

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V
NITRE
FAKULTA ZÁHRADNÍCTVA A KRJINNÉHO
INŽINIERSTVA**

1128255

**VÝPOČET VÝŠKY A OBJEMU POVRCHOVÉHO ODTOKU
V PROSTREDÍ GIS**

2010

Monika Kořuchová

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V
NITRE
FAKULTA ZÁHRADNÍCTVA A KRJINNÉHO
INŽINIERSTVA**

**VÝPOČET VÝŠKY A OBJEMU POVRCHOVÉHO ODTOKU
V PROSTREDÍ GIS**

Bakalárska práca

Študijný program:	Krajinné inžinierstvo
Študijný odbor:	6.1.11 Krajinárstvo
Školiace pracovisko:	Katedra krajinného plánovania a pozemkových úprav
Školiteľ:	Ing. Karol Šinka, PhD.

Nitra 2010

Monika Koťuchová

Čestné vyhlásenie

Podpísaná Monika Koňuchová vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Výpočet výšky a objemu povrchového odtoku v prostredí GIS“ vypracovala samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomá zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 20. mája 2010

Monika Koňuchová

Pod'akovanie

Touto cestou sa chcem pod'akovať Ing. Karolovi Šinkovi, PhD. za odborné vedenie, trpezlivosť a rady, ktoré mi poskytol pri vypracovaní bakalárskej práce. Zároveň ďakujem svojej rodine a všetkým čo mi verili a podieľali sa na získavaní informácií pre vypracovanie mojej bakalárskej práce.

Abstrakt

V predloženej bakalárskej práci je riešená problematika výpočtu výšky a objemu povrchového odtoku v prostredí GIS. Súčasťou práce sú charakteristiky pôdy, ktorá je rozhodujúcou zložkou prírody, bez ktorej by život nebol možný a ktorá zabezpečuje kolobeh a ekologicky vyváženú bilanciu látok v prírode. V práci sme uviedli charakteristiky povrchového odtoku, jednotlivé rozdelenia a výpočty, ktoré majú najväčší význam z hľadiska protieróznej ochrany pôdy. Taktiež sme sa zaoberali pojmom hydrologická bilancia, pod ktorou rozumieme vzťahy medzi vstupmi a výstupmi a zmenou zásob vody v skúmanom prostredí a v danom časovom období. Neodmysliteľnou súčasťou určovania charakteristík a výpočtu povrchového odtoku je jedna z najpoužívanejších metód, na ktorú sme sa sústredili, a to je metóda odtokových kriviek, tiež nazývaná CN – metóda. Táto metóda bola odvodená z mnohoročných pozorovaní odtokov práve z poľnohospodársky využívaných povodí, preto i vstupné údaje pre výpočet povrchového odtoku podľa CN – metódy dosť podrobne charakterizujú, okrem hydrologických pomerov, aj spôsob poľnohospodárskeho využívania, a čo je zvlášť výhodné, aj protieróznou ochranu ornej pôdy v povodí.

V práci sme tiež spomenuli management vody v poľnohospodárskej krajine, ktorého súčasťou je management povrchovej a podpovrchovej vody, pod ktorým rozumieme také zaobchádzanie s vodnými zdrojmi v poľnohospodársky využívanej krajine, ktoré zabezpečí dosiahnutie určených cieľov. Medzi tieto ciele patrí napríklad vylúčenie, alebo aspoň zníženie intenzity vodnej erózie pôdy zrážkovou a závlahovou vodou a zabránenie degradácie pôdy jej zamokrením a zasolením.

Abstract

In this thesis is dealing with the calculation of depth and volume of surface runoff in a GIS environment. The work is characteristic of land is a vital component of nature, without which life would not be possible and provides an ecologically balanced cycle and the balance of substances in nature. In this work we presented the characteristics of surface runoff, and each division calculations that have the greatest significance in terms of soil erosion. We also address the concept of water balance under which we understand the relationship between inputs and outputs and a change of water environment in the investigation and the period of time. Inherent in determining the characteristics and the calculation of surface runoff is one of the most widely used methods which we have come, and it is curve number method, also called CN - method. This method was derived from many years of observations from agricultural runoff currently used by the river, and therefore the input data to calculate the surface runoff by CN - the method is characterized in some detail, in addition to the hydrological conditions, agricultural use and how and what is most useful, and erosion protection of arable land in the basin.

The paper also mentioned the management of water in agricultural land involving the management of surface and subsurface water under which we understand such treatment of water resources in the agricultural landscape to ensure the achievement of intended goals. These objectives include such exclusion, or at least reduce the intensity of water erosion and by withholding irrigation water and prevent soil degradation and salinisation of waterlogged.

Obsah

Obsah.....	1
Úvod.....	3
1 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky.....	5
1.1 Pôda.....	5
1.2 Funkcie pôdy.....	6
1.3 Povrchový odtok.....	7
1.3.1 Charakteristiky povrchového odtoku.....	9
1.3.2 Výpočet charakteristík povrchového odtoku z malých a z veľmi malých povodí.....	10
1.3.3 Hydraulika povrchového odtoku.....	11
1.3.4 Výpočet hrúbky povrchovo odtekajúcej vody.....	11
1.4 Hydrologická bilancia.....	12
1.4.1 Hydrologická bilancia regiónu.....	12
1.4.2 Hydrologická bilancia povrchu pôdy.....	15
1.5 CN – metóda.....	19
1.5.1 Hydrologické charakteristiky povodia pre CN – metódu.....	19
1.6 Management vody v poľnohospodárskej krajine.....	24
1.6.1 Management povrchovej vody.....	25
1.6.2 Regulácia objemu povrchového odtoku zrážkovej vody.....	25
1.6.3 Regulácia infiltrácie zrážkovej vody.....	26
1.6.4 Management podpovrchovej vody.....	28
2 Cieľ práce.....	30
3 Metodika práce a metódy výskumu.....	31
3.1 Charakteristika záujmového územia.....	31
3.1.1 Vymedzenie územia.....	31
3.1.2 Geologický vývoj a stavba regiónu.....	33
3.1.3 Reliéf.....	33
3.1.4 Vodstvo.....	34
3.1.5 Pôdy.....	36
3.2 Výpočet CN- metódy v GIS.....	38
3.2.1 Prípravné hydrologické modelovanie v prostredí GIS.....	38

3.2.2 Zjednodušený spôsob riešenia CN – metódy.....	39
3.2.3 Detailný spôsob riešenia CN metódy.....	41
4 Výsledky práce.....	43
5 Záver.....	45
6 Použitá literatúra.....	46

Úvod

Názory na to, čo sa deje v povodí po zrážkach alebo topení snehu, sa vyvíjali už od začiatku minulého storočia. Ucelenú teóriu, ktorá sa niekedy označovala ako teória povrchového odtoku, vypracoval Horton. Podľa tejto teórie je povodňová vlna tvorená vodou z príčných zrážok, ktorých značná časť sa do toku dostala ako povrchový odtok. Povrchový odtok z povodia vzniká v dôsledku prekročenia infiltračnej kapacity pôdy, ktorá však nie je v stave nasýtenia, a podľa pôvodnej predstavy vznikol na celej ploche povodia. Okrem tejto predstavy sa zaviedla aj schéma povrchového odtoku, ktorý vzniká z častí alebo z celého povodia v prípade, že sa pôdny profil nasýti. Celkový odtok sa aj v tomto prípade považuje za súčet povrchového, podpovrchového a taktiež aj základného odtoku. Pre potreby inžinierskej hydrológie sa odtok počas povodňovej vlny rozdelil na dve zložky - na tzv. priamy odtok, ktorý je tvorený podpovrchovým a povrchovým odtokom a základný odtok. V praxi sa riešil problém oddelenia týchto častí prietokovej vlny a výpočet kulminačného prietoku, objemu povodňovej vlny a tiež transformácia priebehu efektívnych zrážok na časový priebeh odtoku. Pri povrchovom odtoku, ktorý vznikol v dôsledku prekročenia infiltračnej kapacity pôdy, sa predpokladalo, že rozdielny charakter vegetačného pokryvu alebo spôsobov využívania krajiny ovplyvňuje koncentráciu odtoku najmä svojimi hydraulickými vlastnosťami. V prípade vzniku povrchového odtoku v dôsledku nasýtenia pôdy sa vo výpočtoch uvažuje s možnosťou, že koncentráciu odtoku ovplyvňuje priestorové rozdelenie, plošný rozsah a čas vzniku nasýtených oblastí v povodí, ktoré závisia aj od spôsobu využívania krajiny a od charakteru pôdneho a vegetačného krytu.

Ako nástroj na modelovanie charakteristík povrchového odtoku sa používa GIS, pretože geografické informačné systémy sú v súčasnosti štandardným nástrojom na uchovávanie a spracovanie informácií o krajine, je prirodzené, že sa stávajú tiež prostredím pre vývoj a implementáciu metód na modelovanie procesov v krajine. Úloha GIS sa pritom rozširuje od uchovávania údajov a analýzy 2D priestorových vzťahov na analýzu priestorovo-časových vzťahov, simulácie procesov a štúdium interakcie človeka s prírodným prostredím. Geografický informačný systém je tvorený softvérom, hardvérom, údajmi a osobami tvoriacimi personálne zabezpečenie, ktorého účelom je spracovávať, analyzovať a prezentovať geografické informácie. Geografické informácie

sú priestorové informácie o geografickej sfére (krajine). Ich najdôležitejšou vlastnosťou je polohový aspekt. Ďalšími vlastnosťami sú časová premenlivosť platnosti informácie a kvalitatívny alebo kvantitatívny atribút, charakteristika opisujúca daný geografický objekt alebo jav. Odhaduje sa, že až 80% všetkých informácií s ktorými sa ľudia stretnú má polohový aspekt a teda sú spracovateľné GIS - om. GIS spracováva geografické údaje v digitálnej podobe. Časť týchto údajov už takto vzniká – napr. satelitné údaje. Iné údaje sú v papierovej podobe a teda sa musia digitalizovať, t.j. previesť do digitálnej podoby. Ide najmä o existujúce mapy a niektoré staršie štatistické údaje.

1 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

1.1 Pôda

Pôda je svojim rozsahom a funkciami rozhodujúcou zložkou prírody. Umožňuje produkovať potraviny a suroviny (drevo, vlákna, oleje), recykluje odpady, tvorí leso-poľnohospodársku krajinu, filtruje a zadržiava vodu na našom území, umožňuje využívať a zhodnocovať slnečnú energiu, zabezpečuje kolobeh a ekologicky vyváženú bilanciu látok v prírode, udržiava diverzitu rastlinných a živočíšnych druhov na našom území a primárne formuje kvalitu životného prostredia, je zdrojom surovín a kultúrnym dedičstvom vzdialenej a nedávnej minulosti, je istotou pre život a spoločenské bytie obyvateľstva. Pôda je rozhodujúcou výrobnou základňou a sociálnou oporou každej krajiny. Lokálne je často len jediným ekonomickým (existenčným) zdrojom pre život a taktiež pre sociálnu zabezpečenosť miestneho obyvateľstva. Pôdny kryt umožňuje výrobné aktivity (poľnohospodárstvo, lesné hospodárstvo, turizmus a i.) a súčasne vykonáva nenahraditeľné funkcie v prírode, bez ktorých by život nebol možný.

Pôda má na zemskom povrchu svoje stále, špecifické miesto, vzniká, vyvíja a nachádza sa na rozhraní litosféry, biosféry, hydrosféry a atmosféry. Je spojivom medzi minerálnou a organickou prírodou. Je integrálnou súčasťou ekosystémov Zeme situovanou medzi povrchom a materskou horninou. Je rozdelená na horizonty so špecifickými fyzikálnymi, chemickými a biologickými charakteristikami a rozdielnymi funkciami. Koncept pôdy tiež zahrňuje pórovité sedimentárne horniny a iné permeabilné materiály spolu s vodou, ktorú obsahujú. Takto definovaná pôda môže dosahovať značné hĺbky a preto v niektorých kontextoch sa pod pojmom pôda môže rozumieť aj územie.

