



Получена: 19.08.2023 г.

Приета: 04.09.2023 г.

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦИЯ В ХИДРОТЕХНИКАТА: РАЗВИВАНЕ НА BIM С ЕЛЕМЕНТИ НА ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ

М. Маврова-Гиргинова¹

Ключови думи: BIM, Deep Learning, хидротехника

РЕЗЮМЕ

Преходът на строителството от аналогова към дигитална парадигма се осъществява бавно. В статията се подчертават факторите за развитието на строително-информационното моделиране (BIM), основните му характеристики и ползите от прилагането му в областта на хидротехниката. Предлага се методика за изграждане на BIM на ХТС с разработен пример: проект на корекция на река в населено място. В инфраструктурното инженерство и управлението на водните ресурси характеристиките на строителната площадка и строителните методи оказват голямо влияние върху процеса на проектиране. В дигиталното строителство, с развитието на BIM и съпътстващи BIM технологии, съоръженията ще могат да се проектират и изградят паралелно, тъй като ще има възможност промените, провокирани от изпълнението на обекта, да повлияят на процеса на проектиране в реално време. Като пример за подобно развитие на технологията се правят експерименти с изкуствен интелект за създаване на Deep Learning модел, който да верифицира от хидравлична гледна точка в реално време промените в проекта на хидротехническата част, наложени от общото развитие на BIM проекта в другите му части. Резултатите показват успешно съвместно приложение на Deep Learning алгоритми с BIM в хидротехниката. Дадени са някои методически препоръки за разработване на интегрирани с BIM инструменти за хидротехника.

¹ Мария Маврова-Гиргинова, доц. д-р инж., кат. „Хидротехника и хидромелиорации“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: margir_fhe@abv.bg

Въведение в контекста

Световната икономика се развива скокообразно и причина за всяка от т.нар. технологични революции е откриването на нова технология, технология с общо предназначение:

I Индустриална революция ← Парната машина;

II Индустриална революция ← Електричеството;

III Индустриална революция ← Транзисторът (като предшественик на персоналния компютър);

IV Индустриална революция ← Информационните и комуникационните технологии.

„Преди един милиард часа се появява съвременният *Homo sapiens*. Преди един милиард минути започна християнството. Преди един милиард секунди е пуснат на пазара персоналният компютър на IBM. Преди един милиард търсения в Google... беше тази сутрин.“ пише Hal Varian [1]. Скоростта се увеличава. Четвъртата (кибер) революция е не просто интегрирането на цифрови технологии във всички области на човешка дейност, тя е културна промяна. Носителите на музика са цифрови файлове; DVD дисковете се заменят със стрийминг от интернет, книгите се заменят с електронни. Ние преминаваме от нагласата за „притежание на физическо копие“ на данните, към времето, в което притежаването на „достъп“ до данни, информация и услуги ще се превърне в норма [2].



Фиг. 1. „Данните са новият петрол“ пише The Economist
(източник: The Economist, May 2017)

Във фазите на обучение и проектиране в строителството се отделя все повече внимание на обектното моделиране и симулацията [3, 4]. Комуникацията чрез социални мрежи и уебсайтове се увеличава, което улеснява партньорството, онлайн общностите, използването на приложения за разпространяване на информация и обучение. Проектирането и строителството [5,6] вече се осъществяват чрез цифрови модели, а информацията все по-често се съхранява онлайн и е достъпна от разстояние за основните участници и сътрудници [7 – 10]. Информацията става все по-персонализирана и удобна, като конкретните нужди и изисквания на всяка страна в производствената верига „филтрират“ резултатите [11, 12]. В развитието на технологиите [13] и софтуера се налагат формати с отворен код, които да не бъдат обезценени, т.е. да изгубят приложимостта си в

бъдеще, в целия жизнен цикъл на обекта. Защото строителните данни, преминаващи през жизнения цикъл на обекта, предлагат огромна потенциална стойност за клиента както при строителството, така и при поддръжката и експлоатацията на съоръженията [14 – 16]. Такъв ще бъде обхватът на Дигиталната революция в строителството – вълната се надига и като начинаещи сърфисти следва да опитаме да я хванем възможно най-рано, за да не е прекалено стръмна.

