



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

JAN HAVELKA

Příprava realizace Vodáckého sportovního parku Kadaň

Diplomová práce

2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Havelka Jméno: Jan Osobní číslo: 460353Zadávací katedra: K144 - Katedra zdravotního a ekologického inženýrstvíStudijní program: Stavební inženýrstvíStudijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Příprava realizace Vodáckého sportovního parku KadaňNázev diplomové práce anglicky: Development and verification of mixing optimization elements for sludge dewatering and flotation processes

Pokyny pro vypracování:

Zpracovat literární rešerši umělých slalomových drah, jejich využití, konstrukčních možností a hydraulických vlastností. Hlavním úkolem práce je připravit projekt vodáckého sportovního parku Kadaň pro podání dotační žádosti na Národní sportovní agenturu, příprava pro společného řízení a koordinace prací. Součástí práce je také tvorba ukázkového modelu a prezentačního videa pro potřeby publicity, kde bude využito matematického modelu proudění a rozšířené reality.


Seznam doporučené literatury:

Diplomová práce Vývoj umělých drah pro účely vodního slalomu V. Voves 2014

Hydraulika J. Smetana 1957

Jméno vedoucího diplomové práce: prof. Ing. Jaroslav Pollert, Ph.D.Datum zadání diplomové práce: 20.9.2021Termín odevzdání diplomové práce: 2. 1. 2022

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku


Podpis vedoucího práce
Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

24.9.2021

Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji Prof. Ing. Jaroslavu Pollertovi Ph.D. za odborné vedení a konzultování diplomové práce a za zasvěcení do hydraulického modelování v praxi na skutečných projektech. Dále také všem profesorům za rady, které mi poskytovali po celou dobu mého studia. Dále bych chtěl velmi poděkovat zaměstnancům společnosti Vodoplan s.r.o., za praktickou zkušenost s prací na projektech již během studia. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat svým rodičům, mé přítelkyni a blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě stavební.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 1.1.2022

.....

podpis

Název práce: Příprava realizace Vodáckého sportovního parku Kadaň

Autor: Bc. Jan Havelka

Obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

Druh práce: Diplomová práce

Vedoucí práce: Prof. Ing. Jaroslav Pollert, Ph.D.

Katedra zdravotního a ekologického inženýrství K144

Fakulta stavební, ČVUT v Praze

Abstrakt: Tato diplomová práce se zabývá tématem realizace projektu nového Vodáckého sportovního parku v Kadani. V teoretické části se práce zabývá stavbami umělých slalomových drah z pohledu materiálů, návrhu a historie. Součástí diplomové práce je spoluúčast na projektu v ohledu získávání prostředků a realizace projektu z pohledu investora. Další součástí práce je realizace a prezentace hydraulického fyzikálního modelu.

Klíčová slova: umělá slalomová dráha, hydraulické modelování, fyzikální modelování, dotační tituly, Vodácký sportovní park Kadaň

Title: **Preparation of the realization of the Kadaň white water sports park.**

Author: Bc. Jan Havelka

Branch: Water management and water constructions

Document type: Master's thesis

Thesis advisor: Prof. Ing. Jaroslav Pollert, Ph.D.

The Department of Sanitary and Ecological Engineering

Faculty of Civil Engineering, CTU in Prague

Abstract: This diploma thesis deals with realization of the new Kadaň white water sports park project. The theoretical part consists of the construction of artificial slalom courses in terms of materials, shapes, design and history. Part of diploma connected with project is in participation in terms of raising funds and project implementation from the perspective of investor. Another part of the work is completing, and presentation of a hydraulic physical model made by 3D prints.

Key words: *white water slalom course, hydraulic modeling, physical modeling, Kadaň white water sports park, subsidy application*

1 OBSAH

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | OBSAH | 5 |
| 2 | ÚVOD..... | 7 |
| 3 | CÍLE PRÁCE | 8 |
| 4 | TEORETICKÁ ČÁST | 9 |
| 4.1 | Základní popis USD | 9 |
| 4.2 | Hodnocení obtížnosti divoké vody | 11 |
| 4.3 | Parametry slalomové dráhy dle ICF | 13 |
| 4.4 | Historie umělých slalomových drah | 14 |
| 4.5 | funkce umělých slalomových drah..... | 17 |
| 4.6 | Konstrukce USD..... | 19 |
| 4.7 | Stavebnicové konstrukce..... | 22 |
| 4.8 | USD vs. Přírodní trať..... | 24 |
| 4.9 | Hydraulika z pohledu vodáckých disciplín | 25 |
| 4.10 | Modelování Proudění | 26 |
| 4.11 | Matematické modelování..... | 26 |
| 4.12 | CFD modely | 28 |
| 4.13 | Fyzikální modelování..... | 29 |
| 4.14 | Rozdílnosti modelování | 32 |
| 4.15 | Postup hydraulického návrhu USD..... | 33 |
| 5 | PROJEKT USD KADAŇ | 35 |
| 5.1 | Popis projektu | 35 |
| 5.1.1 | Lokalita..... | 35 |
| 5.1.2 | Současný stav..... | 36 |
| 5.1.3 | Zaměření areálu..... | 37 |
| 5.1.4 | Plán rekonstrukce | 38 |
| 5.1.5 | Projektová dokumentace..... | 39 |
| 5.2 | Dotační výzva Národní sportovní agentury..... | 40 |
| 5.3 | Podklady pro podání žádosti o dotaci..... | 42 |

| | | |
|-----|---|----|
| 6 | PRAKTICKÁ ČÁST | 49 |
| 6.1 | Matematický model | 49 |
| 6.2 | příprava fyzikálního modelu..... | 49 |
| 6.3 | prezentace fyzikální modelu | 50 |
| 6.4 | Porovnání výsledků matematického a fyzikálního modelu, další využití..... | 51 |
| 7 | ZÁVĚR | 53 |
| 8 | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 55 |
| 9 | SEZNAM OBRÁZKŮ | 56 |
| 10 | SEZNAM PŘÍLOH | 58 |

2 ÚVOD

Diplomová práce je zaměřená na konstrukce umělých slalomových drah (USD). Slalomové dráhy jsou velmi specifickým, a svým způsobem charakteristickým, prvkem vodního hospodářství. V posledních letech se sportoviště podobného typu navrhují a rekonstruuji stále častěji ve všech částech světa. Slalomové dráhy jsou především určeny pro disciplíny vodního slalomu, ale simulovaná konstrukce divoké řeky najde uplatnění i pro mnohé další aktivity zaměřené na divokou vodu. V práci jsou představeny získané informace o stojících konstrukcích a jejich rozdílných řešeních. Pro stavby USD jsou charakteristické návrhy pomocí fyzikálních hydraulických modelů a jejich návrh a příprava jsou součástí této diplomové práce. Pro tento fyzikální model byly využity netradiční moderní technologie, které mohou v budoucnu zkvalitnit výsledky a také samotnou práci s fyzikálními modely. Tato práce je propojena se skutečným projektem USD a přípravou jeho fyzikálního modelu. Spojením se skutečným projektem je popis a průběh přípravného řízení pro získání dotace, která je v dnešní době pro uskutečnění podobných projektů nezbytná. Podobné konstrukce nejsou příliš běžné, a proto může být splnění dotačních podmínek více náročné než u běžnějších staveb. Projekt USD je plánován v návaznosti na rekonstrukci přilehlého jezu v průběhu roku 2023. Vzhledem k propojení několika subjektů z pohledu vlastníka pozemku, finančního investora a budoucího provozovatele je projekt velmi specifický a průběh řízení je tímto ovlivněn.

3 CÍLE PRÁCE

První částí práce je rešerše a obecné shrnutí poznatků o konstrukcích umělých slalomových drah. Cílem této části je shrnutí základních informací o konstrukcích a provozu těchto staveb. Tyto informace mohou být použity při přípravě podobných projektů pro rekonstrukce nebo nové realizace podobných staveb. Dle druhu slalomových drah lze využít výhody a nevýhody používaných materiálů, umístění a funkcí.

Druhá část se věnuje realizaci projektu vodáckého sportovního parku v Kadani, který by měl být realizován v návaznosti na rekonstrukci místního jezu. Úkolem diplomové práce je uspořádat a případně získat všechny potřebné dokumenty pro získání dotace, která je nezbytně nutná pro realizaci stavby.

Třetí část práce se zabývá fyzikálním modelem příslušné USD. Ten byl vytvořen jako prezentační model nových technologií, které lze pro fyzikální modelování využít. Cílem v této části práce je sestavení a popsání přípravy modelu, jeho využití a představení výhod a nevýhod použitých technologií pro jeho sestavení.

4 TEORETICKÁ ČÁST

4.1 Základní popis USD

Umělá slalomová dráha je vodohospodářská konstrukce, která se svým tvarem snaží napodobit hydraulické jevy peřejí přírodních koryt. Žádná metodika konkrétně nestanovuje, jak má správná umělá slalomová dráha vypadat. V případě striktního pochopení významu lze za USD považovat vše od přečerpávacích betonových koryt s plastovými prvky po říční koryto, na kterém byl pozměněn charakter proudění stavbou několika hrázek vyskládaných z kamení. Slalomové dráhy jsou určeny primárně pro závody a soutěže v disciplíně slalomu na divoké vodě. Vzhledem k nákladnosti staveb a jedinečnosti takových konstrukcí jsou dráhy využívané širokým spektrem sportovních a jiných uživatelů od vodácké turistiky, přes nácviky dalších vodáckých disciplín (rafting, paddelboarding, extrémní kayaking nebo kayak freestyle) po nácviky vodní záchrany vodních záchranářů a hasičů. Pro podnikatelské využití se často využívají na komerční sjíždění divoké vody v raftech s profesionálními guidy (vůdci raftu). Největší význam těchto staveb je v umožnění tréninku sportovců v průběhu celého roku. Dalším významným přínosem těchto tratí je stavba v dostupné vzdálenosti od měst oproti přírodním tratím. Tím je snížena náročnost na dopravu a usnadněn přístup novým zájemcům o sportovní zařízení, především dětem. Pozvednutím povědomí o sportu se zvyšuje jeho úroveň a kvalita. Stavby USD tím mají výrazný podíl na prezentaci sportu a jeho rozvoj.

Dělení USD lze uvažovat z mnoha směrů

- Dle materiálu konstrukce
 - o **Přírodě blízké** – upravená říční koryta
 - o **Přírodu napodobující** – nově vystavěné koryto s přírodu napodobujícími překážkami a břehy
 - o **Umělá koryta** – umělá nově vystavěná koryta s betonovými břehy a umělými překážkami

- Dle nakládání s vodou
 - o **Gravitační** – využívající přirozený spád řeky mezi prostorem nad a pod jezem, nebo využívající jen spád říčního koryta.



Obrázek 1: konstrukce USD v prostoru staré vorové propusti na toku (USD Roudnice nad Labem dostupné na <https://www.ckait.cz/content/vodni-elektrarna-roudnice-nad-labem-vedomice>)

- o **Přečerpávací** – využívající systému čerpadel, které recirkulují vodu mezi horní a spodní nádrží, mezi nimiž je vedena dráha.



Obrázek 2: konstrukce USD mimo tok se systémem čerpadel (Deodoro Olympic whitewater stadium dostupné na <http://rededoesporte.gov.br/en/news/check-out-some-of-the-main-rio-2016-competition-venues-in-detail>)

- **Částečně přečerpávací** – většinou jde o konstrukce gravitačního řešení, které mají možnost nadlepšení průtoku pomocí čerpání vody ze spodní nádrže. Vzorovým příkladem tohoto řešení je dráha v La Seu d'Urgell.
- Další dělení
 - **Závodní** – kanály pro pořádání závodů nadnárodních úrovní. Tyto kanály jsou vybaveny většinou zázemím s ubytováním pro závodníky, dobrým připojením k elektrické síti a dalšími konstrukcemi jako jsou tribuny, lodní výtahy, a podobně. Některé (především olympijské) musí splňovat parametry mezinárodní kanoistické asociace. Například slalomová dráha v Praze Troji.
 - **Tratě nižších úrovní** – u těchto tratí je většinou obtížnost o něco jednodušší než u závodních tratí a jejich spád a délka nemusí mít velké parametry. Vybavení je většinou nižší než u závodních tratí. Většinou jsou bez ubytovacího a hostinského zázemí a bez tribun. Častým vybavením těchto tratí je připravené připojení na elektrickou síť a systém zavěšení bran. Například slalomová dráha v Brandýse nad Labem.
 - **Tréninkové tratě pro mládež a začátečníky** – většinou se jedná o tratě přírodní na říčním toku. Brány jsou často zavěšeny na okolních stromech a zázemí je velmi základní. Většina těchto tratí je závislá na průtoku v říčních korytech a nejsou v provozu celoročně. Například slalomová dráha Vír na řece Svratka.

Tratě slalomových drah lze dělit podle mnoha dalších faktorů.

4.2 Hodnocení obtížnosti divoké vody

Obtížnost terénů na divoké vodě se tradičně hodnotí dle tzv. Alpského hodnocení řek na šestistupňové stupnici o kategoriích WW jedna až šest (WW – uvádí zkratku anglického výrazu White water), která je doplněna o hodnotu stojaté klidné vody ZW. V průběhu let se hodnota označení WW VI jako nejtěžší a nesjízdné vody pomalu vytrácí se zvyšující se sportovní úrovní atletů, kteří jsou schopni tyto peřeje zdotat. V současné praxi na divoké vodě se terény s původní obtížností WW VI značí jako WW V a výjimečně se u opravdu nebezpečných a reálně nesjízdných peřejí využívá označení WW X. U těchto peřejí jde většinou opravdu již o vodopády dopadající přímo na skalní podklad, zablokované katarakty s neprůjezdnými prvky za jakéhokoliv vodního stavu a další nesjízdné prvky.

Obtížnosti nižších kategorií se v průběhu let nijak významně nemění a lze je považovat za velmi podobné. Hodnocení obtížností však lze technicky těžko konkrétně popsat dle vyskytujících se hydraulických prvků, protože hodnocení obtížnosti by mělo

být závislé především na zkušenostech sportovců a také odlišnost chování toků je velmi rozdílná v závislosti na velikosti a charakteru toku.

| Stupeň obtížnosti | Popis | Zdatnost sportovce |
|-------------------|---|---|
| ZW | Stojatá nebo jen mírně tekoucí voda bez hydraulických jevů | Není třeba zkušeností, vhodné pro širokou veřejnost |
| WW I | Rychleji proudící vodní proud s občasnými peřejemi z menších vln | Vhodné pro začátečníky a první zkušenosti s divokou vodou a výuku ovládnání lodí. |
| WW II | Rychle proudící voda s vlnami a velmi výjimečně s menšími vlno-válci až válci, ve většině případů snadno se vyhnutelnými. | Začátečníci až pokročilí, nutná znalost ovládnání lodi. Bez potřeby znalosti komplikovaných průjezdů a jiných zvláštních záběrů |
| WW III | Peřeje s občasným výskytem větších válců, či skoků. Ve většině případů lze výrazné prvky snadno objet jinými průjezdy. | Zdatní a pokročilí sportovci. Ve výjimečných případech lze některé peřeje zdolat se začátečníky |
| WW IV | Zablokované peřeje často s více možnostmi průjezdu. Často pouze s jedním či několika výraznějšími prvky (vodními válci, skoky...). Výrazné prvky snadno předvídatelné a průjezdné | Vhodné pro zkušené až velmi zkušené sportovce. U velmi zkušených sportovců často není nutná přesná předchozí znalost terénu. |
| WW V | Peřeje s nejrůznorodějšími hydraulickými prvky od vodních válců, přes vodopády a případnými riziky sifonů a jinak podemletých břehů. | Pouze pro velmi zkušené až profesionální sportovce. Nutnost předchozí znalosti peřeje a přesné trasy možného průjezdu |
| WW X | Nesjízdné zablokované peřeje neumožňující průjezd v lodi | Reálně nesjízdné peřeje |

Výše uvedená tabulka je pouze orientační, každá peřej je svým způsobem charakteristická a obtížnostní označení se může individuálně lišit v závislosti na úhlu pohledu sportovce a daném průtoku v korytě. Obtížnost se může lišit u velmi malých a prudkých potoků do 10 m³/s a řek s vysokými průtoky nad 100 m³/s. Také se do obtížnosti může promítat možnost prohlédnutí úseku nebo četnost míst umožňující zastavení.

