



Lesnická
a dřevařská
fakulta

VYUŽITÍ MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ PRO TRANSFORMACI POVODŇOVÝCH PRŮTOKŮ

USE OF SMALL WATER RESERVOIRS FOR THE
TRANSFORMATION OF FLOOD FLOWS

Mendelova
univerzita
v Brně



Autoři příspěvku

- **Prof. Ing. Václav Tlapák, CSc.,**
- **Ing. Petr Pelikán, Ph.D.,**
- **Ing. Pavla Pilařová, Ph.D.,**
*Mendelova univerzita v Brně,
Zemědělská 1, 613 00 Brno, tel: +420 544 527 474,
tlapak.vaclav@seznam.cz; pelikanp@seznam.cz*
- **Prof. Ing. Jan Šálek, CSc.,** *Vránova 92, 616 00 Brno,
tel.:+420 544 525 632; salek.j@centrum.cz*

Čím se náš příspěvek zabývá?

- Regulací přímého odtoku
- Využitím retenčních prostorů MVN
- Transformačním účinkem MVN

Jaké podklady k tomu sloužily?

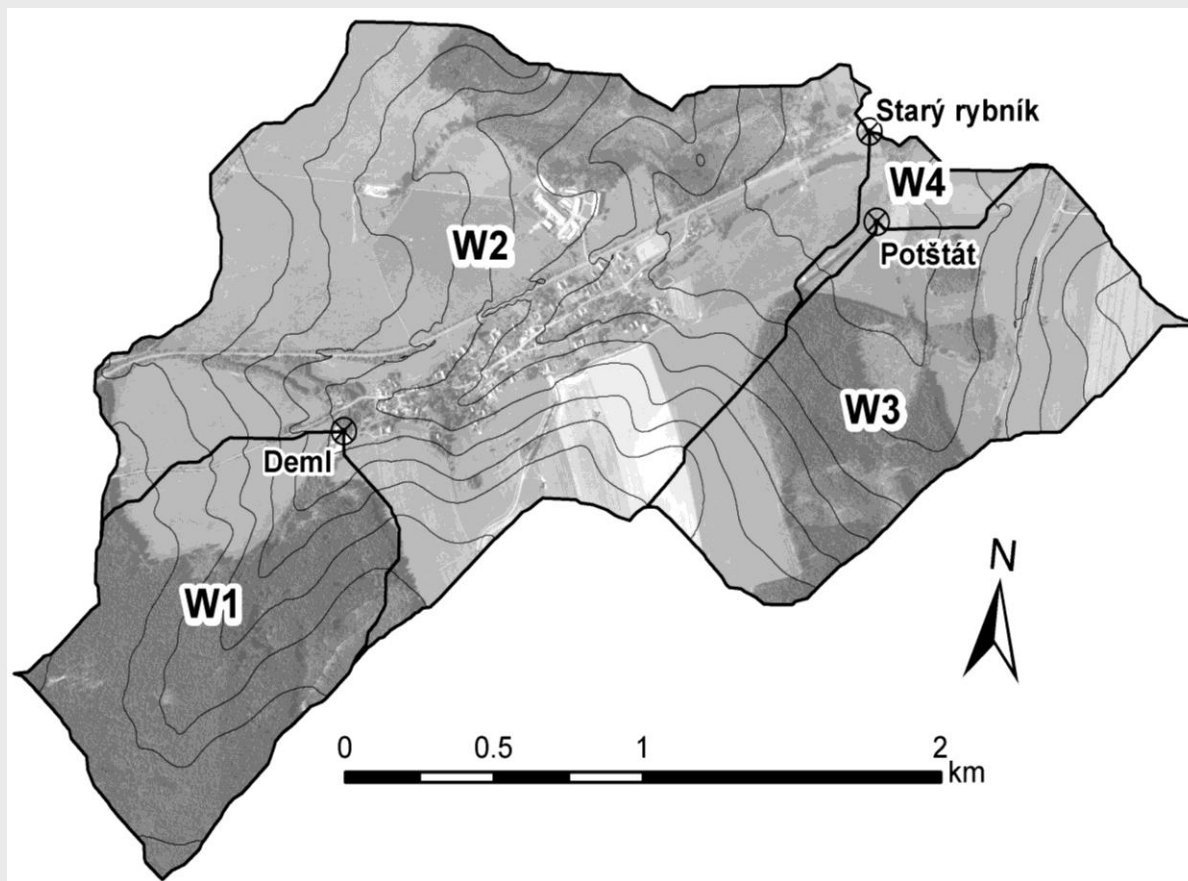
- ČSN 75 1400 Hydraulické údaje povrchových vod
- Přímá měření průtoků
- Hydrologická analogie
- ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže

Kde se nachází zkoumaná lokalita?