1. Концепцията на BIM

Идеята за параметричните обекти е фундаментална за разбирането на BIM. Параметричните BIM обекти се определят по следния начин:

- Състоят се от геометрични дефиниции и **свързани с тях данни и правила**.
- Геометрията не допуска несъответствия. Обектът е в 3D. Размерите са контролирани и не могат да бъдат „фалшифицирани“ [17].

BIM обектите работят в модели „проблем-решение“: например за автоматична корекция на свързаните геометрии, когато в модела се вмъкне нов обект. При дефиниране на обекти могат да се ползват различни нива на обобщение; обектите да се управляват на произволен брой йерархични нива. Правилата на обектите могат да идентифицират кога дадена промяна нарушава изпълнимостта на обекта по отношение на размери, възможност за производство и т.н.

Обектите имат възможност да се свързват със или да получават, излъчват или експортират набори от атрибути, например материални, физични, акустични, енергийни данни, и други подобни, към/от други приложения и модели.

Възможностите на параметричните технологии и инструменти за BIM, както и потенциалните ползи за различните участници в процесите, включително собствениците на съоръженията, са дискутирани от редица автори [8, 17].

2. BIM в Хидротехниката

Прилагането на информационно моделиране за интегриране на големи обеми данни и за анализ на данни при инфраструктурни обекти, например в хидротехниката, все още не е разпространена практика.

На хидротехниката BIM обещава редица предимства: лесно внасяне на промени в проектното решение и ограничаване на грешките в процеса на проектиране, бързо и точно оценяване на количествата и строителните разходи; за структурния анализ и др., напр. хидравлични, модели да се използва наличният 3D модел и неговите атрибути; да увеличи качеството на създаваните документи; да създаде нов стил на работа в група от географски отдалечени екипи, които да обменят и съхраняват данни чрез облачни технологии. BIM системата от методи, принципи и правила следва да се интегрира съобразно процесите, характерни за различните фази от живота на ХТС, с методите, принципите и правилата, специфични за хидротехниката.

Основните BIM обекти в хидротехниката, в системите за водоснабдяване, напояване и хидроенергетика, ще бъдат най-често земните язовирни стени и съоръженията им, бетоновите язовирни стени и съоръженията им, водноелектрически централи, помпени станции, сифони, напорни тръби, тунели, водостоци, преливници, канални системи, корекции на реки и др. Те са разположени на терени с различна

надморска височина, климат и хидрология, топография и разнообразна геология. Процесът на BIM в хидротехниката следва да изпълнява всички задачи, от една страна в съответствие със строителното законодателство, неговите норми и процедури, а от друга – продуктът на проектирането трябва да бъде BIM модел, достатъчно подробен, за да гарантира, че в следващи стъпки може да бъде използван, допълван и развиван.



Фиг. 2. Развитие на информационната пирамида в BIM

BIM следва да бъде прилаган в целия жизнен цикъл на обекта. Проект, който е приложил BIM в етап на проектиране, ще създаде предпоставка за прилагане на BIM в следващите стъпки – в процеса на изпълнение на строителството и в развитието на BIM като платформа за управление на жизнения цикъл на съоръжението (фиг. 2).

3. BIM & Deep Learning

В литературата се откриват ограничен брой публикации, които свързват методи на изкуствения интелект като изкуствени невронни мрежи или Deep Learning с технологията BIM. В [18] е предложен подход с невронна мрежа за оценка на разходите и ползите, свързани с внедряването на информационно моделиране на сгради (BIM) във фирмите. Това включва определяне на приложенията на BIM и ресурсите, необходими за достигане на определено ниво на детайлност в генерираните модели. Предложената невронна мрежа е обучена въз основа на данни, събрани от австралийски и китайски строителни фирми чрез 7-точков въпросник и предоставя на лицата, вземащи решения, инструмент за оценка на това кои приложения с BIM/без BIM да бъдат внедрени.

Подобряването на ефективността на енергоспестяването при предпоставката за повишаване на човешкия комфорт е проблем, който [19] решава със система, базирана на информационен модел на сградата (BIM) и изкуствена невронна мрежа (ANN), за решаване на този проблем.