4.3 Parametry slalomové dráhy dle ICF

Mezinárodní kanoistická federace (uvedená pod zkratkou ICF) stanovuje podmínky tratí pro pořádání mezinárodních závodů dle stanovených technických podmínek, které jsou dostupné na webových stránkách federace a jsou v průběhu let doplňovány. Tyto podmínky však stanovují spíše průběh závodů s ohledem na technické zázemí, bezpečnost, přístup veřejnosti a závodníků. Nejedná se tedy o technické parametry stavby, ale spíše organizaci soutěží za pravidel pro vyrovnanou soutěž (INTERNATIONAL CANOE FEDERATION (ICF) 2020).

Pro technické zařízení konstrukce slalomové trati jsou stanoveny podmínky pouze pro nově konstruované olympijské tratě. Konstrukční podmínky jsou dnes ale převzaty pro většinu závodů nadnárodních úrovní. Podmínky jsou stanoveny listinou dostupnou na stránkách ICF. Dle této listiny by měla být dráha obtížnosti WW III s některými peřejemi o obtížnosti WW IV. Délka takovéto dráhy by se měla pohybovat mezi 200 až 400 metry, která by měla být doplněna o alespoň 50 metrů určených pro cílovou rovinu. Spád dráhy by neměl přesahovat 2 % na 100 metrech a na dráze by neměly být více než 2 výrazné vodní skoky. Tyto skoky by také neměli přesáhnout výšku 0,8 metru. Jmenovitá šířka dráhy je dána na 10 metrů. Jmenovitá hloubka na dráze je stanovena na 1,5 metru a v peřejích není žádoucí nižší než hodnota 0,6 metru. To je dáno především prevencí zranění v případě, že jezdec je na nějakou dobu hlavou dolů. V prostorech tzv. „vracáků“ by pro snadné zatopení zádi lodí hloubka neměla být nižší než 1 metr. V opačném případě může docházet ke zbytečnému opotřebenosti materiálu lodí. Průtoky těchto tratí jsou navrhovány v rozmezí mezi 8–16 m³/s. Rychlosti v peřejích nejsou omezeny, ale ve vracácích nesmí rychlost proudu přesahovat 1,5 m/s. Materiálová konstrukce je upřednostňována z betonového koryta doplněné o nejčastěji užívané plastové překážky ukotvené do dna dráhy. Pro zajištění stálých průtokových podmínek pro všechny závodníky, jsou upřednostněny recirkulační čerpané USD. (INTERNATIONAL CANOE FEDERATION (ICF) 2015)

Pro závody olympijské úrovně by areál měl být doplněn o tréninkovou dráhu obdobných základních parametrů se sníženou délkou dráhy na minimálních 100 metrů a obtížností WW II. (INTERNATIONAL CANOE FEDERATION (ICF) 2015)

4.4 Historie umělých slalomových drah

Jako první konstrukci svým účelem pouze jako areál pro vodní slalom lze uvažovat slalomový kanál ve francouzském městě Vichy stavěný během 60. let 20. století. Dráha se nachází na 2 km dlouhém okrasném kanále odbočujícím z hráze Pont de l'Europe. Samotná část určená pro vodní slalom se nachází na konci tohoto kanálu na délce 350 m a koryto je tvořeno lichoběžníkovým profilem. V průběhu let dráha prošla několika rekonstrukcemi, a tak je dnešní vzhled více podobný standartním drahám. Většina překážek je zde tvořena z betonových konstrukcí, ale lze zde najít i pevně ukotvené plastové prvky. Obtížnost této dráhy není příliš vysoká a je využívána pro nižší soutěže a přípravu začátečníků. (Voves 2014)

Skutečnou první umělou slalomovou drahou konstruovanou čistě pro potřeby vodního slalomu je dráha v německém Augsburgu stavěná pro potřebu olympijských her v Mnichově v roce 1972. Na těchto olympijských hrách zažila disciplína vodního slalomu svou premiéru. Dráha byla konstruována v bočním kanálu řeky Lech určeném pro převádění ledů. Díky tomuto původnímu účelu areálu je dodnes pro dráhu používán výraz „Eiskanal“, což v překladu znamená „Ledový kanál“. Původní kanály pro převádění ledů však neměli dostatečný spád pro úroveň závodu olympijských her, a tak byl v místě vystavěn kanál přímo zpět do řeky Lech o délce 660 m. Na stavbu byl také pro návrh využit fyzikální model. Tato dráha byla ve své době považována za velmi záhudnou a nepředvídatelnou. Do dnešní doby lze dráhu považovat dle počtu uskutečněných soutěží nejvyšší úrovně za jednu z nejvyužívanějších a předních ve světovém měřítku. Celá dráha je dodnes tvořena betonovým obdélníkovým korytem doplněným betonovými překážkami. (Voves 2014)



Obrázek 3: prázdné koryto USD Eiskanal v německém Augsburgu (dostupné na <https://www.augsburg-tourismus.de/de/unesco-welterbe/sehenswuerdigkeiten/die-kanustrecke-am-eiskanal>)

Třetí z historicky pilotních drah je kanál v Německém Zwickau. Dráha byla postavena jako blízká kopie kanálu v Augsburgu pro umožnění tréninku olympijských sportovců z tehdejšího politického východního bloku. Stavěna byla ve velmi krátkém čase, aby umožnila co nejvíce času sportovcům pro přípravu na olympijské hry. Konstrukce byla vystavěna z obdélníkového koryta tvořeného panelovými betonovými stěnami a dnem vylitým betonem. Překážky byly navrženy po vzoru augsburské dráhy také z betonu. Dráha se nachází blízko českých hranic, ale po roce 1989 přestal být její provoz dotován a v dnešní době již není provozována. (Voves 2014)

Od roku 1972 byl vodní slalom z olympijských her opět vyřazen především z důvodu vysokých nákladů na stavbu dráhy na vodní slalom. Přesto díky olympiádě v roce 1972 byl zaznamenán velký nárůst zájmu o vodní slalom a po světě se začali realizovat projekty staveb USD. Největší zvýšení zájmu lze pozorovat v evropských státech, kde bylo mezi olympiádami se začleněným vodním slalomem postaveno velké množství slalomových drah. Mezi významnější dráhy budované v této době lze řadit stavby v městech Nottingham (1986), Saint Pierre de Bouef (1981), Isle de la Serre (1987), Cardington (1982), Skopje (1974), Tacenu (1990) a mnoho dalších. V této době nastal velký rozmach také na území tehdejšího Československa, kde bylo vystavěno vzhledem k menšímu území největší množství takových staveb. Československo se tak díky tomu stalo jednou z nejúspěšnějších zemí v disciplínách vodního slalomu. Mezi slalomové dráhy vystavěné v těchto letech řadíme dráhy v Brandýse nad Labem, Roudnici nad Labem, Veltrusech, Českých Budějovicích, Pražské Troje, nebo dráhy u vodního díla Trnávky. Na dnešním území Slovenska je nejvýznamnější stavbou dráha v Liptovském Mikuláši. (Voves 2014)



Obrázek 4: USD v Liptovském mikuláši (dostupné na <https://kanoje.cz/component/content/featured?id=featured&start=950>)

Z tohoto období lze za technicky nejvýznamnější považovat stavby drah ve Francouzském městě Lannion a stavbu olympijské dráhy ve španělském La Seu d'Urgell pro OH v Barceloně 1992. (Voves 2014)

Trať ve španělském La Seu d'Urgell byla z prvních USD využívajících technologii čerpadel mezi nádržemi na počátku a konci dráhy. Dráha je tvořena jako obtokové koryto vodní elektrárny na toku, která umožňuje opačný chod turbín a tím čerpat vodu pro zásobování slalomové dráhy. Díky využití této technologie byl projekt oceněn mírou inovace a ekologické stránky projektu. Umístění konstrukce na toku s možností využití čerpadel je tak v USD umožněn celoroční provoz za stabilních průtokových podmínek, a v období zvýšených průtoků nebo uzavření dráhy je průtok využíván pro výrobu elektrické energie. Další významnou inovací zjednodušující podmínky pro pořádání závodů je konstrukce pásového výtahu pro přesun sportovců z konce opět na počátek dráhy. Výtah je zde umístěn díky blízkosti přečerpávacích nádrží blízko u sebe, a tím krátké vzdálenosti potřebné pro toto zařízení. (Voves 2014)



Obrázek 5: Areál olympijské dráhy ve španělském La seu. Konstrukce je specifická především díky kombinaci přečerpávacího systému a říčního toku (dostupné na <https://www.canoeicf.com/canoe-slalom-world-cup/la-seu-durgell-2018/spectator-guide>)

Stavba ve Francouzském městě Lannion je významná především díky prvnímu využití přestavitelných boxů z plastových materiálů jako překážek na dráze. Dráha je díky těmto překážkám snadno přestavitelná i v menším množství lidí za nízkých časových i finančních nákladů. Systém ukotvení překážek a jejich tvar byl do dnešních let, oproti konstrukci v Lannionu, zdokonalen a výrobou podobných překážek se dnes zabývá více světových společností. Druhou inovací u této dráhy je využití přílivu a odlivu pro zásobování dráhy vodou. (Voves 2014)

Po roce 1992 se stavby slalomových tratí v Čechách téměř zastavily. V současné době jsou připravené projekty ve velkém množství větších měst na území ČR, ale ve většině případů naráží na problémy s financováním, majetkem nebo legislativou. Toto neznamená, že by nebyly stávající dráhy upravovány a rekonstruovány, aby zvyšovaly úroveň přípravy sportovců a také splňovaly podmínky pro pořádání mezinárodních závodů. Ve světě se zvýšení zájmu o podobné stavby nezastavilo a USD se staví v průběhu let nové na všech kontinentech. Specializací jsou samozřejmě také nové stavby drah pro olympijské hry. Dále je také mnoho drah umožňující přípravu sportovců v období evropské zimy. Sportovci využívají pro přípravu dráhy v Austrálii, Spojených Arabských Emirátech, Francouzském ostrově Reunion, Brazílii a dalších.



Obrázek 6: Areál USD v Al Ain (UAE dostupné na <https://www.northstaruae.com/wadi-adventure>)

4.5 funkce umělých slalomových drah

V technické praxi lze slalomové dráhy využít ke studiu proudění. Lze na nich ověřovat přesnosti modelovacích programů. Návrh hydrauliky těchto staveb může být od náhodného rozdělení po naprosto precizní uspořádání překážek na základě brilantní znalosti hydraulických procesů a chování proudění vody. Vzhledem k rozmanitosti tvarů a velikostí překážek dalších prvků dráhy můžeme sledovat a se zkušenostmi navrhovat konstrukce využitelné v jiných oblastech hydrauliky, jako jsou návrhy přepadů, spadišť, podjezů a mnoha dalších prvků.

V oblasti praktického využití jsou určeny slalomové dráhy především pro nácvik a soutěže v disciplínách slalomu na divoké vodě. Vzhledem k napodobení říčního koryta jsou využívány hojně všemi disciplínami zaměřenými na divokou vodu. Sjezdy na divoké vodě, rafting, padelboarding, riverboarding a další. Další praktické využití je v nácviku záchrany na divoké vodě pro hasiče, vodní záchranáře nebo i širokou veřejnost.



Obrázek 7: Napodobení konstrukce vodopádu pro komerční rafting. Součást areálu Vector Wero white water park na novém Zélandu (dostupné na <https://contractormag.co.nz/contractor/wero-whitewater-park/>)

Urbanistické využití u umělých slalomových drah je významné především pokud najdeme využití dráhy v rámci parkového celku a zapojení vodní plochy do městského prostředí. Výhodou vodních ploch v urbanistických plochách je hlavně klimatizační faktor v letních měsících. Významnější vodní plocha v intravilánu je využitelným prvkem modrozelené infrastruktury, ta v dnešní době zaujímá čím dál větší význam spojený především s klimatickou změnou a častějším opakováním intenzivních dešťů.

Z dalšího vodohospodářského hlediska záleží na umístění slalomové dráhy. V případě pozice na říčním toku může být slalomová dráha využita na rozšíření bezpečnostního přelivu, převádění ledů, použití jako štěrkové propusti, nebo rybího přechodu. U přečerpávací elektrárny lze teoreticky uvažovat s variantou propojení přečerpávací vodní elektrárny a umělé slalomové dráhy v případě dostatečné velikosti spodní a horní nádrže.

4.6 Konstrukce USD

Protože není jasně stanovená metodika pro konstrukce slalomových tratí, jsou konstrukce těchto staveb velmi různorodé.

Nejčastější konstrukcí běžně používanou je tvar obdélníkového betonového koryta, které je realizováno ve starých vorových propustech jezů, ochranných kanálech nebo jsou již stavěny za tímto konkrétním účelem. Jiným vzorovým příčným tvarem může být lichoběžníkové koryto, nebo tvar přírodě blízkého koryta. Ve většině případů jsou použity varianty s rovným dnem, které pomáhá snáze uchytit překážky do dnové konstrukce. Do dráhy jsou následně umístěny překážky. Dnešní nejčastěji aplikovanou variantou je umístění plastových stavebnicových boxů přichycených do dna konstrukce. Konstrukce překážek je však realizována z nejrůznějších materiálů od betonu a kamenných zdí, přes dřevo a plast, po kovové překážky. Na starších konstrukcích lze najít i prvky překážek z materiálů, které nebyly primárně určeny pro vodohospodářské stavby. Typickým příkladem jsou staré pneumatiky vyplněné betonem. Tento prvek využívá starých odpadů pro konstrukci a spojuje vlastnost pevné stabilní části betonu a gumové části chránící materiál a lodě před poškozením. Dodnes lze tyto překážky najít na USD ve Veltrusech. Podobná řešení nelze považovat za normu a vzorový příklad pro budoucí konstrukce, ale spíše jako součást historie výstavby těchto vodních děl.



Obrázek 8 Překážky z dřevěných vrat na USD Trnávka. (dostupné z <https://www.turistika.cz/mista/umely-slalomovy-kanal-na-trnavce/detail>)

Svrchní část dráhy je ve většině případů oddělena od koryta stavitelným vzdouvacím prvem. Zde se využívá nejrůznějších hydrotechnických konstrukcí jako je klapka,

hydrostatické jezové těleso nebo stavidlo. Pro USD je vhodné umožnit sportovcům příjezd do dráhy shora přes vzdouvací prvek. V tomto ohledu je třeba navrhnout tento prvek tak, aby nevytvářel nebezpečné vývařiště a aby o něj sportovci nemohli zavazit lodí a překonali jej bez obtíží. Na některých drahách je hlavním faktorem pro vstupní objekt regulace průtoku pro zajištění stejných podmínek pro všechny závodníky. Zde se nejčastěji využívá stavidlových uzávěrů a sportovci musí nastupovat na loď přímo v prostoru konstrukce dráhy.



