



HYDRAULICKÝ MODEL PLAVEBNÍ KOMORY DĚČÍN

HYDRAULIC MODEL OF A NAVIGATION LOCK DĚČÍN

*Ing. Tomáš Kašpar, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra
hydrotechniky*

Anotace

Článek se zabývá popisem modelu plavební komory Děčín. Jedná se o objektový model plavební komory, horní rejdy, části dolní rejdy a přilehlého jezového pole v měřítku 1:20. Model byl postaven členy katedry hydrotechniky ve vodohospodářské laboratoři Fakulty stavební, ČVUT v Praze. Celkové rozměry jsou přibližně 4,5 m x 25 m, maximální výška dosahuje přes 150 cm. Tím se stává největším modelem plavební komory, který kdy byl v České republice postaven. Model díky osazeným technologiím umožňuje neustálené simulace plnění a prázdnění, dále pak převádění ledů, povodní a určení stability dna pod jezem.

Klíčová slova: *plavební komora Děčín, hydrotechnický výzkum, fyzikální hydraulický model, modelová podobnost.*

Annotation

The article deals with description a model of the navigation lock Děčín. It is an object model of the lock chamber, outer ports and adjacent part of weir in the scale of 1:20. Model was constructed in a water management laboratory at faculty of civil engineering, CTU in Prague. Overall dimensions are approximately 4.5 m x 25 m, reaching a maximum height of over 150 cm. This becomes the largest model of the navigation lock that has ever been built in the Czech Republic. Model due to technology enables the unsteady simulation of filling and emptying, float the ice over chamber, floods and determine the stability of the bottom of the weir.

Key words: *Děčín navigation lock, hydrotechnical research, physical hydraulic scale model, physical, model similarity.*



1 ÚVOD

Plavební stupeň Děčín (PSD) je posledním jezem na Labi, který je třeba vybudovat, aby byla celoročně funkční Labsko-vltavská vodní cesta. Jedná se o poslední dílo před hranicí se Spolkovou republikou Německo a o spojnici s evropskými vodními cestami a s námořním přístavem v Hamburku.

PSD je nyní v rámci předprojektové přípravy podroben mnoha výzkumům jeho optimalizace. Na půdě Fakulty stavební, ČVUT v Praze, se tým, skládající se ze členů katedry hydrotechniky, pod vedením doc. Dr. Ing. Pavla Fošumpaura, věnuje optimalizaci plavební komory. V rámci výzkumného úkolu „*Fyzikální hydraulický modelový výzkum plavební komory Děčín*“, jehož objednatelem je Ředitelství vodních cest ČR, byl vybudován výsekový model plavební komory. Tento model přispěl k optimalizaci horního ohlavi pro přímé plnění (doplňování) plavební komory, převádění části povodňového průtoku, a také možnosti převádění ledů.

Nyní ve vodohospodářské laboratoři, v rámci stejného úkolu, probíhají měření na objektovém modelu. Objektový model si klade za hlavní cíl optimalizovat průběh plnění a prázdnění plavební komory s ohledem na síly působící na plavidla při proplavování, eliminaci tlakových pulzací v systému dlouhých obtoků a ověření možnosti vzniku kavitace.

2 PLAVEBNÍ STUPEŇ DĚČÍN

Plavební stupeň Děčín, umístěný v říčním kilometru 737,12 u přístavu Děčín – Loubí. Má být vybudován jez o třech polích hrazených ocelovými hydrostatickými sektory. V současnosti se počítá s bezvývarovou variantou, pouze s mírným zahloubením pod kótu dna v podjezí. Tlumení kinetické energie bude zajištěno betonovými rozražeči na konci Jamborova prahu a bezprostředně navazujícím kamenným záhozem tvořeným balvany o průměrech 1 a 0,5 m.

Pro zachování migrace ryb a jiných živočichů přes jez, se při obou březích vybudují rybí přechody a terestrické biokoridory. Při pravém břehu je navržen unikátní biokoridor šířky 30 m s kanálovým rybím přechodem (by-passsem) o průtoku cca 10 m³/s.