Едно от основните предимства на BIM е възможността за подобряване на процеса на вземане на решения, благодарение на извършването на тестове „какво ще стане, ако“ върху цифрови двойници на обекта, който трябва да се реализира и по-специално свързването на BIM моделите с енергийните модели на сградата. Работата [20] автоматизира процеса и използва ANN за ускоряване на създаването на набори от данни.

С все по-широкото навлизане на информационното моделиране на сгради са разработени специализирани приложения за извършване на типични за областта анализи. BIM и Industry Foundation Classes (IFC) осигуряват обмена на семантични данни. Подтиповете за отделните елементи обаче не са представени по подразбиране и често изискват ръчно определяне, което ги прави уязвими за грешки и пропуски. В изследването [21] е проучено използването на 3D Deep Learning невронни мрежи, произхождащи от изследванията на компютърното зрение. По-конкретно са изследвани Multi-view CNN(MVCNN) и PointNet, за да се определи тяхната приложимост при извличането на уникални характеристики на подтипове на елементите врата (IfcDoor) и стена (IfcWall) и на свой ред да бъдат използвани за автоматизиране на класификациите на подтипове. Изследването потвърди, че дълбоките невронни мрежи са добро решение за разграничаване на подтиповете на BIM елементите.

Приложения в дигиталното хидростроителство засега не се откриват.

А къде да ги търсим? Безспорно, мястото „на терен“ на моделите на изкуствения интелект и в частност на Deep Learning моделите (ANN) следва да се търси там, където технически системи наблюдават околната си среда, получават данни, преработват ги, анализират ги, управляват и контролират дейности, свързани с постигането на конкретна цел, но и не само там – функционалността в управлението на BIM разкрива много нови възможности за автоматизация на процеси, симулации и генериране на данни и др., т.е. още места, където да се намесят ANN. Ето примери:

- В проектирането – при първоначално заснемане/проучване на условията във водосбора и на площадката; последователни проучвания при паралелно проектиране и изграждане; но също така при разработка на варианти, цифрови близнаци, генериране на данни и др.
- В строителството – за регистриране на напредъка; безопасност на труда; автоматизиране на някои дейности като детайлно наземно заснемане на терена, изпълнение на изкопни работи и др.
- В техническата експлоатация – при диагностика на състоянието, което включва наблюдения, измервания и анализ за техническа диагностика на състоянието; но също така планиране на ремонти по видове работи, обем и време; сравнителен анализ на ефективността на варианти за ремонт и др.
- В стопанската експлоатация – наблюдения и анализ с цел управление на икономическата ефективност в различен контекст; при язовири например, решенията са подчинени на условията за безопасност на населението и др.
- В защита на населението – управление на природни рискове и рискове, свързани с техническата инфраструктура в BIM контекст, в нормални и извънредни условия, идентификация на опасностите, праговете, потенциалните щети, сравнителен анализ на сценарии и др.

В хидростроителството и управлението на водните ресурси, характеристиките на строителната площадка и строителните методи оказват голямо влияние върху процеса на проектиране. В дигиталния им вариант и с развитието на BIM и съпътстващи BIM технологии, съоръженията ще могат да се проектират и изграждат паралелно, тъй като има възможност промените, провокирани от изпълнението на обекта, да повлияят на процеса на проектиране в реално време и да бъдат верифицирани.

Настоящата работа предлага методика за изграждане на BIM на ХТС, показана чрез пример за корекция на река в населено място и съвместната работа на BIM с малък Deep Learning модел.

