

▲ Obr. 1 Drak-svítilno o váze 20 t je pokryt 13 000 krystalovými šupinami

Draci pro hotel Imperial Pacific; atypická nosná ocelová konstrukce



Ing. Jindřich Beran

Projektový manažer ve firmě EXCON, a.s. Vystudoval Fakultu stavební ČVUT v Praze, obor konstrukce a doprava. Je autorizovaným inženýrem v oboru statika a dynamika staveb. Podílel se např. na projektech elektráren, ČVUT, CIIRC – budova A či lávky Jaroměř.

E-mail: beran@excon.cz

Spoluautoři:

Ing. Jan Štolc, CSc.

E-mail: stolc@excon.cz

Jiří Procházka

E-mail: prochazka@excon.cz

Pro tichomořský hotel Imperial Pacific na ostrově Saipan vytvořila česká sklářská společnost LASVIT s.r.o. společně s firmou EXCON, a.s. úctyhodné dílo. Návštěvníky upoutají dva dvacetitunoví draci z kovu a skla. Monumentální svítidlo a zároveň obří svítící klenot vznikl tři roky. Výsledkem jsou dva draci, jejichž kůže je tvořena křišťálovými šupinami. Každý drak působí samostatně jako šperk, přičemž dohromady vytvářejí jeden klenot.

