu	Component Type Typ komponentu	Product Class Klasa produktu	Product Produkt	Identifier Identyfikator	Set of Properties*) Zestaw właściwości*)
Pavement Nawierzchnia	Pavement Layer Warstwa nawierzchni	Asphalt Concrete Beton asfaltowy	ACO16	PLA00001	CZ_GDAsCoSuCo CZ_NCAsCoSuCo CZ_VDAsCoSuCo
			... other Products ... dalsze Produkty	...	...
		... other Classes ... dalsze Klasy	...	...	...
	Concrete Products Produkty betonowe	Kerb / Krawężnik	ABO25-15	PKO00001	CZ_GCKerb CZ_NCKerb CZ_VDKerb
			... other Products ... dalsze Produkt	...	...
		... other Classes ... dalsze Klasy	...	...	...
	... other Types ... dalsze Typy	...	...	...	...
Bridge Most	Bridge Bearing Łożyska mostowe	Elastomeric Elastomerowe	EL526-23	BBE76778	CZ_GCPoBear CZ_NCPoBear CZ_VDPoBear
			... other Products ... dalsze Produkt		...
		Pot / Garnkowe	HL676-56	BBPZ98997	CZ_GCPoBear CZ_NCPoBear CZ_VDPoBear
			... other Products ... dalsze Produkt		...
		... other Classes ... dalsze Klasy	...	...	...
	... other Types ... dalsze Typy	...	...	...	...
Tunnel / Tunel	...	...	...	...	...
Wall / Mur	...	...	...	...	...
Traffic Sign / Znak drogowy	...	...	...	...	...
Telematic System System telematyczny	...	...	...	...	...
... other Types / ... dalsze Typy	...	...	...	...	...

\*) There are five-character prefixes used in the property set labels: CZ\_ – Czech Property Set, G – Graphical (shape and dimensions), N – Non-graphical, V – Variable, C – attribute values maintained in the Catalogue, D – attribute values maintained in the RA’s Data set and assigned to particular structure, cf. Table 4 / W oznaczeniach zestawów właściwości stosuje się prefiksy o długości pięciu znaków. Ich znaczenie jest następujące: CZ\_ – Czeski zbiór właściwości, G – Graficzne (kształt i wymiary), N – Niegraficzne, V – Zmienne, C – wartości atrybutów przechowywane w katalogu, D – wartości atrybutów przechowywane w zestawie danych zarządcy i przypisywane indywidualnie konkretnemu obiektowi, por. Tabl. 4

Z Tabl. 5 wynika, iż stworzenie i utrzymywanie ustrukturyzowanego katalogu produktów i technologii wymaga znaczących nakładów pracy. Projektanci, wykonawcy i technicy zarządcy powinni stosować wyłącznie produkty i technologie z katalogu, aby zachować spójność modelu. Zestawiając to podejście ze strukturą danych [33] opisaną w podrozdziale 2.3.3 niniejszego artykułu, można stwierdzić, że w przypadku danych czeskiej administracji drogowej nadal niezbędny jest duży nakład pracy przy powiększeniu zbioru danych, stworzeniu katalogu komponentów i pozyskaniu brakujących danych.

Na Rys. 3 przedstawiono schematycznie wyjściową strukturę katalogu oraz proces ciągłej aktualizacji danych w fazie realizacji inwestycji oraz okresie eksploatacji konstrukcji.

As visible in Table 5, a structured catalogue of products or technologies requires considerable effort to establish and maintain. Designers, structural engineers and technicians of RA should use products or technologies from the catalogue exclusively, in order to keep model consistency. Comparing this approach with the data sets [33] structure described in subsection 2.3.3 of this paper, it is visible that there is still a considerable amount of effort to be invested in the Czech RA's data set enlargement, creation of component catalogue and collection of missing data.

Fig. 3 presents the initial structure of the catalogue and the continual data update within the construction process and lifetime of a structure.

