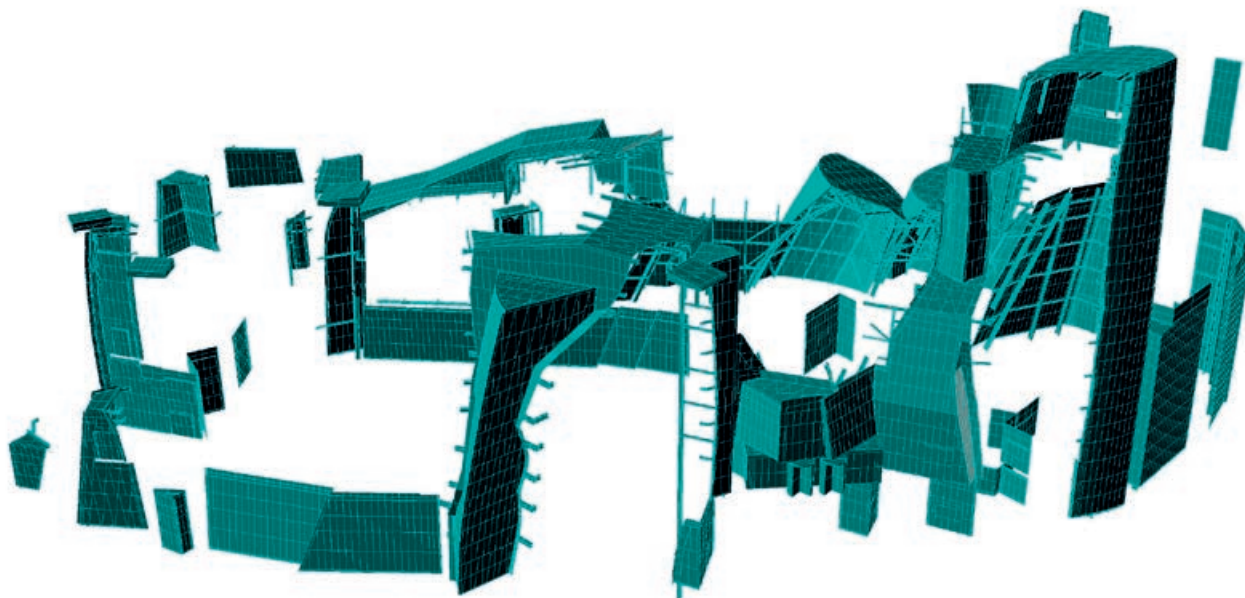


■ Stopa druhá: PARS building s. r. o. Aplikace superelementů a polotuhých styčniců při výpočtu ocelových konstrukcí prosklených fasád



Obr. 1 – Všechny řešené modely – rozsah Lotu 10

Úkolem společnosti PARS building s. r. o. bylo vypracovat návrh a statický výpočet sekundární ocelové konstrukce nesoucí prosklené fasády Lotu 10 a jedné fasády Lotu 13. Návrh byl podřízen společnosti SIPRAL, která fasády dodávala. Celkem jsme řešili 24 + 1 konstrukci (obr. 1). Některé byly samostatné, jiné byly sdruženy do větších celků. Tomuto úkolu jsme věnovali tři roky práce, tj. cca 15 000 hodin.

Tvar konstrukcí odpovídal tvarosloví architekta. Konstrukce byly křivé, nakloněné, s rámovými styčnicemi v měkkých partiích (obr. 2–5). Běžné konstrukční zvyklosti nebylo možné použít. Vše bylo nutné řešit individuálním přístupem, po dohodě s ostatními partnery design týmu.

Návrh se řešil podle mezinárodních zvyklostí a byl řízen předem schválenými kontrolními procesy v úrovni architekta a investora (Gehry a Partners), dodavatele (Vinci) i kontrolních orgánů (Bureau Veritas). Nepominutelným kontrolním bodem byl mock-up, na kterém byly ověřeny všechny části včetně návrhu a výpočtu.