V projektu se počítá s výstavbou malé vodní elektrárny se dvěma Kaplanovými turbinami, které mají plánovanou výrobu v průměrně vodném roce téměř 47 GWh.

Při levém břehu pod železniční tratí Děčín – Drážďany je navržena plavební komora s užitnou délkou 200 a šířkou 24 metry. V horní třetině je komora rozdělena



vzpěrnými vraty na dvě menší komory o užitných délkách 140 m a 42 m pro urychlení provozu. Horní uzávěr komory tvoří spustná segmentová vrata, dolní uzávěr tvoří vzpěrná vrata. Plnění a prázdnění komory se předpokládá pomocí systému dlouhých obtoků. Odběr vody pro plnění plavební komory je umístěn v nadjezí v rozdělovací zdi mezi komorou a jezem. Vypouštění plavební komory probíhá do podjezí. Dalším způsobem je přímé plnění mezerou pod horními vraty a přímé prázdnění otvory hrazené stavítky ve vzpěrných vratech. Z obou stran plavební komory navazují rejdy, které jsou 160 m dlouhé. Horní rejda má rozšíření do vnitřního břehu pro vytvoření čekacího stání.



Obr. 1 Vizualizace VD Děčín [5]

Základní parametry plavební komory:

-	Šířka PK		24,00 m
-	Užitná délka PK	celková	200,00 m
		malá část	41,50 m
		velká část	140,00 m
-	Horní hladina	nominální vzdutí	124,50 m n. m.
		maximální plavební	125,00 m n. m.



-	Dolní hladina	při max. plavebním Q	123,67 m n. m.
		při Q_{345d}	118,53 m n. m.
-	Dno PK		114,53 m n. m.
-	Typ vrat	horní ohlavi	segmentová vrata
		střední ohlavi	vzpěrná vrata
		dolní ohlavi	vzpěrná vrata
-	Systém plnění	malá část	přímé pod segmentovými vraty
		velká část	systém dlouhých obtoků

3 MODELOVÉ PODMÍNKY

Model byl navržen a sestaven v měřítku 1:20. Toto měřítko bylo v minulosti ověřeno jako nejvhodnější pro modelování plnění plavebních komor.

U modelu byl uplatněn Froudův zákon podobnosti. U Froudova typu modelové podobnosti jsou vyjádřeny podmínky dynamické podobnosti hydrodynamických jevů za výhradního působení gravitačních sil. Kromě gravitačních sil však mohou zkoumané proudění ovlivňovat i další síly – odpor třením vazké kapaliny, síly kapilární, síly objemové apod. Podle Froudova zákona podobnosti můžeme určitý hydrodynamický jev zkoumat tehdy, jestliže účinky těchto sil jsou zanedbatelné v porovnání s gravitačními silami. Mezní podmínky vymezují oblasti a měřítka, v nichž lze hydrodynamický jev modelovat. Kinematicky podobné jevy, které ovlivňuje výhradně gravitační síla, jsou dynamicky podobné, jestliže ve vzájemně příslušných průřezích budou stejná Froudova čísla. Fyzikální model v měřítku 1:20 odpovídá všem podmínkám.



Na základě modelových podobností vyplývají pro použité geometrické měřítko 1:20 následující podmínky:

- Geometrické měřítko:

$$M_h = M_l = M_b = 20 \quad (1)$$

- Měřítko rychlostí:

$$M_v = M_l^{1/2} = 4,47 \quad (2)$$

- Měřítko průtoků:

$$M_Q = M_l^{3/2} = 1788,85 \quad (3)$$

- Měřítko časů:

$$M_t = M_l^{1/2} = 4,47 \quad (4)$$

4 OBJEKTOVÝ MODEL

Při návrhu modelu se počítalo s omezujícími podmínkami vodohospodářské laboratoře. Laboratoř je cca 14 m široká a má necelých 150 m na délku. Model v navrženém měřítku 1:20 a rozměry 4,5 m x 25 m by se měl do vodohospodářské laboratoře bez problémů vejít. Bylo nutné vzít v úvahu, že v laboratoři probíhá mnoho dalších výzkumů na modelech a je zde trvale umístěno i několik hydraulických žlabů. Model byl umístěn do centrální části laboratoře tak, aby byl umožněn průchod ze všech stran a bylo možno připojit model na rozváděcí systém vody vodohospodářské laboratoře.

