

VODNÍ DÍLO ANGAT A JEHO VYUŽÍVÁNÍ

Pavel Bláha¹, Roman Duras¹, Jan Fousek¹, Jitka Novotná¹

Abstract

We cannot imagine life without water. We owe water to the origins of life, its duration and existence. However, it holds true, just like in many other cases, that we can have too much of a good thing. We want to show in this paper what it has to be done for the Capital of the Philippines, Manila, to have enough water and what happens when the source area Angat is affected by the phenomenon with excess water, a typhoon. The Czech Republic, within development cooperation, participates in the preparation of a system of the safest possible operation of the Angat hydraulic structure. It is necessary to design and ensure such an operation of the hydraulic structure which would be as little sensitive to natural disasters as possible. It has turned out that the most sensitive place is the diversion tunnel which transfers water from the Umiray River to the Angat reservoir.

Klíčová slova

zásobování vodou, přehrada, termické měření, tunel, dálkový průzkum

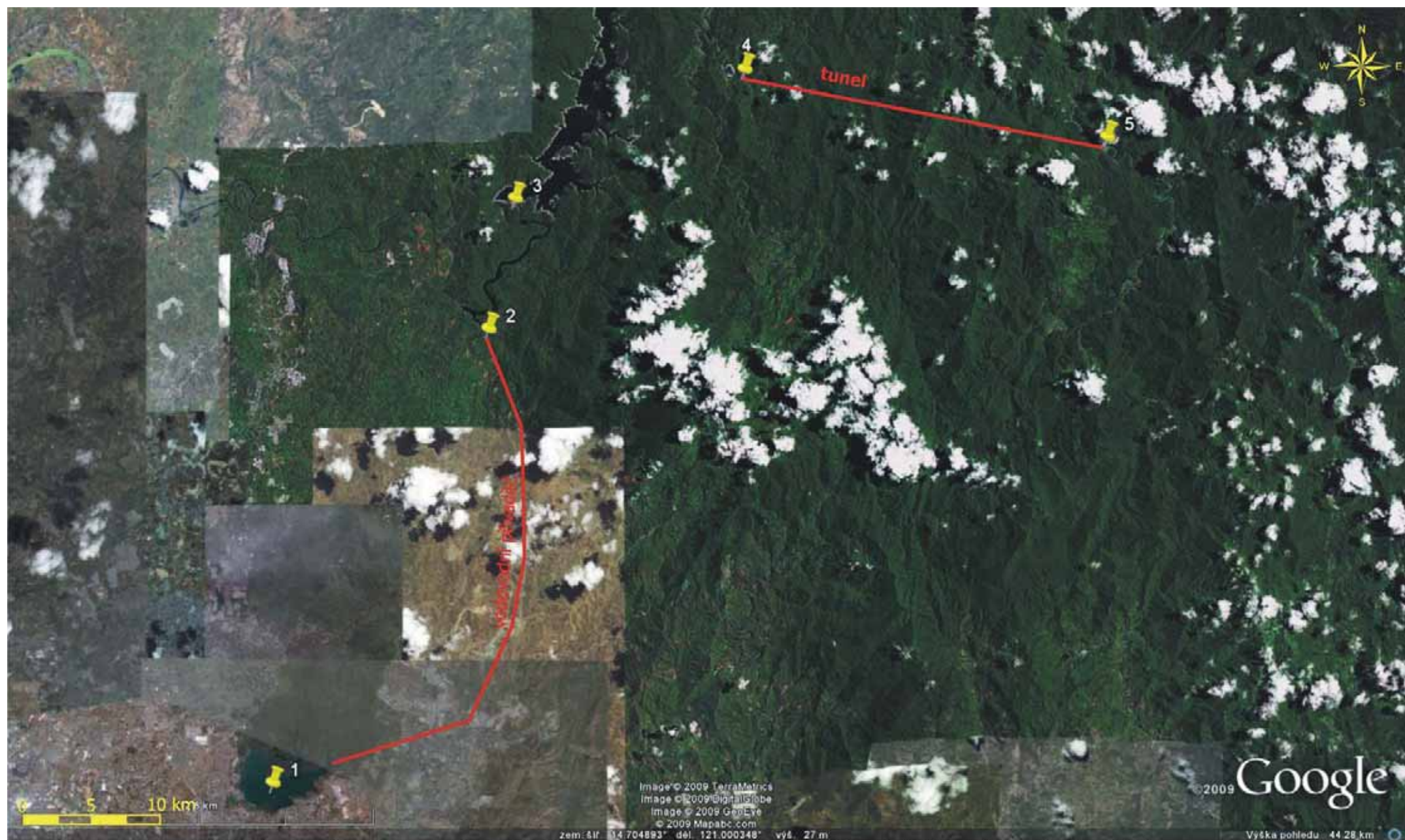
1. Úvod

Lidská civilizace je od svého počátku vázána na přírodní zdroje, a to jak na zdroje surovin, tak na zdroje energie. S vývojem lidského rodu se požadavky na druhy surovin i zdroje energií měnily snad s jedinou výjimkou. Tou byla voda. Nikdy však nebyly změny v požadavcích na suroviny tak rozsáhlé, jako v druhé polovině dvacátého století a na počátku století jedenadvacátého. Zásobování člověka potřebnými surovinami si vyžaduje čím dál tím větší a důmyslnější stavby. To se týká, jak surovin potřebných a nutných pro bezprostřední život člověka, tak surovin potřebných k dalšímu civilizačnímu pokroku.

Pro zásobování hlavního města Filipín, Manily, a celé přilehlé aglomerace bylo v nedalekém horském masívu pokrytém tropickou vegetací vybudováno vodní dílo Angat (obr. 1 a 2), které pokrývá až 90 % spotřeby vody hlavního města. Když si uvědomíme, že jde o zásobování regionu s minimálně deseti miliony obyvatel, představuje případné přerušení dodávky vody nemalý problém. Přehradní hráz



Obr. 1 Ostrov Luzon, Manila a vodní dílo Angat
(upraveno z GoogleEarth, Microsoft Encarta)



vodního díla byla vybudována na stejnojmenné řece v šedesátých letech dvacátého století. Samotná rockfillová hráz má výšku 133 metrů a zadržuje při plném vzduť jezero o objemu cca 700 milionů kubických metrů vody. Voda z vyrovnávací nádrže IPO je dopravována do malé přehrady MESA na předměstí Manily s úpravnou vody potrubím o průměru 3000 mm a délce 20 kilometrů (obr. 3). Z úpravny je dále rozváděna po celé aglomeraci. Pro středoevropana představuje vedení rozvodů vody v metropoli spolu s měřicí technikou nad terénem skutečně nezvyklý pohled.

Se stoupající spotřebou vody se ukázalo, že řeka Angat není již schopna plnit přehradní jezero. Proto byl na počátku devadesátých let vybudován tunel, který převádí vodu ze sousední řeky Umiray do retenčního prostoru Angat. Tunel dlouhý 13 kilometrů o průměru 3,8 metru přivádí do přehradního jezera běžně 13 m³ vody za vteřinu. V době dostatku vody v řece Umiray se toto množství zvyšuje až na 24 m³/s.

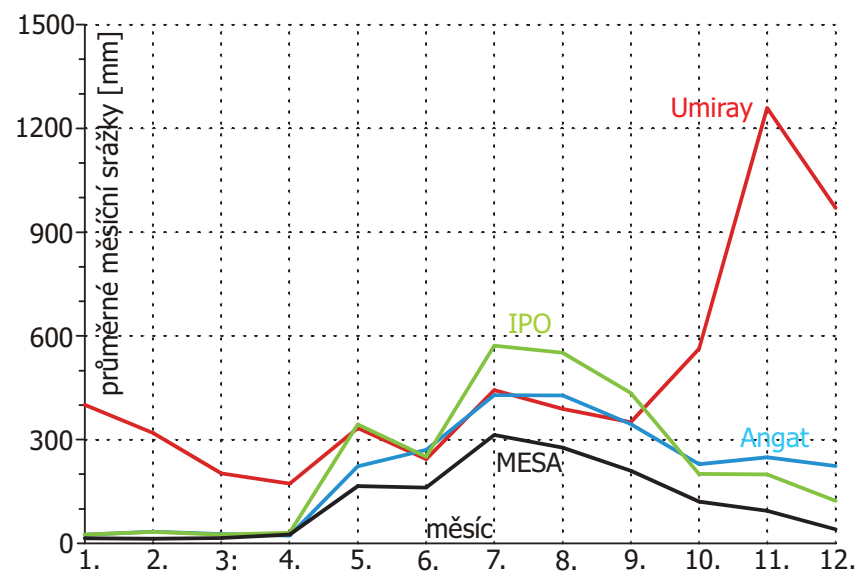


Obr. 3 Přehrada MESA a úpravna vody

2. Přírodní podmínky

Zájmová oblast ležící v tropickém pásmu na západě Tichého oceánu je pod vlivem vzdušného proudění z oceánu na pevninu. Množství srážek je silně ovlivňováno polohou místa a vyznačuje se jejich nerovnoměrností během roku. Střední měsíční srážky na jednotlivých objektech vodního díla Angat jsou uvedeny na obrázku 4. Období sucha od ledna do března je vystřídáno obdobím tajfunů, kdy se průměrné měsíční srážky znásobují. Tomuto trendu se vymyká oblast Umiray ležící v blízkosti pobřeží na návětrné straně ostrova. Zde má průběh srážek nejen jiný charakter, ale výrazně jiné je i celkové množství srážek, které spadne během roku. Jestliže v Manile spadne v průměru 1460 milimetrů za rok, v okolí Angatu 2500 milimetrů za rok, pak v oblasti Umiray je to už 5650 milimetrů za rok. Největší rozdíly mezi sledovanými místy jsou v listopadu a prosinci, případně i v lednu. Vysoké srážky v povodí řeky Umiray a tudíž i vysoké průtoky v této řece byly důvodem, proč bylo přikročeno k ražbě tunelu přivádějícího vody z této řeky do přehradního jezera Angat.

Filipínské souostroví leží na tzv. filipínské desce, pod kterou se podsouvá deska pacifická. Severní a východní část ostrova Luzon náleží k tzv. východofilipínskému úseku mladoalpid. Podkladem je komplex krystalických



Obr. 4 Průměrné měsíční srážky na VD Angat

hornin předsvrchnokřídového stáří. Na nich leží diskordantně mladší sedimenty miocénního stáří místně překryté ve svrchní části bazaltovými příkrovy. Mocnost celého komplexu je až 8000 metrů. V jeho středu se nalézají tělesa gaber a granodioritů. Po hiátu koncem miocénu následuje sedimentace pískovců překrývaná často příkrovy vulkanitů bazalto-andezitového složení. Mladý vulkanismus, hluboká zeměřesení a blízkost Filipínského příkopu charakterizují nekonsolidovanou geologickou stavbu a naznačují zvýšené geologické riziko pro celý komplex vodního díla.