V katastru obce Potštát, na hranicích vojenského prostoru Libavá, lesní správa Potštát.

Povodí se nachází na potoku Boškov, 400 m nad soutokem s řekou Veličkou (povodí č. 4-11-02-0370). Celé povodí patří do Oderské vrchoviny s nadmořskou výškou 502–621 m. n. m., střední sklon povodí činí 7,8%. Celková plocha pak 5 km².

Zájmová povodí



Obr. 1 Rozmístění dílčích povodí (W1–W4) se závěrečnými profily – hráze vodních nádrží

Skladba příspěvku

- **Metodika:**
 - Softwar Auto CAD Civil 3D,
 - Softwar Hydraflow Hydrographs Extension for AutoCAD Civil 3D,
 - Údaje krátkodobých srážkových událostí shromážděných J. Truplem,
- **Výsledky a diskuze**
- **Závěr**

Metodika

Metodika řešení zahrnovala:

- analýzu podkladů, souvisejících s přírodními poměry a stávajícím využitím daného povodí (přírodní a hydrologické podmínky, využití půdy, technické parametry vodních nádrží),
- výstavbu transformačního modelu pro jednotlivé vodní nádrže
- zpracování celkového transformačního modelu pro celé povodí, tzn. soustavu MVN Deml, Potštát a Starý rybník.

Tvorba a zpracování dat

Vodní nádrže byly vyprojektovány pomocí softwaru AutoCAD Civil 3D. Jde o komplexní softwarové řešení zaměřené na přípravu a zpracování projektové dokumentace. Program podporuje širokou škálu nástrojů stavebního inženýrství a je založen na aplikačním kódu objektově orientované architektury. Díky tomu existují dynamické vazby mezi jednotlivými subjekty projektu, což znamená, že všechny související objekty jsou aktualizovány při každé změně. Tento software byl také využit pro analýzu batygrafie vodních nádrží (plocha vodní hladiny v závislosti na objemu). MVN Potštát byla vybudována v roce 2009, MVN Deml byla realizována v roce 2013 a Starý Rybník je v současné době ve výstavbě.

Tvorba a zpracování dat

Použitá výškopisná data představují vrstevnice ZABAGED (Základní báze geografických dat ČR). Digitální model terénu (DMT) z povodí byl zhotoven v softwaru ESRI Arc GIS Desktop. Dále byla v prostředí Arc GIS provedena analýza povodí s uvažováním hrází předmětných vodních nádrží jako závěrečných profilů dílčích povodí (Obr. 1). Následná analýza byla zaměřena na výpočet parametrů dílčích povodí (plocha, sklon, délka údolnice, atd.). Čísla odtokových křivek (CN) byla odvozena z informací o využívání půdy, hydrologických podmínek a hlavních půdních jednotek.

Tvorba a zpracování dat

Srážko-odtokový proces byl modelován v softwaru Hydraflow Hydrographs Extension for AutoCAD Civil 3D. Software podporuje hydrologické výpočetní modely založené na SCS (Soil Conservation Service) jednotkovém hydrogramu (TR-20, TR-55) a racionálních metodách výpočtu. Kulminační odtok z povodí (Q_p) jednotkového hydrogramu je vypočítán dle následující rovnice (1).

Tvorba a zpracování dat

Výpočet kulminačního odtoku z povodí (Q_p) jednotkového hydrogramu:

$$Q_p = \frac{484 * A * P}{T_p} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1)$$

Kde	A	$[\text{km}^2]$	... rozloha povodí
	P	$[\text{mm}]$	... jednotková srážka
	T_p	$[\text{hod}]$	... doba kulminace

Tvorba a zpracování dat

Jednotkový hydrogram je hypotetická odezva povodí (přímý odtok) na jednotkový efektivní déšť konstantní intenzity pokrývající rovnoměrně jednotku povodí. Jednotkový hydrogram je charakterizován dobou kulminace a dobou koncentrace (T_c) – rovnice (2).

$$T_c = 1,67 * \frac{L^{0,8} * (S + 1)^{0,7}}{1900 * I^{0,5}} \quad [\text{min}] \quad (2)$$

Kde	L	[m]	... hydraulická délka povodí
	I	[%]	... sklon povodí
	CN	[--]	... číslo CN křivky
	$S = (1000/\text{CN}) - 10$		

Tvorba a zpracování dat

Intenzity, doby trvání a frekvence opakování příčinných srážek (IDF křivky) byly odvozeny z údajů krátkodobých srážkových událostí shromážděných J. Truplem. Výstupem softwaru je soubor hydrogramů povodňových událostí vztahujících se k dílčím povodím i celkovému povodí.

