

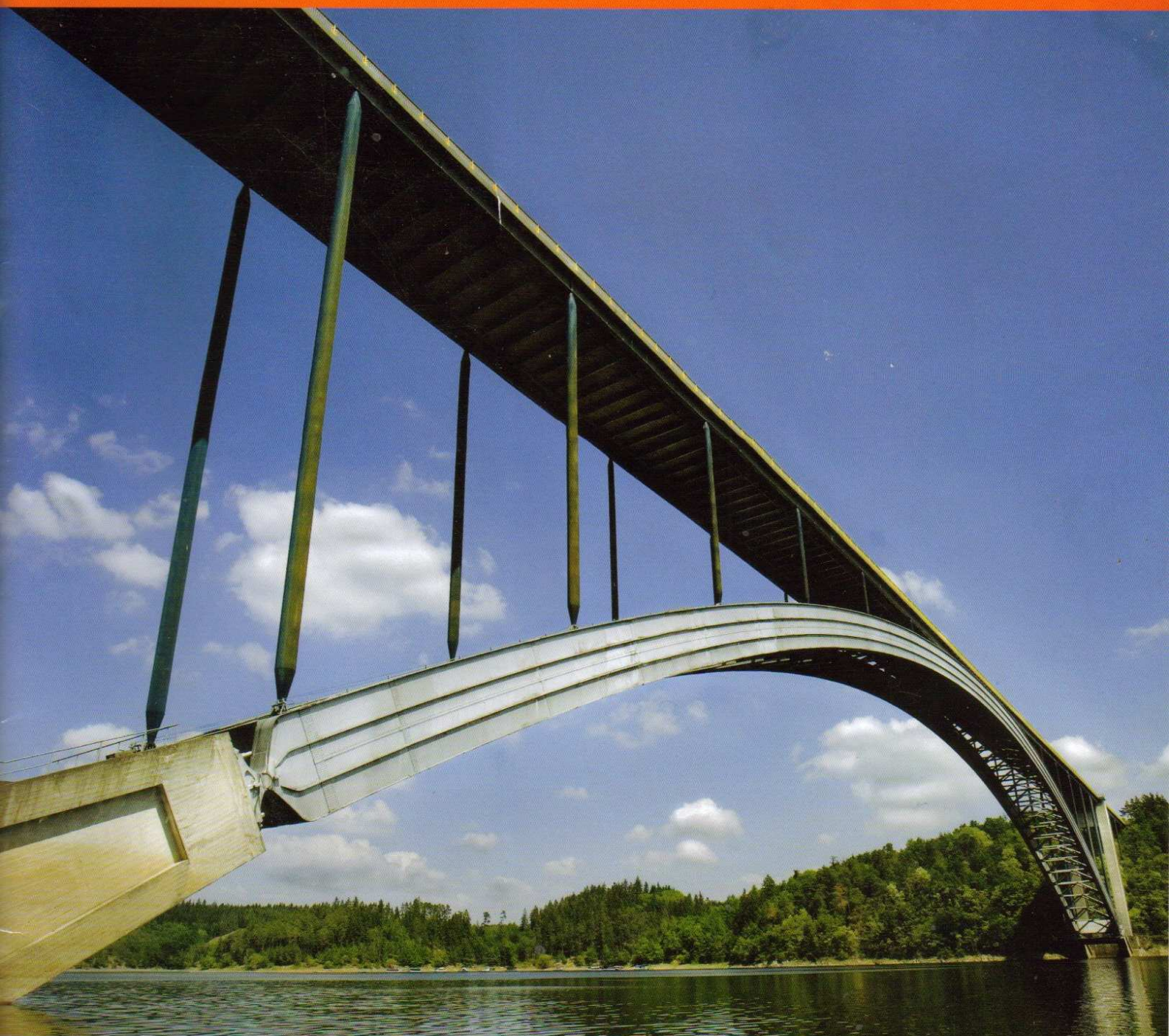
Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě
Český svaz stavebních inženýrů
Svaz podnikatelů ve stavebnictví v ČR

06-07/07

MK ČR E 17014

časopis stavebnictví

Časopis stavebních inženýrů, techniků a podnikatelů • Journal of civil engineers, technicians and entrepreneurs





▲ Žďákovský most přes Vltavu je technicky i esteticky dokonale navržené a provedené mostní dílo

Čtyřicet let Žďákovského mostu

Most přes Vltavu u bývalé obce Žďákov patří k nejkrásnějším ocelovým obloukovým mostům na světě. Most, uvedený do provozu v roce 1967, je dodnes největším plnostěnným dvoukloubovým mostem světa, který k zachycení vodorovných sil nepoužívá táhlo. Jedná se o technicky i esteticky dokonale navržené a provedené mostní dílo, které již 40 let dobře slouží dopravě a reprezentuje tradičně vysokou úroveň mostního stavitelství v České republice.

