



Výskumný ústav vodného hospodárstva Bratislava

Posúdenie účinnosti protipovodňových opatrení zelenej a šedej infraštruktúry podľa metodiky NWRM



Marek Čomaj

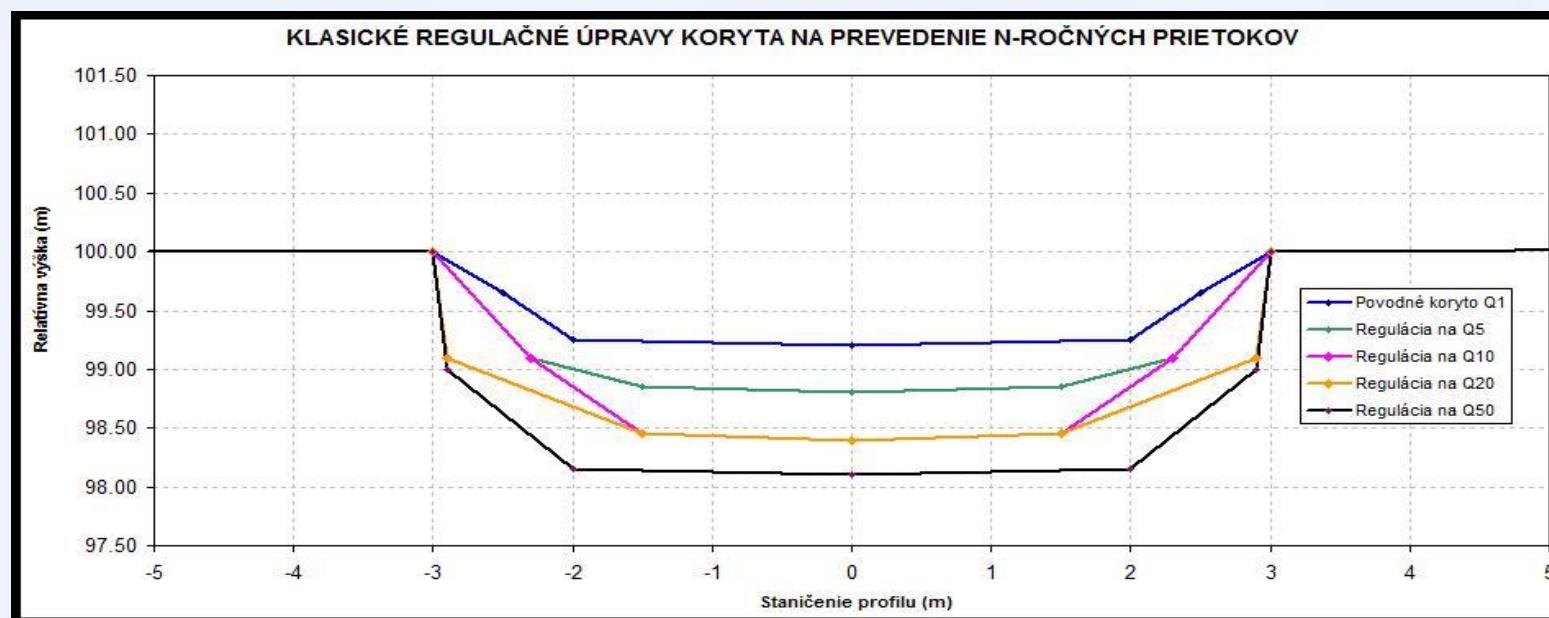


HISTÓRIA PROTIPOVODŇOVÝCH OPATRENÍ

Klasické regulačné úpravy koryta v obciach

- Prirodzené koryto si samo udržiava kapacitu $Q_1 - Q_2$
- Prehĺbenie na potrebnú kapacitu $Q_{20} - Q_{50}$ mestá Q_{100}
- Opevnenie brehov proti erózii a stabilizácia polohy koryta
- Najbežnejšia je úprava na jednoduchý lichobežníkový profil
- Rozšírené koryto sa zanáša splaveninami a zarastá vegetáciou
- Zužovanie a zastavanie retenčných priestorov popri toku

Ochrana územia na N- ročnú vodu podľa využitia	
Lúky, lesy, pasienky	$Q_{30d} - Q_1$
Orná pôda	Q_5
Sady, záhrady, vinice	Q_{10}
Hlavné komunikácie	Q_{10}
Malé obce	$Q_{20} - Q_{50}$
Veľké obce, výrobné objekty	$Q_{50} - Q_{100}$
Historické centrá, veľké mestá	$Q_{100} - Q_{1000}$





