

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Zemědělská fakulta

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Katedra krajinného managementu

Vedoucí katedry: doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Metoda čísel odtokových křivek (CN křivky) a její použití v modelech a programech využitelných v rámci projektování KPÚ

Autor bakalářské práce: Hana Zelníčková, DiS.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Václav Bystřický, Ph. D.

Datum odevzdání práce: 11.04.2014

Anotace

Celá práce je psána formou literární rešerše s hlavním zaměřením na metodu odtokových křivek – CN vyvinutou americkou Službou na ochranu půdy (SCS – Soil Conservation Service) a její využití v modelech a programech vhodných při projektování KPÚ.

Metoda CN je modelem infiltrační ztráty a byla původně vytvořena jako celkový model (tedy prostorový i časový) pro převod výšky přívalové srážky na objem přímého odtoku. Je vhodná pro prognózování přímého odtoku způsobeného přívalovým deštěm z povodí o ploše od 5 do 10 km². Umožňuje výpočet objemu přímého odtoku pro zadanou výšku deště, doby dobíhání, doby koncentrace a také kulminálního průtoku. V projekční praxi může být využita například v navrhování a posuzování technických protierozních opatření.

Modelů a programů založených na metodě odtokových křivek - CN je široká škála, proto byly do této práce zahrnuty jen některé z nich. Jedná se o modely WB-CM a KINFIL a programy DesQ-MaxQ, HydroCAD a HEC-HMS.

Klíčová slova: srážko-odtokový proces, CN křivky, hydrologické modely

Anotation

The whole work is about runoff curve numbers. This method was developed by Soil Conservation Service. This method may be used in projections of land consolidations.

The runoff curve number procedure uses certain climatic data and the characteristics of a watershed to convert rainfall data to runoff volume. It may be used in projections of precaution against erosion.

There are a lot of programs based on runoff curve number procedure so this work choose only some of them. There are WBCM and KINFIL models and programs like DesQ-MaxQ, HydroCAD and HEC-HMS.

Key words: run-off, curve number procedure, hydrological models

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

Datum

Podpis studenta

Poděkování

Děkuji Ing. Václavu Bystřickému, Ph. D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

Obsah

1. ÚVOD.....	7
2. Komplexní pozemkové úpravy	8
2.1. Historie pozemkových úprav	8
2.2. Pozemkové úpravy v současnosti	10
2.2.1. Formy a předmět pozemkových úprav	12
2.2.2. Výsledky pozemkových úprav	13
3. Odtok vody z povodí.....	15
3.1. Definice odtoku a jeho druhy.....	16
3.2. Charakteristiky srážko-odtokového procesu a jeho určení metodou CN křivek....	18
3.3. Vytváření povrchového odtoku a jeho složky	19
4. Metoda odtokových CN křivek a její využití.....	21
4.1. Teoretická koncepce CN křivek.....	21
4.2. Stanovení čísel odtokových křivek CN v povodí.....	23
5. Odtokové modely.....	26
5.1. Modely a programy využívající metodu CN křivek.....	29
5.1.1. Model WBCM (Water Balance Conceptual Model)	29
5.1.2. Model KINFIL.....	31
5.1.3. DesQ-MaxQ.....	32
5.1.4. HydroCAD.....	36
5.1.5. HEC-HMS	38
6. Skutečné využití modelů a programů využívajících metodu CN křivek v praxi.....	40
7. Závěr.....	41
8. Seznam použité literatury.....	42
9. Přílohy	47

1. ÚVOD

Zemědělská půda je v České republice ohrožena zejména vodní erozí, která je zapříčiněna povrchovým odtokem vody po přívalových deštích. Vlivem tohoto povrchového odtoku dochází k odnosu půdních částic a degradaci půdy. Aby byl tento proces co nejvíce minimalizován, je nutné snižovat povrchový odtok vody v povodí a tím zvyšovat její retenci v krajině. K výpočtu povrchového odtoku v malých povodích slouží, mimo jiné, metoda odtokových křivek - CN vyvinutá Službou na ochranu půdy (SCS - Soil Conservation Service), kterou se blíže zabývá kapitola 4 a jejíž přiblížení a vysvětlení je jedním z cílů této bakalářské práce.

