

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Edice Habilitační a inaugurační spisy, sv. 192

ISSN 1213-418X

Miroslav Dumbrovský

**PŘÍSPĚVEK K ŘEŠENÍ
VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY
V POZEMKOVÝCH ÚPRAVÁCH**

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta stavební

Ústav vodního hospodářství krajiny

Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc.

**PŘÍSPĚVEK K ŘEŠENÍ VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY
V POZEMKOVÝCH ÚPRAVÁCH**

THE CONTRIBUTION FOR SOLVING THE LANDSCAPE WATER
MANAGEMENT IN THE PROCESS OF LAND CONSOLIDATION

ZKRÁCENÁ VERZE HABILITAČNÍ PRÁCE



BRNO 2005

KLÍČOVÁ SLOVA

ochrana povodí, retenční schopnost krajiny, protierozní opatření, optimalizační model, pozemkové úpravy

KEY WORDS

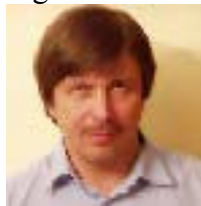
watershed protection, retention capacity of the landscape, soil erosion control, optimisation model, land consolidation.

Originál práce je uložen v archivu PVO FAST.

Představení autora	4
1. ÚVOD.....	6
2. METODY ANALÝZY RETENCE PŮDY A KRAJINY JAKO PODKLADY PRO ŘEŠENÍ POZEMKOVÝCH ÚPRAV	7
2.1 Metody výpočtu retence při povodni	8
2.2 Výsledky a diskuse	10
3. INTEGROVANÉ HODNOCENÍ FAKTORŮ OVLIVŇUJÍCÍCH EROZNÍ A ODTOKOVÉ POMĚRY V POVODÍ	15
3.1 Automatizace rozboru hydrologických a erozních poměrů s využitím GIS	16
3.2 Rozbor erozních poměrů na zemědělských půdách	17
3.3 Rozbor odtokových poměrů	19
4. INTEGROVANÁ OCHRANA POVODÍ PROTI NEPŘÍZNIVÝM ÚČINKŮM POVRCHOVÉHO ODTOKU V POZEMKOVÝCH ÚPRAVÁCH.....	25
4.1 Zhodnocení vodního režimu v zájmovém území KPÚ z hlediska protipovodňové ochrany.....	26
4.2 Návrh opatření integrované ochrany povodí na zemědělských půdách.....	26
4.3 Návrh opatření ke zvýšení retence vody v povodí při povodních na lesních půdách	27
5. OPTIMALIZACE NÁVRHU OPATŘENÍ V POVODÍ.....	28
5.1 Postup řešení modelem WRIC	29
5.2 Ověřování modelu WRIC na systému Hustopeče – Starovice.....	33
5.3 Výsledky a diskuse	34
6. PLÁN SPOLEČNÝCH ZAŘÍZENÍ POZEMKOVÝCH ÚPRAV	38
7. ZÁVĚR.....	40
8. LITERATURA	41

PŘEDSTAVENÍ AUTORA

Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc.



Narozen: 6.3.1958 v Opavě, okres Opava

Vzdělání

1977-1982 - VŠZ (MZLU) Brno,

1989-1992 - CSc. obor 41-10-9 Meliorace, školitel: Doc. Ing. Vlastimil Pasák, DrSc.

Zaměření

Ochrana a organizace povodí, Pozemkové úpravy, Protierozní ochrana, Hydropedologie

Zaměstnání a praxe

- 1982 – 1986 Agroprojekt Brno (samostatný projektant)
- 1986 – 2003 Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy (výzkumný pracovník)
- 1988 – 1991 zástupce vedoucího oddělení meliorací
- 1991 – 2002 vedoucí oddělení a vedoucí pracoviště VÚMOP Brno
- 1998 – dosud VUT Brno, FAST, Ústav vodního hospodářství krajiny
- 2003 – dosud zástupce vedoucího ústavu

Odborné stáže

- 1992 – 3 měsíční stáž v Natural Resource Conservation Service (Úřad pro ochranu přírodních zdrojů) ve Washingtonu a v Midwest National Technical Centre v Lincolnu (výzkumné technické centrum)
- 1993 – 1 měsíční stáž na Cambridge University v Anglii (Cambridge Summer School in Land Policy - Letní škola Cambridge University v oblasti krajinného plánování a pozemkových úprav)

Spolupráce s externí sférou

- od roku 1995 - odborně technická pomoc pro MZe ČR Ústřední pozemkový úřad, jednotlivé pozemkové úřady a projektanty v oblasti metodologie projektování pozemkových úprav a v oblasti vodního hospodářství krajiny
- od roku 1995 - pravidelné přednášky v rámci školení pracovníků pozemkových úřadů organizované MZe ÚPÚ (metodologie projektování pozemkových úprav a v oblasti protierozní ochrany)
- v letech 2003-2005 - člen autorizační zkušební komise na MZe ČR pro odbornou způsobilost projektování pozemkových úprav
- od roku 2000 dosud - člen Vědecké rady Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy Praha

Řešené projekty

odpovědný řešitel

- 2005-2007 - Název projektu: MZE 1R55007 „Zemní terasy a možnosti jejich revitalizace, rekonstrukce a rekultivace v procesu pozemkových úprav“ (projekt NAZV)
- 2001-2003 - Název projektu: MZE QC 1292 „Optimalizace systému komplexních opatření pro minimalizaci nepříznivých účinků povrchového odtoku v povodí a jeho aplikace v procesu pozemkových úprav“ (projekt NAZV)
- 1999-2001- Název projektu: MZE EP 9153 „Hodnocení retenční vodní kapacity půd a krajiny při povodních a možnosti jejího zvyšování“ (projekt NAZV)
- 1996-1999 - Název projektu: MZE EP 0960996156 „Komplexní pozemkové úpravy - podklady pro legislativu - metody a postupy“ (projekt NAZV)
- Název projektu: „Komplexní pozemkové úpravy - metody a podklady pro legislativu“ (projekt NAZV)

spoluřešitel

- 2005 - Grantový projekt: VEGA č. 1/1317/04 „Postavenie krajinotvorby, s dôrazom na hodnotenie ekologickej stability krajiny, v projektoch komplexných pozemkových úprav“ FZKI SPU Nitra, Slovensko

Pedagogická činnost

Magisterské studium

- *přednášky*

Od roku 1998 do roku 2003: Ochrana a organizace povodí, Hydropedologie, Pozemkové úpravy

Od roku 2003 dosud: Ochrana a organizace povodí a odvodnění, Pozemkové úpravy

- *vedení diplomantů*: 15 obhájených prací
- *členství v komisích pro SZZ a obhajoby DP*: VUT FAST, STU FS Bratislava

Doktorandské studium

- *přednášky*

do roku 2003: Ochrana a organizace povodí, Hydropedologie

Od roku 2003 : Ochrana a organizace povodí

- *vedení doktorandů*: v současné době vedení tří doktorandů, 1x obhájená disertační práce - školitel specialista
- *členství v komisích pro obhajoby doktorských disertačních prací*: MZLU Brno, JCU České Budějovice, SPU FZKI Nitra

Publikace

- monografie: 1x
- původní vědecká práce ve vědeckém časopisu s impakt faktorem: 1x
- původní vědecká práce ve vědeckém časopisu: 5x
- příspěvek ve sborníku světového nebo evropského kongresu, vědecké konference: 6x
- abstrakt ve sborníku světového nebo evropského kongresu, vědecké konference: 4x
- příspěvek ve sborníku národního nebo mezinárodního kongresu, sympózia, vědecké konference: 11x
- publikace v odborném časopisu: 16x
- příspěvek ve sborníku odborné konference: 49x
- skripta: 2x

1. ÚVOD

Povodně, které v roce 1997 a 2002 postihly rozsáhlé oblasti České republiky, vyvolaly v řadách odborníků mnoho otázek a protichůdných názorů ohledně dalšího postupu v otázkách řešení vodního hospodářství krajiny, zejména problematiky ochrany povodí proti nepříznivým účinkům povrchového odtoku.

V současné době jsou uplatňovány dva přístupy k budování protipovodňových opatření:

- tradiční technický postup, akcentovaný podniky Povodí, spočívá, obecně vyjádřeno, v budování ochranných opatření v údolní nivě vodních toků (jako jsou vodní nádrže, suché retenční nádrže, řízené inundace, ohrázení vodních toků, zvýšení hrází, oddálení hrází od toku, rozšiřování a prohlubování koryt, přemístění objektů a zařízení mimo inundační území, aplikace mobilních prvků ochrany);
- přístup, (který autor v práci hlavně rozpracovává) navazující na technická liniová a plošná opatření na vodním toku a dávající důraz na aplikaci systému komplexních opatření ochrany a organizace povodí a pozemkových úprav (jako je návrh technických, biotechnických, organizačních a agrotechnických opatření v ploše povodí), majících vedle protierozní a protipovodňové ochrany účinek ve zvýšení retenční schopnosti krajiny a zvýšení její ekologické stability.

Tyto na pohled odlišné přístupy však nejsou v protikladu (jak je někdy nesprávně mediálně prezentováno), ale naopak se vzájemně velmi účinně doplňují.

Je zřejmé, že vedle opatření strukturálních je nezbytné aplikovat a vyvíjet také opatření nestrukturální, spočívající v konstrukci varovných systémů a operativním řízení odtoku vody z povodí. Podstatou účinné protipovodňové ochrany je tedy nejen prevence v povodí, ale i operativní řízení (řízení v reálném čase) odtoku při vlastním průběhu povodňových situací.

Před návrhem opatření musí být podrobně analyzovány faktory ovlivňující erozní a odtokové poměry, na podkladě kterých jsou následně vytipovány v řešených povodích plochy a pozemky, které jsou zdrojem eroze a povrchového odtoku. Na základě této podrobné analýzy faktorů ovlivňujících odtok z povodí je následně v řešených povodích navržen celý systém komplexní ochrany a organizace povodí.

Tato opatření budou mít významnou funkci v redukci erozního smyvu a transportu splavenin, budou účinnými protipovodňovými opatřeními, eliminujícími nepříznivé účinky povrchového odtoku při lokálních (přivalových) srážkách s vysokou intenzitou. Autor v habilitační práci navrhuje takové systémy ochrany proti nepříznivým účinkům povrchového odtoku, které v návaznosti na změny technologií hospodaření přinesou omezení erozního smyvu a vyplavování látek z půdního profilu s důsledkem snížení difúzního znečištění vodních toků. Dojde ke zvýšení retenční schopnosti území, snížení povrchového odtoku, respektive ke snížení transportu splavenin a tím ke zvýšení kvality vod a jejího udržení v mezích vyžadovaných normami v konkrétních podmínkách jednotlivých zájmových územích. Celý autorem navržený systém řešení komplexní ochrany a organizace povodí je zcela v souladu se zásadami strategie ochrany před povodněmi pro území ČR (dokument č. 382, schválený vládou ČR 19. 4. 2000), která mj. uvádí

- preventivní opatření pro ochranu před povodněmi je nejefektivnější formou ochrany,
- efektivní preventivní opatření je nutné uplatňovat systémově v ucelených (hydrologických) povodích a s ohledem na provázání vlivů jednotlivých opatření podél vodních toků,
- pro efektivní ochranu před povodněmi je třeba nalézt vhodnou kombinaci opatření v krajině, která zvyšují přirozenou akumulaci a retenci vody v území a technických opatření k ovlivnění povodňových průtoků,

- pro návrhy k ochraně před povodněmi je třeba využívat kvalitní informace o geomorfologii území, rostlinném pokryvu, složení půdy a moderní informační technologie umožňující modelování povodní,
- na zabezpečení realizace preventivních opatření ke snížení škodlivých účinků povodní se musí podílet vlastníci a správci nemovitostí,
- s ohledem na charakter území a geografickou polohu České republiky je nezbytné řešit ochranu před povodněmi v mezinárodním kontextu, zejména v rámci stávajících mezistátních dohod o spolupráci v povodích řek přesahujících hranice státu.

Předložená habilitační práce shrnuje získané výsledky a poznatky z více než 20leté projektové a vědecké činnosti v oboru vodního hospodářství krajiny - meliorací. Je to zejména 5 výzkumných projektů NAZV ČR, které autor od roku 1993 jako zodpovědný řešitel koordinoval a koordinuje. Jedná se především o projekty „Hodnocení retenční kapacity půd a krajiny při povodni a možnosti jejího zvyšování“ (ev. č. EP 9153), „Optimalizace návrhu opatření v povodí proti nepříznivým účinkům povrchového odtoku v pozemkových úpravách“ (ev. č. QC 1282), „Komplexní pozemkové úpravy - podklady pro legislativu - metody a postupy“ (ev.č.EP0960996156) a také o práci *Dumbrovský, M., a kol.:* „Rozbor retenčního potenciálu povodí řeky Opavy s analýzou zastoupení a plošného rozmístění kultur“, 1998, která byla zpracována v rámci vládního projektu „Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997“ a studii „Zásady pro zpracování základních principů technických opatření proti škodlivým účinkům vod v krajině v rámci pozemkových úprav“. *Dumbrovský, M., a kol.*, VÚMOP Praha, 1997.

Uvedené výzkumné projekty byly zaměřeny na řešení problematiky metodologie pozemkových úprav, retenční kapacity půd a krajiny při povodni a na optimalizaci návrhu komplexních opatření v povodí proti nepříznivým účinkům povrchového odtoku v procesu pozemkových úprav.

Vedle výše uvedených prací autor čerpal z poznatků několika desítek studií erozních a odtokových poměrů, revizí pásem hygienické ochrany povrchových vodních zdrojů a projektů pozemkových úprav, které zpracoval ve spolupráci s kolegy z Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy Praha a Ústavu vodního hospodářství krajiny, Fakulty stavební VUT v Brně.

2. METODY ANALÝZY RETENCE PŮDY A KRAJINY JAKO PODKLADY PRO ŘEŠENÍ POZEMKOVÝCH ÚPRAV

V této kapitole je popsána hydrologická metoda, kterou lze zjistit retenci krajiny povodí při povodni. Metoda byla aplikována ve vybraných dílčích povodích řeky Opavy při minulých povodních a těch, které se vyskytly v době řešení. Povodně byly vyvolány dlouhodobými srážkami o extrémních objemech spadlých ve dnech od 1. do 27. července 1997, které měly dvě vlny se třemi kulminačními špičkami, z nichž první byla nejvýraznější.

Analýzy se uskutečnily pomocí metody hydrologických bilancí, při které se retenční schopnost povodí stanoví bilancováním denních srážek spadlých v povodí a průtoků v závěrném profilu. Princip bilančního postupu pro kvantifikaci retence povodí byl založen na analogii plnění a prázdnění retenčního prostoru vodní nádrže při transformaci povodňového průtoku nádrží s tím, že celková vodní retence povodí sestává ze tří hlavních složek: retence povrchové (vč. hypodermické), podzemní a evapotranspirace. Přičemž součet retence podzemní a evapotranspirace v době maximální celkové retence se stane kvantitativním měřítkem retence povodí za povodně.

V habilitační práci jsou shrnuty poznatky a skutečnosti získané při řešení uvedené problematiky v práci *Dumbrovský a kol. (1998)*, zpracované v rámci vládního projektu „Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997“ a při řešení výzkumného projektu NAZV EP 9153 „Hodnocení retenční vodní kapacity půd a krajiny při povodních a možnosti jejího zvyšování“.

2.1 Metody výpočtu retence při povodni

Retenční schopnost krajiny se zjišťovala pro ucelená povodí bilancováním denních srážek spadlých v povodí a průtoků v závěrném profilu.

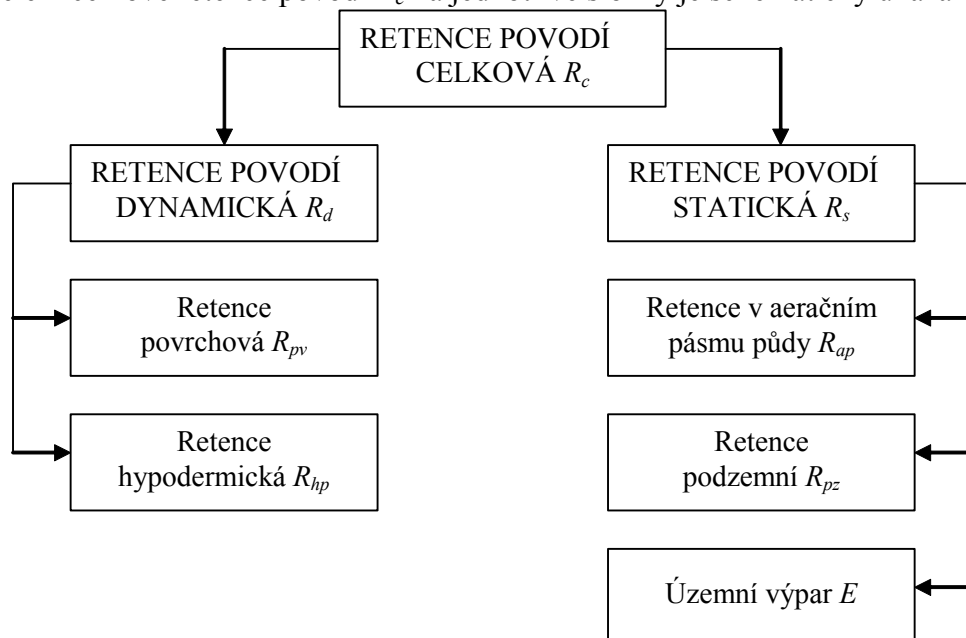
Základní princip bilančního postupu kvantifikace retence povodí spočíval na analogii plnění a prázdnění retenčního prostoru vodní nádrže při transformaci povodňového průtoku nádrží s tím, že *celková vodní retence povodí R_c* sestává z pěti hlavních složek:

- *retence povrchové R_{pv}* ,
- *retence hypodermické R_{hp}* , obsahující vodu podpovrchovou, pohybující se v bezprostřední vrstvě pod povrchem aniž by dosáhla hladiny podzemní vody,
- *retence v aeračním pásmu půdy R_{ap}* , sestávající z vody zachycené v kapilárách nenasyčené zóny půdy a vody infiltrující do podzemní vody,
- *retence podzemní R_{pz}* , zahrnující infiltrovanou vodu zvětšující zásobu podzemní vody,
- *územního výparu E* , tj. výparu z povrchu půdy území společně s transpirací (výpar vydaný rostlinami) a intercepcí (výpar z části srážky, která ulpí na povrchu rostlin).

Při povodňové epizodě se objemy retence v aeračním pásmu půdy, podzemní retence a územního výparu mění mnohem pomaleji než objemy retence povrchové a hypodermické. Proto součet těchto retencí byl nazván *retence dynamická R_d* .

