VPLYV VÝBERU NÁVRHOVEJ POVODŇOVEJ VLNY NA KONCEPČNÝ NÁVRH POLDRA

Michal Dóša, Mária Martincová

Anotácia

Cieľom práce je ukázať, ako môže výpočet návrhovej povodňovej vlny ovplyvniť návrh protipovodňového poldra. Porovnané boli výsledky troch vĺn vypočítaných pre povodie toku Osrblianka. Ukázalo sa, že použitím rôznych metód boli dosiahnuté odlišné výsledky, ktoré mali veľký vplyv na konečné parametre poldra.

Kľúčové slová: polder, návrhová vlna, transformácia prietoku

Anotation

The aim of this work is to mark the fact, how can the choice of the design flood impact the design of polder. We compare results of three flood-rates calculated for the Osrblianka river basin. We can say, that using various methods we get different results, which had big influence on the final parameters of polder.

Key words: polder, design flood, transformation of the flow rate

Úvod

Povodeň je jav, ktorý ovplyvňuje nie len životné prostredie, ale aj samotného človeka. Pri zvýšených prietokových stavoch dochádza k vybrežovaniu vody z korýt a následnému zatápaniu okolitých oblastí. Dôsledkami sú potom škody na majetku a v korytách tokov. Preto sa snažíme pred takýmito javmi chrániť. Princíp ochrany pred povodňami vychádza zo zásady, že povodniam sa nedá zabrániť, ale dá sa ovplyvniť ich priebeh a obmedziť rozsah povodňových škôd a následkov. Jednou z možností ochrany pred povodňami je výstavba suchých nádrží – poldrov.

Jedným zo zásadných problémov pri navrhovaní akejkoľvek vodohospodárskej stavby nebýva vždy samotné hydraulické riešenie, ale určenie kvalitných vstupných údajov. V prípade poldra je týmto údajom povodňová vlna. V tomto príspevku sme chceli poukázať práve na problém určenia povodňovej vlny použitím rôznych metód a na diametrálne odlišné výsledky ktoré tieto metódy dávajú.

Vlny boli určované pre priehradný profil poldra Osrblie na toku Osrblianka, navrhovaného Slovenským vodohospodárskym podnikom.

Poldre

Polder je definovaný ako jednoúčelový vodohospodársky objekt, ktorý slúži na redukovanie povodňových prietokov na prijateľnú hodnotu pomocou krátkodobého zadržania časti objemu z vrcholu povodňovej vlny vo vyhradenom zátopovom území. Je charakterizovaný svojim retenčným objemom a typmi regulačných objektov, ktoré spôsobujú prerozdeľovanie časti objemu povodňovej vlny. Je postavený za účelom zamedzenia škôd na úseku toku ležiacom pod nim (Čomaj, 2004).

Základnou funkciou poldrov je vytvárať stály pohotovostný retenčný priestor. Ich výhodou je, že prakticky neovplyvňujú prúdenie v toku, pretože počas normálneho vodného stavu nedochádza k vzdutiu hladiny a voda voľne prúdi cez výpustný otvor. Ďalšou výhodou je možnosť využívania územia nad hrádzou (pasienky).

Poldre rozdeľujeme podľa typov regulačných objektov na:

- prietočné (pretekané)
- nepretekané
- kombinované

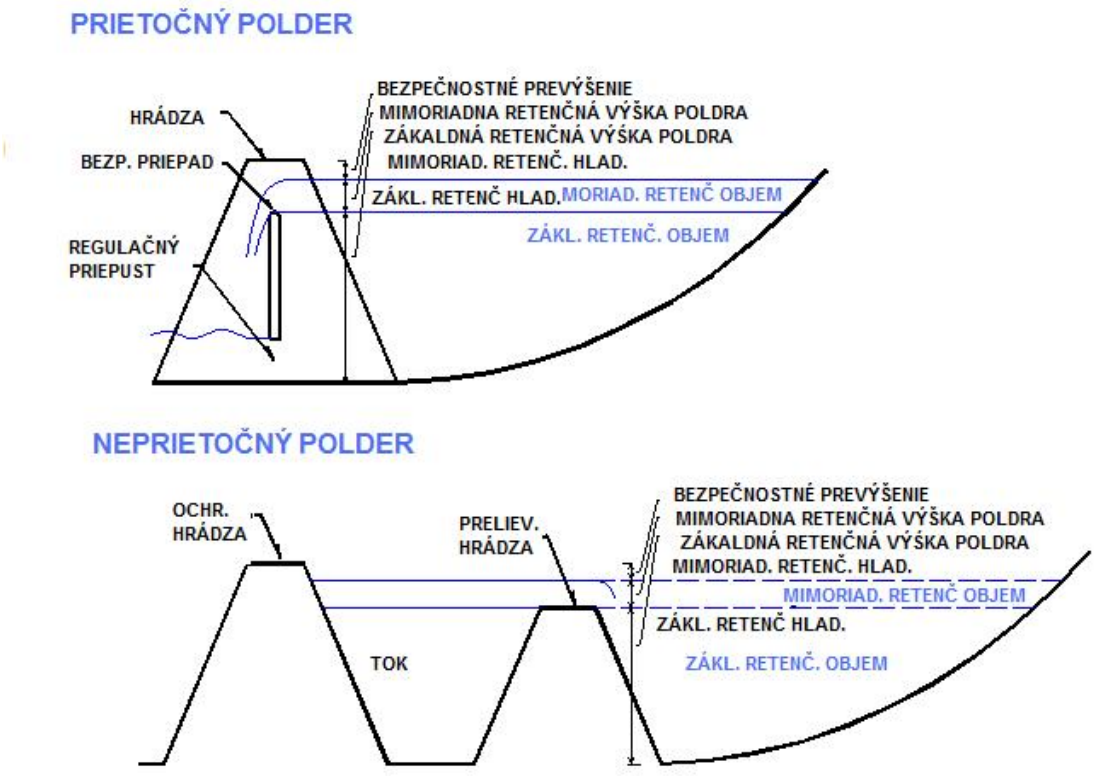
Prietočné poldre sú vytvorené priečnym prehradením koryta toku hrádzou. Sú vhodné pre výstavbu na malých podhorských tokoch v relatívne úzkych údoliach (napr. polder Waldbach v Rakúsku, polder Oreské) , kde sa retenčný objem vytvára krátkou priečnou hrádzou a vyššou výškou vzdutia. Prietok je transformovaný dnovým regulačným priepustom alebo regulačným dnovým otvorom,