Na základě této metody vznikl nespočet modelů a programů zabývajících se prognózou a simulací povrchového odtoku vody a jeho následků. Dalším cílem této práce je představení některých z těchto modelů jejich potenciálním uživatelům, které by jim mohlo usnadnit případný výběr vhodného modelu či programu.

V úvodní části této bakalářské práce jsou vysvětleny některé pojmy a procesy nutné pro snadnější pochopení tématu. Z tohoto důvodu jsou následující kapitoly věnovány komplexním pozemkovým úpravám a srážko-odtokovému procesu.

2. Komplexní pozemkové úpravy

V současné době je zemědělsky využívána více než polovina (53,8%) celkové výměry ČR. Způsob zemědělství je tedy jedním z hlavních činitelů, který podmiňuje fungování naší krajiny. Zásahy zemědělství do utváření krajiny jsou často dlouhodobé a v měřítku lidského života nevratné (*Ministerstvo zemědělství, 2011*). Právě z tohoto důvodu je nutné respektovat určitá pravidla, která pomáhají utvářet pozemkové úpravy.

2.1. Historie pozemkových úprav

V podmínkách České republiky docházelo v 70. letech k výrazným změnám struktury zemědělského půdního fondu spojené s hydrotechnickými opatřeními. (*Jeníček, 2007*.) Docházelo k regulaci toků, systematickým drenážím, likvidaci protierozních mezí, polních cest a budování závlah a v posledním období pak k tzv. zúrodnovacím akcím v podobě odvodňování a rekultivace neplodných půd se zbytky přírodě blízkých společenstev rostlin a živočichů. Ve snaze o udržení soběstačnosti ve výrobě potravin se prováděly tzv. náhradní rekultivace půd za zábory zemědělské půdy pro výstavbu. Došlo tak k nenahraditelným ztrátám interakčních prvků v krajině, ztrátě typických znaků krajinného rázu a ke komunikační neprostupnosti území (*Burian, 2011*). Uvedené změny měly negativní vliv na koncentraci odtoku v povodí (*Jeníček, 2007*). Narovnání malých vodních toků a zúrodnění niv znamenalo výrazné snížení schopnosti krajiny zadržet vodu (*Ministerstvo zemědělství, 2011*). Přesto byly tyto intenzifikační a degradační akce nazývány nejprve po roce 1960 "hospodářsko-technické úpravy" a později, po roce 1967 "souhrnné pozemkové úpravy" (*Burian, 2011*).

Od roku 1989 se vývoj krajiny začal ubírat novým směrem. Avšak stále zde přetrvával rozpor mezi vlastnictvím a užíváním půdy (více než 85% zemědělských pozemků je v pronájmu). Mnozí vlastníci se ocitli v situaci, kdy jejich pozemky nejsou přístupné, a tak se svých vlastnických práv dodnes nemohou řádně ujmout a pozemky užívat. V té době bylo vlastnictví rozdrobeno a nevhodný tvar a velikost parcel neumožňovaly hospodaření s využitím moderní zemědělské mechanizace (*Ministerstvo zemědělství, 2011*). Původní pozemky, které byly v soukromém vlastnictví a byly před rokem 1950 soukromě obhospodařovány, již v přírodě neexistova-

ly. Byly v letech 1950-89 při různých pozemkových úpravách sceleny. Bylo tedy nutno přijmout zákonná opatření, která by umožňovala soukromé hospodaření na pozemcích o nárokované výměře (*Maršíková a Maršík, 2006*). 24. 6. 1991, kdy nabyl účinnosti "zákon o půdě" (tj. 229/1991 Sb.) a "zákon o pozemkových úpravách" (tj. zákon č. 284/1991 Sb.), vstoupila krajina, půdní fond, katastr nemovitostí a celý venkov jako sociální prostor Československé republiky do novodobých pozemkových úprav. (*Burian, 2011*). Zákon o pozemkových úpravách byl několikrát novelizován. Poslední zákon o pozemkových úpravách a pozemkových úřadech nabyt platnosti 1. ledna 2003 (zákon č. 139/2002 Sb.) (*Maršíková a Maršík, 2006*).