POPIS TESTOVANÉHO ÚZEMIA

4km údolie široké 200 m

Pozdĺžny sklon 5‰

Priečny sklon 2,5‰

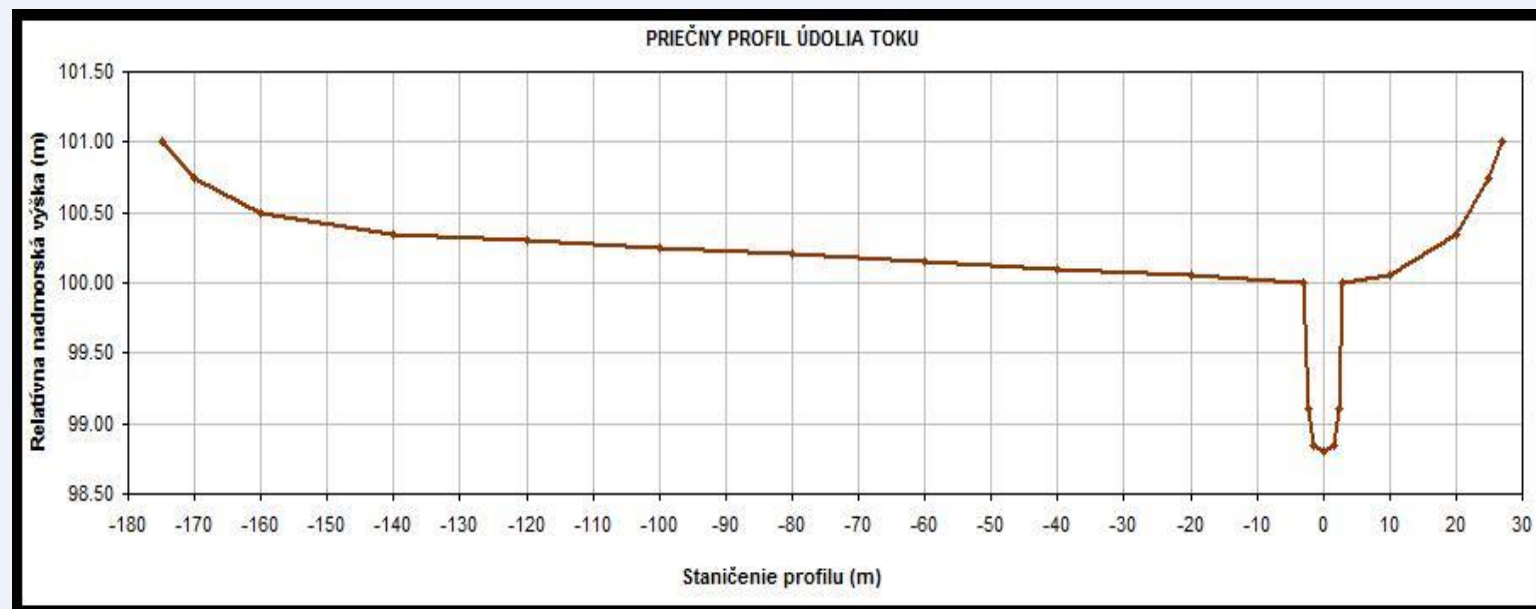
Nad údolím pasienky a polia cca 2 km

Povodie – horské priemerne zalesnené

Sútok viacerých potokov do jedného údolného toku

Horný 2 km úsek nad obcou – navrhované protipovodňové opatrenia v toku

Dolný 2 km úsek cez obec – klasická regulácia koryta na Q20





NÁVRHOVÉ POVODŇOVÉ VLNY

Povodňové udalosti v podhorských obciach

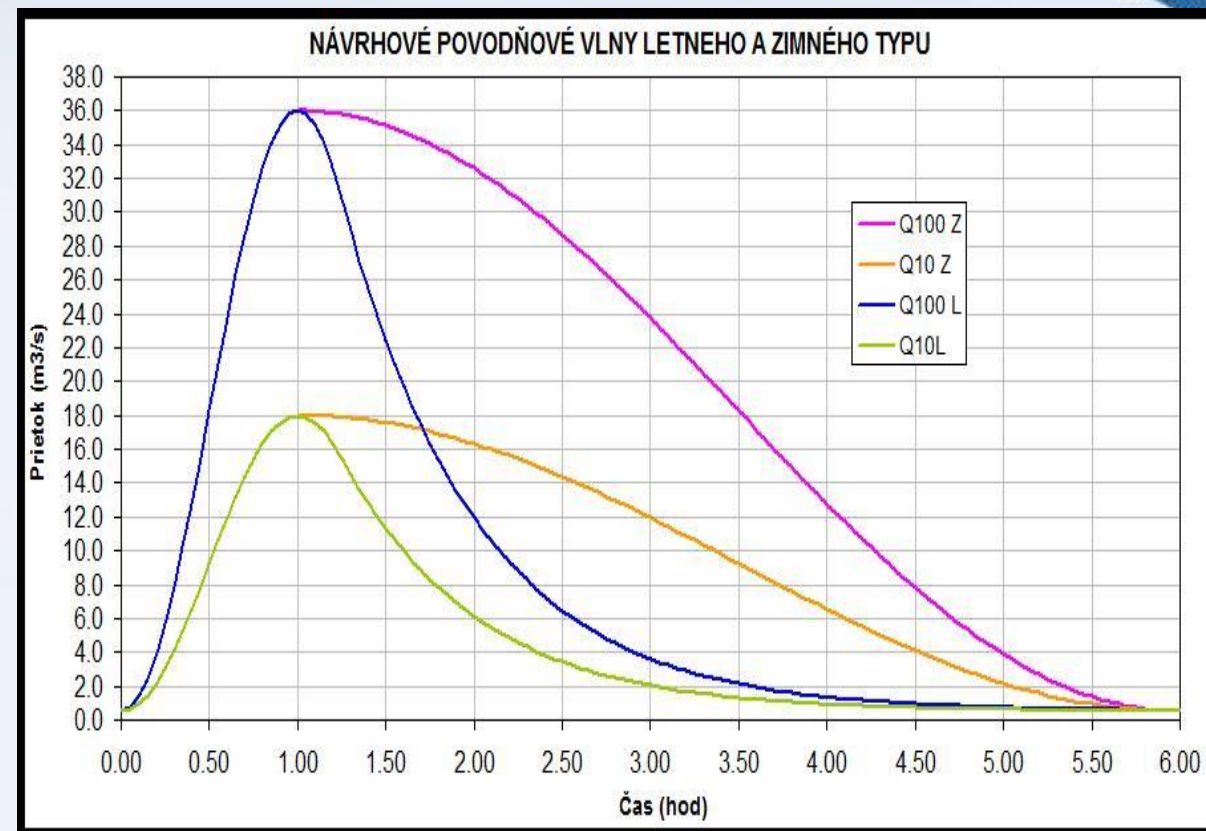
1. Letné povodne - z krátkych a intenzívnych privalových búrok,
 - povodňová vlna: rýchla kulminácia a zároveň aj relatívne rýchly pokles
 - menší objem pretečenej vody, vysoké Q
2. Zimné povodne (jarné) – pokryté snehom a zaprší
 - odteká veľké množstvo vody (objem dažďa aj objem vody v snehu)
 - povodňová vlna: výrazne dlhší priebeh a pomalý pokles

Tvar letných návrhových povodňových vln - doba stúpania vlny bola 1 hodina
 - doba poklesu vlny je 3 hodiny

Tvar zimných návrhových povodňových vln - doba stúpania vlny 1 hodina
 - doba poklesu vlny 5 hodín

Vlna	Q100Z	Q100L	Q50Z	Q50L	Q10Z	Q10L	Q5Z	Q5 L
Objem (m ³)	394 000	189 000	340 000	164 000	200 000	100 000	135 000	68 000

Testované vlny: Q10L, Q10Z, Q100L, Q100Z



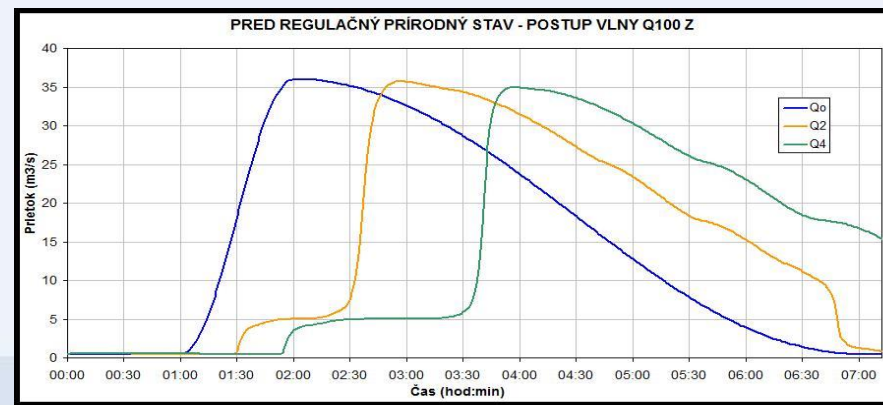
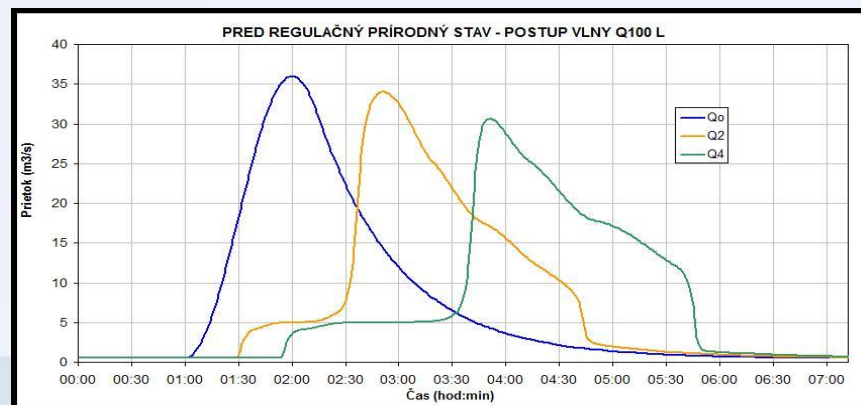
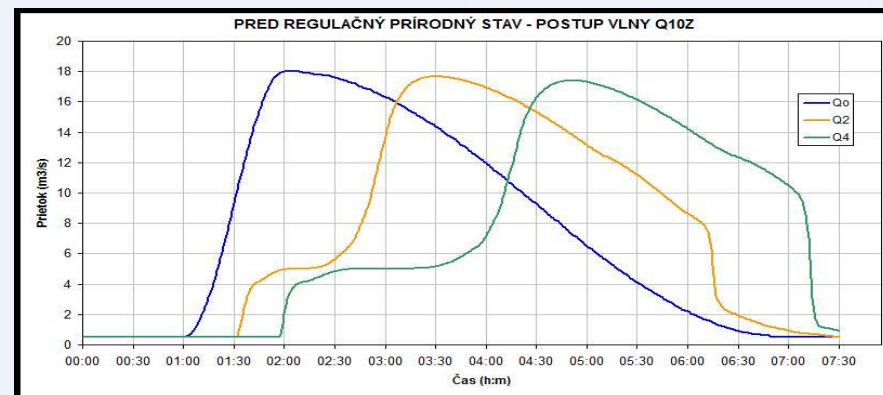
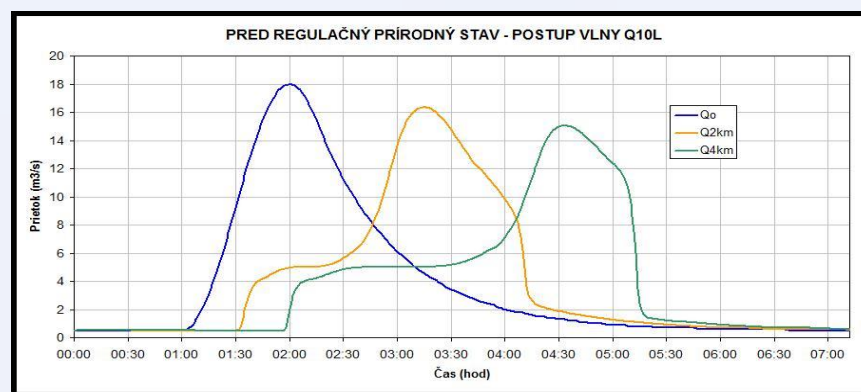