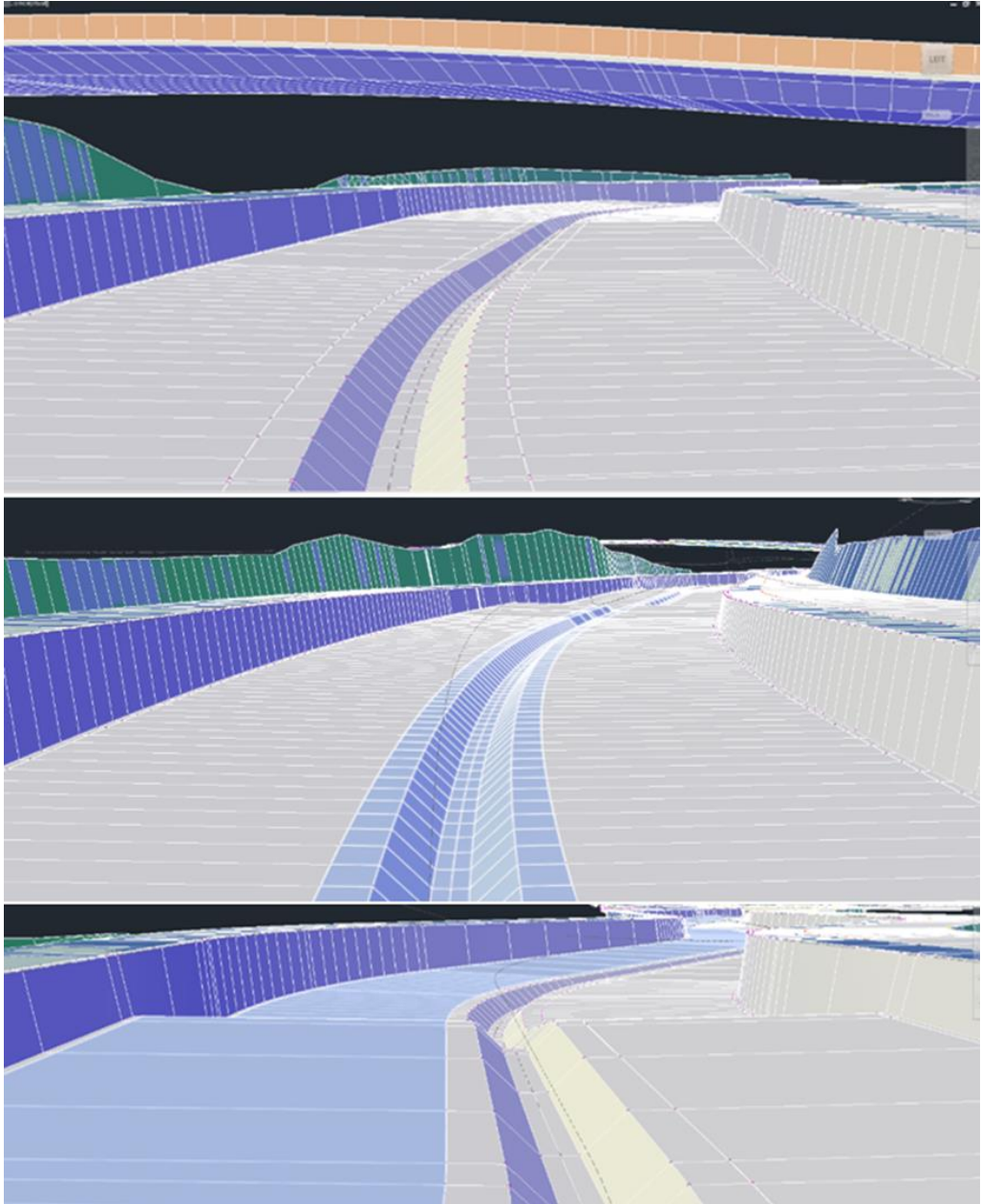
4. Корекция на река Банишка, фаза Проект

На територията на район Младост, София, са проучени условията за корекция на река Банишка. Направен е анализ на хидроложките условия, въз основа на регионални зависимости. Определени са ср. многогодишно водно количество, ср. максимални и максимални водни количества с обезпеченост 0,1 %, 1 % и 5 %. Настоящият пример е за концепция за корекция на река Банишка, с цел да се подобри пропускателната способност на реката, да се предпазят прилежащите терени от вредното въздействие на водата и да се осигурят условия за реализиране на обекти от техническата инфраструктура. При голяма разлика във водните количества при ниски и високи води, за да се избегне лъкатушене на течението, отлагане на наноси и обрастване, корекцията се предвижда със съставен, двойно-трапецовиден профил. Ниските води се провеждат от кюне, а високите води се провеждат в голямото съставно двойно трапецовидно корито. В надлъжен профил естественият наклон на реката е следван, като където е по-голям от подходящия за корекцията, се предвижда да се изградят прагове с височина от 1 до 1,60 m. Предвидени са прагове преди мястото на заустване на прелели води от дъждовна канализация и след мостове. Подпорните стени на голямото корито на корекцията са бетонови. В десния бряг е предвидена вело- и пешеходна алея.

