

České vysoké učení v Praze
Fakulta stavební

STUDENTSKÁ VĚDECKÁ ODBORNÁ ČINNOST



Bc. Michal Lavko

Digitálne nástroje pre projektovanie podzemných stavieb

Katedra geotechniky

Vedúci práce: doc. Dr. Ing. Jan Pruška

2020

Abstrakt

V tejto práci je prezentované projektovanie podzemných stavieb pomocou nových digitálnych nástrojov v programoch Revit a Civil 3D. Na projekte je ukázaná možnosť využitia výpočtového navrhovania (computational design) vďaka vizuálnemu programovaniu v softvéri Dynamo. Prezentovaný pracovný postup automatizuje procesy a zjednodušuje prácu projektanta pri návrhu podzemnej líniovej stavby.

Kľúčové slová: podzemné stavby, Dynamo, Revit, Civil 3D, vizuálne programovanie, výpočtové navrhovanie, BIM

Abstract

This work presents designing of underground structures using new digital tools as Revit and Civil 3D programs. It shows the use of computational design based on visual programming in Dynamo software. The presented workflow automates processes and simplifies the work of the designer when designing underground linear structure.

Keywords: underground structures, Dynamo, Revit, Civil 3D, visual programming, computational design, BIM

Obsah

Úvod	1
1 Digitálne nástroje	2
1.1 Geometrický model	2
1.1.1 Civil 3D	2
1.2 Konštrukčný model	3
1.2.1 Revit	4
1.3 Vizually programovanie	5
1.3.1 Dynamo	5
2 Projekt prístupového a vetracieho tunelu stanice metra	7
2.1 Základné informácie	7
2.1.1 Využitie informačného modelu	8
2.2 Geologický model	8
2.2.1 Geologické vrstvy	9
2.3 Geometrický model	10
2.3.1 Vedenie trasy	10
2.4 Konštrukčný model	11
2.4.1 Vizually programovanie	12
2.5 Tvorba dokumentácie	16
2.6 Úskalia využitia digitálnych nástrojov	17
Záver	19

Zoznam obrázkov

1.1	Pracovný postup	2
1.2	Model terénu	3
1.3	Rodina Revit	4
1.4	Schéma Dynamo	5
1.5	Bunka Posun	6
2.1	Model stanice	7
2.2	Schéma rozvinutá	8
2.3	Pozdĺžny rez s geológiou	9
2.4	Geologický model	10
2.5	Smerové vedenie trasy	11
2.6	Výškové vedenie trasy	11
2.7	Náčítanie exportovaných dát	12
2.8	Náčítanie súboru Civil 3D	13
2.9	Baseline	13
2.10	Baseline geometria	13
2.11	Rozdelenie geometrie	14
2.12	Adaptívna rodina	14
2.13	Umiestnenie rodín	15
2.14	Konštrukčný model	15
2.15	Detail na model	15
2.16	Import konštrukcií	16
2.17	Pozdĺžny profil s konštrukciami	17

Úvod

Vývoj nových technológií a trend automatizácie procesov pomaly preniká aj do oblasti stavebníctva. Stavebníctvo je medzi odvetviami priemyslu dlhodobo na posledných priečkach ukazateľov automatizácie. Preto rastie iniciatíva zdigitalizovať a zautomatizovať niektoré procesy. V projektovaní stavieb sú to napríklad generovanie 2D dokumentácie alebo výkazov výmer.

V dnešnej dobe sa vyvíja moderný prístup k projektovaniu líniových stavieb pomocou digitálnych nástrojov, ako sú parametrické modelovanie a programovanie. Dochádza tým k uľahčeniu práce projektanta, hlavne z pohľadu časovo menej náročnej aplikácie zmien v priebehu projektu.

Metro je komplexnou a technologicky náročnou stavbou, ktorá v sebe spája prvky pozemných a dopravných stavieb. Preto bol k projektovaniu použitý softvérový balík od spoločnosti Autodesk a to Revit, ktorý je vhodný predovšetkým pre projektovanie pozemných stavieb a Civil 3D vhodný pre líniové stavby. Na ich prepojenie bol použitý softvér pre vizuálne programovanie Dynamo, ktorý je taktiež od spoločnosti Autodesk.

Táto práca sa venuje aplikácii digitálnych nástrojov v praxi na projekte prístupového a vetracieho tunelu stanice metra. V práci sú ukázané výhody, ale aj úskalia využívania výpočtového navrhovania a vizuálneho programovania, s ktorými sa môže projektant počas návrhu stretnúť.

1. Digitálne nástroje

S nástupom metodiky BIM (Building Information Management) v projektovaní sa otvára priestor pre nové nástroje spojené s projektovaním stavieb. Počas projektovania taktiež vznikajú zmeny v projekte, ktoré vedú k upravovaniu výkresov a aktualizácii modelov. Tieto činnosti sú častokrát časovo náročné, mechanické a vedú k vzniku chýb.

V súčasnosti je snaha tieto procesy v čo najväčšej miere automatizovať. Neustále sa vyvíjajúce technológie nútia projektantov využívať ich potenciál. Tým vznikajú na projektantov aj nové požiadavky. Predovšetkým na zručnosť pri práci so softvéri, no tie sa už nezaobídu bez minimálnej znalosti programovania.

V tejto kapitole sú predstavené moderné nástroje využité k tvorbe digitálneho modelu a popísaný pracovný postup pri ich aplikácii na projekte. Na tvorbu geologického modelu bol použitý softvér Leapfrog. K tvorbe geometrického modelu trasy Civil 3D. Konštrukčný model bol vytvorený v softvéri Revit na základe vedenia trasy, ktorá bola pomocou programu Dynamo prepojená živým spojením.



Obr. 1.1: Pracovný postup.

1.1 Geometrický model

Základom každej líniovej stavby je trasa. Tá obsahuje smerové a výškové riešenie, na ktoré sú následne naviazané konštrukcie jednotlivých objektov. Geometrické vedenie trasy, informácie o smerových a výškových pomeroch, by malo slúžiť ako jediný zdroj informácii pre umiestnenie konštrukcií objektov v priestore. Preto je snahou projektantov pracovať vždy s najaktuálnejším geometrickým riešením trasy.

1.1.1 Civil 3D

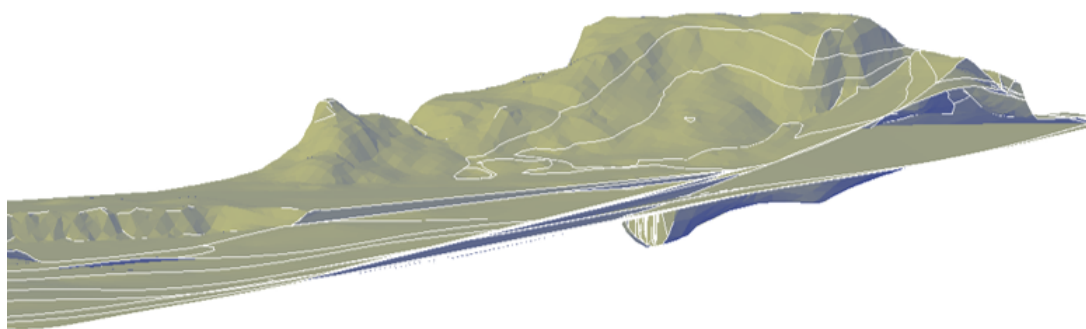
Program od spoločnosti Autodesk, Civil 3D, je určený k projektovaniu líniových stavieb. Obsahuje veľké množstvo nástrojov pre prácu a návrh trasy v jednotlivých súradnicových systémoch krajín. Taktiež dokáže využívať digitalizované mapové podklady [1].

Geometrické vedenie trasy

Narozdiel od iných programov CAD (Computer Aided Design), Civil 3D dokáže pracovať s komplexnou 3D geometriou trasy. Zachováva geometrické informácie o vedení trasy ako sú napríklad dĺžky dotyčníc, parametre prechodníc, polomery smerových a výškových oblúkov a staničenie. Tieto informácie sú nevyhnutné pre správny návrh a realizáciu líniových stavieb.

Model terénu a podložia

Možnosť vytvorenia digitálneho modelu terénu z neho robí skvelý nástroj pre tvorbu pozdĺžnych profilov a priečných rezov. Táto funkcia sa dá zároveň aplikovať na geologické vrstvy. Vďaka tomu je možné vygenerovať pozdĺžny rez s geológiou v akomkoľvek mieste modelu, čo uľahčuje prácu projektantovi a dáva mu predstavu o podloží v mieste vedenia tunelu. Na obr. 1.2 je možné vidieť model terénu a podložia použitý pri projektovaní podzemného diela.