PRÍRODNÝ STAV - kapacita koryta Q_1 na celom 4 km úseku



prirodená transformácia a postup povodňovej vlny

VLNA	PRÍTOK (m ³ /s)	ODTOK (m ³ /s)	ZNÍŽENIE (m ³ /s)	ZNÍŽENIE (%)	POSTUP (hod:min)	ODTOK (m ³ /s)	ZNÍŽENIE (m ³ /s)	ZNÍŽENIE (%)	POSTUP (hod:min)
Q10 L	18	16.36	1.64	9.1	01:15	15.06	1.3	7.9	01:18
Q10 Z	18	17.66	0.34	1.9	01:30	17.41	0.25	1.4	01:21
Q100 L	36	34.01	1.99	5.5	00:54	30.64	3.37	9.9	00:57
Q100 Z	36	35.71	0.29	0.8	00:56	35.01	0.7	2.0	01:00

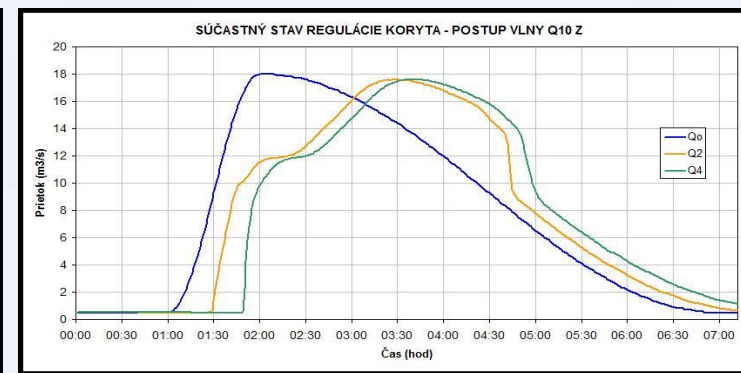
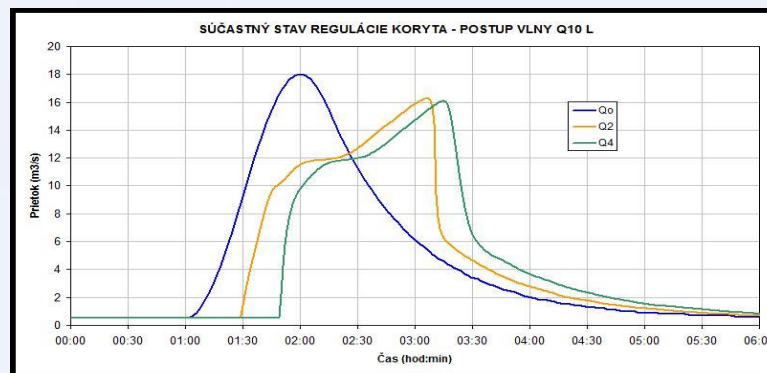




REGULÁCIA Regulácia koryta na Q5 na hornom úseku (ochrana polno. plôch) nad obcou a Q20 na dolnom úseku v obci

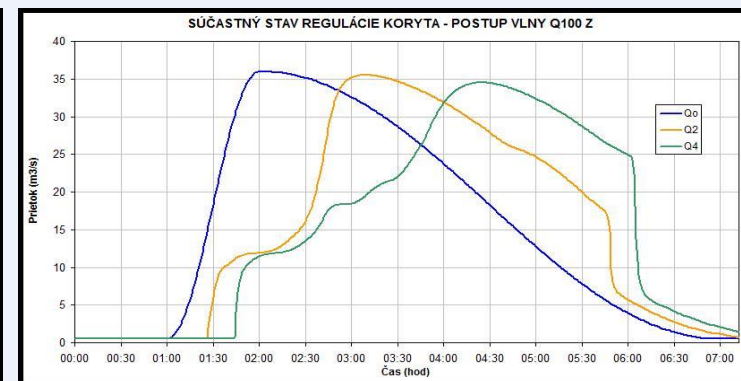
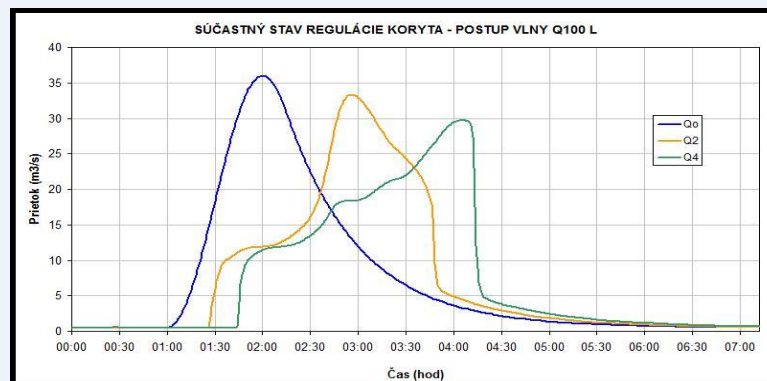


VLNA	PRÍTOK (m3/s)	ODTOK (m3/s)	ZNÍŽENIE (m3/s)	ZNÍŽENIE (%)	POSTUP (hod:min)	ODTOK (m3/s)	ZNÍŽENIE (m3/s)	ZNÍŽENIE (%)	POSTUP (hod:min)
Q10 L	18	16.25	1.75	9.7	01:05	16.1	0.15	0.9	00:13
Q10 Z	18	17.62	0.38	2.1	01:27	17.61	0.01	0.1	00:13
Q100 L	36	33.27	2.73	7.6	00:56	29.74	3.53	10.6	01:09
Q100 Z	36	35.53	0.47	1.3	01:08	34.52	1.01	2.8	01:16