1.2 Funkcie pôdy

Zatiaľ čo vlastnosť pôdy je jednoduchá fyzikálna, chemická alebo biologická charakteristika pôdy (kyslá, humózna, kyprá pôda), znak pôdy je zmena vlastnosti pôdy (okyslenosť, odolnosť, náchylnosť, zamokrenosť pôdy), funkcia pôdy pozostáva z dvoch alebo viacerých vlastností a znakov pôdy. Funkcie pôdy vyjadrujú rôznorodé komplexné činnosti pedosféry v prírode. Pôdna vlastnosť a znak sú len časťou funkcie, napr. sorpcia je časť filtračnej funkcie pôdy, odolnosť pôdy voči acidifikácii je časť pufráčnej funkcie pôdy, nitrifikácia je časť transformačnej funkcie pôdy, odolnosť voči pôdnej únave je časť funkcie zraniteľnosti pôdy a pod. Funkcie pôdy treba chápať nielen vo vzťahu pôdy k biote, ale aj horniny, vode a atmosfére. Funkcia pôdy je jej schopnosť zabezpečovať niektoré ekologické, enviromentálne a socioekonomické javy a činnosti v prírode.

Hlavné funkcie pôdy :

- produkcia biomasy ako základná podmienka života človeka a iných organizmov na Zemi,
- filtrácia, neutralizácia (pufrácia) a premena látok v prírode ako súčasť funkčných a regulačných mechanizmov prírody,
- udržiavanie ekologického a genetického potenciálu živých organizmov v prírode (biodiverzita druhov),
- priestorová základňa pre ekonomické aktivity človeka (poľnohospodárstvo, lesníctvo, priemysel, doprava, stavebníctvo, turistika a iné) a sociálne istoty obyvateľstva (zamestnanosť, výživa, príjmy),
- zásoba a zdroj surovín (voda, íl, piesok, horniny, minerály),
- kultúrne dedičstvo štátov a Zeme vrátane ukrytých paleontologických a archeologických artefaktov.

Funkcie pôdy sa rozdeľujú na produkčné a mimoprodukčné, ďalej na ekologické a socioekonomické, ktoré ale súhrnne nazývame enviromentálnymi funkciami pôdy.

Do mimoprodukčných funkcií pôdy sa zaraďujú:

- filtračná funkcia
- pufráčná funkcia
- transformačná funkcia

- akumuláčn funkcia
- transportn funkcia
- pôda ako biologick habitat a gnov rezerva
- asanačn funkcia
- pôda ako historick médium
- pôda ako zdroj energie a surovín
- pôda ako priestor pre ľudsk aktivitu

Pri trieden funkcií pôdy upozorňujeme aj na pasívnu úlohu tohto prírodného útvary (postavenie v rámci určitých javov ako napr. úkryt pre zvieratá, zdroj surovín, základ pre stavby, paleontologick nálezy) a jej aktívnu časť v prírodných javoch a procesoch (gnov rezerva, pufrchn schopnosť, transformácia látok). Súčasne pôda sa vyznačuje tým, že služi ako zdroj mnohých látok (živín, vody, energie) a m mnohostrann potenciál (schopnosť pufovať, asanovať, a pod.) (Vilček, 2005)

1.3 Povrchov odtok

Odtok môžeme definovať ako celkov množstvo vody odtekajúcej z určitého územia. Podiel sa na ňom povrchov odtok sústreden vo vodných tokoch a podpovrchov, ktorý je obvykle menší než povrchov. Jednou z charakteristík odtoku je jeho premenlivosť v čase v závislosti predovšetkým na klimatických podmienkach, reliéfe krajiny a jeho vegetačným pokryvom. Odtok predstavuje t časť zrážkovej vody ktor sa dostane do hydrografickej siete (do vodných tokov, kanálov, priekop, a pod.). Podľa spôsobu, akým sa zrážkov voda dostane do hydrografickej siete, rozdeľujeme celkov odtok (O_c) na tieto jeho zložky:

1. **povrchov odtok** (O_p), ktorý predstavuje t časť celkového odtoku, ktor odteká z povodia (zo záujmového územia) po povrchu terénu
2. **podpovrchov odtok** (O_h) niekedy nazvan aj hypodermick odtok, ktorý predstavuje t časť celkového odtoku, ktor odteká z povodia pod povrchom terénu, ak nie je pritom v kontakte s hladinou podzemnej vody

3. **podzemný odtok** (O_z), niekedy nazývaný aj základný odtok, ktorý predstavuje tú časť celkového odtoku, ktorá odteká z povodia ako súčasť podzemnej vody.

Z hľadiska protieróznej ochrany pôdy má najväčší význam povrchový odtok z kvapalných zrážok, a to najmä povrchový odtok vyvolaný tzv. prívalovým dažďom (lejakom), t.j. dažďom, ktorý má spravidla krátku dobu trvania, vysokú intenzitu a malý plošný rozsah.

Vzhľadom k tomu, že intenzita topenia snehu je v porovnaní s intenzitou prívalového dažďa oveľa nižšia aj povrchový odtok z topenia snehu má nižšiu intenzitu, ako povrchový odtok z kvapalných zrážok.

K tomu, aby sme mohli určiť charakteristiky odtoku zrážkovej vody, musíme, o.i. poznať aj charakteristiky tzv. náhradného dažďa, vsakovaciu schopnosť pôdy a podmienky vzniku povrchového odtoku, ako funkcie intenzity náhradného dažďa, trvania náhradného dažďa a vsakovacej schopnosti pôdy

Povrchový odtok rozdeľujeme aj podľa formy, a to na :

1.sústredený povrchový odtok, ktorý prebieha v trvalej alebo dočasnej hydrografickej sieti

2.plošný (rozptýlený) povrchový odtok, ktorý prebieha neorganizovane po celých plochách svahov v podobe ronu a po dosiahnutí hydrografickej siete sa mení na sústredený odtok povrchovej vody.

Najdôležitejšou, makroskopicky merateľnou hydrologickou charakteristikou odtoku zrážkovej vody je prietok uzatvárajúcim (záverovým) profilom vyšetřovaného povodia. Pod pojmom prietok rozumieme množstvo vody, ktoré pretečie cez uvažovaný prietočný profil za 1 sekundu. Označujeme ho písmenom Q a vyjadrujeme ho v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, resp. v $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ (u menších povodií).

1.3.1 Charakteristiky povrchového odtoku

Pre návrh protieróznych opatrení potrebujeme poznať najmä tieto charakteristiky povrchového odtoku :

1. objem povrchového odtoku z uvažovaného náhradného dažďa – $O_{o,p}$ (m^3)
2. výšku povrchového odtoku – $H_{o,p}$ (mm)
3. N – ročný (alebo návrhový) prietok – Q_N ($m^3 \cdot s^{-1}$)
4. hydrogram povodňovej vlny vyvolanej uvažovaným náhradným dažďom, t.j. závislosť $Q_p = f(t)$

Vzhľadom k tomu, že návrh protieróznych opatrení sa vo väčšine prípadov týka takých plôch, na ktorých neexistujú priame hydrologické pozorovania, musíme si vyššie uvedené charakteristiky povrchového odtoku určiť nepriamo, a to najčastejšie výpočtom.

Charakteristiky povrchového odtoku pre potreby protieróznej ochrany pôdy sa najčastejšie určujú nasledovnými spôsobmi :

- pomocou vzorcov intenzitného typu (tzv. racionálna metóda)
- pomocou kombinácie vzorcov genetického a intenzitného typu (tzv. Hrádekova metóda)
- pomocou odtokových kriviek (tzv. CN – metóda)
- pomocou matematických modelov

V súčasnosti najrozšírenejšou metódou určovania $H_{o,p}$, resp. $O_{o,p}$ z poľnohospodársky využívaných území (povodí) je tzv. CN – metóda. (Antal, 1990)

1.3.2 Výpočet charakteristík povrchového odtoku z malých a z veľmi malých povodií

Pri povrchovom odtoku, ktorým rozumieme tú časť celkového odtoku, ktorá odteká z povodia (zo záujmového územia) po povrchu terénu, sú z hľadiska protieróznej ochrany pôdy dôležité najmä tieto charakteristiky :

1. rýchlosť povrchovo odtekajúcej vody – v ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
2. tangenciálne napätie vytvárajúce sa povrchovo odtekajúcou vodou - ($\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$)
3. výška povrchovo odtekajúcej vody – y (m)
4. objem povrchového odtoku za sekundu, tzv. prietok Q_p ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $1 \cdot \text{s}^{-1}$)
5. špecifický povrchový odtok – q_x ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, $1 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$)
6. čiara prietokov, tzv. hydrogram – $Q_p = f(t)$
7. maximálny prietok – $Q_{p\max}$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, $1 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$)
8. maximálny špecifický povrchový odtok – q_{\max} ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, $1 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$)

Podľa veľkosti záujmového územia (povodia) tieto rozdeľujeme na :

- a) veľké – na ktorých sa v maximálnych prietokoch rozhodujú regionálne dažde
- b) malé až stredné – na ktorých v maximálnych prietokoch rozhoduje stredná intenzita prívalových dažďov. Patria sem povodia menšie ako 50 až 100 km^2 , ale väčšie ako 1 až 2 km^2
- c) veľmi malé (tzv. elementárne) – na ktorých o maximálnych prietokoch rozhoduje najväčšia intenzita prívalových dažďov a na ktorých sa neprejavuje tzv. retardácia odtoku. Patria sem povodia, ktorých plocha je menšia ako 1 km^2 . Predpokladáme tiež, že všetky faktory ovplyvňujúce povrchový odtok majú na celej ploche konštantnú hodnotu.

1.3.3 Hydraulika povrchového odtoku

Pre povrchový odtok z elementárnej odtokovej plochy, v závislosti od :

- trvania dažďa	t_d
- doby koncentrácie povrchového odtoku	τ_{\max}
- dĺžky svahu	L, x
- priemernej intenzity dažďa	i_s
- priemernej intenzity infiltrácie	v_i
- charakteru povrchu pôdy	m
- priemerného sklonu svahu	i

môžeme vypočítať o. i. hrúbky povrchovo odtekajúcej vody.

1.3.4 Výpočet hrúbky povrchovo odtekajúcej vody – y_x

Pre výpočet y_x vo vzdialenosti x (m) od rozvodnice boli odvodené tieto vzťahy :

$$Y_x = \frac{\sqrt{x}}{m \cdot \sqrt{I}} \cdot (i_s - v_i) \quad (1.1)$$

$$Y_x = \frac{\sqrt{x}}{a} \cdot (i_s - v_i) \quad (1.2)$$

kde

Y_x – hrúbka povrchovo odtekajúcej vody vo vzdialenosti x (m) od rozvodnice – (m)

I – sklon povrchu pôdy ($m \cdot m^{-1}$)

m - ($= 87/\gamma$) súčiniteľ charakterizujúcu stav povrchu pôdy

τ - súčiniteľ drsnosti povrchu pôdy podľa Bazina

a - ($= m \cdot \sqrt{I}$) súčiniteľ charakterizujúci stav povrchu pôdy a sklon svahu

i_s - priemerná intenzita návrhového dažďa ($m \cdot s^{-1}$)

v_i - priemerná intenzita infiltrácie ($m \cdot s^{-1}$)

(Antal, 1985)

1.4 Hydrologická bilancia

Pod pojmom hydrologická bilancia rozumieme vzťahy medzi vstupmi H_i výstupmi H_0 a zmenou zásob ΔH_r vody v skúmanom prostredí a v danom časovom období. Základná rovnica hydrologickej bilancie má tvar :

$$H_i - H_0 = +/- \Delta H_r \quad (1.3)$$

Jednotlivé členy rovnice možno vyjadriť rôznymi spôsobmi, v závislosti od prostredia, pre ktoré sa hydrologická bilancia robí. Pre potreby poľnohospodárskej výroby sa robí hydrologická bilancia poľnohospodársky využívaného územia ako celku – regiónu, a aktívnej vrstvy pôdneho profilu. Takisto sa musí urobiť pre navrhované rybníky, vodné nádrže a závlahové sústavy.