Nevýhodou takéhoto typu poldra je častejšie zaplavovanie zátopového územia v dôsledku transformácie aj menších ako bezpečných prietokov dnovým výpustom.

Výhodou pretekaných poldrov je menší rozsah stavebných objektov hrádze.

Neprietočné poldre sú typické pre toky v rovinatom území (napr. poldre na rieke Morava) kde sú toky lemované ochrannými hrádzami vyvýšenými nad terénom. Regulačným priepad je umiestnený na korune hrádze. Zátopové územie je vedľa toku. Takýto typ poldra transformuje len také prietoky, pri ktorých hladina dosiahne úroveň koruny priepadu, teda väčšie ako bezpečné.

Ich nevýhodou je nákladnejšia výstavba a pomalšie vypúšťanie.



Obr.1 Schéma prietočného a neprietočného poldra (Čomaj, 2004)

Kombinované poldre sú také, ktoré využívajú na transformáciu vlny do určitého prietoku regulačný priepust a od vyššieho prietoku regulačný priepad alebo opačne. Napríklad pretekaný polder cez ktorý prechádza koryto, je od zátopovej plochy poldra oddelený ochrannými hrádzami, aby sa základný retenčný objem zaplavoval až od určitého zvoleného prietoku.

Vyššie prietoky sú už regulované vplyvom hradiaceho dnového priepustu v objekte priečnej hrádze ako pri pretekanom poldri (Čomaj, 2004).

Podľa spôsobu manipulácie objektov rozdeľujeme poldre na:

- regulovateľné
- neregulovateľné

Pri neregulovateľných poldroch nie je možné prestavovať kapacitu výpustného otvoru účinnosť poldra je nastavená na návrhovú vlnu.

Pri regulovateľných poldroch je možné kapacitu regulačného otvoru prispôsobovať.



Obr. 2 Polder Oreské, zátopová oblasť (SVP š.p.)

Metodika práce

V práci boli použité tri návrhové povodňové vlny pre povodie Osrblianky (plocha povodia k priehradnému profilu je 24,23 km^2). Prvá vlna bola dodaná SHMÚ. Druhá vlna bola určená metódou podľa Hrádka (1989) a tretia metódou ERCN (2001). Pre tieto tri návrhové vlny bola určená transformácia poldrom a vypočítané náklady na postavenie poldra.

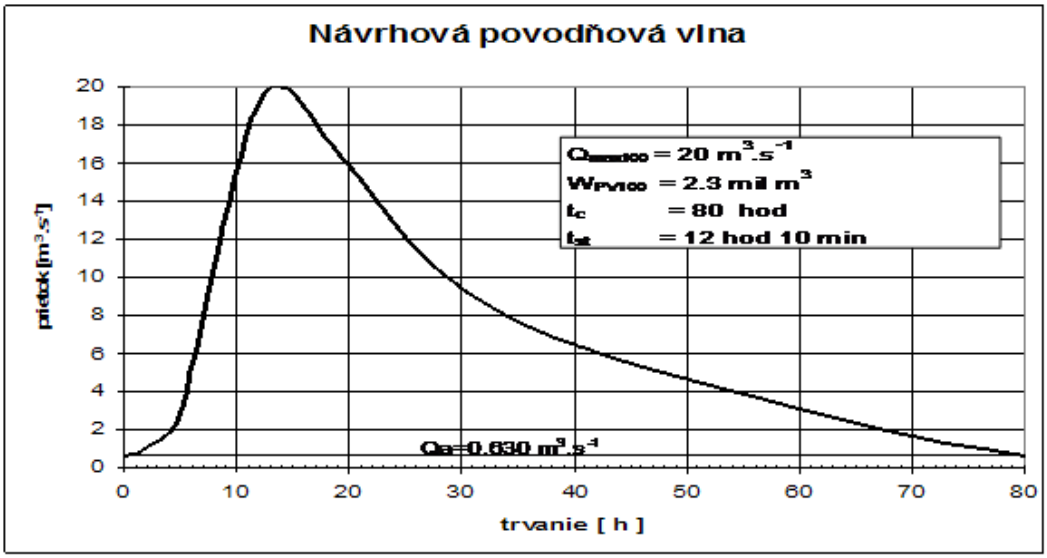
Návrhové povodňové vlny sú definované svojim objemom, kulminačným prietokom, časovým priebehom stúpania, kulminácie a poklesu prietokov povodne nad úrovňou dlhodobého priemerného prietoku a bezpečného prietoku.