Součet retence v aeračním pásmu půdy, retence podzemní a územního výparu byl nazván *retence statická R_s* .

Rozdělení celkové retence povodí R_c na jednotlivé složky je schematicky ukázáno na *obr. 1*.



Obr. 1 Schéma rozdělení celkové retence povodí R_c na jednotlivé složky

Vztah mezi okamžitou celkovou retencí povodí R_{ci} , součtem denních srážek ΣH_i a sumárním denním odtokem vody z povodí ΣQ_i za časový interval i , dní od začátku povodňové epizody, bylo možné pro případ studovaných povodní vyjádřit rovnicí:

$$R_{ci} = \sum_i H_i - \sum_i Q_i \quad [\text{m}^3] \quad (2.1)$$

přičemž

$$R_{ci} = R_{di} + R_{si} \quad [\text{m}^3] \quad (2.2)$$

Z průběhu zpracovaných hodnot předchozím postupem lze tak v každém dni nebo za určitý počet dnů objemově kvantifikovat okamžitou celkovou retenci povodí R_{ci} a její složku dynamickou R_{di} a statickou R_{si} .

Z hlediska posouzení retence povodí v době povodňové epizody je nejdůležitější maximální hodnota okamžité R_{ci} , která snižuje srážkovou povodňovou špičku. Tato hodnota byla nazvána *efektivní celková retence povodí* R_{cef} a její složky analogicky *efektivní dynamická retence povodí* R_{def} a *efektivní statická retence povodí* R_{sef} . Přitom efektivní celková retence povodí nastává obvykle v době maximálního okamžitého (v našem případě denního) celkového odtoku z povodí (odtok povrchový + hypodermický + podzemní) v závěrném profilu.

Pro lepší přehlednost a porovnatelnost zpracovávaných povodí se stanovily součinitelé retence, tj. efektivní hodnoty retence byly vztaženy k objemu povodňové vlny ze srážky (součet velikosti srážky H_i od prvního do jejího posledního, tedy obecně n -tého dne), která ji vyvolala. Např. *součinitel efektivní statické retence povodí* ρ_{sef} .

$$\rho_{sef} = \frac{R_{sef}}{\sum_{i=1}^n H_i} \quad (2.3)$$

Podobně se stanovil *součinitel efektivní dynamické retence povodí* ρ_{def} a *součinitel efektivní celkové retence povodí* ρ_{cef} .

Kromě toho jsou důležitými charakteristikami povodně *maximální denní velikost srážky* H_{max} a *maximální denní průtok* Q_{max} . Proto byl rovněž stanoven *součinitel snížení kulminace povodně* λ_{kul} vyjadřující snížení povodňové špičky způsobené celkovou efektivní retencí povodí:

$$\lambda_{kul} = \frac{Q_{max}}{H_{max}} \quad (2.4)$$

Vzhledem k tomu, že cílem řešení bylo hodnotit retenci krajiny za povodně, tedy jakou část z povodňové srážky je schopno povodí neškodně zadržet a odvést (tj. bylo třeba zjistit jaký podíl povodňové srážky se zachytí v půdě a vypaří), *hlavním posuzovacím kritériem byla efektivní statická retence povodí* R_{sef} a *součinitel efektivní statické retence* ρ_{sef} .

U hodnocených povodí byly posuzovány i faktory, které nejvíce ovlivňují retenční schopnost povodí. Byly to tyto faktory: druh pozemků (kultury) a zastavěná plocha, geomorfologické poměry (především sklonitostní poměry), hydrologické půdní poměry, hydrogeologické poměry podloží, tvar povodí, vlhkost půdy před povodňovou srážkou, meliorační odvodnění a vodohospodářská zařízení (především údolní nádrže, rybníky aj.).

2.2 Výsledky a diskuse

U každého vyhodnocovaného povodí se tabulkově a graficky zpracovaly denní objemy srážek spadlých na povodí a průtoků v závěrných profilech od 1.7. do 20. 8. 1997. Příklad grafického zpracování denních objemů srážek a průtoků v závěrném profilu je uveden na *obr. 2*. Součtové čáry denních hodnot objemů srážek a průtoků od začátku povodňové epizody jsou vykresleny na *obr. 3*. Rozdíl denních hodnot těchto součtových čar udává podle vztahu (2.1) celkovou retenci povodí R_c . Čára takto zjištěných hodnot retence R_c v každém dni sledovaného období je rovněž vykreslena na *obr. 3*. Rozdělení celkové retence povodí R_c na dynamickou a statickou retenci R_d a R_s je uvedeno na *obr. 4* a stanovilo se podle těchto zásad:

- od začátku povodňové epizody (tj. od 1. 7. 1997) se vsakem plnily převážně gravitační a kapilární póry v aeračním pásmu půdy a zvětšovala se zásoba podzemní vody do dne, kdy prudce vzrostl průtok, neboť převážná část těchto pórů v půdě se nasýtila vodou, a od tohoto dne nastala i povrchová, tedy i dynamická retence (na *obr. 4* je to rozdíl hodnot mezi šedou a černou čarou) a voda také dále infiltrovala gravitačními póry přibližně konstantním denním množstvím do podzemní vody;
- den ukončení dynamické retence se stanovil na sestupné čáře denních průtoků (posouzením úbytku diskrétních hodnot průtoků), kdy prudce poklesl denní průtok, přitom v tomto dni byla maximální statická retence a nastalo její prázdnění podzemním odtokem,
- v grafu okamžité celkové retence bylo rozmezí mezi dynamickou a statickou retencí přímkou (vyplývající z předpokládaného konstantního denního přírůstku denní statické retence) spojující bod začátku a konce dynamické retence, od tohoto bodu pak navazuje dále křivka vyjadřující pokles statické retence (průběh statické retence je na *obr. 4* vyznačen černou čarou), hodnoty efektivní statické a dynamické retence R_{sef} , R_{def} byly zjištěny v době maximální celkové retence vody v povodí v průběhu první povodňové vlny a jsou rovněž vyznačeny v grafu na *obr. 4*, proces prázdnění statické retence pak pokračoval, povodňovou epizodu bylo možné považovat za ukončenou, až hodnota denního průtoku se přiblížila hodnotě na jejím začátku, což bylo přibližně 20. 8. 1997.

Výsledky zpracování pěti zkoumaných povodí jsou souhrnně uvedeny v *tab. I*. Základní identifikační údaje o zkoumaných povodích jsou uvedeny v hlavičce, hodnoty zjištěných veličin jsou ve vlastní části tabulky. Hodnoty nejvýznamnějších hydrologických veličin pro posouzení retence povodí, tj. týkajících se statické retence povodí a snížení kulminace povodně jsou v *tab. I* zvýrazněny šedou barvou.

Z výsledků vyplývá, že součinitel efektivní statické retence vyhodnocený z první povodňové vlny v červenci se u šetřených povodí pohyboval v rozmezí hodnot 0,24 až 0,37, což znamená, že půda (a jen nepatrně i výpar) zadržela v povodí 24 – 37% objemu první vlny v době kulminačního odtoku z povodí. Tento objem je zhruba na úrovni dynamické efektivní retence (zahrnující retenci povrchovou a hypodermickou), který se pohyboval v rozmezí 22 – 43%. Přitom součinitel celkové efektivní retence povodí se pohyboval v mezích od 0,46 až 0,75 (46 – 75% objemu první povodňové vlny).

Součinitel snížení kulminace povodně se pohyboval v mezích od 0,37 do 0,71, tj. celková retence povodí snížila kulminační průtok na hodnotu 37 – 71% kulminační srážky v první vlně.

Porovnáním hodnot výsledných hydrologických veličin z povodně v červenci 1997 stanovených pro tři dílčí povodí Opavy (Hvozdnice, Bělokamenný potok a Střední Opava) vyplynula tato zjištění:

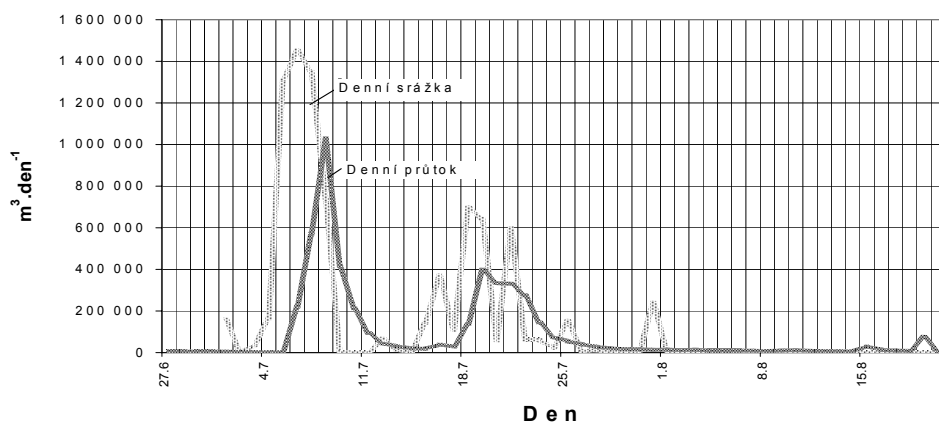
Povodí Bělokamenný potok a Střední Opava jsou téměř celá zalesněna, přesto však mají nepříznivější součinitel efektivní statické retence ρ_{sef} než povodí Hvozdnice, které má lesů jen

32,6% a zbytek tvoří 53,5% orná půda, trvalé travní porosty 11,5% a ostatní plocha 2,4%. Lze to vysvětlit velkou průměrnou sklonitostí terénu obou povodí, který je u Bělokamenného potoka 18,7% a u Střední Opavy dokonce 20%, jehličnatou lesní monokulturou, větším množstvím spadlých předchozích srážek před povodňovou epizodou a také největším množstvím spadlé celkové srážky v první vlně povodně. To bylo v povodí Bělokamenného potoka 354,2 mm a Střední Opavy dokonce 491,1 mm.

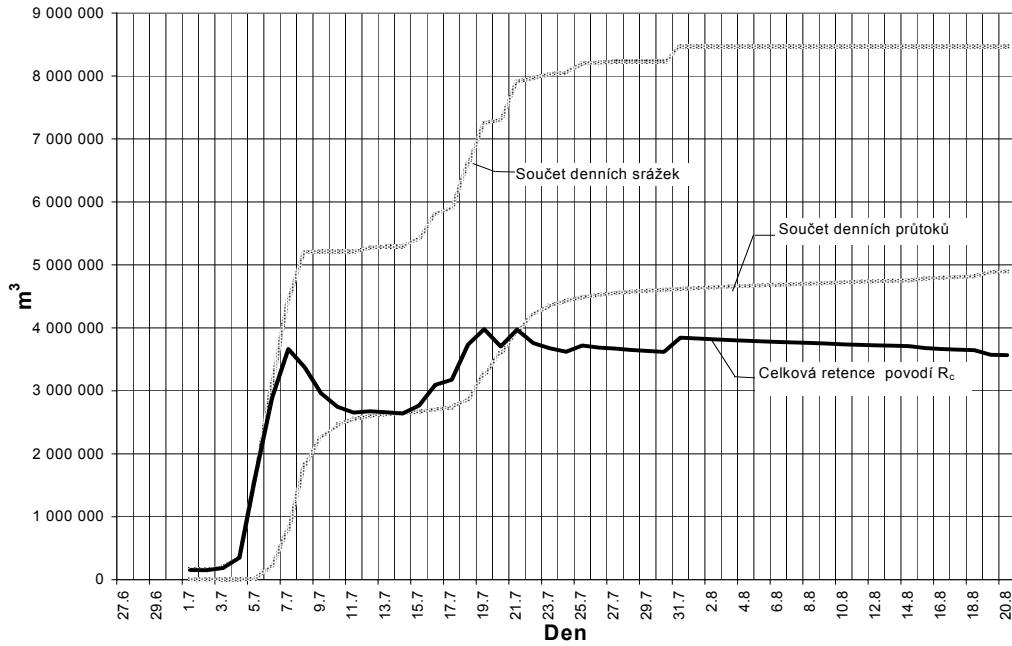
Uvedená zjištění se nepotvrdila u součinitelů snížení kulminace povodně λ_{kul} , kde naopak u obou povodí s velkou převahou lesa má hodnotu 0,58 a 0,68, zatímco u povodí Hvozdnice má jen hodnotu 0,71.

Získané poznatky při stanovení retence povodí Opavy v době červencových povodní roku 1997 je možné shrnout do těchto závěrů:

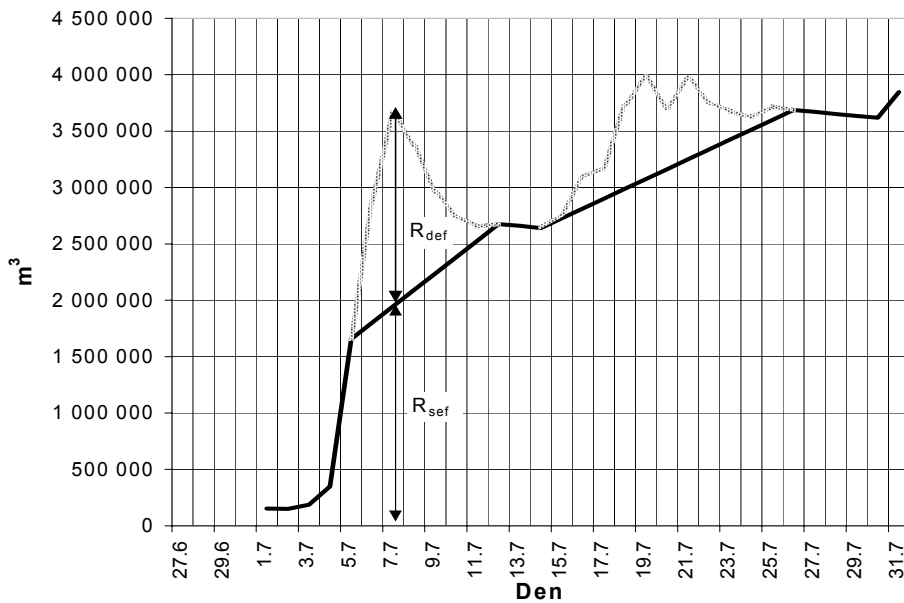
- Vyvinutá a použitá bilanční metoda založená na vyhodnocování denních srážek a odtoků v době povodně se ukázala vhodnou pro studium i kvantitativní posouzení retenční schopnosti povodí.
- Pro zpřesnění bilanční metody je třeba mít k dispozici podrobnější údaje o srážkách a průtocích především na začátku a na konci povodně, např. hodinové údaje, rovněž údaje o objemech záplav, zpracované údaje o kolísání hladiny podzemní vody, údaje o výparu a přesnější data o vlhkosti půdy před začátkem povodně.
- Zjištěné hodnoty statické retence povodí se pohybují v rozmezí 24 - 37% objemu povodňové srážky a jsou na úrovni hodnot dynamické retence, které činily 22 - 43%.
- Povodí ztransformovala kulminační denní srážku na hodnotu kulminačního průtoku v závěrečném profilu povodí, který činil 37 - 71% ze špičkové denní srážky.



Obr. 2 Průběh srážek a průtoků v povodí Hvozdnice - profil Jakartovice za povodně v červenci 1997



Obr. 3 Součtové čáry srážek, průtoků a celková retence v povodí Hvozdnice - profil Jakartovice za povodně v červenci 1997



Obr. 4 Průběh celkové, statické a dynamické retence s vyznačením veličin R_{sef} a R_{def} - povodí toku Hvozdnice (o ploše 31,08 km²) – závěrný profil Jakartovice za červencové povodně v roce 1997

Tab. 1 Hodnocení retence a faktorů ji ovlivňujících u vybraných povodí Opavy za povodně v červenci 1997

Číslo hydrologického pořadí Vodoměrná stanice (profil) Tok	2-02-03-023		2-02-02-080		2-02-02-016		2-02-02-006		2-02-01-008	
	Děhylov Opava	Jakartovice Hvozdnice	Rýmařov Podolský potok	Malá Morávka Bělokamenný potok	Železná Střední Opava					
	1	2	3	4	5					
Základní Údaje	Plocha povodí F [km ²] 2039,11 Délka toku L [km] 116,8 Součinitel tvaru povodí ω 0,15	31,08 14,2 0,15	50,67 14,7 0,23	16,5 8,0 0,26	54,28 12,5 0,35					
Zjištěné Hydrologické Veličiny	Objem povodňové srážky ΣH_i [mil. m ³] 502,436 [mm] 246,4 Součinitel předchozích srážek API 42,7 Efektivní retence statická R_{sef} [mil. m ³] 160,471 [mm] 78,7 Efektivní retence dynamická R_{def} [mil. m ³] 216,486 [mm] 106,2 Efektivní retence celková R_{cef} [mil. m ³] 376,958 [mm] 184,9	5,209 167,6 39,9 1,947 62,6 1,718 55,3 3,665 117,9	14,309 282,4 56,2 6,834 134,9 4,617 91,1 11,451 226,0	5,844 354,2 56,6 1,417 85,9 1,261 76,4 2,677 162,3	26,657 491,1 57,0 7,061 130,1 9,728 179,2 16,789 309,3					
	Součinitel efektivní statické retence ρ_{sef} 0,32 Součinitel efektivní dynamické retence ρ_{def} 0,43 Součinitel efektivní celkové retence ρ_{cef} 0,75 Maximální denní průtok Q_{max} [mil. m ³ .d ⁻¹] 59,875 [m ³ .s ⁻¹] 693 Maximální denní srážka H_{max} [mil. m ³ .d ⁻¹] 163,741 [mm] 80,3 Součinitel snížení kulminace povodně λ_{del} 0,37	0,37 0,33 0,70 1,028 11,9 1,451 46,7 0,71	0,48 0,32 0,80 1,019 11,8 4,363 86,1 0,23	0,24 0,22 0,46 1,210 14 1,792 108,6 0,68	0,27 0,36 0,63 5,504 63,7 9,483 174,7 0,58					

pokračování tab. 1

	1	2	3	4	5	
Druhy Pozemků	Orná půda [km ²]	809,14	16,63	3,55	0	0,1
	[% plochy povodí]	39,68	53,51	7,01	0	0,18
	Trvalé travní porosty [km ²]	303,81	3,57	6,99	1,18	0,44
	[% plochy povodí]	14,90	11,49	13,80	7,15	0,81
	Zemědělská půda celkem [km ²]	1112,95	20,20	7,78	1,18	0,54
	[% plochy povodí]	54,58	64,99	15,35	7,15	0,99
	Lesy [km ²]	808,17	10,13	38,2	14,75	53,53
	[% plochy povodí]	39,63	32,59	75,38	89,40	98,07
	Ostatní [km ²]	117,99	0,75	1,93	0,57	0,51
	[% plochy povodí]	5,79	2,41	3,81	3,45	0,94
Průměrná Sklonitost Terénu	4,4	4,4	6,0	7,0	9,2	
Zemědělská půda [úhlové stupně]	6,5	5,8	7,8	10,9	11,3	
Lesy a ostatní [úhlové stupně]	5,4	4,9	7,5	10,6	11,3	
Celkem [úhlové stupně]	9,23	0	0	0	0	
Hydrologická skupina půd podle Rychlosti Filtrace [mm.min ⁻¹] A: > 0,012 B: 0,06-0,12 C: 0,02-0,06 D: < 0,02	Zemědělská A [km ²] [% plochy povodí] B [km ²] [% plochy povodí] C [km ²] [% plochy povodí] D [km ²] [% plochy povodí]	0 0 11,30 36,36 8,90 28,64 0	0 0 6,35 12,53 1,43 0,03 0	0 0 1,16 7,03 0,02 0,01 0	0 0 0 0 0 0 0	
Meliorační Odvodnění	Lesní a ostatní půda Plocha [km ²] [% zemědělské půdy] [% plochy povodí]	926,16 45,96 238,39 21,42	10,88 35,00 4,80 23,76	42,89 87,44 0,36 4,58	15,32 92,96 0 0	53,74 99,99 0 0
Nádrže a rybníky	Celkový retenční objem nádrží [mil. m ³] Celková zatopená plocha rybníků [ha]	36,090 207,60	- -	0,01 -	0 -	0 -