V České republice není mnoho staveb, které by se mohly pyšnit světovým primátem. Jednou z nich je Žďákovský most, postavený v období 1962–67 na silnici I. třídy, spojující Rožmitál pod Třemšínem s Milevskem a překonávající ve značné výšce údolí Vltavy, zatopené vodami Orlického přehradního jezera. Most o rozpětí středního pole 379,6 m, s ocelovým plnostěnným dvoukloubovým obloukem s rozpětím 330 m, dodnes patří mezi největší a nejznámější ocelové obloukové mosty na světě. Většího rozpětí dosahují pouze obloukové mosty příhradové nebo obloukové mosty s dolní nebo mezilehlou mostovkou, která působí jako táhlo oblouku. Žďákovský most s horní mostovkou a plnostěnným obloukem bez táhla proto drží ve své kategorii světový primát stále, neboť rozpětí 330 m

mezi klouby u tohoto typu mostu nebylo dosud překonáno. Díky tomu je známý na celém světě, byl nesčíslněkrát fotografován a objevuje se v mnoha mostářských i architektonických publikacích ve všech jazycích světa.

Historie výstavby

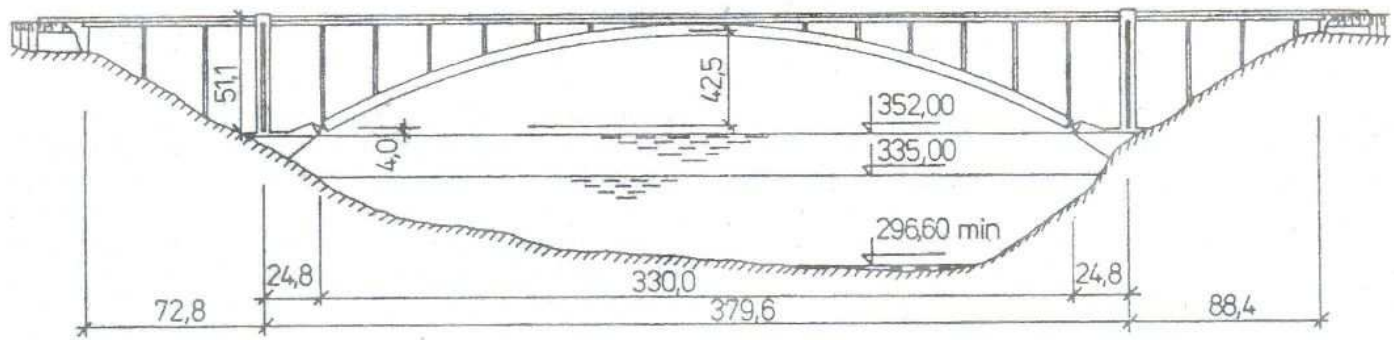
S vážnými úvahami o silničním spojení obou břehů Vltavy poblíž obce Žďákov se začalo v roce 1941, kdy byl na základě omezené veřejné soutěže, ve které byly předloženy trémové i obloukové ocelové mosty, vybrán k realizaci srpovitý příhradový oblouk s rozpětím 345 m, vyprojektovaný společně firmami Škoda Plzeň a Báňská a hutní Praha. K realizaci ale vzhledem k vystupňování válečného úsilí nedošlo a po

válce musel být projekt opuštěn, protože se mezitím rozhodlo o výstavbě vodního díla Orlík a hladina Vltavy se podstatným způsobem měla zvýšit.

Nová soutěž v roce 1954 přinesla také nové náměty a kromě ocelových variant bylo předloženo i několik projektů betonových mostů. Nejvýhodnější se zdál projekt ocelového plnostěnného oblouku o dvou polích se střední betonovou podporou, kterou bylo možno postavit ještě před napuštěním nádrže Orlík. Zpoždování prací na mostním projektu ale způsobilo, že i tato varianta byla posléze opuštěna a k realizaci byl nakonec vybrán návrh Ing. J. Zemana, Ing. A. Schindlera, CSc. a Ing. arch. B. Kohouta, s ocelovým plnostěnným obloukem.

