



▲ Obr. 1 Stávající budova a vizualizace nadstavby Cerit Science Park II (zdroj: knesl kynčl architekti s.r.o.)

Cerit Science Park II v Brně, I – návrh nosné ocelové konstrukce ve stupni DPS



Ing. Zdeněk Horníček

Vystudoval Fakultu stavební VUT v Brně. Nejprve pracoval ve firmě OKF s.r.o., v roce 2010 spoluzaložil firmu FEVIA s.r.o., kde působí ve funkci technického ředitele. V letech 2014 až 2015 zaměstnanec firmy Tony Gee and Partners (Asia) Limited v Hongkongu. Člen ČKAIT, autorizace pro mosty a inženýrské konstrukce, člen zkušební komise ČKAIT pro obor statika a dynamika staveb.

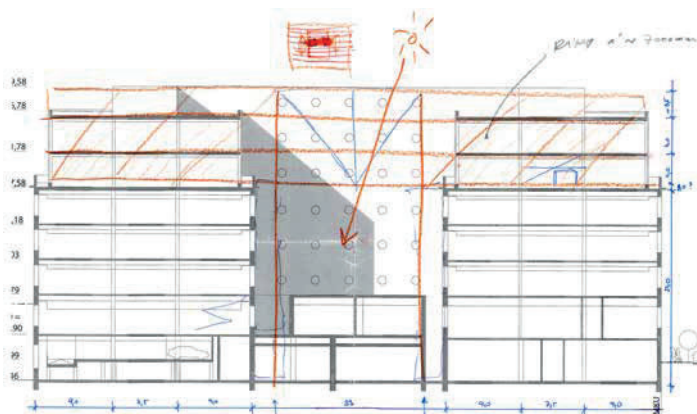
V roce 2014 vznikl na Fakultě informatiky Masarykovy univerzity v Brně vědeckotechnický park a inkubátor Cerit Science Park – pracoviště špičkového výzkumu pro firmy, studenty a vědce. Jeho kapacita je však již zaplněna, a tak v blízkém Centru Šumavská vzniká Cerit Science Park II. Nové prostory budou mj. sloužit jako podnikatelský inkubátor pro inovativní start-upy zaměřené na oblast bezpečnostního výzkumu a vývoje. Součástí projektu je i nadstavba nad stávající budovou (obr. 1).

Úvod

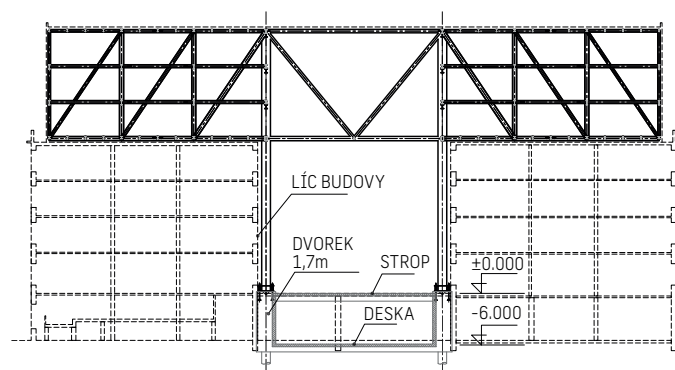
Stávající budova se železobetonovým skeletem z roku 1915 patří do období tzv. moravského Manchesteru. Jejím autorem byl významný rakouský architekt, inženýr a průmyslový stavitel Bruno Bauer. V době svého vzniku sloužila jako vojenské konfekční dílny. Expedici zjednodušovala železniční vlečka zavedená do atria objektu. Také během dalšího života budova často sloužila vojenské výrobě. V současnosti plní funkci především administrativní. Půdorysný rozměr budovy je 85×75 m, vnitřní atrium má rozměr 67×22 m. Budova má čtyři nadzemní a jedno podzemní podlaží. Výška atiky je +19,270 m, úroveň 1.PP –5,460 m.

Vývoj konceptu

Původním návrhem architekta bylo vytvořit konstrukci postavenou na stávající budovu