Obrázek 9: Instalace přezdné klapky na vstupní části USD v Roudnici nad Labem. (dostupné z: <https://www.padler.cz/stary-novy-kanal-v-roudnici-nad-labem/>)

V některých projektech jsou tyto stavby směřovány více k přírodně blízkému řešení. U těchto projektů je často využíváno přírodního koryta nebo konstrukcí přímo napodobujících přirozené přírodní koryto svým příčným průřezem a opevněním břehů pohozem z kameniva. V některých případech je přechod mezi zatopenou a nezatopenou částí řešen opevněním travním porostem. Přírodě blízké varianty mohou najít využití z environmentálního směru. Břehy opevněné pohozem nebo jiným přírodně blízkým opatřením jsou vhodným útočištěm pro organismy. Tím může být lokálně zvýšena biodiverzita a přirozené přírodní procesy v blízkém okolí. Toto zvýšené využití je především u stále zatopených říčních koryt jako jsou na říčních korytech nebo konstruované jako bypassy jezů. V případě výrazné proměnnosti průtoků (například každodenní uzavírání průtoku do dráhy) je již výhoda podpory přírodního využití takřka bezvýznamná. Tyto projekty však svým charakterem mohou více působit jako říční koryto a často je lze propojit s městským parkem. Často je dráha součástí většího souboru vodních děl (vodní elektrárna, plavební komora, regulovatelný jez nebo přehrada). U těchto konstrukcí je propojení uživatelů a jejich nakládání s vodou stěžejní částí, která může narušovat provoz a využití dráhy.

V Posledních letech se často využívá konstrukcí slalomových kanálů stavěných za pomoci systémů čerpadel recirkulujících vodu mezi horní a spodní nádrží umělého řečiště. Tyto stavby nacházejí výhodu především ve snazším výběru lokality, která není závislá na přítomnosti vodního toku a jeho vydatnosti. Systémů čerpadel lze však využít i v případech nedostatečné vydatnosti toku u gravitační varianty na toku. V případě návrhu čerpací USD je třeba zaměřit návrh i na rychlosti v prostoru kolem čerpadel. Rychlosti především na vstupní části do čerpadel by měly být takové, aby nemohlo dojít k nechtěnému vplavání osob nebo materiálu do systému. Pro ochranu se používají zabezpečující prvky a vhodné umístění výstupních schodišť. Potřeba připojení na elektrickou energii výrazně zvyšuje provozní náklady. U takovýchto řešení je nutné již v přípravě studie proveditelnosti zajistit výpočet bilančních nákladů, aby stavba nebyla příliš závislá na příspěvcích a dotacích na provoz. Především pak podporou komerčního využití stavby.



Obrázek 10: Umělá surfová vlna na konci Čunovo water sports Centre v Bratislavě. (dostupné z <https://spectator.sme.sk/c/20907625/white-water-centre-not-just-for-professionals.html>)

U některých drah se využívá i speciálních prvků pro jiné vodní disciplíny. Jako nejčastější příklad lze považovat vlny pro říční surfing. Dále se lze setkat se stavitelnými překážkami pomocí hydraulických ramen, které mohou měnit tvar vodních prvků během provozu. V některých případech lze najít i velmi specifické překážky jako je umělá konstrukce vodopádu ve Wero white water parku na Novém Zélandě na obrázku 7.

4.7 Stavebnicové konstrukce

V posledních letech se na mnoha USD využívá systému stavebnicových prvků vyrobených z plastu. Mezi nejčastěji využívané překážky patří produkty Rapidblocs a Omniflots (od firmy Hydrostadium).

Upřednostnění těchto konstrukcí je dnes především díky jednoduchosti jejich instalace a přestavitelnosti v případě nevhodného návrhu nebo jen změně hydrauliky dráhy. Každý z výrobců využívá svůj vlastní způsob ukotvení.

- **Omniflots** – překážky od výrobce Hydrostadium jsou specifické válcovým nebo mnohoúhelníkovým tvarem. Dodávají se v různých velikostech a barvách dle potřeby investora. Pro ukotvení překážek slouží speciální otvory s vložkou, kterou lze připojit k jednotlivým dílům překážek. Kotvicí vložka je součástí prefabrikovaných betonových desek tvořících dno dráhy, nebo je lze zakomponovat do samostatné části dráhy vložením do monolitického betonového dna. Třetí variantou uchycení překážek je pomocí speciálního kotvicího systému, který plní funkci redukce mezi systémem Omniflots a Rapidblocs (hydrostadium GROUPE EDF nedatováno). Díky tomuto lze připojit překážky do dnového systému Rapidblocs. Rychlostí sestavení konstrukce jsou tyto systémy výrazně výhodnější oproti systému Rapidblocs. Nevýhodami na druhé straně je ale menší množství variability tvarů překážek. Tento systém překážek je použit například na USD v Penrith (Austrálie), Milau (Francie) nebo ve Vídni.



Obrázek 11: Instalace systému Omniflots do dnových panelů slalomové dráhy (dostupné z <https://www.hydrostadium.com/en/catalogue/produit/omniflotsr-mobile-obstacles>)

- **Rapidblocs** – Tyto překážky jsou tvořeny plastovými obdélníky připomínající stavebnici lego. V současné době lze říct, že překážky této firmy dominují konstrukcím USD. Tvořené jsou pomocí plastových boxů v různých tvarech, které mají v sobě zabudovanou ocelovou konstrukci, pomocí které je lze navzájem propojit. Plastovou část boxu tvoří především obal. Uchycení konstrukce je pomocí kolejnicového systému drážek nebo jen připravených závitů ve dně slalomové dráhy. Pomocí kolejnic nabízí tento systém větší variabilitu umístění překážek (Rapid Blocs nedatováno). Uchycení pomocí šroubů v kolejnicích bývá velmi časově náročné a stavba dráhy je tím výrazně pomalejší než s technologií Omniflots. Systém Rapidblocs je použit například v Kasai canoe slalom centre (Japonsko), Paříži (Francie) nebo na USD v Pražské Troje.



Obrázek 12: Konstrukce stavebnicových dílů Rapidblocs v modernizované části umělé slalomové dráhy v Troje. (dostupné z <https://www.padler.cz/wp-content/uploads/sites/5/import/502/vodacky-slalomovy-kanal-praha-troja-zehlicka-rekonstrukce-1.jpg>)

Plastový materiál je také velmi vhodný pro bezpečnost dráhy. Plastové překážky působí menší dopad na zranění plavců nebo poškození lodí v případě nárazu. Největší výhodou obou těchto technologií jsou snadné montáže, změny hydraulických prvků v dráze a barevná variabilita prvků. Na opačné straně je však konstrukce tvořená plastovými bloky velmi umělá a nepůsobí příjemným dojmem z environmentálního hlediska a pro některé pozorovatele i z designového. Díky všem výhodám těchto prvků jsou dnes tyto bloky nejčastěji využívaným materiálem pro tvorbu překážek USD ve světě. Ve světě je možné najít i prvky napodobující systémy těchto výrobců nebo technologie výrobců jiných.

4.8 USD vs. Přírodní trať

Za přírodní trať uvažujeme část přirozeného řečiště, na kterém nebyl upravován charakter řeky lidským přičiněním. Stavební a jiné úpravy jako přístup nebo výstavba zázemí v okolí říčního koryta není změnou měnící charakter přírodní dráhy na umělou slalomovou dráhu. Přírodní tratě jsou více dány přirozeným charakterem toku a tím je často větší vzdálenost mezi prudšími částmi dráhy. Spád a převýšení nejsou dány jinou stavbou nebo konstrukcí. Přírodní tratě a přírodně blízké USD jsou často o něco delší a více se zde uplatňuje vliv proudění vody nad a pod zavodním prostorem. Charakter proudění je vzhledem k příčnému tvaru koryta specifický a podobný přirozeným řekám. Především v prostorech, kde nejsou výrazné překážky je rozdíl rychlostí vprostřed a na krajích toku více rozdílný.



Obrázek 13: Přírodní trať v rakouském městě Lofer (dostupné na <https://www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/sport/Kanuslalom-Augsburger-Kanuten-muessen-auf-Slalom-Rennen-in-Lofer-verzichten-id59397886.html>)

Toto lze přisoudit především rozdílné hloubce v průřezu toku, a především drsnosti opevnění. Rozdílné hloubky jsou poté nepříznivé především pro závodníky, kteří v mělčích částech mohou zavadit zádi lodi při průjezdu brankami nebo tělem v případě, že jsou převrácení.

Výrazně ovlivněné tratě (obdélníková koryta s velkými překážkami) jsou často omezeny menším prostorem, a především převýšením dráhy. U těchto drah je chování proudění výrazně odlišné od přirozených tratí. Voda je velmi ovlivňována a je zde snaha o maximální energetické využití spádu. Často tedy překážky v proudění vytváří rychlé změny v rozjezdu a následném brždění proudění, aby energie spádu nebyla plýtvána na delších prostorech před a za prvky dráhy. Prvky jsou také často velmi blízko za sebou kvůli prostorové omezenosti stavby nejčastěji v centrech měst. Charakter proudění obdélníkových koryt je výrazně odlišný

od přirozených koryt. Vzhledem k nízké drsnosti a často konstantní hloubce je rychlostní profil proudění u břehu a uprostřed proudu velmi podobný. Tímto jsou omezeny kontrakce u břehů způsobené drsností a proměnností břehů. Ušetřená energie tak může být použita u dalších prvků dráhy, avšak při převádění poznatků do jiných praxí je nutné odlišnost chování proudění u břehů neopomenout.



Obrázek 14: Vzhled USD s výraznými umělými prvky. Kasai canoe slalom centre (dostupné z: <https://www.canoeicf.com/news/tokyo-slalom-venue-opened>)

Ze sportovního pohledu je rozdílná rychlost výrazným faktorem a při sjezdu na vodě je nutné s tímto uvažovat. Často je i pozorovatelné, že někteří sportovci jsou úspěšnější na přírodních tratích oproti USD a naopak. Lze to přisoudit odlišnému chování proudění a schopnosti adaptace sportovce na změnu oproti místu pravidelných tréninků. U obecných říčních koryt lze však zkušenosti s chováním obdélníkových koryt využít u soutěsek a kaňonů tvořených kolmými skalními stěnami.

4.9 Hydraulika z pohledu vodáckých disciplín

Vlastnosti proudění v korytech jsou také pozorovány v disciplínách zabývajících se divokou vodou. Tato technicky neoborná skupina si pro své využití našla vlastní názvy pro hydraulické jevy. Jde o názvosloví vytvořené určitou společenskou skupinou, která není metodicky propojena, a proto se v různých oddílech a vodáckých klubech může názvosloví lišit. Níže je uvedena tabulka některých pojmů.

| Odborný název | Vodácké názvosloví |
|-----------------------|--------------------|
| Vodní skok zatopený | Vývařiště |
| Vodní skok přiblížený | Vodní válec |
| Vodní skok oddálený | Vlnoválec |

| | |
|---|---------------|
| Břehové kontrakce, kontrakce za objekty v toku | Vracák |
| Zatopený výtok otvorem | Sifon |
| Jezový přepad (pevný skluz) | Slajd |
| Podtékající objekt kámen, skála | Undercut |
| Ostrohranný přeliv | Vodopád, skok |

4.10 Modelování Proudění

Model je určitý objekt (virtuální nebo reálný), na kterém zjišťujeme změny a popis studovaných jevů na zmenšené nebo imaginární napodobenině reálného (často budoucího) objektu. Skutečný sledovaný objekt v modelování nazýváme prototypem. Modelování se používá v přípravě velkých projektů pro návrh a prevenci vlivů na budoucí konstrukci. V praxi u vodohospodářských staveb se používá pro ověření kapacit bezpečnostních přelivů velkých nádrží a jiných staveb u povodní s dlouhou dobou opakování. U USD je modelování výhodné hlavně pro ověření minimálních hloubek v korytě a rychlostí v jednotlivých částech slalomové dráhy. Modelování má ve stavebním inženýrství velké opodstatnění především díky možnosti ověření a odzkoušení návrhu stavby před její realizací. Tím je umožněno návrh vytvořit efektivně s ohledem na bezpečnost a úsporu investičních, nebo provozních nákladů.

Modelování USD a fyzikální modelování je v praxi považováno v dnešní době za nejlepší přístup při hydraulickém návrhu těchto tratí. Fyzikální model nejlépe odráží skutečné chování vodního prostředí, které je velmi náročné a někdy až nemožné přesně spočítat jen pomocí výpočtů a standartních návrhů vodohospodářských objektů. Model je snadno nastavitelný a ověřitelný ve svém chování pro různé sestavení překážek a velikost průtoku. (Pollert, Whitewater Centre Rio de Janeiro, Brasil, Final Report Physical modeling 2014)

4.11 Matematické modelování

Matematické modelování je velmi širokým pojmem. Matematické modely popisují vztahy mezi jednotlivými prvky a faktory studovaného systému. Tyto prvky uvažujeme jako abstrakce, které omezujeme dle potřeb našeho modelu. Matematické modelování lze aplikovat ve velké škále oborů. Pro jednotlivé obory lze ještě navíc dělit modely dle jejich rozměrnosti. Pro studium proudění se používá často jedno, dvou, nebo tří rozměrných modelů.

- 1D modely – uvažují zanedbání složek proudění ve dvou směrech vzhledem k řádově nižším hodnotám oproti hlavnímu směru proudění. Tyto modely se nejčastěji používají pro proudění v přímých prizmatických korytech nebo potrubích.

- 2D modely – dvourozměrné zjednodušení se nejlépe využívá v případě zanedbatelnosti jednoho směru proudění vzhledem k řádově nižším hodnotám (nejčastěji u svislého směru proudění)
- 3D modely – sledují tvar veličiny proudění ve všech třech směrech. Pomocí těchto modelů se popisují špatně zjednodušitelné případy jako proudění přes překážky, v ohybech a podobně.

Správné fungování matematického modelu je předpokládáno za dodržení výchozích řídicích rovnic pro zákon zachování hmotnosti a zákon zachování hybnosti. U některých specifických projektů může mít zásadní vliv i zákon zachování energie s ohledem na stlačitelnost kapaliny a přenos tepla. Za nejpřesnější metodu v hydraulice lze považovat metodu konečných prvků. Tato metoda je trojrozměrná a tím nám ukazuje chování proudění ve všech směrech objektu. Pro aplikaci této metody si objekt charakterizujeme ideálně jako trojúhelníkovou síť, která rozdělí sledovaný model na malé, navzájem se sebou sousedící, prvky. Hustota sítě nám určuje svou podrobností velikost chyby modelu, ale zároveň také náročnost výpočtu. V případě modelů sledujících proudění jsou výsledkem hodnoty samostatných prvků ve sledovaných veličinách. Ve většině případů je výsledkem pole bodových rychlostí a statických tlaků. Lze sledovat mnoho veličin jako je hustota, teplota či koncentrace chemických látek v sledovaném objemu (Matoušek 2020). Výstupem metody konečných prvků jsou nejčastěji CFD modely.

Přesnost modelu je závislá na podrobnosti sítě a velikosti jejich jednotlivých dílčích elementů. Větší podrobnost je samozřejmě spojena s vyšší náročností na výpočetní techniku a dobu výpočtu. Výsledky experimentálních dat je vždy nutné ověřit podobností s praxí nebo fyzikálním modelem. Některé zanedbávané veličiny mohou ovlivňovat více než bylo předpokládáno.