Projekt mostu byl zpracován ve státním projektovém ústavu Hutní projekt Praha pod vedením Ing. J. Zemana. Hlavním statikem mostu byl Ing. A. Schindler, CSc., pozdější profesor a vedoucí katedry ocelových konstrukcí Fakulty stavební ČVUT Praha. Expertem a osobou významně ovlivňující všechna zásadní rozhodnutí byl prof. Dr. Ing. F. Faltus, DrSc., vedoucí Ústavu ocelových konstrukcí na Fakultě inženýrského stavitelství ČVUT, nejvýznamnější poválečný odborník na ocelové konstrukce u nás a bývalý pracovník Škody Plzeň. V souvislosti s projektem je nutné uvést i další významné odborníky Hutního projektu Praha, kterými byli zejména oceláři Ing. K. Kocourek, Ing. L. Spal, CSc. a Ing. F. Stejskal a betonáři Ing. V. Bergman, Ing. J. Prell, Ing. J. Velden a Ing. K. Tauer. Do řešení teoretických problémů se zapojili i pracovníci Akademie věd Ing. V. Březina, CSc., a problémy aerodynamiky mostu a jeho stojek řešili Ing. M. Novák, CSc., Ing. O. Fischer, CSc. a Ing. M. Pirner, CSc.

Most byl vyroben ve VŽKG (nyní Vítkovice Steel, a.s.) v ostravské



▲ Dispozice mostu s vyznačením nejvyšší a nejnižší hladiny přehradního jezera

a lískovecké (dnes již neexistující) mostárně. Dílenské výkresy byly zhotoveny v konstrukční kanceláři Vítkovic pod vedením Ing. A. Sehnala a O. Kaděry. Ocelový materiál na most byl dodán českými hutěmi, část byla dovezena také z Maďarska. Stavba mostu byla zahájena v roce 1956 a stavělo se s přestávkami až do roku 1967. Ocelovou konstrukci mostu smontovaly Hutní montáže Ostrava pod vedením Ing. L. Freislera v období 1963–65. Oproti původnímu předpokladu montáže nad nezatopeným územím se ovšem muselo montovat již nad přehradním jezerem, protože výstavba přehrady Orlík se urychlila a mostárny, přetížené dodávkami pro těžký průmysl, nestačily mostní konstrukci v požadované lhůtě dodat. Veškeré geodetické

práce při výstavbě mostu prováděl Ing. J. Herda. Most byl po doplnění spraženou železobetonovou deskou mostovky a asfaltovou vozovkou uveden do provozu v roce 1967.

Popis mostu

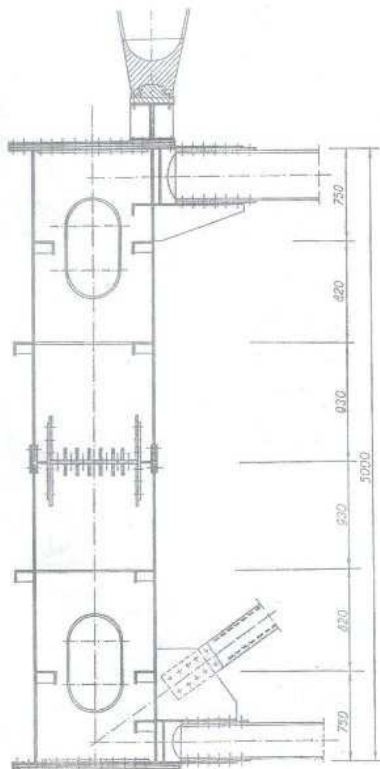
Hlavní nosná konstrukce středního pole mostu je tvořena dvěma dvoukloubovými plnostěnnými oblouky o rozpětí 330 m a vzepětí 42,5 m. Klouby oblouku jsou uloženy na železobetonových konzolách o vyložení 24,8 m. Oblouky leží ve svislých rovinách v osové vzdálenosti 13 m a jsou vzájemně spojeny podélným příhradovým ztužením při horních i dolních pásech oblouků a mezilehlými příhradovými ztužidly v radiálních rovinách. Geometrický tvar

střednice oblouku je složen ze tří kružnic.

Hlavní obloukové nosníky mají komorový průřez o výšce 5 m, s osovou vzdáleností stěn 1 m. Základní komorový průřez je svařovaný, ale stěny byly uprostřed výšky pro výrobu rozděleny a jejich podélný styk je nýtovaný. Změna průřezu oblouku po délce je provedena pomocí měnícího se počtu rovněž přinýtovaných, z dnešního pohledu poměrně tenkých pásnic. Tvar komorového průřezu je zajištěn vždy po 4 m příčnými příhradovými diafragmaty. Pod stojkami podpírajícími trámy mostovky jsou navíc uvnitř průřezu ještě plnostěnná diafragmata s průleznými otvory. Stěny komor jsou vyztuženy několika jednostrannými podélnými úhelníkovými výtuhami. Dvě z nich jsou přivařeny na vnější straně

komory a pohledově tak přispívají k optickému zestřílení průřezu. Uvnitř komorového průřezu je v polovině jeho výšky ještě podélné příhradové ztužení, které zajišťovalo tvar samostatně dopravovaných polovin oblouku při transportu i montáži. Obloukové nosníky byly vyrobeny z oceli řady S355, podle dnešního označení z oceli S355.