▲ Obr. 2 Architektonický koncept



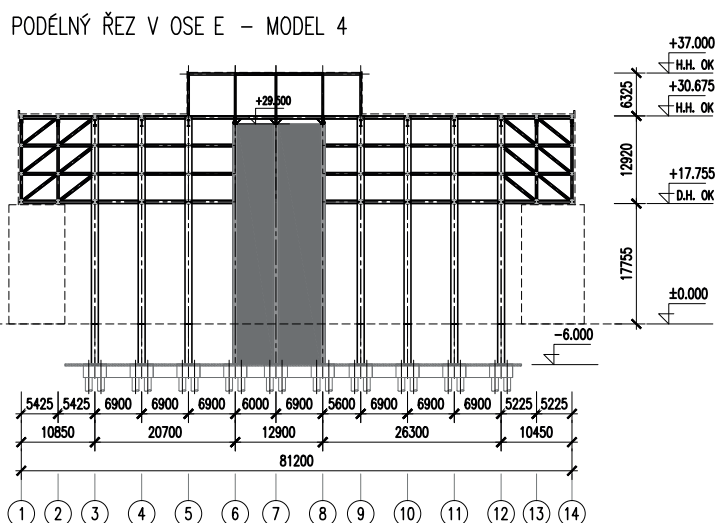
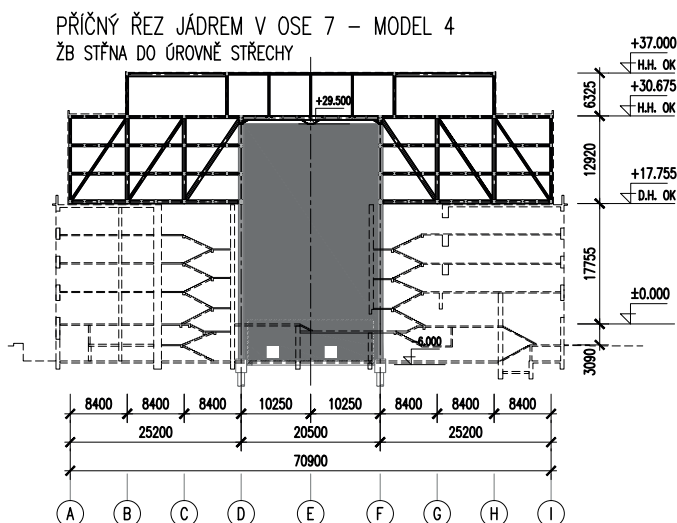
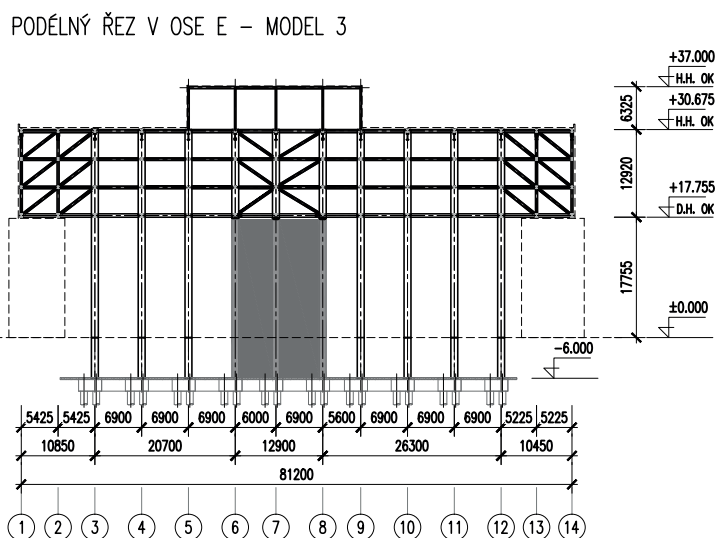
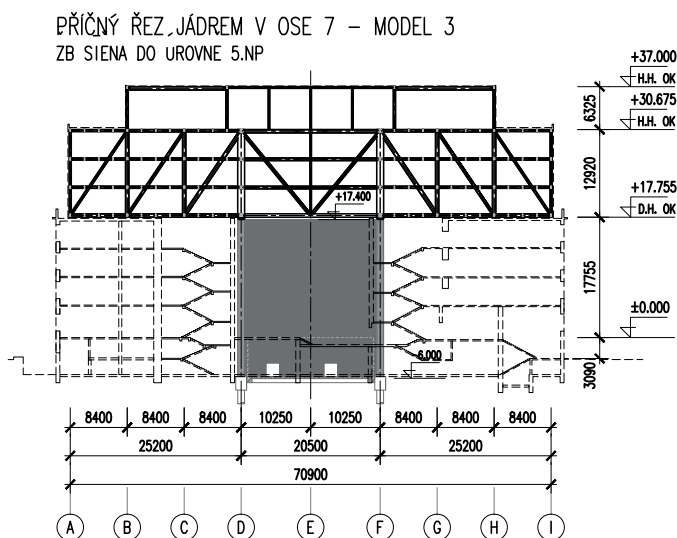
▲ Obr. 3 Možné vetknutí ocelového rámu do nové ŽB konstrukce atria

(obr. 2, šedá kresba). To však zcela vyloučily výsledky stavebnětechnického průzkumu, především změřené hodnoty pevnosti ŽB konstrukce sloupů ve 4.NP. Následně tedy architekt navrhl konstrukci samonosnou, vyvěšenou ze sloupů umístěných v atriu (obr. 2, oranžový náčrt). První výpočty ocelové konstrukce i jejího založení potvrdily reálnost tohoto návrhu.

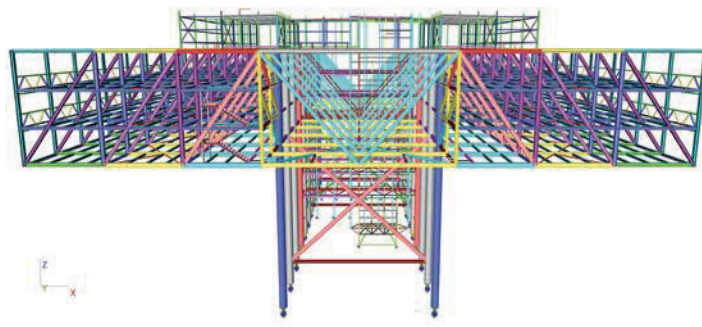
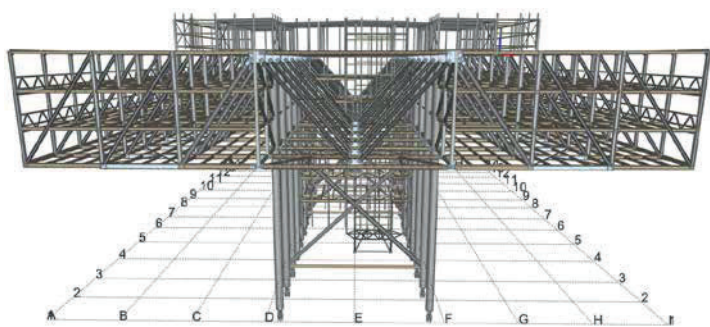
Od prvních úvah bylo sledována prostorová tuhost konstrukce a přenos vodorovných sil do ŽB konstrukcí suterénu a následně do základu. Jako staticky výhodné se jevílo zbourat stávající ŽB suterén atria a vybudovat novou tuhou ŽB konstrukci tvořenou dolní deskou, stropem a podélnými i příčnými stěnami. Do ní by pak bylo jednoduché

nové sloupy na úrovni $\pm 0,000$ vetknout (obr. 3), nebo sloupy protáhnout až na úroveň $-6,000$ a vetknutí zrealizovat pomocí dvojice vodorovných kotvení na úrovni dolní desky a stropu.