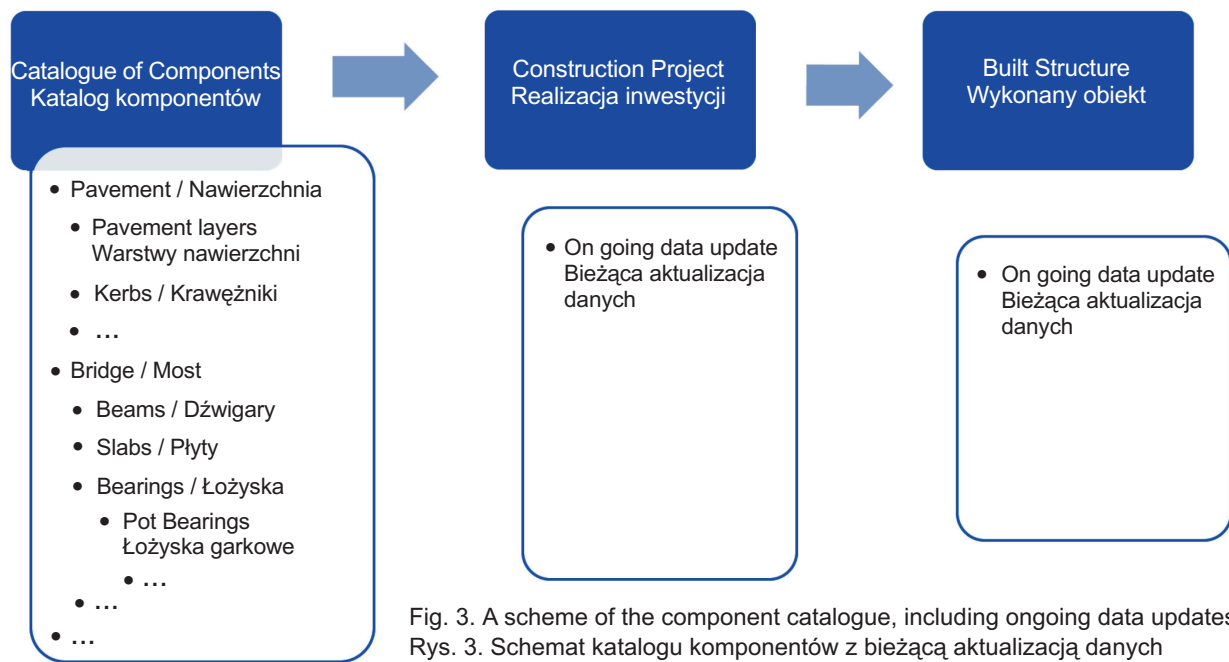


Fig. 3. A scheme of the component catalogue, including ongoing data updates  
Rys. 3. Schemat katalogu komponentów z bieżącą aktualizacją danych

### 3.5.2. Zaproponowana koncepcja zestawów właściwości

Przykładowe oznaczenia zestawów właściwości zostały podane w Tabl. 5. Chociaż te zestawy właściwości nie są z założenia pomyślane jako schematy IFC (odzwierciedlają one zasadniczo struktury tablic w relacyjnej bazie danych), jasne jest, że można je z łatwością przekształcić do formatu IFC z pomocą interpretera. W porównaniu z zestawami właściwości zdefiniowanymi w obowiązującym standardzie krajowym [29], których próbkę przedstawiono w Tabl. 1 i 2, zaproponowane tutaj zestawy są mocniej ustrukturyzowane i bardziej powiązane z konkretnymi klasami produktów. Zaproponowane rozwiązanie wynika z zaspokojenia realnego zapotrzebowania na każdy z atrybutów w każdym zestawie właściwości.

### 3.5.2. The proposed concept of property sets

Example labels of sets of properties are listed in Table 5. Although these sets of properties are not primarily intended as IFC schemas (as they are essentially relational database table structures), it is clear they may be easily converted to the IFC format by means of the interpreter. In comparison with property sets defined in the current national standard [29], excerpted in Tables 1 and 2, the proposed sets are more structured and more aligned with particular classes of products. The presented solution originates from fulfilling an actual need for each attribute in each particular property set.

Gdyby definiowano zestawy właściwości na poziomie „Typu obiektu” lub „Typu komponentu” niektóre atrybuty okazałyby się nieodpowiednie w przypadku niektórych „Typów komponentu” lub „Klas produktu”; co za tym idzie, należałoby zdefiniować te atrybuty jako „opcjonalne”. Co oczywiste, w takim przypadku atrybuty opcjonalne czasami pozostawałyby niewypełnione (ze względu na błędy użytkowników) również w odniesieniu do tych „Typów komponentów” i „Klas produktu”, dla których są one istotne. Takie pominięcie istotnych wartości atrybutów doprowadziłoby do niestabilności bazy danych, a zautomatyzowana weryfikacja kompletności danych byłaby utrudniona.

### 3.5.3. Katalog a zamówienia publiczne

Na początkowych etapach projektu projektanci nie wymieniają w dokumentacji konkretnych produktów, lecz tylko opisują ich właściwości. W związku z tym w katalogu uwzględniono nienazwany ogólny produkt („Pusty Produkt”) w każdej „Klasie produktu”; możliwe jest jego późniejsze zastąpienie konkretnym produktem z katalogu w ramach realizacji inwestycji (etap CE – faza wykonawcza, por. Tabl. 1 i 2).

### 3.5.4. Wdrożenie koncepcji w zarządzaniu informacjami o zasobach

Systemy zarządzania zasobami (AMS) można rozumieć jako dynamiczną lub predykcijną część modelowania informacji o budynku (BIM). W związku z tym niektórzy autorzy rozwijają skrót BIM jako „zarządzanie informacjami o budynku” (ang. *Building Information Management*) [34]. W przypadku infrastruktury transportowej można również używać terminu „zarządzanie informacjami o zasobach” (ang. *Asset Information Management*), jako że infrastruktura to nie tylko budynki i budowle, lecz również znaki drogowe czy systemy telematyczne. Bez względu na to, czy uważa się BIM za „zarządzanie” czy „model”, nie należy go nigdy traktować jako celu samego w sobie, lecz jako element wsparcia administracji drogowej w zarządzaniu infrastrukturą.