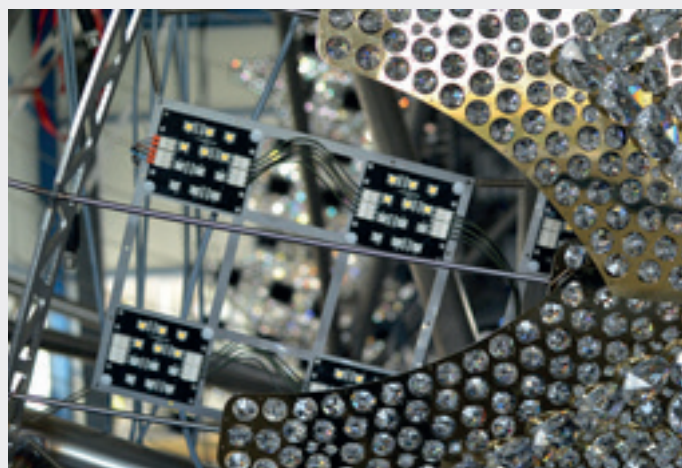


Úvod

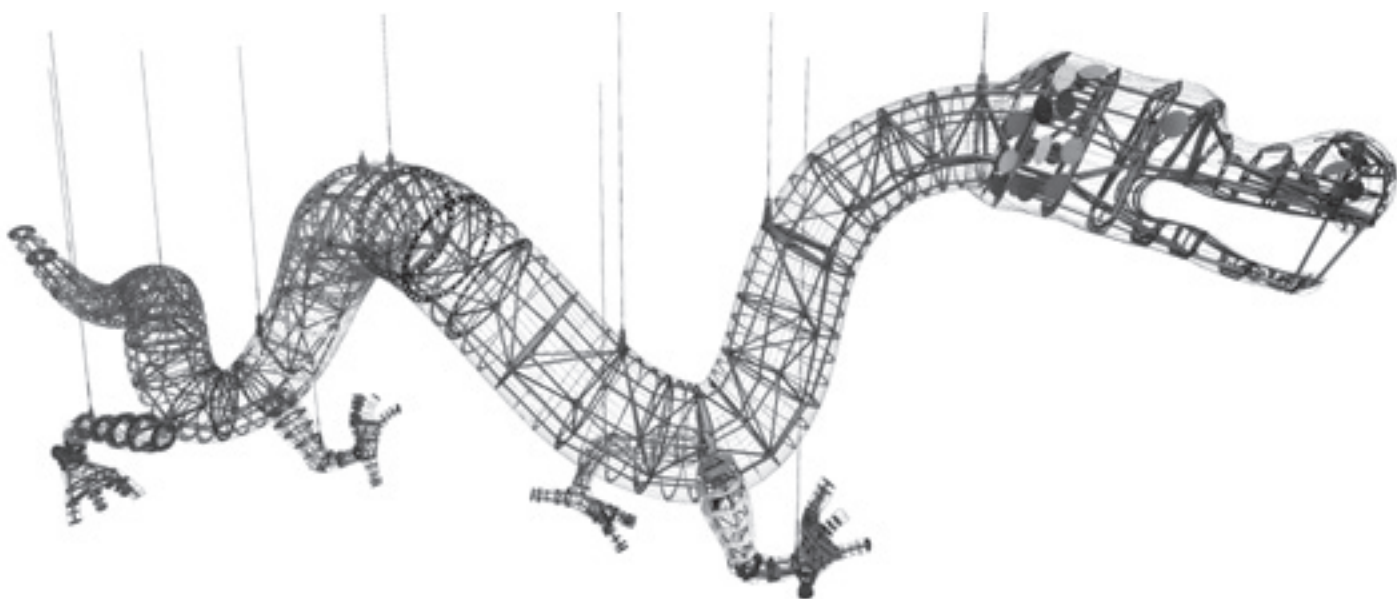
Na tělo jednoho tvora bylo potřeba 13 000 takových šupin. U obou typů šupin (těla, hlavy) je krystalů přes dvě stě a připevňovaly se drátky na kovovou šupinu jeden po druhém. Pokud by se drak „natáhl“, dosáhl by délky 50 m. Jen jeho oko má úctyhodných 2200 × 900 mm. Broušené kameny nezáří jen samy o sobě, jsou také podsvícené programovatelnými LED moduly, které lze jednotlivě ovládat počítačem. Drak tak může na povel majitele hotelu „převléct kůži“ například z růžové na zelenou. K dispozici jsou přednastavené efekty, jako je právě zmíněná změna barvy nebo i světelné vlny.

Architektonické a konstrukční řešení

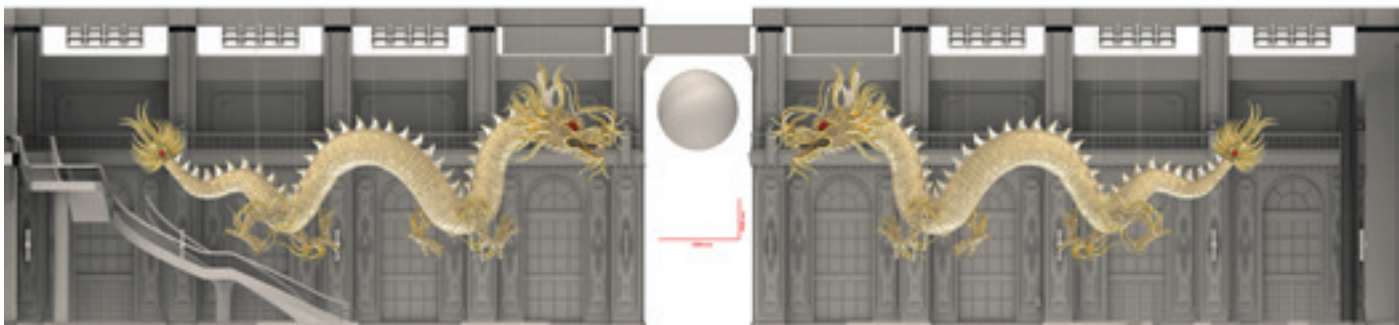
Základem práce na projektu bylo navrhnutí, výrobu a namontovat nosnou konstrukci každého draka, včetně jejího zavěšení, přípojních bodů, drátů pro montáž šupin a prvků pro osazení dalších komponent plastiky.



