

Optimalizace protipovodňové ochrany

Pavel Fošumpaur

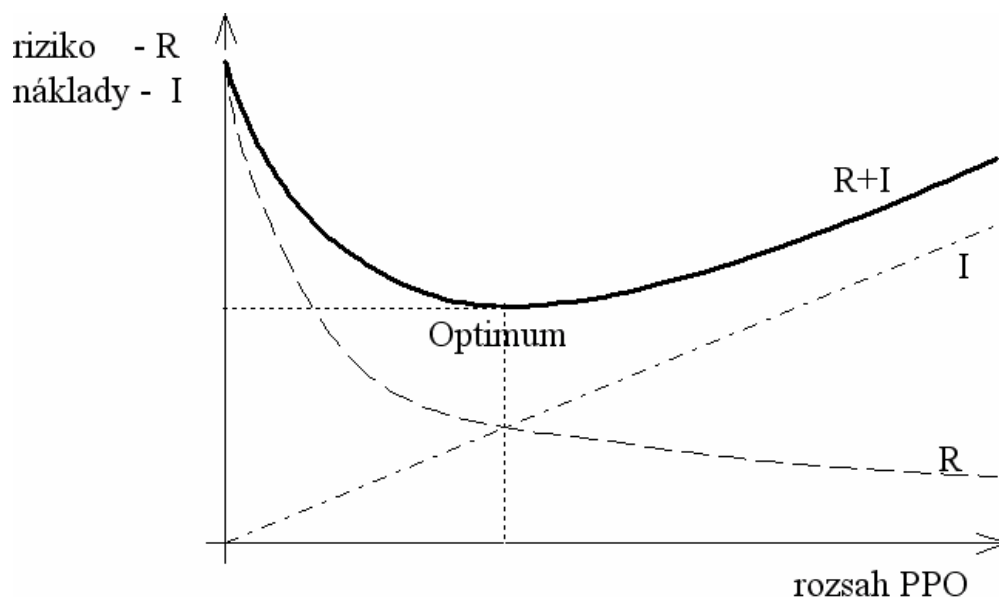
Recently, large floods evoked a crucial need to optimize a flood protection, when proposed flood measures should be economically efficient not only by the mean of the local scale but also with respect to the watershed scale. This contribution is aimed to give a methodological approach to assess the efficiency of proposed flood measures. The method is also capable to answer the principal question which scenario of the flood protection is optimal (if any). The approach is based on the benefits and costs analysis, where benefits are evaluated with the use of the risk analysis. The flood risk is given by the flood damage with respect to its frequency.

1. Úvod

Současný způsob navrhování protipovodňových opatření dosud vychází z velmi zjednodušeného přístupu tzv. návrhové povodně, jejíž pravděpodobnost překročení je dána normativem v závislosti na charakteru chráněného území. Vychází se např. z TNV 75 2103 (Úpravy řek) a TNV 75 2102 (Úpravy potoků). Podle těchto dokumentů je doporučena návrhová míra ochrany území před povodněmi dobou opakování návrhového průtoku úpravy. Uvedený postup tak diferencuje různou míru rizika v různých typech zájmového území velmi schématicky.

V tomto příspěvku je popsán nový postup optimalizace ochrany před povodněmi, který vychází z analýzy rizika a umožňuje objektivní posouzení efektivnosti protipovodňové ochrany v dané lokalitě. Filozofie metody je založena na analýze nákladů a užitků (Chave, 2001), kdy náklady jsou dány celkovou hodnotou investice posuzovaného opatření, popř. jeho variant a pro vyčíslení užitků je použita metoda rizikové analýzy. Užitek z protipovodňového opatření spočívá ve vyčíslení povodňových škod, ke kterým by došlo v případě nerealizování navrženého opatření s uvážením pravděpodobnosti jejich vzniku. Tento princip lze využít pro optimalizaci většiny systémů ve vodním hospodářství, např. hydro-energetických (Šulek, 2004).

