

## KONCEPT PROJEKTU ŽELEZNIČNICE METODOU BIM REALIZOVANÝ V MULTIDIMENZIONÁLNÍM STAVOVÉM PROSTORU

Robert ČÍHAL<sup>1</sup>

### Abstrakt

Příspěvek navazuje na tematicky podobně orientovanou analýzu vazeb mezi prostorovým popisem železniční infrastruktury a možnostmi použití metody BIM při projektování železničních staveb [1]. Za uplynulé dva roky však v oblasti BIM došlo k významnému posunu. Byly navrženy postupy její SW i právní podpory a rozpracovány zásady sestavení plánu realizace BIMových projektů různých úrovní, počínaje DÚR až k DSPS. Na druhé straně ale na stavebních úřadech všech úrovní stále vážne realizace náhrady papírových médií alespoň základními formami elektronických dokumentů.

Přes tento rozpor však existují důvody k rozpracování podrobnějšího analytického pohledu na uplatnění modelů jak samotné železniční infrastruktury, tak postupů jejího budování a správy, navržených v n-dimensionálním stavovém prostoru dle základního konceptu z 80. let minulého století. A to v rozsahu celého životního cyklu stavebních a technických objektů drah. Nyní s koncepcí BIM tak přichází příležitost jejich použití.

### Abstract

The issue of this paper follows the similarly oriented text published on GIS Ostrava 2017 [1], containing short analysis of relations between a railway infrastructure space description and BIM methodology used in railway construction projects. But very significant advancements occurred in the last two years in the BIM field. The procedures of their ICT and legal support were designed and principles of BIM execution planes of various levels were founded. Starting with documentation of administrative decision (DUR) and finishing with documentation of the actual construction realization (DSPS). On the other side, the utilization of at least elementary form of computer-readable documents in the Construction administration offices praxis still stagnates.

Beyond that contradiction, some reasons for more detailed analytical view to application both of construction objects and their building processes models realized in any n-dimensional state space exist. The basic concept of this kind of models was founded in 80<sup>th</sup> of last century for the dimension of all life cycle of construction and technical objects. Today, with the BIM concept, the time of their usage comes.

### Klíčová slova:

železniční dopravní cesta; prostorový popis drah; pasportní evidence; informační systém; Informační modelování budov (BIM); projektování investiční výstavby; geoinformace, n-dimensionální stavový prostor

### Keywords:

railroad; spatial description of the railways; object oriented documentation; information system; Building Information Modeling (BIM); design of investment construction; geoinformation, n-dimensional state space

### 1. ÚVOD

Nejenom v odborných zdrojích (viz např. [2]), ale i v běžném tisku, resp. na internetu a jeho diskusních fórech, se lze stále častěji setkat s tématem tzv. 4. průmyslové revoluce, spojeným zejména s globálním působením procesů digitalizace (vč. komunikačních kanálů) a robotizace. Nejúspěšněji si přitom vedou sektory bankovníctví a komunikací, následované průmyslovými odvětvími elektroniky, energetiky, strojírenství, chemie, biochemie a dalšími. Poslední místa těchto žebříčků pak celosvětově patří stavebnictví, následované zemědělstvím a rybnářstvím, alternovaně s těžbou a základním zpracováním všech typů surovin.

Příčina právě tohoto rozdělení uvedeného typu „pokroku“ je při prvním pohledu zřejmá. Je jí nepochybně míra svázanosti procesů a produktů daného odvětví s materiálními toky a přírodou. Ty jsou

---

<sup>1</sup> Sdružení pro prostorová data o dopravních sítích, Purkyňova 125, 61154 Brno, ČR, cihal@kpmconsult.cz

v případě odvětví na prvních místech uvedeného pořadí značně slabé, téměř žádné. V procesech komunikace jde „jen“ o technické prostředí vlastního přenosu dat, zbytek jsou zcela abstraktní a většinou i špatně nebo vůbec neformalizované struktury dat různých typů, včetně grafických a multimediálních. Všechna ekonomická a finanční data jsou svými dlouhodobě vypracovávajícími postupy rovněž velmi vzdálená od hmotných procesů, v případě spekulativních finančních (bursovních apod.) operací téměř absolutně. Proto jsou jejich struktury jednoduché a algoritmy jejich zpracování zpravidla dobře definovatelné. Úspěšnému uplatnění digitalizace těchto odvětví proto opět zbývají téměř ryzí informační technologie. Postupující robotizací se však podobné procesy uplatňují i ve špičkových odvětvích průmyslu, kde je mezi lidskou pracovní silou a technické prostředí stavěno uměle vytvářené pracovní prostředí (výrobní haly a zařízení apod.), stroje a vrcholově i umělá inteligence. Jen málo z toho se ovšem daří uplatnit v odvětvích, která jsou technologicky v bezprostředním kontaktu s přírodou a jejími proměnlivými podmínkami. Zde se proto při zvyšování efektivnosti práce stále může uplatňovat zpravidla jen hrubá mechanizace (např. těžké těžební a dopravní stroje), jen částečně doplňovaná vybranými vyššími prvky automatizace a informačních a komunikačních technologií. I takovéto postupy však již lze v přesném zemědělství a prvními náznaky i stavebnictví nalézt.

V případě stavební výroby se ale, zřejmě více než v jiných odvětvích, na jejím umístění na jednom z posledních míst v hitparádě uplatňování špičkových ICT, podílí další fenomén. Tím jsou důsledky působení zcela umělého a lidmi vytvořeného sociálně ekonomického, ale zejména právního a politického prostředí, které oproti algoritmizovatelné logice informačních procesů nebo výrobních postupů staví tímto způsobem těžko uchopitelné zájmy lidí a jejich skupin a další rysy lidské psychiky, transformované do složitě formulovatelných podmínek a relací. Jen tak si lze zřejmě vysvětlit rozdíly např. dob trvání stavebního řízení v různých státech<sup>2</sup>. Jen tak si lze i vysvětlit, proč jsou doby vlastního projektování a realizace staveb přibližně stejně dlouhé (u běžných pozemních staveb kolem 1 – 2 let), zatímco délky časových intervalů vydání potřebných administrativních rozhodnutí jsou v ČR 5 – 10x delší. Ale ani v řadě jiných vyspělých zemí to není s efektivitou stavebnictví jako celku o mnoho lepší<sup>3</sup>.

Pokusů o posun stavebnictví směrem k vyšším umístěním v uvedeném hodnocení, vyjadřujícím mj. i míru efektivnosti odvětví, proběhlo u nás i celosvětově za posledních 50 let několik. V USA tak v 70. letech minulého století vznikly základy pro uplatnění organizačních a informačních technologií označovaných v současnosti jako „BIM“<sup>4</sup> (v poslední verzi viz [3]). V téže době se u nás rozvíjela metodika „automatizovaných systémů řízení“ (ASŘ) podniků i celostátní centralizované ekonomiky a s ní spojené teorie (např. [4]) a informační technologie<sup>5</sup>. Principiální možnosti jejího uplatnění byly ukončeny celospolečenskými změnami po r. 1989. Což ovšem nutně neznamená, že by některé z v té době dosažených dílčích metodických poznatků nemohly mít význam i pro současnost.

Získané zkušenosti totiž ukázaly, že komplexní charakter stavebních procesů, bytostně spojených již s prostorovým popisem území realizace stavby, vyžaduje i komplexní řešení indikovaných procesů hmotného, organizačního i informačního typu. Počínaje však nezbytnou rekonstrukcí stavebního práva, navrhovanou v poslední podobě v dokumentu [5]. I pouze stručný popis jeho obsahu a v něm navržených změn ovšem výrazně překračuje možnosti tohoto sdělení. Jeho principy totiž vedou až ke komplexní přestavbě organizace dotčených státních orgánů (stavebních úřadů všech typů) a obsahu jejich práce i obsahu a formě projektové dokumentace. S důrazem na její elektronizaci až digitalizaci. Čímž se připravované právní postupy protínají s moderní podobou BIM.

<sup>2</sup> podle řady statistik stojí ČR v tomto žebříčku na 156. místě z celkového počtu 190 sledovaných zemí

<sup>3</sup> v oblastech průmyslu jsou podobné správní procedury (např. uplatnění standardizací EU) mnohem skrytější v procesech samotného vývoje, projektování a následně i obchodního řešení produkce

<sup>4</sup> nejčastější interpretací této zkratky je „building information modeling“, existuje však řada dalších a ještě více jejich možných překladů do češtiny – např. dle ČAS jde o „informační modelování staveb“

<sup>5</sup> většinou na bázi centrálních výpočetních středisek s nepřehlednými vyspělými a spolehlivými počítači řad JSEP a SMEP

## 2. ZÁKLADNÍ RYSY METODY BIM

### 2.1. Základní principy a očekávání

Za poslední dva roky u nás došlo, z mnoha důvodů a úsilím řady jednotlivců i organizací (vč. vlády – viz [6]), k významnému pokroku ve znalostech a rozvoji metody BIM<sup>6</sup>. Současný stav současného poznání základních rysů této metody je sevřeně dokumentován např. v publikaci [7]. Konceptně však je snad největším zlomem jejího použití chápání stavby jako celku a v rozsahu celého jejího životního cyklu. Tedy od záměru projektu až po její likvidaci, nebo alespoň do její zcela zásadní rekonstrukce. Plný dopad tohoto přístupu si lze uvědomit např. na obsahu veřejné soutěže na stavební zakázku, v níž nejsou žádné ekonomické údaje vztahovány k jejímu prostému vybudování, ale k normativně určené životnosti (např. 70 let)<sup>7</sup>.