## 4. DYSKUSJA

We wstępie do artykułu opisano cztery cele podjętej pracy badawczej. W zakres badań wchodziła analiza problemu heterogenicznych środowisk informacyjnych zarządców dróg. Problem ten wynikał ze stopniowego pojawiania się wzajemnie niekompatybilnych modeli informacyjnych (BIM) oraz z faktu, że dane o stałych i zmiennych parametrach większości zarządzanej sieci są przechowywane w istniejących relacyjnych bazach danych.

Brak wzajemnej kompatybilności modeli jest spowodowany gwałtownym rozwojem standardów IFC. Jak wykazano w początkowych rozdziałach niniejszego artykułu, adaptacja

If the property sets were defined at the Structure Type or Component Type levels, certain attributes would be irrelevant for some Component Types or Product Classes; therefore, they would have to be defined as “optional”. It is obvious that sometimes optional attributes would remain unfilled (due to user inconsistency) also in the cases of Component Types or Product Classes for which they are relevant. Such omission of relevant attribute values would make the databases unstable, and machine verification of data completeness would become difficult.

### 3.5.3. The catalogue and public procurement

In the early stages of project documentation, designers must not list specific products, but only describe their properties. For these purposes, the catalogue contains an unnamed general product (Blank Product) in each Product Class, which is replaced by a specific product from the catalogue during the processing of the implementation project (CE – Construction Execution project, cf. Tables 1 and 2).

### 3.5.4. Implementation of the concept in asset information management

Asset Management Systems can be understood as a dynamic or predictive part of Building Information Modelling. Accordingly, some authors explain the abbreviation BIM as Building Information Management [34]. In the case of transport infrastructure, the term Asset Information Management may also be used, because infrastructure assets include not only buildings and structures, but also traffic signs, telematic systems etc. Regardless of the notion if BIM is information management or a model, it should never be treated as an end in itself, but rather as part of the management support of every RA.

## 4. DISCUSSION

In the introductory part of this paper, four goals of the described research were outlined. The research work encompassed analysis of the problem of RA heterogenous data environment, caused by the emerging mutually incompatible information models of structures (so-called BIMs) and by the fact that data on fixed and variable parameters of a larger part of the managed network is stored in existing relational databases.

Mutual incompatibility of the models is caused by the rapid development of the IFC BIM standards. As demonstrated in the opening parts of this paper, BIM tools originally developed for general civil engineering have been adapted for road (and railway) structures only relatively

narzędzi BIM (pierwotnie opracowanych z myślą o budownictwie ogólnym) do opisu infrastruktury drogowej (i kolejowej) nastąpiła stosunkowo niedawno. Drogi mają jednak własną specyfikę, odróżniającą je od budynków. Używając starszych wersji IFC, opisywano elementy infrastruktury transportowej za pomocą ogólnych elementów konstrukcyjnych (płyta, ściana). W bardziej zaawansowanych wersjach istnieją już wyspecjalizowane narzędzia do opisu dróg, mostów, tuneli itp.

Zmiana ta poskutkowała jednak niekompatybilnością – nie tylko syntaktyczną, lecz przede wszystkim semantyczną. Źródłem problemu jest fakt, że we wcześniejszych wersjach standardu nie istniały jasno określone zasady zastosowania ogólnych elementów budowlanych; ten sam element infrastruktury mógł więc być opisany inaczej w różnych modelach. Zarządzić temu powinny standardy krajowe, były one jednak wprowadzane równoległe z opisanymi zmianami w IFC i nie pojawiły się dostatecznie szybko, by uregulować problematyczne kwestie. Na przykład czeski standard krajowy [31] w roku 2022 funkcjonował już w piątym wydaniu (wersji), lecz wciąż bazował na obowiązującej wówczas normie ISO [23] wprowadzonej w roku 2018. Wydaje się, że sytuacja w innych europejskich krajach była podobna [17, 28, 29, 35].

Kolejnym problemem jest fakt, że dane o większości sieci są wciąż przechowywane poza BIM, w relacyjnych bazach danych. Nie istnieje jednak bezpośrednie połączenie między BIM a tymi danymi, a zatem, jeśli dane z BIM nie zostaną przeniesione do relacyjnych baz danych, część sieci przetwarzana w BIM nie będzie dostępna w systemach informatycznych zarządców.

Ponadto stwierdzono, że zarządzanie danymi w formatach IFC jest stosunkowo trudne, jako że dane IFC mają formę tekstową w języku XML lub EXPRESS i nie są przygotowane do obróbki popularnymi narzędziami bazodanowymi. Nie można więc stosować na nich operacji standardowych dla baz danych, w tym SQL.