Princip optimalizace protipovodňové ochrany je patrný z obr.1. Na vodorovné ose je znázorněn rozsah protipovodňových opatření, který ovlivňuje velikost povodňového rizika. Před realizací opatření je riziko největší a klesá s rozsahem ochrany území. Náklady na ochranu před povodněmi naopak rostou s jejím rozsahem. Cílem je nalezení optimální varianty, která minimalizuje součet nákladů a povodňového rizika.



Obr.1 Filozofie optimalizace protipovodňové ochrany.

2. Metodika

Princip metody je založen na analýze nákladů a užiteků, kdy náklady vycházejí ze zpracovaného rozpočtu a měly by obsahovat nejen stavební náklady, ale také další výdaje (projektová dokumentace, územní řízení, výkupy pozemků, ad.).

Užitky z protipovodňového opatření (PPO) jsou hodnoceny vyčíslením povodňového rizika. Metoda rizikové analýzy umožňuje objektivně vyhodnotit povodňové škody způsobené povodněmi s různou pravděpodobností výskytu.

Povodňové riziko je obecně závislé na výši povodňových škod a na pravděpodobnosti jejich vzniku podle vztahu:

Riziko = Škoda x Pravděpodobnost škody.

Pro průměrné povodňové riziko na jeden rok platí:

$$R = E(D) = \int_0^{+\infty} D(Q) \cdot f(Q) dQ \cong \int_{Q_a}^{Q_b} D(Q) \cdot f(Q) dQ$$

kde $R = E(D)$ je průměrné povodňové riziko na jeden rok [Kč],
 $D(Q)$ je výše škody při průtoku Q [Kč],
 Q je průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
 $f(Q)$ je hustota pravděpodobnosti ročních kulminačních průtoků [-],
 Q_a , resp. Q_b je průtok při kterém právě začínají vznikat škody, resp. průtok při kterém je pravděpodobnost škod již blízká nule [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
 a , resp. b je doba opakování průtoku Q_a , resp. Q_b [roky].

Hodnotu průměrného ročního rizika lze řešit buď numerickou integrací nebo stochastickou simulací Monte-Carlo, kdy je nejprve na základě znalosti pravděpodobnostních vlastností ročních kulminačních průtoků, jež jsou obsaženy v hodnotách N -letých průtoků, generována dlouhá (zpravidla 10 000-letá) syntetická řada ročních kulminací. Následně je pomocí odvozené závislosti výše povodňových škod na průtoku simulována syntetická řada ročních povodňových škod a z ní pak průměrná hodnota povodňového rizika na jeden rok.

Rozsah škod pro daný kulminační průtok vychází z výsledků hydraulické analýzy. Škody pak ovlivňuje zejména hloubka vody, dále pak rychlost proudění, popř. doba trvání povodně. Následně je určen rozsah škod v jednotlivých kategoriích, tedy např. na různých typech objektů (obytná zástavba, průmyslová zástavba, atd.), infrastruktura a zemědělsky využívaných plochách v záplavovém území. Postup zpravidla vychází z vyčíslení tzv. faktoru poškození, který určuje poměrnou škodu na objektu a nabývá hodnot z intervalu (0,1). Celkové škody v záplavovém území pak vycházejí ze vztahu:

$$D = \sum_{i=1}^n \alpha_i k_i S_i$$

kde n je počet jednotlivých kategorií,
 α ... faktor poškození v dané kategorii, závisí na hloubce, popř. na rychlosti, době expozice, atd.
 k ... počet jednotek v dané kategorii, např. [m^3],
 S ... maximální poškození na jednotku v kategorii, [$\text{Kč}/\text{m}^3$].

Hodnota maximálního poškození vyjadřuje část celkové hodnoty objektu, která je povodní zničena a musí být nahrazena nebo rekonstruována. Hodnota faktoru poškození je zpravidla odečítána z tzv. ztrátových křivek, které vyjadřují závislost faktoru poškození na hloubce zatopení objektu z dané kategorie. Hodnocením povodňových škod se u nás systematicky zabývá Satrapa (2001).