1. Vlna SHMÚ

Parametre 100-ročnej povodňovej vlny:

100-ročný maximálny prietok Q_{max100}	:	20 $m^3.s^{-1}$
Objem povodňovej vlny W_{PV100}	:	2,3 mil. m^3
Doba trvania povodne t_c	:	80 h
Doba stúpania t_{st}	:	12 h 10 min.
Doba klesania t_{kl}	:	67 h 50 min.

Údaje sú odvodené za reprezentatívne obdobie 1931-1980 pre prirodzený režim odtoku a sú platné 5 rokov od času vypracovania (03/2005) .

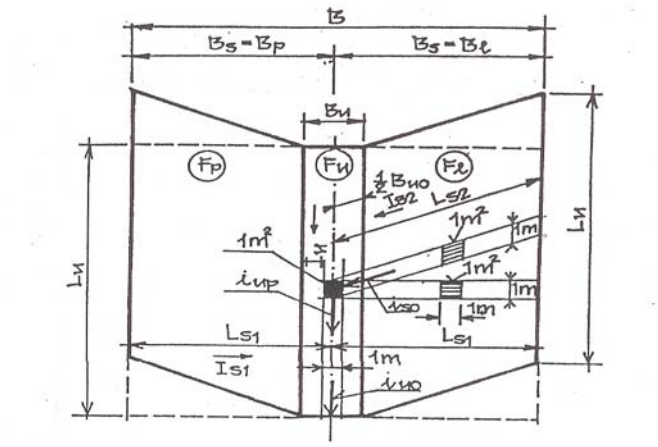


Obr. 3 Návrhová povodňová vlna vypracovaná SHMÚ

2. Metóda podľa Hrádka - hydrologická smernica MZV ČSR a MP SR Návrhové průtoky pro malá povodí, vypracovaná VSŽ Praha, 1989.

Metodika výpočtu je založená na kombinácii hydrologického a hydraulického prístupu riešenia povrchového odtoku a obsahuje podklady pre výpočet vo forme tabuliek, grafov a máp. Pri výpočte sa vychádza z týchto zjednodušených predpokladov :

1. uvažuje sa modelové povodie s rovinnými svahmi, na nich odtok zo svahu je prítokom do údolnice,
2. povodie je zasahované prívalovým dažďom (kritickým) doby trvania $t_d = t_k$, konštantnej intenzity id, rovnomerného plošného rozloženia,
3. prietokom na povodí je uvažovaný dážď, doby trvania t_d, intenzity i_{ed}, takže pri hydraulickom riešení odtoku môžeme považovať povodie za nepriepustné, bez retenčnej schopnosti povrchu,
4. k maximálnemu prietoku v uzatvorenom profile povodia dochádza v dobe koncentrácie t_k, keď prietoková intenzita na povodí je rovná odtokovej intenzite (ustálený stav).



Obr. 4 Schéma modelového povodia

Pri odvodení hodnôt návrhových prietokov Q_{100} sa postupuje nasledovne:

- stanovia sa geometrické a sklonové charakteristiky povodia F, L_u, L_{s1}, L_{s2}, I_{s1}, I_{s2},
- ďalej sa stanoví príslušná hodnota hydrologickej skupiny pôd (A, B, C, D),
- číslo CN, závislé od využitia pôdy a hydrologickej skupiny pôd,
- hodnota drsnostného súčiniteľa γ v závislosti na pokryve a spôsobe obrábania pôdy,
- charakteristika A_u a v závislosti na I_{s2} a I_{s2} sa stanoví charakteristika A_s,
- priesečník kriviek H = f (A,t) pre A = A_s a H = f (CN,t) pre dané CN.
- Odhadne sa pravdepodobná hodnota šírky prúdu v údolnici B_u (z charakteristického priečneho profilu údolia), vypočíta sa koeficient a určí sa priesečník kriviek pre:
  - P - podiel strednej šírky povodia a strednej šírky údolnice (m),
  - A - číselná charakteristika geometrických a hydraulických vlastností povodia (mm/min),
- pri $t_{uk} < t_{sk}$ (min) sa vypočíta maximálna odtoková intenzita v profile povodia podľa vzťahu:

$$i_{100,s} = \frac{H_{so}}{t_{sk}} \quad (\text{mm.min}^{-1}) \qquad (1)$$

kde:

$i_{100,s}$ – intenzita odtoku (alebo prítoku) zo svahu (na svah) a pravdepodobnosťou opakovania raz za 100 rokov,

H_{so} – výška odtoku zo svahu (mm),

t_{sk} – doba koncentrácie na svahu (min),

$$Q_{100,s} = 16,67 i_{100,s} F \quad (\text{m}^3.\text{s}^{-1}) \qquad (2)$$

- pri tuk > tsk (min) vypočítame maximálnu odtokovú intenzitu v profile povodia podľa vzťahu:

$$i_{100,u} = \frac{H_{uo}}{t_{uk}} \quad (\text{mm.min}^{-1}) \qquad (3)$$

kde:

$i_{100,u}$ – intenzita odtoku z údolnice a pravdepodobnosťou opakovania raz za 100 rokov,

Hu_o – výška odtoku z údolnice (mm),

t_{uk} – doba koncentrácie z údolnice (min),

$$Q_{100,u} = 16,67 i_{100,u} F \quad (\text{m}^3.\text{s}^{-1}) \qquad (4)$$

kde:

$Q_{100,u}$ – 100 ročný prietok pre údolnicu (m^3/s),

$i_{100,u}$ – intenzita odtoku z údolnice a pravdepodobnosťou opakovania raz za 100 rokov,

F – plocha povodia v (km^2),

Výsledkom riešenia je z grafických príloh určená doba koncentrácie t_k a odtoková výška H_o, odvodené v závislosti na CN a A_s. $A_ú$.

Charakteristiky povodia a toku Osrblianka, ktoré bolo potrebné zadať do programu:

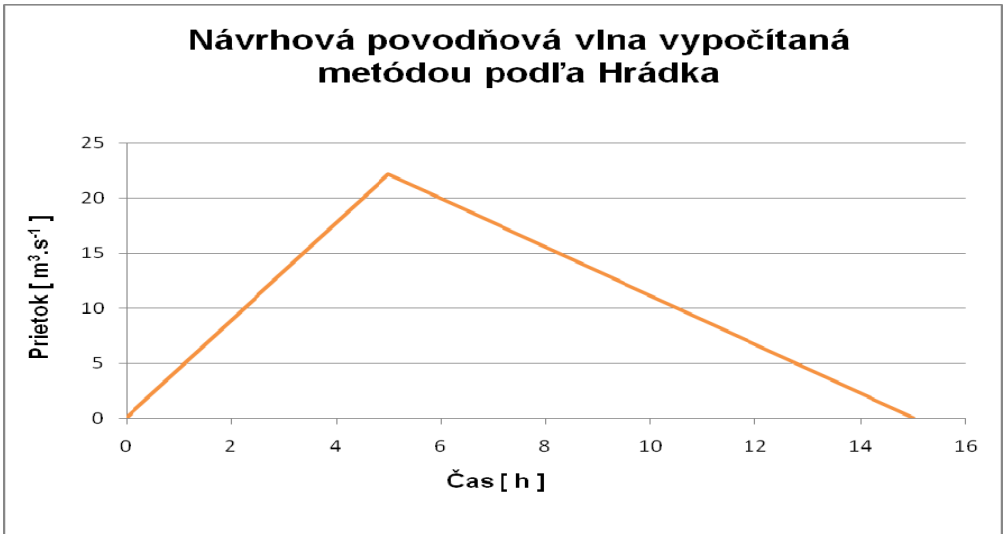
plocha povodia F (km^2)	dĺžka údolnice Lu (km)	B (km)	sklon svahu I_{s1} (%)	sklon údolnice Iu (%)	Hydrologická skupina pôd	zalesnenie	lúky	zástavba
24.230	7.800	3.106	31.600	6.190	B	0.941	0.059	0.000

Tab. 1 Hodnoty získané z papierových a digitálnych máp

V našom prípade t_{uk} = 8 min. a t_{sk} = 300 min. preto sa hodnoty $i_{100,s}$ a $Q_{100.s}$ počítali podľa vzorcov 1 a 2

	t_{dk} (min)	H_{so} (mm)	i_{100} (mm/min)	q_{100} (m^3/s)	Q_{100} (m^3/s)
$t_{uk}<t_{sk}$	300.0	17.0	0.057	0.916	22.202

