

Povodí Vltavy, státní podnik
Český přehradní výbor, z. s.

XXXIX. PD 2026



XXXIX. PŘEHRADNÍ DNY 2026	22.-24. ZÁŘÍ 2026 PRAHA
------------------------------	----------------------------

SBORNÍK PŘÍSPĚVKŮ

SWAZEK 3

MEZINÁRODNÍ KONFERENCE XXXIX. PŘEHRADNÍ DNY 2026 PRAHA, 22.–24. ZÁŘÍ 2026

Odborná témata konference:

1. Technologická zařízení přehrad – návrh, provozní zkušenosti, opravy a rekonstrukce
2. Aktuální otázky navrhování a realizace vodních staveb z masivních betonů
3. Sypané hráze z místních materiálů – zkušenosti s přípravou a realizací projektů
4. Vývoj v oblasti bezpečnosti přehrad – TBD, kritické situace, hydrologické extrém, stárnutí a adaptace
5. Netechnické aspekty výstavby, provozu a rekonstrukcí vodních děl a digitalizace ve vodním stavitelství

Publikace XXIX. Přehradní dny 2026 je rozdělena do tří svazků:

- Svazek 1 – příspěvky k tématům 1, 2 a 3
- Svazek 2 – příspěvky k tématům 4 a 5
- Svazek 3 – příspěvky z 28. kongresu ICOLD 2025, Čína, Chengdu

Editor: Milan Zukal
 Název díla: XXXIX. Přehradní dny 2026
 Tel.: 224 354 643
 Tisk: Tomos Praha a.s.
 Adresa tiskárny: Ohradní 59, 140 00 Praha 4
 Počet stran: 176
 Náklad: 80 výtisků
 Pořadí vydání: 1.

Vydalo České vysoké učení technické v Praze, zpracovala Fakulta stavební

Kontaktní adresa: **Fakulta stavební ČVUT v Praze**
 Katedra hydrotechniky
 Thákurova 2077/7
 166 29 Praha 6 – Dejvice



ISBN 978-80-01-07584-5

ISBN 978-80-01-07581-4 (soubor)

ISBN 978-80-01-07582-1 (1. sv.)

ISBN 978-80-01-07583-8 (2. sv.)

ORGANIZÁTOŘI KONFERENCE

Povodí Vltavy, státní podnik



Český přehradní výbor, z. s.



ZÁŠTITA

Konference je pořádána pod záštitou ministra zemědělství Martina Šebestyána.



Ministerstvo
zemědělství

PARTNEŘI KONFERENCE

Generální partner



Partneři



Mediační partneři



Partner na vodě



OBSAH – SVAZEK 3

OTÁZKA 108 / Q. 108

PŘEHRADY A NÁDRŽE PRO ADAPTACI NA ZMĚNU KLIMATU /
DAMS AND RESERVOIRS FOR CLIMATE CHANGE ADAPTATION

6

OTÁZKA 109 / Q. 109

PŘEHRADY A PROTIPOVODŇOVÉ HRÁZE VHODNÉ PRO BUDOUCNOST /
DAMS AND LEVEES FIT FOR THE FUTURE

23

OTÁZKA 110 / Q. 110

BEZPEČNOST PŘEHRAD A PROTIPOVODŇOVÝCH HRÁZÍ PŘI EXTRÉMNÍCH
HYDROLOGICKÝCH SITUACÍCH / SAFETY OF DAMS AND LEVEES FACING
EXTREME HYDROLOGICAL EVENTS

81

OTÁZKA 111 / Q. 111

SEIZMICKÁ ODOLNOST A BEZPEČNOST PŘEHRAD /
EARTHQUAKE PERFORMANCE AND SAFETY OF DAMS

119

ÚVOD

Ve třetím svazku sborníku, vydaného při příležitosti mezinárodní konference XXXIX. Přehradní dny 2026, připravil autorský kolektiv/účastníci stručný přehled kongresových materiálů z 28. kongresu Mezinárodní přehradní komise (ICOLD), který se konal 16.–23. května 2025 v čínském Chengdu.

Sborník obsahuje zkrácené představení obsahu všech referátů zveřejněných v rámci čtyř výše uvedených kongresových otázek. Úplné znění referátů (celkem 3393 stran) je k dispozici na flash disku přiloženém ke kongresovému sborníku abstraktů, jenž lze vyžádat na sekretariátu Českého přehradního výboru.

Česká republika byla na 28. kongresu ICOLD zastoupena třemi příspěvky:

Q. 108 R.21 Petra SUCHOPÁRKOVÁ, Petr SMRŽ, Ondřej ŠVARC:

Propojení povrchového lomu Libouš s vodní nádrží Nechranice

Q. 109 R. 50 Pavel SVATOŠ, Jiří KREMSA, Tomáš KLEMŠA:

Přehrada Harcov – zkušenosti provozovatele a technických dozorů bezpečnosti z probíhající rekonstrukce

Q. 111 R. 50 Miroslav BROUČEK, Petra SUCHOPÁRKOVÁ, Ondřej ŠVARC:

Seismická analýza přehrady Horka: stanovení zatížení pro zemětřesené roje

Tab. 1 Přehled příspěvků dle jednotlivých států a otázek

Stát	Q. 108	Q. 109	Q. 110	Q. 111	Sdělení	Celkem
Albania			20	23		2
Australia	3		8	13, 14		4
Austria		27				1
Canada	14	8, 9, 28		9, 10, 11		7
Chile				44		1
China	15–19	29–47, 49	21–25, 27, 28	27, 30–42, 45, 47, 48	2, 4–8	55
Czech Republic	21	50		50		3
France	4–9	10, 16, 17, 20, 21	10–15	20, 21, 22		20
India	20	51				2
Indonesia			19	25, 26		3
Italy		15	16	51, 52		4
Japan		12, 13, 14	9	15, 16, 17	1	8
Macedonia				2		1
Netherlands		18, 19				2
New Zealand		25		12		2
Norway	12	11				2
Poland		48				1
Portugal		1		5		2
Romania	10, 22	26		24		4
Rwanda	11					1
South Afrika	13	23, 24	17, 18			5
South Korea				1		1
Spain	1		1, 4	4	3, 9	6
Sweden		2, 3, 4	3			4
Switzerland	2	5, 6, 7	5, 6, 26	6, 7, 8		10
United Kingdom		22				1
USA				18, 19		2
Vietnam			2, 7			2
28 států	Celkem 22	Celkem 51	Celkem 28	Celkem 46	Celkem 9	Celkem 156

**Otázka 108: PŘEHRADY A NÁDRŽE PRO ADAPTACI NA ZMĚNU KLIMATU**

Zpracovatel přehledu příspěvků:

Ing. Jan Svejkovský (Povodí Ohře, státní podnik)

Otázka byla rozdělena do 5 podtémat:

1. Přehrady pro přečerpávací vodní elektrárny: specifické vlastnosti, návrh, příklady realizace
2. Boční nádrže pro akumulaci vody a ochranu před povodněmi
3. Přímořské (offshore) hráze a přílivové elektrárny
4. Přehrady pro umělé doplňování podzemních vod a další nové koncepty
5. Plovoucí fotovoltaika na přehradních nádržích – příležitosti a rizika

Generální zpravodajem této otázky byl pan Luc Deroo (Francie).

Celkem v otázce Q108 bylo publikováno 22 příspěvků:

R. 1 ANISH MEHTA, MANUEL G. DE MEMBRILLERA ORTUÑO (Spain)

Sand dams: the case for greater collaboration between the dam industry and non-governmental organizations

R. 2 JULIEN ROEDER, CAROLIN FRIZ, FREDERIC M. EVERS, MATTHIAS HUSS, JONATHAN FAURIEL, ROBERT M. BOES (Switzerland)

Sediment and flood management at a planned multipurpose reservoir in a periglacial environment

R. 3 TIMOTHY MOTE, MANUEL G. DE MEMBRILLERA ORTUÑO (Australia)

Wildfire impact on dam and reservoir landslide safety risks considering future climate

R. 4 LAURENT PEYRAS, MARINE BERNICOT, NICOLAS GERARD (France)

Towards FRCOLD guidelines for the realization of floating PV plants on dam reservoirs

R. 5 OLIVIER BORY, FRÉDÉRIC ANDRIAN, GEOFFREY MATHIEU, PIERRE AGRESTI, GABRIELLA VASCHETTI (France)

Étanchéité des barrages et réservoirs de STEP: spécificités, conception et retours d'expérience

R. 6 JOËL GAILHARD, ALEXANDRE DEVERS, MATTHIEU LE LAY, GAËTAN DAUTOIS, JEAN RICHERT, SYLVAIN CUENOT (France)

Changement climatique en France: une adaptation nécessaire des barrages et réservoirs, vision nationale et exemple local

R. 7 JEAN-REMI LHERBIER, SEBASTIEN DERRIEN, PIERRE AGRESTI, JORDI PERELLO (France)

Innovative design and feedback of waterways from a major pumped storage project in arid region



R. 8 NATHALIE ROSIN-CORRE, JEAN-MICHEL BOCQUET, CLAUDE BUCHI, MARCELO BRAZ, DE AQUINO, THIERRY AUBARBIER (France)

Adaptations to the design of Abdelmoumen pumped-storage scheme during the construction phase

R. 9 VERONIQUE BERCHE, BENOIT DELEU, LUC DEROO, LOUIS VIVES, LUC BOUTONNIER (France)

Le canal Seine-Nord Europe, projet hydraulique majeur en France

R. 10 DAN STEMATIU, ALTAN ABDULAMIT (Romania)

Potential of Romanian dams to adjust to changing environment

R. 11 LEONARD KASSANA (Rwanda)

A case of potential Burera-Ruhondo PSH scheme in Rwanda, Africa

R. 12 DR. EDUARDO MARTINS BRETAS, DR. ANNA DUSTIRA (Norway)

Reflections on the management of energy projects based on immature technologies: the case of a FPV pilot project

R. 13 HENRY-JOHN WRIGHT, MICHELLE BLAESER (South Africa)

Olifantspoort off-channel storage dam – critical storage to augment water supply

R. 14 EHSAN ROSHANI, ISTEMI OZKAN (Canada)

Quantifying the impact of changing climate on dam operation: a review for engineering practitioners

R. 15 FU YADONG, FU SHAOJUN, SHI HAIFENG, YUAN KEKUO (China)

Excavation and filling technology for deformation control in highly water-bearing multilayer reservoir basins

R. 16 GUO YINI (China)

Landscape signage for pumped storage dams

R. 17 XU JIANJUN, SUN TANJIAN, LEI XIANYANG (China)

Innovative technology and application research on anti-seepage of pumped storage power station reservoir basin

R. 18 ZHANG MENG, NING ZHIYUAN, LV GAO FENG (China)

Safety risk assessment of a hydropower dam operation based on risk matrix method

R. 19 XIN HE, FUXIN CHEN, KAI TENG, KANG LYU, SHAO FENG WANG, SOPHIE LUO (China)

Introduction to the world's first 100-meter-deep floating photovoltaic project in southeast Asia

R. 20 DEVENDRA KUMAR SHARMA (India)

Dams for energy transition and need for pumped storage and hydroelectric projects in India

R. 21 PETRA SUCHOPÁRKOVÁ, PETR SMRŽ, ONDŘEJ ŠVARC (Czech Republic)

Connection of the Libouš surface quarry with the Nechranice reservoir

R. 22 IONEL SORIN RÎNDAȘU-BEURAN, NICOLAE BĂRBIERU, ANDREEA-CRISTINA GĂLIE, IULIAN DAN ASMAN, RĂZVAN DAN BOGZIANU (Romania)

Adaptation of the reservoir operation rules in the context of climate change

R.1 MEHTA, A., de MEMBRILLERA ORTUÑO, M. G. (Spain)

Písečné přehrady: Důvody pro užší spolupráci mezi přehradními odborníky a nevládními organizacemi

Významnou strategií pro řešení nedostatku vody v suchých oblastech je zajištění místních akumulačních opatření. Písečné nádrže, jako forma podpovrchových vodních děl, využívají období relativního nadbytku vody k překlenutí deficitu zásobování během suchých období. Tyto objekty, budované převážně nevládními organizacemi, zásadně proměnily život milionů lidí v komunitách suchých oblastí. Jsou tvořeny betonovou hrázkou, která zachycuje písek unášený povodňovými průtoky, přičemž se za tělesem hrázky postupně akumuluje sediment, v jehož pórovém prostoru se ukládá voda. Tím dochází ke zvýšení hladiny podzemní vody v nadjetí a k vytvoření místního zvodnělého kolektoru, což minimalizuje ztráty výparem a současně chrání obyvatelstvo před chorobami přenášenými vodou. Jejich návrh a umístění jsou však složité, dynamické a vyžadují multidisciplinární přístup.

Na základě zkušeností autorů z nedávné výstavby písečné nádrže Kithumba v Keni článku zdůrazňuje potřebu spolupráce mezi nevládními organizacemi často působícími v oblastech s nedostatkem zdrojů vody a většími subjekty působícími v přehradním stavitelství. Písečné nádrže vykazují systémové mezery a výzvy od fáze přípravy, přes inženýrskogeologický a hydrogeologický průzkum a proces návrhu až po samotnou výstavbu a provoz díla. Spolupráce mezi nevládními organizacemi a přehradním sektorem by mohla zajistit, aby bylo možné výstavbu písečných přehrázek rozšiřovat efektivním a bezpečným způsobem.

R.2 ROEDER, J., FRIZ, C., EVERS, F. M., HUSS, M., FAURIEL, J., BOES, R. M. (Switzerland)

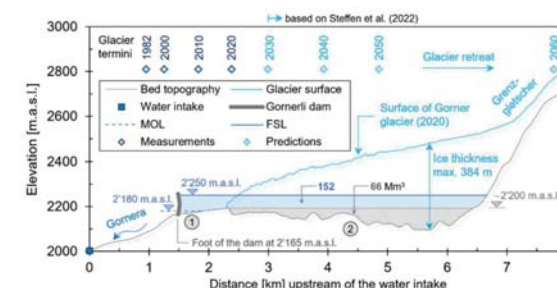
Hospodaření se sedimenty a povodněmi u plánované víceúčelové nádrže v periglaciálním prostředí

V důsledku ústupu ledovců v návaznosti na změnu klimatu se ve Švýcarsku objevují nová území vhodná pro vodohospodářské využití a akumulaci vody, jejichž význam roste s postupným zánikem přirozené akumulace, kterou dnes ledovce představují. Víceúčelová nádrž Gornerli, situovaná nad Zermatt, známým alpským lyžařským střediskem na jihu Švýcarska, je nově plánovanou nádrží vytvořenou klenbovou hrází, jejíž výstavba je zamýšlena v rámci švýcarské energetické transformace. S hodnotou 650 GWh má zdaleka největší akumulační kapacitu z 15 uvažovaných rozšíření stávajících nádrží nebo nových vodních děl. Dalším výrazným znakem této nádrže je její vysokohorské, silně zaledněné povodí. Rychlé tání ledovcového ledu v důsledku oteplování klimatu povede v příštích letech ke vzniku přirozeného jezera ve výrazné depresi utvářené topografií podložního skalního reliéfu, zatímco kulminační průtoky povodní výrazně vzrostou. Z dlouhodobého hlediska představuje zanášení nádrže sedimenty zásadní výzvu pro zachování jejího aktivního zásobního objemu v takovéhoto periglaciálních nádržích.

Tento strategický projekt přehradní nádrže si klade za cíl zejména zvýšit bezpečnost zimních dodávek energie ve Švýcarsku a chránit Zermatt a níže položené údolí Mattertal před povodněmi. Analýza ústupu ledovce, produkce sedimentů a protipovodňového hospodaření potvrdila značný potenciál této lokality. Po plánovaném dokončení hráze v roce 2032 bude

podstatná část objemu nádrže ještě dalších 20 až 40 let zabrána ustupujícím čelem ledovce. Navzdory značným nejistotám se předpokládá překvapivě malý dopad sedimentace, s odhadovanou ztrátou menší než 1 mil. m³ po 80 letech provozu, což představuje 0,5 % aktivního zásobního prostoru nádrže ve výši 152 mil. m³. Tuto nízkou hodnotu, navzdory značným přítokům plavenin, lze vysvětlit geometrií nádrže a hlubokým přirozeným jezerem, které vznikne a bude tvořit velmi velký mrtvý prostor nádrže.

Dále lze prokázat, že povodňová vlna o době trvání 80 hodin a objemem 20 mil. m³, může být nádrží zcela transformována při volné výšce 5,6 m mezi maximální hladinou zásobního prostoru a korunou hráze. Studie zdůrazňuje význam zpřesnění mapování skalního podloží pod současným ledovcem a zároveň doporučuje zpracování proaktivních studií, zejména pokud jde o zrnitostní složení sedimentů, a rozpracování možných opatření pro udržitelné hospodaření se sedimenty, které se budou ukládat v nádrži.



Podélný profil nádrže Gornerli, včetně hladiny vody nové přehrady, jakož i hladiny přírodního jezera, které vznikne po odlednění. Poloha modelovaných čel ledovce (Steffen et al., 2022) je znázorněna body odpovídajícími scénáři SSP2-4.5.

R.3 MOTE, T., de MEMBRILLERA ORTUÑO, M. G. (Australia)

Dopad lesních požárů na rizika bezpečnosti přehrad a sesuvů v oblasti nádrže s ohledem na budoucí klima

Lesní požáry mohou způsobit okamžité narušení provozu přehrady a běžně vedou k menším škodám a krátkodobým provozním omezením. Avšak eroze po požáru a sesuvy v okolí břehů nádrže, vyvolané následnými extrémními srážkami, mohou mít z dlouhodobého hlediska mnohem závažnější dopad na provoz a bezpečnost přehrady.

V případech, kdy je pozorováno, že vegetační pokryv nad povrchem půdy byl po lesním požáru zasažen středně až vysoce intenzivním hořením, považuje se roční pravděpodobnost vzniku sesuvu za zvýšenou až do doby, než dojde k obnově vegetace.

Současná praxe hodnocení sesuvného ohrožení obvykle nezohledňuje krátkodobé zvýšení náchylnosti k sesuvům po lesním požáru. Očekává se, že změna klimatu zvýší četnost a závažnost lesních požárů v důsledku růstu teplot, vyšší intenzity sucha, zvýšené intenzity srážek a častějšího výskytu bouřek.

U přehrad v oblastech náchylných k lesním požárům může budoucí zvýšení roční pravděpodobnosti jejich výskytu, podmíněné změnou klimatu, významně ovlivnit provozní požadavky i hlediska bezpečnosti. Tento příspěvek navrhuje rozšíření tradičního posuzování

stability přehradních opěr a břehů nádrže o zahrnutí vlivu lesních požárů a změny klimatu. Navazuje na tradiční rámce hodnocení rizik a začleňuje změnu klimatu prostřednictvím posouzení proměnlivých časových stavů rizika (současný stav, současný stav při výskytu požáru, stav po požáru a budoucí klimatické podmínky).

R.4 PEYRAS, L., BERNICOT, M., GERARD, N. (France)

Doporučení FRCOLD pro realizaci plovoucích fotovoltaických elektráren na přehradních nádržích

S ohledem na výzvy spojené s dekarbonizací výroby elektrické energie, zvyšováním odolnosti území vůči dopadům změny klimatu a ochranou biodiverzity je nezbytné hledat řešení pro rozvoj nádrží a vodních děl, která budou schopna na tyto otázky reagovat. Instalace plovoucích fotovoltaických elektráren na přehradních nádržích představuje účinné řešení tohoto problému. Francie má pro instalaci takových zařízení značný potenciál a v současnosti se zde připravuje řada projektů. Tyto projekty se však často jeví jako značně vzdálené bezpečnostním standardům očekávaným z hlediska bezpečnosti přehrad. V reakci na tuto situaci vytvořila organizace FRCOLD pracovní skupinu s cílem vypracovat technická doporučení pro projekty plovoucích fotovoltaických elektráren na přehradních nádržích. Cílem je zlepšit kvalitu projektů PFVE a zajistit bezpečnost přehrad. Tento článek shrnuje počáteční poznatky pracovní skupiny, jejíž součástí bylo i šetření současných projektů, a identifikuje oblasti, v nichž je třeba dosáhnout zlepšení v oboru plovoucích fotovoltaických elektráren na přehradních nádržích.



Yamakura PFVE v Japonsku, během tajfunu v roce 2019

R.5 BORY, O., ANDRIAN, F., MATHIEU, G., AGRESTI, P., VASCETTI, G. (France)

Těsnost přehrad a nádrží přečerpávacích vodních elektráren: Specifika, návrh a zkušenosti provozu

Vodotěsnost představuje zásadní problém u přečerpávacích vodních elektráren (PVE). To platí zejména pro uzavřené okruhy PVE, kde se voda stává vzácným a nákladným zdrojem. Tento příspěvek představuje tři typy řešení pro zajištění vodotěsnosti částí nebo celé nádrže PVE.

První skupina příkladů popisuje použití tuhého těsnicího pláště na násypech, který může pokrývat celou nádrž v případě, kdy dno nádrže nesplňuje požadovaná kritéria vodotěsnosti projektu. Tato skupina příkladů vychází z významných provozních zkušeností (více než 50 let provozu) a umožňuje podrobné hodnocení. Tyto obecně uspokojivé zkušenosti potvrzují přínos tohoto řešení. Jsou navrženy specifické zásady návrhu pro nádrže PVE, zejména s cílem usnadnit monitoring a údržbu těsnicích a drenážních prvků, a tím optimalizovat správu majetku a omezit odstávky.

Druhá část se zaměřuje na zajištění vodotěsnosti přehrad s využitím RCC s dobrou zpracovatelností. Tento typ RCC představuje poměrně aktuální vývoj tohoto materiálu a umožňuje dosažení celkové vodotěsnosti a pevnostních parametrů odpovídajících, nebo dokonce převyšujících vlastnosti vibrovaného prostého betonu. Článek popisuje hlavní principy umožňující výrobu takového RCC, spočívající především v optimalizaci skeletu zrnitostního složení kameniva. K ilustraci tohoto přístupu je využito několik realizovaných příkladů a rovněž zkušenosti z prvního napouštění nádrže PVE, na jejichž základě lze formulovat předběžné závěry, které zřejmě potvrzují vhodnost tohoto typu RCC pro nádrže PVE.

Závěrečná část příspěvku se zabývá použitím geomembrán, tj. pružného materiálu, jako těsnicího prvku nádrží PVE. Jsou připomenuty základní požadavky a výhody jejich použití a jsou popsány tři nedávné příklady aplikace na zemním násypu, na sypané hrázi z drobnozrnité kamenité zeminy a na kamenité sypané hrázi. Jsou ilustrovány potřebné specifické úpravy související s použitím řešení SIBELON® (CARPI) v uvedených případech a je zdůrazněno zohlednění účinků větru při návrhu. První závěry z probíhajících napouštěcích zkoušek ukazují nutnost věnovat zvláštní pozornost napojení na tuhé konstrukce, zároveň však potvrzují velmi dobrou schopnost tohoto řešení přenášet diferenciální deformace.

R.6 GAILHARD, J., DEVERS, A., LE LAY, M., DAUTOIS, G., RICHERT, J., CUENOT, S. (France)

Změna klimatu ve Francii: Nezbytnost adaptace přehrad a vodních nádrží, národní pohled a místní příklad

Dopad změny klimatu na vodní zdroje je ve Francii již nyní patrný. Rok 2022, charakterizovaný mimořádně vysokými teplotami a suchem, ukázal, že jedním z hlavních projevů této změny je nedostatek vodních zdrojů v letním období.

Do budoucna simulace provedené v rámci projektu **Explore2** předpokládají všeobecný pokles letních průtoků na celém území a nejistou situaci v zimním období, s pravděpodobným

nárůstem průtoků na velké části Francie. V horských povodích navíc zvyšování teploty vzduchu vede k dřívějšímu tání sněhu.

Tato změna hydrologického cyklu vyvolává i změny ve vodní energetické výrobě společnosti EDF, a to jak z hlediska ročního objemu výroby, u něhož se projevuje mírně klesající trend, tak především z hlediska jejího sezónního rozložení. Jarní přítok podmíněný táním sněhu nastává dříve a jeho objem se postupně snižuje vlivem úbytku sněhové pokrývky.

Tato nová hydrologická situace vyžaduje adaptační opatření. Představujeme konkrétní případ adaptačního projektu přehrady Lauch v Alsasku, jehož cílem je nadlepšování minimálních průtoků v letním období. U této přehrady by zvýšení hráze o 3 m vedlo ke zvýšení využitelného objemu o 75 %, a tím by bylo možné i nadále zajistit stávající funkci tohoto vodního díla při podpoře minimálních průtoků.

R.7 LHERBIER, J-R., DERRIEN, S., AGRESTI, P., PERELLO, J. (France)

Inovativní návrh a zkušenosti z provozu přivaděčů významného projektu přečerpávací vodní elektrárny v aridní oblasti

Tato zpráva shrnuje zkušenosti získané při realizaci projektu přečerpávací vodní elektrárny v aridní oblasti s instalovaným výkonem 2×150 MW a spádem 150 m. Technická zpráva se zaměřuje na dva klíčové aspekty této přečerpávací vodní elektrárny: návrh přivaděčů a vibrační analýzu strojovny. Vtokové objekty mají zásadní význam pro účinnost celého díla, a to z hlediska hydraulických ztrát, stability proudění, omezení průsaků do horninového masivu, provozní flexibility i rizika vnášení vzduchu do proudů.

U tohoto projektu umožnilo postupné využití analytických, následně numerických a fyzikálních modelů významně rozvinout návrh vtokového objektu a identifikovat „kritická“ místa, na něž musí projektant soustředit svou pozornost. Střídavý provoz těchto vtokových objektů v turbínovém a čerpacím režimu, stejně jako problémy spojené s nakládáním se sedimenty při vysokém přílivovém rozpětí v uzavřeném nebo polootevřeném okruhu, vedou ve srovnání s vtokovými objekty běžnějších vodních elektráren k dodatečným nárokům na modelování a návrh.

Kromě toho byla pro vodní cesty vyvinuta inovativní alternativa betonového ostění, která splňuje mimořádně přísné kritérium průsaků a současně v maximální možné míře omezuje použití ocelového ostění. Navržené řešení spočívá v železobetonovém ostění kombinovaném s předpětím a hydroizolační membránou. Tato řešení si vyžádala vytvoření pokročilých numerických modelů, které zohledňují specifická kritéria související s výrazně neustálenými provozními režimy, specifickou geometrií ostění a podmínkami výstavby. Tento přístup umožnil poukázat na významné rozdíly oproti analytickým modelům ostění, které předpokládají ideálně kruhový tvar, a podle toho přizpůsobit návrh ostění.

R.8 ROSIN-CORRE, N., BOCQUET, J-M., BUCHI, C., BRAZ, M., De AQUINO, AUBARBIER, T. (France)

Úpravy návrhu přečerpávacího vodního díla Abdelmoumen v průběhu výstavby

Přečerpávací vodní elektrárna Abdelmoumen, situovaná 70 km od Agadiru, s instalovaným výkonem 350 MW, je součástí programu rozvoje infrastruktury marockého **Národního úřadu pro elektřinu a pitnou vodu** („Office National de l'Electricité et de l'Eau potable“, ONEE).

Tento projekt je v souladu se strategií dekarbonizace Maroka, neboť poskytuje zelenou energii za velmi konkurenceschopné náklady pro domácí i průmyslové odběratele. Umožní pokrývat špičkovou poptávku po elektrické energii prostřednictvím akumulace energie, optimalizovat provoz výrobních zdrojů, zajistit flexibilitu provozu národní elektrizační soustavy, zvýšit kapacitu integrace obnovitelných zdrojů energie a zlepšit stabilitu národní přenosové elektrizační sítě. Uvedení tohoto projektu do provozu v roce 2024 zvýší instalovaný výkon vodních elektráren v zemi o 20 % a posílí tak stávající kapacitu přečerpávací vodní elektrárny Afourer o výkonu 460 MW, která je v provozu od roku 2004.

Vodní dílo je vybaveno: horní a dolní akumulační nádrží, každou s aktivním zásobním objemem 1 300 000 m³; vodní cestou o délce přibližně 3 km, propojující obě nádrže a přivadějící vodu do elektrárny (2 200 m dlouhým nadzemním vysokotlakým potrubím a 800 m podzemních štol); strojovnou se dvěma reverzibilními Francisovými soustrojími, každé o výkonu 175 MW; rozvodnou 225 kV zahrnující dva přívody bloků a čtyři vývody vedení; a čerpací stanici, která zajišťuje dodávku vody ze stávající nádrže blízko přehrady Abdelmoumen pro první napuštění a pro náhradu ztrát způsobených vypařováním. Průměrná čistá výška spádu činí 560 m vodního sloupce v čerpacím režimu a 540 m vodního sloupce v turbínovém režimu.

Elektrárna byla navržena tak, aby umožňovala rychlé přepnutí z čerpacího do turbínového režimu a aby mohla vykonat až 20 cyklů spuštění/odstavení denně podle potřeb národní elektrizační sítě. Provoz v uzavřeném hydraulickém okruhu omezuje dopad elektrárny na životní prostředí a na vodní zdroje.

Hlavní úpravy projektu provedené v průběhu výstavby byly zaměřeny na zvýšení spolehlivosti vodního díla a jeho provozní flexibility:

- zavedení individuálních servomotorů pro rozváděcí lopatky turbíny, umožňujících jejich asynchronní ovládání, což je užitečné při spuštění v turbínovém režimu a při odepnutí zátěže;
- zajištění dodávky vody pro první napuštění a doplňování horní nádrže pomocí plovoucí čerpací stanice v nádrži přehrady Abdelmoumen, což je řešení zvláště vhodné vzhledem k velkému rozsahu kolísání hladiny;
- zesílení systému ochrany geomembrány horní nádrže proti nadzdvižení pomocí betonových přítěžovacích bloků a systému odsávání vzduchu za geomembránou po epizodě silného větru;
- zlepšení vodotěsnosti šachty uzávěru vtokového objektu po výskytu průsaků během prvního napuštění horní nádrže.

R.9 BERCHE, V., DELEU, B., DEROO, L., VIVES, L., BOUTONNIER, L. (France)**Kanál Seine-Nord Europe, významný vodohospodářský projekt ve Francii**

Kanál Seine-Nord Europe je významný projekt vodní cesty ve Francii, jehož výstavba byla zahájena v roce 2023. Kanál propojí povodí Seiny se sítí vodních kanálů severní Evropy a bude přístupný plavidlům širokého plavebního standardu.

Projekt o délce přes 100 km zahrnuje soustavu jednotlivých zdrží, které jsou napouštěny čerpáním vody z řeky Oise. Zásadním požadavkem je úspora vody s cílem omezit odběry. To zahrnuje recyklaci objemů plavebních komor, zajištění vodotěsnosti za účelem omezení průsaků a monitorování pro včasnou detekci netěsnosti.

Jednotlivé zdrže kanálu jsou dále lemovány soustavou hrází, z nichž několik je natolik významných, že spadají do kategorie A, tedy nejvyšší kategorie podle francouzských předpisů. Tyto hráze jsou vystaveny specifickým rizikům, jako jsou možné nehody při plavbě nebo mimořádné situace vyvolané provozem plavebních komor.

Cílem příspěvku je představit projekt, popsat problematiku úspor vody spojenou s napouštěním pomocí čerpání a opatření přijatá k dosažení požadovaných parametrů, a dále objasnit otázky hydraulické bezpečnosti, které jsou pro tento projekt specifické.

R.10 STEMATIU, D., ABDULAMT, A., (Romania)**Potenciál rumunských přehrad přizpůsobit se měnícím se podmínkám prostředí**

V současné době se v Rumunsku nachází více než 2200 vodních nádrží s celkovým retenčním objemem přes 13 km³ vody. Z tohoto počtu je 246 velkých přehrad podle standardní definice ICOLD. Většina nádrží byla navržena jako víceúčelová vodní nádrž, která zajišťuje různé samostatné i kombinované přínosy, jako jsou zásobování obyvatelstva, průmyslu a zemědělství vodou, výroba elektrické energie, ochrana před povodněmi apod.

Příspěvek stručně představuje některé hlavní aspekty související s koncepcí **změny provozního režimu přehrad** v Rumunsku.

Mezi hlavní důvody pro uplatnění této nové koncepce změny provozního režimu lze uvést:

- změny v poptávce po vodě,
- jevy související se změnou klimatu,
- otázky bezpečnosti.

Všechny výše uvedené aspekty jsou v příspěvku prezentovány společně s rumunskými zkušenostmi.

R.11 KASSANA, L. (Rwanda)**Případ možné přečerpávací vodní elektrárny Burera-Ruhondo ve Rwandě, Afrika**

Tato zpráva představuje možný projekt **přečerpávací vodní elektrárny** ve Rwandě. Tento projekt využívá přirozeného výškového rozdílu mezi dvěma přírodními jezery (**jezerem Burera a jezerem Ruhondo**).



Přehledná situace umístění potenciální PVE ve Rwandě

R.12 MARTINS BRETAS, E., DUSTIRA, A. (Norway)

Úvahy o řízení energetických projektů založených na nedostatečně vyzrálých technologiích: Příklad pilotního projektu PFVE

Tento dokument se zabývá řízením energetických projektů založených na dosud technologicky nevyzrálých řešeních, se zaměřením na pilotní projekt plovoucí fotovoltaiky (PFVE). Upozorňuje na celosvětovou potřebu snižování emisí skleníkových plynů a na potenciál obnovitelných zdrojů energie, jako je PFVE, v nádržích přehrad.

Dokument je rozdělen do tří hlavních částí. První část popisuje pilotní projekt v Evropě, v němž byla s využitím membránové technologie instalována plovoucí fotovoltaická elektrárna o výkonu 2 MWp. Cílem projektu je prokázat technickou a komerční proveditelnost panelů PFVE. Projekt byl rozvíjen vlastníkem nádrže (dále jen „zadavatel“) a vývojářem technologie (dále jen „zhotovitel“). Cílem bylo prokázat technickou a komerční životaschopnost plovoucích fotovoltaických panelů založených na technologii zhotovitele.

Druhá část se věnuje vnějším faktorům ovlivňujícím výkon PFVE, jako jsou vlnění vodní hladiny, vlhkost, prach, splaveniny a plovoucí nečistoty, biologické zanášení, teplota a sluneční podmínky. Tyto faktory mohou významně ovlivnit funkčnost a výkonnost instalace PFVE. Například působení vln může způsobovat zvýšený pohyb kotevního systému a dodatečné namáhání plovákových modulů. Účinky vlhkosti, jako je koroze, představují u řešení založených na membráně menší problém díky použití syntetických lan a potrubí z HDPE. Prach a nečistoty však mohou zakrývat panely, snižovat jejich účinnost a zvyšovat náklady na údržbu.

Biologické zanášení, například když ptáci využívají PFVE k odpočinku a hnízdění, může rovněž vést ke zvýšeným nákladům na čištění. Ochlazovací účinek vody na panely PFVE může zvyšovat jejich účinnost; studie ukazují zlepšení energetického výnosu o 5–7 % u panelů chlazených vodou.

Závěrečná část přináší úvahy o tom, jak třídit nevyzrálé typy obnovitelných zdrojů energie na komerční úroveň, a zdůrazňuje význam ekosystémového přístupu, v jehož rámci různé společnosti a organizace spolupracují na inovacích a úspěšném rozvoji. Dokument doporučuje přijmout ekosystémový přístup k inovacím v oblasti obnovitelné energie, kdy skupina vzájemně propojených a vzájemně závislých společností nebo organizací spoléhá jedna na druhou, aby mohla fungovat a dosahovat úspěchu.

Tento přístup je obzvláště vhodný pro podnikání v oblasti obnovitelných zdrojů energie v období energetické transformace, neboť podporuje inovace a spolupráci mezi jednotlivými účastníky. Role zadavatele v rámci tohoto ekosystému spočívá ve využití jeho finanční síly a sítě kontaktů, přičemž může případně přijmout roli komplementora, aby usnadnil inovace a současně řídil více ekosystémů paralelně.

R.13 WRIGHT, H-J., BLEASER, M. (South Africa)

Boční akumulční nádrž Olifantspoort – klíčový zásobní objem pro posílení zásobování vodou

Dodávky vody do města Polokwane, které se nachází v severní části Jihoafrické republiky, a do jeho okolí, kde žije více než 1 milion obyvatel, jsou již více než deset let výrazně omezené, což negativně ovlivňuje spolehlivost vodohospodářských služeb pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou i hospodářský rozvoj dané oblasti. V průběhu let byla plánována a realizována řada projektů a iniciativ s cílem řešit akutní nedostatek vody, kterému komunity v tomto regionu čelí. Jeden z těchto zdrojových projektů (systém Olifantspoort) zahrnuje převod vody ze sousedního povodí. V současnosti se tento systém skládá z objektů odběru surové vody (jez s čerpací stanicí), odkud je voda přečerpávána přes svahový stupeň do povodí města Polokwane.

Boční akumulční nádrž Olifantspoort jako součást systému Olifantspoort byla na úrovni koncepčního návrhu vymezena v rámci studií zaměřených na rekonstrukci a modernizaci stávajících objektů odběru surové vody (jezu s čerpací stanicí) v lokalitě Olifantspoort. Stávající říční odběrný objekt se nachází na levém břehu řeky Olifants a jeho celková provozní čerpací kapacita činí 64 tis. m³ za den při provozu čtyř čerpadel 24 hodin denně. Do budoucna se předpokládá jeho modernizace tak, aby zásoboval úpravnu vody kapacitou 120 tis. m³ za den. Současně bude modernizována také samotná úprava vody.

Vzdutí u jezu je silně zaneseno sedimenty ukládanými při povodních, což snižuje využitelný akumulční objem potřebný pro efektivní provoz čerpací stanice surové vody. Následná akumulace sedimentů v čerpací stanici rovněž přispívá k častým poruchám čerpadel. Navrhovaná boční akumulční nádrž má napomoci usazování splavenin z řeky Olifants a současně poskytnout vyrovnávací akumulční objem pro úpravnu vody a zásobní systém města Polokwane.

V průběhu roku 2022 byla dokončena studie výběru typu přehrady s cílem stanovit nejvhodnější typ hráze pro danou lokalitu. Posouzení variant navrhované boční akumulční nádrže prokázalo, že nejvhodnějším řešením je hráz typu **Rubble Masonry Concrete (RMC)** s bezpečnostním přelivem vedeným přes nejnižší uzavírací hráz. Návrh byl následně v roce 2023 dopracován, přičemž vzhledem k mimořádné geometrii lokality bylo zapotřebí pět uzavíracích hrází.

Tento příspěvek se zabývá pozadím projektu, potřebou realizace tohoto systému, omezeními, jako je vysoké zatížení toku sedimenty, které určilo preferenci boční akumulční nádrže, a dále projektovými výzvami.

R.14 ROSHANI, E., OZKAN, I. (Canada)**Kvantifikace dopadu měnícího se klimatu na provoz přehrad: Přehled pro inženýrskou praxi**

V současnosti přehrady ovládají a regulují průtoky přibližně poloviny hlavních říčních systémů planety. Očekává se, že změna klimatu zvýší celosvětové riziko povodní, a to především v důsledku změn prostorového rozložení, časového rozdělení a intenzity srážkových událostí. Provoz přehrad obvykle mění četnost, trvání a časový průběh povodňových jevů. Vodní hladiny nádrží však současně každoročně emitují přibližně jednu miliardu tun skleníkových plynů, zejména v důsledku uvolňování metanu z rozkládající se vegetace. To představuje 1,3 % celkových ročních antropogenních emisí skleníkových plynů na světě, takže přehrady jsou významným činitelem přispívajícím ke změně klimatu, a zároveň jsou jejím působením samy ovlivňovány.

Změna klimatu může ovlivnit různé aspekty provozu a údržby přehrad, které jsou ve značné míře závislé na vodní bilanci tvořené přítokem, odtokem a objemem zadržené vody. Pro zavádění vhodných adaptačních a zmírňujících opatření je zásadní porozumět vzájemným souvislostem mezi změnou klimatu a provozem přehrad. Tento článek podává přehled různých faktorů ovlivňujících jednotlivé složky této vodní bilance a upozorňuje na potenciální rizika a dotčené oblasti. Studie analyzuje dostupnou odbornou literaturu a porovnává její závěry s požadavky a pokyny vyplývajícími ze zákonů, směrnic a technických norem vydávaných místními, národními i mezinárodními institucemi. Přestože řízení extrémních hydrologických jevů patří mezi důležité provozní úkoly, přehled naznačuje, že provozovatelé se více soustředí na každodenní provoz. Proto jsou v práci uvedeny také praktické postupy pro hodnocení těchto dopadů na běžný provoz přehrad. Dále jsou identifikovány různé mezery v současném stavu poznání, jejichž odstranění vyžaduje další výzkum.

R.15 FU, Y., FU, S., SHI, H., YUAN, K. (China)**Technologie odkopů a násypů pro řízení deformací ve vysoce zvodnělých vícevrstevných pánevních prostorech nádrží**

Odkopy a násypy v prostoru nádrže představují klíčovou část výstavby přečerpávací vodní elektrárny. Proces hloubení nádrže v náročných geologických podmínkách, včetně výskytu vysoce zvodnělých vícevrstevných horninových a zeminových souvrství, je charakterizován nerovnoměrnými deformacemi svahů nádrže a potenciálem výrazné ztráty jejich stability.

Projekt přečerpávací vodní elektrárny **Kokhav Hayarden v Izraeli** zahrnoval hloubení nádrže ve třech vrstvách souvrství o různé mocnosti. Tyto vrstvy se vyznačovaly vysokým obsahem vody a vysokou plasticitou a byly realizovány metodou **odkopu a násypu**, která dobře ilustruje obtíže a technologické postupy typické pro obdobné stavby.

Tento příspěvek podává ucelený přehled zásad návrhu a hlavních ovlivňujících faktorů spojených s výstavbou nádrže metodou odkopu a násypu u této přečerpávací vodní elektrárny. Současně popisuje technologii odkopů a násypů i technologii výstavby nádrže, které jsou použitelné pro řadu obdobných projektů a mohou sloužit jako cenný podklad pro odbornou praxi.

Numerická simulace procesu odkopů a násypů dolní nádrže při různých variantách řešení byla provedena metodou konečných prvků. Navržená varianta je posouzena ve vazbě na deformace a součinitel bezpečnosti. Syntéza získaných poznatků má značný význam pro řízení výstavby nádrží realizovaných metodou odkopu a násypu ve složitých stratigrafických podmínkách, typických mimo jiné pro přečerpávací vodní elektrárny.

R.16 YINI, G. (China)**Krajinářský vzhled hrází přečerpávacích vodních elektráren**

Tento příspěvek se zabývá environmentálním a krajinářským návrhem hrází z pohledu výstavby vodo hospodářských děl a trendů krajinářských úprav u přečerpávacích vodních elektráren. S ohledem na stávající problémy předkládá koncepci integrovaného návrhu vzhledu hrází PVE a jejich začlenění do krajiny. Provádí úvodní průzkum tohoto návrhu ve třech dimenzích „prostředí – objekty – člověk“. Na základě vytvoření této koncepce je dosaženo maximální integrace vzhledu hráze a krajinářského prostředí tohoto díla, čímž jsou zdůrazněny charakteristiky navazující na kulturní dědictví a je naplněna harmonická jednota funkce, estetiky a lidského rozměru. Takový přístup posílí krajinářské přínosy hráze, otevře nové směry rozvoje a podpoří rozvoj národního odvětví přečerpávacích vodních elektráren i duchovní civilizace.

R.17 XU, J., SUN, T., LEI, X. (China)**Inovativní technologie a výzkum aplikací těsnění proti průsakům nádrží přečerpávací vodní elektrárny**

V posledních letech, spolu s rychlým rozvojem a výstavbou přečerpávacích vodních elektráren v Číně, přibývá projektů s komplikovanými geologickými podmínkami hrází a nádrží v různých lokalitách a současně bylo dosaženo významného pokroku v klíčových technologiích těsnění nádrží proti průsakům. Tento článek se zaměřuje především na použití těsnicích systémů proti průsakům, jako jsou železobetonové pláště, asfaltobetonové pláště, geomembrány a jílové těsnicí vrstvy, v praktických inženýrských aplikacích. Stručným popisem nejmodernějších technologií a jejich využití na dvou typických projektech těsnění nádrží proti průsakům — Jurong a K v Izraeli — je naznačen a prognózován trend dalšího vývoje technologií těsnění nádrží proti průsakům, přičemž jsou poskytnuty zkušenosti a reference pro obdobné projekty.

R.18 ZHANG, M., NING, Z., LV, G. (China)**Posouzení bezpečnostních rizik vodní elektrárny s přehradou na základě metody mapy rizik**

Cílem tohoto příspěvku je identifikace bezpečnostních rizik spojených s obdobím provozu přehrady s vodní elektrárnou s využitím metody strukturovaného rozhovoru v rámci postupů hodnocení rizik. K analýze pravděpodobnosti výskytu a závažnosti následků různých potenciálních zdrojů rizika je použita metoda mapy rizik. Hodnocení zahrnuje zejména

vzdouvací konstrukce, objekty pro vypouštění vody a disipaci energie, uzávěry a zdvihací zařízení, břehy a svahy nádrže, provozní řízení vodní nádrže i přírodní katastrofy. V rámci tohoto komplexního posouzení bylo identifikováno celkem 17 potenciálních zdrojů rizika. Na základě expertních zkušeností byl každý zdroj rizika ohodnocen a byla navržena cílená opatření pro reakci na rizika a jejich řízení. Zjištění a doporučení uvedená v této studii mohou sloužit jako cenný podklad pro zkvalitnění bezpečnostního managementu provozu přehrad.

R.19 HE, X., CHEN, F., TENG, K., LYU, K., WANG, S., LUO, S. (China)

Úvod k prvnímu světovému plovoucímu fotovoltaickému projektu na 100 metrů hluboké nádrži v jihovýchodní Asii

Projekt Cirata o instalovaném výkonu 145 MW, umístěný na nádrži vodní elektrárny, byl největším plovoucím fotovoltaickým projektem v jihovýchodní Asii, přičemž hloubka vody v lokalitě dosahovala 100 metrů. Geotechnické podmínky byly složité, se sklony dna přesahujícími 20 stupňů. K řešení problému velkého sklonu dna byl použit nový typ gravitačních kotev se smykovými zámky. V průběhu výstavby bylo instalováno více než 2000 kotev. Pro zajištění přesnosti osazování kotev byl použit systém „Ultra Short Baseline“. Ke sledování posunů plovoucích polí i tahových sil v kotevních lanech byl využit systém vícerežimovou syntézou dat ve spojení se systémem provozu a údržby. Byly uplatněny koncepce bezpečnostního návrhu „v celém životním cyklu“ a „integrovaného“ návrhu tak, aby byly splněny požadavky na bezpečnost přehrady. Tento úspěšný projekt dokládá využití inovativních technologií a slouží jako příklad pro obdobné projekty plovoucích fotovoltaických elektráren.

R.20 SHARMA, D. K. (India)

Přehrady pro energetickou transformaci a potřeba přečerpávacích akumulčních a vodních elektrárenských projektů v Indii

Od doby získání nezávislosti v roce 1947, kdy bylo v Indii méně než 300 velkých přehrad, jejich počet dnes vzrostl na více než 6 200. Výroba elektrické energie ve vodních elektrárnách v Indii prošla od doby nezávislosti dlouhou cestou: tehdy činil instalovaný výkon pouze 508 MW, zatímco ke konci září 2024 dosáhl 52 004 MW včetně malých vodních elektráren. Velikost jednotlivých soustrojí se z tehdejších 22 MW zvýšila až na 250 MW. Ve světovém měřítku dosáhla velikost soustrojí až 800 až 1000 MW.

Pro dosažení cíle nulových čistých emisí do roku 2070 musí být růst Indie poháněn obnovitelnými zdroji energie. Podle Pařížské dohody z roku 2015 je cílem omezit růst teploty do konce století na nejvýše 1,5 °C oproti předindustriální úrovni. To vyžaduje úplnou transformaci výroby a spotřeby energie. Téměř 100 % výroby elektrické energie musí do roku 2050 pocházet z nefosilních zdrojů.

Závazek Indie v oblasti energetiky přijatý na konferenci COP26, konané v roce 2021 v Glasgow, spočíval ve vytvoření 500 GW výrobní kapacity z nefosilních zdrojů, v pokrytí

50 % energetických potřeb z obnovitelných zdrojů do roku 2030 a v dosažení nulových čistých emisí do roku 2070. Tyto cíle vyžadují úplnou transformaci výroby a spotřeby energie.

K 30. září 2024 činil celkový instalovaný výkon elektrizační soustavy Indie 452,69 GW, z čehož výkon z nefosilních zdrojů představoval 209,65 GW, tedy 46 % celkové kapacity. Tato hodnota zahrnuje 201,47 GW obnovitelných zdrojů (solární, větrná a biomasa) a 8,18 GW jaderné energetiky. Instalovaný výkon zdrojů na fosilní paliva činí 243,06 GW, tedy 54 % celkové kapacity. Cíl dosáhnout do roku 2030 podílu 40 % výkonu z nefosilních zdrojů, k němuž se Indie zavázala v rámci Pařížské dohody, byl splněn s velkým předstihem již v roce 2019, přibližně o 11 let dříve.

Indie potřebuje v následujících letech až do roku 2030 každoročně přidávat přibližně 5 000 MW vodních elektráren a do roku 2047 pak v průměru asi 2 100 MW ročně, aby byl zajištěn přechod energetiky. To je dosažitelné, protože Indie již v minulosti takovou kapacitu během jednoho roku vybudovala. V celé zemi stále existuje značný objem ekonomicky využitelného potenciálu, který postačuje k naplnění nezastupitelné role vodní energetiky v energetické transformaci. Indie plánuje mít do roku 2030 přibližně 19 GW přečerpávacích akumulčních elektráren. Pro dosažení tohoto cíle lze ve velkém rozsahu a ve zrychleném režimu rozvíjet přečerpávací elektrárny mimo hlavní vodní tok. Avšak při současném souboru pravidel a předpisů může být dosažení cíle výstavby nových přečerpávacích elektráren obtížné.

Tento příspěvek se podrobně zabývá rolí přehrad a přečerpávacích akumulčních elektráren v energetické transformaci a dále potřebnými zásahy do politik a regulace, které jsou nezbytné pro splnění závazků v oblasti nulových čistých emisí přijatých na jednotlivých konferencích smluvních stran (COP) Rámcové úmluvy Organizace spojených národů o změně klimatu (UNFCCC).

R.21 SUCHOPÁRKOVÁ, P., SMRŽ, P., ŠVARC, O. (Czech Republic)

Propojení povrchového lomu Libouš s vodní nádrží Nechranice

Hnědouhelný lom Libouš je v současnosti jedním z největších aktivních lomů v České republice. Na základě usnesení vlády se ukončení těžby a zahájení konečných etap rekultivace území předpokládá v období let 2030 až 2041. Při řešení vodo hospodářské problematiky podkrušnohorské hnědouhelné pánve po ukončení těžby hnědého uhlí a při rekultivaci území se v současné době zvažuje také varianta přímého propojení vodní nádrže Nechranice s lomem Libouš.

Vodohospodářské řešení propojení vodní nádrže Nechranice – nádrže Libouš bylo využito k posouzení posílení zásobního a retenčního prostoru vodní nádrže Nechranice a přínosů v oblasti dolního toku Ohře. Posouzení prokázalo, že propojení vodní nádrže Nechranice a nádrže Libouš významně zvýší nadlešovací účinek v toku Ohře pod vodní nádrží Nechranice, a to až o 24 % oproti současnému stavu. Současně toto propojení zajistí stávající nadlešovací účinek v dolním toku Ohře i pro nejzazší horizont klimatické změny (rok 2100). Vzhledem k tomu, že realizace nových nádrží na dolní Ohři není v současnosti reálně proveditelná, představuje toto v silně zemědělsky využívaném území výjimečnou příležitost k adaptaci vodních zdrojů na klimatickou změnu.

R.22 RÎNDAȘU-BEURAN, I. S., BĂRBIERU, N., GĂLIE, A. C., ASMAN, I. D., BOGZIANU, R. D. (Romania)**Adaptace manipulačních řádů vodních nádrží v kontextu změny klimatu**

Střídání období růstu průměrných teplot na zemském povrchu, změny intenzity pohybů oceánů a jejich hladin, stejně jako rostoucí četnost extrémních jevů (povodní a sucha), jsou viditelnými projevy zesilujících účinků změny klimatu.

Změna klimatu a zhoršování stavu životního prostředí představují trvalé hrozby pro planetu a jejich negativní dopady se projevují jak v ekonomické, tak v sociální oblasti. Za účelem podpory členských států přijala Evropská komise kroky k osvojení strategií zaměřených na zmírnění globálních dopadů změny klimatu. Rumunsko stejně jako ostatní evropské země čelí důsledkům změny klimatu.

Změna klimatu ovlivňující vodní zdroje bude s největší pravděpodobností působit na dosahování a udržení environmentálních cílů stanovených rámcovou směrnicí o vodách 2000/60/ES. Za účelem naplnění a zachování environmentálních cílů rámcové směrnice o vodách Rumunsko vymezilo ekologický průtok v zákoně o vodách č. 107/1996, ve znění pozdějších změn a doplnění. Stanovení ekologického průtoku pod vodním odběrem/vodním dílem se provádí v souladu s vládním rozhodnutím č. 148 ze dne 20. února 2020, kterým se schvaluje metodika pro stanovení a výpočet ekologického průtoku.

V současnosti existují obavy týkající se optimalizace alokace vodních zdrojů a provozu víceúčelových vodních nádrží (protipovodňová ochrana, výroba elektrické energie, zásobování vodou) v kontextu změny klimatu a zavedení ekologického průtoku jako požadavku na užívání vody.

Tento příspěvek představuje přístup k řešení dopadů změny klimatu a environmentálních požadavků podle rámcové směrnice o vodách v případě vodní nádrže. K doložení tohoto přístupu je zpracována případová studie vodní nádrže Paltinu nacházející se v Rumunsku.

Dále byl proveden odhad toho, jak by měly být změněny manipulační řády vodní nádrže (Stânca-Costești) v důsledku opakovaného výskytu mimořádných událostí v krátkém časovém období.

Otázka 109: PŘEHRADY A PROTIPOVODŇOVÉ HRÁZE VHODNÉ PRO BUDOUCNOST

Zpracovatel přehledu příspěvků:

Ing. Dalibor Kratochvíl (Povodí Odry, státní podnik)

Otázka byla rozdělena do 6 podtémat:

1. Správa stármoucího portfolia přehrad z hlediska provozu, údržby a obnovy, včetně přístupů založených na hodnocení rizik
2. Bezpečnost během výstavby a obnovy vodních děl
3. Speciální případy malých přehrad a protipovodňových hrází
4. Vliv nových smluvních postupů na bezpečnost přehrad (např. zapojení soukromého sektoru, EPC smlouvy)
5. Stále obtížnější lokality a jejich nové výzvy
6. Potřeba globálního budování kapacit

Generální zpravodajem této otázky byl pan Shuguang Li (Čína).

