

# DISKUSE MOŽNÝCH PŘÍČIN KOLAPSU MOSTU KOROR-BABELTHUAP V REPUBLICE PALAU THE COLLAPSE OF THE KOROR-BABELTHUAP BRIDGE IN PALAU - DISCUSSION OF POSSIBLE CAUSES

LUKÁŠ VRÁBLÍK, JAN LOŠKO,  
VLADIMÍR KRÍSTEK

Most Koror-Babelthuap byl v době uvedení do provozu v roce 1977 letmo betonovaným mostem s největším rozpětím hlavního pole na světě. Vzhledem k trvale rostoucím průhybům hlavního pole byla v roce 1996 provedena rekonstrukce. Měsíc po ukončení oprav však došlo ke zřícení mostu. Cílem příspěvku je seznámit s původním projektem mostu a postupem rekonstrukce a nastínit možné příčiny kolapsu.

The Koror-Babelthuap bridge was after putting in operation in 1977 the longest (due to the length of mid span) concrete bridge erected by free cantilevers method. Regarding to excessive deflection of the middle of the main span, reconstruction was done. One month after repair finishing, structure collapsed. The intention of this paper is to describe the original structure design, reconstruction process and outline possible collapse reasons.

Most (obr. 1) byl vyprojektován pro spojení dvou hlavních ostrovů republiky Palau – Koror a Babelthuap (obr. 2). Jednalo se o velmi významné a strategické propojení nejen z hlediska dopravy (na ostrově Koror je mezinárodní letiště, zatímco na ostrově Babelthuap je hlavní město a žije zde více jak 70 % populace), ale



i převáděných inženýrských sítí (vodovod, elektrické vedení).

Oba ostrovy odděluje více jak 30 m hluboký kanál s velmi silnými proudy, které znemožňovaly použití mezilehlých podpor.

Konstrukce proto byla dle původního projektu navržena jako letmo betonovaný most s rozpětím hlavního pole cca 240 m (obr. 3). Jednalo se o dvojici symetrických konzol proměnného průřezu (obr. 4) spojených ve středu kloubem opatřeným ložisky pro zajištění volného vzájemného posunutí a natočení konců konzol. Z hlediska dimenzí je zarážející zejména extrémně malá tloušťka

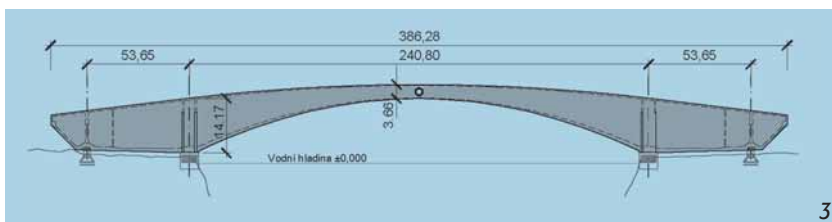
stěny – 356 mm. Zvláště v oblasti vnitřních podpor při výšce téměř 14 m, kde navíc dochází k soustředění velkého smykového namáhání, je tato hodnota spíše blízká tloušťkám stěn ocelových komorových průřezů. Ze získaných podkladů je patrné i nedostatečné provázání smykové výztuže mezi tenkou stěnou a deskou průřezu.

Obr. 1 Most Koror-Babelthuap  
Fig. 1 Koror-Babelthuap bridge

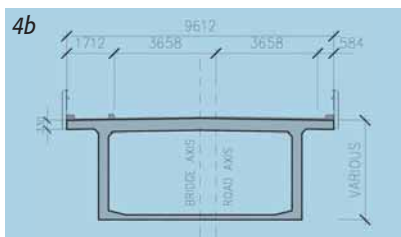
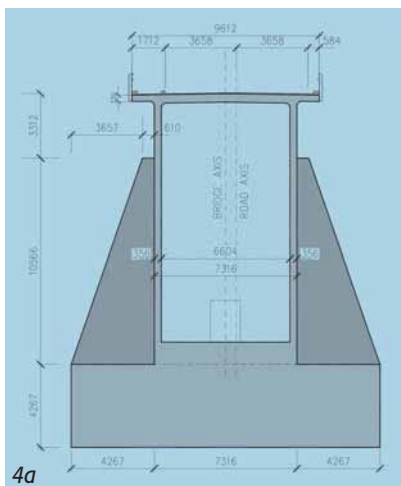
Obr. 2 Republika Palau, ostrov Koror a Babelthuap

Fig. 2 Republic Palau, Koror and Babelthuap island





Obr. 3 Podélný řez mostem (převýšený)  
Fig. 3 Longitudinal section (scale)