1.4.1 Hydrologická bilancia regiónu

Pre hydrologickú bilanciu regiónu sa rovnica uvádza v tvare :

$$H_Z + H_P - H_0 - H_E = \pm \Delta H_r \quad (1.4)$$

kde

H_Z – zrážky, ktoré spadnú na povrch skúmaného územia za daný časový interval. Vyjadrujú sa výškou vody rovnomerne rozloženej po ploche skúmaného územia [mm],

H_P – prítok vody, ktorá na skúmané územie pritečie za daný časový interval (povrchový aj podpovrchový prítok z priľahlého územia). Vyjadruje sa výškou vrstvy vody rovnomerne rozloženej po ploche skúmaného územia [mm],

H_0 – odtok vody, ktorá zo skúmaného územia odtečie za daný časový interval (po povrchu aj pod povrchom pôdy). Vyjadruje sa výškou vrstvy vody rovnomerne rozloženej po povrchu skúmaného územia [mm],

H_E – výpar – voda vyparená zo skúmaného územia za daný časový interval (z povrchu pôdy, z povrchu rastlín, transpiráciou, atď.) Vyjadruje sa výškou vrstvy vody rovnomerne rozloženej po povrchu skúmaného územia [mm],

ΔH_r – zmena zásob vody na skúmanom území za daný časový interval (napr. v pôde, vo vodných nádržiach, v snehovej pokrývke, a pod.) Vyjadruje sa výškou vrstvy vody rovnomerne rozloženej po povrchu skúmaného územia [mm].

Meraním možno určiť len množstvo zrážok H_Z a odtoku H_0 . Ostatné členy rovnice sa určujú nepriamo (napr. H_E) alebo sa zanedbávajú (napr. ΔH_r a H_p).

Zjednodušenie bilančnej rovnice zanedbaním členov ΔH_r a H_p vyplýva z týchto predpokladov:

1. Skúmané územie v krajine sa vymedzí tak, aby na ňom nebol ani povrchový ani podpovrchový prítok vody, čiže aby $H_p = 0$. Takýmto územím je povodie, ktoré v teréne (alebo na mape) ohraničuje rozvodnica.
2. Skúmané obdobie sa rozšíri na dlhý rad rokov, čím sa dosiahne, že v bilančnej rovnici celého obdobia sa hodnota ΔH_r bude rovnať iba rozdielu zásob vody medzi jeho prvým a posledným rokom.

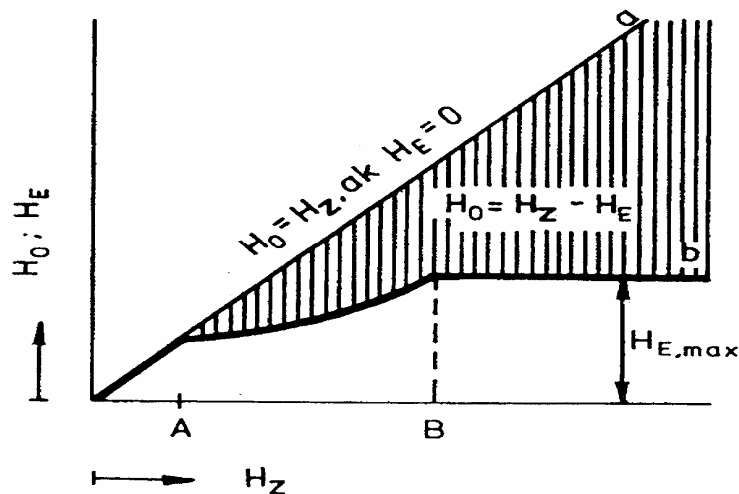
V porovnaní s hodnotami ostatných členov bilančnej rovnice za n – rokov daného obdobia, t.j. v porovnaní so $\sum H_Z$, $\sum H_0$ a $\sum H_E$ je hodnota $\sum H_r = H_{r,1} - H_{r,n}$ veľmi malá, a preto ju možno zanedbať.

Z hľadiska uvedených predpokladov a zjednodušení možno rovnicu redukovať na tvar :

$$H_Z = H_0 + H_E \quad (1.5)$$

ktorý umožňuje z dvoch známych členov rovnice (zvyčajne H_Z a H_0) určiť tretí, neznámy člen (zvyčajne H_E).

Vzájomná interakcia jednotlivých členov bilančnej rovnice je veľmi zložitá a závisí od konkrétnych prírodných podmienok skúmaného územia. Jeden z možných prípadov vzájomného ovplyvňovania členov bilančnej rovnice znázorňuje obrázok (obr. 1.1)



Obr. 1.1

[Schéma vzájomnej interakcie zrážky, odtoku a výparu (Antal, 1998)]

Čiara „a“ znázorňuje teoretický prípad, ktorý by nastal ak by na skúmanom území nebol v danom období nijaký výpar, čiže keď by platilo $H_E = 0$ teda výška odtoku by sa rovnala výške zrážok, a to bez ohľadu na objem zrážok.

Čiara „b“ znázorňuje reálnejší priebeh závislosti medzi výškou zrážok a výškou výparu. Podmienkou vzniku výparu je prítomnosť vody na skúmanom území, pričom jej jediným zdrojom sú zrážky. Možno predpokladať, že keď stúpa hodnota H_Z , vzrastá aj hodnota H_E .

Keďže výpar závisí aj od klimatických faktorov tej-ktorej oblasti, teoreticky možno závislosť $H_E = f(H_Z)$ rozdeliť na tri úseky (obr.1.1)

1. keď $H_Z \leq A$, vtedy $H_E = H_Z$ a $H_0 = 0$, pričom hodnota A závisí od klimatických podmienok (najmä od teploty vzduchu) skúmaného územia,
2. keď $A < H_Z \leq B$, vtedy so stúpajúcou hodnotou H_Z vzrastá aj hodnota H_E . V tomto úseku závislosti $H_E = f(H_Z)$ môže, ale aj nemusí byť lineárna,
3. keď $H_Z > B$, vtedy už stúpanie hodnoty H_Z neovplyvňuje hodnotu H_E , lebo táto hodnota je už pre dané klimatické podmienky (teplotu, vlhkosť vzduchu, prúdenie vzduchu) maximálna.

1.4.2 Hydrologická bilancia povrchu pôdy

Pre návrh technických, ale aj niektorých biologických melioračných opatrení (napr. protieróznych priekop, vsakovacích pásov, a pod.) musíme poznať aj charakteristiky povrchového odtoku zrážkovej vody (napr. objem, rýchlosť, trvanie), ktoré veľmi úzko súvisia s hydrologickou bilanciou povrchu pôdy.

Ak za povrch pôdy berieme celý svah, t.j. plochu medzi rozvodnicou a vodným tokom, potom rovnicu hydrologickej bilancie povrchu pôdy pre vyšetřovaný dažď môžeme napísať v tvare :

$$H_{o,p} = H_Z - H_R - V_i \quad (1.6)$$

kde

$H_{o,p}$ - výška povrchového odtoku z vyšetřovaného dažďa [mm],

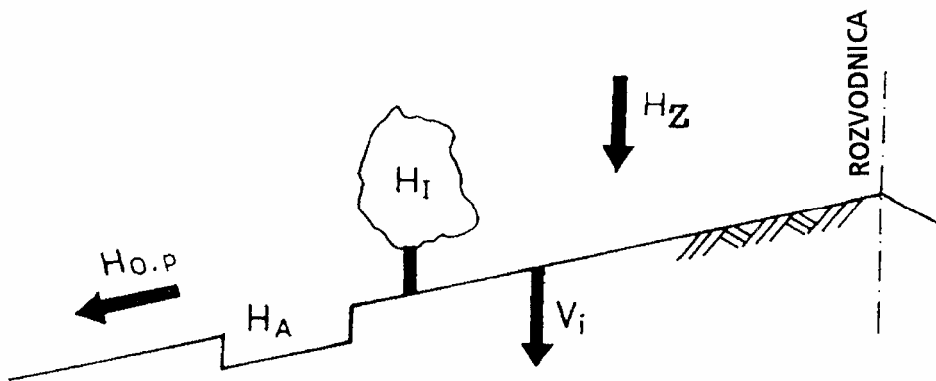
H_Z - výška vyšetřovaného dažďa [mm],

V_i - výška vody, ktorá počas trvania dažďa vsiakne do pôdneho profilu [mm],

H_R - (= $H_A + H_I$) výška retencie dažďovej vody na povrchu pôdy [mm],

H_A - výška povrchovo akumulovanej dažďovej vody vegetačným krytom povrchu pôdy [mm]

H_I - výška intercepcie dažďovej vody vegetačným krytom [mm]



Obr. 1.2

[Zložky hydrologickej bilancie povrchu pôdy (Antal, 1998)]

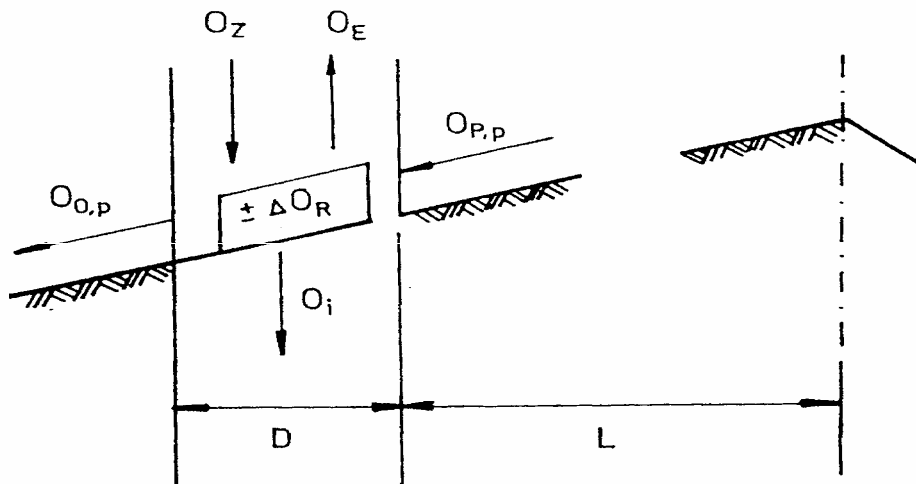
Ako vyplýva z rovnice $H_{o,p} = H_Z - H_R - V_i$, pri hydrologickej bilancii povrchu pôdy obyčajne zanedbávame výšku výparu – H_E . Je to možné preto, že dažďe, ktoré vyvolávajú povrchový odtok, ktorého charakteristiky potrebujeme poznať pre návrh melioračných opatrení, majú krátku dobu trvania a vysokú intenzitu, t.j. výška výparu za túto dobu je v porovnaní s hodnotami ostatných členov rovnice zanedbateľná. Samozrejme v konkrétnych prípadoch môžeme rovnicu doplniť aj o člen H_E .