Cíle novodobých pozemkových úprav uvádí *Ministerstvo zemědělství ČR (2011)*. Je to především:

- obnovení osobního vztahu lidí k zemědělské půdě a krajině
- vytvoření podmínek pro racionální hospodaření na zemědělských pozemcích
- rozvoj trhu s půdou především směrem k zemědělství
- důsledná ochrana zemědělské půdy jako výrobního prostředku
- ochrana kvality vody, zvýšení její retence v krajině a minimalizace povodňových škod
- obnovení struktury krajiny, zvýšení její biodiverzity a celkové ekologické stability.

Přestože je z hlediska života společnosti dvacet let krátké období, je nutné konstatovat, že změny od roku 1989 do roku 2011 byly zcela zásadní a převratné. Z pohledu půdní držby se vlastně jednalo o pozemkovou reformu, kdy se politickým rozhodnutím znovu nadřadily vlastnické vztahy nad vztahy uživatelské. Vývoj v letech 1991-2000 však potvrdil, že období odtržení lidí od osobního vztahu k půdě bylo příliš dlouhé na to, aby se tyto přirozené vazby a dědictví po předcích zcela obnovily. Představy o tom, že se podaří odstranit všechny způsobené křivdy a že se u všech vlastníků obnoví vztah k půdě, se nezakládaly na realitě (*Burian, 2011*).

2.2. Pozemkové úpravy v současnosti

I přes ohromný kus práce a velké změny k lepšímu stále zůstávají v krajině určité problémy, na kterých je třeba nadále pracovat. Takto vidí nejzávažnější problémy dnešní zemědělské krajiny *Ministerstvo zemědělství ČR (2011)*. Jedná se především o:

- extrémně velké půdní bloky (až 200 - 300 ha i více) způsobují, mimo zvýšení eroze, též monotónnost krajiny; krajina je tak degradována na esteticky nehodnotné produkční prostředí
- nedostatek ekostabilizačních prvků, jako jsou remízky, mokřady, meze, aleje, biokoridory a biocentra
- nepřístupnost vlastnických pozemků a nedostatečná průchodnost krajiny - způsobená rozoráním bezpočtu polních cest
- snižování přirozené úrodnosti půdy v důsledku eroze půdy - v současnosti se odhaduje, že zvýšená vodní eroze se vyskytuje na 42% a větrná na 7,5% zemědělské půdy
- znečištění půdy a podzemních vod - především v důsledku chemizace zemědělství, tedy nadměrného používání umělých hnojiv a pesticidů
- nepříznivý stav malých vodních toků a nádrží - vede ke snížení schopnosti krajiny zabránit nebo alespoň snížit povodňové rozlivy v obcích nebo naopak zadržet vláhu v období sucha případně zadržet hnojiva a spotřebovat je v místě aplikace
- rozdrobenost vlastnických vztahů (běžné je, že jeden vlastník má až několik desítek parcel, které spolu nesousedí)
- nevhodné tvary zemědělských pozemků - příliš úzké parcely, nebo parcely s ostrými hranami neumožňují jejich obdělávání zemědělskou technikou
- nedostatek sounáležitosti s krajinou a přírodou v důsledku kolektivizace - násilného odtržení od hospodaření na vlastní půdě

Tyto problémy by měly pomoci vyřešit současné pozemkové úpravy, které jsou dle *zákona č. 139/2002 Sb. "o pozemkových úpravách a pozemkových úřadech"* definovány takto:

"Pozemkovými úpravami se ve veřejném zájmu prostorově a funkčně uspořádávají pozemky, scelují se nebo dělí a zabezpečuje se jimi přístupnost a využití pozemků a vyrovnání jejich hranic tak, aby se vytvořily podmínky pro racionální hospodaření vlastníků půdy. V těchto souvislostech se k nim uspořádávají vlastnická práva a s nimi související věcná břemena. Současně se jimi zajišťují podmínky pro zlepšení životního prostředí, ochranu a zúrodnění půdního fondu, vodního hospodářství a zvýšení ekologické stability krajiny. Výsledky pozemkových úprav slouží pro obnovu katastrálního operátu a jako závazný podklad pro územní plánování."

Během procesu pozemkových úprav je nutná realizace některých opatření pro obnovu půdních vlastností a krajiny, jako jsou:

- úprava vodohospodářských poměrů,
- obnova toků a nádrží,
- realizace protierozní a protipovodňové ochrany území,
- realizace systémů ekologické stability,
- obnova remízků nezbytných pro život drobné zvěře,
- zajištění lepší prostupnosti území vhodně zvolenou sítí polních cest,
- dosažení estetické úrovně krajiny za účelem zvýšení kvality

života na venkově (*Ministerstvo zemědělství, 2011*).

Důsledky předpokládaných záměrů je možné zjistit komplexním a systematickým zkoumáním jejich dopadů na životní prostředí, tedy zpracováním EIA (Environmental Impact Assessment) (*Maršíková a Maršík, 2006*). Za jednotlivé složky procesu EIA jsou uvažovány:

- screening, tj. utřídění problému, posouzení a rozhodnutí o tom, zda proces EIA je třeba realizovat či nikoliv,
- scoping, tj. stanovení rozsahu a obsahu činnosti, vymezení důležitých variant a klíčových vlivů na ŽP pro jejich zakomponování do procesu IEA
- vnější posouzení jako kvalitativní kontrola použitých informací,
- účast veřejnosti,
- vyhodnocení (řešení) problému rizika a nejistoty,

- monitoring a analýza po realizaci projektu (*Soukup a Hrádek, 1999*)

Realizace veškerých opatření by však nebyla možná bez správného řízení a financování. Od 1. ledna roku 2013 tak pozemkové úpravy celostátně organizuje a ze státních prostředků financuje Státní pozemkový úřad zřizovaný na základě zákona č. 503/2012 Sb. o Státním pozemkovém úřadu. V rámci jednotlivých vyšších územně samosprávných celků vykonávají jeho činnost krajské pozemkové úřady, přičemž pro řízení o pozemkových úpravách zřizuje pobočky krajských pozemkových úřadů, jejichž územní působnost odpovídá území jednoho nebo více okresů (*Státní pozemkový úřad, 2013*).

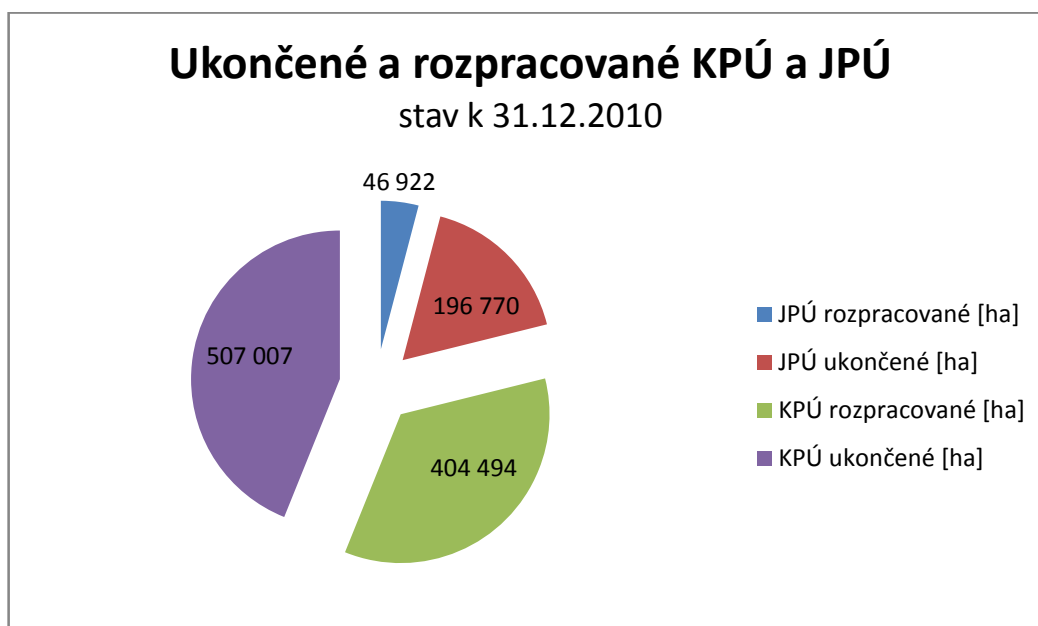
2.2.1. Formy a předmět pozemkových úprav