3. INTEGROVANÉ HODNOCENÍ FAKTORŮ OVLIVŇUJÍCÍCH EROZNÍ A ODTOKOVÉ POMĚRY V POVODÍ

Podle stavu povodí lze soudit na stupeň jeho ohroženosti povodněmi a na míru jeho ovlivnění zemědělskou činností. Další částí práce je rozdělení, klasifikace a kvantifikace faktorů ovlivňujících odtokové a erozní poměry v povodí. Z hydrologického hlediska je možné odtok z povodí uvažovat jako výsledek hydrologického cyklu, který je ovlivňován dvěma velkými skupinami faktorů: klimatickými faktory a geomorfologickými faktory. *Klimatické faktory* zahrnují hlavně účinky různých druhů srážek, intercepci, evaporaci a transpiraci, které představují sezónní variace v souladu s klimatickými podmínkami. *Geomorfologické faktory* lze rozdělit do dvou druhů: charakteristik povodí a charakteristik koryt toků. Charakteristikami povodí jsou velikost, tvar a průměrný sklon, propustnost půd a kapacita podzemních vod, přítomnost jezer a bažin a konečně využití území. Charakteristiky koryta se vztahují většinou k hydraulickým vlastnostem koryt, které ovlivňují průběh odtoku a určují jímací kapacitu koryta.

Podle účelu, pro který se hodnocení erozních a odtokových poměrů v daném povodí provádí (např. podklady pro plány povodí, komplexní pozemkové úpravy, územní plánování, návrhy protierozních opatření na konkrétním pozemku, ochrana intravilánu, apod.) je nutno volit vhodnou metodu řešení. Z tohoto hlediska je možné rozlišit dvě úrovně řešení:

- studie erozních a odtokových poměrů v rozsahu **nadregionálním** (povodí o velikosti řádově stovky km²) a **regionálním** (území o velikosti desítek km²) se zpracovávají především pro celkové bilance odtokových a erozních poměrů a transportu splavenin. Pro tento účel je vhodné použít prostředky GIS pro identifikaci faktorů ovlivňujících erozní a odtokové poměry a ve spojení s empirickým postupem (Univerzální rovnice ztráty půdy, součinitel transportu splavenin) a na základě průměrné roční ztráty půdy pro různé scénáře využití povodí lze vypracovat mapy erozní ohroženosti. S využitím bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ), oblastních plánů rozvoje lesa a souboru lesních typů (OPRL, SLT) a registru produkčních bloků (RPB) lze takto dále identifikovat hydrologické skupiny půd v zemědělské a lesní části povodí, hloubku půdního profilu a skeletovitost (zejména vymezení okrsků mělkých půd), stávající stav zastoupení jednotlivých kultur (zejména oblasti orných půd a trvalých travních porostů) a využitím výškopisných topografických podkladů lze vymežit formou digitálního modelu terénu (DMT) oblasti sklonitostních kategorií, např. plochy se sklonem >20%-25%. S využitím uvedených analýz (vrstev GIS) a jejich topologickým propojením (např. plochy orné půdy ve sklonu nad 20% a okrsky svažitéch mělkých a skeletovitých půd, plochy půd s nízkou rychlostí infiltrace-hydrologické skupiny C, D aj.) lze identifikovat „zdrojové“ plochy v povodí se zvýšenou tvorbou povrchového odtoku a erozního smyvu a s tím spojeným zvýšeným uvolňováním a transportem nerozpuštěných (případně rozpuštěných) látek při současném a plánovaném (variantním) způsobu využití povodí. To vše je možno zpracovat formou mapových výstupů v digitální či analogové formě a poskytnout uživatelům.
- studie erozních a odtokových poměrů v **místním – lokálním** rozsahu - na této úrovni (řádově v ha) se podrobně řeší jednotlivá podpovodí, elementární odtokové plochy až po jednotlivé pozemky, navrhuje se komplexní ochrana a organizace povodí, zejména protierozní a protipovodňová opatření a stanovují se základní parametry navržených prvků a objektů. Odtokové poměry lze podrobně analyzovat metodou čísel odtokových křivek CN, modelem DeSQ a erozní procesy kvantifikovat s využitím

Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE) a její revidované formy, tzv. RUSLE, případně simulačními modely pro jednotlivý svah (pozemek) - SMODERP, WEPP, EPIC, EUROSEM, EROSION 3D aj.

Požadovanými výstupními informacemi jsou charakteristiky hydrologické (objem povrchového odtoku, kulminační průtok) a erozní (míra erozního ohrožení), ukládání a transport nerozpuštěných (příp.rozpuštěných) látek v jednotlivých částech povodí a v jeho závěrovém profilu. Tyto údaje slouží zejména pro stanovení základních návrhových parametrů navržených prvků a objektů komplexní ochrany a organizace povodí.

Uvedené metody byly autorem testovány a aplikovány při řešení studií a projektů v nadregionálním a regionálním rozsahu v povodí řeky Luhy (studie „Návrh opatření pro eliminaci difúzního znečištění vodního útvaru řeky Luhy“, 2003), Opavy (studie „Obnova vodního režimu v krajině v povodí Opavy a Opavice“, 2004 a studie „Rozbor retenčního potenciálu povodí řeky Opavy s analýzou zastoupení a plošného rozmístění kultur“, 1998, 2005) a v povodí Horní Moravy (Projekt INTERREG IIIB etapa 05 „Optimalizace vodního režimu v povodí Horní Moravy, (2003-2005) a v místním - lokálním rozsahu v povodí Tetřevského a Lichnovského potoka (KPÚ Lichnov), Šardického a Hovoranského potoka (KPÚ Šardice), Olešnického potoka (studie „Návrh protierozní a protipovodňové ochrany v povodí Olešnického potoka“, 2003) a při návrhu protierozní a protipovodňové ochrany intravilánu města Hustopeče (návrh plánu společných zařízení JPÚ Hustopeče, 2002).

Faktory ovlivňující povrchový odtok lze také rozdělit na:

- faktory fyzicko-geografické (přírodní, neovladatelné), do kterých řadíme klimatické poměry, geometrické charakteristiky povodí a sklonové poměry, geologické a půdní poměry
- faktory antropogenní (ovladatelné), tj. způsob využívání pozemků v povodí, vegetační kryt, povrchové deprese, průlehy, bažiny, mokřady, vodní tok s příbřežní zónou, nádrže, historické rybníky a poldry.

3.1 Automatizace rozboru hydrologických a erozních poměrů s využitím GIS

Metoda je zde popsána na základě její praktické aplikace dle schématu (*obr.5*) postupu navrženého a uplatněného autorem v povodí Opavy. Podrobnější výsledky analýz jsou zde prezentovány na dílčím povodí Čižiny, kde získané údaje slouží jako podklad pro řešení KPÚ. Základním podkladem pro digitální zpracování rozborových podkladů a návrhu komplexní ochrany a organizace povodí byla Základní báze geografických dat (ZABAGED) jako digitální topografický model integrující prostorovou složku vektorové grafiky s topografickými relacemi objektů a složku atributovou obsahující popisy a další informace o objektech. Doplňkové informace, resp. identifikátory některých typů objektů (vodstvo, komunikace) jsou přebírány z databázi jejich odborných správců.

Výškopisná složka vybavená vektorovým souborem vrstevnic umožňuje vytvářet účelově digitální model terénu. Pro menší území vybraná k řešení PÚ, např. při KPÚ v k.ú. Lichnov, bylo pro DMT použito výškopisné zaměření pořízené v rámci zaměření skutečného stavu.

Pro GIS aplikace zjišťování geomorfologických a topografických faktorů, ovlivňujících erozní a odtokové poměry byl použit a prakticky ověřen systém ATLAS DMT (*autor se podílel na vývoji nadstavbových hydrologických a erozních modulů*), který nabízí v sestavě s hydrologickými nástroji specializovaný modul využitelný v oblasti protierozní ochrany. Jedná se o graficko-početní aplikaci zaměřenou na stanovení půdního smyvu,

pracující podobně jako některé další nadstavby digitálního modelu terénu v prostředí programu Kres.

Toto prostředí umožňuje přebírat z modelu terénu výškopisné údaje, využívat všechny dostupné způsoby zobrazení (vrstevnice, sklonové poměry, hypsometrie, expozice) a nabízené funkce (import souborů DXF, podkreslení rastrových dat). Uživatel tak má při vytváření grafického dokumentu k dispozici informace důležité pro řešení konkrétní úlohy.

Program Kres, který je součástí systému ATLAS DMT, poskytuje grafické prostředí nejen k tvorbě základních výstupů digitálního modelu terénu, ale také pro specializované aplikace, které s daty modelu pracují a jejichž výsledky je třeba graficky prezentovat. Pro oblast hydrologie bylo vyvinuto několik modulů, jež mají sloužit jako pomocný nástroj při posuzování vlivu morfologie terénu na odtok vody z povodí, tj. zejména na dobu koncentrace ovlivňující významně hodnoty kulminačního průtoku a s ním související problematiku, jakou je například erozní ohroženost pozemků.

3.2 Rozbor erozních poměrů na zemědělských půdách

Rozbor erozních poměrů na zemědělských půdách byl proveden s využitím Univerzální rovnice pro výpočet erozního smyvu s využitím DMT v prostředí ATLAS, který umožnil automatizaci rozboru území na dílčí povodí až na erozně uzavřené celky - vymezení drah soustředěného odtoku (údolnic) a rozvodnic (hřbetnic). V hydrologických aplikačních modulech DMT byl zaveden pojem „dráha kapky“.

Dráha kapky se v hydrologických modulech objevuje ve dvou variantách vyplývajících ze způsobu její konstrukce. Je to jednak „prostá kapka“, která vychází ze zadaného bodu a postupuje po spádnicí směrem po svahu (podklad pro vymezení a výběr odtokových linií pro stanovení LS faktoru).

Druhým případem je „obrácená kapka“, jež naopak představuje spádovou křivku, která v daném bodě končí, tj. generuje se z bodu směrem proti svahu (prostředek pro rozbor území na dílčí povodí až na erozně uzavřené celky).

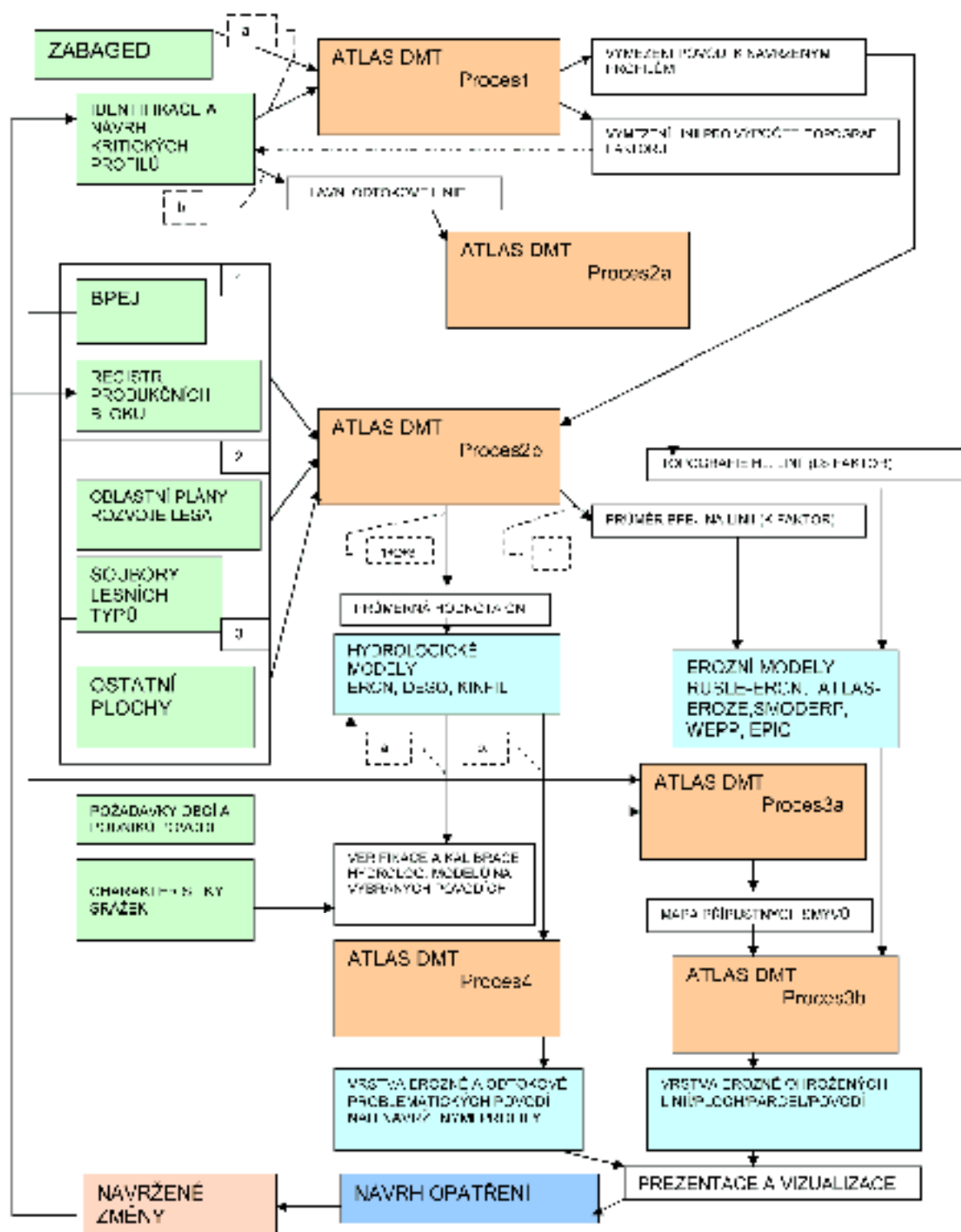
„Dráha kapky“ je lomená čára, která leží na ploše modelu terénu a má směr kolmý k vrstevnicím této plochy. Její hladkost závisí na vyhlazení modelové plochy. Jelikož vyhlazení plochy modelu se dosahuje rozdělením základní trojúhelníkové sítě na menší rovinné trojúhelníkové plošky, je i dráha „kapky“ složena z určitého počtu úseček. Jednotlivé úsečky na sebe navazují ve směru maximálního sklonu, takže linie vlastně znázorňuje jednu ze spádových křivek modelového terénu.

Návrhy výpočtových profilů pro stanovení topografických faktorů L a S, resp. K faktoru v USLE

Na základě podkladů ATLAS DMT, se v rámci celků erozně uzavřených navrhuje výpočtové profily - odtokové linie. Vyberou se profily, kde předpokládáme nejvyšší hodnotu L, S faktorů. Na jednom celku erozně uzavřeném se doporučuje stanovit min. 2 výpočtové profily.

Pro zvolenou odtokovou linii v modelovém území, jejíž průběh může být určen vhodně umístěnou „kapkou“ nebo zadaným polygonem je pozice počátečního a koncového bodu výpočtové trasy (profilu odtokové linie) v rámci navržené linie volitelná, což umožňuje zohlednit hranice pozemků, různé terénní překážky apod. Vzdálenost mezi počátečním a koncovým bodem trasy měřená podél dané linie je při výpočtu rozdělena na deset stejných intervalů, v nichž je z modelu terénu zjišťován sklon a pro něj může být individuálně zadán faktor náchylnosti půdy k erozi (K). Vliv vzdálenosti výpočtových intervalů od počátku trasy (horního okraje pozemku) je do řešení univerzální rovnice zaveden tím, že faktor sklonu

svahu (S) a faktor náchylnosti půdy k erozi (K) je stanoven jako vážený průměr příslušných hodnot z jednotlivých intervalů. Faktor délky svahu (L) je automaticky určen z vymezené výpočtové trasy.



Obr. 5 Schéma automatizace rozboru hydrologických a erozních poměrů

Hodnocení erozního ohrožení na lesních půdách

Podnětem ke vzniku eroze na lesní půdě je zpravidla použití nevhodných těžebně-dopravních technologií. Půda je erodována jednak při samotném těžebně-dopravním procesu, jednak následným působením srážkové vody na těch plochách, kde došlo ke stržení bylinného patra a humusového krytu a k poškození povrchového půdního minerálního horizontu. Souhrnně lze v této souvislosti hovořit o těžebně-dopravní erozi, definované jako objem půdy přemístěné v době těžby a soustřeďování dřeva působením dopravních prostředků, jejich nákladu a vody [Šach, 1988].

Odolnost půd proti těžebně-dopravní erozi je vázána na terénní typ, resp. technologie těžebně-dopravního procesu. Toto pojetí vychází z terénní a technologické typizace. Interakčními kritérii jsou únosnost podloží, erodovatelnost půd a odvození erozního faktoru. Příčinou těžebně-dopravní eroze (TDE) je také nevhodná druhová skladba lesa. Preventivní opatření by měla směřovat k většímu podílu přirozené skladby dřevin a dodržování technologické kázně, resp. asanačních opatření po těžební činnosti vůči strženému nadložnímu humusu.

