

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, FAKULTA STAVEBNÍ
CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE, FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ING. MARTIN NOVÁK, CSc.

TVORBA VÝPOČTOVÉHO MODELU V PROSTŘEDÍ BIM
CREATION OF STRUCTURAL ANALYSIS MODEL IN THE ENVIRONMENT OF BIM

Summary

The habilitation thesis deals with issues of BIM (Building Information Modeling) with respect to structural design and structural analysis. High pressure on speed of civil engineering design work while keeping high quality of projects makes efficient data exchange between members of project team necessary. Efficient exchange of data is not possible without high quality of interfaces between individual software used for design of building structures. A branch dealing with this sort of problems is called interoperability. The most sophisticated format IFC for data exchange between software used for civil engineering, motivation of its creation, its history and capabilities are described.

Because of differences between the data model used in CAD software and data model used in structural analysis, data transfer between those software systems have to include strong conversion of data. CAD software usually deals with volumetric structural model, which can not be directly handled by software for structural analysis, which deal with beams, walls, plates etc. Solution implemented in SCIA Engineer, the only one IFC certified structural analysis software, is described.

Way of creation of analysis model from the model imported from CAD software, is shown on few examples, together with some general principles and recommendations.

Souhrn

Habilitační spis se zabývá problematikou BIM (Building Information Modeling) se zaměřením na statické výpočty a návrh nosných konstrukcí. V dnešní době, kdy je při projektování kladen stále větší důraz na rychlost práce při zachování kvality, je efektivní výměna dat mezi členy projektového týmu a mezi jednotlivými profesemi nutností. Efektivní výměna dat není možná bez kvalitního propojení mezi jednotlivými programy, které jsou při projektování využívány. Tím se zabývá oblast, nazývaná jako interoperabilita, což je termín, který doposud nemá český ekvivalent. V habilitačním spisu je popsán formát IFC, který je dnes nejsofistikovanějším formátem pro výměnu dat, motivace jeho vzniku, jeho historie a jeho možnosti.

Jelikož se datový model konstrukce použitý v CAD programech značně liší od datového modelu, který používá statik, musí být součástí přenosu dat jejich masivní konverze. CAD programy obvykle pracují s objemovým modelem. Na rozdíl od toho programy pro běžnou statiku, pracující s pruty, deskami a stěnami, nemohou s objemovým modelem přímo pracovat. Je ukázáno řešení implementované do programu SCIA Engineer, jediného programu pro statické výpočty s certifikovaným IFC rozhraním.

Na příkladech je ukázáno, jakým způsobem lze vytvářet výpočtový model konstrukce z dat importovaných z CAD programů, a z něj vycházející obecné zásady a doporučení.

Klíčová slova

BIM, navrhování stavebních konstrukcí, statický návrh, metoda konečných prvků, IFC, BuildingSMART, modelování konstrukcí

Keywords

BIM, design of civil engineering structures, structural design, finite elements method, IFC, BuildingSMART, structural modeling

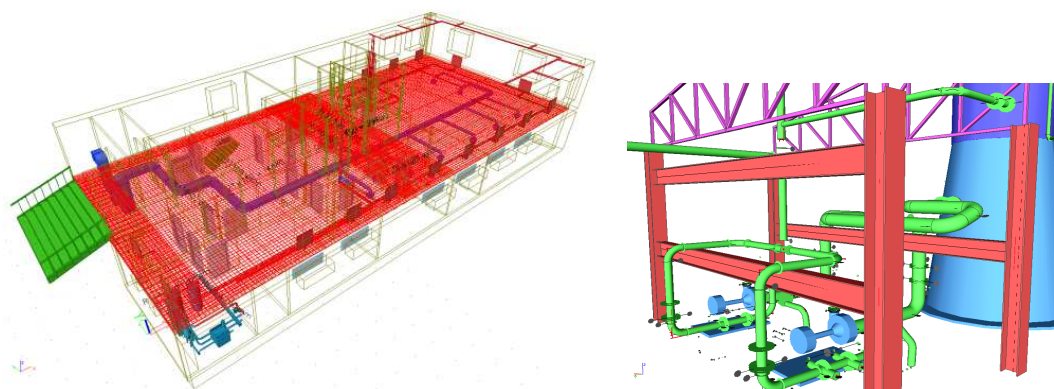
Obsah

1. Úvod	6
2. Cíl práce	7
3. Datové formáty	7
3.1. Formát IFC	8
3.2. Možnosti popisu geometrie v IFC.....	9
4. Datový model konstrukce ve SCIA Engineer	10
5. Nástroje a entity programu SCIA Engineer	12
6. Jednoduchý praktický příklad.....	13
7. Komplexní praktický příklad	16
8. Závěr	20
9. Reference.....	21
10. Osobní údaje – Curriculum Vitae.....	22

1. Úvod

BIM (Building Information Modeling) je oblastí, která se dostává stále více do popředí. Efektivita práce projektantů závisí významně na tom, jak spolu jednotliví specialisté pracující na společném projektu mohou komunikovat, resp. jak je zajištěno, aby se příslušné informace dostaly bez problémů a co nejdříve právě tam, kde jsou třeba. Dnešní rychlost internetu, k němuž jsou dnes připojeny prakticky všechny počítače, k tomu plně postačuje. Tím, jak toho využít pro skutečně efektivní komunikaci členů projektového týmu, se zabývá BIM. Znamená to například, jak zabránit tomu, aby byly jednotlivé informace roztroušeny bez vzájemného kontextu v emailech jednotlivců, a tudíž nedostupné pro ostatní, anebo aby naopak nebyli všichni zahlceni informacemi. Dále se řeší, v jakých datových strukturách, modelech a formátech tyto informace uchovávat a předávat v případě, že různí členové týmu používají různé programy atd.