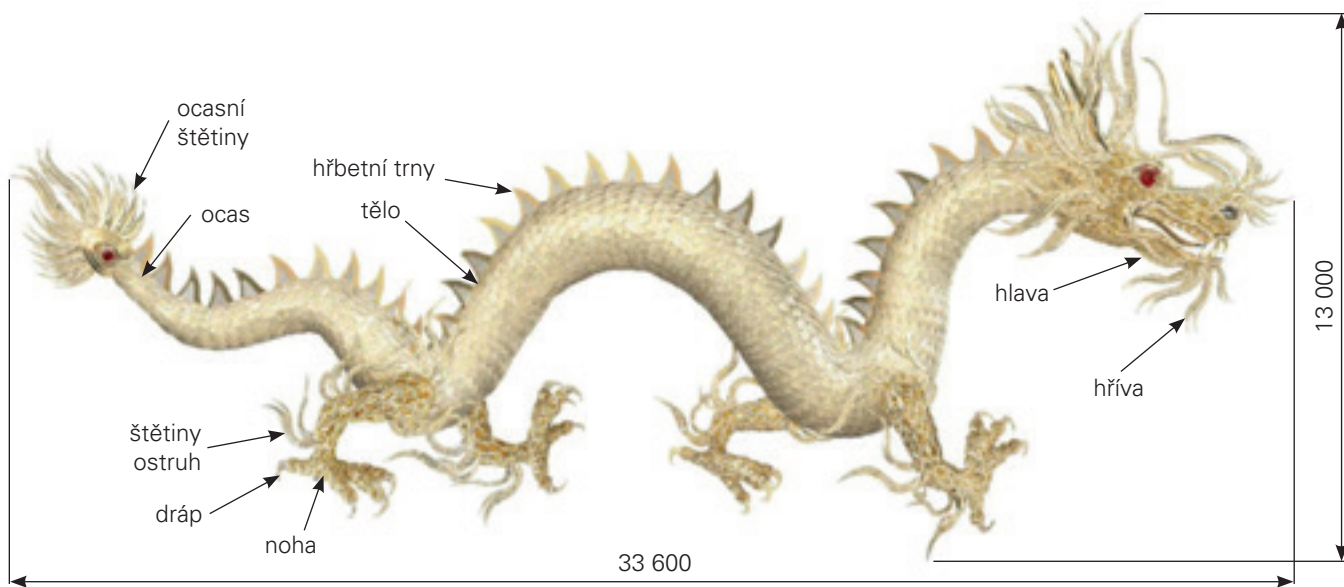
▲ Obr. 2 Detail LED modulů a krytí šupinami



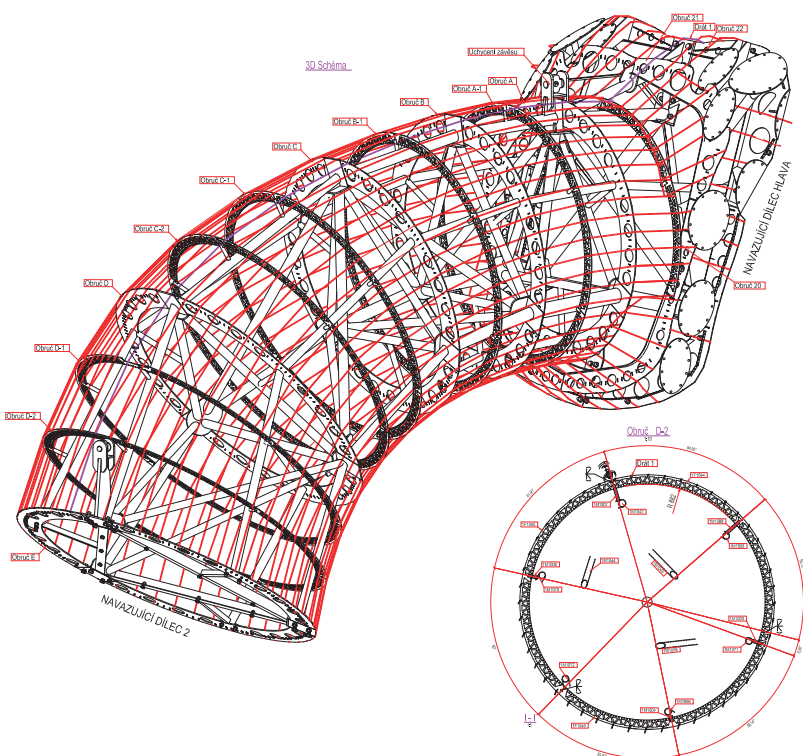
▲ Obr. 3 Celkové schéma nosné konstrukce draka