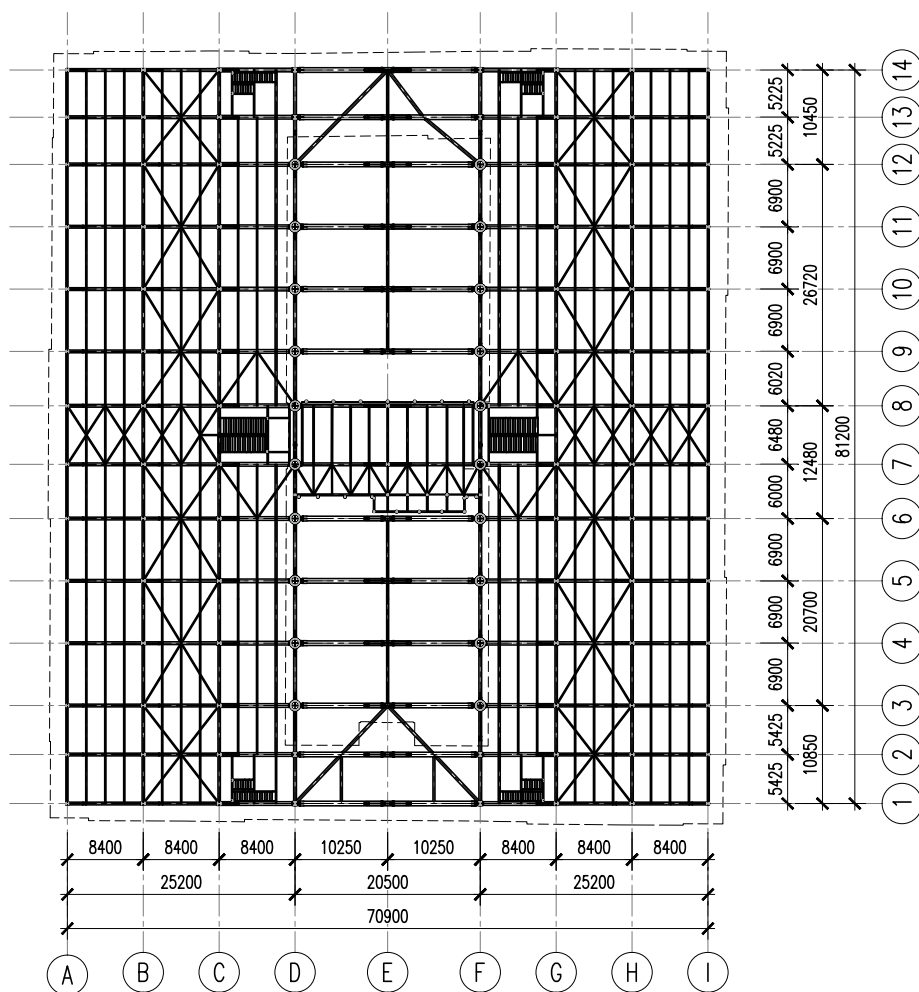
Souběžně s výše popsanou variantou se zkoumalo i řešení s jedním tuhým centrálním jádrem, které by bylo schopné přenést



▲ Obr. 4 Studie tuhého centrálního jádra



▲ Obr. 5 Konstrukční a statický model konstrukce



▲ Obr. 6 Půdorys 5.NP

jak vodorovné síly, tak i kroucení (obr. 4). Analyzovány byly čtyři podvarianty. Jedna s ocelovým příhradovým jádrem a tři varianty železobetonového jádra s různou výškou jeho horního líce. Kromě vlivu na příčnou a podélnou tuhost celé konstrukce byly také řešeny napojovací detaily mezi jádrem a zakotvenou ocelovou konstrukcí. Veškeré výše uvedené úvahy byly cca tři měsíce před dokončením projektu ukončeny, protože majitel budovy nakonec odmítl tak zásadní zásahy do stávajících konstrukcí atria. Bylo tedy nutné nalézt nový koncept a ten následně rozpracovat.

Výsledné statické řešení

Hlavní nosná konstrukce budovy je navržena jako prostorová rámová konstrukce o maximální šířce 71,2 m, délce 81,6 m a výšce 41,3 m (obr. 5). Konstrukce se skládá ze čtrnácti příčných rámtů v osách 1 až 14, dvou podélných rámtů v osách D a F, stropnic, plošin jádra, technologické nadstavby, vodorovných a svislých ztužidel a schodišť (obr. 6).