Oblast projektu leží uvnitř jižní části pohoří Sierra Madre probíhající severojižním směrem. Geologický podklad je tvořen metamorfovanými horninami spodní křídly (Katablingan Metamorphic) a svrchně křídovým mafickým komplexem (Bosoboso Mafic Komplex, Barenas Baito Formation). Tyto geologické jednotky jsou překryty svrchně křídovými až paleocenními, svrchně eocenními až spodně oligocenními a středně miocénními formacemi. Pozdně křídové až paleocenní formace jsou na východě tvořeny vrstvami Kanan a na západě vrstvami Kinabuan. Hlavní magmatickou aktivitou během tohoto období je intruze granodioritu Lupa, především do vrstev Kanan a Barenas Baito. Spodní eocenní vrstvy Maybangain jsou konkordantně uloženy nad vrstvami Kanan a diskordantně nad vrstvami Kinabuan. Svrchní eocén až spodní oligocén je zastoupen vrstvami Bayabas. Do nich intrudoval ve spodním oligocénu dioritový masív Antipolo. Středně miocénní jednotky jsou tvořeny formacemi Angat v západní a Tignoan ve východní části jižní Sierry Madre.

3. Tajfun Winnie – Nanmadol

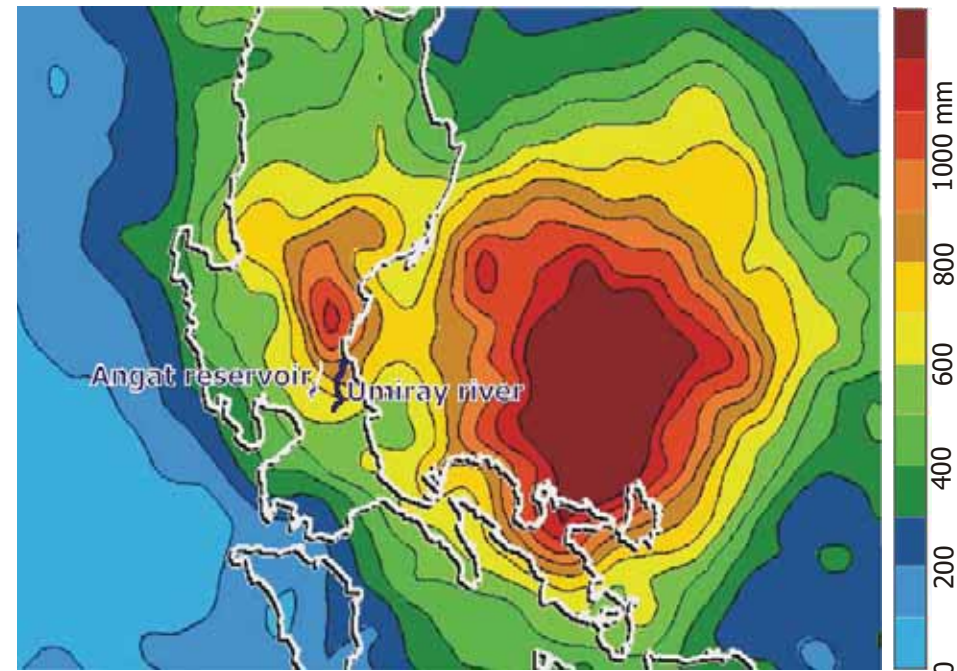
Podobně, jako byla existence člověka po celou dobu jeho vývoje závislá na přírodních zdrojích, je i ohrožována přírodními katastrofami. Zdá se, že čím je lidská civilizace vyspělejší, tím je i zranitelnější. Poškození lidských výtvarů jakoukoli přírodní pohromou vždy znamenalo, znamená a bude znamenat ekonomické ztráty a v těch nejzávažnějších případech i ztráty na lidských životech. Je otázkou, nakolik jsou přírodní katastrofy vyvolávány rozvíjející se civilizací (globální oteplování, kácení deštných pralesů apod.). Některé z nich ani člověk vyvolat a ovlivnit nemůže. Ty bývají většinou nejbolestnější. Bohužel, události z konce roku 2004 v jihovýchodní Asii jsou toho jednoznačným důkazem.

Život člověka poznamenávají nejen katastrofy globálního charakteru, ale i neblahé události místní či regionální. Do těch můžeme počítat i ničivé účinky tropických tajfunů. Tajfun Nanmadol tlakové níže Winnie, který postihl Filipíny v prosinci 2004, je typickým příkladem těchto událostí. Jeho následky ohrožily i zásobování hlavního města Filipín – Manilu – pitnou vodou. Dráhu tajfunu je možné spatřit na obrázku 5. Manila je zásobována vodou z vodního díla Angat, které jak již bylo zmíněno, zajišťuje až 90 % spotřeby vody v hlavním městě. Když si uvědomíme, že je ohroženo zásobování regionu s minimálně deseti miliony obyvatel, představuje toto ohrožení nemalý problém.

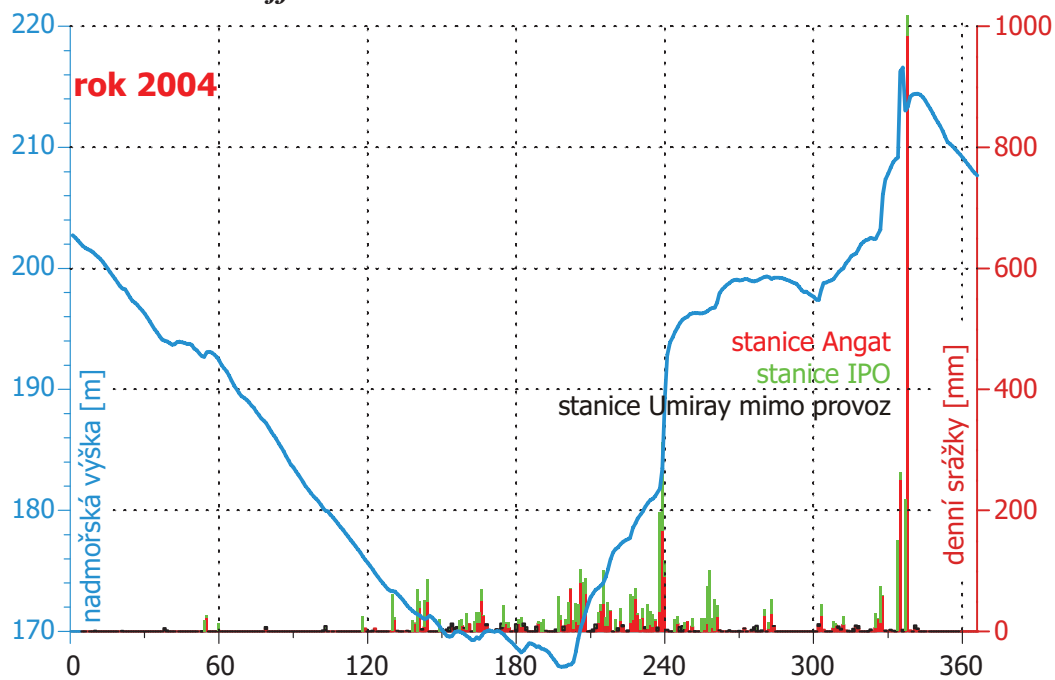
Na počátku prosince 2004 vyvolala rozsáhlá tlaková níže Winnie tajfun Nanmadol, který postihl rozsáhlou oblast západního Pacifiku. Podle údajů zveřejněných na serveru www.trmm.gsfc.nasa.com dosáhly srážky na ostrově Luzon katastrofálních hodnot. Dešťové srážky během tajfunu dosáhly na Luzonu úrovně až přes 1200 mm (obr. 6). Obdobné hodnoty byly naměřeny i na Taiwanu. Je možné říci, že na Luzonu srážky prakticky nikde neklesly pod 500 mm a v okolí vodního díla Angat dosáhly hodnot přes 800 mm. Na měřicí stanici na přehradě Angat bylo naměřeno 3. prosince 986 mm srážek (obr 7). Místní vzdušné proudění, spolu s členitým terénem, výrazně ovlivňovaly



Obr. 5 Dráha tajfunu Nanmadol



Obr. 6 Srážky tajfunu Nanmadol (podle trmm.gafc.nasa.com)



Obr. 7 Srážky a hladina vody v nádrži Angat v roce 2003



Obr. 8 Břehy Angatu dva měsíce a dva roky po tajfunu

úhrn srážek v jednotlivých lokalitách. Na stanici IPO vzdálené cca čtyři kilometry bylo naměřeno pouze 33 mm. Je pravděpodobné, že místní rozdíly mohly celkový úhrn srážek ještě zvětšit, ale naopak i zmenšit.

Je samozřejmé, že takovéto extrémní poměry (srážky, vítr, kolísání hladiny) se musí projevit i na krajině v okolí vodního díla. V průběhu tajfunu byly břehy nádrže zbaveny veškeré vegetace. Postižení sahlo nejen do výšky vzduť nádrže, ale vlivem vlnobití (vyvolané tajfunem) byl stržen rostlinný pokryv až do výše odpovídající maximálním vlnám. Měli bychom si uvědomit, že proudění vzduchu během tajfunu Nanmadol dosahovalo rychlosti až 320 km/hod. Břehy nádrže byly díky zmíněným jevům postiženy až do úrovně 230 mm (obr. 8). Avšak díky samoregeneračním schopnostem tropické přírody byly do dvou let od tajfunu Nanmadol svahy nádrže již znovu zarostlé travinami a nízkými keři (vložená foto na obr. 8).

Během tajfunu docházelo jak k erozi dešťovým ronem tak k enormnímu vsakování vody do pokryvu s častým následným ztekucením sutí a hlín a k jejich odtékání po svazích do potoků a řek (obr. 9 a 10). Jen samotný pohyb takových těles vyvolává katastrofální následky. Rychlost pohybů těchto svahových deformací je velmi vysoká a může dosáhnout až desítek kilometrů za hodinu. V případě neobydleného tropického pralesa dochází „pouze“ k devastaci rostlinného pokryvu. Akumulační části svahových deformací byly v řekách okamžitě rozmyty a odneseny do údolí dále po vodě nebo až do vlastní nádrže Angat. Objemová hmotnost směsi vody a unášeného materiálu se v tomto okamžiku může zvýšit až na $1,4 \text{ g cm}^{-3}$, a tím zvýšit erozní činnost řek. Břehy řeky Umiray byly takto zbaveny veškeré vegetace a kvartérního pokryvu až do výšky deseti metrů nad obvyklou úroveň hladiny vody v řece (obr. 10 dole).

