

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ**

Katedra technologie staveb



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Použití 4D plánování při realizaci
stavby**

Bc. Ondřej Lamka

2020

Vedoucí diplomové práce: ing. Michal Kovářik

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou práci vypracoval(a) samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze

.....

Jméno a příjmení diplomanta

PODĚKOVÁNÍ

Zde bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Michalu Kováříkovi za odbornou konzultaci a vedení této diplomové práce.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Lamka Jméno: Ondřej Osobní číslo: 438940

Zadávací katedra: K122 - Katedra technologie staveb

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Použití 4D plánování při realizaci staveb

Název diplomové práce anglicky: Use of 4D planning in building construction

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rešerše současných řešení pro časové plánování při realizaci staveb a analýza slabín systému.
- 2) Rešerše současných BIM řešení pro 4D plánování a potenciál jejich využití.
- 3) Vytvoření simulace vybraných etap výstavby bytového domu v Karlíně, Praha 8 pomocí různých programů pro 4D plánování.
- 4) Multikriteriální porovnání parametrů jednotlivých programů pro 4D plánování na základě simulací a zhodnocení výsledků.
- 5) Návrh architektury nového systému pro časové plánování při realizaci staveb s využitím 4D BIM technologie a zhodnocení rizik a přínosů tohoto systému.

Seznam doporučené literatury:

- 1) BIM příručka, Martin Černý a kolektiv autorů, ISBN 978-80-260-5297-5
- 2) Revit ve stavební praxi, Lukáš Cimala, Jakub Novotný, Josef Remeš, Rudolf Vyhnaněk, ISBN 978-80-214-4966-4
- 3) BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows, Brad Hardin, Dave McCool, John Wiley & Sons, 2015, ISBN 978-1-118-94277-2

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Michal Kovářik

Datum zadání diplomové práce: 27.9.2019

Termín odevzdání diplomové práce: 5.1.2020

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

ANOTACE

POUŽITÍ 4D PLÁNOVÁNÍ PŘI REALIZACI STAVBY

Diplomová práce se ve své úvodní teoretické části zabývá rešerší současných řešení pro časové plánování při realizaci staveb s důrazem na využití BIM pro 4D plánování. V navazující praktické části se práce věnuje vytvoření simulací vybraných etap výstavby bytového domu v Karlíně v Praze 8 s pomocí dostupných programů zaměřených na 4D BIM plánování. Na základě této simulace jsou porovnány parametry jednotlivých programů metodou multikriteriální analýzy s cílem provést zhodnocení výhod a nevýhod každého řešení. Na základě této analýzy pak autor práce v závěrečné části navrhuje vlastní řešení architektury systému pro časové plánování při realizaci staveb s využitím 4D BIM technologie a nastiňuje jeho případná rizika a přínosy.

KLÍČOVÁ SLOVA: realizace staveb, časové plánování, 4D plánování, 4D BIM

Annotation

Use of 4D planning in building construction

This thesis in its opening theoretical part researches current solutions for time planning in the construction phase of building with use of BIM for 4D planning. Subsequent practical part of the thesis is focused on creation of simulation of few chosen phases at house of flats in Karlín in Prague 8 with help of available softwares focused on 4D BIM planning. Based on this simulation the parameters of each software are compared with use of multicriterial analysis method with aim to compare advantages and disadvantages of each solution. Based on this analysis author makes his own solution for architecture of system for construction planning in construction phase with use of 4D BIM technology and shows its risks and outcomes.

KEY WORDS: building construction, construction planning, 4D planning, 4D BIM

Obsah

1	ÚVOD DO PROBLÉMU	12
2	TRADIČNÍ ČASOVÉ PLÁNOVÁNÍ	12
2.1	Kroky časového plánování	13
2.2	Metody časového plánování	15
2.2.1	Metoda kritické cesty (CPM).....	16
2.2.1.1	Popis Metody	16
2.2.1.2	Zhodnocení metody	19
2.2.2	Metoda BKN	19
2.2.2.1	Popis metody	19
2.2.2.2	Zhodnocení Metody.....	22
2.2.3	Metoda stavebně technologického síťového grafu – STSG	23
2.2.3.1	Popis metody	23
2.2.3.2	Zhodnocení metody	25
3	4D BIM	26
3.1	Úvod do BIM	26
3.2	Funkce BIM	27
3.3	LoD (Level of Detail/Development)	28
3.4	Dimenze BIM.....	29
3.4.1	3D BIM.....	31
3.4.2	4D BIM.....	31
3.4.3	5D BIM.....	32
3.5	4D plánování	32
3.5.1	Procesy 4D modelování.....	34
3.5.1.1	Manuální metody založené na CAD	34
3.5.1.2	BIM nástroje se zabudovanou 4D technologií	35
3.5.1.3	Exportování 3D/BIM modelu do 4D software a propojení s časovým plánem	35
3.5.2	Detaily 4D modelu.....	36
3.5.2.1	Rozsah modelu.....	36
3.5.2.2	Level of Detail (LoD)	37
3.5.2.3	Reorganizace elementů	37
3.5.2.4	Dočasné konstrukce	37
3.5.2.5	Dělení a spojování prvků 3D modelu	38

3.6	Průzkum Sustainable Cities and Society	39
3.6.1	Podmínky průzkumu	39
3.6.2	Postup	40
3.6.3	Výsledky průzkumu	46
3.6.4	Shrnutí.....	47
4	Porovnání programů zaměřených na 4D plánování	48
4.1	Úvod.....	48
4.2	Porovnávané systémy	48
4.2.1	Synchro PRO.....	49
4.2.2	Autodesk Navisworks.....	54
4.3	Porovnání softwarů.....	58
4.3.1	Metoda porovnávání – multikriteriální analýza	58
4.3.2	Obsah simulace	59
4.3.2.1	Řešený objekt.....	59
4.3.2.2	Simulace dočasných konstrukcí a těžké mechanizace	59
4.3.2.3	Zařízení staveniště.....	60
4.3.3	Řešené Parametry.....	60
4.3.3.1	Obtížnost práce se systémem	60
4.3.3.2	4D funkce	62
4.3.3.3	Simulace pohybů.....	65
4.3.3.4	Import a export vstupů a výstupů.....	66
4.3.3.5	Cena	69
4.3.4	Hodnocení software.....	72
5	Návrh architektury nového systému pro časové plánování při realizaci staveb s využitím 4D BIM technologie	73
5.1	Předpoklady systému.....	74
5.2	Druhy časových plánů	74
5.3	Architektura systému.....	75
5.3.1	Hlavní časový plán.....	75
5.3.2	6týdenní časový plán.....	78
5.3.3	2týdenní časový plán.....	81
5.4	Kvalifikace 4D BIM koordinátora	82
5.5	Cena implementace 4D BIM plánování.....	83
5.6	Shrnutí systému	85
	Závěr	86

ÚVOD

Seznámení s problematikou

Při současném rychlém pokroku využití výpočtových technologií v průmyslových odvětvích stavebnictví stále více zaostává. Podle analýzy McKinsey Global Institute z roku 2015 (1) patří mezi nejméně digitalizované obory. Se současným trendem využití BIM prostředí přichází řada možností, jak zdigitalizovat projekty a uchovat veškeré jeho informace v databázi. Většina projektů je již v dnešní době zpracovávána ve 3D BIM prostředí a tím se nám otevírá možnost dále s nimi pracovat. Použití 3D BIM prostředí pomáhá k rychlejšímu sdílení a snadnějšímu uchování geometrických i negeometrických informací zabudovaných do projektů a tím zefektivnění celého životního cyklu budov.

Digitální nástroje pro manuální vytváření časových plánů výstavby projektu (např. Microsoft Project, Primavera P6) přinesly při svém příchodu v 80. a 90. letech značné zrychlení práce oproti předchozímu ručnímu plánování. Tato řešení se nicméně soustředí pouze na časovou stránku projektů a nezohledňují prostorové požadavky, které jsou u řízení stavebních projektů naprosto zásadní. Automatizované vytváření časových plánů umožnil až software Contec, který umožnil propojit externí data (např. rozpočet nebo výkaz výměr) s modelovými síťovými grafy z databáze. Tímto lze jednoduše a rychle modelovat postup výstavby, který lze i nadále upravovat a spravovat.

S vývojem BIM projektování na začátku nového tisíciletí pak přichází možnost propojit tyto specializované nástroje s 3D BIM modelem a posunout tak časové plánování na novou úroveň a BIM modelování do dalších rozměrů. Při využití BIM software zaměřeného na časové plánování lze jednoduše propojit každý časový údaj s konkrétní konstrukcí nebo stavebním dílcem a jasně tak propojit časovou a prostorovou strukturu do nového rozměru ve formě 4D BIM. Tento přístup přináší značné výhody ve formě virtualizace časoprostorového průběhu výstavby a snadné eliminace chyb a kolizí spolu s možností efektivně řešit projekty v týmech.

V projektových týmech se už objevují pozice BIM koordinátorů nebo VDC koordinátorů. Velká část jejich úkolů spočívá v řízení změn, sledování technologií, lidí a procesů, které podporují takové způsoby práce, aby bylo dosaženo výstupů požadovaných investorem v rámci BIM zadání. (2) Ovšem zatím není definována pozice 4D BIM koordinátora, který by řešil časové plány výstavby. Časové plány většinou řeší stavbyvedoucí o kontrolních dnech s dodavateli dílčích částí díla. Jednání jsou pak zdlouhavá, s velkým počtem účastníků a tím pádem neekonomická a chaotická. Autor této práce se na základě vlastní zkušenosti z realizace rozsáhlých projektů domnívá, že pokud by existoval na stavbě koordinátor 4D BIM plánů, který by dohlížel na udržování 4D modelu, celý proces by byl efektivnější, automatizovanější a pomohl by stavbyvedoucímu příp. manažerovi stavby soustředit se na finanční, technickou a BOZP stránku projektu.

Podle zákona č. 183/2006 Sb – Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) má stavbyvedoucí tyto povinnosti:

- Stavbyvedoucí je povinen řídit provádění stavby v souladu s rozhodnutím nebo jiným opatřením stavebního úřadu a s ověřenou projektovou dokumentací, zajistit dodržování povinností k ochraně života, zdraví, životního prostředí a bezpečnosti práce vyplývajících ze zvláštních právních předpisů, zajistit řádné uspořádání staveniště a provoz na něm a dodržení obecných požadavků na výstavbu, popřípadě jiných technických předpisů a technických norem. V případě existence staveb technické infrastruktury v místě stavby je povinen zajistit vytýčení tras technické infrastruktury v místě jejich střetu se stavbou.
- Stavbyvedoucí je dále povinen působit k odstranění závad při provádění stavby a neprodleně oznámit stavebnímu úřadu závady, které se nepodařilo odstranit při vedení stavby, vytvářet podmínky pro kontrolní prohlídku stavby, spolupracovat s osobou vykonávající technický dozor stavebníka nebo autorský dozor projektanta, pokud jsou zřízeny, a s

koordinátorem bezpečnosti a ochrany zdraví při práci, působí-li na staveništi.

Z povinností uvedených ve stavebním zákoně vyplývá, že stavbyvedoucí má velké množství povinností, které je velice problematické stíhat čistě v rámci pracovní doby. Kvůli inovaci v časovém plánování, kterou by mohlo využití 4D BIM plánování přinést by mohl stavbyvedoucí více dbát na ostatní jeho povinnosti vyplývající ze stavebního zákona. Celý tento proces by mohl přinést finanční a časové úspory, zároveň se zvýšením kvality bezpečnosti práce, ekologie stavby a lepší komunikací mezi zainteresovanými stranami projektu.

Cíle práce

Tato diplomová práce nejprve uvede řešení o klasickém řešení časového plánování a řešení o softwarovém řešení pro 4D plánování a vhodnosti jejich použití. Dále porovná pomocí metody multikriteriálního hodnocení programy Synchro Pro a Navisworks (4D BIM software) a určí vhodnosti použití každého řešení na základě vytvořených simulací. Na závěr autor nastiňuje návrh architektury systému při využití 4D BIM plánování při realizaci staveb.

1 ÚVOD DO PROBLÉMU

Z historie stavebního inženýrství víme, že dodržet zadání a uspokojit zadavatele staveb vyžaduje velké úsilí projektových týmů. V dnešní době projekty jsou spojeny s velkým množstvím účastníků, kvůli kterým je potřeba zlepšit časové plánování a komunikaci mezi sebou. (3) Když vezmeme v potaz fakt, že architekti, zhotovitelé a dodavatelé každý den vynakládají velké úsilí, aby dodrželi termíny, cenu a kvalitu požadovanou zadavatelem a často i přes všechnu snahu nedodrží jeden nebo více z parametrů zadání. (4) Navíc s rostoucími požadavky na bezpečnost práce, ekologii a udržitelnost se celý problém dále komplikuje a jeho koordinace se stává obtížnější. (5)

Standish Group v roce 2015 udělal průzkum okolo 50 000 projektů z celého světa, které byly vybudovány mezi roky 2011 a 2015. (1) Autoři definovali projekt jako úspěšný, když dodržel termíny a cenu, problémový, když měli problém dodržet jeden nebo oba parametry a neúspěšný, když nedodrželi jeden nebo oba parametry. Data zaznamenali do tabulky.

Tabulka 1 - úspěšnost projektů (6)

	2011	2012	2013	2014	2015
Úspěšný	29 %	27 %	31 %	28 %	29 %
Problémový	49 %	56 %	50 %	55 %	52 %
Neúspěšný	22 %	17 %	19 %	17 %	19 %

Z tabulky lze vidět, že okolo 50 % projektů mělo problém dodržet parametry a okolo 20 % nedodrželo parametry vůbec. (6) Zlepšení efektivity časového plánování pomůže se vyhnout problémům s termíny, celkovou cenou díla a vyvarovat se zraněním účastníků stavby.

2 TRADIČNÍ ČASOVÉ PLÁNOVÁNÍ

Tradiční časové plánování spočívá v určení sledů, vazeb a doby trvání jednotlivých činností potřebných k dokončení díla. Pro technika je to velmi zdoluhavý a obtížný proces, protože si nemůže účinně propojit činnosti s konstrukcemi. Navíc kvůli povaze stavby (povětrností podmínky, spolehlivost firem, složitost staveb) se celý proces stává složitějším. (7) Je

důležité efektivně plánovat od začátku projektu, objevit potencionální hrozby a vyvarovat se jim svěřením práce zkušeným firmám. (8)

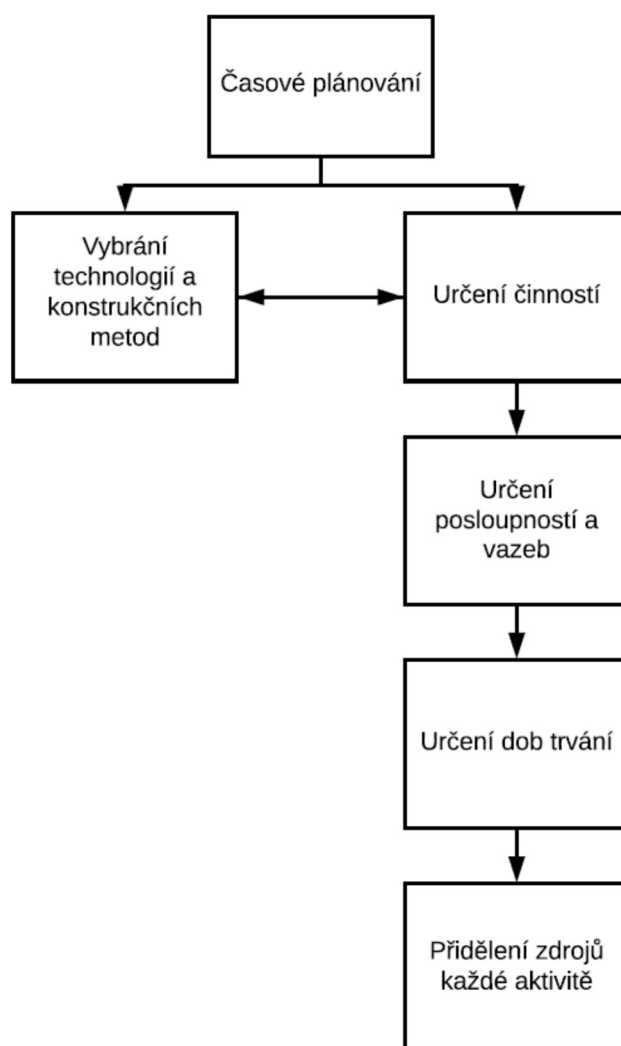
Cílem plánování je určit potřebné činnosti a jejich vzájemné návaznosti a omezení. Díky správnému určení parametrů každé činnosti bude projekt dokončen s požadovanými výsledky po ekonomické, časové, bezpečnostní a ekologické stránce. (8) Základ plánování je určení hlavních činností (včetně jejich parametrů), které povedou projekt k cíli. Technici musí pečlivě analyzovat návaznosti mnoho aktivit a následně na základě dat z předešlých projektů a současně pomocí zkušeností technika bude rozhodnuto, jaké strategie a stavební metody budou nejvýhodnější. Jinými slovy, skrz časové plánování jsou zvoleny vhodné technologie, přiděleny činnosti účastníkům, přiděleny zdroje a vazby mezi činnostmi. (9)

2.1 Kroky časového plánování

Jak již bylo zmíněno, časové plánování je základní a náročná činnost ve stavebním projektu. Proces plánování je složitý a obsahuje velké množství kroků, které se shrnou v této části. Na obrázku 1 jsou vidět kroky časového plánování. První dva kroky slouží k určení všech činností projektů (nebo jeho částí), jejich stavební technologie a konstrukční metody. Jelikož vybrané technologie a konstrukční metody můžou mít obrovský vliv na projekt jako celek, tak se doporučuje, aby technici vždycky zhodnotili zkušenosti dodavatelských firem a z nich dále vycházeli. Dále se doporučuje naplánovat aktivity s ohledem na alternativní stavební technologie a konstrukční metody a porovnat jejich vhodnost. Na základě porovnání vybrat tu nejvhodnější pro daný projekt. (9) Jednotlivé kroky budou rozebrány později v kapitole.

Identifikace pracovních činností pomáhá k informování účastníků projektu o všech aktivitách potřebných k úspěšnému dokončení projektu nebo jeho části. Tyto činnosti budou zapracovány do časového plánu výstavby projektu a budou k nim přiřazeny potřebné zdroje. Celý plánovací proces je ve finále zobrazen v hierarchálním soupisu prací s potřebnými informacemi. Technici musí na projekt nahlížet holistickým přístupem, protože příliš detailní nebo nedetailní plán aktivit je nevhodný. (9)

Jakmile jsou definovány potřebné a vhodné činnosti, technici musí určit, jak dlouho bude projekt trvat a také určit potřebnou rezervu při neplnění dílčích termínů nebo termínů milníků. Ve většině stavebních projektů je plánování založeno na zkušenostech technika a zkušenostech z předešlých projektů. Ovšem každý projekt je unikátní a tím pádem činnosti a jejich přiřazené parametry nemůžou být identické. Zde je právě prostor, kde vchází do hry zkušenosti technika. (9)



Obrázek 1 - Kroky časového plánování (10)

Současně s časovým plánováním a určováním dob trvání činností je důležitý krok rozdělení zdrojů. Díky tomuhle kroku určíme počet pracovníků (měřeno podle počtu hodin nebo dnů), množství materiálu, náradí a mechanizaci a tím pádem můžeme určit cenu každé aktivity. (9)

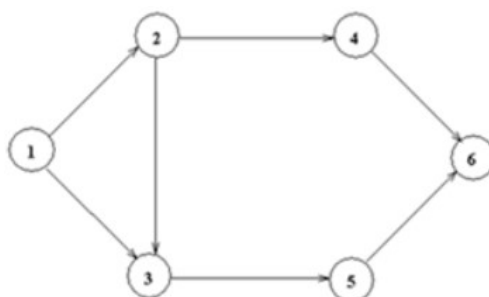
Stavební projekty obsahují stovky nebo tisíce činností, a tak přímý popis každé činnosti by byl velmi složitý a časově náročný. Použití kódovacího systému (cenové soustavy – např. ÚRS) je oblíbený postup, který urychlí celý proces plánování. Při využití cenové soustavy technici odpadá definování zdrojů a jeho úkol je správně zatřídit jednotlivé činnosti. Vždy před použitím kódů je třeba definovat, kterou cenovou soustavu budeme používat po celou dobu výstavbového projektu. (9)

2.2 Metody časového plánování

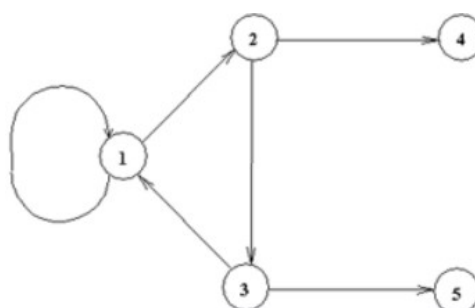
Deterministické a stochastické metody síťové analýzy byly vyvinuty v posledních 55 letech pro potřeby přípravy a řízení velkých, složitých akcí (projektů) nejrůznější povahy, nejen stavebních. Deterministické metody síťové analýzy (např. CPM, BKN, STSG) modelují systémy, kde jsou prvky systému (činnosti, stavební procesy ap.) i vazby mezi nimi pevně zadány, celkem snadno lze zjistit jejich předpokládanou dobu a není proto třeba do výpočtu síťového grafu zavádět poznatky teorie pravděpodobnosti a matematické statistiky jako ve stochastických metodách síťové analýzy, např. PERT a GERT. Protože ve stavebnictví se stochastické metody síťové analýzy užívají ve velmi malé míře, další kapitoly se budou týkat pouze metod deterministických. V těchto metodách je možné ze stanovených dob jednotlivých činností a znalosti jejich technologických a organizačních návazností provést analýzu časového sledu činností a vyhledávat cesty, na kterých činnosti určitým způsobem navazují a svojí dobou neboli trváním a způsobem návaznosti určují trvání celého procesu výstavby. Tyto metody vycházejí z matematické teorie grafů a znázorňují systémy (stavění a jiných činností) jako síťové grafy. (10)

Síťový graf (obrázek 2) je souvislý orientovaný graf, v němž se však oproti obecnému souvislému orientovanému grafu (obrázek 3) se nesmí vyskytovat cyklus a smyčka. Síťový graf by též měl vycházet z jednoho uzlu a v něm by též v jednom uzlu (ale jiném, než z kterého vychází) končit, i když moderní metody výpočtu síťových grafů umožňují definovat několik počátečních uzlů i několik uzlů koncových. U těchto počátečních a

koncových uzlů je však nutno zadat termín jejich vynuceného začátku, popř. vynuceného konce. (10)



Obrázek 2 - Souvisle orientovaný síťový graf (11)



Obrázek 3 - Obecný síťový graf (11)

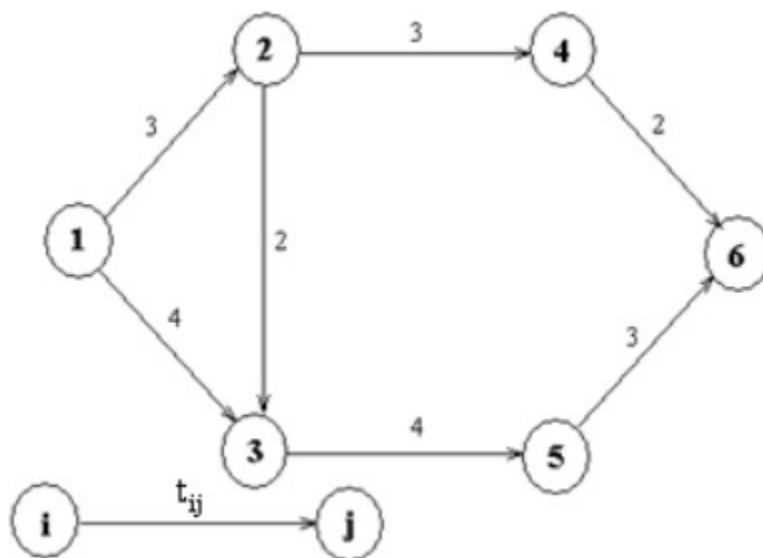
Základem deterministických metod síťové analýzy je metoda kritické cesty – CPM (Critical Path Method). Na tuto metodu navazují pak další metody, např. v anglických systémech používaná Precedence Graph Method, a potom ty, které jsou uzpůsobeny pro použití zejména ve stavebnictví, např. německá metoda stavebnicového síťového plánování – BKN (Baukasten Netzplanung) a metoda stavebně technologického síťového grafu (STSG) vyvinutá v ČR. Tyto metody jsou v dalších kapitolách ukázány a rozebrány. (10)

2.2.1 Metoda kritické cesty (CPM)

2.2.1.1 Popis Metody

Metoda kritické cesty (CPM) užívá pro znázornění systému tzv. hranově definovaného síťového grafu (obrázek 4). Ohodnocená hrana grafu, vyznačená orientovanou úsečkou, jakožto uspořádaná dvojice dvou uzlů i , j , k níž je přiřazeno nezáporné číslo, označuje určitou činnost a její trvání t_{ij} . Uzel i grafu označuje počáteční stav činnosti (její začátek), uzel j koncový

stav činnosti (její konec). Kromě činností v pravém slova smyslu se vyznačují u metody CPM ještě tzv. fiktivní činnosti, obvykle čárkovanou hranou, které vyjadřují závislosti mezi činnostmi, ale nekladou nároky ani na čas ani na zdroje. Někdy bývá používána při sestavování grafu ještě tzv. čekací činnost, která slouží pro vyjádření časového odstavu, bez nároků na zdroje. (10)



Obrázek 4 - hranově definovaný síťový graf (11)

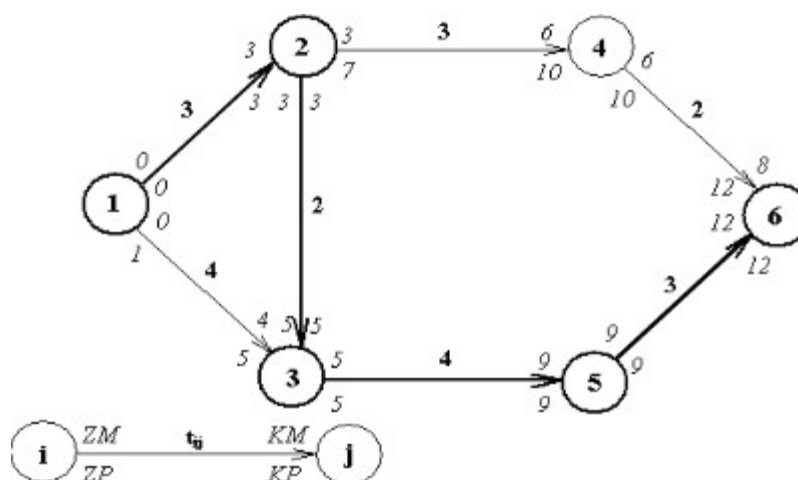
Princip sestavení síťového grafu metodou CPM spočívá v zásadě, že žádná činnost nesmí být zahájena dříve, než jsou dokončeny všechny činnosti, které jí bezprostředně předcházejí. Jinak řečeno, činnost, která z uzlu *i* vychází, může začít bezprostředně po skončení všech činností, které do uzlu *i* vcházejí. Není řečeno, že všechny předcházející činnosti vstupující do uzlu *i* musí skončit najednou. Jedná se tedy o vazbu konec předcházející činnosti – bezprostřední začátek činnosti následující. Tato podmínka je velmi důležitá a vyžaduje hlubokou analýzu technologických závislostí v systému. (10)

Síťový graf musí správně popisovat závislosti jednotlivých činností, tyto závislosti musí být zaznamenány pouze tam, kde skutečně existují, nebo kam je chceme zavést. Proto se doporučuje kreslit při sestavování síťového grafu nejprve tzv. technologické cesty, tj. sled činností, které v určité fázi uvažovaného projektu po sobě musí následovat z technologických důvodů, např. betonáž po sestavení bednění. Teprve potom je možno připojit

organizační a jiné vazby a závislosti, např. skutečnost, že práce téhož druhu vyžadující stejné stroje a zařízení je nutno s ohledem na omezenost těchto kapacit provádět postupně. Činnosti souběžné je nutno oddělit fiktivními činnostmi. Uzly grafu se obvykle číslují. Je vhodné číslovat uzly tak, aby každá činnost vycházela z uzlu s nižším číslem a vstupovala do uzlu s číslem vyšším. (10)

V síťovém grafu cestou rozumíme posloupnost činností, procházející od počátečního uzlu k uzlu koncovému. Každá cesta má určité trvání cesty, v metodě CPM je to díky podmínce bezprostřední návaznosti následující činnosti na činnost předcházející součet dob všech činností, které cestu tvoří. Toto však platí pouze pro metodu CPM. Cesta v síťovém grafu s nejdelším trváním se nazývá kritická cesta. Svoji délkou určuje tzv. vypočtené trvání projektu T_n , neobsahuje žádné časové rezervy. Činnosti na kritické cestě se nazývají kritickými činnostmi. Z uvedeného vyplývá, že činnosti, které neleží na kritické cestě, mohou začínat a končit obecně v jistém časovém intervalu. (10)

Algoritmy výpočtu metody CPM se v této práci zabývat nebudeme, uvede pouze vypočítaný síťový graf s vyznačenou kritickou cestou (tučné šipky) viz – obrázek 5.