Exporty a importy dat mezi jednotlivými programy a jednotlivými profesemi se používají mnoho let. Například formát DXF je používán k tomuto účelu již desetiletí. Názvem BIM se však označuje řešení, které umožňuje výměnu všech důležitých dat. Jaká data to jsou a tvorba jejich objektového uspořádání se dnes řeší v rámci organizace BuildingSMART. Tato organizace sdružuje firmy vyvíjející software pro stavebnictví a vyvíjí datový formát IFC (Industrial Foundation Classes). Tento formát je dnes nepochybně nejlepším a nejsložitějším rozhraním pro programy používané ve stavebnictví.



Obr. 1. Příklady konstrukcí, tvořených s použitím BIM

2. Cíl práce

Cílem práce je popsat, jakým způsobem v praxi funguje BIM při návrhu nosné konstrukce pomocí programu SCIA Engineer. Statik pracuje se vstupy, které obvykle představuje model od architekta či stavebního projektanta, a s omezeními, která plynou z prostorového uspořádání a z ostatních profesí. Omezení jsou dána například polohami otvorů nebo limity výšek či tloušťek nosných prvků atd. Model konstrukce sloužící pro výpočet metodu konečných prvků se datově značně liší od modelu popisujícího konstrukci v CAD systémech, viz dále (kap. 4). Proto je důležitá robustní a uživatelsky ovladatelná konverze dat, která se provádí rovnou při přenosu dat nebo po něm. Konverze dat se týká především geometrie resp. topologie konstrukce. K tomu, aby bylo celé řešení skutečně prakticky použitelné, musí být toto řešení schopno přenášet nejen vlastní data o konstrukci, ale rovněž její změny, které jednotliví účastníci generují během práce na projektu. Tyto změny je třeba přenést k ostatním členům týmu ne jako „celou novou konstrukci“, ale jako změny jednotlivých entit, aby na ně mohl celý tým příslušně reagovat, například mít možnost je i odmítnout atd. Jelikož je počet změn, k nimž dojde během práce na projektu, značný, počítá se s použitím různých nástrojů na správu dat, ukládání historie změn atd. Vzhledem k tomu, že celý proces týmové projektové práce je především o změnách, je mu v řešení, které obsahuje SCIA Engineer, věnována velká pozornost.

3. Datové formáty

Existuje řada datových formátů, které se používají na přenos dat mezi technickými aplikacemi. Mají různou historii vzniku, původ a rovněž se liší primárně předpokládanou oblastí použití. Soubory typu DXF, DWG, STEP, DSTV, CIS2, SDNF a další se používají již mnoho let. Jak již bylo řečeno v úvodu, byť se tyto formáty používají již dlouho a pomohly při velkém množství projektů, nemůžeme je považovat za vhodné pro spolehlivé řešení BIM. V zásadě lze jejich slabiny shrnout do dvou úrovní:

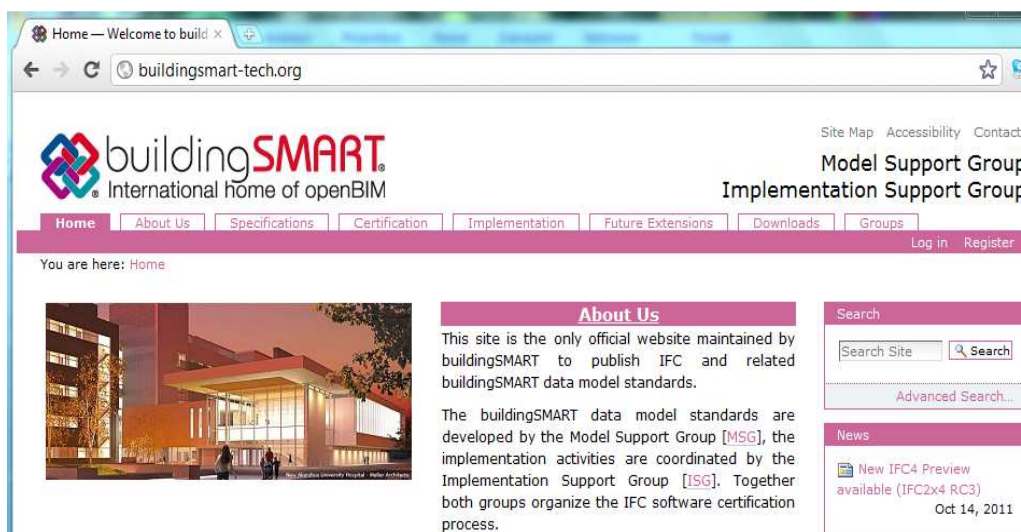
- nejsou to formáty kompletní, neumožňují kompletní datový model, tj. buď popisují jen geometrii (DXF, DWG) nebo jsou určeny jen pro daný typ konstrukcí (např. DSTV je určeno pouze pro ocelové konstrukce)
- nejsou dostatečně spolehlivé. Je třeba si uvědomit, že jsou implementované různými firmami do různých programů a výsledná

kvalita přenosu dat mezi těmito programy není nikým zastřešována a tudíž testována.

3.1. Formát IFC

Potíže popsané v předešlém odstavci řeší rozhraní IFC (Industrial Foundation Classes), které je generačně odlišné jak z hlediska koncepce, tak z hlediska organizace vývoje, kvality a spolehlivosti. Toto rozhraní je vyvíjeno a udržováno organizací BuildingSMART [10]. Ta zajišťuje stálé rozvíjení datového modelu, resp. formátu tak, aby vyhovoval všem produktům členských firem. Kromě tvorby koncepce a vývoje programátorských knihoven provádí organizace BuildingSMART vývoj prohlížečů a dalších nástrojů na práci s IFC soubory, které jsou většinou bezplatně dostupné na internetu. Nejvýznamnější činností organizace BuildingSMART je však certifikace programů členských firem na kompatibilitu jejich produktů s tímto formátem. Ta zaručuje výslednou kvalitu, to znamená, že certifikované programy jsou skutečně vzájemně kompatibilní v celém rozsahu. Rozhraní IFC je plně objektové a popis jednotlivých objektů je plně k dispozici na internetu. S použitím nástrojů na automatické kontroly IFC souborů a alfanumerických a grafických prohlížečů je možno identifikovat případné problémy či neočekávaná chování programů při výměně dat.