Celkem v otázce Q109 bylo publikováno 51 příspěvků:

R. 1 JUAN MATA, CARLOS SERRA, JOSÉ MURALHA, ANTÓNIO LOPES BATISTA, LUÍS LAMAS (Portugal)

Safety control during the Alto Tâmega dam construction

R. 2 MARIA BARTSCH, ANNA ENGSTRÖM MEYER (Sweden)

Dam safety in Sweden in times of energy transition and climate change

R. 3 ERIK NORDSTRÖM, JAMES YANG, ERIC LILLBERG, KRISTIAN ANGELE (Sweden)

Stilling basin damages at low heads – experimental investigation

R. 4 PIERRE-LOUIS LIGIER, LISA CARLSSON, MAJA RYLANDER, JOHANNA SIPOLA ÄIJÄ (Sweden)

Optimal riverbank protection design by combining hydraulic modelling with turbulence-based design methods

R. 5 DAINIUS TIRUNAS, HELMUT STAHL, THOMAS MICHAEL WEBER (Switzerland)

Moglice dam, Albania – design, construction, and monitoring of dam grouting gallery under complex geological conditions

R. 6 STEPHAN MARTIN, KENNETH ROSS, MATTHIAS GOLTZ, GABRIEL ESCOBAR (Switzerland)

Nam Theun 1 RCC dam – flood management during construction



R. 7 MARCO CONRAD, MATTHIAS GEHRI, LEONHARD KLEMM (Switzerland)
The Mühleberg HPP in Switzerland – concrete condition assessment for the re-concession and investment planning of a 100-year-old hydropower plant

R. 8 MOHAN ACHARYA, C. RICHARD DONNELLY, TONY BENNETT (Canada)
Examining the factors impacting transboundary projects

R. 9 PURIA ASIABAN, ALLEN VEENLAND, BABAK ALINEJAD, MOHAMMAD AL-MAMUN, MOHAN ACHARYA, C. RICHARD DONNELLY (Canada)
Application of risk assessment approaches to enhance the understanding of dam safety risks at the Waterton dam

R. 10 NOÉMIE ROUSSEL, JEAN-ROBERT COURIVAUD, GUILLAUME VEYLON, CLAUDIO CARVAJAL, CAPUCINE MASSON, FRÉDÉRIC ANDRIAN, EDOUARD BUCHOUD, BRUNO DAUMAS, SIMON RAUDE, MICHAIL KORRES (France)
Advanced analytics to detect anomalies through monitoring

R. 11 HUI LU, SOPHIE MESSERKLINGER, JAN ATLE ROTI (Norway)
Application of shear strength reduction method to analyze stability of a massive dam structure on soil foundation with excessive pore pressures and reduced effective stresses due to internal erosion

R. 12 NARIO YASUDA, ZENGYAN CAO, NARIO YASUDA, TADASHI NISHIMURA, MASA-AKI SATO (Japan)
Investigation of construction optimization of a heightened concrete gravity dam

R. 13 KAZUKI TOKUNAGA, EIJI WADA, KAZUYOSHI YUKIMURA, YOSHIHIRO SUZUKI (Japan)
Large-scale reservoir dam management aimed at mitigation of long-term turbidity in the Hitotsuse river

R. 14 MASAYUKI KASHIWAYANAGI, SHOTA NOSAKI (Japan)
Long-term in-situ monitoring on dynamic modulus of elasticity of dam concrete and its verification by the analysis of dynamic behavior of the dam

R. 15 NICOLA BRIZZO, GABRIELLA VASCHETTI, MARCO SCARELLA, EZIO BALDOVIN (Italy)
Ceresole Reale dam rehabilitation: more than 30 years later

R. 16 GRÉGORY COUBARD, FRANÇOIS MOREL (France)
Reinforcement of existing dams with passive anchors: thoughts and proposals from a French working group

R. 17 REMY TOURMENT, LUC DEROO, CHLOE CHANCEL, SEBASTIEN PATOUILLARD (France)
Petits barrages et digues: leçons partagées

R. 18 F.P.W. VAN DEN BERG, B.C. NOYONS, M.A. VAN (Netherlands)
Safety assessment with an agent-based model for levees with beaver burrowing during high-water events

R. 19 M.P.M. SANDERS, A.G. WIGGERS, W. DE FIJTER (Netherlands)
Designing a fit-for-the-future levee along the Dutch Meuse River

R. 20 GUIREC PREVOT, FRÉDÉRIC LAUGIER, LAURENT PEYRAS, ERIC FOUILLARD ET EMMANUEL CONSIGNY (France)
Lessons learnt from dam safety review risk assessment (Sarrazin) in France



R. 21 LUC DEROO, STÉPHANE BONELLI, JEAN-JACQUES FRY (France)
L'évaluation des risques d'érosion pour les barrages et les digues en remblai – réflexions et pratiques françaises

R. 22 ALAN BROWN (United Kingdom)
The legacy of Puddle Clay dams

R. 23 RUDOLF SJ VAN WYK, KWEKU KWAKU WIAFE, BENJAMIN NII-TAWIAH ADJEI, ALAN G CHEMALY, REGINALD BARRY (South Africa)
Planning the refurbishment of the Kpong dam spillway

R. 24 MICHELLE BLAESER (South Africa)
Faultless foundations drying up

R. 25 DAVID CAMERON-ELLIS, DANIEL PUIATTI, MICHEL LINO, MARTIN CHIZALEMA (New Zealand)
Development of a cemented soils coffer dam - an application of cemented soils technology at Kapichira dam (Malawi)

R. 26 CĂTĂLIN POPESCU, PETRUTA ISOFACHE, ISABELA BALAN (Romania)
Future-proofing dams: strategies for sustainable water management, technological retrofit, and climate resilience in the context of dam refurbishment

R. 27 FLORIAN LANDSTORFER (Austria)
Rosswiese reservoir – refurbishment of a 65-year-old drainage system for the next 65 year

R. 28 LAKSHMIN BACHU (Canada)
Empowering large dams for the future by using generative artificial intelligence

R. 29 DONGMING ZHANG, CHAOFENG ZHANG, AIGUO WANG (China)
Construction technology of 300m-level gravel soil core wall rockfill dam for Lianghekou hydropower station

R. 30 PENG CHAO, LIU CHAOJIAN, LUO JINGSONG, LIU MINGWAN, XIE SIXIANG (China)
Research on design and construction technology of large silos for sand and stone systems in high altitude areas

R. 31 LI XIAOMING, KONG LINGXUE, YU SHUIYANG (China)
Research on high-joint technology of composite dam in Zungeru hydroelectric power project

R. 32 GUOYUAN LAN, QI SUN (China)
Intelligent management and control system of concrete dam construction

R. 33 DONGMING LI, YANG CHAO (China)
Data augmentation scheme for predictive maintenance of dams: a case study of an arch dam

R. 34 LIU CHAOJIAN, DENG BING (China)
Study on the rapid construction technology of a large sand and gravel processing and concrete production system in a high-altitude canyon area

R. 35 GUO GUANGWEN, TAN KAIYAN, ZHU SHENGMIN, BO MINYUE (China)
Research on dynamic mix proportion design method of cemented gravel

R. 36 ZHOU HOUGUI, TAN KAIYAN (China)
Three dimensions of breakthroughs in China's hydraulic concrete construction

R. 37 CHENFANG JIANG, HENG CHENG (China)

Analysis and evaluation of 3k safety factors of extra high arch dams under valley deformation effects

R. 38 XINGXING ZHANG, JIANZHENG SONG, XUEDONG ZHANG, RUI WANG (China)

Experiences in determining the physical and mechanical parameters of soft soil dam foundation

R. 39 ZHENGXING WANG, LINTAO MA, ZIQIANG YANG, JUTAO HAO, SHIFA XIA, XIAOGANG WANG (China)

Effect research of anti-stripping additives to water susceptibility of hydraulic asphalt concrete

R. 40 WENWEI LI, HUAMEI YANG, SHUGUANG LI, HUI TE WU (China)

Coupled hydration and calcium leaching deterioration models for medium/low heat cement concrete in dam structures

R. 41 BIFENG WANG, FANGCAI XU, MINGHUA ZHAO, YUSHU TANG (China)

Experiences and lessons from grouting of deep overburden dam foundation under high water head

R. 42 YUAN LI, LIU QIANKUN, WANG FEI, LI TONGCHUN, LI JIANGUO (China)

A refined analysis method for the operational behavior of Nyabarongo II dam on a vibro-replacement stone column composite

R. 43 ZHENG HUIFENG, LIU QIANKUN, LI JIANGUO, ZHENG SHUO (China)

Study and design on vibro-replacement stone column treatment for deep ultra-soft dam foundation

R. 44 JIANFAN ZHOU, KUNMING LU, GAO FENG ZHANG (China)

Safety challenges and operational considerations for cascade reservoir dams

R. 45 ZHANG HANGNING, LI YUANKE, HUANG FEIYA, LIN YISHU (China)

Design of foundation treatment for Batang Toru HEPP

R. 46 YANG GUANG, ZHANG SHUAI, LUO MINGQING (China)

Research on the safety monitoring indicators Nam Ngum 5 hydropower station dam in Laos

R. 47 HE ZHANGUO, YAN JIANG PING, JIAO KAI, HUANG CHENGJIA, ZHAI HAIFENG, LIN HANWEN, PAN HAIJING (China)

The research and application of key technologies for the construction of smart sites in large hydropower stations

R. 48 KRZYSZTOF RADZICKI, MACIEJ SIEIŃSKI, TOMISŁAW GOŁĘBIEWSKI, DAGMARA ZELAYA-WZIĄTEK, ZBIGNIEW DMITRUK (Poland)

Condition of dams and levees in Poland - issues, statistics, and challenges

R. 49 HAOHAN XIAO, SIYANG CHEN, LONG JIANG (China)

Identifying potential fractured rock masses in drilling data using DBSCAN method

R. 50 PAVEL SVATOŠ, JIŘÍ KREMSA, TOMÁŠ KLEMŠA (Czech Republic)

Harcov dam - experience of the operator and technical safety supervisors from the ongoing reconstruction

R. 51 J. CHANDRASHEKHAR IYER (India)

Challenges in the safety management of large portfolio of aging dams in the Indian context

R. 1 JUAN MATA, CARLOS SERRA, JOSÉ MURALHA, ANTÓNIO LOPES BATISTA, LUÍS LAMAS (Portugal)

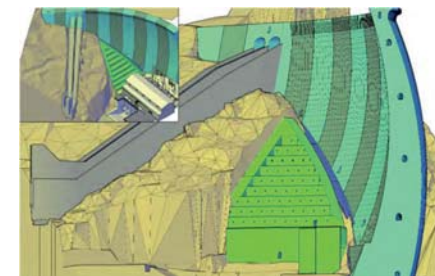
Kontrola bezpečnosti během výstavby přehrady Alto Tâmega

V průběhu výkopových prací při výstavbě přehrady Alto Tâmega došlo na svahu pravého břehu, bezprostředně pod místem založení přehrady, k sesuvu půdy, který zasáhl horninový masiv o objemu přibližně 23 000 m³.

Tento příspěvek stručně popisuje události, které vedly k porušení svahu, a dále protipatření, jež byla realizována za účelem zajištění bezpečnosti přehrady (úprava a reprofilace založení přehrady ve čtyřech blocích; výstavba nové betonové konstrukce s cílem částečně obnovit geometrii a zatěžovací poměry horninového masivu existující před sesuvem; prodloužení skalní štoly pod zasaženou oblastí za účelem hlubšího průzkumu základové horniny a zajištění jejího utěsnění a odvodnění; aktualizace monitorovacího plánu, včetně stanovení doplňující instrumentace instalované v nové betonové konstrukci a úprav monitorování základové oblasti na pravém břehu; a přesunutí spodní výpusti přehrady na levý břeh) a uvádí vybrané výsledky monitoringu během výstavby a při prvním napouštění nádrže, které prokázaly odpovídající chování přehrady.



Diskontinuity na pravém břehu



Schematický pohled na novou betonovou konstrukci v pravém zavázání

R. 2 MARIA BARTSCH, ANNA ENGSTRÖM MEYER (Sweden)**Bezpečnost přehrad ve Švédsku v době energetické transformace a změny klimatu**

Vládní zadání zaměřené na dopady změny klimatu na bezpečnost přehrad ve Švédsku bylo dokončeno v roce 2023. Účelem tohoto zadání bylo zmapovat vliv změny klimatu a energetické transformace na bezpečnost přehrad a poskytnout doporučení, jak změnu klimatu zohledňovat a jak aplikovat základní principy obsažené v národní strategii adaptace na změnu klimatu ve Švédsku na oblast přehrad. Záměrem bylo posílit rozvoj bezpečnosti při převádění povodňových průtoků a adaptaci stávajících přehrad na měnící se klimatické podmínky. Celkovým cílem bylo zpřístupnit vlastníkům přehrad a dotčeným orgánům aktuální a relevantní informace, které by vytvořily základ pro strategickou práci v oblasti klimatické adaptace přehrad.

Zadání vyústilo v rozsáhlou kompilaci poznatků a v řadu závěrů a doporučení. Přehrady jsou nezbytné pro adaptaci na změnu klimatu a představují významný předpoklad energetické transformace. Mění se klima představuje potenciální hrozby pro bezpečnost přehrad. Změna klimatu může přehrady ovlivňovat různými způsoby, a to jak přímo – na samotná díla a jejich funkce –, tak nepřímo prostřednictvím změn v okolním prostředí. Tato klimaticky podmíněná rizika jsou převážně již známými riziky, která se v důsledku změny klimatu mohou měnit a zesilovat. Současně roste míra nejistoty při provozu vodohospodářského a hydroenergetického systému. Je nezbytné pokračovat v práci směřující k lepšímu monitorování a proaktivnímu zohledňování provozních změn v rámci řízení bezpečnosti přehrad a naopak. Je třeba dbát na to, aby se již známá rizika bezpečnosti přehrad nestávala pravděpodobnějšími a aby byly identifikovány a řízeny nové kombinace rizik.

Odpovědnost za řízení bezpečnosti přehrad, včetně adaptace na změnu klimatu, spočívá primárně na vlastních přehrad. Švédská právní úprava bezpečnosti přehrad spolu s navazujícími metodickými pokyny je považována za souladnou se základními principy národní strategie adaptace na změnu klimatu. Orgánům veřejné správy a oborovým organizacím se doporučuje spolupracovat při explicitním zohlednění změny klimatu ve svých metodických pokynech tak, aby byla co nejlépe integrována do běžné činnosti vlastníků přehrad v oblasti bezpečnosti přehrad. Tyto subjekty by měly nadále sledovat změnu klimatu a spolupracovat na využívání znalostní základny vytvořené v rámci uvedeného zadání, na rozvoji specifických klimatických indikátorů a na přípravě doplňujících dokumentů relevantních pro bezpečnost přehrad.

Přestože je důležité zaměřit se na současnost a řešit aktuální problémy, známá rizika mohou být v průběhu životnosti přehradního díla zesilována změnou klimatu a souvisejícími provozními změnami. Vlastníkům přehrad se doporučuje analyzovat potenciální rizika vyplývající ze změny klimatu v rámci svých běžných postupů řízení rizik. Hodnocení rizik by měla být prováděna periodicky. Předpokládá se postupná eskalace adaptačních opatření v čase – od zvýšeného monitoringu a preventivní či nápravné údržby přes rekonstrukce a změny využití až po případné vyřazení z provozu.

Nové technologie pro prognózování a modelování, přesnější a detailnější znalostní základny i nové možnosti využívání a regulace vodních nádrží povedou v budoucnu k ještě těsnější spolupráci mezi vlastníky přehrad a společenskými aktéry. Koordinace a spolupráce mezi jednotlivými subjekty jsou zásadní pro dlouhodobou klimatickou adaptaci celé společnosti.

R. 3 ERIK NORDSTRÖM, JAMES YANG, ERIC LILLBERG, KRISTIAN ANGELE (Sweden)**Poškození vývarů při nízkém přítoku – experimentální studie**

Konstrukční integrita objektů pro disipaci energie na bezpečnostních přelivech je zásadní pro udržení vysoké úrovně bezpečnosti přehrad. Na některých švédských vodních dílech s nízkou výškou vzdutí (<15 m) se však poškození objevují i tam, kde se předpokládá příliš nízká rychlost proudění na to, aby docházelo ke kavitaci. Za účelem lepšího pochopení příčin těchto poškození byla ve výzkumném a vývojovém oddělení společnosti Vattenfall zahájena studie zahrnující rešerši dostupných podkladů, hydraulické modelové zkoušky v měřítku a numerické modelování pomocí CFD.

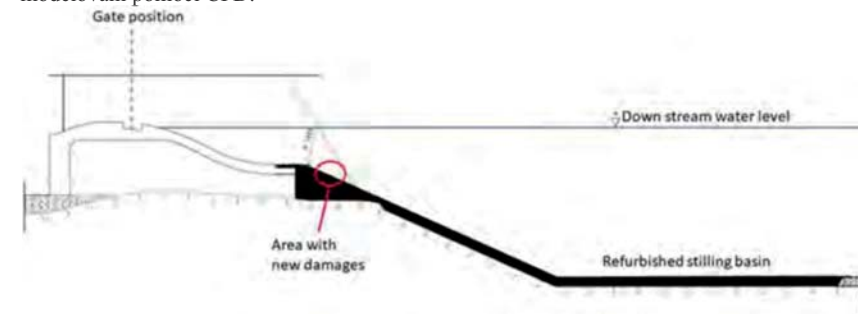


Schéma vývaru s vyznačením míst poruch

Nejčastěji zjištěnými poškozeními v rámci provedené inventarizace byla eroze skalního podloží ve vývartích, často v místech nebo v blízkosti oslabených zón (trhlin vyplněných jilem nebo rozdrcené horniny). V některých případech poškození postupovala i pod betonovými konstrukcemi. Zdá se, že rychlost proudění přesahující 15 m/s na konci přelivné hrany nebo v místě průsečíku s hladinou dolní vody představuje mezní hodnotu, při jejímž překročení dochází u zkoumaných přelivů ke vzniku poškození.

Byly provedeny modelové zkoušky v měřítku 1:17,5 u jednoho z případů s výskytem poškození, a to za účelem studia disipace energie a možných příčin iniciace poškození. Současně byl pro tentýž případ vytvořen CFD model (OpenFOAM) v modelovém měřítku pro účely srovnání. Měření rychlostí proudění ukázala, že testovaný scénář by mohl v reálném měřítku vyvolat rychlosti proudění přesahující 15 m/s. Tlakové poměry vypočtené CFD modelem odpovídaly hodnotám zjištěným při modelových zkouškách. Z modelových zkoušek vyplynulo, že tlaky v blízkosti přechodu z přelivné hrany do vývartě byly nízké, nikoli však podatmosférické. CFD model však indikoval vysoké riziko kavitace ve stejné oblasti, kde byla pozorována skutečná poškození. Do modelových zkoušek ani do CFD modelu nebyla zahrnuta skutečnost, že v reálné konstrukci byly patrné trhliny. Nelze proto vyloučit, že iniciace poškození souvisela také se stagnačním tlakem v těchto trhlínách. Studie bude pokračovat dalšími zkouškami s větším počtem tlakových čidel a simulacemi; validace numerického modelu i prezentované závěry jsou proto zatím předběžné.

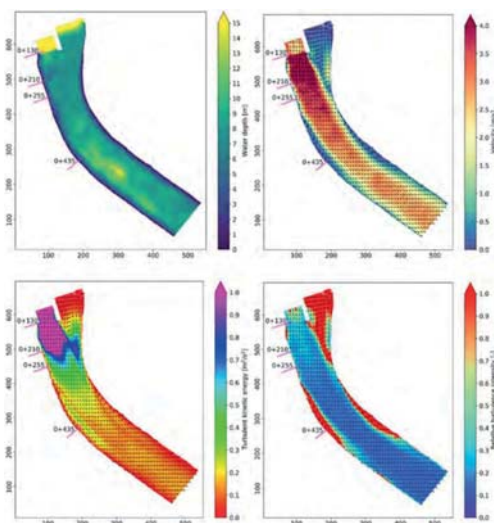
R. 4 PIERRE-LOUIS LIGIER, LISA CARLSSON, MAJA RYLANDER, JOHANNA SIPOLA ÄIJÄ (Sweden)

Optimální návrh ochrany břehů řek kombinací hydraulického modelování a návrhových metod se zohledněním turbulence

Poškození břehového opevnění na pravé straně odpadního kanálu a výtokového kanálu bezpečnostního přelivu bylo identifikováno pod jednou z vodních elektráren společnosti Vattenfall nacházející se v severním Švédsku. Břehové opevnění na pravé straně odpadního kanálu pod vývěřím je tvořeno lomovým kamenem ve třech různých zónách: D50 = 1,14 m v úseku 90 m pod vývěřím, D50 = 0,87 m v následujícím úseku délky 45 m a konečně D50 = 0,30 m v délce 180 m.

Zasažená oblast se nachází více než 120 m pod vývěřím bezpečnostního přelivu, v úseku, kde je břehové opevnění tvořeno nejmenší frakcí lomového kamene. Za účelem identifikace vhodných sanačních opatření bylo provedeno hydraulické posouzení zaměřené na zjištění proudových poměrů v dané oblasti. Byl vytvořen dvourozměrný hydraulický model využívající vysokorozlišovací batymetrická data z vícepráskového echo-sondování a topografii z LiDAR měření. Model pokrývá přibližně 700 m odpadního kanálu. Vzhledem k očekávané vysoké úrovni turbulence při vysokých průtocích byla turbulence modelována pomocí dvouroznicového hloubkově průměrovaného modelu k-epsilon.

Výsledky ukázaly, že ačkoli rychlosti proudění v oblasti, kde došlo k poškození, nebyly extrémně vysoké, byla zde zjištěna zvýšená úroveň turbulence ve srovnání se střední částí koryta, přičemž nejvyšší hodnoty turbulence se vyskytovaly právě v blízkosti poškozené oblasti. Návrhové metody založené na turbulenci, používané pro prevenci erozního poškození, prokázaly, že pro odolnost vůči místním úrovním turbulence jsou na pravém břehu zapotřebí kameny o velikosti D50 v rozmezí 0,60 až 0,90 m. Metoda dříve použitá pro návrh stávajícího břehového opevnění vycházela z průřezově průměrných rychlostí a schematického popisu očekávaných proudových poměrů. Porovnání obou metod ukázalo, že vícerozměrné hydraulické a turbulentní modelování v kombinaci s návrhovými metodami založenými na turbulenci může přispět k lepšímu porozumění erozním jevům a k optimalizaci návrhu břehového opevnění.



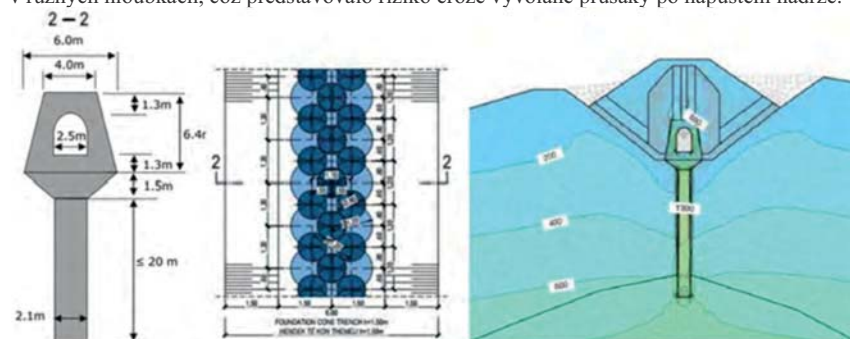
*Poměry při Q100:
hloubka vody,
průměrná rychlost ve vsvislici,
turbulentní kinetická energie,
intenzita turbulence a vektorem
rychlosti*

R. 5 DAINIUS TIRUNAS, HELMUT STAHL, THOMAS MICHAEL WEBER (Switzerland)

Přehrada Moglice, Albánie – návrh, výstavba a sledování injektážní galerie hráze za složitých geologických podmínek

Výstavba přehrady Moglice a její technický návrh byly zahájeny v roce 2014 a probíhaly po dobu pěti let. Kritickou konstrukcí z hlediska provozní bezpečnosti byla injekční štola situovaná podél hlavní osy přehrady. Funkce štoly zahrnují sledování chování přehrady a zajištění přístupu pro injektáže do podloží v průběhu provozu, pokud jsou vyžadovány. Horninový masiv pod stolou vyžadoval injektáže za účelem významného snížení přirozené propustnosti horninového prostředí.

V průběhu výstavby prošel podrobný návrh štoly několika revizemi v důsledku nových geologických zjištění v oblasti středního a dolního levého závazání, což si vyžádalo přechod od konstrukce původně založené na bočním skalním opěrném bloku ke gravitační konstrukci schopné přenášet hydrostatický tlak prostřednictvím tření. Hlavní výzvou však byl návrh a realizace štoly v oblasti horního levého závazání (ULA), která se vyznačovala nepříznivými geologickými poměry s horninovým stropem klesajícím až 65 m pod plánovanou úroveň štoly. Tyto nepříznivé geologické podmínky se plně projevíly během výkopových prací v oblasti ULA. Obtížnost dosažení rovnoměrně upraveného podloží byla patrná při provádění původně navržené tryskové injektážní stěny (jet-grouting) i při úpravách směsí a tlaků pro injektážní malty. Odběry jádrových vrtů odhalily dutiny a nedostatečné proniknutí injektážní směsi v různých hloubkách, což představovalo riziko eroze vyvolané průsaky po napuštění nádrže.



Původní návrh stěny pod injektční chodbou řešené tryskovou injektáží

Při hledání alternativního řešení bylo nutné sladit tři hlavní kritéria: proveditelnost v komplikovaných podmínkách in situ, nepropustnost oblasti ULA nad horninovým stropem a odolnost vůči sedání. Vzhledem k hloubce skalního podloží dosahující až 65 m bylo splnění všech těchto kritérií velmi náročné. To vedlo k úpravě návrhu štoly s využitím založení na stěně z vrtaných pilot.

Projektový tým však v úzké spolupráci s technickými koordinačními týmy investora a zhotovitele dokázal původně schválený návrh adaptovat a průběžně provádět nezbytná zlepšení. Optimalizace technického řešení byly podmíněny poznatky získanými během výkopových prací. Upravený návrh a jeho realizace byly nedávno ověřeny na základě třípůlletých dat z monitoringu provozu, a to ve spolupráci s provozovatelem přehrady.

R. 6 STEPHAN MARTIN, KENNETH ROSS, MATTHIAS GOLTZ, GABRIEL ESCOBAR (Switzerland)

Přehrada Nam Theun 1 RCC dam – řízení povodní během výstavby

V tomto příspěvku jsou prezentovány charakteristiky přehrady Nam Theun 1 z válcovaného betonu (RCC) a souvisejících objektů vybudovaných za účelem řízení průtoků v období sucha v řece Nam Kading a bezpečného převádění povodňových průtoků přes staveniště během čtyř období dešťů. Dále jsou popsány podrobné hydraulické modelové zkoušky a pečlivé plánování sekvence ukládání RCC, které umožnilo vytvoření otevřených kanálů napříč tělesem přehrady v různých výškových úrovních na pravé straně.

Během období dešťů v letech 2018, 2019, 2020 a 2021 dosáhl odklonový tunel své kapacity a provizorní hrázky (cofferdams) i hlavní přehrada (s výjimkou období dešťů v roce 2018) byly přelévány. Povodňové průtoky byly bezpečně převedeny přes staveniště, aniž by došlo k neočekávanému poškození pravého závězu tvořeného střídajícími se vrstvami erodovatelného jílovce a pevnějšího pískovce, tělesa přehrady z RCC nebo jakékoli jiné části stavebních objektů.

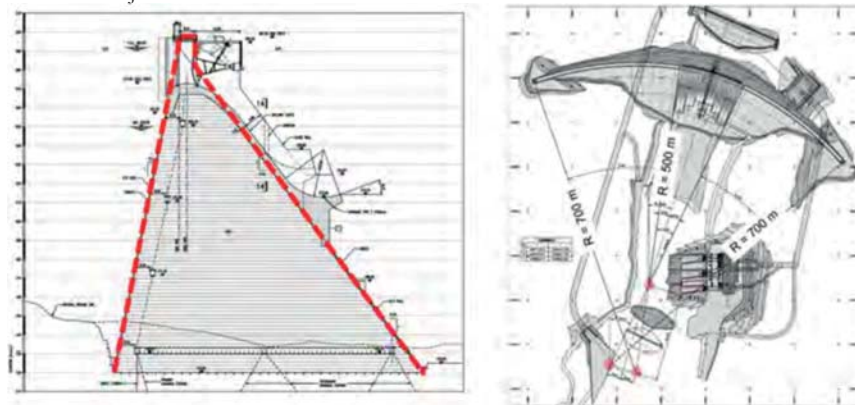


Schéma hráze včetně provizorních hrází



Přelévání RCC hráze dne 11.srpna 2021 ($Q=3\,878\text{ m}^3/\text{s}$)

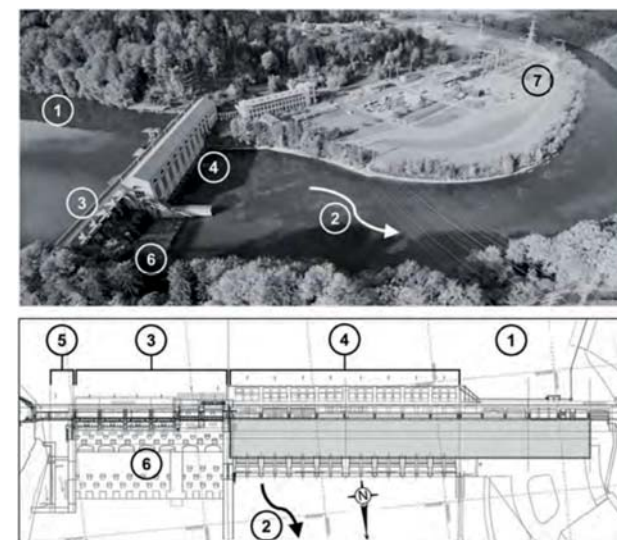
R. 7 MARCO CONRAD, MATTHIAS GEHRI, LEONHARD KLEMM (Switzerland)

Vodní elektrárna Mühleberg ve Švýcarsku – posouzení stavu betonu pro nové povolení koncese a plánování investic v 100 let staré vodní elektrárně

Vodní elektrárna Mühleberg (HPP) ve Švýcarsku byla vybudována v letech 1917–1920. Při výstavbě byl použit litý beton s vysokou tekutostí (high-slump concrete) namísto tehdy obvyklejšího dusaného betonu, který představoval typickou technologii betonových konstrukcí ve 20. letech 20. století. Vzhledem k tomu, že původní koncese skončila v roce 2017, usiloval vlastník o její prodloužení o 80 let, což vedlo k podrobnému posouzení stavu téměř sto let starých betonových konstrukcí elektrárny. Cílem tohoto posouzení bylo identifikovat procesy stárnutí a poškození, vyhodnotit aktuální stav, odhadnout zbývající životnost a doporučit sanační opatření. Posouzení proběhlo ve dvou fázích: předběžném kvalitativním hodnocení a detailním průzkumu stavu zahrnujícím rozsáhlé zkoušky. To umožnilo stanovit komplexní soubor vlastností sto let starého masivního betonu pro potřeby budoucích analýz, návrhů a hodnocení.

Posouzení stavu založené na zkouškách vrtaných betonových jádrových vzorků bylo provedeno již v roce 1980 a prokázalo, že stav betonu zůstal téměř nezměněn ve srovnání s hodnocením z roku 2015. Dostupné výsledky zkušebních kampaní z let 1980 a 2015 umožnily vyhodnotit vývoj stavu jednotlivých betonových konstrukcí v čase. Na tomto základě bylo možné předvídat další vývoj stavu betonu a plánovat nezbytné sanační zásahy.

Bylo prokázáno, že použití litého masivního betonu bylo z hlediska dlouhodobé funkce vodonepropustných betonových konstrukcí jednoznačně přínosné. Nebyly zjištěny žádné náznaky probíhající škodlivých degradačních chemických reakcí uvnitř betonových konstrukcí. Zjistilo se však, že vnášení dodatečných alkálií v rámci rekonstrukčních a modernizačních prací by mohlo aktivovat dosud latentní alkalicko-reaktivní reakci (AAR). Jako hlavní dlouhodobý proces stárnutí byla identifikována možnost snížení pevnosti betonu v důsledku pokračující nebo zvyšující se perkolace vody v některých oblastech konstrukce.



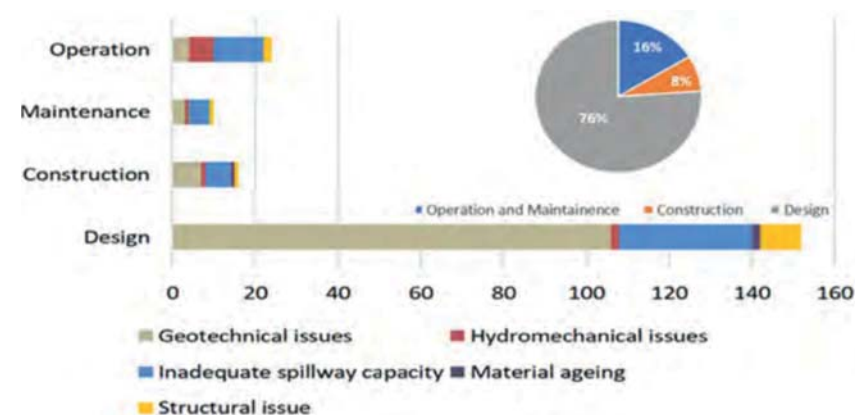
Pohled a řez vodní elektrárnou Mühleberg

R. 8 MOHAN ACHARYA, C. RICHARD DONNELLY, TONY BENNETT (Canada)

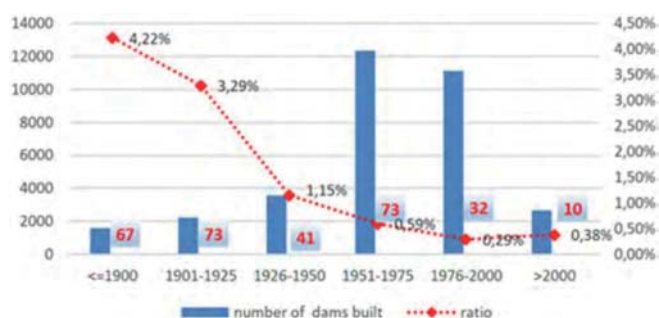
Zkoumání faktorů ovlivňujících přeshraniční projekty

Světové ekonomické fórum označilo již před přibližně sedmi lety vodní krize za jedno z klíčových rizik 21. století. Vzhledem k realitě a nejistotám spojeným se změnou klimatu, růstem populace a antropogenním tlakům na vodní zdroje se potenciál závažných konfliktů o vodu jeví větší než kdykoli dříve a lze očekávat jeho další nárůst. Existují však nástroje, které umožňují předvídat potenciál konfliktů a přijmout opatření nezbytná k jejich předcházení.

Organizace, jako je Mezinárodní komise pro velké přehrady (ICOLD) a Skupina Světové banky, stejně jako národní komise pro bezpečnost přehrad a regulační orgány (na místní i národní úrovni), by měly sehrát významnou roli při rozvoji a implementaci metodických pokynů správné praxe specificky přizpůsobených jedinečným potřebám přeshraničních přehrad. Tyto pokyny by měly náležitě zohledňovat význam bezpečnosti přehrad a krizového řízení a rovněž zajistit jasnou a transparentní komunikaci s veřejností, která posílí vnímání přínosů přehrad a zároveňlepší řízení rizik, jež přehrady představují.



Příčiny poruch přehrad



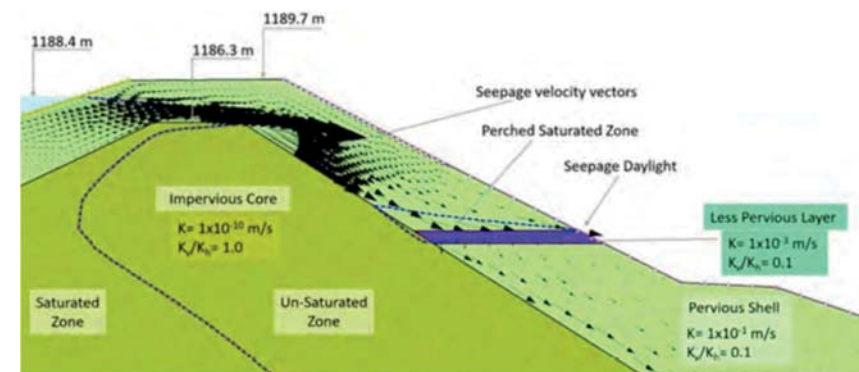
Procentuální rozsah poruch s ohledem na dobu výstavby

R. 9 PURIA ASIABAN, ALLEN VEENLAND, BABAK ALINEJAD, MOHAMMAD AL-MAMUN, MOHAN ACHARYA, C. RICHARD DONNELLY (Canada)

Aplikace přístupů hodnocení rizik ke zlepšení porozumění rizikům bezpečnosti přehrad u přehrady Waterton

Mnozí vlastníci velkých přehrad a regulační orgány po celém světě uznávají, že metodiky rozhodování založené na hodnocení rizik představují důležitou součást správné praxe v oblasti řízení bezpečnosti přehrad. Alberta Agriculture and Irrigation (AGI), jako hlavní vlastník přehrad v provincii Alberta v Kanadě, využívá pro identifikaci a prioritizaci rizik bezpečnosti přehrad semikvantitativní metodiku analýzy potenciálních poruch a jejich dopadů (Potential Failure Modes and Effects Analysis – PFMEA) [5]. Pro vybrané klíčové poruchové scénáře doplňuje Alberta Environment and Parks (AEP) hodnocení založená na riziku kvantitativním hodnocením rizik (Quantitative Risk Assessment – QRA). Tyto dva přístupy tvoří základ rozhodování AGI v oblasti bezpečnosti přehrad založeného na hodnocení rizik.

Výsledky této případové studie prokázaly přínos QRA při poskytování hlubšího porozumění klíčovému potenciálnímu poruchovému scénáři, což umožňuje proaktivní přípravu mimořádných intervenčních opatření a informuje návrh instrumentace a monitorovacích opatření zvyšujících bezpečnost přehrady. Proces QRA však může být nákladný a časově náročný. Často je nutné hledat kompromis mezi náklady na získání informací potřebných pro přesnější posouzení pravděpodobnosti a následků a využitím inženýrského úsudku. Konečné rozhodnutí by mělo vycházet z odhadovaných rizik, která přehrada představuje, a z posouzení, zda implementace ochranných opatření na pravé či levé straně modelu „bow-tie“ může tato rizika účinně zmírnit při nižších nákladech.



Teoretické rozložení vektorů rychlosti

R. 10 NOÉMIE ROUSSEL, JEAN-ROBERT COURIVAUD, GUILLAUME VEYLON, CLAUDIO CARVAJAL, CAPUCINE MASSON, FRÉDÉRIC ANDRIAN, EDOUARD BUCHOUD, BRUNO DAUMAS, SIMON RAUDE, MICHAIL KORRES (France)

Pokročilá analytika k detekci anomálií prostřednictvím monitorování

Analýza monitorovacích dat je důležitou součástí hodnocení bezpečnosti přehrad. V rámci správy stárnoucích přehrad je nezbytné mít k dispozici účinné nástroje pro detekci anomálií chování a poruchových stavů. Tato zpráva představuje dvě pokročilé metody analýzy určené k detekci anomálií prostřednictvím monitorovacích dat, přičemž obě metody směřují ke zlepšení jejich interpretace.

V rámci správy stárnoucích přehrad byly na datech deformací francouzské betonové gravitační přehrad aplikovány perspektivní metody strojového učení za účelem analýzy monitorovacích dat a detekce abnormálního chování. Regresní analýza pomocí algoritmu HBRT umožnila predikovat deformace a stanovit izolovaný vliv jednotlivých externích vstupních proměnných na data. Na základě těchto výsledků byla pozorována změna v chování deformací. Metoda detekce novosti (Novelty Detection) s využitím algoritmu Local Outlier Factor umožnila identifikovat anomální hodnoty vyvíjející se v čase, které byly v souladu s výsledky regresní analýzy. Kombinace těchto metod představuje užitečný nástroj pro analýzu monitorovacích dat přehrad a tím i pro jejich správu.

Numerické modelování spojené s distribuovanými měřeními deformací optickými vlákny umístěnými pod dnem hydroenergetického kanálu založeného na deformovatelných materiálech umožnilo rozšířit interpretaci těchto měření jejich převedením na sedání. Tento typ přístupu zdůrazňuje význam instrumentace základových konstrukcí objektů vystavených deformacím nebo dutinám pomocí měření deformací optickými vlákny.



Rýha v ose kanálu pro umístění optického měřicího kabelu

R. 11 HUI LU, SOPHIE MESSERKLINGER, JAN ATLE ROTI (Norway)

Aplikace metody redukce pevnosti na střih k analýze stability masivní konstrukce přehrad na půdním základu s nadměrným pórovým tlakem a sníženými efektivními napětími v důsledku vnitřní eroze

Stabilita velkorozměrové konstrukce vodní elektrárny založené na zeminovém podloží s nadměrným pórovým tlakem vody a sníženým efektivním napětím v důsledku statického ztekucení během výstavby a následné vnitřní eroze je analyzována z hlediska hlubokých mechanismů porušení únosnosti inovativním přístupem. Efektivní napětí in situ v základové zemině pod konstrukcí přehrad bylo zkoumáno pomocí několika penetračních zkoušek CPT (Cone Penetration Tests). Reverzní interpretací těchto CPT byly kvantifikovány snížené efektivní napětíové poměry v hlubších vrstvách základové zeminy.

V dvourozměrném výpočetním modelu metodou konečných prvků (2D FEM) jsou zóny sníženého efektivního napětí pod konstrukcí přehrad zahrnuty ve formě shluků o velikosti přibližně 5 m × 10 m. Těmto zónám jsou přiřazeny rozdílné propustnosti a objemové hmotnosti za účelem kalibrace podle měřených pórových tlaků, odvodňovacích průtoků a reverzně interpretovaných efektivních napětí z CPT. Součinitele bezpečnosti jsou počítány metodou redukce smykové pevnosti (Shear Strength Reduction – SSR) s využitím kalibrovaných modelů. Byla rovněž provedena široká škála analýz citlivosti k ověření výsledků a k rozšíření poznatků o stabilitě přehrad.

R. 12 NARIO YASUDA, ZENGYAN CAO, NARIO YASUDA, TADASHI NISHIMURA, MASA-AKI SATO (Japan)

Průzkum a optimalizace stavební konstrukce pro zvýšení gravitační betonové přehrad

Očekává se, že změna klimatu povede v budoucnu k častějším a závažnějším katastrofám souvisejícím s vodou. Přestože přehrady účinně přispívají k ochraně před povodněmi v povodích, počet vhodných lokalit pro výstavbu nových přehrad je v Japonsku omezený. Roste proto potřeba zvyšovat protipovodňovou kapacitu stávajících přehrad, a tím i potřeba jejich rekonstrukcí. Jedním z možných opatření je zvýšení hráze přehrad, které představuje účinný způsob její modernizace. Tato studie se zabývá přehradou Shin-Katsurazawa, která představuje případ souosého zvýšení betonové gravitační přehrad.

(1) Mechanické vlastnosti (modul pružnosti, objemová hmotnost, pevnost v tlaku a pevnost v tahu) stávajícího betonu přehrad starého 67 let byly stanoveny na základě výsledků materiálových zkoušek jádrových vzorků.

(2) Bylo zjištěno, že ukládání betonu ve vyšších výškových úrovních by mělo být ideálně plánováno v období relativně nízké hladiny nádrže, pokud má být nádrž provozována celoročně.

R. 13 KAZUKI TOKUNAGA, EIJI WADA, KAZUYOSHI YUKIMURA, YOSHIHIRO SUZUKI (Japan)**Řízení manipulací prostorově rozsáhlé nádržní přehrady zaměřené na zmírnění dlouhodobého zákalu v řece Hitotsuse**

Přehrada Hitotsuse, vybudovaná společností Kyushu Electric Power Company v roce 1963, je velká energetická přehrada s celkovým objemem nádrže 260 mil. m³, nacházející se na středním toku řeky Hitotsuse, která protéká centrální částí prefektury Miyazaki na ostrově Kjúšú v Japonsku. Krátce po uvedení elektrárny do provozu došlo k výskytu tzv. dlouhodobého zákalu, způsobeného trvalým vypouštěním vysoce zakalené vody z nádrže, což mělo dopad na využívání vody, rybářství i charakter říční krajiny.

S cílem zmírnit dlouhodobý zákal společnost Kyushu Electric Power Company studovala a postupně realizovala řadu opatření k jeho omezení. Do roku 2005 bylo po povodních vypouštěno zakalené vodní množství z nádrže odběrem vody ze spodní části zařízení selektivního odběru. Šlo o první využití metody selektivního odběru v Japonsku, která se ukázala jako účinná při zmírňování dlouhodobého zákalu.

Při povodni způsobené tajfunem Nabi v roce 2005, která byla největší zaznamenanou povodní na této řece, však do nádrže přiteklo enormní množství zakalené vody a účinnost přijatých opatření byla omezená. Ukázalo se, že opatření používaná do roku 2005 nejsou schopna dlouhodobému zákalu zabránit.

Na základě studií realizovaných ve spolupráci průmyslu, veřejné správy, akademické sféry i soukromého sektoru byla následně navržena nová opatření. Ta spočívají v tom, že při velkých povodních se z nádrže rychle vypouští velké objemy zakalené vody až do úrovně mrtvého objemu, načež je nádrž doplněna čistou vodou, která zakalenou vodu zředí.

Když v září 2022 zasáhl prefekturu Miyazaki tajfun Nanmadol, maximální přítok do přehrady Hitotsuse byl srovnatelný s rekordním přítokem při tajfunu Nabi v roce 2005. Do nádrže přiteklo velké množství suspendovaných látek a nová opatření byla poprvé od jejich formulace v roce 2008 uvedena do praxe.

Díky jejich realizaci bylo vypuštěním 70 % vody z nádrže přehrady Hitotsuse, včetně vody v oblasti mrtvého objemu, odvedeno po proudu přibližně 93 % celkového množství suspendovaných látek v nádrži. Doba zákalu ve vodním toku pod přehradou činila přibližně 4 měsíce, což je o 4 měsíce méně než maximální zaznamenaná doba 8 měsíců v roce 2005.

Bylo tedy potvrzeno, že využitím nouzové výpusti umístěné v patě přehrady k rychlému vypouštění zakalené vody a snížení hladiny na úroveň mrtvého objemu lze i při velkých povodních do určité míry omezit dlouhodobý zákal v toku pod přehradou.



Nové výpustné zařízení

R. 14 MASAYUKI KASHIWAYANAGI, SHOTA NOSAKI (Japan)**Dlouhodobé in-situ sledování dynamického modulu pružnosti betonu přehrady a jeho verifikace analýzou dynamického chování přehrady**

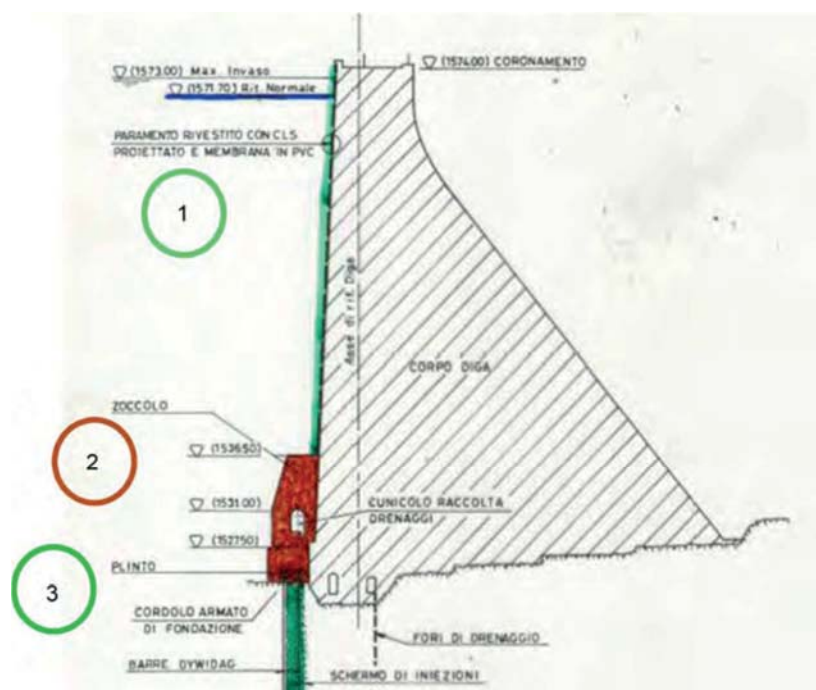
Japonská komise pro velké přehrady (JCOLD) zřídila v roce 1961 technickou komisi pro výzkum vlivu cyklů zmrazování a rozmrazování na přehradu. Velkorozměrové betonové vzorky o objemu 1 m³ byly umístěny na šesti přehradních lokalitách a po dobu 60 let nepřetržitě sledovány. Společnost J-POWER se výzkumu účastnila v případě přehrady Otori (oblouková přehrada, výška 87 m) a také prostřednictvím velkorozměrových betonových vzorků se složením obdobným betonu této přehrady.

Dynamický modul pružnosti byl u přehrady Otori po 60 letech plně zachován. Velkorozměrové betonové vzorky však vykazují do určité míry odlišné výsledky v závislosti na složení směsi. Tyto hodnoty pružnosti se postupně snížily minimálně na 80 % původních hodnot. Negativní vliv popílku se ukázal jako významný, zatímco vliv vodního součinitele a provzdušnění betonu (AE) nebyl jednoznačný. Lze uvažovat o kombinovaném působení více faktorů. Dále bylo zjištěno, že počet cyklů zmrazování a rozmrazování má zřetelný vliv na míru degradace betonu se stejným složením směsi, a to při porovnání přehrady Otori a zkušebních vzorků.

Současný dynamický modul pružnosti přehrady Otori byl rovněž stanoven pomocí zpětné analýzy chování přehrady při nedávném zimním zemětřesení na hodnotu 40 kN/mm², zatímco počáteční odhad pro povrchovou oblast přehrady činil 46,9 kN/mm² a současná měření vykazují téměř stejnou hodnotu. Určitý nesoulad mezi hodnotami získanými in situ měřením a zpětnou analýzou je vysvětlován vlivem zonálního uspořádání betonu přehrady, kdy vnitřní beton obsahuje méně pojiva (140 kg/m³) ve srovnání s vnějším betonem o tloušťce 3,5 m (210 kg/m³), a dále konstrukčním vlivem příčných spár přehrady Otori, které mohou v zimním období vykazovat nižší kontaktní tlaky. Při zohlednění těchto vlivů lze uvedené hodnoty považovat za ekvivalentní. Tím se potvrzuje, že obě metody stanovení dynamického modulu pružnosti přehrady Otori jsou přiměřeně použitelné.

R. 15 NICOLA BRIZZO, GABRIELLA VASCHETTI, MARCO SCARELLA, EZIO BALDOVIN (Italy)**Rekonstrukce přehrady Ceresole Reale: více než 30 let poté**

Ceresole Reale je betonová gravitační přehrada vybudovaná v letech 1927–1930 v Itálii. Postupná degradace původního těsnění na návodní straně typu Lévy vedla ke zvýšení průsaků. Průzkumy a monitorovací opatření rovněž prokázaly nezanedbatelné průsaky vody do základů a značný nárůst vztlaků na styku s podloží v pravé části přehrady. Na konci 80. let se vlastník rozhodl pro kompletní obnovu návodního těsnění od koruny až po hluboké základy a pro zesílení návodního líce. Práce realizované v letech 1990–1992 zahrnovaly instalaci flexibilního exponovaného geomembránového systému v horní a střední části přehrady, výstavbu nového železobetonového bloku ve spodní části přehrady pro zvýšení zatížení na patě a zřízení nové injekční clony prováděné z nového betonového bloku spolu s novým drenážním systémem. Po třiceti letech provozu po rekonstrukci si přehrada Ceresole Reale i přes očekávané částečné zhoršení vlastností exponované geomembrány (pravidelně sledované odběry vzorků a laboratorními zkouškami) zachovává vynikající vodotěsnost i konstrukční chování a plně zajišťuje svůj provoz v bezpečných podmínkách.



Příčný řez hrází: 1. Nekrytá geomembrána, 2. Nový ŽB blok, 3. Nová injekční clona

R. 16 GRÉGORY COUBARD, FRANÇOIS MOREL (France)**Zesílení stávajících hrází pasivními kotvami: úvahy a návrhy francouzské pracovní skupiny**

Tento příspěvek je věnován průzkumu provedenému francouzskou pracovní skupinou působící pod záštitou Francouzského výboru pro velké přehrady, který se zabýval zesilováním stávajících betonových přehrad pomocí pasivních kotev. Hlavními cíli pracovní skupiny bylo zmapovat současný stav poznání v oblasti využití pasivních kotev pro zesilování betonových přehrad, podzemních staveb a stabilizaci skalních svahů ve Francii i v zahraničí, porovnat výpočtové metody určené pro zesilování betonových přehrad pasivními kotvami a připravit doporučení pro jejich využití ve Francii.

Hlavní specifikou použití pasivních kotev pro stabilizaci stávajících betonových přehrad je nevratný posun konstrukce nutný k aktivaci těchto kotev. U gravitačních betonových přehrad je umožnění takového posunu neobvyklé. Byly přezkoumány postupy používané ve Francii, Švýcarsku, Švédsku, Norsku, USA a Kanadě. Příspěvek tato doporučení porovnává a aplikuje je na zesílení malé přelivné přehrady. Dále je navržena inovativní metoda zohledňující dilatanční efekt na zesilovaném rozhraní.

Francouzská doporučení pro zesilování stávajících betonových přehrad jsou v současnosti připravována. Budou se zabývat zejména metodikou a kritérii posuzování přínosu pasivních kotev ke stabilitě přehrady, instalaci pasivních kotev na stavbě (včetně ochrany proti korozi) a dohledem a monitoringem betonových přehrad zesílených pasivními kotvami.

V této oblasti je stále třeba vykonat značné množství práce. Studie, kterou pracovní skupina v současnosti provádí, by mohla být sdílena s dalšími výbory, které o ni projeví zájem, případně v rámci Mezinárodní přehradní komise (ICOLD).

R. 17 REMY TOURMENT, LUC DEROO, CHLOE CHANCEL, SEBASTIEN PATOUILARD (France)**Malé přehrady a hráze: sdílené zkušenosti**

Návrh a výstavba ochranných hrází a malých přehrad se v průběhu posledních desetiletí a staletí vyvíjely relativně nezávisle, stejně jako jejich správa a provoz.

Tento oddělený vývoj má svou logiku: i když návrh a výstavba vycházejí ze stejných oborů (hydrologie, geologie, geotechnika apod.) a v obou případech je cílem zadržování vody, existují zásadní rozdíly v geometrii, charakteru namáhání, správě i podmínkách provozu a monitorování. Tyto rozdíly mají důsledky pro inženýrskou praxi. Analýza podobnosti a rozdílů mezi jednotlivými typy konstrukcí však může přispět k pokroku na obou stranách.

Jedním z hlavních rozdílů mezi návrhem protipovodňových hrází a přehrad je umístění konstrukce. V případě přehrad přispívají geologické podmínky k výběru a potvrzení vhodné lokality. Hráze jsou naproti tomu umísťovány podle území, které má být chráněno, což často vyžaduje specifické přizpůsobení místním podmínkám. Pokud jsou geologické poměry nepříznivé, je někdy nutné využít inovativní řešení k překonání těchto problémů.

Velmi specifickým příkladem je zvýšení obvodové ochranné hráze jaderné elektrárny Blayais, které ilustruje tento přístup i obecné principy uvedené ve zbytku článku. Lokalita Blayais se nachází v oblasti bažin Saint-Ciers, rozkládajících se podél pravého břehu estuária Gironde v délce přibližně 20 km. V oblasti hráze je podloží tvořeno mocnou vrstvou 8 až 11 m vysoké stlačitelného flandrijského jílovitého prachu, uloženého na šterkovém podkladu. Pro zajištění stability konstrukcí po dobu 40 let a přizpůsobení složitým místním podmínkám (geologie a prostorová omezení) byl navržen originální a inovativní kompromis: hráz z materiálů

stabilizovaných nehašeným vápnem na tuhých inkluzích s těsnicí stěnou v podloží a chráněná kamenným záhozem.

V místech s velmi omezeným prostorem, který neumožňoval výstavbu konvenční zemní hráze, bylo realizováno řešení v podobě vyztužené opěrné konstrukce hráze (na centrální straně). Tato řešení představovala nejlepší kompromis vzhledem k různým omezením a zároveň přinesla nové výzvy při prokazování robustnosti konstrukce v průběhu projektových prací.

R. 18 F.P.W. VAN DEN BERG, B.C. NOYONS, M.A. VAN (Netherlands)

Hodnocení bezpečnosti pro hráze s norami bobrů během povodňových událostí pomocí modelu

Od opětovného vysazení bobra v Nizozemsku v roce 1988 jeho populace exponenciálně vzrostla a představuje bezpečnostní problém pro protipovodňové hráze, protože:

- (1) bezpečnost hrází může být (vážně) ohrožena norováním do hráze, tím spíše, že bobři mají tendenci hloubit nové nory v době, kdy se rozvíjí vysoký stav vody;
- (2) bobří nora je mimořádně obtížně zjištělná, protože její vchod se nachází pod hladinou vody a zůstává natolik ponořený, že jej běžnými detekčními metodami lze jen stěží odhalit;
- (3) bobra je chráněn směnicí EU o stanovištích a hraje klíčovou roli při zlepšování biodiverzity flóry a fauny. Není dovoleno bobra usmrtit ani rušit a rovněž není dovoleno zhoršovat jeho stanoviště.

V tomto příspěvku je pomocí agentního modelu (Agent-Based Model, ABM) představen zdokonalený model chování bobrů při vysokých stavech vody. Vstupy modelu vycházejí z rozsáhlého přehledu parametrů ovlivňujících bobří chování, sestaveného na základě literatury a konzultací s bobřími experty.

Při porovnání výsledků modelu s terénními pozorováními se ukázalo, že model dokáže s přijatelnou přesností předpovídat polohy bobřích nor, zatím však není příliš citlivý na hydrometeorologické podmínky. Validační data nejsou příliš rozsáhlá, a proto zůstává výzvou určit hydrometeorologické podmínky v místech nor v době jejich vyhloubení. Úplnější datová sada by významně zlepšila účinnost kalibrace a posunula model dále. Vždy je nutné spouštět model opakovaně při stejných nastaveních, aby se zohlednila náhodnost citlivosti na hydrometeorologické podmínky, polohy hráze (bobřího „domova“) a volby umístění nory. Čím více informací je o daném území k dispozici, například o polohách hrází (norových sídel) a počtu bobrů v daném úseku toku, tím přesnější bude predikce. Přesto je důležité upozornit, že s bobřím chováním je spojena značná nejistota i co do míry, v níž je možné jej modelovat.

Výsledky této studie budou využity ke stanovení pravděpodobnosti porušení hráze v souvislosti s živočišnými norami. Model lze rovněž použít k odhalení vzorců, kde budou bobři pravděpodobně hloubit nory během povodňové události, aby inspektoři hrází mohli tato místa prioritizovat.