Obrázek 5 - hranový síťový graf s vypočítanou kritickou cestou (11)

2.2.1.2 Zhodnocení metody

Metoda kritické cesty sama o sobě umožňuje zjistit trvání projektu, jeho kritické i podkritické cesty (tj. takové, které mají malou celkovou rezervu), jakož i rezervy u jednotlivých činností. Předpokládá se, že pro všechny činnosti jsou zajištěny veškeré zdroje, nejen finanční, ale i technologické (stroje, pracovní síly ap.). Pro řadu velkých projektů je však často omezený počet strojů těžké mechanizace, popřípadě počet pracovníků příslušné odbornosti. (10)

Pro omezení druhů návaznosti jednotlivých činností užitých v metodě CPM, však tato metoda má v technologii staveb stále menší uplatnění. Jak již bylo výše uvedeno, kupř. technologické přestávky je nutno znázorňovat tzv. čekacími činnostmi, o které je nutno síťový graf doplnit. Technologické a organizační vazby je nutno znázornit fiktivními činnostmi, které jsou opět v síťovém grafu navíc oproti činnostem skutečným a někdy deformují průběh kritické cesty tím, že kritickými činnostmi jsou kupř. první a poslední skutečná činnost v síťovém grafu a mezilehlé činnosti fiktivní. Tím síťový graf nabývá na rozsahu a stává se velmi složitým, nepřehledným a nevystihujícím skutečné návaznosti stavebních procesů. (10)

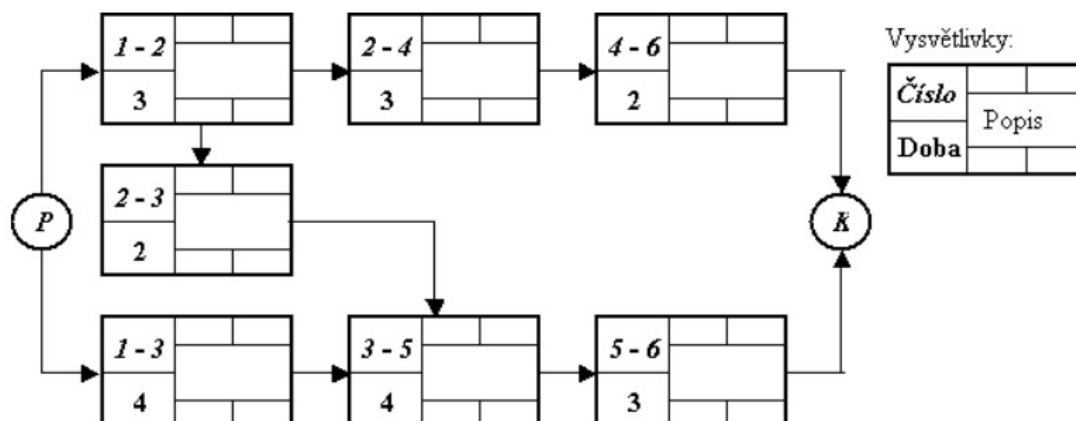
Velmi obtížně se v metodě CPM znázorňuje případ stavění určitého objektu, kdy ještě před skončením práce určité pracovní čety na objektu začíná pracovat další pracovní četa, neboť předcházející četa jí už uvolnila minimální pracovní prostor – tedy minimální pracovní frontu, kterou následující četa potřebuje. Minimální pracovní fronta označuje prostor, který je nutný k tomu, aby stavební proces probíhal hospodárně, bezpečně, kvalitně a výkonně. (10)

2.2.2 Metoda BKN

2.2.2.1 Popis metody

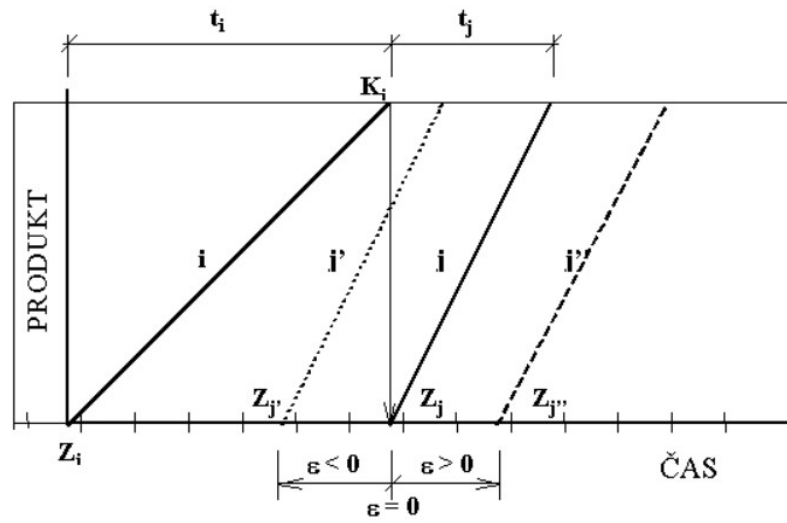
Metoda BKN (Baukasten Netzplanung – stavebnicové síťové plánování) je jednou z klasických metod síťové analýzy, která byla vyvinuta v 60. letech pro aplikaci ve stavebnictví. Tato metoda umožňuje poměrně

jednoduché znázornění a respektování různých vazeb mezi činnostmi, jak ze stavebních procesů vyplývají. Tato metoda užívá uzlově definovaného síťového grafu, ve kterém je prvek systému, tedy stavební činnost, znázorněna uzlem síťového grafu. Vazby mezi činnostmi jsou znázorněny hranami síťového grafu. Nad hranou je obvykle uveden typ (druh) vazby, pod hranou bývá časová hodnota e příslušné vazby. (10)

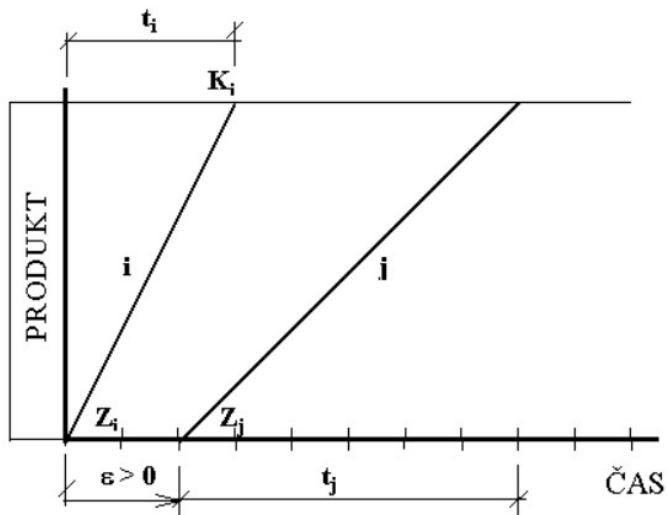


Obrázek 6 - uzlově definovaný síťový graf

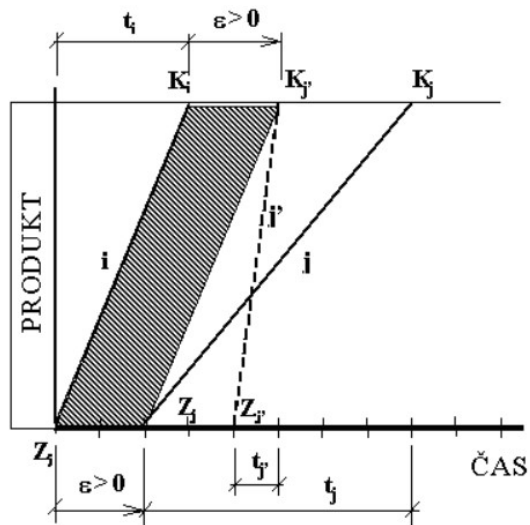
Metoda BKN zavádí 4 typy vazeb, které představují podmínku minimálních časových odstupů. U každého typu vazby je proto definována tzv. časová hodnota vazby e , jakožto časový odstup mezi prvním a druhým bodem vazby. Časová hodnota vazby je dána určitým počtem časových jednotek. Při sestavování síťového grafu je třeba ji natvrdo zadat. První bod vazby je při určení typu vazby vztažen k předcházející činnosti i , druhý bod vazby je vztažen k činnosti j , kterou navazujeme na činnost předcházející. Typy vazeb jsou znázorněny formou časoprostorových grafů pro 2 činnosti i a j v obrázcích 7, 8, 9 a 10. V obrázcích značí t_i a t_j doby činností i a j , e časovou hodnotu příslušné vazby, Z termín začátku činnosti, K termín konce činnosti. Čárkovaně a tečkovaně (j' , j'') je značena navazující činnost j pro různé varianty časové hodnoty vazby e . (10)



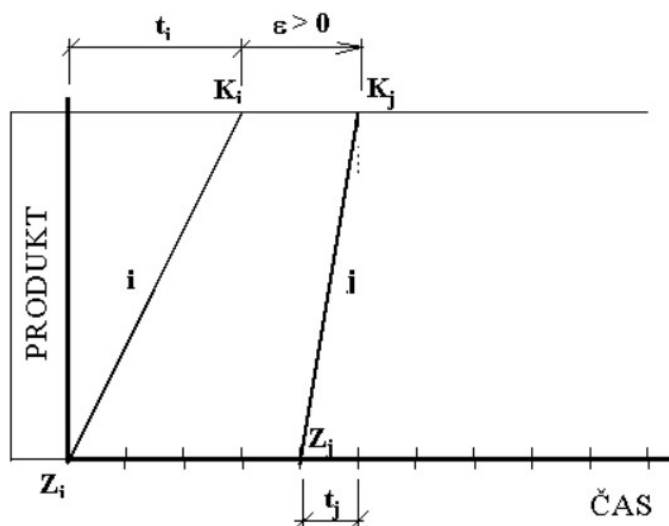
Obrázek 7 - vazba konec – začátek (KZ) (11)



Obrázek 8 - vazba začátek – začátek (ZZ) (11)



Obrázek 9 - vazba kritické přiblížení (KP) (11)



Obrázek 10 - vazba konec – konec (KK) (11)

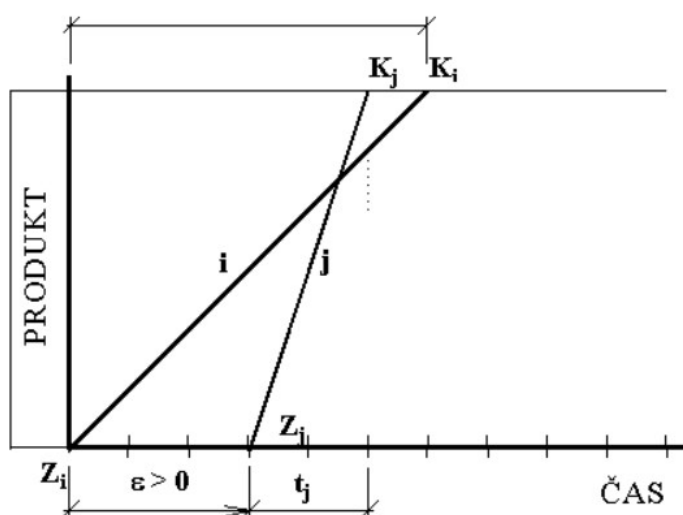
Kritická cesta je u metody BKN definována jako sled činností, který určuje nejdříve možný konec celého projektu, nebo jako sled činností, pro které platí, že posune-li se začátek kteréhokoli z nich o určitou dobu oproti jejímu nejdříve možnému začátku, posune se o tutéž dobu termín realizace projektu. Uvnitř grafu mohou v důsledku vnějších nucených termínů existovat ještě tzv. dílčí kritické cesty, které neprocházejí celým grafem, ale začínají, resp. končí v činnostech, jejichž nejdříve možný začátek, resp. nejpozději přípustný konec je dán vnějším nuceným termínem. (10)

2.2.2.2 Zhodnocení Metody

Metoda BKN je z klasických metod síťové analýzy pro využití při modelování postupu stavění poměrně vhodná díky možnosti zavádění 4 typů vazeb. Metoda BKN má však též některé nevýhody. (10)

Hlavní nevýhodou metody BKN je, že časové hodnoty vazeb je nutno zadávat konkrétní hodnotou počtu časových jednotek "natvrdo" na základě předchozí znalosti dob procesů, které vážeme. Při automatizovaném současném zpracování technologického rozboru a síťového grafu, kdy se doby procesů vypočítávají z množství produkce, resp. rozpočtové ceny, a norem času, resp. produktivit, a z počtu pracovníků může dojít při použití vazby typu začátek – začátek nebo vazby typu konec – konec k chybě v síťovém grafu. (10)

Na 11 je znázorněna v časoprostorovém grafu situace kloubení 2 procesů vazbou typu začátek – začátek, kdy při výpočtu dob vázaných procesů vychází z objemu produkce, normy času a počtu pracovníků doba následujícího procesu j kratší než doba předcházejícího procesu i , přičemž časová hodnota vazby byla zadaná poměrně krátká. Potom proces j předběhne na produktu proces i v určitém místě, což nelze, pokud oba procesy jsou prováděny na stejném pracovním prostoru a technologicky spolu souvisejí. Pokud takto vázané procesy probíhají na různém pracovním prostoru na staveništi, může taková situace být v pořádku. Podobná situace může nastat i při použití vazby konec – konec. (10)



Obrázek 11 - špatně zvolená vazba (11)

2.2.3 Metoda stavebně technologického síťového grafu – STSG

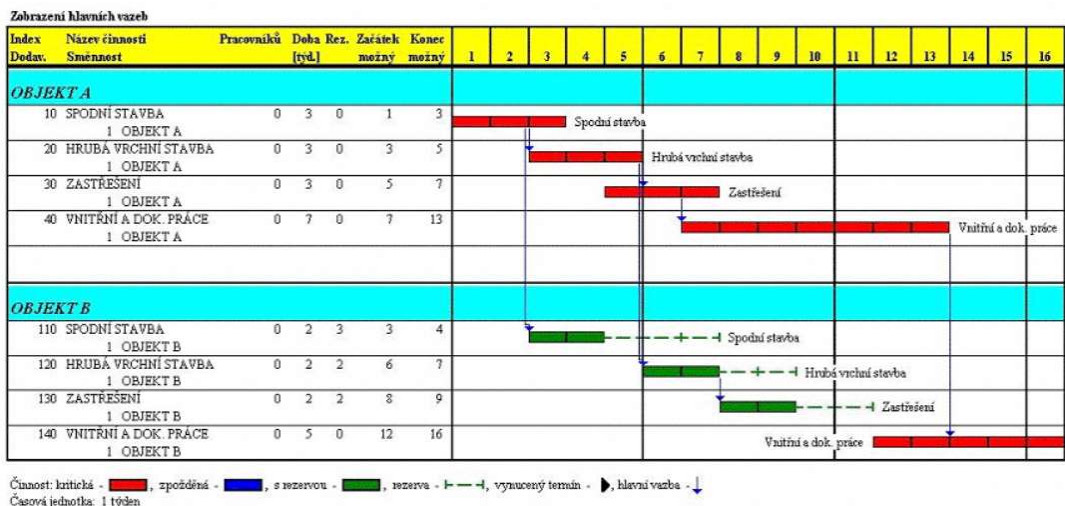
2.2.3.1 Popis metody

Stavebně technologický síťový graf (STSG) vychází z metody stavebnicového síťového plánování (BKN). Uzlově definovaný síťový graf, který metoda stavebně technologického síťového grafu užívá, je oproti klasické metodě BKN, která používá čtyři typy vazeb, doplněn o další 4 typy vazeb. Pátým typem vazby je tzv. stavebně technologická vazba, která umožňuje optimálně kloubit procesy z prostorového hlediska a zajišťuje podmínku volnosti minimální pracovní fronty. Šestým typem vazby je vazba proudová, která zajišťuje podmínku plynulosti prací proudově nasazených

procesů na různých produktech. Sedmým a osmým typem vazby jsou vazba částečná ZZ a vazba částečná KK, které umožňují vázat začátek následujícího procesu na část hotového produktu procesu předcházejícího nebo začátek předcházejícího procesu na část hotového produktu procesu následujícího, popř. na to, že část sledovaného procesu bude ukončena po skončení předcházejícího procesu, nebo naopak na to, že část předcházejícího procesu bude ukončena po skončení sledovaného procesu. (10)

Metoda stavebně technologického síťového grafu – STSG (anglicky CONTEC – Construction Technology Network Diagram) byla vyvinuta pro automatizovaný současný výpočet technologických normálů a síťových grafů, kterým se odstraní chyby plynoucí z odděleného výpočtu obou dokumentů (nerespektování stavebně technologické návaznosti, chyby z transformace dat, administrativní náročnost přenosu dat ap.). Tato metoda navazuje na klasické metody síťové analýzy, zejména na metodu BKN, a odstraňuje jejich nevýhody. Metoda STSG užívá uzlově definovaného síťového grafu a umožňuje respektování různých druhů vazeb mezi činnostmi, včetně vyjádření optimálního využití minimální pracovní fronty procesů a návazností vyplývající z proudové metody stavění. (10)

Pomocí stavebně technologických vazeb je však též možné vytvářet tzv. typové síťové grafy objektů a částí staveb, které jsou alespoň částečně opakovatelné. Ty se sestavují na počítači jakožto soubory dat, které obsahují prakticky všechny činnosti, které se mohou na daném objektu vyskytovat, řazené v technologickém sledu, jejich ohodnocení objemem prací, popř. cenou a náklady a zejména vazby mezi činnostmi. Je možno tedy sestavit např. typový síťový graf pro stavění haly a používat jej pro modelování výstavby hal různého druhu a různých velikostí. Aby bylo možno typový síťový graf "nafukovat", tzn. modifikovat jej podle prostorové struktury konkrétního objektu a minimálních pracovních front pro různé procesy z ní vyplývající, je vhodné při tvorbě typových síťových grafů užívat co nejvíce stavebně technologickou vazbu. (10)



Obrázek 12 - Harmonogram ze síťového grafu (11)

2.2.3.2 Zhodnocení metody

Jak plyne z předcházejícího, modely realizace výstavby vytvořené pomocí síťového grafu vypočteného metodou kritické cesty (CPM) se nehodí pro využití ve stavební praxi, neboť zavádí do výpočtu pouze 1 druh vazby. Síťové grafy, které využívají metodu stavebnicového síťového plánování (BKN, Precedence Graph Method) a zavádějí do výpočtu 4 druhy vazeb, mají podstatně lepší využití a jsou, avšak bez vazby kritické přiblížení využívány v amerických a německých automatizovaných systémech projektového řízení, např. Primavera P6, MS Project, Superproject, Time-Line a jiných. Nevýhodou této metody je nutnost předem zadat časové hodnoty všech vazeb "natvrdo". (10)

Metoda stavebně technologického síťového grafu (STSG – CONTEC) veškeré tyto nevýhody odstraňuje. Díky zavedení 8 typů vazeb tato metoda umožňuje nejen provádět okamžitou optimalizaci využití minimálního pracovního prostoru pro pracovní čety při výpočtu síťového grafu včetně respektování technologických přestávek a dob rozvinutí procesů, ale i vytvářet a využívat tzv. typové síťové grafy jakožto modely realizace výstavby objektů či částí staveb, které jsou modifikovatelné jednak dle objemu účelových měrných jednotek konkrétního stavebního díla, jednak dle prostorové struktury komplexního stavebního procesu. (10)

3 4D BIM

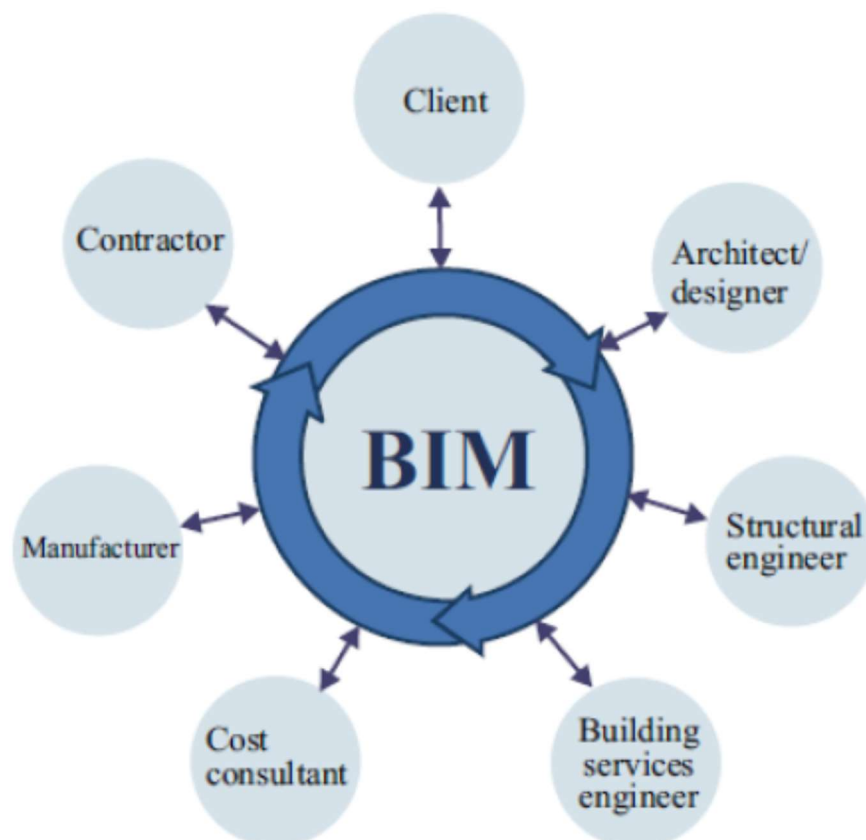
3.1 Úvod do BIM

Jeden z nejvíce vyvíjejících se nástrojů, které v moderní architektuře a stavebním inženýrství zaznamenalo je Building Information Modeling (BIM). BIM se používá k virtuálnímu modelování budov. Tyto počítačové modely obsahují přesná geometrická data stavebních komponentů a další důležitá data potřebná k podpoře výroby, stavby a organizaci činností. BIM také obsahuje další funkce, které jsou potřeba k vymodelování životního cyklu budovy a tím vytváří ideální zázemí pro návrh budov a jejich hodnocení. Když se BIM používá správně, vznikají kvalitnější návrhy a stavební procesy vykazující nadstandartní kvalitu při snížení celkové časové náročnosti a menší celkové ceně díla. (11)

Definice BIM:

- „The building information model (BIM, informační model budovy) je souhrn informací, které jsou strukturována tak, aby šly sdílet. BIM je digitální model budovy ve kterém jsou uchovány informace o projektu. Může být ve formě 3D, 4D (integruje časovou stopu) nebo dokonce 5D (integruje cenovou stopu) – dále k více „nD“ (termín, který definuje další potřebné informace) (12)
- Building Information Modeling (BIM, informační model budovy) je moderní, inteligentní proces pro tvorbu a správu projektů založený na modelu budovy. Usnadňuje výměnu informací v rámci procesu návrhu projektu, výstavby a používání budovy. Umožňuje tvořit a spravovat projekty pozemních a inženýrských staveb infrastruktury – rychleji, ekonomičtěji a s nižším dopadem na životní prostředí. Moderní softwarové nástroje pomáhají naplňovat procesy a metodiku BIM. BIM software Autodesku (Revit) nabízí široké portfolio řešení pro návrh, vizualizace, simulace a spolupráci vycházející z obsahově bohatých informací inteligentního modelu. Usnadňuje tak rozhodování modernějším a informovanějším systémem virtuálního modelu a tím snadněji překonává překážky v procesech stavebnictví. (13)

BIM cílí ke zlepšení spolupráce mezi zainteresovanými stranami v projektu (viz – obrázek 13), snížení časové náročnosti tvorby dokumentace projektu a vytvoření více intuitivnější projektové dokumentace. BIM má masivní potenciál a přizpůsobivost jako databáze informací o projektu. (12)



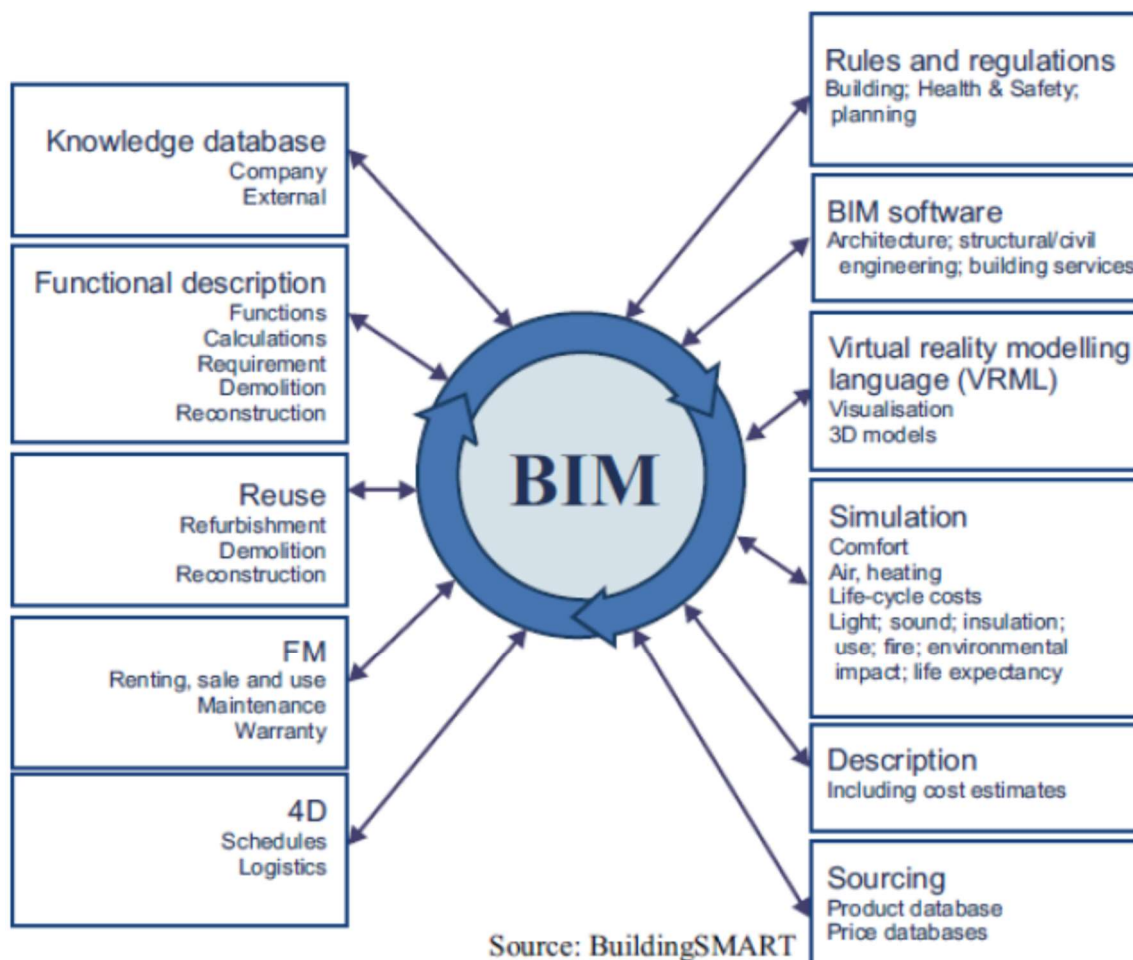
Obrázek 13 - sdílení informací v modelu BIM (13)

3.2 Funkce BIM

Plně fungující BIM může sloužit jako nástroj s více funkcemi, jak lze vidět v obrázku 14. Různé projekty mohou využívat BIM jiným způsobem, například jako nástroj pro naplnění požadovaných parametrů na základě potřeb a druhu projektu. Každá funkce BIM může přinést mnoho informací ke sdílení mezi účastníky. (12)

BIM může být použit od počáteční fáze projektu, při schvalování projektu a při vytváření projektové dokumentace ke kontrolování normových požadavků na všechny výstavbové etapy. Různé BIM softwarové balíčky mohou zjednodušit práci a zlepšit výkonnost architektů, stavebním inženýrům a statikům. 3D vizualizace jsou další možností, jak vidět projekt jako celek

předtím, než se začne budovat. BIM umožňuje různé způsoby kontrol a použití funkcí, které pomáhají při projekci. BIM umožňuje také odhad cenových nákladů. Časová stopa může být přidána k 3D BIM – vznikne 4D BIM, který pomáhá časovému plánování a řízení stavby. (12)



Obrázek 14 - funkce modelu BIM (13)

3.3 LoD (Level of Detail/Development)

Pojem Level of Detail (lze použít i Level of Development; LoD) lze popsat jako doporučení, které umožňuje odborníkům ve stavební praxi přesně specifikovat a jasně naformulovat požadovanou podrobnost elementů v informačním modelu stavby v různých fázích návrhu, dá se říci, že LoD je v podstatě jakýmsi měřítkem, jak zaimplementované informace reprezentují daný BIM element. LoD není nezbytně měřítkem množství informací, ačkoliv je samozřejmé, že v daném BIM elementu musí být dostatek informací, aby byla splněna úroveň požadovaného LoD. LoD současně nedefinuje přesnost

grafického zpracování daného BIM elementu. Grafický vzhled je jen jedna část informace o daném elementu a obvykle je považována za nejméně důležitou. Dodavatel daného BIM elementu nepotřebuje přesně vědět, jak daný objekt vypadá, nebo kde přesně bude v informačním modelu osazen, ale potřebuje vědět název výrobce a číslo modelu, popřípadě je také nutné znát konkrétní rozměry objektu pro případnou koordinaci s ostatními objekty kolem něj. (13)

Obecný příklad hodnoty LoD objektu:

- **LoD 100** – zde se nachází objekt (Koncept)
- **LoD 200** – Zde se nachází objekt o konkrétních rozměrech (Návrh)
- **LoD 300** – Zde se nachází objekt s těmito funkcemi a možnostmi (Dokumentace)
- **LoD 400** – Je to tento konkrétní objekt (Konkrétní výrobek)
- **LoD 500** – Je tento konkrétní objekt dodávaný tímto dodavatelem k tomuto datu (Facility management)

3.4 Dimenze BIM

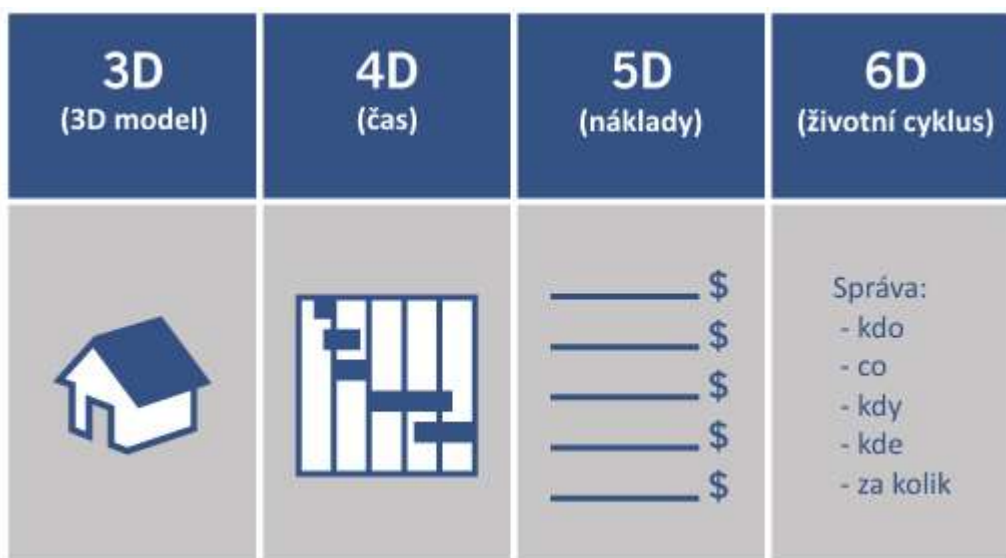
Oproti známým 2D a 3D CAD nástrojům, které při projektování využívají dvourozměrnou nebo třírozměrnou dimenzi, projektování v BIM prostředí je spojené s více procesy projektu nebo stavby, a proto bývá datový obsah BIM označován více dimenzemi než jen "3D" - jako "4D", "5D" nebo dokonce "6D". Tyto negeometrické dimenze jsou významné zejména u větších BIM projektů. (12)

- 3D – třírozměrný prostorový model
- 4D – odkazuje na časový aspekt projektu, tedy plánování spojené s BIM procesy. Pomocí časové dimenze dat mohou účastníci projektu analyzovat stav a funkčnost projektu v průběhu času. Vedle plánování fází a kritických bodů výstavby, logistiky dodávek a instalace komponent, rizik či následného provozu budovy sem patří například

také simulace BIM modelu z hlediska trvanlivosti konstrukce.

Přínosem je optimalizace plánování, výstavby a koordinace týmů (13)

- 5D – doplňuje pohled finanční. Tento aspekt BIM analyzuje ceny komponent a služeb a pomáhá vytvářet přesné kalkulace a výkazy. Lze lépe plánovat a hlídat náklady, cenové dopady variant projektu, analyzovat finanční dopady změn projektu. 5D lze využít pro oblast prefabrikace. Výhodou je úspora nákladů a trvale udržitelné budovy (13)
- 6D – a případné další rozměry se týkají následné provozní fáze životního cyklu stavby, zejména z pohledu správy (facility management – FM, Building Lifecycle Management – BLM) - tedy po dokončení výstavby a předání do užívání. Tato oblast pokrývá široké spektrum pohledů – realitní strategie, správu majetku, pronájmy, daně, provozní předpisy, záruční doby, údržbu a renovace. Řada z těchto pohledů může efektivně využít data z informačního modelu budovy v některém ze standardizovaných formátů, jako je například COBie (Construction Operations Building information exchange). Přínosem je optimalizace správy majetku, od projektu až po demolici (13)



Obrázek 15 - dimenze BIM prostředí (13)

3.4.1 3D BIM

3D BIM obsahuje všechny prostorové návaznosti, geografické informace a geometrické informace (délku, šířku a výšku) jednotlivých stavebních konstrukcí. Kvůli využití virtuálního 3D prostředí nejsou tak časté projekční chyby jako ve 2D projektování, protože je dokážeme lépe vizuálně odhalit a napravit. Navíc modely různých profesí mohou být propojeny dohromady a zkontrolovány na vzájemné kolize v ranné projektové rozpracovanosti. Lze tedy identifikovat kolize ještě před tím, než by se objevily při stavebním procesu. (11)

Při implementování 3D modelu je zlepšena a zjednodušena koordinace mezi účastníky projektu a tím jsou výrazně omezeny projekční chyby. Tento systém vede k zefektivnění stavební činnosti. (11)



Obrázek 16 - 3D BIM model (<https://www.theengineeringdesign.com/wp-content/uploads/2015/05/bim-revit-3d.jpg>)

3.4.2 4D BIM

4D BIM znamená propojení časového plánu s 3D modelem a tím dále umožňuje simulovat, jak bude budova a staveniště vypadat v jakémkoliv stádiu výstavby. 4D software umožňují technikům vizuálně kontrolovat a plánovat činnosti v závislosti na čase a prostoru. (11)

Tento systém je alternativa ke klasickému stavebnímu plánování. Napomáhá také při tvorbě výkresů zařízení staveniště, časových plánů a plánování využití těžké mechanizace (např. lokace jeřábu). (4)

3.4.3 5D BIM

Už při tvorbě 3D modelu musí být vyplněny informace o ceně jednotlivých konstrukcí, abychom mohli předvídat a kontrolovat náklady spojené s výstavbou všech etap stavebního procesu. Pomáhá v brzkých stádiích projektu vytvořit cenu díla. V závislosti na LoD modelu může být přesněji určena cena díla. Lze do modelu zabudovat i data alternativních technologií a stavebních metod jednotlivých konstrukcí a nadále je vyhodnocovat v závislosti na finanční úspěšnosti projektu. Vygenerovaná data z 5D modelu mohou být využity k vytvoření cashflow a hodnocení finanční výkonnosti projektu při aktuální rozestavěnosti. (4)

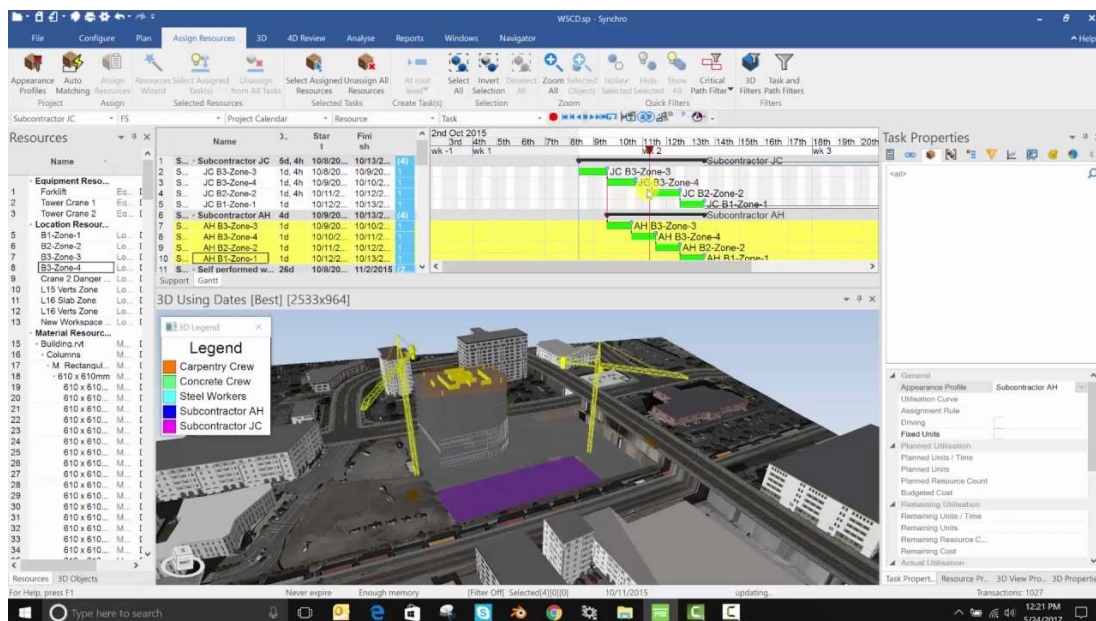
3.5 4D plánování

Stavební plánování se skládá z určování dob trvání a vazeb mezi jednotlivými činnostmi v čase a prostoru. Dále zde hraje roli přerozdělování zdrojů (materiál, lidská práce, stroje), zásobování stavby, prostorová omezení a další záležitosti. Pro časové plánování činností se tradičně se využívá metoda kritické cesty (CPM) nebo metoda BKN ve formě Ganttova diagramu. Ovšem tyto metody neřeší prostorové uspořádání staveniště včetně stavby a dále nepropojují jednotlivé činnosti s konstrukcemi ve 3D modelu. Kvůli tomu je časové plánování složitá a zdoluhavá manuální práce, která se často ne úplně podobá návrhu budovy a tím se pro účastníky projektu stává velmi složitá na pochopení. Zde můžou vznikat nesrovnalosti, jak budou dále vypadat následující postupy prací a logistika na staveništi. (11)

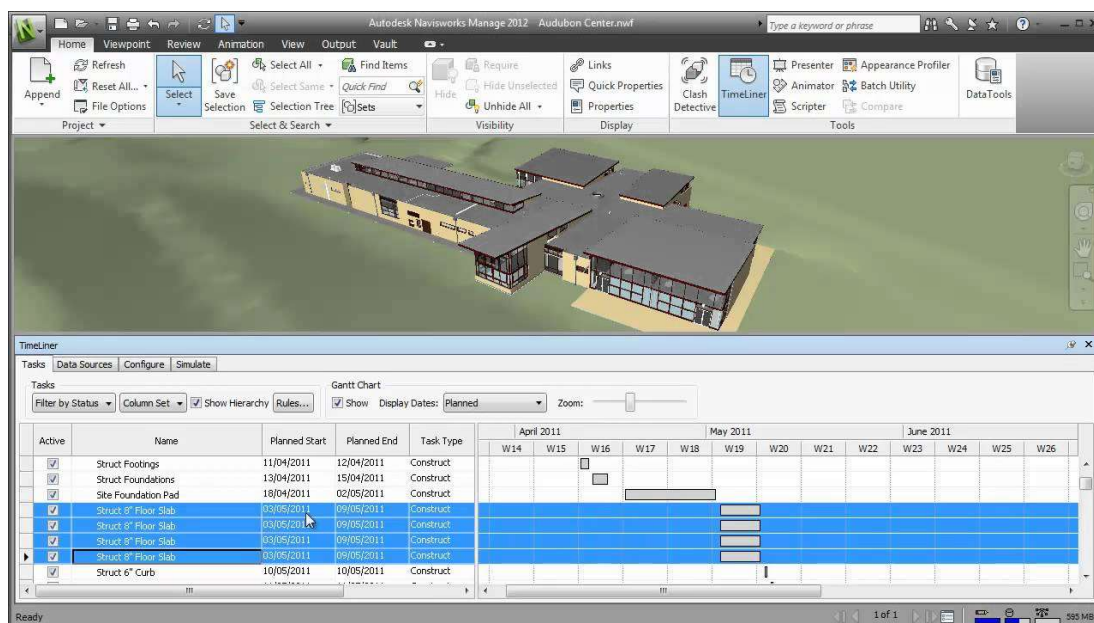
V dnešní době se technologie 4D plánování vyvíjí, lze využít mnoho komerčních softwarů, které umí propojit model s časovou stopou výstavby. BIM softwary začaly umět vytvářet, vyhodnocovat a spravovat 4D modely efektivněji. To má za výsledek implementaci více spolehlivějších, jednodušších a robustnějších časových plánů. (11)

4D modelování umožňuje simulování a vyhodnocování plánu postupu výstavby. Shlukování objektů ve stavebních modelech by mělo být provedeno přesně podle konstrukčních fází a propojeno se správnými činnostmi v plánu. Například pokud je betonová deska litá na tři záběry, tak by 3D prvek měl být rozdělen na 3 pod prvky, aby činnosti mohly být správně plánovány a zobrazeny se simulací. Simulace by také měla obsahovat dočasné konstrukce jako je například lešení a věžové jeřáby. Zkušenosti a know-how zhotovitele stavby jsou velmi důležité při tvorbě 4D modelu pro plánování činností. Pokud je 4D model simulován ve fázi projekce budovy může zhotovitel stavby dát významnou zpětnou vazbu na možnost proveditelnost konstrukcí, odhad cen konstrukcí a vazby mezi fázemi projektu. 4D simulace slouží jako komunikační nástroj pro identifikaci potencionálních překážek ve výstavbě a může napomocť ve spolupráci mezi rozdílnými týmy, které se účastní výstavbového procesu. (11)

Na obrázku 17 a 18 můžeme vidět ukázkou vytvořeného 4D BIM plánu v dvou různých software.



Obrázek 17 - ukázkou 4D BIM software Synchro PRO
(https://i.ytimg.com/vi/RW1tbg_nbd0/maxresdefault.jpg)



Obrázek 18 - ukázka 4D BIM software Navisworks

(<https://i.ytimg.com/vi/c8sIXCQI2RU/maxresdefault.jpg>)

3.5.1 Procesy 4D modelování

Pro technika je zde na výběr více nástrojů a procesů, jak vytvořit 4D model (11):

- Metoda manuálního použití 3D a 2D nástrojů
- Vestavěné 4D funkce ve 3D nebo BIM nástroji
- Exportování 3D/BIM do 4D nástroje a propojit s časovým plánem

3.5.1.1 Manuální metody založené na CAD

V minulých desetiletích technici používali k tvorbě časových plánů barevné zvýrazňovače a barevné výkresy, které reprezentovaly různé fáze stavebního projektu. Tento proces se přenesl do CAD systémů s rozvojem počítačů. Technici spolupracovali se třetí stranou, která vytvářela a rendrovala animace sloužící k zobrazení postupu výstavby v závislosti na čase. Tyto animace byly velmi přitažlivé po vizuální stránce a tím pádem byly velmi silný marketingový nástroj. Po technické stránce ale nevyhovovaly pro časové plánování. Hlavní důvod byl, že byly vytvářeny manuálně, s minimálními možnostmi změn a úprav. S každou změnou časového plánu, musely být vytvořené nové obrázky nebo animace a manuálně

synchronizovat 4D animaci s časovým plánem. Kvůli těmto omezením bylo použití této vizuální metody většinou využíváno v prvotních etapách projektu, kde hrála důležitou roli v komunikaci s klientem. (11)

3.5.1.2 BIM nástroje se zabudovanou 4D technologií

Další možnost, jak vygenerovat 4D animace je skrz funkce, které automaticky filtrují objekty v aktuálním zobrazení na základě zadaných okrajových podmínek. (11)

Software Revit od Autodesk je nástroj, který umožňuje rozdělit objekty do různých fází projektu v závislosti na požadavcích. Uživatel může poté aplikovat filtry, aby viděl požadované prvky ve specifické fázi projektu. Tento typ 4D funkce je aplikovatelný na základní etapování projektu a generaci 3D modelu při určitých požadavcích. Bohužel ale chybí přímé propojení s časovým plánem, takže se nedá hovořit o přímé metodě 4D plánování. (11)

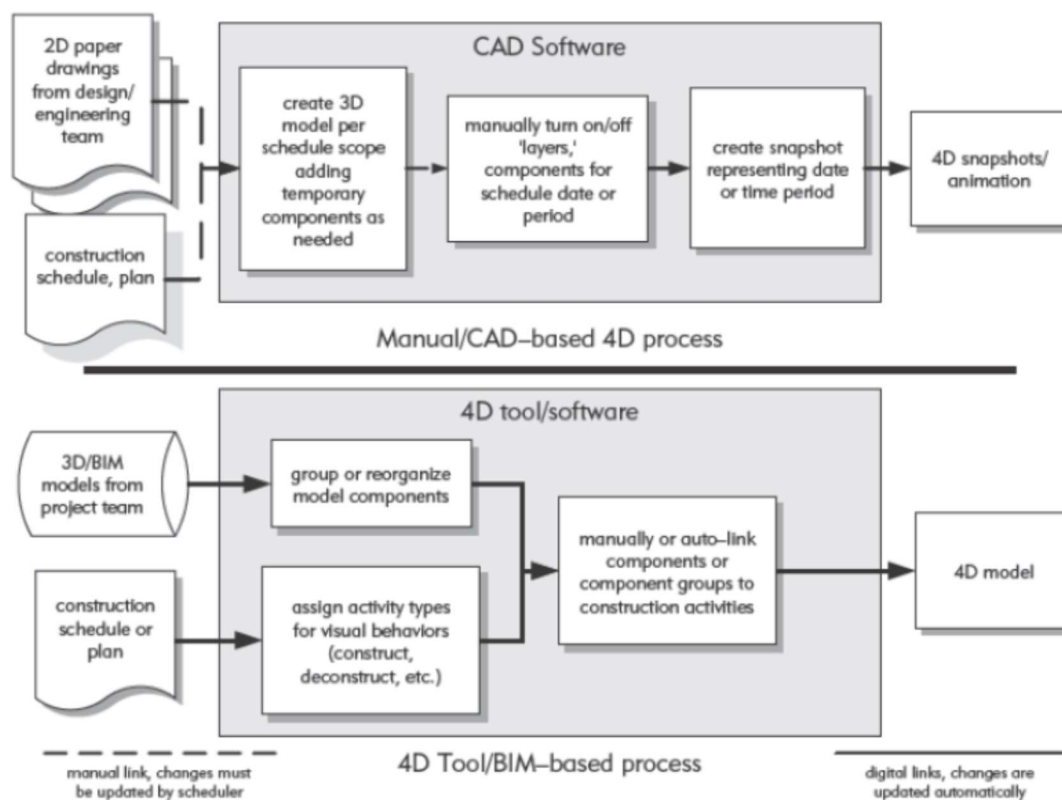
Například ale software Tekla Structures má zabudované plánovací funkce, které dovolují propojení činností s objekty pomocí vazeb. Každý 3D objekt může být propojen s jedním nebo více činnostmi a každá činnost může být propojena s více činnostmi. Tím lze vytvořit 4D animaci. (11)

Většina BIM nástrojů ovšem nemá zabudované funkce využívající čas a vyžadují specifické programové nastavby nebo 4D moduly, abychom byli schopni propojit jednotlivé elementy s činnostmi v časovém plánu. (11)