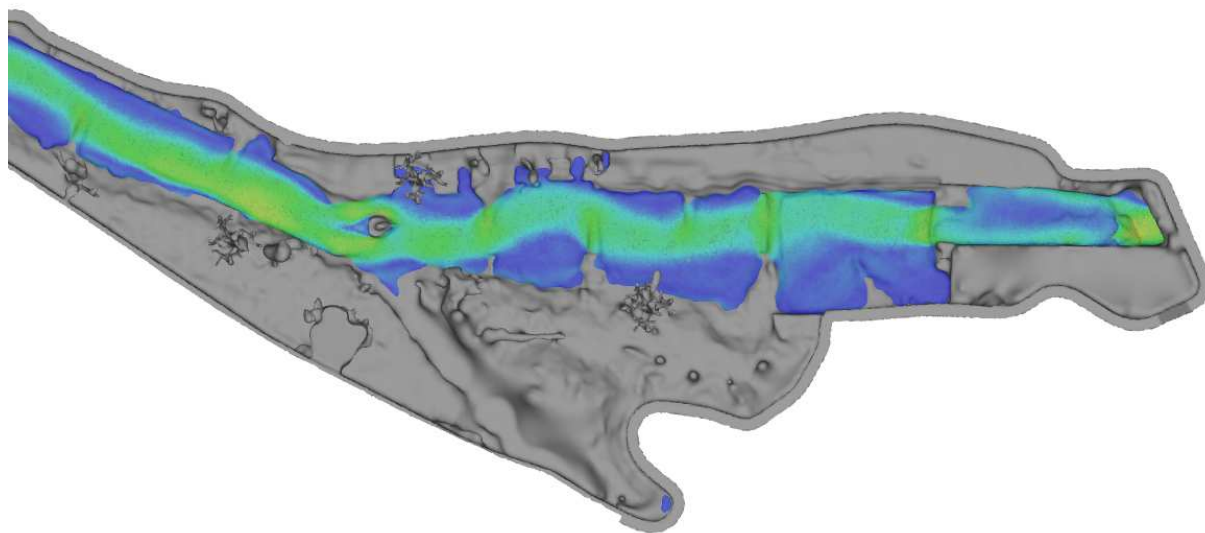
Mezi největší výhody matematického modelování patří rychlost realizace a částečná finanční nenáročnost. Toto modelování lze snadno aplikovat pouze v jedné osobě za pomoci výpočetní techniky a software. Vzhledem k pohybu ve virtuálním prostředí je sledováno chování objektů téměř neomezených rozměrů a snadno lze obměnit parametry a velikosti některých veličin. Přesnost je zde vždy závislá na výběru software, a především na výkonu výpočetní techniky. Cenová dostupnost je zde samozřejmě zohledněna na ceně softwarové licence a počítače.

Nevýhodou matematického modelování je více komplikované sledování změn návrhů především časově. Pro jednotlivé dílčí změny je třeba často opakovat celkové výpočty. Pulzace a vírovitosti v modelu jsou stanoveny indexními hodnotami, které jsou hůře představitelné do reálného prototypu. Matematický model je často u návrhu USD využíván

až po navržení dráhy fyzikálním modelem pouze pro výpočet kontroly finálního návrhu a prezentaci projektů.

4.12 CFD modely

Computational Fluid Dynamics (CFD), je proces fyzikálních jevů proudění tekutin a jeho numerické řešení pomocí matematických modelů.



Obrázek 15: Grafický výstup rychlostí CFD modelu (dostupné z <https://optiflow.cz/wp-content/uploads/2020/11/CFD-Kadan-Water-e1604419959867.png>)

V software prostředí programu zpracovávajícím CFD modely jsou objekty a jiné virtuální prototypy testovány s ohledem na proudění tekutin. Model je specializován na proudění a hlavními proměnnými jsou zde rychlost, tlak, teplota, hustota, nebo třeba viskozita kapalin. (What is CFD | Computational Fluid Dynamics? nedatováno) Modely jsou využívány pro všechny typy kapalin, a kromě proudění v korytech jsou využívány při návrhu trubních systémů, vzduchových ventilací, nebo u aerodynamických návrhů automobilů a letadel.

Využití matematického modelu pro stavbu umělé slalomové dráhy je velmi přínosné především pro sledování rychlostí a hladin proudění měnících se v závislosti na pozici překážek. Další velmi nápomocnou veličinou nám mohou být vektory, které nám určí trajektorie proudnice v dráze. V praxi je pro sledování těchto veličin často používán program ANSYS Fluent. Tento program je součástí většího portfolia aplikací sdružených společností ANSYS. Pomocí propojení více software je tento program schopen simulovat proudění uživatelem nastavených látek v prostoru nebo objektech zakreslených ve 3D virtuálním prostředí.

4.13 Fyzikální modelování

Fyzikální modely jsou, na rozdíl od matematických modelů, skutečné a jedná se o zmenšeninu budoucí stavby v měřítku nebo její část. Fyzikální modely slouží ke znázorňování a pozorování chování stavby nebo zařízení při různých simulovaných stavech. Fyzikální model je oproti matematickému často považován za kvalitnější, díky skutečnému ověřování rychlostí a sil působících na těleso za pomoci standartních měřících nástrojů.

Zásadní výhodou fyzikálních modelů je rychlost a snadnost přestavění prvků ve fyzikálním modelu a také změny průtoků (samozřejmě je to vždy závislé na daném projektu a přípravě celkového modelu, čerpadla pro pokusy atd.). Snadno lze změnit nepříznivé jevy původního návrhu a sledovat jejich nové chování. U matematického modelu by bylo třeba výpočet pro každou změnu opakovat celý.

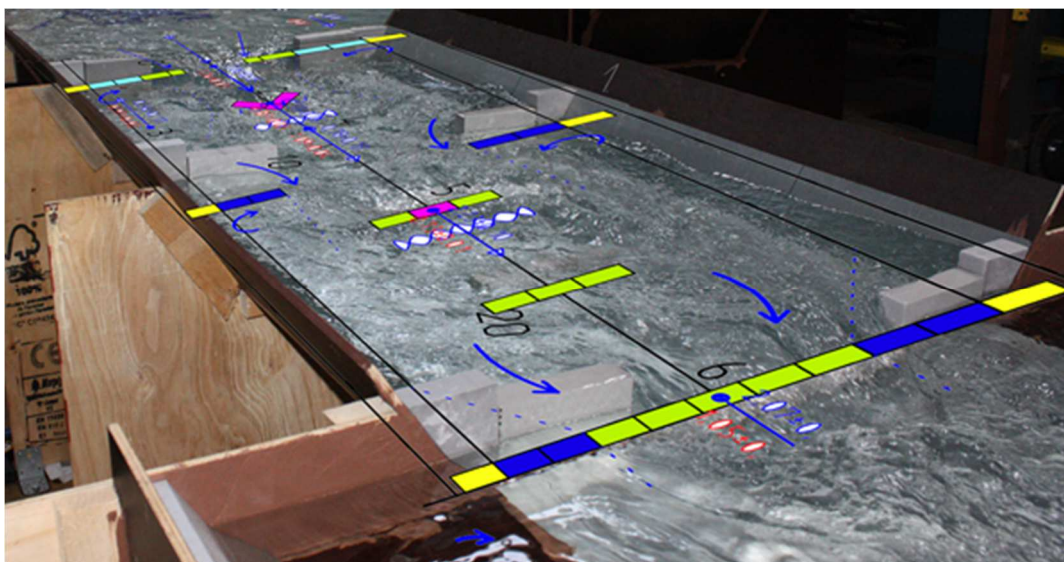


Obrázek 16: fyzikální model v laboratoři v průběhu návrhu (dostupné z: <https://www.horydoly.cz/vodaci/model-slalomoveho-kanalu-pro-rio-byl-postaven-v-praze.html>)

Nevýhody fyzikálních modelů jsou často v omezení měřítka a velikosti modelu vzhledem k prostoru, kde je model konstruován. Dále jsou náročnější pro personální obsazení při měření a stavbě modelu. Fyzikální modelování využívá vzájemné podobnosti prototypu a modelu na základě Froudova čísla.

Toto číslo zkoumá pohyb prostředí, a otevřených koryt ovlivněných gravitací. U fyzikálního modelování s volnou hladinou nám podobnost Froudova čísla zajišťuje přibližnou dynamickou podobnost proudění.

Dominují zde především gravitační a setrvačné síly. Je nutné uvažovat, že na fyzikálním modelu jde pouze o přibližnou mechanickou podobnost, a nikoliv tedy úplnou. Zavádí se do interpretací výsledků chyba vztažená k prototypu. Na modelech lze také v případě rozměrové náročnosti využít zkráceného modelu. Na těchto převýšených modelech je nutno zachovat určité minimální hloubky, které by mohly zavádět výrazné nepřesnosti vzhledem k tření a náročnosti přesností na měření. (Matoušek 2020)



Obrázek 17: část fyzikálního modelu s naměřenými výstupy rychlostí a směry proudění. (Pollert, Whitewater Centre Rio de Janeiro, Brasil, Final Report Physical modeling 2014)

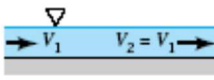
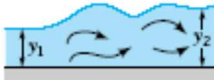




Výstupní obrázky jako je vidět výše ukazují jednotlivé jevy a prvky v korytě dráhy. Šipkami jsou znázorněny směry proudění. Tečkované čáry znázorňují hranici mezi kontrakcemi a hlavním proudem. Šroubovicí je znázorněn vodní skok a barevné obdélníky značí velikost a typ typizované překážky. Pro výstup práce s fyzikálním modelem je třeba popsat podobným způsobem všechny části dráhy.

Výpočet Froudova čísla

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gl}}$$

| | |
|---|---------------------|
| Fr – Froudovo číslo | [-] |
| v – rychlost | [m/s] |
| g – tíhové zrychlení | [m/s ²] |
| l – charakteristický rozměr (u koryt nejčastěji hloubka y_s) | [m] |

Na základě rozdílů Froudových čísel je možné odvodit tvar a chování vodního skoku. U malých rozdílů ve změně Froudova čísla lze sledovat velké množství vody pokračující ve směru proudění. S narůstajícím rozdílem se od hladiny více vody vrací ve formě vodního válce směrem k místu proměny proudění. Otočením části proudící vody proti přitékající je vyčerpávána energie. Pro sportovce je důležité, aby ve vodním válci stále velká část vody odtékala dále po proudu. V případě většinového vracejícího se proudu je vytvořeno vývařiště známé především z nebezpečných jezů.

| Classification of Hydraulic Jumps (Ref. 12) | | | |
|---|------------|---|---|
| Fr_1 | y_2/y_1 | Classification | Sketch |
| <1 | 1 | Jump impossible |  |
| 1 to 1.7 | 1 to 2.0 | Standing wave or undulant jump |  |
| 1.7 to 2.5 | 2.0 to 3.1 | Weak jump |  |
| 2.5 to 4.5 | 3.1 to 5.9 | Oscillating jump |  |
| 4.5 to 9.0 | 5.9 to 12 | Stable, well-balanced steady jump; insensitive to downstream conditions |  |
| >9.0 | >12 | Rough, somewhat intermittent strong jump |  |

Tabulka zobrazující tvar vodního skoku v závislosti na rozdílu Froudových čísel. (Pollert, Whitewater Centre Rio de Janeiro, Brasil, Final Report Physical modeling 2014)

Pro fyzikální modelování otevřených koryt tak využíváme Froudův zákon podobnosti. Kromě gravitačních sil zde proudění mohou ovlivňovat i další síly, jako je odpor třením, kapilární síly, objemové síly nebo vazkost kapaliny. Dle Froudova zákona podobnosti je možné sledovaný jev zkoumat pouze tehdy pokud jsou v porovnání s gravitačními silami ostatní síly zanedbatelné. Mezní podmínky jsou většinou stanoveny oblastí a měřítkem, ve kterých je možné hydrodynamický jev modelovat. Pro Froudův zákon podobnosti jsou kinematically podobné jevy podobné i dynamicky v případě, kdy příslušné příčné řezy mají stejná Froudova čísla. (Kolář V., Patočka V., a Bém J. 1983) (Čábelka J. a Gabriel P. 1987)

Na základě modelových podobností jsou měřítka veličin přepočítávána na základě Froudova zákona podobnosti.

| | |
|----------------------------|-------------------|
| Geometrické měřítko | $M_h = M_l = M_b$ |
| Měřítka rychlostí | $M_v = M_l^{1/2}$ |
| Měřítka průtoků | $M_Q = M_l^{5/2}$ |
| Měřítka času | $M_t = M_l^{1/2}$ |

Kompletní tabulku s mnoha dalšími používanými veličinami pro přepočet měřítka lze nalézt ve skriptech Hydraulika II (Vladimír Havlík, Ivana Marešová 1995).

4.14 Rozdílnosti modelování

Modelování proudění přineslo velký pokrok v posledních letech především díky zdokonalující se výpočetní technice a tím spojenému rozšiřování možností matematických modelů. Vzhledem k zdokonalování těchto technologií mohla být zaznamenána výrazná změna v postupech matematických modelů. V dřívějších praxích před nástupem výpočetní techniky byly výsledky modelování proudění závislé na manuálních výpočtech empirických vztahů, které nám charakterizují jednu průřezovou rychlost. Za pomoci těchto výpočtů bylo velmi náročné a zároveň nepřesné stanovit rychlostní profil proudění ať už v korytech, nebo v potrubních systémech. Bez výpočetní techniky lze tak nejvíce poznatků převést ze správně postaveného fyzikálního modelu.

V dnešní době je matematické modelování za pomoci výpočetní techniky velmi přesné a mohou se za jeho pomoci stanovit trajektorie, rychlosti a směry proudění v libovolně tvarovaných vodohospodářských objektech. Dalšími hodnotami, které můžeme pro jakékoliv body v soustavě odvodit jsou hodnoty intenzity vírovitosti. Vírovitost nám stanovuje hodnoty turbulence. S vysokými hodnotami vírovitostí, lze předpokládat velké pulzace proudění, které nám mění rychlosti a směry v daném bodě v závislosti na čase. U většiny objektů se snažíme omezovat pulzace na minimum, aby objekty fungovali správně. U USD se snažíme omezovat pulzace především pro sjednocení podmínek pro všechny závodníky a vytvoření stabilní neměnné dráhy. V technické praxi se nejlépe nových matematických modelů využívá v objektech s pomalejším prouděním bez výrazných spádů a změn v průběhu. Nejčastěji jde o nátokové objekty, bazény, sedimentační i jiné nejrůznější průtočné nádrže a podobně.

4.15 Postup hydraulického návrhu USD

Návrh USD musí být v souladu se všemi předpoklady danými investičním záměrem a předpokladem funkce daného areálu. Parametry konstrukce dráhy jsou určeny dle jednotlivých uživatelů areálu.