▲ Obr. 4 Oba draci jsou zrcadlově shodní



▲ Obr. 5 Základní rozměry konstrukce



▲ Obr. 6 Náhled na výřez z výkresu dílce nosné OK



▲ Obr. 7 Kardanový závěs: část modelu

V rámci přípravných prací na nosné konstrukci draka byly postupně zahrnuty varianty s nosnou páteří, na níž by byly navěšeny prvky opláštění, i varianta s nosným skořepinovým pláštěm. Žádná z nich však nesplňovala dvě základní podmínky pro montáž a údržbu: průchodnost konstrukce (včetně transportu vnitřních rozvaděčů) a možnost výměny jednotlivých šupin. Z toho důvodu byla zvolena třetí možnost. Nosným prvkem obou draků je dutá prostorová příhradová konstrukce z kruhových trubek s kruhovými příčnými výztuhami, která tvoří kompletní tvar a linii těla, dlouhého 32 m, s obrysovou výškou 13 m. Draci jsou dva a jsou prakticky zrcadlově shodní: drobné odlišnosti jsou jen v rozmístění závěsů, vyplývajících z dispozice nosné stropní konstrukce nad nimi.

Finálnímu projektu předcházely dlouhé hodiny ladění tvaru nosné příhradoviny, která vytvořila potřebnou oporu pro skleněný podsvícený plášť. Důležitým byl i výběr správného konstrukčního materiálu, který by byl dostupný pro všechny průřezy nosných prvků a zároveň byl dostatečně odolný proti korozi po dobu přepravy i montáže v agresivním přímořském prostředí. Vybrána byla korozivodná ocel 1.4404/316L, známá také jako chirurgická ocel.

Konstrukce je zavěšena na jedenácti různých dlouhých nerezových lanech Macalloy SC460 – compact strand. Jejich poloha vyplynula z požadavků na velikost a hmotnost jednotlivých montážních dílců, s přihlédnutím k zajištění prostorové tuhosti celé konstrukce. Lana jsou převážně průměru 16 mm, pouze nejvíce namáhané lano (za hlavou draka) má průměr 19 mm. Pro usnadnění montáže a případné rektifikace jsou všechna táhla opatřena napínacími prvky a tenzometry pro kontrolu sil vnesených při montáži.

Kromě vlastní tíhy ocelové konstrukce a hmotnosti pláště z prosklených šupin nese konstrukce také hmotnost doplňkových komponent (vousy, drápy, oči, zuby, jazyk, hřbetní trny, mohutný ocas atd.), bez nichž se dokonalý drak rozhodně neobejde. Další stálé zatížení představuje elektrické vybavení: rozvodné skříně s kabely, konektory, svítidla apod. Jako užité zatížení byla zavedena hmotnost osob, zatěžujících konstrukci při montáži a servisu.

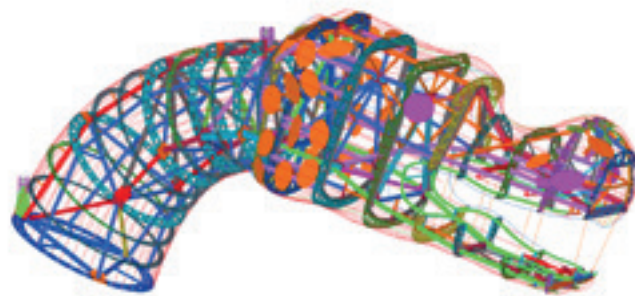
V hlavní konstrukci není žádná opakující se část, protože její tvar je zakřivený ve svislém i vodorovném směru a různé jsou i navazující komponenty. V průběhu projektových prací byly tvary konstrukce několikrát upravovány pro zdokonalení vzhledu bájného tvora podle připomínek investora, což pokaždé ovlivnilo nosnou konstrukci.