Regulácia koryta na Q20 na oboch úsekoch toku

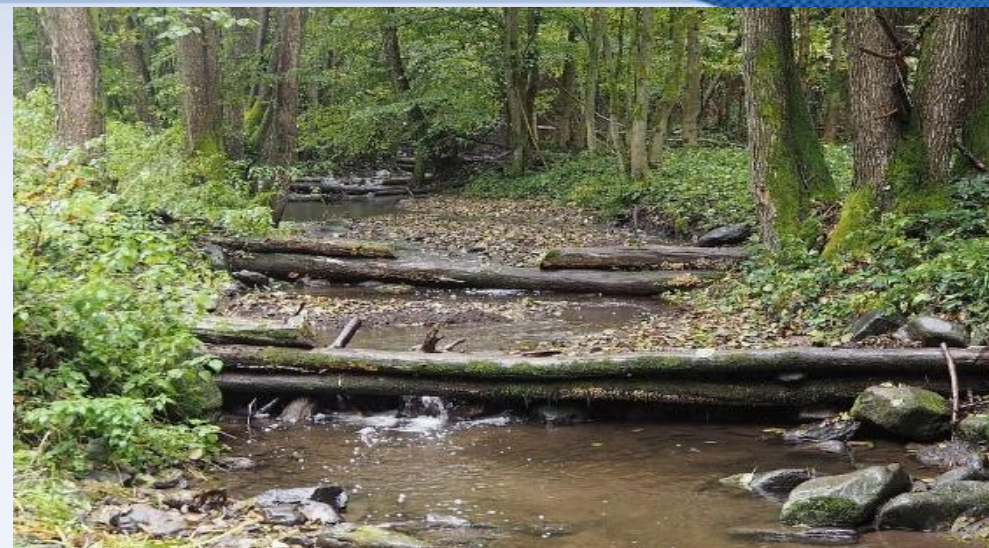
VLNA	PRÍTOK (m3/s)	ODTOK (m3/s)	ZNÍŽENIE (m3/s)	ZNÍŽENIE (%)	POSTUP (hod:min)	ODTOK (m3/s)	ZNÍŽENIE (m3/s)	ZNÍŽENIE (%)	POSTUP (hod:min)
Q10 L	18	17.72	0.28	1.6	00:11	17.46	0.26	1.5	00:11
Q10 Z	18	17.95	0.05	0.3	00:18	17.90	0.05	0.3	00:13
Q100 L	36	31.38	4.62	12.8	01:03	25.31	6.07	19.3	00:38
Q100 Z	36	34.9	1.10	3.1	01:21	34.10	0.8	2.3	01:14



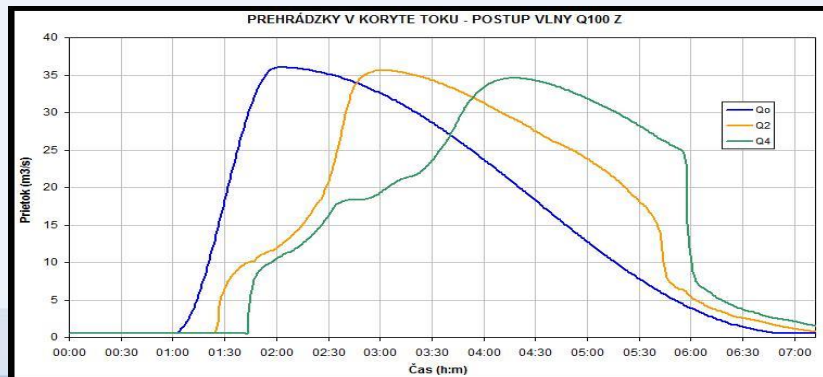
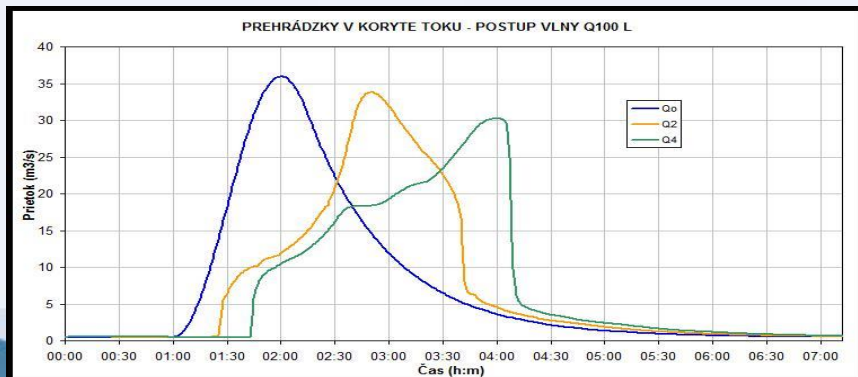
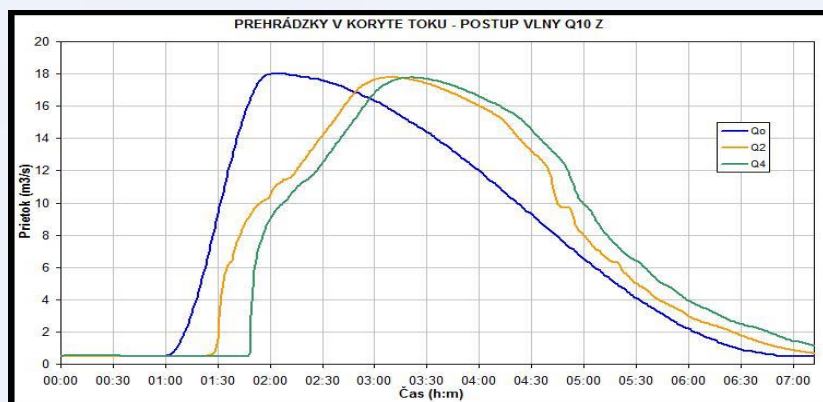
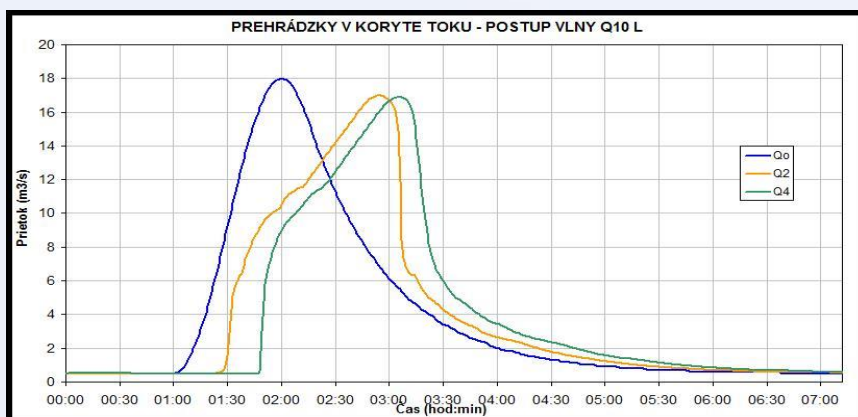


PREHRÁDZKY

- Simulovaných 12 prehrádzok – plné bez priepustov
- Rozostup 150 m
- Prehradenie koryta na výšku 0,8 m – súvislá kaskáda
- Vytvorený záchytný objem 4320 m³



