



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**Projekt „Budování excelentního vědeckého týmu pro experimentální a
numerické modelování v mechanice tekutin a termodynamice“**

Registrační číslo projektu: CZ.1.07/2.3.00/20.0139

**Závěrečná zpráva ze stáže v IWS - Lehrstuhl für Hydromechanik
und Hydrosystemmodellierung (Technical University of Berlin)**

Ing. Martin Fišer

Plzeň

2015

Stáž v institutě IWS - Lehrstuhl für Hydromechanik und
Hydrossystemmodellierung

Jméno studenta : Ing. Fišer Martin

Katedra: Katedra mechaniky

Doktorský studijní program: 3901V003-53 / Aplikovaná mechanika

Datum stáže: 2.1.2015 – 31.3.2015

Systém technických vysokých škol v Německu

Technické vysoké školy se v Německu rozdělují na technické univerzity (technische Universität) a technické vysoké školy (Fachhochschule).

Univerzity

Univerzity reprezentují klasickou, tradiční podobu vysoké školy zaměřené na teoretické znalosti. Kladou velký důraz na základní výzkum. Předpokladem pro studium na univerzitě je maturita, kterou lze složit zpravidla po 13 letech školní docházky. Pokud zahraniční student nemá obdobu maturity, pak musí absolvovat přípravný kurz, tzv. Studienkolleg.

Vysoké školy odborné

Studium je velmi spjaté s praxí a požadavkami pracovního trhu. Nedílnou součástí studia na vysoké škole odborné je praxe, která obnáší jeden až dva semestry obvykle v druhé polovině studia a lze ji absolvovat v obchodní společnosti nebo podniku ve státní i soukromé sféře. Závěrečné či diplomové práce vznikají v úzké spolupráci s podniky, kde se studenti zúčastnili odborného praktika.

Technische Universität Berlin

Technická univerzita v Berlíně patří mezi jedny z největších německých univerzit. Byla založena v roce 1879 a má největší procentuelní zastoupení zahraničních studentů v Německu. Navštěvuje ji až dvacet osm tisíc studentů.

Berlínská univerzita též patří mezi T9, což je devět nejlepších technických univerzit v Německu. Univerzita má sedm fakult

1. Humanitární fakulta
2. Matematická fakulta
3. Fakulta projektového inženýrství
4. Fakulta elektroinženýrství a počítačových věd
5. Fakulta strojní
6. Fakulta stavební
7. Ekonomická fakulta



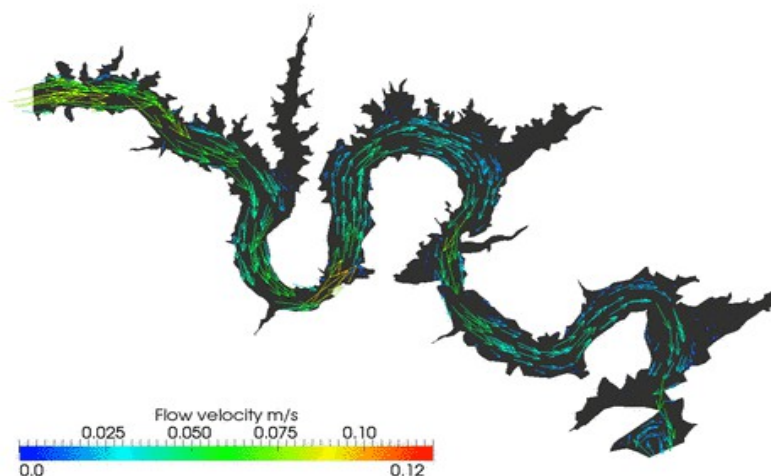
Obrázek 1: Znak TU Berlin

Oddělení Řízení vodních zdrojů a modelování hydrosystémů

(Lehrstuhl für Hydromechanik und Hydrosystemmodellierung)

Oddělení Řízení vodních zdrojů a modelování hydrosystémů se zabývá hlavně numerickými simulacemi a výpočty z oblasti hydrauliky, hydrologie a mechaniky tekutin. Mezi další zaměření patří například simulace sesuvů půd, či transport znečištění v řekách.

Mezi praktické aplikace patří například protipovodňová ochrana, revitalizace říčních koryt, kvalita a kvantita vody v zastavěných oblastech či transport slané vody v Nilu.



