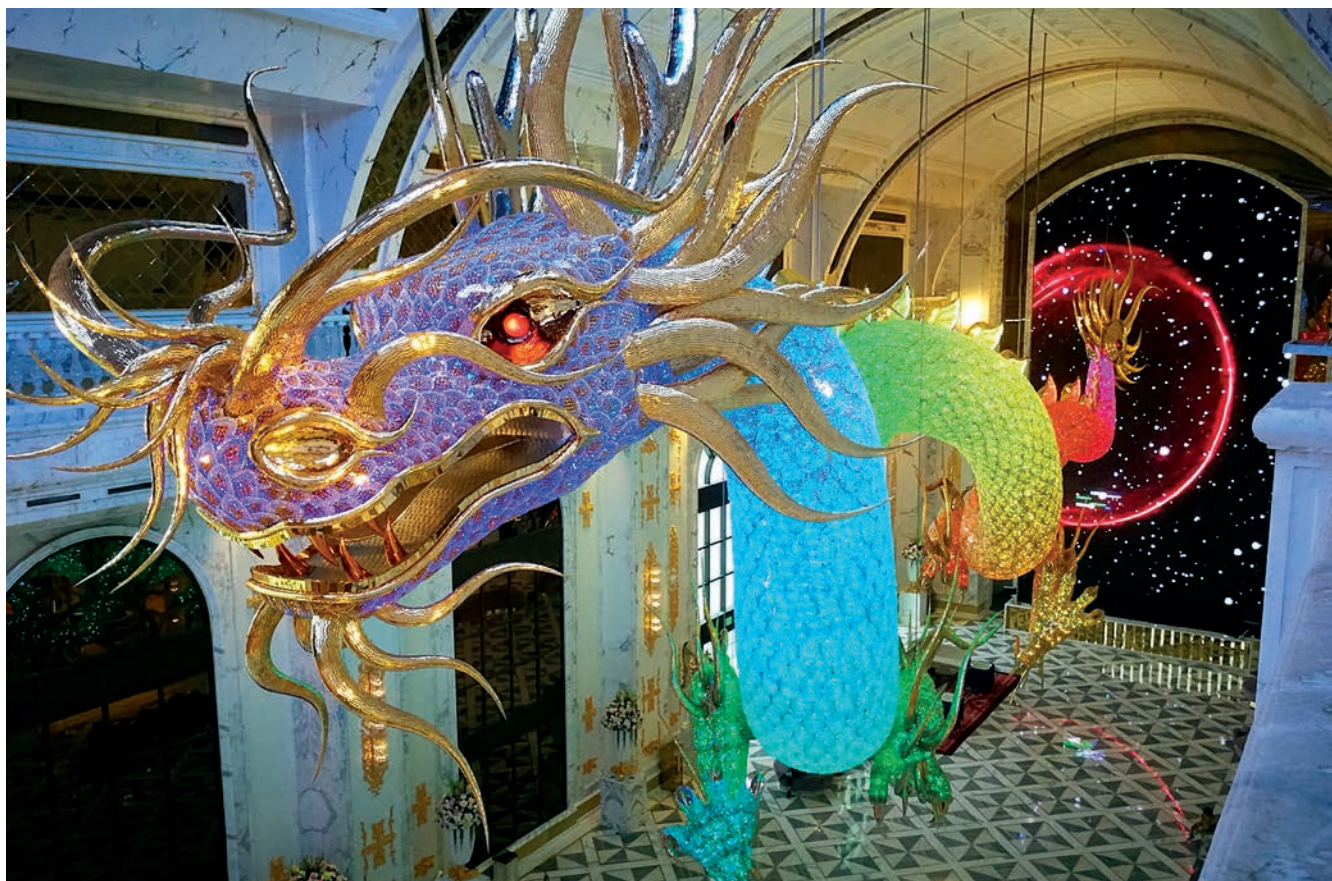




Snímek dokončené plastiky draka

Draci – největší šperk i svítidlo

Nosná konstrukce je z oceli

Dva draci, peroucí se o planoucí perlu, patří ke klasickým výjevům z čínské mytologie. Česká sklářská a designérská firma LASVIT, a.s., tento výjev materializovala do podoby obřího svítidla a zároveň šperku tak obrovského, že se s ním nyní snaží o zápis do Guinnessovy knihy rekordů. Dvacetitunoví draci se vlní nad hlavami návštěvníků hotelu Imperial Pacific na ostrově Saipan v Tichomoří. Každý má 32 metrů na délku a na sobě 2,5 milionu kusů křišťálů. Rozpočet této zakázky byl zhruba 250 milionů korun. Na realizaci se významně podílela projekční a výrobní firma EXCON, a.s.

ÚVOD