Model transformačního účinku vodní nádrže byl zpracován v programu Microsoft Excel. Vstupem pro výpočet jsou hydrogramy odvozené z dané srážkové události, známé batygrafie a konstrukčních parametrů hydrotechnických objektů vodních nádrží. Výsledný hydrogram představuje transformovaný odtok z nádrže.

Výsledky a diskuze

Povodní bylo rozděleno do 4 dílčích povodí (W1-W4), vzhledem k uspořádání vodních nádrží a vodotečí, pro která byly spočítány hodnoty jejich celkové plochy, středního sklonu a čísla CN křivek.

Pro výpočet byly uvažovány intenzity srážek, odpovídající době trvání deště 15, 20, 30 60 minut s dobou opakování 100 let. Uvedené hodnoty byly zvoleny s ohledem na předpoklad, že hlavní transformační účinek rybníků (tj. nádrží s malým retenčním objemem) nastává při krátkodobých srážkových událostech. Zvolená doba opakování srážkové události souvisí se skutečností, že mnoho hydrotechnických výpočtů ve vodním hospodářství je odvislá od stupně ochrany před Q_{100} letou vodou.

Výsledky a diskuze

Soustava malých vodních nádrží se skládá ze tří rybníků (MVN Deml, Potštát a Starý rybník), pro které byly vypočteny klíčové objemy. Součet zásobního a retenčního objemu závisí na výškové úrovni přelivné hrany. Ovladatelný retenční objem (V_{ro}) je dán úrovní přelivné hrany a hodnota neovladatelného retenčního objemu (V_{rn}) je spjata s maximální navrženou hladinou vody v nádrži na základě projektové dokumentace. Vstupní údaje jsou uvedeny v tab. 1.

