

Případová studie povodňového řízení vodohospodářské soustavy na Ohři

Jiří Sovina

Klíčová slova

povodňové řízení – povodeň – manipulace na vodních dílech – simulace – Ohře – HEC-ResSim 3.0 – dispečerské hry

Souhrn

V rámci grantových programů se na katedře aplikované geoinformatiky a územního plánování ČZU a katedře hydrotechniky FSv ČVUT řeší problematika operativního řízení vodohospodářských soustav. Při příležitosti konání Dispečerských her v listopadu 2008 na Povodí Ohře s.p. byl otestován model vodohospodářské soustavy (VS) v povodí Ohře vypracovaný v rozsahu celého povodí po profil hráze VD Nechranice v programu HEC-ResSim 3.0. Model byl vytvořen na ČZU na základě podkladů poskytnutých Povodím Ohře s.p. Byl simulován průchod povodně modelované pro potřeby Dispečerských her podle skutečné epizody v povodí, avšak přiměřeně zvýšené. Model řešil především manipulace na VD Skalka, Jesenice, Horka, Březová, Stanovice a Nechranice. Výstup byl na hrách využit a konfrontován s dispečerským řízením hráčského týmu Povodí Vltavy s.p. Model prokázal svou funkčnost a použitelnost v oblasti výzkumu i praktického nasazení.

Předmluva

V rámci prací na grantových projektech zaměřených na problematiku monitoringu a řízení v oblasti vodního hospodářství, je na katedře aplikované geoinformatiky a územního plánování ČZU řešena problematika operativního řízení vodohospodářských soustav. Tento úkol je řešen společně s katedrou hydrotechniky FSv ČVUT. Jsou v něm mimo jiné i ověřovány možnosti využití programových prostředků vyvíjených ženijní složkou americké armády (US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, USACE). Jedná se o programy uvolněné pro veřejnost a celosvětově využívané a známé pod zkratkou „HEC“. Pro řízení vodohospodářských soustav je v této skupině programových prostředků k dispozici simulační program HEC-ResSim 3.0 (Reservoir System Simulation Program), který byl v této studii využit jako podpora dispečerského řízení v rámci Dispečerských her na podniku Povodí Ohře s.p. v listopadu 2008.

1. Úvod

V dubnu roku 2007 byla uvolněna aktuální verze programu HEC-ResSim 3.0, která oproti předchozí verzi 2.0 představuje robustnější modelovací nástroj. Přináší nové možnosti v oblasti modelování funkce čerpacích stanic a vodních elektráren, možnost uplatnění logických konstrukcí typu „If – Then – Else“, uživatelských skriptů a řízení na základě uživatelsky definovaných časových řad a další podstatná vylepšení velké řady funkcí známých z předchozí verze. HEC-ResSim 3.0 tak představuje nástroj vhodný pro simulaci řízení všech podstatných funkcí vodních nádrží a vodohospodářských soustav (VS) za normálních i extrémních situací. V tomto prostředí lze definovat model jakékoliv běžné VS s dostatečnou podrobností a spouštět simulace na základě časových řad definovaných buď podle skutečných událostí v povodí, na podkladě předpovědí, nebo jakýchkoliv jiných prověřovaných alternativ. Pro vstupy i výstupy časových řad se využívá napojení na databázi HEC-DSS (HEC Data Storage System), která v USA představuje obecný standard pro uchovávání dat využívaný např. federálními institucemi (USACE HEC, USNWS, EPA, USGS, USSCS) i dalšími subjekty, které v oblasti vodního hospodářství působí. HEC-ResSim se takto využívá spolu s ostatními programovými prostředky „HEC“, zejména HEC-RAS, HEC-HMS, HEC-FIA jako součást integrovaného systému CWMS (Corps Water Management System), provozovaného pracovišti USA-CE pro potřeby řízení VS a vodních děl ve Spojených státech.

vh 10/2009

2. Vodohospodářská soustava povodí Ohře a přítoků (obr. 1)

Vítanou příležitostí pro ověření modelu VS vytvořené v HEC-ResSim 3.0 v praxi se staly Dispečerské hry, které uspořádal, po několikaleté přestávce v této již dříve započaté tradici, podnik Povodí Ohře s.p. ve dnech 10. a 11. listopadu 2008.