Takovýto přístup se totiž nutně promítá i do celkové filosofie přístupu k budování a provozování každé stavby. Tedy i tak tradičně komplexně vnímaných staveb, jakými jsou, snad nejvíc ze všech typů stavebně-technických konstrukcí, železniční dráhy, kde jsou procesy její výstavby a provozování značně vzájemně propojeny. Což při mnoha desítkách (až stech) let trvajících životních cyklech takových objektů, jakými jsou tunely, mosty, další objekty železničního spodku i většinová část objektů železničního svršku a převážně síťovém charakteru drah, vede mj. k tomu, že jednotlivý stavební projekt může obsahovat návrh změny pouze malé, až prostorově (nikoli ovšem provozně) téměř zanedbatelné, části sítě jako celku a jeho výstavba proto ani nemůže být hodnocena pouze lokálně. To vše pak mj. vede k eliminaci jednoho z principů (až dogmat) spojovaných s metodou BIM. Totiž tím, že ICT podpořená projektová dokumentace může sloužit po celou dobu životnosti objektu i pro účely provozování výsledného objektu.

V takovýchto případech to z mnoha důvodů není možné, a proto musí být provozní záznamy o stavu zařízení a návazně řešení procesů stárnutí a odpovídajících renovací informačně podpořeny specializovanými pasportními evidencemi jednotlivých odvětví železniční infrastruktury (provozování dráhy). Koncipovanými ovšem jako prostorová data informačně odvozená co nejpřímější cestou právě ze stavebních projektů dle jejich skutečného provedení (DSPS) a rozšířená svými relačními vazbami do potřebných agend provozních a ekonomických úloh drážních organizací. Informační nároky dopravního provozu však jdou mnohem dál, než jen k výsledkům výstavby a jejich ekonomickým aspektům. Jde zejména o potřeby provozování drah, kde např. návrhy grafikonu vlakové dopravy musí být zpracovávány s předstihem až cca 10 měsíců před dobou vyhlášení jejich platnosti. Což vede mj. k nutnosti, aby do jejich prostorových a funkčních předpokladů byly zakomponovány obsahy i mnohem méně přesných a provozu časově vzdálenějších projektů popisujících toto období<sup>8</sup>. Tím důležitější je proto vytvoření datové integrity obsahu ICT podpořenými (tedy „BIMovskými“) projekty s pasporty (popis budoucího stavu) a následně i dalšími částmi IS provozovatele dráhy.

Požadavky na co nejkontinuálnější přechod obsahu databází BIMovských projektů do provozních dat (počínaje sestavou GVD) významně zhodnocuje účinnost zejména prostorového, ale i dalších komplexně chápaných zobrazení stavebně-montážních prací a jejich výsledků. Včasné odhalení prostorových konfliktů různých konstrukcí a nesouladů harmonogramů výstavby, oprávněně předkládaných jako jeden ze zásadních přínosů metody BIM, tak nejen zvyšuje stabilitu samotného procesu výstavby, a tím i jeho kvality (při současném snížení nákladů stavby), ale i stability a zvýšení efektivnosti návazných dopravně-provozních činností. Tento typ dopadů aplikace metody BIM u železnice je tak jejím téměř výlučným specifíkem (podrobněji viz např. [8]).

Samozřejmě, obsah pojmů „stavba dráhy“, resp. „stavba na dráze“ definované zákonem o drahách [9], zahrnuje z ryze technického hlediska různé typy pozemních, inženýrských, železničních a jiných dopravních staveb resp. objektů, v jejich různorodých funkčních, přírodně-technických a společenských vazbách. Mnohé z nich přitom mohou přinášet významné typy inovací vyšších řádů, které mohou být předmětem předchozích studií a projektů různých typů a úrovní. Podstatné však je, že provozně realizo-

<sup>6</sup> čímž ale stále pouze doháníme cca 10 letý skluz oproti vyspělejším evropským, ale i asijským zemím, např. Číně a Singapuru

<sup>7</sup> takto jsou formulovány podmínky např. pro výstavbu nové budovy Nejvyššího kontrolního úřadu v Praze

<sup>8</sup> jde o projekty typu „Dokumentace pro územní rozhodnutí“ (DÚR) a/nebo pro stavební povolení (DSP) ovšem i s mnoha riziky jejich věcných i termínových změn způsobenými nestabilitami stavebního plánování a výroby jako celku

váno nesmí být nic, co by dříve neprošlo zkušebními ověřeními a následným schvalovacím řízením, jehož dopad vede až do všeobecných i speciálních dodacích podmínek a vnitřních provozních předpisů provozovatele dráhy (viz např. [10, 11]). Obejití těchto postupů je universálně nemyslitelné, ale zcela vyloučené zejména v oboru zabezpečovací techniky. Jde proto o další významnou specifiku uplatnění obecné metody BIM, která se promítá zejména do pravidel správy sestav normativních souborů modelujících použitelné stavební a technické prvky a technologie. Ale také do vymezení možností tržního prostředí dodávek.

Tato skutečnost se promítá již do koncepce jednání o kontraktu a návazně i do informační podpory celého projektového řízení<sup>9</sup>. Nevhodně zvolená metoda BIMovské podpory tak může přinést více zmatků a komplikací, než užítku. Není proto divu, že i v tak „BIMovsky“ vyspělých zemích, jako jsou Norsko, Německo nebo Velká Británie, se zavádění metody BIM na železnici opožďuje oproti běžným pozemním stavbám i o více než 10 let.

V provozně-projekční praxi se v této souvislosti někdy zapomíná na to, že „BIM“ není jakýkoli programový produkt, ani způsob vizualizace objektu do třídímního (3D) provedení nebo podobný dílčí postup, ale že jde o komplexní metodu práce s mnoha typy dat a v mnoha právních, manažerských a technologických souvislostech. Ty byly pro potřeby dopravních staveb formulovány pod vedením SFDI do 3 základních dokumentů [12 - 14] a navazujících pokynů, které jsou postupně vstřebávány do praxe rezortních organizací. Dále uvedené typy dokumentů jsou totiž především nástroji investora či stavebníka a vlastní projekční nástroje jsou pak „pouze“ jejich okrajovou částí – nástrojem projektanta jako jednoho z účastníků celého stavebního řízení.

## 2.2. BIM Protokol

Obsah dokumentů shrnutých do této skupiny má mnohem více manažersko-právní, než technický charakter. Kromě široce vnímatelných pravidel kontraktů na jednotlivé dodávky materiálů, prací a služeb, zahrnuje i aspekty autorského a dalších příbuzných práv, které se v podmínkách BIM týkají mj. i licencování použití SW nástrojů a různých typů dat. Je přitom třeba vzít v úvahu úroveň obecnosti používaných kontraktních pravidel „červený FIDIC“, poskytujících prostor stavebníkovi, jako řídicímu subjektu všech přípravných a realizačních procesů pro členění staveb na více časově i prostorově členěných etap, zajištěných různými dodavateli (počínaje jejich projekty). V prostředí BIM ale tato metoda současně zakládá vyšší nároky nejen na právní i technickou, ale nově i inforatickou kvalitu dokumentací, předávaných postupně zpravidla mezi několika subjekty. To se např. týká i podmínek pro vytváření konkurenčně neutrální formulace popisu použitých materiálů a technologií, ceníků apod. Což souběžně výrazně omezuje možnosti využití takovýchto projekčních dat v provozních systémech provozovatele dráhy a otvírá prostor pro vznášení námitek vůči korektnosti soutěže. I to je jeden z důvodů, proč jsou v zahraničí při aplikaci BIM preferovány různé varianty filosofie „žlutý FIDIC“, která je technologicky více svázána se zhotovitelem stavby, ale svou podstatou je mnohem náročnější na kvalitu jeho součinnosti se stavebníkem i subdodavateli.

V orientaci BIM na celoživotní cyklus staveb tato skupina dokumentů zajišťuje i následnou údržbu, garance dodávek náhradních dílů případně i likvidace určených částí stavby. Současně se v této části vymezují i základní pravidla řešení možných chyb v dodávce, případně i vzniku jiných typů sporů mezi jednajícími subjekty.

## 2.3. Společné datové prostředí (CDE)

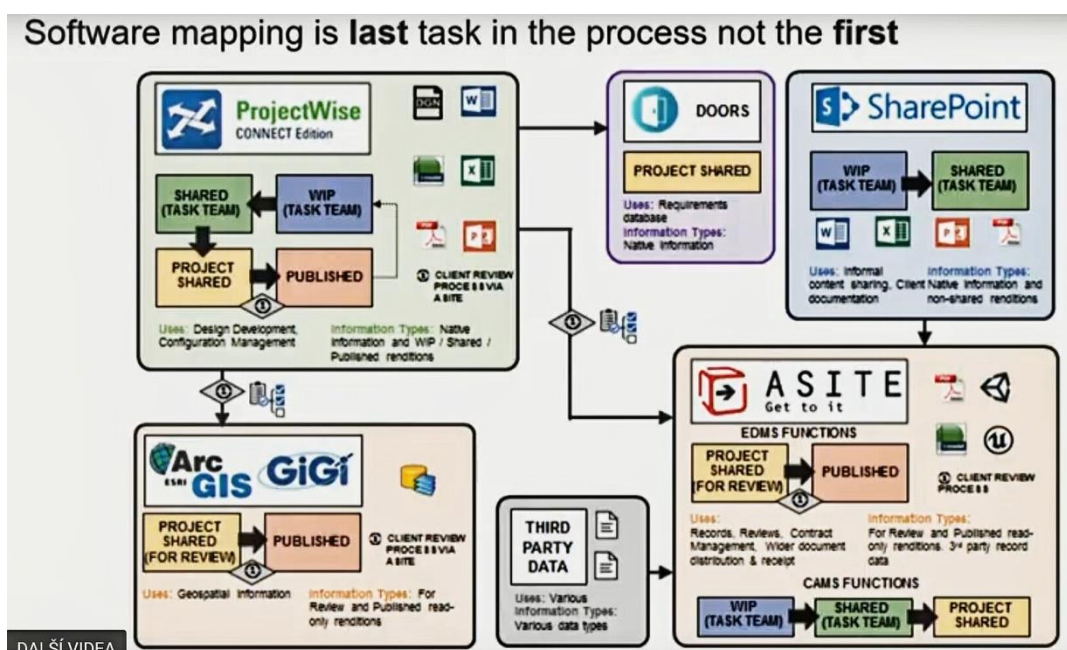
Hlavním předmětem této části BIMovských pravidel je SW podpora projektování a obecně i další ICT vlastnosti použitých technologií<sup>10</sup>. Ve vyspělých zhotovitelky orientovaných formách je přitom požadována až on-line komunikace mezi všemi účastníky stavebních procesů, zahrnující extrémně až věcně