Tabulka 1 – Vstupní data

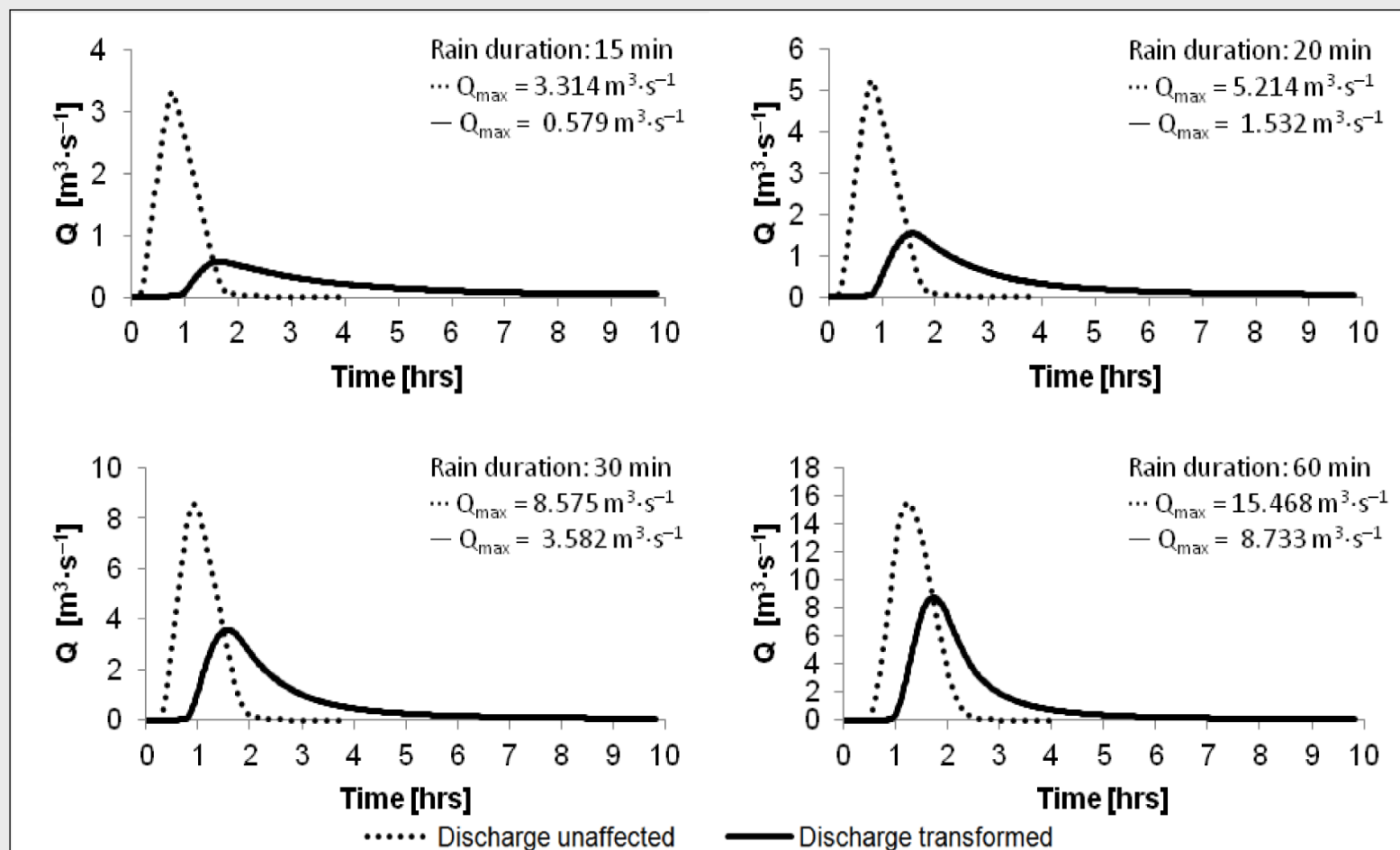
Watershed					Rainfall events			Small water reservoir system				
Label	A [km ²]	I [%]	CN	Enclos. prof.	I [cm·hr ⁻¹]	D [min]	F [yr]	Name	V _s +V _z [m ³]	V _{ro} [m ³]	V _{rn} [m ³]	V _{tot} [m ³]
W1	1.00	7.16	71	Deml	11.9	15	100	Deml	9990	0	2070	12060
W2	2.74	8.52	77	Starý rybník	10.2	20	100	Potštát	13600	0	4550	18150
W3	1.13	7.09	75	Potštát	8.1	30	100	Starý rybník	51880	4270	20540	76690
W4	0.13	4.42	70	Starý rybník	5.2	60	100	V _s ...maintenance volume; V _z ...storage vol.; V _{ro} ...controlled retention vol.; V _{rn} ...uncontrolled retention vol.; V _{tot} ...total volume				
Overall	5.00	–	–	Starý rybník	I...intensity; D...duration; F...frequency							
A...area; I...Ø slope; CN...Ø curve number												

Výsledky a diskuze

Jednotlivé hydrogramy povodňových vln byly modelovány zvlášť pro dílčí povodí i celé povodí pro každou srážkovou událost bez uvažování transformačního účinku vodních nádrží (tzn. pro stav, kdyby nádrže neexistovaly). Z jednotlivých hyetografů (grafy časového rozložení deště) byl vypočten přímý odtok z povodí na základě principu superpozice a časové invariance. Každý přírůstek hyetografu návrhové srážky byl vynásoben příslušnou pořadnicí jednotkového hydrogramu.

Finální hydrogramy odtoku vznikly sloučením či superpozicí dílčích hydrogramů. Následně byly hydrogramy přepočteny se zahrnutím transformačního efektu soustavy nádrží se závěrovým profilem, reprezentovaným sdruženým objektem MVN Starý rybník (Obr. 2).

Transformované hydrogramy pro MVN Starý rybník



Výsledky a diskuze

Transformační účinek vodních nádrží je dán především provozním nastavením retenčních objemů a konstrukčními rozměry bezpečnostních přelivů a výpustných zařízení. Výpustné zařízení na MVN Deml a Potštát je řešeno jako jednoduchý požerák se zdvojenou dlužovou stěnou s jílovým těsněním. Hráz nádrží je opatřena přímým bezpečnostním přelivem. Sdružený objekt na nádrži Starý rybník plní funkci bezpečnostního přelivu i výpustného zařízení. Výpočet transformace přímého odtoku pomocí nádrží je založen na množství vody protékající zmíněnými hydrotechnickými objekty vzhledem k přítoku do nádrže.