• Разработка на BIM и взаимодействие с HEC-RAS

Процесът започва със създаване на 3D цифров модел на терена от ГИС (Bing maps, Google Earth) или геодезическо заснемане. В случая разполагахме с геодезическо заснемане. След това проектантите пристъпват към съгласуване на работите по проектиране с другите специалности – Пътна, ВиК и вертикална планировка (в примера) и др.; избор на вида на конструкцията, определяне на най-основните параметри на проекта в 3D модела (Infraworks, Civil 3D, Revit, Tekla). Примерът за BIM модел на корекцията на реката е изпълнен в среда на Civil 3D. Това позволява гъвкаво изследване на варианти при промяна на трасе, вертикален профил или напречно сечение в динамичен режим, благодарение на апликацията DYNAMO for Civil 3D. Промени може да се наложат при търсене на подходящо решение съвместно с другите специалности по отношение на нивелети, връзки с техническа инфраструктура и теренни особености. Създадени са персонализирани асембли-та, съобразно проектното решение. Построен е коридор и са генерирани всички необходими повърхнини. Изведени са автоматично количествена сметка за изпълнение на съоръжението и чертежите.

DYNAMO for Civil 3D управлява цялата информация за теренни повърхности и за елементите на проекта за корекция на реката като параметрични обекти. Обръща се към HEC-RAS, за да се създаде и симулира 1D хидродинамичен модел на системата при провеждане на оразмерителните водни количества. Въведени са грапавини, съобразно морфологичните характеристики на съставния профил на корекцията. Проектното сечение трябва да бъде устойчиво, да не се получават изравнения (на дъното и бреговете) и да не се затлачва. В хидравличното оразмеряване при приети наклони на откосите, надлъжен наклон и грапавини на елементите на коритото, се прилага подходът „оразмеряване по гранична неизравняща скорост“. Посредством 1D хидродинамично моделиране се определят параметрите на живото сечение в речния участък. Получените скорости се сравняват с граничната неизравняща скорост за приетите видове облицовки и получените дълбочини. Голямото корито е оразмерено за водни количества при висока вълна с повтораемост веднъж на 100 години и е проверено за провеждане (до kota било оградна стена) на водните количества при висока вълна с повтораемост веднъж на 1000 години. Малкото корито е разчетено за провеждане на водно количество, два пъти по-голямо от средно-многогодишното водно количество.



Фиг. 3. VIM на корекция на река Банишка, Civil 3D

- **Мотивация за експеримента с изкуствени невронни мрежи**

В обхвата на проекта има проблемен участък между съществуващ мост и търговски център, разположен на 520 m надолу по течението, участък, в който под реката преминават и подземни комуникации. В този участък има спор между заинтересованите

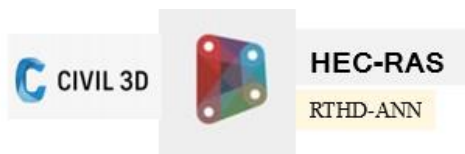
страни. След общественото обсъждане на проекта се очакват промени – архитектът да измести улица, да скъси паркинг и т.н. което да доведе до промени, например във ВиК мрежата: измества се мястото на включване на отливна тръба в реката.

Така възниква идеята за малък хидравличен модул RTHD (Real-Time Hydraulic Design), който в реално време да отговори дали предложеното от ВиК място на отливна тръба би било гарантирано срещу заливане на кота на преливния ръб на страничния преливник в канализационната мрежа от средните високи води (ср. ВВН) в корекцията посредством изместване на праг на зададено отстояние преди включване на тръбата, като определи височината му. И ако отговорът е „Да“, нека Dynamo for Civil 3D да обнови BIM с данните за ново място и нова височина на изместения праг и да се обърне към HEC-RAS за пълно хидравлично решение. Ядро на малкия хидравличен модул е една изкуствена невронна мрежа.