<sup>9</sup> v našich podmínkách jsou využívány metody označované slangově podle barev obálek příslušných doporučení organizace „Fédération Internationale des Ingénieurs-Conseils“ jako „červený“ nebo „žlutý“ FIDIC, v Německu nebo Velké Británii používají metody vlastní, které z velké části kladou vyšší důraz na funkci zhotovitele, a tím i jeho ICT podporu

<sup>10</sup> včetně popisů toků dat, zajištění jejich bezpečnosti, archivace a dalších detailů jejich správy, přístupových práv atd.

relevantní stavební úřady. Jde přitom o to, že použitá forma digitální (a tedy i on-line proměnné) dokumentace musí být současně jak stabilizovaným dokladem<sup>11</sup> o příslušných věcných rozhodnutích, tak nástrojem dostatečně srozumitelným všem účastníkům schvalovacích a realizačních procesů. To se výrazně vymyká z praxe „papírové“ dokumentace aktualizovatelné až v dlouhých termínech, zato ovšem průkazně stabilizovatelné klasickými byrokratickými nástroji (podpisy, razítka, předávací zápisy a protokoly apod.). To vše ovšem správní procesy zdržuje a komplikuje.

CDE je zpravidla tvořeno komplexem několika (až mnoha) SW produktů různých typů (obr. 1) a v konečném důsledku vede až k formám elektronických stavebních deníků, umožňujících průběžně sledovat postupové harmonogramy a další formy sledování výstavby (vč. průběžné fakturace prací). V koncepci celoživotního sledování staveb pak zahrnuje i pravidla konverzí projekčních do konečných pasportních dat. Nebo také naopak, použití pasportních dat aktuálního stavu jako vstupů pro popis daných objektů v případě jiných stavebních počínů, než výstavby na zelené louce. Za pozornost ovšem stojí i obsah hesla uvedené v záhlaví obr. 1.



Obr.1 Schéma SW produktů pro budování britské vysokorychlostní trati HS2 (zdroj [14])

#### 2.4. Plán realizace BIM (BEP)

V BEP je skryto vlastní technicky věcné jádro současných projektových dokumentů všech úrovní. V nejjednodušší podobě představuje matici věcných témat projektu (např. energetická, strukturální a prostorová analýza a časová následnost použití jednotlivých technologií ve fázi výstavby) a rolí, které je mají zajišťovat v termínech určeného harmonogramu. Ve složitých případech jsou tyto procesy podrobněji členěny do jednotlivých událostí, jsou kompetenčně hierarchizovány a pro vyjádření časových vazeb jsou používány postupy např. Ganttových diagramů nebo jiných vyspělých metod řízení projektů (kritická cesta apod.). Mezi nejsložitější části postupů přitom patří zejména řízení změn a kontroly jakosti dokumentace i produkce.

Právě tato skupina dokumentů však má největší vazbu k SW podpoře jak BIMovských stavebních projektů, tak případně i všech věcně relevantních pasportních evidencí.

#### 2.5. Normativní základna BIM projektů

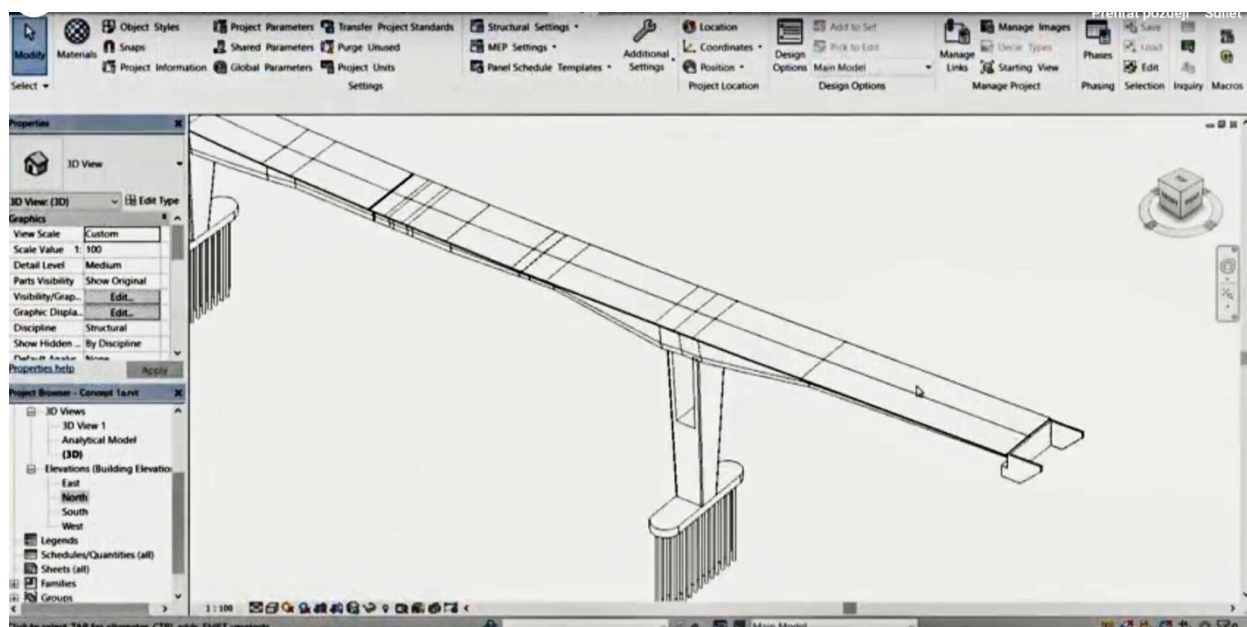
Stavební projekty obsahují, kromě jejich obecně grafické, resp. kartografické, části i řadu návazných výpočtů technického i ekonomického charakteru, jejichž zpracování vyžaduje věcně přiměřenou normativní základnu. V prostředí BIM jde o různé typy datových souborů, z nichž některé mohou být,

<sup>11</sup> zejména s využitím různých typů metadat a interních protokolů, antivirové a antihackerské ochrany, tedy použití šifrování ap.

zejména v případě projektů vyšší obecnosti (DÚR apod.) velmi podobné tradičním ceníkům a normativům, s tradicemi sahajícími až do dob daleko před ASŘ. V případě zhotovitelských projektů jsou ale zpravidla kombinovány s databázemi s grafickým i numerickým obsahem, poskytujícím projektantům nástroje s velmi vysokou produktivitou práce (obr.2). Ovšem za cenu předběžného přípravného i metodického úsilí a prostředků vložených do těchto dat, zhodnotitelných pouze univerzálností jejich použití v mnoha projektech s různou SW podporou a na mnoha různých stavbách.

Odtud plyne mj. i míra jejich závislosti nejen na typu stavby, ale i specializaci stavebníka a jeho požadavcích. Je zřejmé, že správu tohoto typu obecných dat musí zajišťovat přiměřeně kvalifikovaný subjekt. Např. v Británii jím je National Building Specification (<https://www.thenbs.com/>) jako nevládní organizace vytvořená zájmovým sdružením dodavatelů stavebních prací a služeb.

Kromě normativů sloužících k návrhu stavby a obsahujících tedy různé rozměrové, konstrukční, materiálové, ale i cenové charakteristiky jednotlivých komponent a/nebo jejich kompozic, mohou také databáze obsahovat i normativní charakteristiky stavebních postupů (potřeby strojů, kvalifikovaných pracovníků, časové harmonogramy, kontrolní body, opatření BOZP atd.). V takovýchto případech je přirozeně těsnost SW podpory BIM projektu, zhotovitele stavby, stavebníka a správce normativní základny ještě podstatně větší.