V niektorých špecifických prípadoch (napr. pri dimenzovaní vsakovacích protieróznych pásov) nerobíme hydrologickú bilanciu celého svahu, ale len jeho časti. V tomto prípade musíme rovnicu hydrologickej bilancie pre vyšetrovanú časť svahu a pre určitý časový úsek vyjadriť v tvare :

$$\pm \Delta O_R = O_Z + O_{P,p} - O_{O,p} - O_i - O_E \quad (1.7a)$$

resp. v tvare

$$O_{O,p} = O_Z + O_{P,p} - O_i - O_E \pm \Delta O_R \quad (1.7b)$$



Obr. 1.3

[Zložky hydrologickej bilancie časti svahu (Antal, 1998)]

v ktorých

ΔO_R - ($=O_{R,k} - O_{R,z}$) zmena objemu povrchovej retencie vody na vyšetrovanej časti svahu za uvažovaný časový úsek [m^3],

O_Z - objem dažďovej vody, ktorá dopadne na vyšetrovanú časť svahu za uvažovaný časový úsek [m^3],

$O_{P,p}$ - objem povrchového prítoku na vyšetrovanú časť svahu za uvažovaný časový úsek [m^3],

O_i - objem infiltrovanej vody na vyšetrovanej časti svahu za uvažovaný časový úsek [m^3],

$O_{O,p}$ - objem povrchového odtoku z vyšetrovanej časti svahu za uvažovaný časový úsek [m^3],

O_E - objem vyparenej vody z vyšetrovanej časti svahu za uvažovaný časový úsek [m^3],

$O_{R,z}$ - objem povrchovej retencie na vyšetrovanej časti svahu na začiatku uvažovaného časového úseku [m^3],

$O_{R,k}$ - objem povrchovej retencie vody, na konci uvažovaného časového úseku [m^3],

Ak chceme vyjadriť jednotlivé členy rovníc ich tzv. ekvivalentnou výškou, t.j. ako H_R , H_Z , a pod. musíme si uvedomiť, že hoci objem povrchového prítoku na vyšetrovanú časť svahu (obr. označená písmenom D) - $O_{P,p,D}$ je totožný s objemom odtoku z vyššie ležiacej časti svahu (na obr. označená písmenom L) - $O_{O,p,L}$, nemusí platiť rovnosť medzi výškou prítoku povrchovej vody na pás D a výškou odtoku povrchovej vody z pásu L. Medzi týmito výškami, ak uvažujeme rovnakú šírku obidvoch častí svahu, platí vzťah :

$$H_{P,p,D} = \frac{L}{D} \cdot H_{O,p,L} \quad (1.8)$$

kde

$H_{P,p,D} - \left(= \frac{O_{P,p,D}}{D \cdot \xi} \cdot 1000 \right)$ výška povrchového prítoku na pás D za uvažovaný časový

úsek [mm],

$H_{O,p,L} - \left(= \frac{O_{O,p,L}}{D \cdot \xi} \cdot 1000 \right)$ výška povrchového odtoku z pásu L za uvažovaný časový

úsek [mm],

L - dĺžka vyššie ležiacej časti svahu [m],

D - dĺžka časti svahu, pre ktorú robíme hydrologickú bilanciu [m],

š - šírka vyšetřovaného svahu [m],

$O_{P,p,D} - (= O_{O,p,L})$ objem povrchového prítoku vody na vyšetřovanú časť svahu za uvažovaný časový úsek [m³],

$O_{O,p,L} - (= O_{P,p,D})$ objem povrchového odtoku z vyššie ležiacej časti svahu za uvažovaný časový úsek [m³]

Pomocou rovnice : $H_{P,p,D} = \frac{L}{D} \cdot H_{O,p,L}$

môžeme rovnice : $\pm \Delta O_R = O_Z + O_{P,p} - O_{O,p} - O_i - O_E$

$$O_{O,p} = O_Z + O_{P,p} - O_i - O_E \pm \Delta O_R$$

upraviť na tvar :

$$\pm \Delta H_R = H_Z + \frac{L}{D} \cdot H_{O,p,L} - H_{O,p,D} - V_i - H_E \quad (1.9)$$

$$H_{O,p,D} = H_Z + \frac{L}{D} \cdot H_{O,p,L} - V_i - H_E \pm \Delta H_R \quad (1.10)$$

kde

$H_{O,p,D}$ - výška povrchového odtoku z vyšetřovanej časti svahu, t.j. z pásu D, za uvažovaný časový úsek [mm],

Je potrebné si uvedomiť, že hydrologickú bilanciu povrchu pôdy robíme pre časové obdobie rovnajúce sa len trvaníu skutočného dažďa – t_d , resp. trvanie tzv. náhradného dažďa – $t_{d,N}$ (Antal, 1999).

1.5 CN - metóda

CN – metóda bola odvodená z mnohoročných pozorovaní odtokov práve z poľnohospodársky využívaných povodí, preto i vstupné údaje pre výpočet povrchového odtoku podľa CN – metódy dosť podrobne charakterizujú, okrem hydrologických pomerov, aj spôsob poľnohospodárskeho využívania, a čo je zvlášť výhodné, aj protieróziu ochranu ornej pôdy v povodí.

Konkrétne, CN – metóda pri výpočte charakteristík povrchového odtoku zohľadňuje :

1. výšku návrhového (ale i konkrétneho) dažďa – $H_{D,N}$, ktorú určíme napr. podľa rovnice
2. infiltračné a drenážne vlastnosti pôd v povodí
3. hydrologické vlastnosti pôdneho krytu, a to pre :
 - a) poľné oševné postupy
 - b) pasienky
 - c) stromové porasty
4. vlhkosť stav pôdy (len pre výpočet charakteristík z konkrétneho dažďa) charakterizovaný tzv. indexom predchádzajúcich zrážok – IPZ
5. využívanie pôdy, smer obrábania pôdy, resp. vplyv protieróznych vsakovacích priekop a priehlbínových terás.

1.5.1 Hydrologické charakteristiky povodia pre CN – metódu

Pre použitie CN – metódy potrebujeme poznať :

- a) hydrologickú charakteristiku vlastností pôd v povodí,
- b) hydrologickú charakteristiku pôdneho krytu,
- c) hydrologickú charakteristiku jednotlivých spôsobov obrábania pôdy,
- d) hydrologickú charakteristiku vlhkosťného stavu pôdy.

- a) Hydrologické vlastnosti pôd v povodí sú základnou charakteristikou, ktorá musí byť v povodí analyzovaná. Pre potreby CN – metódy rozdeľujeme pôdy na 4 kategórie a to podľa ich infiltračných a drenážnych vlastností
- b) Hydrologické vlastnosti pôdneho krytu, t.j. akéhokoľvek materiálu (obyčajne však máme na mysli rastlinný kryt), ktorý pokrýva pôdny povrch a tak ho chráni pred účinkami dopadajúcich dažďových kvapiek, závisia od :
 - hustoty a výšky rastlín,
 - hustoty a hĺbky ich koreňového systému,
 - množstva a rozsahu rastlinného odpadu (rastlinných zvyškov).

Vzhľadom na to, že vo väčšine prípadov nepoznáme a ani nevieme zistiť detailné informácie o pôdnom kryte, hydrologickú charakteristiku pôdneho krytu určujeme na základe využívania pôdy v povodí, pričom detailnejšie môžeme rozlišovať hydrologickú charakteristiku pôdneho krytu pre :

A. poľné oševné postupy, ktoré z hydrologického pohľadu, rozdeľujeme na dobré, zlé, pričom :

- dobré sú tie, v ktorých je vysoké zastúpenie viacročných krmovín, dočasných trávnych porastov a strukovín, ktoré zlepšujú štruktúru pôdy a zvyšujú infiltračnú schopnosť pôdy. Pozitívny účinok týchto plodín sa pritom prenáša i do nasledujúcich rokov.
- zlé sú obyčajne tie oševné postupy, v ktorých prevládajú širokoriadkové plodiny,

B. prirodzené pasienky rozdeľujeme z hydrologického hľadiska na dobré, priemerné a zlé podľa percentuálneho pokrytia plochy porastom, a podľa množstva vyprodukovaného porastu,

C. trvalý trávny porast – nespásaný, so 100 % rastlinným krytom, reprezentuje hornú hranicu (t.j. najmenšiu hodnotu CN – krivky) priaznivého vplyvu poľnohospodárskeho využívania pôdy v povodí na povrchový odtok zrážkovej vody. Z hydrologického hľadiska preto zaraďujeme TTP ako dobrý pôdny kryt.

D. lesy a stromami porastené plochy – rozdeľujeme na dobré, priemerné a zlé podľa toho, či na povrchu pôdy zostávajú, alebo nezostávajú opadané listy, konáre atď.

c) Pri hydrologickej klasifikácii obrábania pôdy si všímame :

1. smer agrotechnických zásahov,
2. účinok protieróznych opatrení.

Z tohto hľadiska pre CN – metódu rozlišujeme :

A. Obrábanie bez ohľadu na sklon pozemkov – predstavuje taký typ hospodárenia na pôde, kedy orba, sejba, kultivácia, atď. je robená bez ohľadu na sklon pozemku. Patrí sem predovšetkým obrábanie pozemkov v smere spádnic. Brázdy, vznikajúce pri tomto spôsobe obrábania nezadržujú zrážkovú vodu na pozemku, skôr naopak, umožňujú rýchlejší odtok zrážkovej vody z pozemku, a tak zväčšujú aj eróziu pôdy.

B. Obrábanie po vrstevnici – predstavuje taký typ hospodárenia na pôde, keď sa všetky agrotechnické zásahy robia v smere vrstevníc. Brázdy, ktoré vznikajú pri tomto spôsobe obrábania pôdy znižujú povrchový odtok i eróziu pôdy a to v závislosti od ich veľkosti a od sklonu pozemku.

Veľkosť brázd závisí predovšetkým od pestovanej plodiny a od použitého náradia. Brázdičky vytvorené pri siatí úzkoriadkových plodín (ako sú obilniny, strukoviny, olejniny), sú malé (asi 0,10 m široké, 0,10 m hlboké a od seba vzdialené asi 0,20 m) a na poli sú len do prvého dažďa. Brázdy vytvorené pri sadení okopanín, sú obyčajne väčšie (približne 0,20 m široké, 0,15 m hlboké a od seba vzdialené asi 1,0 m). Akumulačná kapacita brázd klesá v prípade ak stúpa sklon pozemku.

Hoci vrstevnicové obrábanie vytvára určitú ochranu proti vodnej erózii (znižuje vodnú eróziu o 10 až 50 % v závislosti od sklonu pozemku), tzv. pásové pestovanie plodín, t.j. striedanie pásov plodín s rôznou hustotou porastu, napr. tráva a okopaniny, má ešte lepší pôdo- a vodoochranný účinok.

C. Terasovanie pozemkov – predstavuje najúčinnnejšie pôdo- a vodoochranné opatrenie. Pre potreby CN – metódy uvažujeme len o takých terasách, ktoré nezadržujú úplne povrchový odtok, ale tento len sústreďujú a neškodne ho odvádzajú mimo poľnohospodárskych pozemkov. V našich podmienkach môžeme do tohto typu terás zaradiť napr. plochy s priehlbínovými terasami, plochy so zatrávnenými údolnicami a plochy s odvádzacími priekopami.

D. Ďalšie spresnenie výpočtov podľa CN – metódy umožní vyhodnotenie (klasifikácia) vlhkosného stavu pôdy pred začiatkom dažďa, z ktorého potrebujeme vypočítať charakteristiky povrchového odtoku.

d) Klasifikácia vlhkosného stavu pôdy, t.j. určenie tzv. indexu predchádzajúcich zrážok – IPZ, vyplýva z posúdenia obsahu vody v pôde a z množstva zrážok, poprípade aj priebehu teploty za 5 dní, ktoré predchádzajú dažďu, pre ktorý počítame charakteristiky povrchového odtoku (Antal, 2008).