Díky dokonalé spolupráci s projektanty firmy LASVIT s.r.o. jsme byli všichni schopni plně pracovat ve 3D modelech s pravidelnou obousměrnou aktualizací, což umožnilo souběžnou práci na statickém, konstrukčním i výtvarném řešení.

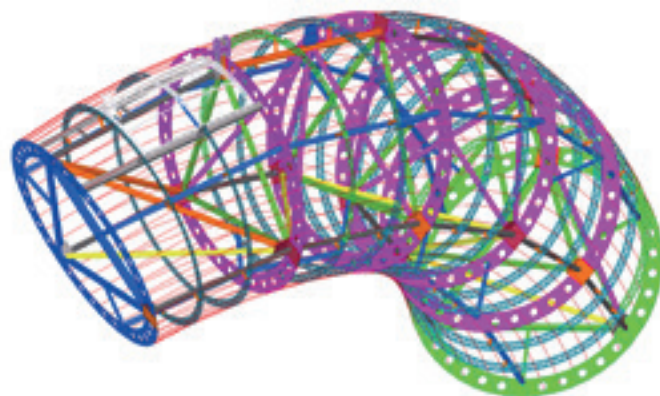
Na obrázcích (obr. 6, 8–10) je možné detailněji vidět složitý tvar konstrukce, která je v základu tvořena příčnými kruhovými výztuhami s maximálním průměrem 2,2 m, na něž jsou napojovány trubkové prvky prostorové příhradoviny.

Všechny kruhové výztuhy jsou odlehčeny otvory, kterými současně prochází část kabeláže, a umožňují připojení LED komponentů. Ze základní trubkové příhradoviny pak vystupují dílčí nosné elementy pro vytvoření požadovaného tvaru nebo jako podpora okrasného komponentu. Vše je obaleno systémem podélných silných drátů pro uchycení šupin, s nimiž sice nebylo ve statickém modelu počítáno, ale přesto se uplatnily jako stabilizační prvek při návrhu příčných prstenců.

Samostatnou kapitolou přípravy statického a následně i konstrukčního modelu bylo vytvoření tvaru hlavních vnějších doplňků těla draka. Jednalo se o podpory pro ocas, zádové páteřní ostny, drápy nohou, oči, jazyk, zuby a dlouhé vlající chlupy na dílci hlavy plastiky. Ty musely nejen staticky fungovat, ale také umožňovat pokrytí složitou vrstvou šupin a přitom současně vypadat přirozeně.



▲ Obr. 8 Detail konstrukce hlavy s přípojnými místy pro instalaci vnějších doplňků