Pro výpočet současné hodnoty rizika (kapitalizované riziko) je použit diskontní přístup. Výpočet kapitalizovaného rizika je ovlivněn velikostí diskontní sazby. Na základě vývoje diskontní sazby v ČR podle informací ČNB a vzhledem k dalšímu předpokládanému vývoji je uvažována jednotná hodnota diskontní sazby ve výši 3%. Současná hodnota rizika vychází ze vztahu pro výpočet věčné renty:

$$R_s = \frac{R}{DS}$$

kde R_s ... současná hodnota rizika, [Kč]
 R ... průměrné povodňové riziko na rok, [Kč]
 DS ... roční diskontní sazba v desetinném tvaru. [-]

Pro posouzení navržených PPO pomocí metody nákladů a užiteků je použit následující systém ukazatelů, který vychází ze standardních postupů vyčíslení ekonomické efektivity investic.

a) Poměrový ukazatel efektivity PPO.

Poměrový ukazatel vyjadřuje poměrnou ekonomickou efektivity investice. Ukazatel vyjadřuje poměr, kdy v čitateli je redukce současné hodnoty rizika vlivem realizace PPO a ve jmenovateli je hodnota celkových nákladů na PPO:

$$PU = \frac{R_s(\text{bez PPO}) - R_s(\text{po realizaci PPO})}{I} \quad [-]$$

kde $R_s(\text{bez PPO})$... současná hodnota rizika před realizací PPO, [Kč]
 $R_s(\text{po realizaci PPO})$... hodnota kapitalizovaného rizika po realizaci PPO, [Kč]
 I ... celkové náklady na realizaci PPO. [Kč]

Ukazatel PU vyjadřuje poměrnou ekonomickou efektivity opatření pomocí bezrozměrné veličiny, která udává o kolik bude sníženo současné riziko jednou korunou investice. V případě, že PU nabývá hodnot větších než 1, jde z dlouhodobého hlediska o rentabilní investici a naopak.

b) Absolutní ukazatel efektivity PPO.

Tento ukazatel vyjadřuje efektivity investice v absolutních ekonomických jednotkách. Jeho hodnota je dána ze vztahu:

$$AU = R_s(\text{bez PPO}) - \{I + R_s(\text{po realizaci PPO})\} \quad [\text{Kč}]$$

kde význam symbolů je též jako v popisu ukazatele PU . Ukazatel popisuje finanční efekt navrženého PPO z dlouhodobého hlediska ve finančních jednotkách. Kladné hodnoty ukazatele svědčí o ekonomické rentabilitě opatření, záporné hodnoty naopak svědčí o ekonomické nevýhodnosti realizace takového opatření.

c) Doba návratnosti.

Tento ukazatel slouží pro orientační vyčíslení ekonomické efektivity PPO pomocí doby návratnosti. Porovnání doby návratnosti jednotlivých PPO s mezními únosnými hodnotami podle tuzemských a zahraničních zkušeností poskytne další nástroj pro objektivní posouzení akcí v mezinárodním kontextu. Hodnota doby návratnosti je dána podle vztahu:

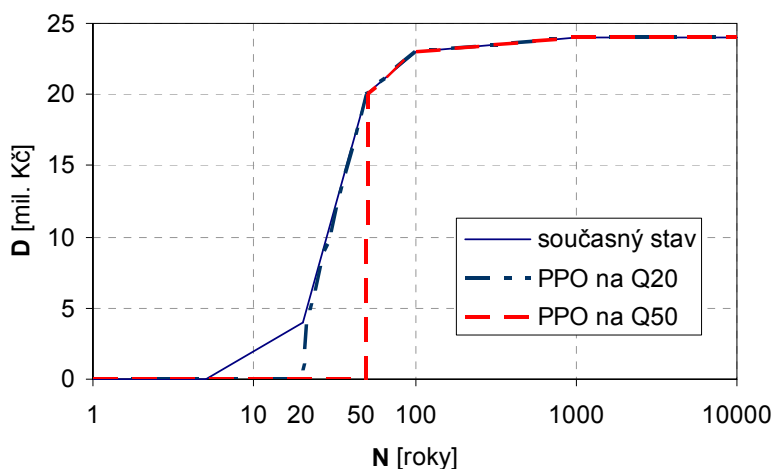
$$DN = \frac{I}{R(\text{bez PPO}) - R(\text{po realizaci PPO})} \quad [\text{roky}]$$

kde I ... celkové náklady na realizaci PPO, [Kč]
 $R(\text{bez PPO})$... průměrné roční riziko před realizací PPO, [Kč.rok⁻¹]
 $R(\text{po realizaci PPO})$... průměrné roční riziko po realizaci PPO. [Kč.rok⁻¹]