Tab. 3.1

Využívanie pôdy	Hydrologické charakteristiky					
	Obrábania pôdy	Pôdneho krytu	Vlastnosti pôdy			
			A	B	C	D
Úhor		zlé	77	86	91	94
Širokoriadkové plodiny	v priamych riadkoch	zlé	72	81	88	91
	v priamych riadkoch	dobré	67	78	85	89
	po vrstevnici	zlé	70	79	84	88
	po vrstevnici	dobré	65	75	82	86
	terasovanie	zlé	66	74	80	82
	terasovanie	dobré	62	71	78	81
Úzkoriadkové plodiny	v priamych riadkoch	zlé	65	76	84	88
	v priamych riadkoch	dobré	63	75	83	87
	po vrstevnici	zlé	63	74	82	85
	po vrstevnici	dobré	61	73	81	84
	terasovanie	zlé	61	72	79	82
	terasovanie	dobré	59	70	78	81
Krmoviny na ornej Pôde, dočasné lúky	v priamych riadkoch	zlé	66	77	85	89
	v priamych riadkoch	dobré	58	72	81	85
	po vrstevnici	Zlé	64	75	83	85
	po vrstevnici	dobré	55	69	78	83
	terasovanie	zlé	63	73	80	83
	terasovanie	dobré	51	67	76	80
Pasienky	nedefinované	zlé	68	79	86	89
		Priemerné	49	69	79	84
		dobré	39	61	74	80
		zlé	47	67	81	88
Pasienky	po vrstevnici	Priemerné	25	59	75	83
	po vrstevnici	dobré	6	35	70	79
Lúky, TTP		dobré	30	58	71	78
Les		zlé	45	66	77	83
		priemerné	36	60	73	79
		dobré	25	55	70	77
Intravilán		nedefinované	59	74	82	86
Nesprevnené cesty		nedefinované	72	82	87	89
		nedefinované	74	84	90	92

Keď poznáme hydrologické charakteristiky povodia, resp. jednotlivých čiastkových plôch v povodí, pre určenie hodnoty CN použijeme údaje v tabuľke pričom určujeme :

- priemernú hodnotu CN pre celý rok,
- hodnotu CN pre vybranú časť roka, alebo určujeme
- hodnotu CN pre konkrétny dážď.

1.6 Management vody v poľnohospodárskej krajine

Pod pojmom management vody sa rozumie také zaobchádzanie s vodnými zdrojmi v poľnohospodársky využívanej krajine, ktoré zabezpečí dosiahnutie určených cieľov. Medzi najdôležitejšie ciele managementu vody v poľnohospodárskej krajine, v závislosti od konkrétnych prírodných a antropogénnych podmienok, patrí :

- zabezpečenie čo najväčšej využiteľnosti zrážkovej a závlahovej vody pestovanými poľnohospodárskymi plodinami,
- vylúčenie, alebo aspoň zníženie intenzity vodnej erózie pôdy zrážkovou a závlahovou vodou,
- zabránenie degradácie pôdy jej zamokrením a zasolením,
- využitie vody pre zúrodnenie už zasolených pôd,
- zabránenie, alebo aspoň zmenšenie znečistenia zdrojov povrchových a podzemných vôd poľnohospodárskou, resp. inou ľudskou činnosťou.

Splnenie vyššie uvedených, ale aj iných, cieľov sa dá dosiahnuť :

- managementom povrchovej vody
- managementom podpovrchovej, predovšetkým pôdnej vody.

1.6.1 Management povrchovej vody

Management povrchovej vody z pohľadu hydrológie je zameraný najmä na :

- zníženie, resp. zvýšenie objemu povrchového odtoku zrážkovej a závlahovej vody,
- zníženie, resp. zvýšenie množstva infiltrovanej zrážkovej a závlahovej vody,
- zníženie (málokedy zvýšenie) erozivity prirodzených a umelých zrážok, či už v momente ich dopadu na povrch pôdy, alebo po ich premene na povrchový odtok,
- bezpečné odvedenie prebytočnej povrchovej vody do recipientu, resp. jej pretransformovanie na podpovrchovú vodu,
- zabránenie, alebo aspoň zníženie znečisťovania zdrojov povrchovej vody poľnohospodárskou činnosťou.

1.6.2 Regulácia objemu povrchového odtoku zrážkovej vody

Pri regulácii povrchového odtoku sa musí diferencovať, či ide o povrchový odtok z prirodzených alebo z umelých zrážok.

V prípade prirodzených zrážok sa môže ovplyvňovať objem ich povrchového odtoku prostredníctvom ovplyvňovania infiltračnej schopnosti pôdy a čiastočne aj ovplyvňovaním evaporácie zrážkovej vody. Je to spôsobené tým, že nie je možné ovplyvňovať charakteristiky prirodzených zrážok (intenzitu dažďa, trvanie dažďa).

V prípade umelého dažďa (napr. závlahy postrekom) sa väčšinou dá, okrem ovplyvňovania infiltračnej schopnosti zavlažovanej pôdy, regulovať aj intenzita, trvanie a termín aplikácie závlahovej dávky.

Evaporácia zrážkovej vody sa zvyšuje alebo znižuje tým, že sa zvyšuje alebo znižuje povrchová retencia zrážkovej vody. Zníženie povrchovej retencie, a tým aj zníženie evaporácie a zvýšenie objemu povrchovo odtekajúcej zrážkovej vody sa dá dosiahnuť tými opatreniami, ktoré znižujú intercepciu a povrchovú akumuláciu zrážkovej vody.

Dosiahne sa to napr. :

- odstránením vegetačného krytu pôdy v záujmovom území,
- zarovnaním nerovností povrchu pôdy v záujmovom území,
- utlačením povrchovej vrstvy pôdneho profilu

Tieto opatrenia zvyšujú objem povrchového odtoku zrážkovej vody aj tým, že znižujú nielen povrchovú retenciu, ale, do určitej miery, aj infiltráciu zrážok.

1.6.3 Regulácia infiltrácie zrážkovej vody

Infiltrácia zrážkovej vody do pôdy sa môže ovplyvňovať obidvoma smermi, t.j. je možné množstvo infiltrovanej zrážkovej vody aj znižovať, ale aj zvyšovať, a to podľa toho, čo je v konkrétnom prípade potrebné. Okrem zvyšovania a znižovania intenzity infiltrácie je potrebné venovať pozornosť aj kvalite infiltrácie, vyjadrenej plošnou rovnomernosťou intenzity infiltrácie na záujmovom území. Čo sa týka znižovania intenzity infiltrácie, okrem už opísaných biologických a mechanických metód, existujú aj chemické metódy. Chemické metódy, na prvý pohľad prírode cudzie, niekedy však nevyhnutné, sú založené na aplikácii takých chemických látok, ktoré na povrchu pôdy vytvárajú pre vodu menej priepustnú až úplne nepriepustnú vrstvu. Vytváranie menej priepustnej vrstvy chemickými látkami môže byť :

- priame, napr. pri aplikácii asfaltu a pod.,
- nepriame, založené na aplikácii látok vyvolávajúcich deštrukciu pôdnych agregátov, alebo hydrofóbiu pôdnych častíc.

Obmedzovanie infiltrácie zrážkovej vody na poľnohospodársky využívannej pôde sa v našich klimatických podmienkach nepraktizuje.

V našich klimatických podmienkach je skôr snaha zvyšovať intenzitu infiltrácie zrážkovej vody do pôdy, najmä z hľadiska zníženia intenzity vodnej erózie pôdy a ochrany zdrojov povrchových vôd. Snaha o zvýšenie využiteľnosti zrážkovej a závlahovej vody pestovanými rastlinami je samozrejmosť.

Zjednodušene sa dá povedať, že na zvýšenie infiltrácie vody do pôdy sa používajú tie isté opatrenia ako na jej zníženie, ale v opačnom zmysle.

Sú to najmä tieto opatrenia :

- obnovenie vegetačného krytu, resp. zmena vegetačného krytu pôdy,
- zmena smeru a spôsobu obrábania pôdy,
- zvyšovanie drsnosti a kyprostí povrchu pôdy, resp. vrchnej časti pôdneho profilu, napr. brázdovaním, t.j. zvyšovanie povrchovej akumulácie zrážkovej vody,
- znižovanie sklonu povrchu pôdy, a tým, spolu so zvyšovaním drsnosti pôdy, aj znižovanie rýchlosti povrchovo odtekajúcej vody,
- zlepšovanie štruktúrneho stavu vrchnej časti pôdneho profilu, či už prirodzenými (napr. maštal'ný hnoj), alebo umelými štruktúrotrvnými látkami,
- zabránenie degradácie štruktúry povrchovej časti pôdneho profilu kinetickou energiou dažďových kvapiek a povrchovo odtekajúcou vodou, napr. mulčovaním povrchu pôdy.

Vyššie uvedené opatrenia pôsobia na zvýšenie infiltrácie zrážkovej vody dvoma mechanizmami, a to :

- zvyšujú, alebo aspoň udržiujú infiltračnú schopnosť pôdy,
- predlžujú pobyt zrážkovej vody na povrchu pôdy v záujmovom území.

V prípade závlahy pôdy postrekom musia byť ešte vyššie uvedené opatrenia doplnené o prispôsobenie intenzity postreku vsakovacej schopnosti pôdy a požadovanej veľkosti závlahovej dávky.

Ak k opatreniam na zníženie objemu povrchového odtoku a na zvýšenie objemu infiltrovanej zrážkovej a závlahovej vody sa pridajú ešte opatrenia na bezpečné odvedenie prebytočnej povrchovej vody do recipientu, resp. na jej pretransformovanie na vodu podpovrchovú, splnia sa všetky definované ciele managementu povrchovej vody.

1.6.4 Management podpovrchovej vody

Management podpovrchovej, predovšetkým pôdnej vody je z hydrologického hľadiska, zameraný najmä na :

- zabezpečenie optimálneho vodného, vodno-vzdušného, vodno-živinového a vodno biologického režimu pôd pre pestované poľnohospodárske plodiny,
- predchádzanie degradácii pôdy, najmä jej zamokrením a zasolením,
- zúrodnenie už zasolených pôd tzv. premývacou závlahou,
- na ochranu zdrojov podzemnej vody pred poľnohospodárskym znečistením, najmä pred prienikom agrochemikálií z povrchu pôdy, resp. z koreňovej zóny pôdneho profilu k hladine podzemnej vody.

Optimálny vodný režim pôd, a tým aj optimalizované ostatné pôdne režimy sa môže v našich klimatických podmienkach dosiahnuť len obojstrannou reguláciou vodného režimu pôd, t.j. možnosťou drénovania i závlahy koreňovej zóny pôdneho profilu. Pri návrhu odvodnenia sa musí, zohľadniť aj tzv. požadovaná doba odvodnenia, t.j. doba, za ktorú musí byť z koreňovej zóny pestovanej plodiny odvedená prebytočná voda. Táto doba závisí od pestovanej plodiny, pohybuje sa v rozpätí od 10 – 2 dní.

Management závlah musí zabezpečiť :

1. aby každá závlahová dávka bola determinovaná :
 - akumuláčnou a retenčnou kapacitou koreňovej, resp. na závlahu určenej zóny pôdneho profilu,
 - potrebou zavlažovaných rastlín,
2. aby závlahová voda bola aplikovaná takou rýchlosťou a takým spôsobom, ktorý
 - umožní jej efektívne využitie zavlažovanými rastlinami,

- nevyvolá významnú eróziu a degradáciu pôdy,

3. Aby kvalita závlhovej vody bola taká, ktorá :

- nevyvolá deštruktívne procesy v pôde
- nepoškodí zdravotnú, senzoryckú, či inú kvalitu pestovaných poľnohospodárskych plodín.