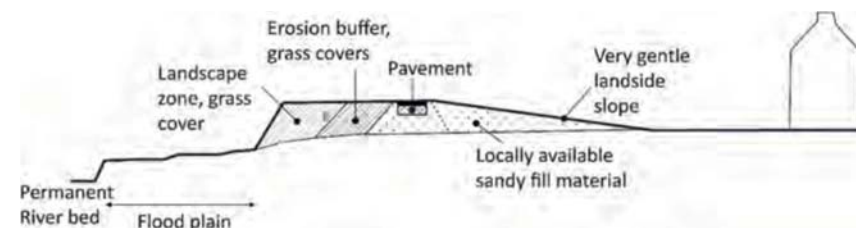
R. 19 M.P.M. SANDERS, A.G. WIGGERS, W. DE FIJTER (Netherlands)

Návrh hráze připravené na budoucnost podél nizozemské řeky Masy

V létě roku 2021 došlo v oblasti Eifel–Ardeny v Německu a Belgii ke katastrofálnímu povodním. Současně dosáhly hladiny na nizozemské řece Máze (Meuse) hodnot blízkých návrhových hladinám protipovodňových hrází na Máze, což zvýšilo povědomí o tom, že při dalším budoucím zesílení změny klimatu by podobná událost mohla způsobit primární porušení hrází, kterému se v roce 2021 sice podařilo zabránit, avšak v některých případech jen s malou rezervou. Předpokládané klimatické scénáře jsou již do nizozemských návrhových postupů zahrnuty, nicméně stále existuje možnost neočekávaných klimatických efektů na říční průtoky. Kromě toho mohou být samotné hráze ovlivněny i budoucími trendy, jako jsou sucha, extrémní lokální srážky, ale také další faktory, například norování živočichů. Aby bylo možné toto vše zohlednit, stejně jako prostorový rozvoj území, je zapotřebí adaptivní, „do budoucna vhodný“ návrhový přístup. Takový přístup je založen na odolnosti (resilience) a na sdíleném pohledu správců povodňových rizik, místních komunit a dalších zainteresovaných stran. Adaptivní návrh by se měl zaměřit na rezervaci prostoru pro nepředvídané úpravy hrází, a to tak, aby bylo možné zvyšování hrází snadno začlenit do prostředí a krajiny a aby bylo možné využít místně dostupné zásypové materiály. Adaptivní přístup uvažuje nejen samotnou hráz, ale celý systém říční koryto – inundace/předpolí – hráz – zázemí (hinterland).

Na základě této filozofie se vodohospodářský orgán provincie Limburg rozhodl navrhnout takovou adaptovatelnou hráz se zohledněním environmentálních hodnot, využití místně dostupných zásypových materiálů, historického kontextu území a vodního hospodářství v dané oblasti. Vybraná hráz v projektovém území, představená v tomto příspěvku, byla již dříve určena k modernizaci, aby její úroveň bezpečnosti odpovídala standardům. Významnou část projektu tvoří odstranění „úzkého profilu“ pro převádění průtoků na řece Máze vytvořením nového bočního koryta (side channel). Vedle těchto úprav toku byl adaptivní přístup uplatněn i při návrhu hrází, čímž byla obohacena konvenční návrhová praxe:

- (i) doplněním odpovídající robustnosti,
- (ii) aplikací observační metody na podporu adaptability a
- (iii) odložením rozsáhlých rekonstrukčních prací hrází, pokud je to odůvodněné.



Přirozená příroda blízka hráz: kombinované funkce a začlenění hráze do okolní krajiny

R. 20 GUIREC PREVOT, FRÉDÉRIC LAUGIER, LAURENT PEYRAS, ERIC FOUILLARD A EMMANUEL CONSIGNY (France)

Zkušenosti získané z hodnocení rizik bezpečnosti přehrad (Sarra) ve Francii

Francouzské předpisy zavedly v roce 2007 povinnost provádět analýzy rizik u velkých přehrad (přibližně 650 přehrad třídy A a B ve Francii) prostřednictvím studií Safety Review Risk Assessment (SaRRA). SaRRA představují jádro systému řízení rizik a prevence. Identifikují rizika a kvantifikují jejich výskyt i následky. Po téměř patnácti letech praktických zkušeností, které vedly ke zpracování přibližně 650 studií SaRRA ve Francii, je cílem tohoto článku poskytnout technickou a kvantitativní zpětnou vazbu k praxi analýzy rizik a posuzování bezpečnosti a následně se zabývat přínosem studií nebezpečí (hazard studies) prostřednictvím pohledu a zkušeností zainteresovaných subjektů v oblasti bezpečnosti přehrad ve Francii: investorů/provozovatelů, projektových kanceláří a dozorového orgánu bezpečnosti.

Klasifikace Francouzských přehrad a SaRRA požadavky (H = výška, V =objem v hm^3)

A	$H > 20\text{ m}$	$V > 1500$	Každých 10 let
B	$H > 10\text{ m}$	$V > 200$	Každých 15 let
C	$H > 5\text{ m}$	$V > 20$	Ne SaRRA

R. 21 LUC DEROO, STÉPHANE BONELLI, JEAN-JACQUES FRY (France)

Hodnocení rizika eroze pro přehrady a násypy – francouzské úvahy a praxe

Hlavní příčinou porušení přehrad a sypaných hrází je eroze – vnitřní i vnější, která představuje více než 80 % všech příčin porušení. Tento jev není pokryt evropskými normami (Eurokódy) a vyžaduje nový přístup, aby mohl být náležitě zohledněn. V roce 2024, po sedmi letech práce 26 odborníků, francouzský výbor pro velké přehrady v současnosti finalizuje návrh doporučení pro posuzování vodních staveb a jejich základů z hlediska eroze. Tento projekt doporučení, podrobně zpracovaný na více než 400 stranách, poprvé zahrnuje vnitřní i vnější erozi ve společné sedmistupňové metodice založené na konceptu erozních cest (erosion paths). Navrhovaná doporučení se vztahují na tři typy staveb: přehrady, kanály a hráze. Rozvíjejí využití deterministických i pravděpodobnostních analýz. Navrhují tři úrovně analýzy pro vnitřní erozi a tři typy prokazování pro vnější erozi. Doporučení mají předběžný charakter a vzhledem k rozsahu a novosti úkolu bude v nadcházejících letech zapotřebí zpětné vazby k ověření finální verze.

R. 22 ALAN BROWN (United Kingdom)

Dědictví přehrad z jílového těsnění

Před zavedením mechanizace v 60. letech 20. století byl vodotěsný prvek britských přehrad zajišťován jílovým těsnicím jádrem z tzv. „puddled clay“, kdy se do jílu přidávala voda a jílová hmota se „puddlovala“ (zpracovávala) tak, aby vznikl jíl s nedrenovanou smykovou pevností přibližně 10 kPa. Příspěvek popisuje společné rysy a vývoj návrhu přehrad s jílovým „puddled clay“ jádrem, přičemž identifikuje čtyři fáze návrhového vývoje. V rámci periodických bezpečnostních prověrek přehrad je třeba porozumět charakteristikám a konstrukčním prvkům těchto přehrad, aby bylo možné provést posouzení jejich bezpečnosti založené na hodnocení rizik a posoudit případnou potřebu zlepšujících opatření. Příspěvek zahrnuje i stručný popis zjištění z nedávných modernizačních prací.

R. 23 RUDOLF SJ VAN WYK, KWEKU KWAKU WIAFE, BENJAMIN NII-TAWIAH ADJEI, ALAN G CHEMALY, REGINALD BARRY (South Africa)

Plánování rekonstrukce přelivu přehrady Kpong

Zpráva popisuje celý proces rehabilitace bezpečnostního přelivu přehrady Kpong, vybudovaného v roce 1982 na řece Volta v Ghaně. Jsou popsány všechny předběžné fáze průzkumů a studií, které umožnily definovat projekt rehabilitace. Provedené práce jsou diskutovány jak z hlediska stavební části, tak z hlediska konstrukce radiálních uzávěrů a řídicího systému.

R. 24 MICHELLE BLAESER (South Africa)

Jak nechybovat při vysychání podloží

Identifikace vhodných lokalit pro přehrady s přijatelnými topografickými, hydrologickými, materiálovými a základovými podmínkami je obvykle součástí úvodní studie proveditelnosti (scoping study) nových přehrad. V prostředí přehrad, které se neustále mění, však již nelze předpokládat, že jde o „luxus“, který si přehradní inženýr může dovolit. Omezená dostupnost povodí a související dopady změny klimatu (včetně sedimentace a extrémních povodní) omezují možnost zvolit bezchybnou lokalitu. Zatímco hydrologie a topografie jsou obecně hlavními faktory při rozhodování o umístění přehrady, dostupné materiály a základové poměry se přizpůsobují tak, aby byla zajištěna proveditelnost výstavby a konstrukční integrita zvolené přehrady v dané lokalitě. V tomto příspěvku budou popsány výzvy týkající se základů a dostupných materiálů u dvou nádrží mimo hlavní koryto (off-channel storage dams). Obě přehrady budou „tvrdého typu“ (hard-type) a budou vyžadovat únosné horninové podloží, avšak na každé lokalitě bylo nutné řešit odlišné obtíže. Přehrada Olifantspoort Off Channel Storage Dam (OCSO) bude vyžadovat několik uzavíracích stěn (closure walls) tvořících prstencovou konstrukci, což vyžaduje kvalitní založení v různých částech tohoto „prstence“. Navrhovaná OCSO je založena na vyvřelých horninách – gabru, noritu a anortozitu. Tyto vyvřeliny jsou typické pro rozsáhlá magmatická tělesa mafického složení, která pronikla do zemské kůry a krystalizovala do velkých těles označovaných jako plutony. Charakteristickým rysem těchto plutonů je vznik chladových puklin, které se vyvíjejí na kontaktech hornin a rozdělují horninový masiv na řadu kompaktních bloků. Na povrchu tento proces vytváří skalní výchozy (tors) tvořené vysoce propustným rozpukaným horninovým masivem; pod povrchem pak dochází k vývoji balvanů „zavěšených“ v jemnozrnné zeminové matici, což může zvyšovat nerovnoměrné sedání základů. Kromě těchto chladových puklin byla v oblasti pánve OCSO identifikována lineace protínající dvě z uzavíracích stěn. Jak založení, tak konfigurace uzavíracích stěn OCSO (zde popsaná) musely být upraveny tak, aby byla zajištěna integrita základů a konstrukce přehrady i její nepropustnost. Přehrada Ntsonyini bude symetrická hardfill přehrada založená na relativně tvrdém doleritu. Přestože návrhová kritéria pro založení požadovala minimální hodnoty různých parametrů, včetně klasifikace horninového masivu (RMR), jednoosé pevnosti (UCS), stupně zvětrání apod., jako kritický poruchový mechanismus u přehrady Ntsonyini byl identifikován výskyt subhorizontálních puklinových ploch. Dále je popsán terénní mapovací postup, odhad smykové únosnosti a následná sanační opatření (ve formě smykového klínu – shear key).

R. 25 DAVID CAMERON-ELLIS, DANIEL PUIATTI, MICHEL LINO, MARTIN CHIZALEMA (New Zealand)**Vývoj cementem zpevněných zemin pro hráze ochranných jímek – aplikace technologie zpevňování zemin cementem na přehradě Kapichira (Malawi)**

Hydroenergetický projekt Kapichira o instalovaném výkonu 130 MW se nachází v blízkosti vodopádů Kapichira na řece Shire v Malawi (jižní Afrika). Provozovatelem je společnost EGENCO (národní výrobní společnost). V lednu 2022 probíhala výstavba odběrného objektu pro nový zavlažovací kanál, realizovaná v rámci projektu Shire Valley Transformation Project (SVTP), když přes Malawi přešel cyklon Ana. Silné srážky spolu s obtížemi při ovládání uzávěrů na přehradě Kapichira vedly k přelití přehrady, následnému vymílání a porušení (protržení) pravé části sypané hráze.

Za účelem umožnění zvýšení hladiny v nádrži k obnovení výroby elektrické energie a současně k ochraně poškozené části sypané hráze přehrady Kapichira byla vybudována provizorní hrázka (cofferdam) z cementované zeminy (Cemented Soil Dam, CSD) z materiálu vytěženého z blízkého ložiska.

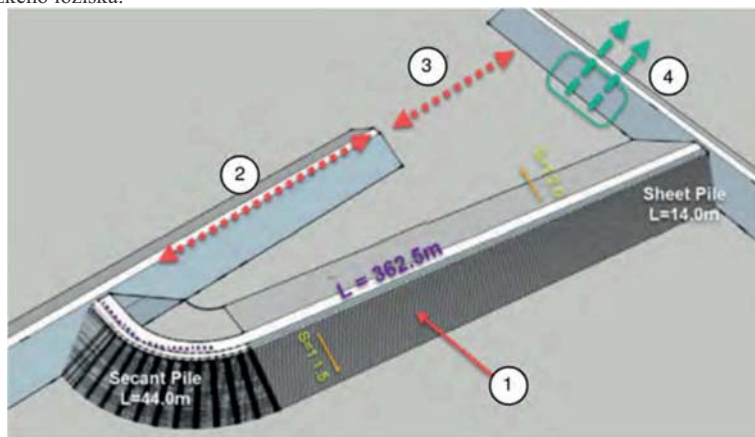


Schéma ochranné hráze: 1. Cementem vyztužená ochranná hráz, 2. Poškozená hlavní sypaná hráz Kapichira, 3. Zničená sypaná hráz, 4. Odběr pro závlahu

Příspěvek se zabývá vývojem konceptu této provizorní hrázky, včetně výzev spojených s průzkumem zemin a návrhem směsi cementované zeminy, a dále omezeními pro projektové a realizační činnosti v důsledku velmi krátkých časových lhůt. Příspěvek rovněž demonstruje mezinárodní spolupráci v oblasti technologie CSD, která spojila inženýry z Nového Zélandu, Francie, Koreje, Portugalska, Jihoafrické republiky a Malawi s cílem zajistit bezpečnou rekonstrukci přehrady Kapichira.

Jsou uvedeny podmínky pro těžbu zeminy, výrobu a ukládání cementované zeminy z prostoru nádrže a jejího okolí, přičemž jsou popsány náročné výzvy dané lokalitou. Příspěvek diskutuje komplexní interakce mezi návrhem cementované zeminy a dostupnou stavební mechanizací, omezeními v dodávkách cementu a paliv a dále způsob, jakým rychlá výstavba v environmentálně citlivé lokalitě národního parku vedla k vývoji specifických realizačních postupů a konstrukčních řešení. S ohledem na poznatky získané z této aplikace ve specifickém kontextu příspěvek popisuje, jak lze technologii přehrad z cementované zeminy využít k řešení výzev spojených s přehradami „vhodnými pro budoucnost“.

R. 26 CĂTĂLIN POPESCU, PETRUTA ISOFAÇHE, ISABELA BALAN (Romania)
Zajištění odolnosti přehrad do budoucna: strategie udržitelného hospodaření s vodou, technologické modernizace a klimatické odolnosti v kontextu rekonstrukce přehrad

Přehrady a protipovodňové hráze dlouhodobě představují klíčové prvky hospodaření s vodními zdroji, ochrany před povodněmi a výroby vodní energie. 21. století však přináší bezprecedentní výzvy, včetně změny klimatu, růstu populace a proměňujících se energetických požadavků, které někdy vyžadují přehodnocení toho, jak jsou tyto infrastruktury navrhovány, provozovány a udržovány. Tento článek zkoumá komplexní strategie, jak „zabezpečit“ přehrady a hráze pro budoucnost a zvýšit jejich udržitelnost, odolnost a funkčnost.

Vzhledem k tomu, že změna klimatu vede k extrémnějším meteorologickým jevům, včetně intenzivních srážek a dlouhotrvajících období sucha, je zásadní navrhovat přehrady tak, aby těmto podmínkám odolaly a současně přispívaly k ekologické udržitelnosti. Budoucí přehrady a hráze musí integrovat trvanlivé a environmentálně šetrné materiály, snižovat svou ekologickou stopu a zároveň zvyšovat schopnost chránit ekosystémy a biodiverzitu. To zahrnuje i začleňování přírodních prvků, jako je vegetace, která může zlepšovat kvalitu vody a vytvářet biotopy pro místní faunu.

R. 27 FLORIAN LANDSTORFER (Austria)**Nádrž Rosswiese – obnova 65 let starého drenážního systému na dalších 65 let**

Nádrž Rosswiese byla vybudována v 50. letech 20. století jako nádrž s asfaltovým těsnicím licem. Pro různé účely byl vybudován komplexní drenážní systém. Po 65 letech provozu bylo nutné asfaltové těsnění obnovit a této příležitosti bylo využito také k provedení inspekce a modernizace drenážního systému.

Na základě provedených prací, průzkumů a rekonstrukce bylo možné získat řadu důležitých a užitečných poznatků pro budoucí projekty i pro modernizaci stávajících drenážních systémů. Hlavní výzvou je předvídat budoucí vývoj, který umožní využití nových metod monitorování, průzkumu nebo rekonstrukce. Přestože je drenážní systém často považován za méně významnou součást, možnost jeho kontroly a oprav může mít zásadní vliv na posouzení bezpečnosti přehrady nebo nádrže. Návrhu drenážního systému je proto třeba věnovat náležitou pozornost.



Zanesený drenážní systém před opravou

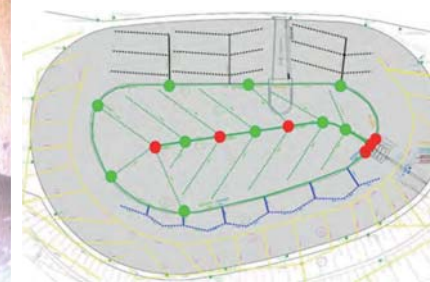


Schéma drenáže po opravě

R. 28 LAKSHMIN BACHU (Canada)**Posilování velkých přehrad pro budoucnost pomocí umělé inteligence**

Generativní umělá inteligence (Gen AI) představuje odpověď na výzvu spojenou s údržbou velkých přehrad tím, že umožňuje integraci a syntézu velkého množství dat shromažďovaných během životního cyklu přehrad. Příspěvek představuje techniky generativní umělé inteligence a navrhuje možné aplikace těchto přístupů, zejména v oblasti bezpečnostních přezkumů, optimalizace havarijních plánů a provozu vodních děl.

R. 29 DONGMING ZHANG, CHAOFENG ZHANG, AIGUO WANG (China)**Stavební technologie 300m vysoké hráze s jádrem ze šterkopískové zeminy pro vodní elektrárnu Lianghekou**

Praktické zkušenosti z projektu vodní elektrárny Lianghekou zaplnily klíčovou technologickou mezeru v oblasti inteligentního ukládání materiálů při výstavbě mezinárodně srovnatelných sypaných přehrad s těsnicím jílovým jádrem o výšce kolem 300 m. Projekt přinesl komplexní inovace v oblasti stavebních postupů a řízení výstavby zemních a kamenitých přehrad, poskytl tzv. „Lianghekou Plan“ jako řešení pro zásadní zlepšení kontroly kvality výstavby a umožnil přechod od digitální výstavby k inteligentní výstavbě vysokých sypaných přehrad s jílovým jádrem, čímž určil směr dalšího rozvoje stavebních technologií v oblasti vodohospodářského a hydroenergetického inženýrství.

Vodní elektrárna Lianghekou jako první vytvořila komplexní soubor technologií pro zimní výstavbu mimořádně vysokých zemních a kamenitých přehrad v horských oblastech s vysokou nadmořskou výškou a chladným klimatem na úrovni přehrad o výšce kolem 300 m. Současně inovovala teorii prevence a kontroly průsaků, technické normy a stavební technologie pro těsnicí zeminy ve vysokohorských oblastech v domácím i mezinárodním měřítku a vytvořila precedent pro rozsáhlou kontinuální výstavbu jílových těsnicích jader v zimním období v oblastech s permafrostem na náhorních plošinách. Byl vyvinut komplexní technologický systém pro těžbu, dopravu, míchání, rozprostírání a hutnění zemin v zimních podmínkách a byl vynalezen rychlý navíjecí mechanismus pro tepelně izolační materiály. Tím bylo umožněno rychlé a kontinuální budování těsnicích jader i při velkých teplotních rozdílech a nízkých zimních teplotách, což přispělo k technologickému pokroku a modernizaci odvětví.

R. 30 PENG CHAO, LIU CHAOJIAN, LUO JINGSONG, LIU MINGWAN, XIE SIXIANG (China)**Výzkum návrhu a stavební technologie velkých zásobníků pro písek a kámen ve vysokohorských oblastech**

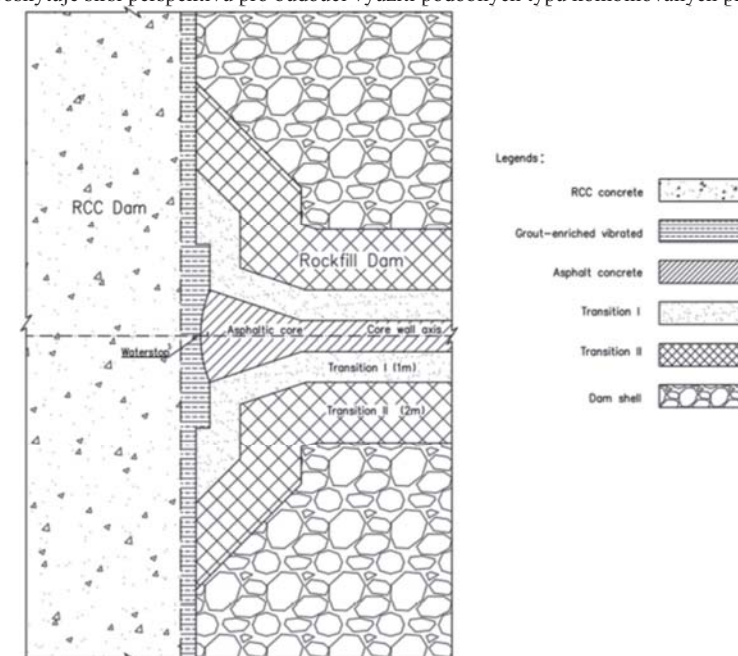
Za účelem zajištění bezpečné a rychlé výstavby velkokapacitních sil na polotovary pro rozsáhlý šterkový systém ve vysokohorských oblastech byla tradiční ocelová síla systému zpracování písku upravena na velkoobjemovou konstrukci a byl použit montážní postup metodou obráceného řetězového spouštění. Tím se snížila obtížnost výstavby síla, zvýšila se efektivita jeho montáže a současně se snížily emise prachu během ukládání materiálu.

Současně byl v průběhu celé výstavby používán laserový kalibrátor k průběžnému sledování horizontality, svislosti a ovality horního okraje stěny síla. Synchronní spouštění konstrukce bylo zajištěno centrálně řízeným elektrickým řetězovým systémem, který umožnil rovnoměrné zatížení síla během jeho spouštění. Tento postup poskytuje cenné zkušenosti pro realizaci podobných projektů v budoucnu.

R. 31 LI XIAOMING, KONG LINGXUE, YU SHUIYANG (China)**Výzkum technologie napojení bloků kombinované přehrady v hydroelektrickém projektu Zungeru**

Přehrada hydroenergetického projektu Zungeru v Nigérii je tvořena přehradou z válcovaného betonu (RCC) a dvěma sypanými přehradami s asfaltobetonovým těsnicím jádrem, přičemž společná výška konstrukce dosahuje 85 m. Podobné kombinované typy přehrad jsou však ve světě poměrně vzácné a výška jejich spojení obvykle nepřesahuje 70 m. U kombinovaných přehrad je proto návrh a kvalita provedení bloků obzvláště důležitá, protože přímo ovlivňuje kvalitu a bezpečnost celé přehrady.

V rámci tohoto projektu bylo dosaženo významného pokroku díky výzkumu návrhových a stavebních technologií pro napojení těchto konstrukcí. Po napuštění nádrže nebyly ve spoji kombinované přehrady zjištěny žádné abnormální deformace ani průsaky. Přehrada Zungeru tak poskytuje širší perspektivu pro budoucí využití podobných typů kombinovaných přehrad.



Kombinovaná hráz – detail napojení materiálů

R. 32 GUOYUAN LAN, QI SUN (China)**Inteligentní systém řízení a kontroly výstavby betonových hrází**

S cílem podpořit inovace ve výstavbě betonových přehrad byla v této studii vyvinuta komplexní inteligentní platforma řízení a kontroly výstavby betonových přehrad. Systém se skládá ze tří úrovní:

- (1) **řídící úroveň** – inteligentní řídicí centrum pro sběr dat v reálném čase, jejich analýzu a podporu rozhodování;
- (2) **teoretická úroveň** – návrh a vývoj matematických modelů pro fungování řídicího centra;
- (3) **funkční úroveň** – pět aplikačních modulů systému zahrnujících BIM návrh, návrh betonážních zón, výrobu betonu, jeho dopravu a ukládání.

Navržený systém byl úspěšně implementován při probíhající výstavbě betonové přehrady. Současně jsou shrnuty technické ukazatele výkonosti jednotlivých funkčních modulů, které potvrzují proveditelnost a spolehlivost navrženého systému. Cílem studie je zlepšit řízení výstavby betonových přehrad, podpořit rozhodovací procesy, zkrátit čekací doby během výstavby a tím zvýšit efektivitu betonářských prací.

R. 33 DONGMING LI, YANG CHAO (China)**Schéma rozšiřování dat pro prediktivní údržbu hrází: případová studie klenbové hráze**

Tato studie se zabývá problematikou složitosti detekce odlehklých hodnot a obtížemi při predikci provozního stavu přehrad v rámci prediktivní údržby. Navrhuje zdokonalenou metodu shlukové analýzy K-shape, která do faktorů shlukování zahrnuje i prostorovou vzdálenost měření. Kombinací této metody s metodou intervalů spolehlivosti byl vytvořen postup detekce odlehklých hodnot v monitorovacích datech přehrad.

Dále je integrací linie středu shluku s metodou LSTM realizována predikce provozního stavu přehrad. Jako případová studie byla využita skutečná monitorovací data obloukové přehrady v provincii Yunnan. Porovnání navrženého schématu rozšíření dat s tradičními přístupy ukázalo, že zdokonalená metoda shlukování dosahuje vyšší přesnosti při detekci odlehklých hodnot a poskytuje přesnější predikční data.

Výsledky naznačují, že navržená metoda má významný potenciál pro prediktivní údržbu velkých betonových konstrukcí.

R. 34 LIU CHAOJIAN, DENG BING (China)**Studie o technologii rychlé výstavby systému na zpracování velkých objemů písku a štěrku a výrobu betonu ve vysokohorské kaňonové oblasti**

Za účelem bezpečné a rychlé výstavby rozsáhlých systémů pro zpracování písku a štěrku a pro výrobu betonu ve vysokohorských kaňonových oblastech byly prostřednictvím optimalizace uspořádání systému a konstrukčního řešení použity nové typy ocelových sil a velkoobjemových nafukovacích sil s membránovou konstrukcí (air-film silos), které nahrazují tradiční polouzavřená síla z ocelových konstrukcí.

Současně byla v průběhu výstavby využita technologie BIM pro optimalizaci konstrukčního návrhu ocelových konstrukcí, čímž bylo možné v prostředí BIM realizovat „digitální dvojče“ výstavby a projektového návrhu. Dále byl využit postup zakrývání konstrukcí tepelnou izolací v období nízkých teplot, který umožnil rychlou realizaci jednotlivých stavebních objektů systému.

Inovace stavebních technologií, optimalizace konstrukčního návrhu a optimalizace stavebního postupu jsou klíčovými faktory pro rychlou realizaci velkokapacitních systémů pro míchání písku a štěrku ve vysokohorských kaňonových oblastech.



3D návrh 51 000m² skladu písku a štěrku pro výrobu betonu.
Požadovaná kapacita výroby betonu - 130,000 m³/měsíc

R. 35 GUO GUANGWEN, TAN KAIYAN, ZHU SHENGMIN, BO MINYUE (China)**Výzkum metody dynamického návrhu frakcí štěrku do cementových směsí**

Na základě principu vzniku požadavku na pevnosti cementovaného štěrku tento příspěvek identifikuje jako klíčové řídicí ukazatele obsah písku a rezervu pojivové pasty a navrhuje dynamickou metodu návrhu složení směsi cementovaného štěrku při různém podílu písku v zrnitostním složení.

Stanovením vztahu mezi různým obsahem písku, různou rezervou pojivové pasty a pevností pojiva lze v kombinaci s požadovanou návrhovou pevností provést regresní výpočet poměru složek směsi. Na tomto základě lze odvodit křivky poměrů cementačních materiálů a vody pro různé třídy pojiva při různém obsahu písku, což umožňuje dynamické řízení parametrů složení směsi.

Navržená metoda je vědecky podložena a racionální a umožňuje snížit spotřebu materiálů i pracovních zdrojů, a tím i celkové náklady.

R. 36 ZHOU HOUGUI, TAN KAIYAN (China)**Třírozměrný model průlomů betonových konstrukcí v Číně**

Spolu s rychlým rozvojem vodohospodářské a hydroenergetické výstavby v Číně dochází k významnému pokroku v technologii výstavby hydraulického betonu. Tento příspěvek se zaměřuje na tři hlavní oblasti:

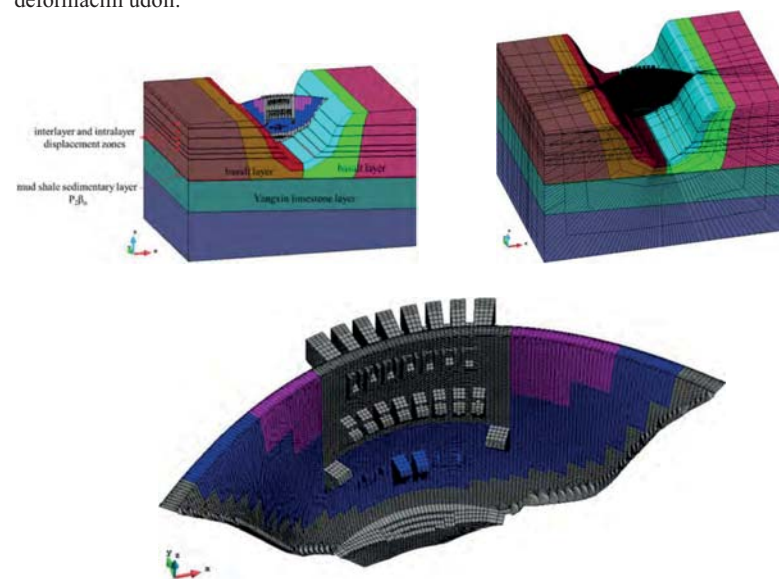
1. použití ultra vysokého podílu popílku (80 %) v kompozitních cementačních materiálech s velmi nízkým vývinem hydratačního tepla, což vedlo ke snížení adiabatického nárůstu teploty betonu o 9,6 °C; současně byl zaveden inteligentní systém řízení a modelování teploty, který umožňuje udržet teplotu masivního betonu pod kontrolou a účinně předcházet vzniku trhlin v betonovém tělese přehrady;
2. optimalizace kombinace technologií míchání, dopravy, ukládání, bednění a ošetřování betonu umožnila realizaci přehrady o výšce 305 m s maximální výškou jedné betonážní vrstvy až 4,5 m;
3. použitím přesných měřicích a regulačních technologií a vývojem speciálního vysokopevnostního bednění a stavebních postupů pro vodní stavby bylo dosaženo velmi vysoké přesnosti tvarového řízení betonových konstrukcí přehrady na úrovni milimetrů.

R. 37 CHENFANG JIANG, HENG CHENG (China)**Analýza a hodnocení 3k bezpečnostních faktorů extrémně vysokých klenbových přehrad s přihlédnutím a vlivu deformací údolí**

Deformace údolí vyvolávají tlak na obloukové přehrady, což vede k nevratným deformacím a ovlivňuje provozní podmínky i dlouhodobou bezpečnost přehrad. Za účelem zajištění dlouhodobého bezpečného provozu obloukových přehrad při působení deformací údolí byl na příkladu jedné obloukové přehrady v jihozápadní Číně vytvořen model systému přehrada–základ pomocí metody konečných prvků.

Bylo provedeno zpětné určení současného zatížení způsobeného deformací údolí a simulován skutečný proces betonáže tělesa přehrad. Metodou přetížení vodním tlakem byla vypočtena a analyzována mezní únosnost obloukové přehrady při současném působení deformace údolí a byly vyhodnoceny její bezpečnostní koeficienty 3K.

Výsledky ukazují, že na základě inženýrského srovnání hodnot bezpečnostních koeficientů 3K lze konstatovat, že bezpečnostní úroveň této obloukové přehrady při současných deformacích údolí splňuje regulační požadavky. Tyto výsledky mohou sloužit jako referenční podklad pro následné hodnocení celkové bezpečnosti velmi vysokých obloukových přehrad vystavených deformacím údolí.



Jednotlivé prvky tvorby modelu

R. 38 XINGXING ZHANG, JIANZHENG SONG, XUEDONG ZHANG, RUI WANG (China)**Zkušební s určením fyzikálních a mechanických parametrů základu přehrad umístěných na měkkém podloží**

Tento příspěvek se zabývá zkušenostmi získanými při stanovení fyzikálních a mechanických parametrů měkkých zeminových základů pro výstavbu přehrad. Při zakládání přehrad na měkkých zeminách je nezbytné provádět podrobné výpočty a analýzy k posouzení stability přehrad a předpovědi deformací, které se opírají především o parametry, jako jsou smyková pevnost, koeficient stlačitelnosti a koeficient propustnosti měkké zeminy.

Hlavní metody získávání těchto parametrů zahrnují laboratorní a terénní zkoušky. Výsledky zkoušek jsou však často rozptýlené a nepřímé, a proto vyžadují odborné posouzení. Na základě zkušeností autora lze konstatovat, že navzdory různým sedimentačním podmínkám v Číně vykazují měkké zeminy určité společné charakteristiky ve svých fyzikálních a mechanických vlastnostech. Byla zjištěna zejména silná korelace mezi smykovou pevností, koeficientem stlačitelnosti a koeficientem propustnosti na jedné straně a obsahem jílovitých částic a pórovitostí na straně druhé.

Tyto parametry lze přibližně odhadnout na základě obsahu jemných částic a pórovitosti a následně je zpřesnit konkrétními laboratorními nebo terénními zkouškami. Mezi terénními metodami jsou účinné zejména penetrační zkouška CPT (Cone Penetration Test) a křídlová smyková zkouška VST (Vane Shear Test), které umožňují stanovit smykovou pevnost měkkých zemin in situ. Odpor hrotu kužele (qc) při zkoušce CPT vykazuje úzký vztah k nedrenované smykové pevnosti měkkých zemin in situ.

Pokud jde o koeficient propustnosti měkkých zemin, jeho hodnota se může výrazně lišit v závislosti na použité metodě měření. Při posuzování průsaků v základech přehrad se proto doporučuje uvažovat horní mez koeficientu propustnosti stanovenou laboratorními zkouškami nebo čerpacími testy. Naopak při analýzách stability svahů a výpočtech přebytkového pórového tlaku vody je vhodné používat dolní mez koeficientu propustnosti z laboratorních zkoušek nebo výsledky zkoušek laterálního tlaku, CPTU (CPT s piezokónem) a konsolidačních zkoušek.

R. 39 ZHENGXING WANG, LINTAO MA, ZIQIANG YANG, JUTAO HAO, SHIFA XIA, XIAOGANG WANG (China)**Výzkum účinku přísad proti odlučování kameniva a bitumenu asfaltového betonu**

Aby bylo možné použít kyselé kamenivo v pouhých 10 cm silné nepropustné vrstvě asfaltového betonu ve vodohospodářských stavbách, je nutné analyzovat a revidovat nedostatky současných norem, například požadavek, aby přilnavost hrubého kameniva k bitumenu nebyla nižší než stupeň 4, který se hodnotí pomocí zkoušky ve vroucí vodě, jež je v praxi značně rozptýlená a nepřesná.

V tomto příspěvku byly provedeny a porovnány zkoušky povrchové volné energie a stupně přilnavosti. Metoda kapky na povrchu (sessile drop, SD) byla použita k měření kontaktních úhlů mezi bitumenem a kamenivem a vhodné hodnoty kontaktního úhlu lze získat pomocí nízkorychlostního dynamického měření na standardním goniometru XGCAMB1.

Zkoušky prokázaly, že okolní teplota ovlivňuje měření kontaktního úhlu bitumenu a tento vliv lze eliminovat snížením teploty na 2 °C. Práce oddělení (debonding work) mezi kamenivem a bitumenem v přítomnosti vody (WBWA) je vhodným parametrem pro rozlišení kyselého a zásaditého kameniva. Na základě výsledků WBWA bylo zjištěno, že nejučinnější množství přísady SK pro omezení poškození asfaltového betonu vodou je přibližně 0,8 % hmotnosti bitumenu.

Současně byla ověřena i prodloužená zkouška ve vroucí vodě pro hodnocení přilnavosti kameniva a bitumenu, přičemž pořadí od kyselého ke zásaditému kamenivu lze stanovit podle doby počátku odlučování (SST) při této prodloužené zkoušce.

R. 40 WENWEI LI, HUAMEI YANG, SHUGUANG LI, HUI TE WU (China)**Souběžné modely hydratace a vymývání vápníku pro středně/nízkoteplotní cementový beton v hrázích**

Beton přehrad představuje klíčový prvek zajišťující integritu přehradních konstrukcí, přičemž v Číně je široce využíván cement se středním až nízkým hydratačním teplem díky jeho dobré odolnosti proti vzniku trhlin. Proces hydratace hraje zásadní roli při vývoji vlastností přehradního betonu. Zároveň jsou ponořené části přehradního betonu obzvláště náchylné k vyluhování vápníku.

V této studii byl vyvinut sdružený model pro simulaci jak procesu hydratace, tak degradace způsobené vyluhováním vápníku v betonu na bázi cementu se středním až nízkým hydratačním teplem. Model nejprve predikuje dynamiku hydratace a vývoj hydratačních produktů na základě klíčových parametrů. Následně hodnotí rozložení iontů vápníku v betonu a simuluje degradaci mechanických vlastností způsobenou jejich vyluhováním.

Výsledky poskytují důležité poznatky o interakci mezi procesy hydratace a vyluhování a představují významnou teoretickou a technickou podporu pro hodnocení bezpečnosti a predikci životnosti přehradního betonu, čímž přispívají ke zvýšení jeho trvanlivosti a spolehlivosti.

R. 41 BIFENG WANG, FANGCAI XU, MINGHUA ZHAO, YUSHU TANG (China)**Zkušenosti a poznatky z injektáže základů přehrad pod vysokým hladinovým tlakem**

Sypaná přehrada s jílovým těsnicím jádrem založená na mocné vrstvě nadložních zemin o hloubce 148 m je vybavena systémem pro řízení průsaků, který zahrnuje zavěšenou betonovou těsnicí stěnu o hloubce 110 m v části říčního koryta. Pod touto stěnou byly provedeny injektáže v nadloží i v horninovém podloží. Ve svahových částech obou břehů byly provedeny horninové injektáže, případně injektáže pod těsnicí stěnou.

Původně byly navrženy čtyři řady injektáží v nadložních zeminách, avšak z různých důvodů byly nakonec provedeny pouze dvě řady. Po napuštění nádrže byl v některých úsecích zaznamenán vyšší než normální tlak průsakové vody a v oblasti pod přehradou byly pozorovány průsaky vody, výrony vody a písku a poklesy dna říčního koryta.

Odstraňování průsakových poruch trvalo deset let. V oblastech s neobvyklými průsaky byla provedena odlehčovací drenážní opatření a celkem pět etap zesilujících injektáží. První čtyři etapy nebyly dostatečně komplexní ani cílené a použité vrtné a injektážní technologie ani injektážní směsi nebyly plně vhodné pro složité geologické podmínky. Přestože jejich výsledky nebyly uspokojivé, bylo získáno mnoho zkušeností a hlavní průsaková cesta byla nakonec přesně identifikována.

Na základě těchto zkušeností byly v páté etapě výrazně zlepšeny vrtné a injektážní technologie i složení injektážních směsí, včetně nově navrženého zařízení pro uzavření úst vrtu, použití barytem zatíženého jílového výplachu, křemičitého solu (HSS) a dalších typů injektážních směsí (HSC, HPSC). Kontrola průsaků v hlubokých nadložních vrstvách byla nakonec úspěšně dosažena i při vodním tlaku odpovídajícím výšce hladiny 60 m.

Tento příklad ukazuje, že kvalita opatření pro kontrolu průsaků v základové oblasti přehrad před napuštěním nádrže je zásadní nejen z hlediska návrhu, ale i provedení. Náklady na nápravná opatření po napuštění nádrže jsou totiž velmi vysoké.

R. 42 YUAN LI, LIU QIANKUN, WANG FEI, LI TONGCHUN, LI JIANGUO (China)**Upřesněná metoda analýzy provozního chování přehrady Nyabarongo II na kombinované základně z vibračně hutněných šterkových pilířů**

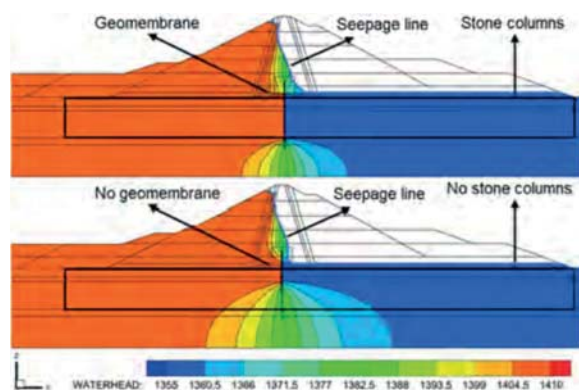
Přehrada Nyabarongo II ve Rwandě je sypaná přehrada s jílovým těsnicím jádrem založená na měkkém zeminovém podloží. Pro vytvoření kompozitního základu byly použity vibro-výměnné kamenné pilíře, které zvyšují únosnost podloží a urychlují odvodnění.

Při analýze provozního chování přehrady založené na takovém kompozitním základu nelze zanedbat velký rozsah skupiny kamenných pilířů. Navíc se u přehrad s jílovým jádrem často na návodní straně jádra instalují geomembrány pro zvýšení nepropustnosti. Vibro-výměnné kamenné pilíře a geomembrány jako drobné konstrukční prvky proto představují výzvu pro detailní analýzu provozního chování takové přehrady.

V tomto článku je navržena zjednodušená interpolační metoda, při níž jsou prvky kamenných pilířů vkládány do prvků základového modelu podle jejich polohy a vztah mezi oběma sítěmi je stanoven pomocí interpolačních koeficientů. Tato metoda umožňuje rychlé vytvoření modelu kompozitního základu, řeší problém simulace velkého počtu kamenných pilířů v reálných podmínkách a současně zohledňuje jejich vliv na chování přehrady.

Dále je použit sdružený model zahrnující membránové prvky a izoparametrické prvky, který umožňuje vytvořit kompatibilní vztah mezi geomembránou a jílovým jádrem a účinně analyzovat napětí a deformace geomembrány aplikované na povrchu jádra.

Kombinací obou metod byl vytvořen detailní analytický přístup pro studium provozního chování sypané přehrady s jílovým jádrem založené na kompozitním základu z vibro-výměnných kamenných pilířů. Tento přístup poskytuje teoretickou i technickou podporu pro hodnocení bezpečnosti a optimalizaci návrhu podobných přehrad.



Výsledky analýzy průsaků s geomembránou a bez ní

R. 43 ZHENG HUIFENG, LIU QIANKUN, LI JIANGUO, ZHENG SHUO (China)**Studium a návrh ošetření základů pomocí vibračně hutněných šterkových pilířů pro hluboké ultra měkké podloží**

Základové poměry v korytě toku u sypané přehrady s jílovým těsnicím jádrem v rámci víceúčelového projektu Nyabarongo-II ve Rwandě (východní Afrika) jsou tvořeny hlubokým nadložím s maximální mocností přesahující 45 m, přičemž jezerní rašelinné a prachovité „ultraměkké“ zeminy ve stavu od tekutého po měkce plastický dosahují přibližně 40 m. Návrh způsobu úpravy základů je pro tento projekt klíčovou technickou otázkou. Varianta úplné odtěžby při takové mocnosti a extrémně měkkém podloží naráží na zásadní obtíže a vysoká rizika z hlediska technické proveditelnosti i bezpečnosti, a proto je nerealizovatelná.

Z tohoto důvodu bylo navrženo zpevnění ultraměkkého podloží pomocí vibro-výměnných kamenných pilířů. Zkušební provedení vibroflotačních kamenných pilířů na staveništi prokázalo použitelnost metody pro vytváření pilířů v rašelinných a prachovitých zemínách v hloubkách přes 40 m. Kontroly a zkoušky provedené na kamenných pilířích potvrdily dobré vlastnosti a splnění návrhových požadavků. Analýzy a výpočty ukazují, že po úpravě základů pomocí kamenných pilířů splňuje přehrada požadavky na stabilitu proti posuvu i stabilitu z hlediska průsaků a sedání přehrady se pohybuje v obvyklých mezích.

Vibro-výměnné kamenné pilíře realizované v základech této přehrady představují v současné světové praxi nehlouběji provedené zpevnění v hlubokých nadložích tvořených ultraměkkými zemínami a mohou poskytnout užitečnou referenci pro podobné projekty se složitými základovými poměry.



Celkový pohled na projekt Nyabarongo-II

R. 44 JIANFAN ZHOU, KUNMING LU, GAO FENG ZHANG (China)**Bezpečnostní výzvy a provozní úvahy u kaskády přehrad**

Kaskády nádrží a jejich přehrady se v Číně staly významným „livelihood“ projektem se strategickým a celkovým dopadem na sociální a ekonomický rozvoj; hrají důležitou roli v protipovodňové ochraně, zásobování vodou a podpoře energetiky. V nových podmínkách však kaskády nádrží a přehrad v Číně čelí novým výzvám, mezi něž patří změna klimatu, nízká

úroveň informatizace a inteligentních systémů, nedostatečné technologie, omezená připravenost na mimořádné události a zastaralé koncepty řízení.

V tomto příspěvku jsou uvedena doporučení pro další rozvoj v pěti oblastech, včetně posílení systému protipovodňové ochrany, zvýšení úrovně automatizace a informatizace, zlepšení technologií a úrovně krizového řízení a modernizace přístupů. Cílem studie je poskytnout užitečné podněty pro zvyšování úrovně bezpečnosti kaskády nádrží a přehrad.

R. 45 ZHANG HANGNING, LI YUANKE, HUANG FEIYA, LIN YISHU (China)

Návrh ošetření základů pro HEPP Batang Toru

Tento článek navrhuje využití clonicích injektáží (curtain grouting), konsolidačních injektáží (consolidation grouting) a kontaktních injektáží (contact grouting) ke zlepšení stability a protiprůsakových vlastností základů přehrady projektu Batang Toru HEPP, který se nachází v oblasti s vysokou seismicitou a vyznačuje se oslabeným horninovým masivem a nízkou únosností základů. Na základě skutečných geologických podmínek na lokalitě je optimalizováno rozmístění konsolidačních a kontaktních injektáží.

Z terénních kontrolních dat vyplývá, že optimalizovaná opatření pro úpravu základů mohou nejen zajistit stabilitu základů přehrady, ale také usnadnit výstavbu, zkrátit dobu realizace a zlepšit ekonomické přínosy projektu. Příspěvek tak poskytuje teoretický základ i inženýrské zkušenosti pro úpravy základů u dalších projektů.

R. 46 YANG GUANG, ZHANG SHUAI, LUO MINGQING (China)

Výzkum bezpečnostních monitorovacích ukazatelů přehrady vodní elektrárny Nam Ngum 5 v Laosu

Při stanovování ukazatelů bezpečnostního monitoringu přehrad se současné metody, jako jsou matematická statistika, metoda mezních stavů a statické výpočty konstrukce, často používají izolovaně, což neumožňuje přesně odrazet skutečný provozní stav přehrady. Pro řešení tohoto problému by měly být ukazatele bezpečnostního monitoringu stanovovány kombinací monitorovacích dat, výsledků návrhu a různých výpočetních metod, jako je odhad intervalů spolehlivosti, analýza typické malé pravděpodobnosti a statické výpočty.

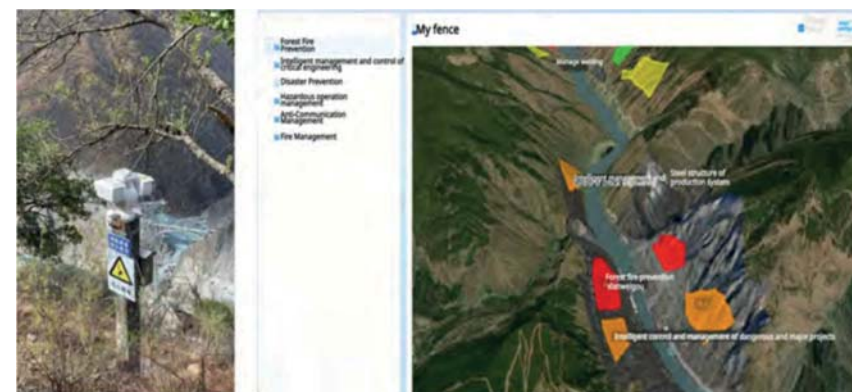
Integrací těchto přístupů s regulačními pokyny si tato studie klade za cíl určit přijatelné prahové hodnoty monitorovaných účinků za různých provozních podmínek přehrady vodní elektrárny Nam Ngum 5. Výzkum se zaměřuje na principy výběru monitorovacích bodů a hodnocení kvality dat z počátečních monitorovacích stanovišť s cílem identifikovat vhodné monitorovací ukazatele. Pomocí matematických a statických výpočetních metod jsou analyzována data bezpečnostního monitoringu přehrady Nam Ngum 5. Na základě těchto analýz jsou komplexně stanoveny monitorovací ukazatele pro klíčové monitorovací body přehrady Nam Ngum 5 spolu s aplikačními pokyny tak, aby byly splněny požadavky provozního řízení a hodnocení bezpečnosti.

R. 47 HE ZHANGUO, YAN JIANG PING, JIAO KAI, HUANG CHENGJIA, ZHAI HAIFENG, LIN HANWEN, PAN HAIJING (China)

Výzkum a aplikace klíčových technologií pro výstavbu smart částí ve velkých vodních elektrárnách

Na účelem řešení současných výzev při výstavbě velkých vodních elektráren, jako jsou vysoká bezpečnostní rizika, obtížná správa bezpečnosti a náročná kontrola kvality výstavby, byly zavedeny digitální, automatizované a inteligentní metody. Využitím pokročilých technologií, jako je internet věcí (IoT), cloud computing a big data, byl vyvinut komplexní systém „chytrého staveniště“, který pokrývá všechny aspekty, prvky i procesy výstavby.

Systém umožňuje inteligentní řízení v průběhu celého životního cyklu vodní elektrárny – od návrhu a výstavby až po provozní správu – a vykazuje významný aplikační potenciál i široké uplatnění.



Inteligentní systém pro bezpečnost práce včetně rozpoznávání potenciálních rizik



R. 48 KRZYSZTOF RADZICKI, MACIEJ SIEINSKI, TOMISŁAW GOŁĘBIEWSKI, DAGMARA ZELAYA-WZIĄTEK, ZBIGNIEW DMITRUK (Poland)**Stav přehrad a hrází v Polsku – problémy, statistiky a výzvy**

Změna klimatu představuje významné výzvy pro údržbu a bezpečnost vodních děl se vzdouvací funkcí v Polsku. Výzkumy naznačují, že katastrofální povodně, jako byla povodeň v září 2024, se mohou statisticky vyskytovat až dvakrát častěji a s vyšší intenzitou, než bylo dosud zaznamenáno. Současně je již nyní zásadním problémem nevyhovující technický stav velké části vzdouvacích staveb, zejména přehrad, a rovněž rozsáhlá celková délka protipovodňových hrází, která představuje výzvu z hlediska inspekce i nákladů na případné opravy a modernizace. Článek poskytuje komplexní a aktuální data o stavu vzdouvacích staveb v Polsku a stručně popisuje porušení přehrady ve Stronie Śląskie, ke kterému došlo dne 15. září 2024. Jsou identifikována nejvýznamnější rizika a výzvy, jimž čelí příslušné orgány a inženýři v Polsku jak v současnosti, tak do budoucna. Zároveň jsou navržena klíčová systémová a technická řešení, která by měla být zvažována ke zmírnění rostoucích rizik poruch vzdouvacích staveb v důsledku změny klimatu a pokračujícího stárnutí těchto staveb.



Přehrada Stronie Śląskie po porušení, pohled z návodní strany

R. 49 HAOHAN XIAO, SIYANG CHEN, LONG JIANG (China)**Identifikace potenciálního porušení skalního masivu v datech z vrtů pomocí metody DBSCAN**

Cílem této studie je zvýšit přesnost a efektivitu detekce rozpojených (rozpuštěných) horninových masivů pomocí shlukovacího algoritmu DBSCAN, což je klíčové pro stabilitní analýzy v geologii a inženýrství. Vybavením vrtných souprav senzory byla shromážděna rozsáhlá datová sada, která byla analyzována algoritmem DBSCAN k lokalizaci porušených zón. Studie stanovila optimální hodnotu parametru EPS analýzou vzdáleností k nejbližším sousedům (k-nearest neighbor) a posoudila, jak různé kombinace nastavení EPS a minPts ovlivňují identifikační proces.

Výsledky ukazují, že DBSCAN účinně odděluje šum a shlukuje data pro detailní mapování porušených zón. Při nastavení minPts = 8 dosahuje shlukovací index maxima, což zajišťuje přesnou identifikaci. Studie zároveň potvrzuje spolehlivost a adaptabilitu DBSCAN při různých rychlostech sběru dat a poskytuje automatizovanou a nezáujatou metodu detekce rozpukaných horninových masivů v geotechnickém inženýrství.

R. 50 PAVEL SVATOŠ, JIŘÍ KREMSA, TOMÁŠ KLEMŠA (Czech Republic)**Harcovská přehrada - zkušenosti provozovatele a technických dozorů bezpečnosti z probíhající rekonstrukce**

Přehrada Harcov ve městě Liberec v České republice byla vybudována v letech 1902–1904 především za účelem omezení povodňových průtoků a zmírnění povodňových dopadů v území pod přehradou. Po více než století provozu bylo nezbytné provést celkovou rekonstrukci přehrady tak, aby splnila současné požadavky na hydraulickou kapacitu výpustných objektů (spodních výpustí a bezpečnostního přelivu), zejména pro řízení povodňových průtoků. Nepříznivým faktorem je rovněž dlouhodobě zvýšený vztlak na spáře v základové oblasti tělesa přehrady, a to i při běžné hladině v nádrži.

V současnosti probíhají komplexní rekonstrukční práce na přehradě Harcov, v jejichž rámci došlo k významným změnám konstrukcí a parametrů tohoto historického vodního díla. Technické řešení zahrnuje zvýšení kapacity výpustných objektů a úpravu stupňovitěho skluzu. Vztlak na spáře v základové oblasti tělesa přehrady má být snížen utěsněním podloží injekční clonou, prováděnou z nové injekční štoly vybudované podél návodní paty přehrady. Příspěvek popisuje technické řešení a zkušenosti získané v rámci probíhající rekonstrukčních prací.



Pohled na staveniště v průběhu rekonstrukce

R. 51 J. CHANDRASHEKHAR IYER (India)**Výzvy v řízení bezpečnosti rozsáhlého portfolia stárnoucích přehrad v indickém kontextu**

Budování přehrad přes vodní toky má v Indii tradici po staletí. Grand Anicut (přehrada) na řece Kávéri v jižní části indického poloostrova je monumentální stavbou, která byla vybudována přibližně v 1. století n. l. a je stále v provozu již více než dvě tisíciletí. Přehrady hrají klíčovou roli pro zemědělský a průmyslový rozvoj, zásobování pitnou vodou, výrobu elektrické energie, zmírňování povodní a další společenské potřeby, čímž podporují rychlý růst indické ekonomiky a soběstačnost.

Podle Národního registru velkých (specifikovaných) přehrad zveřejněného Ústřední vodní komisí (CWC) a Národním úřadem pro bezpečnost přehrad (NDSA) v roce 2023 má země 6 138 provozovaných velkých přehrad rozprostřených napříč několika státy, s užitným zásobním objemem (live storage) řádově 250 miliard m³, přičemž mnoho dalších přehrad je ve výstavbě. Významná část těchto přehrad je starší než 25 let. Řízení bezpečnosti takto rozsáhlého portfolia stárnoucích přehrad z hlediska provozu, údržby a rehabilitace a souvisejících rizik představuje náročný interdisciplinární úkol.

Hydrologické bezpečnostní přezkumy starších přehrad, navržených a budovaných podle dřívějších platných technických předpisů, v některých případech prokázaly nedostatečnou kapacitu bezpečnostních přelivů pro převedení revidovaného návrhového povodňového průtoku, což vyžaduje zavedení vhodných ne-stavebních a/nebo stavebních opatření. Hydraulický, konstrukční a seizmický návrh starších přehrad musí být v souladu s nejnovějšími technickými předpisy. U řady přehrad byly zaznamenány provozní nedostatky, například absence stavidel typu stoplog (stoplog gates) pro snižování a údržbu přelivových uzávěrů na přelivné hraně, chybějící lávky či přístup pro kontrolu uzávěrů, nedostatek nízkourovňových výpustí pro manipulaci s hladinou v nádrži a absence potřebné přehradní instrumentace.

Pochůzkové vizuální kontroly návodního a vzdušného líce přehrady a dalších obtížně přístupných míst jsou poměrně náročné a časově zdlouhavé. Rutinní inspekce je proto třeba doplňovat inovativními technologicky orientovanými řešeními pro diagnostiku stavu a opravy. Degradace prvků na straně nádrže v tělese přehrady se často projevuje vyluhováním a průsaky v drenážní štolě; jde o jev běžně pozorovaný, avšak vlastníky přehrad ne vždy dostatečně zkoumaný a řešený.