K analýze odolnosti půd proti těžebně-dopravní erozi byly využity podklady zpracované Ústavem pro hospodářskou úpravu lesa (ÚHUL) Olomouc v rámci jejich spolupráce na autorem vypracované studii (pro Město Krnov a vybrané obce) „Obnova vodního režimu v krajině v povodí Opavy a Opavice“ - v roce 2004 a s využitím metody „Systému komplexního hodnocení lesních půd“, Projekt VaV/640/3/00 [Macků J, 2000].

Potenciální stav vyžaduje značnou náročnost na těžebně-dopravní technologie. Konkrétně to znamená optimalizaci dopravní sítě a preferenci sezónních těžebních prací (tj. mimo vegetační období, především na zmrzlé půdě a sněhové pokrývce) s cílem minimalizace porušení nadložního humusu.

Rizikové jsou svahy se sklonem nad 40% a preferované odtokové zóny podél vodotečí hydrografické sítě s velmi nízkým stupněm odolnosti vůči těžebně-dopravní erozi, které v žádném případě nesmí být pojižděny těžebně-dopravními prostředky. Plošná opatření se pak soustředí na pojiždění mechanismů na vymezeném okrsku s nízkou odolností proti těžebně-dopravní erozi, resp. s podmíněnou únosností. Ta spočívají jednak v používání flotačních pneumatik kolových traktorů (s nízkým měrným tlakem, tj. 100-50 KPa) a jednak v omezení období těžebně-dopravní činnosti, kdy je půdní profil nasycen vodou a hloubka koleje přesáhne 20 cm jednorázového pojezdu.

3.3 Rozbor odtokových poměrů

Základními údaji pro hodnocení odtokových poměrů a následný návrh komplexní ochrany a organizace povodí jsou hodnoty objemu přímého odtoku a kulminačního průtoku. Pro výpočet objemu odtoku a kulminačního průtoku byla použita metoda čísel odtokových křivek CN v klasickém tvaru a také v modifikaci modelu DeSQ.

Pro účely analýz byl zpracován digitální model terénu, který je pro hydrologické aplikace nezbytným zdrojem údajů o geomorfologických charakteristikách povodí. K tomu, aby aplikacemi nabízené výpočetní funkce podávaly nezkrácené informace, bylo třeba zajistit v rámci DMT „plynulý odtok“ z posuzovaných oblastí. Model vytvořený z prvotních vstupních dat ZABAGED byl proto zkontrolován a upraven vhodným zavedením povinných hran, změnou výšky existujících bodů a přidáním nových bodů.

Vyhodnocení geomorfologických poměrů

Geomorfologické poměry jsou dány geometrickými a sklonitostními charakteristikami povodí.

Geometrické charakteristiky

plocha povodí:	ovlivňuje objem a kulminaci celkového odtoku
tvar povodí:	ovlivňuje dobu soustředování odtoku do závěrného profilu povodí
průměrná délka svahu:	ovlivňuje dobu dobíhání odtoku do údolnice
délka údolnice:	ovlivňuje dobu dobíhání do závěrného profilu povodí (dobu koncentrace)

Tvar povodí byl charakterizován bezrozměrným součinitelem ω zahrnujícím plochu povodí F a délku údolí toku L a stanoví se podle vztahu:

$$\omega = \frac{F}{L^2}, \quad (3.1)$$

kteřý vlastně vyjadřuje poměr mezi průměrnou šířkou povodí a délkou údolí toku. Součinitel ω má pro vějířovitá povodí hodnotu menší než 0,25, pro protáhlá větší než 0,25. Hodnoty součinitelů ω pro zpracovávaná povodí byly stanoveny s využitím GIS a porovnány s údaji z publikace *Hydrologické poměry ČSSR* (díl 1, 1965).

Sklonitostní charakteristiky

jsou charakterizovány průměrnou sklonitostí zemědělské půdy, lesní a ostatní půdy a celkovou průměrnou sklonitostí povodí. Sklonové poměry spolu s geometrickými charakteristikami povodí a drsnostní charakteristikou povrchu ovlivňují rychlost proudění vody po svahu a v údolnici, tedy dobu dobíhání vody v povodí a dobu koncentrace, zásadně ovlivňují vývoj erozních a transportních procesů v povodí.

Plošné zastoupení bylo určeno na základě DMT a výškopisných podkladů na základě zaměření skutečného stavu v povodí Tetřevského a Lichnovského potoka při KPÚ Lichnov v povodí Čiziny.

Vymezení povodí k určenému profilu

V systému ATLAS, DMT se využívá spádová křivka (blíží se teoreticky dráze vodní kapky), jejíž nejnižší bod (kritický profil) je uživatelem zadán. Znamená to, že křivka z daného bodu postupuje směrem proti svahu. Její druhý konec leží buď na okraji modelu terénu, nebo v místě, odkud již „obrácená kapka“ nemůže dále stoupat (lokální výškové maximum, vodorovná plocha). Průběh křivky je dán vyhlazením modelového povrchu. Stupeň vyhlazení, jakožto základní číselný parametr tohoto objektu, lze měnit.

Vymezení zastoupení jednotlivých druhů pozemků a způsobu jejich využití

Vegetační pokryv a způsob využívání pozemků má přímý vliv na proces povrchového odtoku a na hydrologickou bilanci povodí z hlediska celkového objemu přímého odtoku, akumulaci vody v půdním profilu a v povrchových mikrodepresích. Společně se způsobem hospodaření a provozem zemědělské, průmyslové a komunální sféry v území má tento faktor mimořádný vliv na intenzitu erozních, transportních a akumulačních procesů v povodí, na kvalitu vody v hydrografické síti, na biotop vodního toku a jeho příbřežní zóny a na ekosystémy na tento biotop návazné. Vegetační kryt povodí ovlivňuje intercepci, evapotranspiraci, infiltraci, akumulaci v mikrodepresích, rychlost svahového odtoku a tím i dobu soustředování odtoku ze svahů povodí do údolnice.

Rozdělení na lesy, ornou půdu, travní porosty a ostatní plochy včetně ploch staveb a pozemních a zpevněných staveb dopravních a jejich plošná specifikace se stanovila ve

zkoumaných povodích s využitím registru produkčních bloků IACS a zastavěné nepropustné plochy se stanovily pomocí souboru popisných a geodetických informací katastru nemovitostí v okresech Bruntál a Opava.

Pro stanovení průměrné hodnoty CN na zemědělské části povodí jsou nezbytné vrstva BPEJ a vrstva registru produkčních bloků (pro identifikaci aktuálního rozmístění jednotlivých druhů pozemků).

Registr produkčních bloků (RPB) je součástí Integrovaného administrativního a kontrolního systému (IACS) pro oblast subvencí na plochy zemědělské půdy. IACS je ve všech členských zemích Evropské unie využíván pověřenými institucemi především k administraci a kontrole zemědělských dotací. Systém je založen na využití digitálních ortofotomap, zhotovených ze stereofotogrammetricky vyhodnocených leteckých snímků.

Při tvorbě RPB se využívá dvou základních informačních zdrojů:

- letecký snímek území ve formě digitální ortofotomapy,
- informace od uživatelů zemědělské půdy.

Digitalizace hranic produkčních bloků je provedena přímo s využitím digitální ortofotomapy v počítači. Výsledky jsou poté převedeny do podoby digitálních grafických a tabulkových dat, které jsou integrovány do projektu GIS. Veškerá data jsou ukládána v GIS databázích, což umožňuje provedení kategorizace produkčních bloků, snadnou údržbu a aktualizaci registru, tisk mapových výstupů pro zemědělce a v současné době i vývoj aplikace pro snadný a rychlý přístup k datům prostřednictvím internetu.

Zjištění návrhové srážky

Stanoví se s určitou pravděpodobností opakování podle údajů ČHMÚ, případně podle dat (z metodiky ÚVTIZ č.5/1992) zabudovaných v programu ERCN a DeSQ. K odhadu návrhového objemu přímého odtoku z malých povodí na našem území byly pro výpočet využity N-leté jednodenní srážkové úhrny (*Šamaj, Valovič, Brázdil, 1985*) nebo zpracování N-letých jednodenních srážkových úhrnů pro Čechy a Moravu - viz Typizační směrnice "Návrhové průtoky pro velmi malá povodí" Hydroprojekt Praha (1989).

Geologické a půdní poměry zemědělských a lesních půd

Geologické a půdní poměry ovlivňují propustnost hornin a jsou sekundárně určující pro charakteristiky půd. Půdní poměry jsou rozhodující pro intenzitu a velikost infiltrace a akumulaci vody v půdním profilu. Ovlivňují velikost podílu jednotlivých složek odtoku na odtoku celkovém a intenzitu erozních procesů. Stav povrchu půdy, vývojové stadium vegetace a pokryvná vrstva povrchu půdy ovlivňují retenční schopnost půdního povrchu.

Z hlediska odtokových poměrů pro určení čísel odtokových křivek CN je nezbytné vymezení hydrologických skupin půd.

Hydrologické půdní poměry jsou v povodí charakterizovány čtyřmi skupinami A až D podle rychlosti infiltrace.

Rozdělení do skupin vyžadovalo zjistit kategorie BPEJ na území povodí z map BPEJ 1 : 5000 a příslušné kategorie zařadit do uvedených hydrologických skupin podle Němečka [viz *Janeček 1992*]. Plochy jednotlivých hydrologických skupin půd v povodí byly zjištěny podle výměr jednotlivých BPEJ s využitím GIS.

Hydrogeologické poměry podloží byly brány do úvahy podle geologické mapy 1: 200 000.

Průměrná vlhkost půdy před povodňovou srážkou byla v povodí hodnocena pomocí ukazatele předchozích srážek označovaného API a zahrnujícího parametr klesání $k < 1$

(experimentální hodnota je 0,85 až 0,98) a velikost P_t srážky v době t dní před začátkem povodňové srážky a činí:

$$API_t = \sum_1^t P_t \cdot k^t \quad (3.2)$$

Takto se postupuje až do libovolného počtu předcházejících dní, jejichž počet bývá 20 až 30 dní podle klimatických podmínek [Dub - Němec, 1969].

Hodnoty ukazatele předchozích srážek API zahrnující dobu 30 dní před začátkem povodňové epizody byly dodány ČHMÚ Praha pro všechna hodnocená povodí. Čím je tento ukazatel vyšší, tím má být vliv předchozích srážek na vlhkost půdy větší.

Protože metodika určení hydrologických skupin půd a CN na zemědělských půdách je všeobecně známá, uvedu zde podrobněji jen metodu jejich stanovení na lesních půdách. Na metodice stanovení autor spolupracoval s pracovníky ÚHUL, zejména s J. Macků. Při analýze odtokových poměrů je nutno stanovit hodnotu CN na celém povodí, proto nemohl být lesní půdní fond opomenut.

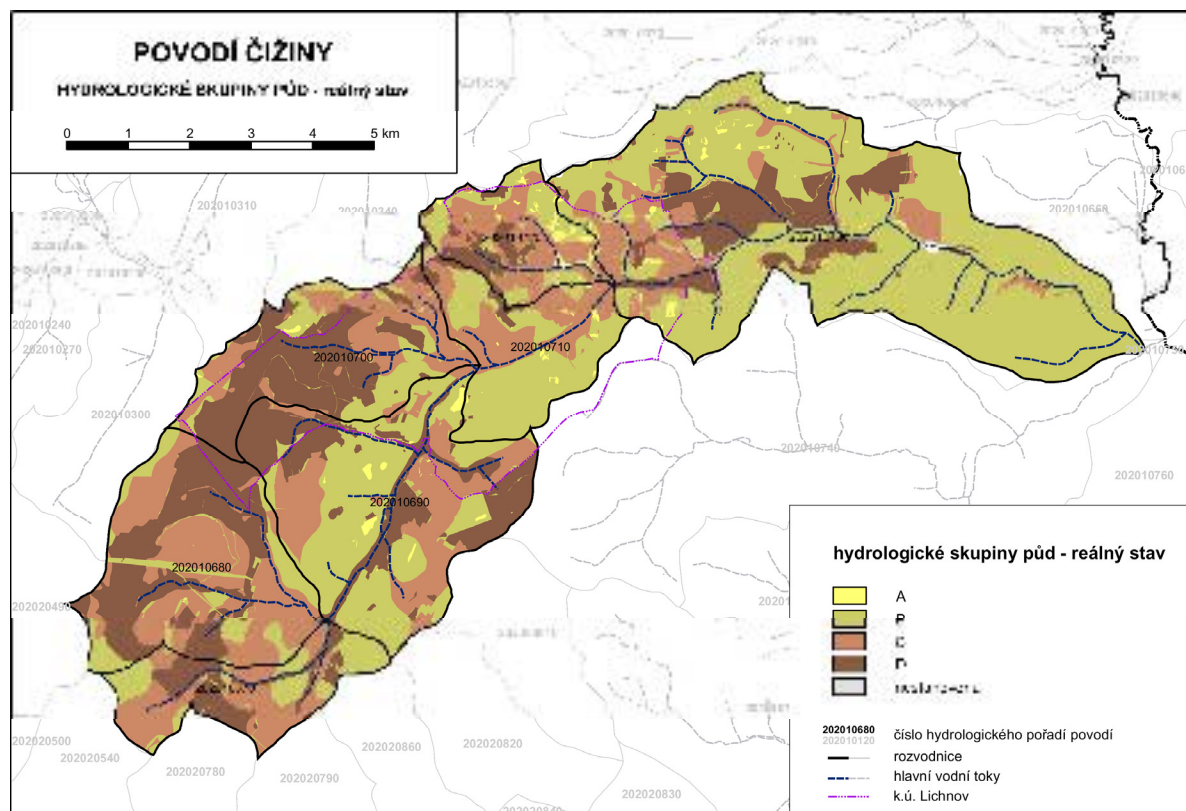
Určení hydrologických skupin půd na lesních půdách se doporučuje provádět na základě hodnocení vodního režimu lesních půd - *hydrické funkce lesa*.

Bonitované půdně ekologické jednotky jsou vymezeny pouze na zemědělských půdách; o lesních půdách, jejich půdním klasifikačním typu, jejich hloubce, skeletovitosti a zrnitostním složení je známo mnohem méně. K analýze hydrologických parametrů lesních půd byly využity podklady zpracované ÚHUL Olomouc v rámci jejich spolupráce na autorem vypracované studii (pro Město Krnov a vybrané obce) „Obnova vodního režimu v krajině v povodí Opavy a Opavice“, 2004. Z historického vývoje je les většinou situován na plochy, které nebylo možné zemědělsky využívat; svažité a horské polohy s výrazně vyšší skeletovitostí, s výrazně omezenou hloubkou a převážně lehčím zrnitostním složením. Minerální části půdních profilů mají proto retenční vodní kapacitu (RVK) relativně značně nízkou. Tato skutečnost je jen zčásti vyrovnávána vysokou RVK nadložního humusu (hrabanky).

Lesní porost svou prostou existencí usměrňuje oběh vody tak, že ve srovnání s holým povrchem :

- zvyšuje absolutní množství srážek tvorbou horizontálních srážek
- zvyšuje celkovou hodnotu výparu intercepce a transpirací přesto, že snižuje výpar z půdy
- převádí větší množství srážkové vody do půdy zvýšeným vsakem a vytváří předpoklady pro jejich větší akumulaci v půdě
- snižuje velikost povrchového svahového odtoku a tím zmenšuje předpoklady pro tvorbu erozních škod a zároveň zpomalením odtoku významně přispívá ke snížení kulminačních průtoků.

Tento vliv lesa na složky oběhu vody a na kvalitu vody vytvářející základní možnosti, jež může lesní hospodářství využívat pro regulaci oběhu vody podle vodohospodářských požadavků se nazývá *vodní (hydrická) funkce* [Papánek, 1972].



Obr. 6 Plošné zastoupení hydrologických skupin půd v povodí Čížiny

Hodnocení vodního režimu lesních půd - podklad pro stanovení hydrologických skupin půd se provádí s využitím tab.2.

Tab. 2 Charakteristiky lesních půd pro stanovení jejich hydrického režimu

funkční stupeň	Funkční interval	funkční kritérium typ vodního režimu	interakční kritérium		
			hydraulická vodivost	RVK	zrnitost
1	Do30	R G	0,025	nad 34	Nad 45
2	31-45	P	0,025-0,05	30 – 34	31 – 45
3	45-55	V L	0,05-0,12	23 – 30	21 – 30
4	55-70	T2	0,25	14 – 23	11 – 20
5	nad 71	T1	0,12 – 0,25	pod 14	Pod 10

Funkční interval – dle hodnotové funkční stupnice 1 - 5

Funkční stupeň 1-5 (hydrická funkce lesa velmi nízká - mimořádná)

Hydraulická vodivost při nasycení vodou v mm.min^{-1}

RVK...retenční vodní kapacita půdy v % obj. vlhkosti (Macků, 1982)

zrnitost v % I.kategorie

R – Rašeliny, **G** – Půdy trvale zamokřené, **V** – Půdy zamokřené svahovou proudící vodou

L – Luhy, **P** – Pseudogleje, **T2** – Terestrické lehké půdy, **T1** – Terestrické středně těžké a těžké půdy

Analýza hydrické funkce lesních porostů pro hydrologické výpočty v konkrétních zvolených profilech je zdrojovým podkladem pro vymezení hydrologických skupin půd. Jejich zastoupení v povodí Čížiny je znázorněno na obr. 6.