(Antal, 2004)

2 Cieľ práce

Cieľom práce je na základe štúdia vedeckej, odbornej a knižnej literatúry spracovať súčasný prehľad týkajúci sa problematiky povrchového odtoku a jeho výpočtu. Primárnym cieľom je výpočet výšky a objemu povrchového odtoku pomocou metódy odtokových kriviek t.j. CN – metóda. Sekundárnym cieľom je pripraviť podkladové materiály, ktoré charakterizujú okrem hydrologických pomerov, aj spôsob poľnohospodárskeho využívania. Ďalej digitalizovať bonitované pôdno – ekologické jednotky – BPEJ a zistiť hydrologickú kategóriu ako funkciu hlavnej pôdnej jednotky a v kombinácii s využívaním územia stanoviť hodnoty CN.

3 Metodika práce a metody výskumu

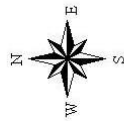
3.1 Charakteristika záujmového územia

3.1.1 Vymedzenie územia

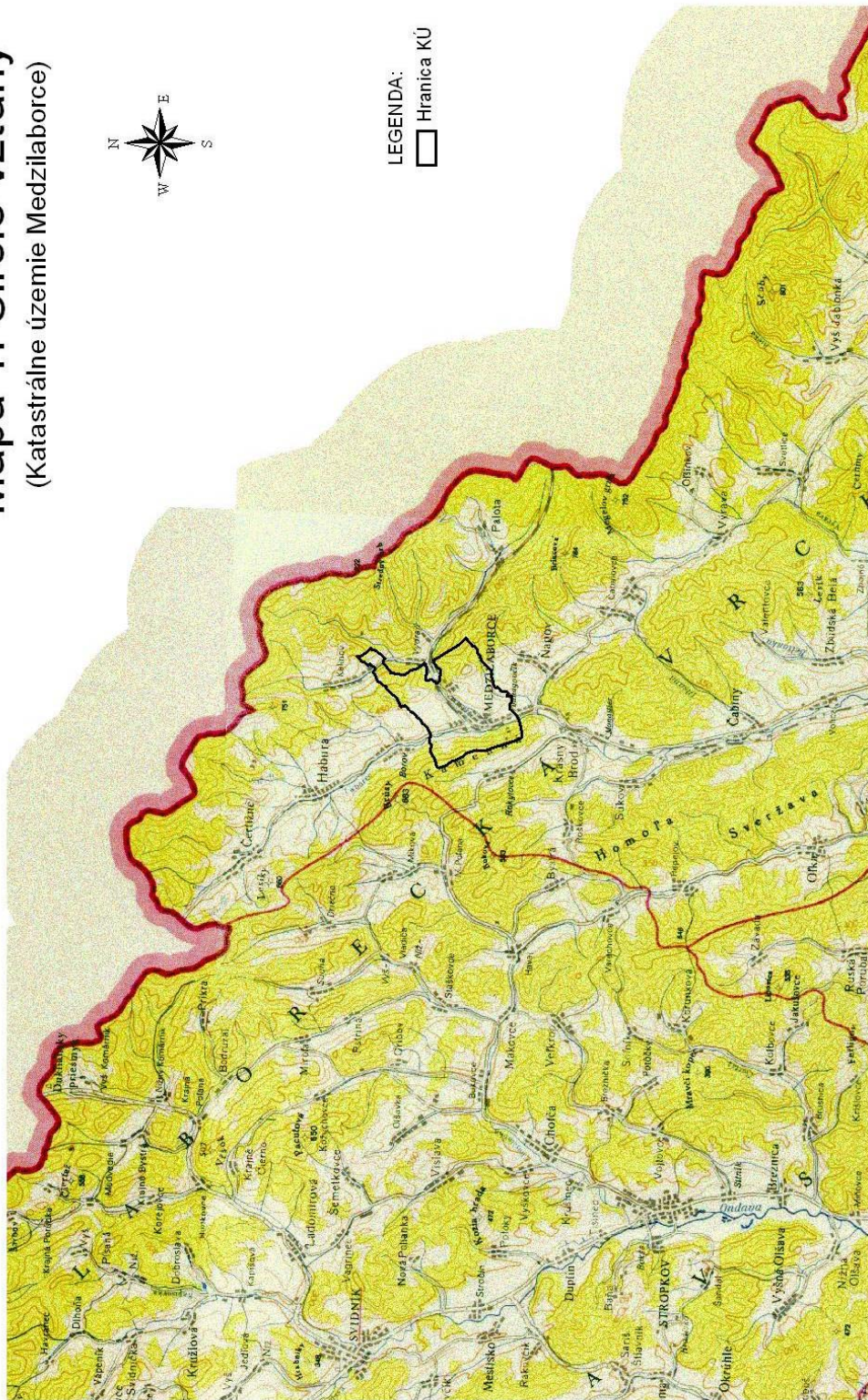
Katastrálne územie mesta Medzilaborce sa nachádza v severnej časti Laboreckej vrchoviny na sútoku riek Laborec a Vydranka. Leží vo výške 326 m n.m. a jeho rozloha je 32,92 km².

Mapa 1: Širšie vzťahy

(Katastrálne územie Medzilaborce)



LEGENDA:
 Hranica KÚ



© GKÚ, Bratislava

4000 0 4000 8000 Meters

3.1.2 Geologický vývoj a stavba regiónu

Geologická stavba je pomerne jednotvárna. Laborecká vrchovina, v ktorej sa nachádza celé územie, je typom flyšového pásma s prikrovovo - vrásovou stavbou. Na vnútornej juhozápadnej strane ju budujú prvky magurského flyšu račianskej jednotky, tvorené vrchnokriedovými až oligocennými ílovcami a pieskovecami. Vonkajšia pohraničná časť pohoria patrí k vonkajšiemu flyšu, k dukelským vrstvám. Pohraničný chrbát budujú vrchnokriedové až paleocénne inoceramové vrstvy. Reliéf Laboreckej vrchoviny sa vyznačuje silnou koreláciou s odolnosťou hornín. Geologický podklad väčšiny územia tvoria paleogénne sedimenty flyšového pásma, iba v najsevernejšej pohraničnej časti zasahujú mezozoické horniny centrálného bradlového a flyšového pásma. V geologicky pomerne chudobnej oblasti územia sa nenachádzajú nerastné suroviny. Miestne malé zdroje štrkopieskov na nive Laborca a tehliarske hliny sa priemyselne nevyužívajú. Miestami je zaznamenaný nevýznamný výskyt ropy sprevádzaný i výskytom zemného plynu.

3.1.3 Reliéf

Laboreckú vrchovinu na východe ohraničujú Bukovské vrchy, na juhu Beskydské predhorie a Ondavská vrchovina, ktorá tvorí juhozápadné a západné hranice. Povrch má intenzívne rozčlenený do sústavy chrbtov a erózných brázd pretiahnutých zo severozápadu na juhovýchod. Nadmorská výška chrbtov sa pohybuje od 500-700 m, povrch brázd kolíše medzi 200-500 m n.m. Výnimku tvorí len východná časť pohraničného chrbta, ktorá vystupuje až nad 700-800 m.n.m. Tu leží najvyšší bod pohoria Vysoký Grúň vysoký 910 m. Najvyšší bod okresu meria 883 m.n.m., je na chrbte, ktorý hraničí s Poľskom v katastri obce Svetlice. Od severu smerom na juh sa územie znižuje a najnižšie, 180 m.n.m. je pri výtoku Laborca v katastri obce Brestov nad Laborcom. Z hľadiska geomorfologického členenia Laborecká vrchovina patrí do oblasti Nízke Beskydy, subprovincie Vonkajšie Východné Karpaty, provincie Východné Karpaty, subsystemu Karpaty a systému Alpsko-himalájskeho.

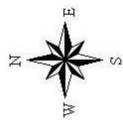
3.1.4 Vodstvo

Celé územie patrí k úmoriu Čierneho mora. Laboreckú vrchovinu odvodňuje Laborec a čiastočne Ondava. Laborec má významnejšie prítoky ľavostranné, než pravostranné. Ľavostranné prítoky sú Čertižnianka, Norisný potok, Habura, Sližov, Borovský potok, Vydranka, Olšava, Belianka. Pravostranné prítoky sú Rakytovec a Stredná. Laborec je 135 km dlhý pravostranný prítok Latorice. Pramení v Nízkych Beskydách nad obcou Čertižné vo výške okolo 730 m.n.m.

Územie má malé zásoby podzemnej vody, čo vyplýva z vlastností paleogénu. Významnejšími zdrojmi vody sú podzemné vody blízkeho kvartéru. Sú viazané najmä na nivné sedimenty štrkov a pieskov. V priepustných flyšových vrstvách sa zachovali zásoby vody morského pôvodu, medzi ktorými prevládajú naftové soľanky. Soľanky sú minerálne vody silne mineralizované s obsahom rozpustných pevných látok viac ako 10 g/l. Prirodené pramene tejto vody sú veľmi zriedkavé a sú vždy studené. Teplé soľanky sú známe len z hlbinných vrtov. Naftové soľanky boli objavené pri vŕtaní v okolí Medzilaboriec.

Mapa 2: Zájimové územie

(na podklade ortofotomapy)



LEGENDA:
□ Hranica KÚ



© EUROSENSE, s.r.o.

3.1.5 Pôdy

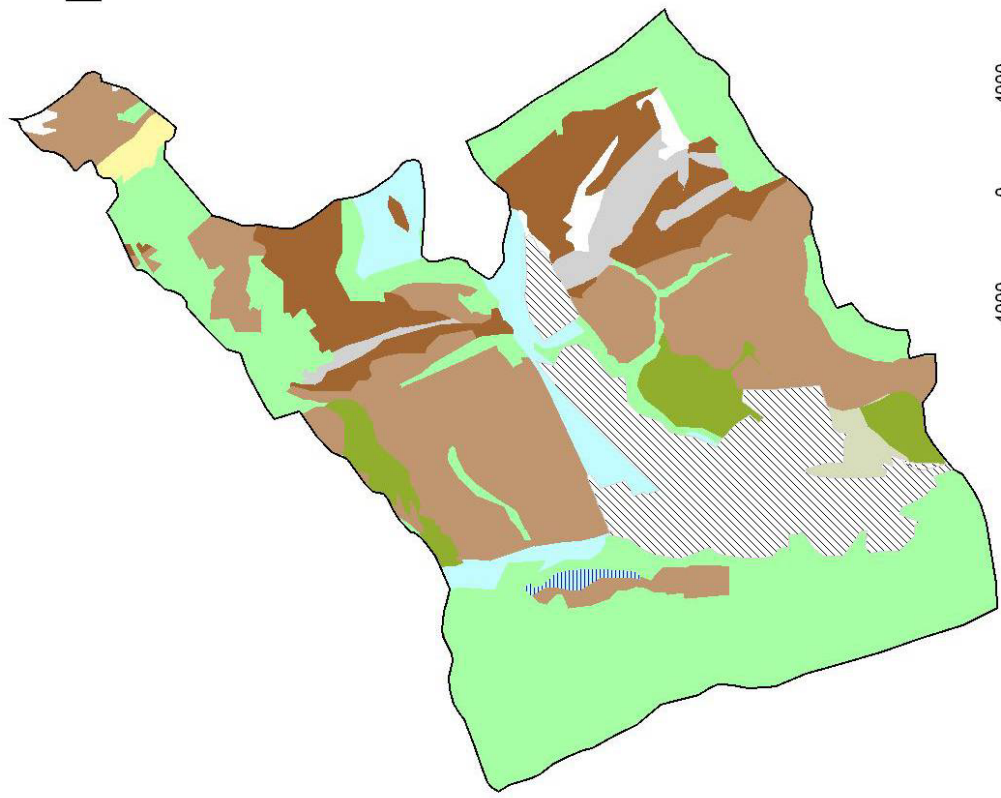
V katastrálnom území mesta Medzilaborce sa vyskytuje viacero pôdných typov. Patria sem: kambizeme, luvizeme, glej a fluvizeme.