Výsledky a diskuze

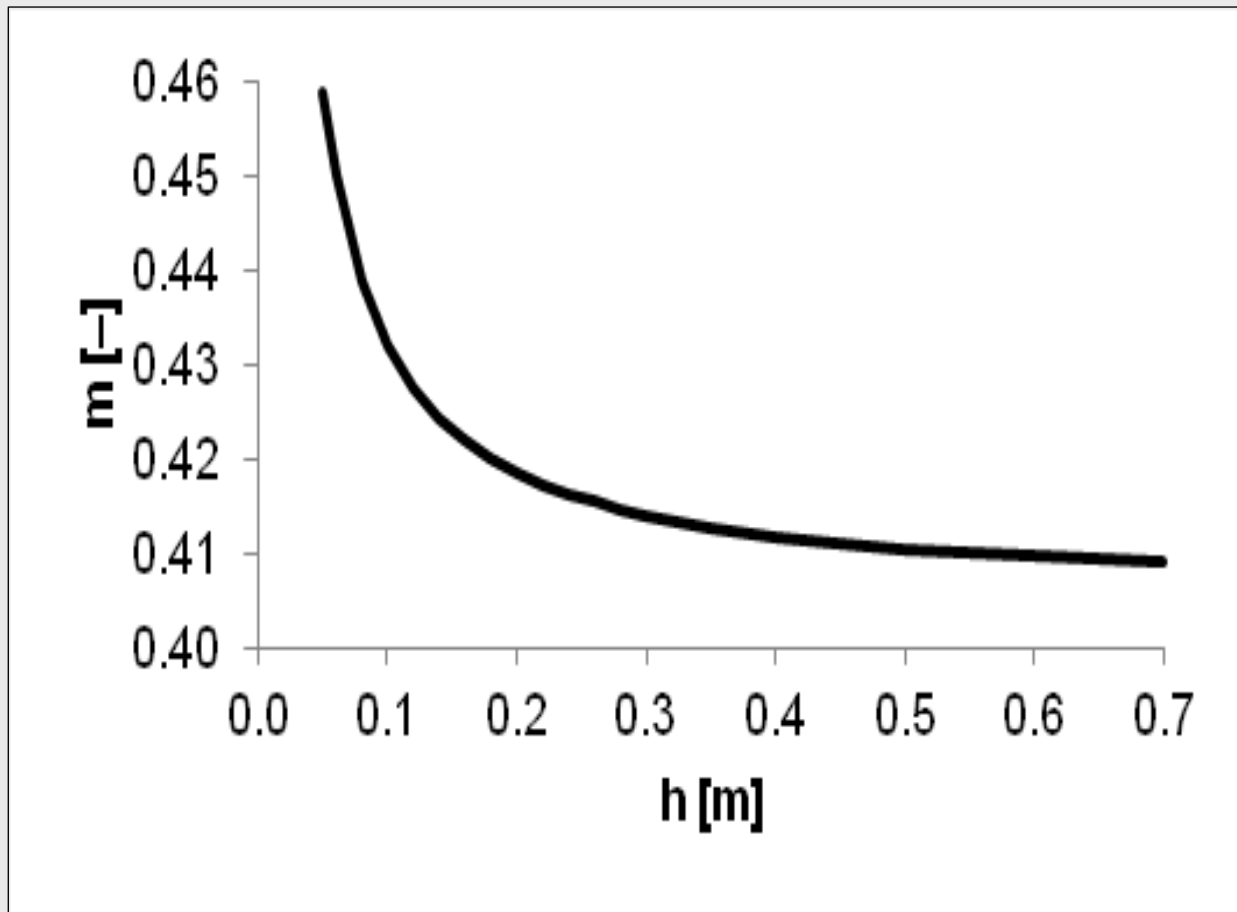
Během zkoumané srážkové události voda v nádrži dosáhne nejdříve horní úrovně dlužové stěny v požeráku. Odtok je počítán jako přepad vody obdélníkovým profilem s uvažováním vlivu boční kontrakce a měnícím se součinitelem přepadu v závislosti na výšce přepadového paprsku – rovnice (3). Výška přepadového paprsku se plynule zvyšuje, proto mohou při přepadu vody postupně vznikat podmínky široké, úzké (praktické) koruny a ostrohranného přelivu v závislosti na konkrétní konstrukci dlužové stěny (Obr. 4). Z toho důvodu se postupně mění i součinitel přepadu v přibližném rozmezí hodnot 0.32–0.46.