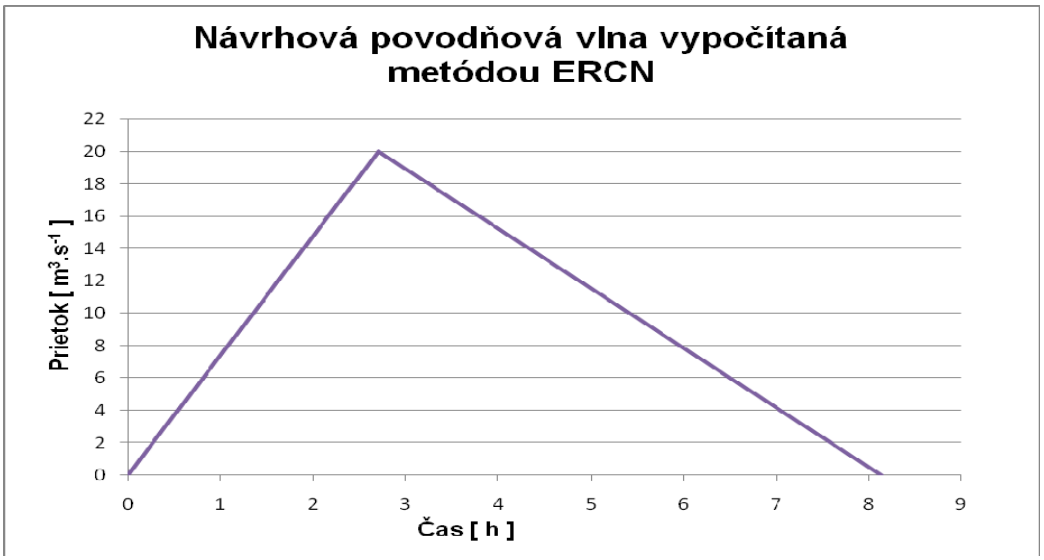
Tab. 2 Hodnoty povodňovej vlny vypočítanej podľa Hrádka



Obr.5 Návrhová povodňová vlna vypracovaná metódou podľa Hrádka

3. ERCN 2.0 (Dumbrovský, M. et. al. (2001))

Ďalšou metódou, ktorá sa použila na výpočet 100 – ročných maximálnych prietokov bola metóda ERCN 2.0 – Výpočet hodnôt potrebných pre projektovanie pozemkových úprav, ktorú vytvoril Výskumný ústav meliorácií a ochrany pôdy v Prahe. Vstupnými hodnotami do tejto metódy sú plocha povodia (ha), priemerná hodnota CN čísla, max. 24 – h zrážkový úhrn (mm). Vypočítané Q_{100} = 20 $m^3.s^{-1}$, t_{sk} = 2,71 hod, t_{kl} = 5,42 hod.



Obr.5 Návrhová povodňová vlna vypracovaná metódou ERCN

Vyhodnotenie návrhových povodňových vĺn:

metódy	SHMÚ	Hrádek	ERCN
Q_{100} ($m^3.s^{-1}$)	20	22,202	20
trvanie povodne (h)	80	15	8,13
Objem (m^3)	2880000	599454.0	292680

Tab.3 Porovnanie rôznych metód na výpočet návrhovej povodňovej vlny

Vzhľadom na fakt, že ani metódou podľa Hrádka ani ERCN nedostaneme priebeh vlny, len hodnotu kulminačného prietoku a dobu trvania vzostupu a poklesu vlny nahradili sme ich priebeh trojuholníkovým tvarom.

Všetky použité metódy sú dôveryhodné a platné. Boli použité na rovnaké územie. Pri ich porovnaní sme zistili, že u všetkých metód je hodnota Q_{100} podobná, avšak čo sa týka trvania povodne, hodnoty sa líšia. Pri riešení tejto práce sme sa pokúsili návrhovú metódu určiť aj ďalšími spôsobmi. Niektoré metódy sa ukázali ako úplne nepoužuteľné, napríklad OTN ŽP 3112-1:03 (2003), kde je tok Osrblianka úplne nevhodne zaraďovaný do povodia Čierneho Hrona. Po dosadení regionálnych parametrov je vypočítaný prietok Q_{100} = 43,152 $m^3.s^{-1}$. Rovnako nepoužiteľná sa ukázala aj racionálna metóda podľa Kirpicha (Antal, J. a kol.), kde bola doba trvania vlny t = 2,88 hod.

Z porovnania rôznych metód vyplýva, že na určenie návrhovej povodňovej vlny nestačí mať k dispozícii len jednu vlnu, ale je potrebné vypracovať samostatnú podrobnú hydrologickú štúdiu v ktorej sa zhodnotí a porovná viacero metód.

Transformácia povodňovej vlny:

Vstupné údaje potrebné pre transformáciu sú návrhová vlna, konzumčná krivka výpustného potrubia a čiara zatopených objemov.