Biorąc pod wspomnianą heterogeniczność modeli oraz kłopotliwe użytkowanie formatu IFC, trudno jest np. znaleźć zduplikowane dane w modelach, zliczyć wystąpienia zadanego elementu w wybranej części sieci itp.

Problemy zidentyfikowane w analizach i omówione powyżej wymagają opracowania rozwiązań, które zostały ujęte w kolejnych trzech celach badań. Polegają one na zaproponowaniu metod:

- unifikacji istniejących i nowo utworzonych modeli,
- zastosowania danych o istniejących obiektach przechowywanych w relacyjnych bazach danych do tworzenia kompatybilnych uproszczonych modeli informacyjnych,

recently. Roads, however, have their own specifics that distinguish them from buildings. When older versions were used, transport infrastructure elements were described through general engineering construction elements (slab, wall). In more advanced versions there are already specific tools for roads, bridges, tunnels etc.

This change caused not only syntactic, but especially semantic incompatibility. The entire problem is grounded on the fact that there were no clear rules for the use of general building elements in earlier versions of the standard; therefore, one and the same element could have been expressed in different ways in different models. This should have been solved by the national standards, but they were being introduced concurrently with the described changes and thus were not available in time to regulate the matters. For example, the Czech national standard [31] already had a fifth edition (version) in 2022, but it was still based on the valid version of the ISO standard [23] adopted in 2018. It seems that similar situation occurred in other European countries as well [17, 28, 29, 35].

Another issue is that the data for the majority of the network is still stored outside of BIM, in relational databases. However, there is no direct link between BIM and this data. In consequence, unless the data from BIM is re-typed into relational databases, the part of the network that is processed as BIM is not available in RA's information systems.

Finally, it was also noted that management of data in IFC formats is quite difficult, as the data is in the text form of the XML or EXPRESS languages, which are not ready for common database tools. Therefore, they cannot be used, for example, with standard database operations, including SQL.

Considering the heterogeneity described above and the inconvenient database behaviour of the IFC format, it is difficult to find duplicates in models, the number of occurrences of a certain element on a certain part of the network etc.

The issues identified in the analyses and discussed above call for solutions encompassed by the remaining three goals of the research, i.e. to propose a method of:

- unifying existing and newly created models,
- using data on existing structures stored in relational databases for the creation of simplified compatible information models, and
- storing data at the level of the managed network to support everyday operation of the RA.

- przechowywania danych na poziomie zarządzanej sieci celem wsparcia codziennych działań administracji drogowej.

Centralną ideą zaproponowanego rozwiązania jest zastosowanie opartego na XML formacie IFC zaledwie w roli formatu wymiany danych między projektantami, zarządcami i innymi interesariuszami. Jako „język znaczników”, XML przenosi informacje o znaczeniu przechowywanych danych i służy jako „program komputerowy”, który może być odczytany przez odpowiednie narzędzie, np. oprogramowanie CAD, celem przetransferowania informacji do bazy danych zarządcy. Przechowywanie i utrzymanie danych, jak również zarządzanie nimi, będzie nadal prowadzone w relacyjnych bazach danych.

Aby umożliwić takie podejście, zaproponowano ideę tak zwanego interpretera, który ma za zadanie obsługiwać dwukierunkową wymianę danych między IFC a relacyjnymi bazami danych. W roli kompilatora w drodze z relacyjnej bazy danych do IFC interpreter dodaje znaczniki XML w formacie IFC do danych pobranych z relacyjnej bazy danych, co zapewni obsługę danych graficznych i niegraficznych w oprogramowaniu zdolnym do odczytu IFC. Z kolei w roli dekompilatora interpreter usuwa znaczniki XML z danych IFC i zapisuje je w zdefiniowanych strukturach relacyjnej bazy danych. Przy okazji interpreter sprawdza spójność i kompletność danych, identyfikując również potencjalne duplikaty.

Zaproponowany interpreter może zunifikować istniejące i nowo powstałe modele, jako że każdy model może zostać zdekompilowany do relacyjnej bazy danych, a następnie skompilowany do dowolnej wybranej wersji IFC. Interpreter może również pobrać istniejące dane z relacyjnej bazy danych i skompilować je do IFC. Jeśli w zestawie zostanie stwierdzony brak danych, można uzupełnić je wstępnie na podstawie „doświadczenia inżynierskiego” lub „uśrednienia”, stosując prostą operację bazodanową i tworząc uproszczony model cyfrowy IFC. Zaproponowana koncepcja umożliwi wykonywanie wszelkich działań na istniejących bazach danych zarządców, co oznacza brak zakłóceń w codziennej pracy.