Obr. 4 Příčný řez nad podporou a v poli  
Fig. 4 Typical cross sections

Obr. 5 Zřícení mostu  
Fig. 5 Structure collapse

Obr. 6 Schéma porušení konstrukce mostu  
Fig. 6 The scheme of structure failure

Obr. 7 Výpočetní model mostu  
Fig. 7 Computational model of the bridge

ním povrchu průřezu kotvené v hlavním poli v čelech dokončených lamel (celkem dvacet pět lamel po cca 4,8 m), v krajním poli pak kotvené do vzdálenosti cca 40 m od teoretické osy uložení nad vnitřním pilířem. Vzhledem k extrémní subtilnosti konstrukce byl systém podélného předpětí doplněn příčnými a svislými prvky pro zajištění dostatečné tlakové rezervy.

#### REKONSTRUKCE MOSTU

V roce 1995, osmnáct let po uvedení do provozu, bylo rozhodnuto vzhledem k trvale narůstajícím průhybům středu hlavního pole (deformace činila již více než 1,2 m) provést rekonstrukci mostu. Projekt této rekonstrukce lze shrnout do čtyř základních kroků:

- odstranění kloubu ve středu rozpětí hlavního pole a následné zmonolitnění – změna statického působení konstrukce na spojitý nosník,
- instalace osmi dodatečných kabelů volného předpětí vedených mimo průřez prostřednictvím deviátorů; kabely byly vedeny jako tzv. kabely spojitosti přes celou délku hlavního pole, kotvené za pilíře v krajních polích,
- rozepnutí konců konzol,
- oprava povrchu konstrukce.

#### KOLAPS KONSTRUKCE

##### Popis zhroutení konstrukce

Ke zřícení mostu (obr. 5) došlo 26. září 1996 necelý měsíc po dokončení opravy konstrukce. Následky tohoto neštěstí byly tragické – dva mrtví, několik zraněných a naprosté odříznutí lidí žijících

na ostrově Babelthuap od dodávek pitné vody a elektrické energie z ostrova Koror. Postup kolapsu konstrukce (obr. 6) lze na základě provedených zkoumání [1] popsat následovně:

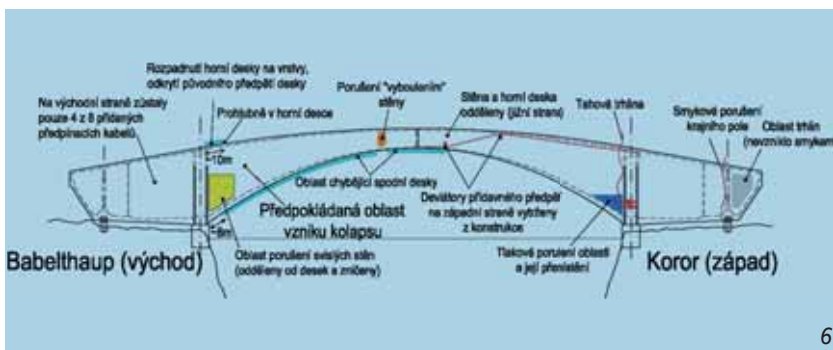
- rozštěpení horní desky v blízkosti vnitřního pilíře na východní straně mostu (ostrov Babelthuap); eliminace předpětí – část mostu mezi vnitřní podporou a kloubem ve středu hlavního pole tak působila pouze jako železobetonová konstrukce,
- z důvodů velkého nadpodporového momentu nad vnitřním východním pilířem, jehož účinky pak nebyly redukovány předpětím, došlo k tahovému porušení horních částí stěn a smykovému porušení celého průřezu,
- konstrukce se začala chovat jako gigantická konzola délky cca 240 m, zatížená z celého hlavního pole bylo přenášeno do průřezu nad západním vnitřním pilířem (Koror), došlo k natočení celé konstrukce okolo teoretické osy uložení, včetně nadzvednutí krajního pole,
- nadpodporový průřez pochopitelně nebyl schopen přenést tak velké namáhání a došlo k tahovému a tlakovému porušení a následnému zřícení celé konstrukce.