Výpočet transformačného účinku nádrže vychádza zo vzťahu

$$Q_p \,.\, dt - Q_o \,.\, dt = \pm\, dV \;, \quad Q_o = f\,(V) \tag{5}$$

kde Q_p - časový priebeh prítoku vody do nádrže ($m^3.s^{-1}$)
Q_o - časový priebeh odtoku vody z nádrže ($m^3.s^{-1}$)
dt – čas (s)
dV – objem vody (zmena - prírastok alebo úbytok) v záchytnom priestore nádrže (m^3) (Dočkal, M., Vrána, K, 2007)

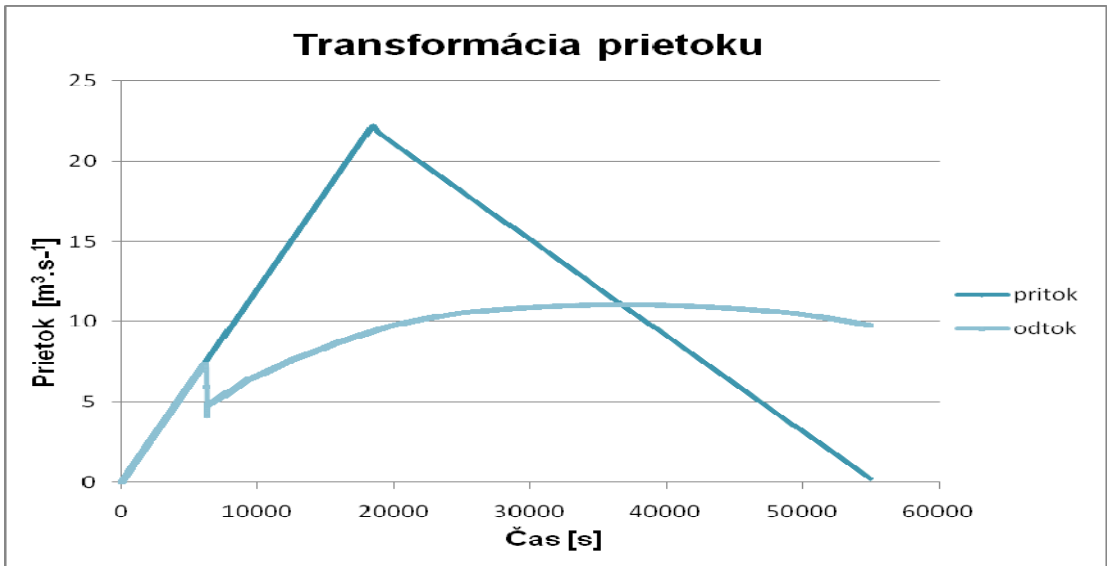
Pretože časový priebeh prítoku do nádrže sa nedá obecne analyticky vyjadriť, nie je možné diferenciálnu rovnicu (4.1) riešiť priamo. Z toho dôvodu je nutné riešiť ju v časových krokoch a to v tvare:

$$Q_p \,.\, \Delta t - Q_o \,.\, \Delta t = \pm\, \Delta V \tag{6}$$

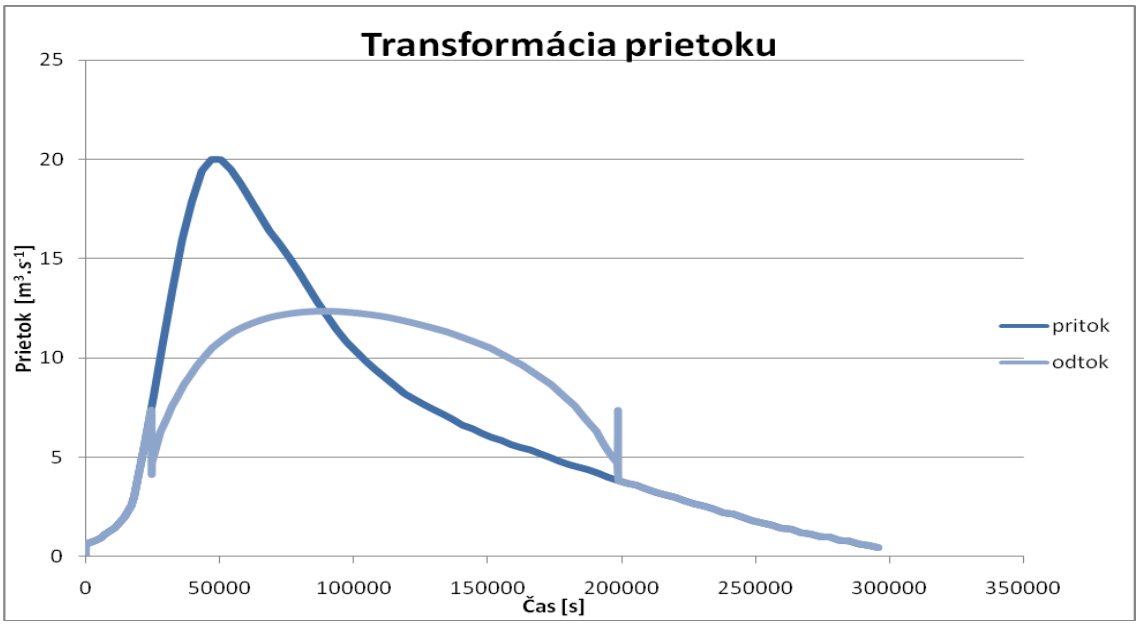
kde Q_p - časový priebeh prítoku vody do nádrže ($m^3.s^{-1}$)
Q_o - časový priebeh odtoku vody z nádrže ($m^3.s^{-1}$)
Δt – časový krok (s)
ΔV – objem vody (zmena - prírastok alebo úbytok) v záchytnom priestore nádrže (m^3) (Dočkal, M., Vrána, K, 2007)