Odkládaná údržba, ať už z rozpočtových důvodů nebo případně z důvodu nedostatku kvalifikovaných pracovníků, negativně ovlivňuje stav přehradních zařízení. Uzávěry, zdvihací mechanismy a související doprovodné konstrukce stárnoucích přehrad vyžadují periodické komplexní „zdravotní prohlídky“ pro rozhodování o včasných opravách, výměně či modernizaci.

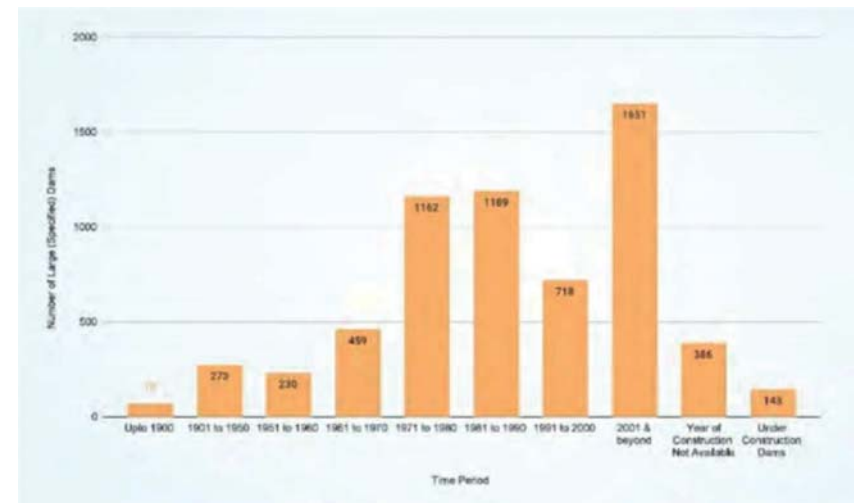
Přestože se samotné přehrady nemusely významně změnit, rizikové faktory se změnit mohly. Osídlení se typicky rozšiřuje v okolí přehrad a po proudu v nivě toku, protože se očekává pravidelná dodávka vody, což činí stále více lidí a majetku zranitelnými vůči povodňovému nebezpečí i při běžných manipulacích na přehradě – nemluvě o nekontrolovaných vypouštěních v případě havárie. Rozhodování založené na hodnocení rizik proto poskytuje obhajitelný základ pro přijímání rozhodnutí, pomáhá identifikovat největší rizika a prioritizovat úsilí k jejich minimalizaci nebo odstranění.

Dlouhodobé politiky a programy rehabilitace a zlepšování přehrad řízené centrální vládou v posledních více než čtyřech desetiletích ukázaly vlastníkům přehrad v zemi správný směr v oblasti opatření pro provoz, údržbu a rehabilitaci a v zajištění provozní bezpečnosti.

Přijetí zákona o bezpečnosti přehrad z roku 2021 (Dam Safety Act, 2021) přineslo zásadní změnu v tom, jak by měli vlastníci přehrad své přehrady řídit, provozovat a udržívat. Zákon požaduje vyčerpávající dokumentaci, periodické komplexní hodnocení bezpečnosti přehrad,

harmonogramy inspekcí, studie hodnocení rizik, havarijní plán (Emergency Action Plan) a řadu dalších postupů, které významně přispějí k efektivnímu řízení velkých přehrad.

Příspěvek diskutuje některé z výzev spojených s řízením bezpečnosti rozsáhlého portfolia stárnoucích přehrad v indickém kontextu.



Počet přehrad v Indii dokončených v jednotlivých dekadách

Obecná zpráva Q. 109, hlavní zpravodaj

Shuguang LI (Čína)

PhD, seniorní inženýr na úrovni profesora, China Three Gorges Corporation

člen technické komise ICOLD pro provoz, údržbu a rehabilitaci přehrad

člen technické komise CHINCOLD pro inspekci, opravy a zvyšování bezpečnosti vodních staveb

1. ÚVOD

Tato obecná zpráva k otázce 109 „Přehrady a hráze připravené pro budoucnost“ byla pojata jako přehled současného stavu poznání ve vztahu k posuzovaným tématům, s odkazy na doručené příspěvky tam, kde to bylo vhodné.

Přehrady a hráze jsou pro společnost významnou infrastrukturou. Jejich přínosy zahrnují protipovodňovou ochranu, výrobu energie, zásobování vodou, regulaci průtoků v tocích, plavbu a další funkce. Jak vstupujeme do druhé čtvrtiny 21. století, kladou globální změna klimatu, urbanizace a požadavky udržitelného rozvoje na přehrady a hráze vyšší nároky. Musíme na to reagovat a zajistit, aby přehrady a hráze byly připravené pro budoucnost; právě proto byla tato otázka zařazena do kongresu ICOLD 2025. Vědci a inženýři v rámci komunity ICOLD by měli vynaložit maximální úsilí k zajištění bezpečnosti přehrad a hrází, ať už ve výstavbě nebo stárnocích, abychom mohli i v budoucnu využívat jejich dlouhodobé přínosy.

Příspěvky na posledních dvou kongresech se již zaměřovaly na podobná témata, například Q103 „Malé přehrady a hráze“ a podotázku „dopady změny klimatu na potřeby a návrh přehrad, nádrží a hrází“ v rámci Q107 „Přehrady a změna klimatu“.

2. SHRNUÍ OBDRŽENÝCH PŘÍSPĚVKŮ

Jako příspěvky k otázce Q109 bylo obdrženo celkem 51 příspěvků z 20 zemí pěti kontinentů. Čína a Francie předložily 20, resp. 6 příspěvků, což představuje 50 % celkového počtu.

Témata pro Q109 „Přehrady a hráze připravené pro budoucnost“ jsou uvedena níže:

1. Správa stárnocího portfolia přehrad z hlediska provozu, údržby a obnovy, včetně přístupů založených na hodnocení rizik
2. Bezpečnost během výstavby a obnovy vodních děl
3. Speciální případy malých přehrad a protipovodňových hrází
4. Vliv nových smluvních postupů na bezpečnost přehrad (např. zapojení soukromého sektoru, EPC smlouvy)
5. Stále obtížnější lokality a jejich nové výzvy
6. Potřeba globálního budování kapacit

3. SPRÁVA STÁRNOUCÍHO PORTFOLIA PŘEHAD Z HLEDISKA PROVOZU, ÚDRŽBY A REHABILITACE

3.1. ZNAKY PŘEHAD A HRÁZÍ PŘIPRAVENÝCH PRO BUDOUCNOST

Přestože komunita ICOLD dosud neposkytla jednoznačnou definici přehrad a hrází připravených pro budoucnost, po přezkoumání všech předložených příspěvků k Q109 lze tyto přehrady a hráze charakterizovat zkratkou „P-I-E-R-C-E-S“, která je kombinací počátečních písmen sedmi slov, a to Safety, Resilience, Intelligence, Eco-friendliness, Economy, Compliance a Participation.

(1) **Safety (bezpečnost).** Přehrady a hráze připravené pro budoucnost musí být bezpečné; to je nejvyšší priorit. Musí být bezpečné v celém svém životním cyklu, včetně etap návrhu, výstavby, provozu, údržby, rehabilitace a vyřazení z provozu, a to za použití účinných, robustních a spolehlivých technických i netechnických řešení.

(2) **Resilience (odolnost).** Přehrady a hráze připravené pro budoucnost musí být infrastrukturou odolnou vůči změně klimatu. Měly by být navrhovány pomocí adaptivních a flexibilních přístupů, které těmto stavbám umožní dynamicky reagovat na klimatickou proměnlivost, a měly by upřednostňovat materiály, stavební postupy a monitorovací systémy odolné vůči širšímu spektru klimatických extrémů, jako jsou extrémně intenzivní srážky a dlouhotrvající sucha.

(3) **Intelligence (inteligence).** Přehrady a hráze připravené pro budoucnost musí být inteligentní, což znamená, že mohou integrovat pokročilé technologie a systémy ke zvýšení své bezpečnosti, odolnosti a provozní efektivity. V budoucnu mohou být přehrady a hráze vybaveny zařízeními, která budou vnímat, uvažovat, rozhodovat a reagovat podobně jako člověk za využití inteligentních technik, jako jsou různé senzory založené na IoT, algoritmy strojového učení, systémy rozhodování založené na AI, drony a robotika.

(4) **Eco-friendliness (ekologická šetrnost).** Přehrady a hráze připravené pro budoucnost musí být ekologicky a environmentálně šetrné a musí splňovat dlouhodobé environmentální požadavky. Budou zahrnovat prvky, jako jsou rybí přechody, plovoucí ostrovy k prevenci eutrofizace a plovoucí systémy pro sběr odpadu, které zlepšují ekologickou konektivitu a kvalitu vody. Musí být zajištěn odpovídající ekologický průtok podporující vodní ekosystémy a odpovídající cílům environmentální udržitelnosti.

(5) **Economy (ekonomika).** Přehrady a hráze připravené pro budoucnost musí být ekonomické. Finanční plánování a analýza nákladů a přínosů by měly být prováděny v průběhu celého jejich životního cyklu. Rovnováha mezi náklady, bezpečností a funkcí musí být hledána nejen ve fázi návrhu nebo údržby, ale po celou dobu životnosti.

(6) **Compliance (soulad s předpisy).** Přehrady a hráze připravené pro budoucnost musí být v souladu s regulačními rámci. Kromě toho musí splňovat přísné bezpečnostní standardy nejen pro současné podmínky, ale i pro očekávané budoucí výzvy vyvolané například změnou klimatu a extrémními povětrnostními jevy.

(7) **Participation (participace).** Přehrady a hráze připravené pro budoucnost musí zahrnovat všechny zainteresované subjekty, včetně vládních agentur, bank a investorů, vlastníků, provozovatelů, expertů, výzkumníků, místních komunit, médií a veřejnosti. Účinné zapojení stakeholderů je pro úspěch přehrad a hrází zásadní, protože zajišťuje, že bude zohledněna

většina perspektiv a že budou již včas promítnuty do realizace. Je rovněž třeba řešit případné vnitrostátní či mezinárodní konflikty.

3.2. STRATEGIE SPRÁVY STÁRNOUCÍCH PŘEHRAD A HRÁZÍ

K tomuto tématu přispělo deset zpráv a autoři z evropských, amerických a asijských zemí představili své názory a doporučení pro správu stárnoucích přehrad z hlediska provozu, údržby a rehabilitace.

Na základě nedávných povodňových událostí v Evropě a několika případových studií modernizace padesát let starých zemních hrází poskytla zpráva R26 z Rumunska rámec pro „future-proofing“ přehrad, včetně strategií udržitelného hospodaření s vodou, technologického dovybavení a klimatické odolnosti v kontextu obnovy přehrad.

Zpráva R48 z Polska navrhla klíčová systémová a technická řešení ke zmírnění rostoucích rizik poruch stárnoucích přehrad a hrází v důsledku změny klimatu. Zpráva R2 představila vládní zadání dokončené v roce 2023 o dopadech změny klimatu na bezpečnost přehrad ve Švédsku a vysvětlila aplikace šesti aspektů národní strategie adaptace na změnu klimatu pro oblast bezpečnosti přehrad. Zpráva R22 ze Spojeného království poskytla přehled historického vývoje přehrad s jílovým „puddled clay“ jádrem, které tvoří více než 60 % britských nádrží, a představila výzvy v oblasti hodnocení rizik i významná zlepšení návrhu a údržby. Zpráva R51 se zabývala výzvami, jimž Indie čelí při správě 6 138 velkých přehrad, z nichž mnohé jsou starší než 25 let. Navrhla několik doporučení ke zvýšení bezpečnosti stárnoucích přehrad, včetně technologicky podporovaného monitoringu technického stavu, přizpůsobení novým normám a technologickému vývoji, posílení institucionálních kapacit a hodnocení rizik.

Přestože se počet, typy, stáří, technické znaky a bezpečnostní stav přehrad a hrází v jednotlivých zemích výrazně liší, některé vlády si uvědomují význam zajištění bezpečnosti do budoucna a vyvíjejí úsilí k dosažení tohoto cíle. Správa stárnoucích přehrad a hrází vyžaduje multidisciplinární přístup kombinující inženýrství, environmentální vědy, ekonomii a sociální politiku, ale také účast všech zainteresovaných stran. Případové studie související s poruchami přehrad ukazují, že sypané přehrady jsou vůči změně klimatu zranitelnější. Bezpečnostní monitoring nízkých nebo malých sypaných přehrad a hrází by měl být posílen a měl by představovat jednu z hlavních priorit vlastníků a provozovatelů.

Se stárnutím přehrad může docházet ke zhoršování jejich konstrukční integrity, čímž se zvyšuje riziko poruchy. Proto je nezbytné přijmout přístupy založené na hodnocení rizik, které zajistí bezpečnost a efektivitu provozu, údržby a rehabilitace. Zpráva R20 představila systém Safety Review Risk Assessment (SaRRA) pro velké přehrady ve Francii, zavedený v roce 2007, přičemž dosud bylo dokončeno přibližně 650 projektů SaRRA; ty se staly klíčovou součástí systému řízení rizik a prevence. Výsledky a databáze jsou velmi poučné pro všechny zainteresované subjekty nejen ve Francii, ale i ve světě. Zpráva R9 ukázala výsledky kvantitativního hodnocení rizik (QRA) zpracovaného pro významný potenciální poruchový scénář (PFM) u přehrady Waterton v jižní Albertě v Kanadě. Prokázala, že QRA může přinést hlubší porozumění klíčovému potenciálním poruchovým scénářům, umožnit proaktivní zásahová opatření a informovat návrh instrumentace a monitorovacích opatření ke zvýšení bezpečnosti přehrady. Proces QRA však dnes může být nákladný, časově náročný, drahý a v určitém rozsahu jej proto nahrazuje inženýrský úsudek.

V posledních letech se výzkumníci nezaměřují pouze na bezpečnost samotné přehrady, ale také na bezpečnost kaskád nádrží a vliv přehrad na ekologii a životní prostředí.

Zpráva R44 pojednává o bezpečnostních výzvách a provozních aspektech čínských kaskád nádrží. Navrhuje pět doporučení ke zvýšení celkové úrovně bezpečnosti kaskádových nádrží, jako je vytvoření inteligentního systému řízení bezpečnosti přehrad, zlepšení technické bezpečnosti a úrovně krizového řízení skupin přehrad. Zpráva R13 z Japonska představila řadu opatření ke zmírnění dlouhodobého zákalu po proudě od přehrady Hitotsuse, postavené před více než 60 lety. Byla přijata a ověřena řada účinných opatření ke zmírnění zákalu, která snížila nepříznivé dopady přehrady na životní prostředí a ekologii.

S rozvojem inteligentních technik se stále více uplatňuje umělá inteligence (AI).

Zpráva R28 z Kanady poskytuje přehled vývoje generativní umělé inteligence (GenAI) a podrobně popisuje, jak lze GenAI využít v oblasti bezpečnostních přezkumů přehrad (DRS), včetně přezkumu dat a dokumentace, kontrol na místě, klasifikace přehrad, analýzy poruchových scénářů, bezpečnostních analýz přehrad a provozu, údržby a dohledu nad přehradami.

Shrneme-li výše uvedené příspěvky k tomuto tématu, přestože je stále velkou výzvou budovat nebo modernizovat stárnoucí přehrady a hráže do podoby „připravené pro budoucnost“, charakterizované znaky „P-I-E-R-C-E-S“, některé země již přijímají mnohostranné strategie správy, inteligentní a špičková opatření a dosahují významného pokroku ve zvyšování bezpečnosti přehrad a hrází v průběhu celého jejich životního cyklu, jejich odolnosti vůči změně klimatu, jejich šetrnosti a harmonie s ekologií i jejich ekonomické životaschopnosti.

4. BEZPEČNOST BĚHEM VÝSTAVBY A REHABILITACE

Jak bylo uvedeno v oddílu 3, bezpečnost je pro přehrady během celého životního cyklu nejvyšší prioritou. Téměř 40 z celkových 51 zpráv přináší nejnovější poznatky týkající se bezpečnosti přehrad a přispívá k tématu 2 „Bezpečnost během výstavby a rehabilitace“. Tyto příspěvky jsou shrnuty ve třech podtématech: 1) inovativní techniky výstavby přehrad, 2) pokrok v bezpečnostním monitoringu a analýzách existujících přehrad a 3) pokrok v rehabilitaci a zvyšování bezpečnosti stárnoucích přehrad.

4.1. INOVATIVNÍ TECHNIKY VÝSTAVBY PŘEHRAD

K tomuto tématu přispělo dvacet dva zpráv. Poskytují panorama nejnovějších světových inovací v přehradním inženýrství, včetně nových technik zajištění základů, využití nových typů přehrad, nových stavebních materiálů a inteligentních stavebních technologií. Je třeba zdůraznit, že šestnáct z těchto zpráv pochází z Číny. To odpovídá skutečnosti, že Čína má největší počet přehrad a nádrží na světě a že zde v současnosti probíhá výstavba přehrad světové úrovně o výšce kolem 300 m.

4.1.1. Nové techniky zajištění základů

Pro vybudování přehrady připravené pro budoucnost je nezbytný udržitelný základ, schopný podírat přehrady po celou dobu její životnosti. Udržitelný základ zde znamená základ, který se vyznačuje konstrukční stabilitou, trvanlivostí, environmentální kompatibilitou a ekonomickou životaschopností. Bez ohledu na typ přehrady patří mezi klíčové požadavky na

udržitelný základ odpovídající únosnost, odolnost vůči sedání, odolnost vůči zemětřesení, geologická kompatibilita, drenáž, nepropustnost a trvanlivost.

K tomuto podtématu přispělo sedm zpráv, z nichž čtyři se týkají technik zajištění základů sypaných přehrad na měkkých zeminách a hlubokých nadložních vrstvách (R38, R41, R42 a R43), zatímco zbývající tři se týkají hardfill přehrad nebo betonových přehrad na skalním podloží se závažnými poruchami (R24, R45 a R49).

Zpráva R38 obsahuje souhrnný přehled zkušeností s výstavbou přehrad na měkkých zeminách v Číně. Posouzení stability přehrad a predikce jejího deformačního chování jsou do značné míry závislé na fyzikálních a mechanických parametrech měkkých zemin. Doporučuje se, aby se pro posuzování průsaků v základech přehrad používala horní mez koeficientu propustnosti získaná laboratorními zkouškami nebo čerpacími testy. Pro analýzy stability svahů a výpočty přebytkového pórového tlaku vody lze použít dolní mez koeficientu propustnosti z laboratorních zkoušek nebo výsledky zkoušek laterálního tlaku, CPTU a konsolidačních zkoušek.

Zprávy R42 a R43 představují studii a návrh úpravy základů jílovojádrové sypané přehrad v Rwandě s maximální výškou 59 m. Hluboké ultraměkké podloží tvoří 40 m mocná vrstva jezerních rašelinových a prachovitých ultraměkkých zemin ve stavu od tekutého po plastický. Po důkladné analýze byly pro zpevnění měkkého podloží použity vibro-výměnné kamenné pilíře a geomembrána k prodloužení průsakové dráhy při patě jádra. Kontroly a zkoušky provedené na kamenných pilířích prokázaly jejich dobré vlastnosti a splnění návrhových požadavků.

Zpráva R41 představuje zkušenosti a poučení získané při projektu injektáže základů pod hlubokou krycí vrstvou u jílovojádrové sypané přehrad v jihozápadní Číně, vysoké 110 m. Hloubka nadloží v základech přehrad činí 149 m; byla navržena a provedena těsnicí stěna o hloubce 85 m v kombinaci se čtyřmi řadami injektáží do nadložních zemin v délce 60 m pod těsnicí stěnou, což se dosud ukázalo jako úspěšné. Zároveň se však ukázalo, že dosažení výsledku si vyžádalo deset let a značné náklady na zesilující injektáže, což dokládá, že kontrola průsaků v základech přehrad je doslova její životní linií a musí jí být v návrhu i realizaci věnována maximální pozornost.

Zpráva R24 pojednává o geologických výzvách při výstavbě dvou hardfill přehrad o výšce kolem 40 m a o jejich řešení. Obě přehrad v Jižní Africe jsou založeny na skalním podloží s četnými poruchami ovlivňujícími jejich bezpečnost. Byly použity konsolidační injektáže a smykové klíny, čímž byla zvýšena celková stabilita přehrad.

Zpráva R45 se zabývá návrhem úpravy základů projektu Batang Toru HEPP v oblasti s vysokou seismicitou v Indonésii, s cílem zvýšit stabilitu a protisakové vlastnosti. Přehrazením je obloukově zakřivená gravitační přehrada o maximální výšce 74 m založená na tufech. Výzvami byly slabé skalní podloží, vysoká hustota puklin a nízká únosnost. K jejich řešení byla použita optimalizace vrtného rastru a aplikace clonících, konsolidačních a kontaktních injektáží.

Zpráva R49 pojednává o použití algoritmu DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) pro identifikaci rozpukaných horninových masivů pomocí vrtných dat. Tento přístup může poskytnout automatizovanou a nezájatou metodu detekce rozpukaných horninových masivů a má proto dobrý aplikační potenciál v geotechnickém inženýrství pro všechny typy přehrad.

Souhrnně lze konstatovat, že uvedených sedm zpráv sdílí zkušenosti s překonáváním obtíží při zajištění udržitelných základů v různých geologických podmínkách. Jsou popsány těsnicí stěny a rozsáhlé injektáže pro kontrolu průsaků u 110 m vysoké jílovojádrové sypané přehrad s 149 m hlubokým nadložím, vibro-výměnné kamenné pilíře a geomembrána pro zpevnění mocných vrstev ultraměkkých zemin a kontrolu průsaků, injektážní techniky pro zvýšení seizmické odolnosti a smykové klíny pro zvýšení stability ve skalních základech s poruchami. Jsou rovněž uvedeny zásady pro volbu fyzikálních a mechanických parametrů měkkých zemin a algoritmy DBSCAN pro nezájatou identifikaci rozpukaných horninových masivů. Všechny uvedené případové studie a zkušenosti představují užitečný a cenný referenční základ pro přehradní projekty v obdobných geologických podmínkách.

4.1.2. Nové typy přehrad

Tradiční typy přehrad, byť jsou v mnoha případech účinné, nemusí vždy odpovídat výzvám spojeným s budováním přehrad připravených pro budoucnost. Nové typy přehrad, které nabízejí inovativní a lepší řešení alespoň v jednom z aspektů charakteristik „P-I-E-R-C-E-S“, jsou proto pro budoucí přehradu nezbytné. Tři zprávy se věnují aplikacím Cemented Soil Dam (R25), Cemented Sand and Gravel Dam (R35) a kombinované přehradě (R31).

A. Cemented Soil Dam a Cemented Sand and Gravel Dam

Podle Bulletinu 195 [1] je Cemented Material Dam (CMD) definována jako soubor nových typů přehrad využívajících cementové pojivo spolu s různými přírodními nebo průmyslově vyráběnými materiály při výstavbě přehrad. CMD má technické výhody spočívající v možnosti budovat přehrad bezpečně, rychle a někdy i ekonomicky, environmentálně šetrným způsobem a se sníženým rizikem poruchy při přelítí. CMD zahrnuje Cemented Soil Dams (CSD), Cemented Sand and Gravel Dams (CSGD), Rock-Filled Concrete Dams (RFCD) a Faced Symmetrical Hard-fill Dams (FSHD). Zprávy R25 a R35 se týkají aplikací CSD, resp. CSGD.

CSD využívá jako stavební materiál zeminový materiál smíšený s cementem a dalšími cementačními složkami.

Zpráva R25 popisuje proces výstavby provizorní hrázky pomocí technologie cementované zeminy u přehradě Kapichira v Malawi. Maximální výška hrázky je 14 m a šířka koruny 6 m, při symetrickém návodním i vzdušném sklonu 1:1,5. Zpráva podrobně popisuje návrh, přípravu písku, cementu a zeminy, laboratorní zkoušky na staveništi, zkoušky v reálném měřítku i samotný proces výstavby (viz obr. 1 a obr. 2). Technologie cementované zeminy umožnila rychlou a účinnou reakci na havarijní situaci a vytvořila základ pro následné komplexní obnovné práce; má proto značný aplikační potenciál ve vodních stavbách.

Zpráva R35 se zabývá novou metodou dynamického návrhu poměru složek směsi CSGD, která má řešit problémy tradičního návrhu směsí CSG, jako jsou velké rozdíly v pevnosti a nízká ekonomická efektivita. Na základě laboratorních simulačních experimentů byl stanoven vztah mezi pevností cementovaného písku a štěrku a kombinací obsahu písku a rezervy pojivové pasty a byla navržena nová metoda dynamického návrhu směsi založená na optimalizaci těchto dvou faktorů. Tato metoda byla nakonec úspěšně použita v oblasti zvyšování modulu tuhosti vysokého patního pilíře v jednom hydroenergetickém projektu a její účinnost a proveditelnost byly ověřeny praktickými výsledky.

B. Kombinovaná přehrada

Kombinovaná přehrada je typ přehrady, který kombinuje dva nebo více různých materiálů nebo konstrukčních typů tak, aby využil výhod každého z nich a optimalizoval výkonnost, stabilitu a hospodárnost přehrady. Kombinované přehrady se často používají v situacích, kdy jediný typ konstrukce není vhodný z důvodu geologických, environmentálních nebo ekonomických omezení. K zajištění jejich dlouhodobé funkce je nezbytný odpovídající návrh, výstavba i údržba.

Zpráva R31 pojednává o výstavbě kombinované přehrady v rámci hydroenergetického projektu Zungeru v Nigérii, která je tvořena přehradou z válcovaného dusaného betonu (RCC) a dvěma sypanými přehradami s asfaltobetonovým jádrem. Výška spoje dosahuje 85 m, což je více než u většiny obdobných spojů. Návrh a realizace spoje těchto dvou typů přehrad (obr. 3) hrají klíčovou roli při zajištění bezpečnosti přehrady. Zpráva popisuje technologii výstavby a monitorování spoje, včetně úpravy povrchu cementového betonu, instalace těsnicích prvků, výstavby spojového úseku RCC přehrady, výstavby asfaltobetonového jádra, výstavby přechodového materiálu a monitorování tlaku ve spoji, deformací a pórového tlaku. Zpráva uzavírá, že návrh a kvalita provedení spojů přímo ovlivňují kvalitu a bezpečnost celé přehrady a že přehrada Zungeru poskytuje širší perspektivu pro budoucí použití podobných typů kombinovaných přehrad.

4.1.3. Inovace v materiálech pro výstavbu přehrad

Inovativní stavební materiály pro přehrady, které dokážou překonat omezení tradičních materiálů a zlepšit funkční vlastnosti a udržitelnost přehrad, jsou pro přehrady připravené pro budoucnost zásadní. Zpráva R36 shrnuje tři průlomové v čínské výstavbě betonových přehrad v posledních letech: průlom ve výšce přehrad, průlom v řízení teploty přehradního betonu a průlom v přesnosti betonářských procesů. Z nich nejvýznamnější inovací je expansivní nízkohydratační portlandský cement a vysoce trhlinovzdorný přehradní beton.

A. Expansivní nízkohydratační portlandský cement

U vysokých betonových přehrad musí být beton vysoce odolný proti tvorbě trhlin. Nízkohydratační cement a expanzní přísady představují dvě základní cesty ke zvýšení odolnosti přehradního betonu proti vzniku trhlin. První generace nízkohydratačního portlandského cementu (LHC), vyráběná a poprvé ve velkém měřítku použitá při výstavbě přehrady Hoover ve 30. letech 20. století [2], však měla nedostatky, jako je nízká počáteční pevnost, velké autogenní objemové smrštění a vysoké výrobní náklady, a proto bylo její použití v přehradním inženýrství po poslední aplikaci na přehradě Detroit v roce 1953 velmi omezené.

Smršťování kompenzující beton na bázi ettringitu nebo oxidu vápenatého, vyrobený s použitím expanzního cementu (typ K, M, S) nebo expanzních složek (typ K, M, G), se používá k omezení vzniku trhlin způsobených smršťováním při vysychání [3]. Jelikož však expanze probíhá v raném stádiu a neodpovídá procesu ochlazování a smršťování přehradního betonu, nelze tento typ betonu u přehrad použít. Beton kompenzující smrštění na bázi oxidu hořečnatého (MgO beton), vyráběný s použitím lehce páleného MgO prášku jako přísady, byl použit přibližně u 30 menších betonových přehrad v Číně [4] a výsledky v minimalizaci tepelných trhlin a zjednodušení opatření pro řízení teploty byly významné. Důvodem je, že expanze MgO po hydrataci úzce odpovídá smršťovacímu procesu přehradního betonu při ochlazování. Kvůli obtížím s rovnoměrným rozptýlením MgO prášku v přehradním betonu a obavám,

že nerovnoměrné rozdělení MgO by mohlo vést k nerovnoměrné expanzi a vzniku trhlin, však MgO beton dosud nebyl použit u vysokých přehrad nad 100 m.

V Číně byl proto vyvinut nový typ nízkohydratačního portlandského cementu, který je založen na MgO a vykazuje expanzní autogenní objemovou deformaci, s cílem zvýšit odolnost přehradního betonu proti tvorbě trhlin souběžnou úpravou jeho tepelného i deformačního chování [5]. Expansivní nízkohydratační portlandský cement (ELHC) má výhody autogenní expanze, nižšího hydratačního tepla, vyšší počáteční pevnosti a nižší spotřeby energie a emisí uhlíku. Autogenní objemová deformace je expanzní a 28denní expanze není menší než 0,08 %. Beton na bázi ELHC se vyznačuje vysokou odolností proti tvorbě trhlin, což umožňuje zjednodušení, ale přitom účinný a nákladově efektivní systém řízení teploty. Poprvé byl ELHC beton ve velkém měřítku použit při výstavbě hydroelektrárny Baihetan a Wudongde, včetně 300 m vysokých obloukových přehrad, elektrárny, tunelů apod. Od zahájení výstavby před osmi lety nebyly na přehradách pozorovány žádné trhliny. ELHC a beton ELHC byly od té doby použity i u CFRD, železnic a mostů, což ukazuje jejich významný další aplikační potenciál i podstatné technické, ekonomické a společenské přínosy.

Mnozí inženýři se zajímají o trvanlivost betonu ELHC. Zpráva R40 vysvětluje rozdíly v trvanlivosti mezi OPC (obyčejný portlandský cement), MHC (středně hydratační portlandský cement) a expansivním LHC pomocí sdružených modelů hydratace a degradace v důsledku vyluhování vápníku. Výsledky ukazují, že po 1000 dnech hydratace se u všech tří cementů zvýšil obsah C-S-H a snížil obsah hydroxidu vápenatého, přičemž LHC vykazuje největší hydratační potenciál. Po 100 letech vyluhování činí hloubka zasažená vyluhováním u OPC, MHC a LHC 2,4 cm, 2,2 cm a 2,0 cm. Fronty vyluhování C-S-H, hydroxidu vápenatého a ettringitu se u OPC, MHC i LHC snižovaly, což ukazuje, že LHC má nejlepší odolnost proti vyluhování. Zpráva uzavírá, že z hlediska trvanlivosti vůči vyluhování je LHC nejlepší.

B. Použití kyselých kameniv v asfaltovém betonu

Obecně platí, že u sypaných přehrad s nepropustnou konstrukcí z asfaltového betonu se kyselá kameniva běžně nepoužívají kvůli jejich nízké kompatibilitě nebo přilnavosti k asfaltovému pojivu, což vede k nedostatečné vodní stálosti. U projektů asfaltobetonových těsnění, kde jsou však k dispozici pouze kyselá kameniva, navrhla zpráva R39 nový způsob jejich použití s pomocí přísad proti odlučování, které mohou významně zlepšit přilnavost mezi kyselým kamenivem a asfaltem. Zpráva rovněž navrhla účinný parametr pro rozlišování mezi kyselými a zásaditými kamenivy a pro predikci optimální dávky přísad proti odlučování k prevenci poškození asfaltového betonu vodou. Kyselá kameniva a přísada proti odlučování byly použity v horní nádrži přečerpávací vodní elektrárny Yimeng v provincii Shandong v Číně v roce 2021 [6]. Dosavadní protisakové vlastnosti asfaltobetonového těsnění jsou vynikající.

Shrneme-li uvedené poznatky, v Číně byl vyvinut nový typ cementu označovaný jako expansivní nízkohydratační portlandský cement (ELHC) a na jeho bázi byl vyroben vysoce trhlinovzdorný přehradní beton. Dosud nebyly po jeho použití v extrémně vysokých obloukových přehradách Wudongde a Baihetan pozorovány žádné tepelné trhliny, což naznačuje, že by mohlo jít o zásadní nový materiál pro přehrady připravené pro budoucnost. Asfaltový beton s použitím kyselých kameniv a přísad proti odlučování pro zlepšení přilnavosti mezi kamenivem a asfaltem byl vyroben a použit v horní nádrži SPSP, čímž vznikla proveditelná cesta pro využití místních kyselých kameniv v asfaltovém betonu.

4.1.4. Inteligentní techniky výstavby přehrad

Obr. 5 poskytuje přehled nových technologií, které lze použít v přehradním inženýrství [7], stejně jako ve výstražných a monitorovacích systémech, jež jsou tak důležité pro „fit for purpose“ bezpečnost přehrad v průběhu jejich životnosti. Zprávy R29, R32 a R47 představily inovativní inteligentní techniky používané při výstavbě přehrad v Číně.

Zpráva R29 představila inteligentní stavební techniky použité při výstavbě sypané přehrady Lianghekou se šterkozemním jílovým jádrem a maximální výškou 303,00 m, tedy nejvyšší zemní a kamenitě přehradu na světě. Přehrazení bylo budováno v alpinské oblasti s úrovní koruny 2875,00 m n. m. V tomto projektu inženýři vytvořili ucelený soubor technologií pro zemní výstavbu mimořádně vysokých zemních a kamenitých přehrad ve vysokohorských a chladných oblastech a vytvořili precedent rozsáhlé kontinuální výstavby zemních jader v zimě v oblastech náhorních plošin s permafrostem při využití inteligentní technologie ukládání materiálu, která účinně řídila celý cyklus sypaní přehrad. Celkový systém inteligentní technologie sypaní zahrnuje míchání, dopravu, přidávání vody, rozprostírání, válcování, jakož i řídicí centrum a mobilní centrum bezobslužného válcování na stavbě (obr. 6).

Zpráva R32 se zabývá vývojem inteligentního systému řízení a kontroly výstavby betonových přehrad, který se skládá z inteligentního řídicího centra pro sběr dat v reálném čase, jejich analýzu a rozhodování, z návrhu a vývoje matematických modelů pro toto centrum a z pěti aplikačních modulů systému, zahrnujících BIM návrh, návrh betonážních zón, výrobu betonu, jeho dopravu a ukládání. Navržený systém má řídit a kontrolovat výstavbu betonových přehrad, podporovat rozhodování, zkrátit čekací dobu během výstavby a v konečném důsledku zvýšit efektivitu betonářských prací. Metodika byla použita v jednom aktuálně realizovaném projektu přehrad. Jsou shrnuty technické ukazatele výkonnosti navrženého řešení, které prokazují jeho proveditelnost a spolehlivost.

Zpráva R47 představila vývoj inteligentního staveniště, které bylo použito v hydroelektrárně Kala s instalovaným výkonem 1 020 MW. Hlavní přehradou je RCC přehrada o maximální výšce 123 m. Inteligentní staveniště zahrnuje inteligentní technologie bezpečnostního monitoringu a inteligentní stavební platformu pro vodní elektrárny. Schéma uspořádání je znázorněno na obr. 7. Inteligentní systém bezpečnostního monitoringu zajišťuje monitorování v reálném čase a včasné varování před nebezpečným chováním a nebezpečnými situacemi na staveništi, čímž výrazně zvyšuje bezpečnost výstavby. Platforma pokrývá všechny obchodní aspekty, prvky i procesy a zahrnuje osm inteligentních funkcí řízení a pět inteligentních stavebních aplikací. Inteligentní staveniště na hydroelektrárně Kala je vzorovým modelem výstavby a správy přehrad nebo hrází budoucnosti. Odpovídá významné poptávce v oblasti výstavby velkých vodních elektráren, nabízí široké tržní perspektivy a značnou aplikační hodnotu i významné společenské přínosy.

Z výše uvedených zpráv je zřejmé, že při výstavbě nedávno budovaných přehrad se vyvíjí a používá stále více inteligentních technologií a systémů. Inteligentní přehrad se v blízké budoucnosti budou stále více stávat realitou.

4.1.5. Bezpečnost přehrad – hydraulické souvislosti

Ve Švédsku byla po několika desetiletích běžného provozu bez vystavení návrhovým povodním nebo extrémním povodňovým událostem zjištěna poškození vývařišť u několika vodních děl s nízkou výškou vzdutí. Zpráva R3 se pokusila objasnit mechanismus jejich vzniku pomocí fyzikálních modelových zkoušek a numerického modelování. Bylo zjištěno, že možné

vysvětlení iniciace poškození v reálné konstrukci mohou představovat trhliny v prototypu, v betonu podél návodního svahu vývařiště. Po iniciaci poškození betonu mohly tlakové fluktuace obecně, případně v kombinaci s kavitací, způsobovat další postup poškození tím, že vyvolávaly vibrace výztuže. To ukazuje, že beton s vysokou odolností proti tvorbě trhlin je potřebný nejen pro betonové přehradu, ale i pro beton odolný proti abrazi ve vývařistištích s nízkou výškou vodního sloupce nebo pro otěruvzdorný beton v tunelových ostěních při nízkých tlacích či nízkých rychlostech proudění.

Shrnutím oddílu 4.1 lze konstatovat, že byl popsán významný technický pokrok v oblasti udržitelnosti základů, typů přehrad, stavebních materiálů a inteligentních technologií. Pokud jde o udržitelnost základů, byly představeny různé techniky kontroly průsaků, zvýšení únosnosti a zlepšení odolnosti proti sedání a seismickému namáhání u přehrad na ultraměkkých zeminách a na skalních základech s poruchami. Byly představeny aplikace přehrad z cementované zeminy, přehrad z cementovaného písku a šterku a kombinované přehrad tvořené RCC přehradou a dvěma sypanými přehradami s asfaltobetonovým jádrem. V Číně byl vyvinut nový typ cementu označovaný jako expansivní nízkohydratační portlandský cement a přehradní beton na jeho bázi vykazuje vysokou odolnost proti tvorbě trhlin, což ukazuje značný potenciál v oblasti teplotního řízení vysokých betonových přehrad. Byl vyvinut a použit i asfaltový beton založený na kyselých kamenivech s přísadami proti odlučování v PSPP. Inteligentní techniky a systémy ke zvýšení bezpečnosti přehrad při výstavbě a monitoringu byly vyvinuty a sehrály významnou roli při zajištění bezpečnosti 303 m vysoké sypané přehrady Lianghekou se šterkozemním jádrem, tedy nejvyšší zemní a kamenitě přehradu na světě.

4.2. BEZPEČNOSTNÍ MONITORING A ANALÝZA STÁRNOUCÍCH PŘEHRAD

K nejnovějšímu technickému pokroku v oblasti bezpečnostního monitoringu a analýzy existujících přehrad přispělo osm zpráv, zahrnujících 60 let starou hráz (R10), 100 m vysoké betonové obloukové přehradu (R46, R14), 300 m vysoké obloukové přehradu (R37, R33) i přehradu postižené erozí (R4, R11, R21).

Zpráva R10 se zabývá významem detekce anomálního chování přehrad pomocí pokročilých analytických metod a představuje dvě pokročilé metody analýzy monitorovacích dat: detekci anomálií založenou na strojovém učení a numerické modelování s využitím distribuovaného vláknového snímání. Obě metody, použité jednak na datech deformací francouzské betonové gravitační přehradu o výšce 31 m a jednak na téměř 60 let staré hrázi kanálu o délce 5,250 km, prokázaly svůj význam a technické výhody při zlepšování interpretačních schopností monitorovacích dat.

Zpráva R46 rozvíjí komplexní techniku výpočtu ukazatelů monitoringu přehrad založenou na integrovaném výběru měřicích bodů, multikriteriálním souhrnném výpočtu a celostní aplikaci kritérií. Tato metoda byla použita u obloukové RCC přehradu Nam Ngum 5 v Laosu s maximální výškou 100,5 m a poskytuje rychlé posouzení bezpečnostního stavu přehrad i vědecké vedení a podporu pro její provoz.

Zpráva R37 si klade za cíl posoudit bezpečnost extrémně vysoké obloukové přehradu v jihozápadní Číně pod vlivem kontrakčních deformací údolí prostřednictvím komplexní nelineární analýzy metodou konečných prvků, která zohledňuje rozhodující geologické okrajové podmínky přehradu a základů i vývoj zatížení od deformací údolí. Výsledky ukazují, že za současných účinků deformace údolí bezpečnostní úroveň této obloukové přehradu,

vyjádřená bezpečnostními koeficienty 3K, splňuje regulační požadavky. K zajištění dlouhodobě bezpečného provozu je však nezbytné trvalé sledování deformací údolí.

Zpráva R33 navrhla schéma augmentace dat pro prediktivní údržbu (PdM) přehrad a jeho aplikaci na extrémně vysoké obloukové přehradě v Číně (maximální výška 294,5 m). Navržená vylepšená metoda shlukování K-means kombinuje prostorové informace o vzdálenosti měřících bodů senzorů pro zvýšení přesnosti a efektivity klasifikace časových řad. Kromě toho kombinace vylepšené centroidní linie shluků a modelů Long Short-Term Memory (LSTM) umožňuje účinnou predikci provozního stavu přehrady. Porovnáním bylo prokázáno, že vylepšená metoda K-means výrazně zlepšuje přesnost detekce anomálií a přesnost predikce dat a poskytuje cenné podklady pro prediktivní údržbu velkých betonových konstrukcí.

Zpráva R14 představila 60 let dlouhé výsledky monitoringu in situ na betonové obloukové přehradě (87 m vysoké) v chladné oblasti Japonska. Dynamický modul pružnosti přehradního betonu odhadnutý z rychlosti ultrazvuku ukázal, že přehrada Otori zůstává i po 60 letech v perfektním stavu (obr. 8), což naznačuje, že její technická způsobilost je zajištěna. Zkušební tělesa si rovněž udržela vysoké procento dynamického modulu, i když byly pozorovány rozdíly v závislosti na složení směsi. Studie dokládá, že rozumný návrh a provedení jsou zásadní pro zajištění dlouhodobého fungování betonových konstrukcí v prostředí se střídáním mrazu a tání.

Ve zprávě R11 je použit inovativní přístup k posouzení stability přehradní konstrukce o rozměrech 100 m délky, 65 m šířky a 57 m výšky, založené na zeminovém podloží charakterizovaném nadměrným pórovím tlakem vody a sníženým efektivním napětím v důsledku statického ztekucení během výstavby a následné vnitřní eroze. Pozornost je soustředěna na výpočet hlubokých mechanismů porušení únosnosti. Bezpečnostní faktory jsou počítány metodou redukce smykové pevnosti (SSR) při použití inovativního dvoustupňového kalibračního procesu. Nakonec je zdůrazněn význam reálných měřených dat, jako jsou CPT, drenážní průtoky a pórové tlaky vody.

Hlavní příčinou poruch přehrad a hrází je eroze, vnitřní i vnější, která dosud nebyla pokryta evropskými normami (Eurokódy).

Zpráva R21 představila soubor doporučených pokynů pro hodnocení rizika eroze vydaný v roce 2024 Francouzským výborem pro velké přehrad (CFBR) po sedmi letech práce. Doporučení poprvé zahrnují vnitřní i vnější erozi do společné sedmistupňové metodiky založené na konceptu erozních cest a lze je použít pro přehradu, kanály i hráze. Navrhují tři úrovně analýzy pro vnitřní erozi a tři typy odůvodnění pro erozi vnější.

Zpráva R4 představila optimalizaci návrhu břehového opevnění kombinací hydraulického modelování a návrhových metod založených na turbulenci. Dvourozměrný hydraulický model byl vytvořen s využitím vysokorozlišovací batymetrie z vícepráskového echo-sondování a topografie LiDAR. Turbulence byla modelována dvourovnícovým hloubkově průměrovaným modelem k-epsilon. Kombinovaná metoda byla použita na odpadním kanále vodní elektrárny v severním Švédsku, staré více než 60 let. Výsledky ukázaly, že stávající ochrana břehů není dostatečná k odolání účinkům povodňových událostí, zejména v oblastech s vysokou rychlostí proudění a silnou turbulencí. Byla navržena řešení oprav, včetně zvětšení tloušťky kamenné vrstvy a změny velikosti kameniva za účelem zvýšení účinnosti břehového opevnění. Nová metoda může přispět k lepšímu pochopení erozních jevů a k optimálnímu návrhu ochrany břehů.

Shrme-li tento oddíl, byly představeny bezpečnostní monitoring, analýza a údržba přehrad integrující pokročilé technologie, datově orientované přístupy a robustní návrhové zásady ke zvýšení bezpečnosti a životnosti přehrad. Tyto pokročilé technologie zahrnují detekci anomálií založenou na strojovém učení, numerické modelování s distribuovaným vláknovým snímáním, schéma augmentace dat pro prediktivní údržbu (PdM) a dlouhodobý monitoring přehrad pomocí NDT, jako je měření rychlosti ultrazvuku. Byly rovněž představeny pokyny pro hodnocení rizika eroze založené na sedmistupňové metodice vycházející z konceptu erozní cesty, metoda redukce smykové pevnosti (SSR) a hydraulické modelování v kombinaci s návrhovou metodou založenou na turbulenci.

4.3. REHABILITACE A ZVYŠOVÁNÍ BEZPEČNOSTI STÁRNOUCÍCH PŘEHRAD

Se stárnutím přehrad dochází k degradaci, která může ohrozit jejich bezpečnost, efektivitu i funkčnost. Proto jsou zapotřebí rehabilitační činnosti, zahrnující zesilování konstrukce přehrady, zvyšování kapacity bezpečnostních přelivů, kontrolu průsaků, modernizaci monitorovacích systémů, stabilizaci základů a zvyšování hrází. K tomuto tématu přispělo sedm zpráv, které pokrývají široké spektrum rehabilitačních činností u stárnoucích přehrad. Nejstarší rehabilitovanou přehradou je 120 let stará zděná přehrada (R50), nejstarší betonové přehrady jsou staré 100 let (R7, R15) a nejstarší přehrada s asfaltovým těsněním je stará 65 let (R27).

Zpráva R50 představila probíhající rekonstrukci zděné přehrady Harcov v České republice, vybudované v letech 1902 až 1904 především pro tlumení povodňových průtoků, která je dnes kulturně-historickou památkou. Po století provozu vznikla potřeba zvýšit kapacitu bezpečnostního přelivu tak, aby odpovídala současným standardům a bezpečně převedla desetitisíciletou povodňovou vlnu. Rekonstrukce zahrnuje zvýšení kapacity bezpečnostního přelivu, úpravu stupňovitého přelivního skluzu a zesílení základů přehrady za účelem řešení dlouhodobých problémů se vztlakem podloží. Hlavní část zděné přehrady Harcov bude z větší části zachována v původním stavu. Budou instalována nová technologická zařízení včetně automatického monitoringu vodohospodářských parametrů a dohledu nad přehradou. Tento rekonstrukční projekt bude dobrým příkladem vyvažování požadavků na zachování historického dědictví a současných technických nároků.

Zpráva R23 poskytuje podrobný plán obnovy bezpečnostního přelivu přehrady Kpong, která byla v provozu 40 let a nachází se na řece Volta v Ghaně. Vedle obvyklých faktorů stárnutí, jako je stárnutí zařízení a koroze, představovala hlavní faktor nepříznivě ovlivňující provoz bezpečnostního přelivu přítomnost alkalicko-reaktivní reakce kameniva (AAR) v betonu. Byl zvolen mnohostranný přístup zahrnující posouzení stavu uzávěrů a infrastruktury přímo na místě. Pro řešení AAR, označované jako „rakovina betonových konstrukcí“, byl v elektrárně Kpong instalován systém měření konvergence sestávající ze šesti 12 m dlouhých konvergenčních měřidel pro sledování bobtnání betonu. Bylo provedeno posouzení betonu bezpečnostního přelivu zahrnující 1) mapování trhlin pilířů, 2) analýzu úrovní 21 geodetických značek a 3) odběr betonových jádrových vzorků a laboratorní analýzu. K zajištění budoucí spolehlivé funkce uzávěrů jsou nezbytné rozsáhlé další opravy, jako je utěsnění všech trhlin v betonu bezpečnostního přelivu a v souvisejícím zařízení. Přestože bude uplatněn důkladný a systematický přístup, dlouhodobá životnost hrazených bezpečnostních přelivů zůstává vzhledem ke složitosti regulace reziduální expanze AAR nejistá.

Zpráva R7 poskytuje komplexní hodnocení stavu betonových jader z 100 let staré vodní elektrárny Mühleberg ve Švýcarsku. Hlavní objekt elektrárny, včetně 20 m vysoké gravitační přehrady a strojovny, byl vybudován z vysoce tekutého „litého betonu“. Přesné složení směsi

však nebylo možné zjistit kvůli chybějící technické dokumentaci. Posouzení stavu na základě vrtaných betonových jader bylo provedeno v letech 1980 a 2015 a pevnost v tlaku i modul pružnosti zůstaly na dobré úrovni bez zjevných známek degradace. Mikroskopická zkoumání tenkých výbrusů však odhalila stopy dvou jevů stárnutí, AAR a vyluhování. Přestože historická AAR byla zřetelně identifikována v celé vodotěsné betonové konstrukci, nebylo zjištěno významné konstrukční poškození v důsledku AAR. Důvodem útlumu AAR po určité době je relativně nízký obsah cementu v betonu a pravděpodobně také nižší obsah alkálií v cementu. Bylo proto uzavřeno, že potenciál této reakce musí být zohledněn při jakýchkoli budoucích rekonstrukčních a modernizačních opatřeních.

Ze zpráv R23 a R7 je zřejmé, že AAR zůstává dominantním faktorem ovlivňujícím konstrukční integritu a životnost betonových přehrad. U přehrad vybudovaných s použitím alkalicky aktivního kameniva je nutné přijmout rozsáhlá opatření ke snížení nepříznivých účinků. Zároveň lze dovodit, že pro posouzení stavu a predikci životnosti velmi starých betonových přehrad bez technické dokumentace jsou zapotřebí metody ke stanovení vodního součinitele na základě betonových jader.

Zpráva R15 poskytuje podrobné přehodnocení účinků rehabilitačních prací provedených před 30 lety za účelem omezení průsaků na návodní straně přehrad Ceresole Reale v Itálii, betonové gravitační přehrad vybudované v letech 1927–1930. Rehabilitační projekt provedený v 90. letech zahrnoval instalaci flexibilního exponovaného geomembránového systému, nových železobetonových bloků a doplnění nových drenážních systémů a injekčních clon. Po více než třiceti letech provozu ukazují monitorovací data, že navzdory očekávanému částečnému zhoršení vlastností exponované geomembrány zůstaly celková vodotěsnost i konstrukční chování přehrad Ceresole Reale vynikající, což zajišťuje její zcela bezpečný provoz.

Zpráva R27 popisuje projekt obnovy nádrže Rosswiese v Rakousku, vybudované v roce 1958 s asfaltovým lícovým těsněním. Po 65 letech provozu bylo nutné asfaltové těsnění obnovit spolu s odstraněním sedimentů z nádrže a modernizací drenážního systému. Výzvami byly omezený prostor na staveništi pro mechanizaci a krátký časový interval s ohledem na ekonomický význam přehrad.

Vzhledem k nárůstu extrémních povětrnostních jevů způsobených změnou klimatu čelí stávající přehrady potřebě zvýšit svou protipovodňovou kapacitu. Zvyšování hráze je účinným prostředkem ke zvýšení této kapacity. Zpráva R12 zkoumala proveditelnost zvýšení 70 let staré přehrad Shin-Katsurazawa v japonském městě Niigata. Přehrazení bude zvýšeno z 63,6 m na 75,5 m a objem akumulace se zvýší z 92 mil. m³ na 147 mil. m³. Nejprve byly mechanické vlastnosti betonu stávající přehrady stanoveny zkouškami jádrových vzorků, což poskytlo data pro další návrh. Následně byl na základě změn hladiny nádrže v průběhu roku navržen optimalizovaný plán výstavby s cílem minimalizovat namáhání při betonáži ve vyšších úrovních v době nízké hladiny nádrže. Nakonec byla prostřednictvím skutečných záznamů z výstavby a simulačních analýz ověřena účinnost navrženého plánu a bylo konstatováno, že udržování minimálních hladin během prací na zvýšení přehrad může účinně snižovat napětí vyvolaná změnami hladiny a zajistit konstrukční bezpečnost.

Zpráva R16 zkoumala a doporučila metody zesilování stávajících betonových přehrad pomocí pasivních kotev. Po rešerši současného stavu poznání v oblasti pasivních kotev autoři navrhli inovativní metodu zohledňující dilatační a konfinanční účinky. Po několika srovnávacích hodnoceních jsou popsány hlavní prvky připravovaných francouzských doporučení k použití

pasivních kotev pro zesilování stávajících betonových přehrad, zejména ochrana kotev proti korozi a monitoring a dohled nad přehradami zesílenými pasivními kotvami. Přestože je v této oblasti ještě mnoho práce, mohou být výsledky této studie převzaty dalšími zainteresovanými výbory nebo mezinárodními komisemi a přispět tak k dalšímu rozvoji příslušných předpisů a technického vývoje.

Závěrem tohoto oddílu lze říci, že byly představeny globální případové studie rehabilitačních činností u stárnoucích přehrad, včetně modernizace přehrad při zachování historických a environmentálních hodnot, rekonstrukcí bezpečnostních přelivů s ohledem na přítomnost AAR, kontroly průsaků pomocí geomembrán, zvyšování hrází jako adaptace na změnu klimatu, dlouhodobého monitoringu pomocí NDT, např. rychlosti ultrazvuku, a zesilování přehrad pasivními kotvami. Posuzované přehrad, staré 40 až 120 let, jsou reprezentativní a získané zkušenosti mají velký význam jako reference pro další přehrad ve světě.

5. ZVLÁŠTNÍ PŘÍPAD MALÝCH PŘEHRAD A HRÁZÍ

V posledních letech věnují ICOLD a mnohé národní komise, včetně CFBR (Francouzský výbor pro přehradu a nádrže), stále větší pozornost malým přehradám a hrázím, a to vzhledem k jejich stejné důležitosti jako u velkých přehrad a hrází z hlediska společenské užitečnosti i rizik, která představují. Podrobná diskuse proběhla na vídeňském kongresu v roce 2018 v rámci Q103 „Malé přehrad a hráze“.

K tomuto tématu přispěly tři zprávy, které se zabývají návrhem, údržbou a bezpečnostní analýzou malých přehrad a hrází.

Zpráva R17 pojednává o návrhu, výstavbě, provozu a správě malých přehrad a protipovodňových hrází ve Francii a zdůrazňuje jejich podobnosti, rozdíly i výzvy, kterým čelí. Ačkoli oba typy vodohospodářské infrastruktury sdílejí základní hydraulické funkce, jako je zadržování a řízení hladiny vody, existují významné rozdíly v přístupu, vyplývající z odlišného důrazu na environmentální dopady. Protipovodňové hráze například upřednostňují ochranu konkrétních území před povodněmi, zatímco malé přehrad se mohou více soustředit na zemědělské závlahy nebo výrobu hydroelektrické energie. Zpráva se věnuje zásadám návrhu, běžným problémům a řešením u malých přehrad i stavebním standardům, řízení rizik a inženýrským detailům protipovodňových hrází.

Zpráva R19 představila projekt obnovy hráze ve vesnici Well v provincii Limburg v Nizozemsku, jehož cílem je naplnit budoucí klimatické výzvy. V projektu Well byl navržen a použit adaptivní návrhový přístup „fit for future“. V novém návrhovém postupu již není předem daná geometrie hráze tím, co určuje požadované vlastnosti zásypového materiálu; naopak dostupné vlastnosti zásypového materiálu určují geometrii hráze (obr. 9). Projekt Well se stal jedním z nejdůležitějších projektů zlepšení hrází v Nizozemsku a ukazuje, jak zajistit bezpečnost při vyvažování ekologicko-environmentálních hodnot, ekonomiky, historického kontextu území a vodního hospodářství.

Zpráva R18 z Nizozemska navrhla metodu bezpečnostního hodnocení malých hrází zatížených bobřím norováním během vysokých vodních stavů. Byl vyvinut zdokonalený agentní model (ABM) simulující chování bobrů s ohledem na řadu faktorů, jako je rychlost větru, teplota, srážky, doba trvání povodně, věk, zkušenosti a individuální charakteristiky bobrů. Porovnáním predikcí modelu s terénními pozorováními bylo zjištěno, že model účinně předpovídá polohu bobřích nor, avšak je zatím málo citlivý na hydrometeorologické podmínky. Pro další validaci

modelu je třeba získat komplexnější data, zejména o chování bobrů a o poloze hrází, aby bylo možné zvýšit jeho přesnost. Přesto již nyní poskytuje nový metodický nástroj pro porozumění a řízení rizik vyvolaných aktivitou bobrů na hrázích.

Závěrem tohoto oddílu lze uvést, že byly popsány podobnosti a rozdíly mezi malými přehradami a hrázemi ve fázích návrhu, výstavby a provozu. Malým přehradám a hrázím je třeba věnovat odpovídající pozornost, aby byly připravené pro budoucnost a aby bylo možné i nadále využívat jejich přínosy.