Výpočet přepadového množství

$$Q_0 = m * b \sqrt{2g} * h^{\frac{3}{2}} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (3)$$

Kde	m	[–]	... součinitel přepadu
	b	[m]	... šířka přelivné hrany s vlivem boční kontrakce
	g	[m·s ⁻²]	... tíhové zrychlení
	h	[m]	... výška přepadového paprsku
	Q ₀	[m ³ ·s ⁻¹]	... průtočné množství

Obr.4 – Výška přepadového paprsku v závislosti na konkrétní dlužové stěně



Výsledky a diskuze

V okamžiku, kdy voda v nádrži dosáhne úrovně hladiny retenční ovladatelné, voda z nádrže začne odtékat i bezpečnostním přelivem. V rovnici (4) je uveden vztah pro výpočet průtočného množství přes lichoběžníkový přeliv. Součinitel přepadu je v tomto případě závislý především na konstrukci objektu. Na nádrži Deml a Potštát nastanou podmínky pro širokou korunu, na sdruženém objektu v nádrži Starý rybník nastanou podmínky široké a úzké koruny.

Vztah pro přepadové množství přes lichoběžníkový přeliv

$$Q_s = m * b \sqrt{2g} * h^{\frac{3}{2}} + \frac{8}{15} \mu \sqrt{2g} * \cot \alpha * h^{\frac{5}{2}} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (4)$$

Kde	μ	[--]	... součinitel zkosení bočního svahu přelivu
	α	[°]	... sklon bočního svahu přelivu
	Q_s	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	... průtočné množství