Základním požadavkem pro účast v týmu bylo počítat v programu typu ANSYS. Důvodem tohoto požadavku byla spolehlivá výměna



Obr. 2 – Zasklená konstrukce – pohled ze zahrady

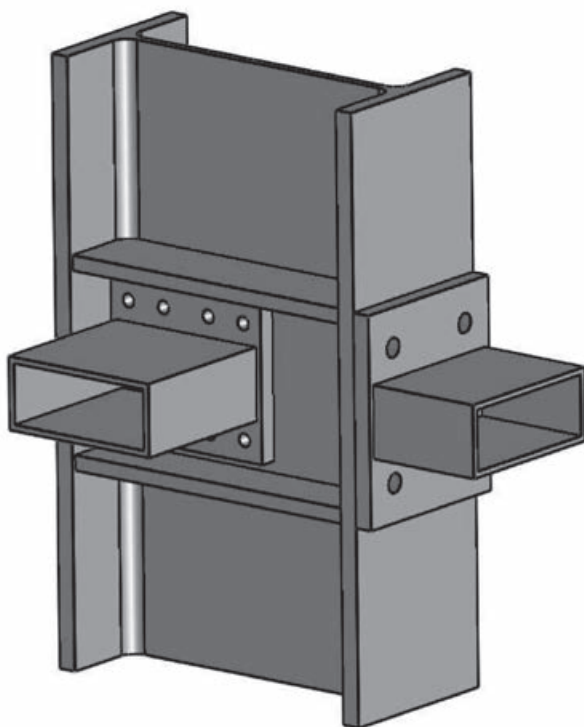


Obr. 3 – Konstrukce při zasklívání

dat s ostatními výpočtáři. Sami jsme pracovali v prostředí Femap-Nastran. Finální výsledky jsme převáděli do datového formátu ANSYSU. Prostředí obou výše zmiňovaných programů je kvalitní. Oba programy umožňují vstupovat do datových souborů a tím úlohu pružně přizpůsobovat požadavkům. Oba programy také umožňují zapojit do řešení více výpočtářů a řešit velké objemy dat. Spoluprá-



Obr. 4 – Dílčí konstrukce (3D model v SolidWorksu – modeloval SIPRAL)



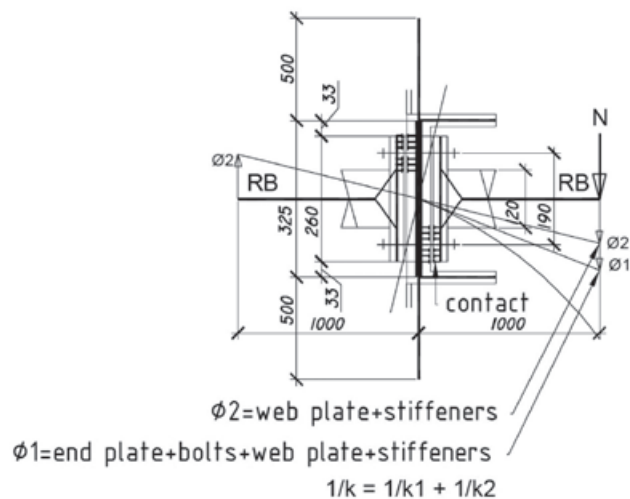
Obr. 5 – Příklad běžného styčníku

ce i tak kladla velké nároky na celý tým, se kterými se v prostředí českého stavebnictví nesetkáme. Úkoly bylo nutné programově řešit s velkou invencí. V této souvislosti bych chtěl vyzdvihnout spolupráci ze společnosti MSC Software, která svou podporou velmi přispěla k programovému řešení složitých početních úloh.

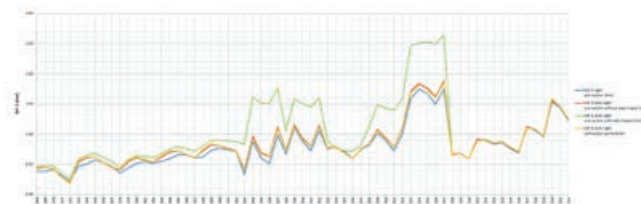
Dílčí modely konstrukcí byly umístěny v souřadnicích stavby tak, aby je bylo možné načíst do celkového globálního modelu. Číslování uzlů i konstrukcí bylo pro celý proces v rámci stavby jedinečné – neměnné. Velikost elementů byla optimalizována pro měřítko stavby a její souřadnice.