Je samozřejmé, že svahové deformace jsou určitým způsobem klasifikovány. Pokud se budeme držet klasifikace Němčok, Rybář, Pašek (1974) pak všechny svahové deformace, které proběhly v okolí vodního díla Angat byly typu tečení. Velká většina z nich měla proudový charakter (obr. 9 vpravo dole), deformace plošného typu se vyskytovaly jen řídce (obr. 9 vlevo dole). Naopak relativně častý jev by bylo možné nazvat „stékání“ sesuvů (obr. 10 vpravo nahoře). Často se stávalo, že zemní proudy využily predisponovaných depresí a tekly v různých korytech malých potoků či v erozních rýhách. Pak již nebyl problém, aby se jednotlivé proudy setkávaly a postupně vytvářely mohutnou svahovou deformaci. Vzhledem k charakteru přemísťovaného materiálu (v nomenklatuře příbuzných oborů by se mluvilo o těžkých kapalinách) nedocházelo, nebo nám to alespoň není známo, k přehrazování toků, v jejichž údolích pohyb zemních proudů končil. K jedinému uzavření toku řeky Macua došlo pod objektem malé vodní elektrárny v místě umělého průpichu řeky Macua skalním masívem (průpich je na obrázku 16) v místech, kde svahové deformace nebyly zjištěny.

Specifickým problémem vyvolaným svahovými deformacemi byl transport tropické vegetace. Je samozřejmé, že bahnotoky byly strženy nejen drobné formy rostlinného pokryvu, ale i vzrostlé stromy, většinou vzácných exotických dřevin. Značná část tohoto organického materiálu skončila na hladině přehradního jezera. Provozovatel přehrady má pro tyto účely speciální plavidlo, kterým stromy odklízí z přehradní nádrže, aby nedocházelo k jejich rozkladu a tím znehodnocování zadržované vody. Protože v místě vodního díla platí zákaz těžby a odvozu tropických stromů, byly kmeny používány na místě pro rekonstrukci poškozených objektů, nebo k výstavbě objektů nahrazujících stržené stavby. Bylo zajímavé sledovat, jak místní dělníci pomocí řetězových pil na místě vyrábí potřebné trámy nebo prkna, či jiný požadovaný dřevěný materiál.



Celkový pohled na pohoří Sierra Madre (foto EDCOP)



Pohled na svah postižený zemními proudy a bahnotoky



Plošná deformace (foto EDCOP)



Ploudová deformace (foto EDCOP)

Obr. 9 Svahové deformace v pohoří Sierra Madre po tajfunu Nanmadol



Zemní proudy na břehu řeky Umiray



"Stékání" zemních proudů (foto EDCOP)



Zemní proudy a boční eroze řeky Umiray



Eroze a ukládání organického materiálu

Obr. 10 Svahové deformace v okolí řeky Umiray

4. Problematika jednotlivých staveb

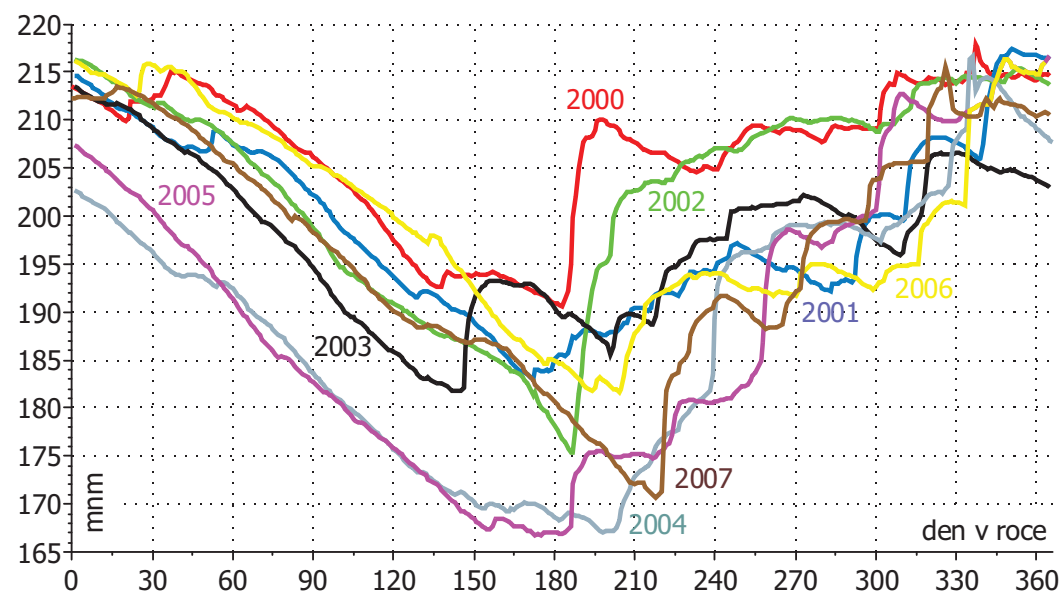
Součástí české rozvojové pomoci byla i snaha zajistit dokumentaci stavu všech staveb vodního díla Angat po přechodu tajfunu s jedinou výjimkou a tou byla vlastní hráz vodního díla a všechny k ní přilehlé objekty (boční hráz, bezpečnostní přeliv, vodní elektrárna a objekty správy díla). Ke všem ostatním stavbám (přehradní jezero, vtokový objekt, výtokový objekt s malou vodní elektrárnou a derivační tunel) jsme zaujali stanovisko či doporučení, která vycházela z českých předpisů a zvyklostí. Ne všechny stavby jsou dokumentovány ve stejné míře. Práce probíhaly podle požadavků filipínské strany a přizpůsobovaly se vývoji situace na lokalitě.

4.1 Přehradní jezero

Vodní dílo Angat využívají dvě organizace: NPC (National Power Corporation) vyrábějící elektřinu a MWSS (Metropolitan waterworks and sewerage system) zásobující pitnou vodou aglomeraci Manila. Organizace NPC se v převážné míře stará o vlastní přehradní jezero, MWSS o systém objektů spojujících přehradu Angat s řekou Umiray. Je otázkou, zda tento systém obhospodařování díla je užitečný a zda spolupráce obou firem funguje tak, že může nahradit péči jednoho uživatele.

Vzhledem k tomu, že přehrada je v hlavní míře určena pro zásobování obyvatel pitnou vodou, není překvapující vysoké kolísání hladiny (obr. 11). Z obrázku je patrné, že maximální kolísání dosahuje přes 40 metrů. Minimální změna hladiny v jednom roce byla 27 metrů, a to v roce 2000. V dalších letech se změny blíží maximální hranici 40 metrů. Je zajímavé, že hladina vody v nádrži nekoresponduje s množstvím srážek v jednotlivých měsících. Na její úroveň má zřejmě vliv měnící se spotřeba vody a případně i množství vody používané k výrobě elektřiny.

V rámci pobytu českých inženýrských geologů bylo v roce 2008 započato s fyzickou základní dokumentací břehů nádrže vodního díla Angat. Břehy byly kontrolovány prohlídkou z lodi za doprovodu pracovníků MWSS. Celá prohlídka byla zaznamenána na videozáznam pro kamerální vyhodnocení břehových změn. Souběžně s videozáznamem byla pořizována i fotodokumentace. Při prohlídce břehů nádrže bylo konstatováno, že v zátopě přehrady existuje fenomén břehových změn. Bylo zjištěno, že existují indicie o fosilních svahových deformacích, které vznikly s pravděpodobností hraničící s jistotou před vybudováním vodního díla. Dále byly zjištěny drobné (obr. 12 vlevo nahoře) a střední (obr. 12 vpravo nahoře) sesuvy. Zároveň bylo konstatováno, že na mnoha místech existují na březích nádrže projevy břehových změn, které



Obr. 11 Úroveň hladiny vody v přehradním jezeře Angat



Drobné sesuvy na březích Angatu



Střední sesuvy na březích Angatu



Břehové změny - "lavičkování"



Sufozní jevy na březích Angatu

sufozní otvory

Obr. 12 Břehové změny na březích Angatu

bývají nazývány „lavičkování“ (obr. 12 vlevo dole). Dalším jevem zaznamenaným na březích nádrže Angat je sufoze v písčitých uloženinách (obr. 12 vpravo dole). Někdy se sufozní otvory sdružují do řad či sufozních hnízd. Tento jev není výjimečný, na druhé straně však nezpůsobuje výrazné deformace břehů nádrže. Konstatovali jsme, že žádný ze zjištěných projevů břehových změn není nebezpečný pro provoz vodního díla.

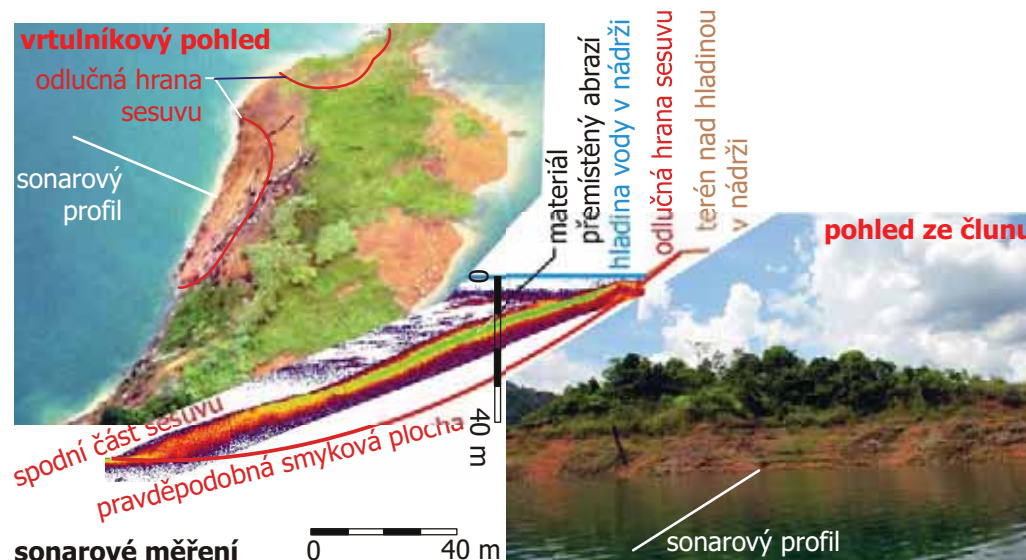
Podle videozáznamu je možné kdykoli započít s rajónováním břehů nádrže z hlediska abrazního přetvoření a stability. Na Geotestu je rozpracovávána metodika, jak tento úkol splnit pomocí televizního záznamu prohlídky břehů a souběžného zaznamenávání trasy plavby s pomocí GPS.

Při kontrole pravého břehu bylo realizováno i pokusné sonarové měření s cílem identifikovat tvar dna nádrže v místě, kde byla předpokládána existence svahové deformace. Výsledky měření jsou uvedeny na obrázku 13. Při zpracování daného území jsme použili všechny způsoby dokumentace, které byly k dispozici. Výsledek je srovnáním sonarových měření, videozáznamu kontrolní plavby, měření polohy pomocí GPS a fotodokumentace letecké prohlídky lokality i obhlídky zájmového území z lodi. Moderní sonarové aparatury umožňují určit nejen průběh dna nádrže, ale podávají i informace o jeho charakteru. V našem případě jsou zeminy pod vodní hladinou do hloubky cca 30 metrů silně rozbředlé. Můžeme tedy prohlásit, že jsou z převážné míry tvořeny kvartérními sedimenty rozmytými abrazí, způsobenou vlněním při velkém kolísání hladiny vody v nádrži, a následně přemístěnými do větších hloubek. Pro konstatování faktu, že tato část břehu je postižena sesouváním, je zjištěný tvar dna v hloubce 30 až 50 metrů. Ve spodní části svahu vidíme jeho „vyboulení“, které je typické pro sesuvy. To, spolu s možností určit odlučnou oblast z prohlídky území z vrtulníku i z lodi, nás vede k přesvědčení, že tato část břehu je postižena sesouváním.