Obr. 1.2: Model terénu v programe Civil 3D.

Aj keď je Civil 3D najpresnejším zdrojom informácií o umiestnení trasy v priestore, má svoje úskalia. Tento program nedisponuje priateľským prostredím pre 3D modelovanie konštrukcií a technológií. Hlavne pri práci s rôznymi pracovnými rovinami je prostredie častokrát neprehľadné a neintuitívne, čo znižuje efektivitu práce. Preto je vhodné použiť k projektovaniu jednotlivých objektov iný softvér.

1.2 Konštrukčný model

Tento model obsahuje podrobné informácie o objektoch nadväzujúcich na trasu líniovej stavby. V podzemných stavbách sú to napríklad strojovne, šachty, technológie ako odvetrávanie alebo elektroinštalácia, ale aj konštrukcia samotných tunelov. Je potrebné, aby tieto konštrukcie dokonale kopírovali alebo nadväzovali na geometrické vedenie trasy. Vďaka konštrukčnému modelu je možné odhaliť kolízie objektov včas, čím sa zabráni nákladným stratám pri realizácii stavby.

1.2.1 Revit

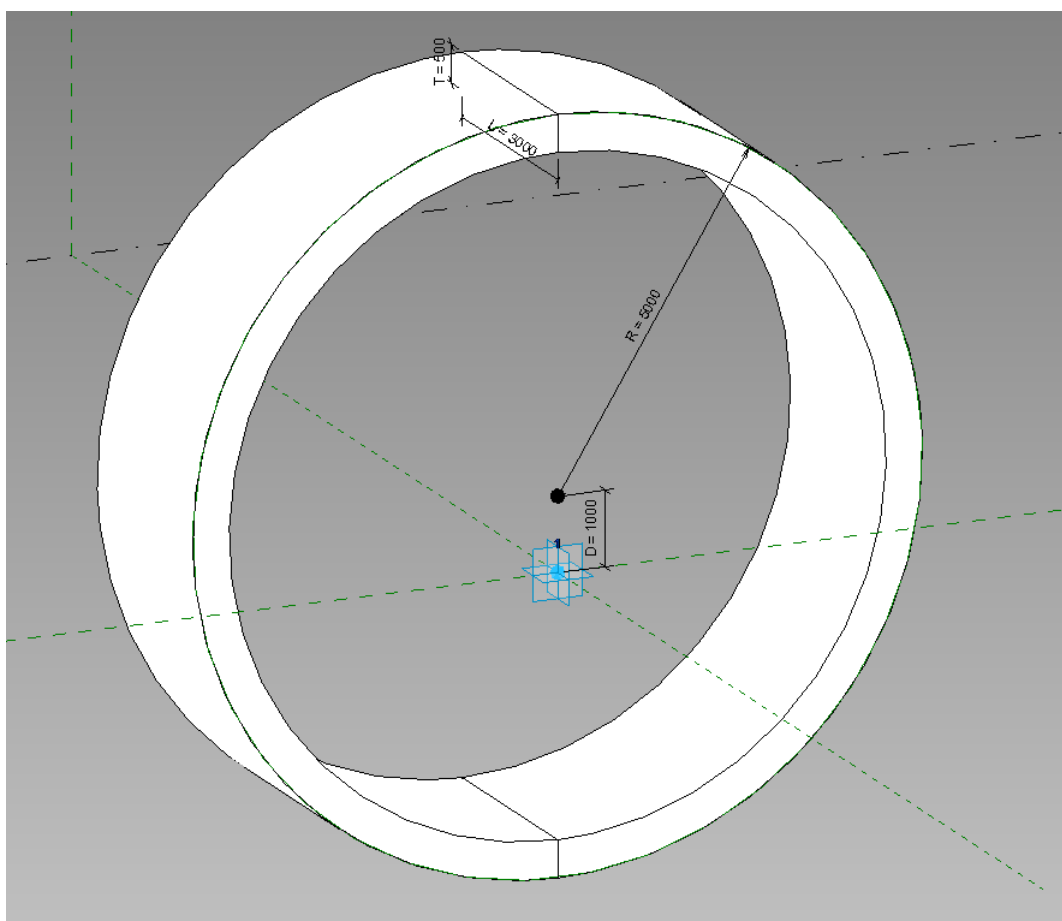
Revit, používaný predovšetkým pri projektovaní pozemných stavieb, má vhodné prostredie pre modelovanie najrôznejších konštrukcií a technológií. Patrí do rodiny Autodesk, čo uľahčuje predávanie dát medzi geometrickým a konštrukčným modelom [4].

Nastaviteľné atribúty

Medzi výhody tohto softvéru patrí možnosť jednoducho pridávať a upravovať definované atribúty skupinám prvkov, takzvaným rodinám. To z neho robí vhodný nástroj pre projektovanie metodikou BIM, kde sú tieto grafické či negrafické informácie o použitých prvkoch požadované.

Parametrické a adaptívne rodiny

Vďaka užívateľom definovateľným atribútom je možné vytvárať parametrické rodiny. Hlavnou vlastnosťou týchto rodín je možnosť zmeny tvaru, skladby, použitých materiálov alebo iného parametru, ktorý obsahuje daná rodina, v už vytvorenom modeli. To umožňuje rýchle zapracovanie zmien v projekte bez nutnosti nahradenia predchádzajúcich prvkov. Taktiež je možné vytvárať adaptívne rodiny, ktoré sa dokážu prispôsobiť geometrii, pozdĺž ktorej sú umiestnené.

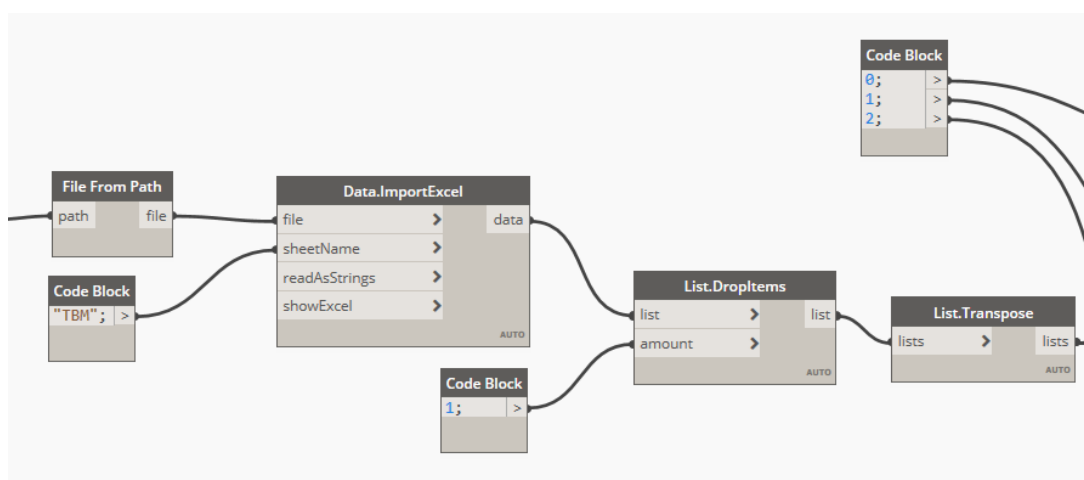


Obr. 1.3: Adaptívna rodina vytvorená v programe Revit.

Na obr. 1.3 je adaptívna parametrická rodina. Obsahuje adaptívny bod, ktorý sa prichyťáva k priradenej geometrii a parametre R - polomer, D - vzdialenosť bodu od stredu kruhu, T - hrúbka ostenia a L - dĺžka prvku. Tieto parametre môže užívateľ meniť počas modelovania bez potreby nahradenia prvku.

1.3 Vizuálne programovanie

Vizuálny programovací jazyk sa od klasického líši vo forme zadávania príkazov. Zatiaľ čo v klasickom jazyku musí užívateľ písať a poznať príkazy k tvorbe kódu, vo vizuálnom jazyku spája a pridáva jednotlivé bunky, ktoré obsahujú už vopred napísané príkazy. Pre tvorbu takéhoto kódu nie je nutná znalosť syntaxu programovacích jazykov. To umožňuje automatizovať tvorbu časovo náročných konštrukcií.



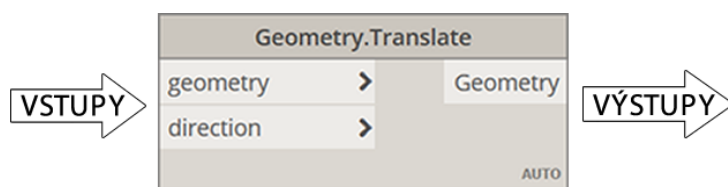
Obr. 1.4: Ukážka vizuálneho programovania v programe Dynamo.