Stanovení čísel odtokových křivek CN v povodí

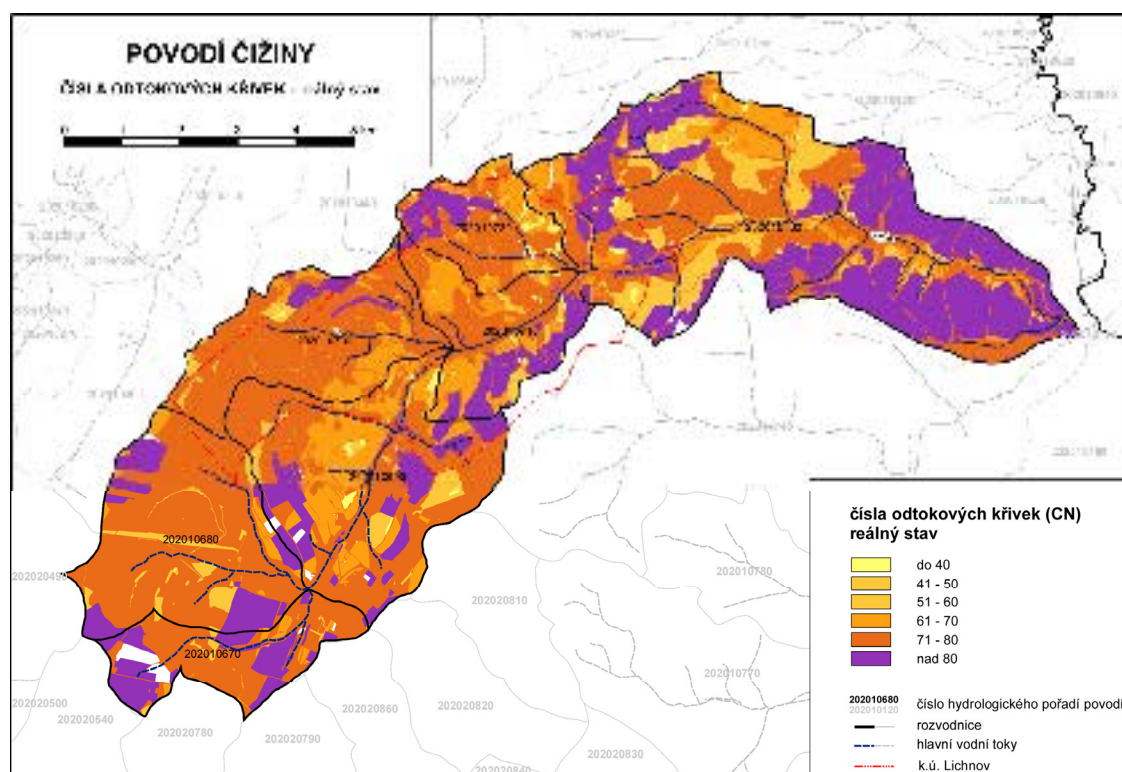
Metoda CN - křivek vychází z předpokladu, že poměr objemu odtoku k úhrnu přívalové srážky se rovná poměru objemu vody zadržené při odtoku k potenciálnímu objemu, který může být zadrženo.

Objem srážek je přeměněn na objem odtoku pomocí čísel odtokových křivek - CN. Jejich hodnoty jsou závislé na hydrologických vlastnostech půd, vegetačním pokryvu, velikosti nepropustných ploch, intercepci a povrchové akumulaci.

Čísla odtokových křivek - CN jsou tabelována podle

- hydrologických vlastností půd rozdělených do 4 skupin: A, B, C, D,
- využití půdy, vegetačního pokryvu, způsobu obdělávání a uplatnění protierozních opatření.

K tomuto stanovení se na zemědělské části povodí využijí digitální vrstvy BPEJ, RPB IASC a na lesní části povodí OPRL a SLT, na základě kterých se stanoví plošné zastoupení jednotlivých druhů pozemků v řešeném povodí, vč. plošného zastoupení hydrologických skupin půd (obr. 6).



Obr. 7 Plošné zastoupení CN v povodí Čížiny

Meliorační odvodnění, stávající vodohospodářská zařízení a další akumulční prostory

Meliorační odvodnění zaujímá značnou část povodí. Plochy odvodnění byly převzaty od územních pracovišť Zemědělské vodohospodářské správy v Opavě a Krnově, která je vedou na mapách 1:10 000.

Vodohospodářská zařízení, schopná významně transformovat povodeň, jsou dvě údolní nádrže Slezská Harta a Kružberk, obě na řece Moravici, největším přítoku Opavy. Pro stanovení retence povodí ovlivněného těmito nádržemi byl jejich vliv eliminován tak, že se denní objemy vody v nich zadržené přičítaly k příslušným denním průtokům pod nádržemi.

Kromě toho je v povodí pouze 15 významnějších rybníků o ploše větší než 4 ha, které jsou všechny v jeho dolní části. Celková zatopená plocha rybníků činí 207,6 ha, většina z nich je bočních. Jejich retence byla vzhledem k retenci povodí malá a proto se s ní v bilancích neuvažovalo.

Povrchové deprese, bažiny, mokřady jako přírodní krajinné prvky umožňují zadržování vody v povodí, příznivě ovlivňují hydrologickou bilanci i odtokový proces.

Nádrže, historické rybníky, poldry jsou významnými akumulacími a retenčními prostory v povodí. Kromě vodohospodářské funkce jsou malé vodní nádrže významné pro zachování ekologické rovnováhy krajiny. Zvláštním typem malých vodních nádrží jsou tzv. suché ochranné nádrže, které jsou buď přirozeným nebo umělým prostorem, plní funkci retenční, dočasnou akumulaci vody přispívají i ke zvýšení infiltrace.

4. INTEGROVANÁ OCHRANA POVODÍ PROTI NEPŘÍZNVÝM ÚČINKŮM POVRCHOVÉHO ODTOKU V POZEMKOVÝCH ÚPRAVÁCH

Systém integrované ochrany povodí byl autorem navržen a aplikován jako technologický proces integrující poměry využití území, GIS vrstvy, digitální model terénu a matematické modely výpočtu odtoku. Jedná se o návaznost aplikace a ověření metod a modelů pro výpočet erozního smyvu (USLE, ERCN, WEPP), navrhování základních hydrologických parametrů (metoda čísel odtokových křivek CN resp. dle DeSQ) až po konkrétní hydrotechnické výpočty, dokladující navržené plošné parametry jednotlivých prvků protierozní ochrany. Na analýzu numerických a grafických výsledků rozboru erozních a odtokových poměrů v řešeném povodí, navazuje digitální zpracování návrhu s využitím vhodných dostupných grafických software, umožňujících jak zpracování systému prvků dokladujících funkčnost navržených opatření, tak i optimální situační řešení včetně zobrazení celého komplexního řešení ochrany povodí v rámci digitálního modelu terénu. Digitální automatizovaný systém metod a postupů pro rozbor erozních a odtokových poměrů vyúsťující v optimalizaci odtokových poměrů v rámci komplexní ochrany a organizace povodí je propojen s celým systémem metod a postupů pro řešení pozemkových úprav, zejména komplexních pozemkových úprav. Ty jsou optimálním nástrojem jak pro aplikaci komplexních opatření umožňující vyřešení vlastní ochrany povodí a ostatních společných zařízení, tak pro vyřešení vlastnických vztahů k pozemkům v souvislostech s navrhovanými opatřeními a novým prostorovým a funkčním uspořádáním pozemků. Vyřešení vlastnických vztahů, optimální prostorové a funkční uspořádání pozemků v systému společných zařízení a následné vymezení potřebných ploch je základní podmínkou pro jejich realizaci. Bez důsledného vyřešení vlastnických práv je tato realizace v podstatě vyloučena.

Metody eliminace nepříznivých účinků povrchového odtoku v povodí (zejména v oblasti GIS pro automatizaci rozboru erozních a odtokových poměrů a navazující navrhování komplexní ochrany a organizace povodí) se autor snaží propracovat do uživatelsky přístupné formy, umožňující variantní řešení zpracovatelům návrhu komplexních pozemkových úprav (KPÚ) a důslednou kontrolu referátům životního prostředí (ochrana zemědělského půdního fondu, vodohospodářský orgán), pozemkových úřadů či jiných zadavatelských subjektů. Proto v rámci autorem koordinovaného projektu ev. č. QC1292 „Optimalizace systému komplexních opatření pro minimalizaci nepříznivých účinků povrchového odtoku v povodí a jeho aplikace v procesu pozemkových úprav“, řešícího komplexně optimalizaci odtokových poměrů v zemědělském a lesním povodí, bylo cílem vypracovat systém umožňující automatizaci rozboru erozních a odtokových poměrů, návrh a realizaci ochrany povodí, zejména v systému pozemkových úprav s využitím víceúčelových

opatření snižujících povrchový odtok, smyv a transport splavenin do vodních toků a zvyšujících retenční schopnost povodí a hospodárné využití srážek.

Z široké škály opatření, resp. staveb, které v daném konkrétním území lze použít, je možno s využitím modelu WRIC (viz kap 5.) vybrat jejich nejvhodnější kombinace, a to jak z hlediska jejich druhu, tak i s ohledem na jejich umístění, účinnost, rozsah a kapacitu. Výběr takové kombinace, tj. nalezení optimálního řešení, probíhá podle určitého kritéria (nebo i více současně působících kritérií) optimality. Tato kritéria jsou ekologická, hydrologická, sociální ale mohou být použita i kritéria technicko-ekonomické povahy aj.

Realizace navržených opatření se příznivě projeví snížením hodnot přímého odtoku, erozního smyvu a transportu splavenin prostřednictvím snížení hodnot CN.

4.1 Zhodnocení vodního režimu v zájmovém území KPÚ z hlediska protipovodňové ochrany

Posoudí se režim velkých vod z hlediska jejich geneze. K tomu se použijí schémata a modely uvedené v předchozích kapitolách. Úkolem rozboru je stanovit hlavní faktory, určující režim povodňových jevů na malých povodích zájmové oblasti KPÚ. Současně se provede posouzení hydrografické sítě a mikrosítě a její stability vzhledem k velkým vodám. Zjistí se rovněž kapacita stávajících inundačních prostorů a jejich vlastnosti.

Vymezení zátopového území velkých vod

Podle významnosti území se stanoví frekvence výskytu velké vody a její průtok, proti které se bude toto území chránit. Základním podkladem pro vyhodnocení možných vlivů povodňových průtoků je stanovení rozsahu zátopového území příslušného toku. Jde o velmi významný podklad pro územní plánování a pozemkové úpravy a způsob jeho stanovení je zakotven již v základním vodohospodářském právním předpisu, zákonu č.254/2001 Sb. „O vodách“.

Podkladem je rovněž přesné výškopisné a polohopisné zaměření území, do kterého se zakreslí zátopové území rozdělené do dvou zón:

1. zóna vymezuje směry pohybu povodňových proudů - povodňových vln. Jedná se o vymezení zóny podél vodních toků, jakož i dalších vodních cest, včetně akumulčních zón na ně navazujících, které periodicky neodvádějí průtok ale v průběhu povodní tam dochází k pohybům vodních mas.

2. zóna zahrnuje území vymezené od první zóny až k hranici zátopového území.

V rámci těchto zón se dále vyznačí:

- území velmi ohrožená, s vysokým transportem splavenin a plošnou, rýhovou i korytovou erozí přesahující dovolené limity,
- území ohrožená, s transportem splavenin, plošnou, rýhovou i korytovou erozí na hranici přípustných limitů,
- území ostatní, kde údaje pro hodnocení erozních procesů jsou v rozmezí 50-75 % stanovených maximálně přípustných hodnot,
- území ostatní, kde nebezpečí erozních procesů nehrozí.

4.2 Návrh opatření integrované ochrany povodí na zemědělských půdách

V povodí (dílčím povodí či na pozemku) ohroženém nepříznivými účinky povrchného odtoku - zejména formou erozního smyvu, tj. takovém, kde vypočtený průměrný smyv půdy je vyšší než přípustný smyv, je nutno realizovat protierozní opatření (PEO). Při zpracování

návrhu KPÚ musí být dána přednost PEO před požadavky na nejvhodnější tvar a velikost pozemku z hlediska mechanizace.

Návrh protierozních opatření v rámci KPÚ kompatibilních s dalšími systémy (hydrografická síť, cestní síť, ÚSES) musí výrazně svým charakterem určovat chování jakýchkoliv nových subjektů (vlastníků - soukromě hospodařících rolníků, jednoho nebo více velkoplošných uživatelů půdy svěřené jim vlastníky do pronájmu) tak, aby svou činností uchovávali vodohospodářsky vhodné podmínky z hlediska kvantity i kvality vodních zdrojů a napomáhali zlepšování vodohospodářských poměrů. Svou činností a způsoby hospodaření zahrnujícími organizační a agrotechnické prvky půdoochranných opatření budou doplňovat polyfunkční systém vymezený plánem společných zařízení v rámci KPÚ tak, že zabezpečí komplexní ochranu půdy a vodní komponenty.

Tato opatření, bere-li se v úvahu jejich efekt z dlouhodobého hlediska, nebudou sloužit jen ku prospěchu vodního hospodářství, ale i k prospěchu těch, kdo hospodaří na takto chráněných pozemcích (ochrana přirozené produkční schopnosti půd).

Infiltraci srážkové vody do půdy je možno zvýšit realizací protierozní ochrany. Vhodně vybudovaná protierozní opatření např. průlehy, terasy ap. podstatně snižují objem povrchového odtoku. Zmenšují rychlost po povrchu stékající vody a zvyšují infiltraci povrchové vody do svrchní vrstvy půdy. Jsou-li půdy zájmové plochy dostatečně propustné a mají-li dostatečnou kapacitu pro detenci i dynamickou zásobu vody, lze uvedenými protierozními opatřeními významně snížit objem povrchového odtoku na upravované ploše. Řešení vodního systému při KPÚ musí ovlivnit především rychlost pohybu dynamické zásoby vody v povodí a velikost statické zásoby vody na povrchu povodí.

Zpomalení pohybu (odtoku) dynamické vody v povodí se docíluje:

- systémem protierozní ochrany půd, tj. zpomalením a snížením plošného povrchového odtoku, retenčním účinkem v systému hydrografické sítě a mikrosítě a snížením průtokové rychlosti vody v nich,
- návrhem systému malých vodních nádrží s maximálně velkým ochranným prostorem a systému suchých ochranných nádrží - poldrů.

Možné způsoby konkrétního řešení jsou podrobně uvedeny zejména v celostátní metodice „Ochrana zemědělské půdy před erozí“ [Janeček a kol., 2002], ve které autor zpracoval kapitulu „Technická protierozní opatření“, a v autorem zpracovaných *metodikách VÚMOP Praha č.17 „Specifika řešení komplexních pozemkových úprav v pásmech hygienické ochrany povrchových vodních zdrojů“ a č. 19 „Doporučený systém protierozní ochrany v procesu pozemkových úprav“.*

4.3 Návrh opatření ke zvýšení retence vody v povodí při povodních na lesních půdách

Povrchový odtok na lesních půdách není zpravidla plošný, ale realizuje se jako odtok soustředěný do hydrografické mikrosítě, která zahrnuje drobné terénní prohlubně, rýhy po přibližování vytěženého dřeva, přibližovací linky až po cestní síť, která je obvykle významným transportním článkem velkých povodňových průtoků.

Příčinou tohoto jevu je zpravidla vysoká infiltrace srážkové vody do lesní hrabanky, která vodu nejen shromažďuje, ale též transportuje. Vsakovací schopnost na lesních půdách závisí na půdním typu. Minimálních hodnot dosahuje na degradovaných lesních půdních typech s malými hloubkami půdního profilu pod smrkovými monokulturami. Maximálním hodnotám se blíží na lesních půdách v dobrém strukturním stavu, s vysokou vzdušnou kapacitou a dostatečnou hloubkou půdního profilu (alespoň 1 m).

Takové půdy se vyskytují v lesích s dřevinnou skladbou, která se blíží přírodě blízkému stavu. Proto není opodstatněné tvrzení, že za podobných povodní, jako byla

např. v červenci 1997 na Moravě, vegetace ani způsob obhospodařování půd, popřípadě provedené leso-technické úpravy nemají žádný význam a ke tlumení povodně nemohou přispět. Podstatná úloha lesa na snížení objemu odtékajících povodňových vod byla řadou šetření dokázána. Projevuje se zejména v počátcích katastrofální povodně a dokazuje tak, že složení vegetace, způsob hospodaření a s nimi svázaná retenční funkce lesních půd mohou podstatně ovlivnit množství povodňového odtoku.

Pokud jde o hrazení bystřin, pak není pochyb o tom, že koncepčně provedené úpravy v perimetrech povodí dokáží provést katastrofální velké vody bez markantních škod. Nejúčinnějším prostředkem pro snížení účinku povodní jsou opatření lesnicko-pěstební v jejich povodích a lesnicko-technická na bystřinách a stržích.

Možnosti hospodářských opatření účinně ovlivnit hydrické vlivy ve smyslu vodohospodářských požadavků spočívají [Herynek 2002]:

- v ovlivňování záměrné tvorby horizontálních srážek
- v zadržování srážkové vody a ve zpomalování jejího odtoku
- ve snižování (zvyšování) nežádoucích složek výparu úpravou struktury lesních porostů, zamezení narušení humusových vrstev.

Toho lze dosáhnout následujícími hospodářskými opatřeními:

- úpravou struktury lesních porostů (druhovú skladba, věková struktura a prostorová úprava), obmýtí, obnova a výchova porostů
- volbou vhodných těžebních a dopravních technologií
- optimalizací a všestrannou výstavbou lesní dopravní sítě
- úpravou vodního a vzdušného režimu lesních půd a jejich protierozní ochranou
- úpravou lesnatosti a rozmístěním lesa v povodí
- retence lesní půdy závisí na fyziologické mocnosti půdního profilu (prokořenění) a formě i mocnosti humusu; tedy vlastnosti, které dělají lesní půdu lesní půdou s maximálním objemem makropórů
- z hydrického hlediska je neporušenost půdního profilu a zachování vlastností lesní půdy preferovanou záležitostí

5. OPTIMALIZACE NÁVRHU OPATŘENÍ V POVODÍ

Extrémní hydrologické jevy v posledních letech zvyrazňují známou skutečnost, že na velké části území České republiky je třeba věnovat značnou pozornost problematice protipovodňové a protierozní ochrany. Nejvíce ohroženy vodní erozí jsou zemědělské pozemky, na nichž často dochází k velkým odtokům srážkových vod transformujícím se ve vodních tocích do povodňových vln. Postihovány jsou i lesní pozemky, zejména při nevhodné dopravě, technologii těžby a skladbě porostů. Řešení problematiky ochrany území před nepříznivými a ničivými účinky vody musí tedy začínat na plochách povodí, a to vždy a při jakémkoliv zásahu do krajiny. Největšími zásahy do zemědělské krajiny jsou komplexní pozemkové úpravy, které - vedle dalších neméně významných cílů - mají v rámci navržených společných zařízení odstranit anebo alespoň podstatně omezit nepříznivé účinky povrchového odtoku (zejména vodní erozi) a stát se tak jednou z nejdůležitějších součástí organizace a ochrany území.

Jak bylo konstatováno v předchozích kapitolách této práce, integrované ochrany území lze dosáhnout ovládnutím odtoku srážkových vod prostředky protierozní ochrany a vodohospodářských opatření. K řešení vodohospodářské problematiky vodních toků byla již sestavena řada matematických modelů - většinou simulačních, některé s možností exaktní matematické optimalizace. Určitý přehled těchto modelů, vč. jejich charakteristik a možností

aplikací zpracoval *Kos (1992)*. Zajímavou kombinaci použití simulační a optimalizační modelové techniky při zpracování projektu konkrétní vodohospodářské soustavy popsali *Major, Lenton et al. (1979)*, třímodelový přístup k řešení vodohospodářských soustav zvolili *Onta, Gupta a Harboe (1991)*. Obecněji se vývojem a možnostmi využívání těchto modelů zabýval *Benedini (1988)*. V České republice se optimalizačními modely pro řešení vodohospodářských soustav zabývali *Korsuň et al. (2004)*. Pravděpodobně však dosud nebyl vytvořen optimalizační model, který by k řešení vodohospodářské problematiky umožnil přiřadit i ochranu území a opatření k snížení objemu a kulminace odtoků vod na ploše povodí.