Obvyklou typologii abrazního přetváření břehů na přehradních jezerech jsme pro potřeby rajonizace břehů přehrady Angatu upravili následovně:

- abrazně akumulační břeh;
- abrazně erozní břeh;
- diskontinuitní abrazně erozní břeh;
- abrazně sesuvný břeh;
- neutrální břeh.

Běžná klasifikace byla rozšířena o typ diskontinuitního abrazně erozního břehu.



Obr. 13 Sesuv na přehradě Angat a sonarové měření



Výtokový objekt a MVE, před tajfunem (foto EDCOP)



Výtokový objekt a MVE, po tajfunu (foto EDCOP)



Pozemní pohled na výtokový objekt a MVE (foto EDCOP)



"Pravé zavázání mostu" (foto EDCOP)

Obr. 14 Výtokový objekt a malá vodní elektrárna



Organické znečištění tunelu (foto EDCOP)



Znovuobjevené trafo (foto EDCOP)



Ruční čištění tunelu (foto EDCOP)



Interier malé vodní elektrárny

Obr. 15 Neprůchozí tunel a malá vodní elektrárna

Abrazně erozní břeh má vytvořený jeden abrazní srub v úrovni nejčtenější hladiny. Srub je zpravidla jednotného či plynule proměnného sklonu. Vytváří se v horninách, které jsou proti abrazi spíše odolnější. Diskontinuitní abrazně erozní břeh – „lavičkování“ – má vytvořenu sérii drobných abrazních srubů v úrovních, které odpovídají úrovním hladin s určitou četností výskytu. Vytváří se zpravidla v méně odolných a hustě rozpukaných skalních horninách, kde je orientace diskontinuit v kombinaci s orientací břehu a směrů převládajících větrů vzniku „laviček“ příznivá.

Dále rozlišujeme typ abrazně sesuvného břehu od typů abrazně akumulárního či abrazně erozního v sesuvných oblastech. Abrazně sesuvný typ se vytváří z abrazně erozního poté, co objem horniny nad abrazním srubem ztratí stabilitu a vyvine se zde sesuv (plošný, proudový), to znamená, že dojde k pohybu horniny evidentně nad úrovní nejvyšší hladiny vody v nádrži. Tento typ abrazního přetvoření je nutno odlišit od abraze v sesuvných oblastech, kdy abraze přetváří zpravidla akumulaci či tělo sesuvu, který existoval již před vybudováním a napuštěním nádrže. Pak mluvíme například o břehu abrazně erozním v sesuvném území. Extrémním případem je případ břehu abrazně sesuvného v sesuvném území, kdy abraze vytvoří sekundární (parazitní) sesuv na již dříve existující svahové deformaci.

Dalším kritériem pro rajonizaci břehů je v případě nádrže Angat výskyt sufozních jevů – kanálů a dutin vytvořených vyvěrající vodou, které se objevují zpravidla při dolním okraji abrazního srubu, někdy i v abrazní pláži. Častý je jejich liniový výskyt v téže úrovni. V závislosti na vydatnosti vývěrů jsou zpravidla provázeny i drobnými erozními jevy, které jsou ovšem poměrně rychle setřeny vlastní abrazi.

4.2 Výtokový objekt a malá vodní elektrárna včetně přilehlého okolí

Objekt elektrárny a výtok přívodního tunelu jsou umístěny na soutoku řek Macua a Bayto v prostoru Basyo východně od přehradního jezera Angat. Osy údolí obou řek jsou pravděpodobně tektonicky predisponovány a stýkají se pod úhlem 120°. Při povodních provázejících tajfun Nanmadol, kterým bylo zájmové území postiženo 3. prosince 2004, byl komplex zařízení na výtoku z tunelu, včetně elektrárny, vyřazen z provozu a poškozen (obr. 14). Derivační tunel byl při zmíněné povodni prakticky celý zanesen náplavy, které do tunelu proudily spolu s povodňovou vlnou z řek Umiray a Ravitaan. Charakter náplavů v tunelu na výtoku k elektrárně – chaotickou směs organických a anorganických hmot zhutněných tlakem proudící vody ukazuje fotografie na obrázku 15 nahoře. Při povodních byl zničen i kabel, kterým byla elektrina z malé vodní elektrárny vedena tunelem na vtok tunelu, kde sloužila jako jediný zdroj energie pro celý komplex zařízení.

Nejen tunel, ale i jeho ústí byly zcela zaneseny povodňovými sedimenty řek Macua a Bayto. Povodňové sedimenty byly netříděné a zahrnovaly celou škálu zemin od nejjemnějších jílů k hrubým šterkům včetně organické příměsi. Poškozeny a převážně zničeny byly především elektrické instalace (obr. 15 vlevo dole) a strojní zařízení elektrárny (obr. 15 vpravo dole). Škody na stavebních částech vlastního komplexu elektrárny a výtoku byly omezené. Značně poškozeny byly terénní úpravy příjezdu k elektrárně na pravém břehu řeky Macua včetně mostu do objektu, který byl při povodni smeten přívalovou vlnou (obr. 14 vpravo dole).

Inženýrskogeologický průzkum pro návrh ochranných opatření v lokalitě elektrárny a vtoku tunelu byl vzhledem k průzkumným pracím, realizovaným před jejich výstavbou, koncipován převážně jako reinterpretační již dříve zjištěných údajů a jako jejich konfrontace se současným stavem lokality. Poznaná geologická stavba byla hodnocena z hlediska výskytu a následků rizikových geologických procesů, které proběhly v zájmovém území během tajfunu Nanmadol a jím vyvolané povodni.

V rámci průzkumu byly realizovány následující činnosti:

- studium obecných geologických údajů a geologických map, materiálů poskytnutých MWSS a topografických podkladů – map 1:250 000 a 1:50 000;
- návštěvy lokality a pozemní obhlídky objektu a jeho okolí;
- rektifikace satelitních snímků ASTER a jejich geologická interpretace;
- letecká prohlídka širšího okolí lokality a její geologické výsledky;
- srovnávací studium fotografické dokumentace;
- vyhodnocení shromážděných informací a návrh ochranných opatření.

Realizovaný průzkum se zabýval především geologickými a geotechnickými poměry v trase přírodního tunelu. Údaje relevantní pro oblast elektrárny bylo třeba identifikovat a poté interpretovat pro hodnocení poměrů inženýrskogeologických a geotechnických. Takového hodnocení nebylo ve zprávě o průzkumu pro tunel samostatně zpracováno.

Při návštěvě lokality v listopadu 2006 byla pořízena fotodokumentace stavebních úprav realizovaných během obnovy této části komplexu. Při prohlídce lokality bylo konstatováno, že opravy v místě výtokového objektu probíhají vcelku uspokojivě. Je otázkou, zda by v některých případech nebylo vhodnější vytvořit opevnění kamennou rovnatinou. Ta umožňuje volný odtok vody proniklé případně za rub zdi. Současně realizované odvodnění pomocí drenážních trubek, ústících na lici opěrné betonové zdi, nevylučuje možnost ucpání systému a nárůst tlaků na rubu zdi po snížení úrovně vody v řece. V rámci inženýrskogeologického hodnocení lokality jsme věnovali pozornost stabilitě svahů nad sdruženým objektem elektrárny a výtoku z tunelu. Terénní šetření potvrdila, že svahy v posuzovaném území jsou stabilní, zřejmě s minimálním kvartérním pokryvem. Kvalita horninového podloží především ve spodní strmější části svahu je zřejmě dobrá, jak o tom svědčí stabilita stěny skalního odřezu nad objektem zajištěná hřebíkováním a stříkaným betonem.

Závěrem inženýrskogeologického hodnocení sdruženého objektu bylo doporučeno přijmout opatření zajišťující bezproblémový provoz díla. Naše doporučení vycházela z výsledků a ze souhrnného inženýrskogeologického hodnocení lokality. Pro zajištění bezpečnosti provozu elektrárny a výtoku z tunelu postačí některé úpravy současných objektů. Po každé povodni je bezpodmínečně nutné zajistit vyčištění koryt obou řek v úsecích přiléhajících k elektrárně včetně prostoru průpichu meandru především od nanesených kmenů a shluků větví. Při sedimentaci značného množství písku a šterku jsme doporučili zvážit možnost prohrábky obou koryt. Během povodní je třeba při zachování bezpečnosti personálu zajistit stálý dohled na mostě, a co nejrychlejší uvolňování kmenů a větví zachycených na mostní konstrukci. Dále jsme doporučili vypracovat detailní provozní řád vodohospodářského díla a jeho důsledné dodržování. V provozním řádu považujeme za nutné zcela jednoznačně stanovit četnost sledování a zaznamenávání úrovně hladiny na vodočtu, úroveň hladiny, při níž

budou uzavřeny výtoky z tunelu a elektrárny a přítok na elektrárnu, a úrovně hladin, při nichž bude zahajován a ukončován dohled na mostě a vyprošťování uvízlých předmětů. Konečně závěrem jsme doporučili zvážit především z ekonomického hlediska možnost vybudování automaticky fungujícího varovného systému na řekách Macua a Bayto v takové vzdálenosti od elektrárny, aby při signalizaci průchodu povodňové vlny bylo možno včas uzavřít výtoky z tunelu a z elektrárny před jejím příchodem k objektu.

Vývoj situace ukázal, že neuralgickým bodem tohoto místa je most přes řeku Macua. Při povodních koncem každého roku došlo vždy ke zničení nově zbudovaného přístupu ke sdruženému objektu. Takto byly postupně zničeny tři mosty. Při naší poslední návštěvě v roce 2008 bylo možné se ke sdruženému objektu dostat jen broděním. To vylučuje možnost přístupu k objektu nejen při povodních, ale i při zvýšeném průtoku v řece Macua. MWSS uvažuje v rámci dalšího posilování zdroje z povodí řeky Umiray o vybudování nového přístupu ke sdruženému objektu. Ten předpokládá zbudování mostu o cca pět metrů výše nad hladinou řeky, než byly mosty dosavadní. Toto řešení však vyžaduje i budování nových přístupových cest na obou březích Macua. Vzhledem k tomu, že tato investice je velmi nákladná, navrhli jsme MWSS řešení, které by mělo zajistit bezproblémový provoz mostu při celkově nižších investičních nákladech.

Základem návrhu je zajištění dostatečně velkého průtočného profilu řeky v okolí sdruženého objektu a i v korytě řeky pod MVE. V případě velké vody dochází v „průpichu“ k hromadění organického materiálu, zmenšení průtoku a zvednutí hladiny vody v řece až do takové výše, že dosahuje prakticky až ke sdruženému objektu. Navrhujeme „průpich“ mírně rozšířit a zejména upravit jeho směr tak, aby v tomto úseku řeky byl zajištěn plynulý směr toku řeky (obr. 16). Úprava toku řeky v těsné blízkosti sdruženého objektu je na obrázku 17.