Výsek internetových stránek organizace BuildingSMART je na následujícím obrázku.

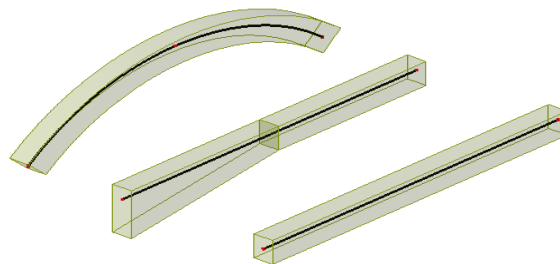


Obr. 2. Internetové stránky organizace BuildingSMART

3.2. Možnosti popisu geometrie v IFC

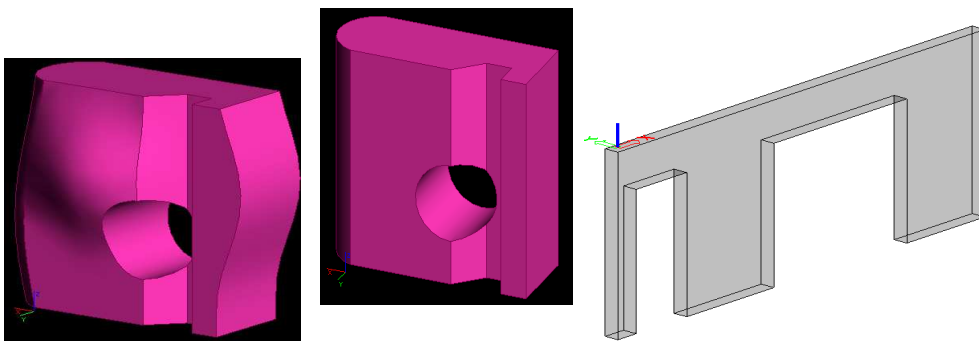
Jelikož formát IFC musí pokrývat všechny možnosti, které jsou použity v mnoha různých programech, poskytuje spoustu možností, jak popsat určitý objekt. Jako příklad uvedeme základní možnosti definice geometrie prvků konstrukce. Budeme používat anglickou terminologii, protože překlady termínů do jiných jazyků neexistují.

a) *Swept solid* – těleso vytvořené tažením uzavřené křivky po jiné křivce, přičemž tvar tažené křivky se může po dráze měnit. Je velmi vhodný například pro popis prutových prvků, nosníků, sloupů atd.



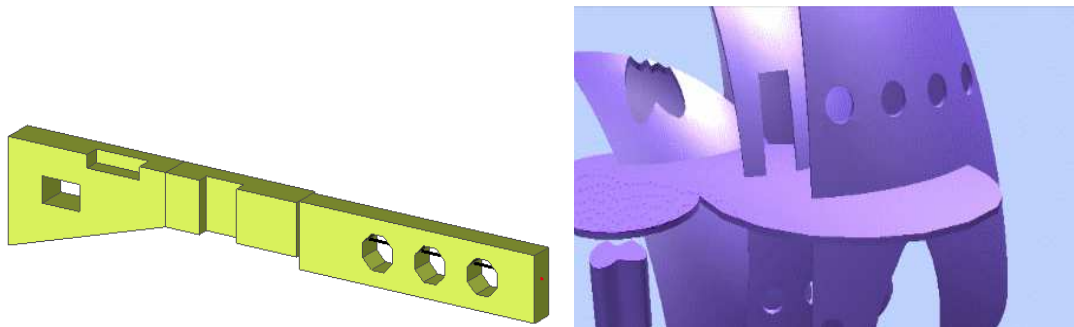
Obr. 3a Swept solid

b) *B-rep (Boundary Representation)* – těleso popsané jako sada povrchových mnohoúhelníků. Tento popis je zdaleka nejobecnější, takže pomocí něho lze definovat jakékoli těleso. Takto popsané nosné prvky konstrukce se však obtížně modifikují, protože postrádají inženýrskou definici prvku (např. osu nosníku).



Obr. 3b B-rep

c) *Ostatní reprezentace* – definice pomocí booleovských operací, parametrické tvary a další. Na následujícím obrázku jsou příklady vymodelované ve SCIA Engineer.



Obr. 3c Další geometrické reprezentace

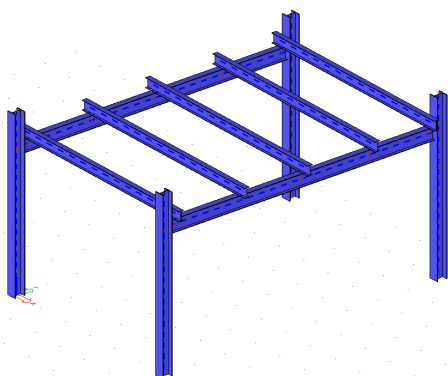
4. Datový model konstrukce ve SCIA Engineer

Jak známo, datový model, který používají statici ve svých programech, je založen na definici uzlových bodů, dále prvků odkazujících se na tyto uzly a dalších dat, která se na ně odkazují. Oproti tomu má model konstrukce používaný v CAD programech většinou zcela obecnou geometrií, odpovídající popisu prostorových těles.

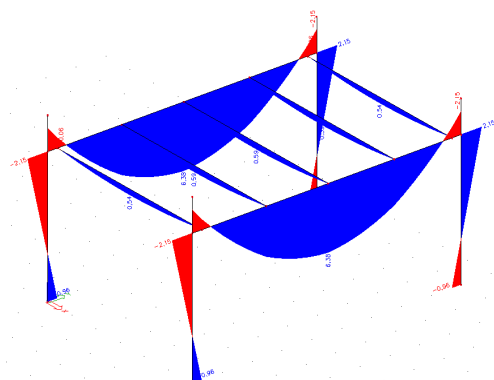
Jedním z vedlejších efektů tohoto přístupu je, že výpočtový model obsahuje informaci o tom, které prvky jsou vzájemně propojeny a jak jsou propojeny. Tato informace v CAD programech buď zcela chybí, nebo je přítomna pouze částečně.