- **Vrcholoví sportovci** – u této skupiny uživatelů je požadováno, aby dráha splňovala podmínky pro pořádání mezinárodních závodů dle kapitoly 4.1.3.. Dále dráha umožňuje co nejkvalitnější přípravu. V tomto ohledu je výhodné záludné sestavení vodních prvků pro nácvik nových netradičních průjezdů, možnost snadného pohybu mezi začátkem a koncem dráhy nebo jejími částmi (často za pomoci výtahu, snadných výstupů nebo uzpůsobením překážek pro výjezd do vyšších částí po stranách peřejí). Nedílnou součástí pro tyto sportovce je uzpůsobení pohybu kolem dráhy pro její rozbor a pohyb trenérů pomáhajících s přípravou sportovce. Z ostatního vybavení dráhy je dojezdová vzdálenost ubytovacího a stravovacího zařízení a případně dalších prvků jako je tělocvična nebo regenerační zóna.
- **Začátečníci a mládež** – Tato skupina uživatelů není velmi náročná na podrobnou vybavenost areálu ve formě výtahů a podobně, jako je u vrcholných sportovců, ale doplňující prvky jim také mohou pomoci v přípravě a zdokonalování se. Tito uživatelé většinou vyžadují nižší obtížnost dráhy vzhledem k menšímu množství zkušeností. Především začátečníci ale i mládež jsou častěji vystaveni nedobrovolnému opuštění lodi a následnému plavání korytem. V těchto případech je velmi žádoucí snadný přístup pro nástup a výstup z koryta v lodi i bez ní. Pro začátečníky je často žádoucí i výrazné oddělení peřejí klidnějšími úseky pro usnadnění případného eskymáckého obratu, na který tito uživatelé často potřebují více pokusů.
- **Sportovci jiných vodních sportů** – Požadavky se pro odlišné sportovní disciplíny liší. Pokud je s těmito disciplínami v návrhu uvažováno měl by návrh počítat s individuálními potřebami pro každou disciplínu. Charakteristické prvky mohou být například surfovací vlna pro říční surfing, ohled na širší místa v dráze pro rafting, zvýšený důraz na hloubku pro potřeby riverboardingu, a další.
- **Diváci a veřejnost** – U této skupiny je užívání spojeno především s návštěvou závodů nebo náhodné návštěvy během výletů za jiným účelem. Pro tyto uživatele je především důležitá dostupnost dopravními prostředky (parkoviště nebo spojení veřejnou dopravou) a prostor v okolí dráhy. U diváků soutěží je žádoucí vhodné rozmístění tribun, ze kterých je možné vidět co největší část dráhy a v ideálním případě je základní tvar dráhy i tomuto přizpůsoben. Mezi další vybavení vyhledávané touto skupinou patří vybavenost gastronomického zaměření a možnost dalšího zábavního využití. Další prvky jsou důležité především pro děti, které často

nevydrží dlouho sledovat sportovce na dráze při závodech či tréninku. Tyto doprovodné zábavní prvky mohou být od dětských hřišť, přes velká lanová centra, po surfovací vlny, nebo pláže zpřístupňující letní koupání mimo peřeje například v nádrži na konci dráhy.

Bezpečnost – Nedílnou součástí, která by měla vždy být mezi hlavními parametry návrhu je bezpečnost při užívání a provozu dráhy. Bezpečnost pro sportovce je zajištěna především zachováním potřebných minimálních hloubek na dráze, tvarem překážek snižujících pravděpodobnost zranění a možnost opuštění koryta ve většině částí koryta dráhy. Překážky musí být navrženy, tak aby zamezily možnosti zachycení těla pod vodní hladinou, jiných zranění od ostrých hran, nebo natlačením těla na překážku. Napomoci může také rychlé nastavení hradícího prvku na začátku dráhy, který zastaví přítok vody do dráhy. Pro ostatní uživatele dráhy je třeba zajistit bezpečnost na březích dráhy, aby nemohlo dojít k pádu do koryta nesportujícím uživatelům. Tato bezpečnost je zajištěna většinou pomocí zábradlí či zpevněných přehledných ploch pro bezpečný pohyb v bezprostředním okolí koryta. (Pollert, Whitewater Centre Rio de Janeiro, Brasil, Final Report Physical modeling 2014)

Před samotným hydraulickým návrhem je třeba sloučit dohromady požadavky a parametry dráhy dané její funkcí s předpokládaným využitím. Následně je třeba určit základní umístění koryta dráhy vzhledem k vodním poměrům jezu, toku nebo stávajícím nádržím využitým pro přečerpávání pomocí čerpadel. Koryto dráhy je umístěno do terénu s parametry sklonu, šířky a profilu koryta dle předpokládaného průtoku a obtížnosti.

Návrh koryta je následně připraven pro modelování jednotlivých prvků dráhy. Pro nejčastěji používaný fyzikální model je v největším možném měřítku, vzhledem k možnostem laboratoře, sestaveno modelové koryto, pro které jsou připraveny ideálně magnetické překážky ve zmenšeném měřítku. Magnety na spodní části překážek ve spojení s kovovým podkladem modelu umožní snadné přemísťování překážek a tím návrh dráhy v průběhu pozorování modelu v provozu. Čerpací systém je navržen pro ekvivalentní průtoky s těmi v praxi předpokládanými podle měřítka průtoku z Froudova zákona podobnosti. Se spuštěným modelem jsou do koryta umísťovány překážky do finálního rozmístění, pro které jsou následně kontrolovány hloubky a rychlosti v korytě, aby byly splněny stanovené parametry a podmínky. Pro každou část koryta je následně zaznamenán zakres s přesným umístěním překážek a přepočtenými rychlostmi a hloubkami. V návaznosti na návrh fyzikálního modelu lze připravit pro ověření, pomocí specializovaných software programů, také matematický model. Tento model je poté vhodný pro ilustraci a prezentaci návrhu projektu a může nám ověřit bodové rychlosti v místech, které bylo obtížné měřit na fyzikálním

modelu. Matematický model se pak často používá u vtokových a výtokových objektů čerpacího systému. Kontrolují se především rychlosti v nádrži, aby nemohlo dojít k vplutí sportovce či plavce do systému.

5 PROJEKT USD KADAŇ

5.1 Popis projektu

Projekt USD Kadaň byl otevřen v návaznosti na žádost sportovního oddílu TJ DNT Kadaň, a především pana Petra Hořeního, který se projektem začal zabývat. V lokalitě je plánována rekonstrukce jezu pod organizací státního podniku povodí Ohře. V současné době je stávající slalomová dráha ve velmi špatném stavu a její zdokonalení by pomohlo zvýšit úroveň sportovců z oblasti. Ze vstřícného vyjádření podpory a finančního příspěvku ze strany města byla vytvořena studie proveditelnosti, která je jedním z podkladů této práce a projektové dokumentace stavby. Ze studie proveditelnosti bylo vyvozeno, že by bylo možné dráhu zrekonstruovat za cenu přibližně 18 mil. Korun. Rekonstrukce by umožnila využívání trati i za nižších průtoků v řece a zvýšila by kvalitu sportoviště vyšším počtem hydraulických prvků. Součástí modernizace je konstrukce systému pro zavěšení slalomových bran a napojení na síť technické infrastruktury pomocí ochranného vedení kabelů. V současné době pracujeme na projednání a získání všech dílčích náležitostí pro získání dotace, která by finanční částku pro stavbu dráhy pokryla.

5.1.1 Lokalita

Město Kadaň se nachází v západní části Ústeckého kraje u hranic s krajem Karlovarským. Městem protéká řeka Ohře na úseku mezi dvěma vodními nádržemi VD Kadaň a VD Nechranice. Přímo ve městě se nachází 2 metry vysoký jez, v jehož bezprostřední blízkosti se nachází plocha pro budoucí záměr. Předpokládané umístění areálu je v místě původního mlýnského náhonu jezu v Kadani. Trasa mlýnského náhonu je v dnešní době využívána jako zjednodušená dráha pro vodní slalom.

Pozemky, na kterých je stávající dráha umístěna, jsou ve vlastnictví státního podniku povodí Ohře. Pronájem pozemků je zprostředkován pomocí smlouvy o pronájmu, která byla pro potřeby dotace sjednána. V současné době je pronájem prostoru schválen a projednán. Smlouva bude podepsána v návaznosti na ujasnění podmínek dotačních titulů. Jednou z příloh je žádost o pronájem pozemků na základě které bude vyhotovena smlouva o pronájmu.

5.1.2 Současný stav



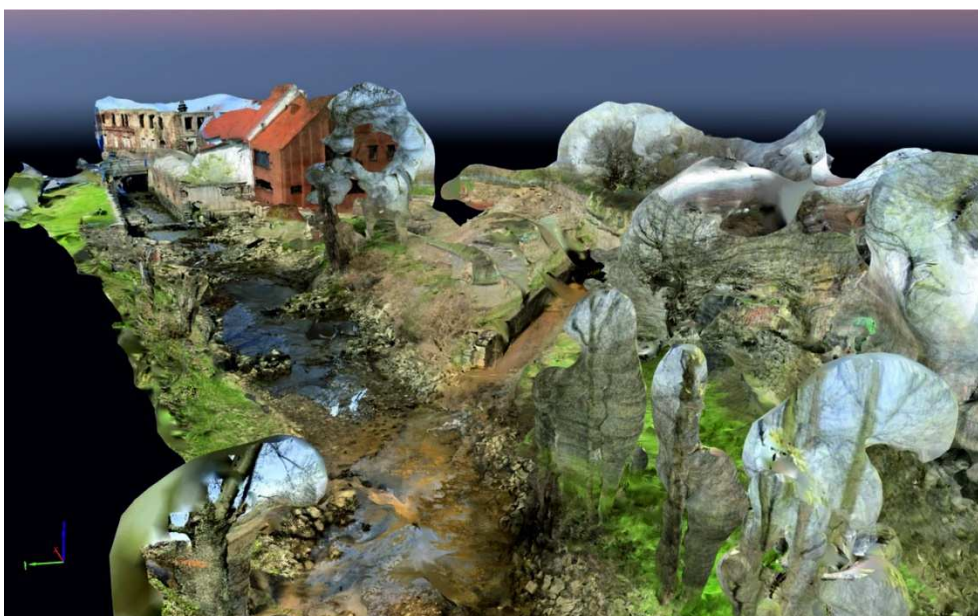
Obrázek 18: Současný stav slalomové dráhy ve městě Kadaň (vlastní foto)

V Současné době je dráha využívána oddílem TJ DNT Kadaň. Ten jej využívá pro výcvik a trénování svých členů v disciplínách vodního slalomu. Za přibližně 20 metrů dlouhým náhonem oddělující vodu od hlavního koryta řeky navazuje rozšíření do přirozeného lichoběžníkového koryta původně opevněného kamenným pohozením ve dně i na březích. Opevnění je místy porušené vlivem povodňových průtoků v průběhu let. Toto koryto má v šířce kolem 10 metrů a jsou v něm konstruovány překážky z kamenných hrázek skládaných na sucho bez dalšího zpevnění. Dno je ponecháno původní skladbě, které také není nijak významně zpevněno. Podél koryta je na obou stranách stromořadí rostlých stromů s nepravidelnými rozestupy kolem 10 metrů. V poslední části prochází koryto pod mostem, po kterém vede silnice 224. Za mostem se koryto náhonu opět spojuje s původním řečištěm řeky Ohře. Zázemím slalomové dráhy je především loděnice oddílu umístěná v docházkové vzdálenosti nedaleko nad jezem proti proudu řeky Ohře. Druhým místem zázemí především pro tréninky a případně pořádání soutěží je ostrov mezi náhonem a jezem. Ostrov je přístupný po mostu přes náhon v počáteční části dráhy. Most je dostatečný pro pojezd osobních vozů. Prostor ostrova a náhonu je ve vlastnictví státního podniku povodí Ohře a dlouhodobě jsou prostory pronajímány a spravovány zmíněným vodáckým oddílem, který se zde stará o běžnou údržbu zeleně a využívá jej pro pořádání akcí.

5.1.3 Zaměření areálu

Areál byl zaměřen pomocí fotogrammetrické metody za pomoci pozemního fotoaparátu a fotografování za pomoci dronu.

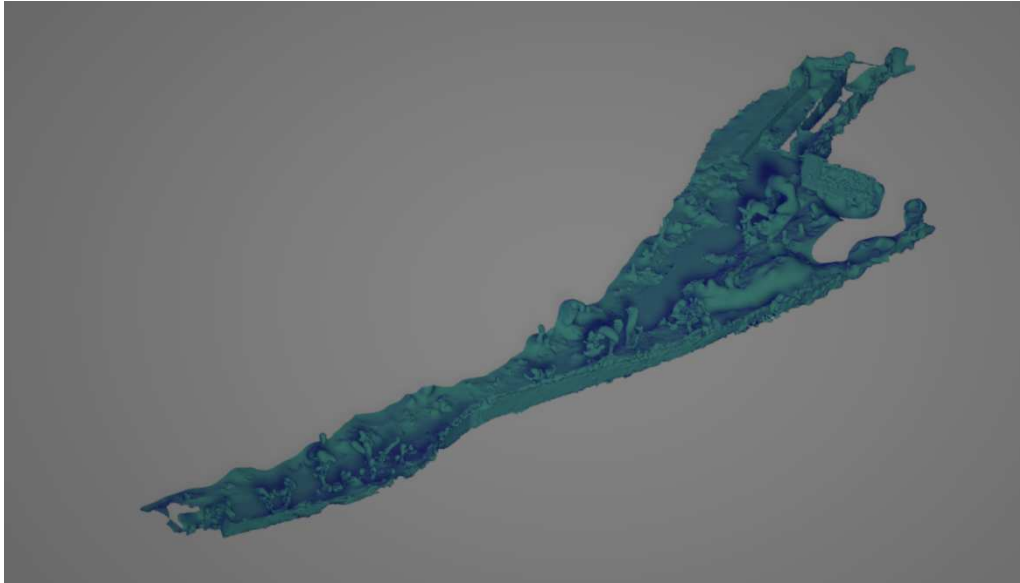
Fotogrammetrie – měřičská metoda, která využívá fotografií pro rekonstrukci tvarů a zaměření objektů. Přesnost fotogrammetrie je závislá na kvalitě snímků, jejich počtu, míře překrytí a samozřejmě světelných podmínkách při pořizování záznamu. Její kvalita a přesnost může být považována i za jednu z nej přesnějších v případě vhodných podmínek (základy fotogrammetrie podzim 2009). Mezi největší výhody této zaměřovací metody patří snadné aplikování bez velmi vysokých vstupních nákladů na pořízení zařízení.



Obrázek 19: Bodové mračno zaměření pomocí fotogrammetrie (z podkladů pro projekt Kadaň)

V dnešní době moderních technologií tak lze snadno pořídit zaměření objektu v 3D za pomoci nadprůměrného fotoaparátu a běžné výpočetní techniky. Mezi nevýhody lze zařadit značné chyby v případě špatných světelných podmínek a absence uchycení na stabilní bod geodetické sítě. Uchycení a pootočení zaměřeného objektu musí být vytvořeno dodatečně a může do zaměření také zavést dodatečnou chybu.

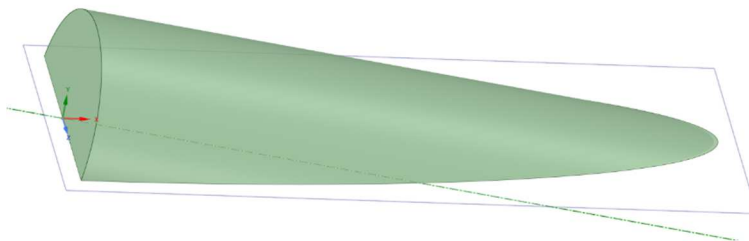
Na konkrétní zaměření bylo použito přes 800 fotografií s vysokým rozlišením, které se překrývají ze 70 až 80 %. Data z fotografií byla zpracována za pomoci software PIX4D. Tento software umožňuje z fotografií vytvořit mračno, které je následně přetransformováno do trojúhelníkové sítě. Dále za pomoci software Blender bylo vymodelováno dno, které se nachází pod vodní hladinou, která nelze snadno zaměřit pomocí fotogrammetrie. (Pollert, Umělá slalomová dráha Kadaň 2020)



Obrázek 20: výsledný virtuální 3D objekt zaměření připravený pro návrh (vlastní foto)

5.1.4 Plán rekonstrukce

V roce 2020 byla vypracována studie proveditelnosti, která je jedním z podkladů této práce a prvním stupněm tohoto projektu. V rámci studie proveditelnosti byla posouzena skladba terénu, základní hydrologická data a stávající konstrukce dráhy. Zaměření dráhy bylo zpracováno pomocí fotogrammetrické metody. Na základě podkladů byl vypracován návrh možné změny areálu, která by zvýšila kvalitu sportoviště pro výcvik i soutěže. Základními výsledky, kterých chtěla studie dosáhnout bylo zvýšení kvality sportoviště s ohledem na nižší možnosti využití finančních nákladů stavby a dlouhodobé údržby areálu. Svým charakterem se také zaměřila na využitelnost areálu v případě nižších průtoků v řece. Vyšší využitelnost je umožněna pomocí návrhu dynamických překážek.