Obrázek 2: Proudění vody v reservoáru Itaparica na řece Amazonce

Popis administrativních kroků před začátkem stáže

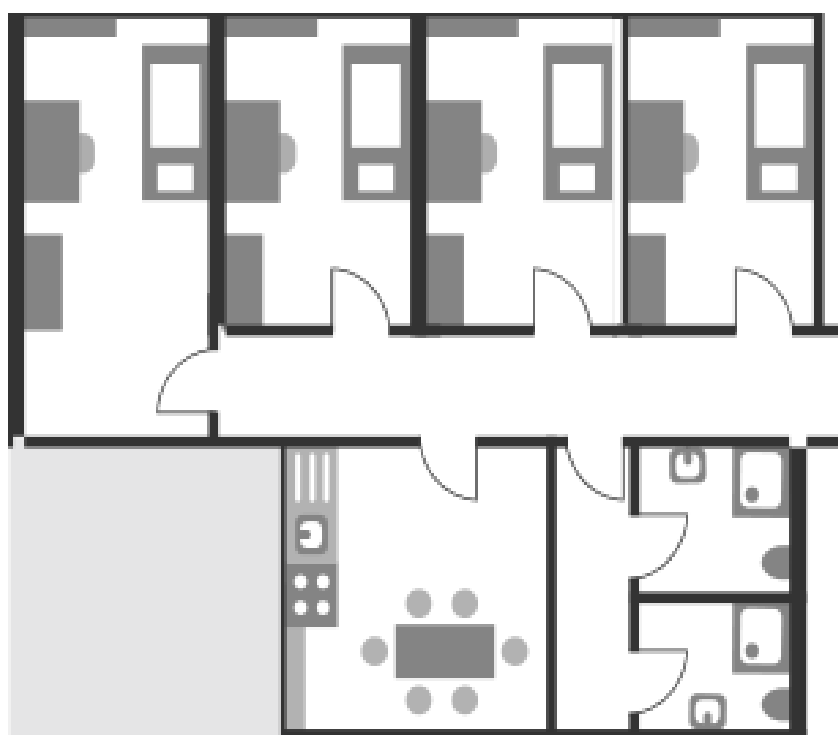
Před začátkem stáže bylo důležité kontaktovat oddělení zabývající se numerickými simulacemi z oblasti mechaniky tekutin a hydrauliky. Na základě vědeckých článků z této oblasti bylo vytipováno několik pracovišť v Německu, Francii a Itálii.

V německu se podařilo kontaktovat skupinu profesora Hinkelmana přidruženou k TU Berlin. Po výměně několika mailů došlo i k osobní návštěvě v Berlíně. Profesor Hinkelman souhlasil s mým pobytem a rámcově jsme se domluvili na průběhu mé stáže.

S ubytováním mi pomohli na sekretariátu oddělení. Dostat místo na koleji není tak lehké jako je tomu například v České republice. Existuje mnoho soukromých kolejí. Existují i studentské organizace, kterým vlastníci poskytují své byty a tato organizace je poté pronajímá studentům. V celku pro mne situace s ubytováním nebyla příliš přehledná. Na některé koleje je čekací lhůta alespoň půl roku, proto doporučuji zařizovat ubytování s dostatečným předstihem.

Ubytován jsem byl ve studentské vesničce
Schlachtensee Student Village
Wasgenstraße 75
14129 Berlín
Německo

Cena ubytování byla 350 Euro za měsíc, bydlel jsem v pokoji pro jednoho se sdílenou koupelnou pro dva lidi. Nevýhodou byla velká vzdálenost od kampusu- zhruba hodina a půl.



Obrázek 3: Schéma pokojů ve studentské vesničce

Jízdenka po centru Berlína stojí 70 euro měsíčně. Lze koupit i více měsíčních jízdenek se slevou, podmínkou je však zakoupení alespoň 6 jízdenek. Jízdenky nejsou vystaveny na konkrétní osobu, není tedy třeba čekat na vyřizování jakékoliv průkazky a jízdenku lze zakoupit hned po příjezdu například v trafice.

Před odjezdem jsem vyplnil Příkaz k zahraniční cestě a obdržel zálohu v hotovosti. Zálohu lze obdržet v eurech, či v korunách.