Výsledky a diskusia

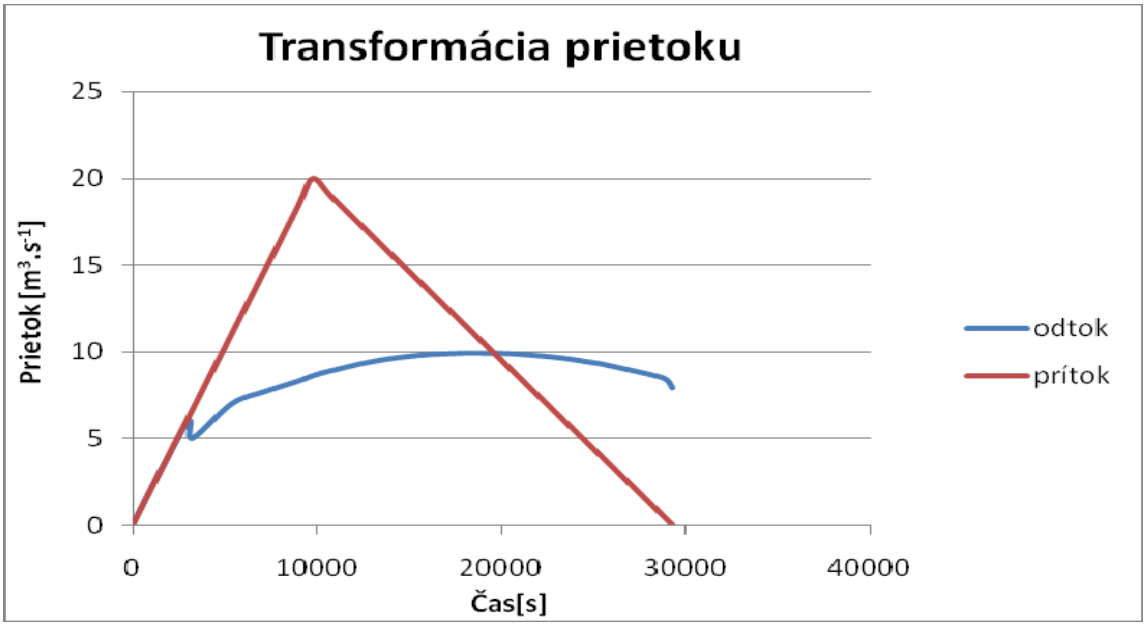
Výsledky z transformácie povodňových vĺn sme dostali vo forme grafov a tabuliek s hodnotami transformovaného prietoku a nadmorskej výšky hladiny v hrádzi pri ktorej bude dosiahnutý maximálny odtok.



Obr.6 Transformácia návrhovej povodňovej vlny vypočítanej metódou podľa Hrádka



Obr.7 Transformácia návrhovej povodňovej vlny SHMÚ



Obr.8 Transformácia návrhovej povodňovej vlny ERCN

V nasledujúcej tabuľke sú porovnané hodnoty návrhových vĺn, transformovaných prietokov a potrebných výšok hrádze pre bezpečnú transformáciu návrhových vĺn.

Návrhová vlna	Kulminačný prietok [$m^3.s^{-1}$]	Trvanie [hod]	Objem [m^3]	Transformovaný prietok [$m^3.s^{-1}$]	Výška hrádze [m]
SHMÚ	20	80	2880000	12,35	18,0
Hrádek	22,202	15	599454	11,05	14,7
ERCN	20	8,13	292680	9,91	10,0

Tab.4 Porovnanie výsledkov transformácie pre rôzne návrhové vlny

V tabuľke je vidieť obrovský rozdiel vo výške hrádzového telesa. Tento rozdiel sa prejaví v objeme zemných prác a objeme materiálu a tým aj v nákladoch na výstavbu. Pri sklone svahou 1:2 by bol rozdiel v objeme hrádzového telesa najnižšej a prostrednej hrádze cca. 250 m^3/m, čo vo finančnom vyjadrení predstavuje pri cene zhruba 3,3 €/m^3 rozdiel 825,0 € Objem najvyššej hrádze by bol väčší ešte o ďalších 300 m^3/m čo predstavuje navýšenie o zhruba 990,0 € na meter bežný. Pri dĺžke hrádze zhruba 100 m sa takto rozdiel v nákladoch môže vyšplahať až do výšky 100 000 €, pričom táto suma predstavuje len náklady na uloženie zeminy a zhutnenie, nie sú tu zahrnuté náklady na väčšiu základovú škáru, montáž funkčného objektu a pod. Pri spočítaní všetkých týchto nákladov môže rozdiel v cene jednotlivých hrádzí narásť aj na 1 milión €. Cena výpočtu jednej návrhovej vlny je zhruba 100 €, čo je zanedbateľná suma v porovnaní s nákladmi na výstavbu poldra. Je preto dobré sa zamyslieť, či nie je efektívnejšie venovať čas a peniaze podrobnému hydrologickému prieskumu povodia, pričom táto investícia sa nám môže vrátiť v podobe omnoho nižších nákladov na samotnú realizáciu stavby poldra.