Vzhledem k nutnosti velmi přesné práce (1 mm na modelu se rovnají 2 cm ve skutečnosti) byl model plavební komory stavěn svépomocí členy katedry hydrotechniky, bez dodávky stavební firmou, která by nebyla schopna přesnost zajistit. Všechny části modelu měly přesné prováděcí výkresy a nosné prvky byly staticky počítány na nejmenší možnou deformaci.

Technologicky lze model rozdělit na pět hlavních částí, a to na: zděný základ, nadjezí, plavební komoru, podjezí a technologii celého modelu.

4.1 Základ

Základ modelu je tvořen převážně z keramických tvárnic Porotherm P+D různých velikostí zděných na maltu. V horní části modelu dosahuje výška podezdívky 100 cm. V dolní části, kde se nachází plavební komora a podjezí, je výška 70 cm. Po celé délce modelu je vyzděno pět podélných stěn, které tvoří základ

pro celý model a několik příčných stěn. Podélné zdi tvoří hlavní nosný systém, příčné zdi pak tvoří základ pro jez, horní ohlavi plavební komory a baterii přepadových žlábků.

Model je podezděný jak z důvodu vytvoření jednotlivých výškových úrovní (nadjezí a komora), tak i z potřeby dostat se pod model z důvodů možnosti následných úprav, nebo umístění měřících zařízení.

Na zdi bylo nutno udělat betonový věnec, který výškově vyrovnává zdivo na přesnou hodnotu. Bednění pro věnec tvořily lamino desky. Po znivelování desek bylo možno vybetonovat věnec s přesností 1 mm.



Obr. 2 Zděný základ s věncem [3]

4.2 Nadjezí

Nosný podklad pro nadjezí tvoří trapézové plechy pokládané na betonový věnec. Vlny plechu jsou vyplněny keramzitem a překryty geotextilií, aby nedošlo ke spřažení betonu a trapézového plechu. Na geotextilii byla vybetonována vrstva betonu tloušťky cca 3,5 cm a vyztužená kari sítí (Obr. 3). Na beton byl aplikován nátěr Izoban, který tvoří hydroizolaci. Boky nadjezí jsou z lisovaných PVC desek rozměru 0,5x1,0m. Výhoda těchto desek je, že se dají sešroubovat a tvoří nepropustný spoj.



Obr. 3 Skladba nadjezí [3]



Obr. 4 Nadjezí včetně uklidňovací stěny a přepadových žlábků

4.3 Plavební komora

Nosné dno komory tvoří trapézové plechy, na které je položeno dno plavební komory, které tvoří desky z pevného PVC-CAW tloušťky 10 mm. Ze stejného materiálu jsou boky. Ze statického hlediska bylo nutno boky rozepřít tak, aby odolaly tlaku cca 80 cm vody. Svislý nosný rám tvoří ocelové válcované profily UPN 80. Ocelové profily jsou zavětrovány pomocí závitových tyčí průměru 10 mm, které přebírají tahové složky. Kombinace UPN profilů a závitových tyčí tvoří uzavřený rám, který odolá vodnímu tlaku s minimálními deformacemi. Vodorovné vyztužení je z ocelových L profilů umístěných v 1/3 výšky bočnice a na její horní hraně. Při zatížení vodním tlakem se boky chovají jako po obvodě podepřená deska, a tím se dosáhne minimálního průhybu.