Průběh stáže

Cílem stáže bylo zdokonalení softwaru pro výpočet proudění tekutin se zaměřením na praktické aplikace z oblasti proudění mělkých vod.

Na oddělení hydrodynamiky mně bylo přiděleno místo v kanceláři. Jelikož jsem pro práci používal vlastní notebook, o přidělení počítače jsem nežádal.

V první fázi byly zpracovány dostupné prameny. Matematický model proudění mělkých vod

$$\frac{\partial}{\partial t} \mathbf{W} + \frac{\partial}{\partial x} \mathbf{F} + \frac{\partial}{\partial y} \mathbf{G} = \mathbf{S}_B + \mathbf{S}_f,$$

byl doplněn o porézní složku

$$\frac{\partial}{\partial t}(\phi \mathbf{W}) + \frac{\partial}{\partial x}(\phi \mathbf{F}) + \frac{\partial}{\partial y}(\phi \mathbf{G}) = \mathbf{S}_B + \mathbf{S}_f + \mathbf{S}_p,$$

zde $\mathbf{W}$ je vektor konzervativních proměných s rychlostí proudění u a výškou vosní hladiny h

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} h \\ hu \\ hv \end{bmatrix},$$

$\mathbf{F}$ je vektor toku ve směru osy X

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} hu \\ hu^2 + \frac{1}{2}gh^2 \\ huv \end{bmatrix},$$

zde g je gravitační zrychlení. $\mathbf{G}$ je vektor toku ve směru osy Y

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} hv \\ huv \\ hv^2 + \frac{1}{2}gh^2 \end{bmatrix},$$

$\mathbf{S}_b$ je zdrojový člen dna

$$\mathbf{S}_B = \begin{bmatrix} 0 \\ -gh \frac{\partial}{\partial x} B(x, y) \\ -gh \frac{\partial}{\partial y} B(x, y) \end{bmatrix}$$

$\mathbf{S}_f$ je zdrojový člen tření o dno

$$\mathbf{S}_f = \begin{bmatrix} 0 \\ -\tau_f^x \\ -\tau_f^y \end{bmatrix}, \quad \tau_f^i = \frac{1}{C_s^2} u^i \sqrt{u^i u^i}, \quad i = x, y,$$

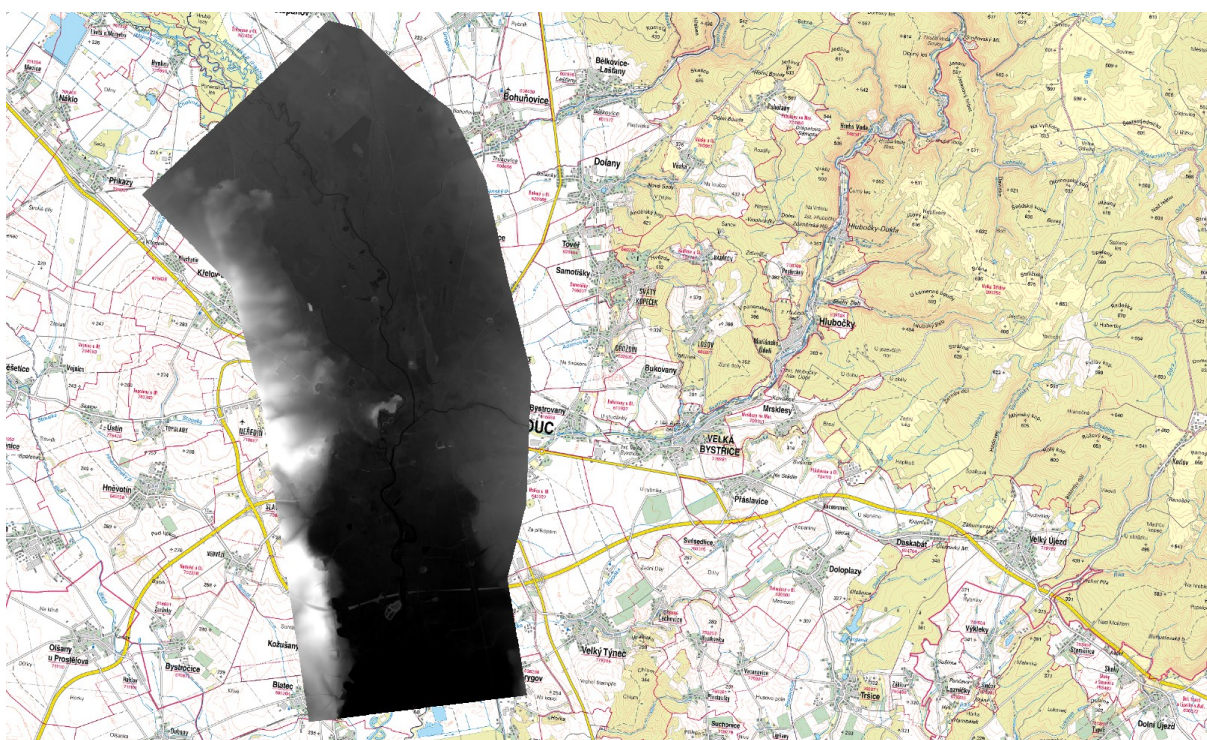
C je třecí koeficient, $\mathbf{S}_p$ je tlakový zdroj oblastí s různou porozitou