W tym miejscu należy podkreślić, że istniejące zestawy danych – najpewniej w przypadku większości zarządców – będą wymagały ciągłego uzupełniania o dodatkowe typy elementów lub całe tabele. Poziom szczegółowości dzisiejszych zastosowań BIM zdaje się w istocie prowadzić do nowego paradygmatu szczegółowości danych. Zaproponowana filozofia katalogu komponentów jest odpowiedzią również na to zjawisko. Katalog komponentów jest zasadniczo relacyjną bazą danych z wieloma tabelami.

Katalog będzie przechowywał szeroki zakres informacji o każdym użytym produkcie i technologii. Dla każdej klasy produktu będzie zdefiniowana charakterystyczna struktura parametrów,

The central idea behind the solution is that the XML-based IFC format will only be a data exchange format between designers, RAs and other “data stakeholders”. As a “markup language”, XML carries information about the meaning of the data and serves as a “computer program” to be read by suitable software, e.g. CAD software, to transfer the information into RA’s databases. Data storage, management and maintenance will still take place in relational databases.

To make this possible, the so-called interpreter was designed, whose mission is to serve as a two-way bridge or translator between IFC and relational databases. In the role of a compiler on the way from relational database to IFC, the interpreter adds XML markup in IFC format to relational data, which will ensure graphical and non-graphical operation in software that can read IFC. In contrast, the interpreter in the role of the decompiler removes the XML markup from the IFC data on the way from XML to relational databases and writes it into the defined structures of the relational databases. At the same time, it checks data consistency and completeness, including identification of possible duplicates.

The proposed interpreter is able to unify existing and newly created models, because each model may be decompiled to relational data and then compiled back, if needed, to any requested version of IFC. The interpreter can take the existing data stored in a relational database and compile them to IFC. If some data is missing in the data sets, it is possible to add them tentatively based on “expertise” or “average” data by simple database operation to create a simplified IFC digital model. The proposed concept makes it possible to fully operate in existing RA’s databases, i.e. day-to-day operation is not affected.

At this point, it should be emphasized that existing data sets, probably for most RAs, will have to be continuously supplemented with additional types of items or entire tables. Indeed, the detail level of current BIM deployment seems to lead to a new paradigm of data detail. The proposed philosophy of the component catalogue is also related to this phenomenon. The component catalogue is, in essence, a relational database with many tables.

The catalogue will record a whole range of information about each product or technology used that has not been recorded yet. For each Product Class, there will be a specific structure of parameters, including fault condition classification systems, and each type of component will need to have this data filled in and collected during regular inspections. This can also apply to the prices of components and technologies, which can thus be calculated in



obejmująca również system klasyfikacji stanu technicznego, a każdy komponent będzie wymagał uzupełniania danych podczas regularnych przeglądów. Może to odnosić się również do cen komponentów i technologii, które dzięki temu będzie można obliczać precyzyjnie w różnych przedziałach czasu, bez potrzeby indeksowania globalnego [36], a z uwzględnieniem rzeczywistych wartości parametrów zmiennych, np. stanu nawierzchni [37-40], szorstkości warstwy ścieralnej [41] czy stanu technicznego mostu [42, 43]. W ten sposób zapewnione zostanie właściwe funkcjonowanie AMS oraz BIM. Biorąc pod uwagę powyższe argumenty, wszystkie wysiłki w tym kierunku z pewnością okażą się korzystne dla administratorów dróg.

## 5. WNIOSKI

1. Po masowej cyfryzacji dokumentacji projektowej w początku lat 90. oraz późniejszym masowym wprowadzeniu skomplikowanych systemów w zarządzaniu drogami, BIM stał się kolejną okazją do ustandaryzowania – na wyższym poziomie – działalności zarządców dróg. Nie jest tu istotne, czy zarządca działa na poziomie miasta, powiatu czy całego kraju; konieczna jest wewnętrzna standaryzacja samego BIM. Standaryzacja odbywa się zarówno na poziomie międzynarodowym, jak i lokalnym (zarządcy).
2. Standaryzacja międzynarodowa zapewnia ramy, w których rozwijane są poszczególne krajowe i lokalne podejścia. Prawdą jest, że im lepszy i bardziej złożony system międzynarodowy, tym mniej pozostaje do adaptacji i modyfikacji na poziomie krajowym czy lokalnym. Należy jednak mieć na uwadze, że podejście i praktyka projektowa nie jest zunifikowana na poziomie międzynarodowym – nawet w obrębie samej Unii Europejskiej, która tak konsekwentnie promuje unifikację i standaryzację na innych polach. Jest więc jasne, że różnice w praktyce projektowej przełożą się na różnice w sposobie stosowania środków – również tych objętych międzynarodową standaryzacją.
3. W artykule zaproponowano koncepcję interpretera, który z jednej strony umożliwi przeniesienie historycznych zestawów danych zarządcy (opartych na relacyjnych bazach danych i GIS) do schematów IFC, a z drugiej strony pozwala na przenoszenie danych ze środowiska BIM do udoskonalonych zestawów danych zarządcy. Zastosowanie interpretera pozwoli zarządcom na wykorzystanie swoich danych historycznych w erze BIM, jak również na użycie nowych danych pozyskanych z modeli BIM w swoich dotychczasowych systemach informatycznych.
4. W artykule wprowadzono również koncepcję ustrukturyzowanego katalogu komponentów, opartą na założeniu, że każdy obiekt składa się z indywidualnych, definiowalnych komponentów. Zasadniczo nie ma znaczenia czy