Původní stav průpichu



Navrhovaná úprava průpichu

Obr. 16 Úprava "průpichu" řeky Macua přes skalní hřbet



Pohled na stávající stav řeky Macua

Obr. 17 Navrhovaná úprava koryta řeky Macua



Navrhovaná úprava řečiště a prodloužení mostu
(prodloužení mostu o 12 m)



Letecký pohled na most přes řeku Macua
(šířka řeky pod mostem 30 m, šířka nad mostem 38 m)



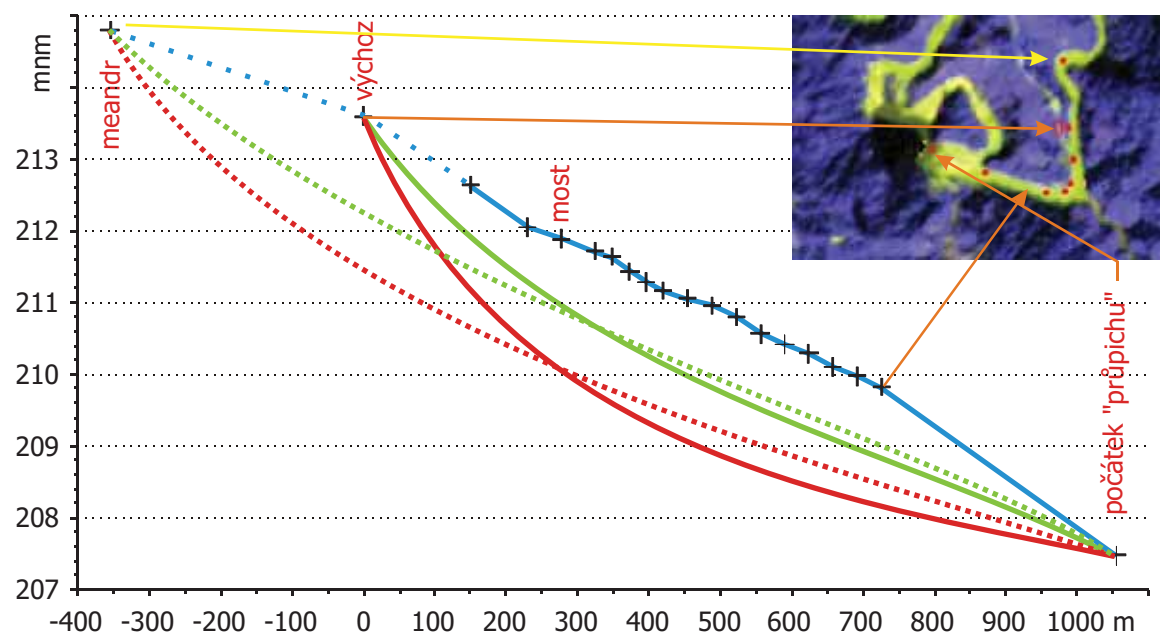
Navrhované rozšíření koryta Macua před MVE

Animace

Animace

Jediným schůdným řešením zamezení opakovaného výskytu negativních jevů je zajištění dostatečně volného a širokého koryta samotné řeky. Jak opěry mostu zužují průtočný profil řeky je patrné na obrázku 17 vlevo nahoře. Pokud uvažujeme hladinu vody v řece tak, jak je na fotografii, pak se průtočná plocha zmenšuje na 80 %. Pokud by voda sahala těsně pod konstrukci mostu, pak se průtočná plocha zmenšuje až na 55 %. Zvětšení průtočného profilu je možné jediné rozšířením koryta a jeho prohrábkou. Při rozšíření koryta bude nutné přístupový most k objektu elektrárny zbudovat jiným způsobem. Letecký pohled na stav v roce 2006 a animace návrhu nového uspořádání jsou na obrázku 17. Zásadní úprava spočívá v tom, že bude odtěžena pravá opěra mostu spolu s ostrohem, do kterého je zavázána. Tímto způsobem je možné rozšířit koryto řeky o cca 12 metrů, čímž se průtočný profil zvětší o 40 %. Negativním dopadem tohoto řešení je nutnost prodloužit most také o 12 metrů. Druhou otázkou spojenou s úpravou řeky je prohráбка koryta. K té bude muset být přikročeno i v případě, že bude obnoven provoz malé vodní elektrárny. Bez prohráčky se nepodaří dosáhnout stavu, aby hladiny vody na vtoku a výtoku do turbin byly v požadovaném vztahu. V současné době je dno řeky výše, než je výtok z turbin. V nejbližší budoucnosti bude muset provozovatel díla rozhodnout, v jakém rozsahu bude prohráбка koryta udělána. Pro získání lepších podkladů pro jeho rozhodování jsme znivelovali koryto řeky. Původně jsme plánovali nivelovat v jarních měsících, což dává možnost proměřit koryto řeky od horního meandru pro průpich. Z provozních důvodů bylo možné uskutečnit cestu na lokalitu až v závěru roku, kdy je již vysoký stav vody v řece, takže jsme znivelovali pouze část původně předpokládaného úseku. Technickou nivelací byl proměřen úsek od skalního výchozu nad elektrárnou až po první zátočinu řeky pod sdruženým objektem. Dále až k průpichu bylo měřeno obchvatem po břehu řeky. Zbytek původně navrhovaného úseku byl doměřen barometricky.

Výsledky těchto měření jsou na obrázku 18. Prohrábnutím koryta řeky o dva metry (na obrázku červená tečkovaná čára) se zvětší průtočný profil o dalších 40 %. Prohrábnutím o jeden metr (zelená tečkovaná čára) bude zvýšení pouze poloviční. Práce, které zajistí prohrábnutí na delším úseku, umožní dlouhodobější zachování průtočného profilu řeky. Při kratším prohrábnutí je možné odhadnout množství vytěženého materiálu na 30 000 m³. Musíme připomenout, že vytěžený materiál je kvalitní štěrk, který bude možné po potřebném roztrídění použít do betonů pro další stavební práce na lokalitě. Z dlouhodobějšího hlediska je nutné počítat s tím, že prohráčku koryta bude po určitých časových úsecích nutné opakovat.



Obr. 18 Prohráбка koryta řeky Macua

Obr. 19 Geologický řez tunelem



Přítok vody do tunelu, prasklina v panelech
sintrové povlaky



Mohutný přítok do tunelu

Obr. 20 Tunel Umiray - Macua

Měření v tunelu, která jsme uskutečnili v listopadu 2007, poskytla celou škálu nových informací. Výsledky všech měření jsou uvedeny na obrázku 21. Jedním z nejdůležitějších měření v tunelu bylo měření teploty obezdívky. Teplotu jsme měřili z jedoucího vozíku v tunelu infrateploměrem OmegaScope OS 530 HRE v režimu kontinuálního měření s pravidelným odečtem měřené veličiny. Teploměr byl stabilizovaný na korbě obslužné drezíny tak, aby úhel zacílení a vzdálenost měřidla od obezdívky tunelu byly v rámci možností zachovány stejné po celou dobu měření. Teplota byla odečítána po 65 metrech (50 panelech). Mimo zjišťování „teplotního profilu“ ostění tunelu bylo také prováděno měření teploty okolí vybraných míst přítoků podzemní vody do prostoru tunelu.

Použitý teploměr vyrábí společnost Omega Engineering, Inc., a jedná se o přenosný inframěřič teploty modelové řady OS 530 specifikace HRE. Teploměr obsahuje infrasondu s optikou 1:20, schopnou měřit v rozsahu -30 až 121 °C s přesností $\pm 1\%$. Podsvícený displej přístroje zobrazuje měřenou veličinu s rozlišením $0,1$ °C. V případě potřeby přesného zacílení přístroje je možné aktivovat buď bodový, nebo kruhový laserový zaměřovač. Teploměr umožňuje plynule nastavit emisivitu v rozsahu od 0 do 1 s krokem 0,01.

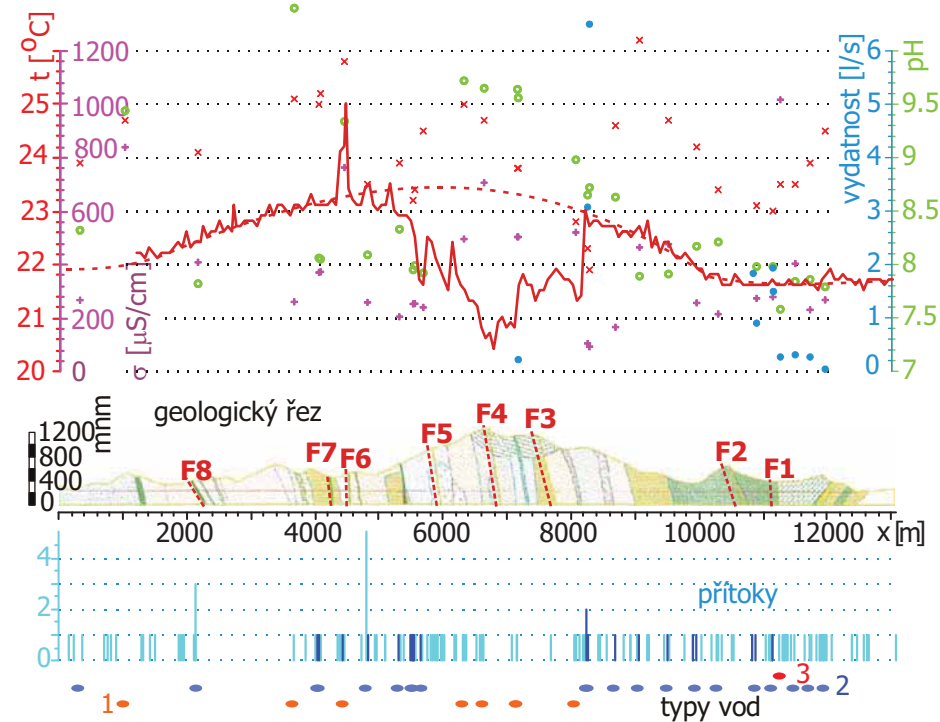
Zjištěné rozdíly jsou překvapivě vysoké, hlavní anomální pásmo se nachází ve staničení od 5500 metrů do 8200 metrů (obr. 21). V této části tunelu dochází oproti normálnímu poli k poklesu teploty. Pokud bychom předpokládali klidný průběh teploty v tunelu podle tečkové červené křivky, pak velikost teplotní anomálie ve středu tunelu dosahuje prakticky tří stupňů. Příčinou ochlazení horninového masivu je potřebné hledat v proudění podzemní vody.

