Srovnání možnosti modelování povrchového odtoku v systémech IDRISI a Arc-ESRI

Vilém PECHANEC

Správa CHKO Bílé Karpaty

Programové prostředky

Arc-ESRI sdružené označení pro sw od fy ESRI Inc.

ArcGIS 9.x

desktop *workstation*

ArcView GIS 3.x + Spatial Analyst 2.x

ArcInfo 7.x

mezi příslušnými verzemi není v algoritmech a funkcích pro hydrologického modelování žádný významný rozdíl

IDRISI IDRISI 32p , IDRISI KILIMANJARO

silné GIS produkty s velkým množstvím funkcí a vlastním makro jazykem

Tvorba hydrologicky korektního DEMu

Digitální elevační model = rastrové vyjádření průběhu gradientu nadmořské výšky.

Hydrologicky korektní DEM = umožňuje hydrologické modelování; má ošetřeny fiktivní deprese a lokální vyvýšeniny (Hudchinson, 1993 In. Esri, 1997).

Výpočet hydrologicky korektního DEMu je založen na speciální variantě interpolační metody *Spline*, která mimo jiné optimalizuje výpočet a povoluje prudké změny v reliéfu terénu a aplikuje algoritmy pro výpočet odvodnění. Takto počítaný model má odstraněny nepravé sníženiny (*pit, sink*) a vyvýšeniny (*peak*).

Zdrojová data pro DEM - není vhodné DEM generovat pouze z jednoho datového souboru, nejlepších výsledků je možno dosáhnout kombinací několika různých souborů; body (kóty), linie (vrstevnice, rozvodnice), plochy (vodní plochy).

	IDRISI	ArcESRI
nástroje pro tvorbu DEM:	**TIN, INTERCON** **INTERPOL**	**TOPOGRID** create surface *In:* Spatial/3D Analyst **Hydro for AV 3.x**; by ESRI, **HEC-GeoHMS** ; by CWRW
nástroje pro hydrologické ošetření povrchu:	**PIT REMOVAL**	**TOPOGRID, SINK**

Stanovení směru povrchového odtoku (1/3)

Drtivá většina GIS nástrojů pracuje s algoritmem nejstrmější cesty.
Existuje několik variant výpočtu, nejčastěji používaná je metoda D8.

Ke stanovovanému pixelu se najde jeho 8 nejbližších sousedů a na základě vstupujícího DEMu se počítá rozdíl mezi hodnotami nadmořských výšek mezi jednotlivými středy pixelů ku vzdálenosti jednotlivých středů (Jenson S. K. and J. O. Domingue. 1988)

	IDRISI	ArcESRI
nástroje pro stanovení směru odtoku:	**FLOW**	**FLOWDIRECTION**

Také několik hydrologických modelů, zejména ty které se orientují na simulaci odtoku v korytě.

Výrazně zkresluje / znehodnocuje možnost sledování objemu odtoku v povodí.

Stanovení směru povrchového odtoku (2/3)

V krajině je to však jinak.
Voda se roztéká z jednoho místa do více směrů určitým objemovým procentem.

Řešením je aplikovat výpočet, který vychází ze stanovení topografického indexu (Quinn, 1991).

$$A_i = A \frac{\operatorname{tg} \beta_i \cdot L_i}{\sum_{j=1}^{k} \operatorname{tg} \beta_j \cdot L_j}$$

kde Ai = podíl zdrojové oblasti k sousedu i (m^2),
A = oblast po svahu nahoru možná pro dotaci přítoku (plocha zdrojové oblasti) (m^2)
B_i = sklonový gradient (=rozdíl ve sklonu) směrem k sousedu i
Li = váhový faktor (0,5 pro přímý a 0,354 pro diagonální směr)
k = počet nižších sousedů

Základní přínos algoritmu spočívá v tom, že dělí odtékající objem mezi několik příjemců.

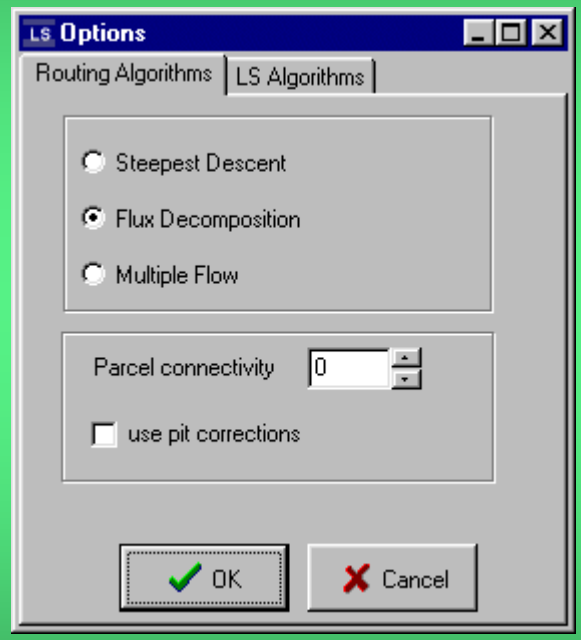
Dnes je úspěšně implementován v několika hydrologických modelech, např. **TOPMODEL** (Beven et all.,1995).

Stanovení směru povrchového odtoku (3/3)

Implementace v prostředí GIS

V komerčních produktech byl první a zatím takřka jediný modul **USLE 2D**

Labo For Experimental Geomorphology
University of Leuven, Belgium
http://www.kuleuven.ac.be/facdep/geo/fgk/pages/expgeom.htm



Jedná se o samostatně běžící aplikaci,
napsanou na jádře systému IDRISI.

• vstupním i výstupním formátem je pro něj
formát IDRISI a formát sw. SURFER.

• obsahuje převodník mezi formáty 16 a 32-bitových verzí.

V prostředí ArcGIS nic takového není, objevují se ojedinělé řešení za využití jazyka AML
v ČR asi jediný model LOREP

Délka odtoku

Délka odtoku = funkce směru odtoku a velikosti pixlu

algoritmus počítá kolika pixely voda proteče a jejich počet násobí velikostí pixelu

- u jednosměrného odtoku - počítána z jediného směru
- u vícesměrného odtoku - je vhodné počítat délku/směr toku podle objemově největšího odtoku z každého pixelu

	IDRISI	ArcESRI
nástroje pro stanovení délky odtoku:	**nemá příkaz** možno řešit kombinací příkazů FLOW a techniky moving-window	**FLOWLENGTH**

Stanovení akumulace odtoku (1/2)

Akumulace odtoku je založena na postupném načítání pixelů odtékajících do každého pixelu, právě počítaný pixel se do součtu nezahrnuje.

- pixely s vysokou hodnotou akumulace představují plochy koncentrace - mohou sloužit k identifikování odtokových linií.
- pixely s nulovou akumulací lze použít k určení rozvodnice.

	IDRISI	ArcESRI
nástroje pro stanovení akumulace:	**RUNOFF**	**FLOWACCUMULATION**

Stanovení akumulace odtoku (2/2)

Při výpočtu je používán i odvozený směr odtoku

= > je-li použit jednosměrný odtok, hodnoty akumulace se již na třetím řádu (od rozvodnice) výrazně liší ve srovnání a akumulací při použití vícesměrného odtoku,

= > dochází ke změně délky odtoku a posloupnosti při načítání hodnot pixelu,

(Malenovský, Pechanec, 2002).

V uzávěrovém profilu povodí (posledním pixelu) se hodnoty sobě blíží … avšak jen za předpokladu, že do procesu nevstupuje žádný retenční (váhový, retardační, …) faktor.

V takovém případě (a to je při modelování skoro vždy) je vhodnější vytvořit vlastní iterační rutinu, který hlídá proces postupného výpočtu odtoku.

Váhový (=retenční) faktor

Doposud byl zvažován ideální (a tudíž teoretický) odtok.
V krajině je to opět jinak, povrch je různorodý, liší se svou drsností, sklonem, teplotou…

Při modelování odtoku po (skoro reálném) povrchu, je potřeba zavést váhový faktor, který představuje vliv aktuálního/aktivního povrchu na odtok (retence, retardace, akumulace).

Rastrové prostředí je velmi vhodné a otevřené pro zavedení „váhového“ gridu (Maidment, 1992).

Retenční funkce krajiny je plně popsatelná matematickým aparátem (Kovář, 1993, 1996).

= > rastrové pojetí zvolených programů a jejich silné makrojazyky poskytují dostatečnou možnost pro zavedení odpovídajícího váhového faktoru a kvalitní modelování.