Jelikož jsou oba přístupy vzájemně těžko slučitelné, SCIA Engineer obsahuje pro každý prvek konstrukce obě reprezentace. V terminologii SCIA Engineer se tyto reprezentace nazývají:

- výpočtový model,
- konstrukční model.



Konstrukční model



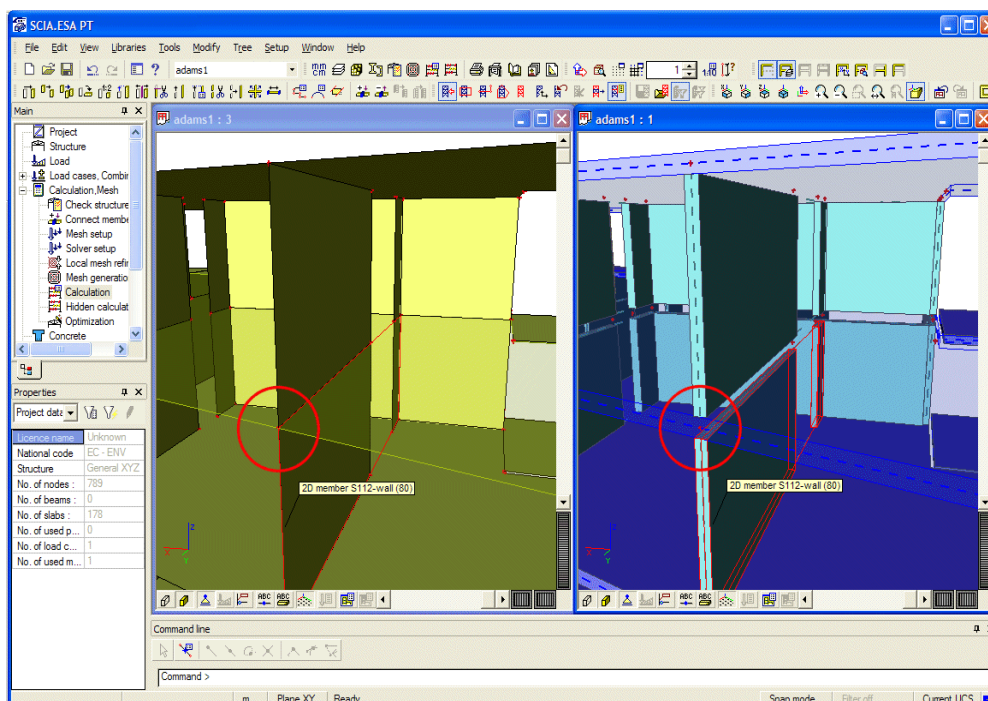
Výpočtový model

Obr. 4. Dvě reprezentace konstrukce

Předpokládá se, že pro výměnu dat mezi SCIA Engineer a CAD programy je primárně určen konstrukční model. Jelikož se ve SCIA Engineer nezačíná vždy importem z CAD programu, ale statik začíná zadávat konstrukci od začátku, jsou podporovány dva scénáře:

1. Import konstrukčního modelu do SCIA Engineer a následné vytvoření výpočtového modelu z konstrukčního modelu.
2. Zadání konstrukce ve SCIA Engineer ve formě výpočtového modelu a následně je možno vygenerovat konstrukční model z modelu výpočtového.

Funkcionalita podporující oba scénáře se nastavuje ve SCIA Engineer pro každý prvek konstrukce zvlášť. Je možno zvolit si, zda se má konstrukční model modifikovat podle změn výpočtového modelu či naopak a další. Oba dva modely existují paralelně, reagují na změny a je možné je zobrazit a vzájemně porovnávat, jak ukazuje následující obrázek.



Obr. 5. Výpočtový a konstrukční model stěnové konstrukce

5. Nástroje a entity programu SCIA Engineer

Konstrukce je ve SCIA Engineer definována pomocí následujících entit:

- Pruty (1D),
- Stěnodesky (2D),
- Grafické entity – čáry, **tělesa**.

Grafické entity slouží především k tomu, aby bylo možné importovat obecnou geometrii do programu SCIA Engineer a tam z ní vytvářet pomocí dalších funkcí pruty či stěnodesky. K nejdůležitějším z nich patří:

Konverze (Structure)

- Prut/Stěnodeska na těleso,
- Těleso na prut hromadně,
- Těleso na stěnodesku,
- Těleso na prut – po částech.

Obecné manipulace s tělesy (Structure)

- Sjednocení,
- Ořez,
- Průnik,
- Mesh,
- Standardní operace (stretch, move, copy, rotate...).

Propojení střednic (Align)

- Vyrovnání střednic,
- Vzájemné propojení prvků.

Integrační pásy (Results)

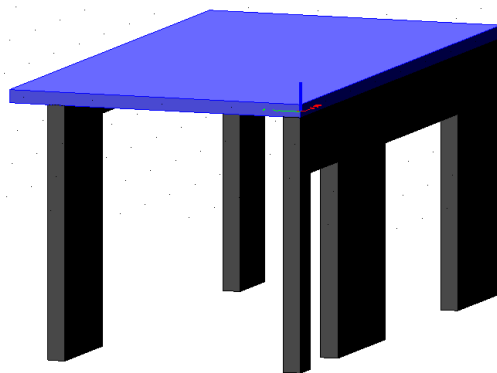
- Možnost pracovat s výsledky na stěnodesce přepočtenými na fiktivní prut

Pomocí těchto funkcí lze převést importované těleso na prut bez nutnosti zadávat ručně průřez a následně osu prvku. Stačí vybrat požadovaná tělesa a funkce automatického rozpoznávače vygeneruje průřez a osu prutu nebo polygonální geometrii střednice stěnodesky. Lze tak převádět tělesa na pruty či

stěnodesky a naopak, takže lze snadno převést úzký pruh stěny na prut a naopak prut velmi plochého průřezu na stěnodesku. Přitom původní importovaný tvar zůstává zachován jako referenční konstrukční tvar.