6. STÁLE OBTÍŽNĚJŠÍ LOKALITY – PŘEHRAKY A JEJICH NOVÉ VÝZVY

Přehradky jsou nadále velmi potřebné pro hospodaření s vodou, výrobu energie a další funkce. Mnoho nejvhodnějších lokalit pro výstavbu přehrad, kde bylo možné nalézt dobrou rovnováhu mezi technickou proveditelností, ekonomickými přínosy a environmentálními dopady, však již bylo využito. Přehrazení tak budou pravděpodobně budována ve stále obtížnějších lokalitách, jako jsou odlehle horské oblasti se složitými geologickými podmínkami, vysokými svahy, vysokou nadmořskou výškou, extrémním chladem a seismicitou, což přináší nové výzvy. Pět zpráv představilo zkušenosti s překonáváním obtíží při zajištění bezpečnosti přehrad během výstavby v souvislosti se sesuvy (R1), intenzivními lokálními srážkami (R6), složitými geologickými podmínkami (R5) a vysokými environmentálními nároky (R30, R34).

Zpráva R1 představuje úspěšnou zkušenost s řešením poruchy svahu během výstavby přehradky Alto Tâmega na řece Tâmega, pravostranném přítoku řeky Douro v severním Portugalsku. Přehrazení má maximální výšku 104,50 m a objem betonu přibližně 223 000 m³, je založeno na metamorfním horninovém masivu tvořeném převážně svory a elektrárna se nachází u vzdušné paty. Během deštivého období došlo na svahu pravého břehu bezprostředně pod místem založení přehradky k velkému sesuvu zahrnujícímu objem horniny přibližně 23 000 m³. Inženýrská opatření zahrnovala: 1) reprofilaci založení přehradky ve čtyřech blocích; 2) výstavbu nové betonové konstrukce k částečnému obnovení geometrie a zatěžovacích podmínek horninového masivu před sesuvem; 3) prodloužení skalní stoly pod zasaženou oblastí za účelem hlubšího průzkumu základového horninového masivu a podpory jeho utěsnění a odvodnění; 4) aktualizaci monitorovacího plánu včetně definice dodatečné instrumentace pro novou betonovou konstrukci a úprav monitorování základové oblasti pravého břehu. Výstavba dále probíhala standardně podle přesně definovaného plánu a za přísné bezpečnostní kontroly. První napuštění nádrže proběhlo podle plánu. Přehrazení je v provozu od února 2023 a vykazuje velmi dobré chování.

Zpráva R5 představuje návrh, výstavbu a monitoring injekční stoly přehradky ve složitých geologických podmínkách. Přehrazení Moglice v jihovýchodní Albánii je jednou z nejvyšších sypných přehrad na světě, s asfaltovým jádrem a výškou 170 m. Během výstavby bylo nutné návrh stoly revidovat v důsledku nových geologických poznatků ve střední a dolní části levého závazání a nepříznivých geologických podmínek s horninovým stropem klesajícím až 65 m pod plánovanou úroveň stoly. Projektovému týmu se podařilo původně schválený návrh adaptovat a současně průběžně provádět nezbytná zlepšení. Optimalizace technického řešení byly podmíněny poznatky získanými během výkopových prací. Upravený návrh a jeho realizace byly nedávno ověřeny na základě tříapůlletých provozních monitorovacích dat ve spolupráci s provozovatelem přehradky.

Zpráva R6 představuje úspěšné zvládnutí povodní během výstavby RCC přehradky Nam Theun 1 v Laosu, vysoké 187 m. Zpráva podrobně popisuje schémata odklonu toku i kroky realizace

plánů pro zvládnutí povodní. V období dešťů v letech 2018, 2019, 2020 a 2021 odklonový tunel dosáhl své kapacity a provizorní hrázky i hlavní přehrada byly přelévány, přičemž povodňové průtoky byly přes staveniště bezpečně převedeny bez neočekávaného poškození přehradky a dalších objektů.

Zprávy R30 a R34 se zaměřují na vodní elektrárnu JX budovanou ve vysokohorské oblasti v Číně, v nadmořské výšce přes 3000 m, kde bylo nutné čelit náročnému terénu, napjatému harmonogramu a požadavku na ochranu starých ořešáků.

Zpráva R34 pojednává o technikách rychlé výstavby velkokapacitního systému pro zpracování písku a šterku a pro výrobu betonu. Díky optimalizaci uspořádání systému a zavedení nových technologií byl projekt úspěšně realizován, včetně místních ochranných opatření pro staré ořešáky, řešení kolizí na staveništi a stavebních technik pro období nízkých teplot. Představuje rovněž inovativní řešení, jako je využití BIM technologie pro simulaci digitálního dvojčete, použití nových materiálů membránových konstrukcí pro výstavbu velkých skladovacích nádrží a vývoj inteligentních systémů vhodných pro vysokohorské oblasti pro výrobu betonu.

Zpráva R30 se zaměřuje na návrh a technologie výstavby velké síly pro skladování polotovarů z oceli pro vodní elektrárnu JX. Silo bylo instalováno metodou obrácené montáže, což účinně zkrátilo dobu výstavby a zvýšilo efektivitu.

Závěrem lze uvést, že s tím, jak budou vysoké přehradky budovány ve stále obtížnějších lokalitách, bude přibývat zkušeností s překonáváním nových výzev, jako jsou složité geologické podmínky, extrémní přírodní události, závažné environmentální podmínky a vysoké požadavky na ochranu životního prostředí.

7. POTŘEBA BUDOVÁNÍ GLOBÁLNÍCH KAPACIT

K tomuto tématu přispěla pouze zpráva R8. Zaměřila se na faktory ovlivňující přeshraniční projekty a na možná řešení. Po připomenutí stručné historie konfliktů mezi státy sousedících s vodou a po analýze faktorů vedoucích ke konfliktu nebo spolupráci doporučuje zmírňovat konflikty prostřednictvím smluv a dohod. Kolaborativní řešení sporů prostřednictvím smluv a dohod je zásadní k minimalizaci potenciálu konfliktů u přeshraničních projektů. Při rozvíjení nových způsobů, jak tento potenciál snížit, musí osvědčená praxe zahrnovat takové otázky, jako je bezpečnost přehrad a krizové řízení, regionálně integrované hodnocení rizik, nebezpečí a zranitelnosti zohledňující dopady na komunity, infrastrukturu a majetek. Součástí této osvědčené praxe by mělo být i hodnocení environmentálních a kulturních hodnot, koordinace společného krizového řízení, zapojení zainteresovaných subjektů a společná cvičení pro mimořádné situace. Zpráva konečně vyzývá k posílení bezpečnosti přehrad, ke zlepšení opatření krizového řízení a k posílení spolupráce mezi sousedními státy při řešení konfliktů spojených s přeshraničními přehradami, kde vedle sebe musejí existovat odlišné právní, socioekonomické, kulturní a institucionální rámce pro bezpečnost přehrad.

Z toho vyplývá, že organizace, jako je Mezinárodní komise pro velké přehradky (ICOLD) a Skupina Světové banky, stejně jako národní komise pro bezpečnost přehrad a regulační orgány (místní i národní), musí sehrát roli při rozvoji a implementaci osvědčených metodických postupů specificky přizpůsobených jedinečným potřebám přeshraničních přehrad, včetně náležitého zohlednění významu bezpečnosti přehrad a krizového řízení, jakož i jasné a transparentní komunikace s veřejností.

8. ZÁVĚRY

K otázce 109 „Přehrady a hráze připravené pro budoucnost“ přispělo padesát jedna zpráv z celého světa. Přestože komunita ICOLD dosud neposkytla jednoznačnou definici přehrad a hrází připravených pro budoucnost, domníváme se, že jejich znaky lze charakterizovat zkratkou „P-I-E-R-C-E-S“, tedy Safety, Resilience, Intelligence, Eco-friendliness, Economy, Compliance a Participation.

Bezpečnost je u přehrad a hrází připravených pro budoucnost nejvyšší prioritou. Přehrady a hráze musí být bezpečné po celou dobu své životnosti, včetně etap návrhu, výstavby, provozu, údržby, rehabilitace a vyřazení z provozu, a to za použití účinných, robustních a spolehlivých technických i netechnických řešení. Velká většina z 51 zpráv se týká bezpečnosti přehrad a hrází, včetně udržitelnosti základů, bezpečnostního návrhu nových přehrad a hrází, technik zajišťujících bezpečnost během výstavby, bezpečnostního monitoringu, hodnocení bezpečnostního stavu a zvyšování bezpečnosti stárnoucích přehrad prostřednictvím rehabilitace.

V oblasti udržitelnosti základů byly popsány různé techniky kontroly průsaků, zvýšení únosnosti a zlepšení odolnosti proti seslání a seismicitě u přehrad na ultraměkkých zeminách a na skalních základech s poruchami. Byly představeny aplikace přehrad z cementované zeminy, přehrad z cementovaného písku a šterku a kombinované přehrady sestávající z RCC přehrad a dvou sypaných přehrad s asfaltobetonovým jádrem. V Číně byl vyvinut nový typ cementu označovaný jako expansivní nízkohydratační portlandský cement a přehradní beton na jeho bázi vykazuje vysokou odolnost proti tvorbě trhlin, což ukazuje značný potenciál pro teplotní řízení u vysokých betonových přehrad. Byl vyvinut a použit také asfaltový beton založený na kyselých kamenivech s přísadami proti odlučování v PSPP. Inteligentní techniky a systémy ke zvýšení bezpečnosti a efektivity ve fázi výstavby a monitoringu byly vyvinuty a sehrály významnou roli při zajištění bezpečnosti 300 m vysokých přehrad v Číně, včetně přehrad Lianghekou, Wudongde a Baihetan. V blízké budoucnosti budou inteligentní technologie používány stále ve větší míře.

Klimatická odolnost je rovněž charakteristickým znakem přehrad a hrází připravených pro budoucnost. Musí být navrhovány adaptivními a flexibilními přístupy, aby mohly reagovat na proměnlivost, nepředvídatelnost, extrémnost a nejistotu způsobenou změnou klimatu. Přehrady a hráze musí být ekologicky šetrné, aby mohly po celou dobu své životnosti harmonicky koexistovat s ekosystémy a přírodou. U přehrad budovaných ve stále obtížnějších lokalitách, jako jsou odlehle horské oblasti se složitými geologickými podmínkami, intenzivními srážkami, vysokými environmentálními nároky a extrémním chladem, již byly získány úspěšné zkušenosti s překonáváním těchto výzev a tyto zkušenosti mohou představovat cennou referenci pro přehrady budované v obdobně obtížných podmínkách.

Správa stárnoucích přehrad a hrází vyžaduje multidisciplinární přístup kombinující inženýrství, environmentální vědy, ekonomii a sociální politiku. Vyžaduje také participaci a spolupráci všech zainteresovaných subjektů. Přestože se počet, typy, stáří, technické vlastnosti a bezpečnostní stav přehrad a hrází v jednotlivých zemích výrazně liší, některé státy si již uvědomily význam zajištění bezpečnosti do budoucna a přijímají integrovaná opatření, přičemž dosahují významného pokroku.

Otázka 110: BEZPEČNOST PŘEHRA A PROTIPOVODŇOVÝCH HRÁZÍ PŘI EXTRÉMNÍCH HYDROLOGICKÝCH SITUACÍCH

Zpracovatel přehledu příspěvků:

Ing. Jiří Hodák, Ph.D. (VODNÍ DÍLA - TBD a.s.)

Otázka byla rozdělena do 4 podtémat:

1. Hodnocení extrémních jevů (např. povodně, sucho, tajfuny/hurikány, protřetí ledovcových jezer) v kontextu změny klimatu se zohledněním nejistoty
2. Posouzení bezpečnosti staveb při extrémních povodních; možnosti managementu (např. zvýšení výšky hráze, kapacity bezpečnostního přelivu, provozu nádrže)
3. Předpověď povodní, řízení soustav vodních děl v rámci povodí
4. Přehodnocení povodňových dat a opatření ke zmírnění následků, např. pojistné prvky, odolnost proti přelítí, řízené vytvoření průlomu, varování a evakuace, krizové a havarijní řízení

Generální zpravodajem této otázky byl pan Enrique Cifres (Španělsko).

Celkem v otázce Q110 bylo publikováno 28 příspěvků:

R. 1 JUAN CARLOS DE CEA AZAÑEDO, DANIEL SANZ JIMÉNEZ, ENRIQUE MORENO CALLE, IGNACIO ESCUDER BUENO, ADRIÁN MORALES TORRES (Spain)
Adaptation of 310 dams in Spain to extreme events and climate change through risk assessment

R. 2 M. HO TA KHANH, F. LAUGIER, J. VERMEULEN (Vietnam)
PKW Spillways: An innovative, safe and economic solution from run-of-river dams in plains to large dams in mountains suitable for climate change challenges

R. 3 JAMES YANG, ANDERS FRISK, MATS BILLSTEIN, PETER MATTIASSON, LARS JOHNSON (Sweden)
Dam upgrade with Piano Key Weir for discharge of extreme floods

R. 4 ENRIQUE CAMPOS, JUAN JOSÉ REBOLLO, JOSÉ MILLA, CARMEN BAENA, CARLOS GRANELL (Spain)
Design of the new spillway for Regajo dam

R. 5 ALEXANDRE JEAN PACHOUD, DANIEL VIVIROLI, ROGER FRAUCHIGER, EMMANUEL BROCARD, MILAINE CÔTÉ (Switzerland)
New approach to estimate extreme floods for Swiss dams by means of continuous hydrometeorological simulations

R. 6 L. TARDIEUX, I. FENT, A. ARIGONI, B. M. QUIGLEY, A. JONNERET, P. SIPATELA, A. NKWEENDENDA, S. MHLANGA, MUNYARADZI C. MUNODAWAFA (Switzerland)
Kariba dam plunge pool reshaping works for the safety of structures for extreme floods



- R. 7 LE VAN NGHI, HOANG DUC VINH, DOAN THI MINH YEN, NGUYEN TIEN HAI (Vietnam)
Piano Key Weir geometries adjustment for downstream hydraulic regime: lessons learned from case studies in Vietnam
- R. 8 PETER HILL, ASHIQ RASHEED, YUE (ALBERT) SHEN, PHILLIP JORDAN, MICHEL RAYMOND (Australia)
Regionalization of flood envelope curves to derive preliminary estimates of probable maximum floods
- R. 9 CHIHAYA ONDA, KOUKI MORIMOTO, TETSUYA SUMI (Japan)
Case study and analysis of surge wave and excessive flood in hydropower dams
- R. 10 JULIEN VERMEULEN, THOMAS VIARD, MATTHIEU SECHER, DAMIEN PUYGRENIER, EMMANUEL PAQUET (France)
Gestion des crues sur les grands bassins versants - prise en compte de la complexité hydrologique et hydraulique
- R. 11 LOUIS SUCHIER, ALEXANDRE SIMON, EMMANUEL ROBBE, PHILIPPE KOLMAYER, FRÉDÉRIC LAUGIER, ALAIN FELZINES, RÉMI BERNARD (France)
Characterization and feedback on the behavior of arch dams subjected to heatwaves and extreme cold
- R. 12 THIBAUT MALLET, MARK CHEETHAM, PHILIPPE PELT, JEAN-JACQUES FRY, RÉMY TOURMENT, PIERRE BALAYN, MATHIEU NORMAND ET FABIENNE SCERRI, LAURENT POLLY, AKIM SALMI, ERIC VUILLERMET (France)
Building a resilient system against flood in the Rhône delta
- R. 13 NICOLAS AVISSE (France)
A novel methodology for assessing extreme hydrological events in the context of climate change
- R. 14 GAËTAN DAUTOIS, MATHIEU ROY, SAMUEL BALE, MARIE CUBAYNES, FRÉDÉRIC LAUGIER, ROMAIN TAJETTI, GUIREC PREVOT (France)
Improvement of the safety of the French dams against floods
- R. 15 PATRICK PINETTES, HANNA HADDAD, CHRISTOPHE PICAULT, STÉPHANE BONELLI, JEAN-ROBERTCOURIVAUD, THIBAUT MALLET (France)
Two erosion tests to quantify resistance to erosion during overflow: the jet erosion test and the overflow test
- R. 16 ANDREA ABBATE, ANTONELLA FRIGERIO (Italy)
Molare tragedy: the secondary dam collapse induced by a heavy rainfall event
- R. 17 CHENCEN (JANICE) ZHANG, ROBERT PHILLIP GREYLING, EDWIN LILLIE (South Africa)
Case study – a dam raising options study for a dam in Southern Africa
- R. 18 HENRY-JOHN WRIGHT (South Africa)
Challenges experiences with upgrading a composite dam in South Africa - Tzaneen dam raising
- R. 19 MUHAMMAD RIZA, HERRYAN KENDRA, AGUS JATIWIYONO (Indonesia)
The effect of reservoir operation patterns on the material characteristics of old dams and their impact on dam safety

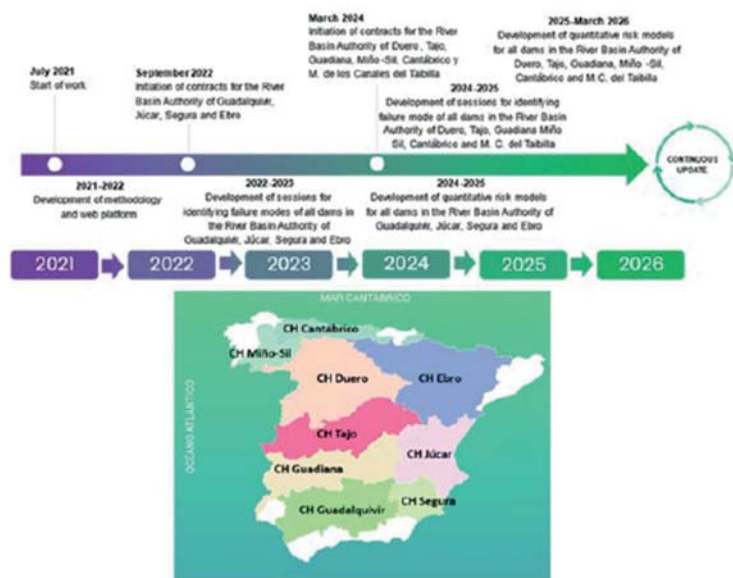


- R. 20 ARJAN JOVANI, ERMAL KACURRI, ORLANDO MUCA, FAHRI MAHO (Albania)
Assessment of the discharge capacities and safety of main structures in large dams of Drini river cascade
- R. 21 NIE YUXIN, ZHANG RUI, LIN ZHIYAN, LIU YUANGUANG, JIN JUNJIE, LI ZICHANG (China)
Intelligent temperature control system for large concrete dam construction in hot and humid environments
- R. 22 NING ZHOU, HONGEN LI, FANG WANG, ZHU ZHANG (China)
Effects of spatial and temporal variation characteristics of extreme precipitation on dam safety in major river basins in China in recent 20 years
- R. 23 MEI SHENGYAO, XU JIANJUN (China)
A high-precision three-dimensional dam breach model considering breach evolution mechanisms
- R. 24 YUELIN SUN, SHIFA XIA, JIAHONG ZHANG, PING SUN (China)
Disaster assessment of the landslide surge caused by the deformation of the upstream reservoir bank of the dam
- R. 25 JINGCHUN LEI, KUNMING LU, GAOFENG ZHANG (China)
Analysis of the impact of extreme events on dam disaster under climate change
- R. 26 MATTHEW HALSO, DAVID F. VETSCH, FREDERIC M. EVERS, ROBERT M. BOES (Switzerland)
Zoned embankment dam breaching due to overtopping: estimating outflow hydrographs through laboratory experiments and parametric numerical modeling
- R. 27 JINSHENG JIA, CUIYING ZHENG, AILI LI (China)
New progress of cemented material dams to meet the requirements on dam safety to resist overtopping in China
- R. 28 HONGQIU HE, QIMING ZHONG, XUEMING WU, KAI CHENG, XUDONG CHEN, XIAOKANG CHEN (China)
Machine learning method-based dam breach flood simulation

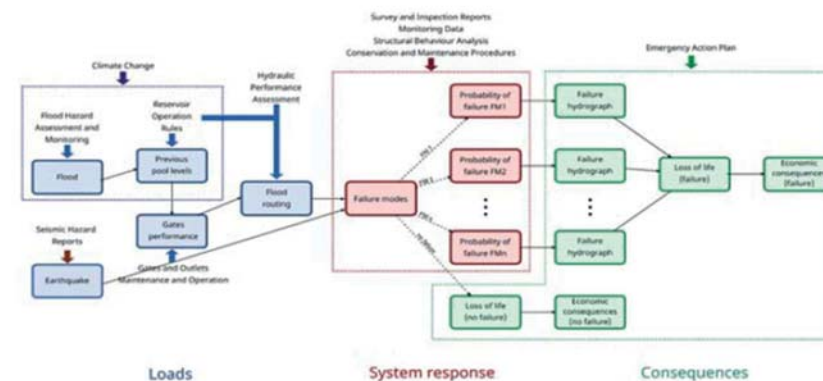
R.1 Juan Carlos DE CEA AZAÑEDO, Daniel SANZ JIMÉNEZ, Enrique MORENO CALLE, Ignacio ESCUDER BUENO, Adrián MORALES TORRES (Spain)

Adaptace 310 přehrad ve Španělsku na extrémní jevy a klimatickou změnu prostřednictvím hodnocení rizik

Španělské ministerstvo pro ekologickou tranzici implementovalo národní systém managementu bezpečnosti přehrad založený na rizicích, který reaguje na zranitelnost vodohospodářské infrastruktury vůči klimatické změně. Projekt zahrnuje 310 státních přehrad, přičemž v první fázi bylo analyzováno 175 děl v povodích Guadalquivir, Júcar, Segura a Ebro. Metodika se opírá o dvoufázový proces: semi-quantitativní analýzu (identifikace scénářů selhání během expertních workshopů) a následně kvantitativní modelování využívající vlivové diagramy a rozhodovací stromy pro výpočet pravděpodobnosti poruchy a následků. Do modelů jsou integrovány výstupy studie CEDEX o nárůstu intenzity extrémních srážek a dynamické faktory ohroženého území. Zásadním inovativním prvkem je zapracování sezónní fluktuace populace v turistických oblastech, která je monitorována skrze experimentální mobilní data operátorů (statistiky INE). Pro efektivní správu a prioritizaci investic slouží softwarová platforma GARI, která na základě nákladové efektivity (cost-benefit) a dostupného rozpočtu určuje optimální sekvenci nápravných opatření.



Časový harmonogram vývoje systému a postupné zapojení jednotlivých španělských povodí.



Obecná struktura kvantitativního modelu rizika s využitím vlivových diagramů a uzlových bodů.

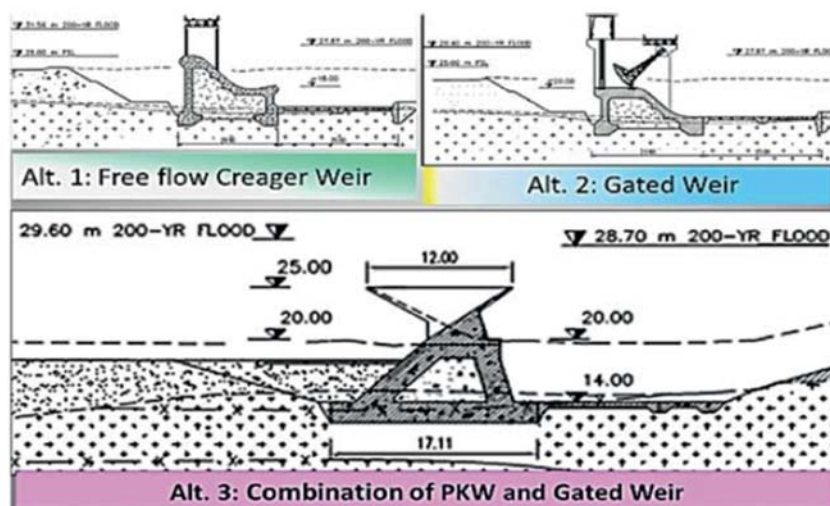
R.2 Michel HO TA KHANH, Frédéric LAUGIER, Jean VERMEULEN (Vietnam, France)

Přelivy PKW: Inovativní, bezpečné a ekonomické řešení pro průtočné přehrady v nížinách i velké přehrady v horách, vhodné pro výzvy klimatické změny

Přelivy typu Piano Key Weir (PKW) představují progresivní modifikaci labyrintových přelivů s výrazně menšími nároky na půdorysnou plochu, což umožňuje jejich instalaci na koruny stávajících betonových hrází. Jako nehrazené objekty bez pohyblivých mechanických částí a nutnosti obsluhy vykazují extrémní provozní spolehlivost při extrémních povodních. Příspěvek analyzuje dvě klíčové aplikace: rehabilitaci přehrady La Raviege (Francie), kde instalace PKW na bloku hráze zvýšila kapacitu o 30 % bez nutnosti měnit hladinu zásobního prostoru, a novou přehradu Van Phong (Vietnam). U přehrady Van Phong bylo zvoleno hybridní řešení kombinující 60 jednotek PKW s 10 radiálními uzavěři. Tato konfigurace zajistila bezpečnou disipaci energie a spolehlivý převod návrhového průtoku Q_{1000} , přičemž investiční náklady byly oproti variantě s čistě hrazeným přelivem nižší o cca 30 %. PKW se ukazuje jako ideální řešení pro adaptaci na klimatickou změnu díky vysoké specifické kapacitě při nízkých přepadových výškách.



Mapa celosvětového rozšíření technologií PKW (stav k roku 2017)
dokumentující rostoucí trend aplikací.

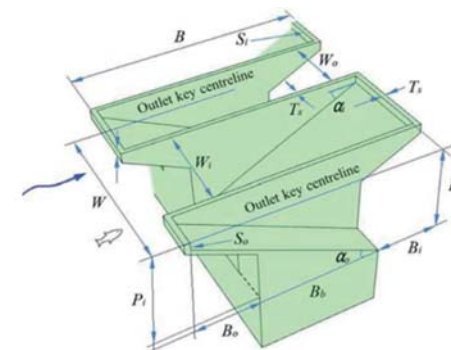


Hydraulické a ekonomické srovnání tří variant řešení uzlu Van Phong
ve fázi studie proveditelnosti.

R. 3 James YANG, Anders FRISK, Mats BILLSTEIN, Peter MATTIASSEN, Lars JOHNSON (Sweden)

Modernizace přehrady pomocí přelivu typu Piano Key Weir pro převádění extrémních povodní

Vodní dílo Lillflyforsen ve středním Švédsku vykazovalo po 60 letech provozu nedostatečnou kapacitu pro převádění revidovaných extrémních průtoků a degradaci tělesa sypané hráze. Jako technicky i ekonomicky nejvhodnější varianta modernizace byla zvolena náhrada kritické sekce sypané hráze novým betonovým přelivem typu PKW v půdorysném uspořádání tvaru L. Konstrukce je na pravém břehu napojena na terén prostřednictvím nové nízké pilířové hráze. Pro ověření komplexní hydrauliky nátoky a disipace energie v podjezí byly provedeny modelové zkoušky v měřítku 1:12 a 1:35. Výzkum potvrdil nutnost částečného odtěžení původní sypané hráze a úpravy jímky pro zajištění stabilních nátokových podmínek k hraně PKW. Navržené řešení v kombinaci se stávajícími segmentovými uzavěři bezpečně převede návrhovou povodeň při zachování stability koryta, což eliminuje potřebu nákladné rekonstrukce celého profilu zemní hráze v prostorově stísněných podmínkách.



Geometrické parametry PKW a definiční vztahy pro výpočet rozvinuté délky přelivné hrany.



Detailní hydraulický model varianty PKW v měřítku 1:12 v laboratorním žlabu při simulaci
návrhového průtoku.

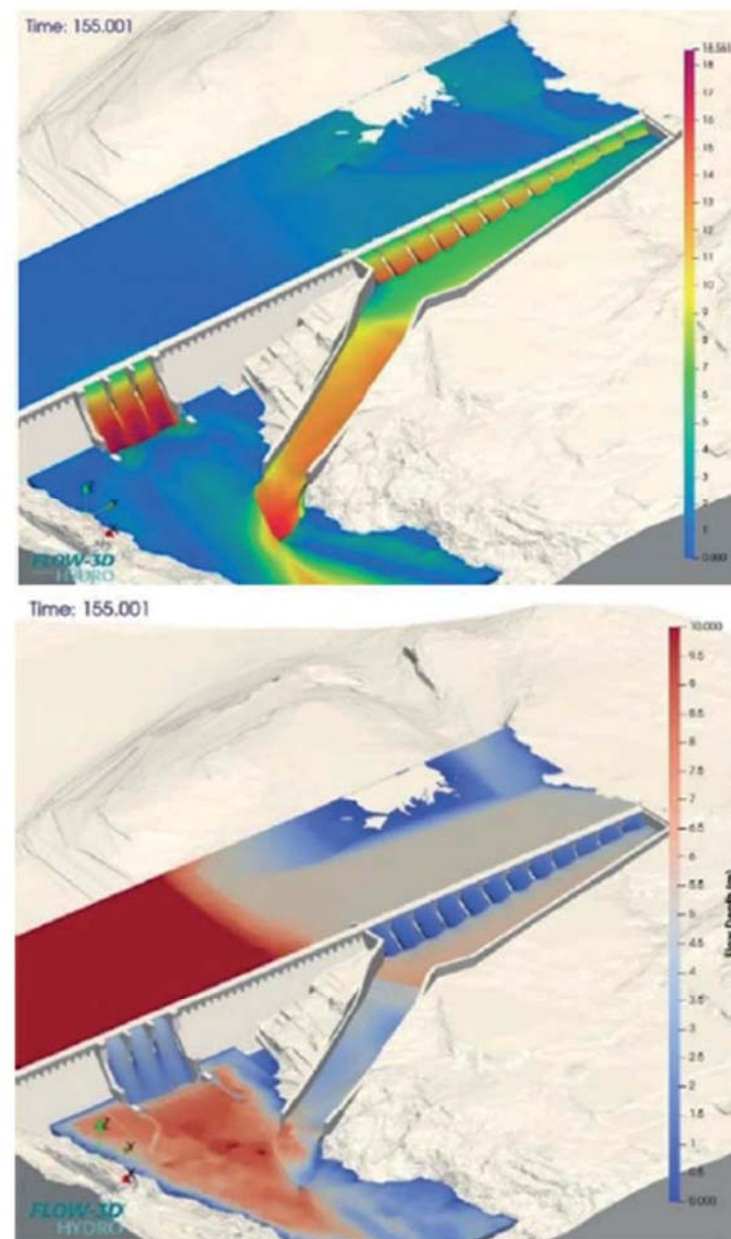
R. 4 Enrique CAMPOS, Juanjosé REBOLLO, José MILLA (Spain)

Návrh nového přelivu přehrady Regajo

Příspěvek detailně popisuje proces návrhu a technické optimalizace nového přelivu pro přehradu Regajo ve Španělsku, u které revize bezpečnosti v letech 2005 a 2021 odhalila kritický nedostatek kapacity pro převádění extrémních povodní. Nově vypočtený špičkový průtok pro dobu opakování 1 000 let ($1\,884\text{ m}^3/\text{s}$) více než trojnásobně převyšuje původní projektové hodnoty, což by vedlo k přelití koruny hráze. Komplexní řešení zahrnuje kombinaci opatření: snížení úrovně maximální zásobní hladiny (FSL), výměnu uzávěrů stávajícího přelivu, zvýšení kapacity koruny pomocí parapetní zdi a především výstavbu zcela nového nehrazeného přelivu na levém břehu. Nový přeliv tvořený 12 poli s Bradleyho profilem byl optimalizován pomocí 3D numerického modelování v softwaru FLOW-3D (metoda konečných objemů) a následně validován na fyzikálním modelu v měřítku 1:60 v laboratořích CEDEX. Geostrukturalní stabilita vývaru, který je založen hluboko pod úrovní přelivu, byla řešena pomocí metody konečných prvků (FEM) s využitím pasivních kotv a drenážních systémů pro eliminaci vztlaku.



Perspektiva přehrady Regajo s nově navrženým bočním přelivem na levém břehu

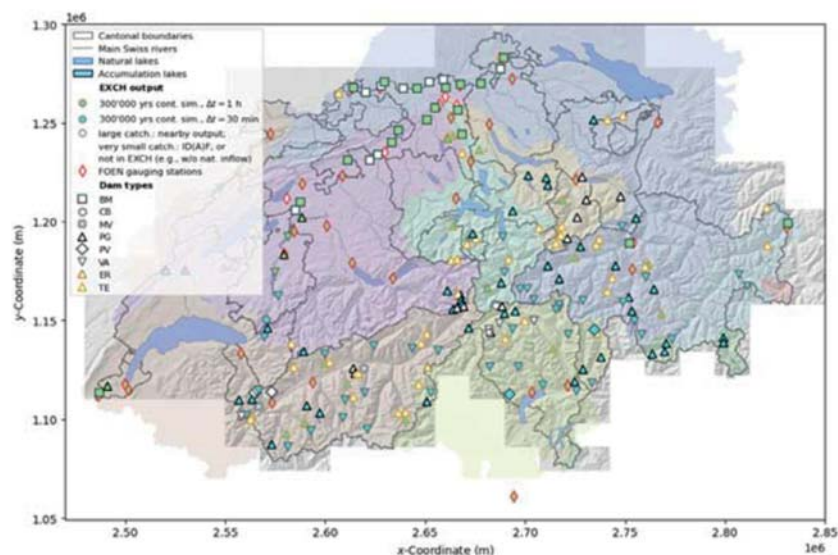


Výsledky CFD modelu: Rozdělení rychlostí a hloubek při průtoku $T=1000$ let

R. 5 Alexandre J. PACHOUD, Daniel VIVIROLLI, Roger FRAUCHIGER et al. (Switzerland)

Nový přístup k odhadu extrémních povodní pro švýcarské přehrady pomocí kontinuálních hydrometeorologických simulací

Švýcarské federální úřady vyvinuly v reakci na potřebu homogenizace podkladů pro bezpečnost kritické infrastruktury novou metodiku odhadu extrémních povodní, která nahrazuje tradiční metody založené na stacionárních historických datech. Jádrem přístupu, realizovaného v rámci projektů EXAR a EXCH, jsou velmi dlouhé (až 300 000 let) kontinuální hydrometeorologické simulace v celém modelovém řetězci. Tento systém umožňuje zohlednit klíčové fyzikální procesy generování povodní v alpském prostředí, jako je akumulace a tání sněhu, nasycenost půdy, vliv jezer a retenční schopnosti niv. Výsledkem jsou rozsáhlé soubory realistických hydrogramů, které umožňují multivariační frekvenční analýzu (vztah peak-objem-trvání), což je zásadní pro posuzování bezpečnosti přehrad třídy I až III podle švýcarské legislativy WRFA. Metodika byla úspěšně aplikována na celé povodí řeky Aary, kde bylo modelováno 80 dílčích povodí, a nyní se integruje do národních směrnic jako nový standard pro definování návrhových (T1000) a bezpečnostních povodní.



Syntéza očekávaných výsledků projektu EXCH pro švýcarskou přehradní síť

R. 6 L. TARDIEUX, I. FENT, A. ARIGONI, B. M. QUIGLEY et al. (Switzerland, Zambia)

Úpravy vývaru přehrady Kariba pro zajištění bezpečnosti konstrukcí při extrémních povodních

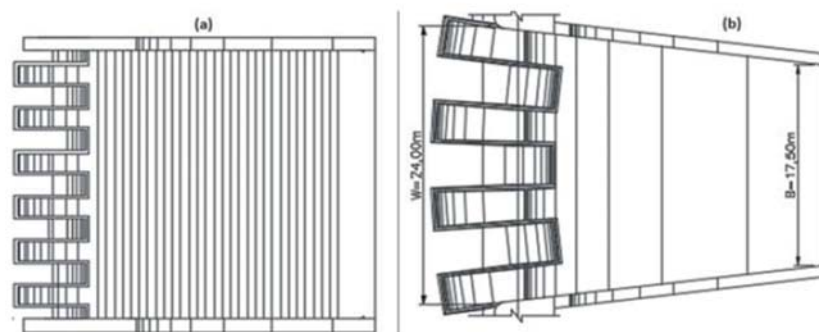
Přehrada Kariba na řece Zambezi čelila vážnému problému progresivní eroze vývaru, kde výtoky ze šesti výpustí vytvořily 80 metrů hlubokou jámu. Diferenciální eroze způsobená geologickým zlomem s méně odolnou výplní (chloritická brekcie) ohrožovala stabilitu základů hráze. Sanace, dokončená v roce 2024, zahrnovala rozsáhlé rozšíření vývaru vytěžením 305 000 m³ horniny metodou vrtní a odstřelu, aby se zvětšil prostor pro disipaci energie a omezila se recirkulace vody směrem k patě hráze. Pro charakterizaci odolnosti horniny (biotitická rula) byla použita racionální metoda stanovení indexu erodibility Kh a pokročilá únavová metoda založená na Paris-Erdoganově zákonu pro predikci šíření trhlin v horninovém masivu vlivem dynamických tlaků dopadajícího paprsku. Součástí ochranných prací byla instalace masivní železobetonové desky odolné proti abrazi, kotvené 10 m dlouhými tyčemi pro eliminaci vztřahu a doplněné o konsolidační injekce v zóně zlomu.



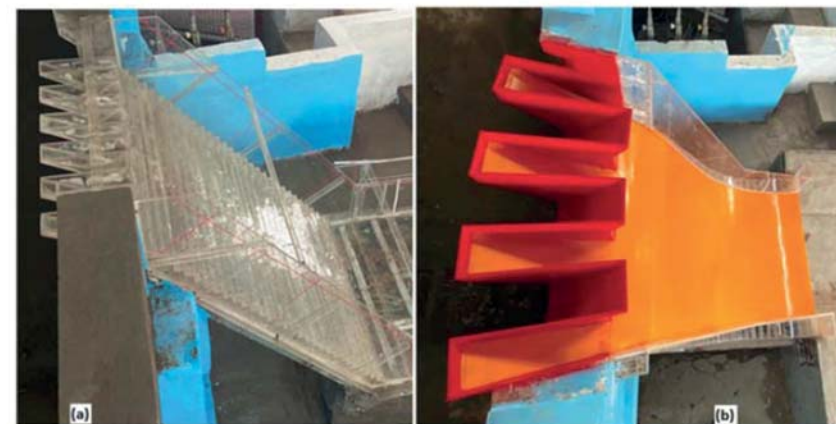
Celkový pohled na dokončovací práce na úpravě vývaru pod klenbovou hrází (červenec 2024)

R. 7 Le VAN NGHI, Hoang Duc VINH, Doan THI MINH YEN, Nguyen Tien HAI (Vietnam)**Úprava geometrie přelivů typu Piano Key pro dolní hydraulický režim: poznatky z případových studií ve Vietnamu**

Příspěvek se zaměřuje na optimalizaci geometrie přelivů typu Piano Key (PKW) s ohledem na specifické hydraulické podmínky v podjezí, vycházející z rozsáhlých zkušeností s těmito konstrukcemi ve Vietnamu. PKW jsou zde prezentovány jako efektivní řešení pro zvýšení kapacity přelivů při omezeném prostoru, přičemž 75 % světových aplikací je instalováno přímo na koruně přehrad. Autoři zdůrazňují, že kvůli vysoké měrné srážce a specifickému tvaru paprsku PKW je klíčové správně navrhout disipaci energie (vývary, skluzu), aby se zabránilo nebezpečnému vymílání koryta. Text rozebírá vliv parametrů, jako je výška parapetních zdí a sklon dna vtokových a výtokových klíčů, na koeficient průtoku a stabilitu proudění. Výzkum zahrnuje srovnání laboratorních testů na modelech různých měřítek a jejich korelaci s reálným chováním na vybraných vietnamských vodních dílech (např. Van Phong).



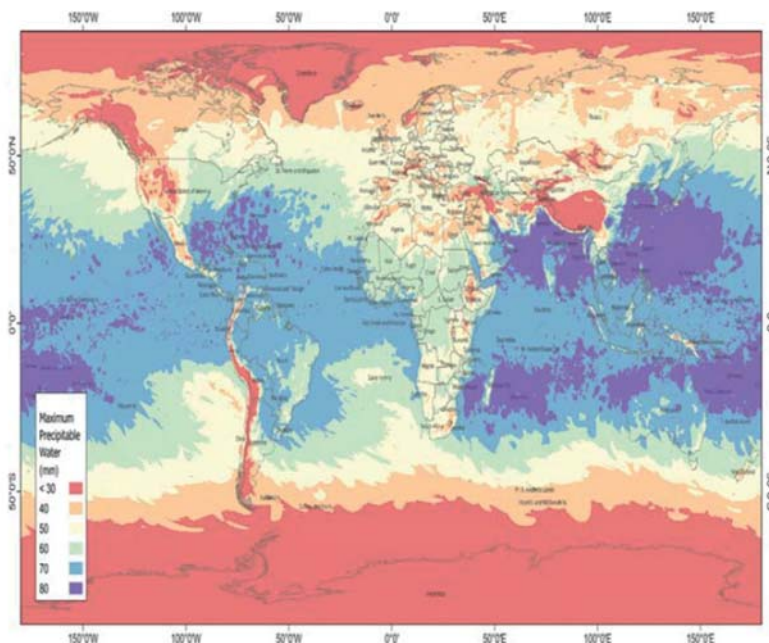
Definice hlavních parametrů geometrie PKW přelivu s vtokovými a výtokovými klíči



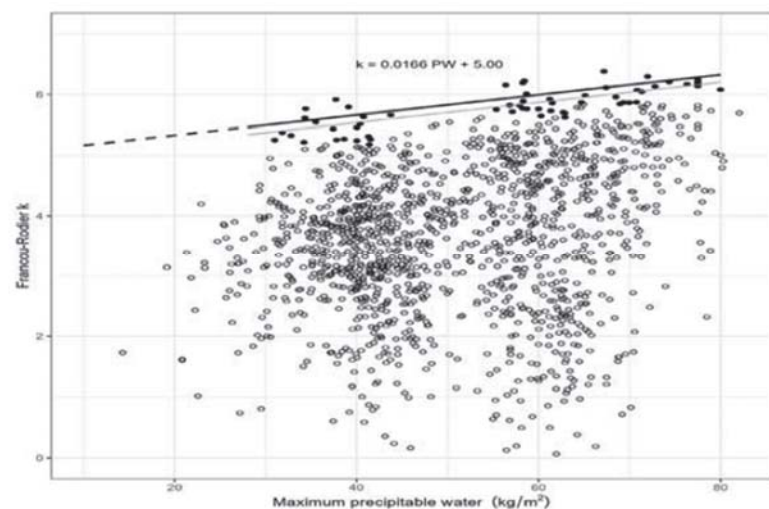
Porovnání hydraulického režimu proudění pod PKW přelivem pro různé konfigurace vývaru

R. 8 Peter HILL, Ashiq RASHEED, Yue (Albert) SHEN et al. (Australia)**Regionalizace obalových křivek povodní pro odvození předběžných odhadů pravděpodobných maximálních povodní**

Referát představuje novou metodiku pro odhad pravděpodobné maximální povodně (PMF) využitelnou v globálním měřítku, která překonává omezení tradičních obalových křivek povodní. Ty byly historicky omezeny především na oblasti s nízkou zeměpisnou šířkou a vysokou vlhkostí, což vedlo k podhodnocení rizik v jiných regionech. Autoři využili deterministickou reanalýzu ERA5 od ECMWF k analýze maximální srážkové vody v atmosféře (precipitable water), která je hlavním hnacím motorem extrémních srážek. Na základě lineární regrese 60 největších zaznamenaných povodní byla odvozena empirická rovnice, která umožňuje stanovit předběžný odhad PMF pro jakékoli povodí na světě při zohlednění lokální dostupnosti vlhkosti. Tento přístup je vysoce ceněn pro feasibility studie v oblastech s nedostatkem hydrologických dat a pro validaci odhadů PMF založených na srážkovo-odtokových modelech.



Globální mapa maximální srážkové vody v atmosféře (precipitable water) odvozená z databáze ERA5



Regionalizované obalové křivky PMF pro různé hodnoty srážkové vody v porovnání s historickými extrémy

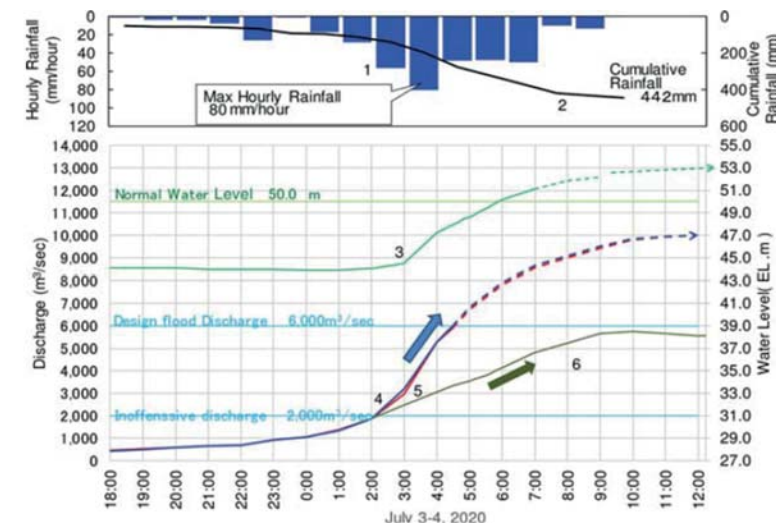
R. 9 Chihaya ONDA, Kouki MORIMOTO, Tetsuya SUMI (Japan)

Případová studie a analýza rázových vln a nadměrných povodní na vodních elektrárnách

Japonští autoři analyzují dopady extrémních hydrologických událostí na bezpečnost a provoz tří vodních elektráren (Hiranabe, Horoka a Setoishi), které čelí výzvám spojeným s klimatickou změnou. U přehrady Hiranabe způsobil tajfunem vyvolaný sesuv půdy do nádrže rázovou vlnu, která vedla k přelítí koruny hráze; numerické simulace následně pomohly navrhnout opatření pro zvýšení vodotěsnosti ovládacích prvků hradiel. Přehrada Horoka se potýká s masivní sedimentací, kterou řeší pomocí nově vybudovaného sedimentačního obtokového tunelu (SBT), jenž umožňuje převádět splaveniny mimo nádrž během povodňových průtoků. U přehrady Setoishi došlo v roce 2020 k povodni, která o 40 % překročila návrhový průtok ($T=100$ let); situace byla zvládnuta kombinací zimního bagrování sedimentů a operativního snižování hladiny, což zvýšilo retenční kapacitu a bezpečnost díla.



Fotografie nádrže Horoka před a po povodni a schéma sedimentačního obtokového tunelu (SBT)



Hydrogram a postup hladin v nádrži Setoishi během extrémní povodně v červenci 2020

R. 10 Julien VERMEULEN, Thomas VIARD, Matthieu SECHER, Damien PUYGRENIER, Emmanuel PAQUET (France)

Management povodní v rozsáhlých povodích – zohlednění hydrologické a hydraulické komplexnosti

Příspěvek představuje soubor pokročilých nástrojů pro optimalizaci hydrologického managementu údolí s kaskádou přehrad, zaměřený na krátkodobé předpovědi i dlouhodobé hodnocení extrémních povodní. Klíčovou komponentou je nástroj Melxor, který slouží k modelování chování nádrží při transformaci povodňových vln, a generátor syntetických hydrogramů SHYDONHY, jenž využívá metodu hydrologických donorů. Pro operativní řízení v reálném čase byl vyvinut nástroj FREGATE, který pomocí metody „lineární trajektorie“ detekuje změny stavů nádrže a umožňuje včasnou anticipaci stavu bdělosti nebo povodně. Celá metodika byla validována na kaskádě děl v povodí řeky Ain (přehrady Vouglans, Saut-Mortier a Allement), kde integrace s hydraulickým modelem MASCARET umožnila přesně definovat vztahy mezi hladinami v nádržích a průtoky v kritických profilech.



Code	Bassin / aménagement	Superficie (km²)	Z50 (m)	PAM* (mm/an)
VOU	Ain@Vouglans	1162	719	1717
BIE	Biennet@conf-Ain	774	896	1808
COI	Ain@Coiselet	1956	784	1753
ORG	Ogny@conf-Ain	287	691	1604
VAL	Valouse@conf-Ain	373	504	1589
COZ	Ain@Coze	2696	706	1713
SEV01	BVI_Ain@CozeBokozon-Allement	71.4	456	1356

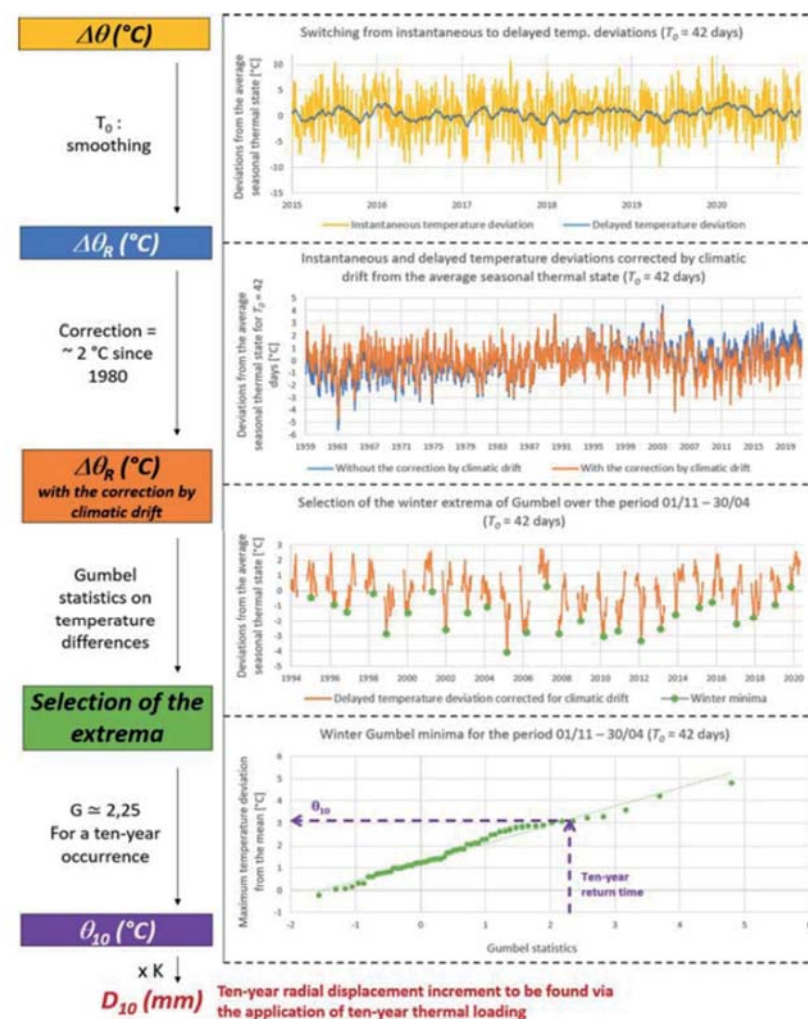
Lokalizační mapa a schéma přehrad v kaskádě na řece Ain (Vouglans, Coiselet, Allement)

R. 11 Louis SUCHIER, Alexandre SIMON, Emmanuel ROBBE et al. (France)

Charakterizace a zpětná vazba chování klenbových přehrad vystavených vlnám veder a extrémním mrazům

Autoři detailně rozebírají vliv extrémních teplotních zátěží na bezpečnost klenbových přehrad, které jsou díky své subtilnosti na tepelné účinky vysoce citlivé. K analýze je využíván statistický model HSTT (Hydrostatico-Sezónně-Tepelně-Časový), který umožňuje oddělit nevratné účinky času od reverzibilních vlivů hladiny a teploty. Metodika definuje desetiletý přírůstek radiálního posunu (D_{10}) při započtení tepelné setrvačnosti konstrukce vyjádřené parametrem T_0 . Studie aplikovaná na 31 přehrad EDF potvrdila, že tenké klenby reagují na

výkyvy teplot s menším zpožděním a větší amplitudou. Zpětná vazba z extrémně horkého léta 2022 ukázala, že u některých děl dosáhly posuny klenby proti proudu takových hodnot, že kyvadlové měřicí systémy narážely na funkční limity rozsahu, což vyžadovalo mimořádné úpravy čtecích zařízení.



Metodický postup pro stanovení přírůstku radiálního posunu D_{10} pomocí Gumbelovy statistiky

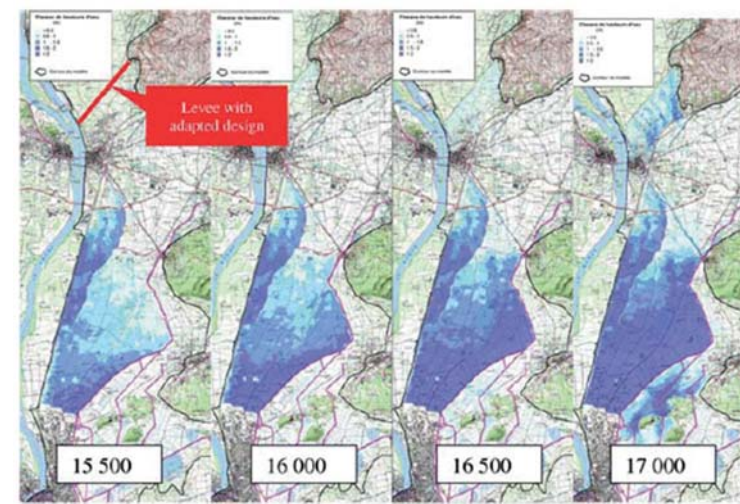


Příklad technických potíží: drát kyvadla dotýkající se čtecího stolku při extrémním posunu klenby proti proudu

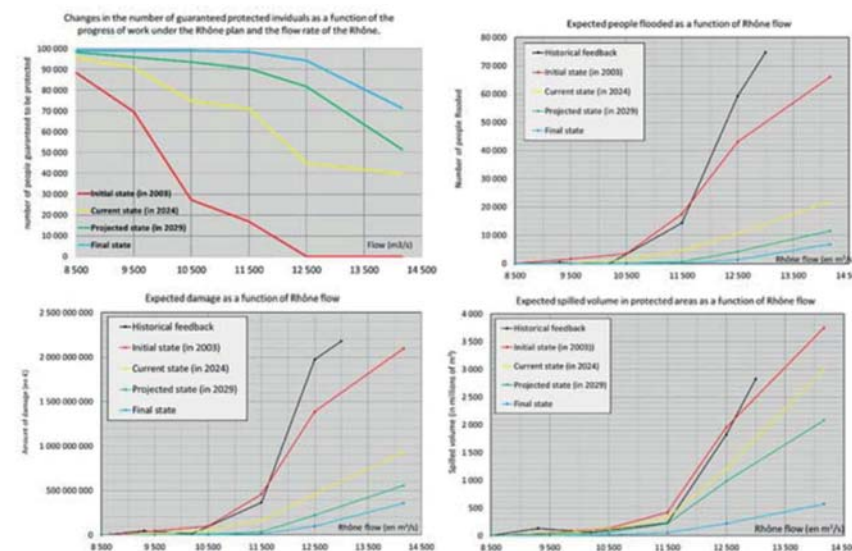
R. 12 Thibaut MALLET, Mark CHEETHAM, Philippe PELT et al. (France)

Budování odolného systému protipovodňové ochrany v deltě řeky Rhôny

Referát popisuje implementaci rozsáhlého systému ochrany proti povodním v deltě Rhôny, který nahrazuje původní nespolehlivé hráze moderní koncepcí se třemi úrovněmi bezpečnosti: ochrana (pro Q100), bezpečnost (pro Q1000) a úroveň nebezpečí. Systém kombinuje primární říční hráze s hrázemi „blízké ochrany“ (druhá linie), které chrání hustě osídlené oblasti jako město Arles. Významným inovacím patří využití hrází odolných proti kontrolovanému přelivu bez rizika protržení a instalace monitoringu pomocí optických vláken pro včasnou detekci průsaků na základě mikrozměn teploty. Projekt zahrnuje i socioekonomickou analýzu, která prokazuje dramatické snížení počtu ohrožených obyvatel a očekávaných škod po dokončení všech etap prací v roce 2029.