▲ Obr. 9 3D model – základní díl konstrukce bez návazných komponent



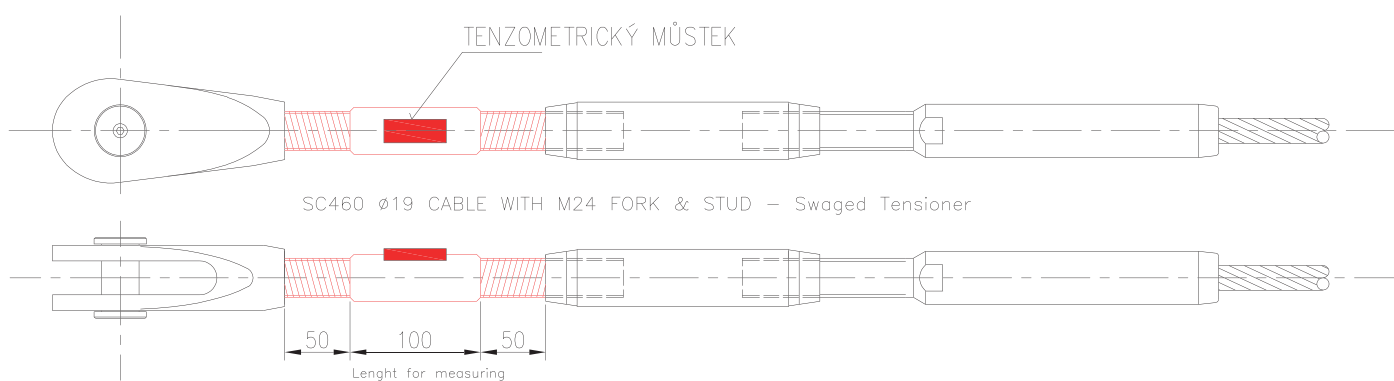
▲ Obr. 10 3D model – jedna z nohou draka



Minimální zatížení nerezových lan

Průměr lana	[mm]	4	6	8	10	12	14	16	19	22	26	28
Velikost vidlice Macalloy		M10	M10	M12	M16	M20	M24	M24	M30	M30	M36	M36

▲ Obr. 11 Nerezová lana SC 460



▲ Obr. 12 Detail konce táhel upravený pro tenzometrická měření



▲ Obr. 13 Částečně smontovaná základní konstrukce

Dynamický výpočet

Ostrov Saipan patří do západopacifického souostroví Mariany, které leží v tektonicky silně aktivní oblasti, a tak muselo být součástí návrhu dynamické posouzení, které prokázalo dostatečnou bezpečnost konstrukce i při seizmickém zatížení. Původní úmysl – připojit draka horizontálními tenkými pružnými táhly s tlumicími prvky k nosné konstrukci budovy – byl z estetických důvodů zamítnut. Drak byl proto ponechán pouze volně zavěšený a výpočet se soustředil zejména na určení maximální horizontální výchylky při vynuceném kmitání. Příliš velká výchylka by ohrozila funkci přípoju táhel. Na globálním modelu byly zjištěny vlastní frekvence, které se staly podkladem pro výpočet maximální horizontální výchylky (respektive maximálního úhlu vychýlení táhel).

Výsledek byl ověřen i samostatným zjednodušeným výpočtem, který provedl spolupracující tým v Ústavu teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v.v.i., v Praze. V něm byla konstrukce zjednodušeně modelována jako nelineární kyvadlo s jedním stupněm volnosti. Kyvadlo bylo považováno za kinematicky buzené typickými akcelerogramy odpovídajícími předpokládaným zemětřesením, aby se stanovila přibližně očekávaná maximální odezva.

Vyhodnocení systému ukázalo takové maximální boční výchylky, že bylo nutno upravit konstrukční řešení některých detailů konstrukce. Tam, kde natočení kotevního detailu závěsu překročila výrobcem povolenou hodnotu, byly doplněny mezi nosnou konstrukci a závěs kloubové prvky v příčném směru, které takto velkou výchylku umožní (viz obr. 7).

Výsledný statický a dynamický návrh byl na závěr ověřen a potvrzen nezávislou firmou Finley, která dokumentaci certifikovala pro americké úřady.

Konstrukční model

Celý digitální konstrukční 3D model byl zpracován v programu Tekla Structures. Modelování naráželo na mnoho překážek, plynoucích z velikosti modelu této nestandardní konstrukce a některých požadovaných atypických detailů, jak je vidět na uvedených obrázcích. Vlastní práce na konstrukčním modelu byla také uzpůsobena výrobě jednotlivých prvků, protože bylo nutné všechny položky konstrukce přesně identifikovat nejen svým číslem, ale také pozicí vpravo, vlevo, nahoře, dole. Z konstrukčního modelu byla také exportována DSTV data do přímé strojní výroby tak, aby se minimalizoval počet ručně vyráběných tvarově složitých položek (ruční výroba vždy představuje určité riziko navíc).