3.5.1.3 Exportování 3D/BIM modelu do 4D software a propojení s časovým plánem

Kvůli postupnému menšímu využívání manuální metody a CAD/BIM se zabudovaným 4D se vyvinuly speciální software zaměřené na tvorbu 4D modelů. Tyto softwary pomáhají vytvářet 4D BIM modely a dávají technikům mnoho možností, jak je upravovat. Většinou tyto nástroje potřebují data z 3D modelu, který byl vytvořen pomocí CAD/BIM software a data z časového plánu, který byl vytvořen pomocí software pro tvorbu časových plánů jako je MS Project nebo Primavera P6. Technik potom propojí elementy z 3D

modelu ke stavebním činnostem z časového plánu a tím vytvoří 4D model.
(11)



Obrázek 19 - grafické zobrazení 4D metod (12)

3.5.2 Detaily 4D modelu

Systém a mechanismus plánovacího procesu se výrazně liší na metodě a softwaru, který technik využívá. Seznam detailů, které by každý tým nebo technik zabývající se 4D modelováním měl mít vyřešené předtím, než začne 4D model vytvářet je uveden dále v kapitole. (11)

3.5.2.1 Rozsah modelu

Rozsah modelu hraje výraznou roli při jeho vytváření. Model bude poměrně jednoduchý, pokud bude tvořen pro marketingové nebo architektonické účely. Úroveň detailu 4D modelu přímo záleží na požadavcích klienta. Pokud je 4D model používán pro všechny etapy projektu, měl by být potom více detailnější a zahrnovat každou důležitou činnost stavebního procesu. (11)

3.5.2.2 Level of Detail (LoD)

LoD je přímo závislý na požadavcích klientů. Například vysoce členitá stěna skládající se z mnoha materiálových prvků je důležitá pro architekta při renderování vizualizací, ovšem v tomto případě zhotovitel potřebuje takto detailní stěnu zobrazenou jako jeden prvek. Lze prvek pak rozdělit na více záběrů, protože záběry stěn nebo desek jsou pro časové plánování mnohem důležitější než kompletní konstrukce. (12)

Tohle ale neplatí vždy, třeba při montáži sádrokartonových předstěn v koupelnách nejdříve sádrokartonář namontuje rastr, potom nastoupí instalatéři, kteří udělají rozvody zdravotnické, a nakonec se vrací sádrokartonář na vyvátování a záklop předstěn. V tomto případě je vhodné mít vymodelovaný rastr a záklop s vatou zvlášť. (11)

3.5.2.3 Reorganizace elementů

Technik může vytvořit vlastní shluky elementů a přeorganizovat je tak, aby vyhovovaly plánovacímu procesu. Tato funkce je velmi důležitá pro každého technika, protože projektant nebo architekt neorganizuje model pro potřeby vytváření časových plánů. Například projektant může udělat shluk všech sloupů v určitém patře, aby mohl dělat hromadné změny údajů, ale technik musí shluk přeorganizovat na více menších shluků, které budou souhlasit s postupem výstavby. Tato funkce je klíčová pro tvorbu přesných a flexibilních 4D modelů. (11)

3.5.2.4 Dočasné konstrukce

4D BIM model by měl také obsahovat dočasné konstrukce a aktivity k vytvoření efektivního 4D modelu, který reprezentuje realistický proces výstavby. Mluvíme zde o výkopových pracích, věžových jeřábech, mobilních jeřábech, lešení a dalších prvcích, které jsou klíčové pro výstavbu. Zabudování lešení a věžových jeřábů do 4D BIM modelu může pomoci technikovi lépe hodnotit proveditelnost konstrukcí a bezpečnost práce. Například lešení je důležité, protože kvůli němu vznikají prostorová omezení, nebezpečné prostory a omezení pohybu na staveništi. (11)

3.5.2.5 Dělení a spojování prvků 3D modelu

Při tvorbě 4D modelu některé prvky budou muset být rozděleny do více menších pod prvků, abychom přesněji dokázali napodobit postup výstavby. Například betonová deska je vytvořena jako jeden prvek, ale na stavbě ji budou provádět na více záběrů. Technik musí tedy desku rozdělit na více záběrů, protože každá betonáž bude probíhat v jiném čase. Rozdělování prvku může být problém pro technika, protože některé 4D softwary nemají zabudovanou funkci, která rozdělí prvek na pod prvky, a proto musí použít 3D software, kde to už lze provést. (11)

3.5.2.6 Klasifikační systém

Odborníci pracující s nástroji pro tvorbu, správu a využití BIM modelu (např. Revit) zaznamenali, že při vkládání systémového prvku, je v jeho attributech obsažen i tzv. Omniclass kód, tedy kód amerického klasifikačního systému. Analýzy prováděné nad modelem proto mohou tohoto klasifikačního systému využívat. Ovšem zde nastává problém, protože žádný jednoznačný a všeobecně přijatý klasifikační systém stavební produkce ve světě neexistuje. O tom svědčí i jejich používané množství a relativně obtížná přenositelnost mezi regiony a zeměmi, verze klasifikačních systémů a jejich obtížná transformace. (18)

V České republice se používá nejčastěji cenová soustava (CS URS) společnosti URS Praha a.s. a naopak systém Revit obsahuje klasifikaci založenou na omniclass. Jeho exploataci v našich podmínkách brání nejenom nedostupná lokalizace do národního jazyka, ale také neexistence cenové databáze organizované na bázi takového klasifikačního systému. Úplně nový systém, zase na druhou stranu, nutně musí jako základ používat data systémů stávajících, takže algoritmus oboustranného převodu bude nutně vytvořit společně s novou soustavou cen. Jejich orientace na parametrické stavební elementy, základní to objekty BIM, nikoliv na stavební práce, by velmi usnadnila tvorbu nákladových analýz. Do té doby všichni zúčastnění inženýři budou moci těžit profit z metodiky BIM, avšak rozpočtáři se budou muset

omezit na precizní „výkaz výměr“. Nesrovnalosti ve klasifikačních systémech nemají zásadní vliv na tvorbu a využívání 4D BIM simulace. (18)

3.6 Průzkum Sustainable Cities and Society

V roce 2017 vyšel článek z University of Extremadura, Badajoz, Španělsko o analýze použitelnosti 4D BIM plánování versus klasických metod časového plánování ve stavebních projektech, který napsali A. Candelario-Garrido, J. García-Sanz-Calcedo a A. M. R. Rodríguez. Následující kapitola byla plně citována a přeložena do češtiny.

3.6.1 Podmínky průzkumu

V průzkumu se autoři dotázali 65 firem na téma 4D BIM plánování. Z toho vyhovělo pouze 33 firem základním podmínkám potřebným k účasti v průzkumu.

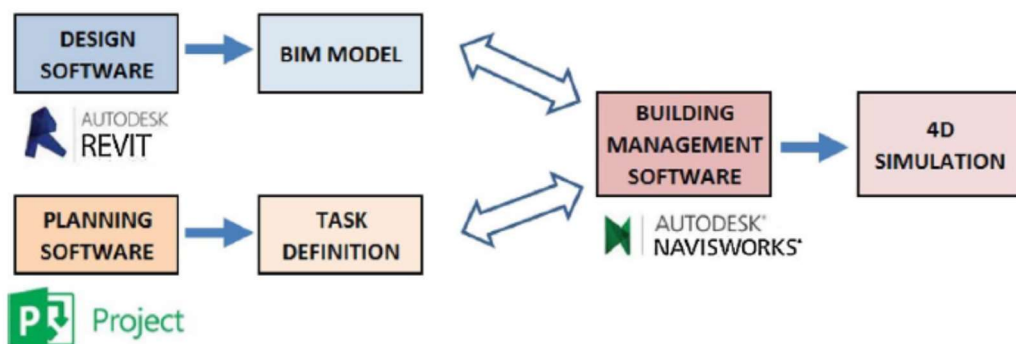
Podmínky pro firmy byly:

- Používaly metody klasického plánování (52 z 65)
- Používaly BIM prostředí pro jejich projekty (33 z 65)

Tyto firmy vytvořily na konkrétní případ 4D BIM simulaci a následně porovnávaly metodiku 4D plánování s klasickou metodou časového plánování. Softwary, které firmy využívaly byly:

- Projekční software: *Autodesk Revit 2015* – používán k tvorbě 3D modelu, který obsahoval všechny stavební konstrukce včetně jejich specifických charakteristik (např. kategorie elementu, podlaží, horizontální 4D a vertikální 4D lokace)
- Plánovací software: *Microsoft Project 2013* – používán k tvorbě časového plánu a definování parametrů všech činností potřebných k úspěšnému dokončení projektu (dobá trvání, vazby na ostatní činnosti); vzniklá data byla přenesena do Ganttova diagramu
- 4D software: *Autodesk Navisworks Manage 2015* – používán k propojení 3D modelu z Revitu s Ganttovým diagramem z Microsoft Project

Pomocí výše zmíněných softwarů byla vytvořena 4D simulace. V obrázku 20 lze vidět vztahy mezi jednotlivými softwary.



Obrázek 20 - systém 4D BIM plánování

Každý 3D prvek obsažený v předloženém modelu musel obsahovat geometrická a prostorová data. Hlavní data potřebné k tvorbě 4D simulace jsou:

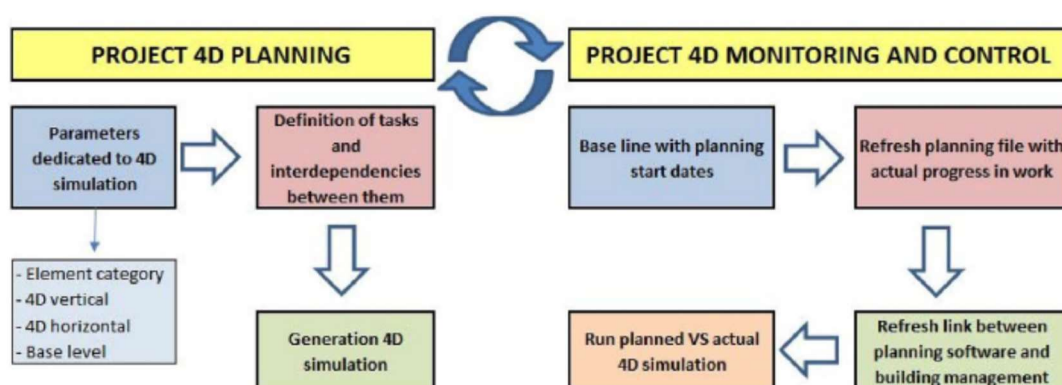
- Kategorie elementu – popisuje typ elementu (např. stěna, sloup, deska)
- Horizontální 4D a vertikální 4D lokace – parametry, které reprezentují pozici jednotlivých konstrukčních prvků; prvky mají definováno, na které X ose (horizontální 4D) a Y ose (vertikální 4D) se nachází
- Podlaží – definuje na kterém podlaží se konstrukční prvek nachází (1.NP; 2.NP; ...)

3.6.2 Postup

Nejprve byl zkontrolován 3D BIM model, jestli všechny prvky obsahují data zmíněná v kapitole 3.6.1. Dále se identifikovaly potřebné činnosti k dokončení stavebního projektu a byly zařazeny do časového plánu pomocí plánovacího softwaru (vytvořeny vazby, určeny doby trvání činností). Další krok bylo vytvoření finálního časového plánu v podobě Ganttova diagramu. Následovala tvorba 4D simulace pomocí softwaru na 4D BIM plánování, kde se propojily všechny činnosti z Ganttova diagramu s konkrétními elementy z 3D modelu. Za pomoci filtrů podle definovaných parametrů jednotlivých elementů (kategorie elementu, podlaží, horizontální 4D a vertikální 4D) byla

práce velice jednoduchá a rychlá. Po vytvoření 4D BIM modelu byl zhodnocen časový plán a optimalizován podle zjištěných skutečností ze simulace.

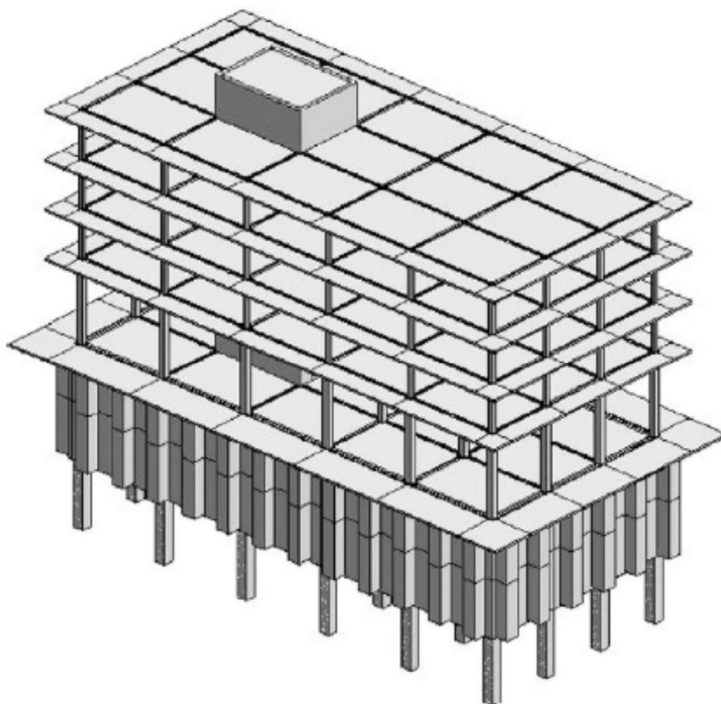
Obrázek 21 ukazuje různá stádia 4D plánování, monitoringu a controllingu. Levá část obrázku zobrazuje tři aktivity, ze kterých se vytváří 4D simulace a pravá část obrázku zobrazuje čtyři aktivity, které tvoří monitoring a controlling. Kolo se dvěma šipkami mezi stádii má poukázat na iteraci mezi oběma částmi.



Obrázek 21- stádia 4D plánování

Metoda popsaná v předešlých odstavcích byla použita na vytvoření časového plánu týkajícího se specifické budovy, která se nachází v Badajoz (Španělsko). Budova byla navrhuta jako klasická kancelářská budova s monolitickou konstrukcí skládající se ze sloupů, průvlaků a desek. Budova má dvě podzemní podlaží a čtyři nadzemních podlaží o 700 m² (18,3 x 38,3 m) podlahové plochy. Nosná konstrukce byla vyprojektována (viz – obrázek 23) včetně následujících konstrukcí:

- Základy: mikropiloty a základové stěny
- Vertikální nosná konstrukce: sloupy ve všech čtyřech podlažích
- Horizontální nosná konstrukce: průvlaky a stropní desky

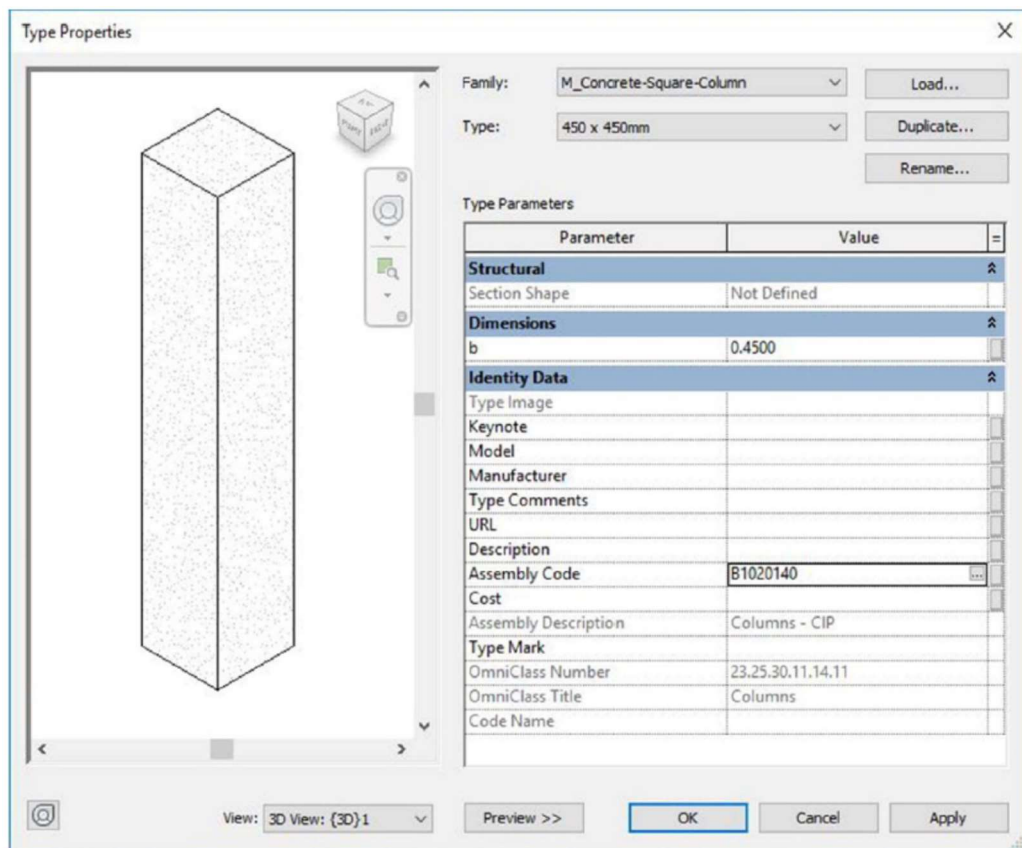


Obrázek 22 - 3D model řešené budovy

Obrázek 23 a 24 ilustruje definované parametry každého elementu ve 3D BIM modelu. Pro příklad byl zvolen nosný sloup v přízemí naší budovy (450 x 450 x 2500 mm). Jeho parametry (stejně jako u všech ostatních elementů) byly vybrány jako vstup pro 4D simulaci.

Obrázek 23 definuje parametry:

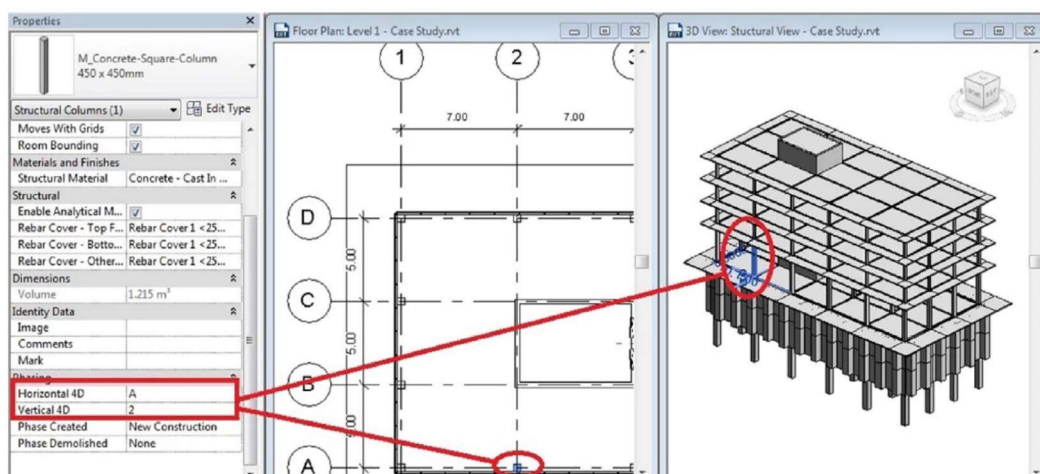
- Montážní kód podle UNIFORMAT II (klasifikační kód stavebních elementů podle Charette a Marshall z roku 1999)
- Název rodiny: M-Concrete_Square_Column
- Dimenzi sloupu



Obrázek 23 - ukázka vlastností 3D elementu

Obrázek 24 definuje parametry:

- Horizontální 4D polohu
- Vertikální 4D polohu



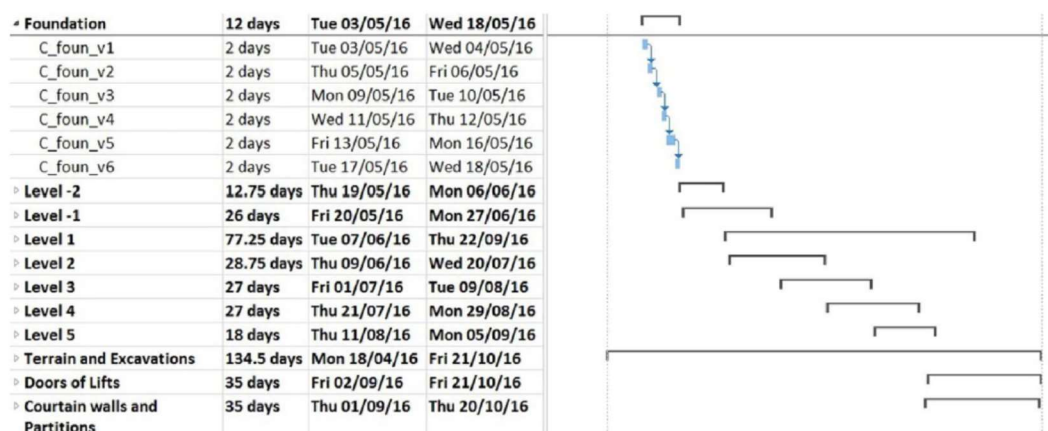
Obrázek 24 - ukázka prostorových dat 3D prvku

Data horizontální 4D a vertikální 4D polohy definují polohy všech elementů zabudovaných do 3D modelu. Vyjadřují polohu na X a Y osách, kde horizontální 4D vyjadřuje osu X (A, B, C, D, ...) a vertikální 4D vyjadřuje osu Y (1, 2, 3, 4, ...). Na obrázku 24 můžeme vidět polohové parametry sloupu a jeho umístění v půdorysu a 3D BIM modelu. Lokace všech elementů byly tedy parametrizovány kódem obsahující písmena a čísla (např. B1, A4, ...). Toto parametrizování umožňuje polohové filtrace elementů v 3D BIM modelu.

Byl vytvořen časový plán korespondující s postupem výstavby objektu. Každá činnost v časovém plánu byla definována pomocí doby trvání a vazeb na ostatní činnosti. Na obrázku 25 můžeme vidět ukázkou seznamu jednotlivých činností ve formě Ganttova diagramu. Lze zde dále vidět, že seznam je seřazen podle konstrukčních podlaží budovy – od základů, přes podzemní podlaží k nadzemním podlažím. Rozevírací seznam byl seřazen do tří podúrovní:

- Úroveň 1: číslo patra
- Úroveň 2: kategorie elementu (sloup, průvlak, deska)
- Úroveň 3: operační zóna v daném podlaží (v1, v2, v3, ...)

Každé podlaží bylo rozděleno do více operačních zón – například podzemní podlaží byla rozdělena do 6 zón, kde u každé zóny byl určen předvídaný termín výstavby.



Obrázek 25 - Ganttův diagram

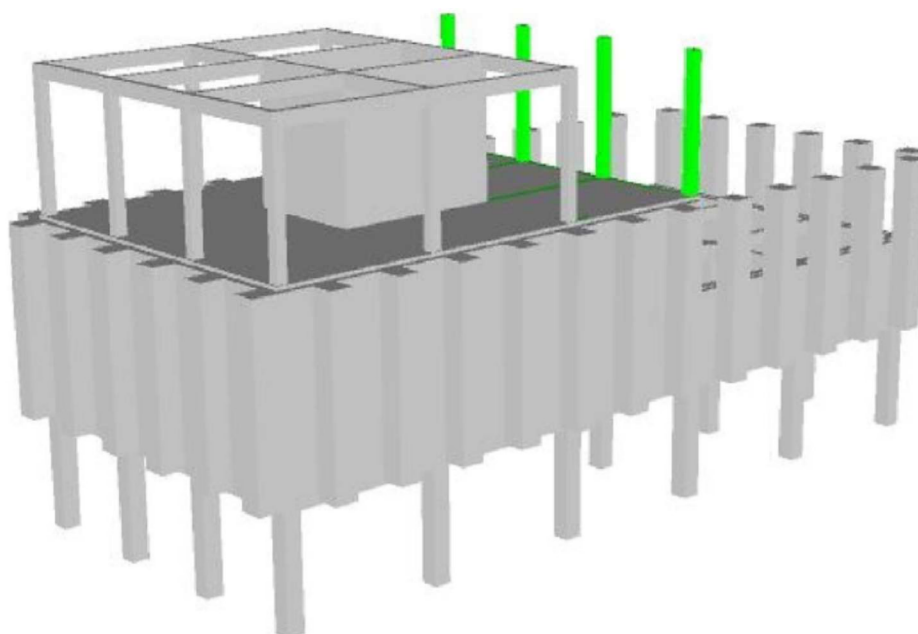
Nakonec pomocí propojení prvků ve 3D BIM modelu s časovým plánem byla vytvořena 4D simulace. Obrázek 26 ukazuje záběr ze simulace, kde můžeme vidět postup výstavby.

Barevnost elementů hraje důležitou roli při hodnocení postupu výstavby. Různými barvami můžeme definovat stavy stavebních konstrukcí. Zde v obrázku 26 je barevnost definována jako:

- Šedivá – postavené konstrukce
- Zelená – konstrukce se právě provádí
- Nezobrazená konstrukce – bude se teprve provádět

Lze tedy vidět na obrázku 26, že jsou již v simulaci postaveny základy, druhé podzemní podlaží, část prvního podzemního podlaží a část prvního nadzemního podlaží. Sloupy vybarveny zeleně se teprve staví. Touto cestou lze vidět potenciální časoprostorové kolize a budoucí postup výstavby.

Ve shrnutí všechny předešlé kroky ve 3D BIM softwaru a softwaru na tvorbu časového plánu nám pomohly k vytvoření 4D simulace výstavby celého objektu komerční budovy.