Obr.2 Projektování mostu pro potřeby HS2<sup>12</sup> (zdroj[14])

### 3. ZÁKLADNÍ RYSY METODY MODELOVÁNÍ VÝROBNÍCH A PŘÍRODNÍCH PROCESŮ NA ŽELEZNICI V N-DIMENSIONÁLNÍM STAVOVÉM PROSTORU

#### 3.1. Všeobecné zásady

Jak již bylo připomenuto v příspěvku [1], byla teorie vícerozměrných stavových prostorů výrobních procesů různých typů rozpracována v 80.-tých letech minulého století, kdy BERAN v práci [4] zavedl pro potřeby teoretického popisu chování fyzických i právnických osob v abstraktním výrobním procesu n-dimenzionální prostor. V něm, v podobě souřadnicových os, vystupují nejen známé 4 souřadnice reálného světa, ale i vzájemně nezávislé souřadnice vyjadřující další relevantní technické a sociálně-ekonomické veličiny. Vektor obsahující všechny tyto souřadnice popisuje stav určité entity jako bodu stavového prostoru. Realizace různých procesů pak je v něm charakterizována trajektoriemi pohybu sledovaných bodů. Funkční chování entit definují tzv. „elementární části činností“ prvku, které se realizují jediným postupem a nesdružují se s jinými. Úplný prostor realizace činností prvku i je množinou všech jeho

<sup>12</sup> podle sdělení [14] trvá projektantovi začlenění jednotlivého mostního dílu (např. posledního) do koncepčně již rozpracovaného řešení celé mostní konstrukce, cca 2 hodiny

elementárních částí  $\mathbf{i} = (\mathbf{e}_1, \dots, \mathbf{e}_n)$ . Vektor  $\mathbf{e}_q$  všech objemových veličin  $\mathbf{q}_i(\mathbf{t}_i)$ , popisujících zdrojové aktivity elementární části prvku, definuje stav  $\mathbf{s}$  objemové části prvku v čase  $\mathbf{t}_i$ . Podstatná je v této definici prostoru lineární nezávislost jednotlivých veličin, umožňující definovat až ortonormální  $n$ -rozměrný souřadnicový systém.

Trajektorie pohybu sledovaných bodů lze (teoreticky a zpravidla jen v jednodušších případech) popsat i pomocí analytických funkcí. K nim lze dále definovat i jejich derivace různých řádů nebo naopak jejich křivkové (délka trajektorie) nebo plošné (plochy ohraničené trajektorií) integrály. Ty je možné (je-li to z nějakých důvodů užitečné) interpretovat (v případě derivací) nejen jako rychlost a zrychlení v běžném 3D prostoru, ale i mnohem abstraktněji. Např. jako měrnou spotřebu energie na jednotku výkonu nebo inovační potenciál. Ve složitějších případech lze přitom do takového zobrazení zakomponovat i stochastické modely různých procesů. V souvislosti se stavebními konstrukcemi jde třeba o popis jejich stárnutí a opotřebení v závislosti na určených vnějších podmínkách (v daném prostorovém a časovém intervalu). Možností této koncepce tak vedou až ke korektní práci s vhodným matematickým aparátem, kdy lze kromě algebraických funkcí dojít ve složitých případech až např. k parciálním diferenciálním rovnicím, řešitelným např. vhodnou numerickou metodou, použití metod matematického (lineárního i nelineárního) programování nebo stochastického modelování apod.

Je pochopitelně na místě se ptát, jaký je skutečný smysl takových modelů. Základní postupy, např. práce s geometrií kolejové trasy, totiž byly teoreticky propracovány již dávno (viz např. [16] s odkazy na ještě starší literaturu) a znormovány tak, aby byly vyjádřitelné při manuální projektování pomocí jednoduchých empirických vzorců a/nebo tabulek a garantovány např. ve vazbě na zátěže a dynamiku jízdy vlaku v širokém rozsahu aplikací. S těmito normami je dnes synchronizována i celá relevantní předpisová (a dlouhodobě platná a stabilizovaná) základna. Z praktických hledisek je také nezbytné oddělení experimentálních postupů (před jejich schválením k realizaci) od vlastních projektů jako obchodních případů. V nich má význam i jejich rychlost zpracování, a tedy i efektivnost prováděných výpočtů. Představa o řešení nějakých složitých rovnic dynamiky jízdy nových typů vozidel či soukolí ve zcela rutinním rozmezí provozních podmínek v rámci projektů BIM v  $n$ -dimensionálním prostoru, je tak asi lichá. Vrcholový cíl a smysl modelů proto spočívá v simulaci procesů řízení – jaký je výsledek ovlivňování veličin s hlubší úrovní postavení (abstraktní derivace vyšších řádů) na požadované cílové objemové charakteristiky.

Nároky na stavební projekty se ovšem stále zvyšují. Např. stavba skutečně vysokorychlostních tratí bude tak zřejmě vyžadovat i speciální analýzy platnosti v minulosti za standardizovaných podmínek již stabilizovaných postupů, pro podmínky nové. Tedy nových rozsahů zátěží, geometrií, rychlostí, materiálů atd. Lze se však přitom spoléhat, že vše potřebné přijde z ciziny, např. z dokumentací Technických specifikací infrastruktury, které byly pro vysokorychlostní trati vypracovány mezi prvními? Tyto standardy samy o sobě ovšem rovněž mají klasickou podobu a nejsou určeny pro projektování stylem BIM. Nehledě na potřebu jejich lokalizace do vlastních normativních podmínek. Podobných otázek je však víc a souvisejí nejvíc s požadovanou efektivností projekční i stavební činnosti za podmínek stále se zvyšujících nároků mj. i na skutečně dosahované a nabízené ceny ve výběrových řízeních. Použití metody BIM v oboru pozemních staveb je v této souvislosti již v řadě zemí závazné a u nás se k tomu schyluje v horizontu r. 2022. Je ovšem na místě otázka – existují podmínky pro to, aby tento termín platil i pro stavby drah nebo obecněji liniové dopravní stavby?

Je zřejmé, že pro projekty úrovně DÚR a DSÚ, bez dosud přesných podmínek geometrie a technologie stavby, budou pro potřeby veřejné soutěže stále stačit kalkulace prací a materiálů založené na bázi již zavedených projekčních ceníků a normativů (např. [17]) a přibližného popisu, např. objemů odtěžených nebo navezených zemin. Vyšší přesnost prostorového popisu trati, např. zpřesnění 3D aproximace zemních těles, jejíž dosažení není ani v současných SW podporách 3D BIMu zcela triviální, bude asi mít větší význam až v projektech zhotovitelského typu („žlutý FIDIC“, ale spíš při jeho nasazení pro interní účely zhotovitele), které umožní dosáhnout dodavatelské úspory vůči cenám (resp. dalším podmínkám) dosaženým v soutěžích se standardními (tedy méně přesnými) postupy. Z pohledu zhotovitele, při přesné znalosti již potvrzené technologie, tak půjde mj. i o optimalizace různých pracovních postupů. Počínaje lokálním zaměřením tras až po modely přesunů úzkoprofilových strojů mezi stavbami rozmístěnými po celé síti. V takovýchto případech by ovšem byla metoda BIM použita jako optimalizace (bilancování)

využití vlastních kapacit zhotovitele, nikoli primárně z pohledu stavebníka, kterému by mělo jít (kromě ceny), především o kvalitu a rychlost výstavby. Těmto různým požadavkům by se pak měly přizpůsobit i normativní základny a algoritmizace projektů, pracujících (viděno z pozice teorie stavových prostorů) nejen s časem jako 4D a financemi jako 5D, ale i s dalšími rozměry vztaženými dle práce [7] k použité energii, pracovní síle, její kvalifikaci atd.

Naopak, stavebníka (současně v roli správce železniční sítě) by v horizontu celého životního cyklu stavby měly zajímat i dlouhodobé trendy vývoje kvality provozu na dané trati v závislosti na přírodních a dalších relevantních podmínkách, řádově přesahujících dobu její výstavby, zajímavější primárně zhotovitele. A úřední autority sledující na jedné straně podmínky veřejných soutěží a dodávek prací a služeb, a ze zcela jiných pohledů např. i bezpečnost provozu, by měla na stejných BIMovských projektech zajímat jejich srozumitelnost a kvalita vypovídací schopnosti, zaručující souvislost mezi cenou a hodnotou zvoleného parametru (vlastnosti) či jejich množin. To ovšem za situace, kdy je v současnosti problém zajistit, aby byl na stavebním úřadu používán prostý formát pdf jako elektronický (tedy zdaleka nikoli digitální) dokument, místo tradičních krabic s papírem, ale s možností vše řádně orazítkovat a podepsat, zřejmě dost vzdálený a náročný požadavek.

Z uvedeného nástinu aspektů na možné souvislosti mezi n-dimensionálními modely stavební výroby (stavby drážních objektů a technologií) a požadavky a potřebami přinejmenším 3 hlavních subjektů (stavebník, zhotovitel, schvalovatel) vystupujících v různých variantních rolích, plynou výzvy a omezení nasaditelnosti jak vyspělé ICT, tak odpovídajících modelů reality. Je zcela jasné, že možnosti ICT před 30 lety, tedy v době koncipování základů teorie, byly několika řádově menší, než jsou dnes. Na druhé straně, používat vysoce výkonné prostředí ICT klasickými způsoby (tedy jako psací stroj s tabelárními normativy a s grafikou, jejíž nedílnou, ale do databáze přímo nepřenositelnou součástí jsou i všechny projektované kvalitativní a kvantitativní hodnoty) asi rovněž není adekvátní potřebám vládních strategií typu „Digitální Česko“. Jde tedy o postupné dosažení souladu možností, nároků, potřeb a motivací tak, aby metoda BIM skutečně napomohla zvýšení nejen vlastní stavební výroby, ale i dlouhodobé provozní kvality a spolehlivosti realizovaných objektů. A právě z těchto hledisek je potřebné studovat i vztahy mezi možnostmi a vlastnostmi SW podpory BIMovských projektů, s obsahem a formou pasportních evidencí a jejich vzájemných (oboustranně realizovaných) rozhraní dat, které tyto nástroje, využívající některé modely reality, používají.