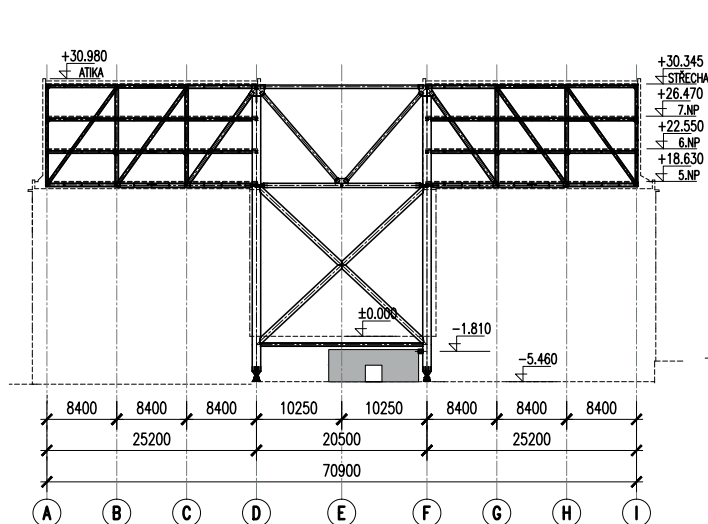
Hlavní nosná konstrukce

Běžné příčné rámy v osách 3, 5, 6, 9, 10 a 12 jsou tvořeny dvojicí sloupů o osové rozteči

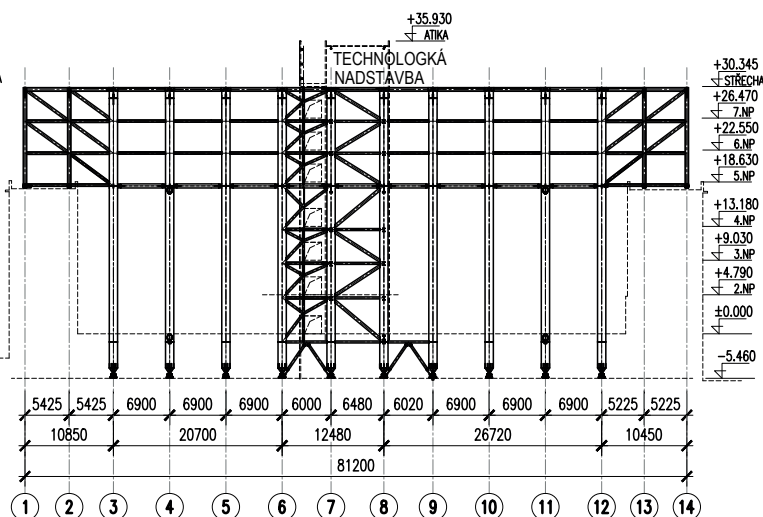
20,5 m, dvěma příhradovými konzolami délky 25,2 m a centrálním ztužením. Vzdálenost rámtů je proměnná, od 5,22 m po 6,9 m. Sloupy v osách D a F jsou trubkové, průměru 1 016 mm, tl. 25 až 36 mm. Kotvení na úrovni $-5,460$ je kloubové. Horní úroveň sloupů je $+30,210$ m. Konzoly jsou tvořeny čtyřmi průvlaky v úrovních podlaží a střešy, třemi sloupy a třemi závěsy. Sloupy rozdělují konzolu na třetiny, v rozteči 8,4 m. Závěsy propojují jednotlivé sloupy a průvlaky. Profily konzol jsou běžné válcované profily HE-A 300 až HE-B 400, v nejvíce namáhaných částech jsou použity svařované I profily. Centrální ztužení propojuje sloupy v místě horního a dolního pásu konzol a je z trubek průměru 508×28 a 406×25 mm. Nad stávající budovou, v osách 1, 2, 13 a 14, nebylo možné umístit sloupy. Příčné rámy jsou vynášeny z konzol podélných rámtů v osách D a F – viz dále. Jejich konstrukční řešení je totožné jako u běžných rámtů.

V osách 4 a 11 i v ose 8 jsou umístěny ztužidlové rámy (obr. 7). Konstrukce je opět obdobná, pouze je doplněno křížové ztužidlo mezi 5.NP a přízemím a na úrovni $-1,000$ m je doplněno táhlo. Ztužidlo je z trubek 610×25 mm, táhlo je z profilu HE-B 400. Na úrovni $-1,810$ m je rám vodorovně zakotven do tuhé příčné ŽB stěny. Konstrukce jádrového rámu v ose 7 opět vychází z běžných rámtů. Navíc jsou zde průvlaky plošin 2.NP až 7.NP a střešy, závěsy průvlaků a centrální sloupek mezi 5.NP a střešou – vše z válcovaných profilů HE-A 300 až HEM 550.

Rám v ose 8 je kombinací ztužidlového rámu a jádrového rámu. Průvlaky plošin 2.NP až střešy jsou z válcovaných profilů, běžně HE-A 400, táhlo ve střeše je z HE-B 550, vzpěra v 5.NP pak z HE-M 550. Křížové ztužení mezi přízemím a 5.NP je z HE-B 400, táhlo z HE-A 400 a centrální sloupek z HE-A 300. Na úrovni $-1,810$ m je rám vodorovně zakotven do tuhé ŽB stěny, na úrovni $-1,000$ m je táhlo z profilu HE-B 400. Podélné rámy v osách D a F zajišťují přenos podélných sil do základů v osách 6 až 9 a v osách 1, 2, 13 a 14 vynášejí příčné rámy. Sloupy (již popsány výše) jsou mezi



▲ Obr. 7 Ztužidlové rámy v osách 4 a 11



▲ Obr. 8 Podélné rámy v osách D a F

osami 6 až 8 a v suterénu mezi osami 6 až 9 doplněny vodorovnými průvlaky a křížovými ztužidly v úrovních všech pater skeletu. Tvar ztužidel určují požadavky na průchody z jednotlivých chodeb (obr. 8). Průvlaky jsou z profilů HE-A 280, HE-B 450 a RHS 500 × 300 × 20. Mezi osami 1–3 a 12–14 jsou průvlaky z profilů HE-B 300 a Isv 300/300/20/15 a vzpěry z profilu SHS 300 × 12,5 až SHS 300 × 35. Mezi osami 7–8 je svislé ztužidlo převážně z profilů CHS 245 × 8.