Obrázek 26 - ukázka rozestavěnosti

3.6.3 Výsledky průzkumu

Data z dotazníků 33 společností jsou vypsaná v tabulce 2, která ukazuje porovnání mezi klasickým časovým plánováním a časovým plánováním za pomoci 4D simulace. Pro tento specifický případ byla zvolena jedna osoba v každé z dotázaných společností, která vyplnila dotazníkovou tabulku, kde odpovídala na různé otázky týkajících se časového plánování. Sloupce v dotazníkové tabulce znamenají:

- Parametr – název porovnávané parametru
- Klasické a 4D – číselná hodnota v rozmezí od 1 (nevhodné) do 5 (optimální)
- Váha – procenta parametrizující významnost funkce v závislosti na ostatních

Metoda tradičního časového plánování (ohodnocena 3,10) byla zhodnocena jako méně efektivní než 4D simulace (ohodnocena 4,00). Ovšem tradiční plánování bylo méně časově náročné než 4D plánování (4 z 5 oproti 3 z 5). Naopak metoda 4D plánování bylo mnohem více efektivní při monitoringu a změnách v plánu než tradiční plánování (ohodnocena 4 z 5 oproti 2 z 5)

Tabulka 2 - porovnání mezi tradičním a 4D BIM plánováním

Parametr	Klasické	4D	Váha	Výsledek klasické	Výsledek 4D
Časová náročnost	4	3	0,1	0,4	0,3
Obtíž plánování	3	4	0,05	0,15	0,2
Nahlížení do dat	2	4	0,1	0,2	0,4
Použitelnost dat v kanceláři	4	4	0,05	0,2	0,2
Použitelnost dat na stavbě	4	3	0,1	0,4	0,3
Porozumění dokumentace	3	4	0,05	0,15	0,2
Množství informací	3	5	0,1	0,3	0,5
Možnost změn	2	4	0,1	0,2	0,4
Možnost optimalizace	3	4	0,1	0,3	0,4
Export reportů	4	2	0,05	0,2	0,1
Snadnost úprav	3	5	0,2	0,6	1
Celkem	35	43	1	3,1	4

3.6.4 Shrnutí

Z výsledků průzkumu plyne:

- metoda 4D plánování je účinnější a efektivnější plánovací metoda než metody klasické
- tradiční metody jsou méně časově náročné (o cca 20 %)
- Možnost vizuální kontroly časového plánu je mnohem lepší při metodě 4D plánování (o cca 40 %)
- Ve 4D metodě je snazší (o cca 20 %) pochopit proces výstavby projektu pomocí virtuální simulace
- Lze efektivněji upravovat plán ve 4D metodě (o cca 40 %)

Zde je nutno také podotknout, že s rostoucí velikostí projektu přibývá i jeho složitost. Čím je projekt složitější, tak je manuální časové plánování méně efektivní. Na velkých projektech je vhodné využít metodu 4D plánování převážně kvůli možnosti simulace plánu.

4 Porovnání programů zaměřených na 4D plánování

4.1 Úvod

V následující kapitole budou porovnány dva programy, které jsou zaměřeny na 4D plánování. Hodnocení proběhne na získaných zkušenostech autora se softwary při tvorbě simulace výstavby vybraných etap stavby Port Karolína D v Karlíně, Praha.

Z důvodu obtížnosti pořízení studentských licencí budou porovnávány pouze dva softwary:

- Navisworks Manage 2019 (Autodesk)
- Synchro PRO 2019 (Bentley)

Každý software nabízí různé druhy funkcí, které budou probrány v následující kapitole. Budou se hodnotit různé parametry a pomocí multikriteriální analýzy bude vybrán nejvhodnější software na tvorbu 4D simulací. Na konci kapitoly autor uvede výhody a nevýhody jednotlivých programů.

Budou porovnávány parametry:

- Obtížnost práce se systémem
- 4D funkce
- Simulace pohybů
- Import a export dat
- Cena

4.2 Porovnávané systémy

Z důvodu obtížnosti pořízení studentských licencí se zde budou porovnávat pouze 2 softwary se zabudovanými funkcemi pro 4D, a to Navisworks Manage a Synchro PRO. Na trhu je řada softwarových řešení, které jsou primárně nebo sekundárně zaměřené na 4D BIM plánování. Jedná se například o softwary:

- Navisworks Manage (Autodesk)
- Synchro PRO (Bentley)
- Navigator (Bentley)
- iTWO (RIB Software SE)
- Vico Office (Trimble)

Každý z vyjmenovaných softwarů má své výhody a nevýhody oproti ostatním softwarům. Tamer Mohammed zhodnotil ve svém článku softwary následovně (14):

Synchro PRO – nejefektivnější nástroj na 4D simulace a časové plánování, dobrý grafický výstup, neobsahuje detekci kolizí

Navisworks Manage – efektivní nástroj na tvoření výkazů výměr a detekce kolizí, dobré 4D možnosti a dobrý grafický výstup

Vico Office – doporučeno na projekty s opakujícími se aktivitami (například pokládka potrubí do výkopů)

Navigator – efektivní nástroj na tvoření výkazů výměr a detekci kolizí, špatné 4D možnosti a špatný grafický výstup.

iTWO – velmi efektivní software na 5D simulace a tvorbu výkazů výměr, špatné 4D možnosti, dobré reporty detekce kolizí

4.2.1 Synchro PRO



Obrázek 27 - Synchro PRO – logo (dostupné na www.synchro ltd.com)

Synchro Pro je pokročilé softwarové řešení používané pro plánování a managování stavebních projektů ve 4D BIM prostředí. Efektivní plánování je

nezbytné, aby stavební projekt byl bezpečný, úspěšný a kvalitní. Když se používá 4D BIM prostředí, tak se z počítače stává virtuální prostředí, kde můžeme kontrolovat a hodnotit návaznosti, bezpečnost práce, prostorové vztahy a mnoho dalších aspektů stavebního projektu po celý životní cyklus projektu. Protože Synchron PRO propojuje 3D zdroje (lidi, materiál, nástroje a prostor) s časovou stopou je snadné a velice rychlé kontrolovat plán a hodnotit jeho alternativy. (15)

Komunikace mezi zainteresovanými stranami ve stavebním projektu je jednoznačná a jednoduše pochopitelná kvůli vizuálnímu znázornění. Hlavní inovací je sdílení informací, které vytváří unikátní přístup k projektu. Výsledek celého procesu přináší bezpečný, důvěryhodný a efektivní projekt, který šetří peníze a čas. (15)

Do Synchron PRO lze importovat data z Oracle Primavera P6, MS Project a dalších plánovacích softwarů, ale může být použit jako plánovací software sám o sobě. Software má zabudovanou metodu CPM plánování, která není závislá importování časových plánů z jiných softwarů. (15)

Jeho hlavní výhody jsou:

- Efektivnější časové plánování oproti klasickým metodám
- Lze vizuálně analyzovat logistiku na staveništi
- Pomocí simulací snížit rizika ze strany BOZP

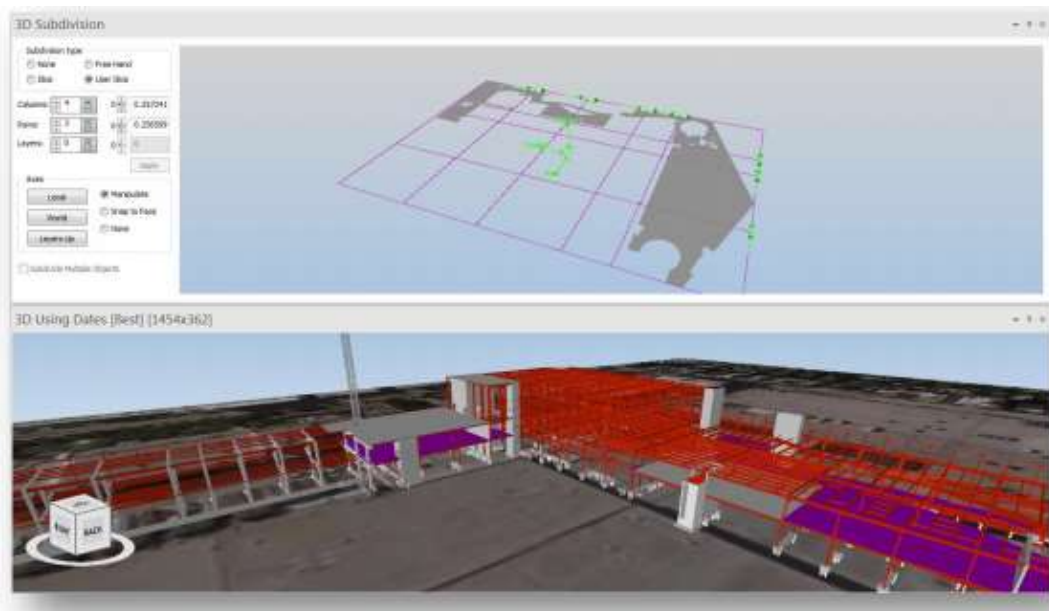
Kdo může využívat Synchron PRO:

- Zhotovitelé
- Podzhotovitelé
- Dodavatelé materiálů
- Techničtí asistenti
- Investoři
- Lze ho využít při stavbě:
- Rezidenčních a komerčních budov

- Technické infrastruktury
- Silnic
- Mostů
- Zdravotnických zařízení
- Průmyslových objektů
- Elektráren
- Vojenské stavby
- Důlní průmysl

Základní funkce Synchro PRO:

Správa 3D modelů – import mnoha 3D modelů s různými formáty, synchronizace s upravenými verzemi modelů, import atributů spojených s 3D prvky (dimenze, výrobní čísla, uživatelem definované parametry, ...), modelování základních 3D objektů (kvádr, válec, koule, ...), dělení 3D prvků do pod prvků (rozdělení betonové desky na záběry), filtrování prvků a modelů podle atributů (15)



Obrázek 28 - Synchro PRO – dělení prvků (16)

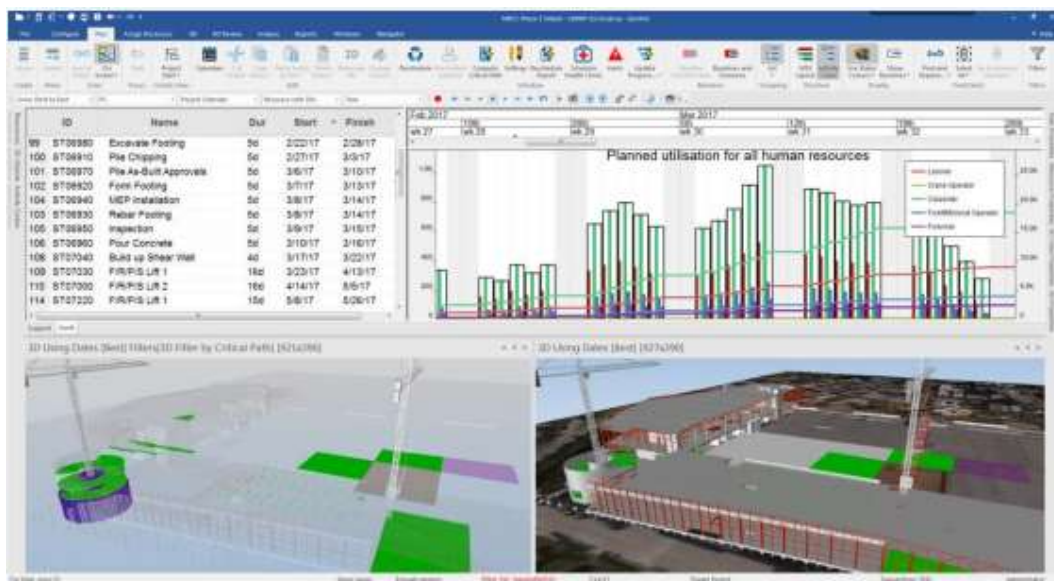
Správa časových plánů – Import více časových plánů o různých formátech, výroba časových plánů od nuly s integrovanou metodou CPM,

vložení činností do nahraného časového plánu, synchronizace z upraveného časového plánu, synchronizace upraveného časového plánu ze Synchro Pro do externích plánovacích softwarů, organizace činností podle kódů aktivit nebo WBS (Work Breakdown Structure), filtrování nebo seřazení plánu dle parametrů, výpočet a kalkulace kritické cesty, porovnávání se směrnými plány, zaznamenává aktuální rozestavěnosti projektu (15)



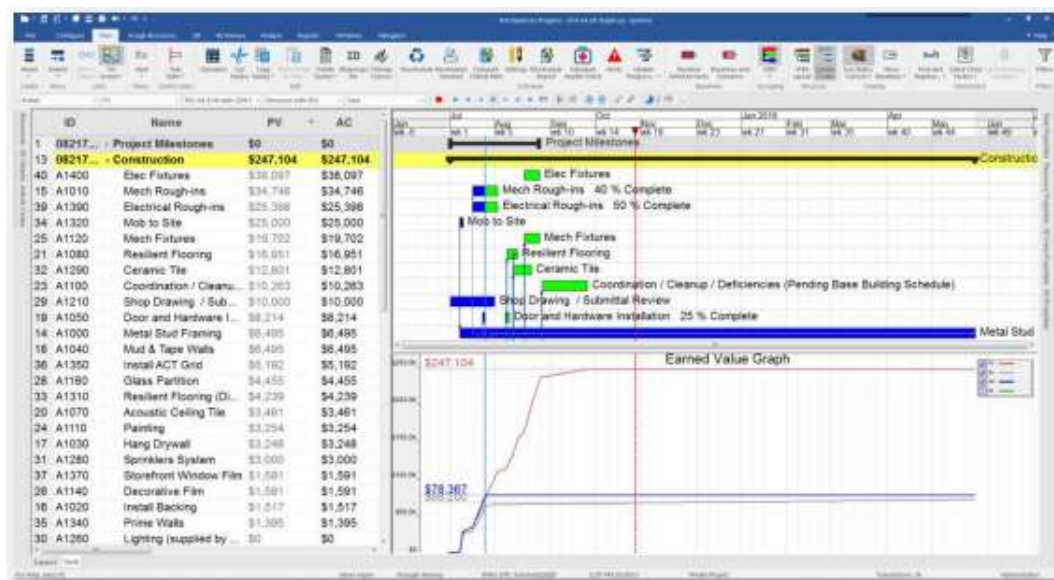
Obrázek 29 - Synchro PRO – ukázka Ganttova diagramu (16)

Správa zdrojů a 4D modelu – propojení 3D prvku k přiřazené činnosti, automatické propojení zdrojů a činností na základě přiřazených atributů, přiřazování zdrojů k činnostem, možnost přiřazení různých směrů růstu konstrukcí, sledování stavu zdrojů a jeho aktuální využití, vizualizace návazností pomocí různých barevností konstrukcí, zabudovaný přehrávač 4D simulace, export simulace (15)



Obrázek 30 - Synchro PRO – ukázka zdrojů (16)

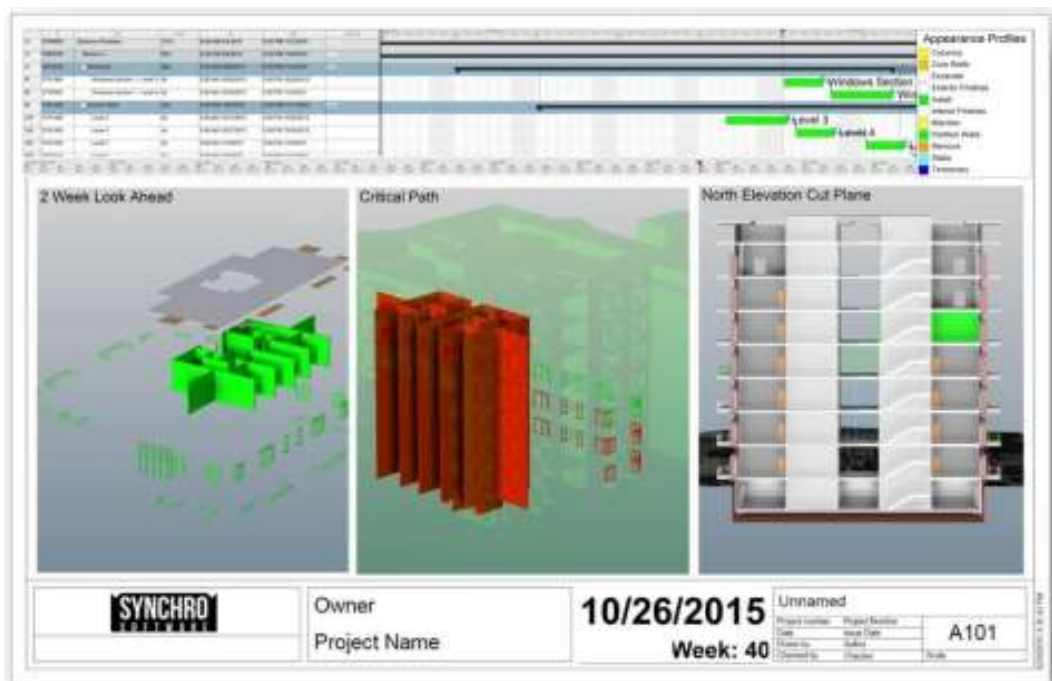
Sledování financí – přiřazení nebo nastavení ceny zdrojů nebo činností, sledování cashflow, rozdělení cenových nákladů na základě WBS, zobrazení a export finančních reportů (15)



Obrázek 31 - Synchro PRO – EVA graf (16)

Analýza 4D modelu a vytváření výstupů – zabudované porovnávání časových plánů, porovnávání plánu a skutečnosti vedle sebe ve 3D zobrazení, sledování dynamických kolizí nebo objekty, nástroje a pracovními zónami, vytváření vlastních reportů, analýza zdrojů a činností podle uživatelem definovaných vzorců, zobrazení a tisk Ganttova diagramu, export

interaktivního 3D PDF modelu kdykoli v čase, vytváření animací a simulací s pohybem, export simulace s daty (Ganttův diagram, EVA graf, list činností, ...) (15)



Obrázek 32 - Synchro PRO – ukázka exportu simulace (16)

4.2.2 Autodesk Navisworks



Obrázek 33 - Navisworks – logo (dostupné na www.autodesk.com)

Autodesk Navisworks je sada aplikací pro sjednocení CAD a BIM dat různých návrhových aplikací pro jejich jednotné znázornění, sdílení, koordinaci, analýzu a prezentaci. Navisworks podporuje i velmi rozsáhlé projekty s velkým objemem CAD dat. Je součástí sady Autodesk AEC Collection a Product Design Collection. (16)

Rodina produktů Navisworks se skládá z aplikací Autodesk Navisworks Manage, Autodesk Navisworks Simulate, Autodesk Navisworks Review (jen do verze 2010) a bezplatného prohlížeče Autodesk Navisworks

Freedom (původně produkty "Navisworks JetStream" - Roamer, Publisher, Presenter, Clash Detective, TimeLiner, RVM Reader). (16)

Autodesk Navisworks je určen pro snazší spolupráci návrhových týmů, snadnou a důvěrnou výměnu projekčních dat z různých aplikací i rychlé a přesvědčivé dynamické vizualizace i velmi rozsáhlých dat. Navisworks je vhodným nástrojem pro rozsáhlé projekty z oblasti stavebnictví, včetně liniových staveb a infrastruktury, zpracování surovin, výstavby a plánování strojírenské výroby. (16)

Kdo může využívat Navisworks:

- Zhotovitelé – Navisworks Manage převážně BIM/VDC koordinátor, zbytek teamu používá Navisworks Freedom
- Podzhotovitelé – převážně ve verzi Navisworks Freedom
- Techničtí asistenti
- Investoři

Lze ho využít při stavbě:

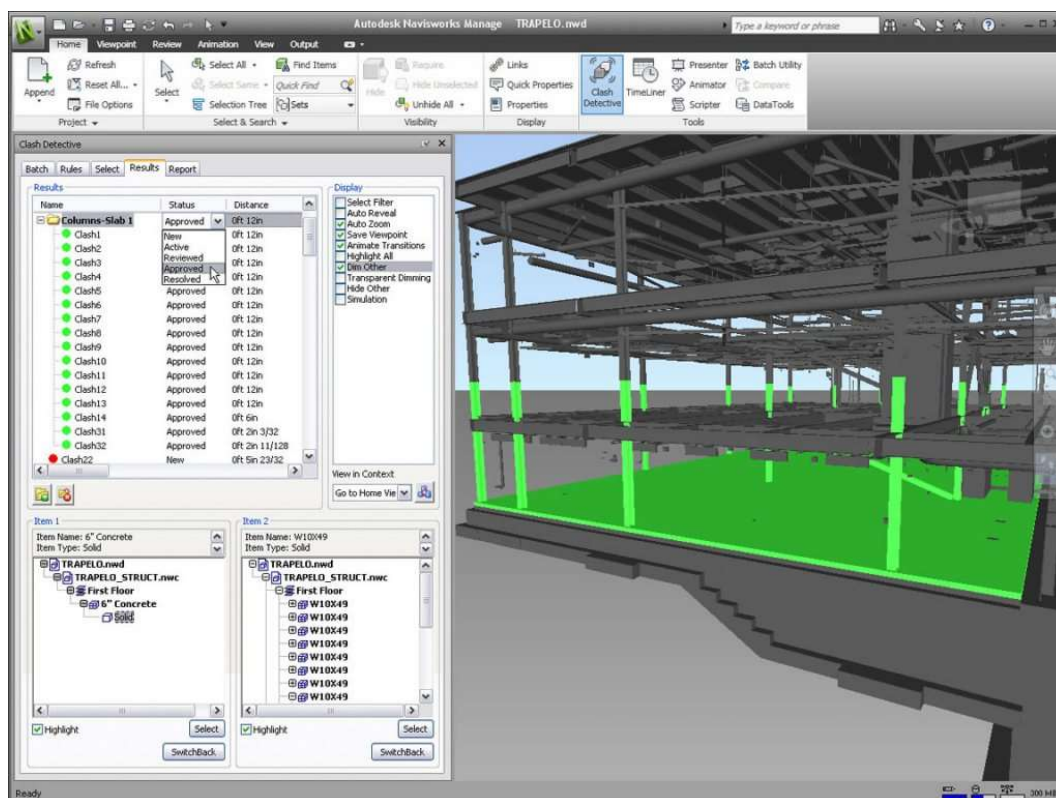
- Rezidenčních a komerčních budov
- Technické infrastruktury
- Silnic
- Mostů
- Zdravotnických zařízení
- Průmyslových objektů
- Elektráren
- Vojenské stavby

3D data převedená z nejrůznějších CAD a BIM aplikací i jiných 3D datových zdrojů (např. laser-scan, PDMS, geodetická zaměření) lze pomocí Navisworks spojit do jediné simulace, která umožňuje jejich společnou fotorealistickou vizualizaci, 4D analýzu, detekci kolizí, revizní procesy,

ochranu i snadné publikování na internet, včetně možnosti nastavení expirace a ochrany autorských práv. (16)

Základní verze Autodesk Navisworks:

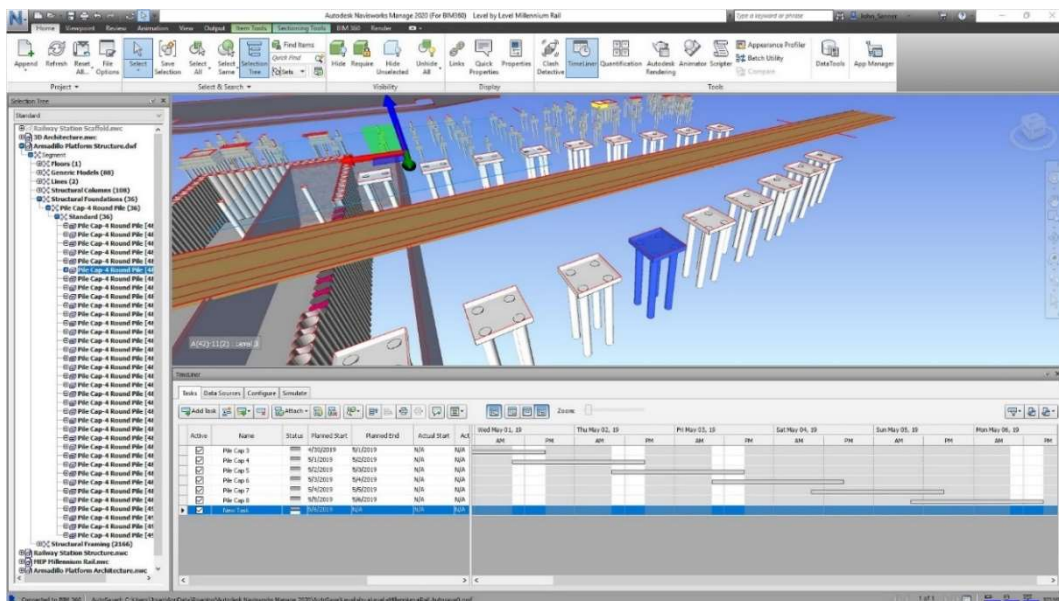
Navisworks Manage – detekce kolizí a konfliktů v návrhu (Clash detective), porovnání 3D návrhu se zaměřenými daty, správa kolizí, sdílení dat, vizualizace s materiály a osvětlením (Presenter), animace – 4D simulace (TimeLiner), publikování modelů (16)



Obrázek 34 - Navisworks – ukázka verze Manage

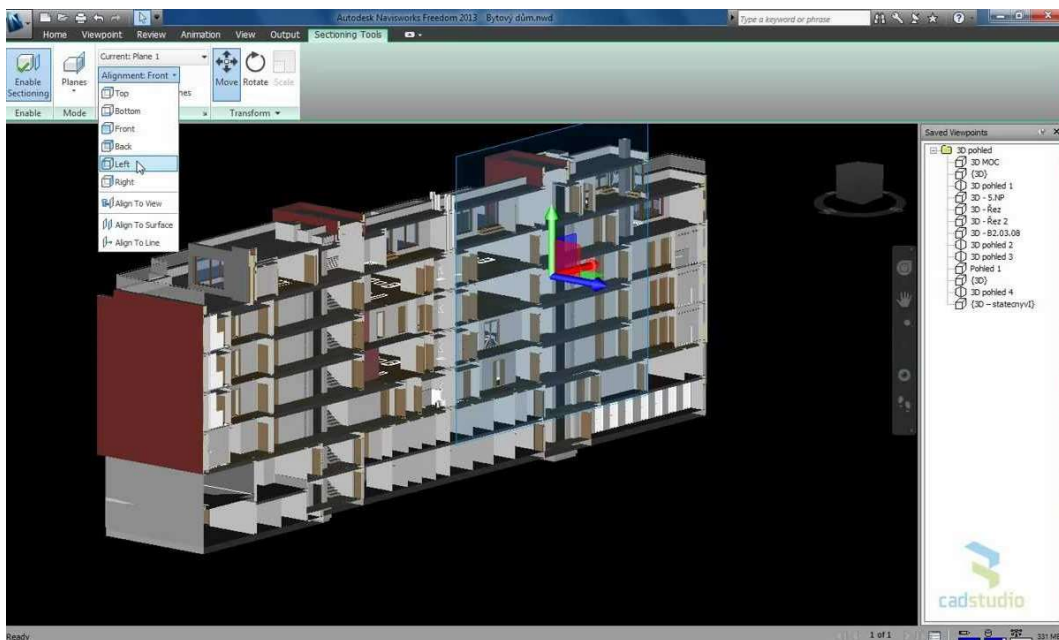
(https://cdn.myshoptet.com/usr/eshop.adeon.cz/user/shop/big/204-3_navisworks-manage-detekce-kolizi.jpg?59a90dde)

Navisworks Simulate – 4D simulace s propojením CAD dat a časové osy, stavební a demoliční sekvence, plánování s propojením na systémy pro správu projektů, odchylky mezi plánovanými a skutečnými termíny, pohled Ganttova diagramu, výstupy simulací do AVI animací, publikování modelů (16)



Obrázek 35 - Navisworks – ukázka verze Simulate (<https://www.autodesk.com/content/dam/autodesk/www/products/autodesk-navisworks-family/fy20/overview/descriptive-overview/section-2/use-4d-5d-simulation-01-large-1920x1080.jpg>)

Navisworks Freedom – bezplatný a volně šiřitelný prohlížeč NWD a 2D i 3D DWF souborů. Navisworks Freedom dovoluje všem zúčastněným prohlížet modely, data a animace z placených produktů Navisworks a zlepšit tak komunikaci a vzájemnou spolupráci všech členů týmu (16)



Obrázek 36 - Navisworks – ukázka verze Freedom (<https://i.ytimg.com/vi/M-F-evYj9z8/maxresdefault.jpg>)

Každá verze Navisworks má jiné funkce (viz – tabulka 3). Všechny aplikace obsahují připomínkovací, odměřovací a publikační nástroje, tvorbu pohledů, řezů a průchodů/obletů (animací).