Pro studii dispečerského řízení v rámci „Her“ byla vymezena nejvýznamnější část povodí řeky Ohře, od pramene a horního toku na území Bavorska po profil hráze vodního díla Nechranice, se všemi přítoky a především s významnými vodními díly, která mohou manipulací ovlivnit povodňové průtoky. Ve směru toku se jedná o vodní díla Skalka a Jesenice (na říčce Odřavě) na Chebsku, která ve smyslu schválených manipulačních řádů tvoří VS. Dále byla do „Her“ zahrnuta nádrž Horka na Libockém potoce s nezanebatelným retenčním prostorem 2,12 mil. m³, i když jde o typickou vodárenskou nádrž a manipulačním řádem vymezený ochranný prostor je pouze neovladatelný. Dalším významným prvkem soustavy byla dvojice vodních děl v povodí Teplé, VD Březová a VD Stanovice (na Lomnickém potoce), opět definovaná manipulačním řádem jako soustava. Největším vodním dílem uzavírajícím celé povodí vymezené pro „Hry“ pak bylo VD Nechranice s celkovým ochranným prostorem 51,77 mil. m³, z toho 36,56 mil. m³ prostoru ovladatelného a s manipulačním řádem stanoveným neškodným průtokem pod hrází 200 m³/s. Vodárenská nádrž Podhora na horním toku Teplé nebyla do dispečerské simulace zařazena.

3. Topografie a mapové podklady

Předmětem studie pro takto vymezené území a VS bylo vytvořit v programu HEC-ResSim 3.0 model způsobilý k simulaci povodňového řízení. Formulací vzájemné konektivity vodních děl a říčních úseků vytváří program z mapových podkladů topologii soustavy a ukládá ji do databáze projektu. Jako optimální podklad se osvědčily mapy ve formátu ESRI shape-file, i když lze využít i jiných formátů, jako např. *.dxf, *.img, *.jpg a dalších, včetně např. ASCII NetTIN. Programové prostředky z vývojářské „dílny“ USACE HEC obecně podporují využívání geografických informačních systémů a datových formátů ESRI, např. vývojem extenzí HEC-GeoRAS nebo HEC-GeoHMS pro ESRI ArcGIS Desktop a ArcView GIS 3.x. Pro vytvoření mapového podkladu modelu Ohře byly použity mapové podklady DMÚ 25, VTOPÚ Dobruška a podklady z Digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD), VÚV TGM v souřadném systému S-JTSK.

4. Sestavení modelu

Zpracování podkladových map i vlastní definování jednotlivých základních řízených i neřízených prvků modelu soustavy vodních děl se provádí v prvním ze tří modulů programu, který je označen jako „Watershed Setup“. Slouží pro vytvoření základní sítě říčních úseků, nádrží, jejich spojení (*junctions*), výpočtových bodů (*computational points*) a dalších komponent systému obecně označovaných jako „projects“. Pečlivé sestavení a ověření topologie je základem pro úspěšné fungování modelu. V dalším modulu „Reservoir Network“ program umožňuje vytvářet varianty sestav dříve vytvořených základních prvků vodohospodářské soustavy, definování jejich dílčích komponent s vysokou podrobností a zejména definování pravidel jejich chování. V této části se definují nejen parametry nádrží a jejich funkčních objektů, ale i charakteristiky říčních úseků. Systém ResSim umožňuje volbu různých algoritmů pro řešení neustáleného proudění v říční síti. Pro vodní díla se stanovují nádržní prostory a lze pro ně definovat žádaný průběh úrovně hladiny (tzv. regulovaných veličin), např. na podkladě dispečerských grafů stanovených manipulačním řádem.