5. Deep Learning експеримент и резултати

Като представител на информационните технологии, изкуствените невронни мрежи (и в частност дълбоките невронни мрежи) са едни от най-добрите и широко използвани инструменти при разработването на модели за бързо прогнозиране в различни области. С помощта и за целите на BIM на корекцията на река бяха направени експерименти за създаване на MATLAB Deep Learning модел, който, симулиран в реално време, да прави хидравлична проверка и предложение за изменение в проекта, предизвикано от ситуационна промяна в частта по ВиК.

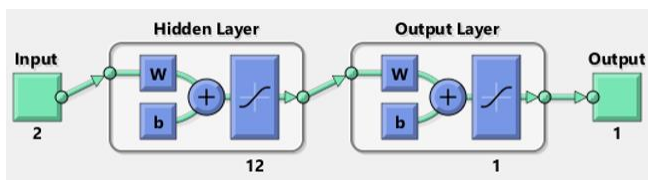
За целта бе определен набор от параметри: P1 Километраж, P2 Кота преливник, T1 Височина на прага и T2 Отстояние. След като беше определен наборът параметри, които представляват интерес, 420 комбинации от тези параметри бяха последователно приложени към BIM модела в Autodesk Civil 3D с помощта на Civil 3D .NET API-Dynamo for Civil 3D. Автоматизирането на промяната на различни параметри в Civil 3D с помощта на Python чрез Dynamo е възможност, която позволява да се взаимодейства със софтуера чрез скрипт. Dynamo for Civil 3D комуникира и с HEC-RAS, като обменя геометрични и параметрични данни за 1D хидродинамичния модел на всеки текущ вариант. Генерирането на данни от симулации с моделите HEC-RAS за запазване на изкуствени невронни мрежи приключва при спазени изисквания за непревишаване на неизравнящата скорост.



Фиг. 4. Автоматизация на работния процес в BIM

Тялото на всяка изкуствена невронна мрежа може да се разглежда като поредица от матрици с постепенно намаляващи размери. В случая приетата за ядро на мини хидравличния модул RTHD невронна мрежа има вход P1 Километраж, P2 Кота преливник и изход: T1 Височина на прага. За да се получи прогнозата за необходимата височина на прага, входният вектор се умножава по първата матрица, като се получава вектор, който на свой ред се умножава по следващата матрица. Концептуално, описаната мрежа може да бъде представена, както е показано на фиг. 5:

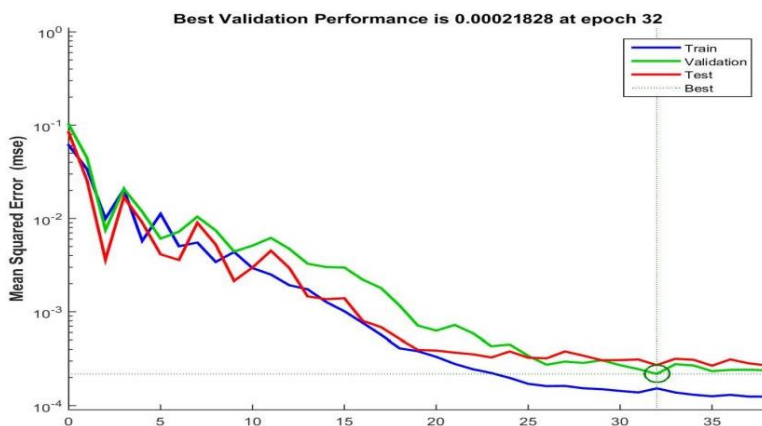
Километраж
Кота било
преливник



Височина
на прага

Фиг. 5. Схема на RTHD невронния модел

Резултатите на обучението върху генерираните данни ANN модел показват, че невронната мрежа е с добри показатели за точност в набора от данни за валидиране (MSE 0,0002) и висок коефициент на корелация в тестовия набор ($R = 0,996$).