Měření fyzikálních parametrů podzemní vody proběhlo přístrojem Tester HI 98129. Měření vybraných přítoků do tunelu bylo uskutečněno v průběhu inspekční prohlídky tunelu. Tester je vybaven sondami pro měření pH, měrné elektrické vodivosti a teploty vzorku kapaliny. Před měřením bylo nutné pH sondu přístroje kalibrovat pomocí referenčního roztoku o definovaném pH. Teploměr a sonda pro měření měrné vodivosti kalibraci nevyžadovaly. Samotné měření bylo prováděno tak, že z vybraného přítoku byl odebrán vzorek vody a po zastabilizování testeru prováděny odečty. Časovou prodlevu při stabilizaci sond nebylo možné operátorem ovlivnit, tester sám signalizoval připravenost k měření.

Tester HI 98129 pochází z produkce společnosti HANNA INSTRUMENTS GmbH. Jedná se o vodotěsný, přenosný kombinovaný přístroj pro měření pH, elektrické vodivosti a teploty kapalin. Vestavěný teploměr je schopen měřit v rozsahu 0 až 60 °C s přesností na 0,1 °C, měřič měrné vodivosti měří v rozsahu 0 až 3999 $\mu\text{S}/\text{cm}$ s přesností na 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a pH-metr měří v rozsahu 0 až 14 jednotek pH s přesností na 0,01 jednotky.

V nejspodnější části obrázku jsou znázorněny typy podzemních vod (detaily dále v textu). Nad nimi jsou zobrazeny přítoky podzemní vody do tunelu, tak jak jsme je zdokumentovali během průjezdu tunelem. Tmavě modrou barvou jsou označena místa, kde byly zjištěny přítoky o vydatnosti větší než cca 1 l/s, světle modrou barvou pak všechny ostatní menší přítoky. Ukazuje se, že přítoky vody do tunelu jsou výraznější, než jsme do okamžiku dokumentace předpokládali. Největší přítok jsme zaznamenali v 8272 metrech, kde do tunelu přitékalo cca 6,5 l/s. Tato veličina není odhadovaná, ale změřená pomocí odměrné nádoby o objemu 80 l. Měření, která jsou uváděna na obrázku, byla zjišťována v období nejvyšších srážek. Přímým měřením jsme ověřovali vydatnosti jedenácti přítoků ve staničení 7159 až 11959 m. K měření jsme vybírali vydatnější prameny, jejichž vydatnost se pohybovala od 0,04 l/s do již zmíněných 6,5 l/s. Výsledky měření jsou znázorněny v horní části obrázku 21 tmavě modrými body. Část přítoků vody do tunelu byla podchycena již při obezdívání tunelu. V těchto případech je do obezdívky tunelu osazena krátká trubka, kterou voda do tunelu vtéká. Zbylá část přítoků je samovolná, tj. voda si během provozu tunelu vytvořila v obezdívce otvor, jímž do tunelové trouby přitéká.

Mimo vydatnosti přítoků vody do tunelové trouby jsme měřili i vybrané parametry vody přitékající do tunelu – teplotu, měrnou vodivost a pH. Vydatnost přítoků jsme měřili z důvodu nedostatku času jen v části tunelu, kdežto vybrané vlastnosti podzemní vody jsme měřili v celé délce tunelu. Výsledky všech těchto měření jsou též znázorněny na obrázku 21. Všechny naměřené parametry ukazují na značnou rozdílnost vlastností podzemní vody. Snad nejvíce překvapující je to u pH. Tyto hodnoty se mění od 7,58 (11258 m) do 10,4 (3656 m). Teplota přitékající vody se pohybuje v mezích 21,9 °C (8274 m) až 26,2 °C (9056 m). Minimální vodivost 92 $\mu\text{S}/\text{cm}$ jsme zjistili ve 8274 metrech a maximální hodnota 1017 $\mu\text{S}/\text{cm}$ byla změřena ve 11258 metrech.



Obr. 21 Měření v tunelu

Abychom lépe poznali charakter podzemních vod, zkonstruovali jsme ze všech měření uskutečněných v odebraných vzorcích vody křížové grafy (obr. 22). Křížové grafy pro vztahy: teplota vody – pH a teploty vody – vodivost nevykazují žádnou závislost ani žádné shlukování bodů do dílčích celků.

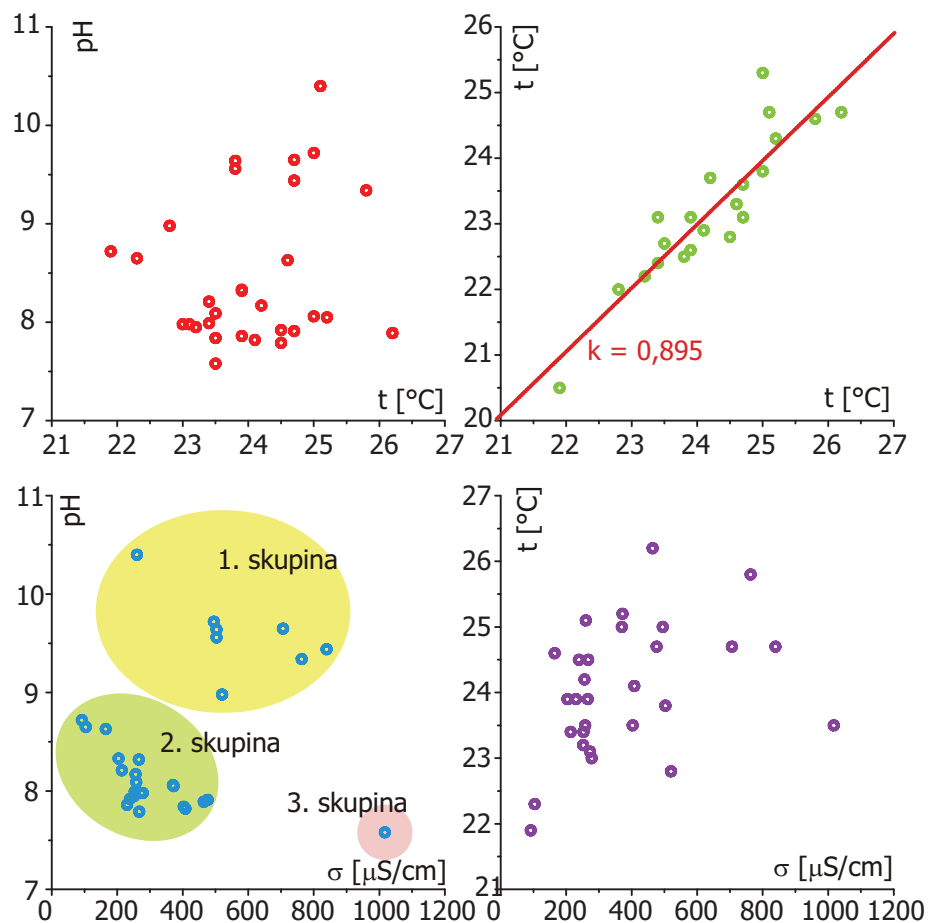
Jiná je situace u křížového grafu sledujícího závislost mezi teplotou vody vtékající do tunelu z horninového masívu a teplotou obezdívky tunelu v těsné blízkosti přítoku. Tady jsme čekali úzkou závislost, ale nikoli totožné hodnoty. V tomto případě by skutečně překvapilo, pokud by obě teploty byly stejné. Důvody je možné hledat jednak v odlišném způsobu měření teploty a v určité teplotní setrvačnosti horninového masívu. Změna teploty proudící vody nestačí rychle změnit i teplotu horninového masívu a obezdívky ve svém okolí. Podstatná je však skutečnost, že všechny body leží v blízkosti korelační přímky. Koeficient korelace přímky je 0,895 a svědčí o skutečné závislosti mezi těmito parametry.

Nejdůležitější je ovšem křížový graf sledující závislost měrné vodivosti a pH. V tomto případě je z grafu jednoznačně patrné, že body se shlukují do dvou samostatných oblastí, jen jeden bod leží zcela mimo. Souběžně s terénním měřením jsme odbírali vzorky vody. Po předběžném kamerálním zpracování výsledků měření v tunelu ještě na Filipínách jsme z každé skupiny vybrali jeden vzorek, a ten jsme dopravili do laboratoří GEOtestu Brno, a.s. Výsledky laboratorních zkoumání potvrdily výsledky terénních měření.

Vzorky podzemní vody byly odebrány v roce 2007 a 2008. Ze vzorků vody byl proveden fyzikálněchemický rozbor, tj. byly stanoveny majoritní ionty. V dalším textu jsou pak zhodnoceny jednotlivé vzorky z pohledu hydrogeochemie. Výsledky jsou uvedeny v grafech na obrázku 23. V levém grafu jsou uvedeny obsahy jednotlivých iontů na logaritmické škále. V pravé části obrázku upraveném podle Piperova grafu je vyneseno majoritní zastoupení iontů pro jednotlivá místa odběru.