Důležitými detaily nosné konstrukce byla místa závěsů, která byla navržena s ohledem na výsledky statického a dynamického výpočtu. Detail byl navržen s využitím principu kardanového kloubu, tzn. jako podélně tuhý spoj, umožňující kloubový pohyb v obou směrech. Středová část detailu byla frézována z plného kruhového průřezu tak, aby se předešlo jakýmkoliv defektům a imperfkcím ze svařování. Pro výrobu byly v rámci konstrukčního modelování připravovány výrobní a montážní pomůcky společně s výkresy a tabulkami geodetických bodů jednotlivých montážních dílců, ale i celkové konstrukce. Zcela atypickou pak byla dokumentace výrobní sestavy každého dílu. S ohledem na prostorovou složitost celé konstrukce prakticky nebylo možné sestavu jednoznačně určit tradičním kótováním. Poloha každého z příčných prstenců byla proto popsána lokálními souřadnicemi středu a hlavních přípojních bodů vůči předem připravené 3D montážní síti z pomocných profilů.

Výroba a předmontáž

Vlastní výroba probíhala postupným vydáváním položek konstrukce převážně přímo na strojní opracování. Připravené a opracované položky se sestavovaly do montážních dílců na základě připravené montážní

▼ Obr. 15 Smontovaná základní konstrukce draka



▲ Obr. 14 Dílčí kompletace konstrukce, opláštění a komponenty

dokumentace každé sestavy. Nejprve byl každý příčný prstenc podle svých souřadnic zafixován v prostoru a pak propojen částečným přivařením hlavních nosných trubek k předchozímu prstenci. Následovalo osazení a zafixování dalšího prstence atd. Tím, že byly všechny prstence na dílci fixovány vždy v jediném souřadném systému (a ne ve vztahu k prstenci předchozímu), se zabránilo řetězení případných drobných chyb a nepřesností. Po kompletním sestavení byl každý dílec geometricky zaměřen a toto měření bylo vyhodnoceno zpětně ve 3D modelu konstrukce. Až po potvrzení správného tvaru byl dílec kompletně svařen a připraven na předmontáž.

S ohledem na atypičnost celé nosné konstrukce byla provedena kompletní předmontáž. Základní předpokladem pro její provedení bylo najít dostatečně velkou (a přitom volnou) halu s veškerým potřebným zázemím pro montáž. K tomu byla s výhodou využita hala firmy EXCON, a.s., v Teplicích, která se v té době připravovala na instalaci nové technologie, takže poskytla dostatek prostoru.

Předmontáž probíhala podobně jako plánovaná montáž na ostrově Saipan. Pro finální montáž bylo také nutné ověřit všechna těžiště jednotlivých montážních dílců a sestavit její detailní postup. Jedině tak pak bylo možné na stavbě jednotlivé části namontovat pouze za pomoci trvalých závěsů a montážních kladkostrojů (tedy bez jeřábů a dalších zdvihacích mechanismů) při zachování potřebné přesnosti v místech montážních přípojů.

Předmontáž proběhla u konstrukcí obou draků, čímž došlo k ověření celkového tvaru, statických předpokladů a rovněž i všech potřebných návazností elektro, opláštění a jednotlivých komponent. Důležitá byla také souběžně provedená kontrola všech svarů. Následně byly dílce konstrukce označeny, rozmontovány a připraveny na celkovou pasivaci korozivzdorné konstrukce. Nejtěžší montážní díl – hlava – vážil 840 kg, díl těla 725 kg a nejtěžší noha 260 kg.