Tabulka 3 - Navisworks – funkce verzí (<https://eshop.adeon.cz/navisworks-manage/>)

	Navisworks Manage	Navisworks Simulate	Navisworks Freedom
Prohlížení projektu	ANO	ANO	ANO
Kontrola projektu	ANO	ANO	NE
Simulace a analýzy	ANO	ANO	NE
Řešení kolizí	ANO	NE	NE

4.3 Porovnání softwarů

Oba porovnávané programy mají jiné funkce a rozsah využití. Zde se autor zabývá tvorbou 4D simulace výstavby hrubé stavby bytového domu Port Karolina D v Karlíně. Simulace nebude zaměřena na akurátnost výstavby, ale na převážně na využití funkcí softwarů a jejich porovnání na základě informací získaných autorem.

4.3.1 Metoda porovnávání – multikriteriální analýza

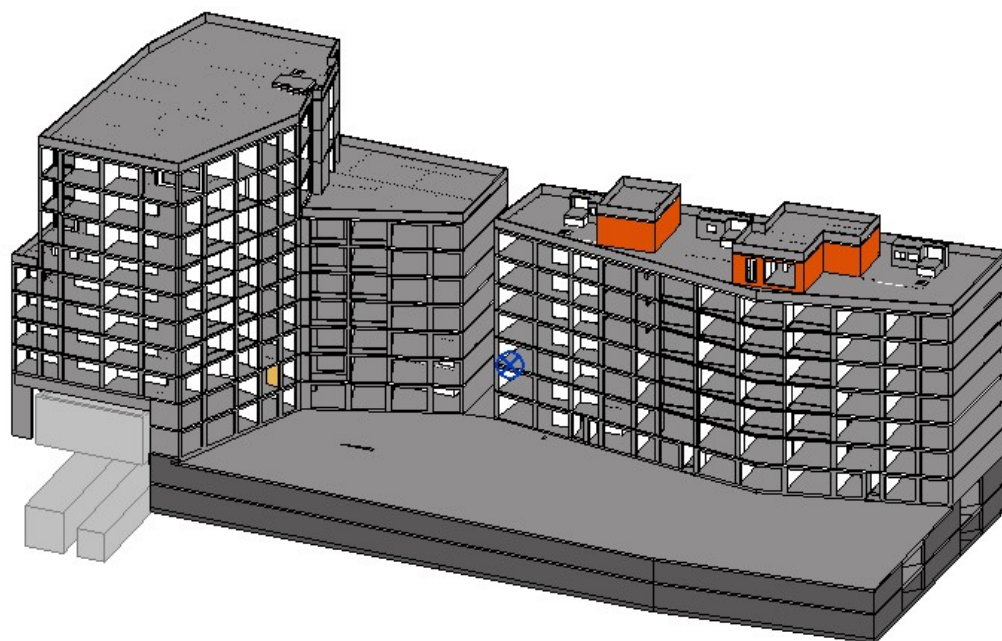
Multikriteriální analýza je metoda, která se používá při rozhodování mezi několika alternativami, přičemž se (na rozdíl od lineárního programování) nepřipouští současně více výsledných alternativ a závěrem analýzy by měla být vždy pouze alternativa jediná. Předpokladem použití multikriteriální analýzy je větší počet kvantifikovatelných kritérií, která zahrnujeme do rozhodování.

Nejdůležitějším krokem, který rozhoduje o výsledku analýzy je číselné ohodnocení kritérií. Vždy dbáme na to, aby vzájemný poměr hodnot odpovídal přínosu (ztrátě). Většinou se využívají hodnoty čísel 1, 2, 3, 4 a

5. Každému kritériu přiřazujeme váhy tak, aby součin ohodnocení a váhy odpovídal významu, který pro nás dané kritérium má. Výsledky výhodnosti jednotlivých stran alternativ na závěr získáme jako součty součinů ohodnocení a vah jednotlivých kritérií.

4.3.2 Obsah simulace

4.3.2.1 Řešený objekt



Jedná se o stavbu bytového domu Port Karolina D, Karlín, Praha 8. Má dvě podzemní a 7/10 nadzemních podlaží. Pod vyšší částí budovy se nachází stávající objekt sloužící jako přečerpávací stanice kanalizačních vod pro Karlín. Nosnou konstrukci tvoří monolitický stěnový systém s nosnými vyzdívkami od vyšších pater. V simulaci se objeví pouze s objekt D (objekty A, B a C nebudou zahrnuty do simulace).

Model byl poskytnut stavební firmou Skanska a.s. – divize pozemní stavby.

4.3.2.2 Simulace dočasných konstrukcí a těžké mechanizace

4D BIM simulace mají obsahovat vymodelovanou těžkou mechanizaci, jeřáby, dočasné konstrukce a všechny další konstrukce, které mohou tvořit

potencionální hrozbu prostorových nebo bezpečnostních kolizí. V základních simulacích jsou obsaženy rozpočítávaná rypadla a jeřáby.

4.3.2.3 Zařízení staveniště

Do modelu je zakomponované zařízení staveniště včetně příjezdových cest, deponie, buňkoviště a oplocení.

4.3.3 Řešené Parametry

Na základě získaných informací a zkušeností z tvorby simulací autor porovnává tyto parametry:

- Obtížnost práce se systémem – uživatelské prostředí, ovladatelnost, rychlost naučení
- 4D funkce – plánování, propojování 3D s činnostmi
- Simulace pohybů – rozpočítávání např. rypadla s postupem výkopů
- Import a export vstupů a výstupů – podporované formáty, export videí a screenshotů
- Cena

Hodnocení proběhne pomocí metody multikriteriální analýzy s vlastním závěrem autora.

4.3.3.1 Obtížnost práce se systémem

Navisworks má intuitivnější pracovní prostředí a ovládání než Synchro Pro. Tohle pravděpodobně nastává, jelikož uživatelé jsou zvyklí na vzhled softwarů od společnosti Autodesk (Autocad, Revit). Navisworks má podobný vzhled panelu nástrojů jako zbytek softwarů od Autodesk – tj. velké a jednoznačné ikony funkcí. Synchro Pro obsahuje daleko větší množství funkcí na panelu nástrojů, většina jednoznačně specifikuje jejich funkci, ale dají se najít i takové u kterých to není hned jasné.

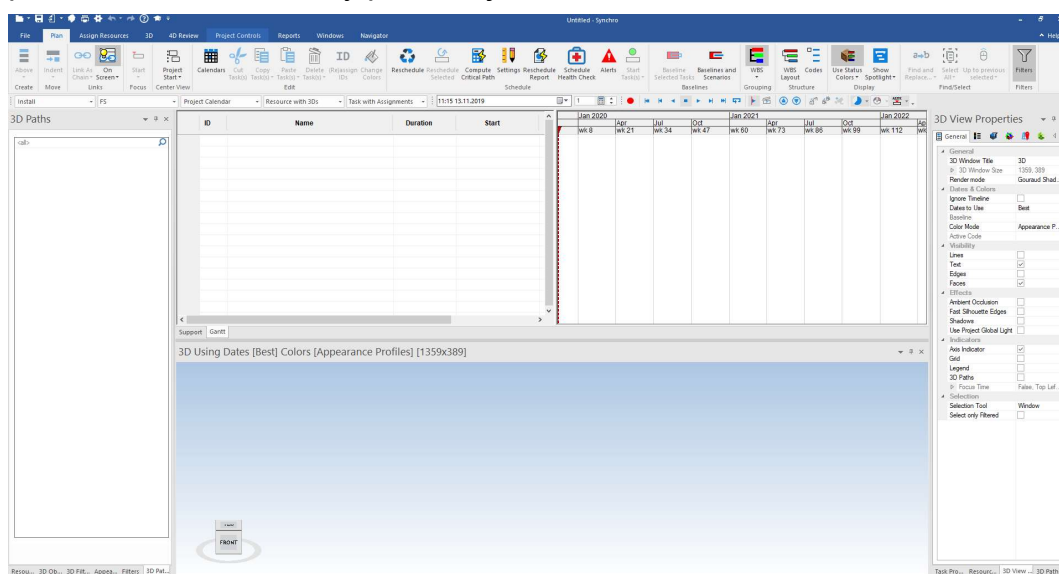
Jelikož jsou oba programy zaměřené na práci s 3D modely, tak jejich vzhled a základní funkce jsou stejné nebo velmi podobné. Oba programy mají podobné navigování ve 3D oknu pomocí kombinace tlačítek myši a

klávesy shift. Rozložení pracovních oken lze přizpůsobit v obou programech, takže si uživatel může nastavit pracovní prostředí dle jeho vůle.

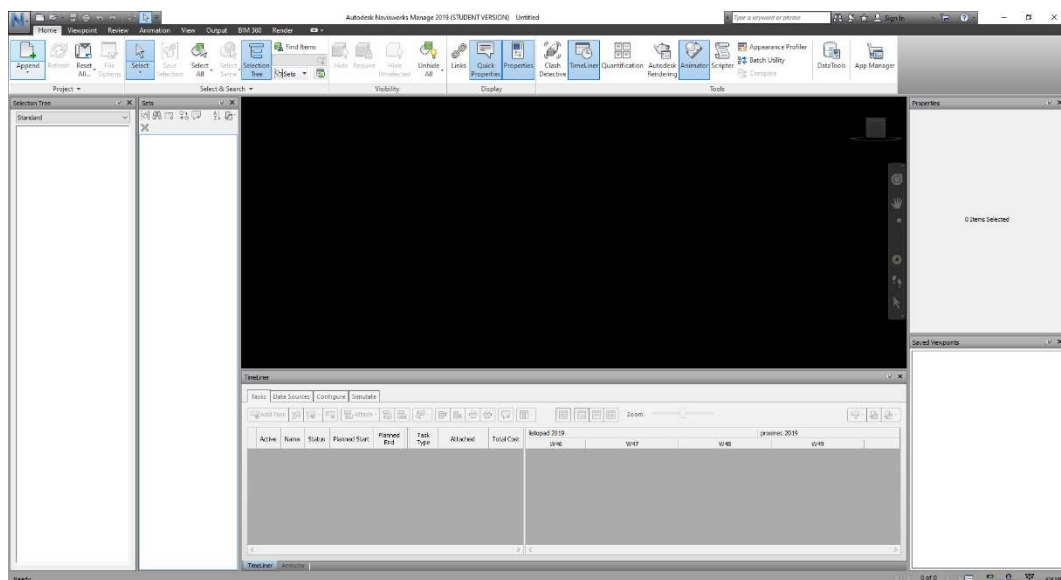
S Navisworks se dá rychleji naučit a zorientovat se v jeho prostředí kvůli faktům uvedeným výše. Synchro Pro je velmi intuitivní software, ale určitě složitější na prvotní seznámení. Lze také konstatovat, že Navisworks je daleko rozšířenější mezi uživateli (primárně kvůli detekci kolizí nebo prohlížení 3D modelů) a tím pádem je zde větší množství nápověd a návodů na jeho ovládání. Synchro Pro má jenom učebnici základních funkcí, která není příliš detailní a malé množství video návodů na internetu. V učebnici jsou vždy jednoduše popsány funkce a jejich použití, bohužel zde chybí detailnější popis definující bližší informace. Když je potřeba proniknout hlouběji do ovládání jednotlivých funkcí, zřídka dokážeme najít návod na internetu a uživatel na to musí přijít sám.

Navisworks umí lépe zpracovávat informace převedené z Revitu. Jelikož oba softwary jsou od společnosti Autodesk, tak spolu umějí lépe komunikovat a sdílení informací mezi sebou je snazší. Ovšem tento fakt nemá moc velký vliv na tvorbu simulací, protože stejně si uživatel vytvoří shluky 3D prvků podle své potřeby.

Celkově se dá konstatovat, že oba softwary vypadají vzhledově velmi podobně, ale uživatelsky přívětivější se zdá Navisworks.



Obrázek 37 - Synchro PRO – vzhled (foto autor)

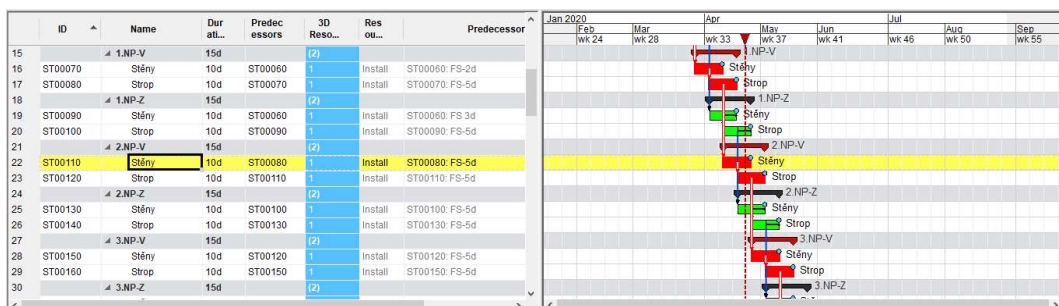


Obrázek 38 - Navisworks – vzhled (foto autor)

4.3.3.2 4D funkce

Zde je nutné konstatovat, že Synchro Pro je software primárně zaměřený na 4D plánování a tím pádem má větší množství, detailnější a srozumitelnější 4D funkce. Navisworks nemá funkce 4D plánování dostatečně vyvinuté (chybí důležité funkce jako jsou dělení prvků, simulace růstu atd.). Funkce pro práci a úpravu 3D modelu má Synchro Pro propracovanější, protože má např. zabudovaný dělič 3D prvků (umí rozdělit např. betonovou desku na x záběrů), který Navisworks postrádá. Pokud bychom chtěli v Navisworks akurátně simulovat etapy výstavby, musel by už model být předem rozdělen na etapy v Revitu (alt. jiný BIM software, ...). Kvůli chybějícím funkcím bych Navisworks spíše doporučil jako nástroj vhodnější na vytváření marketingových simulací. Na simulování modelu výstavby se zdá Synchro Pro vhodnější.

Do Synchro Pro jdou na rozdíl od Navisworks přiřadit zdroje (peníze, materiál, nářadí a lokace). Takže plán se dá detailněji propracovat. Synchro Pro umí také počítat kritickou cestu (metoda CPM) viz – obrázek 39. Práci s importovanými pracovními činnostmi mají oba softwary velmi podobnou – lze upravovat a přidávat další činnosti. Celkově Synchro Pro obsahuje více funkcí na úpravu a tvorbu časových plánů než Navisworks.

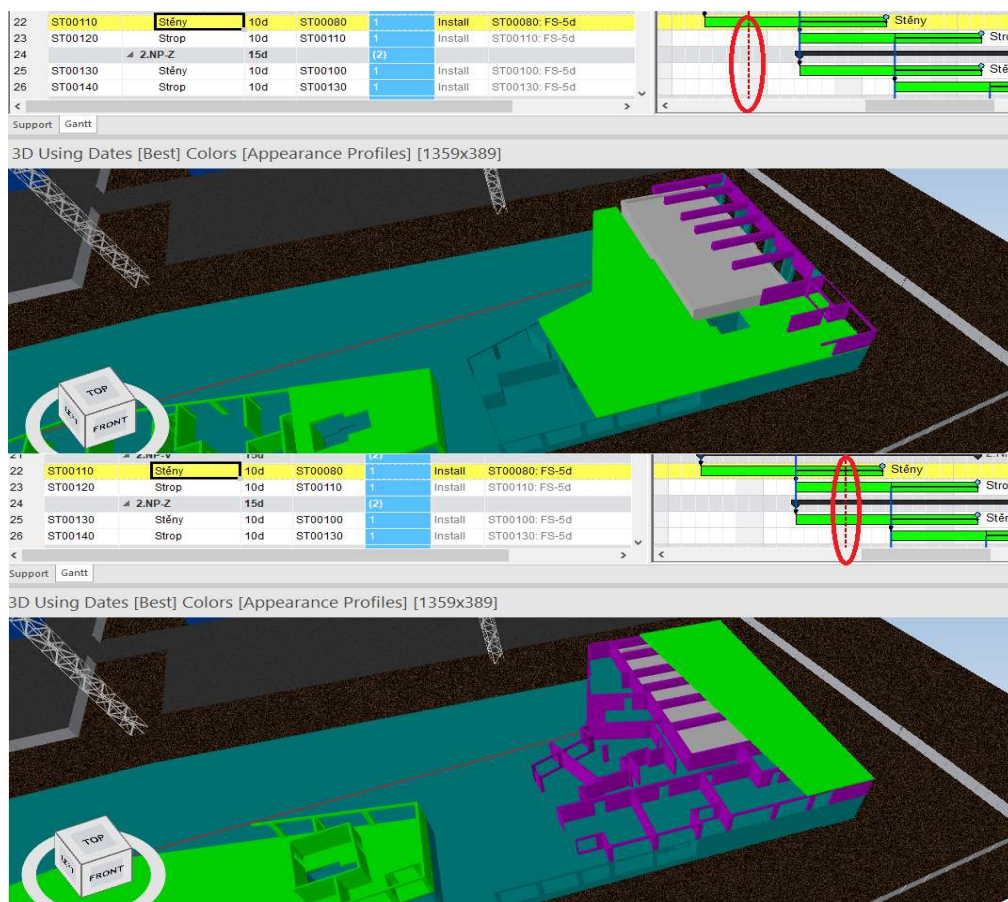


Obrázek 39 - Synchro PRO – CPM (foto autor)

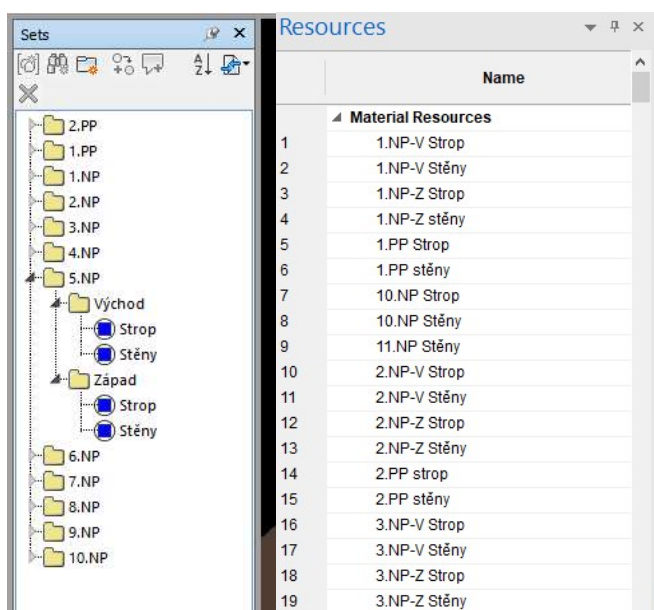
V obou software lze jednoduše propojovat 3D prvky s činnostmi. 3D prvky se nejprve uspořádají do logických shluků (např. monolit 4.NP – Strop) a poté propojí s činnostmi. Zde záleží na uživateli, jak si shluky nastaví a do jaké podrobnosti chce mít plán. Uvedu zde například stavbu stěn monolitu – pracovní čtyři pracují po záběrech (objekt má například 3 dilatační celky, každý rozdělený do 3 pracovních záběrů – celkem tedy 9 záběrů) a na každém záběru se provádí více činností (armování, bednění, betonáž, odbednění). Pokud se provádí detailní harmonogram čistě zaměřený na realizaci monolitických konstrukcí bude mít každý záběr v každém patře 4 činnosti, které budou mít logické návaznosti na práci dalších pracovních čet. Takhle detailní harmonogram je ale pro stavbyvedoucího dodavatele stavby (nikoli pro stavbyvedoucího monolitů) a investora zbytečný, protože je příliš detailní. Stavbyvedoucí potřebuje vědět maximálně kdy bude jaký záběr, dilatace nebo patro hotové (nezajímá ho, kdy budou armovat nebo odbedňovat záběr XYZ).

Jelikož Synchro Pro má funkci růstu konstrukcí ve vertikálním i horizontálním směru, tak je možné nahradit velký počet činností pouze jednou. Když vezmeme v úvahu budovu, která má 9 záběrů, tak jen na stavbu monolitických stěn jednoho patra by zde bylo $9 \times 4 = 36$ činností. Všechny tyto činnosti se s určitou přesností dají nahradit jednou pracovní činností (např. Monolit_Stěny_3.NP) a díky možnosti horizontálního nárůstu stěn lze simulovat výstavbu celého patra (viz – obrázek 40). V červeném kolečku je označena časová osa. Na obrázku lze vidět, že po uplynutí určitého času přibily nové prvky monolitických stěn (vybarveno fialově) a

začaly probíhat nové činnosti. Světlejší zelená značí shluky prvků, které jsou propojeny s aktivními činnostmi.



Obrázek 40 - Synchro PRO – směr růstu konstrukcí (foto autor)



Obrázek 41 - ukázka shlukování 3D prvků (foto autor)

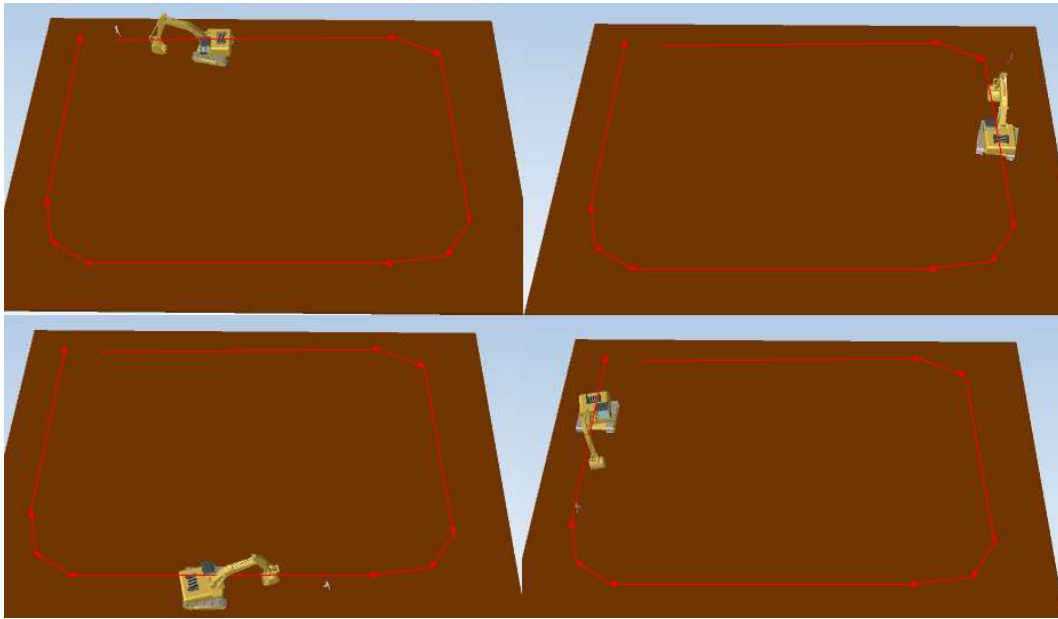
4.3.3.3 Simulace pohybů

Oba software mají zabudovanou funkci 3D pohybů prvků, které se využívají pro názornější zobrazení např. pohybu těžké mechanizace. Touto metodou se dá naprogramovat pohyb po staveništních komunikacích a dále ho hodnotit. Při návrhu staveniště by tato funkce mohla hrát zásadní roli. Pokud je zařízení staveniště dostatečně velké, tak dynamické 3D simulace pohybů nejsou tak důležité jako při menších staveništích. Pomocí simulací lze lépe naplánovat logistiku na staveništi, skladování materiálů a zdvihací práce. Celkově simulacemi pomůžeme identifikaci rizik z hlediska BOZP.