Stropnice plošin jsou z běžných válcovaných profilů IPE 180 až IPE 300. Stabilitu stropnic na klopení zajišťuje při betonáži řádné zakotvení trapézových plechů, v definitivním stavu ŽB stropní deska.

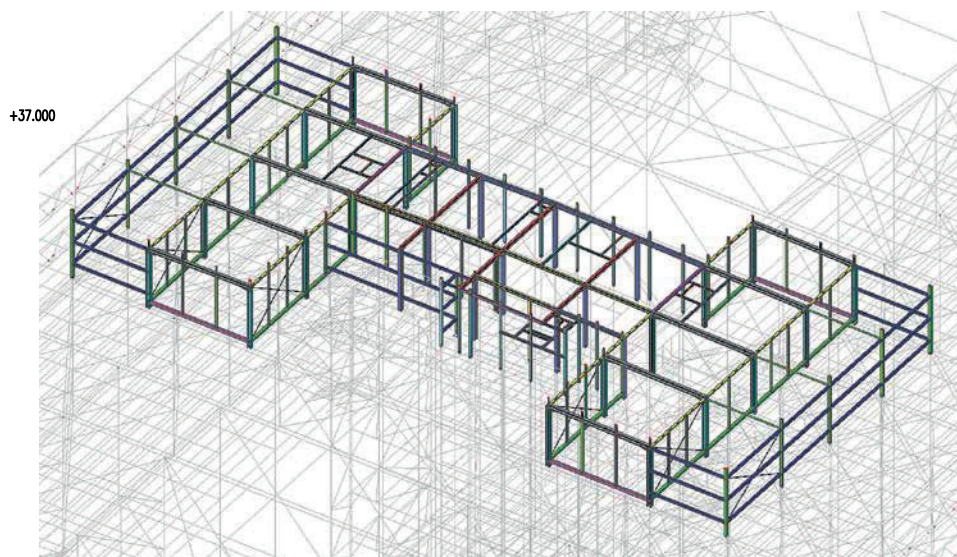
Další ztužidla

Výše popsaný základní systém tří příčných a dvou podélných svislých ztužidel doplňuje několik dalších ztužidel.

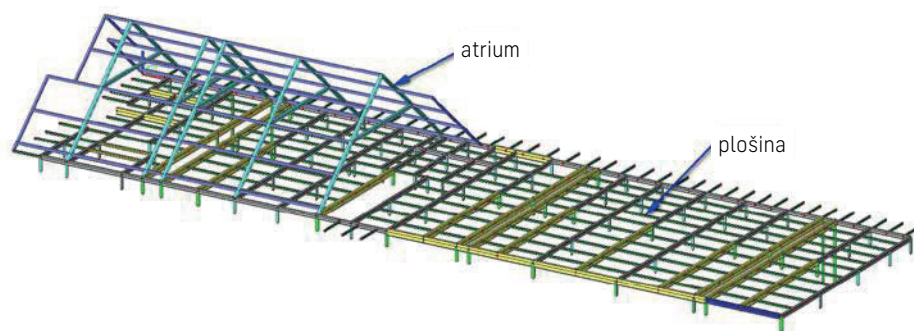
Vodorovná ztužidla mezi osami B–B, G–H, 6–8 jsou z profilu CHS 114 × 6,3. Zajišťují stabilitu konstrukce při montáži a jsou navržena ve všech podlažích, včetně plošin jádra (obr. 5 a 6).

Vzpěrnou délku dolního tlačného pásu hlavního ztužidla mezi osami D–F zajišťují vzpěrky z profilu TR 219 × 10, umístěné v ose E. Stabilitní síly jsou přeneseny mezi osami 1–3 a 12–14 diagonálami z profilu TR 273 × 12,5. Geometrie je mírně nepravidelná, protože v těchto místech jsou situovány střešní nadstavby.

V úrovni střechy, mezi osami D1–F3 a D12–F14, jsou umístěny obdobné diagonály z profilu CHS 273 × 12,5, zajišťující zrovnoměrnění vodorovných deformací střechy. V osách A a I, v 6. a 7.NP, jsou příčné rámy v místě parapetu propojeny spojitým příhradovým ztužidlem, které redukuje rozdílné deformace rámu od nerovnoměrných



▲ Obr. 9 Technologická nadstavba



▲ Obr. 10 Nový strop a střecha atria

nahodilých zatížení a zmenšuje tak možné pootáčení skel pod přitlačnými lištami. Pásky ztužidla jsou z profilu RHS 180 × 120 × 6, diagonály z profilů 120 × 80 × 4 a 100 × 80 × 4.

Nadstavba

V centrální části budovy, mezi osami B5 až H9, je nad střešní rovinou skeletu kloubově

uchycena ocelová konstrukce nadstavby pro technologická zařízení (obr. 9).