$$\mathbf{S}_p = \begin{bmatrix} 0 \\ -gh^2/2 \frac{\partial}{\partial x} \phi(x, y) \\ -gh^2/2 \frac{\partial}{\partial y} \phi(x, y) \end{bmatrix}$$

a ϕ je porozita výpočetní oblasti.

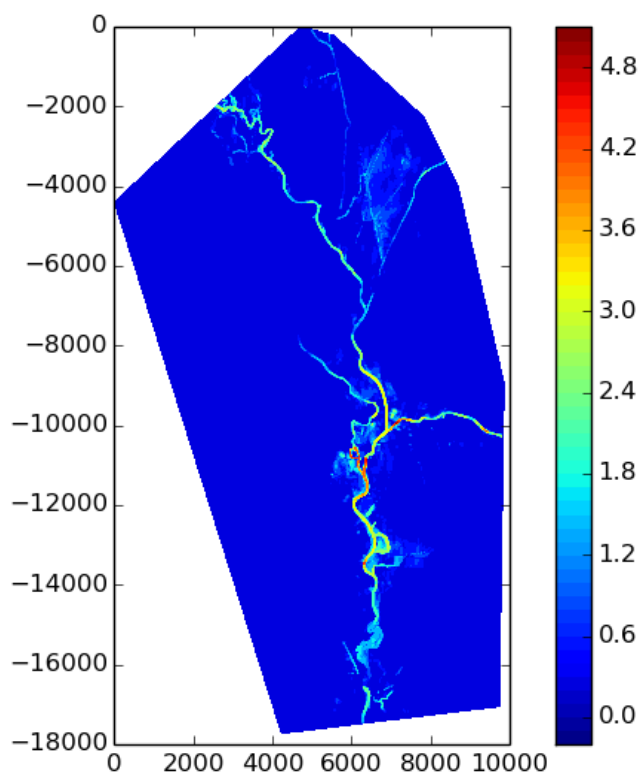
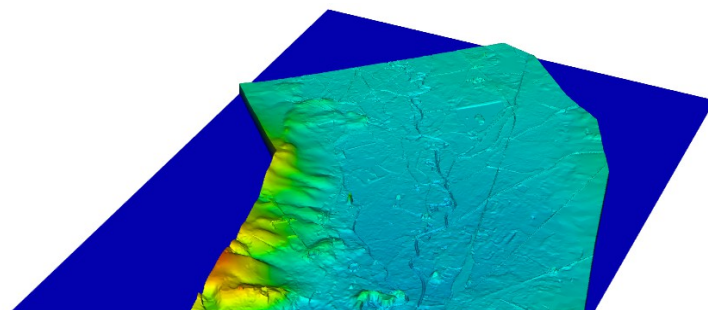
Numerický řešič, založený na metodě konečných objemů, byl upraven tak aby řešil nový matematický model s uvažováním porozity. Porozita se uplatní například při proudění vody hustě zastavěnou oblastí, kdy rozměr výpočetní buňky je větší, či proporcielní rozměrům budov. Dalším uplatněním může být průtok vody zalesněnou oblastí.

Software byl testován při výpočtu průtoků říčním korytem řeky Moravy a Bystřice v okolí města Olomouce.