Před modelováním je třeba dobře znát účel práce a mít jasně definovaný cíl

a na jeho základě zvolit vhodnou sadu hydrologických rovnic.

autorský model **LOREP**

Použité řešení

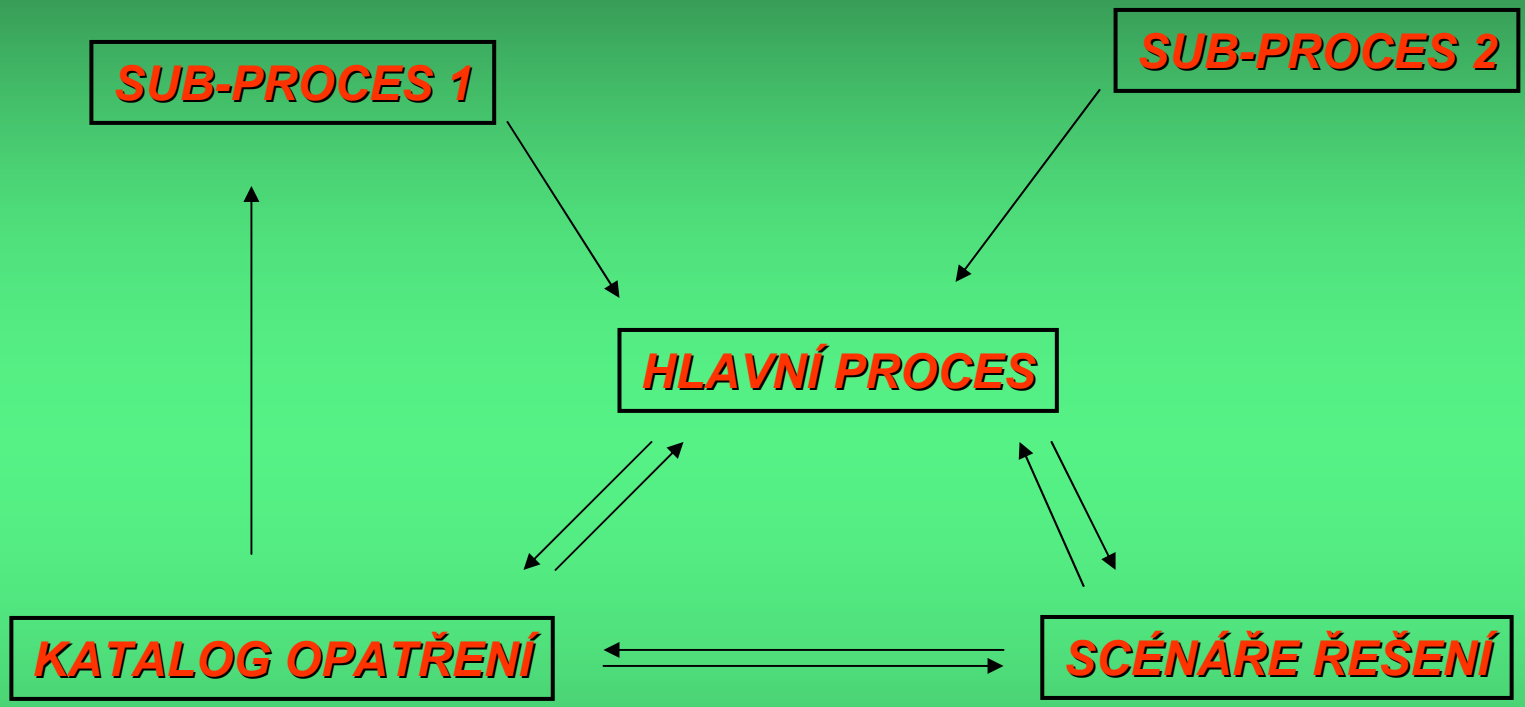
jazyk AML v prostředí systému ARC/INFO

```
tables
sel xv1.pat
calculate xv1-id = 3
sel povodi.pat
calculate povodi-id = 99
update xv1 povodi xv2
q
grid
/*hranice povodi se musí jmenovat povodí
    xtmp2 = update xtmp1 vodotec
    xtc2 = polygrid xtmp2m (convert to grid)
xt3  = xt1 + xt2
xt4 = reclass (tmp3, tc.rmp)   (4 3;5 3;100 1;101 2)
/*stanoveni doby koncentrace
DOCELL
if (xt eq 1)
xtc7 = (0.007 * pow(((xnn * 5) / 0.3048), 0.8)) / (pow((100 / 25.4), 0.5) * pow(xss,
0.4))
else if (xt eq 2)
xtc7 = 5 / (3600 * (4.97 * pow(xss, (1 / 2))))
else if (xt eq 3)
xtc7 = 5 / (3600 * ((1 / xnn) * pow(100, (2 / 3)) * pow(xss, (1 / 2))))
END
```

metoda CN křivek

jednotkový hydrogram dle Clarka

Struktura aplikace LOREP



SUB-PROCES 1

Modelace objemu územně specifikovaného aktuálního přímého odtoku

Kaskádový kumulační model pro stanovení objemu přímého odtoku

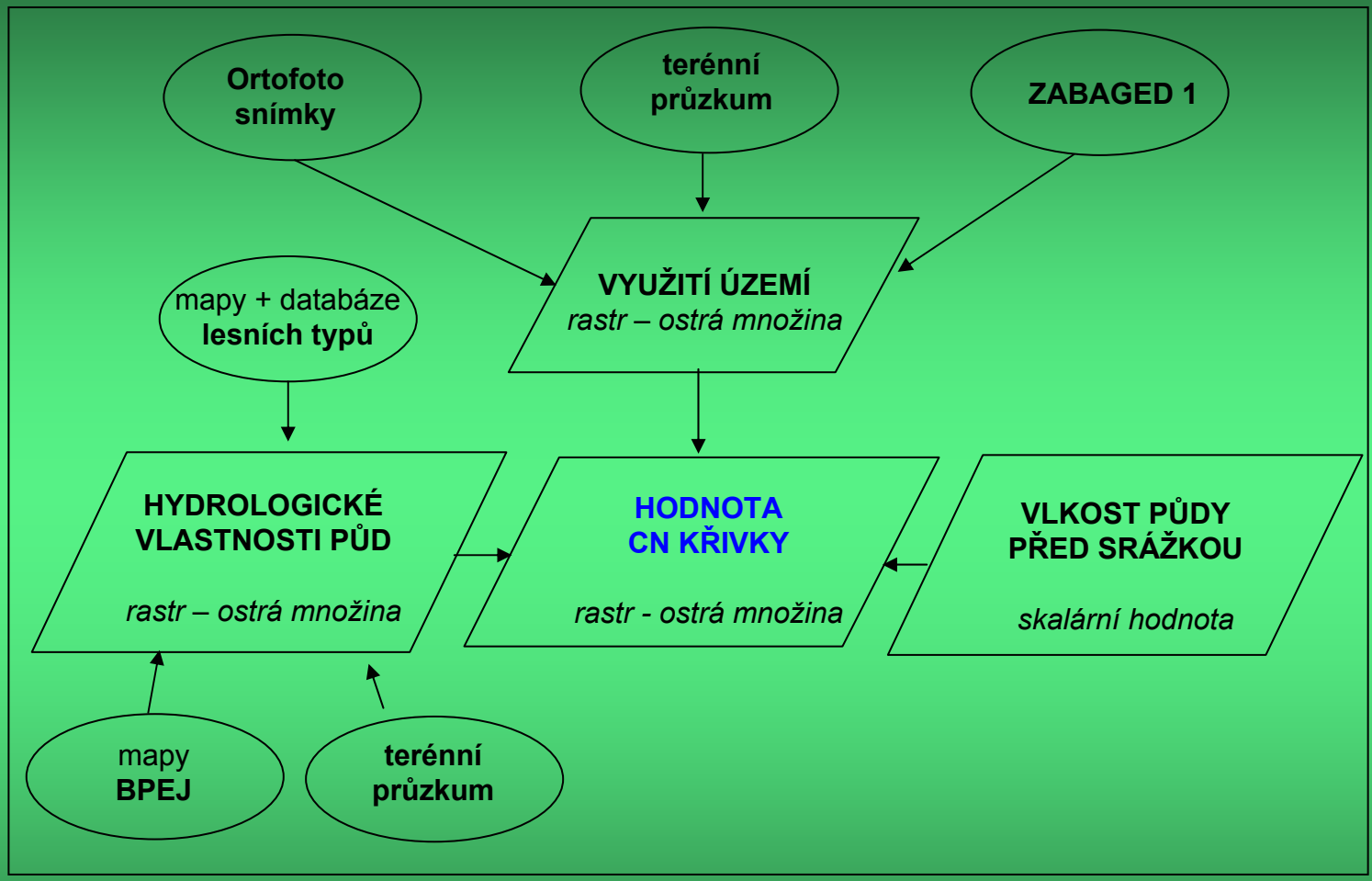
=modifikovaný algoritmus metody CN-křivek pro stanovení objemu přímého odtoku

Principem "kaskády" je stanovení výšky resp. objemu přímého odtoku, pro každý pixel v povodí, dle základní rovnice s rozšířením o vliv konfigurace terénu na směr a délku odtoku, která se projevuje v rozdělení povodí do jednotlivých iteračních řádů.

Model umožňuje:

- stanovit objem přímého odtoku pro jednotlivé pixely = homogenní subpovodí,
- sledovat směr povrchového odtoku v krajině,
- specifikovat vliv topologie a prostorové orientace, jednotlivých složek krajiny, včetně liniových prvků, na přímý povrchový odtok.