V rámci každého nádržního prostoru byla definována pravidla řízení pro vodní nádrž jako celek a pro její dílčí objekty, jako např. přelivy, uzávěry, elektrárny, odběry, atd. Byly přitom využity různé způsoby. Jedná se v zásadě buď o definování vnějších zásahů obsluhy – přímé manipulace, typickým příkladem je např. předvypouštění zásobního prostoru před příchodem předpovězené povodňové vlny. Nebo manipulace ve zpětné vazbě, definovaná jako funkce stavů jiných komponent VS, vycházející např. z podmínky nepřekročení maximálních průtoků ve stanovených profilech níže na toku. Takovými místy byly zejména soutok Ohře a Odřavy nebo profil Thermal v Karlových Varech na Teplé. Program pochopitelně umožňuje i definovat pravidla řízení pro zachování stanovených minimálních průtoků v daných profilech. Jde o poměrně složitý

a sofistický systém uplatňující priority jednotlivých pravidel, který poskytuje prakticky univerzální prostředky popisu objektů a jejich funkcí zejména u vodních děl, včetně např. kvantifikace a časového rozdělení výparu a průsaku hrází.

Modely říčních úseků jsou oproti zpracovanosti vodních děl více schematizované, avšak pro potřeby vyjádření běžných hydraulických procesů plně dostačující.

Zvládnutí této části tvorby modelu představuje nejobtížnější úkol. Kromě základních variant sestavení modelu, které je možné ukládat pod unikátními jmény, se definují „alternativy“, které zahrnují především definice časových řád a okrajových podmínek.

Pravidla řízení, která jsou pro vodní díla k dispozici, lze v zásadě rozdělit na:

- Pravidla pro vypouštění (*Release Function*), která lze definovat pro nádrž jako celek, hromadně pro objekty hráze se stanovením priorit jejich využití (např. upřednostnění hydroelektráren) a pochopitelně pak pro jednotlivé ovladatelné přelivy, výpusti a odběry (případně jejich uživatelem definované skupiny).
- Pravidla řízení závislá na průtoku ve stanoveném profilu pod vodním dílem (*Downstream Control Function*), definovaná pro vodní dílo jako celek.
- Tandemové operace (*Tandem Operation*) zajišťující optimalizaci využívání kapacit v kaskádě vodních děl.
- Pravidla pro extrémní povodňové situace (*Induced Surcharge*).
- Pravidla řízení závislá na rychlosti změn jiných hodnot, např. přítoku, odtoku, pohybu hladiny (*Flow Rate of Change Limit, Elevation Rate of Change Limit*).
- Pravidla řízení pro čerpací stanice a hydroelektrárny s možností uplatnění několika úrovní časových harmonogramů a dalších specifických pravidel.
- Pravidla řízení definovaná skriptem. Jsou určena především pro speciální úlohy ovládnutí výpustí. ResSim 3.0 je nově vybaven editorem skriptů **využívajícím?** syntaxi jazyka Jython (implementace jazyka Python pro platformu Java), z něhož jsou přehledně dostupné využitelné objekty systému.

Pravidla pro vypouštění a rovněž některá z dalších skupin pravidel mohou být nově definována v závislosti nejen na čase a modelových proměnných příslušného vodního díla, ale také na uživatelsky definovaných stavových veličinách, které musí být definovány pomocí skriptu, viz výše, a na externích proměnných reprezentovaných časovými řadami uloženými v samostatných souborech ve formátu HEC-DSS.