Vytvořit celé dílo s výrobou a montáží trvalo tři roky, během nichž se měnil design a ladily se technické detaily. Výsledkem jsou dva draci, jejichž těla jsou složena z tisíců šupin, a kteří působí samostatně jako šperk, přičemž spolu dohromady vytvářejí jeden klenot.

Na tělo jednoho tvora bylo potřeba 13 tisíc takových šupin. Každá z nich je vypletená téměř dvěma sty křišťály Swarovski, které se pomocí drátků připevňují na kovovou šupinu jeden po druhém. Pokud by se drak „natáhl“, dosáhl by délky 50 metrů. Jen jeho oko má úctyhodných 220 × 90 cm.

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.

STATICKÝ MODEL KONSTRUKCE

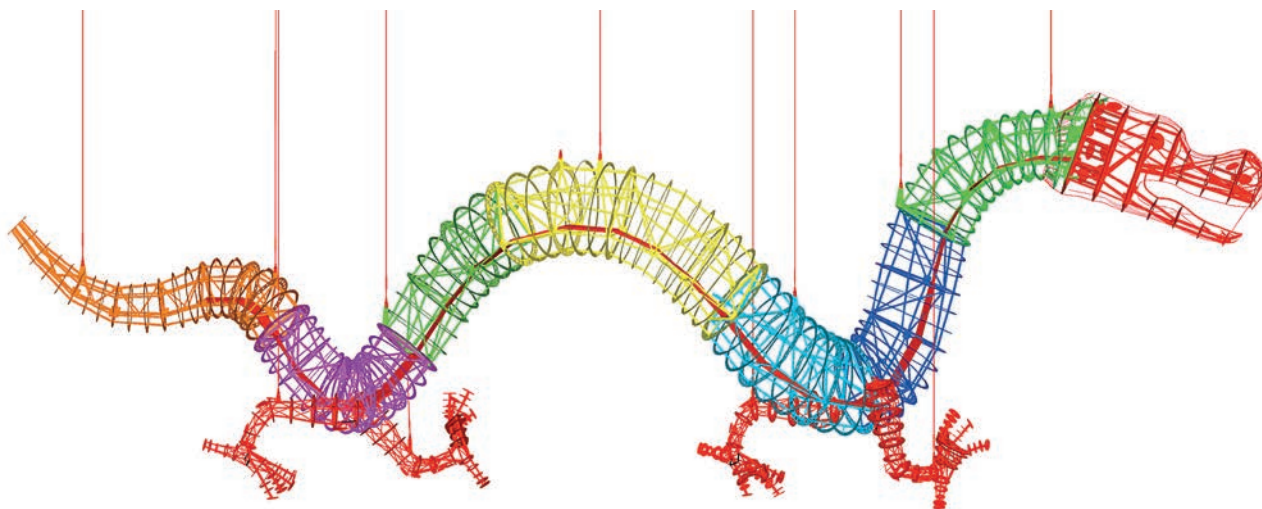
Náplní naší práce na projektu bylo navrhnout, vyrobit a namontovat nosnou konstrukci každého draka, včetně jejího zavěšení a přípojných bodů, drátů pro montáž šupin a prvků pro osazení dalších komponent plastiky.