1.3.1 Dynamo

Dôvodom pre využitie programu Dynamo pri vizuálnom programovaní bola možnosť prepojenia programov Civil 3D a Revit. Dynamo slúži ako nadstavba pre tieto programy. Skript vytvorený v Dyname preto odkazuje a pracuje v kresbe alebo projekte, v ktorom je spustený [2].

Ako program funguje

Základom pre Dynamo je programovací jazyk Python. Ten je však už zapracovaný do formy buniek, blokov s príkazmi, s ktorými užívateľ pracuje. Bloky obsahujú príkazy, od tých najjednoduchších, ako sú *Posun* alebo *Otočiť*, až po komplikované vytváranie povrchov a objektov. Pokročilí užívatelia so znalosťou programovacieho jazyka Python sú schopní vytvárať vlastné bloky [5].



Obr. 1.5: Bunka pre príkaz *Posun*.

Každý z týchto blokov vyžaduje pre fungovanie vstupy, viď obr. 1.5 . Užívateľ však s kódom ako takým pracuje len minimálne. Program dokáže pracovať s objektami v rámci daného súboru alebo importovať dáta z iných softvérov.

Prídavné balíky

Program je typu open source, čo znamená, že obsah a jednotlivé bunky môžu vytvárať a pridávať užívatelia na základe ich vlastných potrieb. Po schválení a kontrole sú balíky buniek pridané do verzie pre bežných užívateľov. To umožňuje rýchlu a pružnú odozvu na potreby projektantov.

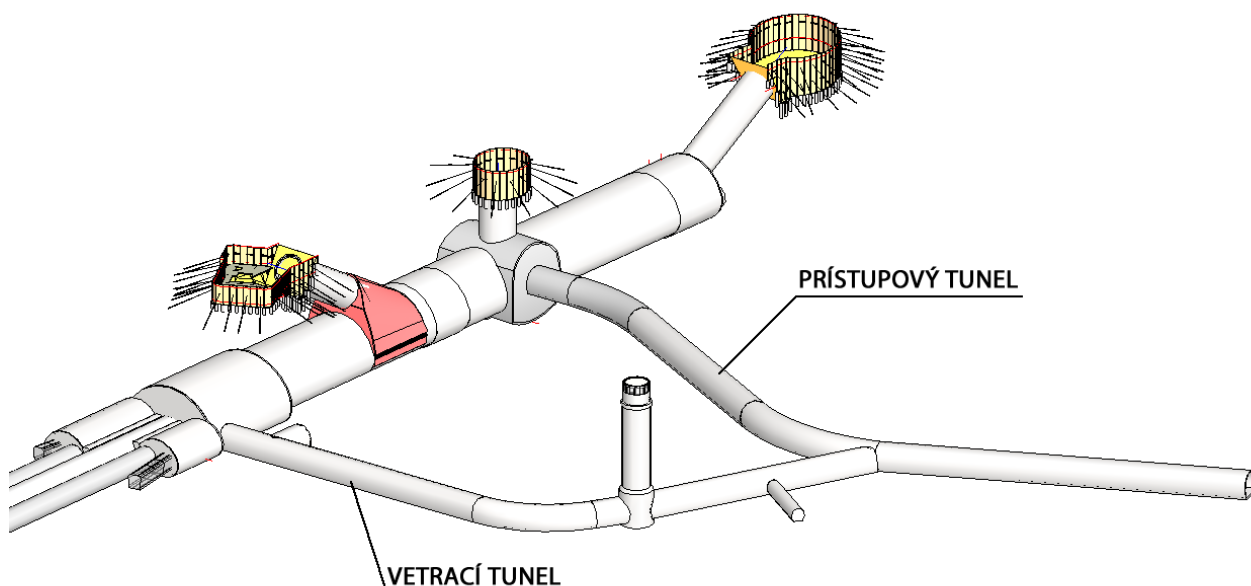
V poslednej verzii tohoto programu bol pridaný aj modul CivilConnection. Tento nástroj vytvára prepojenie produktov od spoločnosti Autodesk, Civil 3D a Revit, čo umožňuje presné modelovanie konštrukcií líniových stavieb v závislosti na geometrii trasy. Vďaka modulu je možné načítať geometrické prvky trasy z programu Civil 3D do programu Revit bez nutnosti exportu dát. Projektant si tak môže byť istý, že pracuje s aktuálnymi informáciami a nedochádza k chybám z dôvodu neskorej koordinácie. [6]

2. Projekt prístupového a vetracieho tunelu stanice metra

Aplikácia digitálnych nástrojov je ukázaná na projekte prístupového a vetracieho tunelu stanice metra, ktorá sa nachádza v husto zastavanej oblasti.

2.1 Základné informácie

Výstavba metra v tejto oblasti bude prebiehať nasledovne: ako prvá bude vybudovaná stanica a následne napojené traťové tunely. Z dôvodu hustej zástavby v danej oblasti bude potrebné vybudovať prístupový tunel, ktorý bude slúžiť pre razenie stanice. V rámci minimalizácie stavebných prác je súčasťou tohto objektu vetrací tunel a vetracia šachta stanice. Prístupový tunel bude po ukončení razenia zasypaný a v časti vetracieho tunela bude vybudované sekundárne ostenie.

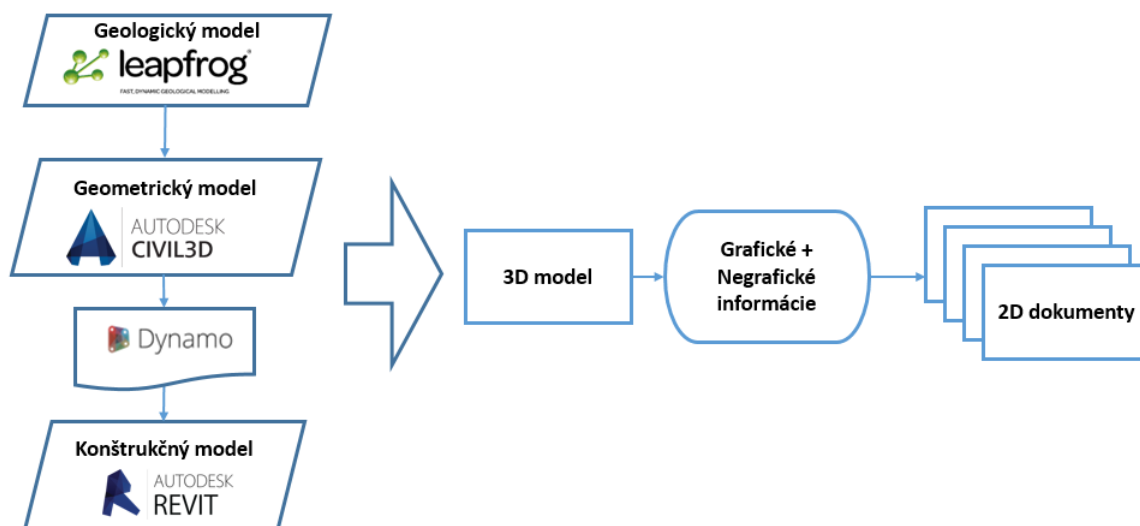


Obr. 2.1: Model stanice s prístupovým a vetracím tunelom.

2.1.1 Využitie digitálneho informačného modelu

Použitie metodiky BIM v projektoch vyžaduje nový prístup k vytváraniu a ukladaniu informácií. Zdrojom týchto informácií je digitálny informačný model. Ten v sebe musí obsahovať informácie nutné k výstavbe, ale aj prevádzke jednotlivých objektov. S týmto prístupom je v pozemných stavbách množstvo skúseností, no v prípade líniových stavieb je ich veľmi málo.

Projekt metra nie je výlučne líniovou stavbou. Staničné úseky obsahujú množstvo technologických úsekov, ktoré si vyžadujú zapojenie viacerých profesií. Preto bola ako východisková platforma pre projektovanie zvolená platforma od spoločnosti Autodesk - Civil 3D, Revit a Dynamo. Civil 3D slúži k projektovaniu líniových stavieb, Revit k modelovaniu konštrukčných a technologických častí obsahujúcich potrebné informácie o konštrukcii, Dynamo k prepojeniu traťovej geometrie s konštrukčným modelom. Postup využitia softvérov je, pre lepšiu orientáciu, vykreslený na obr. 2.2. Tieto nástroje sú následne využité hlavne k vytváraniu 2D stavebnej dokumentácie a výkazov prvkov a výmer [3].