Odvození rastru CN křivek



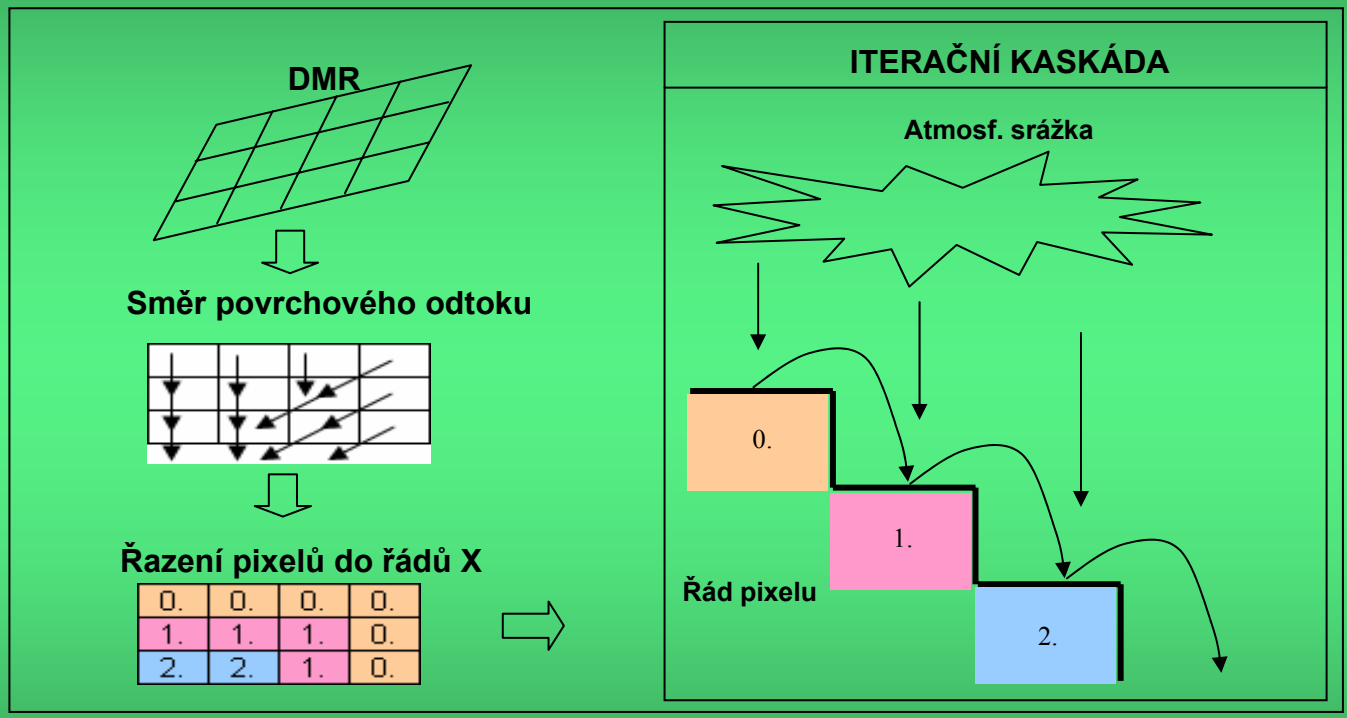
pixel 5x5 m

zachycení přítomnosti a orientace liniových prvků

Vytvoření iteračního řádu

Potřeba roztřídit celé povodí do iteračního řádu

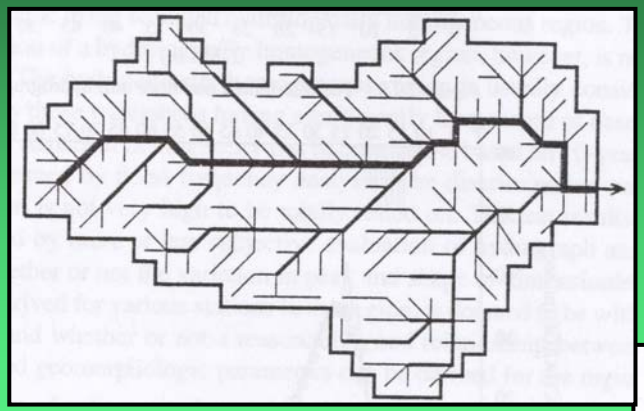
Kombinace směru a délky odtoku *(Flowlength)*

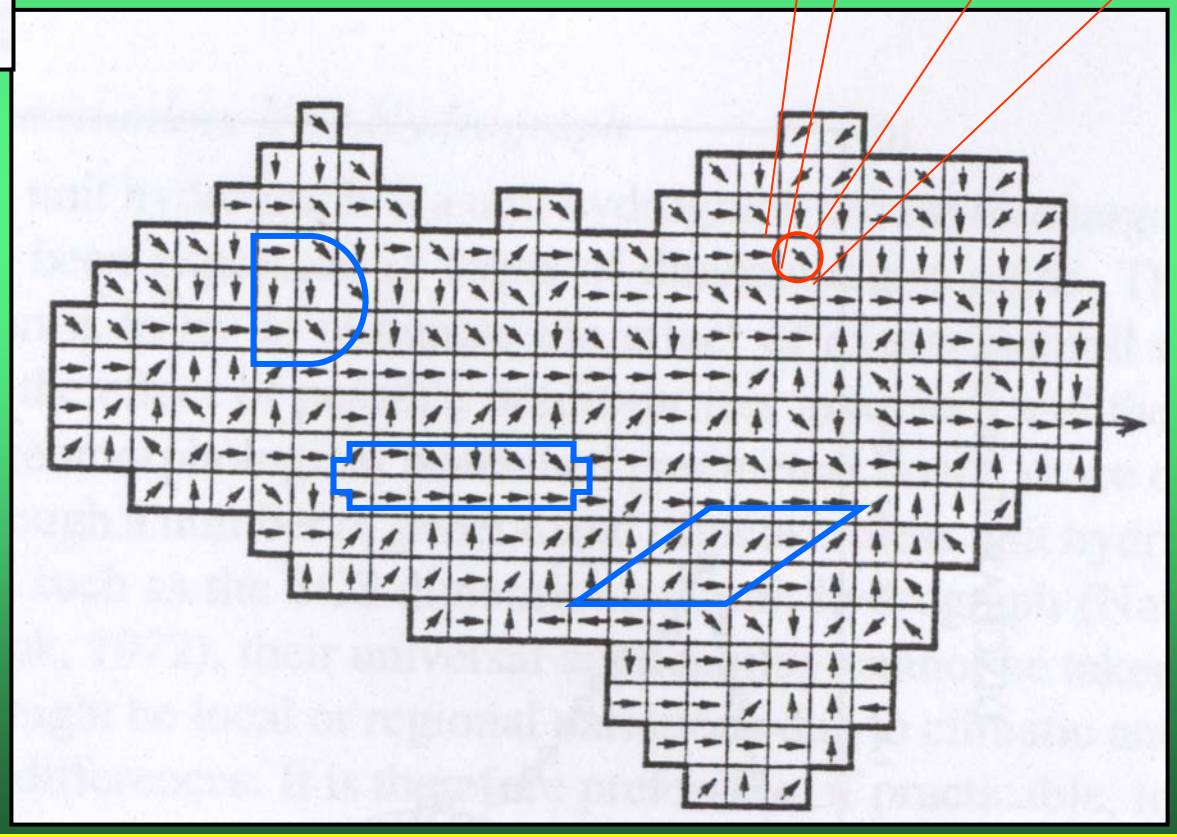


Stanovení všech lokálních topografických maxim v povodí
Stanovení dráhy povrchového odtoku (směr a délka)

Iterační řád = $\frac{\text{vzdálenost od příslušného topografického maxima}}{\text{šířka pixelu}}$

Vyjádření krajinných segmentů





Rastrová reprezentace prvků

= výskyt vyjádřen přítomností
či absencí v pravidelné síti
pokrývající celé území

plocha, délka, orientace
modifikují způsob vykreslení

Stanovení objemu přímého odtoku

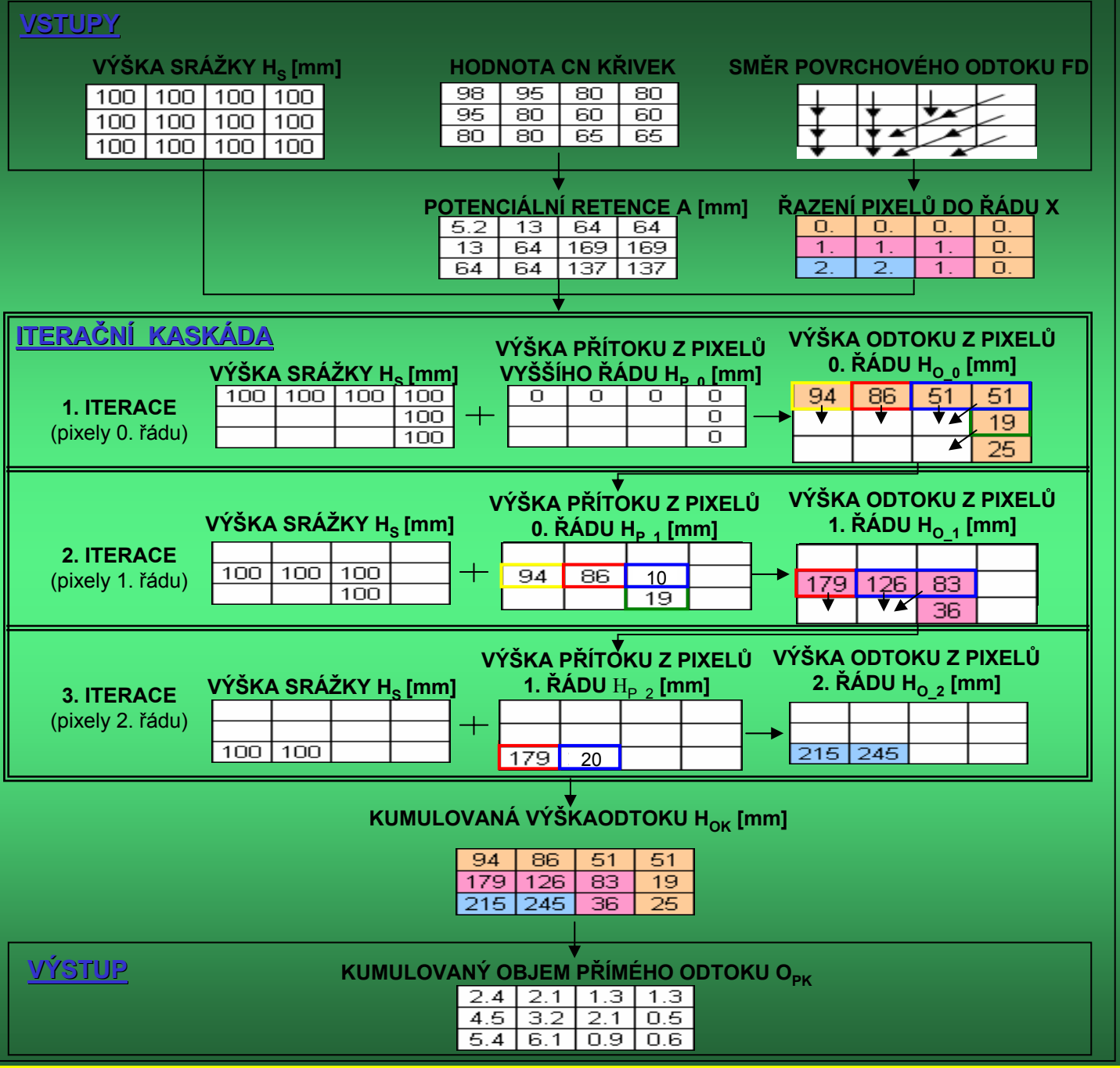
Rutina je složena z N iterací, kde N = počet řádů pixelů.