Podélná příhradová ztužení při horních a dolních pásech obloukových nosníků mají tvar polopříčkové soustavy. Jednotlivé pruty ztužení jsou svařeny z oceli S355 a mají kvůli tuhosti i jednoduchosti údržby komorový průřez. Připoje těchto prutů k obloukům jsou nýtované. Stejnou úpravu mají diagonály mezilehlých radiálních ztužidel a i jejich připoje jsou nýtované. Příčná ztužidla u paty oblouku jsou plnostěnná.



▲ Příčný řez obloukem mostu



▲ Pohled na ztužení konstrukce mostu

Pohled na ztužení konstrukce mostu

Patní klouby hlavních obloukových nosníků jsou ocelolitinové. Vlastní kloub se skládá z vahadla, čepu průměru 0,43 m a z úložné stolice. Pod stolicí je zabetonovaný ocelový roznášecí rošt s možností vsunout talířové lisy a polohu kloubu případně upravit. Hlavní mostní oblouky byly montovány jako trojkloubové. Vrcholové montážní klouby byly po vnesení plného stálého zatížení zrušeny, a to osazením zalícovaných středních kusů, které přímo stykovaly stěny a pásnice obou polovin oblouků. Stojky podpírají dva podélné trámy mostovky do oblouků ve vzdálenostech (v podélném směru) 23,4 m. U pylonů je osová vzdálenost stojek zvětšena až na 26 m. V příčném řezu jsou stojky umístěny nad vnitřními stěnami komorových průřezů oblouků, takže jejich vzdálenost je 12 m. Délka stojek je proměnná od 0,5 do 41,4 m. Stojky tvoří svařované kruhové trubky průměru 0,45 až 1 m. Na obou koncích jsou trubky zúženy a zakončeny ocelolitinovým kulovým kloubem. Klouby jsou konstrukčně upraveny tak, že mohou zachytit i případné tahové reakce. Tloušťka stěn

trubek je odstupňována od 10 do 15 mm. Jako zajímavost lze uvést, že dlouhé stojky byly kvůli změně vlastní frekvence dodatečně vyplněny šterkem tak, aby nedocházelo k jejich rozkmitávání větrem v důsledku odtrhávání vírů při obtékání vzduchu kolem trubky. Tento jev nebyl v projektu předvídan a když na postaveném mostě začaly stojky při určitých větrných poměrech kmitat, vyplnění šterkem situaci vyřešilo.

Mostovku tvoří dva podélné trámy, příčníky a železobetonová deska mostovky. Již bylo řečeno, že trámy mostovky jsou v osové vzdálenosti 12 m a jsou podpírány stojkami převážně po 23,4 m, u pylonů až po 26,0 m. Trámy jsou kvůli zmenšení teplotních vlivů rozděleny vloženými klouby na tři spojitě nosníky. Pevný bod je uprostřed rozpětí oblouku, na obou opěrách je trám uložen posuvně. Průřez trámu je svařované nesymetrické I o výšce 1,8 m. Trám je vyroben rovněž z oceli S355 a v horní části stěny je spojen s betonovou deskou mostovky. Na pylonech a na opěrách je trám uložen na jednoválcových ložiskách.

Příčníky jsou zapuštěné do trámů mostovky, ke kterým jsou na montáži přivařované a jsou umístěny ve vzájemné

vzdálenosti 2,6 m. Rozpětí příčníků je 12 m. Jedná se o plnostěnné svařované jednoosé symetrické nosníky průřezu I s proměnnou výškou stěny, neboť horní pásnice příčníku má střešovitý sklon 2% a dolní pásnice je vodorovná. Slabší horní pásnice je spřažená s betonovou deskou mostovky prostřednictvím přivařených kozlíků. Výška příčníků je 0,88 až 1 m. Příčníky jsou vyrobeny z oceli S235.

Deska mostovky je železobetonová, s konstantní tloušťkou 0,18 m. Deska je podpírána příčníky a staticky s nimi spolupůsobí. V místech kloubů trámu mostovky je deska rozdělena dvěma dilatačními spárami. Deska byla vybetonovaná na místě do tvarovaného bednění. Beton desky je podle projektu B250, pozdější diagnostikou byla zjištěna kvalita odpovídající dnešnímu betonu C25/30. Deska výrazně přispívá k vodorovné tuhosti relativně velmi úzkého (vzhledem k rozpětí) mostu.