different time periods precisely, without the need for global indexation [36] and taking into account the actual status of variable parameters of structures, e.g. pavement structural condition [37-40], skid resistance [41], bridge structural condition [42, 43] etc. This way, proper functioning of AMS as well as BIM can be ensured. Considering all the above, considerable efforts in this direction will clearly be advantageous to RAs.

## 5. CONCLUSIONS

1. After the mass digitization of project documentation in the early 1990s and the subsequent mass introduction of sophisticated systems into road administration management, BIM provided next – higher level – opportunity to standardize the activities of RAs. It does not matter whether the RA operates at the level of a city, a county, a region or the whole country. In order to fulfil this ambition, BIM must itself be internally standardized. Therefore, the standardization comprises both international and local (RA) levels.
2. International standardization provides a framework for the development of individual national or local approaches. It is true that the better and more sophisticated the international system, the less will be left for national or local adaptation and customization. However, in this context, one should bear in mind that design approaches and practices are not internationally unified, even at the level of the European Union, despite its consistent promotion of unification of standards in other cases. It is therefore clear that differences in design practices will entail differences in the use of otherwise internationalized means.
3. The paper presents the interpreter concept that, on the one hand, allows one to transfer historically developed RA data sets based on relational databases and GIS to IFC schemas, i.e. to the BIM environment, and, on the other hand, to transfer data from the BIM environment to upgraded RA data sets. Therefore, RAs can use their historical data in the BIM era and use the newly processed information model data built using BIM standards in their current systems.
4. The paper also introduces the concept of a structured component catalogue, which is based on the idea that each structure consists of individual definable components. In principle, it does not matter whether the component is a standardized product or a part of the structure created in-place.
5. In addition to graphical and non-graphical information about each component, the catalogue also defines the

komponent jest ustandaryzowanym produktem, czy też częścią obiektu wykonaną na miejscu.

5. Poza informacjami graficznymi i niegraficznymi o każdym komponencie, katalog definiuje również strukturę parametrów zmiennych dla każdej “Klasy produktu”, aby umożliwić okresowe gromadzenie danych w cyklu życia i wykorzystanie ich w systemie zarządzania zasobami. Idea katalogu jest zatem odpowiednio powiązana z koncepcją encji i zestawów właściwości zdefiniowanych w schematach IFC jako podstawa BIM.

## INFORMACJE DODATKOWE

Badania przeprowadzone przez Centrum Badań Transportowych (CDV) Politechniki Brneńskiej oraz przez firmę Janeway, Sp. z o.o., były dofinansowane odpowiednio przez Ministerstwo Szkolnictwa, Młodzieży i Sportu i Ministerstwo Transportu Czech w ramach programu Długofalowego Rozwoju Koncepcyjnego Instytucji Badawczych oraz przez czeską Dyрекcję Dróg i Autostrad (RSD) w ramach kontraktu nr 97ZA-000931. Podziękowania autorów niech zechcą przyjąć również pan Josef Šejnoha, Kierownik Wydziału Strategii RSD, oraz pan Filip Týc, Kierownik Bazy Danych o Droгах RSD, za dostarczenie danych oraz wymianę informacji podczas konsultacji prowadzonych w ramach badań.

## BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] *Borrmann A., Konig M., Koch C., Beetz J.*: Building Information Modeling: Why? What? How? In: Borrmann A., Konig M., Koch C., Beetz J. (Eds.): Building Information Modeling, Springer, Cham, 2018, 1-24, DOI: 10.1007/978-3-319-92862-3\_1
- [2] *Wang J., Zhang S., Fenn P., Luo X., Liu Y., Zhao L.*: Adopting BIM to facilitate dispute management in the construction industry: A conceptual framework development. *Journal of Construction Engineering and Management*, **149**, 1, 2023, ID article: 03122010, DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002419
- [3] *Eneyew D.D., Capretz M.A.M., Bitsuamlak G.T.*: Toward Smart-Building Digital Twins: BIM and IoT Data Integration. *IEEE Access*, **10**, 2022, 130487-130506, DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3229370
- [4] *Lu Q., Xie X., Heaton J., Parlikad A.K., Schooling J.*: From BIM Towards Digital Twin: Strategy and Future Development for Smart Asset Management. In: Borangiu T., Trentesaux D., Leião P., Giret Boggino A., Botti V. (Eds.): Service Oriented, Holonic and Multi-agent Manufacturing Systems for Industry of the Future, Springer, Cham, 2020, 392-404, DOI: 10.1007/978-3-030-27477-1\_30
- [5] *Wernerova E., Endel S., Kuta D.*: Implementation of the BIM Method at the VSB – Technical University of Ostrava. *International Journal of Engineering Research in Africa*, **47**, 2020, 133-138, DOI: 10.4028/www.scientific.net/JERA.47.133
- structure of the variable parameters for each product class, to enable their periodical collection during the life cycle and their use in the asset management system. The idea of a catalogue is thus appropriately linked to the concept of entities and property sets that are defined through IFC schemas as the basis of BIM.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The research by the Brno University of Technology, Transport Research Centre (CDV) and Janeway, s. r. o., was supported, respectively, by the Ministry of Education, Youth and Sports and by the Ministry of Transportation of the Czech Republic under the Program of Long-Term Conceptual Development of Research Institutions and by Czech Road Administration (RSD) under the contract No. 97ZA-000931. The authors would also like to thank Mr. Josef Šejnoha, Head of the Strategy Department, and Mr. Filip Týc, Head of the Road Databank, both from the RSD, for the data provided and the exchange of information during consultations as part of the research.

- [6] *Munir M., Kiviniemi A., Finnegan S., Jones S.W.*: BIM business value for asset owners through effective asset information management. *Facilities*, **38**, 3/4, 2020, 181-200, DOI: 10.1108/F-03-2019-0036
- [7] *Farghaly K., Abanda F.H., Vidalakis C., Wood G.*: Taxonomy for BIM and Asset Management Semantic Interoperability. *Journal of Management in Engineering*, **34**, 4, 2018, DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000610
- [8] *Farghaly K., Abanda F.H., Vidalakis C., Wood G.*: BIM-linked data integration for asset management. *Built Environment Project and Asset Management*, **9**, 4, 2019, 489-502, DOI: 10.1108/BEPAM-11-2018-0136
- [9] *Ait-Lamallam S., Yaagoubi R., Sebari I., Doukari O.*: Extending the IFC Standard to Enable Road Operation and Maintenance Management through OpenBIM. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, **10**, 8, 2021, ID article: 496, DOI: 10.3390/ijgi10080496
- [10] PIARC – World Road Association: Indicators for bridge performance and prioritization of bridge actions. PIARC, La Défense, 2003
- [11] PIARC – World Road Association: Indicators representative of the condition of geotechnical structures for road asset management. PIARC, La Défense, 2008
- [12] PIARC – World Road Association: Asset Management Manual. PIARC, La Défense, 2023, <https://road-asset.piarc.org/en>, 03.10.2023