Optimalizační postup navrhování integrované ochrany území před škodlivými účinky vod byl zpracován v České republice v letech 2001 – 2002 v rámci řešení projektu výzkumu a vývoje Národní agentury pro zemědělský výzkum č. QC1292 „*Optimalizace systému komplexních opatření pro minimalizaci nepříznivých účinků povrchového odtoku v povodí a jeho aplikace v procesu pozemkových úprav*“ [*Dumbrovský et al. 2003*]. Koordinátorem projektu byl Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy v Praze, společnickým pracovištěm Fakulta stavební Vysokého učení technického v Brně. Tento postup navazuje na výsledky předchozího výzkumu, zaměřeného na problematiku optimalizačního modelování vodních toků s nádržemi [viz sborník *Patera, Korsuň et al., 2002*].

Vytvořený postup je univerzálním nástrojem, použitelným pro kteroukoliv územní lokalitu. Ze všech možných alternativ rozličných protierozních a vodohospodářských opatření v daných podmínkách každé konkrétní lokality umožňuje nalézt jejich nejvhodnější kombinaci. Přitom nemusí jít vždy jen o lokality zemědělsky využívaných pozemků, do řešení lze pojmout i lokality na lesních anebo urbanizovaných územích, popř. soubory lokalit na různých územích.

5.1 Postup řešení modelem WRIC

Proces optimalizace návrhu systému *integrovaného řízení vodního režimu (WRIC – Water Regime Integrated Control)* na území povodí začíná zpracováním souboru variantních návrhů organizačních, agrotechnických, biotechnických a technických opatření na jednotlivých lokalitách zájmového území. Ke všem těmto variantám je třeba odvodit hydrogramy přímého odtoku vody z návrhové srážky. Dále je nutno zpracovat varianty vodohospodářských opatření na všech úsecích vodních toků a variantní návrhy retenčních ochranných nádrží. Do kategorie vodních toků jsou v rámci tohoto postupu řazeny nejen řeky, potoky a bystřiny, ale i jen občas protékané vodoteče, jako jsou svodné kanály, průlehy a dráhy soustředěného odtoku v údolnicích.

Následuje výběr nejvhodnější kombinace ze všech takto připravených variant. Vzhledem k tomu, že pro některé prvky systému je nutno najít optimální dimenze, jde zpravidla o značný, při spojitém řešení až nekonečný počet možných kombinací. K nalezení nejvhodnější kombinace je proto nezbytné použít optimalizačního matematického modelu. Tento model byl vytvořen na bázi smíšeně diskrétního programování [*Korsuň et al., 2002, Dumbrovský et al., 2003*], jeho základními stavebními kameny jsou tři obecně formulované dílčí modely:

- A. dílčí model ochranných opatření na jednotlivých lokalitách zájmového území,
- B. dílčí model vodního toku,
- C. dílčí model nádrže.

Z těchto dílčích modelů lze sestavit optimalizační model integrovaného řízení vodního režimu (model *WRIC*) pro kteroukoliv konkrétní území. Dílčí modely se do modelu *WRIC* vkládají podle potřeby opakovaně tak, aby přesně kopírovaly strukturu modelovaného systému.

Pro každou optimalizační úlohu je třeba předem stanovit jedno kritérium anebo i více současně působících kritérií optimality. Pro daný účel může být stanovena celá řada kritérií jak ze sféry ekonomické, tak i ze sféry ekologické, vodohospodářské, sociální aj. Je ovšem třeba nejen vytipovat nejvhodnější kritéria po stránce kvalitativní, ale mít také možnost hodnoty každého vytipovaného kritéria kvantifikovat. Navíc v případě několika současně působících kritérií optimality je třeba každému kritériu přisoudit přiměřenou váhu, se kterou bude vstupovat do řešení a která bude prosazovat jeho vliv na výsledek tzv. kompromisního řešení v konkurenci s ostatními kritérii. Dosahování kompromisních řešení lze v řadě případů považovat za skutečně integrované postupy, respektující principy udržitelného rozvoje a jeho tři hlavní dimenze: environmentální, sociální a ekonomickou.

Při vytváření postupu optimalizace návrhu systému *WRIC* ve spojení s procesem organizace území na úrovni pozemkových úprav byl jako jedno z vhodných kritérií optimality formulován požadavek maximální ochrany osídlených a ostatních území v povodí s vynaložením minimálních prostředků. Je to kritérium složené ze tří současně působících dílčích ekonomických kritérií:

1. minimalizace průměrných ročních ztrát (materiálních škod; předpokládá se, že vstupní požadavky a podmínky nepřipustí řešení, které by mohlo vést ke ztrátám na lidských životech), vznikajících plošnými a poté ve vodních tocích soustředěnými odtoky srážkových / povodňových vod,
2. minimalizace průměrné roční ekonomické újmy v zemědělské produkci související s realizací navrhovaných ochranných opatření na zemědělských pozemcích,
3. minimalizace průměrných ročních vlastních nákladů (úhrn nákladů na provoz a údržbu + odpisy základních prostředků) navrhovaných biotechnických a vodohospodářských opatření.

Vzhledem k tomu, že ve všech třech kritériích jde o průměrné roční hodnoty, vyčíslené např. v Kč.rok⁻¹, lze těmto kritériím přisoudit podle uvážení event. i stejné váhy. Avšak s ohledem na tu skutečnost, že první z těchto kritérií působí nejen v ekonomické sféře – jeho účinky směřují i do sociální oblasti a navíc také do oblasti vodohospodářské, neboť minimalizují odtok vody z povodí v průběhu návrhové srážky – mohl by být jeho účinek na výsledek optimalizačního řešení oproti ostatním dvěma kritériím zvýrazněn větší vahou. Podle potřeb každé konkrétní úlohy *WRIC*, která by měla být optimalizačně řešena, lze ovšem zvolit i jiná, pro daný případ významnější kritéria optimality.

Optimalizační matematický model je soustavou rovnic, které – zjednodušeně řečeno – modelují chování daného systému, proměnné veličiny v rovnicích popisují strukturu systému a dimenze jeho jednotlivých prvků. Nerovnice, které se vyskytují v každém modelu, jsou v průběhu jeho řešení pomocí doplňkových proměnných převedeny do formy rovnic, proto je v textu užíváno jen výrazu „rovnice“. Zmíněné dílčí modely byly vytvořeny v modelovacím a výpočtovém systému GAMS (*General Algebraic Modeling System*), a to v obecné formě [Charamza et al., 1993], takže jich lze využívat k modelování kteréhokoliv systému integrované ochrany území. Z povahy řešené problematiky vyplývá definování všech v modelu použitých proměnných veličin jako proměnných nezáporných, a to buďto spojitých nebo binárních (mohou nabývat jen hodnot 0 anebo 1). K označení konstant a koeficientů je použito jiných symbolů. Aktivita probíhající v čase je třeba v celém systému modelovat podle jednotné společné časomíry.

Jak již bylo naznačeno, řešení modelu podle zvoleného kritéria (souboru kritérií) optimality musí odpovědět na tyto základní otázky:

- a) Jaká je nejvhodnější kombinace variant organizace území, způsobů hospodaření a ochranných opatření v každé dílčí části povodí?
- b) Mají v souvislosti s opatřeními ad a) a k nim příslušejícími odtoky srážkové vody vstoupit do řešení navrhované úpravy vodotečí a navrhované nádrže? Které z nich a s jakými

průtočnými kapacitami koryt vodotečí, s jakými objemy retenčních, event. i zásobních prostorů nádrží a s jakými parametry jejich výpustných zařízení?

Přitom samozřejmě vstupy navrhovaných úprav vodotečí a nádrží do řešení, jejich uspořádání a dimenze zpětně ovlivňují prostřednictvím kritéria (souboru kritérií) optimality výběr nejvhodnější kombinace variant ad a).

Ochranná opatření v zájmovém území – dílčí model A

Předpokládejme, že ochranná opatření organizační, agrotechnická, lesotechnická a biotechnická budou na zájmovém území, které je povodím určité vodoteče (jak již bylo uvedeno, do pojmu vodoteč jsou zde zahrnuty řeky, potoky, bystřiny, existující anebo navrhované svodné kanály či průlehy), navrhována zpravidla v rámci pozemkových a lesotechnických úprav za účelem snížení povrchového odtoku srážkové vody a tím i zmenšení projevů vodní eroze na pozemcích a škod v zájmovém území; do škodlivého odtoku je třeba zahrnout i méně významný odtok hypodermický, v dalším textu tento odtok jmenovitě uváděn není, je připojen bez dalšího komentáře k odtoku povrchovému

Návrhy ochranných opatření jsou zpracovány v každém konkrétním případě před sestavením optimalizačního modelu (preoptimalizačně) jako účelově vytvořené soubory různých, vzájemně se doplňujících zásahů do jednotlivých dílčích částí povodí. Takovou dílčí částí povodí může být např. území údolní nivy a svahu nad jedním břehem určitého úseku lokální vodoteče v prostoru od břehové čáry až po rozvodnici anebo – v případě stejného charakteru území nad oběma břehy určitého úseku vodoteče – plocha celého mezipovodí příslušejícího k tomuto úseku.

Ta část povrchového odtoku vody z návrhové srážky, která nebude souborem ochranných opatření v povodí zadržena – nazvěme tuto část *zbytkovým odtokem* – se soustředí do příslušné vodoteče a vytvoří v ní návrhovou odtokovou, resp. povodňovou vlnu. Doba T průchodu návrhové povodňové vlny vodotečí se rozdělí do r stejně dlouhých časových intervalů ($\check{C}I$); doba trvání t jednoho $\check{C}I$ tak bude dána vztahem $t = T / r$. Pro jednotlivé $\check{C}I$ se potom vyčíslí dílčí objemy návrhové povodňové vlny.

Soubor ochranných opatření pro každou dílčí část povodí může být navržen buďto jednoznačně anebo – a to má pro optimalizaci integrovaného řešení velký význam – alternativně např. takto:

- alt. 1 – nejlevnější, s nejmenším ochranným účinkem a s nejmenší ekonomickou újmou,
- alt. 2 – nákladnější, se zvětšeným ochranným účinkem a malou ekonomickou újmou,
- alt. 3 – nákladnější, s ještě větším ochranným účinkem a velkou ekonomickou újmou, atd.

V případě akceptování výše uvedených kritérií optimality, je třeba ke každé preoptimalizačně zpracované alternativě souboru ochranných opatření na dílčí části povodí vyčíslit následující ukazatele:

- její očekávaný ochranný účinek ve finančním vyjádření průměrné roční výše škod na pozemcích, porostech, sídlištích, komunikacích, objektech atd., ke kterým bude docházet po její realizaci,
- očekávaná průměrná roční ekonomická újma v zemědělské a lesnické produkci související s její realizací (změna struktury osevu, zábor zemědělské a lesní půdy pro biotechnická a lesotechnická opatření apod.),
- náklady na její realizaci a její roční průměrné vlastní náklady,
- hydrogram zbytkového odtoku vody do vodoteče v jednotlivých $\check{C}I$.

Tyto údaje představují vstupní informace pro dílčí model A. V průběhu optimalizačního řešení bude z takto připravených alternativ souborů ochranných

opatření pro každou dílčí část povodí vybrána jen jediná – optimální – alternativa s nejhodnějšími ukazateli; nemusí to být vždy alternativa s největším ochranným účinkem – tento výběr závisí na vahách kritérií optimality, uplatněných v modelu *WRIC*. Zbytkové odtoky soustředující se v určitém úseku vodoteče z přilehlých dílčích částí povodí, chráněných optimálními soubory opatření, budou způsobovat postupné narůstání povodňové vlny procházející vodotečí. Ochranu proti škodám, které by tato vlna mohla způsobit, poskytnou ochranná opatření na vodoteči a retenční nádrže.

Vodoteč – dílčí model B

Tento dílčí model zachycuje průchod návrhové povodňové vlny úseky vodoteče, které buďto zůstanou ve stávajícím stavu koryta, resp. průlehu (upraveného, popř. neupraveného) a přirozených inundací, anebo může být současně požadována optimalizace návrhu úpravy koryta, event vč. jeho ohrázení a řízení některých inundací, anebo rekonstrukce dříve provedené úpravy a ochranných hrází. Úsekem vodoteče může být samozřejmě i vodní anebo suchá nádrž, která bude modelována způsobem uvedeným dále.

Řešením modelovaného j -tého úseku ($j.U$) vodoteče budou vyčísleny povodňové škody, které na úseku vzniknou. Dále budou vypočteny odtoky vody z $j.U$ do $j+1.U$ v jednotlivých $\check{C}I$ průchodu povodňové vlny. S ohledem na dobu dotoku vody od počátku ke konci $j. U$ bude určen také časový posun, který ovlivní střetávání povodňových vln na hlavním toku a v ústích jeho přítoků.

V postavení základní proměnné je v dílčím modelu **B** objem vody, která se v $j.U$ nachází v průběhu $i.\check{C}I$. K této proměnné jsou vztaženy hodnoty dalších proměnných: průměrná rychlost vody protékající úsekem, doba dotoku vody od počátečního ke koncovému profilu úseku, výše povodňových škod v úseku a odtok vody z úseku. Průběhy těchto nelineárních funkcí se odvodí z preoptimalizačních variantních řešení vodoteče, v optimalizačním modelu jsou nahrazeny funkcemi po částech lineárními. Obdobně v případě potřeby úpravy, hrázení anebo jiných technických zásahů do koryta vodoteče je třeba odvodit nákladovou funkci tohoto zásahu.

Nádrž – dílčí model C

Formulace dílčího modelu vychází z představy navrhované víceúčelové průtočné vodní nádrže se zatím neznámými objemy prostorů ochranného ovladatelného, ochranného neovladatelného a celkového. Potřebné objemy prostor stálého nadržení $S_n \geq 0$ a zásobního $Z \geq 0$ jsou konstantní – tyto hodnoty vyplývají z jiných než ochranných požadavků. Cílem řešení této nádrže je nalezení takové její velikosti, která zahrne požadované konstantní objemy prostorů S_n a Z a přitom svými ochrannými prostory zabezpečí redukcí kulminačního odtoku z nádrže při průchodu návrhové povodňové vlny na optimální hodnotu.

Neznámý objem celkového prostoru nádrže je proměnnou veličinou, která je shora limitována maximální hodnotou V_{max} odpovídající v preoptimalizačních řešeních největší realizovatelné variantě návrhu nádrže; zdola je omezena minimální, pro praxi ještě přijatelnou variantou s celkovým objemem V_{min} .

Nelze vyloučit případ, že vybudování nádrže v systému nebude z hlediska uplatněných kritérií optimality výhodné. Proto se do souboru proměnných veličin zavede binární proměnná; s nulovou hodnotou této proměnné nádrž do řešení nevstoupí, hodnotou jedna je vstup nádrže do řešení uvolněn.

Průchod návrhové povodně přehradním profilem modelují povodňové bilanční rovnice, formulované pro každý $\check{C}I$. Kapacitu spodní výpusti lze v modelu modifikovat změnami jejích dimenzí, obdobně je možné počítat s různou kapacitou bezpečnostního přelivu.

Takto formulovaný dílčí optimalizační model navrhované víceúčelové vodní nádrže lze využít také k řešení jednoúčelové nádrže jen s ochrannou funkcí jednoduše tak, že se z příslušných rovnic vypustí objem zásobního prostoru ($Z = 0$). Vypustíme-li i objem stálého nadržení $S_n = Z = 0$, je možno tímto modelem řešit průchod návrhové povodňové vlny suchou ochrannou nádrží.

Řešení modelu

Sestavení modelu z výše uvedených dílčích částí v takové formě, aby modelová soustava rovnic věrně kopírovala konkrétní systém komplexní ochrany území se všemi v něm předpokládanými a variantně připravenými návrhy opatření, vyžaduje především zavedení do obecně formulované soustavy rovnic souboru konkrétních koeficientů a konstant, odvozených z preoptimalizačně zpracovaných podkladů. Pro nestandardní požadavky na strukturu modelovaného systému anebo při zavedení opatření, které není v zobecněných dílčích modelech zahrnuto, je třeba k modelu připojit další rovnice, které tyto požadavky zachytí.

Vlastní řešení modelu metodou smíšeně diskrétního programování probíhá na počítači ve výpočtovém systému GAMS.

5.2 Ověření modelu WRIC na systému Hustopeče – Starovice

K ověření funkce a možností využití popsaného optimalizačního postupu byl vybrán systém integrované ochrany území, navrhovaný v rámci pozemkové úpravy na zemědělských pozemcích v prostoru mezi městem Hustopeče a obcí Starovice na jižní Moravě (obr.8). Svažitě pozemky tohoto území jsou využívány vesměs jako orná půda. Povrchové odtoky vody z dešťových srážek se zde soustřeďují do hlavní údolnice, která ústí do zastavěné části města Hustopeče. Značné, často se opakující škody vznikají vodní erozí na zemědělských plodinách, smyvem a transportem splavenin z pozemků a zejména zatápním části města.

Navržený systém integrované ochrany této zemědělské lokality a města je založen na souboru organizačních, agrotechnických a biotechnických protierozních opatření na obdělávaných pozemcích a na dvou opatřeních vodohospodářských:

1. převedení soustředěného odtoku ze svodného průlehu, resp. kanálu $K1$ v hlavní údolnici přes terénní sedlo do vedlejší údolnice a v ní zřízení svodného kanálu $K2$, vyústujícího do Starovického potoka,
2. zřízení suché ochranné nádrže (poldru) $P1$ k zachycení části odtoků z hlavní údolnice a dalšího poldru $P2$ na kanále $K2$ ve vedlejší údolnici nad obcí Starovice.

Návrh systému komplexní ochrany pro dané území vychází ze situace, která nastane při dešťové srážce se stoletou periodicitou (návrhová srážka). Ochranná opatření na ploše povodí byla preoptimalizačně navržena v 10 různých alternativách (tab. 3), pro oba poldry byly odvozeny funkce objemová a nákladová (vlastní náklady). Předpokládá se, že plnění poldru $P1$, který je vůči kanálu $K1$ boční nádrží, se uskuteční přes boční přeliv na kanále.