Obr. 2.2: Schéma pracovného postupu.

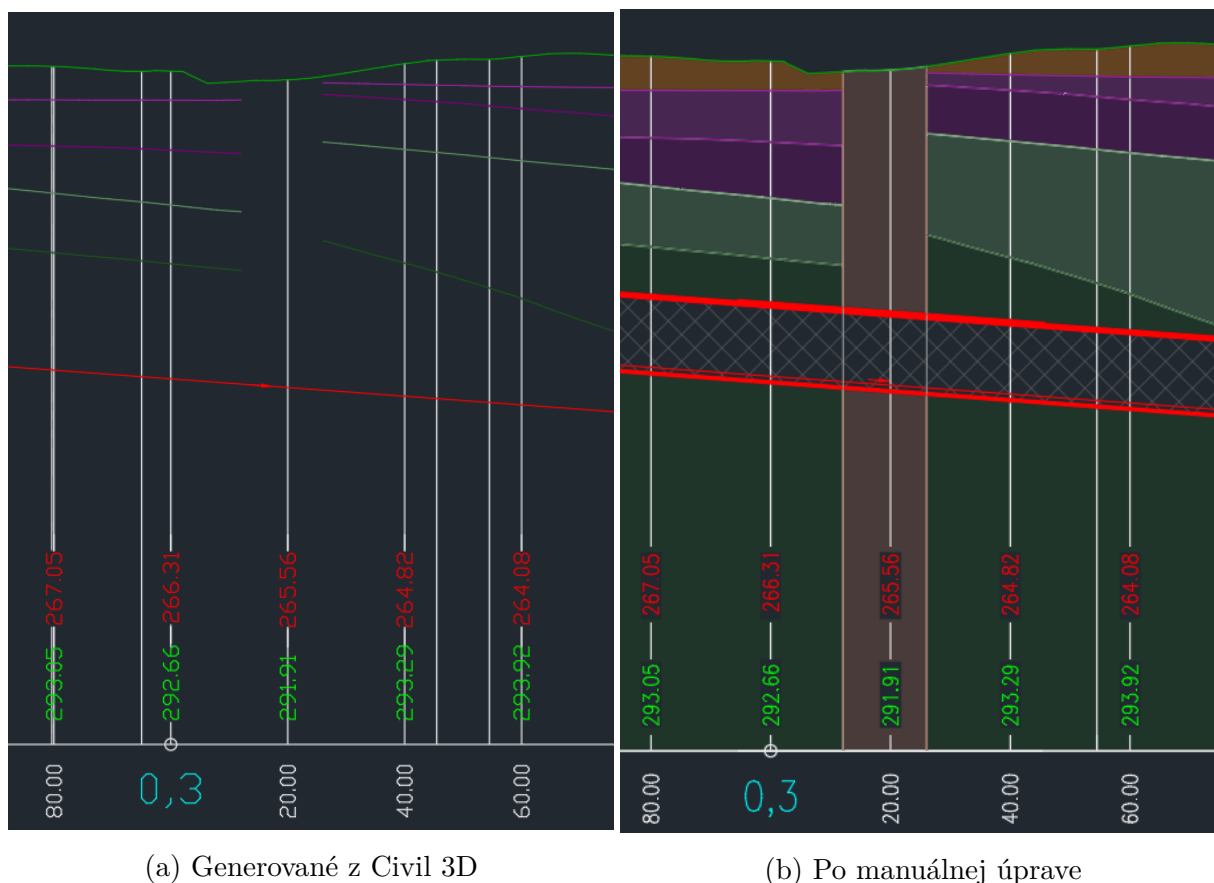
V tejto časti práce je ukázaný postup pri vytváraní digitálneho modelu, pri ktorom boli použité nástroje predstavené v teoretickej časti práce.

2.2 Geologický model

Podkladom pre projektovanie je digitálny 3D geologický model vygenerovaný pomocou programu Leapfrog. Tento model bol vytvorený interpretáciou dát z dostupných vrto a sond v danej záujmovej oblasti. Vrstvy boli následne exportované vo forme 3D prvkov. Tie sú vhodné pre import a následné vytvorenie povrchov v programe Civil 3D pomocou triangulácie. Model zároveň obsahuje digitálny model terénu, vytvorený z 3D zamerania, pre presnejšiu prácu a napojenie konštrukcií na povrch.

2.2.1 Geologické vrstvy

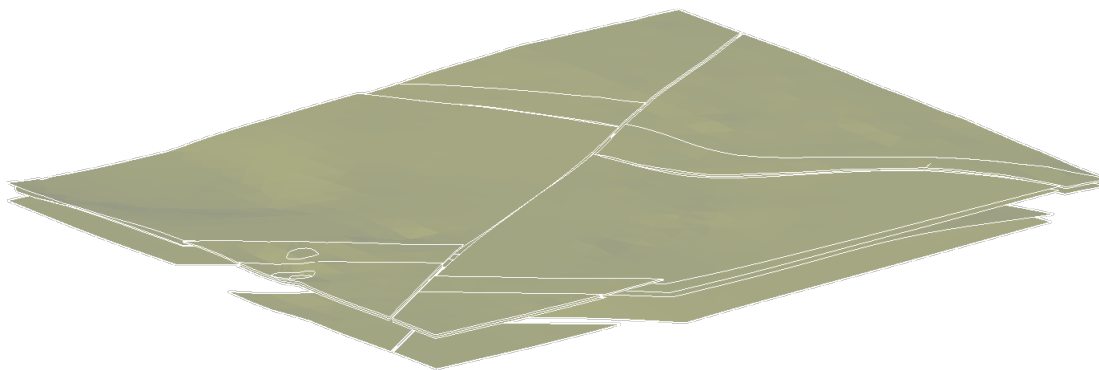
V záujmovej oblasti, ktorej veľkosť bola 550 x 550 metrov sa nachádzalo 13 geologických vrstiev a 2 zlomy. Civil 3D však nie je primárne určený vytváranie geologických vrstiev a nedokáže triangulovať zvislé zlomy, kde je nad sebou viacero bodov. Hranice týchto zlomov, ako je možné vidieť na obr. 2.3, museli byť preto vykreslené a upravené ručne.



Obr. 2.3: Geologický pozdĺžny rez.

Pre správnu trianguláciu bolo potrebné odizolovať prvky pre jednotlivé vrstvy a následne správnosť povrchov skontrolovať. Pre zachovanie konzistentnosti prezentovania geologických informácií v rámci projektu bol každý povrch definujúci jednu vrstvu pomenovaný. Následne mu bol priradený vykresľovací štýl, typ čiary a farba, na základe legendy zemín a hornín vytvorenej v programe Leapfrog. Duplikované vytváranie geologického modelu bolo nutné z dôvodu, že software Leapfrog nie je z rodiny Autodesk a preto nekomunikuje s ostatnými platformami.

Jednou z výhodou digitálneho modelu geologických vrstiev, ktorý sa nachádza na obrázku 2.4, je možnosť zobrazenia podlažia v akomkoľvek mieste. Takto vyobrazené informácie sú prehľadné a projektantovi uľahčujú následné projektovanie. Medzi ďalšie nezanedbateľné výhody patrí možnosť zmeny umiestnenia objektov bez nutnosti opätovného vytvárania geologického pozdĺžneho rezu, ktorý je generovaný automaticky. Zmeny je tak možné zapracovať rýchlejšie.



Obr. 2.4: 3D geologický model podložia v programe Civil 3D.

2.3 Geometrický model

V líniových stavbách sú všetky konštrukcie viazané na geometriu trasy. Je dôležité, aby tieto dáta ostali zachované v čo najpresnejšej a najkomplexnejšej podobe. Geometrický model je jediným zdrojom informácií o umiestnení konštrukcií v priestore. Vedenie trasy prístupového a vetracieho tunela bolo preto navrhnuté v programe Civil 3D od spoločnosti Autodesk, ktorý nedegraduje komplexnú geometriu trasy.