V každé iteraci je vypočítána výška přímého odtoku H_{O_X} pro pixely X-tého řádu

$$H_{O_X} = \frac{((H_{S_X} + H_{P_X}) - 0,2 * A)^2}{(H_{S_X} + H_{P_X}) + 0,8 * A}$$

kde A … je potenciální retence plošné jednotky 1 pixelu v mm
H_{O_X} … je výška přímého odtoku z plošné jednotky 1 pixelu X-tého řádu v mm
H_{S_X} … je výška dešťové srážky na plošnou jednotku 1 pixelu X-tého řádu v mm
H_{P_X} … je výška přímého přítoku vody v mm z pixelů řádu X-1 v závislosti na směru odtoku

VÝŠKA PŘÍMÉHO ODTOKU


VSTUPY
VÝŠKA SRÁŽKY H_S [mm]
100 100 100 100
100 100 100 100
100 100 100 100
HODNOTA CN KŘIVEK
98 95 80 80
95 80 60 60
80 80 65 65
SMĚR POVRCHOVÉHO ODTOKU FD
POTENCIÁLNÍ RETENCE A [mm]
5.2 13 64 64
13 64 169 169
64 64 137 137
ŘAZENÍ PIXELŮ DO ŘÁDU X
0. 0. 0. 0.
1. 1. 1. 0.
2. 2. 1. 0.
ITERAČNÍ KASKÁDA
1. ITERACE
(pixely 0. řádu)
VÝŠKA SRÁŽKY H_S [mm]
100 100 100 100
100
100
VÝŠKA PŘÍTOKU Z PIXELŮ VYŠŠÍHO ŘÁDU $H_{P\ 0}$ [mm]
0 0 0 0
0
0
VÝŠKA ODTOKU Z PIXELŮ 0. ŘÁDU H_{O_0} [mm]
94 86 51 51
19
25
2. ITERACE
(pixely 1. řádu)
VÝŠKA SRÁŽKY H_S [mm]
100 100 100
100
VÝŠKA PŘÍTOKU Z PIXELŮ 0. ŘÁDU $H_{P\ 1}$ [mm]
94 86 10
19
VÝŠKA ODTOKU Z PIXELŮ 1. ŘÁDU H_{O_1} [mm]
179 126 83
36
3. ITERACE
(pixely 2. řádu)
VÝŠKA SRÁŽKY H_S [mm]
100 100
VÝŠKA PŘÍTOKU Z PIXELŮ 1. ŘÁDU $H_{P\ 2}$ [mm]
179 20
VÝŠKA ODTOKU Z PIXELŮ 2. ŘÁDU H_{O_2} [mm]
215 245
KUMULOVANÁ VÝŠKAODTOKU H_{OK} [mm]
94 86 51 51
179 126 83 19
215 245 36 25
VÝSTUP
KUMULOVANÝ OBJEM PŘÍMÉHO ODTOKU O_{PK}
2.4 2.1 1.3 1.3
4.5 3.2 2.1 0.5
5.4 6.1 0.9 0.6

Transformace odtokové křivky

Clarkův jednotkový hydrogram

Doba koncentrace

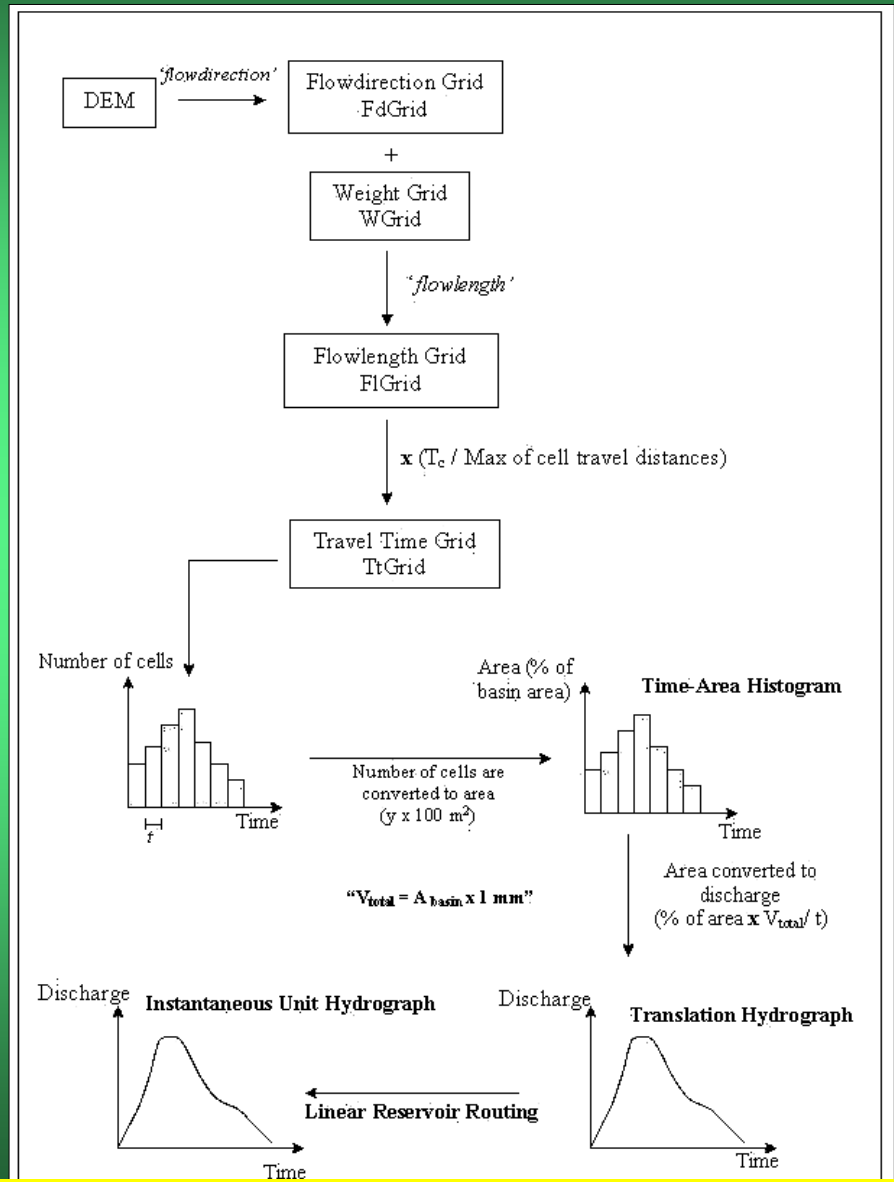
čas, který je potřebný pro odtok z hydraulicky nejvzdálenější bodu v povodí do závěrového profilu povodí.

Transformační faktor

představuje dobu zadržení vody v povodí a je počítán z pozorovaného hydrogramu povodí.