Zde je na uživateli, jak velké množství dynamických 3D prvků vytvoří. Vždy záleží na situaci, rozsáhlosti projektu, požadavkách dodavatele a investora. Když simulace bude sloužit čistě jako marketingová kampaň bude zde více simulací pohybů 3D prvků nepřímo týkajících se stavby (např. zastavující autobus na zastávce vedle staveniště apod.). Nasimulovat se dá jakýkoliv pohyb s každým 3D prvkem.

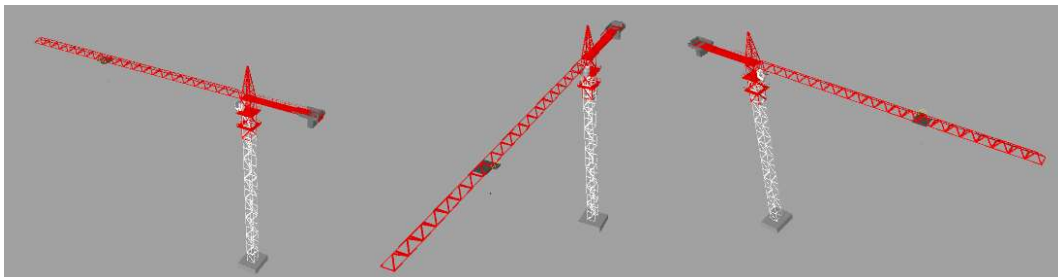
Do simulací můžeme zapojit pohyb kamerou, který se dá použít např. jako virtuální prohlídka interiérů nebo přiblížení na důležité místo v simulaci. Tato funkce není příliš důležitá pro simulace stavebního projektu, ale má své využití v marketingových videích.

Vytváření simulací v Synchro Pro je poměrně složité na pochopení, naučení se simulovat mi trvalo cca 2 hodiny práce. Naprogramování pohybu rypadla (viz – obrázek 42) trvalo 10 minut práce. Dají se naprogramovat pohyby jakéhokoliv 3D modelu/prvku či jeho části ve všech směrech, včetně rotací.



Obrázek 42 - Synchrono PRO – 3D pohyb rypadla (foto autor)

V Navisworks je vytváření simulací snadnější a intuitivnější než v Synchrono Pro. Naučení trvá asi hodinu práce. Vytvoření simulace otáčení jeřábu viz – obrázek 43 trvalo asi 5 minut. Možnosti pohybů jsou zde stejné jako v Synchrono.



Obrázek 43 - Navisworks – 3D pohyb jeřábu (foto autor)

Vytváření simulací v obou programech je velice podobné, jen v Synchrono Pro trvá naučení déle. Simulace jsou ale přesnější a působivější v Synchrono Pro.

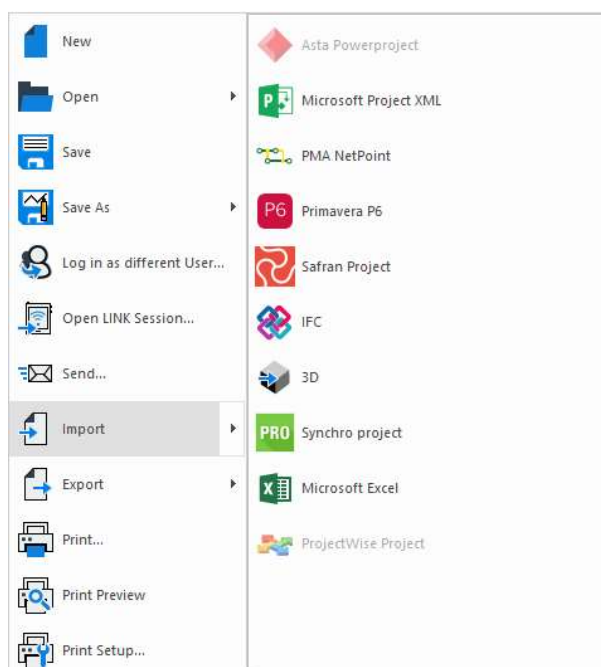
4.3.3.4 Import a export vstupů a výstupů

Oba softwary umí exportovat animaci simulace a obrázky v námi určeném časovém úseku. Jelikož Synchrono Pro má více zabudovaných funkcí týkajících se 4D plánování a tvorby časových plánů, tak lze exportovat více informací a např. je přímo i zabudovat do videa simulace. Export simulace modelu výstavby ovšem nemá velký vliv, protože je ve formátu .avi (video).

Video vypadá tak, jak autor chce – není objektivní a obecné. Video nezobrazuje všechny potřebné informace, nedají se v něm udělat změny (po změnách se musí znovu exportovat) a nejde v něm najít data, které nejsou zrovna vidět v animaci. Prohlížení a hodnocení je nejefektivnější v softwaru, ve kterém byla simulace vytvořena.

Na obrázku 44 lze vidět jaké kategorie dat se dají importovat do Synchro Pro. Importovat se dají dvě kategorie:

- Časové plány
- 3D



Obrázek 44 - Synchro PRO – import dat (foto autor)

Tvorba časových plánů je nejrozšířenější v software MS Project a Primavera P6. Plány z obou softwarů lze bezproblémově importovat a po změnách synchronizovat úpravy. Synchro PRO i Navisworks mají v sobě zabudované funkce tvorby časových plánů, ale Synchro má funkce daleko propracovanější. I když lze tvořit plány přímo ve 4D softwarech, doporučuje se udělat prvotní plán v externím softwaru na časové plánování a následně plán importovat.

Prvky 3D se dají importovat ve spoustě formátech do obou software, lze tedy využít většinu komerčních modelovacích software (ACIS, Autocad, Revit, 3DsMAX, IFC, 3D PDF, SketchUp, ...). Na internetu existuje spousta internetových stránek, které obsahují vymodelované 3D prvky. Problém je, že kvalitnější 3D prvky jsou zpoplatněné. Základní prvky (buňky, oplocení, apod.) není problém vytvořit v modelovacím softwaru, ale složitější 3D prvky (např. viz – obrázek 45) jsou na internetu ke stažení ve formě placených knihovnických prvků. Zde záleží na požadavcích investora nebo zhotovitele stavby, v jak velké podrobnosti bude chtít mít znázorněné 3D prvky. S rostoucí detailností prvků se výrazně zvyšují nároky na hardware počítače a velikost pracovních souborů nebo exportů.



Obrázek 45 - ukázka ceny 3D modelů (<https://www.turbosquid.com/3d-models/construction-equipment-excavator-ec380el-3d-max/913228>)

4.3.3.5 Cena

K vytváření 4D plánů jsou potřeba knihovní prvky, které ale nebudou uvedeny do kalkulace, protože si základní prvky dokáže technik snadně vymodelovat sám a detailnější prvky jsou spíše zaměřené na efekt, než lepší názornost simulace. Na vytvoření simulace jsou potřeba tři základní software:

- 4D BIM software (Synchro Pro/Navisworks)
- Modelovací software (Revit)
- Plánovací software (MS Project/Primavera P6)

Uvedeme zde ceny všech softwarů a sečteme celkové náklady. Ceny budou brány z oficiálních stránek produktů a budeme uvažovat pouze roční náklady. Náklady na knihovní prvky

Synchro Pro stojí \$2 995 ročně, tj. 69 604kč ročně. Společnost nabízí také různá on-line a praktická školení a školní verzi s omezeními. Synchro Pro nenabízí žádnou zkušební verzi, ale lze objednat 15 minutové předvedení softwaru přes sdílené prostředí.

Navisworks Manage stojí \$2 175 ročně, tj. 50 547kč ročně. Navisworks Simulate stojí \$880 ročně, tj. 20 451kč ročně. Lze si stáhnout 30 denní zkušební verzi a studentskou verzi. Navisworks Manage je nejrozšířenější software na detekce kolizí, takže společnosti, které se zabývají projekcí nebo mají BIM (VDC) koordinátora už mají většinou software zakoupený. V této práci ale budeme uvažovat, že uživatel zakupuje kompletně nové licence softwarů.

Aby uživatel byl schopný vytvářet 4D simulace, bude potřebovat ještě další software na vytváření a úpravu 3D modelů. Nejpoužívanější a nejrozšířenější je software Revit od Autodesk, který stojí \$2 310 ročně, tj. 53 684kč ročně.

Dále budeme potřebovat software na tvorbu časových plánů. Máme zde dvě alternativy – MS Project nebo Primavera P6. MS Project má více verzí v cloudovém nebo místním řešení. V Cloudovém řešení jsou licence

řešeny měsíčním předplatným, ale software musí být předplacený minimálně na jeden rok. K dispozici máme verze Project Online Professional (€25.30 měsíčně, tj. 7 763kč ročně) nebo verze Project Online Premium (€46,40 měsíčně, tj. 14 238kč ročně). Lze zakoupit místní řešení, kde je licence doživotní. Je zde verze Project Standart za 22 999kč nebo verze Project Professional za 41 999kč. Primavera P6 Professional Project Management stojí 58 106kč za doživotní licenci.

Ceny jsou uvedeny v tabulce 4 a dále jsem vybral nejlevnější, nejdražší softwarové balíčky a také optimální balíčky pro Synchro Pro a Navisworks. Ceny balíčků se můžou lišit v závislosti na koupi licence plánovacího softwaru. Zde záleží na rozhodnutí uživatele, kterou licenci zakoupí. Do optimálních balíčků byl zde vybrán plánovací software Project Standart, protože verze s jejími funkcemi je dostatečná pro tvorbu časových plánů. Také se dá dodat, že jelikož Synchro Pro má zabudované funkce na tvorbu časových plánů, tak k němu není přímo potřeba plánovací software. Ovšem tvorba základního plánu je snazší a rychlejší v plánovacím softwaru.

Tabulka 4 - ceny software (tabulka autor)

Software	4D BIM	Modelovací	Plánovací
Synchro Pro	69 604 Kč		
Navisworks Manage	50 547 Kč		
Navisworks Simulate	20 451 Kč		
Revit		53 684 Kč	
Project Online Professional			7 763 Kč
Project Online Premium			14 238 Kč
Project Standart			22 999 Kč
Project Professional			41 999 Kč
Primavera P6 Professional Project Management			58 106 Kč

Dále byla vybrána verze Navisworks Manage, protože cenový rozdíl 30 096kč mezi verzí Navisworks Simulate v celkovém balíčku není tak

značná. Navisworks Manage navíc obsahuje funkce na detekci kolizí a další funkce na práci s 3D modely.

Cena optimálního balíčku Synchro Pro je 146 287kč ročně a cena optimálního balíčku Navisworks je 127 230kč ročně (tabulka 6). Pokud uživatel plánuje využívat software čistě modelování výstavbového plánu projektu za pomoci metody 4D, tak bych doporučil koupit balíček Synchro Pro. Pokud uživatel plánuje dělat i detekce kolizí a další práce se 3D modelem doporučil bych balíček Navisworks Manage. Cenový rozdíl mezi balíčky je 19 057kč.

Nejlevnější balíček na tvorbu 4D simulací je za 81 898kč ročně a nejdražší balíček je za 181 394kč ročně (tabulka 5). V nejlevnějším balíčku jsou nezákladnější verze 4D a plánovacího softwaru, které postrádají různé funkce oproti softwarům v optimálních balíčcích. Cenový rozdíl mezi balíčky tvoří 99 496kč.

Tabulka 5 - ceny nejlevnějšího a nejdražšího balíčku software (tabulka autor)

Nejlevnější balíček		Nejdražší balíček	
Navisworks Simulate	20 451 Kč	Synchro Pro	69 604 Kč
Revit	53 684 Kč	Revit	53 684 Kč
Project Online Professional	7 763 Kč	Primavera P6 Professional Project Management	58 106 Kč
	81 898 Kč		181 394 Kč

Tabulka 6 - ceny optimálních balíčků (tabulka autor)

Optimální Synchro Pro		Optimální Navisworks Manage	
Synchro Pro	69 604 Kč	Navisworks Manage	50 547 Kč
Revit	53 684 Kč	Revit	53 684 Kč
Project Standart	22 999 Kč	Project Standart	22 999 Kč
	146 287 Kč		127 230 Kč

4.3.5 Hodnocení software

Hodnocení vhodnosti softwarů Synchro Pro a Navisworks bylo provedeno metodou multikriteriální analýzy. Váhy jednotlivým parametrům byly nastaveny:

- Obtížnost práce se softwarem – 0,2
- 4D funkce – 0,4
- Simulace pohybů – 0,2
- Import a export – 0,1
- Cena – 0,1

Hodnoty přiřazené k vahám jsou vidět v tabulce 7.

Tabulka 7 - multikriteriální analýza 4D BIM softwarů (tabulka autor)

		Synchro Pro	Navisworks
Obtížnost práce se softwarem	Váha	0,2	0,2
	Hodnota	4	5
4D Funkce	Váha	0,4	0,4
	Hodnota	5	3
Simulace pohybů	Váha	0,2	0,2
	Hodnota	3,5	4
Import a export	Váha	0,1	0,1
	Hodnota	4	3,5
Cena	Váha	0,1	0,1
	Hodnota	4	5
Celkem		4,3	3,85

Z výsledků v tabulce vyplývá, že Synchro Pro se více hodí k vytváření 4D simulací než Navisworks. V celkovém hodnocení je Synchro Pro ohodnoceno o 0,45 bodu více než je Navisworks. Snadnost využívat oba softwary je velice podobná, ovšem Navisworks se zdá uživatelsky jednodušší. Tento fakt ale nejspíše nastává, protože uživatelé jsou zvyklí na vzhled a ovladatelnost jiných softwarů od společnosti Autodesk (Autocad, Revit). Hodnocení 4D funkcí byla přiřazena největší váha, protože softwary má být primárně používán k 4D BIM simulacím. Jelikož Synchro Pro je

primárně určen na 4D simulace, tak má propracovanější funkce, lepší práci s časovými plány a má oproti Navisworks pár důležitých funkcí (např. simulace růstu pohybu a možnost dělení prvků na podprvky). Simulace 3D pohybů byly ohodnoceny vysokou váhou, protože jsou důležitou součástí simulací. V obou softwarech je vytváření 3D pohybů velice podobné, ale v Navisworks se zdá intuitivnější a snazší. Navisworks byl tedy ohodnocen o 0,5 bodu lépe než Synchron Pro. Import a export dat je opět velice podobný v obou software, ale Synchron Pro má možnosti exportu více dat týkajících se časových plánů. Proto bylo Synchron Pro ohodnoceno o 0,5 bodu lépe než Navisworks.

Oba softwary mají velice podobné hodnocení, ale pro plnohodnotné modelování stavebního projektu ve 4D BIM prostředí ve fázi realizace doporučil bych koupit balíček Optimální Synchron PRO (viz – tabulka 6), kvůli lepším možnostem úpravy časových plánů a více funkcí pro export reportů. Jestli by simulace měly být tvořeny za marketingovým účelem, doporučil bych koupit nejlevnější balíček (viz – tabulka 5) - Navisworks Simulate a nejlevnější licence MS Project plně postačí na základní simulace, které nebudou plně respektovat postup výstavby objektu, ale budou mít za účel pouze zaujmout zákazníka.

5 Návrh architektury nového systému pro časové plánování při realizaci staveb s využitím 4D BIM technologie

Vytváření operativních časových plánů (2týdenní a 6týdenní) přímo na stavbě je časově a logisticky náročné. Většinou probíhá na dodavatelských kontrolních dnech, které pak trvají několik hodin. Z mé osobní zkušenosti, kontrolní den bývá na 2-4 hodiny v závislosti na počtu zúčastněných dodavatelských firem a velikosti projektu. Okolo půlky délky trvání kontrolního dne tvoří vytváření harmonogramu na následující jeden nebo dva týdny podle toho, jak často bývá kontrolní den.

Domnívám se tedy, že pokud by se podařilo inovovat systém tvorby operativních časových plánů pomocí metodiky 4D BIM plánování mohl by se celý výstavbový proces více automatizovat, a tedy zefektivnit. Plány by

vytvářel pouze jeden určený pracovník na pozici 4D BIM koordinátora. Vedení stavby by plány pouze kontrolovalo a schvalovalo. Takový systém by vyžadoval vytvoření zcela nového přístupu k časovému plánování.

V této kapitole navrhnu architekturu systému, s cílem zefektivnění tvorby a využití časových plánů, který využívá 4D BIM plánování při realizaci staveb. Z kapitoly 6.3 už víme, že využívání plánovací metody 4D šetří peníze a čas při realizaci staveb, ale nikde není uvedeno, jakým způsobem danou metodu využívat ve stavební praxi. Hlavní úmysl systému je urychlení kontrolních dnů, ulehčení práce stavbyvedoucímu, zefektivnění celého procesu plánování a vytváření akurátnějších časových plánů na stavebních projektech.

5.1 Předpoklady systému

Hlavní předpoklady systému, nutné pro zavedení 4D BIM metodiky ve fázi realizace projektu:

- Stavební projekt (ve fázi dokumentace pro provedení stavby) je vytvořen a průběžně aktualizován ve 3D BIM prostředí
- Zhotovitel stavby zaměstnává osobu, která má jako hlavní činnost pracovního poměru tvorbu časových plánů pomocí metody 4D BIM plánování
- 4D BIM koordinátor je vybaven dostačujícími softwarovými a hardwarovými balíčky podle kapitoly 4.3.3

5.2 Druhy časových plánů

Budeme zde počítat s 3 druhy časových plánů v závislosti na řešeném časovém úseku plánu. Podrobnější plány musí korespondovat s nadřazenými plány. Jedná se o časové plány:

- Hlavní časový plán
- 6týdenní časový plán
- 2týdenní časový plán (pokud je kontrolní den každý druhý týden)

Hlavní časový plán je zpracováván před zahájením výstavby. Určuje začátek a konec stavebního projektu a blíže specifikuje trvání a vazby jednotlivých činností. Tento harmonogram není moc podrobný a vykazuje například informaci, kdy má začít a skončit provádění omítek. Ovšem přesně nevykazuje, kdy se má začít omítat jaká sekce nebo patro objektu. Tato informace se řeší v podrobnějších plánech. Při tvorbě hlavního časového plánu neznáme spoustu dat a skutečností, které nastanou při výstavbě, proto může dojít ke změně harmonogramu, dalších zhotovitelů nebo např. okolních podmínek oproti původnímu plánu. Tento plán může být postupně upravován, ale finální termín by se neměl měnit. Když se stavba vychýlí oproti původnímu plánu, musíme pomocí podřazených časových plánů postupně průběh stavby upravovat, aby vše proběhlo spolehlivě, bezpečně a s požadovaným výsledkem.

Další rozsah plánu je 6týdenní, který musí korespondovat s hlavním časovým plánem a blíže ho určovat. V tomto plánu se už například objeví, v jakém týdnu musíme začít a skončit omítání určitého patra nebo sekce. Tento plán se již upravuje a doplňuje souběžně s postupem výstavby při zjištění podrobnějších informací od jednotlivých dodavatelů. Osobně považuji tento plán jako nejdůležitější a jeho správné nastavení může mít kritický vliv na průběh a úspěšnost stavebního projektu.

Nejpodrobnější časový plán je 2týdenní, který už přímo určuje dny, ve kterých se budou všechny činnosti provádět. Opět musí korespondovat s 6týdenním a celkovým harmonogramem.

5.3 Architektura systému

Tato kapitola řeší návrh architektury systému s využitím 4D BIM plánování pro jednotlivé druhy časového plánu (viz – kapitola 5.2) v samostatných kapitolách.

5.3.1 Hlavní časový plán

V předrealizační přípravě začne p4D BIM koordinátor za spoluúčasti se stavbyvedoucím a manažerem stavby vytvářet hlavní časový plán, který

musí být celou výstavbu respektován. Investor předá základní časové požadavky na výstavbu stavební firmě jako jsou:

- Termín zahájení výstavby
- Termín dokončení výstavby
- Milníky (např. dokončení monolitu, vylití podlah, apod.)
- Další omezení (např. zákaz práce v neděli)

Před zahájením tvorby plánu je důležité určit pracovní dobu a pracovní dny. Dále je vhodné do kalendáře poznamenat důležité svátky (Vánoce, Velikonoce, ...). Následně 4D BIM koordinátor společně se stavbyvedoucím a manažerem stavby určí hlavní činnosti a jejich doby trvání. 4D BIM koordinátor ze získaných dat vytvoří základní plán v plánovacím softwaru (např. MS Project). Tvorba plánu ve formě Ganttova diagramu probíhá v plánovacím softwaru, protože tvorba časového plánu přímo ve 4D BIM softwaru je pomalejší a složitější. Už tímto krokem 4D BIM koordinátor šetří čas stavbyvedoucímu a manažerovy stavby a už tím se zde vyskytuje určitá inovace v celém procesu tvorby časových plánů.

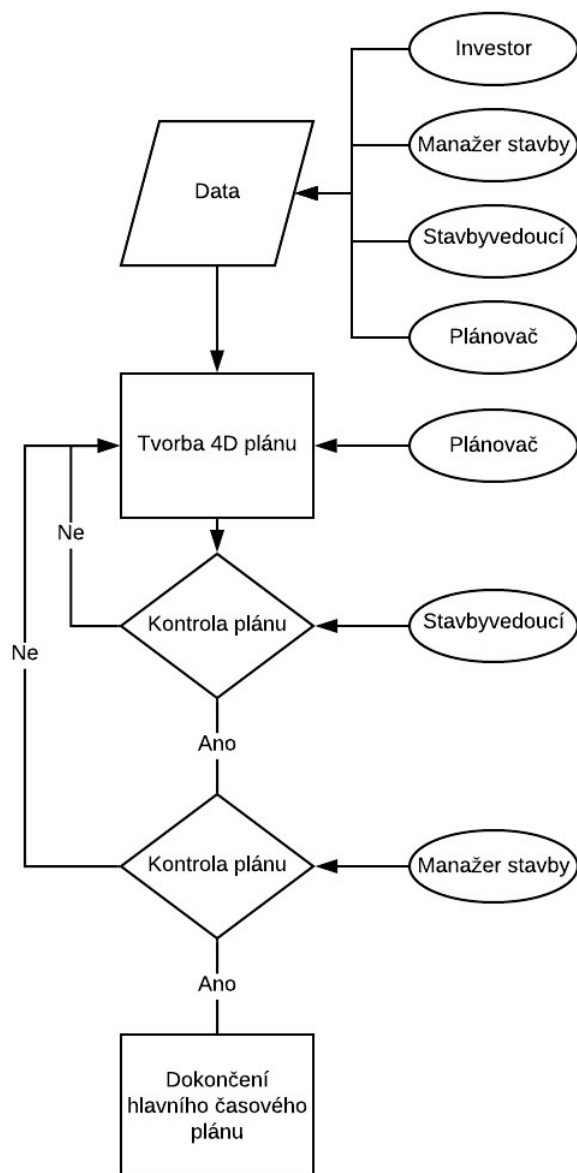
Po vytvoření časového plánu v Ganttově diagramu začne 4D BIM koordinátor pracovat na tvorbě 4D simulace, kde odhalí nedostatky a kolize původního plánu. Podle zjištění z 4D BIM simulace se postupně upravuje harmonogram, aby nevznikaly časoprostorové kolize pracovních čt a činností.

Po dokončení návrhu 4D BIM plánu se předá plán ke kontrole stavbyvedoucímu, který ho buď schválí nebo neschválí. Při neschválení musí 4D BIM koordinátor plán upravit a předat k další kontrole. Až plán bude odsouhlasen stavbyvedoucím, tak se dá ke kontrole manažerovi stavby. Po připomínkách se strany manažera 4D BIM koordinátor opět upraví plán a dá následně ke kontrole stavbyvedoucímu a následně manažerovi stavby. Celý tento proces vede k přesnému časovému plánu určujícímu hlavní milníky a vedoucí činnosti výstavbového projektu. Celý algoritmus lze vidět v obrázku 46.

Takto inovovaný proces má potenciál ušetřit stavbyvedoucímu a manažerovi stavby mnoho času, protože by se nemuseli přímo starat o tvorbu plánu. Plán by pouze kontrolovali a připomínkovali. Plán díky možnosti vizualizace postupu výstavby je také daleko přesnější a s menším počtem nesrovnalostí. V jakémkoli čase pomocí simulace „rozestavěného“ modelu můžeme kontrolovat postupy prací a identifikovat potencionální hrozby.

Stavbyvedoucímu bude tímto celým procesem práce ulehčena, protože kontrolování a připomínkování nezabere tak velké množství času jako samotné vytváření plánů. Navíc díky možnosti vizualizace postupu výstavby ve 4D BIM prostředí bude seznámení s časovým plánem probíhat mnohem rychleji než kdyby byl vytvořen pouze v Ganttově diagramu. Tyto dva fakty považují za největší přínos při tvorbě hlavního časového plánu pomocí 4D BIM metody.

Simulace bude v podrobnosti jaká bude vyžadována manažerem stavby, protože vždy záleží na druhu stavby. Například 4D plán na fotbalový stadion bude vytvořen v úplně jiné detailnosti a budou také odlišné hlavní činnosti časového plánu projektu oproti 4D plánu bytového domu. Nedá se tedy přímo definovat jaké druhy prvků by se měly vyskytovat v simulaci.



Obrázek 46 - Systém tvorby hlavního časového plánu ve 4D prostředí (autor)

5.3.2 6týdenní časový plán

Další druh plánu bude pro časový úsek 6týdnů. 4D BIM koordinátor s informacemi od stavbyvedoucího, dodavatelů a z dat v hlavním časovém plánu vytvoří nový, kratší plán. Plán lze zapracovat do hlavního časového plánu a pomocí směrných plánů hodnotit alternativy a dopad na projekt jako celek. Hlavní časový plán obsahuje blíže prostorově nespécifikované činnosti, které 6týdenní plán již blíže specifikuje – například dokončení monolitu 3. a 4. patra. Data si bude zajišťovat 4D BIM koordinátor vždy týden před tvorbou časového plánu a na jeho vytvoření bude mít týden času.