Jedná se o prostorovou rámovou konstrukci z profilů HEA a IPE doplněnou příhradovými ztužidly. Délka nadstavby je 54,3 m, šířka 25,6 a maximální výška 5,7 m. Střední část nadstavby je zastřešená a opláštěná, boční části mají pouze stěny z žaluziových lamel.

Výtahová šachta

Konstrukce výtahové šachty mezi osami 6 a 6.1 doplňuje konstrukci rámu na ose 6.1 a střešní nadstavby. Tři vnitřní komory slouží pro uchycení vodítek výtahů, dvě boční komory pro VZT a elektrorozvody. Samotnou konstrukci tvoří vodorovné rámy z profilu UPE 140 a svislé sloupky převážně z profilu SHS 140 × 5 mm.

Schodiště

Celkem se jedná o šest schodišť mezi osami C–D a F–G / 1–2, 7–8 a 13–14. Schodiště jsou převážně dvouramenná, šířky 1,7 m nebo 1,0 m. Schodnice je z profilu UPE 220, stupně a podstupnice jsou svařeny z plechu P6.

Nový strop nad nádvořím a atrium

Mezi osami D–F / 2–12 se nachází ocelová konstrukce nového stropu nad stávajícím nádvořím. Mezi osami D.1–E.2 / 2–6 se nachází konstrukce střechy atria (obr. 10). Výšková úroveň podlahy atria je ±0,000, vrchol ocelové konstrukce nové střechy +7,705 m. Konstrukce stropu je rozdělena do dvou hlavních částí – pochozího stropu pod novým atriem mezi osami 2–8 a pojížděného stropu mezi osami 8–12. Strop pod atriem je vodorovný, horní hrana průvlaků je konstantně na úrovni –0,100 m. Zbýlá část stropu je ve sklonu, vozovka mezi osami 8–11 klesá 2,2 %, mezi osami 11–12 klesá 6,5 % až na úroveň –1,040 m. Hlavní průvlaky jsou navrženy ve směru číselných os budovy jako spojitě nosníky. Při rozpětí do 5,4 m je použit profil IPE 330, v ostatních případech IPE 500. Stropnice jsou navrženy podle možností rovnoměrně v rastru 1 450, 1 500, 1 767 a 1 800 mm, zapuštěny jsou o 135 mm pod horní líc průvlaků a jsou převážně z profilu IPE 180. Umístění celkem 93 sloupků plošiny vychází z nepravidelného půdorysu stávajících ŽB stěn v suterénu. Konstrukci nového atria tvoří pět hlavních ráků z profilu HE-B 200 s kleštinou (táhlem) ze stejného profilu a vaznice z profilu RHS 160 × 160 × 5 mm. Kleština je na úrovni +4,050 m, vrchol ráku na +7,705 m. Vaznice jsou navrženy maximálně 2 900 mm ve sklonu ráku.

Statický a dynamický výpočet konstrukcí

Zatížení

Stálá zatížení jsou stanovena v souladu s ČSN EN 1991-1-1 (73 0035). Stálé zatížení podlah činí 4,4–5,3 kN/m², střechy 3,4–4,8 kN/m² a stropu nad nádvořím 4,4–6,9 kN/m². Užité zatížení podlah je stanoveno podle tab. 6.2 (CZ) výše uvedené normy na 2,5 kN/m².

Jako poněkud problematické se ukázalo stanovení užitných zatížení v technologické nadstavbě na úrovni +30,345 m. Vzhledem k tomu, že statická a stavební část projektu běží současně s technologickou, finální hodnoty nelze předat statikovi v potřebném předstihu několika měsíců. Přitom se jedná o zatížení zásadní nejen pro statický výpočet, ale také pro výpočet dynamický – velká hmota kmitající 35,8 m nad úrovní založení. Bylo tedy nutné stanovit kvalifikovaný odhad – použité schéma (obr. 11), navrhnout ocelovou konstrukci, po odevzdání technologické části vyhodnotit změny a zpětně je zapracovat do projektu. Ani to však nemusí být poslední krok, protože následně vybraný zhotovitel stavby, s ohledem na aktuální situaci na trhu, jednotlivé technologie často mění.

Zatížení sněhem bylo stanoveno v souladu s ČSN EN 1991-1-3 (73 0035), charakteristická hodnota zatížení sněhem na střeše $s_n = 0,56 \text{ kN/m}^2$. U nadstaveb se počítalo s vlivem návějí.

Brno se nachází ve II. větrové oblasti, výchozí základní rychlost větru $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$. Kategorie terénu byla zvolena III, s ohledem na doporučení přílohy A.2 ČSN EN 1991-1-4 (73 0035) pro $x = 7 \text{ km}$. Výsledný dynamický tlak větru $q_{p,e} = 1,05 \text{ kN/m}^2$. Tvarové součinitele c_{pe} a c_{pi} pro určení plošného zatížení větrem a interním tlakem větru byly stanoveny na základě ČSN EN 1994-1-1 (73 0035), s přihlédnutím k BS EN 1991-1-4:2005+A1:2010 a k veřejně dostupným

výsledkům zkoušek obdobných tvarů ve větrném tunelu. Dále byly uvažovány asymetrické a opačně působící tlaky podle doporučení EN a BS. Výsledkem bylo celkem deset zatěžovacích stavů uvažovaných v globální analýze.

Statický výpočet

Statický návrh probíhal v mnoha krocích – od zjednodušených ručních výpočtů přes zjednodušené 2D modely až po celkový 3D model. Závěrečná globální analýza a celkové posouzení konstrukce proběhly v programu SCIA Engineer. Celkový model obsahuje cca 5 000 uzlů a 5 400 prutů, 49 podpor, 215 průřezů a 22 zatěžovacích stavů. Samotný výpočet probíhal v řádu jednotek minut.