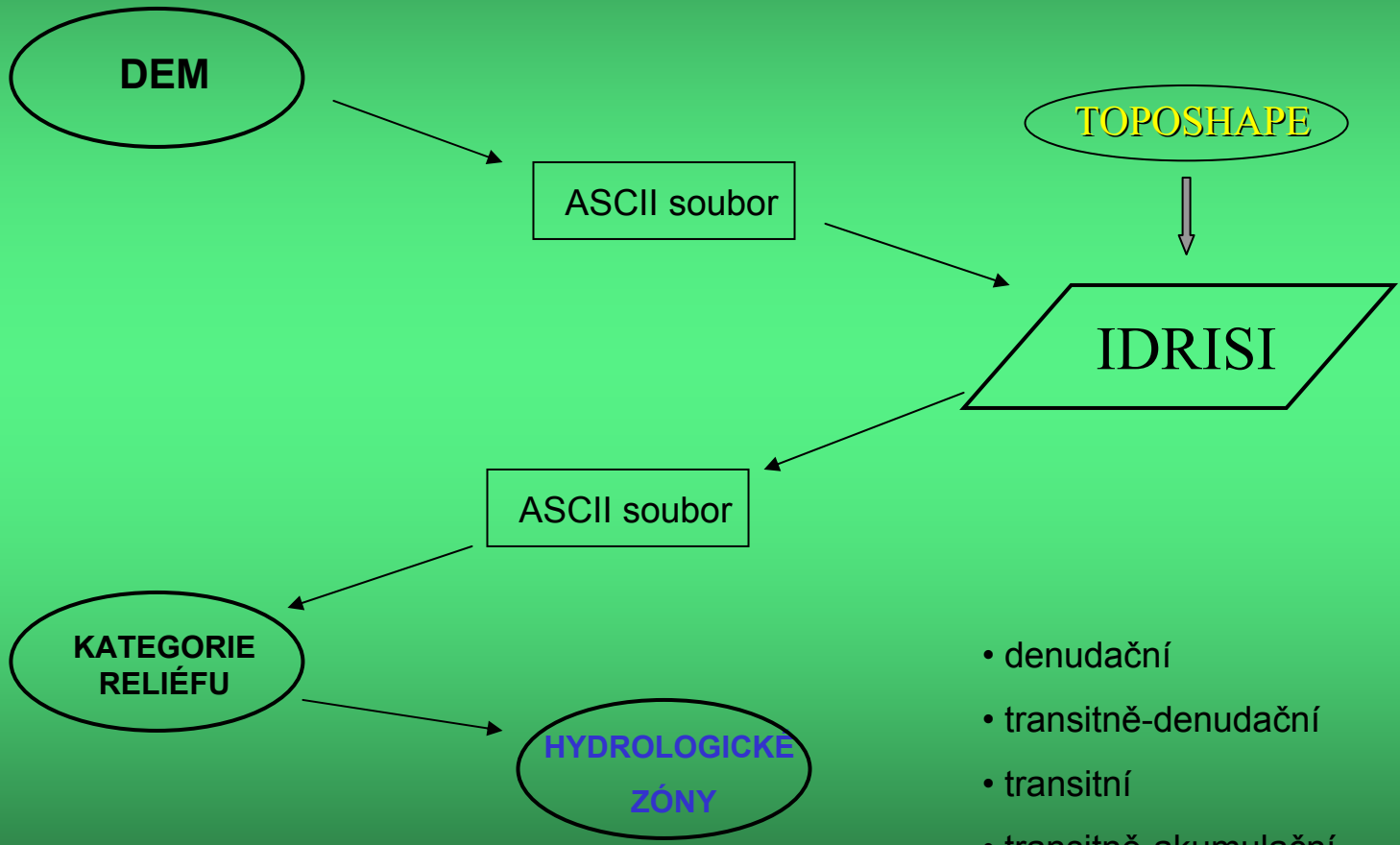
Časo-prostorová křivka (time-area curve)

vyjádření závislost doby dobíhání a velikosti povodí při srážkou zasažené celé ploše povodí.



SUB-PROCES 2

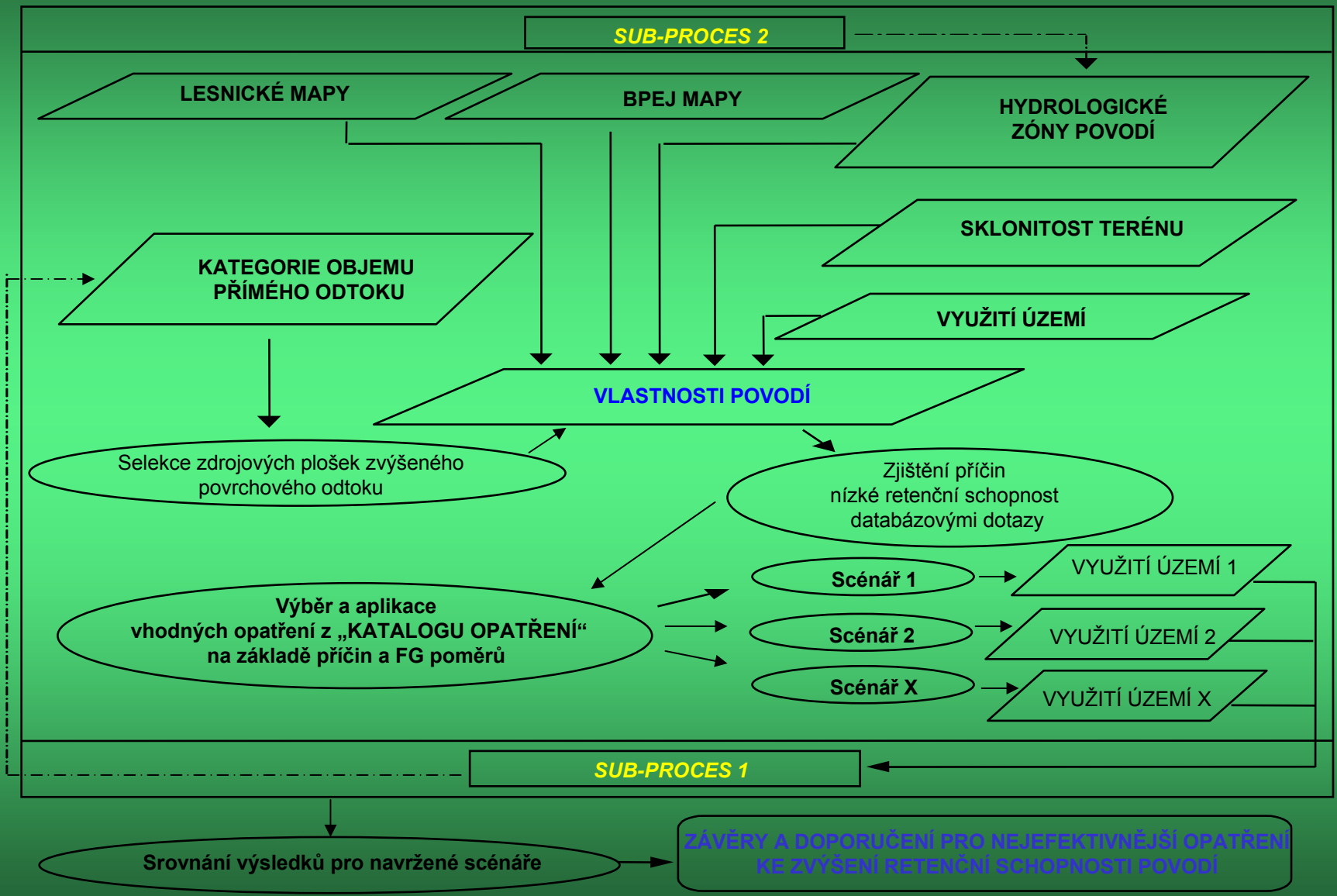
Prostorová specifikace hydrologických zón povodí



- denudační
- transitně-denudační
- transitní
- transitně-akumulační
- akumulační

HLAVNÍ PROCES

Lokalizace a zjištění příčin nízké retenční schopnosti



Katalog opatření pro zvýšení retenční a akumulační schopnosti povodí

Kvítek, T. a kol. (2001)

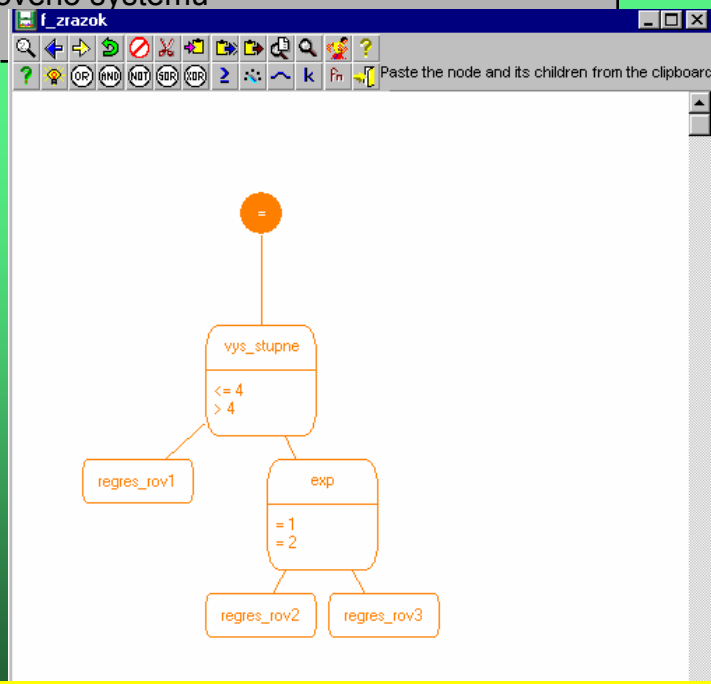
> pokud jsou v infiltrační oblasti mělké půdy a propustné půdy zorněny
přiřazujeme opatření **B1** - zalesňování vybraných ploch
B2 - zatravňování vybraných ploch
CI1 - změna druhu pozemku

> pokud jsou půdy středně skeletovité a jsou zorněny,
přiřazujeme opatření **B2** -zatravňování vybraných ploch
B3 - systematické provádění pratotechnických zásahů na trvalých travních porostech
B4 - zvýšení hloubky a hustoty kořenového systému současných travních porostů