Kontrolní orgán (Bureau Veritas) odmítal polotuhé styčníky (EN 1993-1-8) a konzervativně požadoval opířit výpočet všech konstrukcí o styčníky fixní a kloubové. Pro každou konstrukci jsme prováděli tři výpočty, tj. pro všechny tři typy styčníků. Pro mezí stav únosnosti jsme použili obálku ze všech typů styčníků. Pro použitelnost jsme využili pouze výsledky modelu s polotuhými styčníky.

Polotuhé styčníky bylo nutné do modelů včlenit z důvodu, že kritickým stavem pro vyhodnocení stavu konstrukce byla deformace konstrukce v rovině skel. Tu bylo nutné predikovat co nejpřesněji. Polotuhé styčníky jsme definovali pružinami. Jejich tuhost jsme stanovovali výpočtem 3D modelů styčníků modelovaných solidy v prostředí SolidWorks – Cosmos/Nastran v souběhu při vytváření 3D modelů pro výrobní dokumentaci. Výsledky z jednotlivých typů okrajových podmínek byly ověřovány pomocí grafů v Excelu (obrázky 6 a 7). Posun rohu skla v jeho rovině jsme vyhodnocovali přibližně ze 115 tis. zatěžovacích stavů a kombinací!



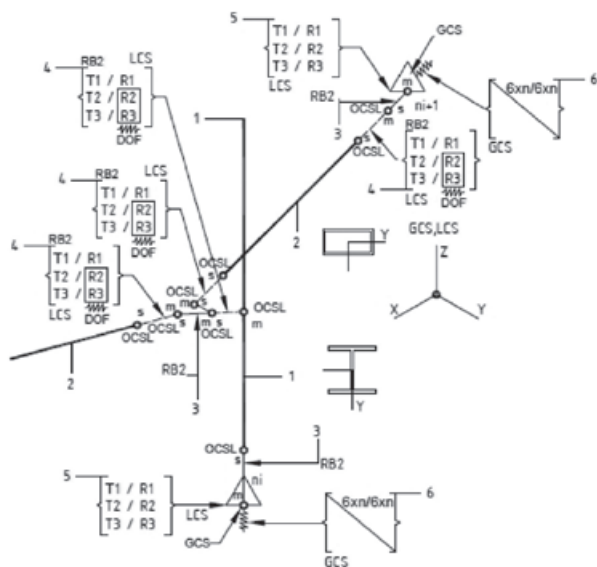
Obr. 6 – Statické schéma styčníku



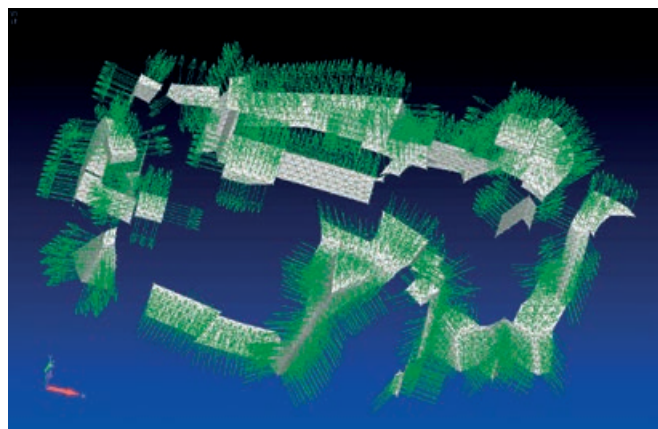
Obr. 7 – Vyhodnocení posunu uzlů vyplývající z jednotlivých okrajových podmínek

Sklo nemělo stejné podmínky podepření po celém obvodu. Každé sklo bylo proto definováno interpolačním elementem, který neztužuje konstrukci a umožňuje u každého uzlu individuálně nastavit okrajové podmínky. Vyhodnocení bylo provedeno pomocí externě vytvořených programů na platformě VB a Fortranu na základě změny pozice okrajových uzlů. Důvodem tohoto řešení bylo, že každé z téměř 1 400 skel bylo obecně orientované ve vlastní rovině. Pro vyhodnocení výsledků by bylo nutné provádět transformaci všech výsledků do rovin jednotlivých skel. To nebylo z důvodu velkého objemu dat vůbec možné.