- [13] Federal Highway Administration (FHWA): Asset management. 2023, <https://www.fhwa.dot.gov/asset/>, 02.10.2023
- [14] Ředitelství silnic a dálnic (RSD): Overall summary of data monitored in the Information System on the Road and Motorway Network of the Czech Republic as of 1 July 2021. RSD, Prague, 2022 (in Czech)
- [15] *Arndt W., Doge N., Fathejalali A., Kämpfer R.*: Erstellung einer Geodatenbank aller Brücken und Straßen Deutschlands in kommunaler Baulast auf Basis von Open-Street-Map-Daten. Deutsches Institut für Urbanistik, Berlin, 2015
- [16] Ředitelství silnic a dálnic (RSD): Geoportal of road and highway network, <https://geoportal.rsd.cz/web>, 03.10.2023, (in Czech)
- [17] *Andriejauskas T., Biswas S., Wright A.*: Call 2018 Building Information Modelling (BIM) Final Programme Report. Conference of European Directors of Roads (CEDR), Brussels, 2022, <https://cedr.eu/docs/view/639748b2a936c-en>, 03.10.2023
- [18] *Sejnoha J.*: Use of the BIM method on road infrastructure projects of the Czech Road Directorate. Presentation to the Technical Board of the Czech Road Directorate, Prague, 2023
- [19] *Seitner M., Probst R., Borrmann A., Vilgertshofer S.*: Building Information Modeling (BIM) im Brückenbau. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken- und Ingenieurbau Heft B 182. Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach, 2022
- [20] *Jiang S., Jiang L., Han Y., Wu Z., Wang N.*: OpenBIM: An Enabling Solution for Information Interoperability. Applied Sciences, **9**, 24, 2019, ID article: 5358, DOI: 10.3390/app9245358
- [21] *Musella C., Serra M., Salzano A., Menna C., Asprone D.*: Open BIM Standards: A Review of the Processes for Managing Existing Structures in the Pre- and Post-Earthquake Phases. CivilEng, **1**, 3, 2020, 291-309, DOI: 10.3390/civileng1030019
- [22] BuildingSmart: IFC Specifications Database, <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/>, 03.10.2023
- [23] ISO 16739-1:2018 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries – Part 1: Data schema
- [24] ISO 10303-11:2004 Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 11: description methods: The EXPRESS Language Reference Manual
- [25] W3C Recommendation, <https://www.w3.org/TR/xmlschema-0/>, 03.10.2023
- [26] ISO 10303-28:2007 Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 28: Implementation methods: XML representations of EXPRESS schemas and data, using XML schemas
- [27] ISO 10303-21:2002 Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 21: Implementation methods: Clear text encoding of the exchange structure
- [28] *Beck F., Borrmann A., Kolbe T.H.*: The need for a differentiation between heterogenous information integration approaches in the field of “BIM-GIS integration”: A Literature review. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, **VI-4/W1-2020**, 2020, 21-28, DOI: 10.5194/isprs-annals-VI-4-W1-2020-21-2020
- [29] *Winkels H., Meerkerk J., Koehorst B.*: Technical report 2017-05: Utilising BIM for NRAs. Conference of European Directors of Roads (CEDR), Brussels, 2017, <https://cedr.eu/docs/view/6063251879c9a-en>, 03.10.2023
- [30] *Winkels H.*: Fact sheet 2016: Open information exchange (BIM) of National Road Authorities is of vital importance for Asset management. Conference of European Directors of Roads (CEDR), Brussels, 2016, <https://cedr.eu/docs/view/6063218af2184-en>, 03.10.2023
- [31] Státní Fond Dopravní Infrastruktury (SFDI): Regulation of Building Information Modeling of structures of transport infrastructure. Data Standard for documentation for zoning proceedings, building permits, public tendering and construction execution. SFDI, Prague, 2022, <https://www.sfdi.cz/bim-informacni-modelovani-staveb/> 03.10.2023, (in Czech)
- [32] *Pospisil K., Pospisilova D., Brychtova L.*: BIM and Pavement Management System (analysis and recommendation). Janeway, Brno, 2021 (in Czech)
- [33] *Pospisil K.*: Opinion on Strategic plan of further development of Czech Road Administration Road Databank of with a 10-year outlook. Janeway, Brno, 2021 (in Czech)
- [34] *McArthur J.J.*: A Building Information Management (BIM) Framework and Supporting Case Study for Existing Building Operations, Maintenance and Sustainability. Procedia Engineering, **118**, 2015, 1104-1111, DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.450
- [35] *Borrmann A., König M., Hochmuth M., Liebich T., Elixmann R.*: Die INFRABIM-Reifegradmetrik. Bautechnik, **94**, 4, 2017, 215-219, DOI: 10.1002/bate.201700004
- [36] *Urbański M., Świtłała M., Liszewski W., Ślusarczyk B., Piechowicz K.*: Road and bridge construction price indexation illustrated with an example of a selected project. Roads and Bridges - Drogi i Mosty, **21**, 4, 2022, 365-378, DOI: 10.7409/rabdim.022.021
- [37] *Pospisil K., Zednik P., Stryk J.*: Relationship between deformation moduli obtained using light falling weight deflectometer and static plate test on various types of soil. Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, **9**, 4, 2014, 251-259, DOI: 10.3846/bjrbe.2014.31

- [38] Glinicki M.A., Józwiak-Niedźwiedzka D., Antolik A., Dzedzic K., Dąbrowski M., Bogusz K., Lisowski P.: Analysis of causes of damage to single-layer concrete highway pavement. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, **21**, 3, 2022, 183-201, DOI: 10.7409/rabdim.022.011
- [39] Pospisil K., Manychova M., Stryk J., Korenska M., Matula R., Svoboda V.: Diagnostics of Reinforcement Conditions in Concrete Structures by GPR, Impact-Echo Method and Metal Magnetic Memory Method. *Remote Sensing*, **13**, 5, 2021, ID article: 952, DOI: 10.3390/rs13050952
- [40] Chmielewski R., Wesolowski M., Waliszewski D.: Review of subgrade bearing capacity tests for airfield pavements. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, **21**, 2, 2022, 117-131, DOI: 10.7409/rabdim.022.007
- [41] Burghardt T.E., Köck B., Pashkevich A., Fasching A.: Skid resistance of road markings: literature review and field test results. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, **22**, 2, 2023, 141-165, DOI: 10.7409/rabdim.023.007
- [42] Korenska M., Pazdera L., Pospisil K., Stryk J., Vyroubal P.: Detection of the reinforcement corrosion in prestressed concrete girders. In: Grum, J. (Ed.): 8th International Conference of the Slovenian Society for Non-Destructive Testing, Conference Proceedings: Application of contemporary non-destructive testing in engineering, Portoroz, Slovenia, 2005, 317-322
- [43] Arshad M., Fahad M., Khan A., Adil M., Khan A.: Fatigue load effects on highway bridges of Pakistan using Weigh-In-Motion data. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, **21**, 1, 2022, 19-37, DOI: 10.7409/rabdim.022.002