Obrázek : Výpočetní oblast v okolí města Olomouce

Pro import dat do nového solveru byla použita Python knihovna „gdal“ jež dokáže dekodovat geodetická data ve formátu tiff.

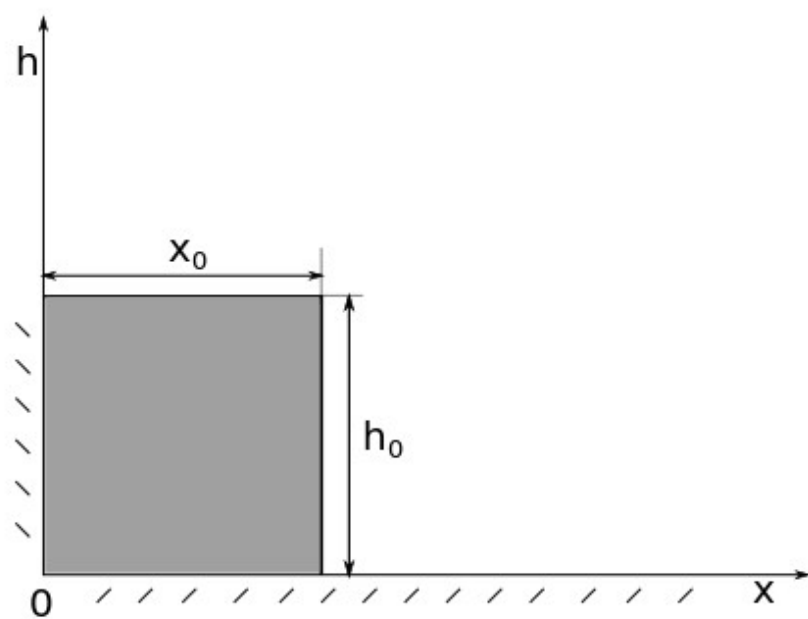


Obrázek 4: Rozliv říčních koryt při povodňových průtocích

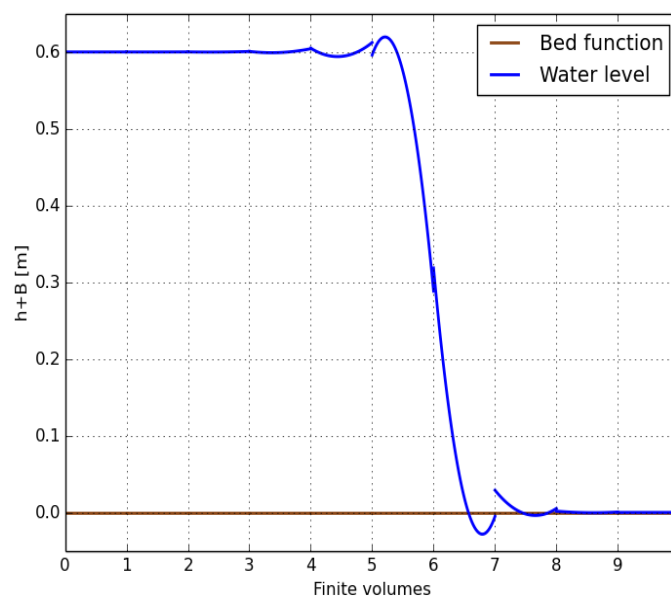
Byly vytvořeny skripty pro nastavení okrajových podmínek a byl nasimulován průtok říčními koryty za povodňového stavu. V Budoucnu se počítá s paralelizací řešiče tak, aby bylo dosaženo vyššího výkonu.

Ve třetí fázi stáže bylo započato s vývojem nového řešiče založeného na nespojitě Galerkinově metodě. Nespojitá Galerkinova metoda je poměrně nová metoda kombinující výhody metody konečných objemů (lze řešit i nespojitá řešení a rázové vlny v proudovém poli) a výhody metody konečných objemů (teoreticky libovolná přesnost aproximace řešení). V době stáže však v odborné literatuře neexistovala metoda pro proudění vody (eventuelně plynu), která by byla schopna řešit jak rozhraní zatopené a nezatopené výpočtové oblasti (eventuelně proudění plynu do vakua) tak aproximaci řešení vyššími řády přesnosti. Odborné články se zabývali odděleně buď rozhraním zatopené a nezatopené oblasti (např. [2]) , nebo apoximací řešení funkcemi vyšších řádů (např. [1]).