Smysl studia a použití komplexních n-dimensionálních modelů pak spočívá v tom, že jsou (resp. měly by být) schopny absorbovat klasické, méně rozměrné, ale věcně specializované, modely reality do jednoho celku, umožňujícího vyjádřit dosud nepoužívaná, ale ve svých důsledcích efektivní, srovnání a pohledy na realitu, pokud možno ze společného hlediska většiny relevantních subjektů. Zdaleka přitom nejde jen o prostorové průniky objektů, které vyniknou při 3D vizualizaci 2D návrhů, ale i o konflikty časové, energetické, kapacitní, finanční a další, vycházející z pravdivosti modelu i dat, které do něj vstupují. V tom ovšem, zejména v prostředí celosíťově a dlouhodobě fungujících drah, přerůstá model BIM zúžený na jednotlivou stavbu, do IS celé drážní organizace. Případně až do rozměrů celého odvětví. Tím ale připomíná pokusy o vybudování ASŘ před 40 lety, i se všemi důvody, proč se to tehdy nemohlo podařit<sup>13</sup>. I tyto zkušenosti je proto třeba vzít v úvahu. Zásadní podmínkou přitom je homogenita identifikací entit vystupujících v různých dílčích zobrazeních.

### 3.2. Bezrozměrné modely reality

Klasickým bezrozměrným modelem prostorové reality je jednotlivý bod. První, prostorově zcela neutrální, popis reality ale vzniká již identifikací jejích jednotlivých částí. Zdánlivě jednoduchý postup však v komplexním a dlouhodobě formátovaném automatizovaném prostředí skrývá řadu zásadních problémů, spojených zejména s určením subjektu, pro jehož účely má identifikace sloužit. Jako příklad můžeme použít identifikaci výhybky. Ta dostává své jedinečné číslo (X) již u výrobce. Takováto čísla ale dostávají i některé její části – např. přestavníky, jazyky, srdcovky. Od počátku tedy vzniká elementární, principiálně neprostorová, relace mezi jistým objektem a jeho některými částmi. Identifikace výrobců

<sup>13</sup> nehledě ovšem na nový akcent na ochranu dat před velkým množstvím různých pokusů o jejich narušení



jsou určeny pro speciální účely dlouhodobého významu souvisejícími s regenerací a opravami prvků. Nehodí se však pro potřeby běžného provozu, kde je každá výhybka jako celek jednoznačně identifikována (jako  $V_i$ ) v rámci obvodu platnosti staničního řádu kolejiště, jehož je částí. Při rekonstrukci kolejiště provedené bez změny jeho topologie se toto provozní číslo nemění, i když je výhybka s výrobní identifikací X nahrazena kusem Y. Po repasi kusu X pak může být tato výhybka použita s jiným provozním označením  $V_j$  v jiném kolejišti (obvykle méně zatíženém). V ICT prostředí pak každá entita získává svůj stabilní ID. Jeho vzorem ovšem může být, dle zaměření daného SW modulu, jak hodnota X, tak  $V_i$ . Tak v rámci jednoho SW nástroje vzniká odpovídající UUID, který ale obecně nelze mezi zcela různými a nezávislými SW produkty (např. z Revit do Microstation nebo SAP R/3) přenášet.

Za bezrozměrné lze ovšem považovat i prostorově neuspořádané (např. podle abecedy) seznamy nebo funkční (relační) vazby. Zde je ale třeba upozornit na skutečnost, že se za prostor se všemi důsledky považuje i virtuální prostředí internetu s jeho IP adresami a všemi souvisejícími vazbami.

### 3.3. Modely v prostoru 1D – 3D

Základní 1 rozměrný prostorový model představuje přímka. Jednorozměrný je ale i uspořádaný seznam jinak bezrozměrných veličin. Odtud lze odvodit praktické aplikace, jako jsou systém staničení koleje a popis jeho nepravidelnosti, kladecí plány kolejnic, seznamy dopraven na trati nebo stavebních strojů v lince svrškových prací apod.

Popis koleje, obsahující dva (v zásadě rovnoběžné) kolejnicové pásy upevněné na společné základně (např. pražcovém poli) je však již přinejmenším dvourozměrným zobrazením. Dvourozměrný je i prostorový popis kolejí a konstrukcí výhybek. Nutně dvourozměrný pak je nejen popis směrových poměrů (oblouky s různými typy přechodnic a rozšířením koleje v oblouku), ale i samostatný popis podélného profilu (úseky klesání a stoupání, definice zakružovacích oblouků atd.) koleje. Kombinace obou těchto dvourozměrných pohledů (např. převýšení kolejnicových pásů v oblouku) tak už představuje 3 rozměrný popis. Někdy ovšem zjednodušovaný na „2,5 D“. Tedy 2 rozměrný obraz s kótami do 3. rozměru.

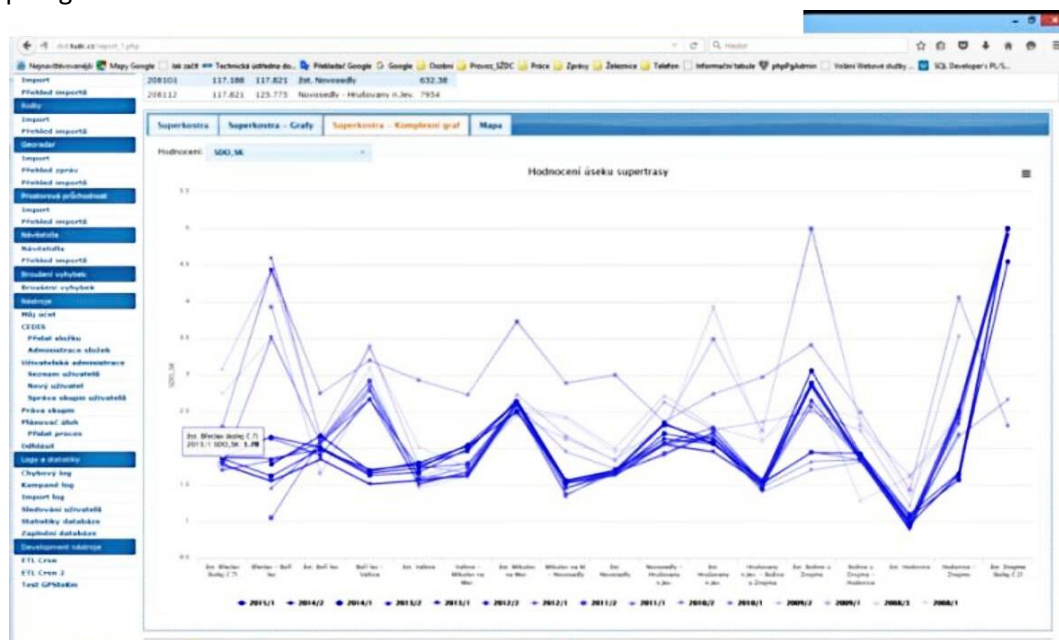
Obecně dvourozměrný je ale i graf závislosti proudu a napětí v trakčním vedení, ztrát při přenosu energie mezi zdrojem (např. trafostanicí) a místem spotřeby (např. pohybující se lokomotivou). Podobných funkčních závislostí je mnoho a lze je dále zobecňovat (např. oceněním ztráty). Speciálním dvourozměrným zobrazením je popis topologie sítě. Takováto zobrazení lze zpravidla bez problémů kombinovat, jejich současné vícerozměrné vyjádření ovšem může přinést nové poznatky (např. závada v tělese železničního spodku se projeví změnou geometrie koleje a o kus dál v důsledku rozkmitání soustavy kolej – drážní vozidlo i opotřebením nebo závadou trakčního vedení).

Zcela 3 rozměrný je kontinuální popis průjezdného profilu trati, podobné vyjádření vztahu koleje a trakčního vedení a zejména popis vrstev pražcového podloží. V praxi se používají normativní řezy, realita měřitelná např. georadarem je ovšem kontinuální. Typicky 3 rozměrnými objekty jsou mosty, tunely, opěrné zdi, nástupiště apod.

Významnější, než prostý rozklad prostorového popisu na jeho samostatně oddělitelné složky je škálování měřítek sledování reality. Metodika railML [18] rozeznává 4 úrovně popisu reality. Pro přesnou správu objektů ji je ale vhodné rozšířit ještě o jeden detailní pohled:

1. **piko úroveň** – sleduje např. opotřebením hlavy kolejnice provozem, vznik vlnkovitosti a dalších závad (např. schelling na bezstykové koleji) měřitelných s amplitudou v řádu 0,001m, délkou vlny v řádu metrů a odstranitelných např. broušením (viz obr. 3), popisy tolerančních pásem pohybů částí výhybek apod.,
2. **nano úroveň** sleduje uspořádání posloupnosti kolejí a výhybek a vztahy mezi kolejnicovými pásy, jejich vzájemné převýšení, průběh změn rozchodu koleje, zborcení atd. – to vše je zjištělné pomocí měřících vozů železničního svršku, případně i spodku a obecně geodetickými postupy s přesností na 0,001m,

3. **mikro úroveň** sleduje geometrii koleje ve větším rozměru (poloměry oblouků, posun osy v příčném směru v závislosti na charakteristikách provozu apod.) s přesností v řádu 0,01m, to se týká i průřezného profilu tunelů, mostů a jiných lokalit a dalších, obecně 3D jevů,
4. **mezo úroveň** sleduje celou kolej nebo trať v daném úseku nebo stanici, rozmístění návěstidel, stožárů trakčního vedení apod., s přesností v řádu 0,1m, je využitelná např. pro sestavu GVD nebo také postupu výstavby a opravných prací, v tomto měřítku jsou sledovány i plochy obvodu a ochranného pásma dráhy, nástupišť a ramp, návazně parcel, obvodů stanic apod.,
5. **makro úroveň** zobrazuje trati v rozsahu 1 – 10m z pohledu globálního (mezinárodní GVD) a topologického.