Obr. 5 Plavební komora před instalací stěn PK



Obr. 6 Nosný systém PK

Rám v kombinaci plastových desek a ocelových profilů tvoří uzavřený hydraulický žlab, do kterého pomocí EPS polystyrenových desek bylo možno vytvořit přesné dno, zdi komory a především systém dlouhých obtoků (Obr 5). Výhoda polystyrenových desek je v jednoduchosti řezání a v tom, že vznikne hladký řez.

4.4 Podjezí

Podjezí je postaveno v kombinaci dvou výše jmenovaných technologií stavby. Dno je vybetonováno na trapézových plechách a bočnice tvoří pevné PVC-CAW desky tloušťky 10 mm. Bočnice tak tvoří ztracené bednění pro betonovou desku. Dno podjezí je natřeno izolačním nátěrem Izoban. Na betonové dno podjezí je nasypán kamenný zához ze štěrku a makadamu. Na zához navazuje pohyblivé dno z písku.



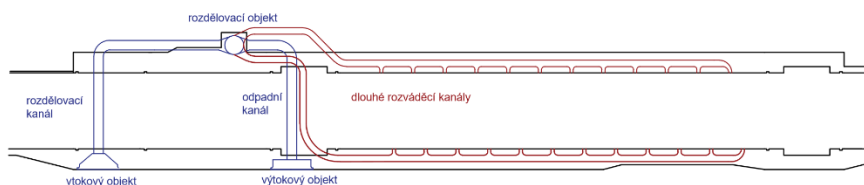
Obr. 7 Podjezí s pohyblivým dnem

*Obr. 8 Podjezí se sklopenou dolní
okrajovou podmínkou*

4.5 Technologie

4.5.1 Systém dlouhých obtoků

Celý systém dlouhých obtoků je z plastu. Vodorovné části obtokových kanálů a uzávěry jsou sestaveny z tvrdého PVC, svislé stěny obtoků z průhledného plastu PETG, který umožňuje sledování proudění vody v obtocích (Obr. 10). Výhoda použití plastů je ta, že při nahřátí je lze tvarovat do libovolného tvaru, a tak lze docílit přesného tvaru navrženého projektantem, což umožňuje následnou optimalizaci tvarů obtoků.



Obr. 9 Systém dlouhých obtoků

4.5.2 Uzávěry dlouhých obtoků

Na dlouhých obtocích jsou na modelu osazeny dva stavidlové uzávěry. Pro věrnou simulaci průběhu plnění (prázdňení) je nutné, aby se uzávěry dokázaly pohybovat v daném čase určenou rychlostí. K tomu slouží dva pístové servomotory, které lze naprogramovat tak, aby umožnili jakoukoliv manipulaci včetně možnosti nelineárního otevírání uzávěrů.



Obr. 10 Systém dlouhých obtoků s uzávěrem

4.5.3 Přívod vody

Přívod vody do modelu je zajištěn pomocí dvou systémů potrubí, která pomocí čerpadla odebírají vodu z centrální nádrže umístěné pod vodohospodářskou laboratoří. První systém je tvořen přívodním potrubím DN 300, ukladňovací nádrží s Thompsonovým přelivem, který umožňuje převedení průtoku až do hodnoty 175 l/s. Následně je přesný průtok z uklidňovací komory přiveden do modelu potrubím DN 250 a rozveden perforovanou trubicí stejného průměru.

Druhý systém je tvořen potrubím DN 300, vedeným z části pod modelem, s maximálním průtokem také 175 l/s. Přesný průtok je nastavován indukčním průtokoměrem. Potrubí je do modelu zakončeno rovněž perforovaným potrubím. Druhý systém slouží pouze jako posila pro pokus převádění povodňového průtoku, při kterém bude potřeba přes plavební komoru převádět přibližně 225 l/s.

K uklidnění vody dochází jednak pomocí perforovaných trubek, které jsou nainstalovány na celou šířku nadjezí. V druhé řadě dochází k uklidnění pomocí stěny, která je umístěna těsně nad horní rejdou plavební komory. Uklidňovací stěna je tvořena pomocí gabionu. Jedná se o železný pozinkovaný rám, který je vysypán lomovým kamenem, skrz který proudí voda. Toto řešení umožňuje dokonalé uklidnění přiváděné vody do modelu (Obr. 11).