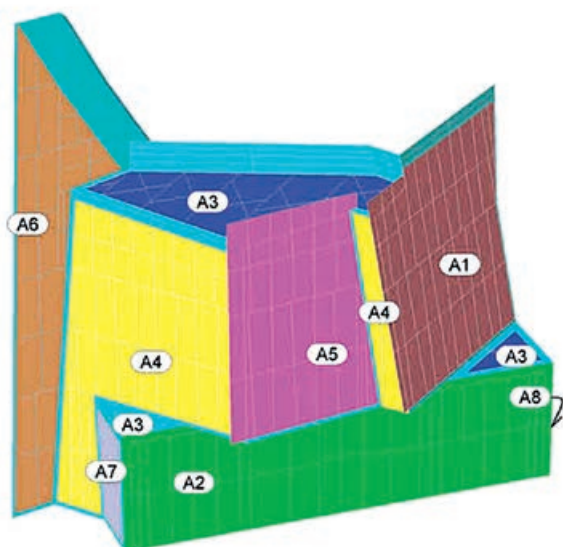
Ačkoliv se konstrukce při prvotním pohledu zdají jednoduché, postavení každého z modelů nebylo vůbec triviální. Vyžadovalo dobrou přípravu a kontrolu výsledků na každém kroku. Kromě standardních elementů model obsahoval velké množství pružin, u vybraných uzlů specificky nastavené výstupní systémy, externí matice tuhosti, externí datové soubory (obr. 8). Na organizaci modelů, vstupů i výstupů bylo nutné připravit a v diskuzi i obhájit vývojové diagramy a schémata. Zatížení vlastní hmotností i nesených stálých zatížení bylo kontrolováno pomocí skutečných výměr z dílenské přípravy. V plné míře se využívaly geometrické modely, skripty a další rutiny, umožňující plnou kontrolu dat.



Obr. 8 – Principiální schéma modelu – analýza okrajových podmínek



Obr. 9 – Numerický model zatížení větrem importovaný z ANSYSU do Nastranu



Obr. 10 – Idealizace rozložení tlaků od zatížení větrem

Zatížení větrem bylo stanoveno úrovní celé stavby a) výpočtem v numerickém modelu v prostředí Fluent a b) na zmenšeném modelu ve fyzickém větrném tunelu. Výsledky z CFD simulace spolu s dalšími výsledky z montážních a statických stavů byly námi načteny, spočteny a vyhodnoceny. Každá z 24 konstrukcí byla v jednom běhu zatížena cca 115 tis. zatěžovacími stavy reprezentujícími zatížení vstupující z okolní konstrukce. Celkem proběhly tři běhy výpočtů. Zatížení větrem bylo z praktických důvodů nakonec formalizováno do několika reprezentativních schémat (obr. 9 a 10). Z uvedeného počtu jednotlivých zatížení je zřejmé, že ruční zadávání a vyhodnocování výsledků nebylo reálné. Jediná cesta, jak provést daný úkol v reálném čase, bylo do procesu včlenit pomocné programy a pro výpočty sdružit kapacitu několika stanic.

Při takovémto objemu dat bylo nutné přijmout i mnohá zjednodušení. Nebylo možné např. plně kombinovat podle EN 1990, nebylo možné provádět nelineární výpočty. Bylo nutné pracovat s obálkami z obálek. Nebylo možné ani archivovat všechna data. Jejich objem byl enormní a vyžadoval řízenou selekci. Tyto skutečnosti trochu komplikovaly následné posudky jednotlivých komponent. Bylo nutné vypracovat hypotézy řešící jak z neúplných dat nalézt maximum všech maxim pro danou hodnotu transformovanou do požadovaného směru pro posuzovanou komponentu.

Vliv tuhosti okolních konstrukcí byl řešen pomocí „superelementů“. Pro každou konstrukci byla z globálního modelu v ANSYSU vygenerována matice tuhosti, která byla koncentrována do podpor námi řešené konstrukce (obr. 11). Superelement exaktně popisoval tuhost okolí. Do našich modelů jsme takto mohli jednoduchým a snadno kontrolovaným způsobem zahrnout poddajnost okolí, působící na něj naše zatížení a v případě změny tuhosti okolí bylo možné jej snadno aktualizovat prostou výměnou externího souboru a spočtením nových výsledků.