S verzí 3.0 přichází rovněž možnost využívání logických konstrukcí typu „If – Then – Else“, a to přímo v editoru vlastností a funkcí nádrže (*Reservoir Editor*). Na **obrázku 2** je příklad využití této konstrukce pro definování pravidel řízení nádrže Skalka za povodně tak, aby prakticky přesně vyhovělo poměrně složitým podmínkám stanoveným manipulačním řádem v závislosti na přítoku do nádrže a stavu hladiny. Za těchto podmínek je při průběžné manipulaci dosaženo velmi efektivního využití jinak nepřilíš velkého retenčního prostoru tohoto vodního díla, jak je pak patrné na grafu – **obr. 3**. V horní části je graf úrovně hladiny, ve spodní je hydrogram přítoku, šedá a odtoku, zelená čára. Lepšího transformačního efektu pro danou povodňovou vlnu lze dosáhnout pouze masivním předvypuštěním nádrže, které by vedlo k prakticky trojnásobnému překročení neškodného průtoku pod VD ještě před nástupem skutečné povodně a které je za současných legislativních podmínek pouze na základě hydrologické předpovědi nemyslitelné.

Na podkladě údajů připravených podnikem Povodí Ohře s.p. pro pořádání „Her“, zejména manipulačních řádů a dalších údajů o vodních dílech, vodních tocích, limnigrafech atd., byl sestaven model soustavy vodních děl na Ohři a de facto i celého fyzického povodí až k profilu hráze Nechanice.

5. Simulace procesu řízení

Pro simulaci řízení byl využit modul „*Simulation*“, který umožnil prověřit a uložit mnoho variant řízení. Po ukončení každého běhu simulace definované počátečním a koncovým časem (Datum a čas) a okrajovými podmínkami pro počátek výpočtu, je možné odečíst průtoky a stavy prakticky pro všechny komponenty systému v libovolné fázi simulace. K dispozici jsou jak přehledné grafické výstupy, tak jim odpovídající výstupy tabelární, které je možné tisknout nebo dále zpracovat např. v MS Excelu.

Volně šířitelná verze programu nedovoluje krokování simulace a neumožňuje žádné přerušení a vstup uživatele do běžící simula-

ce. Není orientována na využití on-line, což patrně pro modifikace využívané rutinně složkami USACE-HEC nebude platit. Dovoluje ale prověřit velké množství alternativ v krátkém čase a tak s velkou podrobností analyzovat funkci VS.

6. Průběh Dispečerských her

Dispečerské hry pořádané podnikem Povodí Ohře s.p. v Chomutově, především pak vedením a pracovníky dispečinku povodí, se bezesporu staly jednou z nejvýznamnějších vodoohospodářských akcí roku 2008 s významem přesahujícím do mnoha dalších oblastí, kterých se problematika ochrany před povodněmi týká. Svým pojetím, především pak využitím reálných dispečerských nástrojů, komplexností přístupu a dokonalou organizací se tato akce stala skutečně prvními „novodobými“ dispečerskými hrami a znamenala o mnoho víc, než jen navázání na předchozí přerušenou tradici. Akce se zúčastnili kromě samotných dispečerů z podniků Povodí Labe, Moravy, Odry a Vltavy také zástupci státní správy a samosprávy, krizového řízení z povodí Ohře, další zástupci podniků Povodí i další zájemci a pozorovatelé. Simulace povodně byla vytvořena na základě skutečné srážkové události z jara 2006, která byla pro účel hry přiměřeně zvětšena. Odpovídajícím způsobem byly zpracovány i veškeré podklady pro rozhodování dispečerských týmů, tedy meteorologické a hydrologické předpovědi, údaje z vodních děl a z limnigrafů. Byl podrobně rozpracován i časový postup hry, která probíhala v předem daných krocích tak, aby celá, v reálném čase šest dní trvající událost, byla „odehrána“ za cca 8 hodin.

Účastníci byli rozděleni do 4 hracích týmů podle podniků povodí, každý tým měl ve svých řadách zástupce všech rozhodujících složek, které se účastní vodoohospodářského a krizového řízení a měl k dispozici samostatnou místnost.