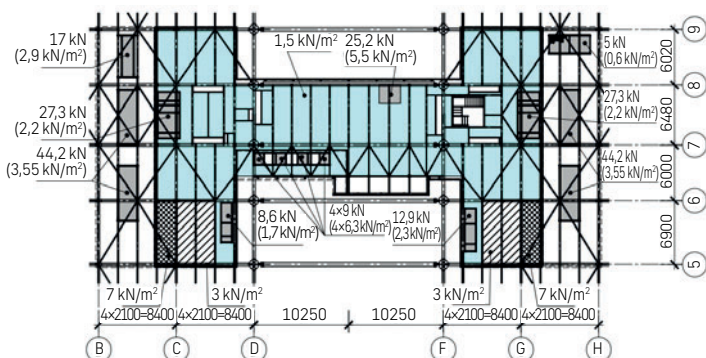
Návrhové svislé reakce dosahují hodnot cca 8 000 kN až 16 700 kN, vodorovné reakce cca 400 kN. Maximální síly v pasech příčných ráků jsou cca ± 7 000 kN, síly v závěsech cca 6 800 kN. Maximální síly v pásech podélných ráků jsou cca ± 4 500 kN, síly ve vzpěrách cca 7 000 kN.

Maximální charakteristická svislá deformace v rohu budovy od stálých zatížení činí cca 80 mm. Na tuto hodnotu bylo navrženo nadvýšení vnějších konců příčných ráků. Svislá deformace od zatížení užitných dosahuje cca 50 mm, tedy cca 2L/1 000. Vodorovné deformace budovy dosahují v obou směrech cca 30 mm.

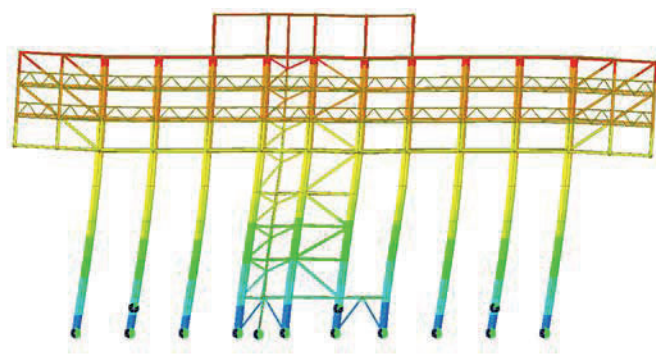
Dynamický výpočet

Výpočet byl proveden na 3D modelu v programu Midas Civil. První vlastní tvar je vodorovné kmitání v podélném směru budovy (obr. 12).

Dynamické zatížení způsobené pohybem chodců, včetně rozsahu kritických vlastních frekvencí konstrukce na toto buzení, bylo převzato z dokumentu HIVOSS: Design of Footbridges – Guideline. Vyhodnoceno bylo vodorovné a svislé kmitání pro 0,1 ch/m² a 1,0 ch/m², celoplošně i lokálně v rohu budovy. Dále byl uvažován vandalismus v kritickém místě v rohu budovy pro čtyři a osm



▲ Obr. 11 Technologická zatížení na úrovni +30,345 m



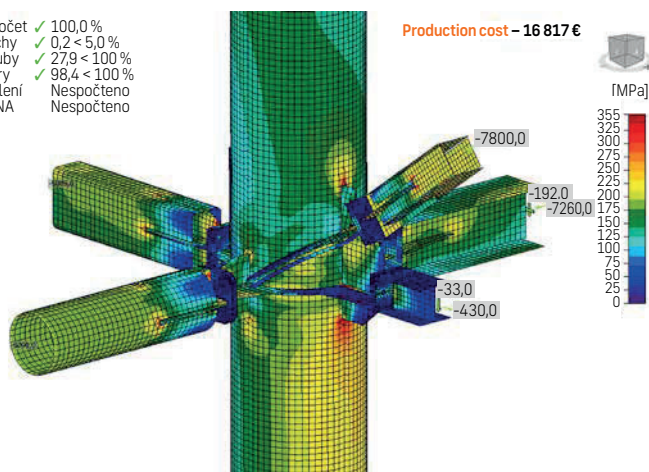
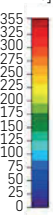
▲ Obr. 12 Dynamický výpočet konstrukce

Výpočet 100,0 %
 Plechy 0,2 < 5,0 %
 Šrouby 27,9 < 100 %
 Svary 98,4 < 100 %
 Boulení Nespočteno
 GMNA Nespočteno

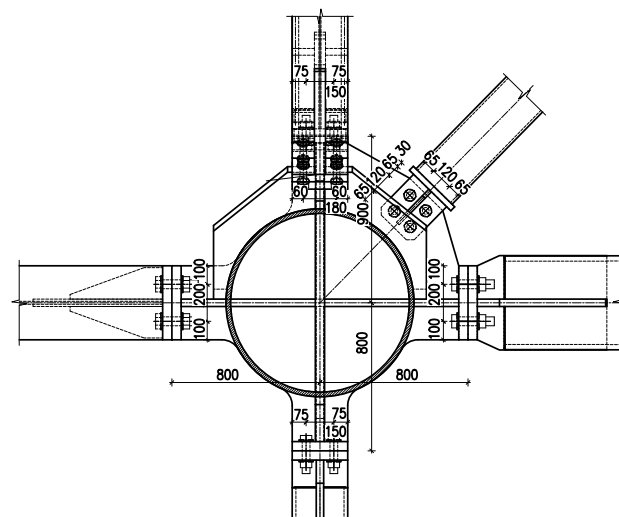
Production cost – 16 817 €



[MPa]



▲ Obr. 13 Posouzení detailu D49



▲ Obr. 14 Výkres detailu D49

osob. Zvolená kritéria odezvy konstrukce pro pravděpodobné stavy byla splněna.