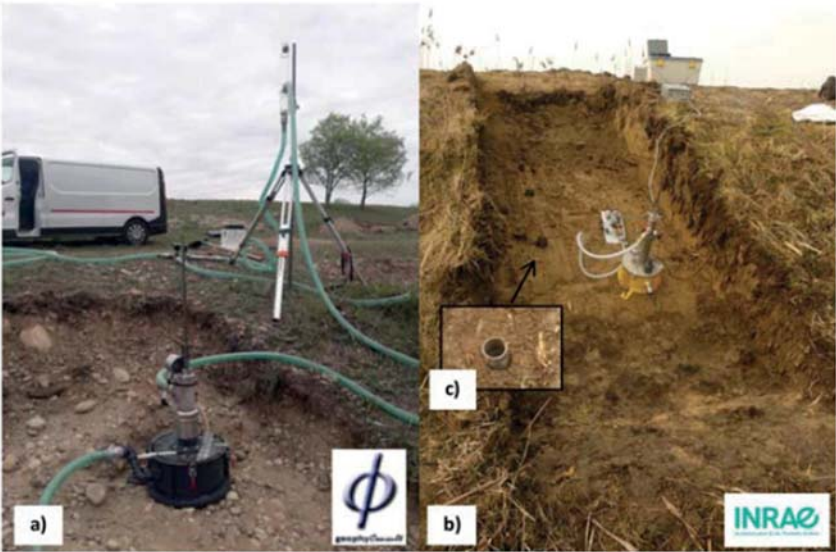


Mapové výstupy modelování rozlivů v deltě Rhôny pro extrémní průtoky nad úroveň bezpečnosti

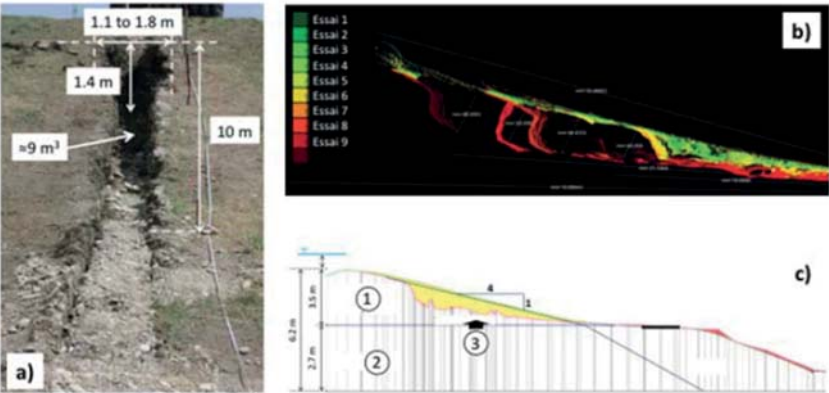


Grafické vyjádření socioekonomických přínosů: vývoj počtu chráněných osob a očekávaných škod v čase

dvě hlavní metody: Jet Erosion Test (JET), který měří hloubku vymílání v čase působením ponorného vodního paprsku (lze provádět v laboratoři i in-situ), a Overflow Test (přelivný test), prováděný na velkorozměrových modelech. Výzkum realizovaný v rámci projektu OVERCOME na hrázích v Salin de Giraud a Montfaucon na řece Rhoně ukázal, že kritická rychlost eroze se výrazně liší podle typu zeminy, její vlhkosti a granulometrie (např. u zhutněné hlíny byla zahájena při 3 m/s). Výsledky testů slouží k přesnějšímu nastavení parametrů numerických modelů predikujících rozvoj průlomové vlny.



Zařízení pro JET testování v terénu na vzdušném svahu hráze



Průběh eroze svahu hráze Montfaucon po 4,5 hodinách přelévání

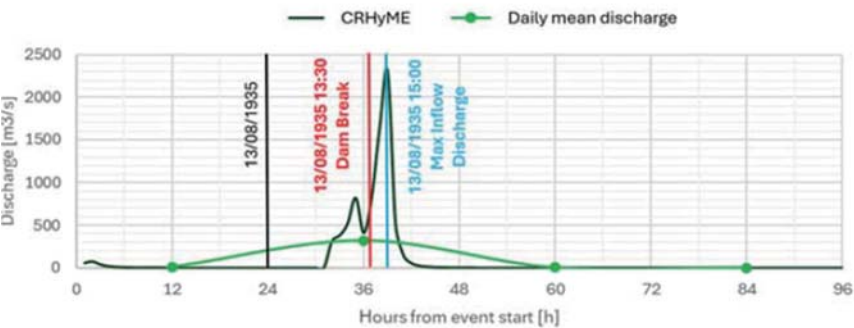
R. 16 Andrea ABBATE (Italy)

Tragédie v Molare: Kolaps sekundární hráze vyvolaný extrémní srážkovou událostí

Příspěvek se vrací k historické katastrofě přehrady Molare (Bric Zerbino) v Itálii z roku 1935, která představuje jednu z nejvýznamnějších havárií způsobených extrémními srážkami v zemi. Analýza se zaměřuje na hydrologickou odezvu povodí a příčiny selhání sekundární hráze (Sella Zerbino). Extrémní srážky tehdy dosáhly úhrnu přes 300 mm za méně než 8 hodin, což vyvolalo povodňovou vlnu s odhadovaným špičkovým průtokem kolem 2 000 m³/s. Studie potvrzuje, že katastrofa byla způsobena kombinací nedostatečné kapacity výpustných objektů hlavní hráze a nevhodného návrhu sekundární hráze, která byla založena na geologicky nepříznivém podloží s výraznými diskontinuitami. Poznátky z této rekonstrukce jsou vysoce relevantní pro současné posuzování bezpečnosti starších děl v kontextu klimatické změny, kdy se mění parametry návrhových srážek a je nutné revidovat kapacitu historických přelivů.

EVENT YEAR	TOTAL MEAN RAINFALL [MM]	EVENT MEAN DURATION [H]	EVENT RETURN PERIOD [YR] ARPA	EVENT RETURN PERIOD [YR] PAI	EVENT RETURN PERIOD [YR] VAPI
1935	370	10	200-500	~2000	100-200
1977	361	24	~50	~200	~20
2014	213	24	~10	<2	~3
2019	326	11	100-200	~500	~ 100

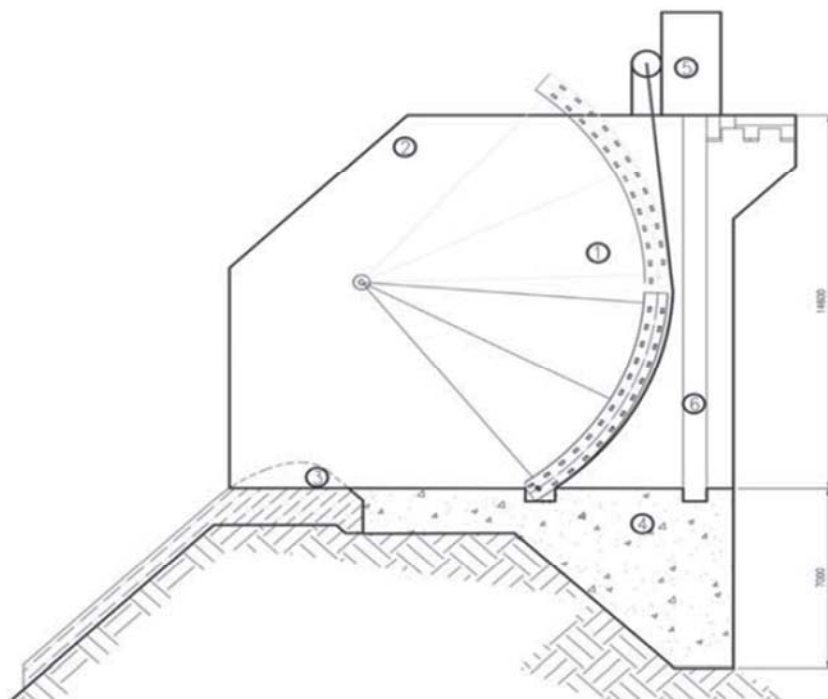
Hydrologické parametry extrémních událostí v povodí řeky Orba



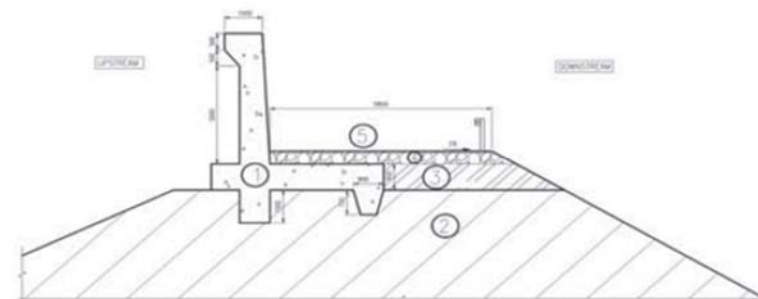
Validace průtoků během modelované povodně 1935

**R. 17 Chencen (Janice) ZHANG, Robert Phillip GREYLING, Edwin LILLIE
(South Africa)****Případová studie – studie variant zvýšení přehrady v jižní Africe**

Referát prezentuje studii proveditelnosti zvýšení zásobního objemu velké přehrady v jižní Africe o přibližně 20 milionů m³ prostřednictvím navýšení maximální zásobní hladiny (FSL) o 5 metrů. Přehrada je klasifikována jako kategorie III, což dle směrnic SANCOLD vyžaduje návrh na 200letou povodeň (RDF) a ověření bezpečnosti na regionální maximální povodeň (RMF+D). Autoři porovnávají čtyři technické varianty: 1) zvýšení pevného přelivu (ogee), 2) instalaci 16 radiálních hradidel (10x8 m), 3) instalaci nafukovací gumové hráze (rubber dam) a 4) výstavbu labyrintového přelivu. Analýza ukazuje, že varianta s labyrintovým přelivem vyžaduje navýšení koruny hráze pomocí parapetní zdi o 4,8 m, zatímco u radiálních hradidel postačuje 3,0 m. Studie detailně zvažuje ekonomickou efektivitu a spolehlivost provozu jednotlivých řešení v extrémních podmínkách.



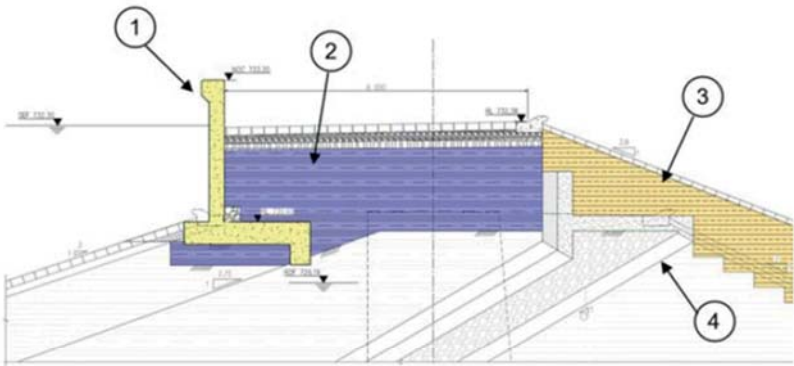
Typický příčný řez variantou s instalací radiálních hradidel



Detailní řez navrženou parapetní zdí na koruně sypané hráze

R. 18 Henry-John WRIGHT (South Africa)**Zkušenosti s výzvami při modernizaci kompozitní přehrady v jižní Africe – zvýšení přehrady Tzaneen**

Referát rozebírá komplexní proces modernizace přehrady Tzaneen za účelem zvýšení hladiny FSL o 3 metry. Zvolené řešení zahrnuje demolici horních 4,1 metru stávajícího přelivu a jeho nahrazení hybridní konstrukcí složenou ze čtyř cyklů labyrintového přelivu (hloubka 6,1 m) lemovaného ogee sekcemi. Tato optimalizace umožnila dosáhnout požadované kapacity při minimalizaci dopadů na provoz nádrže během výstavby. Nový energetický disipátor byl navržen jako železobetonový vývar s rozrážecími zuby (splitter teeth), doplněný o masivní betonovou desku o tloušťce 1 m pro ochranu podloží proti erozi, sahající 15 m pod patu hráze. Příspěvek zdůrazňuje nutnost adaptace projektu na skutečné geologické podmínky odhalené až během demoličních a výkopových prací.



- 1 New reinforced concrete retaining wall

2 New impervious earthfill material

3 New downstream earthfill material

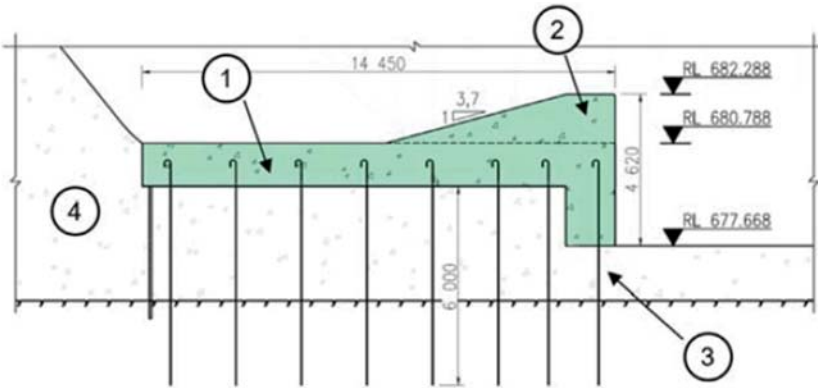
4 Filters
- 1 Nouveau mur de soutènement en béton armé

2 Nouveau matériau de remblai imperméable

3 Nouveaux matériaux de remblai en aval

4 Filtres

Příčný řez navýšenou korunou zemní části hráze s nepropustným jádrem



- 1 New reinforced concrete stilling basin

2 Concrete splitter

3 Y32 dowels

4 Concrete gravity dam
- 1 Nouveau bassin de tranquillisation en béton armé

2 Fendeuse à béton armé

3 Chevilles Y32

4 Barrage-poids en béton

Schéma nového disipátoru energie se zuby a kotevním systémem

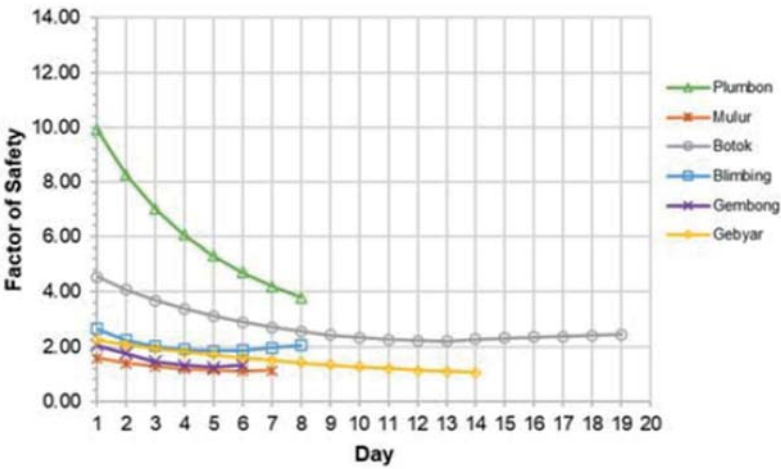
R. 19 Muhammad RIZA, Herryan KENDRA, Agus JATIWIYONO (Indonesia)

Vliv provozních režimů nádrží na materiálové charakteristiky starých přehrad a jejich dopad na bezpečnost

Příspěvek analyzuje procesy degradace sypaných hrází v Indonésii, které jsou starší než 50 let a jsou vybudovány z tropických reziduálních zemín. Výzkum se zaměřil na 30 děl v povodí řeky Bengawan Solo. Autoři prokazují, že kolísání hladiny v nádrži v kombinaci s vysokými úhrny srážek vede k postupné změně fyzikálně-mechanických vlastností těsnění (např. ke snížení smykové pevnosti), což přímo ohrožuje stabilitu hráze. Numerické modelování scénáře rychlého snížení hladiny (drawdown) o 0,5 m/den u hráží bez betonové ochrany návodního svahu (např. přehrady Mulur a Gebyar) ukázalo kritický pokles stupně stability v čase. Text zdůrazňuje nutnost pravidelného monitoringu kvality materiálů u stárnoucí infrastruktury v tropických podmínkách pro včasnou detekci rizika poruchy.



Graf ročního provozního plánu nádrže Botok pro období 2022–2023



Vývoj faktoru bezpečnosti v čase při rychlém snížení hladiny pro vybrané přehrady

R. 20 Arjan JOVANI, Ermal KACURRI, Orlando MUCA, Fahri MAHO (Albania)

Přehodnocení kapacit přelivů a bezpečnosti konstrukcí velkých přehrad kaskády na řece Drin

Referát představuje výsledky komplexní revize bezpečnosti kaskády na řece Drin v Albánii, která zahrnuje nejvýznamnější vodní díla v zemi (Fierza, Koman a Vau i Dejes). Studie využila moderní hydrologické modely a digitální modely terénu pro zpřesnění odhadů extrémních povodní. Hlavním zjištěním je, že pro bezpečný převod pravděpodobné maximální povodně (PMF) vyžaduje přehrada Fierza navýšení kapacity o 2 280 m³/s a přehrada Koman o 3 000 m³/s. Naopak objekty děl kaskády Vau i Dejes (hráze Qyrmaq a Zadeja) byly vyhodnoceny jako bezpečné. Simulace potvrdily, že kaskáda by bezpečně převedla 1 000letou povodeň i při selhání hradidla s největší kapacitou.

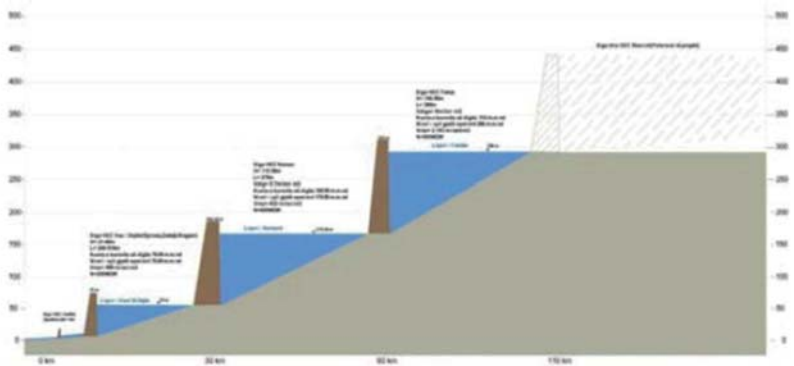


Schéma kaskády na řece Drin s vyznačením hlavních přehrad a jejich povodí

	Fierza HPP	Koman HPP	Vau i Dejes HPP
Max. Outflow after routing	5 250 m³/s at 306.5 masl	7 100 m³/s at 175.5 masl	7740 m³/s at 77.0 masl
Available discharge capacities	2 970 m³/s	4 100 m³/s	7740 m³/s
Additional discharge capacities required	2 280 m³/s	3000 m³/s	no additional capacities required

Porovnání hydrogramů simulovaných povodňových vln pro různé scénáře managementu kaskády

R. 21 Yuxin NIE (China)

Inteligentní systém řízení teploty při výstavbě velkých betonových přehrad v horkém a vlhkém prostředí

Čínští autoři popisují vývoj a nasazení inovativního systému pro kontrolu teploty masivního betonu během výstavby velkých děl, jako je např. klenbová přehrada Baihetan. V horkém a vlhkém klimatu je řízení hydratačního tepla kritické pro eliminaci trhlin. Systém využívá inteligentní monitoring v reálném čase, který pomocí metody klouzavých průměrů vyhodnocuje data z teplotních čidel zabudovaných v bloku. Na základě těchto dat systém automaticky reguluje průtoky chladicí vody v potrubních sítích. Tato technologie „inteligentního chlazení“ umožňuje udržet gradienty teplot v bezpečných mezích a výrazně zvyšuje kvalitu a trvanlivost konstrukce ve srovnání s tradičními manuálně řízenými metodami.

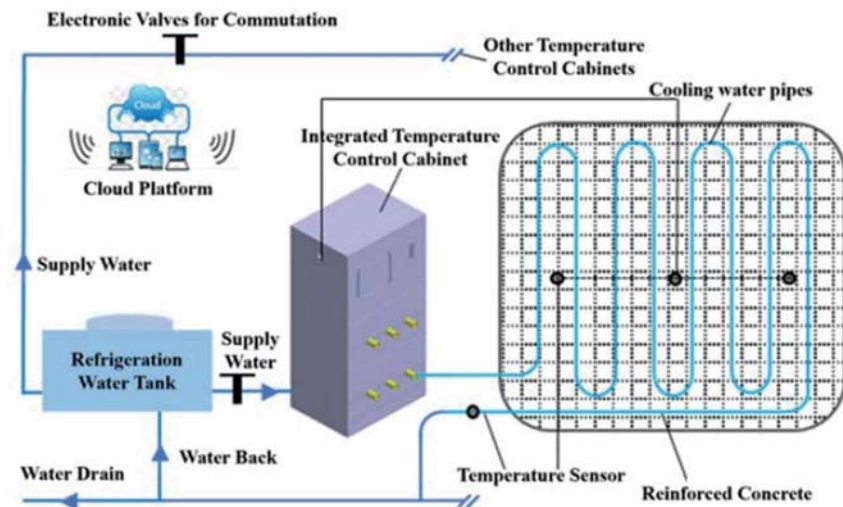
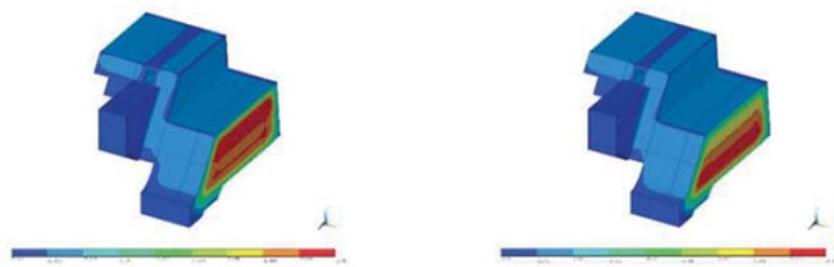


Schéma inteligentního systému pro automatickou regulaci chlazení betonových bloků

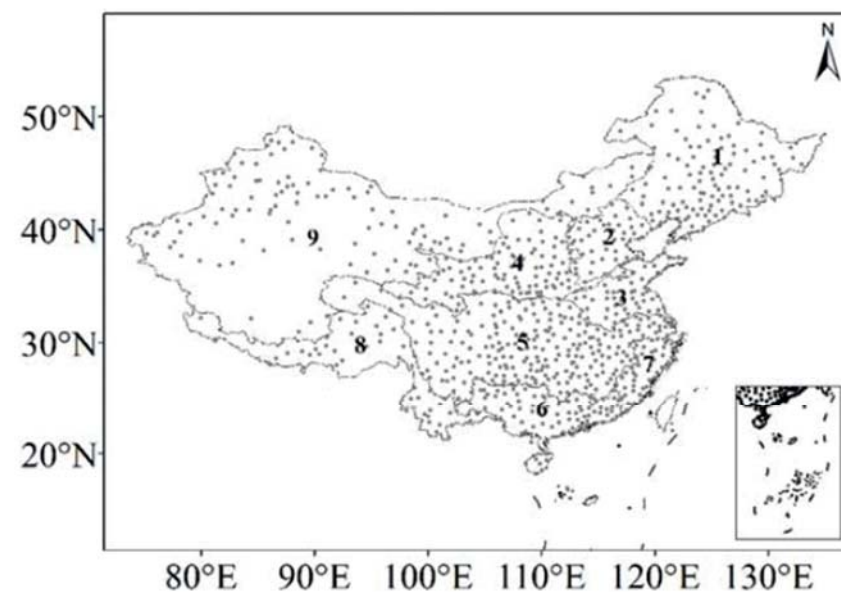


Vizualizace rozložení teplot v tělese vysoké klenbové přehrady během betonáže

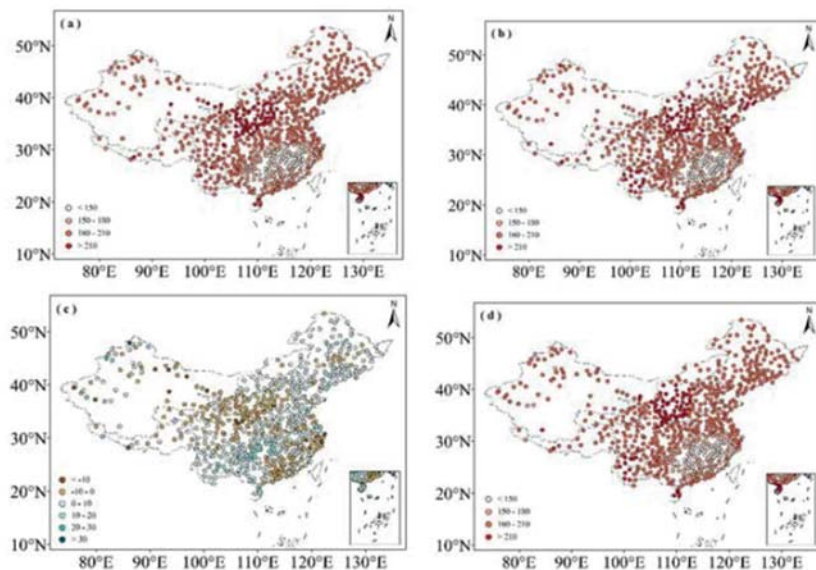
R. 22 Ning ZHOU et al. (China)

Vliv prostorových a časových charakteristik variací extrémních srážek na bezpečnost přehrad v hlavních povodích Číny v posledních 20 letech

Příspěvek analyzuje trendy extrémních srážek v devíti hlavních povodích Číny v kontextu klimatické změny se zaměřením na jejich koncentraci a časové rozložení. Kvantitativní popis distribuce srážek v čase byl proveden pomocí vektorových principů, které definují stupeň koncentrace a období koncentrace. Výzkum ukazuje, že intenzita a frekvence extrémních srážkových indexů (např. Rx5day, R95p) vykazují v posledních dvou dekádách značné regionální rozdíly, což vyžaduje specifické priority v managementu bezpečnosti přehrad pro jednotlivá povodí. Výsledky jsou klíčové pro tvůrce politik při formulování strategií pro prevenci katastrof a posilování adaptace vodohospodářské infrastruktury na extrémní hydrologické jevy.



Mapa devíti hlavních povodí Číny se srážkoměrnými stanicemi

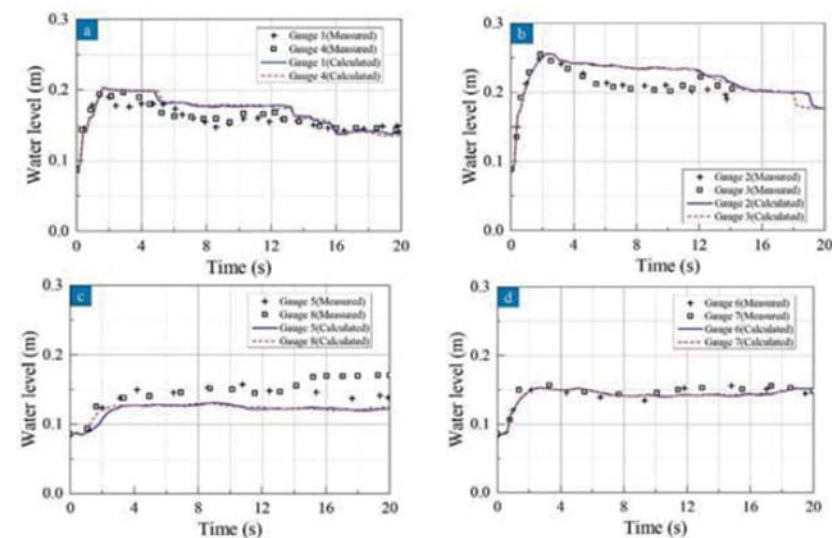


Charakteristiky stupně koncentrace srážek v jednotlivých regionech

R. 23 Shengyao MEI, Xu JIANJUN (China)

Vysoce přesný trojrozměrný model průlomu přehrady zohledňující mechanismy evoluce průlomu

Autoři prezentují inovativní 3D numerický model založený na Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) rovnicích pro detailní simulaci pohybu turbulentního proudu při průlomu zemních a sypaných hrází. Model integruje rovnice eroze pro široce tříděné materiály a kritéria instability svahů průlomové kaveny, což umožňuje věrně simulovat vývoj tvaru průlomu v komplexním terénu. Metodika byla validována pomocí laboratorních testů na modelech s pohyblivým dnem, přičemž výsledky prokázaly vysokou shodu s naměřenými daty u hladin i rychlostí proudění. Tento nástroj představuje významný pokrok oproti tradičním 1D nebo 2D modelům, které často podhodnocují dynamiku erozních procesů při přelítí koruny.



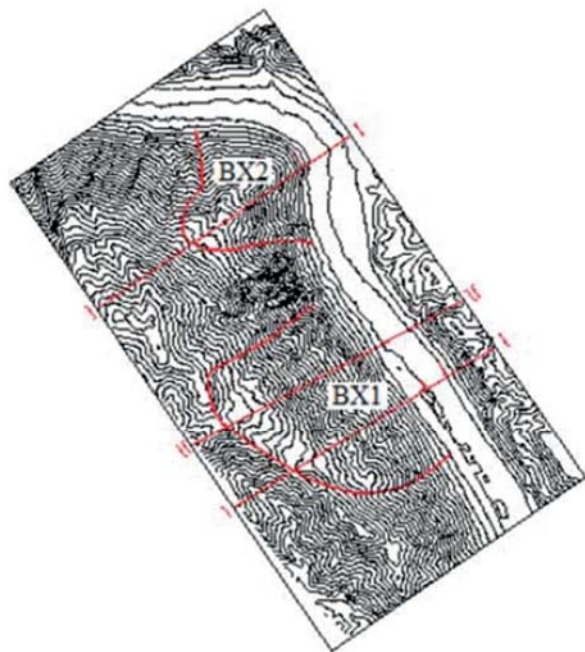
Srovnání vypočtených a naměřených variací hladin vody u vybraných čidel

R. 24 Yuelin SUN, Shifa XIA, Jiahong ZHANG, Ping SUN (China)

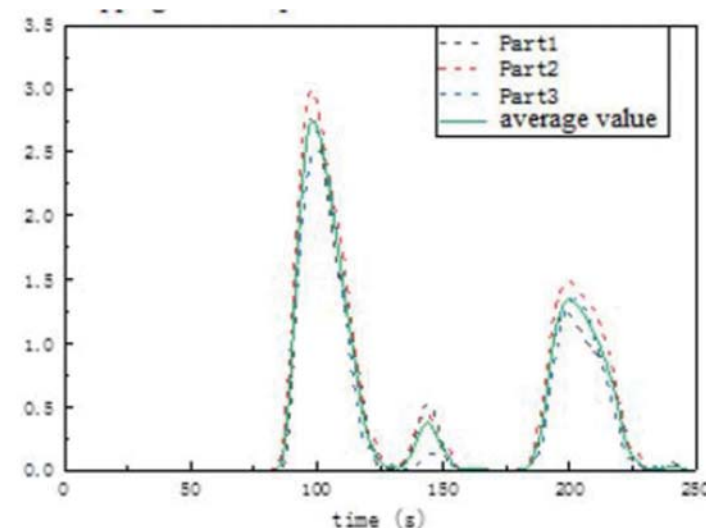
Posouzení katastrofy způsobené vlnou z rázového sesuvu vyvolaného deformací břehu nádrže v horním toku přehrady

Referát se zabývá analýzou rizik spojených se dvěma aktivními deformovanými tělesy (BX1 a BX2) na pravém břehu nádrže v severozápadní Číně, identifikovanými pomocí satelitní interferometrie InSAR. Studie modeluje mechanismus porušení a následné šíření rázové vlny (tsunami) v případě náhlého sesuvu těchto těles do nádrže. Simulace ukázaly, že simultánní

sesuv obou těles by vyvolal přelití koruny přehrady s průměrnou hloubkou 2,75 m. Statické a dynamické posouzení napjatosti tělesa hráze a stability zavázání do břehů pod tlakem vlny však potvrdilo, že bezpečnostní faktory zůstávají v mezích technických norem a hladina v dolním toku 400 m pod hrází by nepřekročila kontrolní hodnoty.



Plán zobrazení polohy obou deformovaných těles BX1 a BX2 u břehu nádrže



Časový průběh hloubky vody přelévající se přes korunu při simultánním sesuvu

R. 25 Jingchun LEI et al. (China)

Analýza dopadu extrémních událostí na havárie přehrad v podmínkách klimatické změny

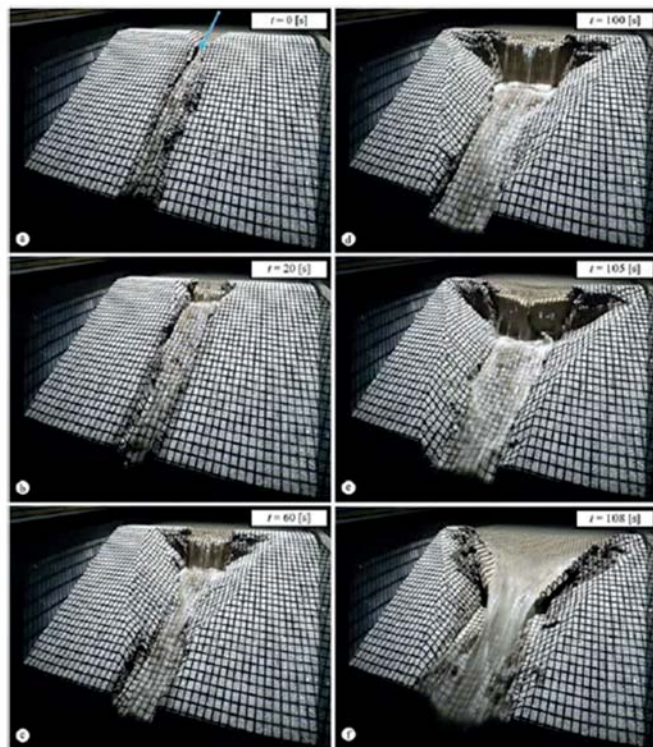
Příspěvek se zabývá rostoucím rizikem havárií přehrad v důsledku zintenzivnění extrémních hydrologických jevů vyvolaných klimatickou změnou. Autoři zdůrazňují, že tradiční bezpečnostní standardy mohou být v budoucnu nedostatečné, a proto je nutné implementovat přísné systémy inspekce pro včasnou detekci příznaků poruch. Text apeluje na posílení systémů hlášení a varování, které jsou klíčové pro získání času pro nouzovou záchranu a evakuaci. Významnou součástí strategie je také vzdělávání veřejnosti a správců nádrží v oblasti prevence a kontroly rizik, aby se zvýšilo obecné povědomí o nebezpečí průlomových vln v ohrožených územích.

R. 26 Matthew HALSO, David F. VETSCH, Frederic M. EVERS, Robert M. BOES (Switzerland)

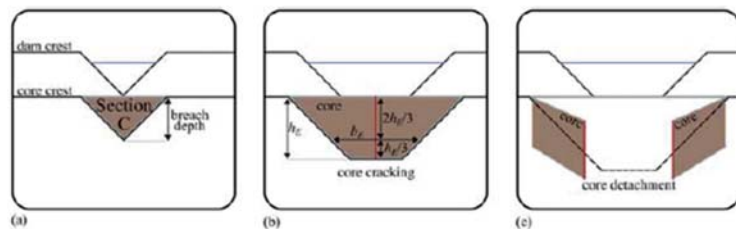
Porušení zónovaných sypaných hrází při přelití: odhad výtokových hydrogramů pomocí laboratorních experimentů a parametrického numerického modelování

Referát prezentuje výsledky výzkumu porušování zónovaných hrází (se středním těsnicím jádrem a filtry) při přelití. Na základě 10 laboratorních experimentů byl vyvinut parametrický numerický model, který simuluje proces eroze v několika sekcích: nad korunou jádra (Section

A), v dolním toku za jádrem (Section B) a stabilitu samotného jádra (Section C). Model úspěšně replikuje postup eroze v ramenu hráze a kritický okamžik selhání jádra vlivem ohybu nebo rotace. Metodika byla validována na modelu o výšce 0,5 m a je plánována pro integraci do simulačního rámce BASEbreach pro odhad výtokových hydrogramů.



Experimentální proces porušení zónované sypané hráze vlivem přelítí v čase



Schématické znázornění fází stability a selhání jádra (Section C) v parametrickém modelu

R. 27 Jinsheng JIA, Cuiying ZHANG, Shuguang LIU et al. (China)

Nový pokrok u přehrad z pojených materiálů pro splnění požadavků na bezpečnost přehrad proti přelítí v Číně

Příspěvek představuje technologii přehrad z pojených materiálů (Cemented Material Dam – CMD), která využívá místní materiály zpevněné cementem. CMD jsou navrženy jako vysoce odolné proti přelítí, což je demonstrováno laboratorním testem, při kterém chráněná hráz zůstala bezpečná i po 44 hodinách přelévání při rychlosti proudění 5 m/s. Technologie je prezentována jako ekonomicky efektivní a environmentálně šetrné řešení s velkým potenciálem pro posílení bezpečnosti stávajících malých a středních hrází v Číně.



Stav testovacího modelu po 50 hodinách přelévání

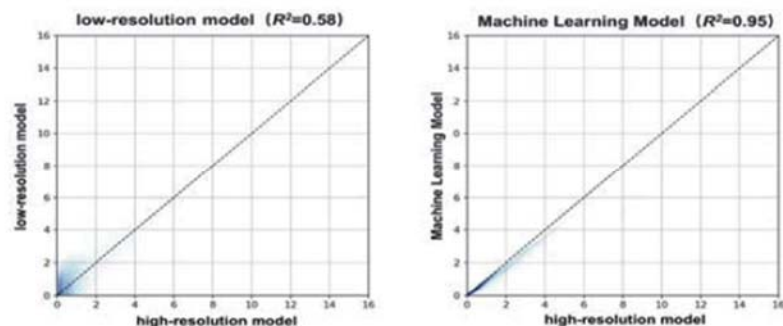


Detail vazby mezi tělesem sypané hráze a výztužnou vrstvou z pojeného materiálu

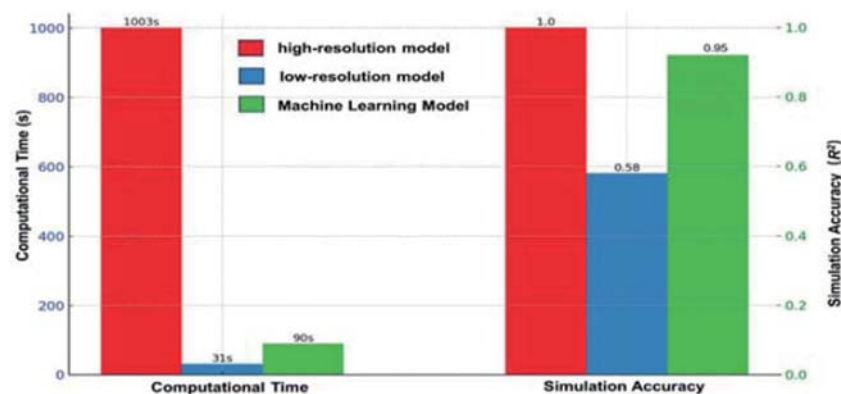
R. 28 Hongqiu HE, Qiming ZHONG et al. (China)

Simulace povodní z průlomu přehrad založená na metodě strojového učení

Autoři navrhuji revoluční přístup k modelování průlomových vln využívající strojové učení (Machine Learning) pro zrychlení výpočtů. Metoda kombinuje nízkorozlišené 2D hydraulické modely s pokročilými algoritmy Sparse Gaussian Process (SGP) a analýzou empirických ortogonálních funkcí (EOF) pro predikci výsledků ve vysokém rozlišení. Validace ukázala, že tento přístup dosahuje 95% přesnosti ve srovnání s plnými high-resolution modely, přičemž redukuje výpočetní čas o 90 %. To má zásadní význam pro krizové řízení a včasné varování, kde je vyžadována okamžitá odezva v reálném čase.



Porovnání přesnosti hloubek vody mezi nízkorozlišeným modelem a modelem strojového učení



Srovnávací tabulka přesnosti a doby běhu mezi modely s nízkým rozlišením a modely strojového učení.

Otázka 111: SEIZMICKÁ ODOLNOST A BEZPEČNOST PŘEHRAD

Zpracovatel přehledu příspěvků:

Ing. Miroslav Brouček, Ph.D. (Fakulta stavební, ČVUT v Praze)

Otázka byla rozdělena do 5 podtémat:

1. Statické, seizmické a poseizmické monitorování přehrad
2. Poznatky z poruch způsobených zemětřesením, včetně hrází odkališť a ochranných hrází
3. Význam jednotlivých projevů seizmického ohrožení (např. otřesy podloží, pohyby povrchových zlomů, svahové pohyby)
4. Kritéria seizmického návrhu a chování tělesa přehrad, oblasti kolem nádrže a asažené oblasti
5. Hodnocení seizmické bezpečnosti všech typů přehrad a bezpečnostně kritických prvků (např. bezpečnostní přeliv, spodní výpusti)

Generální zpravodajem této otázky byl pan Trevor Matuschka (Nový Zéland).

Celkem v otázce Q111 bylo publikováno 46 příspěvků:

R. 1 DONGSOON PARK (Korea)

Empirical seismic data interpretation for embankment dams

R. 2 LJUPCHO PETKOVSKI, STEVCHO MITOVSKI (Rep. of North Macedonia)

Dynamic analysis of combined embankment dam for the heightening of an existing tailings storage facility

R. 3 NARJES SOLTANI, CAMILO ANDRÉS CARDONA VILLA, DANIEL EDUARDO TOSCANO PATIÑO, ALEJANDRO VELÁSQUEZ PÉREZ, SERGIO AMOEDO-FERNÁNDEZ, IGNACIO GONZÁLEZ TEJADA, IGNACIO ESCUDER-BUENO (Spain)

A guideline for dynamic analysis and liquefaction prediction of embankment dams: case study of Santa Rita dam, Colombia

R. 4 MOVED TO COMMUNICATION C3

CARMEN BAENA (Spain)

Slenderness challenge in double curvature arch dams. Update proposal of the slenderness limit coefficient

R. 5 JORGE PEREIRA GOMES, JOSÉ V. LEMOS, SÉRGIO PEREIRA, ÁLVARO CUNHA (Portugal)

Monitoring and interpretation of the dynamic behavior of concrete dams

R. 6 AMIN ASKARINEJAD, ANTON D. TZENKOV, FEDERICO GALSTER, THOMAS MENOUILLEARD, MILAINE CÔTÉ (Switzerland)

A study on the potential effects of spectral matching on simulated seismic response of arch dams



R. 7 MARTIN WIELAND (Switzerland)

Dam safety analysis concept for frequent changes of seismic

R. 8 STEFAN EHLERS (Switzerland)

Comparison of earthquake dam safety evaluation of large embankment dams with earthfill core in different parts of the world

R. 9 BIKRAM KESHAREE PATRA, ASHUTOSH BAGCHI (Canada)

Seismic fragility assessment of concrete gravity dam due to base sliding as a potential mode of failure

R. 10 TREVOR J CAREY, TYLER J OATHES (Canada)

Impact of earthquake sequences on earthen embankment system performance: a numerical study

R. 11 BEVIN HSIEH, SYLVAIN RENAUD, IDRIS FODIL, SIAMAK OHADI, EUGENIA

GEORGIADES, KRITAM MAHARJAN, GUY HÉNAULT (Canada)

Practical Considerations to Assess the Stability of Aging Concrete Dams In a Seismic Zone in Eastern Canada

R. 12 BRIAN BENSON, DAVID CAMERON-ELLIS, PETER AMOS (New-Zealand)

Seismic resilient design of Waimea community dam

R. 13 KUNTAN CHANGA, NICOLAS LABANDAA, RICCARDO FANNIA, ALFREDO ARENAS (Australia)

Three-dimensional extension of Ubchyst constitutive model: implementation and verification

R. 14 MICHAEL MCKAY, FRANCISCO LOPEZ, SAM LALLI, STELLA HARRISON (Australia)

Influence of water compressibility in earthquake analyses of concrete gravity dams

R. 15 NARIO YASUDA, ZENGYAN CAO, TAKU NAKAMURA (Japan)

Optimization of the cross-sectional design of trapezoidal CSG dams

R. 16 HIDEAKI KAWASAKI, NAOKI IWATA, TERUO SUGA, RYOUJI KIYOTA (Japan)

Seismic analysis and reinforcement method for small gravity dam with horizontal cracks

R. 17 YOSHIKI MATSUOKA, YUSUKE OTSUBO & TSUYOSHI ARIMITSU (Japan)

Nonlinear analytical modeling of dam gated pier based on earthquake records

R. 18 ANIL K. CHOPRA (USA)

Earthquake engineering for concrete dams

R. 19 MARTIN W. MCCANN, ZACH RUBY, MICHAEL BEATY, THOMAS WESTOVER, GONZALO CASTRO, BO LUNDQVIST (USA)

SSHAC evaluation of the seismic fragility for an embankment dam

R. 20 GRÉGORY COUBARD, VINICIUS ALVES-FERNANDES, PHILIPPE KOLMAYER,

ASTRID MONDOLONI, ROMAIN GRANJON, RACHID FELLAG, JÉRÉMY MEYNET (France)

Justification de la stabilité au séisme de grands canaux français par approches graduées

R. 21 FRÉDÉRIC ANDRIAN, MAXIME VONIÉ, ALAIN YZIQUEL AND BERNARD TARDIEU, EMMANUEL ROBBE AND NICOLAS HUMBERT (France)

Arch dams under moderate to high seismic loads: review and update of failure mechanisms based on recent numerical analyses



R. 22 CAPUCINE MASSON, SIMON DEMARS, FRANÇOIS BROUSSET, FREDERIC ANDRIAN, PIERRE LABBE, ZIAD KTEICH, VINICIUS ALVES FERNANDES, PIERRE-YVES BARD, EMMANUEL CHALJUB, ROMAIN GRANJON, JEAN-JACQUES FRY (France)

Evaluation of embankment dam seismic response by a new generation of simplified and graded methods

R. 23 ARJAN JOVANI, LLAMBRO DUNI (Albania)

Large dams and new rules on seismic hazard in Albania

R. 24 DANIEL GAFTOI, BASARAB CHESCA, RADU SARGHIUTA, CATALIN POPESCU, LAURENTIU LUNGU (Romania)

Seismic monitoring for Paltinu arch dam

R. 25 DIDIEK DJARWADI (Indonesia)

Active fault identification for dam seismic hazard assessment

R. 26 DIDIEK DJARWADI (Indonesia)

Current practice of seismic hazard assessment of dams in Indonesia

R. 27 LI ZHISHAN, WANG ZHIJIE (China)

Seismic design of concrete dam founded on soft rock of Batang Toru hydropower project in Indonesia

R. 28 MOVED TO COMMUNICATION C4

JIAMIN CHEN, FAN XIA (China)

Analysis of deformation characteristics of extra-high arch dam during operation

R. 29 MOVED TO COMMUNICATION C5

M YING XU, FAN XIA, CHANGPENG XIE, JINGJIE TIAN, JIAMIN CHEN, CHUNYAO HOU (China)

Preparation of safety monitoring index for dam seepage of an super-high arch dam

R. 30 HOUQUN CHEN (China)

Rapid assessment of seismic safety of concrete dams after an earthquake

R. 31 HONG ZHONG, LIJUN ZHAO, HAIBO WANG, CHUNLEI LI, JIN TU (China)

Shaking table test of a whole high gravity dam modeling dam-reservoir-foundation interaction

R. 32 JIN TU, HUI LIANG, DEYU LI, CUIRAN ZHANG, SHAOQING WANG (China)

Study on the verification of the seismic performance of Dagangshan arch dam during Luding earthquake

R. 33 YIFAN ZHANG, JIXUE TIAN, ZERUI WU, YUSHENG YANG, SHU YU, PENGHAI YIN, GANG DENG (China)

Prediction of liquefaction lateral displacement levels based on GA-CART algorithm

R. 34 SHAOQING WANG, LIJUN ZHAO, CUIRAN ZHANG (China)

Broadband ground-motion simulation: sensitivity to pulse duration of source slip-rate function

R. 35 HUI LIANG, CHUNLI YAN, SHENGSHAN GUO, JIN TU (China)

Effects of orifices and sluice piers on seismic response of a high arch dam

R. 36 GAO DONGHONG, ZHU RUIHENG (China)

Seismic safety analysis of asphalt concrete face rockfill dams under high seismic intensity

R. 37 TINGGAI CHANG, YANHONG ZHANG (China)

Analysis on influence factor of induced moderate reservoir earthquake

R. 38 LIJUN ZHAO, SHAOQING WANG (China)

Experimental study on uniaxial dynamic performance of concrete sample of Bda dam

R. 39 MAOHUA WANG, KAI ZHANG, YANHONG ZHANG (China)

Seismic fragility analysis of gravity dam based on MSA

R. 40 JIANRONG XU, JIANJUN XU, HUA JI, JIANXIN WANG (China)

Research and application of key technologies for the ultra-high arch dam of the Baihetan hydropower station

R. 41 LONG MA, JIAN CHEN, JUN ZHOU, BO JIANG (China)

Exploration of pre-earthquake early warning and post-earthquake monitoring mode of reservoir dam based on intelligent safety monitoring management platform

R. 42 JIANJUN XU, XINHUA ZENG, YIHUI HUANG, HAINING WEI, DEYU LI, BOYAN ZHANG (China)

Seismic safety analysis and evaluation of the high arch dam of Yangfanggou hydropower station in Yalong river, Sichuan province

R. 43 MOVED TO COMMUNICATION C6

MENGYAO SHEN, DING NIE (China)

Experimental study for performance evaluation of shape accelerometer array in deformation monitoring

R. 44 JOSE CAMPAÑA, LUIS VALENZUELA, RAMON VERDUGO (Chili)

Chilean practice on large tailings dams constructed on high seismic environment

R. 45 Příspěvek odstraněn na základě žádosti autorů

R. 46 MOVED TO COMMUNICATION C7

LI SONGHUI, CHEN MENG, NAN KANGNING, SHEN KAIWEI, LUO XIANGYU (China)

Research on the maximum temperature control of Dongzhuang extra high arch dam in cold zone

R. 47 LI HONGJUN, TIAN JIXUE, LANG ZIFAN, XU ZEPING, YAN ZUWEN (China)

A novel method of seismic reinforcement for high rockfill dams situated on deep overburden

R. 48 KAI-BIN ZHU, JIAN-MING ZHAO, ZHENG-QUAN YANG (China)

Research on the dynamic residual deformation model for coarse-grained soil

R. 49 MOVED TO COMMUNICATION C8

LEI ZHENG, GUOXIN ZHANG (China)

Research on monitoring methods and monitoring accuracy of inverted deformation during the construction period of high arch dams

R. 50 MIROSLAV BROUČEK, PETRA SUCHOPÁRKOVÁ, ONDŘEJ ŠVARC (Czech Republic)

Seismic analysis of the Horka dam: load estimation for earthquake swarms

R. 51 G. GATTO, A. ABATI, F. BISCI, A. KITA (Italy)

An overview of the safety seismic assessment of 50+ large dams according to the new Italian design standards

R. 52 GIORGIA FAGGIANI, MARTINA COLOMBO, ANTONELLA FRIGERIO, PIERO MASARATI (Italy)

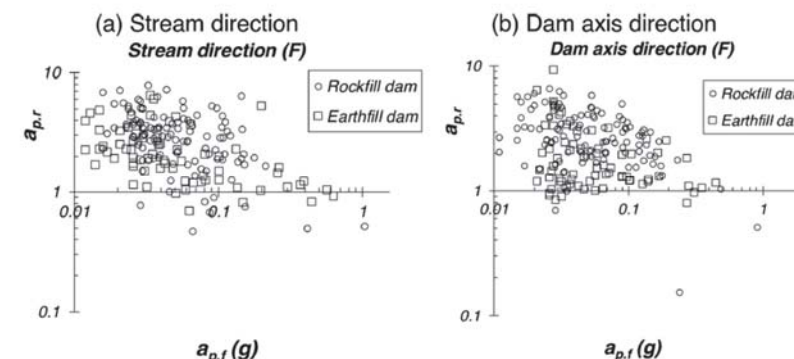
Recent studies on advanced finite element simulation methods for safety assessment of concrete dams

R. 1 PARK, D. (South Korea)

Interpretace seismických dat sypaných hrází

Příspěvek představuje statistickou analýzu záznamů z akcelerometrů na sypaných přehradách v průběhu 34 let. Cílem příspěvku je jednak zlepšení interpretace měřené seismické odezvy u stávajících sypaných hrází a zároveň nabídnout doporučení pro návrh nových přehrad i pro seismické posouzení stávajících objektů. Databáze Jihokorejského přehradního výboru (JCOLD) obsahuje 190 záznamů otřesů z 54 zemětřesení na 60 přehradách. Databáze zahrnuje období od roku 1978 do roku 2012 a obsahuje trojosé akcelerografy jak z koruny, tak z injekčních chodeb nebo jiných míst blízkých založení hrází. Maximální změřená hodnota vodorovného zrychlení v kolmém směru v databázi je 1,04 g pro zemětřesení s Magnitudem 9,0.

Pro analýzu charakteristik seismické odezvy a párových korelací využil autor multivariační analýzy a lineární/nelineární regresní modelování. Pozornost byla zaměřena na seismické zesílení a vlastní frekvence i na jejich vztahy mezi intenzitou seismického buzení, geometrií přehrady a frekvenčním spektrem prvotního impulsu. Příspěvek prezentuje odvozené rovnice a křivky nelineární regresní predikce, které ve třech směrech zohledňují nejistotu vyjádřenou pomocí odmocniny střední kvadratické chyby (RMSE) a hodnot koeficientu determinace (R^2). Navzdory značnému rozptýlu dat poskytují tyto rovnice prakticky využitelné odhady seismické odezvy, které lze uplatnit v rámci předběžného návrhu nebo při seismickém posouzení konstrukcí.

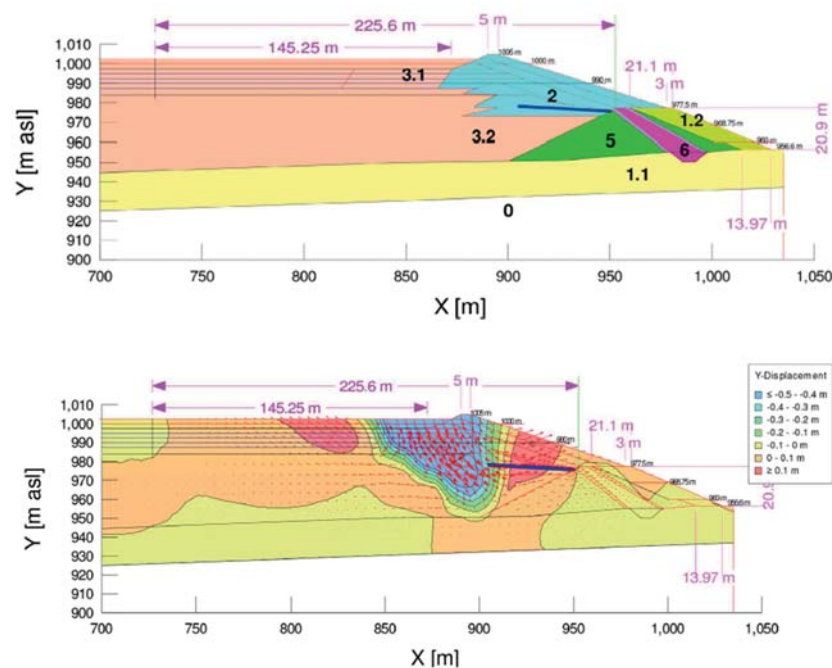


Vyhodnocená závislost poměru zrychlení na koruně a v založení (podloží) sypaných zemních a kamenitých přehrad na velikosti špičkového zrychlení zemětřesení

R. 2 PETKOVSKI, L., MITOVSKI, S. (Republic of North Macedonia)

Dynamická analýza plánovaného navýšení kombinované sypané hráze stávajícího odkaliště

Zvyšování hrází odkališť umožňuje ukládání kalů při současných nárocích pokračující těžby a limitů lokality. Příspěvek prezentuje dynamickou analýzu projektu navýšení odkaliště Toranica v Severní Makedonii protiproudou metodou. V rámci příspěvku jsou diskutovány výpočty rizika ztekucení, stability při zemětřesení i globální stability hrází navýšeného odkaliště softwarem Geoslope v návaznosti na parametry zemin odvozených z výsledků dynamických penetračních zkoušek. Zároveň jsou představeny výsledky numerického modelu sedání.



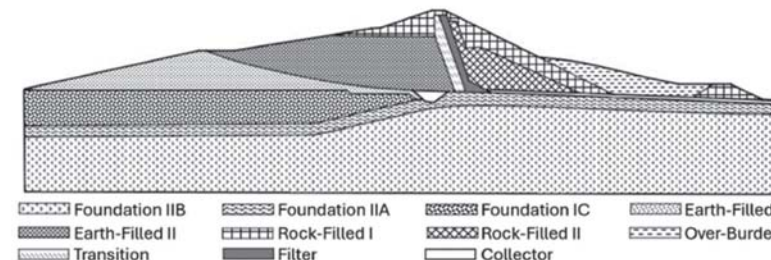
Model navýšení hráze odkaliště (nahore) a vypočtené hodnoty dodatečného sedání po navýšení hráze a naplavení kalů a zatížením zemětřesením, které ztekutí část kalů (dole)

R. 3 SOLTANI, N., CARDONA VILLA, C. A., TOSCANO PATIÑO, D. E., VELÁSQUEZ PÉREZ, A., AMOEDO-FERNÁNDEZ, S., TEJADA, I. G., ESCUDER-BUENO, I. (Spain)

Pokyny pro dynamickou analýzu a predikci ztekucení sypaných hrází: případová studie přehrady Santa Rita v Kolumbii

V příspěvku je prezentován metodický postup pro dynamickou analýzu sypaných hrází se důrazem na predikci ztekucení. Jako případová studie prezentována přehrada Santa Rita v Kolumbii. Metodický postup vyžaduje implementaci statických a dynamických okrajových podmínek, model tlumení, přípravu akcelerogramů a kalibraci modelu konstitutivního materiálu. V případové studii jsou pak srovnány výsledky při použití tradičního Mohr-Coulombova modelu a modelu PM4Sand/Silt.