Фиг. 6. Развитие на средно-квадратичната грешка на модела

В работна ситуация, след като Дупато получи препоръка от модула RTHD за височината на изместения праг, вече може да обнови BIM и да се обърне към HEC-RAS за пълно хидравлично решение, с цел актуализиране на водните повърхности и др. основни параметри. След това се генерира пълната обновена документация – графична и текстова – на проекта по част ХТС.

По преценка, модулет RTHD може да съдържа модели, обучени за всеки участък, в който се очаква включване на отливна тръба. Примерът е направен за един участък.

Заклучения и бъдещо развитие

Кибер революцията трансформира възможностите за практикуване на хидро инженерство до необятен (за нас) хоризонт. Всичко предстои и чака разработка.

BIM в хидротехниката ще създаде основа за управление на целия жизнен цикъл на ХТС, във всеки – технически, икономически и екологичен аспект.

BIM е в основата на автоматизацията на процесите проектиране, строителство, експлоатация. Управлението на комуникацията на BIM с другите специфични за хидротехниката платформи е супер актуално обширно поле за дейност.

В това изследване е предложен подход за автоматично създаване и анализ на проектни варианти, реализиран и тестван върху конкретен пример. Подходът използва възможността за автоматизиране на работния процес и комуникация между Civil 3D и

HEC-RAS с помощта на Dynamo for Civil 3D. Процедурата дава възможност да бъдат генерирани данни от проектни варианти за попълване на желан набор от параметри. Избягва се опасност от груби грешки. Такъв обем от данни би било трудно да се получи при ръчно управление.

Илюстрацията с прилагане на изкуствени невронни мрежи е направена за създаване на малък Deep Learning модел в т.нар. RTHD модул, който в реално време да информира (от хидравлична гледна точка) за необходимите промени в BIM, наложени от общото развитие на проекта в другите му части. Изследването потвърди, че дълбоките невронни мрежи са подходящо решение за подобни задачи.

Прилагането на Deep Learning техниките изисква големи обеми данни. Резултатите показват, че BIM и неговата автоматизация създават предпоставки по-често да се обръщаме към подобни модели, които, интегрирани, да подпомагат процедури в BIM като процес на създаване и в BIM като модел.

Благодарности

В настоящата публикация са представени резултати от изследвания по договор №БН-244-21, финансиран от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://behavioralscientist.org/when-google-speaks-people-listenand-they-should-a-review-of-work-rules/>.
2. Lang, V. Digital Fluency: Understanding the Basics of Artificial Intelligence, Blockchain Technology, Quantum Computing, and Their Applications for Digital Transformation. Apress, 2021, ISBN: 978-1-4842-6774-5, <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6774-5>.
3. Correa, S., Santos, E. BIM Support in the Tendering Phase of Infrastructure Projects. // Lecture Notes in Civil Engineering, Springer, 2021, 98: 383 – 382, [doi: 10.1007/978-3-030-51295-8_27](https://doi.org/10.1007/978-3-030-51295-8_27).
4. Pavón, R. M., Arcos Alvarez, A. A., Alberti, M. G. BIM-based educational and facility management of large university venues. // Applied Sciences, 2020, 10(22): 1 – 28, [doi:10.3390/app10227976](https://doi.org/10.3390/app10227976).
5. Sorge, R. et al. Bim implementation – brenner base tunnel project. Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art-Proceedings of the WTC 2019 ITA-AITES World Tunnel Congress, 2019, 3122 – 3131. [doi:10.1201/9780429424441-331](https://doi.org/10.1201/9780429424441-331).
6. Zhang, S., Jiang, P. Implementation of BIM + WebGIS Based on Extended IFC and Batched 3D Tiles Data: An Application in RCC Gravity Dam for Republication of Design Change Model. // KSCE Journal of Civil Engineering. 25: 4045 – 4064, [doi:10.1007/s12205-021-0115-9](https://doi.org/10.1007/s12205-021-0115-9).
7. European Construction Sector Observatory. Building Information Modelling in the EU construction sector. // Trend Paper Series – March 2019.