Obrázek 21: návrhový tvar překážek umožňujících provoz při rozdílných průtocích (Pollert, Umělá slalomová dráha Kadaň 2020)

Konstrukce zábran ovlivňující vodní proud je kónického tvaru částečně zapuštěného do dna. Tento tvar usměrňuje průtok do jednoho bodu. V případě menších průtoků je všechna voda koncentrována do jednoho průjezdu. Naopak v případě vyšších průtoků najde uplatnění vyšší základna kónického prvku, díky které se hydraulické kontrakce vyskytnou i v tomto případě a bude možné nacvičovat jiné průjezdy. Dalším inovativním prvkem projektu je využití konstrukcí z 3D tištěného betonu. Tato technologie je uvažována na konstrukci

opevnění břehů. Díky velké variabilitě těchto konstrukcí je možné propojit u jednoho prvku břehu funkce opevnění, schodiště, designu, a zázemí „tribuny“ pro diváky nebo rozhodčí. Zmíněná technologie je v dnešní době velmi novou a zřejmě nebyla prozatím využita pro jiné vodohospodářské stavby. (Pollert, Umělá slalomová dráha Kadaň 2020)



Obrázek 22: vizualizační návrh břehů z 3D tištěného betonu (Pollert, Umělá slalomová dráha Kadaň 2020)

5.1.5 Projektová dokumentace

Pro projekt byla vypracována projektová dokumentace pro stavební povolení, která je přiložena k této diplomové práci. Projektová dokumentace nebyla vyhotovena jako součást samotné diplomové práce, ale byla použita jako jeden z podkladů pro uskutečnění projektu. V této části je stručně popsán rozsah stavební konstrukce a návrhu dle dokumentace.

Do stavební dokumentace se promítly podmínky ochrany přírody ve vztahu k soustavě chráněných území natura 2000, do které prostor budoucího areálu patří. Ve vztahu k této ochraně přírody bylo pevné betonové dno nahrazeno pouze betonovými stabilizačními pasy, kde dno v prostoru mezi pasy je zpevněno kamennou dlažbou. Stejnou skladbou je uvažováno opevnění na převážné části břehů, Na levém břehu v horní části dráhy bude instalována opěrná zeď pro úsporu místa a ochranu přilehlé stavby. Na pravém břehu, ze kterého bude převážný přístup k dráze, je navržena nová technologie 3D tištěných betonových bloků, které budou plnit funkci opevnění, tribuny, a přístupu do vody. Vytištěné díly budou připevněny do kotvících základů betonovaných na místě stavby.



Obrázek 23: foto situačního výkresu stavební dokumentace (Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s. 2021)

Dále budou oba břehy dráhy doplněny o ocelové sloupy s vodícím lanem, pro uchycením konstrukcí bran. Třetí částí stavební úpravy, která souhlasí se studií proveditelnosti je instalace kolektoru pro vedení kabelů elektrické energie a případně sdělovací sítě, které zde budou uloženy pro usnadnění průběhu a organizace sportovních soutěží.

Do koryta dráhy ústí ve střední části odpad Kadaňského potoka. Vzhledem ke zhoršené kvalitě vody je tomto potoce přístupeno k realizaci příčného nátokového žlabu v místě zaústění potoka. Tento žlab bude převádět vodu do potrubí PVC DN 400. Manipulace bude zajištěna pomocí šoupátkového uzávěru a na trase budou umístěny 3 revizní šachty pro případné čištění a jiné provozní zásahy. Toto řešení je bráno jako dočasné do doby zlepšení kvality vody v Kadaňském potoce. (Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s. 2021)

Situační výkres dokumentace pro stavební povolení je přiložen jako příloha 7 této práce.

5.2 Dotační výzva Národní sportovní agentury

Pro projekt je předpokládáno využití financování za podpory města Kadaň a prostředků financování za podpory Národní sportovní agentury z titulu dotační výzvy Regiony 2021 (Regiony 2022).

Dotační výzva je určena pro modernizaci a novou výstavbu sportovní infrastruktury na regionální úrovni v ČR. Předpokládanými žadateli o finanční příspěvek jsou obce nebo sportovní kluby, které nejsou výdělečně činné. Výše dotačního příspěvku je stanovena v maximálním rozsahu 70 % celkových nákladů akce. Dále je omezeno, na které části výdajů a v jakém rozsahu mohou být finance využity. Dotace je poskytována v rozsahu

jednoho až čtyřiceti miliónů korun. Rozsah povoleného finančního využití dotace popisuje následující tabulka. (CZV – celkové způsobilé výdaje)

| | | (výdaje po podání žádosti) |
|--|-----------------------|---|
| | | (DPH je způsobilým výdajem v případě kdy je účastník programu osoba, která není plátcem DPH) |
| způsobilé výdaje | LIMIT max. část (CZK) | výdaj |
| | 10% | projektové a přípravné činnosti úzce související s realizací, autorský doroz, koordinace BOZP (vše od 1.1.2021) |
| | 25 000 | nezbytné posudky autorizovaných osob nebo soudních znalců |
| | 10% max 1 000 000 | nákup nemovitého majetku (za podmínek) |
| | 5% max 500 000 | zřízení věcného břemene (za podmínek) |
| | - | stavební práce včetně inženýrských sítí a bezbar. přístupu |
| | 10 000 | prvotní publicita |
| | | pořízení dlouhodobého majetku |
| | | dodávky vybavení nutného pro plnohodnotnou realizaci stavby |
| | 20% CZV | pořízení dlouhodobého majetku movitého i nemovitého přímo nesouvisejícího ale nezbytného |
| | | výdaje nezbytné k udržení provozuschopnosti (oplocení, osvětlení, závlaha) |
| | 20% CZV | další zařízení jako odpočinková zóna, gastro, kanceláře... |
| | nezpůsobilé výdaje | výčet |
| demolice | | |
| sankce, penále, | | |
| dodatečné stavební práce | | |
| projekční činnosti nesouvisející bezprostředně se stavbou | | |
| pronájem nemovitých věcí | | |
| úpravy venkovních ploch nesouvisejících | | |
| provozní výdaje (energie, servisní úkony) | | |
| mzdové náklady a související náklady | | |
| náklady související s dočasným využitím náhradních prostor | | |
| | | |
| právní služby | | |
| všechna možná pojištění vyjma pojištění odpovědnosti a stavebně-montážního pojištění předkládaných zhotovitelem v rámci nabídky na výběr dodavatele v zadávacím (výběrovém) řízení, | | |
| bankovní služby a záruky | | |
| výdaje které budou shledány jako nepřiměřené | | |

Dále je pro uplatnění dotační výzvy třeba získání dostatečného bodového zisku dle tabulky hodnotících kritérií. Pro poskytnutí dotace je třeba minimální zisk 80 bodů z maximálního počtu 145. Bez smlouvy o dílo lze předpokládat zisk alespoň 90 bodů. V případě získání smlouvy o dílo s dodavatelem stavby bude zisk bodů zajištěn s bodovou rezervou. Mezi přílohami je tabulka hodnotících kritérií pro získání dotace

s předpokládaným minimálním bodovým hodnocením. Pro využití dané dotační výzvy nebyla včas k dispozici veškerá potřebná dokumentace. U dotační výzvy je předpokládáno vyhlášení dalšího kola dotace. Dotaz ohledně termínu uskutečnění a změn podmínek pro obdržení dotace byl odeslán na adresu národní sportovní agentury.

Vzhledem k velikosti projektu je třeba dle podmínek vyhlásit výběrové řízení. Pro snížení nákladů spojených s výběrovým řízením, a především s realizací stavby byl osloven podnik povodí s možností sloučení výběrového řízení a realizace stavby s projektem rekonstrukce přiléhajícího jezu. Z pozice povodí je tato varianta pozitivně vnímána. Bohužel jde o nestandardní variantu vzhledem k textu výzvy. Proto bylo nuceno vznést i tento dotaz o možnosti sloučení řízení směrem k národní sportovní agentuře.

Dalším dotazem bylo vyřízení specifického problému spočívajícího v pronájmu pozemku od státního podniku povodí Ohře. Třetím z problémů tohoto projektu je kombinace pronajatého pozemku od podniku povodí a nákladů ze strany města. Dle dotačního titulu je nutné pozemek vlastnit, nebo jej mít v dlouhodobém pronájmu od města. Bohužel u veřejných subjektů, jakým je město, dotační titul nepovoluje možnost pronájmu a zároveň není možné financovat vysokou částkou sportovní klub. U projektu je nutné ze strany NSA projednat možnost využití pronájmu pozemku od povodí Ohře do rukou města nebo výjimku ve financování. Výsledky budou známy na základě jednání, které bohužel zatím nebylo dohodnuto.

Do jsou delší dobu bez odezvy a byly znovu odeslány na adresu NSA.

5.3 Podklady pro podání žádosti o dotaci

V rámci diplomové práce byla připravována žádost o dotaci k danému dotačnímu titulu. V době odevzdání diplomové práce nebyly všechny části dotačního titulu k dispozici. O dotaci není v současné době požádáno a dále jsou popsány v současnosti dostupné podklady pro podání dotace.

- Rozpočet

Cena stavby dle vypracovaného rozpočtu, vypracovaného pro dokumentaci pro stavební povolení, je stanovena na necelých 19 milionů korun. Vzhledem k předpokládanému termínu realizace v roce 2023 je nutno počítat s významnou inflací pro aktuální období. Nutno tedy předpokládat, že příspěvek města zajišťující vlastní podíl dotace bude nutné předpokládat minimálně v příspěvku kolem 7 milionů korun.

- **Stavební dokumentace**

Stavební dokumentace pro stavební povolení je popsána důkladněji na předchozích stranách.

- **Stavební povolení + územní rozhodnutí**

V době podání žádosti nebyla podána žádost na stavební úřad. V současné době je projektová dokumentace připravena pro podání. Není stále vyjasněn postup ohledně osoby žádající o dotaci, která by splňovala podmínky dotačního titulu. Tato osoba bude určena na základě jednání s představiteli Národní Sportovní agentury.

- **Doklad o zajištění vlastního podílu financování dotace**

V Současné době je k dispozici dopis vyjadřující podporu města Kadaň v jednáních a finančních příspěvcích v dosavadních krocích řízení. Písemné vyjádření potvrzující finanční podíl na akci bude vyhotoveno v návaznosti na objasnění osoby žádající o dotaci.

- **Vyplněný formulář pro věcné hodnocení**

Formulář pro věcné hodnocení bude vyplněn bezprostředně před podáním žádosti o dotaci

- **Investiční záměr**

Jednou s dílčích částí žádosti je průvodní text s názvem investiční záměr. Tento text byl zpracován dle instrukcí daných dotační výzvou a následně byl upraven na základě doporučujících poznámek od prof. Ing. Jaroslava Pollerta DrSc. Níže je vložen text této části žádosti o dotaci v rámci dotační výzvy.

Popis současného stavu sportovního zařízení

Předmětem Investičního záměru je výstavba nového Areálu vodních sportů zaměřeného na základní výcvik, trénink mládeže v kanoistice – vodní slalom, jakož i pro pořádání žákovských a juniorských závodů pod patronací Českého svazu kanoistiky (ČSK). Pro Investiční záměr byla vybrána stávající šterková propust jezu řeky Ohře ve městě Kadaň nacházející se u levého břehu. Původně byla šterková propust mlýnským náhonem. Areál vodních sportů a jeho umístění se nachází přímo v dochozí vzdálenosti z centra města a navazuje na nábřeží Maxipsa Fíka a zvyšuje tím jeho atraktivitu. V současné době je náhon využíván pro trénink vodního slalomu a kanoistiky v jejím původním rozpadlém konstrukčním stavu pouze doplněná o překážky z vyskládaného kamení plnícího funkci malých hrázek pro vyšší pestrost proudící vody. Náhon je využíván místním oddílem TJ DNT Kadaň, který se o stávající dráhu stará i s přilehlým ostrovem. Místní oddíl každoročně pořádá žákovské závody, které jsou součástí termínové listiny ČSK. Kanoistika v podkrušnohorském regionu

má dlouhou tradici a nové sportoviště může napomoci znovu obnovit zanikající a zaniklé oddíly. S Podporou města je realizace projektu velmi blízká oproti jiným českým městům.

Oba břehy náhonu plní funkci pro trenérský dozor, hlediště a nutného zázemí v případě probíhajících akcí. Pozemek, na kterém se stávající náhon nachází je ve vlastnictví Povodí Ohře s. p. Také pravý břeh náhonu, který je zároveň ostrovem je ve vlastnictví Povodí Ohře s. p. Levý břeh a příjezdová cesta k mostku přes propust v její úvodní části je ve vlastnictví soukromé společnosti REAL ESTATE a.s.

Z technického hlediska je v současné době náhon nefunkční. V místě bývalého mlýna je profil zúžen dvěma stěnami. V podélném profilu je zúžená část v jednotném sklonu a na jeho konci je umělý stupeň a vodní proud padá do laguny. Laguna má v pravé straně svah opevněný kamenným pohozením a z druhé strany je břeh opevněn stěnou budovy mlýna. Za touto lagunou pokračuje koryto ve tvaru lichoběžníku o šířce cca 10 m. Břehy z obou stran jsou doplněny vysokým stromořadím s přibližně desetimetrovými rozestupy. V půlce dráhy do koryta ústí opevněné koryto Kadaňského potoka. V prostoru ostrova je travní vegetace, která je pravidelně udržována a prostor je využíván jako zázemí při konání událostí typu závody, tréninky, či jiná soustředění. Na konci ostrova je koryto dráhy napojeno zpět do koryta řeky Ohře.

Přístupová cesta na pozemek je v horní části ostrova přes mostek, pod kterým je část průtoku oddělena z řeky Ohře do náhonu (budoucí vodácké dráhy). Stávající konstrukce náhonu (současné dráhy pro vodní slalom) s ohledem na technický stav a směrové uspořádání Ohře v zájmové oblasti je velmi náchylná na povodňové průtoky, které snadno stávající stav změní a přesunou kameny z překážek, případně vytvoří nepravidelnosti v dnové vrstvě koryta. Současná konstrukce dna a překážek z kamenného pohození vytvořená brigádnicky dobrovolníky je nevhodná pro začínající kanoisty z hlediska proudového uspořádání, ale také z hlediska bezpečnosti kanoistů začátečníků z řad mládeže. V současné době není do prostoru ostrova přivedeno elektrické vedení, bez kterého je pořádání závodů závislé na mobilním agregátu. Připojení k síti je základní věcí potřebnou pro kvalitní pořádání závodů.

Věcný popis akce jednoznačně postihující předmět a rozsah plánovaných prací.