V rámci přípravných prací na nosné konstrukci draka jsme postupně zavrhlí variantu s nosnou páteří, na níž by byly navěšeny prvky opláštění, i další variantu s nosným skořepinovým pláštěm. Žádná z nich totiž nesplňovala dvě základní podmínky pro montáž a údržbu: průchodnost konstrukce (včetně transportu vnitřních rozvaděčů) a možnost výměny jednotlivých šupin. Proto byla zvolena třetí možnost.

Nosným prvkem každého draka je tak dutá prostorová trubková příhradová konstrukce s kruhovými příčnými výtuhami, která tvoří kompletní tvar a linii těla, dlouhého 32 metrů, s obrysou výškou 13 metrů. Oba draci jsou prakticky zrcadlově shodní: drobné odlišnosti jsou jen v rozmístění závěsů, vyplývajícím 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 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 korozi odolná ocel 1.4404/316L, známá také jako „chirurgická ocel“.

Konstrukce je zavěšena na jedenácti různých dlouhých nerezových lanech Macalloy SC460 – compact strand. Jejich poloha vyplývala



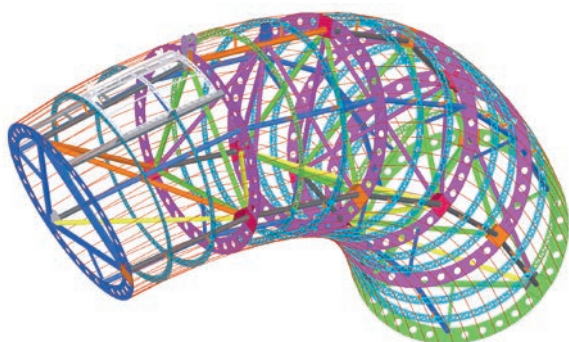
Obr. 1 – Celkové schéma nosné konstrukce draka

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.

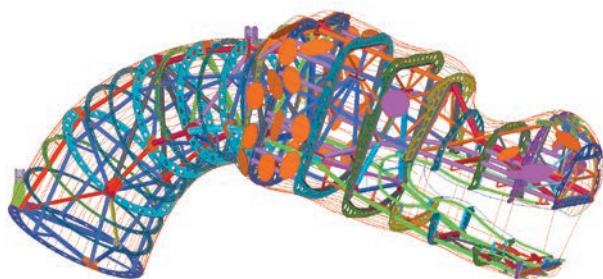
Kromě vlastní tíhy a hmotnosti pláště z prosklených šupin nese konstrukce také hmotnost doplňkových komponent (vousy, drápy, oči, zuby, jazyk, hřbetní trny, mohutný ocas atd.), bez nichž se dokonalý drak rozhodně neobejde. Další stálé zatížení představuje elektrické vybavení: rozvodné skříně s kabely,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



Obr. 4 – 3D model, jedna z nohou draka



Obr. 2 – 3D model, základní díl konstrukce bez návazných komponent



Obr. 3 – Detail konstrukce hlavy s přípojnými místy pro instalaci vnějších doplňků

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, což pokaždé ovlivnilo nosnou konstrukci. Například hlava se změnila na základě dojmu investora, že drak není dostatečně zlý. Díky dokonalé spolupráci s projektanty firmy Lasvit 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 je možné detailněji vidět složitý tvar konstrukce, která je v základu tvořena příčnými kruhovými výtuhami s max. průměrem 2,2 m, na nichž jsou spojovány trubkové prvky prostorové příhradoviny.

Výtuhy jsou odlehčeny otvory, kterými prochází část kabeláže. 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 přes to 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. Ty musely nejen staticky fungovat, ale umožňovat pokrytí složitou vrstvou šupin a přitom vypadat přirozeně.



Obr. 5 – Kardanový závěs, část modelu + reálné provedení na předmontáži

DYNAMICKÝ VÝPOČET

Ostrov Saipan patří do západopacifického souostroví Mariany, které leží v tektonicky silně aktivní oblasti, a tak musela být součástí návrhu i analýza, která prokázala dostatečnou bezpečnost konstrukce i při seizmickém zatížení. Původní úmysl, čili připojit draka horizontálními tenkými pružnými táhly s tlumicími prvky k nosné konstrukci budovy, byl z estetických důvodů zamítnut. Proto byl drak ponechán pouze volně zavěšený a analýza se soustředila zejména na určení maximální horizontální výchylky při vynuceném kmitání. Příliš velká výchylka by ohrozila funkci přípojí táhel. Na globálním modelu jsme zjistili vlastní frekvence, které se staly podkladem pro výpočet max. horizontální výchylky (resp. max. úhlu vychýlení táhla).