VLNA	PRÍTOK (m3/s)	ODTOK (m3/s)	ZNÍŽENIE (m3/s)	ZNÍŽENIE (%)	POSTUP (hod:min)	ODTOK (m3/s)	ZNÍŽENIE (m3/s)	ZNÍŽENIE (%)	POSTUP (hod:min)
Q10 L	18	16.98	1.02	5.7	00:54	16.9	0.08	0.5	00:11
Q10 Z	18	17.78	0.22	1.2	01:09	17.77	0.01	0.1	00:12
Q100 L	36	33.86	2.14	5.9	00:50	30.27	3.59	10.6	01:09
Q100 Z	36	35.64	0.36	1.0	01:01	30.27	5.37	15.1	01:16





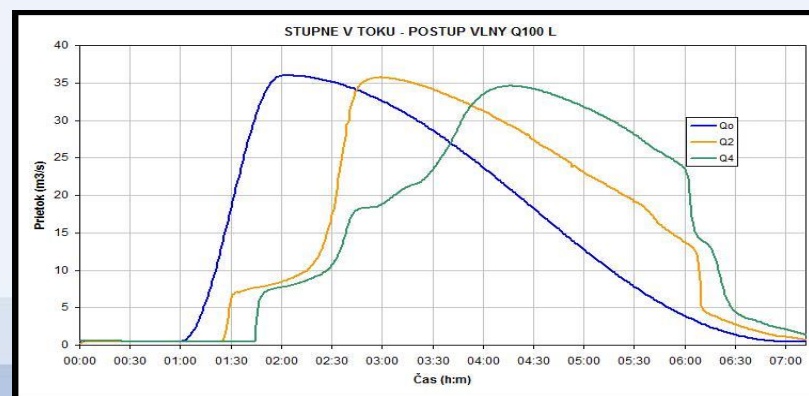
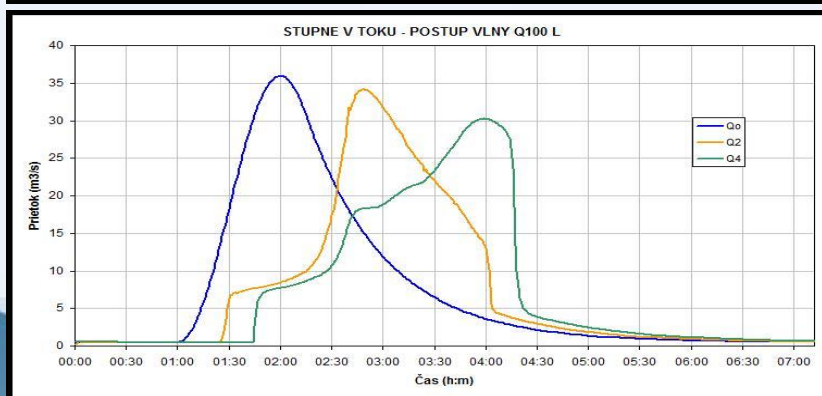
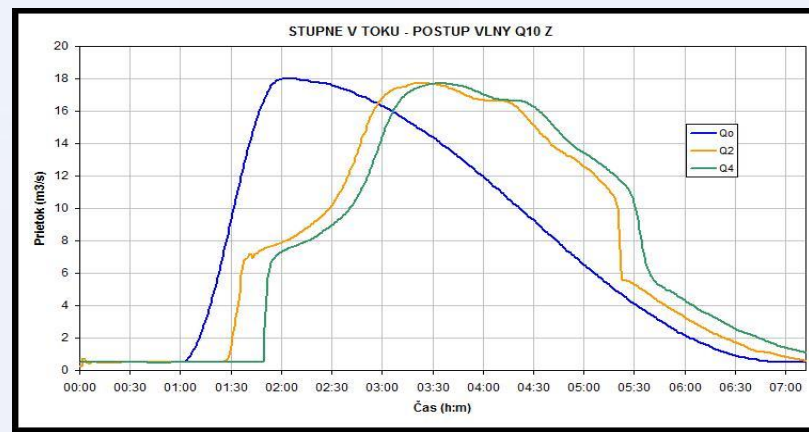
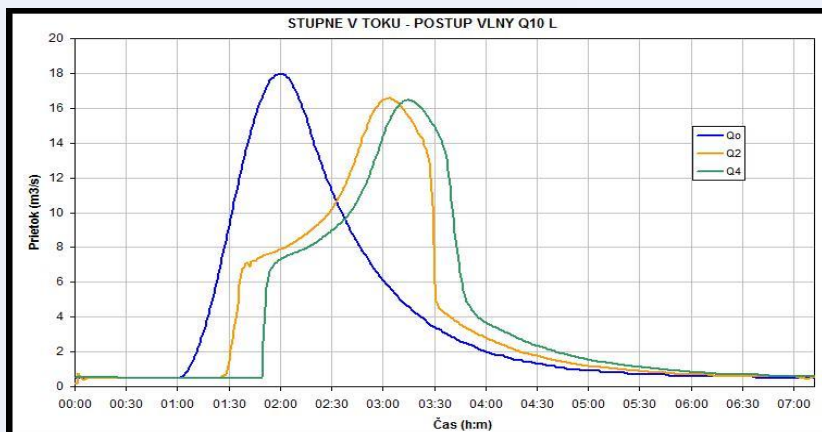
STUPNE

Modelovaných 20 stupňov – výška 30 cm

- Zníženie pozdĺžneho sklonu z pôvodného 5‰ na polovičný 2,5‰
- Žiadny záchytný objem
- Zníženie rýchlosti prúdenia zvýšenie hĺbky



VLNA	PRÍTOK (m3/s)	ODTOK (m3/s)	ZNÍŽENIE (m3/s)	ZNÍŽENIE (%)	POSTUP (hod:min)	ODTOK (m3/s)	ZNÍŽENIE (m3/s)	ZNÍŽENIE (%)	POSTUP (hod:min)
Q10 L	18	16.57	1.43	7.9	01:03	16.46	0.11	0.7	00:12
Q10 Z	18	17.72	0.28	1.6	01:23	17.71	0.01	0.1	00:11
Q100 L	36	34.17	1.83	5.1	00:48	30.24	3.93	11.5	01:11
Q100 Z	36	35.72	0.28	0.8	00:58	34.58	1.14	3.2	01:18





Pripojenie mŕtvych ramien

Pripojenie pôvodného 300 m úseku toku s Q1

k novému preloženému toku s Q5

Prirodzene prietochné rameno už pri prietoku nad Q5

Pri povodňových vlnách nad Q10 – malý retenčný efekt



Pôvodné nepripojené rameno resp. odrezaný úsek toku

VLNA	PRÍTOK (m3/s)	ODTOK (m3/s)	ZNÍŽENIE (m3/s)	ZNÍŽENIE (%)	POSTUP (hod:min)	ODTOK (m3/s)	ZNÍŽENIE (m3/s)	ZNÍŽENIE (%)	POSTUP (hod:min)
Q10 L	18	16.55	1.45	8.1	1:01	16.44	0.11	0.7	0:09
Q10 Z	18	17.68	0.32	1.8	1:19	17.6	0.08	0.5	0:12
Q100 L	36	33.27	2.73	7.6	0:56	29.94	3.33	10.0	1:08
Q100 Z	36	35.56	0.44	1.2	1:07	34.54	1.02	2.9	1:16