Podle potřeby realizace výše uvedených opatření v jednotlivých územních celcích a také podle jejich rozsahu se pozemkové úpravy dají rozdělit na dvě skupiny.

První formou jsou pozemkové úpravy, které se provádějí zpravidla formou komplexních pozemkových úprav. Komplexní pozemkové úpravy (KPÚ) představují komplexní řešení zpravidla celého katastrálního území (mimo zastavěné území) včetně zpřístupnění pozemků, protierozní ochrany, vodohospodářských opatření a ekologické stability území (*Ministerstvo zemědělství, 2011*). Součástí návrhu komplexních pozemkových úprav je i plán společných zařízení.

Pokud je nutné vyřešit pouze některé hospodářské potřeby (například urychlené scelení pozemků, zpřístupnění pozemků) nebo ekologické potřeby v krajině (například lokální protierozní nebo protipovodňové opatření) nebo když se pozemkové úpravy mají týkat jen části katastrálního území, provádějí se formou jednoduchých pozemkových úprav. V případě jednoduchých pozemkových úprav lze upustit od zpracování plánu společných zařízení (*zákon č. 139/2002 Sb.*).

Z následujícího grafu č. 1 je patrné v jakém rozsahu docházelo k jednotlivým typům pozemkových úprav do konce roku 2010.



Vlastní proces v pozemkových úpravách je upraven právě již zmíněným zákonem č. 139/2002 Sb. Stejný zákon upravuje i předmět pozemkových úprav, kterým podle §3, odst. 1) jsou všechny pozemky v obvodu pozemkových úprav bez ohledu na dosavadní způsob využívání a existující vlastnické a užívací vztahy k nim.

2.2.2. Výsledky pozemkových úprav

Návrhu nového uspořádání pozemků, který je cílem celého procesu, předchází plán společných zařízení. Jeho součástí jsou 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 a podobně,
- vodohospodářská opatření sloužící k neškodnému odvedení povrchových vod a ochraně území před záplavami jako 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, doplnění, popřípadě odstranění zeleně a terénní úpravy a podobně (zákon č. 139/2002 Sb.)

Na společná zařízení se nejprve použijí pozemky ve vlastnictví státu a potom obce. Případně se na vyčlenění potřebné výměry půdy podílejí i ostatní vlastníci pozemků poměrnou částí podle celkové výměry jejich směřovaných pozemků (*Ministerstvo zemědělství, 2011*).

V případě společných zařízení technického charakteru jde o nové stavby nebo o rekonstrukce, popřípadě modernizace stávajících (*zákon č. 139/2002 Sb.*)

Mezi další velice důležité výsledky pozemkových úprav patří:

- obnovený digitalizovaný katastr nemovitostí s optimalizovaným uspořádáním půdní držby a jasně definovanými právy k jednotlivým pozemkům
- KPÚ tvoří nezbytný podklad pro územní plánování a veškeré rozvojové programy území (*Ministerstvo zemědělství, 2011*).