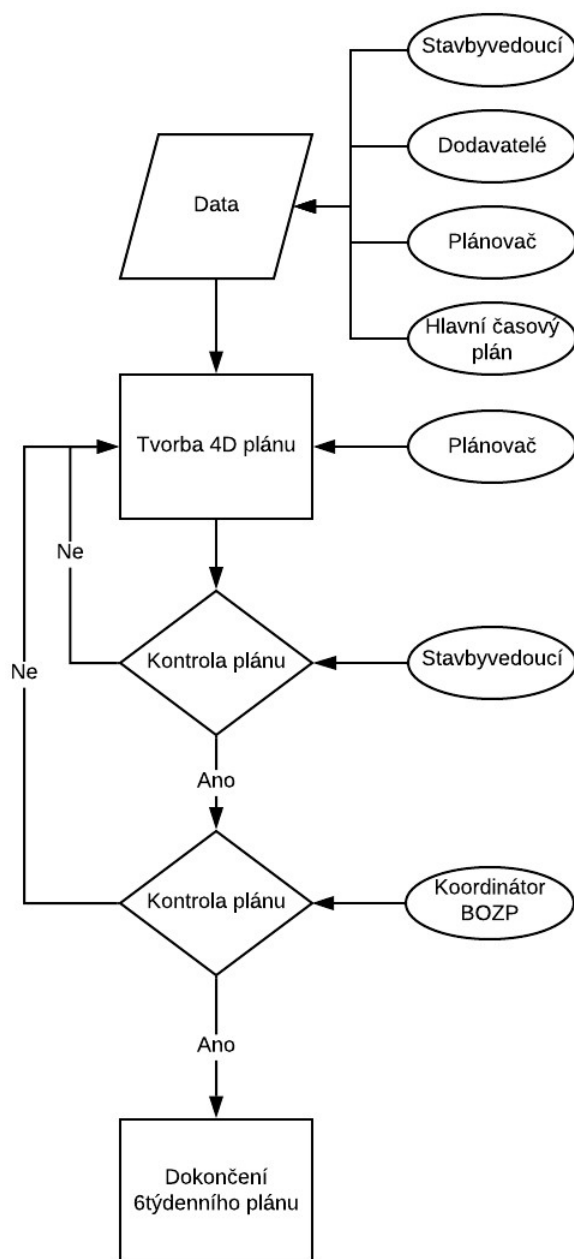
Následně bude mít týden času na získání schválení ze strany stavbyvedoucího a koordinátora BOZP. V tomto případě se očekává plná spolupráce z jejich strany, protože při nespolupráci celý systém postrádá smysl.

Následně bude probíhat kontrola plánu ze strany stavbyvedoucího, který ho může připomínkovat. Když není plán schválen, 4D BIM koordinátor ho upraví a pošle znovu ke schválení. Po stavbyvedoucím plán připomíná koordinátor BOZP. Ten kvůli možnosti vizualizace postupu výstavby může jednodušeji a efektivněji identifikovat potencionální rizika spojené s výstavbou nebo logistikou na staveništi. Po schválení plánu ze strany koordinátora BOZP je 6týdenní plán hotový a stavba se jím musí nadále řídit. Celý proces tvorby 6týdenního časového plánu lze vidět na obrázku 47.

Lze vidět, že tento plán schvaluje už pouze stavbyvedoucí a navíc i koordinátor BOZP. Pro manažera stavby je už tento plán příliš detailní a všechna důležitá omezení z jeho strany už měla být definována v hlavním časovém plánu. Ovšem že může mít manažer nějaké připomínky k postupu výstavby, ale v této fázi rozestavěnosti se to od něj neočekává a je to velice mimořádné.

Opět se zde šetří čas stavbyvedoucímu, který nemusí tento časový plán vytvářet a řešit, protože plán už pouze připomínkuje a schvaluje. Ušetřený čas bude stavbyvedoucí věnovat tomu, aby pod-zhotovitelé plán dodržovali a řídili se jím, protože při nedodržování časového plánu se stává systém neefektivním. Jelikož bude 4D BIM koordinátor denně k dispozici všem zainteresovaným stranám ve stavebním projektu, tak komunikace a nahlížení do 4D plánů je velice snadné. Základní výstup 4D simulace pro pod zhotovitele bude pouze v Ganttově diagramu. Ovšem záleží na druhu práce pod zhotovitelů, jaký v jakém formátu dostanou výstup ze 4D simulace. Například pro pracovní činnost osazování balkónů je výstup ve formě 4D simulace vhodný, protože zde vznikají bezpečnostní rizika spojená s pohybem na staveništi. Naopak pro pracovní činnost omítání plně postačí výstup v Ganttově diagramu.

Změny v projektu, které se naskytanou v průběhu výstavby musí vedení stavby neprodleně začít řešit s 4D BIM koordinátorem a implementovat dopad změny do 4D BIM plánu. Zde opět stojí za zvážení, jak rozsáhlá změna to je. Například změna nosného systému balkónů z prefabrikovaných dílců na monolitické dílce je velmi zásadní změna, která se musí zapracovat do časového plánu. Naopak záměna systému oken (například z plastových na dřevěné) nemá vliv na časový průběh stavby, takže není třeba zapracovávat do časového plánu.



Obrázek 47 - Systém tvorby 6týdenního časového plánu ve 4D prostředí (autor)

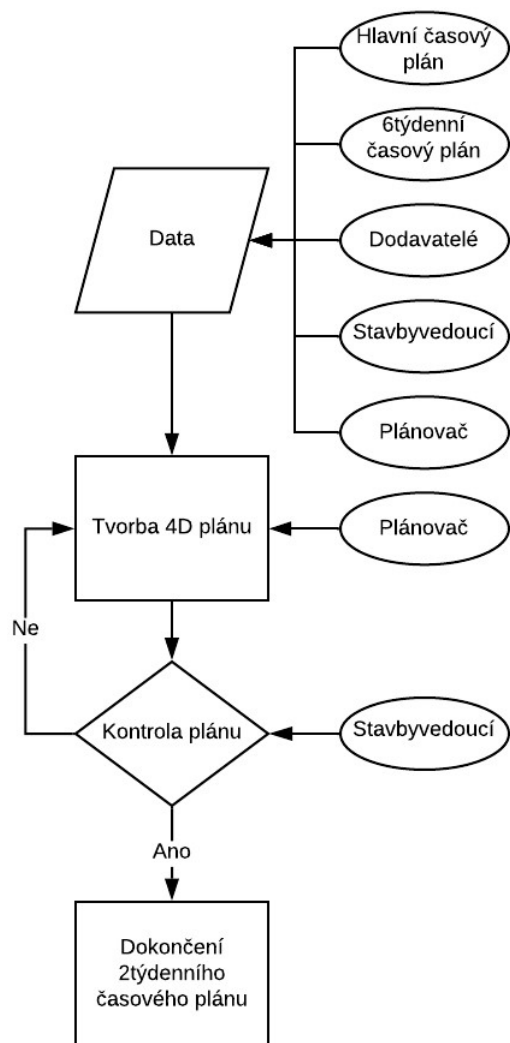
5.3.3 2týdenní časový plán

2týdenní časový plán je nejpodrobnější druh časového plánu v námi řešeném systému. Plán plně specifikuje čas a prostor každé konstrukci, která se bude stavět. Plán opět vychází z hlavního časového plánu a z 6týdenního časového plánu a musí se jimi tedy plně řídit. Pokud nastanou skluzu v činnostech v hlavním nebo 6týdenním časovém plánu, tak se je musíme pokusit eliminovat v 2týdenním časovém plánu. Při skluzu i v 2týdenním časovém plánu nastává problém z hlediska dodržování termínů a musí se identifikovat a eliminovat další rizika skluzů v čase.

4D BIM koordinátor vytvoří časový plán podle informací z hlavního časového plánu, 6týdenního časového plánu, od dodavatelů a stavbyvedoucího. Následně plán opět zkontroluje na časoprostorové kolize činností a plán upraví. Následně ho předá ke kontrole stavbyvedoucímu. Při neschválení musí 4D BIM koordinátor plán opět upravit dle připomínek stavbyvedoucího a předat do zpátky ke kontrole. Po schválení ze strany stavbyvedoucího je plán hotový.

Množství potřebných informací pro rozsah časového plánu na dva týdny je tak malý, že jeho tvorba velice rychle. Vždy začne 4D BIM koordinátor získávat data týden před dalším kontrolním dnem a bude mít týden na jeho vytvoření a schválení ze strany stavbyvedoucího.

V tomto plánu nemá opět slovo manažer stavby, protože takto detailní plán je pro něj zbytečný. Navíc zde nemá slovo ani koordinátor BOZP, protože se již vyjádřil v 6týdenním časovém plánu a ten je jemu nadřazený.



Obrázek 48 - Systém tvorby 2týdenního časového plánu ve 4D prostředí (autor)

5.4 Kvalifikace 4D BIM koordinátora

Jelikož časové plánování je jednou z nejdůležitějších rolí potřebné k dosažení požadovaného výsledku stavebního projektu, tak ho musí provádět vysoce kvalifikovaná osoba. Navíc s implementací 4D BIM plánů zde rostou softwarové požadavky na technika. Hlavní vlastnosti 4D BIM koordinátora jsou:

- Znalost postupu výstavby a pracovních činností – důležité pro správné určení činností a jejich parametrů (vazby, doba trvání)
- Zkušenosti v realizaci nebo plánování staveb – pomáhá k určování dob trvání činností

- Znalost pokročilých softwarů – modelovací software, plánovací software a 4D BIM software
- Umění komunikovat se zainteresovanými stranami

Najít člověka, který vyhovuje všem výše zmíněným vlastnostem je velice problematické, protože stavební inženýři mají většinou silné znalosti z realizace a malé softwarové znalosti nebo naopak mají slabé znalosti z realizace a silné softwarové znalosti.

Pro spolupráci s 4D BIM koordinátorem postačí běžné znalosti mimo oblast 4D BIM plánování. Výstupy ze 4D BIM simulací by byly exportovány většinou ve formě Ganttova diagramu a při rizikovějších a důležitějších činnostech současně se 4D BIM simulací. Čili využívání metodiky 4D BIM simulací neznamena zvětšení požadavků na účastníky výstavby.

5.5 Cena implementace 4D BIM plánování

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.3.3.5 roční sazba na používání softwarový balíčků je poměrně veliká. V kapitole 5.4 bylo zmíněno jaké vlastnosti musí mít 4D BIM koordinátor. Kvůli jeho kvalifikace budou i velké mzdové náklady. V kalkulaci budeme uvažovat, že 4D BIM koordinátor je zaměstnanec se superhrubou mzdou 1 200 000kč ročně (100 000měsíčně). Cena optimálního balíčku Synchro PRO vychází na 146 278kč ročně (12 190kč měsíčně). Do kalkulace budeme počítat přírážku 10 % z celkových ročních nákladů na bonusy zaměstnance, mobilní telefon a výkonný počítač. Dále se musí kupovat různé 3D modely (např. těžká mechanizace, zařízení staveniště, ...), kterých cena se velice liší v závislosti na jejich detailního zpracování.

Shrnutí cen:

- Roční mzda – 1 200 000kč
- Software – 146 278kč
- Přírážka – 134 628kč

Odhadované celkové roční náklady na implementaci časového plánování ve 4D BIM prostředí jsou tedy 1 480 906 Kč. Z této ceny vyplývá, že implementace má smysl na velkých stavebních projektech, které mají cenu v řádech stovek milionů nebo miliard.

Podle průzkumu J. O. Pozuelo (17) v rámci jeho diplomové práce, který byl zaměřený na výkonnost projektu po implementaci 4D BIM časového plánu celková výkonnost projektu vzrostla. Výkonnost byla porovnávána pomocí SPI indexu, který se vypočítá:

$$SPI = EV/PV$$

- SPI – Schedule Performance Index
- EV (Earned Value) – kolik % projektu bylo dokončeno
- PV (Planned Value) – kolik % projektu bylo plánováno, že se dokončí

Tedy pokud $SPI=0,5$, tak se dokončilo 50% práce oproti plánu. Ideální SPI bude mít hodnotu jedna a více. Pokud je SPI menší než jedna, tak práce probíhají pomaleji, než bylo plánováno.

V průzkumu bylo sledováno více částí díla na stavbě Moín Container Terminal (překladiště lodních kontejnerů v Costa Rica). Níže budou uvedeny průměrné změny v SPI indexu pro sledované části díla po zaimplementování 4D BIM:

- Molo – růst z 33% na 65%
- Sítě (voda, kanalizace, elektřina) – růst z 66% na 86%
- Drenáže – růst z 68% na 100%
- Elektrické sloupy a nadzemní vedení elektřiny – růst ze 40% na 95%
- Komunikace – pokles z 67,4% na 51,1%

Všechny konstrukce kromě komunikací zaznamenaly výrazné zlepšení v postupu výstavby. Tento fakt nastal z důvodu, že komunikace navazují na všechny ostatní konstrukce, které se stavěly výrazně rychleji a kvůli prostorovým kolizím musely být práce na komunikacích zpomaleny. Celkově

se dá říct, že implementace 4D BIM metodiky pomohla plynulosti výstavby. Pokud by se projekt nestihl dokončit v požadovaných termínech, musela by zhotovitelská firma platit za každý den prodlevy penále podle smlouvy o dílo (např. 0,05% z celkové ceny díla za den prodlení – tj. při stavbě za 500 milionů penále 250 tisíc denně). Lze tedy konstatovat, že náklady na implementaci 4D BIM plánování se vyplatí na velkých a rizikovějších projektech.

5.6 Shrnutí systému

System využívá poměrně jednoduchý algoritmy postupu tvorby jednotlivých plánů. Při plné spolupráci všech zainteresovaných účastníků projektu (manažer stavby, stavbyvedoucí, koordinátor BOZP a dodavatelské firmy) má použití 4D BIM plánování velký potenciál. Tento systém primárně slouží k ušetření času členům projektového týmu, ušetření času a peněz.

Výhody systému:

- Ušetření práce členům projektového týmu
- Plánování se primárně věnuje jeden člověk, vedení stavby pouze schvaluje
- Plán se aktualizuje ve více úrovních na základě získaných dat od účastníků projektu
- Jednodušší předávání informací dodavatelským firmám
- Další pokrok v implementaci BIM

Nevýhody systému:

- Dovolená, nemoc 4D BIM koordinátora (musí se interně vyřešit)
- Projektový tým i dodavatelské firmy musí plně spolupracovat
- Velké náklady na implementaci
- Použit se dá pouze na velkých stavbách
- Vysoká kvalifikace 4D BIM koordinátora

- 3D model musí být z určité části připraven na používání 4D BIM plánování

Závěr

Autor na začátku své diplomové práce provádí rešerši o tradičních metodách časového plánování, kde také uvádí jejich nevýhody a výhody. Z rešerše lze konstatovat, že nejpoužívanější metoda tradičního časového plánování je BKN, kterou po úpravách používají moderní systémy na časové plánování jako je MS Project nebo Primavera P6. Vylepšení této metody je metoda STSG, kterou používá software CONTEC. Tato metoda zavádí další vazby oproti metodě BKN, které umožňují blíže modelovat postup výstavby stavebního projektu. Pro účel 4D BIM plánování se používají časové plány, které jsou vymodelovány metodou BKN a dále importovány do 4D BIM systému.

Následuje kapitola zaměřena na rešerši BIM prostředí, která je primárně založena na 4D plánování. Nejprve jsou uvedeny základní informace o BIM prostředí, jeho funkce, LoD a dimenze BIM. Dále autor uvádí druhy tvorby 4D BIM simulací a detaily 4D modelu. 4D BIM simulace se budou lišit v závislosti na požadavcích na detaily a tím se bude lišit i její vhodnost použití při realizaci staveb. Následně je zde uvedena kapitola o LoD pro 4D BIM simulace, která říká, že LoD je úměrný podrobnosti simulace – čím vyšší LoD, tím vyšší podrobnost a akurátnost. Ve zbytku kapitoly se autor zabývá reorganizací 3D elementů, dočasnými konstrukce použitými v simulaci a dělení a spojování 3D prvků na pod prvky. Všechny aspekty mají velký vliv na kvalitu, přesnost a efektivnost simulace a vždy před zahájením tvorby 4D BIM simulace je potřeba je přesně definovat, aby bylo dosaženo požadovaného výstupu.

Další kapitola obsahuje rešerši a autorovo porovnávání 4D BIM software (Synchro Pro a Navisworks). V něm autor uvádí základní informace o řešených softwarových řešení a dále je porovnává na základě zkušeností získaných při tvorbě 4D BIM simulací. Simulace jsou vytvořeny na etapu D projektu Port Karolína v Karlíně, Praha 8. Pomocí multikriteriální analýzy

autor dále porovnává parametry (obtížnost práce se systémem, 4D funkce, simulace pohybů, import a export vstupů a výstupů a cena). V kapitole 4.3.3 jsou blíže rozebrány jednotlivé parametry a v následující kapitole jsou uvedeny výsledky hodnocení. Z výsledků plyne, že software Synchron Pro byl ohodnocen 4,30 z 5,00 a software Navisworks 3,85 z 5,00 v závislosti na zkoumaných parametrech. Z hodnocení vyplývá, že vhodnější software na tvorbu 4D BIM simulací je Synchron Pro. Celkové hodnocení je popsáno v kapitole 4.3.4

V kapitole 5 autor představuje vlastní architekturu systému využívající 4D BIM plánování. Tento systém definuje činnosti 4D BIM koordinátora, který zodpovídá za udržování 4D BIM modelu. Autor předpokládá, že po implementaci systému dokáže projekt zrychlit stavební výrobu, odhalit potenciální rizika ze strany BOZP a zároveň usnadnit práci stavbyvedoucímu a manažerovi stavby. Pro plné fungování systému je nutná spolupráce manažera stavby, stavbyvedoucího, koordinátora BOZP a dodavatelů dílčích částí díla s 4D BIM koordinátorem. Metoda 4D plánování je poměrně náročná na implementaci do stavebních projektů z důvodu vysokých finančních nákladů. Odhad celkové ceny implementace je rozebrán v kapitole 5.5 a vychází na 1 480 906 Kč ročně. Z celkové ceny implementace vyplývá, že efektivita 4D BIM metody roste zároveň s rostoucí velikostí nebo rizikovostí projektů. Jelikož při nedodržení dílčích termínů výstavby hrozí dodavatelským firmám penále (například 0,05% z celkové ceny díla za den), tak každý podpůrný systém, který ulehčí plánování výstavby je vhodný. Tím bych zhodnotil, že systém 4D BIM plánování má velký potenciál a při jeho správném využití může mít kritický vliv na průběh výstavby a finanční stránku projektu.

Citovaná literatura

1. "Standish Group 2015 Chaos Report - Q&A with Jennifer Lynch. S. Hastie, S. Wojewoda. 2015.
2. www.callida.cz. [Online] 11 2019. <https://callida.cz/cs/blog/83-jak-je-dulezite-miti-bim-koordinatora>.
3. *BIM and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies*. J.P. Zhang, Z.Z. Hu. China : Automation in Construction, 2010.
4. Kymmell, Willem. *Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations*. : The Mc-Graw Hill Companies, 2008.
5. *Systems Engineering to improve the governance in complex project environments*. G. Locatelli, M. Mancini, E. Romano. 2014.
6. *A quantitative analysis on the feasibility of 4D Planning Graphic Systems*. A. Candelario-Garrido, J. García-Sanz-Calcedo, A. M. R. Rodríguez. Badajoz, Spain : 2017.
7. *Optimizing construction planning schedules by virtual prototyping enabled resource analysis*. H. Li, N. Chan, T. Huang, H.L. Guo, W. Lu, M. Skitmore. Hong Kong, Australia : 2009.
8. *THE APPLICATION OF CONSTRUCTION*. P. Zanen, T. Hartmann. Twente, Nizozemsko : 2010.
9. *Project Management for Construction - Fundamental Concepts for*. Hendrickson, C. 2000.
10. *Příprava a realizace staveb - Multimediální učebnice*. další, Č. Jarský a. Praha, Česká Republika : ČVUT, 2004.
11. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston. Hoboken : Wiley Publishing, 2011.
12. buildingSMART. [Online] 2010. www.buildingsmart.org.
13. BIMfo. [Online] www.bimfo.cz.
14. [www.linkedin.com](https://www.linkedin.com/pulse/general-comparison-between-bim-4d-software-tamer-mohammed/). [Online] 2015. <https://www.linkedin.com/pulse/general-comparison-between-bim-4d-software-tamer-mohammed/>.
15. [hubspot.net](https://cdn2.hubspot.net/hubfs/209864/Synchro%20PRO%202018%20-%20technical%20overview.pdf). [Online] 2018. <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/209864/Synchro%20PRO%202018%20-%20technical%20overview.pdf>.
16. [www.cadstudio.cz](https://www.cadstudio.cz/navisworks). [Online] <https://www.cadstudio.cz/navisworks>.
17. Pozuelo, J. O. *Construction Project Performance Constrol Using 4D BIM: Comparing the Baseline Plan Against the As Built Progress of a Project*. Delft University of Technology, 2018.
18. [www.tzb-info.cz](https://www.tzb-info.cz/bim/14211-bim-5d-ceny-a-klasifikace-produkce-cast-1) [Online] <https://www.tzb-info.cz/bim/14211-bim-5d-ceny-a-klasifikace-produkce-cast-1>

Legenda obrázků

Obrázek 1 - Kroky časového plánování (10)	14
Obrázek 2 - Souvisle orientovaný síťový graf (11)	16
Obrázek 3 - Obecný síťový graf (11).....	16
Obrázek 4 - hranově definovaný síťový graf (11)	17
Obrázek 5 - hranový síťový graf s vypočítanou kritickou cestou (11)	18
Obrázek 6 - uzlově definovaný síťový graf	20
Obrázek 7 - vazba konec – začátek (KZ) (11).....	21
Obrázek 8 - vazba začátek – začátek (ZZ) (11)	21
Obrázek 9 - vazba kritické přiblížení (KP) (11).....	21
Obrázek 10 - vazba konec – konec (KK) (11)	22
Obrázek 11 - špatně zvolená vazba (11)	23
Obrázek 12 - Harmonogram ze síťového grafu (11).....	25
Obrázek 13 - sdílení informací v modelu BIM (13)	27
Obrázek 14 - funkce modelu BIM (13)	28
Obrázek 15 - dimenze BIM prostředí (13).....	30
Obrázek 16 - 3D BIM model (https://www.theengineeringdesign.com/wp-content/uploads/2015/05/bim-revit-3d.jpg)	31
Obrázek 17 - ukázka 4D BIM software Synchro PRO (https://i.ytimg.com/vi/RW1tbg_nbd0/maxresdefault.jpg).....	33
Obrázek 18 - ukázka 4D BIM software Navisworks (https://i.ytimg.com/vi/c8slXCQl2RU/maxresdefault.jpg)	34
Obrázek 19 - grafické zobrazení 4D metod (12)	36
Obrázek 20 - systém 4D BIM plánování.....	40
Obrázek 21- stádia 4D plánování.....	41
Obrázek 22 - 3D model řešené budovy.....	42
Obrázek 23 - ukázka vlastností 3D elementu	43
Obrázek 24 - ukázka prostorových dat 3D prvku	43
Obrázek 25 - Ganttův diagram.....	44
Obrázek 26 - ukázka rozestavěnosti.....	45
Obrázek 27 - Synchro PRO – logo (dostupné na www.synchroltd.com).....	49
Obrázek 28 - Synchro PRO – dělení prvků (16).....	51
Obrázek 29 - Synchro PRO – ukázka Ganttova diagramu (16).....	52
Obrázek 30 - Synchro PRO – ukázka zdrojů (16)	53
Obrázek 31 - Synchro PRO – EVA graf (16).....	53

Obrázek 32 - Synchro PRO – ukázka exportu simulace (16)	54
Obrázek 33 - Navisworks – logo (dostupné na www.autodesk.com).....	54
Obrázek 34 - Navisworks – ukázka verze Manage (https://cdn.myshoptet.com/usr/eshop.adeon.cz/user/shop/big/204-3_navisworks-manage-detekce-kolizi.jpg?59a90dde)	56
Obrázek 35 - Navisworks – ukázka verze Simulate (https://www.autodesk.com/content/dam/autodesk/www/products/autodesk-navisworks-family/fy20/overview/descriptive-overview/section-2/use-4d-5d-simulation-01-large-1920x1080.jpg).....	57
Obrázek 36 - Navisworks – ukázka verze Freedom (https://i.ytimg.com/vi/M-F-evYj9z8/maxresdefault.jpg).....	57
Obrázek 37 - Synchro PRO – vzhled (foto autor).....	61
Obrázek 38 - Navisworks – vzhled (foto autor)	62
Obrázek 39 - Synchro PRO – CPM (foto autor)	63
Obrázek 40 - Synchro PRO – směr růstu konstrukcí (foto autor)	64
Obrázek 41 - ukázka shlukování 3D prvků (foto autor).....	64
Obrázek 42 - Synchro PRO – 3D pohyb rypadla (foto autor)	66
Obrázek 43 - Navisworks – 3D pohyb jeřábu (foto autor).....	66
Obrázek 44 - Synchro PRO – import dat (vlastní)	67
Obrázek 45 - ukázka ceny 3D modelů (https://www.turbosquid.com/3d-models/construction-equipment-excavator-ec380el-3d-max/913228)	68
Obrázek 46 - Systém tvorby hlavního časového plánu ve 4D prostředí (autor).....	78
Obrázek 47 - Systém tvorby 6týdenního časového plánu ve 4D prostředí (autor)...	80
Obrázek 48 - Systém tvorby 2týdenního časového plánu ve 4D prostředí (autor)...	82

Legenda tabulek

Tabulka 1 - úspěšnost projektů (6).....	12
Tabulka 2 - porovnání mezi tradičním a 4D BIM plánováním	46
Tabulka 3 - Navisworks – funkce verzí (https://eshop.adeon.cz/navisworks-manage/).....	58
Tabulka 4 - ceny software (tabulka autor).....	70
Tabulka 5 - ceny nejlevnějšího a nejdražšího balíčku software (tabulka autor)	71
Tabulka 6 - ceny optimálních balíčků (tabulka autor).....	71
Tabulka 7 - multikriteriální analýza 4D BIM softwarů (tabulka autor)	72