Na mostě je vozovka šířky 10,5 m a dva chodníky šířky 1,25 m. Celková tloušťka vozovkového a izolačního souvrství činí 0,12 m, chodníkového souvrství 0,05 m. Výška obrubníků je 0,18 m. Na vnější straně chodníků je zábradlí výšky 1,05 m.

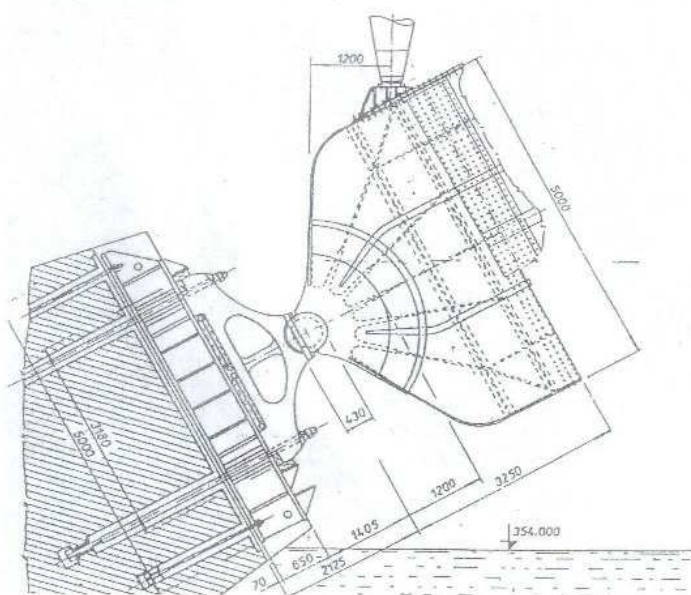
Dvoudířkové železobetonové pylony jsou v osové vzdálenosti 379,6 m a jsou 46,9 m vysoké. Jeden dířek pylonu má rozměr 4,8x3,3 m. Ve vrcholu jsou oba dířky propojeny rámovou příčlím. Ze základu pylonu vybíhají železobetonové konzoly o vyložení 24,8 m. Na těchto konzolách je uložen ocelový oblouk mostu.

Celková délka ocelové konstrukce mostu je 541,94 m a celková šířka mostu 13,5 m. Hmotnost ocelových konstrukcí celkem je 4465 t, což vztaheno na plochu mostu 7050 m² dává spotřebu 633 kg/m². Z toho ocel jakosti S355 tvoří 3304 t (74 %) a ocel jakosti S235 zbylých 1161 t.

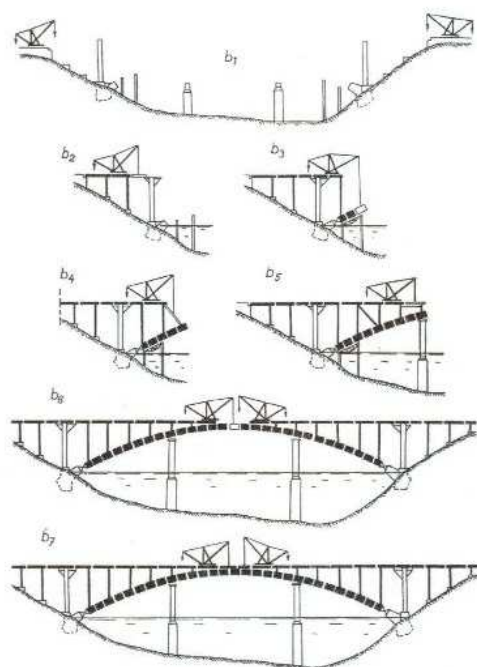
Oprava mostu v roce 1998

Až do roku 1998 byl Žďákovský most v nepřetržitém provozu, neprodělal žádnou větší opravu, prováděla se pouze pravidelná obnova nátěrů konstrukce. Pouze v roce 1992 byla provedena generální oprava vozovky na mostě, včetně opravy izolace. Opticky most na konci devadesátých let vypadal velmi dobře.

Proto bylo velkým překvapením, když se v rámci pravidelné údržby koncem léta roku 1998 zjistilo,



▲ Ocelolitinový patní kloub hlavního obloukového nosníku



▲ Montáž oblouku Žďákovského mostu

že v trámu mostovky je dlouhá svislá trhlinka. Po důkladné prohlídce byly objeveny ještě dvě podobné trhlinky. Most byl po objevení trhlin ihned preventivně pro veškerý provoz uzavřen, což činilo velké dopravní potíže a doprava autobusy musela např. být zorganizována tak, že jeden autobus před mostem zastavil, cestující most přešli a na druhé straně nastoupili do čekajícího nového autobusu. Velmi rychle bylo proto nutné most opravit. Zejména bylo ale nutné stanovit příčiny vzniku trhlin a navrhnout opatření, která dalším poruchám na mostě předejdou.