Záver

Úlohou príspevku bolo poukázať na fakt, že na Slovensku nemáme jednotnú metodiku, pre návrh poldra. Použitím viacerých metód na výpočet návrhovej vlny boli pre rovnaké povodie a profil vypočítané vlny z odlišným objemom a trvaním, čo má veľký vplyv na konečné parametre stavby a teda aj na jej cenu. Je teda na mieste položiť si otázku, či sa pri tak finančne náročných stavbách akými sú poldre uspokojíme z jednou návrhovou vlnou a môžeme tak značne predražiť jej realizáciu alebo venujeme väčšiu pozornosť hydrologickej štúdii daného povodia, samotnému určeniu kulminačného prietoku a objemu vlny. Autori samozrejme nechcú nabádať projektantov k poddimenzovaniu hrádze a šetreniu na úkor bezpečnosti, nemali by sa však stávať prípady, keď vďaka nereálnosti parametrov návrhovej vlny sa stavba pre obrovské investičné náklady nemusí realizovať.

Zoznam použitej literatúry :

Bačík, M., Martinkovičová, O., Rusina, P.: Prečo a ako stavať poldre? In: 4. konferencia s medzinárodnou účasťou. Zborník referátov. Katedra hydrotechniky STU. Podbanské, 2001.

Bačík, M., Virág, P., Uríča, J.: Protipovodňová ochrana obcí v hornom povodí Myjavy. In: Hydrologické dni 2000. Zborník z 5. národnej konferencie pod záštitou UNESCO – II. diel. Plzeň 2000.

Čomaj, M. : Smernica pre navrhovanie poldrov, VÚVH, Bratislava, 2004.

Kol. autorov – SVP š.p. : Hydroekologický plán povodia Hrona. Slovenský vodohospodársky podnik š.p, Odštepný závod Banská Bystrica, odbor vodohospodárskeho rozvoja, Banská Bystrica 1999.

Dočkal, M., Vrána, K. : Numerická metoda pro posouzení efektivity suché nádrže. ČVUT v Prahe, Fakulta staveni, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Praha 2007.
ANTAL, J., SZOLGAY, J., S., KOHNOVÁ, S.: Parametrizácia vybraných metód výpočtov N - ročných prietokov na malých povodiach. Rozborová úloha. Nitra, 2005
DUMBROVSKÝ, et al.: Program ERCN, výstup projektu „Optimalizace systému komplexních opatření pro minimalizaci nepříznivých účinků povrchového odtoku v povodí a jeho aplikace v procesu pozemkových úprav", Ministerstvo zemědělství ČR, 2001
HYDROLOGICKÁ smernica MZV ČSR a MP SR Návrhové průtoky pro malá povodí. VSŽ Praha, 1989.
METODIKA SHMÚ OTN-ŽP 3112-1:03 Hydrológia. Hydrologické údaje povrchových vôd. Kvantifikácia povodňového režimu. Časť 1: Stanovenie N - ročných prietokov a N - ročných prietokových vĺn na väčších tokoch, 2003.
HRÁDEK, F.: Model DESQ - verze 4.1 - Teorie modelu, díl 2. AQUALOGIC Praha, 1998
MINÁRIK, M.: Počítačový program pre koncepčný návrh poldra, STU, Bratislava, 2008

Abstract

THE IMPACT OF THE DESIGN FLOW ON THE CONCEPTUAL DESIGN OF POLDER

Changing climate is closely connected with the change of the precipitation distribution. It might result in higher extremality – more frequent alternation of dry seasons and more extreme rain events. These problems have to be addressed also by engineers. One possibility of flood protection is connected with building polders.

In this work we want to show, how can the choice of the design flood impact the design of polder. We compare results of three flood events calculated for the Osrblianka creek catchment. The first event was designed by the Slovak Hydrometeorological Institute, The second and the third events were calculated according to Hrádek (1989) and ERCN (2001) methods. The events calculated by means of the different approaches were then used as the inputs for the transformation model. This gave us the value of the transformed flow rate and the maximum elevation of the water level. The results showed significant differences between the volumes of the three events, although the flow rates were almost similar. Consequently, different volumes had great influence on the parameters of the dam and also on the costs of the construction.

The results point out on the necessity of hydrologic survey of the catchment prior selection of proper design event.

Michal Dóša
Mária Martincová
Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, Bratislava
dosa@uh.savba.sk
martincova@uh.savba.sk