V rámci předmontáže byla na některých částech odzkoušena i funkční návaznost skleněného opláštění, jednotlivých komponent a také zkoušky vnitřního LED osvětlení. Kromě toho byly ověřeny i podmínky pro pohyb dělníků uvnitř draka (např. ověřit maximální možnou velikost rozvaděče, s níž se může montážník uvnitř každé části smontované konstrukce pohybovat. Předmontáž ilustrují obr. 12–15.

Montáž konstrukce

Instalace na místě trvala několik měsíců. Velká většina dílů byla transportována lodní přepravou, pro některé, zejména menší části, byla využita letecká doprava.



▲ Obr. 16 Plastika po dokončené montáži

S ohledem na velkou vzdálenost místa stavby byla nutná podrobná příprava všech potřebných pomůcek pro montáž. Současně byla důležitá koordinace kotevnicích míst konstrukce v rámci výstavby celé budovy. První, co se proto kontrolovalo po zahájení montáže, byla připravenost těchto míst, aby nedošlo ke kolapsu nebo poškození konstrukce. Před zahájením vlastní montáže byly také překontrolovány všechny vyrobené komponenty, zda nedošlo k poškození při přepravě.

Montáž probíhala již ve zcela dokončené vstupní hale a bylo tak nutné dbát velké opatrnosti, aby nedošlo k poškození hotových povrchů. Nejprve byla zkompletována konstrukce prvního draka a předána k následné montáži elektroniky a prvků opláštění. Až po kompletním dokončení prvního draka byla zahájena montáž nosné konstrukce druhého draka. Zajímavou a zároveň nutnou součástí montáže bylo ladění sil v lanových závěsech měřených tenzometry tak, aby reakce vnášené lany do konstrukce odpovídaly navrženým hodnotám. Tenzometrická měření byla prováděna v jednotlivých fázích montáže, aby se ověřila shoda výsledků s projektem.

Během montáže nosné konstrukce i následné instalace pláště a vnitřní elektrické výstroje se technici mohli pohybovat uvnitř plastiky. Celkově tak někteří pracovníci týmu na místě strávili až dva měsíce uvnitř ocelového monstra.

Zkušenosti z realizace projektu

Každá nová a složitá konstrukce je pro konstruktéry určitou výzvou, která tvůrce odmění nejen dobrým pocitem z povedeného díla, ale také poznatky, využitelnými v další práci. Pro firmu EXCON, a.s., to byly především nové zkušenosti s konstrukčními prvky z korozi-vzdorné oceli, zavedení sofistikovaného značení prvků k usnadnění a zefektivnění vlastní montáže (např. strojově provedené tečkované vypálení obrysu šikmo řezaných připojovaných trubek na

propojovacích prstencích). Bez moderních BIM nástrojů bychom podobnou konstrukci nebyli schopni vytvořit, koordinovat, komentovat a následně předat do provozu. ■

Identifikační údaje o stavbě

Objednatel: hotel Imperial Pacific, Saipan

Investor: čínská investiční společnost Imperial Pacific

Designový návrh konstrukce: LASVIT s.r.o.

Návrh ocelové konstrukce: EXCON, a.s.

Zhotovitel opláštění a komponentů konstrukce: LASVIT s.r.o.

Zhotovitel nosné ocelové konstrukce: EXCON, a.s.

Doba návrhu: 06/2016–03/2017

Realizace: 03/2017–06/2019

Náklady: cca. 250 mil. Kč

english synopsis

Dragons for the Imperial Pacific Hotel – Atypical Steel Load-bearing Constructions

Two twenty-ton dragons made of metal and glass whose skin is made of crystal scales were designed for the Imperial Pacific Hotel on the island Saipan in the Pacific. The monumental light fixture and enormous shining jewel was three years in the making. Each dragon works independently as a jewel, while the two dragons together form a single gem. This remarkable work was made by the Czech glassworks company LASVIT along with the company EXCON.

klíčová slova:

realizace staveb, navrhování konstrukcí, ocel, sklo, BIM

keywords:

the realisation of building works, construction designing, steel, glass, BIM