Pripojené rameno resp. úsek toku

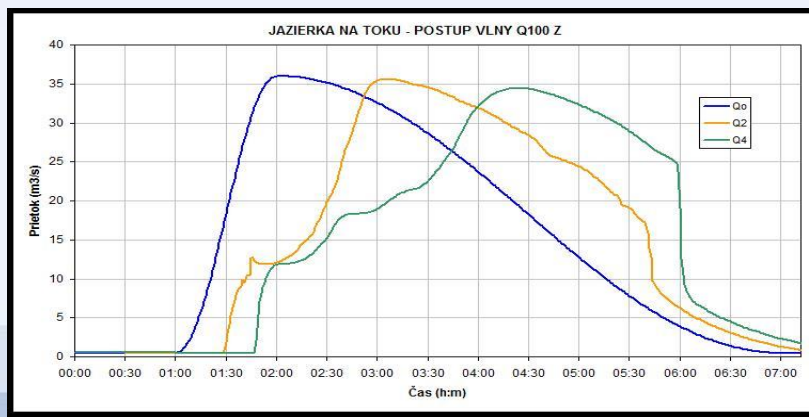
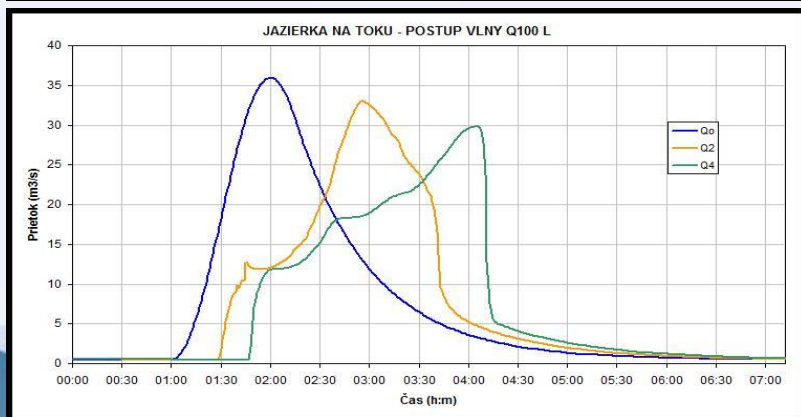
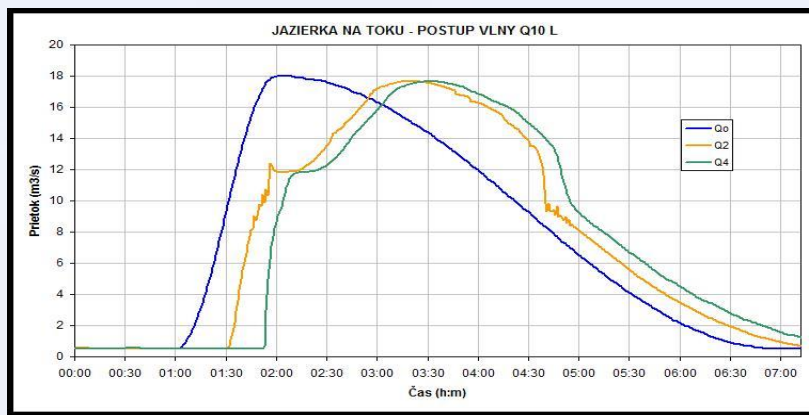
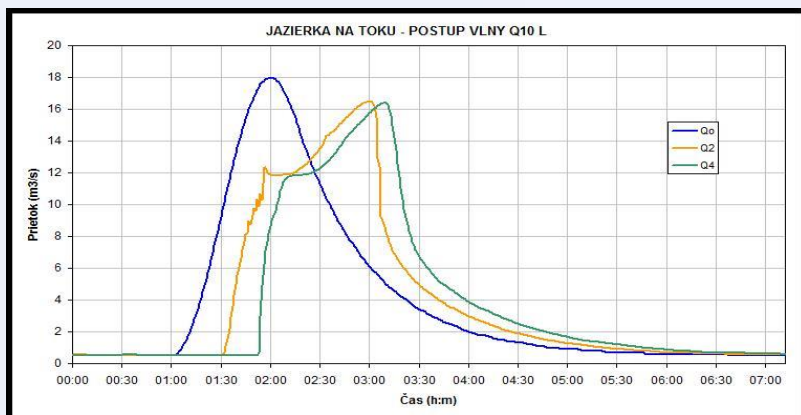
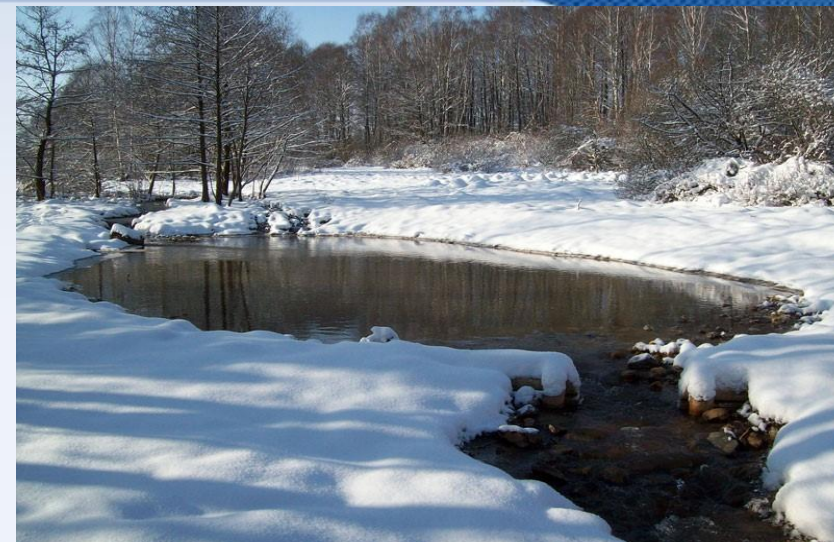
VLNA	PRÍTOK (m3/s)	ODTOK (m3/s)	ZNÍŽENIE (m3/s)	ZNÍŽENIE (%)	POSTUP (hod:min)	ODTOK (m3/s)	ZNÍŽENIE (m3/s)	ZNÍŽENIE (%)	POSTUP (hod:min)
Q10 L	18	16.48	1.52	8.4	1:02	16.37	0.11	0.7	0:09
Q10 Z	18	17.66	0.34	1.9	1:23	17.65	0.01	0.1	0:12
Q100 L	36	33.26	2.74	7.6	0:56	29.90	3.36	10.1	1:08
Q100 Z	36	35.56	0.44	1.2	1:07	34.54	1.02	2.9	1:16



JAZIERKA

- Modelovaných 5 jazierok – 30 m x 60 m
- Rozostup 20 m
- doplňujúci objem 60 000 m³ (stále zatopený)

VLNA	PRÍTOK (m ³ /s)	ODTOK (m ³ /s)	ZNÍŽENIE (m ³ /s)	ZNÍŽENIE (%)	POSTUP (hod:min)	ODTOK (m ³ /s)	ZNÍŽENIE (m ³ /s)	ZNÍŽENIE (%)	POSTUP (hod:min)
Q10 L	18	16.49	1.51	8.4	01:00	16.4	0.09	0.5	00:09
Q10 Z	18	17.67	0.33	1.8	01:20	17.66	0.01	0.1	00:11
Q100 L	36	33.01	2.99	8.3	00:56	29.83	3.18	9.6	01:08
Q100 Z	36	35.58	0.42	1.2	01:05	34.45	1.13	3.2	01:18