Výsledek byl ověřen i samostatným zjednodušeným výpočtem, který provedl spolupracující tým v Ústavu teoretické a aplikované mechaniky v Praze. Zde byla struktura 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.

Analýza systému ukázala 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. 5).

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 uzpůsobená 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. 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 geometrických 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. Proto byla poloha každého z příčných prstenců popsána lokálními souřadnicemi středu a hlavních přípojných bodů vůči předem připravené 3D-montážní síti z pomocných profilů.

VÝROBA A PŘEDMONTÁŽ

Vlastní výroba probíhala postupným vydáváním položek konstrukce převážně přímo do strojního opracování. Připravené a opracované položky se sestavovaly do montážních dílců na základě připravené montážní dokumentace dílčí sestavy. Nejprve byl každý příčný prstenec 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 jsme všechny prstence na dílci fixovali vždy v jediném souřadném systému (a ne ve vztahu k prstenci předchozímu), jsme zabránili řetězení případných drobných chyb a nepřesností.



Obr. 6 – Předmontáž, detail konstrukce včetně prvků opláštění

Po kompletním sestavení byl 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. Základním 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 v Teplicích, která se v té době připravovala na instalaci nové technologie, takže poskytla dostatek prostoru.

Předmontáž probíhala podobně jako plánovaná finální montáž na ostrově Saipan. Pro finální sestavení bylo také nutné ověřit všechna těžiště jednotlivých montážních dílců a sestavit detailní postup montáže. 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 přípojí.

Předmontáž proběhla u konstrukci obou draků, čímž došlo k ověření celkového tvaru, statických předpokladů a rovněž i všech potřebných návazností elektro, opláštění a jednotlivých komponent.



Obr. 7 – Hotové dílce, připravené na předmontáž



Obr. 8 – Pohled na částečně smontovanou základní konstrukci



Obr. 9 – Pohled na dílčí kompletaci konstrukce, opláštění a komponent

Důležitá byla také souběžně provedená důkladná 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 pak 260 kg.

V rámci předmontáže byla na některých částech odzkoušena i funkční návaznost skleněného opláštění, jednotlivých komponent a také funkce vnitřního osvětlení LED. Kromě toho bylo potřeba ověřit 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 obrázky 7 až 9.

MONTÁŽ KONSTRUKCE

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

S ohledem na velkou vzdálenost místa stavby byla nutná podrobná příprava všech potřebných pomůcek pro montáž. Současně byla důležitá koordinace kotevních míst konstrukce v rámci výstavby celé budovy. Proto první, co bylo kontrolováno 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. Naštěstí byla konstrukce bez poškození.

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 jsme zahájili 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.

Během montáže nosné konstrukce i následné instalaci pláště a vnitřní elektrické výstroje se technici mohli pohybovat uvnitř



Detail hlavy po dokončené montáži

plastiky. Celkově tak někteří pracovníci týmu na místě strávili až dva měsíce uvnitř tohoto ocelového monstra.

Každá nová a složitá konstrukce je pro konstruktéry určitou výzvou, která tvůrce odmění jednak dobrým pocitem z povedeného díla, ale také poznatky, využitelnými v další práci. Pro nás to byly především nové zkušenosti s konstrukčními prvky z korozivzdorné oceli a zavedení sofistikovaného značení prvků k usnadnění a zefektivnění montáže (např. strojově provedené tečkované vypálení obrysu šikmo řezaných připojovaných trubek na propojovacích prstencích). Bez moderních BIM nástrojů bychom podobnou konstrukci bez montážního svařování asi nevytvořili.

Ing. Jindřich Beran
beran@excon.cz
Ing. Jan Štolc
EXCON, a. s.