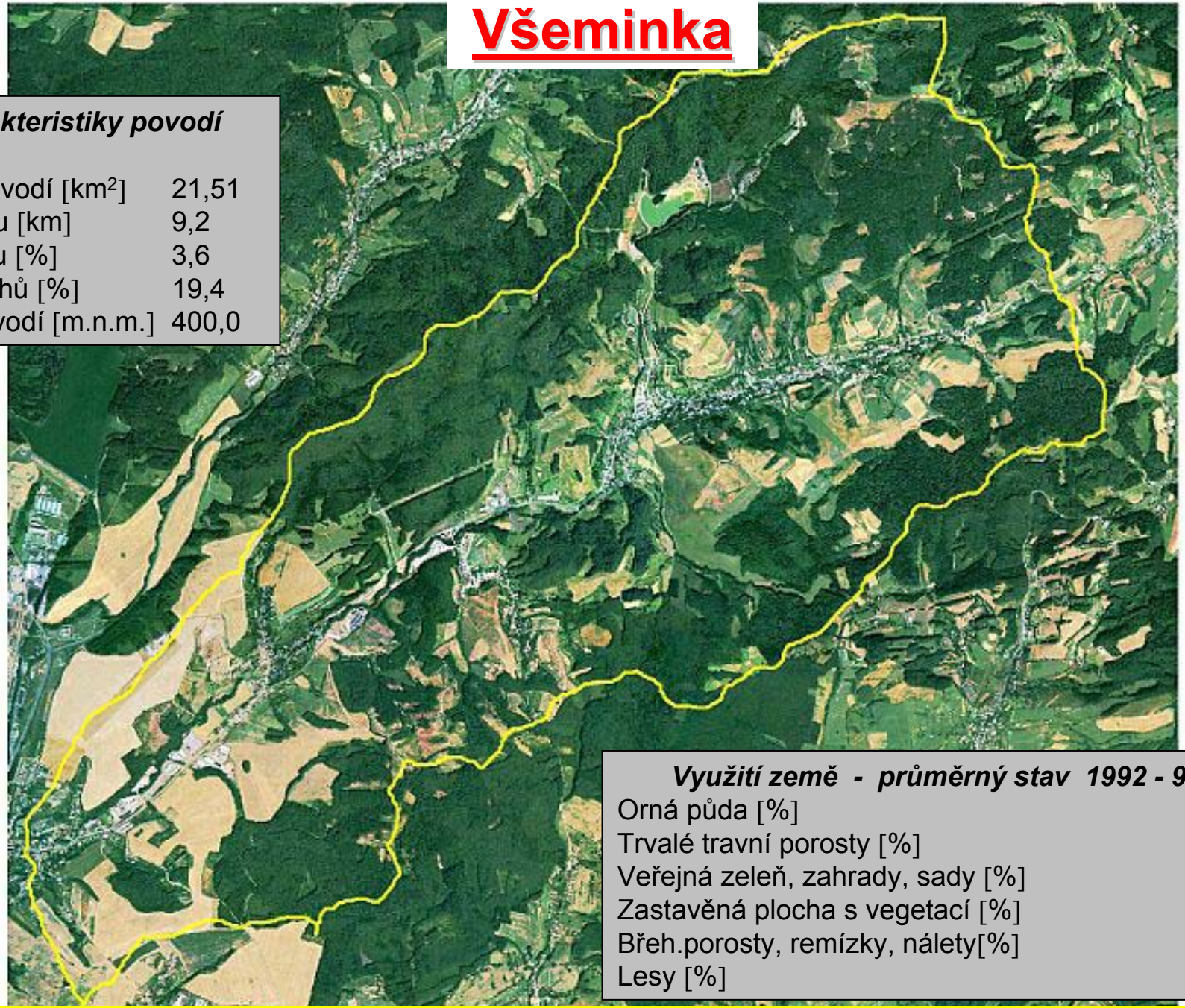
EMDS

Ecosystem Managment Decision Support

Systém integruje logickou formální strukturu založenou na rozhodování pomocí báze poznatků a logiky fuzzy množin, využívající prostředí GIS.



Všeminka



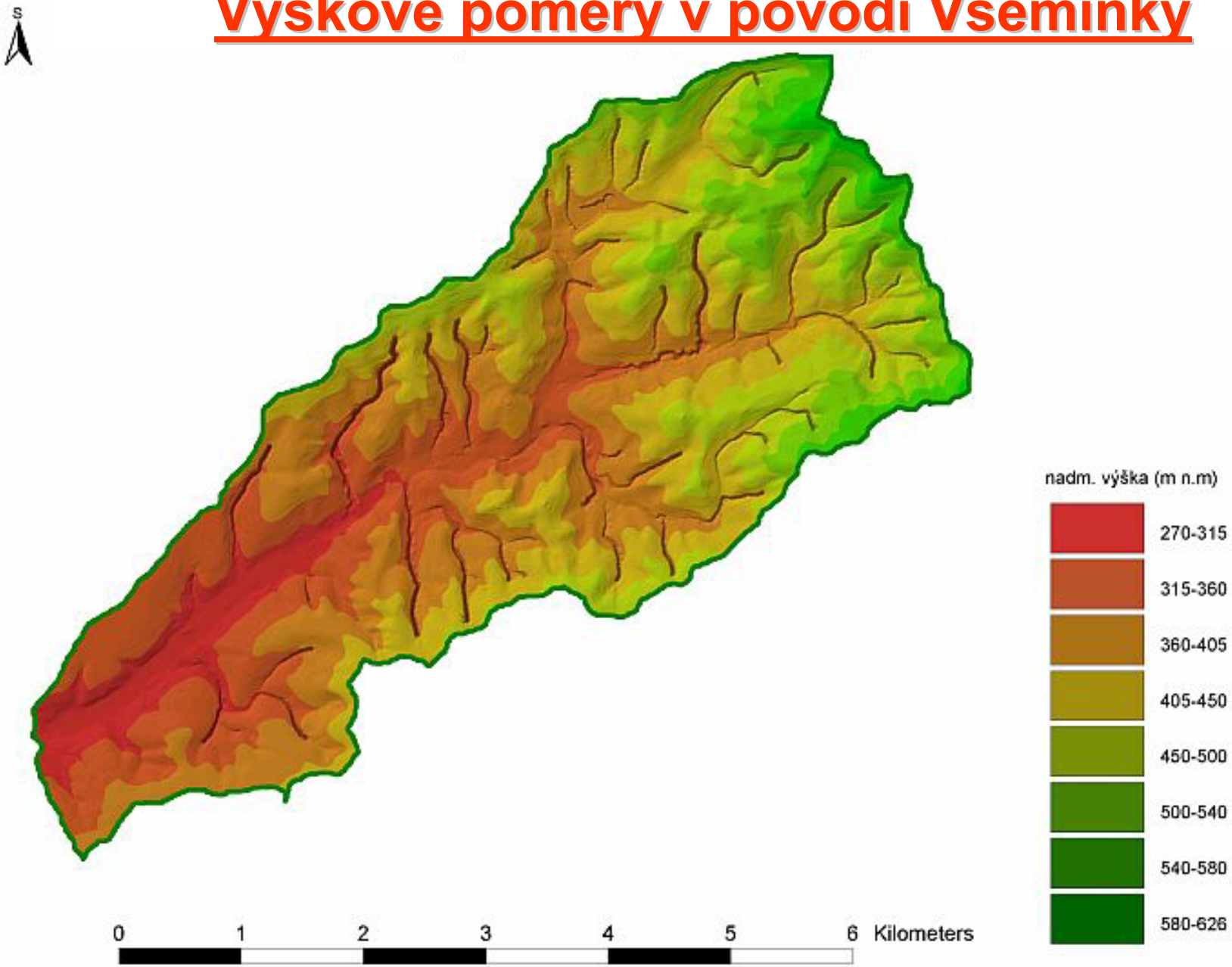
Charakteristiky povodí

Plocha povodí [km^2]	21,51
Délka toku [km]	9,2
Sklon toku [%]	3,6
Sklon svahů [%]	19,4
Výška povodí [m.n.m.]	400,0