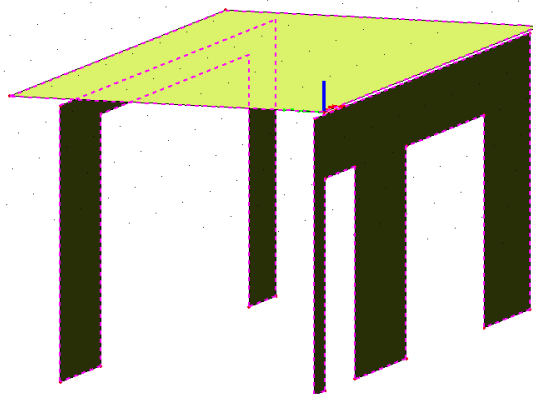
6. Jednoduchý praktický příklad

Princip vytvoření výpočtového modelu z geometrie importované z CAD programu ukážeme na jednoduchém příkladě. Tvar konstrukce je znázorněn na obr. 6.1. Všechny prvky byly načteny jakožto grafická tělesa, která mají informaci pouze o materiálu. Žádná další data nejsou k dispozici.



Obr. 6a. Fyzický model konstrukce ve formě prostorových těles

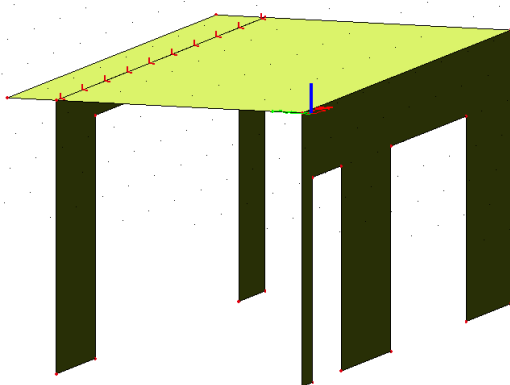
V dalším kroku převedeme tělesa na plošné konstrukční prvky, tj. na stěny a desky. K převodu stačí vybrat všechna tři tělesa a použít funkci „*Těleso na stěnodesku*“. Rozpoznávač geometrie vytvoří z těles polygonální rovinné prvky, viz následující obrázek.



Obr. 6b. Model konstrukce po převedení na plošné prvky

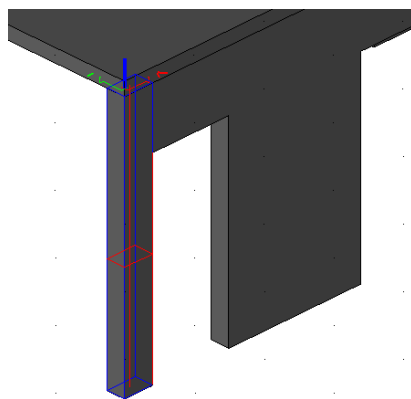
Jelikož program neudělal nic jiného, než že vytvořil rovinné polygony, které odpovídají původním tělesům, horní hrany stěn nenavazují na střednicovou

rovinu stropní desky. To je vidět na obr. 6b. V následujícím kroku provedeme propojení prvků. Funkce „Propojit“ jednak protáhne střednice jednotlivých prvků tak, aby na sebe navazovaly, jednak vygeneruje průsečnice jednotlivých ploch a uloží k nim informaci, že prvky jsou v tomto místě spojeny. Toto je vidět na levé stěně, která v místě spojení s deskou nenavazuje na žádnou z hran desky. Původní tělesový tvar zůstává při těchto operacích u všech prvků konstrukce zachován a je možno jej zobrazit, případně jej dále použít pro vytvoření konstrukčních variant atd.



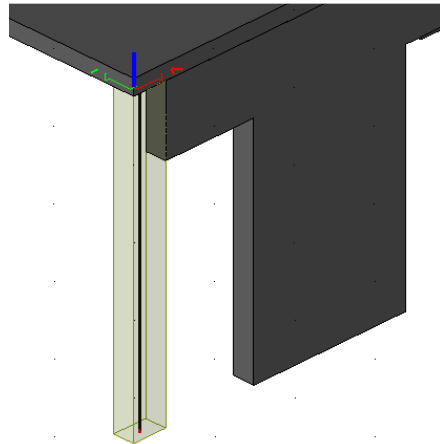
Obr. 6c. Model po vzájemném propojení plošných prvků

V praxi dochází často k tomu, že architekt zadá určitý prvek jiným způsobem než statik. Lze se často setkat s tím, že štíhlý svislý prvek, který architekt vložil jako stěnu, potřebuje statik modelovat jako prut. V jiném případě může nastat, že sloup s velmi protáhlým průřezem je třeba do výpočtového modelu zadat jako stěnodesku. Jak se lze s touto situací vypořádat, ukážeme na další variantě modelu. Z úzkého pásu stěny vytvoříme prut pomocí funkce „Těleso na prut – po částech“.



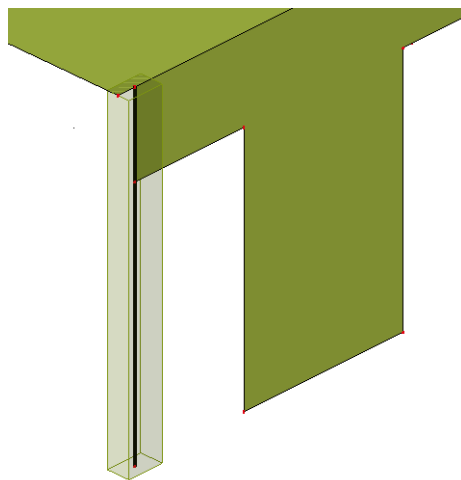
Obr. 7a. Převedení části stěny na prut – výběr hrany

Stačí vybrat těleso a podélnou hranu, podle které rozpoznávač vytvoří prut včetně jeho osy a průřezu.