Kambizeme sú trojhorizontové A-B-C pôdy, vyvinuté zo zvetralín vyvretých, metamorfovaných a vulkanických hornín, prevažne nekarbonátových sedimentov paleogénu a neogénu, lokálne tiež z nespevnených sedimentov, napr. z viatych pieskov. Ich humusový A-horizont je v nižších polohách plytký a svetlý, s malým obsahom humusu a často aj na zvetralinách granitov sorpčne nasýtený. Ide o tzv. ochrický Ao-horizont. Vo vyšších, klimaticky extrémnejších nadmorských výškach v ňom narastá obsah surového kyslého humusu a narastá tiež jeho hrúbka, čím sa mení na tzv. umbrický Au-horizont. Dominantným diagnostickým horizontom kambizemí je kambický Bv-horizont. Je to metamorfický podpovrchový horizont, ktorý vznikol procesom hnednutia, s fyzikálnou a chemickou premenou prvotných minerálov a tvorbou ílových minerálov, bez ich výraznejšej translokácie. Tento proces dáva horizontu charakteristickú hnedú farbu. Vyskytujú sa tu subtypy kambizem pseudoglejová kultizemná a kambizem modálna kultizemná. **Luvizeme**, sú štvorhorizontové A-E-B-C pôdy vyvinuté z rôznych, prevažne nekarbonátových pôdotvorných substrátov v podmienkach premyvneho vodného režimu. Na povrchu majú tzv. ochrický horizont Ao. Pod ním sa nachádza dobre vyvinutý eluviálny E-horizont svetlejší ako nad a pod ním ležiace horizonty, ktorý vznikol vylúhovaním minerálnych a organických koloidov v dôsledku silného premývania povrchovými vodami. Translokované koloidné zložky vytvárajú nižší Bt-horizont, ktorý je hutný s obsahom až trikrát viac ílu ako vrchnejší E-horizont. Patrí sem subtyp luvizem pseudoglejová kultizemná.

Glej sa vytvoril účinkom ležiacej podzemnej vody. Vrchná časť pôdy je mokrá alebo vlhká väčšinou roka. Poľnohospodársky ich možno využiť len po odvedení.

Fluvizeme sú mladé, dvojhorizontové A-C pôdy, vyvinuté výlučne z holocénnych fluviálnych, t.j. aluviálnych a proluviálnych silikátových a karbonátových sedimentov. Sú to pôdy v iniciálnom štádiu vývoja s pôdotvorným procesom slabej tvorby a akumulácie humusu, pretože tento proces je, resp. v nedávnej minulosti bol narúšaný záplavami a aluviálnou akumuláciou. Pre fluvizeme je typická textúrna rozmanitosť, rôzna minerálna bohatosť a rôzne vysoká hladina podzemnej vody.

Mapa 3: Pôdne typy, subtypy



4000 0 4000 8000 Meters

© VUPOP, Bratislava

3.2 Výpočet CN – metody v GIS

3.2.1 Přípravné hydrologické modelovanie v prostredí GIS

Tab. 3. 2

Hydrologicky korektný DMR

178	172	169	171	158
174	167	156	149	146
169	153	144	137	138
164	158	155	122	131
168	161	147	121	116

Kód	Smer odtoku
1	Východ
2	Juhovýchod
4	Juh
8	Juhozápad
16	Západ
32	Severozápad
64	Sever
128	Severovýchod

Tab. 3.3

Smer odtoku

2	2	2	4	4
2	2	2	4	4
1	1	2	4	8
128	128	1	2	4
128	1	1	1	2

Z hydrologicky korektného DMR sa odvodí mapa smeru odtoku. V ďalšom kroku určíme akumuláciu odtoku. Keďže v rastrovom dátovom modeli každá bunka je zároveň výtokovým profilom, môžeme určiť akumuláciu k výtokovému profilu (Hydrologic modeling), alebo k výtokovému profilu vrátane (Hydrotools). Pre naše potreby vyhovuje jedine akumulácia odtoku k výtokovému profilu vrátane.

Akumulácia odtoku

Tab. 3.4

a) k výtokovému profilu

0	0	0	0	0
0	1	1	2	1
0	3	8	5	2
0	1	0	19	0
0	0	1	2	24

Tab. 3.5

b) k výtokovému profilu vrátane

1	1	1	1	1
1	2	2	3	2
1	4	9	6	3
1	2	1	20	1
1	1	2	3	25

3.2.2 Zjednodušený spôsob riešenia CN - metódy

Zjednodušený spôsob riešenia CN – metódy spočíva v tom, že získané hodnoty odtokových čísel prepočítame váženým priemerom na reprezentatívne hodnoty vo vzťahu k prispievajúcej ploche výtokového profilu.

V prostredí GIS však každý bod predstavuje výtokový profil.

Tab. 3.6

Odtokové čísla

55	60	65	60	72
55	68	73	75	80
65	75	80	83	83
70	72	73	85	85
65	70	78	86	86

Tab. 3.7

Odtokové čísla reprezentatívne

55	60	65	60	72
55	61.5	66.5	66.67	76
65	66.25	67.22	69.33	78.33
70	68.5	73	70.7	85
65	70	74	78	72.76

Odtokové čísla
reprezentatívne

$$= \frac{\text{Akumulácia odtoku D8; váha: Odtokové čísla}}{\text{Akumulácia odtoku D8; bez váhy}}$$

Tab. 3.8

**Akumulácia odtoku D8
váha: Mapa odtokových čísel**

55	60	65	60	72
55	123	133	200	152
65	265	605	416	235
70	137	73	1414	85
65	70	148	234	1819

Tab. 3.9

**Akumulácia odtoku D8
bez váhy**

1	1	1	1	1
1	2	2	3	2
1	4	9	6	3
1	2	1	20	1
1	1	2	3	25

Po určení mapy odtokových čísel reprezentatívnych môžeme pristúpiť za pomoci mapového kalkulátora k výpočtu:

- potenciálnej retencie – A [mm]
 $A = 25.4 * [(1000 / CN_{REP}) - 10]$
- výšky povrchového odtoku – $H_{o,p}$ [mm]
 $H_{o,p} = (H_{D,N} - 0.2 * A)^2 / (H_{D,N} + 0.8 * A)$
- prispievajúcich plôch (povodí) – S_p [km²]
 $S_p = (\text{akumulácia odtoku bez váhy} * \text{rozlíšenie rastra}^2) / 1\,000\,000$
- objemu povrchového odtoku – $O_{o,p}$ [m³]
 $O_{o,p} = 1000 * H_{o,p} * S_p$

Výšku povrchového odtoku na základe CN – metódy dostávame vo výtokovom profile vždy v milimetroch vodného stĺpca pre jeho prispievajúcu plochu za celú dobu trvania dažďa.

Tab. 3.10

Potenciálna retencia repr. [mm]

207.8	169.3	136.8	169.3	98.8
207.8	159.0	128.0	127.0	80.2
136.8	129.4	123.9	112.3	70.3
108.9	116.8	93.9	105.3	44.8
136.8	108.9	89.2	71.6	95.1

Tab. 3.11

Výška povrchového odtoku repr. [mm]

3.42	6.35	10.14	6.35	16.94
3.42	7.40	11.44	11.59	21.70
10.14	11.22	12.10	14.13	24.80
14.81	13.31	18.07	15.54	35.19
10.14	14.81	19.24	24.34	17.79

Tab. 3.12
Prispievajúca plocha [km²]

0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
0.0025	0.005	0.005	0.0075	0.005
0.0025	0.01	0.0225	0.015	0.0075
0.0025	0.005	0.0025	0.05	0.0025
0.0025	0.0025	0.005	0.0075	0.0625

Tab. 3.13
Objem povrchového odtoku [m³]

8.6	15.9	25.3	15.9	42.4
8.6	37.0	57.2	86.9	108.5
25.3	112.2	272.2	212.0	186.0
37.0	66.5	45.2	776.8	88.0
25.3	37.0	96.2	182.60	1112.1

3.2.3 Detailný spôsob riešenia CN metódy

Pre každú zastúpenú CN hodnotu osobitne vypočítame výšku potenciálnej retencie (A) ako i výšku a objem povrchového odtoku. Reprezentatívnu výšku povrchového odtoku pre celé povodie dostaneme váženým priemerom z jednotlivých vypočítaných výšok ($H_{o,p}$), a objem povrchového odtoku z celého povodia dosiahneme súčtom jednotlivých objemov .

Detailný spôsob výpočtu je vhodné použiť v prípadoch, kde sa v povodí nachádza široká škála rôznych pôdnych krytov a rôznych pôdnych druhov.

Tab. 3.14
Odtokové čísla (CN)

55	60	65	60	72
55	68	73	75	80
65	75	80	83	83
70	72	73	85	85
65	70	78	86	86

Tab. 3.15
Potenciálna retencia [mm]

207.8	169.3	136.8	169.3	98.8
207.8	119.5	93.9	84.7	63.5
136.8	84.7	63.5	52.0	52.0
108.9	98.8	93.9	44.8	44.8
136.8	108.9	71.6	41.3	41.3

Tab. 3.16

Výška povrchového odtoku [mm]

3.42	6.35	10.14	6.35	16.94
3.42	12.83	18.07	20.45	27.18
10.14	20.45	27.18	31.82	31.82
14.81	16.94	18.07	35.19	35.19
10.14	14.81	24.34	36.97	36.97

Tab. 3.17

Objem povrchového odtoku[m³.bunka⁻¹]

8.56	15.89	25.34	15.87	42.35
8.56	32.07	45.17	51.11	67.95
25.34	51.11	67.95	79.55	79.55
37.02	42.35	45.17	87.98	87.98
25.34	37.02	60.86	92.42	92.42

Tab. 3.18

Výška povrchového odtoku repr. [mm]

3.42	6.35	10.14	6.35	16.94
3.42	8.13	12.21	12.31	22.06
10.14	12.20	13.26	15.53	25.31
14.81	13.54	18.07	17.08	35.19
10.14	14.81	19.58	25.37	19.60

Tab. 3.19

Objem povrchového odtoku [m³]

8.56	15.89	25.34	15.87	42.35
8.56	40.63	61.05	92.34	110.3
25.34	122.0	298.3	232.9	189.8
37.02	67.69	45.17	854.2	87.98
25.34	37.02	97.88	190.3	1224.9

(Šinka, 2009)