3. Příklad aplikace metody

Předpokládejme obec která je sužována častými povodněmi. Na základě provedené hydraulické analýzy byla stanovena záplavová území pro průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{50} a Q_{100} . Z analýzy vyplývá, že škody začínají v obci vznikat při překročení průtoku cca Q_5 , což je hodnota tzv. neškodného průtoku.

Pro zlepšení současného nevyhovujícího stavu byly navrženy dvě varianty protipovodňových opatření (PPO). První varianta představuje zkapacitnění koryta pomocí úpravy toku na návrhový průtok Q_{20} . Druhá varianta je dána výstavbou ochranných hrází na průtok Q_{50} . V dalším postupu je třeba vyčíslit celkové náklady na realizaci obou variant PPO. Z rozpočtu nákladů vyplývá, že náklady na první variantu jsou 8,5 mil.Kč a na druhou variantu 12,0 mil.Kč. Vyhodnocením povodňových škod pro současný stav podle stanovených záplavových území byla získána závislost povodňových škod na kulminačních průtocích, resp. jejich dobách opakování.



Obr.2 Závislost povodňových škod na době opakování kulminačních průtoků.

Následující postup (tab.1) se zaměří na vyčíslení ukazatelů ekonomické efektivity obou variant PPO, což umožní vybrat optimální variantu.

Tab.1 Analýza nákladů a užitků variant PPO.

	současný stav	PPO na Q₂₀	PPO na Q₅₀	jednotky
Prům. roční riziko (<i>R</i>)	1.001	0.749	0.440	[mil.Kč/rok]
Diskontní sazba (<i>DS</i>)	3%	3%	3%	
Kapital. Riziko (<i>R_s</i>)	33.37	24.97	14.67	[mil.Kč]
Náklady (<i>I</i>)	0	8.50	12.00	[mil.Kč]
Poměrová efektivnost (<i>PU</i>)		0.99	1.56	[-]
Absolutní efektivnost (<i>AU</i>)		-0.10	6.70	[mil.Kč]

Na základě srovnání obou variant protipovodňových opatření vyplývá, že varianta ochrany obce na průtok Q₂₀ pomocí úpravy toku je z dlouhodobého hlediska neefektivní investicí. Rozsah chráněného majetku je vzhledem k celkovým nákladům malý, snížení rizika je z dlouhodobého hlediska nedostatečné a realizaci varianty nelze doporučit. Naopak druhá varianta, která řeší ochranu obce na průtok Q₅₀ je podle obou ukazatelů přínosná. Redukce rizika je zde významná a opatření je tak z dlouhodobého hlediska efektivní.

Poděkování

Příspěvek byl zpracován za podpory výzkumného záměru Ministerstva vzdělání, mládeže a sportu ČR, reg.č.: MSM 6840770005 „Udržitelná výstavba“.

Literatura

CHAVE, P., 2001: Rámcová směrnice vodní politiky, zaváděcí směrnice Evropské unie, vydalo MZe ČR ve spolupráci s Twinning projektem pro Rámcovou směrnici vodní politiky zastoupeným představním poradcem panem Jamesem Hunttem, 2001.

SATRAPA, L., BRŮŽA, M., 2002: Metody stanovení potenciálních povodňových škod, In: sborník konference Povodně: prognózy, vodní toky a krajina, Ostrava: CICERO, díl 1, 2002, s.328-338.

ŠULEK, P., 2004: Vplyv veľkosti zásobného objemu nádrží na regulačné funkcie vodných elektrární., Edícia vedeckých prác, STU SvF Bratislava.