Obr. 7b. Převedení části stěny na prut – vygenerovaný prut

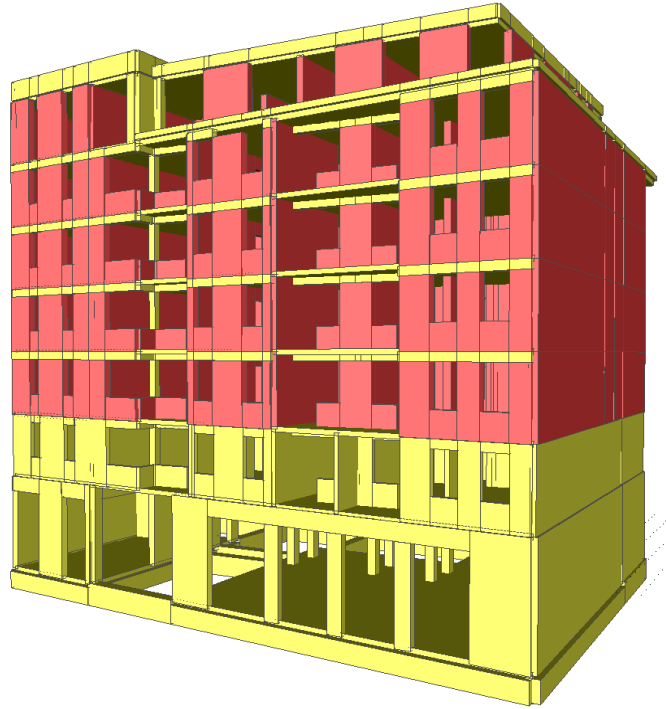
Zbývající část stěny můžeme dále převést na stěnu a následně vše propojit stejně jako v předchozím příkladě. Stejným způsobem je možné vytvářet další pruty, například nadpraží atd.



Obr. 7c. Propojení stěny, desky a prutu

7. Komplexní praktický příklad

Na závěr ukážeme, jakým způsobem se pracuje s rozsáhlejší konstrukcí. Představme si, že statik získal ve formě IFC model konstrukce zobrazený na obr. 8.



Obr. 8. Model konstrukce

Problémy, se kterými se statik musí vypořádat, lze rozčlenit do tří oblastí:

1. *Komplexnost*

U velkých modelů bývá první obtíží to, že složitý model je silně nepřehledný. Navíc se v praxi často stává, že model konstrukce obsahuje i prvky, které nemají s vlastním nosným systémem nic společného. V prvním kroku je třeba tyto prvky z modelu odfiltrout a vypnout či vymazat.

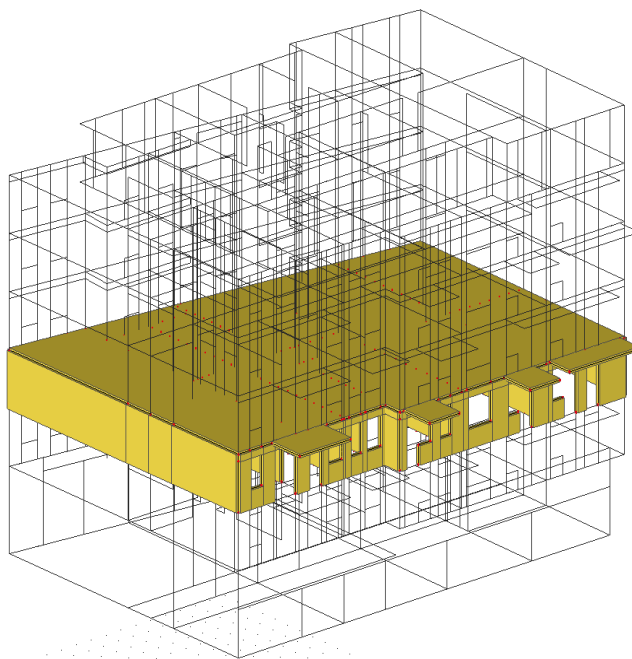
2. *Způsob modelování*

V druhé kroku je třeba se rozhodnout, jakým způsobem budeme konstrukci modelovat. Je třeba si dobře rozmyslet, jak budeme model členit, zda použijeme plošné či prutové prvky, jak jednotlivé části propojíme, jak budeme modelovat podepření atd.

3. *Kvalita importovaného modelu*

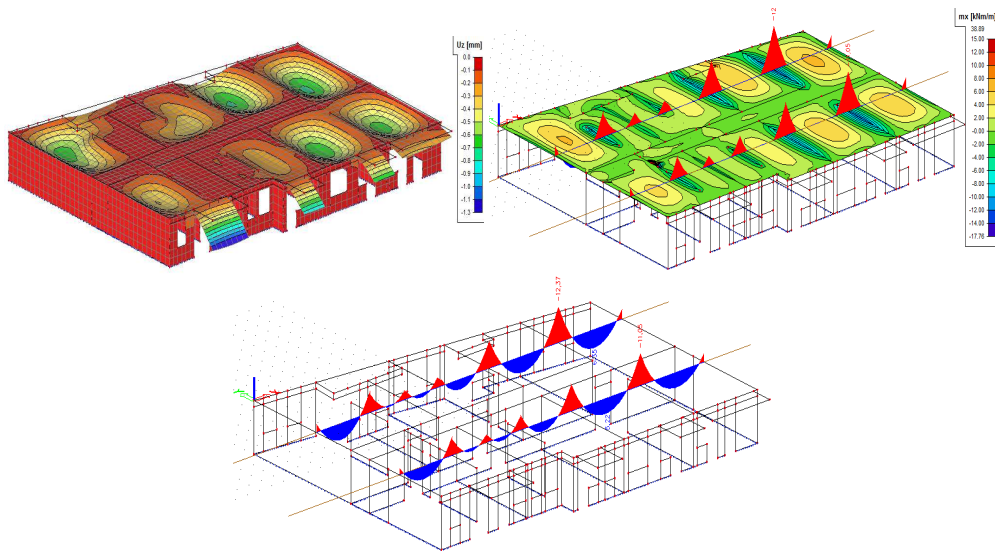
Třetí a asi vůbec nejdůležitější věcí je dotaženost a realizovatelnost modelu. To znamená, nakolik jej bude třeba ve spolupráci s ostatními specialisty měnit. Architekt má pochopitelně při tvorbě konstrukce jiná kritéria a hlediska než statik a výsledné řešení musí zohlednit požadavky všech stran.