Po prohlídce trhlin, předběžných výpočtech a zhodnocení situace bylo rozhodnuto provést rychlou opravu tak, že se postižená místa v celé výšce stojiny přeplátovala jednostrannými příložkami z vnější strany. Příložky byly navrženy tak, aby byly schopny přenést nejnepříznivější namáhání stojiny a opravené místo tak nebylo slabým místem konstrukce. Opravu provedly Hutní montáže Ostrava na podzim roku 1998 a po cca dvou měsících mohl být most znovu otevřen pro provoz.

Příčina vzniku trhlin byla také poměrně rychle objevena. K poškození stojiny trámu mostovky došlo v důsledku zmrznutí vody, která se zachytila v uzavřené výtuzě stojiny, tvořené úhelníkem. Voda do uzavřeného prostoru mezi stěnou trámu

a svislou výtuzou vnikla zřejmě netěsnostmi ve svarech, což se při projektování nepovažovalo za možné. Preventivně proto byly všechny uzavřené výtuzy stojiny po celé délce mostu v dolní části provrtány, takže k nahromadění vody zde ani v budoucnosti již nedojde. Odvrtné dutiny byly opatřeny protikorozní ochranou na bázi parafinů.

Poznamenejme ještě, že se již delší dobu vědělo, že revizní lávky na Žďákovském mostě jsou zcela nefunkční. Pro kontrolní prohlídky trámu mostu se v důsledku toho používala mobilní plošina pojezdějící po mostě a prohlídky a údržbu oblouků museli provádět horolezci. V roce 1999 proto Ministerstvo dopravy ČR uvolnilo prostředky na instalaci nových revizních zařízení. Přístup k mostní konstrukci nyní zajišťují tři pohyblivé lávky, jedna lávka pojezdí na obloucích a dvě pod trámem mostovky. Výměnu revizních lávek provedly také Hutní montáže Ostrava.

Přepočet mostu

V souvislosti s hledáním příčin vzniku trhlin byl proveden přepočet mostu, který současně sloužil i pro stanovení zatížitelnosti mostu, která až do doby poruchy nebyla stanovena. Veškeré projektové práce zajišťoval Pontex Praha ve spolupráci s Fakultou stavební

ČVUT v Praze. Pro přepočet mostu byl vytvořen prostorový výpočetní model co nejuvěstnější zachycující skutečnou konstrukci. Výsledky přepočtu byly porovnány s původními výpočty a ukázalo se, že někdejší ruční výpočty velmi dobře souhlasí s novými výpočty.

Výpočet zatížitelnosti mostu byl proveden podle ČSN 736220. Zglobální statické analýzy konstrukce na prostorovém modelu byly získány silové veličiny, které byly uplatněny do výpočtu zatížitelnosti. Postupně byla stanovena zatížitelnost desky, příčníků, trámu mostovky, stojek, oblouků a prutů ztužení. S ohledem na velký počet různých prvků byl výpočet pracný a časově náročný. Zatížitelnost oblouků byla stanovena pro vnitřní síly, které byly vypočteny na prostorovém modelu z výpočtu podle teorie druhého řádu pro šest nelineárních kombinací zatížení na konstrukci bez geometrických imperfekcí.

Z přepočtu vyplynuly následující zatížitelnosti:

- normální – 32 t limitována oblouky;
- výhradní – 102 t limitována příčnický;
- výjimečná – 273 t limitována stojkami.

Současně bylo vypočítáno, že pro zatížení podle ČSN 73 6203 jsou oblouky a trám mostovky využity téměř na 100 %, ostatní

hlavní nosné prvky na 65 až 91 % jejich únosnosti.

