

## Programy firmy Dlubal pomáhají při záchraně kamenných monumentů v Angkoru v Kambodži

Kamenné monumenty v archeologickém parku Angkor, zapsané na seznam světového dědictví UNESCO, jsou dnes z velké části značně zchátralé a stav těch zachovaných se rychle zhoršuje. Odborníci z celého světa se proto intenzivně zabývají příčinami špatného technického stavu této významné památky a snaží se nalézt vhodná opatření pro jejich sanaci. Na záchraně monumentů v Angkoru se také podílí český výzkumný tým s pětiletým výzkumným projektem „Thermal imaging and structural analysis of sandstone monuments in Angkor“. Hlavním úkolem projektu je analýza zatížení kamenných konstrukcí teplotními změnami prostředím a jejich vlivu na statickou spolehlivost monumentů. Kromě výzkumu přímo v Angkoru jsou součástí projektu také numerické simulace chování kamenných konstrukcí zatížených vnějšími účinky s důrazem na účinek teplotních změn. K vytvoření numerických modelů a statické analýze byl využit program RFEM od společnosti Ing. Software Dlubal.

Kamenné monumenty v Angkoru, které byly postaveny mezi 8. a 14. stoletím, jsou dnes většinou ruinami v různém stádiu zchátralosti. Většina z nich byla postavena z kamenných kvádrů skládaných nasucho, v menší míře byly použity pálené cihly. U dosud zachovalých chrámů dochází k soustavnému rozvoji jejich poruch, především rozpadu kamenného zdiva, způsobenému kombinací několika různých vlivů. Kromě z pohledu dnešních znalostí použití nevhodné techniky výstavby jsou jednou z hlavních příčin rozpadu především náročné klimatické podmínky.

Monitoring deformací a teplot vybraných chrámů prokázal, že rozdíl maxima a minima teplot na intenzivně osluněných plochách vnějšího povrchu během ročního cyklu přesahuje 60 °C. Značné teplotní rozdíly jsou i mezi dnem a nocí, teplota na vnitřním povrchu byla často o cca



Chrám Angkor Vat v Kambodži

40 °C nižší než na povrchu vnějším. To přispívá k nerovnoměrnému namáhání a velkým dilatačním pohybům uvnitř konstrukce kamenných struktur; v kombinaci s dalšími vlivy tak dochází k postupnému zvětšování spár mezi kvádry, vypadávání jednotlivých kamenů z konstrukce a dezintegraci či hroucení celých částí chrámů.

Numerické simulace statického chování monumentů jsou prováděny pomocí programu RFEM společnosti Ing. Software Dlubal, který umožňuje dosáhnout vysoké míry shody vlastností numerických modelů s reálnými konstrukcemi kamenných chrámů. Cílem analýzy je na základě výsledků simulací predikovat další vývoj jejich technického stavu. Dosažené výsledky by potom měly sloužit mj. i pro vypracování návrhu optimálních sanačních postupů pro stabilizaci a záchranu těchto vzácných památek.

V rámci výzkumu byly dosud v programu RFEM vytvořeny a testovány 3D modely vybraných reprezentativních výseků kamenných konstrukcí - samostatná stěna, čtyřúhelníková pyramida, zastřešená sloupová galerie a různé tvary věží. Numerické modely byly složeny z těles - objemových prvků, představujících jednotlivé kamenné kvádry. Vzájemná interakce kvádrů byla simulována prostřednictvím kontaktních prvků, které umožňují vyloučit působení v tahu ve směru kolmo na spáru a pracovat s různou intenzitou tření ve styčných mezi bloky.

Byla zpracována řada simulací pro zatížení uvedených modelů teplotou, s uvažováním charakteristického podloží staveb a různých typů vazeb kamenných kvádrů. Výsledky numerických analýz vykazují značnou sho-

du s chováním reálných konstrukcí (deformace, poruchy apod.). Dosud provedená fáze výzkumu prokázala, že teplotní zatížení angkorských chrámů dosahuje významných hodnot a má značný vliv na jejich stále se zhoršující technický stav. V dalších fázích výzkumu budou dosud provedené kroky dále rozvíjeny tak, aby bylo možné zpřesnit vliv teplotních změn na chování kamenných monumentů v Angkoru a navrhnout optimální postupy k jejich zachování pro příští generace.

### Český výzkumný tým v Angkoru:

Ředitel projektu:

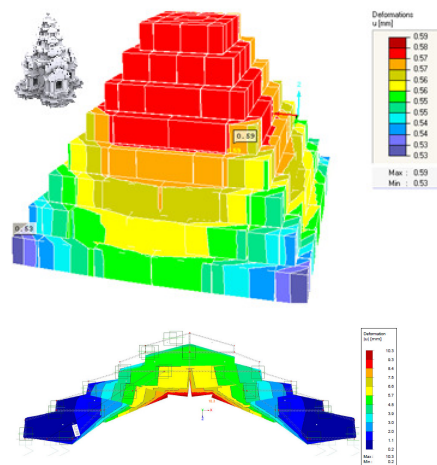
Dr. Karel Kranda  
Akademie věd ČR  
Ústav jaderné fyziky

Vedoucí výzkumu:

Doc. Ing. Jan Pašek, Ph.D.  
Fakulta stavební ČVUT v Praze  
Katedra konstrukcí pozemních staveb

Členové týmu:

Ing. Jiří Svoboda  
Ing. Hansley Pravin Gaya  
Otokar Veverka



Výsledky výpočtu v programu RFEM

### Bližší informace o programech firmy Dlubal získáte:

Ing. Software Dlubal s.r.o.  
Anglická 28  
120 00 Praha 2  
Tel.: +420 221 590 196  
Fax: +420 222 519 218  
www.dlubal.cz  
info@dlubal.cz