2.3.1 Vedenie trasy

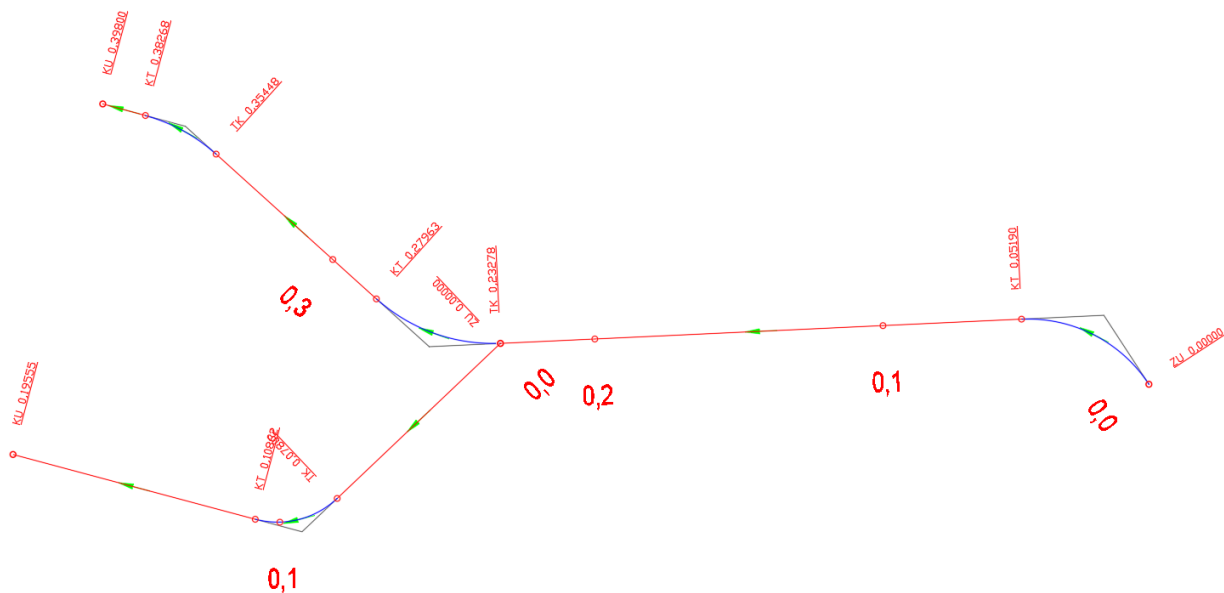
Podkladom pre návrh trasy bola dokumentácia predchádzajúceho stupňa projektu. Tieto podklady boli vo forme 2D výkresov, ktoré obsahovali "mŕtve"dáta. Práca s takýmito dátami je neprehľadná a neefektívna. Pri komplikovanejších projektoch je predstava prvkov v priestore náročná. Často tak dochádza k chybám a kolíziám. Preto bolo potrebné vytvoriť nový živý 3D model. Ten umožňuje projektantovi pozerať sa na konštrukcie v ich skutočnej pozícii a v reálnych rozmeroch. Z tohto modelu je možné generovať rezy či pohľady automaticky v reálnom čase.

Smerové vedenie

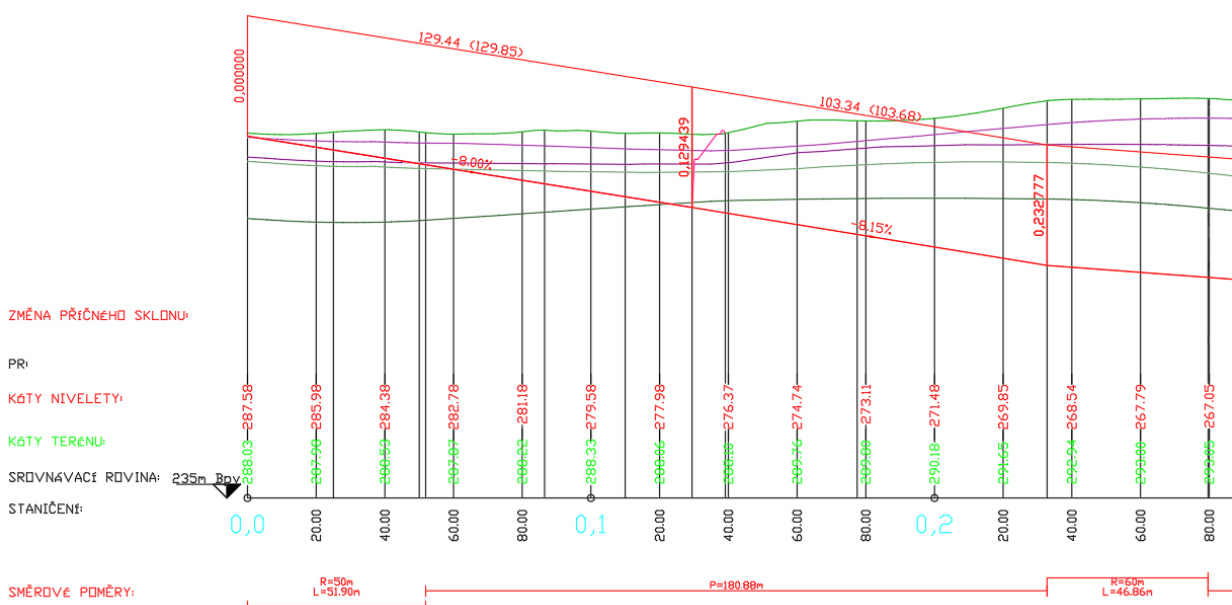
Osi tunelov boli definované prvkom *Trasa*. Tento prvok zachováva geometrické parametre smerového vedenia ako sú staničenie, vlastnosti oblúkov, prechodníc a ďalších prvkov, ktoré neodmysliteľne patria k návrhu trasy líniovej stavby. Ako je na obrázku 2.5 možné vidieť, pre oba tunely bol vytvorený samostatný prvok pre smerové riešenie, no výškovo závislý v bode napojenia tunelov.

Výškové vedenie

Následne pomocou prvku *Profil* bol vygenerovaný pozdĺžny rez v ose tunelu, ktorý obsahoval geologické vrstvy. Vďaka zobrazovaniu informácií o geológii a nadloží v reálnom čase bolo možné navrhnuté výškové riešenie napojenia prístupového a vetracieho tunelu do stanice upravovať podľa požiadavkov podložených statickým výpočtom a bez prekročenia maximálnych povolených návrhových kritérií.



Obr. 2.5: Smerové vedenie trasy.



Obr. 2.6: Výškové vedenie trasy.

Smerové a výškové vedenie tunelu je najdôležitejšou časťou návrhu, pretože jasne definuje umiestnenie konštrukcií v okolitom priestore.

2.4 Konštrukčný model

Pre vytvorenie adaptívneho konštrukčného modelu bolo potrebné vytvoriť prepojenie medzi geometriou trasy a konštrukciou tunela. Toto prepojenie umožnil program Revit od spoločnosti Autodesk s aplikáciou Dynamo pre vizuálne programovanie, ktorú tento program obsahuje.

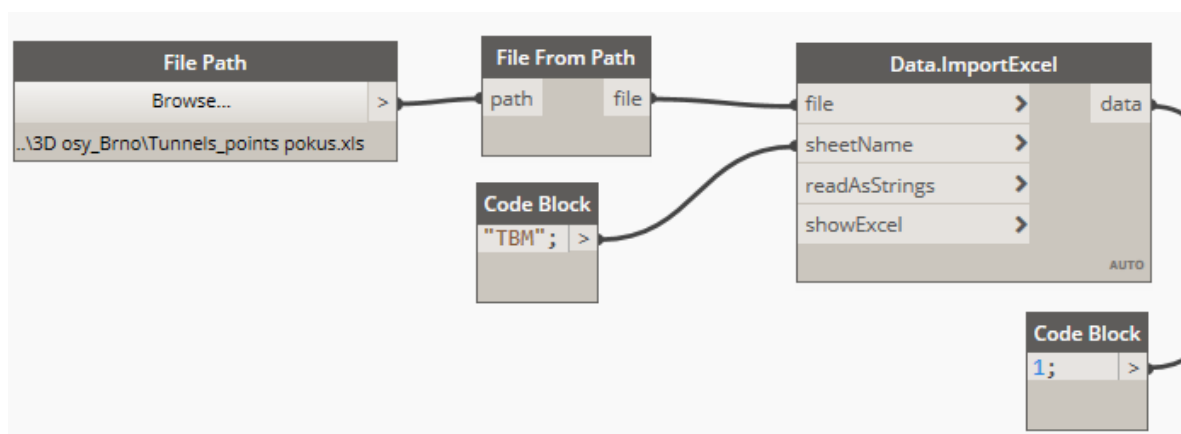
2.4.1 Vizuálne programovanie

Vďaka vizuálnemu programovaniu dokáže softvér Dynamo na základe použitia príkazov a užívateľom vytvorených skriptov automatizovať tvorbu časovo náročných konštrukcií.