Dráha sama o sobě vznikne prohloubením koryta, úpravou břehů, a následným umístěním překážek.

Dno bude nejprve prohloubeno a následně zpevněno v rámci souhlasu s odborem životního prostředí. Zpevnění je nutné pro správné uchycení překážek a delší životnost konstrukce spojenou s vyšším namáháním v průběhu povodňových průtoků. Úprava dna je

vhodná při přípravě začátečníků a dětí. Dno tímto bude mít charakteristický a předvídatelný povrch, který pomáhá předejít zraněním spojeným s případným plaváním a broděním v dráze v momentech, kdy je třeba nedobrovolně opustit loď v proudnici. Na zpevněné dno budou navazovat břehy, které budou kopírovat stávající terén. Břehy budou upraveny do jednotného sklonu 2:3, na který budou v některých místech umístěny lavičky, schody pro snadný přístup k vodě, a jiné formace terénu podle potřeby nebo uměleckého záměru. Hlavním cílem úprav je zjednodušení přístupu do všech částí tratě pro snadný výstup a nástup do lodí, pohyb trenérů během tréninku, nebo snadné vytažení lodi z vody v případě nezbytnosti. Další výhodou lepší přístupnosti je možnost přístupu k vodě pro potřeby rekreace jako jsou cvičné plavání v toku.

Do dna koryta budou upevněny překážky ve tvaru seříznutého válce. Tento tvar překážek umožní variabilitu překážek spojenou především s kolísajícím vodním stavem, který není možné v dráze ovlivnit a je závislý jen na přítoku z nadezí. Tvar překážek tedy v případě malých průtoků soustředí vodu do středu, aby byl využit veškerý průtok, a tím nebyl kladen nárok na nadměrné opotřebení lodí kontaktem s překážkami. Větší části překážek vytvoří velké charakteristické laguny pro zastavení a cvičení přejíždění proudu. Při větších průtocích budou přelévány větší části překážek, které vytvoří silnější proud a větší vlny pro výcvik pokročilejší zdatnosti. Dle návrhu se počítá s navržením vyšších okrajů pro zachování lagun pro zastavování. Díky tomuto charakteru bude dráha v závislostech na průtoku určená pro všechny závodníky od úplných začátečníků po zdatné jezdce. Trať má od počátku uvažovanou rozdílnou obtížnost podél tratě od těžší po jednodušší, aby mohli méně zdatní jezdci nastupovat v místech pro ně vhodných a byli ochráněni před vjetím do náročnějších peřejí.

Vzhledem ke stávající konstrukci se bude jednat o kombinaci stavby a technického zhodnocení. Stavba sama o sobě záměrem získá oficiální statut sportoviště narozdíl od technického vybavení jezu.

Součástí záměru je úprava přilehlého ostrova, ten je nezbytným zázemím lidí využívajících areál. Tento prostor bude ponechán jako travnatá plocha, která lze doplnit o cvičební prvky vhodné pro tréninky mimo vodu. Do prostoru ostrova bude vzhledem k záplavovému území dovedena elektřina pomocí chráničky zamezující přístup vody. Napojení na zdroj energie bude zajištěn přes obslužný most v horní části ostrova.

Poslední nedílnou součástí záměru je umístění systému pro brány vodního slalomu, které jsou využívány v disciplínách divoko-vodních aktivit. Tento systém je tvořen pomocí zakotvených sloupů sprážených ocelovým lanem ve výšce, která neomezuje pohyb pod

lanem. Následně jsou na lano napojeny příčné systémy přes tok ovládající jednotlivé brány pro pohyb do vertikálního a horizontálního směru.

Investiční záměr je v současné době ve fázi dokumentace pro stavební řízení.

Dle zjednodušeného harmonogramu by stavba měla dojít do fáze výběru zhotovitele.

Popis budoucího využití sportovního zařízení.

Výstavbou Areálu a jeho oficiálním ustanovením půjde o první a nejbližší umělou slalomovou dráhu pro oblast Ústeckého a Karlovarského kraje. Nový areál bude propojovat dráhu s doprovodným tréninkovým prostorem na ostrově, který je ideální pro mimo vodní kondiční přípravu. Areál není určený jen pro disciplíny vodního slalomu, ale je svým charakterem zaměřen na další rozvíjející se vodní aktivity, jako je paddleboarding, riverboarding, rafting a další sporty spojené s divokou vodou. V sousedních krajích se podobná sportoviště nacházejí nejbližší v Praze, nebo v Roudnici nad Labem, kde se v těchto případech jedná o profesionální sportoviště, která nejsou ideální pro výcvik žactva a mládeže. Tato sportoviště jsou v dnešní době již z většinové kapacity obsazena profesionály a na mezinárodní závody se připravujícími zahraničními sportovci. Nová tréninková zařízení a areály jsou dnes velmi vyhledávány, díky stále se zvyšujícímu zájmu o sporty spojené s divokou vodou. Zvýšený zájem lze přisoudit úspěchům našich sportovců, především na scéně vodního slalomu a dalších kanoistických disciplínách. Tím se zvyšuje povědomí o těchto aktivitách. Další nejbližší sportoviště vhodná pro výcvik mladých sportovců jsou v Brandýse nad Labem nebo Roztokách u Křivokláta. Tyto tratě jsou vzdálené kolem 1,5 hodiny jízdy autem. Tato vzdálenost je pro kanoisty z okolí nevhodná pro trénování v průběhu týdne především pak pro mládež.

Vzhledem k blízké dostupnosti do Karlových varů bude mít trať pozitivní vliv na rozvoj kanoistických aktivit v regionu nejen Ústeckého, ale také Karlovarského kraje, kde se podobné zázemí vodních sportů v současnosti nenachází. Pro závody je poblíž Karlových Varů využívána přírodní trať zvaná Hubertus, která také bohužel nemá vhodné zázemí pro pravidelné pořádání akcí na kvalitní úrovni. Dráha může být hojně využívána oddíly měst v dojezdových vzdálenostech jako jsou právě Karlovy Vary, Chomutov, Žatec, nebo Most. Vzhledem k neprofesionální obtížnosti určené pro mládež je areál vhodným stanovištěm pro vícedenní soustředění dětských oddílů z celé České republiky

Ve stávající propusti pořádá oddíl každoroční veřejné závody vodního slalomu s účastí kolem 150 startujících. V případě profesionálního zázemí by byly tyto akce výrazně snazší v nárocích na pořadatele. Pro srovnání lze místní závody porovnat s podobným místním závodem v Roztokách u Křivokláta, kde je trať postavená po roce 2000. Dle

výsledkových tabulek se v Roztokách pořádají každoročně 3 závody zaměřené na různé věkové kategorie. V Otevřeném závodě zde v loňském roce závodilo kolem 250 startujících. V případě lepšího zázemí a sportovního prostředí lze očekávat pořádání více závodů i v ostatních vodních disciplínách.

USD v Roztokách lze k projektu v Kadani velmi dobře připodobnit. Dráha je zde dlouhá 150 m s převýšením dvou metrů. Obtížností je dráha v roztokách považována za obtížnost WW II. Z uvedených dat lze odvodit, že dráha může dosahovat podobných kvalit vzhledem ke shodným parametrům dráhy. Z hlediska průtoku je maximální průtok pro dráhu v Roztokách předpokládán 10 m³/s, který je přibližně totožný s poměry v Kadani. V blízké vzdálenosti se nacházejí tzv. vyloučené regiony (Chomutov, Most a další). Podobné projekty nacházejí zvýšenou podporu ze stran institucí měst a krajů pro rozšíření sportovišť a volnočasových areálů pro mládež i dospělé.

Zdůvodnění nezbytnosti akce

Investičním záměrem bude v lokalitě zvýšeno povědomí a přístup ke sportu v regionu, ve kterém se nenachází podobná dráha. Stávající sportoviště bude upraveno pro výrazné zjednodušení tréninků a tím i spojené zvýšení efektivity. Nová dráha bude bezpečnější pro začínající jezdce díky zpevněnému celistvému dnu. Překážky budou řádně ukotveny oproti kamenným hrázkám a nebude hrozit jejich odplavení při povodňových průtocích. Hladké překážky umožní také lepší průchod povodní a omezí zachycení předmětů na přidaných konstrukcích. Vzhledem k nedostatku podobných areálů v regionu jsou oddíly z okolí nucené cestovat do více než hodinu cesty vzdálených sportovišť. Také tato sportoviště pro začínající sportovce přestávají disponovat volnou kapacitou díky narůstající oblibě vodních sportů. Podobné projekty jsou velmi podporovány ze strany Českého svazu kanoistů. Na mnoha místech napříč republikou jsou připravované projekty, které bohužel nemají velké šance se přiblížit k realizaci vzhledem k finančním nárokům a částečným negativním přístupům vlastníků pozemků či měst. Stavba se zároveň napojuje na realizaci nového nábřeží a rozšíří tím rekreační oblasti města.

Vyhodnocení efektivity pro region

Jak bylo zmíněno výše, v příslušném regionu se podobné sportoviště nenachází a nejbližší podobné je více než 1 hodinu cesty autem. V okolních regionech se také nenachází podobná sportoviště, která jsou vhodná pro práci s mládeží a učení bezpečných začátků. V celé republice se nenachází mnoho areálů pro aktivity na divoké vodě, které by byly zaměřeny na výcvik mládeže, dětí nebo i dospělých začátečníků. Většina těchto tratí je přírodních, což částečně klade zvýšené nároky na bezpečnost a náročnost v přístupu. Dále také v případě pořádání akcí jako jsou závody, výcvikové kempy nebo soustředění nebývá

v místě vhodné zázemí spojené s přístupem, elektřinou nebo údržbou. Okolní region na sportovní scéně velmi ocení podobná sportoviště, protože výsledky místních sportovců viditelně zaostávají za sportovci z oblastí více vybavených. Podkrušnohorský region byl v dřívějších dobách sídlem velkého množství kanoistických klubů, které by tímto byli podpořeny k opětovnému růstu nebo obnovení.

- **Smlouva o dílo se zhotovitelem stavby**

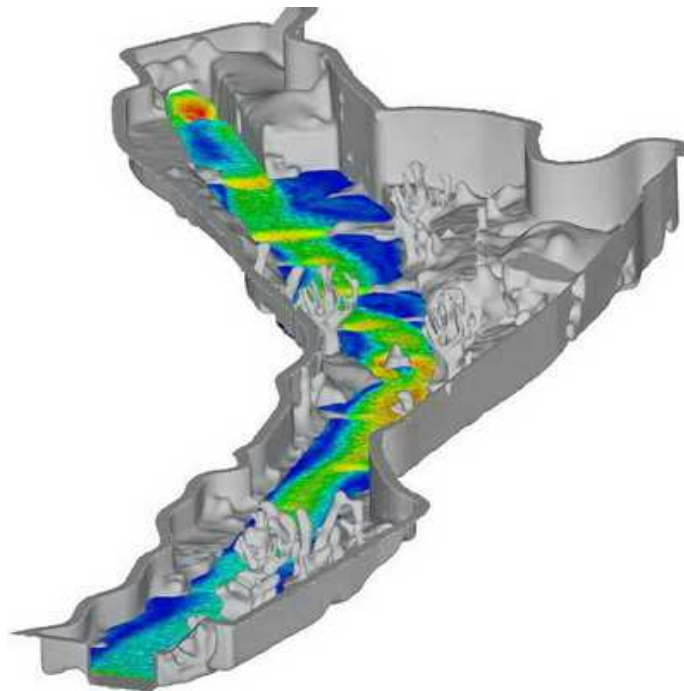
Smlouva o dílo se zhotovitelem stavby je závislá na vyjádření národní sportovní agentury vzhledem k nestandardním podmínkám spojeným se stavbou USD na pozemku povodí Ohře. Pro stavbu se předpokládá spojení výběrového řízení pro stavbu dráhy a plánovanou rekonstrukci jezu pod organizací povodí Ohře.

- **Stanovisko příslušné obce**

Stanovisko příslušné obce není v současné době k dispozici vzhledem k nejasným skutečnostem ohledně osoby žádající o dotaci. Vyjasnění této osoby a následné vydání stanoviska obce ke stavbě bude závislé na jednání s plátcí dotace ze strany Národní sportovní agentury. V současné době probíhá komunikace s agenturou o možném uspořádání jednání.

6 PRAKTICKÁ ČÁST

6.1 Matematický model

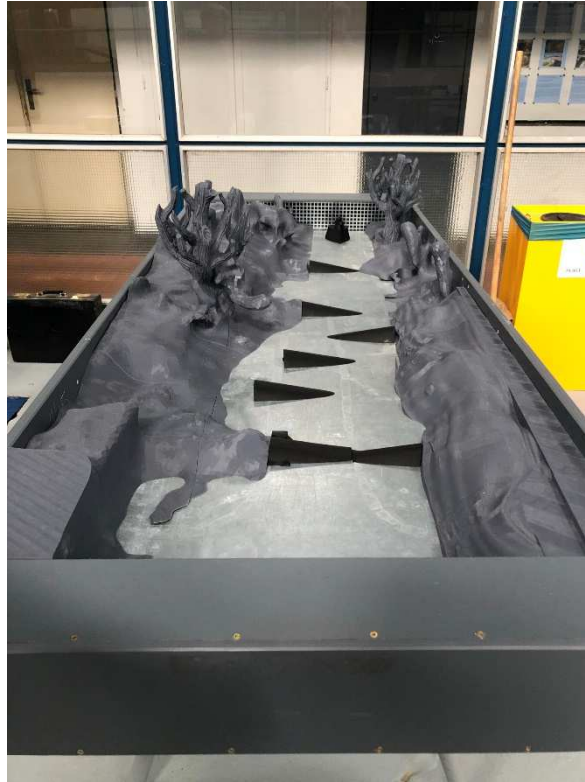


Obrázek 24: matematický model slalomové dráhy (dostupné z <https://optiflow.cz/matematicke-modelovani/>)

Matematický model pro projekt zpracoval vedoucí této práce prof. Ing. Jaroslav Pollert Ph.D. Pro model byla využita CFD simulace v programovém prostředí ANSYS Fluent. Matematický model na obrázku výše zobrazuje rychlostní rozdělení u hladiny ve slalomové dráze. Výsledek matematické modelu byl následně upraven pro možnost převedení do virtuálních brýlí a následné zobrazení uvnitř fyzikálního modelu. Na modelu lze sledovat rozlivy a odvodit místa, ve kterých budou břehy více namáhány. Tvorba matematického modelu nebyla součástí této diplomové práce, ale jeho výsledky jsou následně využity v prezentaci fyzikálního modelu.

6.2 příprava fyzikálního modelu

Pro konstrukci fyzikálního modelu byl vyzkoušen nový přístup ke stavbám fyzikálních modelů za pomoci 3D tisku. S využitím 3D tiskáren je možné v případě přesného zaměření rychle a efektivně vytvořit model ve zkráceném měřítku. Pro prezentační konstrukci modelu je využít stůl s nastavitelným sklonem pomocí výškově nastavitelných nohou.