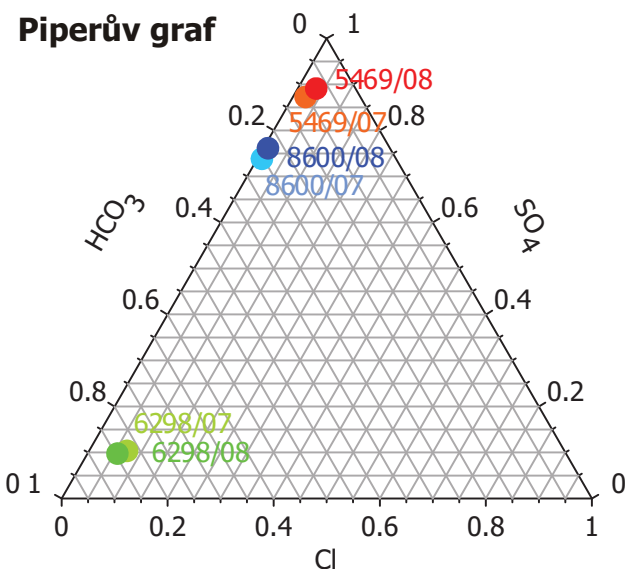
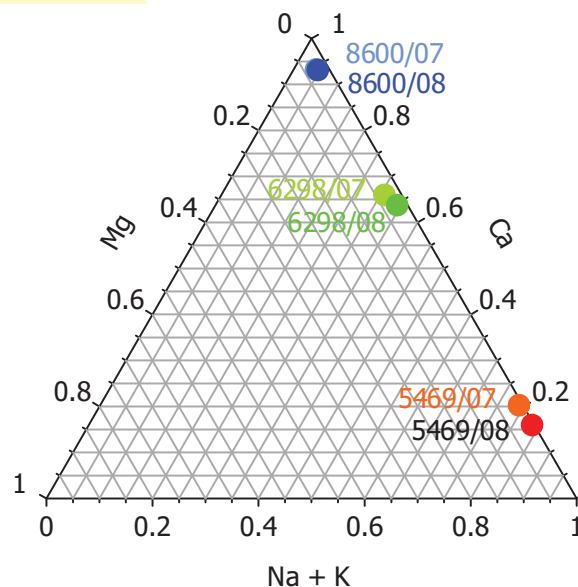
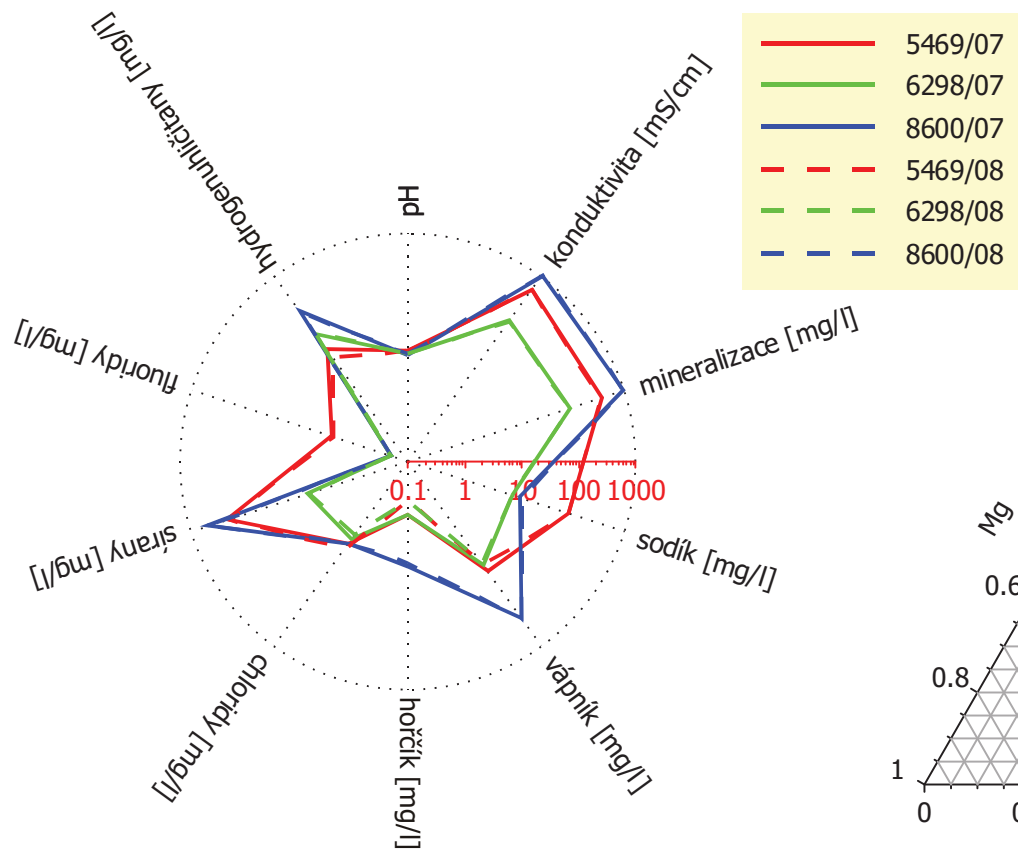
Z obou grafů vyplývají dvě základní skutečnosti:

- Opakované odběry potvrdily, že jednotlivé vzorky podzemních vod definují výrazně odlišná hydrogeochemická prostředí;
- Z pohledu hydrogeochemického (z pohledu tvorby chemismu podzemní vody) jde o vysoce stabilní prostředí.



Obr. 22 Křížové grafy

Obr. 23 Chemismus podzemních vod v tunelu Umiray - Macua



Shoda v zastoupení jednotlivých iontů je velmi vysoká, a opakované odběry potvrdily definici geologického prostředí tvorby podzemní vody podle prvního kola monitoringu:

- Vzorek 5469: V podzemní vodě je z kationů nejvíce zastoupen sodík Na (cca 70 c. z %), jako druhý kation pak vápník Ca (cca 20 c. z %). Z anionů jsou nejvíce zastoupeny sírany SO_4 (cca 80 c. z %) – viz Piperův graf, voda je tedy Na- SO_4 typu, má zásadité pH a poměrně nízkou celkovou tvrdost. Voda vykazuje poměrně vysoké koncentrace fluoridů (viz levý graf), přičemž jsou překračovány požadavky WHO.
- Vzorek 6298: V podzemní vodě je z kationů nejvíce zastoupen vápník Ca (cca 70 c. z %), dále pak sodík Na (cca 30 c. z %) – viz Piperův graf. Z anionů jsou nejvíce zastoupeny hydrogenuhličitany HCO_3 (cca 70 c. z %), voda je tedy Ca- HCO_3 typu, má mírně zásadité pH a nízkou celkovou tvrdost a nízkou mineralizaci (viz levý graf).
- Vzorek 8600: V podzemní vodě je nejvíce zastoupeným kationem vápník Ca (cca 90 c. z %). Z anionů jsou nejvíce zastoupeny sírany SO_4 (cca 80 c. z) – viz Piperův graf, voda je tedy Ca- SO_4 typu. Voda má vysokou tvrdost, téměř neutrální pH a vysoké koncentrace vápníku a síranů při výrazně vyšší celkové mineralizaci ve srovnání s prvními dvěma vzorky (viz levý graf).

Agresivita vody vůči betonu je specifikována normou 2061/Z2 (tab. 1) Klasifikace chemického prostředí platí pro podzemní vodu při teplotě vody v rozmezí +5°C až + 25°C a pro velmi mírnou rychlost vody blížící se nehybnému stavu. Uvedená teplotní rozmezí nejsou pravděpodobně v prostředí odběru vod dodržena. Agresivita vod je v případě proudící vody výrazně podpořena jejím pohybem.

Ze zhodnocení vzorků podzemní vody vychází, že vzorky vod č. 5469 a č. 8600 se jeví jako slabě agresivní vůči betonu z hlediska obsahu síranů. Vzorek vody č. 6298 se nejeví z pohledu stanovených ukazatelů jako agresivní vůči betonu. Norma 206-1/Z2 však nezohledňuje, jak bylo uvedeno výše, proudění podzemní vody. Norma je uvažována pro vodu prakticky stagnující. Pohyb vody je vedle chemických vlastností důležitým faktorem, který je při hodnocení agresivity vod nutné zohlednit.

Na základě provedených expedičních měření a laboratorních analýz lze konstatovat:

- Vzorek 5469: charakterizuje vody se střední mineralizací a s vysokým (zásaditým) pH. Z hlediska hydrogeochemie jde o vodu Na – SO₄ typu s nízkým podílem vápníku a hydrogenuhličitanů. Má zvýšený obsah fluoridů. Jde tedy pravděpodobně o vodu s určitou dobou zdržení v horninovém prostředí vulkanitů. Vzhledem k relativně nízkým obsahům vápníku, hořčíku a hydrogenuhličitanů může být tento typ vody agresivní vůči betonu – rozpouštěním.
- Vzorek 6298: charakterizuje vody se nízkou mineralizací a s neutrálním pH. Z hlediska hydrogeochemie jde o vodu Ca – Na – HCO₃ typu. Jde tedy pravděpodobně o vodu s velmi krátkou dobou zdržení v horninovém prostředí, tj. rychle proudící srážkovou vodu. Pravděpodobně je tímto vzorkem charakterizována podzemní voda v zóně porušení hornin (tektonické pásmo??). Vzhledem k nízkému obsahu rozpuštěných látek lze předpokládat agresivitu vody vůči betonu – jeho rozpouštění.
- Vzorek 8600: charakterizuje vody s vysokou mineralizací a s neutrálním pH. Z hlediska hydrogeochemie jde o vodu Ca – SO₄ typu s nízkým obsahem sodíku. Jde tedy pravděpodobně o vodu s dlouhou dobou zdržení v horninovém prostředí. Lze předpokládat, že voda vystupuje po hluboké tektonické linii na rozhraní vulkanitů (SO₄) a vápenců (Ca). Agresivita vody na betonové konstrukce je dána vyšším obsahem síranů.

4.4 Vtokový objekt

Po tajfunu Nanmadol byl značně poškozen i vtokový objekt tunelu. V povodí řek Umiray a Ravitaan byly během tajfunu Nanmadol nejvyšší srážky z celého systému vodního díla Angat. Tuto skutečnost je možné odvodit z přehledů srážek na jednotlivých srážkoměrných stanicích i z viditelných následků eroze břehů řeky Umiray a velkého množství materiálu, které bylo řekami unášeno. Na obrázku 24 jsou záběry na zdevastovaný vtokový objekt krátce po tajfunu. Povodní byly nejen poškozeny a zničeny jednotlivé betonové konstrukce

Tab. 1 Agresivita podzemních vod vůči betonovým konstrukcím

	jednotka	5469	6298	8600
sírany	mg/l	220	7,2	511
pH		8,65	7,5	7,22
CO ₂ agresivní na CaCO ₃	mg/l	-	-	-
amonné ionty	mg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1
hořčík	mg/l	< 0,9	< 0,9	7



Sedimentární nádrže po tajfunu



Pozůstatky povodně (I profily cca 250 mm)

Čištění nápuštního kanálu



Nápuštní kanál tunel

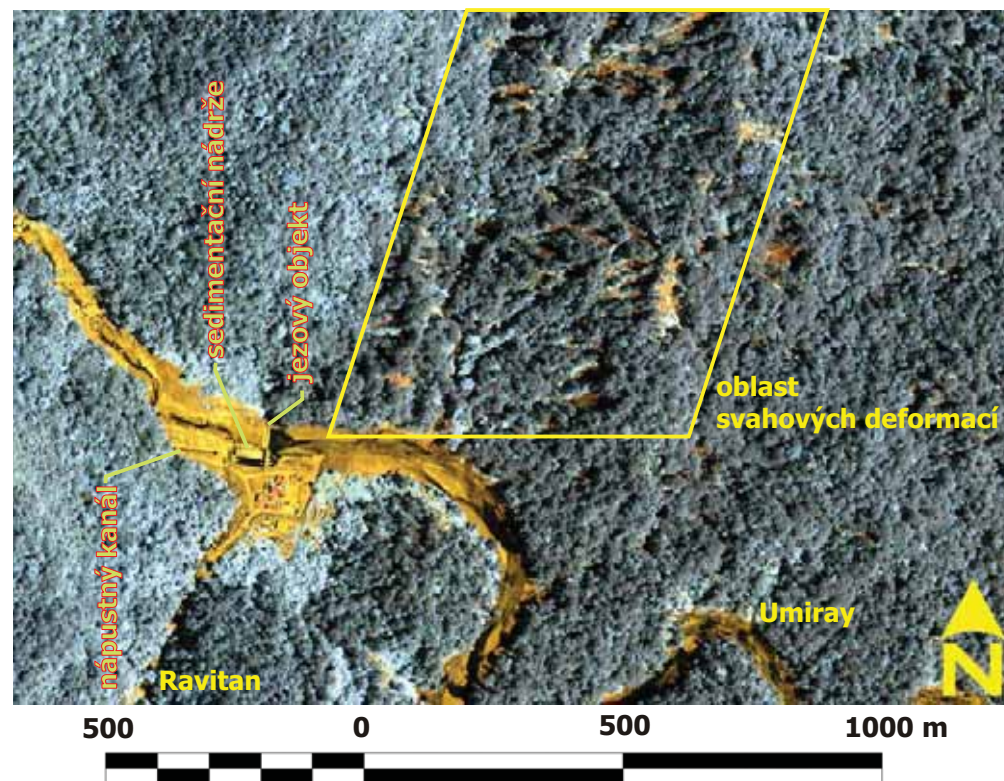


Obr. 24 Vstupní objekt po tajfunu

(např. sedimentační nádrže – vlevo nahoře), ale na obrázku je patrné, že celé místo vtokového objektu bylo překryto nánosy šterku, hlín a náplavového dříví.