Import geometrie

Dynamo umožňuje načítať geometriu z externých vstupov. Komplexná geometria trasy musí byť však zjednodušená, pretože Revit nedokáže pracovať s 3D krivkami.

V predchádzajúcich verziách bolo nutné geometriu deliť ručne. Boli pozdĺž trasy vytvorené body po 2 metroch a súradnice bodov boli vyexportované do súboru vo formáte NEZ - Northing (súradnica Y), Easting (súradnica X), Elevation (súradnica Z). Pomocou skriptu bol súbor načítaný do Dynama a body pospájané do úsečiek čím bola vytvorená zjednodušená geometria trasy.

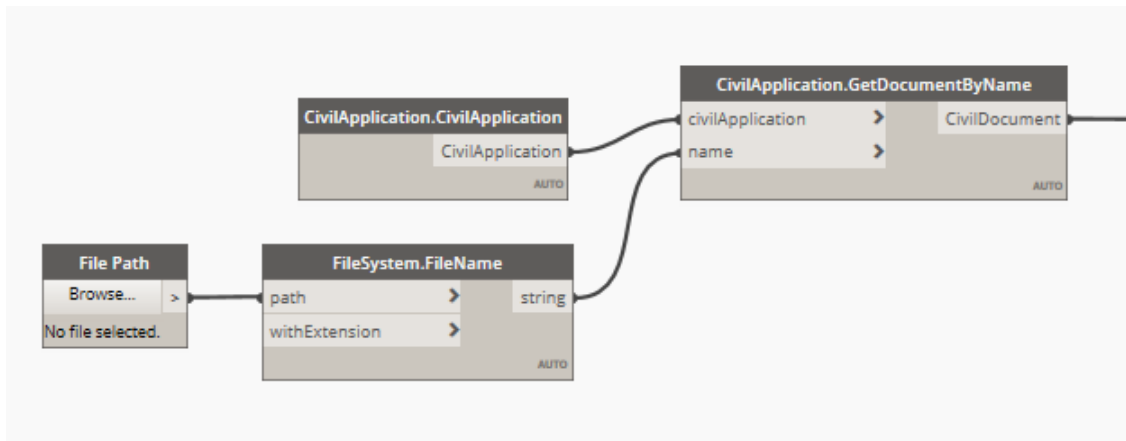


Obr. 2.7: Načítanie exportovaných súradníc.

Nevýhodou tohto postupu bolo, že zo "živých" dát bola pri exporte vytvorená nezávislá kópia, ktorú bolo nutné pri každej zmene ručne aktualizovať.

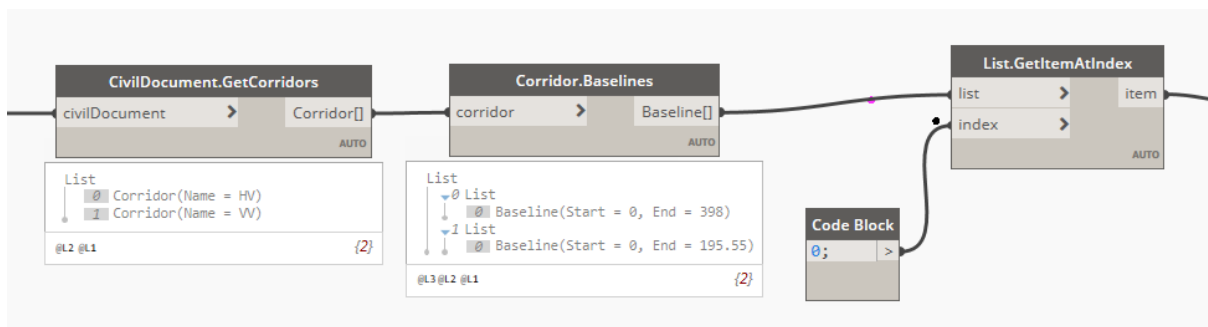
V poslednej verzii tohto programu bol však pridaný modul CivilConnection. Tento nástroj vytvára živé prepojenie produktov Civil 3D a Revit. Balíček obsahuje bunky, ktoré umožňujú odkazovať sa na aktívny model v programe Civil 3D a načítať z neho geometrické prvky trasy. Modelovanie je tak bez nutnosti vykonávania medzikrokov a exportovania dát o geometrii. To predchádza chybám z oneskorenej koordinácie geometrie trasy a konštrukčného modelu. Do vytvoreného skriptu bola nahraná cesta k súboru obsahujúcemu trasu a definovaná použitá trasa osí prístupového a vetracieho tunelu.

Hlavným nositeľom 3D informácií je v softvéri Civil 3D prvok *Feature line*. Preto bola z trasy vytvorená adaptívna *Feature line*, ktorá sa automaticky pri zmene trasy prebuduje. Po spustení skriptu však program prestal pracovať. Bolo zistené, že bunka v momentálnej verzii nefunguje správne a dochádza k chybe a ukončeniu programu Revit. Táto chyba mohla byť spôsobená chybou v zdrojovom kóde bunky. Ďalšou z možných príčin je, že prvok *Feature line* obsahuje komplexnú geometriu. To mohlo zapríčiniť zahltenie pamäte a následný pád programu.

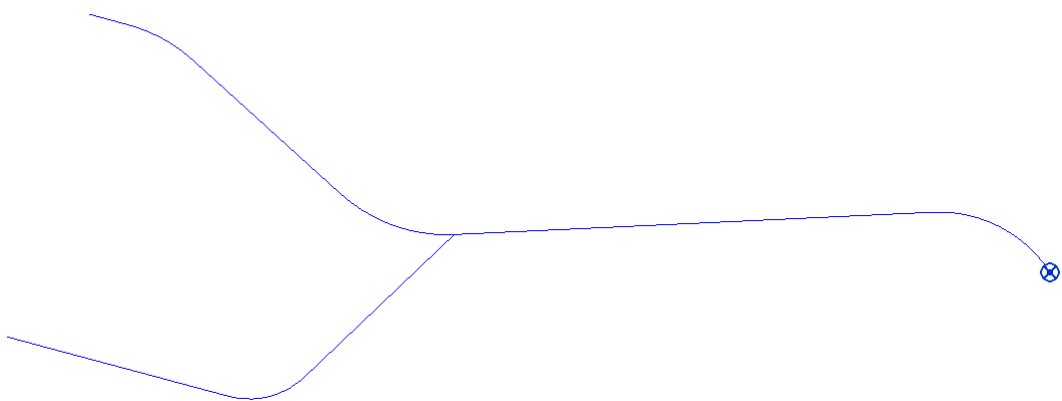


Obr. 2.8: Náčítanie trasy zo súboru Civil 3D.

Kvôli tejto chybe musel byť zvolený alternatívny postup. Z trasy bol vytvorený prvok Koridor. Ten je definovaný prvkom *Baseline*. Prvok *Baseline* je podobný prvku *Feature line*. Je rovnako generovaný z *Trasy*, no je špecifický pre *Koridor*. *Koridor* kopíruje smerové a výškové riešenie trasy. Je používaný predovšetkým pre tvorbu konštrukcií líniových stavieb ako napríklad súvrstvia, rigoly či svahovanie. Tento postup sa ukázal ako úspešný a po spustení skriptu, ktorý je zobrazený na obr. 2.9, bola geometria načítaná do programu Revit.



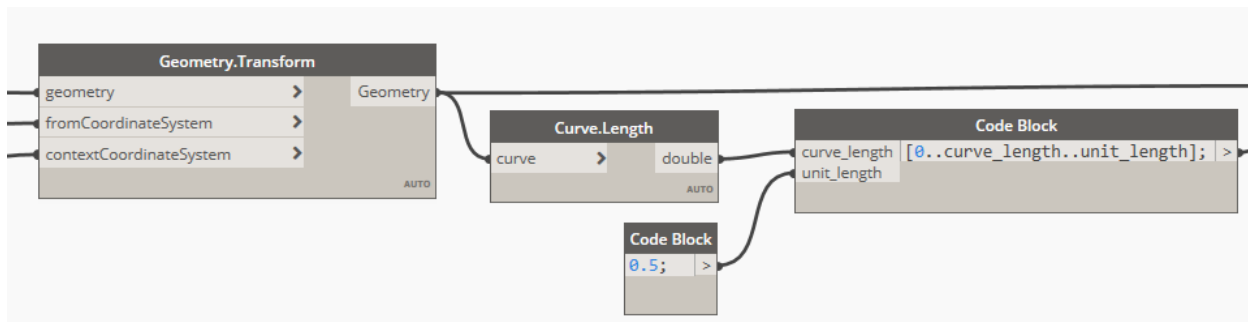
Obr. 2.9: Časť kódu pre vyhľadanie a použitie prvku *Baseline* daného koridoru.