Návrh přípojů

Většina z celkových cca 200 detailů byla souběžně modelována v programech IDEA StatiCa a Advance Steel. Po jejich návrhu a výpočtu (obr. 13) byl dopraven 3D model a vygenerován výkres (obr. 14). Styčníky v místě křížení s trubkovým sloupem byly principiálně řešeny tak, aby koncové síly z prutů byly nakoncentrovány do vodorovných a svislých plechů, které byly vevářeny či zašlicovány do průřezu trubky, a tam došlo k jejich rovnováze.

Samotný návrh těchto detailů komplikovaly dva základní faktory. Prvním z nich byla výše popsaná nejistota v působících vnitřních silách způsobená odhadem technologických zatížení. Druhým pak známý „problém“, kdy projektant stupně DPS navrhuje styčníky bez ohledu na výrobní, dopravní a montážní možnosti realizační firmy. V řadě případů tak v budoucnu nastává situace, kdy detaily ze stupně DPS zhotovitel ocelové konstrukce nevyužije a navrhne řešení vlastní. Celou situaci dále komplikuje fakt, že nové detaily mají jiné rotační tuhosti a dochází k přerozdělení vnitřních sil v konstrukci. Z těchto důvodů jsme nakonec kromě výkresů detailů odevzdali také koncové vnitřní síly na prutech (xls tabulky s téměř půl milionem hodnot) a doporučili naši spoluúčast při zpracování realizační a výrobní dokumentace.

Návrh montáže ve stupni DPS

Přestože podrobný postup výstavby je součástí výrobně-technické dokumentace, byl v rámci DPS rozpracován jeden z možných postupů. V místě stávajícího atria budovy byly navrženy dva věžové jeřáby vetknuté do nových základů na úrovni –5,500. Při vyložení 42 m mají nosnost 7 t.

Materiál a hmotnost OK

Ocelové konstrukce jsou navrženy z běžných uhlíkových ocelí jakosti S355 a S355J2H. U vybraných položek namáhaných kolmo k povrchu byla požadována třída jakosti Z35 podle ČSN EN 10164 (42 1001). Šrouby jsou převážně z materiálu 8.8, u nejvíce namáhaných detailů byly navrženy šrouby M48-10.9.

Celková hmotnost ocelových konstrukcí je 2 880 kg, z toho 2 660 kg připadá na konstrukci budovy a 220 t na parkoviště, nadstavby a nádvoří.

Výroba

Ocelová konstrukce byla vyrobena podle ČSN EN 1090-2 (73 2601) Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce. Třída provedení ocelové konstrukce byla předepsána EXC2. U staticky exponovaných prvků (např. hlavní příčná ztužidla mezi osami D–F, podélná ztužidla mezi osami 1–3 a 12–14, hlavní závěsy rámu) byla požadována třída EXC3.

Protikorozní a požární ochrana

Agresivita vnějšího prostředí se podle ČSN EN 12944-2 (03 8241) předpokládá střední – C3, vnitřní prostředí se předpokládá C2. Ochranu vnitřních konstrukcí zajišťuje nátěrový systém, venkovní konstrukce lávek u nadstaveb E/1 a F/14 jsou žárově zinkovány. Specifická ochrana je požadována u táhel na úrovni –1,000 v osách 4, 8 a 11. Profil HE-B 400 je opatřen duplexní ochranou, tedy žárovým zinkovým povlakem a následným nátěrem s vysokou životností (H).

Protipožární ochrana venkovních konstrukcí budovy (části sloupů a ztužení mezi osami D–F) je požadována R30, únosnost navržených profilů byla ověřena výpočtem. Interiérové části budovy jsou chráněny obkladem či nástřikem. Požadovaná protipožární ochrana konstrukcí parkoviště R15 byla prokázána výpočtem. ■

Účastníci návrhu OK, stupeň DPS

Investor: INFOND investiční fond s proměnným základním kapitálem, a.s.

Generální projektant: knesl kynčl architekti s.r.o.

Návrh OK: FEVIA s.r.o.

Dynamický výpočet: Link projekt, s.r.o.

Cerit Science Park II in Brno, I – Design of the Supporting Steel Structure in the Documentation for the Construction Stage

ENGLISH SYNOPSIS

In 2014, a science and technology park and incubator Cerit Science Park for companies, students and scientists was established at the Faculty of Informatics of Masaryk University in Brno. However, its capacity is already full, so Cerit Science Park II is being built in the nearby Centrum Šumavská. The new premises will serve, among other things, as a business incubator for innovative start-ups focused on security research and development. The project also includes an extension over the existing building. The original proposal was to create a structure built on top of the existing building. However, this was ruled out by the results of the structural engineering survey, especially the strength values of the reinforced concrete columns on the 4th floor. Subsequently, a self-supporting structure was designed, suspended from columns located in the atrium.

KLÍČOVÁ SLOVA: materiály stavební, technologie, konstrukce ocelová, konstrukce samonosná, statický model stavby

KEYWORDS: construction materials, technologies, steel structure, self-supporting structure, static model of the building