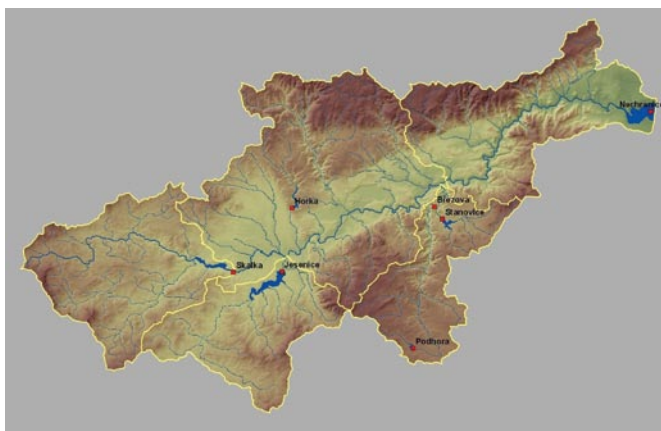
S laskavým svolením pořadatele „Her“ se zástupci ČZU provozující model v programu HEC-ResSim 3.0 přičlenili k týmu Povodí Vltavy s cílem prověřit, zda provoz modelu napomůže dispečerům v jejich rozhodování. Na modelu byly spuštěny simulace v jednotlivých krocích „Hry“, byly nastavovány přímé manipulace na vodních dílech, např. předvypouštění zásobních prostorů na podkladě dostupných předpovědí vygenerovaných systémem AquaLog a byly prověřovány jednotlivé varianty důsledků takových opatření. Jiné komponenty systému byly nastavovány na autoregulační funkce, závislé buď na poloze hladiny v nádržích, nebo na průtoku ve sledovaných profilech říční sítě. Prvním výsledkem provozu modelu bylo zdůvodnění poměrně masivního předvypouštění na některých vodních dílech, zejména na Březové ve vztahu k ochraně Karlových Varů a na Jesenicích i VD Horka. Výsledky manipulací byly vyhodnocovány modelem HYDROG, který je vodoohospodářským dispečinkem POH rutinně využíván.

V závěru „Hry“ se pak projevil důsledek nedostatečné kalibrace modelu, především pro oblast transformace povodňové vlny v poměrně dlouhém úseku toku od Karlových Varů po Nechanickou přehradu a v určení přítoku z mezipovodí od ústí říčky Bystřice u Ostrova nad Ohří po Nechanice, kde na drobných tocích není žádné reprezentativní měření. V důsledku této skutečnosti model předpověděl dosažení poněkud nižší hladiny v Nechanické zdrži, než byla nakonec dispečinkem Povodí Ohře vypočtena. Takovouto diferencí by bylo možné kalibrací modelu podle několika dalších reálných událostí, nebo jinými metodami kalibrace, eliminovat.

Jako příklad výsledku simulace je na **obrázku 4** uveden na podkladě mapové části modelu hydrogram ovlivněného (červená čára) a neovlivněného (zelená čára) průtoku v soutoku Ohře a Odry, na levé straně je pak odpovídající tabelární výstup. Pro jednotlivé komponenty modelu předmětné VS je takto možné po provedené simulaci získat cca stovku takovýchto grafických a tabelárních výstupů přímo z uživatelského rozhraní programu. Program umožňuje navíc nadefinovat další uživatelské grafické výstupy. Časové řady pro všechny komponenty systému, např. pro libovolnou výpust a každou simulaci, lze odečíst z programem ukládaných časových řad ve formátu HEC-DSS, které pro každou simulaci zůstanou uloženy v příslušné složce vytvořené programem.