4.5.4 Zajištění konstantní hladiny v nadjezí

Pro potřebu neustálené simulace plnění plavební komory, kdy se v čase mění průtok v závislosti na poloze uzávěru obtoků a hladiny v komoře, je potřeba

stabilizovat hladinu v nadjezí na konstantní úrovni (maximální plavební hladina 125,00 m n. m.). Pro tento účel je v nadjezí umístěna baterie přepadových žlábků, která funguje jako komůrkový bezpečnostní přeliv. Baterie má dlouhou přepadovou hranu a při snížení průtoku v nadjezí (který musí být větší, než je maximální průtok do plavební komory) se přepadová výška nad žlábků změní minimálně.



Obr. 11 Přívod vody do modelu a gabion



Obr. 12 Přepadové žlábků

4.5.5 Dolní okrajové podmínky

Dolní okrajovou podmínku pro prázdnění plavební komory tvoří klapka, která je umístěna na konci podjezí. Klapka umožňuje sklopení v libovolné poloze od minimálních průtoků až po přechod povodně (Obr. 8).

Druhá okrajová podmínka je umístěna v dolní rejdě plavební komory. Jedná se o soustavu hradel opírajících se o ocelové profily připevněné na dno rejdy a nad stěny tvořící boky dolní rejdy. Podle počtu hradel je možné vymezit takovou průtočnou plochu, která odpovídá požadované hladině v plavební komoře.

5 ZÁVĚR

Během šesti měsíců se povedlo členům katedry hydrotechniky pod vedením doc. Dr. Ing. Pavla Fošumpaura, postavit unikátní objektový model plavební komory včetně rejdy, přilehlého jezového pole, části nadjezí a podjezí. Model umožňuje neustálené simulace plnění a prázdnění plavební komory, ověření stability dna pod



jezem při vypouštění komory a převádění ledů. Dále pak je možný experiment převodu části povodňového průtoku až na plato plavební komory (126,00 m n. m.). Model je na nejlepší cestě splnit všechny požadavky na optimalizaci připravované plavební komory, a tím předejít vzniku problémů při provozu. Optimalizace systému dlouhých obtoků umožní snížit hodnotu ztrátového součinitele, a tím zrychlit proplavovací cyklus.

Model plavební komory bude po dokončení optimalizace sloužit k teoretickému výzkumu, a to především posouzení vlivu setrvačnosti, možnosti vzniku kavitace v obtocích plavebních komor. V neposlední řadě také výzkumu silového působení vody na plavidla, kterému se věnuji v rámci mého doktorského studia.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl za podpory Studentské grantové soutěže ČVUT při řešení projektu č.: SGS16/141/OHK1/2T/11 s názvem „Hydrodynamické namáhání plavidel na vodních cestách“.



POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ČÁBELKA, J., GABRIEL, P.: *Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice (1) Výzkum na hydraulických modelech a ve skutečnosti*, Academia Praha 1987.
- [2] FOŠUMPAUR, P., KRÁLÍK, M., ZUKAL, M., PICEK, T., KUČEROVÁ, J.: *Fyzikální hydraulický modelový výzkum plavební komory Děčín. Metodika výzkumu. Fakulta stavební, ČVUT v Praze*, 2014
- [3] GREŠIK, W., *Hydraulický výzkum plnění plavební komory Děčín*. Praha, 2016. Bakalářská práce. ČVUT.
- [4] KAŠPAR, T., *Matematický model horního ohlaví plavební komory Děčín*. Praha, 2014. Diplomová práce. ČVUT.
- [5] Oficiální web Ředitelství vodních cest České republiky [online]. 2016 Dostupné z: <http://www.rvccr.cz>
- [6] PÖYRY ENVIRONMENT, a.s.: *Optimalizace plavební komory Děčín. Předprojektová příprava*. 2012.