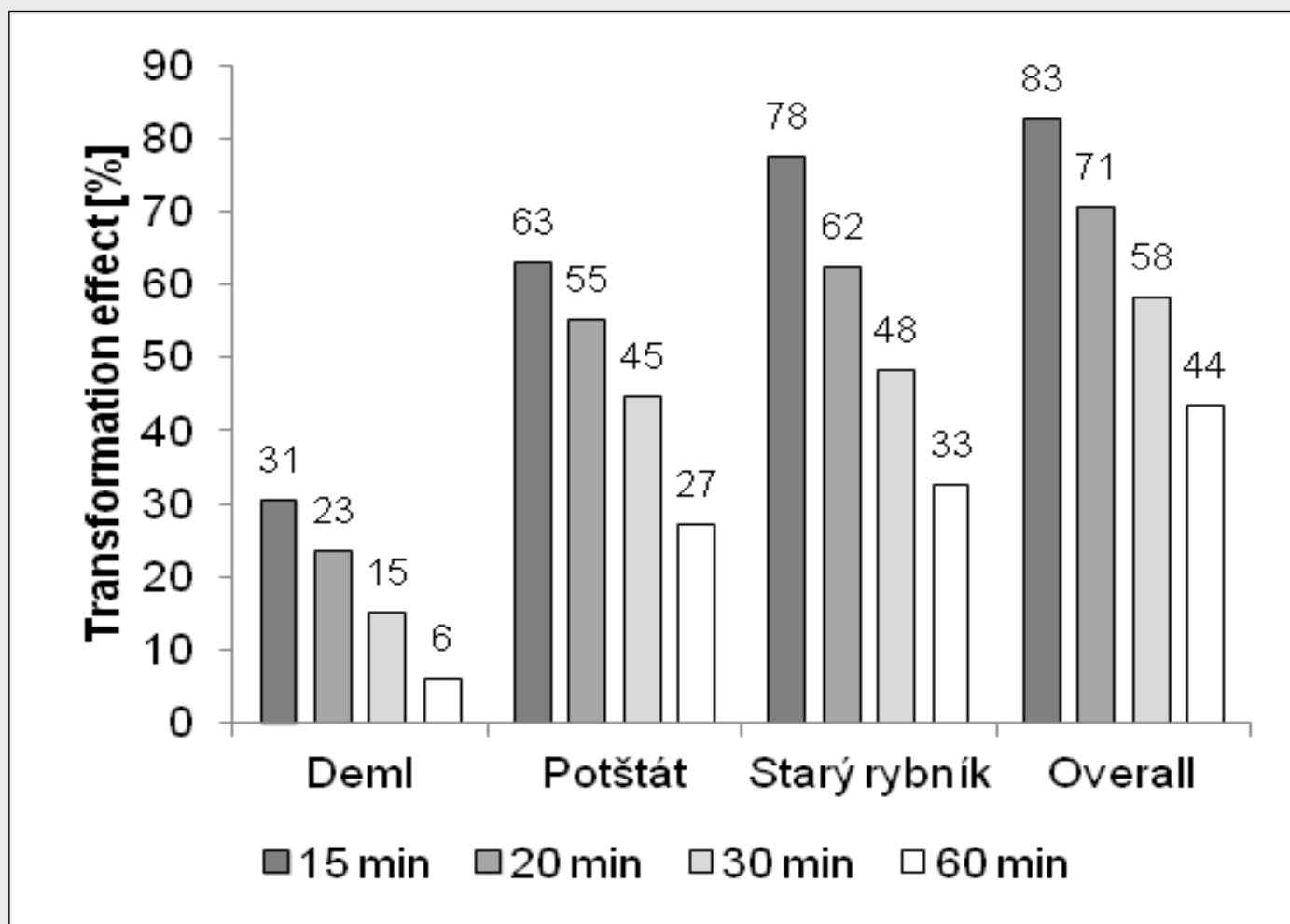
Výsledky a diskuze

Výsledným odtokem z nádrže je součet průtoku požerákem a bezpečnostním přelivem. Transformační účinek jednotlivých nádrží je tedy ovlivněn parametry daných srážkových událostí, volným retenčním objemem a parametry hydrotechnických objektů. Kromě toho je celkový efekt závislý na charakteristikách povodí, rozmístění nádrží v povodí a možnosti součinnosti nádrží při procesu transformace během předmětné srážky. V případě hospodářsky využívaných rybníků je obvykle možné využít pouze ovladatelný a neovladatelný retenční prostor. Limity využití pro transformaci vyplývají z jejich primární funkce – chov ryb s nároky na stabilní hloubku vody v nádržích.

Výsledky a diskuze

Na obr. 5 jsou znázorněny výsledky transformačního účinku jednotlivých nádrží i soustavy jako celku. Transformační efekt obecně klesá se vzrůstající dobou trvání srážkové události, což je způsobeno vzrůstajícím poměrem mezi celkovým objemem spadlé vody a prostorem v nádržích využitelným pro transformaci. Hodnoty tak prokazují vztah mezi volným objemem v nádrži a danou srážkou. S větším dostupným prostorem v nádrži lze očekávat vyšší transformační účinek.