7. Závěr a perspektivy

Závěrem je možné konstatovat, že matematický model vodoohospodářské soustavy povodí Ohře v programu HEC-ResSim 3.0 plně prokázal svou funkčnost a praktickou použitelnost. HEC-ResSim 3.0 byl prověřen jako velice produktivní a přitom volně dostupný modelovací nástroj s perspektivou širokého využití. To se přede-



Obr. 1. Celková situace povodí z vizualizačního dispečerského prostředí VHD Povodí Ohře s.p.

vším týká hodnocení tohoto prostředí hledisky vývoje a výzkumu nebo výuky předmětů z oblasti hydroinformatiky. Jeho nasazení do rutinního provozu vyžaduje tvorbu a údržbu operativní databáze vstupně/výstupních údajů, přednostně na bázi HEC-DSS. Tomuto účelu je model řízení v této studii sice přizpůsoben a otestován, ale bylo by třeba zajistit i kvazi on-line připojení na měrná místa v rámci VS. Ve Spojených státech je program v tomto smyslu standardně využíván. V budoucnu se hodláme zaměřit na zařazení programu ResSim do rámce předpovědního a řídicího systému vybrané vodohospodářské soustavy, kde by vstupy do systému byly pravděpodobnostně generovány, tak aby bylo možno zohlednit proces řízení v podmínkách neurčitosti.

Literatura

- [1] HEC-ResSim 3.0, Reservoir System Simulation program US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center
- [2] Hydrog Srážkoodtokový distributivní model pro simulaci povodňových situací, HySoft, Prof. Ing. Miloš Starý, CSC.
- [3] AquaLog, Modelling/Real-time forecasting system in Water Resources Aqua-Logic Consulting, Ltd.

Poděkování: Tento příspěvek vznikl s finančním přispěním Grantové agentury ČR, projektu reg. č. 103/07/1620 „Predikční a simulační modely v teorii operativního řízení“. Autor vyslovuje své díky za podporu jmenovitě pracovníkům Podniku povodí Ohře, s.p., p. Ing. Václavovi Klečkovi a Ing. Pavlovi Egerovi, kteří vytvořili podmínky pro realizaci této případové studie.

Ing. Jiří Sovina

Katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování
 Fakulta životního prostředí
 Česká zemědělská univerzita v Praze
 Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbátka
 e-mail: sovina@fzp.czu.cz

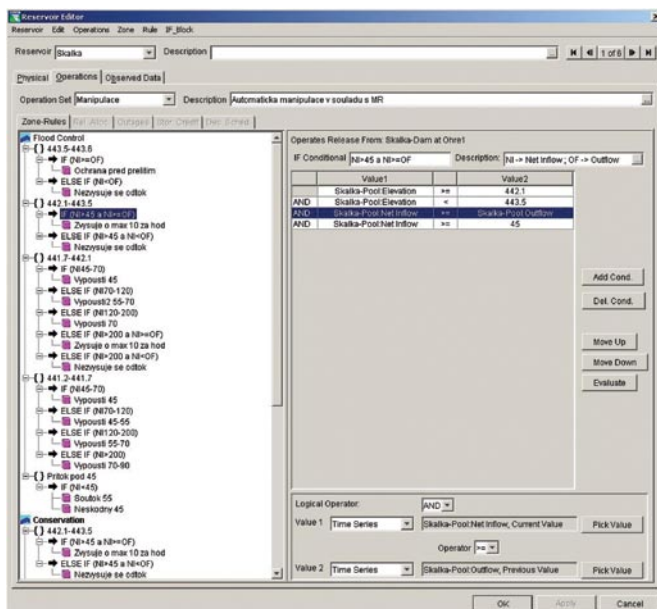
A Case Study of the Flood Control by the Water Management System on the River Ohře (Sovina, J.)