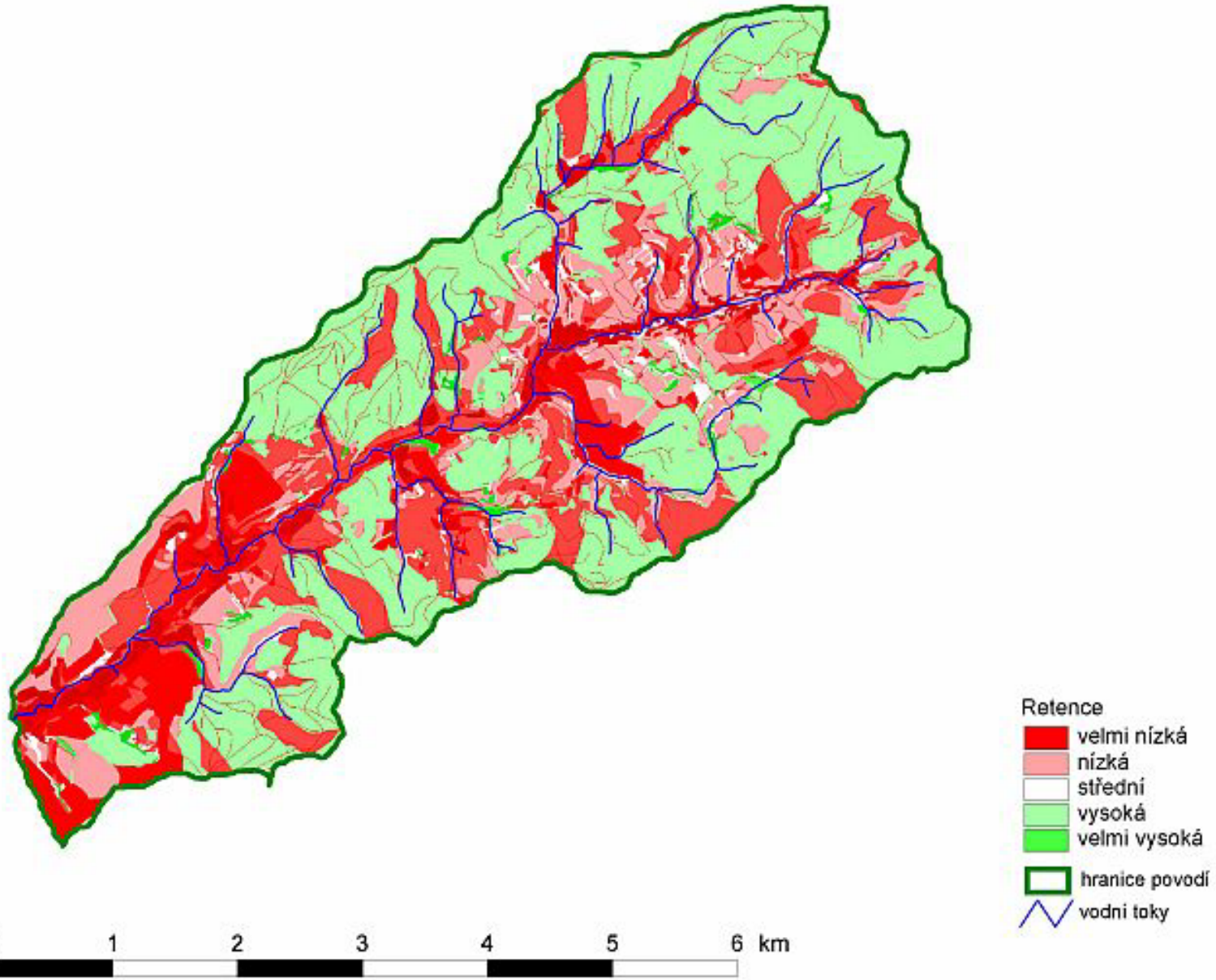
Využití země - průměrný stav 1992 - 97

Orná půda [%]	9,3
Trvalé travní porosty [%]	24,2
Veřejná zeleň, zahrady, sady [%]	5,5
Zastavěná plocha s vegetací [%]	4,3
Břeh.porosty, remízky, nálety[%]	8,5
Lesy [%]	48,2

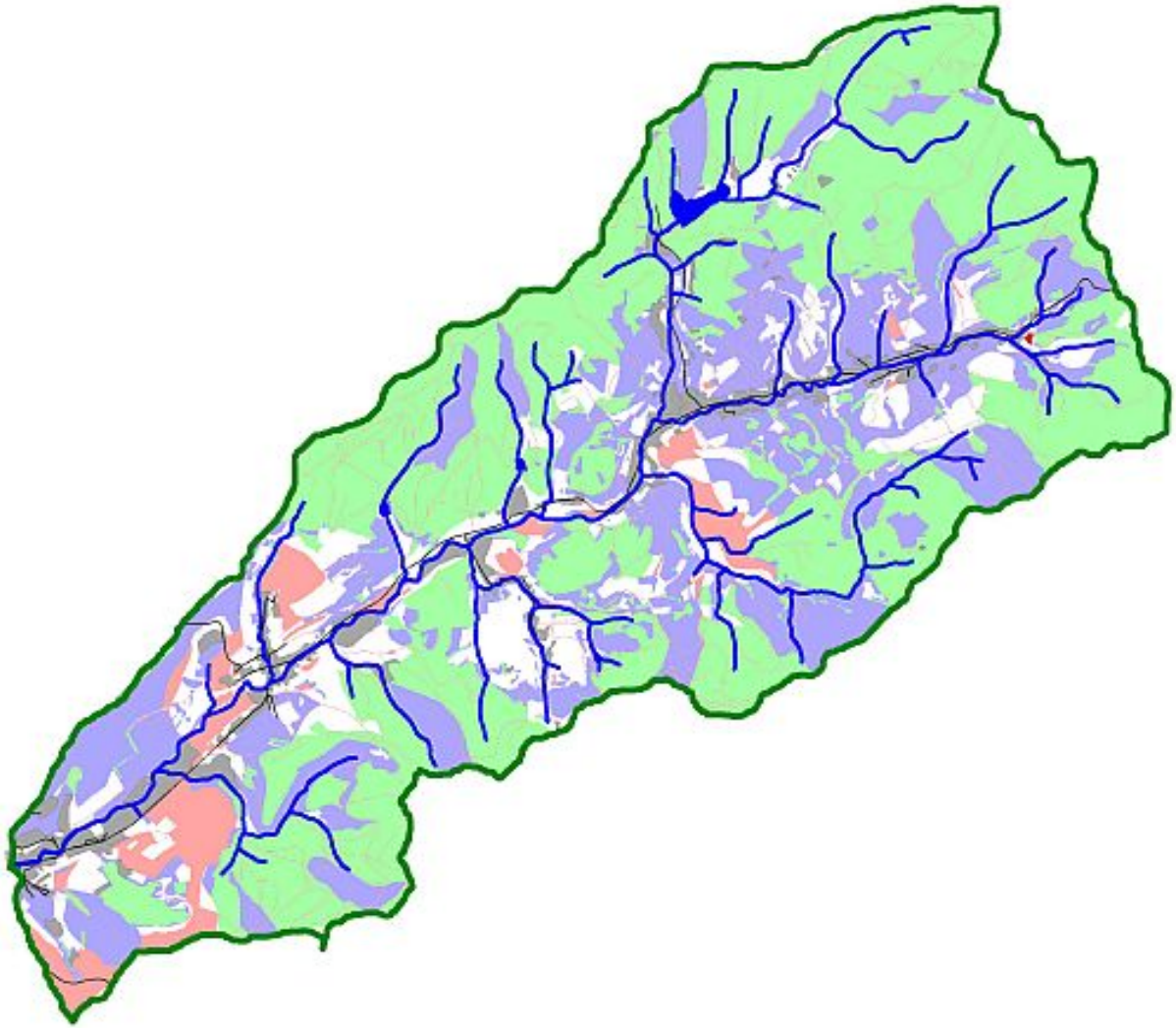
Výškové poměry v povodí Všeminky



Potenciální retence v povodí Všeminky



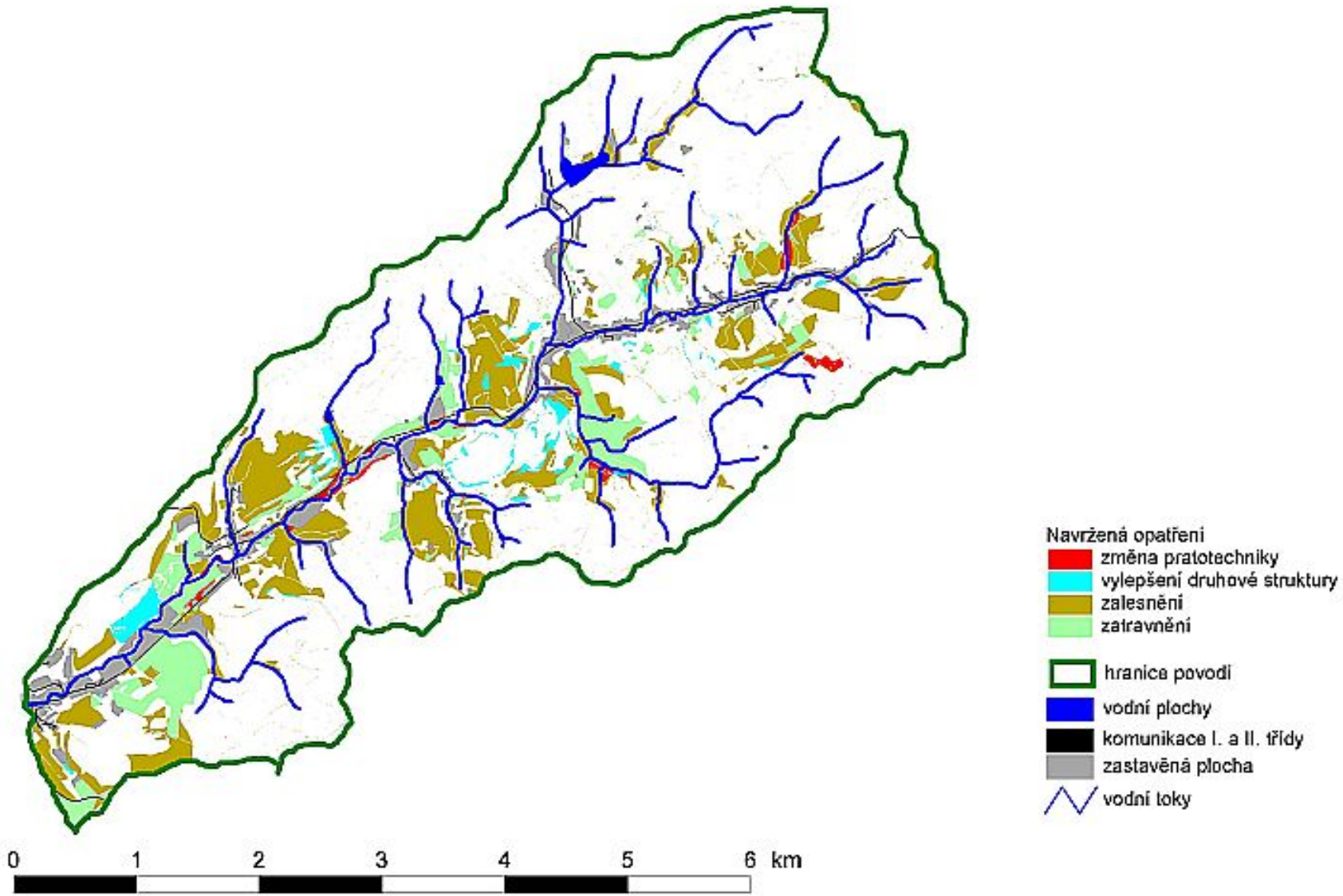
Odtokové poměry v povodí Všeminky



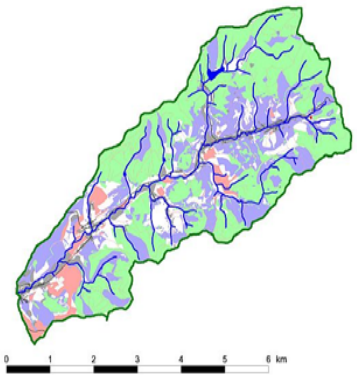
Identifikace míst s velmi vysokým odtokem