Pro jednotlivé alternativy protierozních opatření byly z návrhové srážky odvozeny objemy a kulminace povrchového odtoku vody ve formě odtokových hydrogramů ze dvou povodí: z povodí poldru $P1$ a z povodí poldru $P2$. Průchod odtokových vln profily hrází obou poldrů trvá od 510 minut v alt.1 a 2 do 195 minut v alt. 9 a 10. Vyžaduje se omezení kulminačních průtoků vody v korytech pod oběma poldry: pod $P1$ by tento průtok (odtok z $P1$), který bude zaústěn do městské kanalizace v Hustopečích, neměl přesáhnout množství $0,125 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, pod $P2$ by s ohledem na ochranu intravilánu Starovic měl být průtokový limit volen nejvýše hodnotou $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a dále variantně hodnotami $1,0$ a $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, aby byl zjištěn vliv velikosti tohoto průtoku na optimální řešení systému komplexní ochrany území.

Účelová funkce modelu (kritérium optimality) minimalizuje úhrn průměrných ročních hodnot povodňových škod, ekonomické újmy a vlastních nákladů biotechnických opatření a poldrů v poměru 1:1:1. Je zajištěno, aby do optimálního řešení mohla v obou povodích

vstoupit jen jediná alternativa systému plošné ochrany, přitom však může být v každém povodí jiná. Tyto alternativy jsou pro povodí poldru *P1* označeny symbolem *A1* a příslušným pořadovým číslem alternativy, pro povodí poldru *P2* je obdobně použito symbolu *A2*.

Poldry do řešení vstoupit mohou, ale také nemusí. Odtoková vlna z povodí poldru *P1* může být zčásti anebo celá převedena do poldru *P2*. Přípustné maximum hloubky vody v poldru *P1* činí 5.0 m, v poldru *P2* je to 4.34 m. Dimenze spodní výpusti poldru *P1* (světlost výpustného potrubí kruhového profilu) $d = 200$ mm, u poldru *P2* je modelována možnost výběru $d = 200, 300, 400, 500$ anebo 600 mm.

5.3 Výsledky a diskuse

V souvislosti s výzkumným zaměřením úkolu byla nejprve ověřena funkce a chování modelu, poté byly vyzkoušeny možnosti experimentování na modelu řešeného systému [Korsuň a kol., 2002; Dumbrovský-Korsuň, 2003]. Optimalizační řešení proběhla s výše uvedenými třemi různými hodnotami přípustného maxima odtoku vody z poldru *P2* a dále experimentálně s různě velkými odtoky vody z obou povodí: s reálnými odtoky, odvozenými ze stoleté srážky pro jednotlivé alternativy plošných opatření v obou povodích, a s fiktivními násobky těchto odtoků. Hlavní ukazatele výsledků řešení s reálnými odtoky a s jejich pětinasobky jsou shrnuty do *tab.4*. Ze stejného důvodu byly propočteny varianty s dalšími změnami vstupních podmínek (např. s vyloučením vstupu poldrů do řešení), výsledky těchto řešení zde uvedeny nejsou. Jedno optimalizační řešení modelu na výkonném počítači vyžadovalo strojový čas řádově v minutách.

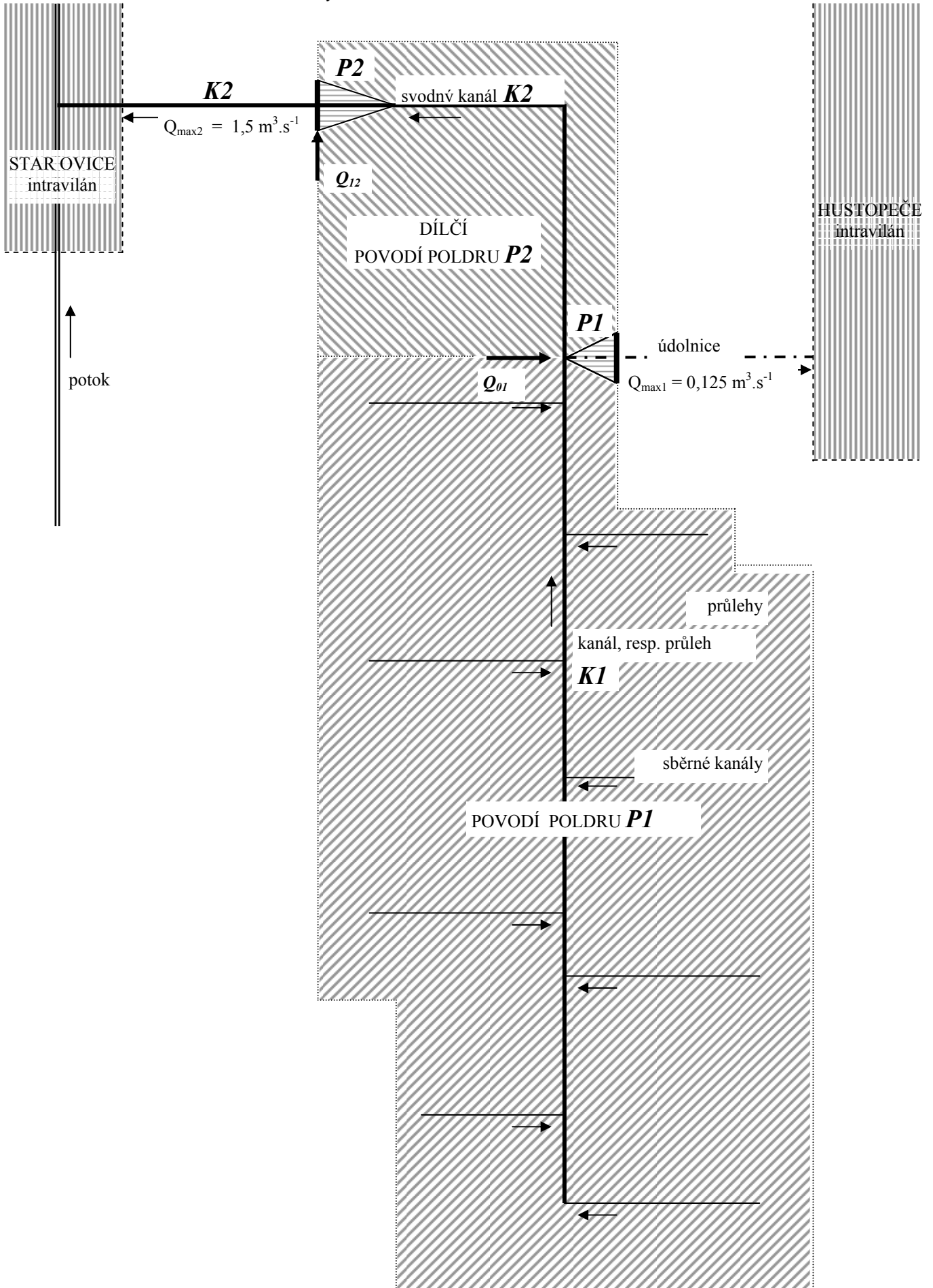
Reálnému stavu vstupních podmínek odpovídají optimální řešení variant č. 1, 3 a 5 (*tab. 4*), která vycházejí z reálně odvozených povrchových odtoků vody z pozemků a ze tří reálných hodnot přípustného maxima odtoku vody z profilu hráze poldru *P2* nad Starovicemi. Výsledky následných experimentů na optimalizačním modelu vedly k řadě zajímavých poznatků. Nejvýznamnější je však zjištění, že zájmové území lze v požadované míře ochránit bez zásahu do výrobních podmínek rostlinné produkce, tzn. bez ekonomické újmy na produkci jen samotnými vodohospodářskými opatřeními: svedením povrchového a hypodermického odtoku průlehy a kanály přes terénní sedlo do poldru *P2*. Tento návrh systému ochrany ovšem platí jen za předpokladu setrvání u aplikovaného kritéria optimality, v případě nějaké jeho změny (např. změny vah u použitých tří dílčích kritérií) anebo aplikace odlišného kritéria může být výsledný návrh řešení jiný.

Výsledky praktické aplikace optimalizačního postupu navrhování integrované ochrany území potvrzují jeho funkčnost a použitelnost. V těch případech, kdy nebude předem zřejmé, která z možných přívalových srážek by mohla být nejnebezpečnější, model umožní řešení se všemi vytipovanými dešťovými srážkami tak, aby výsledek optimálně vyhověl požadavkům ochrany území.

Vytvořený model může být využit k nalezení buďto jediného optimálního řešení, anebo – v případě potřeby ověření polohy optimálních řešení při změnách některých vstupních podmínek a požadavků – vícekrát, ve více verzích s konstantami a koeficienty modifikovanými těmito změnami. Přitom řešení každé z těchto verzí je dotaženo až do absolutního optima, takže jednotlivé verze lze spolehlivě navzájem porovnávat. Možnost takového vícenásobného použití modelu a získání celého souboru optimálních řešení mnohem lépe zviditelňuje charakter a chování řešeného systému v reakcích na modifikace vstupních podmínek a požadavků a dovoluje tak podstatně zkvalitnit proces rozhodování o konečné podobě jeho návrhu.

Velká výhoda modelu spočívá v obecné formulaci jeho komponent - dílčích modelů ochranných opatření na jednotlivých lokalitách zájmového území, vodního toku a nádrže. To by mělo umožnit jeho bezproblémové užívání pro optimalizační navrhování integrované ochrany území v jakýchkoliv podmínkách a na kterékoliv lokalitě.

Obr. 8 Schéma systému HUSTOPEČE – STAROVICE



Tab. 3 Alternativy systému integrované ochrany zájmového území pozemkové úpravy Hustopeče – Starovice

Číslo alter.	Charakteristika alternativy	Průměrné ekonomické ukazatele [Kč.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]		roční VN biotech. opatření	na jednotku plochy [Kč.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]	Celkové průměrné roční ztráty a vlastní náklady	
		roční ekon. újma	roční VN			na plochu povodí [tis Kč.rok ⁻¹]	k poldru P1 (98 ha)
1	TTP na veškeré zemědělské půdě, CN=61, biot.opať., bez poldrů	6000	470	1305	7775	762,0	365,4
2	TTP na veškeré zemědělské půdě, CN=61, biot.opaťení, s poldry	6000	470	0	6470	634,1	304,1
3	Vyloučeny ENP, CN=72, biotechnická opatření, bez poldrů	1849	973	2000	4822	472,6	226,6
4	Vyloučeny ENP, CN=72, biotechnická opatření, s poldry	1849	973	195	3017	295,7	141,8
5	Vyloučeny ENP, CN=76, bez biotechnických opatř., bez poldrů	1849	0	3500	5349	524,2	251,4
6	Vyloučeny ENP, CN=76, bez biotechnických opatření, s poldry	1849	0	400	2249	220,4	105,7
7	Ponechány ENP, CN=75, biotechnická opatření, bez poldrů	780	1300	2600	4680	458,6	220,0
8	Ponechány ENP, CN=75, biotechnická opatření, s poldry	780	1300	243	2323	227,7	109,2
9	Ponechány ENP, CN=81, bez biotechnických opatř., bez poldrů	0	0	7600	7600	744,8	357,2
10	Ponechány ENP, CN=81, bez biotechnických opatření, s poldry	0	0	700	700	68,6	32,9

Legenda k tab.1: TTP trvalé travní porosty

ENP erozně nebezpečné plodiny

CN=XX ... číslo odtokové křivky určující potenciální retenci povodí

VN vlastní náklady

Tab. 4 Přehled hlavních ukazatelů vybraných optimálních řešení systému integrované ochrany zájmového území pozemkové úpravy Hustopeče – Starovice ve variantách změn vstupních podmínek

U k a z a t e l	Měrná jednotka	Pořadová čísla variant změn vstupních podmínek												
		přípustné maximum odtoku z poldru P2						násobky odtoků z povodí						
		1	2	3	4	5	6	1x	5x	1x	5x	1x	5x	
		1,5 m ³ .s ⁻¹	1,0 m ³ .s ⁻¹	1,0 m ³ .s ⁻¹	0,5 m ³ .s ⁻¹	0,5 m ³ .s ⁻¹	0,5 m ³ .s ⁻¹							
Hodnota kritéria optimality	tis Kč.rok ⁻¹	233,7	679,9	243,7	686,8	253,3	737,8	AI-10	AI-8	AI-10	AI-8	AI-10	AI-10	AI-4
z toho: průměrné vlastní náklady – biotechnická opatření	tis Kč.rok ⁻¹	0,0	127,4	0,0	127,4	0,0	127,4	A2-10	A2-10	A2-10	A2-10	A2-10	A2-10	A2-10
– poldry	tis Kč.rok ⁻¹	132,2	419,3	142,2	426,2	151,8	409,2							
– celkem	tis Kč.rok ⁻¹	132,2	546,7	142,2	553,6	151,8	504,6							
celkové průměrné roční ztráty (škody + ekonomické újmy)	tis Kč.rok ⁻¹	101,5	133,2	101,5	133,2	101,5	233,2							
Alternativa opatření v povodí poldru P1	bez rozm.	AI-10	AI-8	AI-10	AI-8	AI-10	AI-4							
P2	bez rozm.	A2-10	A2-10	A2-10	A2-10	A2-10	A2-10							
Poldr P1 – celkový objem	tis m ³	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
– maximální hloubka vody	m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
– výška hráze	m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
– pořadové číslo časového intervalu max. naplnění poldru	bez rozm.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
– kulminační odtok z P1 do kanalizace v Hustopečích	m ³ .s ⁻¹	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
– vnitřní průměr kruhového potrubí spodní výpusti	mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
– délka hrany bočního přelivu z kanálu K1 do poldru P1	m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
– průměrné vlastní náklady	tis Kč.rok ⁻¹	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
– investiční náklady	mil Kč	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
Poldr P2 – celkový objem	tis m ³	27,6	138,7	29,8	142,6	32,0	133,0							
– maximální hloubka vody	m	2,172	4,283	2,245	4,334	2,316	4,209							
– výška hráze	m	2,772	4,883	2,845	4,934	2,916	4,809							
– pořadové číslo časového intervalu max. naplnění poldru	bez rozm.	8	12	8	13	9	15							
– kulminační odtok z P2 do Starovického potoka	m ³ .s ⁻¹	1,5	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5							
– maximální výška paprsku vody přepadající přes přeliv	m	0,357	0,317	0,263	0,274	0,061	0,173							
– vnitřní průměr kruhového potrubí spodní výpusti	mm	600	500	500	400	400	300							
– průměrné vlastní náklady	tis Kč.rok ⁻¹	132,2	419,3	142,2	426,2	151,8	409,2							
– investiční náklady	mil Kč	3,1	10,7	3,4	11,0	3,6	10,4							

6. PLÁN SPOLEČNÝCH ZAŘÍZENÍ POZEMKOVÝCH ÚPRAV

Návrh plánu společných zařízení představuje soubor opatření, které mají zabezpečit naplnění jednoho z hlavních cílů KPÚ a to, že pozemkovými úpravami se vytvářejí podmínky k racionálnímu hospodaření a k zabezpečení ochrany přírodních zdrojů.

Soubor opatření zahrnuje zejména:

- opatření sloužící ke zpřístupnění pozemků jako polní nebo lesní cesty, mostky, propustky, brody, železniční přejezdy a podobně,
- protierozní opatření pro ochranu půdního fondu jako protierozní meze, průlehy, zasakovací pásy, záchytné příkopy, terasy, větrolamy, zatravnění, zalesnění apod.,
- vodohospodářská opatření sloužící k neškodnému odvedení povrchových vod a ochraně území před záplavami jako vodní nádrže, rybníky, úpravy toků, odvodnění, ochranné hráze, suché poldry a podobně,
- opatření k ochraně a tvorbě životního prostředí, zvýšení ekologické stability jako místní územní systémy ekologické stability (ÚSES), doplnění, popřípadě odstranění zeleně, terénní úpravy a podobně.

Cílem opatření je:

- Zpomalení nebo potlačení degradačních procesů na zemědělské půdě, především minimalizování škod způsobovaných vodní a větrnou erozí, ochrana a zúrodnění půdního fondu vč. optimálního prostorového a funkčního uspořádání druhů pozemků. Současný stav i případný návrh protierozních opatření se posuzuje na základě výpočtu průměrné ztráty půdy a jeho porovnání s přípustnou hodnotou ztráty půdy stanovenou podle hloubky půdního profilu. O použití jednotlivých způsobů ochrany rozhoduje zejména jejich účinnost, požadované snížení smyvu půdy, snížení maximálních průtoků a nezbytná ochrana vodních zdrojů, koryt vodních toků, vodních nádrží a zastavěných částí obce. Zájmy ochrany půdy, vody a krajiny mají přednost před jinými požadavky na pozemky.
- Zlepšení vodního režimu území vč. kvality povrchových a podzemních vod, řešení vodohospodářských poměrů vč. povodňové ochrany a ochrany vodních zdrojů.
- Zajištění ekologické rovnováhy přírodního prostředí. Opatření zahrnuje řešení ÚSES na úrovni plánu, řešení tvorby a ochrany krajinného rázu, podpory biodiverzity krajiny, udržení estetických hodnot, obnovy tradičních a kulturních hodnot území.
- Řešení zemědělského dopravního systému, tj. zpřístupnění pozemkových tratí i jednotlivých pozemků a zvýšení prostupnosti krajiny.

Navrhovaná opatření se vzájemně doplňují a prolínají. Prvky ÚSES i dopravní sítě mohou současně plnit funkci protierozní, krajino tvornou aj.

Plán společných zařízení se zpracuje tak, aby obsahoval přehled všech navržených společných zařízení včetně změn druhů pozemků; v případě potřeby jsou zvláště uvedeny ty změny druhů pozemků, jichž se netýkají navrhovaná společná opatření. Plán obsahuje rovněž přehled výměry půdy, kterou je nutno vyčlenit k provedení společných zařízení, s rozdělením na pozemky ve vlastnictví státu, obce, popřípadě pozemky jiných vlastníků.

Návrh společných zařízení obsahuje celkovou bilanci výměry půdního fondu, kterou je nutno vyčlenit k jeho provedení včetně bilance použitých pozemků ve vlastnictví státu a ve vlastnictví obce, popřípadě rozsah, kterým se na potřebné výměře půdního fondu podílejí vlastníci pozemků, nelze-li pro tyto účely použít jen pozemky ve vlastnictví státu a pozemky ve vlastnictví obce.