**Obr.3** Záznam opotřeбенí hlavy koleje měřicím vozem na určené koleji (zdroj SYCHROVSKÝ, [19])

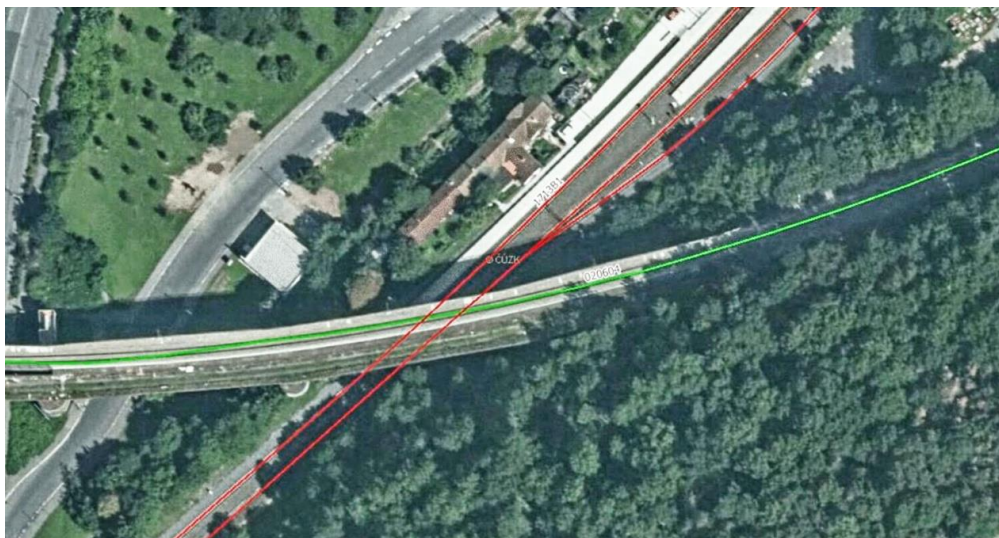
V tomto prostoru mají pojmy „derivace“ a „integrál“ běžný technický smysl (plochy, objemy). Pro modely lze použít i analytické funkce (zpravidla dvourozměrné), aplikované i po částech v kombinaci s lineárními úseky. Pro přesnější účely jsou využívány i modely prostoru pomocí trojbokých jehlanů a jiné známé aproximativní postupy.

Základním nástrojem umožňujícím práci v jakémkoli prostoru je jeho souřadnicový systém. Ten může být v případě 1D dán systémem staničení určené linie (osy koleje ap.) počínaje jistým bodem. V tom jsou ovšem v síťovém uspořádání drah skryty jisté potíže s jedinečností a obecnou nelinearitou osy koleje. Systém staničení může být pro piko až mikro úroveň rozšířen dalšími rozměry do 2D a 3D s lokálním významem. Pro celosíťové použití pak musí být doplněn o další údaje zajišťující jeho jedinečnost. V podmínkách SŽDC se pro tento účel používají jedinečné identifikace části sítě podle předpisu M12 [19] a označení referenční (resp. definiční) koleje, které údaj staničení doplňují.

Všeobecně zavedenými systémy pro práci s prostorovými daty jsou systémy zeměpisné. V současnosti je standardní systém S-JTSK nebo pro družicově orientované úlohy systém WGS-84. Použití těchto systémů s přesností až 0,001m se označuje jako „lokalizace“ (v základním provedení bodu, přeneseně i složitějších objektů). Ekvivalentem zeměpisné souřadnice pro systém staničení je výše popsaná trojice údajů. V zásadě jde o využití systému geokódování, a proto se takovéto určení polohy neoznačuje jako „lokalizace“, ale „umístění“.

Pro korektní práci s 3D daty v prostředí drah je dále nezbytné vzít v úvahu ještě další zvláštnosti historického vývoje definování souřadnicových systémů, které spočívají v rozdílech metriky stavby a železniční sítě v provozním a infrastrukturním smyslu. V původních stavbách jednokolejných tratí tyto systémy splývaly. S rozvojem sítě se však do systému staničení začaly promítat následné stavební úpravy, zejména vyrovnávání oblouků, které vedly mj. ke zkracování trati. Při výstavbě více kolejných tratí pak vznikl problém určení základní osy staničení. To sice (až na výjimky, kdy jednotlivé koleje téže trati mo-

hou mít z důvodů jejich odlišné trasy délky lišící se až o desítky metrů) nebylo podstatné pro potřeby dopravního provozu (metrika vlaku), ale pro stavební účely to nestačilo. Proto byla osa staničení vztažena k určené „definiční“ koleji.



**Obr.4** Mimoúrovňové křížení tratí s definičními úseky 1713B1 a 02604 (zdroj KRUPAŘ, [19])

Za současného stavu sítě tak musí být každá stavba primárně připojena svým referenčním bodem k celostátní geodetické síti a současně vybavena i vlastním systémem staničení. Pro dosažení potřebné přesnosti prostorové polohy koleje se pak státní síť geodetických bodů zahušťuje do podoby železničního bodového pole. Po skončení stavby se určí průběh definiční koleje a v bodech jejího napojení na okolní síť se stanoví hodnoty skoků v systému jejího staničení. Ty mohou činit několik centimetrů, ale i desítek metrů, v případech vytváření sítě z původně samostatných tratí s historickým protisměrným systémem staničení, však může jít až o stovky kilometrů. S těmito (a některými dalšími) nepravidelnostmi systému staničení ale obecně lokálně orientované stavební projekty nepracují (typu BIM už vůbec ne). Jsou však nezbytné pro pasportní evidence zachycující normativní stav celé sítě k aktuálnímu datu od počátku životního cyklu všech jejích prvků (nebo alespoň evidence).

V tomto směru tak existují významné problémy pro harmonizaci dat různých provozovatelů drah, kteří v Evropě užívají mnoho odlišných systémů staničení. To je i jeden z důvodů, proč zatím nelze ani poslední verzi 3.2 metodiky railML, vyvinuté původně pro potřeby dopravního popisu sítě a pracující s obecnou osou os, použít pro přesný infrastrukturní popis geometrie koleje. Ten totiž vyžaduje její zcela přesné určení, protože přenos souřadnic z osy koleje na paralelně vedoucí druhou či další kolej vede v obloucích k chybám určení hodometrické délky v řádu metrů (a to bez ohledu na poloměr oblouku, ale pouze s ohledem na vzdálenost os kolejí  $z$  a rozdíl úhlů začátku a konce oblouku na kružnicích se společným středem  $\varphi < \text{v radiánech} >$  vztahem  $d = \varphi * z$ ).

### 3.4. Modely 4D

Za metodicky stabilizovaný 4. rozměr se v současnosti i v moderní fyzice považuje čas. Ten ovšem může být v podmínkách BIMovských projektů v prostředí drah měřen a vyjadřován velmi různě ve vztahu k jím popisovaným prostorovým a funkčním potřebám. Z hlediska klasické teorie BIM vyjadřuje zpravidla dobu trvání nějakého pracovního postupu či cyklu, měřitelnou v hodinách až dnech. Doby pracovních cyklů a/nebo reakcí instalovaných zařízení se ovšem mohou měřit již v řádu 0,01 sec. Délky životních cyklů stavebních prvků se pak měří na roky až desetiletí, výjimečně mohou být i delší (v případech tunelů, mostů a jiných velkých staveb). Na železnici je přitom nejběžnější konstrukcí s hlavní časovou proměnnou jízdní řád. Ten se ale v souvislosti s metodou BIM uplatňuje většinou pouze nepřímo (např. jako termíny výluk apod.). Něco jiného jsou ale dopady vlastností GVD na vnitřní organizaci práce zhotovitele i provozovatele stavby nebo zařízení. V té souvislosti je ovšem třeba vzít úvahu, že přes shodu fyzikálního průběhu času ve všech systémech je potřebné odlišovat čas kalendářní a grafikonový (jde zejména o určení počátků) od jinak definovaných kontinuálních časových systémů (např. životního cyk-

lus objektu), do nichž se promítají i kalendářní nepravidelnosti. Pak je vhodné použít tzv. juliánské datování<sup>14</sup>.

Pomocí času se ovšem vyjadřuje trvání i mnoha dalších, než jen stavebních, procesů. Kromě procesů spojených se stabilizací stavby (tvrdnutí betonu apod.), tak může jít např. o postup koroze nebo jiných forem opotřebení, v závislosti na teplotě nebo vlhkosti prostředí, provozní zátěži koleje apod. V takových případech je čas chápán většinou kontinuálně se stejným průběhem ve všech časových soustavách. Jsou však i případy, kdy se s časem pracuje nespojitě nebo intervalově. Při sestavě grafikonu je rozeznáván např. budoucí stav trati, což je prognóza jejího stavu zahrnující i procesy výstavby (dle schváleného plánu) v horizontu řádu 10 měsíců. Speciální pozornost přitom musí být věnována průběhu jevů (např. nahodilých závad bezстыkové koleje a jejich oprav) v reálném čase a promítání jejich výsledků do normativně-pasportních evidencí tak, aby z hledisek dlouhodobé správy zařízení vznikla souvislá řada údajů využitelných pro hodnocení proudů poruch a obnov daného zařízení.