DMIG	KAAX	0	6	2	0
DMIG*	KAAX		10306014		1
*	10306014		1	7.388236383D+06	
*	10306014		2	-6.635446976D+05	
*	10306014		3	1.919574230D+05	
*	10306014		4	1.335655582D+07	
*	10306014		5	-3.778408486D+08	
*	10306014		6	1.461181120D+09	
*	10306013		1	-6.376035813D+06	
*	10306013		2	8.549147917D+05	
*	10306013		3	9.837152499D+04	
*	10306013		4	1.090130713D+07	
*	10306013		5	-2.930753630D+08	
*	10306013		6	2.857485800D+09	
*	10306015		1	3.679211265D+04	
*	10306015		2	1.045812469D+05	
*	10306015		3	-2.538119606D+04	
*	10306015		4	6.403894872D+04	
*	10306015		5	2.701979466D+07	
*	10306015		6	1.572929243D+07	
*	10306012		1	-7.319884812D+05	
*	10306012		2	-2.540322099D+05	
*	10306012		3	-3.136989989D+05	
*	10306012		4	1.900089563D+07	
*	10306012		5	2.112402677D+08	
*	10306012		6	-4.351509468D+08	
*	10306011		1	-8.790003013D+04	
*	10306011		2	-1.311981472D+05	
*	10306011		3	3.489006693D+04	

Obr. 11 – Matice tuhosti (superelement) – externí soubor



Obr. 12 – Průběh výstavby

Pro finální export výsledků do ANSYSU jsme obdrželi zadání přemapovat vlastní hmotnost a veškerá stálá zatížení obsažená v modelu do externí matice hmot. Ačkoliv je prostředí Nastranu a ANSYSU do určité míry podobné, není identické. Drobné rozdíly v definici entit vedly k malým výsledkovým diferencím. Nakonec se ale podařilo najít způsob, jak data vytvořit, ověřit, předat a tím i úspěšně obstát ve velké konkurenci.

Závěrem bych chtěl konstatovat, že nároky na celý tým byly v měřítku českého stavebnictví neběžné. Na straně Vinci byl erudovaný inženýr s obrovskou výpočetní zku-

šeností a zájemem. Všechny výpočty musely být předem rozkryty a analyzovány na teoretickém základě. Správnost musela být předem doložena. Výpočty vyžadovaly spolupráci více odborníků-výpočtářů na straně Nastranu i ANSYSU. Byla to týmová práce, na které jsem měl čest se podílet.

Ing. Jaromír Tomek,
tomek@pars.cz,
autorizovaný inženýr
v oboru pozemní stavby,
statika a dynamika staveb,
PARS building s. r. o.

PARS building s. r. o.

PARS building je projekční kancelář, která od roku 1991 poskytuje komplexní služby v projektové a inženýrské přípravě staveb od koncepčních studií po dílenskou dokumentaci, posudky, inženýrskou činnost a autorský dozor. Společnost spolupracuje s odborníky s mnoha technických oborů. Společnost klade velký důraz na prediktivní inženýrství.

Imprint 2: PARS building s. r. o.

Application of Superelements and Semi-rigid Joints in Calculation of Steel Structures of the Glassed Facades

The objective of the company PARS building s. r. o. was to elaborate a draft and static analysis of the secondary steel structure bearing the glassed facades Lotu 10 and one facade Lotu 13. The draft was subordinated to the SIPRAL a. s., which supplied the facades. We have dealt with altogether 24+1 constructions (Fig. 1). Some of them were separate, other were joint into larger groups. We devoted three years of our work to this project (i.e. about 15,000 hours).

PARS BUILDING

PROJEKČNÍ KANCELÁŘ

statika konstrukcí
dílenská dokumentace
ocelové a oceloskleněné
konstrukce

PARS building s. r. o.
Křenova 7 | Praha 6 | 161 00
www.pars.cz | pars@pars.cz
233 355 168