Obr. 2.10: Geometria vytvorená v modelovom priestore programu Revit.

Zjednodušenie geometrie

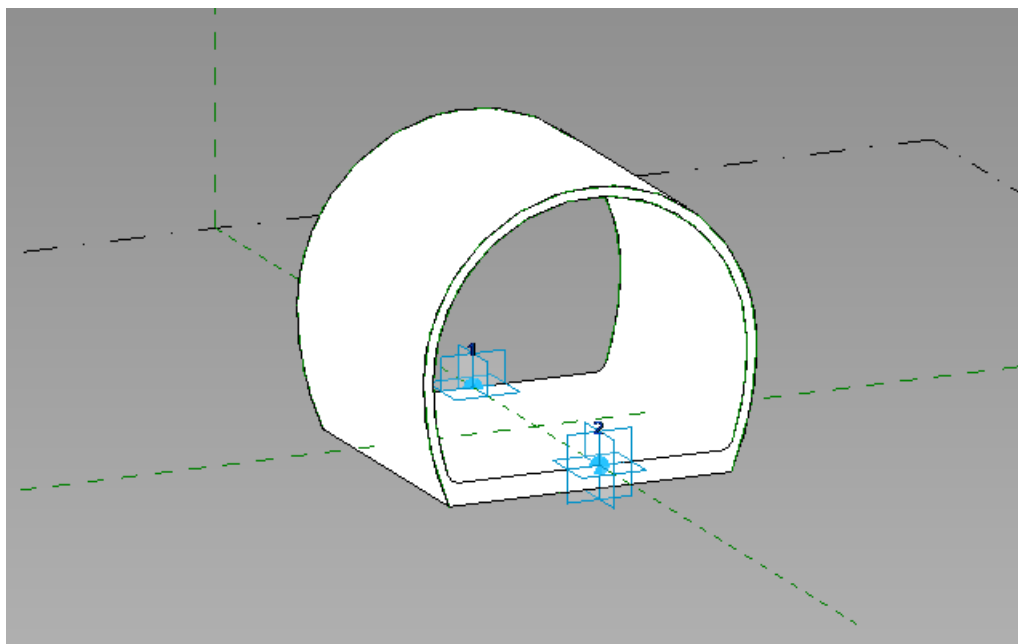
Následne bolo nutné geometriu zjednodušiť pre prácu v Revite na úsečky. Čím menšia je dĺžka úsečky, tým viac model odpovedá reálnej geometrii. V tomto prípade, ako je možné vidieť v bunke "Code Block"(obr. 2.11), bol zvolený dielik 0,5 m. Vďaka programovaniu a výpočtovému navrhovaniu môže byť trasa bez problémov rozdelená na veľké množstvo dielov.



Obr. 2.11: Rozdelenie geometrie a vytvorenie bodov vo vzdialenosti 0,5 m.

Adaptívne rodiny

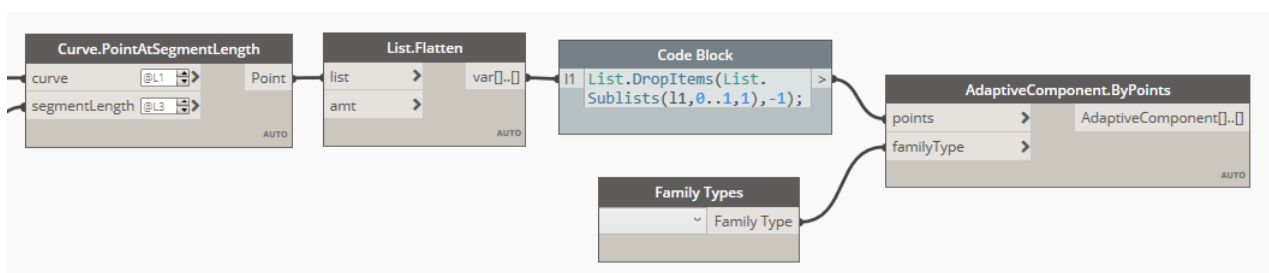
Na základe statického návrhu boli vytvorené rezy primárneho ostenia pre jednotlivé triedy výrubu a z nich boli vymodelované rodiny v softvéri Revit. Pri tvorbe bola zvolená šablóna pre generickú adaptívnu rodinu z dôvodu nutnosti použitia adaptívnych bodov pre riadenie umiestnenia rodiny na úsečku. Boli vytvorené 2 adaptívne body. V rovinách týchto bodov boli vytvorené 2 profily, medzi ktorými bola vytvorená hmota.



Obr. 2.12: Rodina riadená adaptívnymi bodmi vytvorená v Revite.

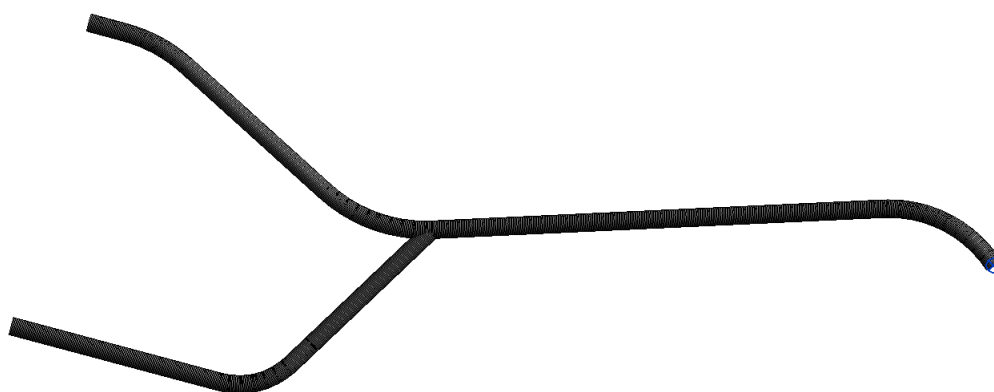
Umiestnenie rodín

Následne boli pomocou kódu na obrázku 2.13 tieto rodiny pripojené do projektu a poslané po trase. Vďaka nastaveniam bola rodina schopná vyhľadať body vytvorené v predchádzajúcom kroku a prichytiť sa k nim.

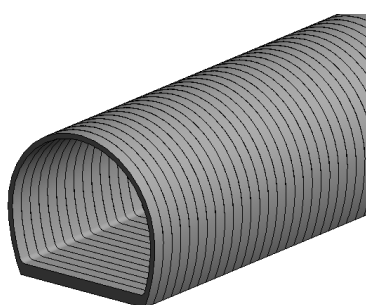


Obr. 2.13: Bunky pre umiestnenie rodiny v závislosti na geometrii.

Spustením skriptu bol týmto spôsobom v Revite vytvorený konštrukčný model primárneho ostena tunelu, ktorý bol priamo závislý na geometrickom modeli trasy vytvorenom v Civil 3D. Kvôli zjednodušeniu geometrie, boli oblúky rozdelené na úsečky. To však malo za následok, že po poslaní rodiny po trase vznikli, v takto rozdelených oblúkoch, medzery medzi blokmi na vonkajšej strane a prekrytia na vnútornej. Vzniknuté nedokonalosti však nemajú vplyv na funkčnosť toho modelu. Takto vytvorený konštrukčný model je možné vidieť na obrázkoch 2.14 a 2.15.



Obr. 2.14: Konštrukčný model vytvorený pomocou vizuálneho programovania.



Obr. 2.15: Detailný pohľad na model.

Vďaka tomuto postupu vznikol adaptívny model, v ktorom pri akejkoľvek zmene vedenia trasy bolo na prebudovanie modelu potrebné iba spustenie skriptu, čo urýchľuje prácu projektanta.

2.5 Tvorba výkresovej dokumentácie

Digitálne nástroje uľahčujú taktiež generovanie výkresovej dokumentácie projektu. Vďaka automatickému generovaniu rezov môže projektant viac času venovať technickému riešeniu, ktorý by inak venoval vytváraniu 2D dokumentácie.