Významnou charakteristikou může být i doba odezvy části systému na nějaký jev či signál. Časově formulované funkce tak mají velmi široké pole využitelnosti a mohou být dobře a smysluplně kombinovány jak s prostorovými, tak dalšími rozměry definovaného n-rozměrného prostoru. Derivace prostorových veličin podle času jsou běžnými rychlostmi a zrychlením vývoje sledované veličiny (např. pohybu vlaku nebo postupu výstavby).

### 3.5. Modely 5D

Pátým rozměrem metody BIM je podle [7] vyjádření finančního ohodnocení různých procesů, resp. samostatných finančních toků. Ty mohou mít různou podobu a přesnost, počínaje oceněním materiálu nebo jednotlivého pracovního postupu po celkové náklady na výstavbu a/nebo provedení opravné práce, spotřebu energie apod. Finanční toky přitom mohou být kladné (příjmy – např. za zpoplatnění využití dopravní cesty) nebo záporné (náklady na cokoli smysluplného). V základní úrovni modelů se zpravidla nepočítá se složitějšími postupy úvěrování a úrokování, což ovšem neplatí pro dlouhodobé pohledy na výstavbu velkých celků nebo sledování provozu. Podobně se může zacházet i s nástroji měnovými, zcela výjimečně i složitějšími bankovními operacemi.

Ekonomické modely vytváří svět sám o sobě (např. metody lineárního nebo dynamického programování s cenou jako optimalizovanou veličinou), fungujícími i mimo běžný BIMový projekt. I zde tak má význam universalita identifikací entit stavového prostoru. S ohledem na sociálně-politickou podstatu ceny jako takové však jejich vypovídací úroveň s délkou oceňovaného procesu (nebo vzdáleností do budoucnosti), klesá. Přesto jde o základní výběrové kritérium veřejných zakázek. Proto by měla být nějak garantována kvalita souvislosti technicko-technologické podstaty modelu stavby s cenou. To ovšem nemusí být v projektech s nízkou znalostí a přesností počátečních podmínek (např. geologických při stavbě tunelu) snadno či vůbec dosažitelné. Tato skutečnost pak obecně vnáší nejen prvky neurčitosti do výpočtů, ale i her do vztahů mezi zúčastněnými subjekty.

Podobně jako časové, je i vyjádření obecně ekonomických vlastností reality, velmi rozšířené a variantní. Ovšem i značně subjektivistické. Zvláště v případech, kdy neexistuje spolehlivý tržně fungující regulační mechanismus, nezávislý na jednajících subjektech. Ale právě takové je většinou, z důvodu přirozeného monopolu (jednu trať může smysluplně provozovat pouze jeden subjekt), prostředí na železnici. Modely postupů i cenotvorby pak jsou normativní nebo jinak byrokraticky podmíněné, se všemi důsledky pro jejich věrohodnost. V pojetí n-rozměrného stavového prostoru přitom mají jednotkové ceny charakter derivací průběhu ceny na oceňované veličině. Lze však názorně prezentovat i vyšší derivace cenových funkcí jako trendy růstu jednotkových cen apod.

---

<sup>14</sup> Tato metoda byla vyvinuta pro astronomické účely a vyrovnává průběh kalendářního času bez ohledu na jeho nepravidelnosti v občanském kalendáři. Výpočetní vzorec pracuje s počáteční konstantou 2451426,0347. Např. interval od 11h 51min 2.1.2019 do 24h 0min 31.3.2020 je pomocí prostého odečtení počáteční a koncové hodnoty uvedeného intervalu, vyjádřené ovšem juliánským datem s přesností na minuty, dlouhý 453,506 dnů. A to vč. započtení přestupného roku.

### 3.6. Modely 6D

Jako model 6D se v [7] označuje energetická bilance stavby (objektu). To může být zobecněno na různé pohledy nejen na výstavbu, ale v dlouhodobějším pohledu i na provoz stavby. A to nejen jako její přímá spotřeba (např. tepla), ale třeba i jako přenášený výkon (trakční energie, nepřímo osvětlení apod.) nebo cestou pracnosti údržby. Energetické aspekty výstavby pak mohou zahrnout i výkazy ztrát, dílčí spotřeby energie např. stavebních strojů a dopravních prostředků atd.

Tyto modely lze velmi smysluplně kombinovat se všemi předchozími způsoby zobrazení stavového prostoru.

### 3.7. Varianty modelů více než 6 rozměrných

Za model 7D se někdy vydává sledování tzv. facility managementu (FM), zahrnujícího řadu provozních funkcí zajišťovaných různými instalacemi a drobnými zařízeními (regulace a měření, vodovody apod.). To je však jiný pohled na stavbu a její provoz. Oproti předchozím rozměrům, které lze chápat jako skutečný vícerozměrný prostor, FM tuto možnost nedává. Spíš tak lze toto pojetí považovat za popularizační až marketingové.

Skutečné rozšíření rozměrů modelu v dosud diskutovaném směru je užitečné hledat mezi fyzikálně technickými, ale i chemickými parametry stavby v interakci s podstatným okolím. Může jít např. o:

- souhrnné provozní zatížení konstrukce sledované v souvislosti s jejím opotřebením – takovéto zatížení, ovlivňující např. určení řádu koleje či trati, se může měřit např. v tunokilometrech nebo vlakových kilometrech, vyjadřujících různé charakteristiky provozu, evidovaných během určitého časového intervalu,
- charakteristiky přírodních podmínek dané lokality, zejména vlhkost a teplota, rovněž ovlivňující stárnutí a opotřebením materiálů,
- charakteristiky rozložení vrstev geologického (nebo přímo pražcového) podloží vyjádřené např. v metrice jeho mechanické nebo chemické stability,
- rozložení intenzity pole (napětí) bludných proudů ovlivňující korozi a funkce kolejových obvodů.

Ve všech takovýchto případech má smysl jak jejich vlastní hodnota (teplota, tlak, napětí apod.), tak jejich prostorové a časové rozložení. V případě destruktivních účinků lze dále doplňovat i ekonomické charakteristiky různého typu, což v souhrnu umožňuje formulovat souhrnná kritéria optimality údržby a další podobné charakteristiky.

Výše uvedený krátký seznam možných fyzikálně-technických charakteristik staveb (výstavby a provozu) je ovšem pouhým začátkem možností definování dalších smysluplných rozměrů. To se zejména týká přechodu od technické do sociálně-ekonomické interpretace. V takovém případě se může jednat např. o přímé vynaložení práce na výstavbu či údržbu, její souvislosti s kvalifikací zaměstnanců, bezpečností a dalšími aspekty. V těchto případech jde však spíš o využití komplexního vícerozměrného modelu ve vnitřní ekonomice a řízení podniku (správce nebo zhotovitele dané stavby či zařízení), než stavebního projektu typu BIM.

### 3.8. Modely technologických postupů

Ve výše popsaném n-rozměrném stavovém prostoru se pohybují (vstupují do různých funkčních vztahů a relací) různé aktivní i pasivní entity. Zaměstnanci, stroje, samotné konstrukce, charakterizované svými vlastními parametry (hmotností, rozměry, chemickým a konstrukčním složením, cenou atd.). Některé z těchto vlastností lze přímo srovnávat s některými z rozměrů stavového prostoru, některé mají spíš charakter parametrů (např. konstrukční typ výhybky nebo parametry koleje s daným tvarem svršku). Modelově relevantní vlastnosti těchto entit vstupují do modelu formou kmenových souborů, které mohou být složitě strukturovány. Mezi kmenovými soubory a rozměry stavového prostoru přitom není pevná hranice. Co je z jednoho pohledu považovatelné za stabilní rámec, je z jiného pohledu veličinou

s proměnlivým stavem, závisícím na stavech jiných entit. Konstrukce tohoto typu jsou proto vždy účelové.

Do takovýchto vztahů ovšem vstupují i celé soubory uvedených entit – pracovní kolektivy, technologické postupy a jiné funkční systémy. I ty musí být identifikovány a postaveny do vzájemně určených relací a funkčních vztahů. Příkladem může být zobrazení (resp. sestavení a optimalizace) harmonogramu pokládky koleje, pro niž existují tři základní varianty s různými nároky na zdroje: ručně, pomocí předmontovaných kolejových polí a jako strojně provedená kontinuální pokládka (realizovaná např. společně s čištěním kolejového lože strojem typu SUM).

V prvním a posledním případě jsou vstupem do procesu jednotlivé kolejnice, pražce a další součásti (drobné kolejivo atd.), které musí být na místo pokládky nějak samostatně dopraveny. V tom se však vzájemně liší první a třetí varianta, protože vlak se strojem typu SUM si veze nové díly i vytěžený odpad sám. Ve druhém případě ale vzniká zcela nová entita. Kolejové pole je sice vyrobené ze stejných elementů, s nimiž pracují i ostatní varianty, ale na prostorově oddělené montážní základně, s jinou spotřebou práce, energie a dalšími parametry výrobního procesu. Vlastní pokládka pak je realizována speciálními stroji (pokladači) a i doprava smontovaných polí na místo určení probíhá jinak než ve variantách 1 a 3.

Takže, přestože je výsledek všech tří procesů stejný, jsou sledované entity i jejich trajektorie ve stavovém prostoru zcela jiné. K vyjádření vlastního postupu prací v místě stavby pak lze použít např. Ganttův diagram, jiné specializované nástroje pro optimalizaci dopravy a celkovou organizaci práce, sestavu obnovovacího vlaku, umístění jeho částí v přílehlých dopravních apod. K tomu je ovšem možné použít i vícerozměrný stavový prostor a v něm případně prověřovat i možné inovativní postupy.