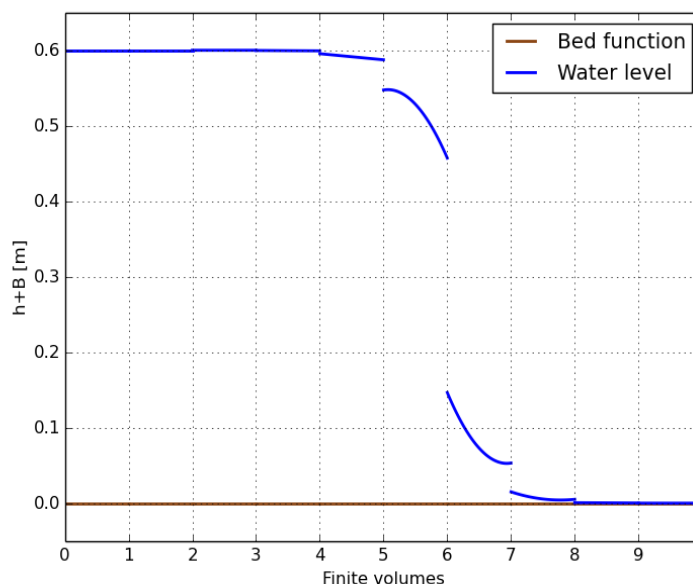
V rámci stáže byla rozpracována nová metoda limitování řešení, která je použitelná jak pro proudění mělkých vod, tak pro proudění plynů. Jako testovací příklad bylo zvoleno 2D protržení přehrad. Na obrázku 5 je jsou znázorněny počáteční podmínky. Ve vzdálenosti x_0 od pevné nepropustné stěny je umístěna fiktivní hráz, která je na počátku simulace odstraněna v důsledku čehož začne vodní masa proudit.



Obrázek 5: Počáteční podmínky vodní masy před protržením hráze.



Obrázek 6: Simulace za pomoci nespojité Galerkinova metoda v čase 0.015 s-nelimitované řešení.



Obrázek 7: Simulace za pomoci nespojité Galerkinova metoda v čase 0.015 s-limitované řešení.

Na obrázku 6 můžeme vidět nefyzikální chování nespojité Galerkinovy metody, kdy dochází k tomu, že vodní hladina v šestém konečném objemu nabývá záporných hodnot. Bylo tudíž nutno vyvinout kritérium, které odhalí problematické konečné elementy ve kterých je zapotřebí použít limiter. Námi zvolený limiter byl „minmod“ limiter. Kritérium podle kterého je daný konečný objem problematický spočívá v porovnání hodnot uprostřed a na krajích konečných elementů. Pokud se hodnota vodní hladiny (eventuelně hustoty v případě proudění plynů) nenachází v intervalu hodnot určeném hodnotami na krajích konečného elementu, pak je tento problematický a aproximace řešení je nahrazena lineární funkcí za použití „minmod“ limiteru, který určí sklon dané funkce. Na obrázku 7 je pak vidět simulace za použití nového limitovacího procesu. Jak ukázali numerické simulace, tento nový postup je vhodný nejen pro výpočet proudění na rozhraní zatopené a nezatopené oblasti, ale je vhodný i k výpočtům a limitování řešení v oblasti rázových vln a nespojitostí v řešení

matematického modelu. V budoucnu se počítá s rozšířením a testováním na 2D simulacích proudění tekutin i plynů.

Popis administrativních činností po absolvování stáže

Po absolvování stáže bylo potřeba napsat krátkou cestovní zprávu a závěrečnou zprávu o stáži (tento dokument). Dále bylo zapotřebí doložit veškeré výdaje během stáže (formou faktur a účtenek).

Seznam literatury

- [1] Kesserwani G. and Liang Q. A conservative high-order discontinuous galerkin method for the shallow water equations with arbitrary topography. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 86:47–69, 2011.

- [2] Vater S., Beisiegel N., Behrens J. A Limiter-Based Well-Balanced Discontinuous Galerkin Method for Shallow-Water Flows with Wetting and Drying: One-Dimensional Case