Z původního komplexu vtokového objektu vyčnívalo po tajfunu pouze betonové těleso přepadu a relativně nepoškozena zůstala betonová konstrukce vlastního jezu. Nátokový kanál a portál tunelu nebyly krátce po povodni na povrchu terénu vůbec patrné, neboť byly překryty vrstvou šterků přinesených tokem Ravitaanu. Poškozeny byly i panely, překrývající nátokový kanál (vpravo nahoře) a vlastní kanál byl podobně jako tunel zanesen různým materiálem. Je pravděpodobné, že krycí panely nevydržely tlak povodňové vlny a tíhu nových sedimentů. Jaká byla devastující síla povodně je patrné na zcela zničených ocelových nosnících zobrazených na levém dolním snímku. Na pravém dolním snímku je vidět čištění nátokového kanálu. Velmi jemný balastní materiál musel být při odklizení pytlován. Jeho vyhrnování z tunelu bylo velmi obtížné, protože při vysokém obsahu vody se choval jako těžká kapalina a prakticky všechn po vyhrnutí bagrem natekl zpátky do tunelu.

Na obrázku 25 je výřez ze satelitního snímku IKONOS užitého ke sledování bližšího okolí vtokového objektu a pro sledování přilehlé oblasti s četným výskytem svahových deformací. Snímek o celkové ploše 35 km² byl pořízen 28. března 2006. V programu prací na rok 2007 jsme počítali s tím, že existenci svahových deformací identifikovaných za satelitních snímků ověříme terénním zkoumáním. K potřebě navštívit tato místa nás vedla okolnost, že místa s podloží obnaženým v důsledku svahového pohybu se rychle pokryjí novou tropickou vegetací a nebudou již v delším časovém odstupu pozorovatelná. Vizuální kontrola míst se svahovými deformacemi je možná pouze z vrtulníku. Klasickými geologickými pochůzkami jsou v čase, který je na lokalitě k dispozici, prakticky nedostupná. Důvodem je neprostupnost tropického pralesa. Vzhledem k času, který byl na lokalitě k dispozici, se nám do těchto míst v roce 2007 nepodařilo dostat. Důvodem byla častá velká oblačnost a četné srážky nad řekou Umiray spojená s nemožností dostat se do těchto míst i vrtulníkem. Přesto se domníváme, že existence ploch s jinou barvou povrchu není možné vysvětlit jinak, než existencí svahových deformací. Výsek scény IKONOS se svahovými deformacemi severně od vtokového objektu je na obrázku 25. Na tomto snímku je i situace vtokového objektu. Tento obrázek je zobrazen v nepravých barvách, tj. ke konstrukci snímku byla použita pásma červené a zelené barvy a blízkého infrapásma. Tuto kombinaci jsme volili proto, abychom snížili přesvětlení vtokového objektu. Na tomto záběru je možné již pozorovat jednotlivé objekty v oblasti vtoku.



Obr 25 Svahové deformace a vtokový objekt na záběru IKONOSu

Nejpodstatnější však byla otázka jak zajistit vtokový objekt, aby bylo zabráněno dalšímu zanesení tunelu balastním materiálem. Odpověď byla zároveň relativně jednoduchá a levná a spočívala v možnosti uzavírání tunelu. Domníváme se, že nejvhodnějším řešením jsou ocelová samouzavíratelná vrata. První představa o takové konstrukci je na obrázku 26. Zavírací vrata musí být vodotěsná, aby byla vyloučena možnost jejich obtékání a následného poškození. Spouštění zavíracího mechanismu by podle našeho názoru mělo být možné následujícími způsoby:

- samočinně podle monitorovacího čidla;
- povelem z velína;
- ručně.

Preferovaným způsobem by mělo být zavírání vrat automaticky povelem z monitorovacího systému. Mělo by být účelem další studie, zda by měl být monitorovací systém zaměřen pouze na měření srážek, nebo na měření průtoku v obou řekách. Již dnes je však možné s vysokou pravděpodobností předpokládat, že nejvhodnější bude kombinovaný systém měření srážek a průtoků. Stanovení kritické hodnoty pro vydání povelu ke spuštění vrat by opět mělo být předmětem dalšího šetření a dohody všech zainteresovaných stran. Upozorňovali jsme kolegy z filipínské strany, že představa využívání možnosti maximálního převodu vody za kritickou hranicí s velkou pravděpodobností povede k havárii obdobné té, která se stala v prosinci 2004.

Další možností zavírání vrat by mělo být povelem z velína, a to jak z centrály v Manile, tak i z velína obsluhujícího přehradu Angat. Otázka přenosu spouštěcího signálu je otázkou pouze technickou, nikoli zásadní. Je možné využít sítě mobilních telefonů (pokud se zajistí dokonalé pokrytí všech míst signálem), použití speciální radiovlánné sítě, případně komunikace přes satelit. Poslední možností je zavření vrat ručně na místě samém. To by mělo vyřešit možné poruchy kteréhokoli ze dvou předchozích systémů, a zabezpečit takové události, které budou buď nepředvídatelné, nebo natolik lokální, že je monitorovací systém nezachytí. Je opět problémem provozovatele díla, kdo bude mít pravomoc uzavírat tunel, a jak bude tato možnost zabezpečena proti zneužití.



Uzavírání:

Automaticky podle monitoringu
Povelem z řídicího centra
Ručně osádkou



Obr. 26 Vstup do tunelu

První reakce filipínské strany nebyla příliš povzbudivá. Představa provozovatelů díla byla ochraňovat nátokový kanál pouze panely kryjícími vlastní nátokový tunel. Při naší návštěvě v roce 2006 jsme konstatovali, že ochranná ocelová vrata jsou nainstalována, nikoli však těsně před tunelem, ale v určité vzdálenosti od něj. Důvodem byla nutnost ponechání určitého manipulačního prostoru před samotným vstupem do tunelu. Ten je potřebný k tomu, aby bylo možné zajistit provoz obslužné drezíny. Došlo však i přehodnocení tvaru krycích panelů nátokového tunelu (obr. 26). Původní ploché panely poměrně malé tloušťky (cca 20 cm) byly nahrazeny panely s ozuby tlustými cca 40 cm. Ozuby mají zabránit tomu, aby je povodňová vlna odsunula z kanálu a tím bylo umožněno jeho nové zatopení a zanesení balastním materiálem.

5. Závěr

Tunel spojující řeku Umiray s vodní nádrží Angat je nutno považovat za jeden z klíčových prvků systému zásobování hlavního města Filipín – Manily pitnou vodou. Jeho potřebu si filipínští vodohospodáři uvědomovali už před desetiletími, protože množství vody přiváděné do přehradního jezera řekou Angat nestačilo potřebám rozpínající se metropole. Kromě zajištění potřeby vody je však nutné si neustále uvědomovat jeho zranitelnost. Z toho důvodu je potřeba celou stavbu náležitě chránit zejména před nepříznivými jevy a jejich následky. Pro potřeby projektování ochranných opatření je nezbytné získat jednak řadu jednorázových informací a poznatků o geologické stavbě širšího okolí a také opakovaným pozorováním vybraných struktur a prvků reliéfu, na jejichž základě je možné, při návrhu a konstrukci ochranných opatření, postupovat maximálně efektivně a ekonomicky.

Podobně jako je potřebné získat informace o geologické stavbě území, je potřebné shromažďovat i údaje o počasí a technických podmínkách provozu díla. Tento systém má provozovatel díla ve funkci, kdy se základní údaje měří na řece Umiray a na přehradách Angat, IPO (vyrovnávací hráz) a MESA (úpravna vody). Na jednotlivých pozorovacích stanicích se měří denní srážky, hladina vody v nádrži, přítoky vody a její odtoky. Domníváme se, že by bylo vhodné ještě doplnit stanici na malé vodní elektrárně. Podle toho, co jsme měli možnost vidět a jaké materiály jsme měli možnost hodnotit, řeka Macua již spíše patří do podmínek, které panují na řece Umiray než do podmínek na přehradách.

Při zajišťování všech potřebných podkladů a při zpracovávání výsledků měření se osvědčil multidisciplinární přístup specialistů různých oborů, inženýrských geologů a geotechniků, hydrogeologů a hydrologů, geofyziků a specialistů na dálkové snímání, meteorologů, projektantů stavebních, strojírenských i elektrických zařízení a v neposlední řadě i specialistů na krizové řízení.

Poděkování

Tento článek vznikl díky podpoře české vlády na projektu rozvojové spolupráce s Filipínskou republikou „Assistance at the Measures Ensuring Reliable and Sustainable Drinking Water Supply for Manila after Damages Caused by Catastrophic Typhoon“.

Literatura

BLÁHA P.: *Angat, A study of flood protection.*, Geotest, Brno, 4/2005, MS.

BLÁHA P., FOUSEK J.: *Output 2.1 Design of Geological Investigation for Protective Measures at the Power Plant Site*, Geotest Brno, 9/2006, MS.

BLÁHA P., FOUSEK J.: *MVE – Fresh Water for Manila, 2.2 Report of Geological Investigation, for Protective Precaution at Power Plant Place.*, Geotest Brno, 12/2006, MS.

BLÁHA P., FOUSEK J., DURAS R., NOVOTNÁ J.: *Philippines – Drinking Water for Manila, MHPP, Report on a Geological Survey for Protective Measures in a Wider Vicinity of the Power Plant.*, Geotest Brno, 12/2007, MS.

Factual Report Geotechnical @ Geological Investigation, Umiray – Angat Transbasin Project, Construction & Drilling Specialists Inc., Manila, September 1993, MS.

Umiray – Angat Transbasin Project, Geological and Geotechnical Annexes, Volume II, MWSS, Manila, January, 1994, MS.

Vyhl. č. 252/2004 Sb. Ministerstva zdravotnictví ČR

<http://edcdaac.usgs.gov/aster/asteroverview.asp>.

¹Autoři:

Doc. RNDr. Pavel Bláha, DrSc., GEOtest Brno, a.s., Šmahova 112, 659 01 Brno, e-mail: blaha@geotest.cz, mobil: +420 602 739 001, SKYPE: blahapavel

Ing. Roman Duras, GEOtest Brno, a.s., Šmahova 112, 659 01 Brno, e-mail: duras@geotest.cz, mobil: +420 724 088 787, SKYPE: rduras

Ing. Jan Fousek, GEOtest Brno, a.s., Šmahova 112, 659 01 Brno, e-mail: fousek@geotest.cz, mobil: +420 724 705 097

RNDr. Jitka Novotná, GEOtest Brno, a.s., Šmahova 112, 659 01 Brno, e-mail: novotna@geotest.cz, mobil: +420 728 167 387