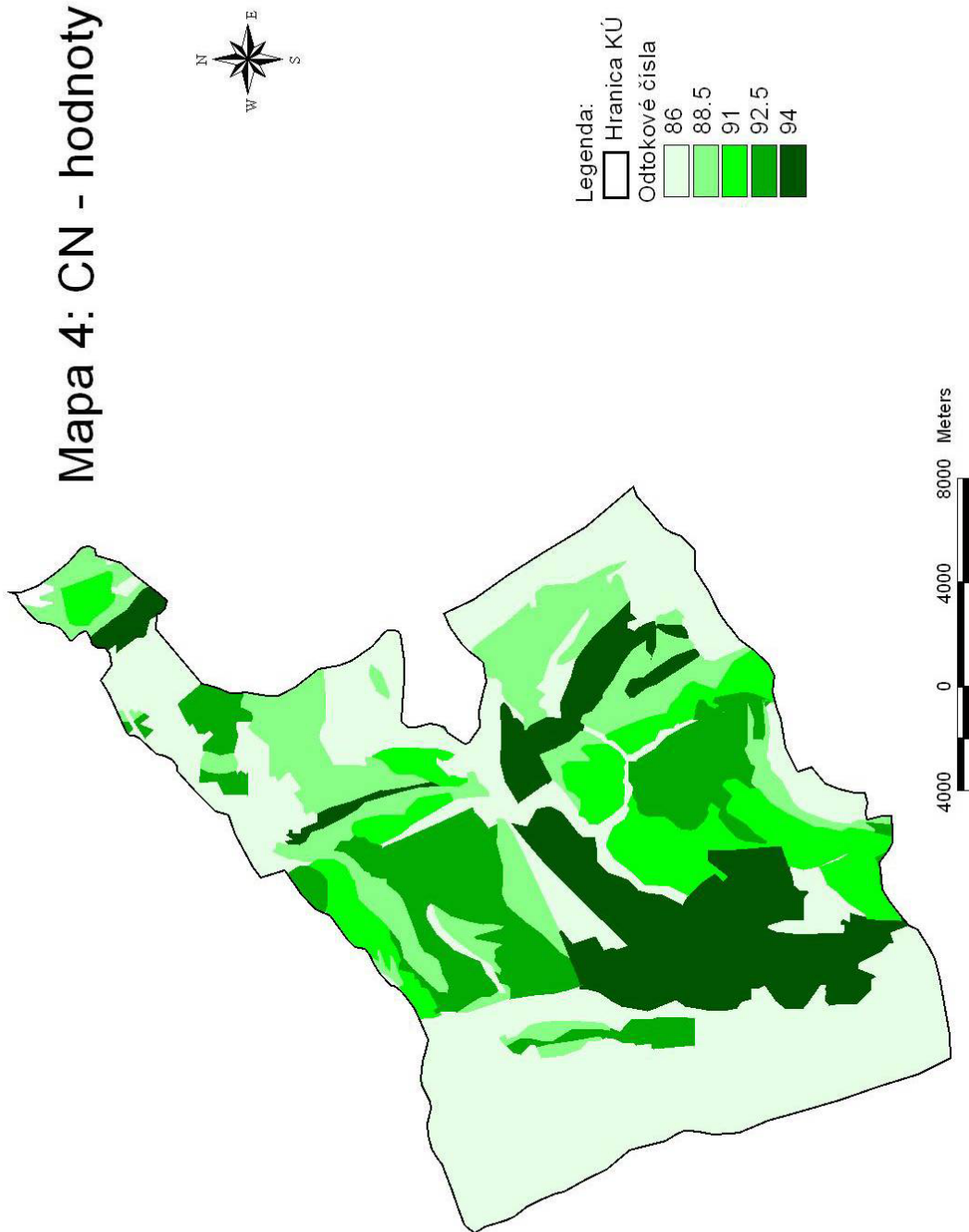
Hodnotu návrhového dažďa sme stanovili podľa hodnôt maximálnych denných zrážkových úhrnov (Antal, 2000) s periodicitou výskytu $p = 0,01$, t.j. s dobou opakovania 1-krát za 100 rokov. Pre zrážkomernú stanicu Medzilaborce, s nadmorskou výškou 308 m.n.m je výška návrhového dažďa $H_{z,d} = 87,1$ mm.

$H_{z,d}$ – výška zrážok za deň pri periodicite $p = 0,01$ t.j. raz za 100 rokov.

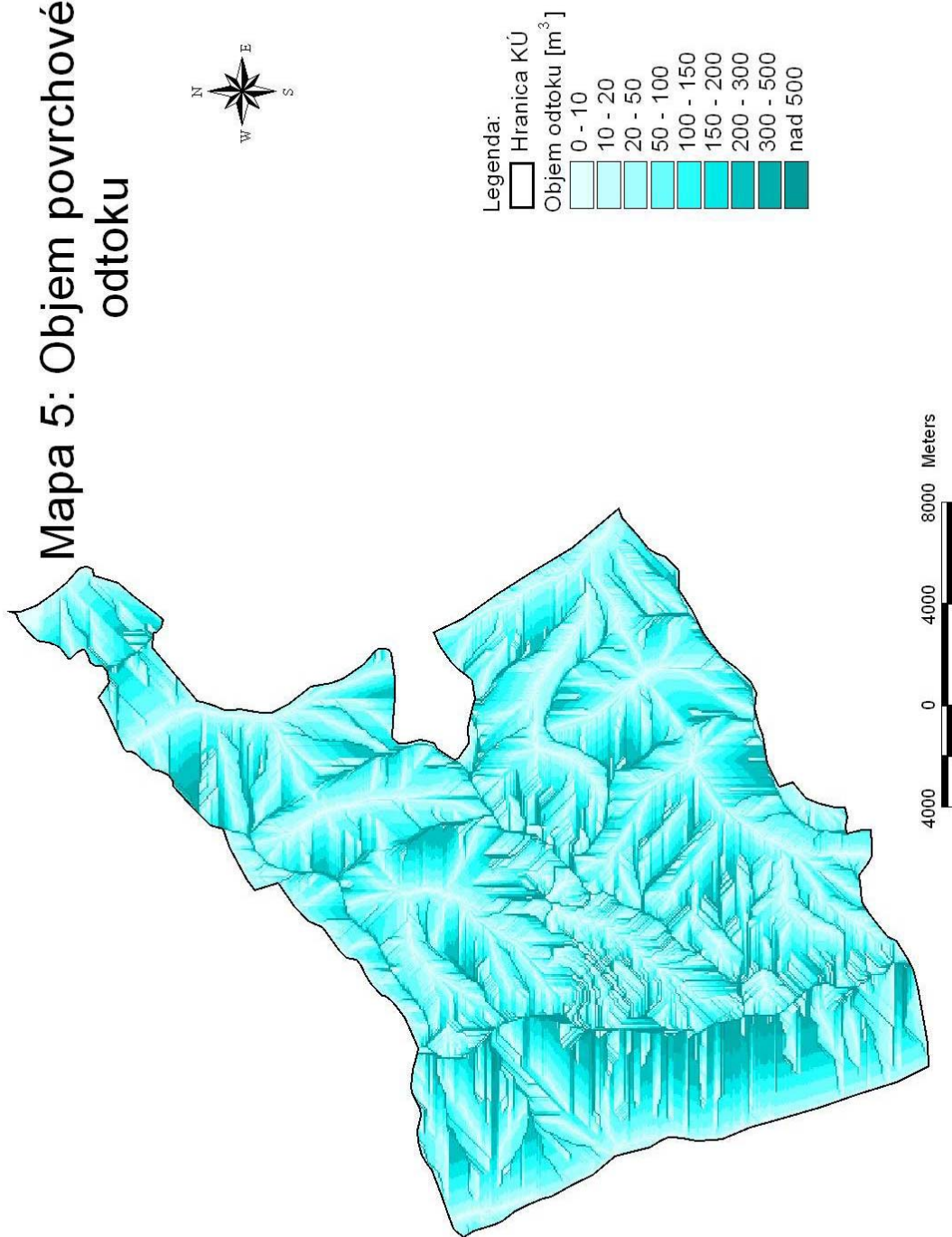
Podľa spracovaných BPEJ sme stanovili hydrologické kategórie pôd, a na základe kombinácie hydrologickej kategórie pôd a využívania pôdy (orná pôda ako úhor, les, zastavané územie) sme stanovili priemerné ročné hodnoty CN pre index predchádzajúcich zrážok – IPZ II..

4 Výsledky práce

Mapa 4: CN - hodnoty



Mapa 5: Objem povrchového odtoku



5 Záver

Práca je podaná ako celok charakterizujúci vybrané záujmové územie, po pedologickej a hydrologickej stránke. Naším záujmovým územím bolo katastrálne územie Medzilaborce. V neposlednom rade sa práca opiera aj o charakteristiku hydrologických procesov v území. Zaoberá sa problematikou povrchového odtoku, jeho charakteristikami a výpočtom výšky a objemu tohoto odtoku. Rieši taktiež metódy na výpočet výšky a objemu povrchového odtoku. Podrobnejšie rozoberáme najpoužívanejšiu metódu pre tento výpočet ktorou je metóda odtokových kriviek, vrátane podkladov pre túto metódu, ktorými sú hydrologické charakteristiky vlastností pôd v povodí, využívanie pôdy, hydrologické charakteristiky pôdneho krytu, hydrologické charakteristiky jednotlivých spôsobov obrábania pôdy a hydrologické charakteristiky vlhkosného stavu pôdy. V práci je taktiež spomenutý management vody v poľnohospodárskej krajine, ktorý je dôležitý z hľadiska efektívneho využívania vody pre dosiahnutie stanovených cieľov. Všetky dosiahnuté výsledky sú interpretované prehľadne, zrozumiteľne a účelovo. Dosiahnuté výsledky sú interpretované mapovým spôsobom. Dosiahnutým výsledkom je venovaná časť výsledky práce. Záverom práce je vhodné skonštatovať, že stanovené ciele predloženej bakalárskej práce boli naplnené.

6 Použitá literatúra

1. ANTAL, Jaroslav. 1999. *Agrohydroológia*. 2.vyd. Nitra : SPU,1999. 168 s.. ISBN 80-7137-610-8
2. ANTAL, Jaroslav. 2008. *Agrohydroológia*. 4. vyd. Nitra : SPU, 2008. 168 s.. ISBN 978-80-552-0099-6
3. ANTAL, Jaroslav. 2000. *Aplikovaná agrohydroológia*. 2. vyd. Nitra : SPU, 2000. 154 s. ISBN 80-7137-676-0
4. ANTAL, Jaroslav. 1990. *Ochrana a zúrodňovanie pôdy*. 1.vyd. Nitra : SPU, 1990.235 s.. ISBN 80-85175-6
5. ANTAL, Jaroslav. 1985. *Ochrana pôdy a lesotechnické meliorácie II*. 1.vyd. Príroda, 1985. 208 s.
6. ANTAL, Jaroslav – ŠPÁNIK, František. 2004. *Hydroológia poľnohospodárskej krajiny*. 2. Vyd. Nitra : SPU, 2004. 250 s. ISBN 80-8069-428-1
7. *Geografické informačné systémy*. 2006 [online], aktualizované 2006. [cit. 2010-05-04]. Dostupné na: <http://naturescience.fhpv.unipo.sk/geografia/trendy/gis.htm>
8. HLAVÁČOVÁ, Kamila – HOLKO, Ladislav – SZOLGAY, Ján. 2001. Tvorba a modelovanie odtoku na svahoch a z malých povodí. In *Životné prostredie* [online], roč.2, 2001[cit. 2010-04-20]. Dostupné na : <http://www.seps.sk/zp/casopisy/zp/2001/zp3/hlavcova.htm>
9. *Nová generácia GIS na modelovanie dynamiky subsystémov krajiny*. 2007 [online], aktualizované 2007. [cit. 2010-04-25]. Dostupné na : <http://nic.sav.sk/logos/journals/geoinfo/0195/mitas.html>
10. ŠINKA, K. 2009. Zjednodušený a detailný spôsob riešenia metódy odtokových čísiel (CN - metódy) v prostredí GIS. In *Problémy ochrany a využívania krajiny - teórie, metódy a aplikácie* : zborník vedeckých prác. Nitra : Združenie BIOSFÉRA, 2009. 360 s. ISBN 978-80-968030-9-5

11. Ven Te Chow : *Handbook of Applied Hydrology*. McGrawn Hill, New York, 1964.
12. VILČEK, Jozef a i. 2005. *Environmentálna pedológia*. 2. vyd. Nitra : SPU, 2005. 176 s. ISBN 80-8069-501-6.
13. <http://www.agroporadenstvo.sk/rv/poda/fluvizem.htm>
14. <http://www.agroporadenstvo.sk/rv/poda/kambizem.htm>
15. <http://www.agroporadenstvo.sk/rv/poda/luvizem.htm>
16. <http://sk.wikipedia.org/wiki/Medzilaborce>