Obrázek 25: fyzikální model v laboratoři (vlastní foto)

Tento stůl je tvořen vodotěsným obdélníkovým korytem doplněným o přívod a odpad vody na jednotlivých koncích stolu. V ideálním případě je stůl doplněn o kovovou podložku nebo desku, která usnadní přesouvání a uchycení překážek pomocí magnetů. Takto připravený prezentační model lze využít pro více různých projektů, pro změnu prezentovaného nebo sledovaného projektu stačí pouze obměnit vnitřní části. Vnitřní části jsou pak tvořeny pomocí převedení návrhu do 3D virtuálního objektu. Toto je možné vytvořit v mnoha různých software. 3D objekt je pak rozdělen do množství dílů v závislosti na velikosti tiskáren a konstruovaném měřítku fyzikálního modelu. Jednotlivé díly je pak třeba pro ideální zpracování opatřit uzavíratelnými otvory na spodní části. Do těchto otvorů jsou následně umístěny magnety, které zajistí ukotvení dílu na dráze. S takto připravenými částmi je možné sestavit model dle předlohy do stolního koryta. Za pomoci magnetů je snadné následně přesunout překážky v tělese a tím nastavit nejefektivnější nastavení dráhy. V případě využití recyklovatelného materiálu pro výtisk z 3D tiskárny lze tento způsob fyzikálního modelování považovat za velmi vhodný s ohledem na eliminaci ekologické zátěže a s tím spojených odpadů.

6.3 prezentace fyzikálního modelu

Fyzikální model je určen především pro návrh hydrauliky koryta umělé slalomové dráhy. Fyzikální model však může najít využití i v prezentačních možnostech jak pro výuku, tak především v případě zájmu z řad společnosti investorů. Fyzikální model

s protékající vodou více zaujme a upřesní představu o organizovaném projektu. Pro tento projekt byl proto sestaven model v měřítku 1:25.



Obrázek 26: Prezentace fyzikálního modelu na místním šetření stavby (Foto prof. Ing. Jaroslav Pollert Ph.D.)

větší měřítko sice není velmi kvalitní pro sledování fyzikálních jevů, ale s touto velikostí se část dráhy vměstí do předpřipraveného stolu o rozměrech 200x80 cm, který lze snadno přepravit na místo stavby, prezentace projektu s dodavateli nebo investory, či výuky pro studenty v terénu nebo veřejnost na otevřených akcích. Pomocí takovýchto modelů umožňujících flexibilitu a snadnou realizaci není snadné velmi přesně měřit rychlosti průtoku a další veličiny. Na druhou stranu jsou však takovéto modely, které se dostanou přímo k široké veřejnosti a nezůstanou za zdmi laboratoře, velmi přístupné pro zvyšování povědomí veřejnosti o hydraulický jevech, pohybech a důvodech proč k nim dochází. Nemalou měrou takovéto projekty zvyšují zájem o specifické disciplíny. V tomto případě konkrétně vodní slalom a kanoistické disciplíny obecně.

6.4 Porovnání výsledků matematického a fyzikálního modelu, další využití

Pro porovnání výsledků jednotlivých modelů bylo možné v rámci této práce využít další z dnes rozvíjejících se technologií, kterou je propojení fyzikálního a matematického modelování pomocí rozšířené reality. Jde o technologii, která doplňuje reálný svět a vidění pozorovatele o digitálně vytvořené prvky. Tyto prvky mohou mít od zábavního využití pro digitální hry, přes zjednodušené mobilní aplikace a sociální sítě po technické objekty zobrazující konstrukci nebo chování tekutin na skutečném fyzikálním místě.

Pro projekt byl vyzkoušeno zobrazení matematického modelu uvnitř fyzikálního za pomoci speciálních brýlí Hololens 2 zobrazujících objekty rozšířené reality.

Pří tomto pokusu byl matematický výstup rychlostí na hladině zobrazen v brýlích a vizuálně přesunut do spuštěného fyzikálního modelu. Přes zobrazení lze sledovat, jestli se prolínají barevně zvýrazněná místa s vyššími hodnotami rychlostí a místy, kde se proudnice skutečně pohybuje rychleji v korytě.

U pokusu se jednalo o ověření možností této technologie a možnosti dalšího využití na dalších projektech. V případě zajištění přesného ukotvení matematického modelu lze vzájemně ověřit výpočty rozlivů, charakteristiky hodnot intenzit vírovitostí, nebo také trajektorie jednotlivých proudů. V rámci prezentačních programů tak lze veřejnosti a studentům za pomoci této technologie umožnit sledovat chování proudění v korytech a jeho dílčí směry.

7 ZÁVĚR

Počáteční část práce shrnuje základní informace o dělení konstrukcí USD. Ty se dělí dle umístění konstrukce na gravitační, čerpané a částečně čerpané. Dále se USD mohou dělit dle materiálu konstrukce na přírodní, přírodě blízké a umělé. V neposlední řadě můžeme tyto dráhy dělit dle využití na závodní, tréninkové a dráhy nižších úrovní. Nejvíce navrhovaná podoba USD se skládá z betonových či zděných konstrukcí doplněných o překážky z plastů, dřeva či betonových prvků. Z důvodu náročnosti výpočtů se při hydraulických návrzích USD využívá fyzikálních modelů, které jsou efektivní a praktické. Výstupem z fyzikálního modelu je návrh vhodného umístění překážek a dalších prvků USD splňujících předpoklady záměru.

Pro sestavení fyzikálního modelu bylo využito 3D tisku, který není v praxi zatím velmi používán. Využití plastových výtisků může v budoucnu napomoci zpřesnění fyzikálních modelů vzhledem k vysoké přesnosti původního tvaru. Nepravidelně tvarované části konstrukcí, jako jsou břehy nebo dnová vrstva, jsou tak díky 3D tisku přesněji napodobeny, čímž je zvýšena i přesnost výstupních výsledků modelu. Plastové díly je také snadné pozměnit, přesunout nebo zaměnit. V případě využití recyklovatelných materiálů lze takovéto řešení považovat za ekologičtější oproti běžným případům. Model byl několikrát přesunut a využit v místě stavby u příležitosti místního jednání. Pro fyzikální model bylo vyzkoušeno také propojení modelu s výsledky matematického modelu za pomoci nástrojů rozšířené reality. Podobné nástroje jsou velmi vhodné a uživatelsky přístupné pro prezentace výsledků a jejich ověřování v průběhu modelování.

Realizace projektu v Kadani zvýší zájem o vodní sporty v regionu. Se zvýšeným zájmem jde v návaznosti i finanční podpora sportoviště, která oddílům z okolí pomůže zlepšit výsledky, úroveň místních sportovců a členskou základnu. Zlepšení zázemí umožní snazší a kvalitnější přípravu soutěží. Vzhledem k blízké vzdálenosti od historického centra města je obnova sportoviště žádoucí z důvodu zapojení nábřeží a ostrova do parkové části města. Projekt je jedním z pilotních, které využívají betonového 3D tisku u vodohospodářských konstrukcí a nových tvarů betonových překážek.

Průběh přípravy projektu je opožděn oproti termínům diplomové práce. V průběhu jejího vypracování se nepodařilo získat všechny podklady pro podání žádosti o dotaci. Důvodem opoždění jsou především nejasnosti v termínech vyhlášení nových kol dotačních výzev. Dotační výzvy, jsou pro projekty umělých slalomových drah nevhodně zadané. Pro získání dotace je nutné požádat o výjimky v podmínkách dotace ze strany

Národní sportovní agentury. Komunikace s představiteli agentury však prodlužuje přípravnou činnost projektu. Vzhledem k tomu, že problémy této konstrukce jsou shodné pro ostatní konstrukce USD, lze předpokládat, že bude nalezeno kladné vyrozumění. V opačném případě by byly vodní sporty tímto diskriminovány oproti halovým a jiným sportům, které mohou o dané dotační tituly žádat výrazně snadněji. V budoucnosti by bylo vhodné se těmito administrativními nejasnostmi v dotačních výzvách, které mohou být shodné ve více sportovních odvětvích, zabývat. Aktuálně je zažádáno o možnost jednání, které pomůže uskutečnit stavbu USD v předpokládaném období.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Čábelka J. a Gabriel P. *Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice (1) Výzkum na hydraulických modelech a ve skutečnosti*. Praha: Academia, 1987.
- hydrostadium GROUPE EDF. <https://www.hydrostadium.com/>. nedatováno. <https://www.hydrostadium.com/en/catalogue/produit/omniflotsr-mobile-obstacles> (přístup získán 20. Prosinec 2021).
- INTERNATIONAL CANOE FEDERATION (ICF). „CANOE SLALOM ICF OPERATIONAL REQUIREMENTS.“ *VERSION 2020-1*. JULY 2020.
- . „Olympic Canoe slalom - whitewater venue.“ *Technilal requirements for recirrculating courses*. březen 2015.
- Kolář V., Patočka V., a Bém J. *Hydraulika*. Bratislava: Státní nakladatelství technické literatury, 1983.
- Matoušek, prof. Dr. ing. Václav. „Přednáška k předmětu HY3V - k141 fakulta Stavební ČVUT.“ 2020.
- Pollert, Ph.D. prof. ing. Jaroslav. *Umělá slalomová dráha Kadaň*. Praha: Optiflow Solutions s.r.o., 2020.
- . „Whitewater Centre Rio de Janeiro, Brasil, Final Report Physical modeling.“ Praha: CTU - Czech technical university in Prague, faculty of civil engineering, June 2014.
- Rapid Blocs. *Rapid Blocs* . nedatováno. <http://www.rapidbloccs.com/> (přístup získán 15. prosinec 2021).
- Vladimír Havlík, Ivana Marešová. *Hydraulika II - Příklady*. Praha: Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze, 1995.
- Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s. „Projektová dokumentace - Vodácký sportovní park Kadaň.“ Praha, 2021.
- Voves, Bc. Ladislav. *Vývoj umělých drah pro účely vodního slalomu - Diplomová Práce*. Praha: Fakulta tělesné výchovy a sportu UK, 2014.
- „What is CFD | Computational Fluid Dynamics?“ *SIMSCALE*. nedatováno. <https://www.simscale.com/docs/simwiki/cfd-computational-fluid-dynamics/what-is-cfd-computational-fluid-dynamics/> (přístup získán Prosinec 2021).
- „základy fotogrametrie.“ *informační systém Masarykovy univerzity* . podzim 2009. https://is.muni.cz/el/sci/podzim2009/Z8101/um/9030264/Fotogrammetrie_1.pdf.

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obrázek 1: konstrukce USD v prostoru staré vorové propusti na toku (USD Roudnice nad Labem dostupné na https://www.ckait.cz/content/vodni-elektrarna-roudnice-nad-labem-vedomice)..... | 10 |
| Obrázek 2: konstrukce USD mimo tok se systémem čerpadel (Deodoro Olympic whitewater stadium dostupné na http://rededoesporte.gov.br/en/news/check-out-some-of-the-main-rio-2016-competition-venues-in-detail)..... | 10 |
| Obrázek 3: prázdné koryto USD Eiskanal v německém Augsburgu (dostupné na https://www.augsburg-tourismus.de/de/unesco-welterbe/sehenswuerdigkeiten/die-kanustrecke-am-eiskanal) | 14 |
| Obrázek 4: USD v Liptovském mikuláši (dostupné na https://kanoe.cz/component/content/featured?id=featured&start=950) | 15 |
| Obrázek 5: Areál olympijské dráhy ve španělském La seu. Konstrukce je specifická především díky kombinaci přečerpávajícího systému a říčního toku (dostupné na https://www.canoeicf.com/canoe-slalom-world-cup/la-seu-durgell-2018/spectator-guide)..... | 16 |
| Obrázek 6: Areál USD v Al Ain (UAE dostupné na https://www.northstaruae.com/wadi-adventure) | 17 |
| Obrázek 7: Napodobení konstrukce vodopádu. Součástí areálu Vector Wero white water park na novém Zélandu (dostupné na https://contractormag.co.nz/contractor/wero-whitewater-park/)..... | 18 |
| Obrázek 8: Překážky z dřevěných vrat na USD Trnávka. (dostupné z https://www.turistika.cz/mista/umely-slalomovy-kanal-na-trnavce/detail) | 19 |
| Obrázek 9: Instalace přejezdne klapky na vstupní části USD v Roudnici nad Labem. (dostupné z: https://www.padler.cz/stary-novy-kanal-v-roudnici-nad-labem/) | 20 |
| Obrázek 10: Umělá surfová vlna na konci Čunovo water sports Centre v Bratislavě. (dostupné z https://spectator.sme.sk/c/20907625/white-water-centre-not-just-for-professionals.html)..... | 21 |
| Obrázek 11: Instalace systému Omniflots do dnových panelů slalomové dráhy (dostupné z https://www.hydrostadium.com/en/catalogue/produit/omniflotsr-mobile-obstacles) | 22 |
| Obrázek 12: Konstrukce stavebnicových dílů Rapidblocs v modernizované části umělé slalomové dráhy v Troje. (dostupné z https://www.padler.cz/wp-content/uploads/sites/5/import/502/vodacky-slalomovy-kanal-praha-troja-zehlicka-rekonstrukce-1.jpg) | 23 |
| Obrázek 13: Přírodní trať v rakouském městě Lofer (dostupné na https://www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/sport/Kanuslalom-Augsburger-Kanuten-muessen-auf-Slalom-Rennen-in-Lofer-verzichten-id59397886.html) | 24 |
| Obrázek 14: Vzhled USD s výraznými umělými prvky. Kasai canoe slalom centre (dostupné z: https://www.canoeicf.com/news/tokyo-slalom-venue-opened) | 25 |
| Obrázek 15: Grafický výstup rychlostí CFD modelu (dostupné z https://optiflow.cz/wp-content/uploads/2020/11/CFD-Kadan-Water-e1604419959867.png) | 28 |

| | |
|--|----|
| Obrázek 16: fyzikální model v laboratoři v průběhu návrhu (dostupné z: (https://www.horydoly.cz/vodaci/model-slalomoveho-kanalu-pro-rio-byl-postaven-v-praze.html) | 29 |
| Obrázek 17: část fyzikálního modelu s naměřenými výstupy rychlostí a směrů proudění. (Pollert, Whitewater Centre Rio de Janeiro, Brasil, Final Report Physical modeling 2014) | 30 |
| Obrázek 18: Současný stav slalomové dráhy ve městě Kadaň (vlastní foto) | 36 |
| Obrázek 19: Bodové mračno zaměření pomocí fotogrammetrie (z podkladů pro projekt Kadaň) | 37 |
| Obrázek 20: výsledný virtuální 3D objekt zaměření připravený pro návrh (vlastní foto)..... | 38 |
| Obrázek 21: návrhový tvar překážek umožňujících provoz při rozdílných průtocích (Pollert, Umělá slalomová dráha Kadaň 2020) | 38 |
| Obrázek 22: vizualizační návrh břehů z 3D tištěného betonu (Pollert, Umělá slalomová dráha Kadaň 2020)..... | 39 |
| Obrázek 23: foto situačního výkresu stavební dokumentace (Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s. 2021)..... | 40 |
| Obrázek 24: matematický model slalomové dráhy (dostupné z https://optiflow.cz/matematicke-modelovani/)..... | 49 |
| Obrázek 25: fyzikální model v laboratoři (vlastní foto) | 50 |
| Obrázek 26: Prezentace fyzikálního modelu na místním šetření stavby (Foto prof. Ing. Jaroslav Pollert Ph.D.) | 51 |

10 SEZNAM PŘÍLOH

| | |
|---|---|
| 1 | Specifická výzva 11/2021 - Regiony 2021 |
| 2 | Tabulka hodnotících kritérií |
| 3 | Deklarace zájmu ČSK na vybudování vodáckého areálu v Kadani |
| 4 | Vyjádření podpory projektu rekonstrukce štěrkové propusti na Ohři v Kadani. |
| 5 | Vyjádření podpory záměru od ostatních sportovních oddílů |
| 6 | Žádost o pronájem pozemků |
| 7 | Koordinační situace projektové dokumentace pro stavební povolení |