8. *Georgiadou, M. C.* An overview of benefits and challenges of building information modelling (BIM) adoption in UK residential projects. // *Construction Innovation*, 2019, 19 (3): 298 – 320, <https://doi.org/10.1108/CI-04-2017-0030>.
9. National Institute of Building Sciences (NIBS). (2015). National BIM Standard-United States. Available at: <https://www.nationalbimstandard.org/>.
10. Road Map for Digital Design and Construction, Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure, Germany, www.bmvi.de.
11. *Lu, W., Lai, C. C., Tse, T.* BIM and Big Data for Construction Cost Management. First edition. | Abingdon, Oxon: Routledge, 2019, ISBN: 9781351172325.
12. *Gu, N., London, K.* Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. // *Automation in Construction*, 2010, 19 (8): 988 – 999.
13. WEF (2016). Shaping the Future of Construction A Breakthrough in Mindset and Technology. http://www3.weforum.org/docs/WEF_Shaping_the_Future_of_Construction_full_report.pdf.
14. *Altohami, A. B. A. et al.* Investigating approaches of integrating BIM, IoT, and facility management for renovating existing buildings: A review, // *Sustainability*, 2021, 13(7): 1 – 30, [doi:10.3390/su13073930](https://doi.org/10.3390/su13073930).
15. *Becerik-Gerber, B. et al.* Application areas and data requirements for bim-enabled facilities management. // *Journal of construction engineering and management*, 2012, 138 (3): 431 – 442, [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000433](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000433).
16. *Carvalho, W. O.* BIM and AM to Manage Critical and Relevant Water and Wastewater Utilities Assets. // *Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer, 2021, 98: 697 – 720, https://doi.org/10.1007/978-3-030-51295-8_49.
17. *Sacks, R. et al.* BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. Wiley, 2018, ISBN: 9781119287537.
18. *Hong, Y. et al.* A neural network approach to predicting the net costs associated with BIM adoption. // *Automation in Construction*, 2020, 119, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103306>.
19. *Ma, G., Liu, Y., Shang, S.* A Building Information Model (BIM) and Artificial Neural Network (ANN) Based System for Personal Thermal Comfort Evaluation and Energy Efficient Design of Interior Space. // *Sustainability*, 2019, 11 (18): 1 – 26, <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/18/4972>.
20. *Demianenko, M., De Gaetani, C.* A Procedure for Automating Energy Analyses in the BIM Context Exploiting Artificial Neural Networks and Transfer Learning Technique. // *Energies*, 2021, 14 (10): 1 – 18, <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/10/2956>.
21. *Koo, B., Jung, R., Yu, Y.* Automatic classification of wall and door BIM element subtypes using 3D geometric deep neural networks. // *Advanced Engineering Informatics*, 2021, 47, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101200>.

DIGITAL TRANSFORMATION IN HYDRAULIC ENGINEERING: DEVELOPMENT OF BIM WITH ELEMENTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

M. Mavrova-Guirguinova¹

Keywords: BIM, Deep Learning, hydraulic engineering

ABSTRACT

The transition of civil engineering from an analogue to a digital paradigm has been slow. This paper highlights the drivers for the development of Building Information Modelling (BIM), its main characteristics and the benefits of its application in the field of hydraulic engineering. A methodology for BIM development of hydraulic structures is proposed with a case study example elaborated: a river correction project in a settlement. In infrastructure engineering and water resources management, site characteristics and construction methods have a great influence on the design process. In digital construction, with the development of BIM and accompanying BIM technologies, hydraulic structures will be able to be designed and constructed in parallel, as there will be an opportunity for changes triggered by site performance to influence the design process in real time. As an example of such a technology development, experiments have been made with artificial intelligence to create a Deep Learning model to verify in real time from a hydraulic perspective the changes in the design of the hydraulic engineering part imposed by the general development of the BIM project in its other parts. The results show a successful joint application of Deep Learning algorithms with BIM in hydraulic engineering. Some methodological recommendations for the development of BIM-integrated hydraulic engineering tools are given.

¹ Maria Mavrova-Guirguinova, Assoc. Prof. Dr. Eng, Dept. “Hydraulic, Irrigation and Drainage Engineering”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: margir_fhe@abv.bg