Výsledky ukazují podstatně větší plastický posun a pórový tlak v modelu PM4Sand/Silt než v modelu Mohr-Coulomb. Zásadně se pak liší vypočtený směr posunu koruny hráze. Zatímco posun koruny u modelu Mohr-Coulomb je směrem po proudu, u modelu PM4Sand/Silt je směrem proti proudu. To je důsledkem nadměrného pórového tlaku v návodním svahu hráze. Maximální normalizované relativní trvalé sedání koruny (NCRPS) přehrady Santa Rita je dle výpočtů v případové studii 0,5 %. Ani jeden z konstitutivních modelů nenaznačil potenciál pro ztekucení za daných seismických podmínek. Příspěvek dále porovnává sedání koruny dle numerických modelů s daty z jiných případů. Výsledky zdůrazňují vhodnost využití modelu PM4Sand/Silt pro predikci trvalých deformací.



Numerický model přehrady Santa Rita v Kolumbii

R. 4 BAENA, C. (Spain)

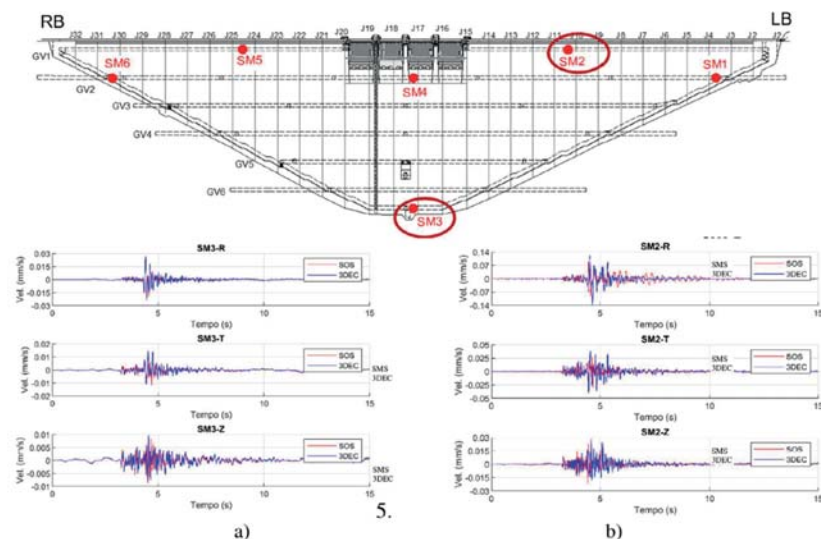
Výzva štíhlosti u dvojité zakřivených klenbových přehrad – aktualizace návrhu mezního koeficientu štíhlosti

Příspěvek byl vyjmut z otázky Q111 a přesunut ve sborníku ICOLD pod sekci *Sdělení*. Zabývá se analýzou štíhlostních poměrů klenbových přehrad, aniž by zohlednil hlavní téma otázky Q111.

R. 5 GOMES, J. P., LEMOS, J. V., PEREIRA, S. CUNHA, Á. (Portugal)

Monitoring a interpretace dynamické odezvy betonových přehrad

Příspěvek představuje výsledky vyhodnocení dynamické odezvy betonových devíti betonových přehrad založených jednak na kalibrovaných numerických modelech jednotlivých přehrad a na interpretaci změřených hodnot zrychlení. Hodnocení dynamické odezvy staveb a sledování vývoje jejich chování v různých fázích jejich životnosti tvoří součást nutného sledování v rámci technicko-bezpečnostního dohledu. V posledních letech byly v Portugalsku zavedeny systémy pro monitorování dynamického chování několika významných betonových přehrad s výškou 41 až 136 metrů a byly provedeny testy vynucených vibrací za účelem stanovení jejich modálních parametrů na konci výstavby. Příspěvek nabízí srovnání výsledků numerických modelů pro různé úrovně nádrže a s monitorováním během normálního provozu a výskytem seismických událostí. Diskutovány jsou jak přehrady klenbové, tak s klenbovo-třízným účinkem.



Srovnání vypočtených a změřených rychlostí v bodech SM2 a SM3 přehrady Baixo Sabor

R. 6 ASKARINEJAD, A., TZENKOV, A. D., GALSTER, F., MENOILLARD, T., CÔTÉ, M. (Switzerland)

Studie potenciálních účinků spektrálního přizpůsobení na simulovanou seismickou odezvu klenbových přehrad

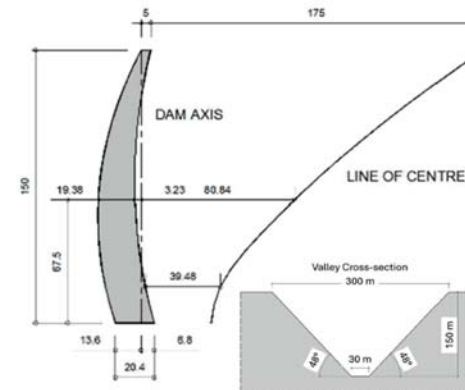
Kritickým požadavkem stanoveným v moderních normách a předpisech pro posuzování seismické bezpečnosti přehrad při výběru záznamů skutečných zemětřesení je zajištění kompatibility mezi průměrným a jednotlivým elastickým spektrem odezvy vstupních časových průběhů zrychlení a normovým spektrem. Návrhové spektrum může být rovněž odvozeno

z lokálně specifické analýzy seismického ohrožení. Obecně se požaduje, aby se v určitém rozsahu period, který závisí na dynamických vlastnostech přehrad, průměrné elastické spektrum neodchylovalo od návrhového spektra o více než stanovenou toleranci.

Vzhledem k značné variabilitě přirozených záznamů zemětřesení se k zajištění jejich kompatibility se spektrem předepsaným normami pro seismickou bezpečnost používají dva hlavní přístupy: lineární škálování a spektrální přizpůsobení. Spektrální přizpůsobení spočívá zejména v aplikaci modulačních funkcí, které jsou cíleně aplikovány v časové (případně frekvenční) oblasti s cílem přizpůsobit spektrum odezvy pohybu povrchu požadovanému spektru definovanému příslušnými normami.

Ačkoli metody spektrálního přizpůsobení umožňují upravit záznamy tak, aby odpovídaly návrhovému spektru, existuje jen omezené množství výzkumů zabývajících se tím, jak může tato modifikace ovlivnit simulovanou odezvu betonových klenbových přehrad. Příspěvek analyzuje změny dynamické odezvy hypotetické klenbové přehrad zatížené lineárně škálovanými a spektrálně přizpůsobenými přirozenými záznamy zemětřesení.

Výška hypotetické přehrady je stanovena na 150 m a přehrada je umístěna v úzkém údolí tvaru písmene V. Pro analýzu jsou použita tři normová spektra definovaná novou směrnicí Švýcarského federálního úřadu pro energetiku (SFOE) pro ověřování seismické bezpečnosti přehrad. Každé cílové spektrum reprezentuje seismické zatížení odpovídající určité zemětřesené oblasti ve Švýcarsku. Hypotetická přehrada je podrobena analýze při použití šesti souborů trojrozměrných záznamů pohybu půdy, přičemž každý soubor obsahuje 11 záznamů. Tři z těchto souborů zahrnují lineárně škálované přirozené záznamy zemětřesení, zatímco další tři obsahují odpovídající spektrálně přizpůsobené vstupní pohyby povrchu.



Rozměry hypotetické přehrady použité pro srovnání jednotlivých přístupů

R. 7 WIELAND, M. (Switzerland)

Koncept analýzy bezpečnosti přehrad při častých změnách seismického zatížení

Vzhledem k pokračujícímu vývoji v oblasti pravděpodobnostního hodnocení seismického ohrožení (PSHA) se výsledky analýz seismického ohrožení neustále zpřesňují, což obecně vede ke zvyšování hodnot seismického ohrožení v lokalitách přehrad. Lze tedy předpokládat, že na základě nových výsledků je vhodné provést nové hodnocení bezpečnosti přehrad během

zemětřesení. Je však třeba si uvědomit, že posouzení seismické bezpečnosti přehrad zahrnuje různé zdroje nejistot, které jsou srovnatelné s nejistotami spojenými se seismickým ohrožením. Samotné zpřesnění analýz seismického ohrožení proto nevede ke zvýšení kvality posouzení seismické bezpečnosti, pokud ostatní zdroje nejistot zůstanou nezměněny a není tedy vždy nutné provádět nové hodnocení bezpečnosti. Příspěvek navrhuje novou kombinace seismického zatížení označovanou jako „zemětřesení přesahující úroveň kontrolního“ (beyond the SEE ground motion), která poskytuje informace o rezervě v seismické bezpečnosti přehrady. Informaci o vypočtené rezervě lze využít při častých změnách hodnot seismického ohrožení.

R. 8 EHLERS, S. (Switzerland)

Srovnání hodnocení bezpečnosti velkých sypaných hrází se středním zemním těsněním při zemětřesení v různých částech světa

Příspěvek prezentuje porovnání metodik používaných pro posuzování seismické bezpečnosti pěti velkých sypaných přehrad se středním zemním těsněním od 47 do 230 m výšky, které se nacházejí na třech různých kontinentech. Porovnání je zaměřeno na stanovení seismického zatížení a zdůrazňuje význam národních předpisů a směrnic pro dosažení jednotné úrovně bezpečnosti. Příspěvek dále shrnuje použité analytické metody, mezi které patří pseudostatická metoda, zjednodušené analýzy deformací, analýzy metodou posuvného bloku, nelineární analýzy deformací a analýzy stability po zemětřesení, a rovněž kritéria hodnocení chování konstrukce. Každá z metod je posuzována z hlediska svých výhod, omezení a nevýhod, zejména s ohledem na přesnost a spolehlivost výsledků analýz. Dále jsou diskutovány požadavky jednotlivých metod z hlediska finančních nákladů, časové náročnosti a výpočetních zdrojů. Je rovněž vysvětleno, proč jsou analytické metody vyvinuté v 60. letech 20. století stále atraktivní alternativou ve srovnání se sofistikovanými nelineárními analýzami.

R. 9 PATRA, B. K., BAGCHI, A. (Canada)

Usmýknutí v základové spáře betonové tížné přehrady při zemětřesení

Hodnocení bezpečnosti stávajících přehrad je v současnosti založené na přístupu hodnocení rizika, který umožňuje efektivní plánování sanačních opatření a účelné využívání omezených zdrojů. Tento přístup komplexně zohledňuje různé potenciální mechanismy porušení a stanovuje jejich pravděpodobnost s ohledem na všechny relevantní příčiny možného porušení. Příspěvek prezentuje posouzení seismické zranitelnosti betonové gravitační přehrady se zvláštní pozorností k usmýknutí v základové spáře. Pro případovou studii je použit sdružený 2D model přehrada–základ–nádrž (DFR) vytvořený v programu Abaqus, který zohledňuje jak kontaktní nelinearitu, tak materiálovou nelinearitu. Materiálová nelinearita je modelována pomocí modelu plasticity s poškozením betonu (Concrete Damage Plasticity, CDP), zatímco kontaktní nelinearita je implementována prostřednictvím modelu kohezivní zóny (Cohesive Zone Model, CZM).

V tělese přehrady a v základové půdě jsou použity konstrukční prvky, zatímco nádrž je reprezentována akustickými prvky a na okrajích oblasti základové horniny jsou použity nekonečné prvky. Přehrada je zatížena vlastní tíhou, hydrostatickým tlakem, vztlakem a hydrodynamickými účinky, současně s kombinovaným působením horizontálního a vertikálního pohybu podloží. V analýze byl použit soubor 55 záznamů pohybu podloží, přičemž při jejich výběru bylo použito podmíněné průměrné spektrum (Conditional Mean Spectrum, CMS) pro rozsah pěti dob opakování od 475 do 10 000 let. Pro zkoumání vlivu kontaktních podmínek na posun koruny přehrady bylo provedeno celkem 330 nelineárních numerických simulací, při nichž byly porovnávány případy tuhého spojení (tied interaction)

a kohezivního kontaktu (cohesive interaction) na rozhraní mezi přehradou a horninovým masivem.

Numerické simulace dále zohledňovaly specifické podmínky, zejména přítomnost a nepřítomnost vztaku, s cílem určit, za jakých podmínek se posun po základové spáře stává kritickým mechanismem porušení. Parametry odezvy konstrukce, jako jsou relativní posun v základové spáře a relativní posun koruny přehrady, byly použity pro sestavení křivek fragility pro definované mezní stavy a indexy poškození.

Křivky fragility založené na relativním posunu koruny a posunu po základové spáře při různých intenzitách seismického zatížení poskytují pravděpodobnostní vyjádření rizika, že u přehrady dojde k různým úrovním poškození. Bylo zjištěno, že modely s kohezivním kontaktem na rozhraní mezi přehradou a základovou půdou vykazují ve srovnání s modely s tuhým spojením nižší maximální hodnoty posunu koruny, což vede také k nižším odhadům fragility.

Dále byl zjištěn výrazný rozdíl v posunu základové spáře ve vzdušní patě a na návodní straně přehrady, přičemž vyšší hodnoty byly zaznamenány na návodní straně. Pro studium chování při posunu po základové spáře byly parametry modelu zvoleny tak, aby tento mechanismus porušení byl dominantnější než porušení charakterizované celkovým nadměrným posunem. Příspěvek poskytuje cenné poznatky o tom, jak předpoklady modelu, způsob simulace kontaktu a zohlednění vztakového tlaku ovlivňují celkové hodnocení seismické zranitelnosti betonových gravitačních přehrad.

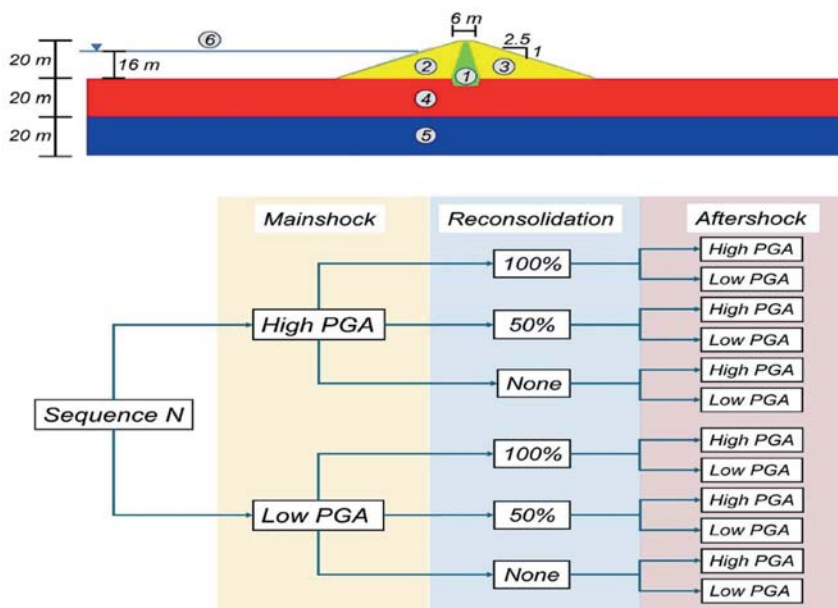
R. 10 CAREY, T. J., OATHES, T. J. (Canada)

Numerická analýza důsledků dotřesů na chování sypaných zemních hrází

Sekvence zemětřesení v oblasti Kahramanmaraş v Turecku v roce 2023, která byla zahájena zemětřesením o magnitudu 7,8, způsobila rozsáhlé škody a byla následována nepřetržitou sérií dotřesů. Navzdory rychlému sledu seismického zatížení nedošlo k havárii žádné z přehrad. Tato skutečnost je významná, protože dotřesy představují závislé seismické události, které obvykle nejsou přímo zohledňovány ve standardních hodnoceních seismického ohrožení.

Příspěvek představuje výsledky numerické analýzy zaměřené na účinky hlavního zemětřesení následovaného dotřesy pro idealizovaný systém sypané přehrady. Dynamická odezva zonální sypané přehrady je modelována pomocí konstitutivních modelů plasticity, založených na poměru napětí a kompatibilních s kritickým stavem, konkrétně modelů PM4Sand a PM4Silt.

Analýza byla provedena postupně pro seismické pohyby podloží z jednotlivých zemětřesení stejné seismické sekvence, přičemž mezi jednotlivými událostmi byly uvažovány různé doby konsolidace. Výsledky analýzy ukazují, že intenzita hlavního zemětřesení a následných dotřesů ovlivňuje chování konstrukce různým způsobem a že disipace nadměrných pórových tlaků významně ovlivňuje chování systému během následných dotřesů. Na základě výsledků jsou formulovány závěry týkající se možnosti rozšíření prezentovaného postupu pro analýzy prováděné při návrhu nebo rekonstrukci sypaných přehrad vystavených sekvencím zemětřesení. Zohlednění účinků hlavního zemětřesení a následných dotřesů může vést k bezpečnějším a současně ekonomicky efektivnějším návrhům přehrad.



Model přehrady pro numerickou analýzu (nahore) a definice zatěžovacích kombinací pro dotřesy (dole)

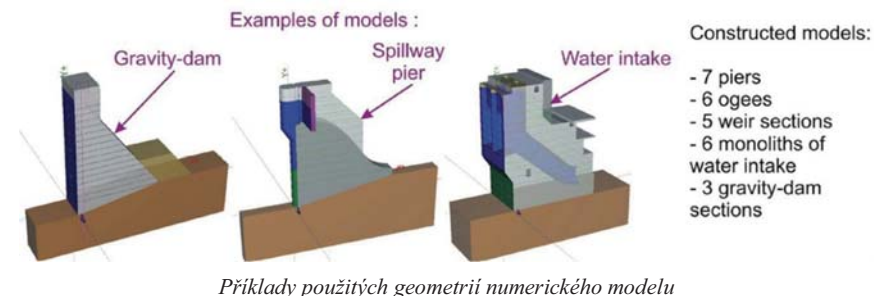
R. 11 HSIEH, B., RENAUD, S., FODIL, I., OHADI, S., GEORGIADIS, E., MAHARJAN, K., HÉNAULT, G. (Canada)

Praktické aspekty posouzení stability stárnoucích betonových přehrad v seismické oblasti východní Kanady

Vlastníci přehrad musí pravidelně posuzovat a monitorovat bezpečnost stárnoucích betonových opěrných konstrukcí. Výsledky posouzení stability nemusí splňovat bezpečnostní kritéria pro kombinace obsahující seismického zatížení. Inženýři proto musí stále více zdokonalovat své přístupy k numerickému modelování, aby bylo možné získat realističtější předpovědi chování konstrukcí. V roce 2022 byla pro přehrady Isle-Maligne společnosti Rio Tinto, vybudované v roce 1926 a nacházející se v kanadském Québecu, provedena nová pravděpodobnostní analýza seismického ohrožení (PSHA). Ta vedla k výrazně vyšším hodnotám spektrálního zrychlení než byly hodnoty použité v předchozích analýzách stability.

Příspěvek představuje různé přístupy použité za účelem optimalizace posouzení seismické bezpečnosti přehrad Isle-Maligne. Byl vyvinut a následně aplikován progresivní třístupňový přístup, který kombinuje gravitační metodu a časově závislé dynamické analýzy tuhého tělesa, a to na všech 54 sekcích přehrad Isle-Maligne. Pro nedostatečně spojené spáry, zejména pracovní, v tělese hráze je navrženo nové bilineární smykové kritérium, které zohledňuje také zdánlivou soudržnost. Dále byla provedena podrobná analýza vrtných průzkumných sond z lokality s cílem přesněji stanovit úroveň skalního podloží pod konstrukcemi a vyloučit

nepříznivé sklony rozhraní mezi přehradou a skalním podložím. Prezentované výsledky ilustrují různé výzvy, kterým čelí inženýři zabývající se bezpečností přehrad, a současně navrhuji některé doporučené postupy pro optimalizaci seismických analýz v budoucích projektech.



R. 12 BENSON, B., CAMERON-ELLIS, D., AMOS, P. (New Zealand)

Návrh přehrady Waimea odolný vůči seismickému zatížení

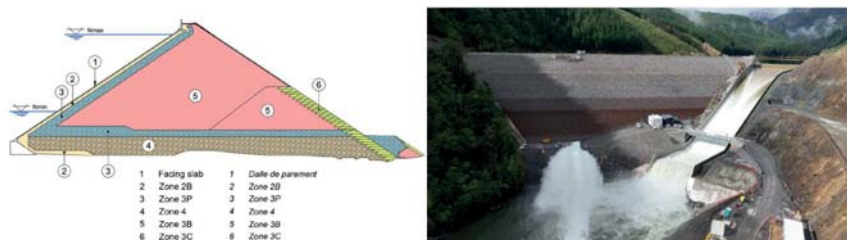
Nový Zéland se nachází v oblasti styku tektonických desek a dochází zde k častým a silným seismickým událostem. Kamenitá přehrada Waimea Community s betonovým návodním těsním, vysoká 52 m byla první velkou přehradou vybudovanou na Novém Zélandu za posledních 30 let. Kontrolní zemětřesení pro posouzení bezpečnosti (Safety Evaluation Earthquake, SEE) je definováno s roční pravděpodobností překročení 0,0001, čemuž odpovídá zemětřesení o magnitudu (Mw) 7,1, s maximálním horizontálním zrychlením podloží (PGA) 0,64 g a maximálním spektrálním zrychlením přibližně 1,65 g. Novozélandské norma pro bezpečnost přehrad požaduje, aby návrh zohledňoval také jeden dotřes během 24 hodin po hlavním zemětřesení. Pro přehrady Waimea je návrhový dotřes charakterizován magnitudem Mw = 6,5 a maximálním horizontálním zrychlením podloží PGA = 0,58 g.

Klíčové prvky návrhu přehrady Waimea zahrnují:

- Erozní odolnou a flexibilní sypanou konstrukci z drceného kameniva, která umožňuje kontrolované deformace během zemětřesení. Hlavní požadavky na funkci sypané konstrukce při zemětřesení spočívaly v umožnění seismických deformací a v zajištění odvodu průsakové vody po zemětřesení.
- Železobetonový návodní plášť.
- Prefabrikované železobetonové prvky vlnolamu na návodní hraně koruny.
- Flexibilní hydroizolační prvky spojující návodní plášť s vlnolamem, s odpovídající schopností akomodovat velké deformace a odolávat zatížení způsobenému povodňovou situací po zemětřesení.

Součástí článku je diskuse geotechnického přístupu k zajištění odpovídajícího seismického chování a vnitřní stability materiálů sypané konstrukce, včetně komplexního posouzení posuvů jednotlivých částí sypané konstrukce během zemětřesení. Příspěvek se dále zabývá konstrukčním uspořádáním návodní části přehrady, včetně všech prvků ze sypaného kameniva

a betonu, z hlediska jejich schopnosti odolávat účinkům zemětřesení, s důrazem na zajištění bezpečnosti přehrady během zemětřesení i po jeho odeznění.



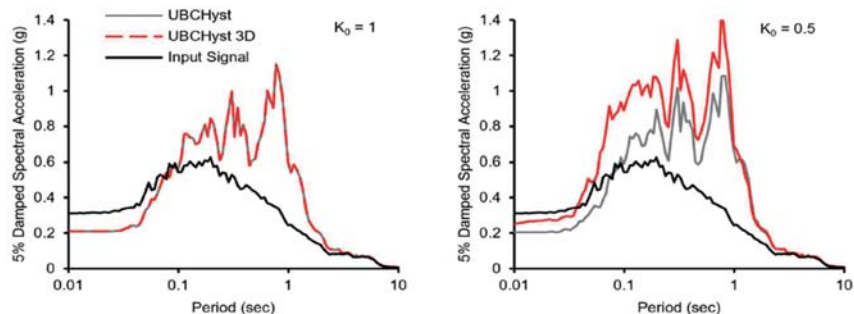
Přehrada Waimea – vzorový příčný řez (vlevo), vzdušný svah při převádění povodně (vpravo)

R. 13 CHANG, K., LABANDAA, N., FANNI, R., ARENAS, A. (Australia)

Implementace a verifikace rozšířeného konstitutivního modelu UBCHyst na 3D

Příspěvek prezentuje trojrozměrnou (3D) formulaci jednoduchého a praktického konstitutivního modelu, který je určen k zachycení nelineárních hysteretických charakteristik útlumu materiálů nenáchylných na ztekucení při seismickém zatížení. Tento model představuje 3D rozšíření dvourozměrného (2D) modelu UBCHyst, vyvinutého na University of British Columbia (UBC), který byl rozsáhle využíván pro modelování zemin běžně používaných v sypaných přehradách, jako jsou zhuťné jily, lomový kámen, nebo tuhé základové zeminy a zvětřalé skalní podloží. Příspěvek představuje 3D formulaci modelu, včetně porovnání s klasickým modelem UBCHyst pro monotónní a cyklické zkoušky přímým jednoduchým smykem. Následně je model ověřen na základě experimentálních dat pro lomový kámen a šterkovité materiály při statických a cyklických triaxiálních napětových zkouškách.

Příspěvek dále představuje výsledky analýzy seismické odezvy. Výsledky získané pomocí konvenčního modelu UBCHyst jsou následně porovnány s výsledky 3D rozšířeného modelu UBCHyst.



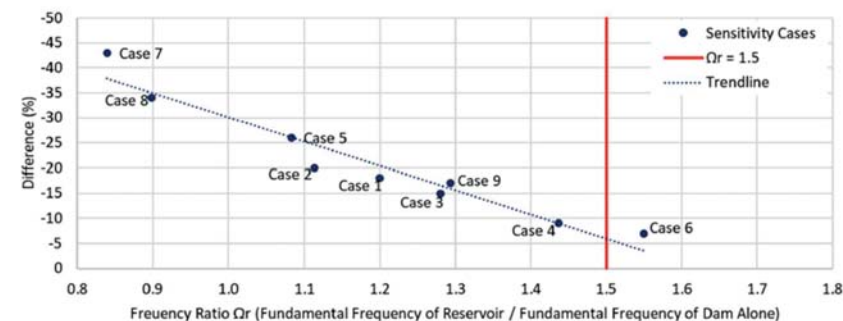
Srovnání výsledných spekter odezvy mezi UBCHyst a 3D UBCHyst a vstupním zrychlením

R. 14 MCKAY, M., LOPEZ, F., LALLI, S., HARRISON, S. (Australia)

Vliv stlačitelnosti vody na výsledky seismické analýzy betonové tížné hráze

Metoda konečných prvků (MKP) betonových přehrad je stále komplexnější, aby bylo možné lépe vystihnout jejich chování při statickém i seismickém zatížení. Jedním z klíčových aspektů je modelování interakce přehrady, základové horniny a nádrže během zemětřesení, protože vznikající hydrodynamické tlaky působící na líc přehrady mají významný vliv na celkovou odezvu systému. Historicky byly hydrodynamické tlaky stanovovány za předpokladu, že voda v nádrži je nestlačitelná kapalina. Řada studií však ukázala, že zanedbání stlačitelnosti vody může vést jak k podhodnocení, tak k nadhodnocení seismické odezvy betonových přehrad. Ve výpočtech metodou konečných prvků bývá stlačitelnost kapaliny často zanedbávána, aniž by byly dostatečně posouzeny důsledky tohoto předpokladu.

Příspěvek představuje praktický čtyř krokový postup pro posouzení vlivu stlačitelnosti vody na seismickou odezvu betonové gravitační přehrady. Tento postup lze využít k předběžnému posouzení, zda je při časové analýze metodou konečných prvků nutné použít stlačitelnou vodu, nebo zda lze bez významného ovlivnění seismické odezvy použít jednodušší model s nestlačitelnou vodou. Použití čtyř krokového postupu je demonstrováno na příkladu obecné betonové gravitační přehrady, přičemž výsledky ukazují, že vliv stlačitelnosti vody byl v tomto případě relativně malý. Na základě citlivostní analýzy bylo zjištěno, že vliv stlačitelnosti vody na chování gravitačních přehrad je nejvýznamnější u přehrad s nízkým poměrem základní vlastní frekvence nádrže k základní vlastní frekvenci samotné přehrady (W_r), u relativně poddajných přehrad, přehrad založených na relativně tuhém podloží, přehrad umístěných v úzkých údolích a u numerických modelů s podložím bez vlastní tíhy.

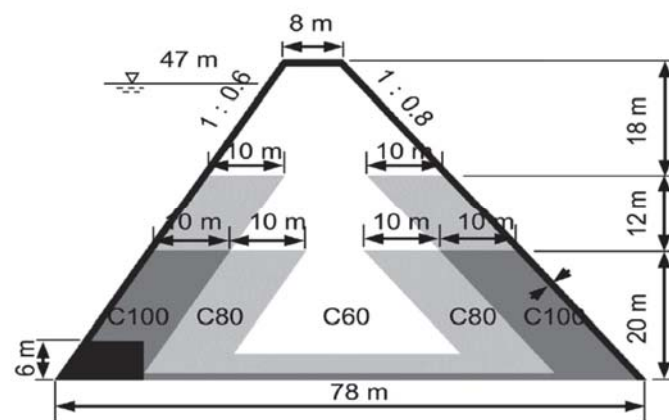


Vztah poměru vlastní frekvence nádrže a přehrady na změny ve zrychlení způsobené uvažováním stlačitelnosti vody. Pro hodnoty poměru nad 1,5 lze stlačitelnost zanedbat.

R. 15 YASUDA, N., CAO, Z., NAKAMURA, T. (Japan)

Optimalizace návrhu lichoběžníkového profilu přehrady z CSG materiálu

S využitím numerického modelování vysvětluje příspěvek účinky modulu pružnosti CSG (cemented sand and gravel) a sklonů návodního a vzdušného líce přehrady na její seismické chování. Za účelem zvýšení bezpečnosti přehrady a snížení nákladů na výstavbu byl v rámci analýzy sklon návodního líce upraven na strmější, přičemž bylo zjištěno, že vnitřní stabilita konstrukce se tím zhoršila. Dále bylo zjištěno, že seismickou bezpečnost lze zvýšit zvýšením dávky cementu v namáhaných oblastech v blízkosti návodní a vzdušní paty přehrady. Náklady na výstavbu přehrady lze tedy významně snížit racionální optimalizací tvaru příčného profilu a rozmístění množství cementu v CSG materiálu, při současném zachování požadované úrovně seismické bezpečnosti.



Vzorový příčný řez přehradou z CSG materiálu s vyznačenými oblastmi se zvýšenou dávkou cementu

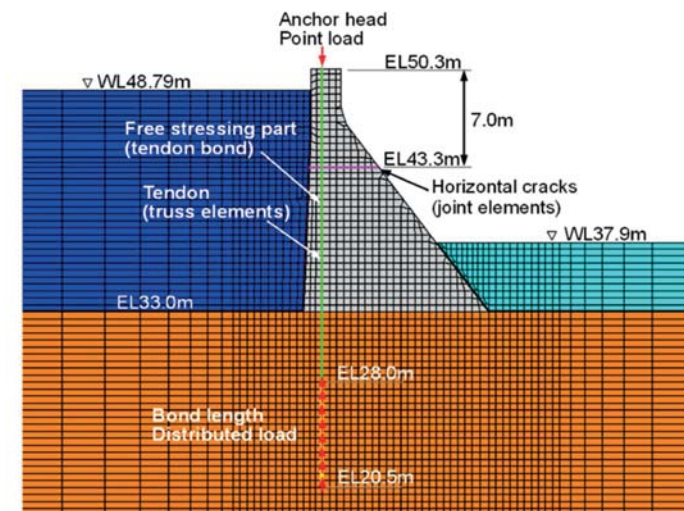
R. 16 KAWASAKI, H., IWATA, N., SUGA, T., KIYOTA, R. (Japan)

Seismická analýza a metody vyztužení malých tížných přehrad s vodorovnými trhlinami

Japonské normy stanovují kritéria seismického chování při kontrolním zemětřesení pro danou lokalitu. Pro betonové tížné přehrady normy doporučují posuzovat seismické chování pomocí nelineární dynamické analýzy, která zohledňuje vznik a šíření tahových trhlin v betonu hráze. U malých přehrad však doporučovaný přístup často nedokáže zachytit vznik tahových trhlin, protože napětí vyvolané seismickým zatížením je relativně malé. Starší přehrady, zejména ty s otevřenými vodorovnými pracovními spárami nemusí, při zohlednění degradace tělesa hráze, splňovat požadavky na bezpečnost. V příspěvku je prezentován dvourozměrný konečně prvkový numerický model přehrady Senbon o výšce 16 m a délce 109 m, která je ve správě Matsue City Waterworks Bureau. A u které dochází k průsakům skrze vodorovné pracovní spáry. Numerický model aproximuje souvislé vodorovné trhliny pomocí kontaktních/spárových prvků.

Výsledky seismické odezvy, při níž byl do modelu zadán maximální možný pohyb podloží vyvolaný zemětřesením, s cílem vyhodnotit vliv vodorovných trhlin na chování přehrady během zemětřesení prokázaly dostatečně vysokou hodnotu součinitele bezpečnosti proti posunutí bloků nad vodorovnými trhlinami. Zároveň ale potvrdil, že v průběhu zemětřesení dochází k rozkmitání konstrukce, které je spojené s posunem podél vodorovných trhlin.

Po přidání účinku předepnutých kotev, které mají za cíl snížit tahová napětí v tělese hráze, výsledky dynamické analýzy prokázali eliminaci posunů podél vodorovných trhlin či spár.



Numerický model přehrady Senbon pro posouzení účinku předpjatých kotev při zemětřesení

R. 17 MATSUOKA, Y., OTSUBO, Y., ARIMITSU, T. (Japan)

Nelineární analytické řešení pilířů hrazeného bezpečnostního přelivu vycházející ze záznamů seismických událostí

Častý výskyt intenzivních zemětřesení v posledních letech si vyžádal seismické posuzování přehrad, jezových uzávěrů a pilířů jezových uzávěrů. Při seismickém posuzování pilířů jezových uzávěrů je nezbytné vyhodnotit kontaktní chování mezi pilířem a uzávěrem během zemětřesení. Konvenční metody analytického modelování však nezohledňují vliv tvaru přelivné části a tuhosti tělesa přehrady, a proto neposkytují dostatečně realistický popis skutečného chování konstrukce.

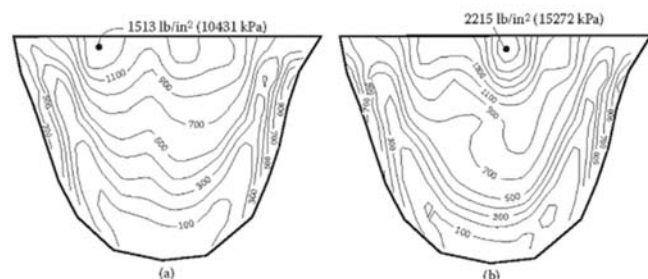
V příspěvku je hodnocen vliv tvaru přelivné části a tuhosti tělesa přehrady na chování pilíře hrazeného přelivu se zohledněním odpovídajících podmínek podepření a omezení pohybu. Použitelnost navrženého přístupu byla ověřena pomocí replikované numerické analýzy, při níž byly využity záznamy seismických pozorování ze skutečné přehrady. Na základě výsledků byl navržen realističtější a odpovídající analytický model pro seismické posuzování pilířů jezových uzávěrů.

R. 18 CHOPRA, A.K. (USA)

Seismické inženýrství betonových přehrad

Příspěvek prezentuje současnou praxi při stanovování návrhových zemětřesení a odpovídajících požadavků na funkční chování betonových přehrad. Dále jsou popsána omezení stávající praxe a navržena možná zlepšení. Tradiční předpoklad životnosti přehrad 100 let je v příspěvku zpochybněn a jsou uvedeny argumenty pro přehodnocení tohoto předpokladu.

Na základě výsledků dynamických analýz čtyř přehrad jsou dále identifikovány charakteristiky interakce přehrada–voda–podloží, které je nutné zahrnout do dynamických analýz.



Maximální vypočtené hodnoty tahových napětí v klenbové přehradě Morrow Point pro analýzu zahrnující stlačitelnost vody (vlevo) a při nestlačitelné kapalině (vpravo)

R. 19 MCCANN, M. W., RUBY, Z., BEATY, M., WESTOVER, T., CASTRO, G., LUNDQVIST, B. (USA)

Hodnocení seismické zranitelnosti sypané hráze pomocí SSHAC

Hodnocení seismické zranitelnosti levé části sypané přehrady Wanapum adaptovalo a implementovalo proces SSHAC za účelem posouzení aleatorních a epistemických nejistot při stanovení odhadu podmíněné pravděpodobnosti havárie přehrad. Hodnocení bylo motivováno snahou společnosti Grant County Public Utility District vytvořit realistický a podrobný odhad rizika havárie přehrad a následků v území pod přehradou, který by podpořil rozhodování založené na riziku o seismické bezpečnosti levé části sypané přehrad Wanapum. Proces SSHAC (Senior Seismic Hazard Analysis Committee) poskytl systematický rámec pro podrobné posouzení zdrojů aleatorních a epistemických nejistot při charakterizaci sypané konstrukce, například počtu rázů ze zkoušky SPT v jednotlivých zónách, poměru cyklického odporu, rychlosti šíření smykových vln a stupně nasycení. Tento formalizovaný postup umožnil podrobnou identifikaci a kvantitativní vyhodnocení řady nejistot, zejména těch, které souvisejí se stanovením poměru cyklického odporu a stupně nasycení. Identifikované zdroje epistemické nejistoty byly zahrnuty do logického stromu, který poskytuje strukturu pro stanovení nejistoty při hodnocení seismické zranitelnosti. V tomto kontextu byl vyhodnocen kumulativní vliv nejistot v charakteristikách sypané konstrukce a v seismickém zatížení na odhad deformací sypané konstrukce a na potenciál havárie v důsledku zemětřesení.

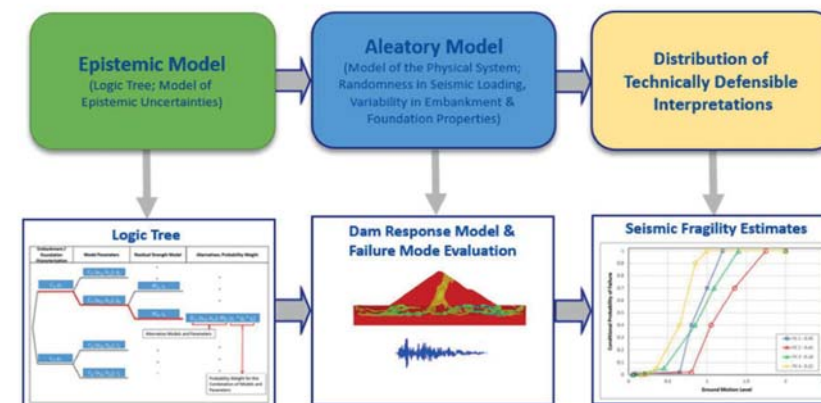
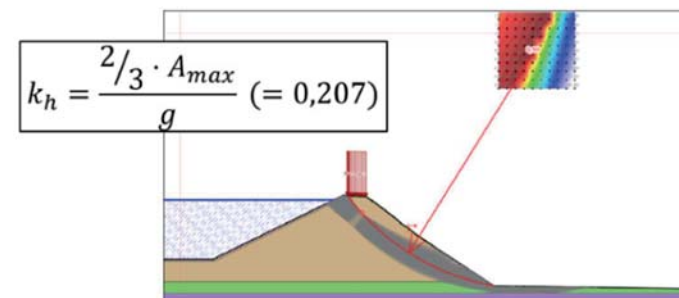


Schéma modelů epistemických a aleatorických nejistot

R. 20 COUBARD, G., ALVES-FERNANDES, V., KOLMAYER, P., MONDOLONI, A., GRANJON, R., FELLAG, R., MEYNET, J. (France)

Hodnocení seismické stability hrází velkých francouzských kanálů metodou postupného přiblížení (příspěvek je pouze ve francouzštině)

Opakované seismické hodnocení rozsáhlých vodohospodářských soustav s dlouhými liniovými kanály přináší řadu organizačních a logistických problémů. Tyto dlouhé liniové kanály dosahují délky několika set kilometrů a představují významnou součást infrastruktury dvou hlavních francouzských vlastníků, společností EDF a CNR. Od roku 2018 stanovuje platná legislativa povinné případy, ve kterých musí být přehrad a hráze podrobeny bezpečnostnímu posouzení. Pokud jde o seismické posouzení, je jeho provedení povinné v nejvýznamnějších seismických oblastech, klasifikovaných stupněm 3 nebo vyšším. To vede inženýrské týmy společností EDF a CNR k vývoji a používání stupňovitých metodik jak pro analýzu rizika ztekucení, tak pro analýzu dynamického smykového namáhání, a to od pseudostatických metod až po zjednodušené dynamické metody časové odezvy.



Příklad pseudostatické analýzy

R. 21 ANDRIAN, F., VONIE, M., YZIQUEL, A., TARDIEU, B., ROBBE, E., HUMBERT, N. (France)

Revize a aktualizace mechanismů porušování klenbových přehrad vystavených středně a velmi silným seismickým zatížením na základě výsledků numerických analýz (příspěvek je pouze ve francouzštině)

Většina klenbových přehrad byla navržena před rokem 1990 bez použití moderních metod hodnocení seismického rizika. Tento příspěvek shrnuje a aplikuje současné postupy. Zároveň na základě numerických simulací navrhuje dodatečný mechanismus porušení k mechanismům běžně uvažovaným pro případy seismického zatížení. Dále navrhuje kritéria chování a přístupy k modelování pro stanovení souvisejících součinitelů bezpečnosti. Příspěvek následně prezentuje seismickou analýzu přehrady Enguri v oblasti s vysokou seismicitou a zkušenosti získané z analýz šesti francouzských klenbových přehrad vybudovaných v oblastech se střední seismicitou. Autoři shrnují postupy, které považují za stav současného poznání při hodnocení chování těchto konstrukcí během zemětřesení od střední až po vysokou intenzitu.

Předpokládá se, že zemětřesení může v klenbové přehradě vyvolat pouze vislé trhliny v kontrakčních spárách a vodorovné trhliny v pracovních spárách mezi betonovými vrstvami. Obdobně se připouští možnost relativních posunů na rozhraní přehrady a základové horniny. Pokud však v betonu nedochází k nadměrnému tlakovému namáhání, není trhlinka obecně považována za kritickou. Kromě analýzy seismických napětí patří mezi běžně ověřované mechanismy porušení také posun bloků horniny a dynamické převrácení bloku směrem k návodní straně. Současné fyzikální modely a numerické simulace ukazují, že mechanismy porušení klenbových přehrad se týkají především horní části konstrukce a zahrnují oddělení některých částí od hlavního tělesa přehrady, přičemž dosud neexistuje jednotný přístup k definování a posuzování příslušného mezního stavu únosnosti.

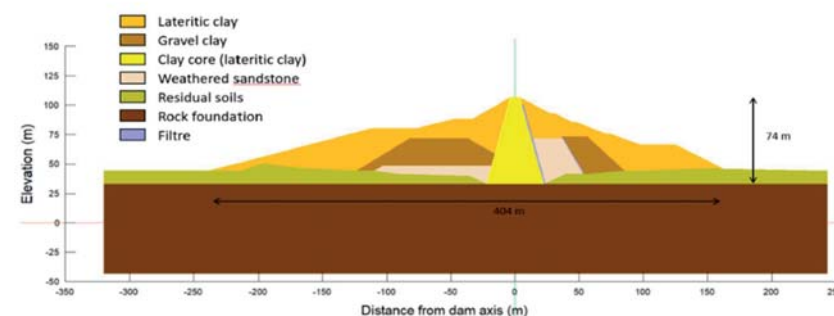
Seismická analýza přehrady Enguri, jedné z nejvyšších klenbových přehrad, která musí být posouzena na zemětřesení s PGA blízkým 1 g, odhalila vysoká smyková napětí v betonu v oblastech vzdálených od opěrných částí přehrady, což je v souladu s vlastním tvarem kmitání klenby. Tato napětí se při statických zatěžovacích stavech nevyskytují, což naznačuje potenciální mechanismus porušení spočívající v odtržení a vyvrstvení částí konstrukce směrem po proudu v případě nadměrného namáhání. Příspěvek podrobně popisuje přístup k charakterizaci tohoto mechanismu porušení a ke stanovení příslušných součinitelů bezpečnosti. Zároveň shrnuje kritéria odezvy přehrady a postupy pro stanovení součinitelů bezpečnosti vztahujících se k mechanismům porušení, které jsou již běžně analyzovány v rámci současného stavu poznání. Kromě výsledků prezentovaných pro klenbovou přehradu v oblasti s vysokou seismicitou příspěvek rovněž uvádí souhrn výsledků seismických analýz šesti klenbových přehrad ve Francii, které byly vybudovány v oblastech s nízkou až střední seismicitou. Tento souhrn poskytuje užitečné řádové hodnoty pro ověřování numerických modelů. Zároveň ukazuje, že u klenbových přehrad vybudovaných v oblastech se střední seismicitou je vznik mechanismu porušení v horní části konstrukce – ať již v důsledku převrácení bloku směrem k návodní straně, nebo smykového porušení podél plochy v horní části přehrady – zřejmě málo pravděpodobný.

R. 22 MASSON, C., DEMARS, S., BROUSSET, F., ANDRIAN, F., LABBE, P., KTEICH, Z., ALVES FERNANDES, V., BARD, P.-Y., CHALJUB, E., GRANJON, R., FRY, J.-J. (France)

Hodnocení seismické odezvy sypaných přehrad novou generací zjednodušených a strukturovaných metod

Příspěvek navrhuje zjednodušené a strukturované přístupy k posuzování seismického chování sypaných hrází. Nejprve je popsána linearizační metoda, která zohledňuje vliv pórového tlaku na ekvivalentní smykový modul. Tento přístup je aplikován na přehradu Aratozawa, která byla vystavena zemětřesení s PGA = 1,04 g. Následně je na sypané přehradě s výškou obdobnou přehradě Aratozawa a vystavené velmi silnému seismickému zatížení (PGA = 1,22 g) aplikován strukturovaný přístup, zahrnující statickou analýzu, zjednodušenou dynamickou analýzu a nelineární analýzu časové odezvy.

V závěru příspěvku je představena nová zjednodušená metoda pro hodnocení seismického chování ochranných hrází, sypaných konstrukcí a středně velkých přehrad. Tato metoda při posuzování jejich seismického chování zohledňuje specifickou geometrii konstrukce a vlastnosti podloží.



Numerický model hráze hodnocené pomocí strukturovaného přístupu

R. 23 JOVANI, A., DUNI, L. (Albania)

Velké přehrady a nová pravidla pro seismické ohrožení v Albánii

Albánie má téměř 650 přehrad, z nichž přibližně 350 je klasifikováno jako velké přehrady. Téměř všechny velké přehrady v Albánii jsou zemní sypané přehrady. Pouze 4 velké přehrady jsou betonové a 12 velkých přehrad jsou sypané kamenité přehrady. Výška 10 velkých přehrad přesahuje 60 m a 4 z nich jsou vyšší než 100 m. Stejně jako v mnoha dalších zemích byly i v Albánii téměř všechny přehrady v době svého návrhu posuzovány pomocí pseudostatické metody seismické analýzy s použitím seismického součinitele 0,1, který je dnes považován za zcela nevyhovující. V Albánii dosud nedošlo k mimořádným událostem spojeným se ztrátami na životech v území pod přehradami. Podle současných přístupů by však velké přehrady měly být schopny odolat účinkům nejsilnějšího pohybu podloží, který lze v dané lokalitě očekávat.

S ohledem na doporučení ICOLD a nové pravděpodobnostní mapy seismického ohrožení Albánie, které již nejsou založeny na seismické intenzitě jako míře intenzity, ale na PGA

a spektrálních parametrech, bylo připraveno vládní rozhodnutí „O stanovení postupů a podmínek pro získání osvědčení o riziku pro subjekty žádající o stavební povolení“. U velkých přehrad určených pro vodní energetiku, zásobování vodou a městské využití se faktory významnosti aplikují na stejnou dobu návratu pro PGA na skalním podloží, která je uvedena v původních návrhových podkladech, případně na PGA s dobou opakování 2 000 let.

V příspěvku jsou představena nová pravidla pro hodnocení seismického ohrožení přehrad v Albánii.

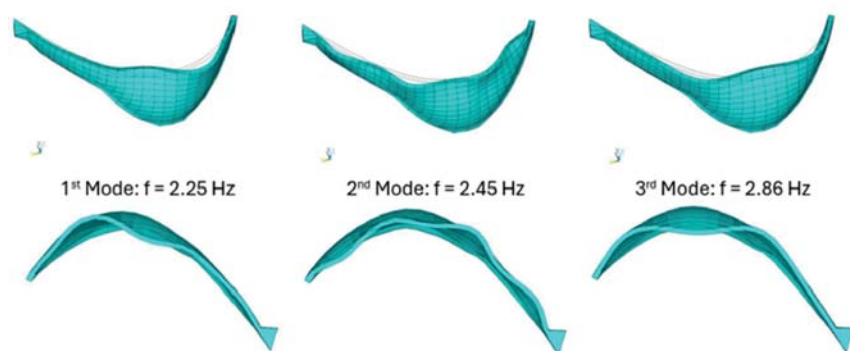
R. 24 GAFTOI, D., CHESCA, B., SARGHIUTA, R., POPESCU, C., LUNGU, L. (Romania)

Seismický monitoring klenbové přehrady Paltinu

Přehrada Paltinu je tvořena centrálním symetrickým klenbovým tělesem s dvojí křivostí, které spočívá na pulvinu prostřednictvím obvodové spáry, a parabolickým křídlem, které se rozprostírá přes terasu levé opěry. V průběhu své existence byla podrobena intenzivnímu monitoringu pomocí měření okolních vibrací přímo na konstrukci hráze. V rámci tohoto monitorovacího programu byl vytvořen matematický model metodou konečných prvků (MKP), který byl kalibrován na základě údajů z počátečních etap měření a následně využíván k hodnocení bezpečnosti konstrukce v jednotlivých etapách monitoringu.

Za účelem dalšího rozšíření možností seismického monitoringu byl v roce 2022 instalován nový systém sestávající ze šesti akcelerometrů – jeden ve volném poli, jeden na každém z opěrných boků, jeden v základové části uvnitř spodní štoly a dva na koruně přehradu – a jednoho seismometru, který byl umístěn na západním opěrném boku, protože se jedná o nejméně rušenou oblast přehradu. Od instalace nového monitorovacího systému zaznamenal sérii událostí nízké intenzity.

Příspěvek stručně představuje původní monitorovací program, který stále pokračuje, a nově instalovaný systém seismického monitoringu. Zároveň porovnává oba systémy z hlediska zaznamenaných vlastních frekvencí konstrukce.



První tři vlastní tvary klenbové hráze a odpovídající frekvence

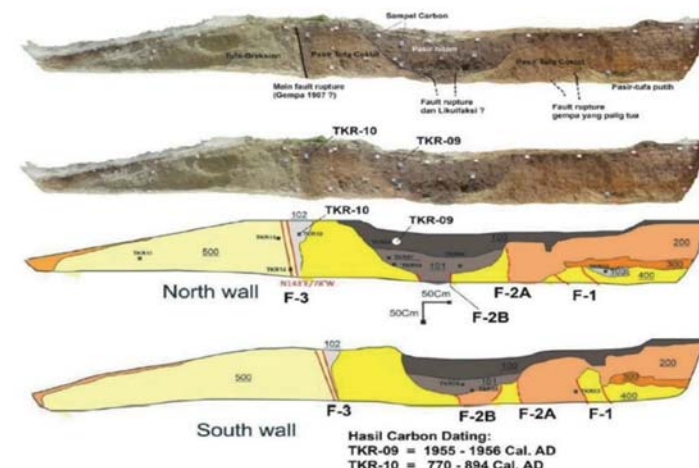
R. 25 DJARWADI, D. (Indonesia)

Identifikace aktivních zlomů pro analýzu seismického ohrožení

Přehrady vybudované v oblastech s vysokou seismicitou vyžadují řádné posouzení seismického ohrožení, protože otřesy způsobené zemětřesením mohou vyvolat značné trvalé deformace koruny přehrad, sesouvání na jejich svazích, vznik trhlin v betonových přehradách nebo jiné trvalé deformace, které mohou vést až k porušení betonové konstrukce. Pro stanovení seismotektonické mapy lokality přehrad, která obsahuje informace o seismickém ohrožení a charakterizuje danou lokalitu z hlediska jejího vystavení seismickému zatížení, je nutné provést posouzení seismického ohrožení v blízkém i vzdáleném okolí přehrad.

Posouzení seismického ohrožení ve vzdáleném okolí bylo podle doporučení ICOLD prováděno v okruhu 100 km od přehrad. Tento rozsah však může být v případě výskytu subdukční zóny nebo významné zlomové linie, která může generovat silné zemětřesení, rozšířen až na 300 km. Posouzení seismického ohrožení v blízkém okolí se provádí za účelem podrobnějšího vyhodnocení existence a aktivity zlomů nacházejících se v blízkosti přehrad, které byly identifikovány již v rámci hodnocení seismického ohrožení ve vzdáleném okolí.

Příspěvek se zabývá identifikací aktivních zlomů v blízkém i vzdáleném okolí přehrad v rámci hodnocení seismického ohrožení. Je diskutována klasifikace aktivních zlomů a metody, které lze použít k jejich identifikaci. Další zvýšení úrovně poznání o charakteru a aktivitě zlomů lze dosáhnout pomocí paleoseismologických výkopů a datování uhlíku v charakteristických geologických vrstvách souvisejících s předpokládanými aktivními zlomy. Tyto metody mohou poskytnout informace například o době opakování zemětřesení, posledním zemětřesení a interpretaci geologické rychlosti posunu podél zlomu. Příspěvek rovněž uvádí příklady a výsledky identifikace aktivních zlomů.



Paleoseismologický výkop zlomu Slankam v Jambi

R. 26 DJARWADI, D. (Indonesia)

Současná praxe pro hodnocení seismického ohrožení přehrad v Indonésii

Indonésie patří mezi země s vysokou seismickou aktivitou. Indonésie je obklopena čtyřmi hlavními subdukčními zónami, v nichž dochází k podsouvání Australské, Asijské, Pacifické a Filipínské desky pod okolní tektonické struktury Indonéského souostroví, což představuje potenciál pro vznik silných zemětřesení. K zemětřesením mohou přispívat také významné aktivní zlomy na Sumatře, Jávě, Sulawesi, Molukách a Papui. Pro stanovení intenzity seismického zatížení je nezbytné dostatečně znát magnitudu a vzdálenost zdrojů zemětřesení a na jejich základě určit parametry seismického pohybu, které lze následně použít při dynamické analýze přehrad se zohledněním seismického zatížení.

Příspěvek pojednává o současné praxi hodnocení seismického ohrožení přehrad v Indonésii. V době zpracování článku byla dokončena metodika analýzy seismického ohrožení, která čekala na další odborné posouzení před zveřejněním a zpřístupněním veřejnosti. Tato metodika stanovuje postupy pro provádění posouzení seismického ohrožení přehrad během jednotlivých etap přípravy a realizace projektu. Posouzení během výstavby je důležité zejména proto, že výkopy základové půdy a další stavební práce související s pomocnými objekty mohou odhalit existenci zlomů, které nebyly identifikovány v předchozích etapách průzkumu.

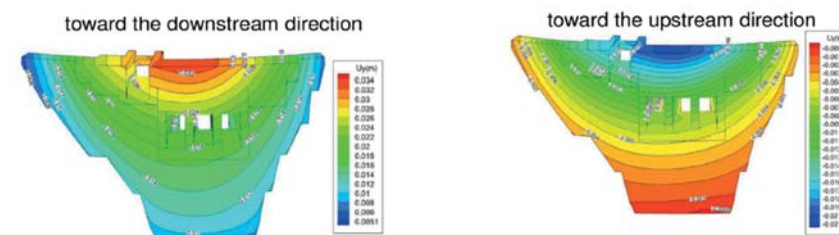
Riziko porušení přehrad v důsledku zemětřesení a potenciální důsledky pro území pod přehradou ovlivňují způsob a rozsah prováděného posouzení seismického ohrožení. Přehrady s nízkým a středním rizikem porušení v důsledku zemětřesení proto vyžadují jiný rozsah průzkumů a analýz než přehrad s vysokým a extrémním rizikem. Příspěvek rovněž diskutuje výsledky posouzení seismického ohrožení prezentované ve formě seismotektonických map.

R. 27 ZHISHAN, L., ZHIJIE, W. (China)

Návrh betonových přehrad hydroenergetického projektu Batang Toru v Indonésii založených na poddajných horninách na seismické zatížení

Přehrada Batang Toru se nachází v severní části ostrova Sumatra v Indonésii, v blízkosti aktivní zlomové zóny Sumaterského zlomu. Jedná se o betonovou tížnou přehradu založenou na tufovém podloží v oblasti s vysokou seismicitou, a proto je její seismické chování zásadním hlediskem návrhu. Za účelem zvýšení seismické odolnosti betonové přehrady byla oproti původně navržené přímé gravitační přehradě se třemi korunovými přelivy zvolena zakřivená tížná přehrada se třemi přelivy ve střední úrovni a jedním korunovým přelivem. Klenbový účinek zakřiveného tvaru umožňuje přenášet část seismického zatížení.

Pro předběžný výběr tvaru přehrad byla pro zatěžovací stav s návrhovým zemětřesením použita 2D analýza stability a napětí metodou seismického součinitele. Následně byly vytvořeny 3D modely metodou konečných prvků pro těleso přehrady i základovou horninu. Pro posouzení chování a bezpečnosti přehrad při seismickém zatížení byly použity lineární analýza spektra odezvy a nelineární analýza časové odezvy. Pro zvýšení seismické odolnosti byly do tělesa přehrady a jejich liců navrženy seismické výztuže a současně byla přijata další ochranná a preventivní opatření ke zvýšení odolnosti betonové konstrukce vůči účinkům zemětřesení. Příspěvek představuje možnosti zvýšení seismické odolnosti betonové tížné přehrad založené na relativně poddajném skalním podloží a může sloužit jako užitečný podklad pro seismický návrh betonových přehrad v oblastech s vysokou seismicitou.