Výskumný ústav vodného hospodárstva Bratislava

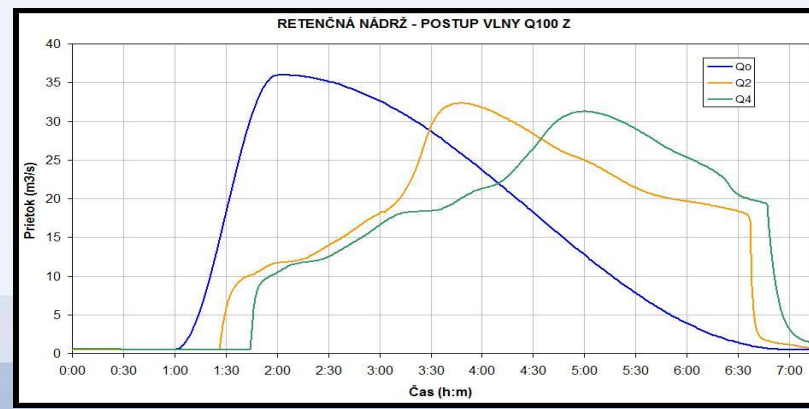
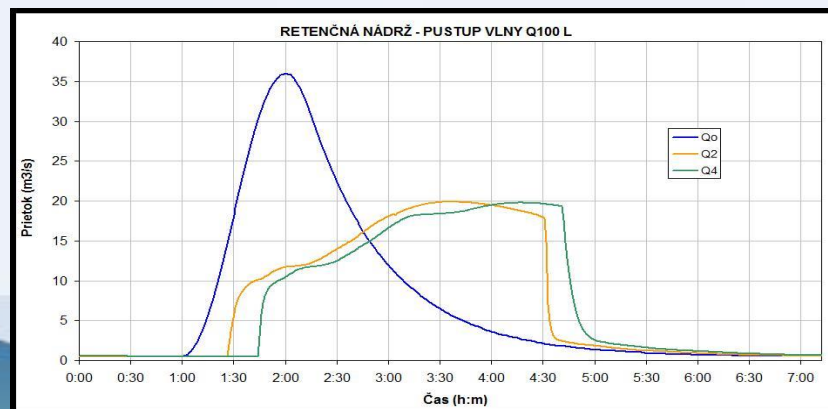
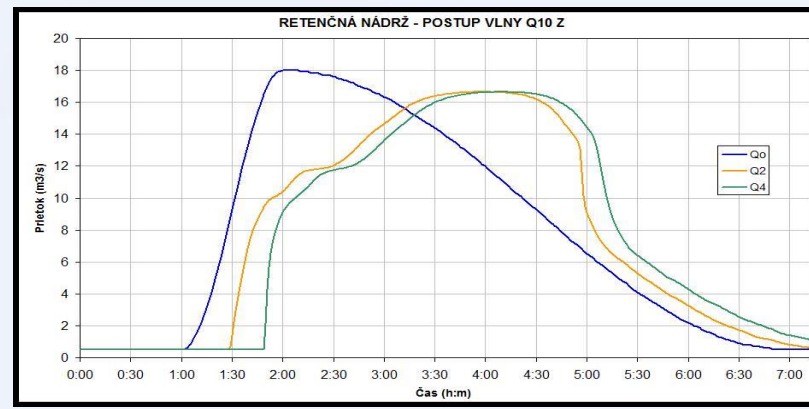
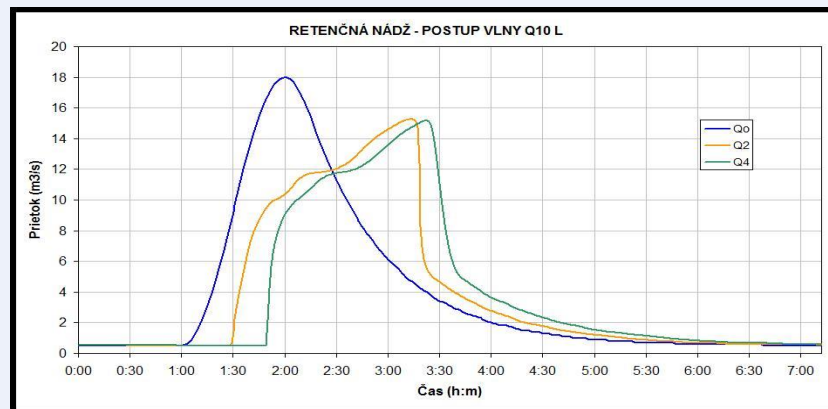
Polder slovenského typu so širokým dnovým priepustom 4 m x 2.1 m

Suchý polder – výška hrádze 2 m nad terénom inundácie

- Namodelovaný po celej šírke údolia – 200m
 - Záplava pri max hladine až do šírky 400 m
 - Objem poldra : $2 \times 200 \times 400 \times 0,5 = 80\ 000\ m^3$ (prázdny pred povodňou)
- optimálny rozper dnového priepustu – vyladený pre návrhovú vlnú Q100L



VLNA	PRÍTOK (m3/s)	ODTOK (m3/s)	ZNÍŽENIE (m3/s)	ZNÍŽENIE (%)	POSTUP (hod:min)	ODTOK (m3/s)	ZNÍŽENIE (m3/s)	ZNÍŽENIE (%)	POSTUP (hod:min)
Q10 L	18	15.25	2.75	15.3	1:15	15.18	0.07	0.5	0:10
Q10 Z	18	16.64	1.36	7.6	1:58	16.64	0	0.0	0:11
Q100 L	36	19.88	16.12	44.8	1:36	19.77	0.11	0.6	0:41
Q100 Z	36	32.33	3.67	10.2	1:48	31.25	1.08	3.3	1:12



Pri iných ako návrhových vlnách ma malú účinnosť (15% a menej)



Polder Alpský typ

- úzky a vysoký priepust
- premenlivá prietočná plocha
- priepust: šírka 2 m výška 3.15 m
- objem poldra : $2 \times 200 \times 400 \times 0,5 = 80\,000 \text{ m}^3$ (prázdny pred povodňou)
- priepust – vyladený pre návrhovú vlnú Q100L



Dvojnásobná účinnosť pri iných ako návrhových vlnách oproti predošlému typu

VLNA	PRÍTOK (m ³ /s)	ODTOK (m ³ /s)	ZNÍŽENIE (m ³ /s)	ZNÍŽENIE (%)	POSTUP (hod:min)	ODTOK (m ³ /s)	ZNÍŽENIE (m ³ /s)	ZNÍŽENIE (%)	POSTUP (hod:min)
Q10 L	18	11.97	6.03	33.5	1:08	11.94	0.03	0.3	0:10
Q10 Z	18	14.38	3.62	20.1	2:21	14.38	0	0.0	0:12
Q100 L	36	18.64	17.36	48.2	1:38	18.51	0.13	0.7	0:33
Q100 Z	36	29.48	6.52	18.1	2:09	29.09	0.39	1.3	1:09



Polder Lesnícky typ

- zredukovanie povodňovej vlny a zachytávanie sedimentov
- malý priepust na prepustenie len priemerného prietoku koryta
- vysoký vrchný priepad vyladený na vlnu Q100L
- modelované ako nezanesené novo postavené



Nízka účinnosť oproti predošlým typom poldrov

VLNA	PRÍTOK (m ³ /s)	ODTOK (m ³ /s)	ZNÍŽENIE (m ³ /s)	ZNÍŽENIE (%)	POSTUP (hod:min)	ODTOK (m ³ /s)	ZNÍŽENIE (m ³ /s)	ZNÍŽENIE (%)	POSTUP (hod:min)
Q10 L	18	11.03	6.97	38.7	2:11	10.95	0.08	0.7	0:12
Q10 Z	18	16.51	1.49	8.3	1:53	16.49	0.02	0.1	0:12
Q100 L	36	28.53	7.47	20.8	1:07	25.35	3.18	11.1	1:03
Q100 Z	36	34.76	1.24	3.4	1:21	33.63	1.13	3.3	1:15