Revit

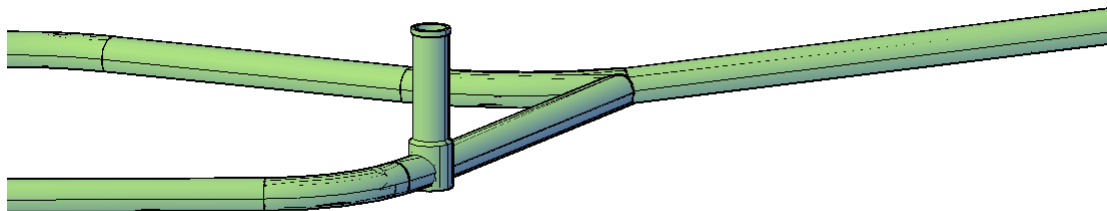
Program Revit je veľmi dobre použiteľný ku generovaniu rezov a pohľadov v akomkoľvek mieste konštrukcie. Negrafické parametre použité pri tvorbe rodín sú ľahko zobraziteľné automatickými popiskami či bublinami. Tieto parametre sú definovateľné pre každú rodinu a pri zmene hodnôt sa generované popisy automaticky prepíšu bez nutnosti manuálnej úpravy. Pomocou filtrov nastaviteľných v jednotlivých výkresoch je možné zobraziť len určité skupiny prvkov, ako napríklad primárne alebo sekundárne ostenie.

Vizuálne programovanie

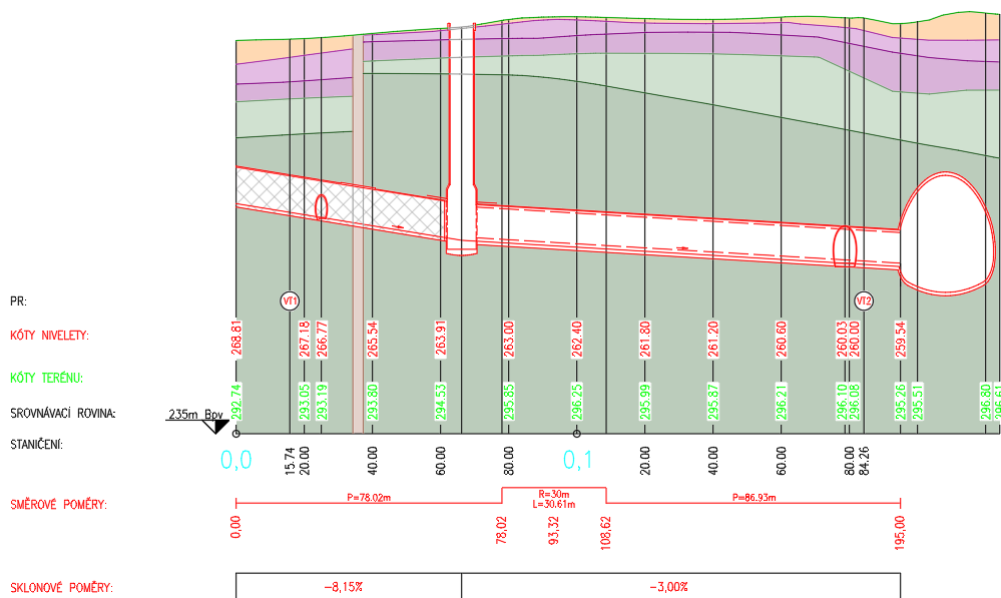
Nástroje pre vizuálne programovanie, ako je Dynamo, možno taktiež použiť pri generovaní výkresovej dokumentácie k opakujúcim sa úkonom ako je vytváranie celých výkresov, rozpisiek alebo popisov.

Civil 3D

Vďaka vytvorenému digitálnemu modelu je možné importovať konštrukcie vytvorené v programe Revit. Na obrázku 2.16 sú forme 3D "solidov" prvky vložené do súboru Civil 3D. Ten umožňuje premietanie prvkov do pozdĺžnych profilov a rezov (obr. 2.17). Pomocou tohto nástroja je možné overiť správne umiestnenie konštrukcií v priestore vzhľadom na polohu trasy. Použitím premietania možno detekovať vzniknuté kolízie a zamedzovať vzniku nepresností z ručného prekresľovania konštrukcií.



Obr. 2.16: Konštrukcie importované do Civilu 3D.



Obr. 2.17: Konštrukcie zobrazené automaticky v pozdĺžnom reze.

2.6 Úskalia využitia digitálnych nástrojov

Použitie digitálnych nástrojov pri projektovaní v našich končinách je v začiatkoch. Ich aplikácia pre podzemné stavby je ešte ojedinelejšia. Ako inšpirácia boli použité aplikácie tohto pracovného postupu pri tvorbe mostných konštrukcií.

Revit

V programe Revit bolo najnáročnejšou časťou správne vytvorenie adaptívnej rodiny. Problémom bola správna orientácia súradnicového systému rodiny a celkového modelu. Taktiež správne definovanie návaznosti jednotlivých prvkov rodiny, adaptívneho bodu a profilu.

Civil 3D

Pri tvorbe geometrického modelu nenastali žiadne komplikácie. Použitý pracovný postup je dlho zaužívaný a známy pri tvorbe líniových stavieb.

Avšak pri tvorbe geologického modelu v softvéri Civil 3D bolo z dôvodu veľkého množstva vrstiev a neprívetivého importu tvarov z programu Leapfrog, veľmi neprehľadné pracovať pri triangulácii jednotlivých povrchov, čím vznikali chyby v tvare vrstiev.

Problémom bola taktiež objemnosť dát v modeli. To spomaľovalo prácu hlavne pri obnovovaní pohľadu. Tento problém bol vyriešený vytvorením dvoch rozdielnych súborov, jeden pre geológiu a druhý pre geometriu. Do geometrického modelu boli pomocou odkazov nareferované jednotlivé geologické vrstvy, čo zrýchliło ďalšie procesy.

Dynamo

Najväčším úskalím bolo použitie vizuálneho programovania. Pre jedinečnosť tohto projektu bolo nutné vymyslieť a rozvinúť veľké množstvo variantov pracovného postupu, z ktorých väčšina skončila neúspechom. Problémom bol nedostatok zdrojov informácií či návodov a skúseností s programovaním. Taktiež bola zistená nefunkčnosť niektorých buniek z pridaného balíka CivilConnection, s čím sa však podarilo vysporiadať zmenou pracovného postupu.

Záver

Narastajúci trend automatizácie v stavebníctve otvára priestor pre nové disciplíny. Využívanie digitálnych nástrojov, ako parametrické modelovanie a vizuálne programovanie, prenáša časť opakujúcich sa procesov počas projektovania z projektanta na výpočtovú techniku. To však prináša so sebou aj požiadavky na používateľov. Aj keď pri vizuálnom programovaní odpadá potreba znalosti jazyka, je veľkou výhodou znalosť základov programovania a programovacej logiky. Vďaka týmto nástrojom vzrastá využitie možností výpočtovej techniky pri projektovaní stavieb, ktorej kapacita je dnes plne využívaná iba pri statických výpočtoch.

V praxi je však aplikácia komplikovaná, a to hlavne z časovej a finančnej náročnosti projektov, kde nie je dostatok priestoru pre inovácie.

Úlohou tejto práce bolo predstaviť a ukázať využitie digitálnych nástrojov pre uľahčenie procesu projektovania podzemných stavieb. Pomocou týchto nástrojov je vytvorený parametrický model prístupového a vetracieho tunelu stanice metra. Návrh, vďaka prepojeniu geometrického a konštrukčného modelu obsahuje vždy najaktuálnejšie informácie, čím je zabezpečená správna koordinácia medzi jednotlivými disciplínami, ktorá prispieva k zvýšeniu efektivity práce.

Používanie týchto digitálnych nástrojov pre projektovanie líniových stavieb je v začiatkoch. Je však potrebné podporovať rozvoj automatizácie v stavebníctve pre ďalšie generácie.

Literatúra

- [1] AUTODESK: Civil 3D. Dostupné na: <https://www.autodesk.com/products/civil-3d/overview>.
- [2] AUTODESK: Dynamo. Dostupné na: <https://dynamobim.org/>.
- [3] PLATIL Jiří. *Využití metody BIM na projektu metra D*. Časopis Stavitel, Digitalizace ve stavebnictví, 2020, č. 1-2, s. 40-41.
- [4] AUTODESK: Revit. Dostupné na: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview>.
- [5] AUTODESK University. *Everyday Dynamo: Automating Simple Solutions That Bridge Workflow Gaps Within Revit*. Dostupné na: <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Everyday-Dynamo-Automating-Simple-Solutions-Bridge-Workflow-Gaps-Within-Revit-2016>.
- [6] AUTODESK University. *Model Linear Structures: Aligning AutoCAD Civil 3D and Revit with Dynamo for Viaducts and Tunnels*. Dostupné na: <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Model-Linear-Structures-Aligning-AutoCAD-Civil-3D-and-Revit-Dynamo-Viaducts-and-Tunnels-2016>.