##### Pravděpodobné příčiny kolapsu konstrukce

Z výše uvedeného vyplývá, že základním impulsem vedoucím ke zhroutení mostu

Výstavba mostu probíhala letmo od vnitřních podpor (navržených pro přenos vodorovných reakcí – horizontálních sil – do podloží pomocí šikmých pilot) nesymetricky směrem do středu centrálního pole a ke krajní podpoře. Pro vybalancování ohybového momentu nad vnitřním pilířem od vlastní tíhy konzoly hlavního pole byla oblast nad krajní podporou vyplněna balastem ze šterkového materiálu. Předpětí bylo navrženo použitím tyčí Dywidag Ø 32 mm. Uspořádání jednotlivých přepínacích jednotek typicky odpovídalo postupu výstavby – přímé tyče vedené při hor-





Literatura:

- [1] Burgoyne Ch., Scantlebury R.: Why did Palau Bridge collapse?; 03/2006
- [2] Koror – Babaldaob Bridge Repairs, Basis of design; ABAM a member of the Berger Group, 09/1993
- [3] Present condition survey of the Koror – Babelthuap Bridge; Japan international cooperation agency, 02/1990
- [4] Křístek V., Vráblik L.: Optimisation of tendon layout to avoid excessive deflections of long-span prestressed concrete bridges; Concrete Engineering International UK, Volume 11, Number 1, Spring 2007

Ing. Lukáš Vráblik, Ph.D.  
e-mail: lvrablik@seznam.cz

Ing. Jan Loško  
e-mail: lozin@seznam.cz

Prof. Ing. Vladimír Křístek, DrSc.  
e-mail: vladimirkristek@seznam.cz

všichni:

ČVUT Fakulta stavební  
Katedra betonových a zděných konstrukcí  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6  
tel.: 224 354 365

byly provedené úpravy během kompletní rekonstrukce. Důležité je si ale uvědomit, že nebyť problémů (narůstající průhyby, vznik trhlin) majících původ v původním projektu, konstrukci by nebylo vůbec třeba opravovat.

O možných příčinách je nutné spekulovat s uvážením komplexního chování konstrukce; jde např. o faktory:

- nedostatečné dimenze průřezu, zejména tloušťka stěn je velmi malá, nedostatečný prostor k provázání výztuže mezi stěnou a deskou,
- dodatečné kabely volného předpětí, vedené jako tzv. kabely spojitosti přes celou délku hlavního pole, kotvené za pilířů v krajních polích, kdy axiální síla takového předpětí se do hlavního pole – v důsledku zamezení vodorovných posunů v mezilehlých podporách – vůbec nemůže dostat,
- otázka vhodnosti umístění kotvení předpínacích tyčí v krajním poli pro eliminaci průhybu středu hlavního pole (obr. 7) – toto bude posouzeno speciální analýzou za použití metody podle [4],
- možné porušení soudržnosti mezi betonem a předpínací výztuží při úpravě povrchu nosné konstrukce,
- zvýšení smykových napětí ve stěnách od vertikální složky předpínací síly dodatečného předpětí v místě deviatorů.

**ZÁVĚR**

Varujícím je fakt, že ani po dvanácti letech od zřízení mostu nebyly uspokojivě objasněny příčiny kolapsu. Ve srovnání s letectvím, kdy je každá sebemenší nehoda povinně detailně vyšetřena a následně jsou provedena opatření pro maximální možnou eliminaci dalších podobných neštěstí, je tento stav zarážející. Přitom by bylo velmi přínosné přesné objasnění kolapsu mostu Koror-Babelthuap, výsledky pak mohou sloužit jako poučení pro projekty konstrukcí podobných dimenzí a též poskytnout další poznatky pro rozvoj oboru mostního stavitelství.

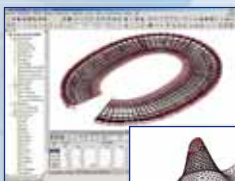


Výsledky byly získány v rámci řešení grantových projektů 103/08/P613, 103/06/0674 a 103/08/1677 podporovaných Grantovou agenturou ČR a projektu MŠMT 1M6840770001 v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.




## RSTAB



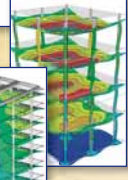
**Program pro výpočet rovinných i prostorových prutových konstrukcí**

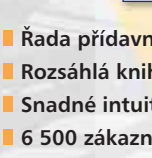
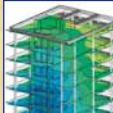

## RFEM

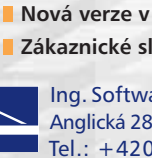


**Program pro výpočet konstrukcí metodou konečných prvků**






**Demoverze zdarma ke stažení**

**www.dlupal.cz**

- Řada přídatných modulů
- Rozsáhlá knihovna profilů
- Snadné intuitivní ovládání
- 6 500 zákazníků ve světě
- Nová verze v českém jazyce
- Zákaznické služby v Praze



**Ing. Software Dlubal s.r.o.**  
Anglická 28, 120 00 Praha 2  
Tel.: +420 222 518 568  
Fax: +420 222 519 218  
E-mail: info@dlupal.cz

**Statika, která Vás bude bavit ...**