ZÁVERY

- vypočítaná celková účinnosť transformácie povodňových vln na 2 km dlhom úseku údolia s korytom upraveným na Q5 a rôznymi dodatočnými revitalizačnými opatreniami
- vyčíslenie vplyvu účinnosti redukcie povodňovej vlny pri prechode daným tokom na pred a po navrhnutých opatreniach

Kompletné porovnanie dosiahnutých kulminačných prietokov vln na konci horného úseku

VLNA	REGUL Q5 (m3/s)	REGUL Q20 (m3/s)	PREHRADZ KY (m3/s)	STUPNE (m3/s)	JAZIERKA (m3/s)	POLDER SK (m3/s)	POLDER AT (m3/s)	POLDER LT (m3/s)
Q10L	16.25	17.72	16.98	16.57	16.49	15.25	11.97	11.03
Q10Z	17.62	17.95	17.78	17.72	17.67	16.64	14.38	16.51
Q100L	33.27	31.38	33.86	34.17	33.01	19.88	18.64	28.53
Q100Z	35.53	34.9	35.64	35.72	35.58	32.33	29.48	34.76

Porovnanie účinnosti redukcie vlny oproti regulovanému stavu Q₅ pred návrhom opatrení

VLNA	REGUL Q5 (%)	REGUL Q20 (%)	PREHRADZKY (%)	STUPNE (%)	JAZIERKA (%)	POLDER SK (%)	POLDER AT (%)	POLDER LT (%)
Q10L	0	-9	-4	-2	-1	6	26	32
Q10Z	0	-2	-1	-1	0	6	18	6
Q100L	0	6	-2	-3	1	40	44	14
Q100Z	0	2	0	-1	0	9	17	2



- Úprava koryta na Q20 - vlna Q10 sa nesploští (je celá sústredená v koryte)
 - vlna Q100 sa sploštuje (rozleje sa menšia časť vrcholu vlny)
- Prehrádzky a stupne – slabý efekt (v porovnaní so stavom pred výstavbou sa väčšia časť vrcholu vlny rozleje do údolia)
- Jazierka – prakticky žiadny vplyv
- Poldre – výrazný efekt pri navrhovanej Q100L
 - kulminačné Q kleslo pod úroveň Q20 – v obci sa voda ani nevyleje z koryta
 - ideálne by bolo vyladiť stav medzi Q100L a Q100Z na zvýšenie účinnosti pri objemnejšej zimnej vlne
 - lesnícky polder nie je príliš vhodný



Zhrnutie výsledkov

1. Revitalizačné opatrenia na tokoch
 - obnova biodiverzity biotopu
 - krajinno-urbanistické skrášenie prostredia
 - protipovodňová ochrana územia
 - ochrana pred eróziou

Nie všetky opatrenia sú účinne ako protipovodňová ochrana

Umelé prekážky v toku v forme prehrádzok alebo stupňov - bariéry pre migráciu rýb a iných vodných živočíchov.



Zhrnutie výsledkov

2. Jedná sa o ukázkový simulovaný tok a povodie

- Účinnosť redukcie vln môžu byť odlišné (iné sklony, iné rozmery objektov)
- Testovanie opatrení v maximálnom možnom rozsahu (v rámci daného úseku 2km nad obcou)
- Opatrenia na menšom (väčšom) území: adekvátne k tomu úmerná účinnosť

3. Regulácia pre zvýšenie kapacity koryta s ohľadom na

- vhodné prúdenie (hlbky a rýchlosti)
- Zachovanie biologickej funkcie toku

4. Vytváranie zátopových plôch pozdĺž toku

- redukcia povodňovej vlny závisí od rozliatia vrcholu vlny
- čím sa vyleje menšia časť vrcholu vlny, tým lepšie sa daný vyliaty prietok vlny sploští postupom
- vplyv ďalších faktorov:
- pozdĺžny sklon toku - čím väčší pozdĺžny sklon, tým menej sa transformuje povodňová vlna
- drsnosť povrchu toku, tvar údolia

Pri vytváraní zátopových plôch za účelom zvýšenia protipovodňovej ochrany by sa dôkladne mali poznať hydraulické parametre koryta a vln, aby sa vyhradená zátopová plocha upravila pre dosiahnutie čo najväčšieho efektu



Zhrnutie výsledkov

5. Prehrádzky a stupne

- opačný efekt ako sa všeobecne predpokladá
- zvýšená hĺbka vody v koryte prekážkami
- povodňová vlna dole údolím postupuje mierne rýchlejšie a s menším sploštením, ako v stave bez prehrádzok
- viac vody sa vyleje z koryta a rozšíri sa zátopa územia počas povodne
- retenčná účinnosť na transformáciu vrcholu vlny takýchto opatrení je zanedbateľne malá

6. Poldre

- cielene navrhované opatrenia
- presne hydraulicky vypočítané a navrhnuté na zredukovanie povodňovej vlny
- účinnosť až niekoľko desiatok percent
- presné rozmery, konštrukčne a staticky postavený tak, aby ho veľká povodeň nepreliala, nezvalila, nerozobrala, prípadne aj aby navrhnutý objekt nespôsobil deštrukciu koryta
- nemali by zabraňovať usadzovaniu naplavenín, ani migrácii vodných živočíchov



Ďakujem za pozornosť



Zhrnutie výsledkov

Revitalizačné opatrenia na tokoch sa robí za účelom (obnova biodiverzity biotopu, krajinnno-urbanistické skrášenie prostredia, protipovodňová ochrana územia, ochrana pred eróziou)

Nie všetky opatrenia sú účinne ako protipovodňová ochrana.

Umelé prekážky v toku v forme prehrádzok alebo stupňov - bariéry pre migráciu rýb a iných vodných živočíchov.

Redukcia povodňovej vlny závisí od rozliatia vrcholu vlny. Čím sa vyleje/zachytí menšia časť vrcholu vlny, tým lepšie sa daný vyliaty/zachytený prietok vlny sploští. Čím väčší pozdĺžny sklon toku, tým menej sa transformuje povodňová vlna.

Prehrádzky a stupne majú opačný efekt ako sa všeobecne predpokladá.

Prehrádzky sa zaplnia pred príchodom povodňovej vlny aj zo stredne zvýšených prietokov.

Povodňová vlna dole údolím postupuje mierne rýchlejšie a s menším sploštením, ako v stave bez prehrádzok.

Retenčná účinnosť na transformáciu vrcholu vlny takýchto opatrení je zanedbateľne malá.

Poldre sú cielene navrhované protipovodňové opatrenia. Majú presne hydraulicky vypočítané a navrhnuté objekty na zredukovanie/zachytenie len vrcholu povodňovej vlny. Pri bežných prietokoch sa nazapíňajú. Účinnosť až niekoľko desiatok percent. Musia byť konštrukčne a staticky postavené tak, aby ho veľká povodeň nepreliala, nezvalila, nerozobrala, prípadne aj aby navrhnutý objekt nespôsobil deštrukciu koryta. Poldre by nemali by zabraňovať usadzovaniu naplavenín, ani migrácii vodných živočíchov v malovodnom období.

Protipovodňové technické opatrenia majú ďaleko vyššiu účinnosť pri kritických povodniach ako zelené opatrenia.