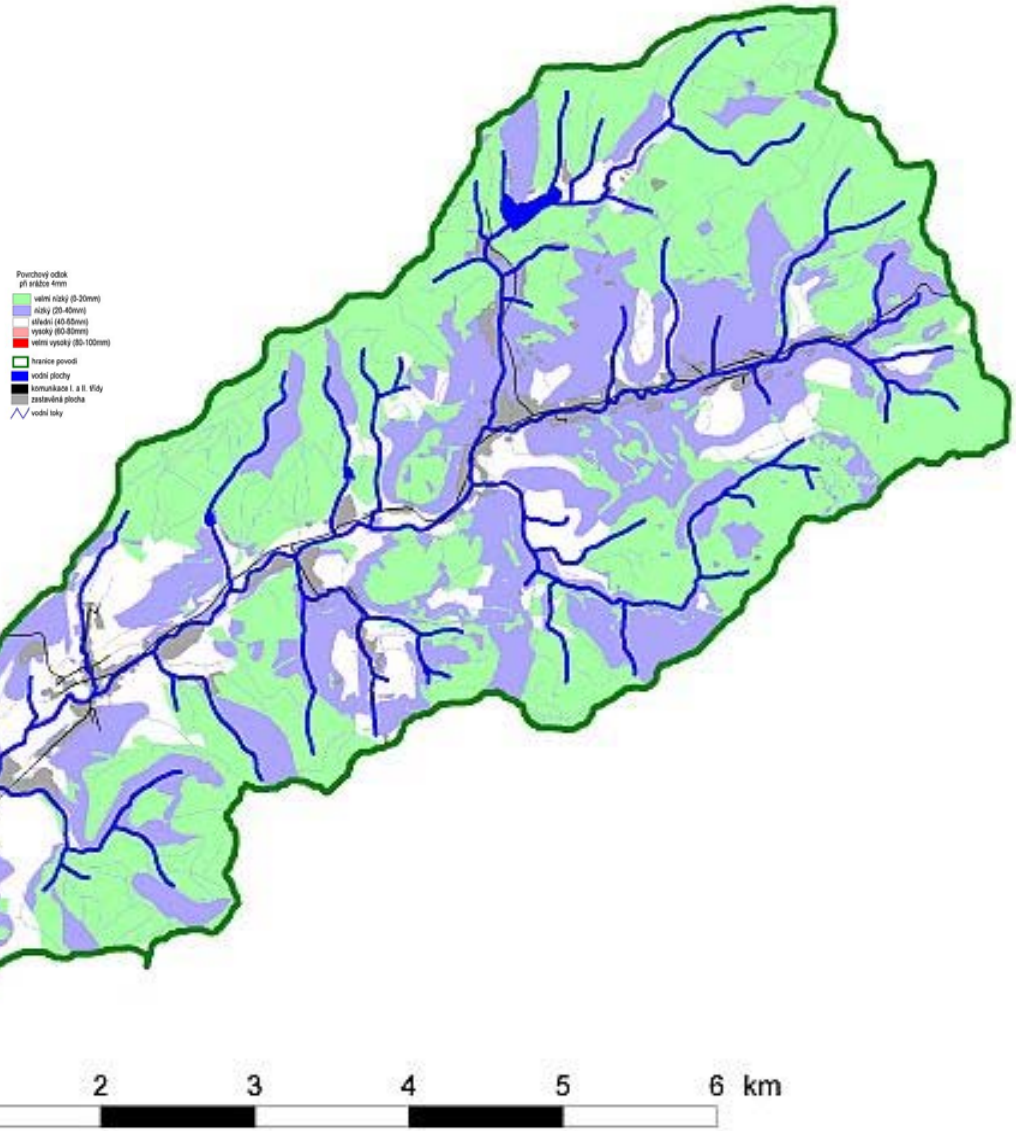
ID	Zóna povodí	Land-use	Počet px	Výměra (ha)
5	1_denudační	orná půda	18	0.045
10	1_denudační	silnice	3	0.008
18	1_denudační	bažina	201	0.503
19	1_denudační	vodoteč	136	0.34
21	1_denudační	vodní plocha	315	0.788
36	1_denudační	účel. zástavba	4	0.01
41	1_denudační	louka, pastvina	1	0.003
42	1_denudační	liniova zelen	3	0.008
43	1_denudační	listnatý les	1	0.003
6	2_tranzitně denudační	vodoteč	189	0.463
7	2_tranzitně denudační	bažina	183	0.458
9	2_tranzitně denudační	orná půda	50	0.125
12	2_tranzitně denudační	účel. zástavba	31	0.078
15	2_tranzitně denudační	silnice	23	0.058
20	2_tranzitně denudační	vodní plocha	12	0.03
28	2_tranzitně denudační	skládka	1	0.003
35	2_tranzitně denudační	louka, pastvina	2	0.005
38	2_tranzitně denudační	polní a lesní cesty	2	0.005
39	2_tranzitně denudační	křoviny	1	0.003
40	2_tranzitně denudační	liniova zelen	2	0.005
2	3_transitní	vodoteč	132	0.33
4	3_transitní	silnice	49	0.123
8	3_transitní	bažina	252	0.63
13	3_transitní	účel. zástavba	121	0.303
16	3_transitní	zástavba	8	0.02
22	3_transitní	orná půda	80	0.2
23	3_transitní	vodní plocha	3	0.008
33	3_transitní	polní a lesní cesty	1	0.003
3	4_transitně akumulační	vodoteč	91	0.228
11	4_transitně akumulační	zástavba	12	0.03
14	4_transitně akumulační	účel. zástavba	123	0.308
17	4_transitně akumulační	silnice	42	0.105
24	4_transitně akumulační	orná půda	14	0.035
26	4_transitně akumulační	vodní plocha	5	0.013
27	4_transitně akumulační	skládka	1	0.003
30	4_transitně akumulační	polní a lesní cesty	1	0.003
31	4_transitně akumulační	louka, pastvina	1	0.003
37	4_transitně akumulační	bažina	126	0.315
1	5_akumulační	vodoteč	111	0.278
25	5_akumulační	bažina	318	0.795
29	5_akumulační	účel. zástavba	22	0.055
32	5_akumulační	zástavba	2	0.005
34	5_akumulační	silnice	2	0.005
44	5_akumulační	vodní plocha	1	0.003

Navržený scénář opatření v povodí Všeminky

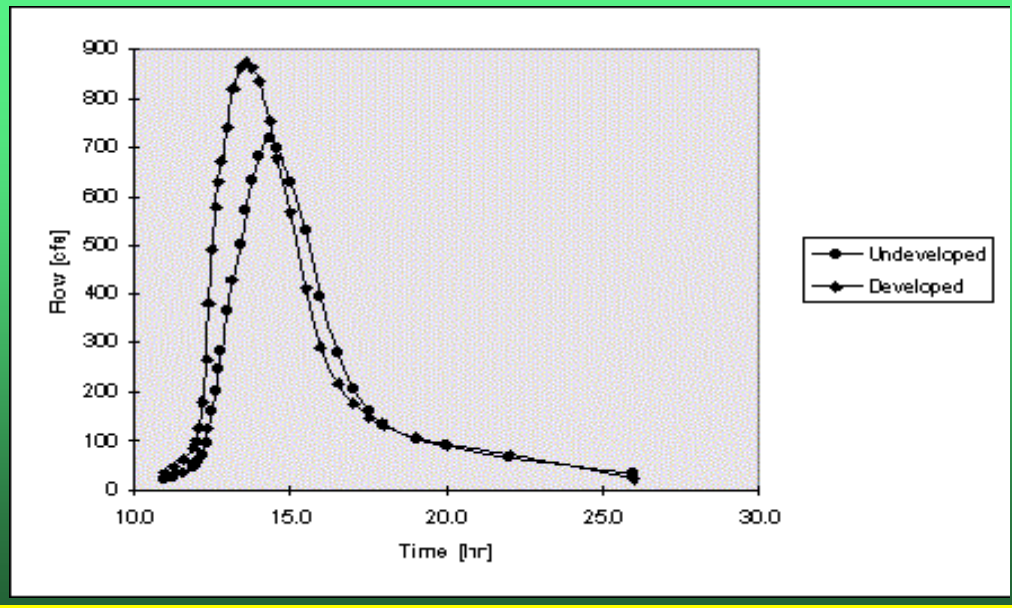


Odtokové poměry v povodí Všeminky po aplikaci scénáře opatření





Plošné výměry kategorií povrchového odtoku

při homogenní celoplošné srážce 4 mm/m^2

			Aktuální stav		Scénář	
No	*kategorie*	*rozsah (mm)*	*počet px*	*výměra (ha)*	*počet px*	*výměra (ha)*
1	velmi nízký	0 - 20	378723	946,81	390672	976,68
2	nízký	20 - 40	248047	620,12	304785	761,96
3	střední	40 - 60	119447	298,62	149490	373,73
4	vysoký	60 - 80	82954	207,39	8094	20,24
5	velmi vysoký	80 - 100	26424	66,06	2566	6,42