Aby bylo možné rychle vyhodnotit model ze všech tří zmíněných hledisek, doporučuje se nepočítat hned celý model najednou, ale ověřit jej výpočtem vybrané části konstrukce. Například u patrové budovy se doporučuje spočítat jedno či dvě vybraná patra zvlášť. Pro definici částí konstrukce, jež se mají ve výpočtu ignorovat, má program SCIA Engineer dva nástroje: vybrané části označit jako vrstvy pouze konstrukční, nebo převést prvky na grafická tělesa (viz obr. 9).



Obr. 9. Předběžný výpočet na modelu jednoho patra

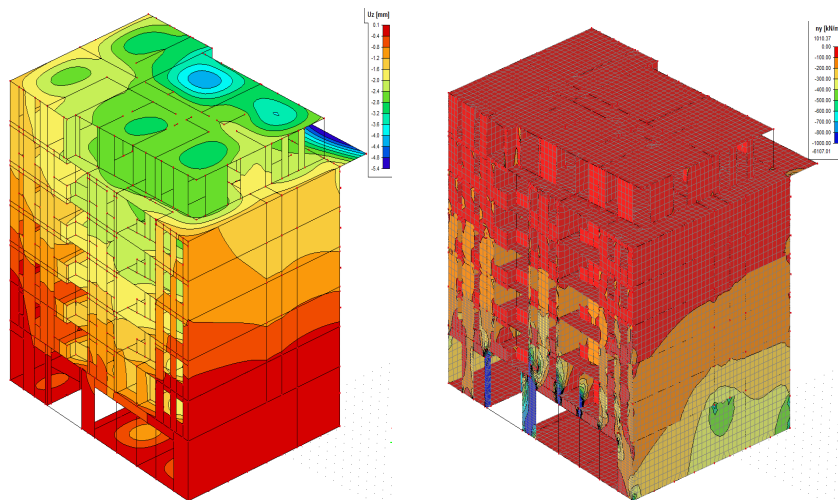
Vytvoření výpočtového modelu patra včetně propojení jednotlivých prvků provedeme stejně jako na příkladě z kap. 6. Z obrázku je patrné, že vytvořený model pro jedno patro je daleko lépe kontrolovatelný než celá konstrukce. Následují kontroly tvaru deformace a vnitřních sil, které nám potvrdí, že všechny prvky jsou propojeny tak, jak mají být. Nástroje na grafické zobrazení výsledků umožňují vše potřebné názorně zobrazit a zkontrolovat tak kvalitu a správnost modelu.



Obr. 10. Kontrola výsledků pomocí nástrojů na grafické zobrazení

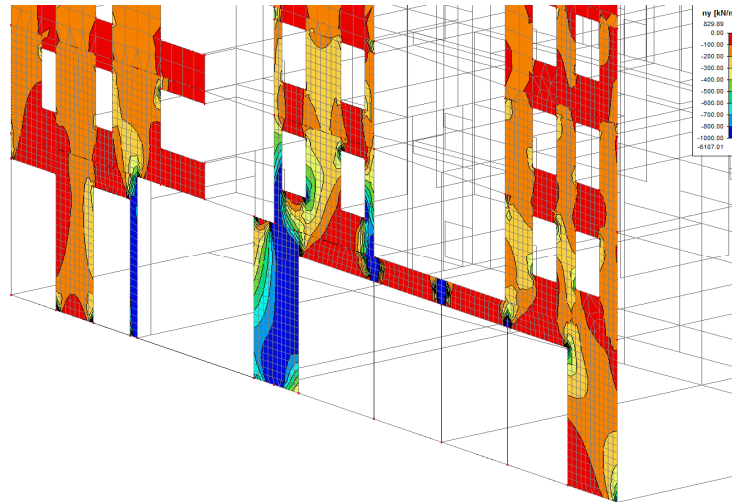
Na této úrovni se rovněž ukáže, zda je nosná konstrukce v pořádku, anebo bude třeba vyvolat jednání o změnách a jejich důsledcích.

Další úrovní pak je podrobný výpočet, ve kterém budeme uvažovat celou prostorovou konstrukci. Výhodou komplexního prostorového modelu je to, že získané výsledky si vzájemně odpovídají. Takovýto model je výrazně realističtější, je možno modelovat i interakci s podloží atd. To, co je třeba mít na paměti je, že tyto výsledky lze považovat za kvalitní jen tehdy, když se nedopustíme na velkém modelu chyby v zadání, dobře prověříme správnost modelu, resp. výsledků. Stejně jako na výsledcích z jednoho patra i zde je třeba projít průběhy deformací a vnitřních sil a ověřit, zda jsou logické a odpovídají všem předpokladům.