Podobné specializované modely nad stavovým prostorem lze aplikovat i na postupy diagnostiky a další činnosti zahrnované do okruhu teorií hromadné obsluhy. Je tak jen věcí formulace kritérií optimalizace (cena prvku x náklady na realizaci akce x spolehlivost systému), zda je vhodnější tak elementární operaci, jakou je výměna žárovek, lépe provést vždy individuálně po vzniku každé poruchy zvlášť nebo to provést hromadně a preventivně (např. na všech návěstidlech trati nebo stanice) bez ohledu na to, zda je daný kus s jistou životností aktuálně ještě funkční nebo ne. Takto vyřazené funkční kusy však lze stále ještě použít na méně exponovaném nebo bližším místě. I zde se tedy uplatní některé vlastnosti komplexního prostorového modelu, k němuž jsou ovšem účelově připojeny další data a funkční algoritmy.

#### 4. ZÁVĚRY

Uvedený stručný popis některých vlastností železničních staveb ukazuje jejich významné odlišnosti od staveb pozemních a obecně inženýrských. Tato specifika vychází zejména z funkčního propojení omezeného a specializovaného okruhu dodavatelů se správci drah, což vytváří jeden technicko-ekonomický komplex omezující mj. i okruh účastníků veřejných soutěží. Technické a bezpečnostní požadavky provozu drah současně již dávno vytvářejí nároky, k nimž se pozemní stavitelství teprve začíná blížit až v současnosti, např. moderními koncepty typu „SMART City“ a uplatněním dalších „chytrých“ technologií (např. i telematických).

Z uvedeného popisu n-rozměrného stavového prostoru plyne, že v 80. letech minulého století mohly být formulovány pouze jeho abstraktní teoretické základy. Ty jsou v praxi dosažitelné až současnými prostorově a internetově orientovanými komplexními databázovými systémy s různým zaměřením. Smysl uvedené teorie tak spočívá především v metodické akcentaci na jednotný popis celého stavového prostoru, počínaje identifikací všech relevantních entit. Za situace využití různých SW nástrojů, zahrnujících jak technické, tak administrativní postupy, proto pro takovouto identifikaci nestačí technika UUID jednotlivých SW produktů, ale je nutný návrh vhodného systému základních identifikací stabilizovaných stavebně pro dlouhé časové období a režimů konverzí na jednotlivé, v praxi potřebné popisy sítě (viz např. [20, 21]). Nezbytné legislativní předpoklady pak musí být vytvořeny celým komplexem úprav stavebního práva, končícím až u vyhlášky [22] a na ní navazujícími vnitropodnikovými předpisy.

Tomuto vývoji musí dále vyhovovat i ICT prostředí. Z předchozího výkladu je zřejmé, že formát IFC [23] normativně určený pro projektování, má své plné uplatnění zejména v pozemním stavitelství. Jeho

využití pro stavbu drah bylo navrženo např. v Číně (systém CRBIM), ale za podmínek dost odlišných od našich (podrobněji viz [24]). Jednotný prostorový popis drah přiměřený diskutovanému n-rozměrnému stavovému prostoru přitom v současnosti neexistuje a chybí i legislativa, která by ho vyžadovala, resp. podporovala.

Existují však záměry postupně dotvořit pro účely tvorby rozhraní mezi relevantními odvětvími formát railML. Realizace této myšlenky i pro potřeby stavebních projektů zatím vážně na tom, že ani verze railML 3.2 zatím nepracuje s přesně definovaným vztahem mezi osou koleje a určenou definiční a/nebo referenční kolejí. Pokud by byl tento problém vyřešen i pro normativně zavedené prostředí IFC (vhodné více než railML např. pro popisy normativních základů) jako jednotné i pro železniční projekty, bylo by tuto bázi možné použít i pro převody dat z projektů DSPS do pasportů příslušných odvětví správ drah. Pokud by přitom některá z podmínek nebyla přímo splnitelná, bylo by nutné zavést ještě další převodník. Jde tak o realizovatelný a nadějný postup, ovšem realizovatelný, i s velkým úsilím, až hodně dlouho po horizontu r.2022.

## LITERATURA

- [1] ČÍHAL, Robert; (2017) *Prostorový popis infrastruktury železnic a možnosti použití metody BIM při projektování železničních staveb*, TUO – VŠB Ostrava, GIS Ostrava, ISBN 978-80-248-4029-1
- [2] kol. *Dokumenty 4. konference BIM ve stavebnictví* (2018) dostupné z <https://www.mpo.cz/cz/stavebnictvi-a-suroviny/bim/konference-bim-ve-stavebnictvi-2018--238346/>
- [3] EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael. (2011) *BIM Handbook*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. Dostupné online. ISBN 9780470261309, ISBN 9780470185285.
- [4] BERAN, Václav; (1982) *Teorie řízení a navrhování výrobních procesů*, ČVUT Praha
- [5] kol. *Věcný záměr rekonstrukce veřejného stavebního práva* (2018) Hospodářská komora České republiky, Praha
- [6] *Koncepce zavádění metody BIM v ČR* (2017) usnesení vlády č. 682, dostupné např. z <https://www.mpo.cz/cz/stavebnictvi-a-suroviny/bim/>
- [7] DUFEK, Zdeněk a kol. ;(2018), *BIM pro veřejné zadavatele*, Leges, Praha, ISBN 978-80-7502-285-1
- [8] ČÍHAL, Robert; STRÍTESKÝ, Lukáš; ČERMÁK, Miloslav; (2018) *Analýza současného stavu využití BIM a návrh koncepce řídicího informačního procesu pro úspěšné zavedení BIM do procesu přípravy a realizace staveb v podmínkách SŽDC*, ITS Group s. r. o, Praha
- [9] Zákon č. 266/1994 Sb., o dráhách, v aktuálním znění
- [10] SŽDC SR103/1(S) Seznam vzorových listů železničního svršku
- [11] VTP/PD/03/15 Všeobecné technické podmínky Přípravná dokumentace stavby, SŽDC Praha, srpen 2015
- [12] ŽÁK, Josef, a kol.; (2018) *Společné datové prostředí – Common Data Environment (CDE)*, Expertní výkonný tým SFDI pro BIM, Praha
- [13] KLEE, Lukáš, a kol.; (2018) *Metodika BIM protokolu pro smluvní standard FIDIC*, Expertní výkonný tým SFDI pro BIM, Praha
- [14] ŠAFÁŘ, Václav, a kol.; (2018) *Návrh plánu realizace BIM*, Expertní výkonný tým SFDI pro BIM, Praha,
- [15] KERBEY, J.; (2018) *Use of BIM in a Collaborative Environment*, konference „Příprava výstavby britské vysokorychlostní železnice HS2 s využitím BIM“, Praha
- [16] NEDVĚD, R.; (1952) *Železniční oblouk* Průmyslové nakladatelství, Praha
- [17] Cenové databáze SFDI – výběr
  - b) Oborový třídění stavebních konstrukcí a prací železničních staveb
  - c) Sborník pro údržbu a opravy železniční infrastruktury URS Praha
  - e) Sborník pro oceňování železničních staveb ve stupni studie proveditelnosti dostupné z: <http://www.sfdi.cz/pravidla-metodiky-a-ceniky/cenove-databaze/>
- [18] IRS 30100 *International Railway Solution RailTopoModel – Railway infrastructure topological model*, 1st edition 2016-9, International Union of Railways (UIC) – Paris, 2016 dostupné z: <https://eshop.normservis.cz/norma/uic-30100-1ed--1.9.2016.html>

- [19] Předpis SŽDC (ČD) M12 o jednotném označování tratí a kolejišť v IS ČD
- [20] kol. *Kategorizace tratí: Systém evidence a číslování*, Závěrečná zpráva Projektu Deloitte Central Europe Aviation and Transport Services 2015
- [21] kol. (2019) *Prezentace semináře „Popis sítě SŽDC“*, Praha, Národní technologická platforma IZI
- [22] Vyhláška č. 146/2008 Sb. o rozsahu a obsahu projektové dokumentace dopravních staveb
- [23] EN ISO 16739 *Datový formát Industry Foundation Classes (IFC) pro sdílení dat ve stavebnictví a ve facility managementu*, viz: <https://csnonline.agentura-cas.cz/vysledky.aspx>
- [24] ČÍHAL, Robert; (2018) *Výhybky a výhybkové konstrukce jako objekt modelování v rámci projektů typu BIM*  
Vědeckotechnický sborník ČD č. 46/2018, ISSN 1214-9047

### Seznam zkratek

zkratka	význam
ASŘ	automatizovaný systém řízení
BEP	BIM Execution Plan
BIM	building information modeling
BOZP	bezpečnost a ochrana zdraví při práci
CDE	Common Data Environment
ČAS	Česká agentura pro standardizaci
DSPS	dokumentace skutečného provedení stavby
DÚR	Dokumentace pro územní rozhodnutí
FIDIC	Fédération Internationale des Ingénieurs-Conseils
FM	facility management
GVD	grafikon vlakové dopravy
HS2	High Speed Two (vysokorychlostní trať Velké Británie)
ICT	Information and Communication Technologies
IP	číslo, které jednoznačně určuje počítač v rámci sítě www
IS	informační systém
JSEP	Jednotný systém elektronických počítačů
pdf	portable document format - přípona datových souborů
railML	verze jazyka GML pro použití na železnici – výsledek práce konsorcia railML®
S-JTSK	souřadnicový systém „Jednotné trigonometrické sítě katastrální“ v Křovákově zobrazení
SFDI	Státní fond dopravní infrastruktury
SMEP	systém malých elektronických počítačů
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty, státní organizace
SW	software
UUID	Universally Unique Identifier
WGS-84	World Geodetic System z r. 1984