Key words

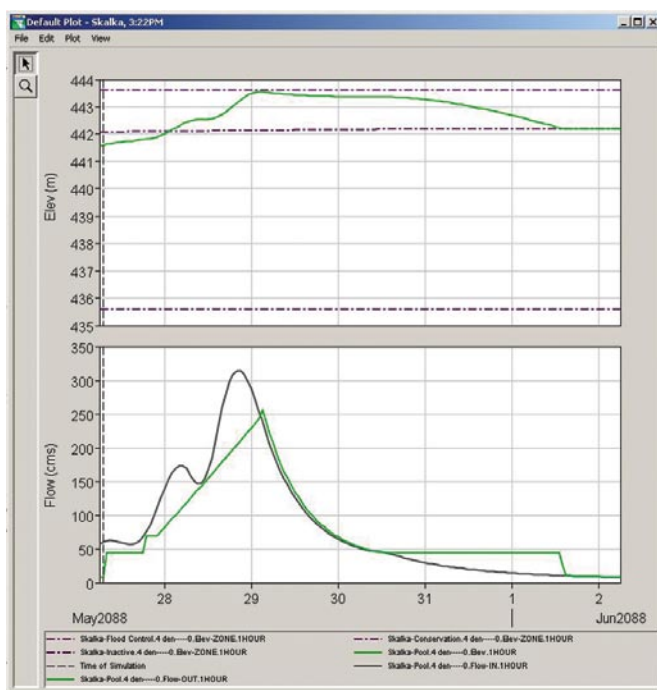
DO KOREKTUR!!!!!!!!!!!!

At the Department of Applied Geoinformatics and Spatial Planning, Faculty of Environmental Sciences of the Czech University of Life Sciences in Prague and at the Department of Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Czech Technical University in Prague, the problem of an operative control of the water management systems is studied, funded by the grant project.

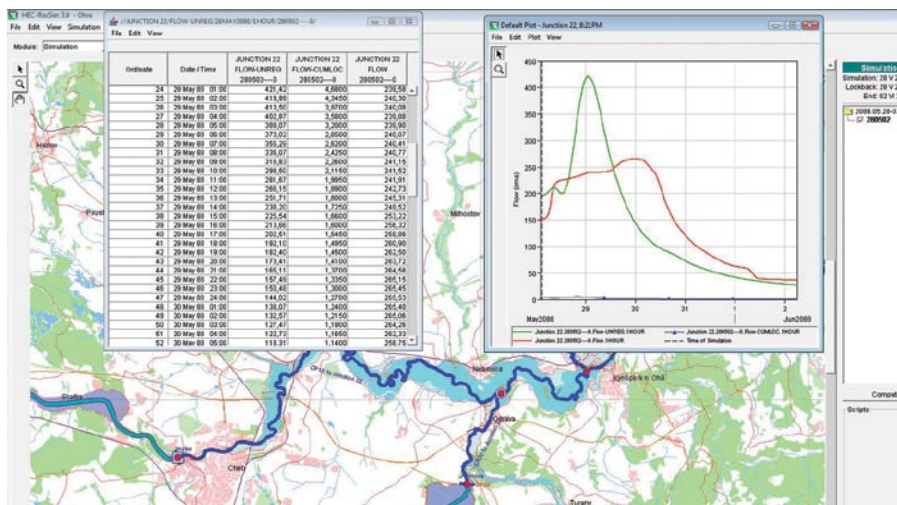
On occasion of the Dispatchers' Games held in November 2008 at premise of the



Obr. 2. Definice pravidel pro povodňové řízení VD Skalka.



Obr. 3. Hydrogram přítoku a odtoku (dole) a graf úrovně hladiny VD Skalka, výsledek simulace.



Obr. 4. Výsledek simulace pro soutok Ohře a Odry.

Ohře River Basin Authority, state enterprise, in Chomutov, the model of a water management system on the river Ohře was tested. The model of the system covers entire basin upstream to the dam site of Nechranice reservoir, using the HEC-ResSim 3.0 program.

The model of was created at the Czech University of Life Sciences in Prague, based on the data provided by the Ohře

River Basin Authority, state enterprise. For sake of presentation, the passage of a historical flood was selected. The discharge was somewhat increased to amplify risks to the flood prone regions. An advice of the optimum flow control of the reservoir system Skalka, Jesenice, Horka, Březová, Stanovice and Nechranice was given the highest priority.