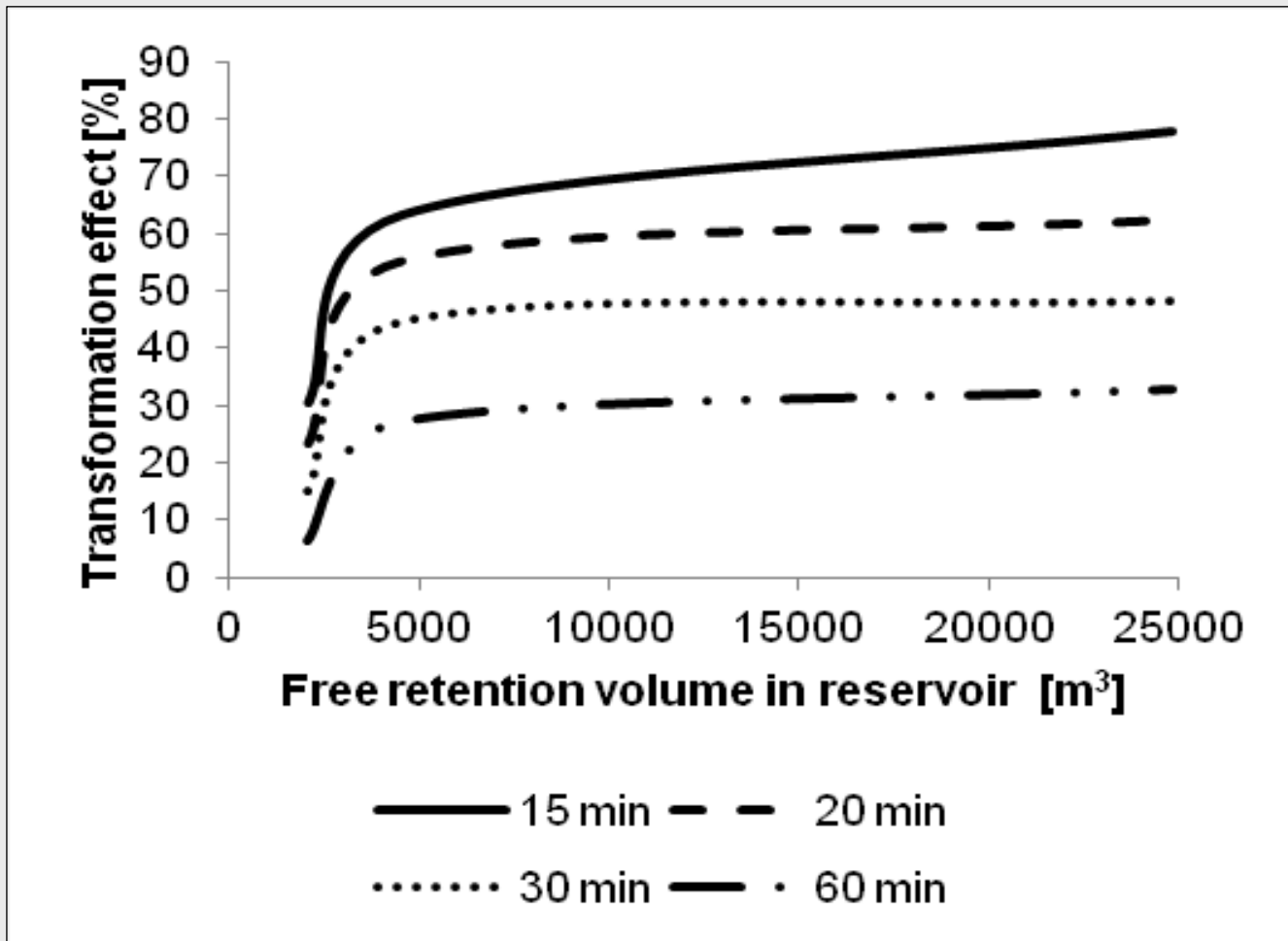
Transformační účinek jednotlivých nádrží



Výsledky a diskuze

Přestože jsou retenční objemy jednotlivých nádrží poměrně malé, jejich transformační účinek není zanedbatelný (např. Deml). Je prokazatelné, že transformační účinek může být zvýšen vhodným návrhem a zajištěním celkové funkčnosti soustavy vodních nádrží. (Obr. 6).

Transformační účinek v závislosti na objemu volného retenčního prostoru



Výsledky a diskuze

Pro účely projektové přípravy vodohospodářských staveb a opatření v povodí je třeba mít k dispozici hydrologická data, která již zahrnují ovlivnění kulminačních průtoků vodními nádržemi za účelem přesnosti a relevantnosti návrhu. Přestože je problematika řešitelná pomocí GIS nástrojů, zůstává otázkou, kdo by poskytoval kompletní a aktuální databázi malých vodních nádrží, mokřadů, odvodňovacích zařízení a dalších staveb a hydrotechnických objektů, které by mohly mít vliv na transformaci přímého odtoku z povodí.

Závěr

Ačkoliv malé vodní nádrže v krajině mají vždy svou převládající funkci, pro kterou byly vybudovány, např. retence vody, sedimentace splavenin, chov ryb, rekreace, estetická a ekologická funkce, musíme MVN chápat i jako multifunkční nádrže, které mohou zásadně ovlivňovat vodní režim krajiny, a to zejména během období sucha a povodní.

Regulace přímého odtoku spočívá z využití volných retenčních objemů pro zdržení přitékající vody a transformaci povodňové vlny. Výsledkem studie je prokázání vztahu mezi retenčním objemem a transformačním účinkem nádrží v závislosti na parametrech návrhových srážek. Předpokládá se, že čím vyšší je volný retenční objem, tím vyšší bude transformační účinek vodní nádrže. I když celkový využitelný objem tří malých vodních nádrží je poměrně malý, transformační vliv těchto nádrží není zanedbatelný. Výzkum ukázal, že bylo dosaženo transformačního účinku.

Malá vodní nádrž - Deml



Malá vodní nádrž - Potštát



Malá vodní nádrž - Potštát