Plán vychází z územně plánovací dokumentace (ÚPD), z vyhodnocení podmínek rozhodujících orgánů státní správy a z vyhodnocení připomínek dotčených organizací. Návrh se projedná s těmito orgány na kontrolním dni. Navazuje na výsledky průzkumu, především analýzu současného stavu, která poskytuje základní údaje o území a jeho přírodních podmínkách. Dále vychází z rozboru současného stavu, tj. poměrů ekologických, dopravních, erozních, vodohospodářských vč. rozborů zemědělské a lesnické činnosti a nezemědělských aktivit. Navazuje na jiné záměry, studie, projekty zpracované v daném území (např. programy obnovy vesnice, péče o krajinu, revitalizace toků, říčních a potočních niv, programy EU aj.).

Zájmové území, kterého se dotýká plán společných zařízení, nekoresponduje pouze s hranicí obvodu pozemkových úprav, ale do řešení je nutno zahrnout podle potřeby širší územní jednotku - povodí pro řešení hydrotechnických, protierozních, revitalizačních či jiných vodohospodářských opatření, biochoru pro návrhy systémů ekologické stability, případně změnu hranice k.ú., propojení sítě polních cest aj. Pouze na základě návrhu optimálního prostorového a funkčního vymezení společných zařízení a po odsouhlasení tohoto velmi důležitého koncepčního institutu je možné začít s umístěním nově vytvořených půdně ucelených hospodářských jednotek, případně nově vyčleněných pozemků.

Při návrhu plánu je nutné v prvé řadě respektovat základní krajinnotvorné, ekologické, půdoochranné či jiné ekologické aspekty dané potřebou zajištění polyfunkčnosti jednotlivých navržených prvků v závislosti na přírodních podmínkách. V tomto případě není možné vždy akceptovat veškeré náměty a přání vlastníků. K námětům a přáním je potřeba diferencovaně přihlížet v případě, že neodporují ekologickým a funkčním zásadám. Zejména se doporučuje využít zkušeností místních znalců.

Protipovodňová a protierozní opatření jsou v rámci procesu KPÚ (kde jsou důsledně řešeny vlastnické vztahy) zahrnuta do systému polyfunkční kostry plánu společných zařízení, na kterých se vlastníci podílejí poměrnou částí své výměry, když v prvé řadě byla použita státní půda. KPÚ v tomto směru poskytují jedinečnou příležitost k optimálnímu řešení transformace odtoku z ohroženého povodí, zejména při respektování těchto zásad:

- Při výběru katastrálních území pro KPÚ je třeba upřednostnit ty, ve kterých je nutno realizovat protipovodňová opatření.
- Při zajišťování podkladů pro řešení KPÚ je vedle standartních podkladů nutno zajistit celou řadu speciálních podkladů, zejména hydrologických, včetně výškopisného zaměření území, na základě kterého je vymezena čára rozsahu inundace.
- Při úvodním jednání je třeba seznámit vlastníky půdy se skutečností, že v rámci KPÚ bude řešena protipovodňová ochrana.
- Při průzkumu a analýze skutečného stavu je třeba zohlednit aspekty protipovodňové ochrany.
- Při stanovení nároků vlastníků je nutno rozdělit řešené území na oblast inundace a ostatní části území a jednotlivé parcely vlastníků identifikovat na základě tohoto rozdělení.
- Technické prvky protipovodňové ochrany s důrazem na důsledné vyřešení protierozní ochrany budou v rámci KPÚ zahrnuty do systému společných zařízení a bude na ně přednostně použita půda ve vlastnictví státu.
- Vedle polohopisného zaměření skutečného stavu, kde důraz je kladen na zaměření hlavních směrů povodňového průtoku a drah soustředěného povrchového odtoku, bude provedeno výškopisné zaměření.

V rámci plánu společných zařízení bude území rozděleno na dvě základní zóny :

- do zóny I budou lokalizovány v maximální míře zatravněné pozemky státní a obecní a při návrhu společných zařízení bude při jejich realizaci třeba zohlednit směr pohybu

hlavních povodňových proudů (např. při návrhu polních cest, ÚSES i dalších objektů je třeba tyto situovat tak, aby netvořily překážku plynulému odtoku vod);

- do zóny II budou důsledně situována opatření pro zvýšení retenční schopnosti krajiny (zejména protierozní opatření v návaznosti na ÚSES);
- do oblastí plošného vymezení suchých nádrží (poldrů) i dalších technických opatření bude přednostně situována státní a obecní půda. Pro tyto lokality bude zpracován způsob zemědělského a lesního využití;
- na realizaci systému společných zařízení v rámci KPÚ sloužících k protipovodňové ochraně je třeba přednostně vyčlenit finanční prostředky.

7. ZÁVĚR

Provádění KPÚ se stalo jedním z nejdůležitějších činitelů ochrany a organizace povodí, zejména v oblasti protierozní a protipovodňové ochrany a ochrany vodních zdrojů. Racionálními a koordinovanými přístupy lze při pozemkových úpravách (zejména v oblasti srážkoodtokové fáze koloběhu vody v krajině), docílit zvýšení vodní retenční schopnosti půd a krajiny a zajistit tak snížení transportu splavenin, erozního smyvu a hodnot přímého odtoku.

Optimalizace a cílené využívání krajiny v nových podmínkách vlastnických vztahů má význam jak při zajišťování obecné ochrany vod v krajině tak i speciální ochrany vodních zdrojů. Pozemkové úpravy jsou v současné době významným nástrojem nejen při tvorbě a ochraně krajiny, ale i při ochraně vodní komponenty prostřednictvím komplexní ochrany a organizace povodí, navazující na technická liniová a plošná opatření na vodním toku a dávající důraz na aplikaci systému protierozních a protipovodňových opatření v procesu pozemkových úprav (jako je návrh technických, biotechnických, organizačních a agrotechnických opatření v ploše povodí), majících vedle protierozní a protipovodňové ochrany účinek ve zvýšení retenční schopnosti krajiny a zvýšení její ekologické stability.

Ochrana a organizace povodí před nepříznivými účinky povrchového odtoku a povodněmi není nikdy absolutní. Strukturálními opatřeními však lze výrazně omezit erozní smyv a transport splavenin a částečně omezit povodňové kulminační průtoky, transformovat povodňovou vlnu a tím příznivěji ovlivnit časový průběh povodní.

Optimalizace návrhu opatření v povodí, proti nepříznivým účinkům povrchového odtoku v pozemkových úpravách navrhovaná a prakticky aplikovaná autorem je v souladu se strategií ochrany před povodněmi v České republice, jejíž hlavní body byly popsány v úvodu.

Pozemkové úpravy poskytují dostatek nástrojů k návrhu protierozních a protipovodňových opatření, a to zejména v případě ochrany povodí při přívalových deštích a také do určité míry pro ochranu před povodněmi vzniklými v důsledku extrémních úhrnů srážek.

V prvním případě je návrh protipovodňových opatření založen na důsledné protierozní ochraně půdy, která je povinnou součástí každého projektu KPÚ a uplatňuje se v rámci návrhu polyfunkční kostry plánu společných zařízení, sestávající zejména ze vzájemně propojených dopravních, ekologických, protierozních a vodohospodářských opatření s důrazem na řešení odtokových poměrů.

Ve druhém případě, tj. při ochraně před povodněmi vzniklými v důsledku extrémních úhrnů srážek, se do jisté míry uplatní navržená komplexní ochrana povodí, ale hlavní možnosti poskytují KPÚ při uspořádání vlastnických práv v inundačních územích zaplavovaných při povodních v suchých nebo i v trvale zatopených nádržních prostorech, jakož i v případě realizace dalších, zejména liniových technických prvků protipovodňové ochrany. Přitom je možno v maximální míře využít státní a obecní půdu, kterou lze alokovat

právě do těchto území a omezit tak krajní způsob vyvlastnění soukromých pozemků ve veřejném zájmu. Kromě toho mohou být pozemky vlastníků, kteří chtějí intenzivně hospodařit, přemístěny z území protipovodňové ochrany (kde se předpokládá především zatrávnění) do jiných méně ohrožených míst.

Výsledky však dokazují, že ani příznivé hodnoty přirozené retenční schopnosti krajiny nezabránily v případě extrémních, dlouhotrvajících regionálních dešťů v povodí řek při povodních, škodám na majetku a dokonce i životech obyvatel. Z toho lze učinit závěr, že při budování protipovodňových opatření bude nutné volit vedle důsledné realizace opatření v ploše povodí ve zdůvodněných případech také technická opatření s vyšším retenčním účinkem, tedy i zóny rozlivu, poldry a vodní nádrže.

8. LITERATURA

- BENEDINI, M. 1988. Developments and possibilities of optimization models. *Agric. Water Manag.*, 13, s. 329 - 358.
- CHARAMZA, P. a kol. 1993. Modelovací systém GAMS. MFF UK, Praha.
- CHOW, VEN TE. 1964. *Handbook of Applied Hydrology*, Mc Graw – Hill Book Company, NewYork.
- DUB, O. – NĚMEC, J. 1969. *Hydrologie (technický průvodce 34)*. SNTL Praha, s. 380.
- DUMBROVSKÝ, M. 1999. Možnosti zvýšení retenční schopnosti povodí v rámci řešení pozemkových úprav, In: *Krajina, meliorace a vodní hospodářství na přelomu tisíciletí*. ICID, VUT, MZLU, Brno.
- DUMBROVSKÝ, M. 1999. Rozbor hydrologických a erozních poměrů v KPÚ s využitím GIS, In: *sborník Acta horticulturae et regioteecturae, Slovenská univerzita v Nitre*, s.35 - 37.
- DUMBROVSKÝ, M. 2002. Možnosti automatizace rozborů hydrologických a erozních poměrů v procesu komplexních pozemkových úprav s využitím GIS. *Časopis Pozemkové úpravy MZe ČR – ÚPU*, č. 42, s. 15 – 17.
- DUMBROVSKÝ, M. 2002. Možnosti zvyšování retenční schopnosti povodí v KPÚ, *Sborník přednášek z 12 mezinárodní Konference pozemkových úprav, Jestřábí ČMKPÚ*.
- DUMBROVSKÝ, M. 2002. Využití DMT pro rozbor erozních a odtokových poměrů v KPÚ, *Sborník z konf. GIS Seč*.
- DUMBROVSKÝ, M. a kol. 1995. Doporučený systém protierozní ochrany v procesu komplexních pozemkových úprav. *Metodika 19, VÚMOP Praha, Praha*, s. 79.
- DUMBROVSKÝ, M. a kol. 1998. Rozbor retenčního potenciálu povodí řeky Opavy s analýzou zastoupení a plošného rozmístění kultur. *Výzkumná zpráva, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha*, s. 25
- DUMBROVSKÝ, M. a kol. 2003. Optimalizace systému komplexních opatření pro minimalizaci nepříznivých účinků povrchového odtoku v povodí a jeho aplikace v procesu pozemkových úprav, *Projekt výzkumu a vývoje Národní agentury pro zemědělský výzkum č. QC1292*.
- DUMBROVSKÝ, M. - KORSUŇ, S. 2003. Optimalizace návrhu opatření v povodí v KPU. *Časopis Pozemkové úpravy MZe ČR – ÚPU*, č. 56, s. 19 – 21.
- DUMBROVSKÝ, M. a kol. 1995. Specifika řešení komplexních pozemkových úprav v pásmech hygienické ochrany povrchových vodních zdrojů. *Metodika 17, VÚMOP Praha, Praha*, s. 54.

- DUMBROVSKÝ, M. - MEZERA, J. 2000. Metodický návod pro pozemkové úpravy a související informace. Metodika VÚMOP Praha, s.189.
- DUMBROVSKÝ, M.a kol. 2004. studie „Obnova vodního režimu v krajině v povodí Opavy a Opavice“. s.96
- FÍDLER, J. 1997. Odtok z drenážních systémů na zemědělských půdách, In: Povodně a krajina 97, ICID-CIID, Brno, 4/13-4/17.
- HERÝNEK, J. 2002. Projevy eroze na lesních půdách a možnosti její prevence, Sborník konference Lesy a povodně
- HRÁDEK, F. 1998. Model DES Q - verze 4.1 - Teorie modelu, díl 2. AQUALOGIC Praha.
- JANEČEK, M. 1984. Odhad objemu přímého odtoku z malého zalesněného povodí „metodou čísel odtokových křivek“. Sborník ze symposia „Lesotechnické meliorácie v ČSSR“ Brno – Zvolen – Ostrava. s. 156 – 166.
- JANEČEK, M. 1992. Vliv heterogenity půdního povrchu a pokryvu na povrchový odtok a smyv půdy za podmínek simulovaných přivalových srážek. Vědecké práce VÚMOP Praha, č. 7, s. 41 – 54.
- JANEČEK, M. a kol. 2002. Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV Praha, 201s.
- KOLEKTIV. 1965 – 1970. Hydrologické poměry ČSSR (díl 1 až 3). HMÚ Praha.
- KOLEKTIV. 2000. Návrh strategie ochrany před povodněmi pro území ČR, Ministerstvo zemědělství, Praha, s. 12.
- KOLEKTIV. 2000. Hodnocení retenční kapacity půd a krajiny při povodni a možnosti jejího zvyšování“ Projekt NAZV ev. č. EP 9153
- KORSUŇ, S. et al. 2002. Vytvoření a ověření modelu pro optimalizaci návrhu komplexní ochrany a organizace povodí. Záv. Zpráva. A01-NAZV-QC1292. FAST VUT Brno.
- KORSUŇ, S. et al. 2002. Vytvoření a ověření modelu pro optimalizaci návrhu komplexní ochrany a organizace povodí. Záv. Zpráva. A01-NAZV-QC1292. FAST VUT Brno.
- KOS, Z. 1992. Vodohospodářské soustavy a jejich matematické modely při měnícím se klimatu, Vod. Hosp., 7, 211-216.
- KUTÍLEK, M. 1978. Hydropedologie SNTL – Alfa, Praha, s. 295.
- MACKŮ, J. 1982. Stanovení hodnot polní kapacity a jejich využití v pedologické a inženýrskogeologické praxi, ÚHÚL Brandýs nad Labem.
- MACKŮ, J. 1997. Funkce lesa v hospodářsko-úpravnickém plánování, disertační práce, MZLU Brno, s. 150.
- MACKŮ, J. 2000. Systém komplexního hodnocení lesních půd, In: Systém komplexního hodnocení půd, projekt VaV 640/3/99, AOPAK ČR.
- MACKŮ, J. a kol. 1996. Metodika zpracování oblastních plánů rozvoje lesů, ÚHÚL Brandýs n.L., s. 90.
- MAJOR, D.C., LENTON, R.L. et al. 1979. Applied water resource systems planning. Prentice-Hall Inter., Inc., London.
- NACHÁZEL, K. - STARÝ, M. - ZEZULÁK, J. 2004. Užití metod umělé inteligence ve vodním hospodářství, Academia, Praha, 2004, s.380.
- ONTA, P.R - GUPTA, A.D. - HARBOE, R. 1991. Multistep planning model for conjunctive use of surface and groundwater resources. Jour. Water Res. Plan. Manag., 6, 662-678.
- PAPÁNEK, F. 1978. Teória a prax funkčne integrovaného lesného hospodárstva, Lesnícké štúdie, VÚLH Zvolen, 29, s. 218.
- PATERA, A. - VÁŠKA, J. - ZEZULÁK, J. - ELIÁŠ, V. - KORSUŇ, S. et al. 2002. Povodně : prognózy, vodní toky a krajina, ČVUT / ČVVS, Praha.
- PRUDKÝ, J. 2000. Analýza průběhu retence v 16 dílčích povodích řeky Opavy. Studie. Brno: MZLU Brno, s. 18.

- ŠAMAJ, F. – VALOVIČ, Š – BRÁZDIL, R. 1985. Denné úhrny srážek s mimoriadnou vydatnosťou v období 1901 – 1980, Zbor. Prác SHMÚ Bratislava.
- SCS (Soil Cons. Service). 1972. National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, Washington, D.C.
- SPITZ, P. - DUMBROVSKÝ, M. - PODHRÁZSKÁ, J. 2000. Hodnocení retenční schopnosti krajiny při povodni Vědecké práce VUMOP, s.137 - 148.
- STARÝ, M. 2001. Hydrologická studie transformace povodňových vln (Všeminka – Slušovice, Opavice - Město Albrechtice). Hydrologická studie. Brno, s. 30.
- ŠACH, F. 1988. Stanovení rizika těžebně dopravní eroze na lesních pozemcích. [Estimating risk of logging erosion on forest lands]. Lesnická práce, 67, č. 11, s. 490 - 493.

Summary

Extreme hydrological phenomena of recent years have highlighted a well-known fact that it is necessary to pay a greater attention to the problems of flood-prevention and soil erosion control on a large part of the Czech Republic territory. Farming grounds are the most endangered territories. Great runoffs of precipitation waters occur on them and the waters transform to flood waves in watercourses. Forest grounds are also affected, especially in case of unsuitable transport, wood cut and growth make-up. Based on the detailed understanding of the functioning of the river-soil-sediment-groundwater system, an integrated risk-based management approach needs to be developed to prevent or reduce the negative impacts caused by human activities on the water/sediment/soil system (erosion, loss of organic matter, contamination, sealing, compaction, loss of biodiversity, vulnerability to floods and landslides, etc.). The management approach should be restricted to the natural boundaries of the hydrological system and should take into account the impact of potential climate changes on hydrology, ecology, soil properties and functions, water quality and quantity. In order to achieve this, a number of targets have to be addressed, such as the identification of the sources of pollution and their actual and future status, the improvement of risk-assessment methodologies. Solving of the problems of territory protection from unfavourable and damaging effect of waters must therefore begin in catchment areas and particularly during any interference with landscape. The greatest interventions with farming countryside are complex land adjustments which, apart from other less important objectives, are designed to eliminate completely or at least partly limit unfavourable effects of overland runoff (especially water erosion) and thus to become one of the most important elements of territory organisation and protection.

Integrated territory protection can be reached by controlling precipitation waters runoff by means of erosion control and water-management measures. A number of mathematical models, mostly simulation ones, to solve water-management problems have been compiled, some of which with the option of exact mathematical optimization. Most likely, an optimization model has not been designed which would enable to attach territory protection and the measures to eliminate the amount and accumulation of water runoffs in catchment areas to solving water-management problems.

The optimization procedure of designing territory protection from harmful effects of waters was elaborated in the Czech Republic in the years of 2001 and 2002 within the solving the project of research and development of National Agency for Agricultural Research No. QC1292 'Optimization of the system of complex measures for minimizing harmful effects of overland runoff in a catchment area and its application in the process of land adjustments'. This procedure is linked to the results of a preceding project aimed at the problems of optimization modelling of watercourses with basins. The created procedure is a universal tool which can be applied for any territory. It enables to find the most suitable combination of all possible alternatives of various erosion control and water-management measures under the given conditions of each particular site. Such sites do not always have to be ground used for farming, they may include also sites in forest or urban areas or site arrays in various territories.