Závěr

Dokonalé a téměř shodné využití hlavních nosných prvků Žďákovského mostu, tj. trámu mostovky a oblouků, ještě jednou potvrdily vynikající práci statiků před více než 40 lety. Díky nim Žďákovský most dobře slouží dopravě a stále ještě dělá radost českým inženýrům i stavitelům mostů. Na tomto konstatování nic nemění ani výše popsaná porucha z roku 1998. Při opravě byly odstraněny příčiny jejího vzniku, takže v budoucnu nebude opakovat a s jistotou lze předpokládat, že se Žďákovský most dožije své projektové životnosti 100 let. ■

Další fotografie naleznete na: www.casopisstavebnictvi.cz

autoři

Doc. Ing. Tomáš Rotter, CSc. (*1947). Docent na Fakultě stavební ČVUT v Praze. Specializace: ocelové mosty, únava a křehký lom ocelových konstrukcí
E-mail: rotter@fsv.cvut.cz

Prof. Ing. Jiří Studnička, DrSc. (*1940). Profesor na Fakultě stavební ČVUT v Praze. Specializace: spřažené ocelobetonové konstrukce, tenkostěnné ocelové konstrukce
E-mail: studnicka@fsv.cvut.cz

inzerce



tradiční výrobce a dodavatel širokého sortimentu betonových stavebních prvků

B&BC, a.s.

Sokolská 464, 330 22 Zbůch
tel.: 377 199 111
fax: 377 931 082
e-mail: prefa@babbc.cz
http: www.babc.cz

obchodní zastoupení
Praha a střední Čechy
tel.: 724 217 243

obchodní zastoupení
České Budějovice
tel.: 724 031 138



Vlastním stavebním střediskem zajišťujeme pokládku dlažby a montáž plotů.