Vypočtené hodnoty posunů v radiálním směru

R. 28 CHEN, J., XIA, F. (China)

Analýza deformačních charakteristik extrémně vysokých klenbových přehrad při provozu

Příspěvek byl vyjmut z otázky Q111 a přesunut ve sborníku ICOLD pod sekci *Sdělení*, neboť nezohlednil hlavní téma kongresové otázky.

R. 29 XU, M. Y., XIE, CH., TIAN, J., CHEN, J., HOU, CH. (China)

Příprava bezpečnostních kritérií pro průsak extrémně vysokými klenbovými přehradami

Příspěvek byl vyjmut z otázky Q111 a přesunut ve sborníku ICOLD pod sekci *Sdělení*, neboť nezohlednil hlavní téma kongresové otázky.

R. 30 CHEN, H. (China)

Rychlé hodnocení seismické bezpečnosti betonových přehrad po průchodu zemětřesení

Čína je seismicky aktivní zemí s mnoha betonovými přehradami nacházejícími se v západních oblastech s vysokou seismicitou. V případě silného zemětřesení je nezbytné provést rychlé posouzení bezpečnosti těchto konstrukcí, aby bylo možné včas informovat příslušné orgány, vydat odpovídající informace veřejnosti a přijmout vhodná havarijní a nouzová opatření.

Vzhledem k tomu, že seismický návrh vodohospodářských staveb představuje základní předpoklad pro rychlé hodnocení jejich celkové seismické bezpečnosti, příspěvek stručně představuje inovativní přístupy a koncepty používané v současném seismickém návrhu významných betonových přehrad v Číně. Na základě výše uvedených přístupů článek navrhuje koncepty a metody pro rychlé posouzení bezpečnosti po zemětřesení, které zahrnují rychlé stanovení seismického vstupu ve formě časového průběhu zrychlení v lokalitě přehrad, rychlý výpočet a stanovení odpovídajících klíčových hodnot odezvy ve formě posunů, které charakterizují celkovou seismickou bezpečnost systému přehrad a stanovení aktuálního stavu a úrovně seismické bezpečnosti přehrad po zemětřesení.

R. 31 ZHONG, H., ZHAO, L., WANG, H., LI, CH., TU, J. (China)

Experimentální ověřování modelování interakce systému přehrada-nádrž-podloží pro vysoké tížné přehrady na vibračním stole

Seismická odezva tížné přehrady z válcovaného betonu (RCC) o výšce 200 m byla zkoumána pomocí zkoušky na vibračním stole. V modelu byly zahrnuty všechny bloky přehrady včetně smršťovacích spár, pilířů uzávěrů na bezpečnostním přelivu, samotné uzávěry i s přílehlou odběrnou věží. Modelový systém dále zahrnoval část nádrže, část základové horniny a také topografické charakteristiky údolí v blízkosti přehrady. Pro simulaci radiálního útluhu v neomezeném základovém prostředí byla použita tlumicí hranice tvořená viskózní kapalinou. Byly zkoumány dynamické charakteristiky a odezva přehrady při různých dynamických zatíženích, včetně náhrvového a kontrolního zemětřesení a také série přetěžovacích stavů s postupně se zvyšující amplitudou.

V tomto příspěvku jsou prezentovány výsledky odezvy přehrady při náhrvovém zemětřesení a kontrolního zemětřesení. Bylo zjištěno, že vlastní frekvence ve směru napříč údolím je hladinou vody ovlivněna jen nepatrně, zatímco ve směru podél toku se vlastní frekvence snížila maximálně o 23,6 %. Po ukončení všech dynamických zkoušek došlo u základní vlastní frekvence nejvyššího nepřelivného bloku ke snížení o 10,12 %. Vliv topografie údolí je výraznější na zrychlení paty přehrady ve směru napříč údolím než ve směru podél toku. Rovněž zrychlení, posuny, deformace a rozevření kontrakčních spár se mezi jednotlivými bloky přehrady liší. Výzkum přispívá k lepšímu pochopení celkové seismické odezvy vysokých tížných přehrad.

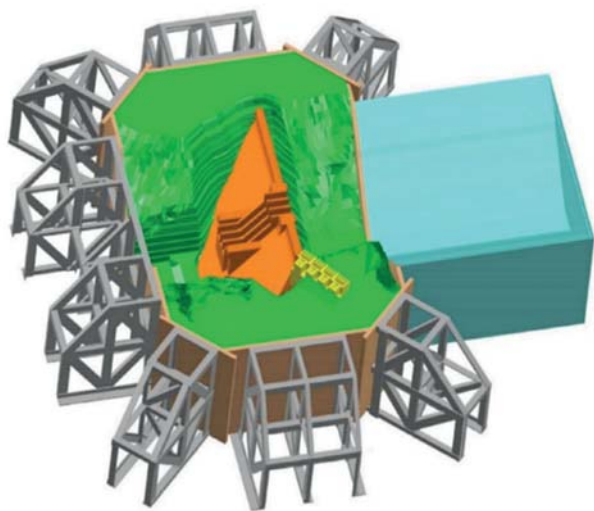


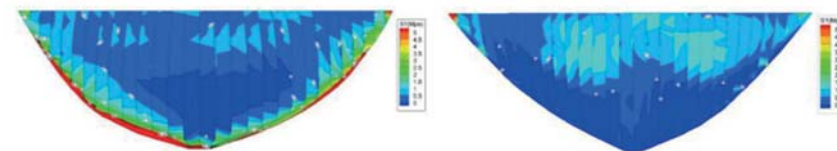
Schéma uspořádání experimentu v laboratoři

R. 32 TU, J., LIANG, H., LI, D., ZHANG, C., WANG, S. (China)

Studie ověření seismického chování klenbové přehrady Dagangshan při zemětřesení Luding

Příspěvek vychází ze záznamů zrychlení tělesa přehrady a skalního podloží, získaných z monitoringu klenbové přehrady Dagangshan během zemětřesení Luding, a také z dalších výsledků monitoringu bezpečnosti. Cílem je provést ověření seismického chování porovnáním numerických výpočtů se skutečně zaznamenanou seismickou odezvou přehrady. Jako vstupní seismické zatížení byly použity záznamy zrychlení z měřicích bodů ve volném poli v lokalitě přehrady. Jako materiálové parametry byly použity statické a dynamické moduly pružnosti betonu a jeho pevnostní charakteristiky, získané při zkouškách dynamických mechanických vlastností betonových vzorků s plným zrnitostním rozsahem.

Za podmínek hladiny vody v nádrži v době zemětřesení a dalších odpovídajících zatěžovacích stavů byla provedena analýza odezvy na seismické vlnění s využitím viskoelastické umělé hranice, která umožňuje zohlednit radiální útlum energie v neomezeném základovém prostředí. Výsledky numerických výpočtů a analýz byly ověřeny na základě odezvy zrychlení zaznamenané ve více měřicích bodech na tělese přehrady, rozevření příčných spár a celkového napětí v tělese přehrady, zahrnujícího kombinaci statického a dynamického napětí. Výsledky ukázaly, že klenbová přehrada Dagangshan odolala silnému zemětřesení Luding o magnitudě Ms 6,8 a po zemětřesení nebylo na tělese přehrady zjištěno žádné poškození. Seismická bezpečnost systému přehrada-podloží se nezměnila. Výsledky rovněž potvrdily, že metoda analýzy seismické odezvy systému přehrada-podloží, použitá během návrhu a výstavby klenbové přehrady Dagangshan, dokáže realisticky simulovat seismickou odezvu přehrady.



Hlavní tahová napětí na návodním (vlevo) a vzdušným (vpravo) lici přehrady

R. 33 ZHANG, Y., TIAN, J., WU, Z., YANG, Y., YU, S., YIN, P., DENG, G. (China)

Využití algoritmu GA-CART pro predikce úrovně ztekucení a podélných posunů

Umělá inteligence a strojové učení se postupně využívají jako podpůrné nástroje při řešení komplexních problémů v geotechnickém inženýrství. Na základě databáze případů výskytu ztekucení zemin je v tomto příspěvku popsán algoritmus GA-CART pro predikci bočního posunu způsobeného ztekucením. V tomto modelu se genetický algoritmus (GA) používá ke stanovení výpočetních parametrů rozhodovacího stromu CART. Boční posun vyvolaný ztekucením je rozdělen do čtyř úrovní. Do modelu byly zahrnuty následující parametry. Tloušťka ekvivalentní vrstvy náchylné ke ztekucení, obsah jemných částic, špičkové zrychlení podloží a topografické faktory. Na základě těchto parametrů byl navržen praktický diagram pro predikci úrovně bočního posunu způsobeného ztekucením.

Navržený model GA-CART je jednoduchý, snadno použitelný a aktualizovatelný. Celková úspěšnost predikce se oproti tradiční metodě zvýšila přibližně o 5–8 %. Nakonec byla pomocí modelu GA-CART provedena citlivostní analýza faktorů ovlivňujících boční deformaci způsobenou zkapalněním. Výsledky ukazují, že poměr volného prostoru W a sklon svahu S představují nejcitlivější faktory ovlivňující boční deformaci ztekuceného území. Následují tloušťka ekvivalentní vrstvy, obsah jemných částic a špičkové zrychlení podloží.

R. 34 WANG, S., ZHAO, L., ZHANG, C. (China)

Simulace širokopásmových pohybů zemského povrchu: citlivost na délku pulzu funkce rychlosti skluzu zdrojového prvku

Funkce rychlosti smýkání je jedním z nejdůležitějších faktorů při simulaci silných pohybů zeminy s využitím kinematického modelu zdroje zemětřesení. V tomto příspěvku je diskutována více Gaussovska funkce rychlosti smýkání, která je tvořena Gaussovy funkcemi s různou šířkou pásma a různým počátečním časem. Pomocí metody spektrálních elementů je simulováno dotřesové zemětřesení po zemětřesení Luding ze 7. září 2022, přičemž jsou použity jak nově navržená funkce rychlosti smýkání, tak funkce podle Liu et al. (2006). Cílem je posoudit vliv délky počátečního pulzu rychlosti ve funkci smýkání na simulaci pohybu půdy.

Porovnáním výsledků bylo zjištěno, že nově navržená funkce rychlosti smýkání může při vhodné volbě parametrů aproximovat jiné funkce rychlosti smýkání. Pokud je celková doba nárůstu procesu ruptury stejná, má délka počátečního pulzu rychlosti významný vliv na středofrekvenční a vysokofrekvenční složky simulovaného pohybu půdy. Čím kratší je délka pulzu, tím vyšší je intenzita středofrekvenčního a vysokofrekvenčního pohybu. Na nízkofrekvenční složku má však délka pulzu pouze omezený vliv. Nově navržená více Gaussovska funkce rychlosti skluzu je flexibilnější než model podle Liu et al. (2006) a při vhodném nastavení parametrů mohou výsledky simulací s využitím tohoto nového modelu lépe odpovídat reálně zaznamenaným seismickým záznamům. Prezentovaná předběžná studie může přispět k novému pohledu na širokopásmovou simulaci pohybu půdy pomocí metody spektrálních elementů.

R. 35 LIANG, H., YAN, CH., GUO, S., TU, J. (China)

Efekt otvorů a pilířů výpustí na seismickou odezvu vysoké klenbové přehrady

Příspěvek představuje seismickou analýzu vysoké klenbové hráze s výpustními otvory a pilíři výpustí a bez nich, přičemž je zohledněn účinek radiačního tlumení nekonečného podloží a kontaktní nelinearita smršťovacích spár. Statické a dynamické posuny, napětí a rozevření smršťovacích spár jsou v rámci obou variant porovnány a analyzovány s cílem prokázat vliv uspořádání víceúrovňových otvorů pro odvádění povodňových průtoků na seismické chování klenbové hráze. Bylo zjištěno, že vliv otvorů a pilířů výpustí na statickou a dynamickou odezvu je celkově nevýznamný. Relativně výraznější rozdíly se objevují především v okolí otvorů a pilířů.

R. 36 DONGHONG, G., RUIHENG, Z. (China)

Seismická analýza kamenité přehrady s návodním asfaltobetonovým těsněním při průchodu zemětřesení s vysokou intenzitou

Navrhovaná přečerpávací vodní elektrárna se nachází v oblasti Číny s vysokou seismickou aktivitou. Horní nádrž je tvořena sypanou kamenitou hrází s asfaltobetonovým těsnicím pláštěm na návodním svahu, přičemž maximální výška hráze činí 101 m. Pomocí trojrozměrné nelineární metody konečných prvků jsou provedeny výpočty statického a dynamického napětí a deformace hráze a následně je analyzována její seismická stabilita.

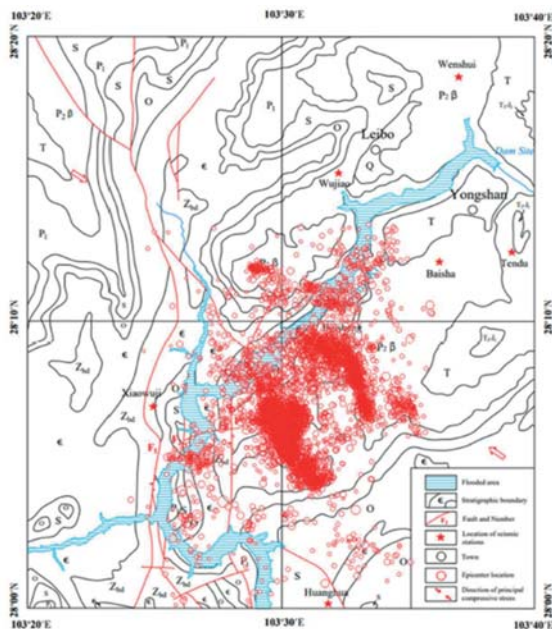
Výsledky ukazují, že průběh deformací hráze za statických podmínek odpovídá obecným zákonitostem. Během období plné nádrže dosahují extrémní hodnoty vodorovného posunu a sednutí tělesa hráze 3,1 cm, respektive 40 cm. Při kontrolním zemětřesení s pravděpodobností překročení 1 % (seismické zrychlení 0,897 g) je dynamická odezva tělesa hráze a asfaltobetonového pláště rozložena v přiměřeném a očekávaném rozsahu. Extrémní hodnoty zrychlení tělesa hráze ve směru po proudu, ve směru osy hráze a ve svislém směru činí 10,649, 9,824 a 11,497 m/s². Při zohlednění superpozice seismického účinku a statického zatížení vzniká maximální tahová deformace asfaltobetonového pláště v místě napojení pláště na nádrž v blízkosti boční části hráze, kde dosahuje hodnoty 0,441 %. Tato hodnota je nižší než obecně přípustná hodnota tahové deformace modifikovaného asfaltobetonu.

R. 37 CHANG, T., ZHANG, Y. (China)

Analýza faktorů ovlivňujících zemětřesení střední intenzity vyvolaného výstavbou nádrže

Problematika zemětřesení vyvolaných napuštěním nádrží není pouze významným technickým problémem v akademické oblasti, ale zároveň představuje předmět značného společenského zájmu. Zejména v případech, kdy v oblasti nádrže dojde k zemětřesení střední intenzity nebo vyšší, panují mezi jednotlivými odborníky značné rozpory ohledně určení původu a charakteru seismické události.

Příspěvek vychází z reprezentativních případů typických zemětřesení zaznamenaných v Číně a komplexně analyzuje seismické pozadí zemětřesení střední intenzity vyvolaných napuštěním nádrží. Současně shrnuje společné charakteristiky těchto indukovaných zemětřesení střední intenzity v oblasti nádrží. Výsledky mají významnou referenční hodnotu pro posuzování, zda zemětřesení souvisí s napuštěním nádrže, a pro predikci rizika zemětřesení vyvolaných napuštěním nádrží. Zároveň poskytují technickou podporu pro hlubší zkoumání mechanismu vzniku zemětřesení indukovaných napuštěním nádrží.



Epicentra zemětřesení po napuštění nádrže Xiluodu

R. 38 ZHAO, L., WANG, S. (China)

Experimentální ověření jednoosé dynamické odezvy betonových vzorků přehrady Bda

Přehrada vodní elektrárny BDa, nacházející se v Tibetské autonomní oblasti, je vystavena vysokému stupni seizmického zatížení odpovídajícímu VIII. stupni seizmické intenzity. Tato studie představuje experimentální výzkum dynamického chování betonu při jednoosém zatížení na vzorcích odebraných z přehrady BDa. S využitím velkoobjemového zkušebního zařízení pro zkoušení materiálů s kapacitou 15 MN byla provedena série statických a dynamických zkoušek na betonových vzorcích s plnou granulometrickou skladbou a na vzorcích z mokrého prosévání. Cílem těchto zkoušek bylo stanovit dynamickou pevnost betonu v tlaku, pevnost v příčném tahu a pevnost v ohybu při různých rychlostech deformace, které simulují účinky různých seizmických událostí.

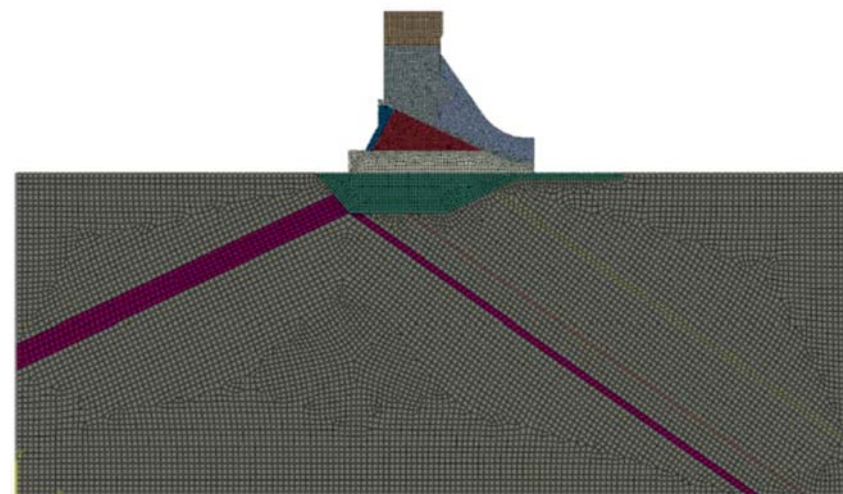
Experimentální výsledky vykazují výrazný nárůst pevnosti v tlaku i pevnosti v tahu se zvyšující se rychlostí deformace, což poukazuje na významnou citlivost dynamické odezvy betonu na podmínky zatěžování. Je pozoruhodné, že vzorky získané mokřím proséváním vykazovaly za kvazistatických podmínek vyšší hodnoty pevnosti, což zdůrazňuje význam reprodukce podmínek odpovídajících skutečným podmínkám v konstrukci pro přesné stanovení

mechanických vlastností materiálu. Zjištěné výsledky poskytují nezbytné parametry pro seizmické numerické simulace a analýzy, přispívají k současnému poznání chování betonu při seizmickém zatížení a poskytují vědecký podklad pro zvýšení bezpečnosti a spolehlivosti vodohospodářských staveb. Výsledky mají význam také pro budoucí postupy při seizmickém navrhování, zejména u vodohospodářských staveb v oblastech s vysokou seizmickou aktivitou.

R. 39 WANG, M., ZHANG, K., ZHANG, Y. (China)

Analýza seizmické zranitelnosti tížných přehrad založená na MSA

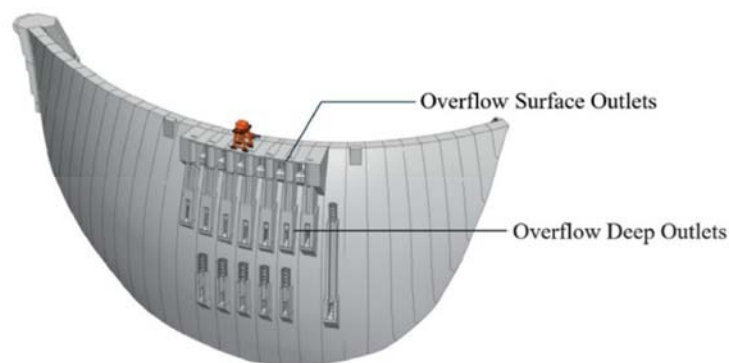
MSA (Multiple Stripe Analysis) je metoda analýzy zranitelnosti pro diskrétní pevnostní faktory, která poskytuje účinný postup pro hodnocení bezpečnosti konstrukcí, avšak v oblasti inženýrství tížných hrází se v současnosti používá jen omezeně. V této práci je pro projekt betonové tížné hráze jako ukazatel chování konstrukce zvolen posun koruny hráze ve směru po proudu v úseku bezpečnostního přelivu. Je zohledněna náhodnost seizmického buzení podloží a účinek radiačního tlumení podloží je uvažován pomocí viskoelastických okrajových podmínek. Následně je provedena nelineární stochastická analýza metodou konečných prvků na základě modelu plastického poškození betonu. Nakonec je pomocí metody MSA provedena analýza náchylnosti konstrukce k poškození a jsou stanoveny křivky fragility a pravděpodobnosti výskytu jednotlivých úrovní poškození hráze. Výsledky poskytují vodítka a referenční podklady pro hodnocení odolnosti hráze vůči silnému seizmickému zatížení.



Numerický model hráze mimo přelivný blok

R. 40 XU, J., XU, J., JI, H., WANG, J. (China)**Vývoj a aplikace klíčových technologií pro velmi vysokou klenbovou přehradu schématu pro využití vodní energie Baihetan**

Vodní elektrárna Baihetan je druhou největší vodní elektrárnou na světě s celkovým instalovaným výkonem 16 GW a maximální výškou hráze 289 m. Lokalita hráze se nachází v typickém horkém a suchém údolí řeky Jinsha, které se vyznačuje asymetrickými topografickými a geologickými podmínkami na obou opěrách hráze. Přibližně 40 % plochy základové spáry hráze je tvořeno snadno zvětřavajícím sloupcovitě odlučným bazaltem a seizmická intenzita v místě stavby dosahuje základní hodnoty VIII. stupně, což představuje pro realizaci projektu značné technické výzvy. Pro zajištění úspěšné realizace projektu provádějí inženýři a výzkumní pracovníci řadu studií zaměřených na řešení těchto problémů, včetně sanace a využití sloupcovitě odlučného bazaltu v základové půdě hráze, stability opěr hráze proti posunutí, regulace teploty a prevence vzniku trhlin v betonu s nízkým vývinem hydratačního tepla a seizmické odolnosti vysokých klenbových hrází. Tyto práce vedly k významným technologickým průlomům a poskytly cenné zkušenosti pro výstavbu budoucích vysokých klenbových hrází.



Klenbová přehrada Baihetan – 3D zobrazení s vyznačenými místy oslabení klenby

R. 41 MA, L., CHEN, J., ZHOU, J., JIANG, B. (China)**Možnosti systémů přehrad pro včasné varování a monitoringu po zemětřesení založených na platformě managementu inteligentního monitoringu bezpečnosti**

Nárůst četnosti různých geologických katastrof vyvolává potřebu zavést účinné systémy včasného varování a zajistit monitorování a řešení mimořádných situací u přehradních nádrží po zemětřesení. Jedním z možných způsobů řešení tohoto problému může být systém včasného varování před zemětřesením a monitorování přehradních nádrží po zemětřesení, založený na inteligentní platformě pro řízení bezpečnostního monitoringu.

Pomocí funkcí digitálního dvojčete a znalostní platformy integrovaných do této platformy lze včas provádět varování před zemětřesením, predikovat potenciálně nebezpečné části nádrže a hráze po zemětřesení a s dostatečným předstihem připravit potřebná opatření a provést nácviky krizových scénářů. Po výskytu zemětřesení lze prostřednictvím automatizovaného monitorování a kontrol klíčových částí konstrukce včas získávat a předávat přesné informace o skutečném stavu objektu. Plán zásahu po zemětřesení, poskytovaný funkcemi znalostní platformy, lze následně využít ke zkrácení doby reakce při mimořádných zásazích po zemětřesení a k zajištění spolehlivé datové podpory pro bezpečnou a účinnou záchranu osob a odstraňování následků katastrofy po zemětřesení.

R. 42 XU, J., ZENG, X., HUANG, Y., WEI, H., LI, D., ZHANG, B. (China)**Analýza seizmické bezpečnosti a hodnocení vysoké klenbové přehrady Yangfanggou při vodní elektrárně na řece Yalong v provincii Sichuan**

Maximální výška betonové klenbové hráze s dvojitou křivostí vodní elektrárny Yangfanggou je 155 m a její kategorie seizmického zajištění je třídy A. V souladu s ustanoveními aktuálně platného předpisu pro seizmické navrhování je zpracováno návrhové spektrum odezvy specifické pro lokalitu hráze a časový průběh umělého seizmického pohybu podloží.

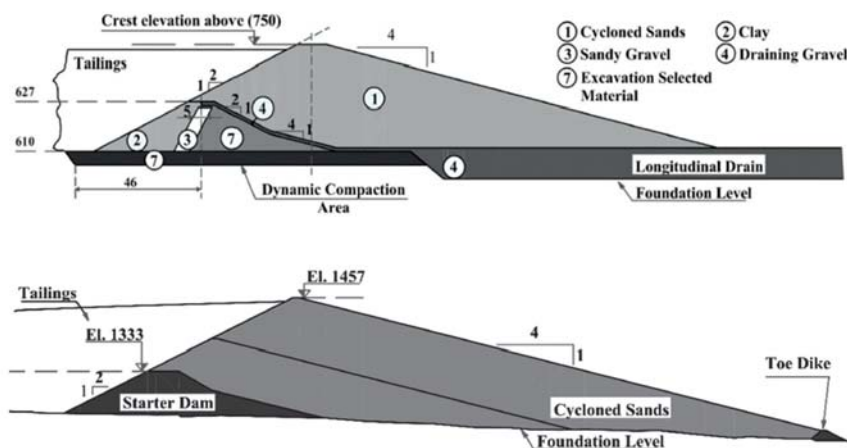
Následně je ve fázi prováděcího návrhu optimalizován a upraven tvar klenbové hráze a je provedena trojrozměrná nelineární analýza metodou konečných prvků, která zohledňuje otevírání a zavírání příčných spár při silném zemětřesení a účinek radiálního tlumení nekonečného podloží. Pro potenciální kluzné bloky v opěrách klenbové hráze jsou k ověření dynamické stability použity metody mezní rovnováhy tuhého tělesa založené na analýze spektra odezvy pomocí modální superpozice a časová metoda mezní rovnováhy tuhého tělesa založená na analýze časových průběhů seizmického buzení. Na závěr je komplexně vyhodnocena seizmická bezpečnost klenbové hráze Yangfanggou. Z výsledků vyplývá, že optimalizovaný tvar klenbové hráze Yangfanggou je při návrhovém základním zemětřesení bezpečný a spolehlivý.

R. 43 SHEN, M., NIE, D. (China)**Experimentální studie zaměřená na vyhodnocení soustavy tvarových akcelerometrů při monitorování deformací**

Příspěvek byl vyjmut z otázky Q111 a přesunut ve sborníku ICOLD pod sekci *Sdělení*, neboť nezohlednil hlavní téma kongresové otázky.

R. 44 CAMPAÑA, J., VALENZUELA, L., VERDUGO, R. (Chile)**Chilská praxe při výstavbě vysokých odkališť v seizmicky vysoce aktivních oblastech**

Vzhledem k významné roční produkci mědi v Chile musí těžební průmysl nakládat s velkým množstvím hlušin a odkalištního materiálu, z nichž většina je ukládána do rozsáhlých odkališť ohraničených hrázemi, ať už se jedná o sypané hráze nebo hráze naplavované z odkalištního písku. Zkušenosti z Chile do roku 1965 ukázaly, že porušení odkalištních hrází během zemětřesení představuje katastrofickou událost, které je nutné předcházet. Pro dosažení současně ekonomicky efektivního a bezpečného ukládání kalů je proto nezbytná vysoce kvalitní geotechnická praxe, která zahrnuje také odpovídající posouzení seizmické odezvy, když jsou tato odkaliště vystavena silným pohybům podloží, k nimž na území Chile dochází poměrně často. Příspěvek představuje hlavní aspekty chilské inženýrské praxe související se seizmickým návrhem velkých hrází z odkalištního písku. Zároveň jsou prezentovány pozorované seizmické odezvy a chování stávajících chilských odkalištních hrází.



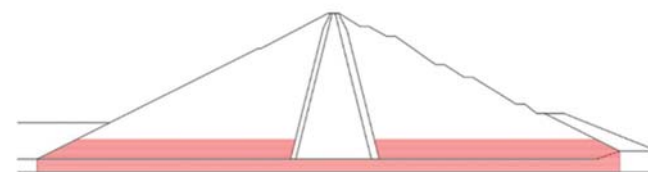
Vzorový příčný řez odkalištěm Tórtolas (nahoře) a Quillayes (dole)

R. 45 Příspěvek stažen na žádost autorů**R. 46 SONGHUI, L., MENG, CH., KANGNUNG, N., KAIWEI, S., XIANGYU, L. (China)****Výzkum kontroly maximálních teplot v chladné zóně extrémně vysoké klenbové přehrady Dongzuang**

Příspěvek byl vyjmut z otázky Q111 a přesunut ve sborníku ICOLD pod sekci *Sdělení*, neboť nezohlednil hlavní téma kongresové otázky.

R. 47 HONGJUN, L., JIXUE, T., ZIFAN, L., ZEPING, X., ZUWEN, Y. (China)**Nová metoda seizmického vyztužení vysokých kamenitých přehrad založených na hlubokých sedimentech**

U vysokých kamenitých přehrad situovaných na hlubokých pokryvných sedimentech v oblastech se silnou seizmickou aktivitou je nutné řešit problematiku stability proti hlubokému smykovému porušení. Zejména pokud se v pokryvných sedimentech nachází slabá zemina, může být součinitel bezpečnosti nejnepříznivější smykové plochy hlubokého smykového oblouku nižší než součinitel bezpečnosti mělkého smykového oblouku. Příspěvek navrhuje nová opatření pro seizmické zajištění spočívající v položení geosyntetické geomříže (geogridu) v místě rozhraní mezi základovou zeminou hráze a pokryvnými sedimenty. Cílem je řešit problematiku stability vysokých sypaných hrází proti hlubokému smykovému porušení na hlubokých pokryvných útvarech ekonomičtějším způsobem a současně poskytnout referenční podklady pro inženýrskou praxi.



Oblasti vyztužené geomříží při zakládání na hlubokých vrstvách sedimentů

R. 48 ZHU, K.-B., ZHAO, J.-M., YANG, Z.-Q. (China)**Výzkum modelu popisu dynamických reziduálních deformací hrubozrnných zemín**

Reziduální deformace zemních a kamenitých přehrad při podmínkách návrhového zemětřesení je klíčovým ukazatelem pro posouzení jejich seizmické bezpečnosti. Mezi hlavní metody výpočtu reziduální deformace vyvolané zemětřesením patří analýza posunů způsobených smykovým porušením, analýza celkové deformace a elastoplastická analýza. V inženýrské praxi je převládající metodou globální analýza deformací, založená na experimentálně stanovených charakteristikách reziduální deformace materiálů zemních a kamenitých hrází. Globální analýza deformací zahrnuje dva hlavní typy modelů: model dynamické napětí–reziduální deformace a model cyklická deformace–reziduální deformace. Příspěvek popisuje nedostatky těchto dvou hlavních kategorií modelů a jejich zdokonalených variant a na základě analýzy ovlivňujících faktorů a mechanismů navrhuje nový výpočtový model reziduální deformace. Model dosahuje na základě experimentálních dat slibných výsledků.

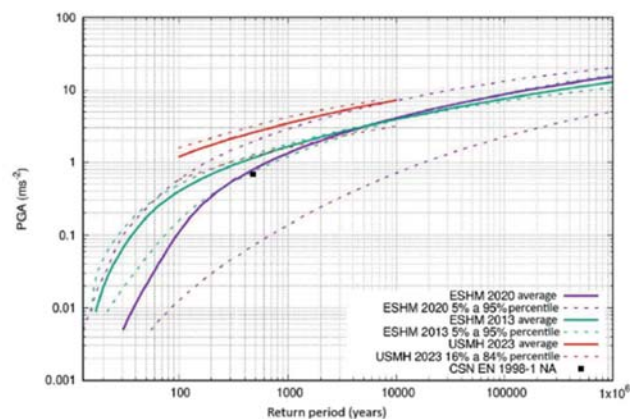
R. 49 ZHENG, L., ZHANG, G. (China)**Výzkum metod monitoringu a přesnosti měření deformací v průběhu výstavby vysoké klenbové hráze**

Příspěvek byl vyjmut z otázky Q111 a přesunut ve sborníku ICOLD pod sekci *Sdělení*, neboť nezohlednil hlavní téma kongresové otázky.

R. 50 BROUČEK, M., SUCHOPÁRKOVÁ, P., ŠVARC, O. (Czech Republic)

Seismická analýza přehrady Horka: stanovení zatížení pro zemětřesné roje

Vodní dílo Horka je z významných západočeských přehrad svou polohou nejbližší epicentřům zemětřesných rojů. Pro zkvalitnění výkonu technickobezpečnostního dohledu byla v roce 1998 navázána spolupráce s Geofyzikálním ústavem (GFÚ) AVČR, spočívající v předávání informací o událostech seismického charakteru. Hráz VD Horka se postupně dostala do popředí zájmu odborníků GFÚ jako významný objekt aplikovaného výzkumu seismoaktivní oblasti západních Čech. V rámci rozvoje monitorovací sítě WEBNET byl v roce 2017 umístěn v nejnižší části injekční chodby seismograf a v letech 2019–2020 byly instalovány 4 akcelerometry. Výsledky seismických měření byly v roce 2023 statisticky vyhodnoceny a společně s akcelerogramy z průběhu skutečných zemětřesení a dostupnými evropskými modely PSHA slouží jako podklad pro zpracování deformační a stabilitní analýzy VD Horka, která je zpracovávána na Katedře hydrotechniky na Fakultě stavební ČVUT v Praze. Příspěvek prezentuje proces výběru použitého seismického zatížení s ohledem na množství dostupných modelů PSHA, omezené historické informace a nedostatečné pochopení mechanismu vzniku zemětřesných rojů. Dále je prezentováno chování hráze během nedávných zemětřesení, jakož i naměřená odezva hráze na přirozené seismické pozadí a potenciál ztekucení vyplývající z charakteru použitých zemín.



Dostupné pravděpodobnostní modely seismického ohrožení pro lokalitu VD Horka

R. 51 GATTO, G., ABATI, A., BISCI, F., KITA, A. (Italy)

Shrnutí posouzení seismické bezpečnosti více než 50 velkých přehrad dle nové Italské normy pro navrhování

Italská technická norma pro navrhování a výstavbu přehrad byla v roce 2014 aktualizována a nahradila předchozí normu z roku 1982. Aktualizace normy vyvolala potřebu nového posouzení jejich bezpečnosti a chování při zemětřesení. Příspěvek prezentuje seismické posouzení více než 50 přehrad v Itálii, geograficky rozmístěných po celé zemi – od Alp na severu přes Apeniny podél celého Apeninského poloostrova až po Sicílii. Většina těchto přehrad byla vybudována v první polovině 20. století, byla navržena s životností delší než 50 let a často bez specifických požadavků na seismickou odolnost.

Příspěvek představuje metodiku postupného posouzení aplikovanou při změně normy. Nejprve jsou identifikovány jednotlivé typy přehrad – od tízných a sypaných hrází přes pilířové a smíšené konstrukce až po další typy – přičemž jsou zohledněny také různé typy stavebních materiálů, od zrnitých materiálů přes suché a klasické zdivo až po kyklopské a běžné konstrukční betony. Pro každou přehradu je provedena podrobná prohlídka a průzkum, včetně získání historických a archivních informací. V jednotlivých případech jsou rovněž prováděny rozsáhlé průzkumné a diagnostické kampaně za účelem přesnější charakterizace materiálů tělesa přehrady a jejího podloží. Popis podloží představuje v případě existujících přehrad zásadní úkol z hlediska získání potřebných znalostí o jejich skutečném stavu.

Seismické zatížení je stanoveno na základě italských map seismického ohrožení. Pro analýzy, kde je to požadováno, je rovněž zpracována pravděpodobnostní analýza seismického ohrožení specifická pro danou lokalitu. Veškeré významné informace získané pro hodnocení souboru přehrad jsou v článku podrobně prezentovány. Provedené analýzy zahrnují široké spektrum přístupů – od jednoduchých 2D pseudostatických analýz s lineárními konstitutivními modely materiálů až po pokročilé plně trojrozměrné analýzy v časové oblasti využívající lokálně specifické přirozené akcelerogramy, nelineární materiálové modely, modelování spár a další pokročilé postupy. Získané výsledky jsou pro celý soubor přehrad vzájemně porovnány s ohledem na mezní stavy únosnosti a mezní stavy použitelnosti. Navzdory značnému stáří konstrukcí, jejich původnímu návrhu, který byl typicky proveden bez specifických seismických požadavků, a určitému přirozenému stárnutí materiálů, většina posuzovaných přehrad vyhovuje požadavkům národních technických norem a obecně vykazuje uspokojivé chování při seismickém zatížení.

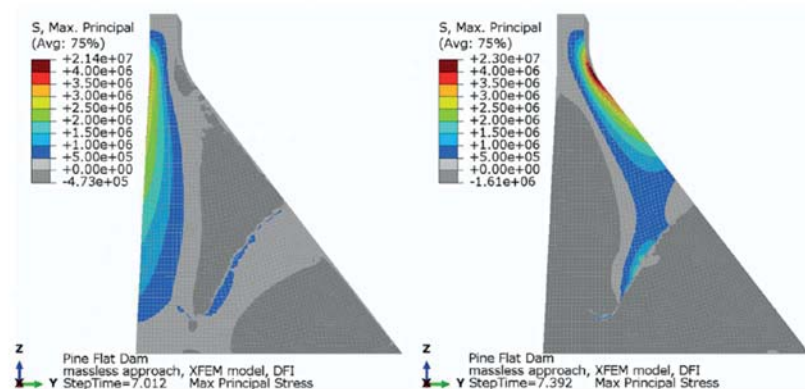
R. 52 FAGGIANI, G., COLOMBO, M., FRIGERIO, A., MASARATI P. (Italy)

Nedávné studie pokročilých simulací pro posouzení bezpečnosti betonových přehrad s využitím metody konečných prvků

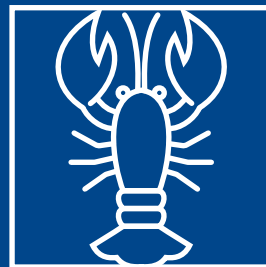
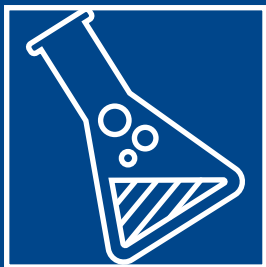
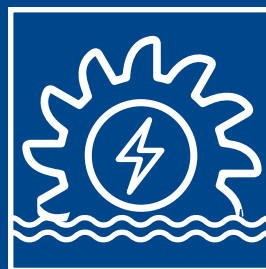
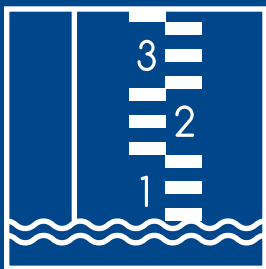
Hodnocení odezvy betonových přehrad při zemětřesení se provádí pomocí numerických simulací, zpravidla metodou konečných prvků. V současné době musí vodohospodářské a hydroenergetické stavby často fungovat mimo podmínky, pro které byly původně navrženy. Na jedné straně je nutné zohlednit stárnutí konstrukcí, na straně druhé pak vysoké požadavky vyplývající z nových předpisů a norem. Pro přesné a realistické zachycení jejich chování je nezbytné využívat pokročilé metody numerické analýzy. Nejnovější studie společnosti RSE v oblasti bezpečnosti přehrad jsou zaměřeny především na modelování seizmické odezvy a chování betonových přehrad při vzniku trhlin.

V souvislosti s prvním tématem byla společností RSE nedávno implementována a ověřena pokročilá metoda určená pro lineární i nelineární analýzy v časové oblasti. Tento přístup, označovaný zkratkou SAM-4D (Seismic Advanced Model for Dams), umožňuje vhodně simulovat šíření seizmických vln v realisticky modelovaném masivním podloží a současně zohlednit jeho polo nekonečný rozsah. V souvislosti s druhým tématem byly testovány a vzájemně porovnány dva přístupy k modelování chování betonu při vzniku a rozvoji trhlin: model plastického poškození betonu CDP a rozšířená metoda konečných prvků XFEM. Oba konstitutivní vztahy jsou dostupné v komerčním programu Abaqus. Pro srovnání těchto modelů byla jako případová studie použita přehrada Pine Flat.

Přehrada Pine Flat byla jako případová studie zpracována řadou autorů a byla rovněž navržena v rámci workshopů ICOLD a USSD, a to díky své jednoduché geometrii, která umožňuje rychlé výpočty a snadnou interpretaci výsledků. Technická komise A (TC-A) ICOLD „Computational Aspects of Analysis and Design of Dams“ v současnosti zvažuje využití této případové studie pro testování a validaci simulačních metod a analytických přístupů. Technický výbor A se již řadu let snaží poskytovat vhodné nástroje pro verifikaci a validaci analýz, a to také s ohledem na skutečnost, že u přehrad často chybí dostatečné množství naměřených provozních a monitorovacích dat.



Hlavní tahová napětí v Pa v časech 7,012s (vlevo) a 7,392s (vpravo)



ŽIJEME VODOU



www.pvl.cz



www.instagram.com/povodivltavy/



[povodivltavy](https://www.facebook.com/povodivltavy)



[povodí Vltavy \(@povodivltavy\)](https://twitter.com/povodivltavy)

Voda je zdrojem života

Česká republika se nachází na střeše Evropy a veškerá voda z našeho území odtéká. Prioritou je zadržení vody v krajině a současně akumulace vody ve vodních nádržích, abychom i v období sucha mohli zajistit dostatek vody pro zásobování obyvatel pitnou vodou, energetiku, průmysl i nadeřšování průtoku na dolní části vodního toku.

S ohledem na postup klimatické změny bude potřeba v určitých lokalitách Česka vybudovat ještě několik dalších vodních nádrží. Je nezbytné zajistit dostatečné množství kvalitních zdrojů vody, aby i další generace mohly užívat vodního blahu jako my nyní...

Za nejstarší známou přehradu na světě je považována Jawa Dam v dnešním Jordánsku, vybudovaná přibližně kolem roku 3000 př. n. l. Přehrada Sadd el-Kafara budovaná asi 2650 př. n. l. v Egyptě měla sloužit k ochraně před povodněmi, Nimrudskou přehradu budovali Asyřané kolem roku 879 př. n. l. v Iráku pro zásobování vodou. Účely jejich výstavby byly v podstatě stejné jako potřebujeme my dnes.

Přehrady byly, jsou a budou.

BEZ VODY TO NEPŮJDE...





MVE jez Rajhrad vč. rekonstrukce
jezu a rybí přechod; Povodí Moravy, s.p.



Ochranná stání služebních plavidel Brná;
Ředitelství vodních cest ČR



PK Rohatec a jez Sudoměřice;
Ředitelství vodních cest ČR



VD Orlík, zabezpečení VD před účinky
velkých vod; Povodí Vltavy, státní podnik

Ovládáme obor

Kvalita, přesnost a důslednost.
Společná koordinovaná práce lidí desítek oborů a profesí.
Schopnost řešit náročná zadání a odvaha hledat nová řešení.
Je tohle umění? Možná ne. Jen to dobře umíme.

www.metrostavCZ.cz

metrostav CZ



VODA. KRAJINA. INFRASTRUKTURA.

Navrhujeme řešení pro vodní hospodářství a životní prostředí.



VODA

Vodní nádrže a přehrady
Vodní elektrárny
Vodní cesty a plavba
Protipovodňová ochrana



KRAJINA

Vodní toky a revitalizace
Krajinné a vodohospodářské plánování



INFRASTRUKTURA

Vodárenství
Kanalizace a čistírny odpadních vod
Matematické modelování

Od prvních studií po komplexní projektovou dokumentaci.



AQUATIS a.s.

Projekční a inženýrská společnost pro
vodní hospodářství a životní prostředí
www.aquatis.cz
info@aquatis.cz



Potápěčská stanice, a. s.

nabízí:

- Potápěčské práce stavebního charakteru
- Potápěčské práce strojního charakteru
- Průzkumy a diagnostiku, včetně odborných posouzení technického stavu konstrukcí a zařízení
- Video a fotodokumentaci
- Potápěčské práce záchranného charakteru
- Potápěčské práce ve fermentoru bioplynových stanic
- Potápěčské práce v nádržích průmyslových technologií
- Pohotovostní službu pracovních potápěčů
- Výuku a výcvik pracovních potápěčů
- Služby soudního znalce a autorizované osoby pro potápění

www.potapecska.cz

info@potapecska.cz, tel.: +420 720 046 096





Kompletní rekonstrukce VD Harcov

Průběh výstavby: předání staveniště: 08/2022, dokončení díla: 03/2026

Celkové náklady akce: 550,4 mil. Kč

Zdroje financování: stavba byla financována ze státního rozpočtu ČR v rámci programu Ministerstva zemědělství 129360 – Podpora prevence před povodněmi IV (224,6 mil. Kč) a z vlastních zdrojů státního podniku (317,8 mil. Kč), účelovou investiční dotaci připojilo Statutární město Liberec (7 mil. Kč, rekonstrukce zdi v zátopě, pobytové schodiště).

Zhotovitel: Spol. VD Harcov (Gardenline s.r.o., Litoměřice, YUCON CZ, s.r.o., Brno)

Průběh rekonstrukce poznamenal četná neočekávaná zjištění, a to kvůli nesouladu historické dokumentace a reálného stavu hráze. Značnou komplikací bylo neočekávaně nesourodé horninové podloží hráze, jež vyžadovalo zásah. Řešením byla injektážní clona pod hrází, která dosahuje hloubky až 25 metrů. Pod základovou spárou byla navíc vybudována podzemní injektážní štola dlouhá 86 metrů, ze které bude možné provádět další injektáže podloží nebo vlastního tělesa hráze.



Rozebrání mostovky nad přelivem a práce na vzdušném líci – duben 2023



VD Harcov po dokončení rekonstrukce (foto Gardenline s.r.o.)



VODNÍ DÍLO VLACHOVICE – VODA PRO ZLÍNSKÝ KRAJ

Důvodem přípravy VD Vlachovice je zajištění spolehlivého zdroje povrchové vody pro zásobování obyvatel pitnou vodou a pokrytí potřeb vody v území s nedostatkem podzemních zdrojů vody. Tuto funkci jsou v období dlouhodobého sucha a v průběhu povodní schopny zabezpečit víceúčelové vodní nádrže s dostatečným zásobním a retenčním prostorem.

Nádrž bude garantovat dohodnutou velikost minimálních průtoků, což povede ke zlepšení ekologického stavu vodního toku a umožní jeho další užívání.

Vedlejším (marginálním) účelem bude energetické využití odtoku z nádrže. Výroba vodní energie je plánována jako doplňková bez vlivu na manipulaci na vodním díle.

Návrhové parametry	
Typ hráze	sypaná zemní
Celkový objem nádrže	29,1 mil. m ³
Plocha zátopy	212,9 ha
Max. výška hráze	40 m
Délka hráze	570 m
Šířka hráze v základové spáře	193 m
Nadlepšení průtoků	30 l/s

Primárním účelem VD Vlachovice je zajištění zdroje povrchové vody pro úpravu na vodu pitnou. Hlavní účel díla bude realizovaný dodávkou vody do propojených vodárenských systémů v širším území.

Ochrana před povodněmi není hlavním účelem díla, avšak vytvořený ochranný prostor nádrže zajistí významné zlepšení ochrany území v povodí Vlárky pod vodním dílem (v nejbližších sídlech až na úroveň stoleté povodně).





Naše laboratoř poskytuje komplexní služby v oblasti analýz vod, sedimentů a dalších složek životního prostředí. Díky dlouholetým zkušenostem, odbornému zázemí a moderním technologiím jsme spolehlivým partnerem pro široké spektrum zákazníků z veřejného i soukromého sektoru.

Zaměřujeme se především na rozbor vody všech typů – povrchových, podzemních, pitných, odpadních i vod ke koupání. Nedílnou součástí našich služeb jsou také analýzy sedimentů, plavenin a zemin, stejně jako rozbor kalů a odpadů včetně vodních výluhů. Zajišťujeme rovněž odborné odběry vzorků, které jsou klíčové pro správnost a reprezentativnost výsledků.

Provádíme široké spektrum analytických zkoušek, které pokrývají jak základní, tak i specializované požadavky:

Chemické a fyzikálně-chemické analýzy

Stanovujeme základní ukazatele kvality vody, jako jsou pH, vodivost, nerozpustné látky (NL), rozpuštěné anorganické soli (RAS), biochemická spotřeba kyslíku (BSK₅), chemická spotřeba kyslíku (CHSK), celkový organický uhlík (TOC), celkový dusík (TN), anionty a kationty, a to včetně terénních měření.

Anorganické analýzy

Zajišťujeme stanovení až 30 kovů a dalších prvků s vysokou přesností a citlivostí.

Organické analýzy

Provádíme analýzy uhlovodíků v rozsahu C10–C40, extrahovatelných látek (EL) a adsorbovatelných organicky vázaných halogenů (AOX).

Speciální organické látky

Specializujeme se na stanovení látek, jako jsou PCB, PBDE, PAU, pesticidy, ftaláty či nitrolátky. Nově jsme zavedli metodu pro analýzu haloocetových kyselin a spektrum stanovovaných látek se snažíme neustále rozšiřovat podle aktuálních trendů a legislativních požadavků.

Radiochemické analýzy

Provádíme stanovení celkové alfa a beta aktivity, dále analýzy radionuklidů jako ²²²Rn, ²²⁶Ra a uranu.

Mikrobiologické rozbor

Zajišťujeme stanovení mikrobiologických ukazatelů, například E. coli, enterokoků a koliformních bakterií.

Hydrobiologické rozbor

Provádíme hodnocení biologické kvality vod, včetně analýz sinic, makrozoobentosu, fytozobentosu a mikroskopického rozboru vody.

Klientům nabízíme komplexní řešení v oblasti kontroly a monitoringu kvality vod a souvisejících matic:

- monitoring kvality povrchových vod
- rozbor pitné vody (např. pro kolaudace či pravidelnou kontrolu kvality)
- odběry a rozbor odpadních vod
- rozbor dle povolení k nakládání s vodami
- analýzy sedimentů, zemin, rozbor kalů a odpadů včetně vodních výluhů

Naším cílem je poskytovat kvalitní, přesné a spolehlivé služby, které pomáhají chránit životní prostředí i zdraví obyvatel. Díky odbornosti našeho týmu a neustálému rozvoji analytických metod dokážeme reagovat na aktuální požadavky i nové výzvy v oblasti chemie a kvality vod.



60 LET
POVODÍ OHŘE

„Mnozí pracují s vodou,
my máme tu čest pracovat pro vodu...“

Jan Svejkovský, generální ředitel



Pražské vodovody
a kanalizace

LABORATORNÍ SLUŽBY

Zkušební laboratoř č. 1247 akreditovaná ČIA
podle ČSN EN ISO/IEC 17025



CO VÁM NABÍZÍME:

- ▶ Odběry vzorků vod, kalů, odpadů.
- ▶ Laboratorní analýzy pitné vody, teplé vody, surové vody, povrchové vody, podzemní vody, mezioperační vody, vody ke koupání, odpadní vody, kalů a provozních chemikálií.

NOVINKY:

- ▶ Stanovení Legionella spp. a L. pneumophila, hepatitidy A a SARS-CoV-2 metodou polymerázové řetězové reakce (PCR).
- ▶ Stanovení kontaminantů pitné a surové vody zahrnující stanovení pesticidních látek, metabolitů pesticidních látek, benzotriazolů, bisfenolů a farmak včetně farmak doporučených ke sledování dle stanoviska Státního zdravotního ústavu k otázce sledování léčiv v pitné vodě.
- ▶ Sekvenování mikrobiomu aktivovaného kalu pro posouzení technologie ČOV.



V souladu s přírodou

Rekonstruujeme a stavíme
vodní díla, upravujeme
toky a provádíme
protipovodňová opatření.



Dodáváme moderní
a vysoce účinná řešení
výroby pitné vody a čištění
odpadních vod, vodovodní
a kanalizační systémy.



Pražské vodovody a kanalizace, a.s.
Útvar kontroly kvality vody
Podolská 15/17, Praha 4, www.pvk.cz
laborator@pvk.cz; tel.: 727 879 543



Součást Skupiny





STERPLAN

Česká tradice s moderním přístupem k vodnímu hospodářství

Odbornost, spolupráce
a odpovědnost — principy,
na nichž Sterplan stojí

Sedmdesát let práce českých inženýrů se promítlo do tisíců projektů, které formovaly podobu krajiny, měst i infrastruktury.

Na tento odkaz dnes navazuje **Sterplan**.

Společnost, která spojuje zkušenosti Hydroprojektu a Sweco CZ s novým českým vedením a pohledem na budoucnost.

Věříme, že inženýrství má smysl, když pomáhá vytvářet prostředí, které funguje a obstojí v čase. Každý projekt proto vnímáme jako závazek — vůči místu, investorovi i lidem, pro které stavba vzniká. *„Naše síla je v propojení disciplín, pečlivosti a aktivním přístupu ke každému projektu,”* říká Jan Krejčík, předseda představenstva společnosti.

Sterplan staví na tradici českého inženýrství, které vždy spojovalo technickou preciznost s respektem k prostředí. Usilujeme o řešení, jež jsou promyšlená, proveditelná a trvale užitečná, nejen dnes, ale i pro další generace.

sterplan.cz

 **TBG METROSTAV**
Pro lepší stavění

Beton po Vltavě

**Po řece k nám míří suroviny.
A někdy po ní míří i beton na stavbu.**

Vltava je pro TBG METROSTAV dlouhodobě součástí stavební logistiky. Betonárny na Rohanském ostrově a v Libni mají vlastní přístaviště a až 80 % surovin pro výrobu betonu do nich připlouvá po řece. Jedna loď přiveze přibližně 1 000 tun kameniva a nahradí tak zhruba 40 nákladních automobilů v pražských ulicích.

Vodní cesta se ale uplatňuje i při samotných betonážích. Čerstvý beton byl po Vltavě dopravován již při zesilování jednoho z pilířů Libeňského mostu a později při rekonstrukcích Staroměstského a Šítkovského jezu. Autodomíchávače, v některých případech i s čerpadlem betonu, byly na pontonech dopraveny až k místu betonáže, kde se směs čerpala přímo do konstrukce.

**Vltava tak pro TBG METROSTAV není jen místem, kde se staví.
Je dopravní cestou pro suroviny i čerstvý beton.**

Bezpečnost vodních děl • Projektování • Digitální dvojčata • Povodňová ochrana

TECHNICKOBEZPEČNOSTNÍ DOHLED NAD VODNÍMI DÍLY

Odborníci na bezpečnost vodních děl již od roku 1975

NAŠE OBLASTI ČINNOSTI



Bezpečnost
vodních děl (TBD)



Digitální dvojčata
vodních děl



Provoz
vodních děl



Průzkumy, studie
a projektování



Povodňová
ochrana



Znalecké
posudky



Kategorizace
vodních děl



Geodetická
měření



DIGITÁLNÍ DVOJČATA VODNÍCH DĚL

Propojujeme data z technickobezpečnostního
dohledu s výstupy simulačních modelů.



2D A 3D MODELOVÁNÍ PROUDĚNÍ VODY

Simulujeme chování vody v nádržích,
tocích a objektech pro návrh i provoz.



Pověření MZe ČR
pro TBD nad VD I.-III. kategorie



Znalecký ústav
(MS ČR, od 1995)



KONTAKTY



www.vdtbd.cz



Praha
Brno

paha@vdtbd.cz
brno@vdtbd.cz

+420 222 241 362
+420 721 222 313

**Vedeme vodu
správným směrem**



**VODNÍ
STAVBY**



**POZEMNÍ
STAVBY**



**DOPRAVNÍ
STAVBY**



**PRŮMYSL
ENERGETIKA**



**KRAJINNÉ
INŽENÝRSTVÍ**

Strategie,
konceptce,
analýzy

Dotační
management

Projektová
a inženýrská
příprava

Věda & výzkum

Poradenství,
matematické
modelování

BIM



VDRV

VODOHOSPODÁŘSKÝ
ROZVOJ A VÝSTAVBA





**vodní
hospodářství®**



Časopis již více než tři čtvrtě století přináší informace o malé i velké vodě, v Česku i na Slovensku.

Informace o předplatném a možnosti inzerce najdete na
www.vodnihospodarstvi.cz

Uvedete-li heslo Přehrady, obdržíte slevu 20 % na letošní předplatné (do vyčerpání zásob) a pro rok 2027 novým předplatitelům poskytneme slevu 10 %.



PRAGUE BOATS

SINCE 1990

LÍDR **UDRŽITELNÉ** LODNÍ DOPRAVY



NEJVĚTŠÍ FLOTILA
ELEKTRICKÝCH LODÍ V EVROPĚ



ELECTRIC

www.prague-boats.cz