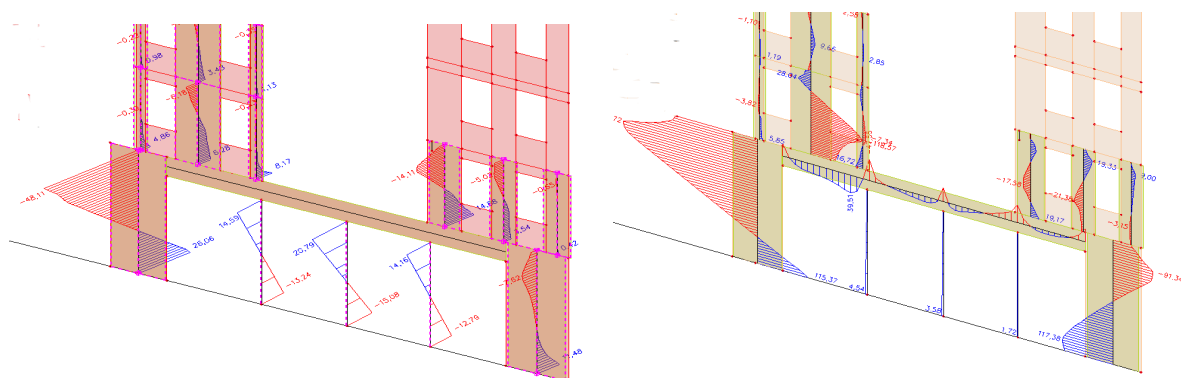
Obr. 11. Výsledky deformací a svislých napětí

Posledním nástrojem, který ukážeme, jsou integrační pásy, pomocí nichž lze převést vnitřní síly z plošných prvků na hodnoty odpovídající prutovému modelu. Jejich použití ukážeme na přední fasádě řešené konstrukce. Hodnoty svislých napětí, získané na stěnodeskových prvcích ukazuje obr. 12.



Obr. 12. Napětí ve svislém směru v přední fasádě

Návrh výztuže se u betonových konstrukcí se neprovádí pro lokální hodnoty napětí, které navíc vykazují značné špičky. Například při dimenzování středního pilíře bychom měli potíže s hodnotami špiček napětí v rozích, které jsou singulárními body. Vzhledem k redistribuci vnitřních sil se výztuž dimenzuje na celkovou výslednici, působící na odpovídající průřez. Pomocí integračních pásů, které jsou zadány polohou osy a šířkou, lze získat velice snadno celkové normálové síly a ohybové momenty, přepočtené na prut obdélníkového průřezu odpovídající tloušťky a šířky, viz obr. 13.



Obr. 13. Celkové ohybové momenty na svislých prvcích získané pomocí integračních pásů

8. Závěr

Cílem přednášky bylo vysvětlit, v čem spočívá problematika BIM při statickém návrhu konstrukcí. Na příkladech bylo ukázáno, jak se tvoří výpočtový model z importované geometrie, jaké problémy je možno očekávat a jak je řešit.

Je třeba mít na paměti, že technické nástroje a možnosti BIM přinesou skutečně ušetření práce projektantů, jen když bude dobře fungovat organizace práce a budou správně a jasně definovány odpovědnosti těch, kteří se na projektu podílejí. Pak může použití BIM skutečně představovat technologický průlom při projektování.

9. Reference

- [1] Eastman, Ch. - Teicholz, P. - Sacks, R. – Liston, K.: *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, ISBN: 978-0-470-18528-5, Wiley, 2008,
- [2] Hardin, B.: *BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows*, John Wiley and Sons Ltd., 2009
- [3] Rammant, J.P. – Novák, M. : *Intelligent structural modelling – technological watch and proof of concept*, in: 4th European Conference on product and Process Modelling, Portoroz, Slovenia, 2002
- [4] Smith, D.K. – Tardif, M.: *Building Information Modeling: A Strategic Implementation Guide for Architects, Engineers, Constructors, and Real Estate Asset Managers*, John Wiley and Sons Ltd, 2009
- [5] Novák, M. : *Prepojenie programu ESA PT s CAD programmi ACAD, Allplan a ProSteel*, in: Modelovanie stavebných konštrukcií 2004, Tatranská Štrba, 2004
- [6] Novák, M.: *Přenos dat mezi ESA PT a CAD programy (ALLPLAN)*, in: Statika 2006, Nové Město na Moravě, 2006
- [7] Novák, M.: *Roundtrip engineering - S2A (from Structural to Analysis model)*, in: SCIA Benutzer Seminar, Salzburg, 2008
- [8] Novák, M. : *Prepojenie Scia Engineer s CAD, Allplan, IFC, REVIT*, in: Modelovanie stavebných konštrukcií 2008, Tatranská Štrba, 2008
- [9] Novák, M.: *Efektivní tvorba výpočtových modelů z dat importovaných z CAD systémů do SCIA Engineer*, in: Statika 2009, Bystřice nad Pernštejnem, 2009
- [10] <http://www.buildingsmart-tech.org/>

10. Osobní údaje – Curriculum Vitae

Osobní informace

Jméno: Martin Novák
e-mail: m.novak@scia.cz

Vzdělání

1979 - 1985 Fakulta stavební ČVUT v Praze
1985 – 1989 Doktorské studium, Kloknerův ústav ČVUT v Praze

Pracovní zkušenosti

1985 – 1991 Vědecký asistent, poté vědecký pracovník, Kloknerův ústav ČVUT v Praze
1991 – 2000 Vedení týmu vývoje softwaru, od r. 2009 ředitel vývoje, SMARTsoft, dále SCIA, dále Nemetschek SCIA

Pedagogická činnost

1986- dosud Od počátku doktorandského studia působil jako asistent ve výuce, pokračoval v pedagogické činnosti i po přechodu do vlastní firmy, v posledních 3 letech přednášel v předmětech BK4C a BZ3A.

Odborné publikace

1986 - dosud V době působení na Kloknerově ústavu publikoval vědecké práce a články, je spoluautorem skript a účastnil se domácích i zahraničních konferencí. Po přechodu do firmy publikoval především články na téma modelování a analýzy konstrukcí pomocí softwaru vyvíjeného svým týmem.