www.babc.cz

Betonové zámkové dlažby

Obrubníky, žlaby

Šachtový program

Trubní program

Tvárnice základové a zdicí

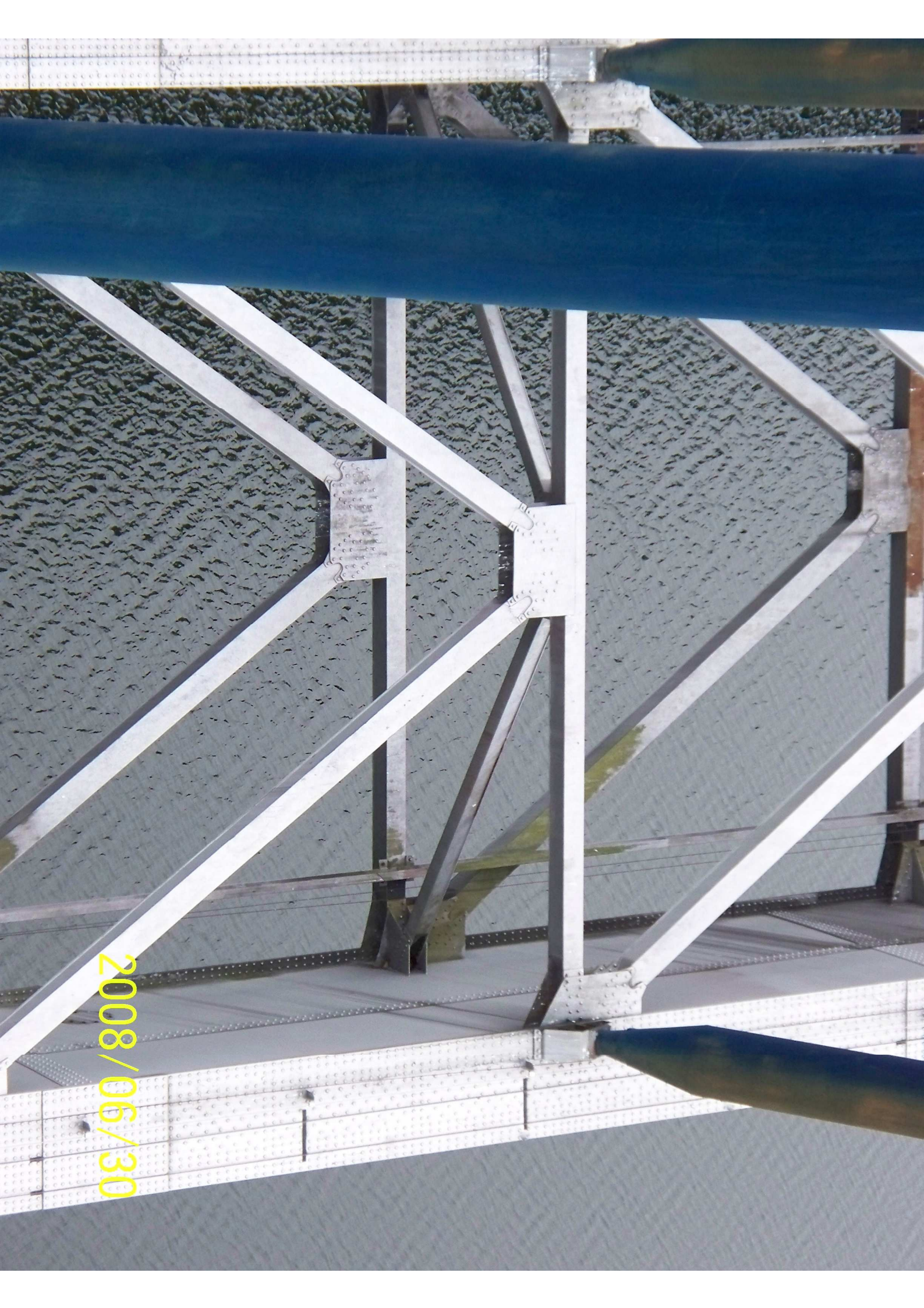
Stropy – filigrány, PZD

Okrasné květinové nádoby

Transportbetony



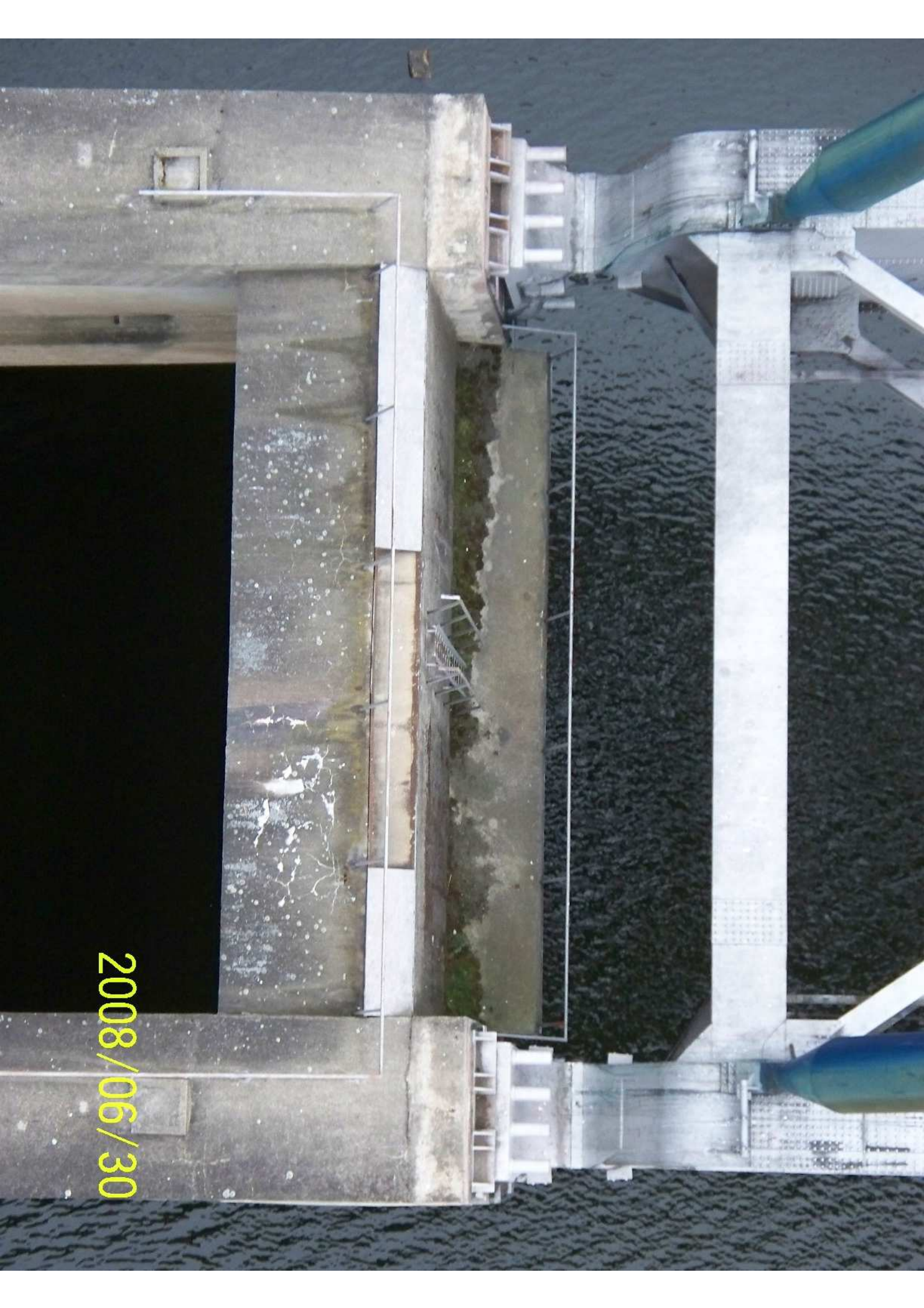
2008/06/30



2008/06/30



2008/06/30



2008/06/30



2008/06/30