3. Odtok vody z povodí

Jak je již uvedeno v kapitole 1.1., změny, ke kterým v průběhu kolektivizace zemědělství docházelo, měly velice neblahý vliv na srážko-odtokový proces v povodí. Vedle napřimování vodních toků, zřizování drenáží a odvodnění orné půdy má na odtok vody z povodí vliv hned celá řada faktorů. Patří mezi ně například:

- *Stav povrchové vrstvy půd a způsob využívání pozemků*, který má přímý vliv na proces povrchového odtoku a na hydrologickou bilanci povodí z hlediska celkového objemu přímého odtoku a na akumulaci vody v půdním profilu a v povrchových mikrodepresích (Soukup a Hrádek, 1999). Změny organizace půdního fondu a využívání krajiny ovlivňují hydrologické i vodo-hospodářské poměry v rámci dílčích povodí. Tyto zásahy mohou mít významný vliv na srážko-odtokový proces zejména u určitých typů malých povodí (Kulhavý a Kovář, 2000).
- *Vegetační kryt* ovlivňuje rychlost svahového odtoku, infiltraci vody, evapotranspiraci a zachycuje určitý podíl srážek intercepací. Zatímco kultury les, louka, sady poskytují kryt půdy trvale, je na orné půdě kryt vzhledem k jednoletému vývoji plodin proměnlivý (Soukup a Hrádek, 1999). Dobré nebo špatné hydrologické podmínky zemědělských půd závisí především na hustotě zapojení porostu během roku, procentuálním zastoupení jetelotrav v osevním postupu, množství posklizňových zbytků na povrchu půdy a na drsnosti povrchu. V lesích špatné hydrologické podmínky znamenají, že lesní hrabanka, stromy a keře jsou nedostatečně zastoupeny nebo poškozeny; dobré podmínky znamenají, že hrabanka nebo bylinné patro dobře kryje půdu (Janeček, 2012). Z hlediska účinnosti vegetačního krytu na zvýšení retence vody v povodí lze uvést následující pořadí:

1. lesní porosty,
2. trvalé travní porosty,
3. dočasné travní porosty,
4. úzkořádkové polní plodiny
5. širokořádkové polní plodiny.

(Soukup a Hrádek, 1999)

Orná půda zabírá na našem území velké plochy a charakter pokryvu a její využití plně ovlivňuje člověk. Odtokové poměry z těchto ploch jsou sledovány z důvodu povodňové hrozby i kvůli erozi půdy (*Mičulková a kol., 2010*).

- *Způsob hospodaření a agrotechnické operace* - v malých povodích (v intenzivních zemědělských oblastech) mohou nastat případy, kdy celé povodí, nebo jeho převážná část je využívána jako orná půda. V takových podmínkách jediná agrotechnická operace rázem změní vlastnosti povrchu a na teoreticky totožnou srážku, následující v krátkém časovém odstupu, pak reaguje povodí zcela odlišně (*Kulhavý a Kovář, 2000*).

Mezi další poměry výrazně ovlivňující srážko-odtokový proces podle *Soukupa a Hrádka (1999)* patří klimatické poměry, geografické parametry oblasti (plocha povodí, délka údolnice, průměrná délka svahu), geologické poměry (propustnost hornin) a půdní poměry.

Od 90. let minulého století dochází k napravování negativních zásahů do krajiny a navrácení toků svému přírodnímu režimu. Důvodem je mimo jiné zmírnění následků extrémních odtokových jevů (*Jeníček, 2007.*) Mezi možnosti zvyšování retence vody v povodí také patří úprava plošného zastoupení uvedených kultur ve vztahu k účinnosti vegetačního krytu, tj. podpora vyšší zalesněnosti povodí, zvýšení podílu zatravněných ploch na úkor orné půdy a úhoru, důsledné omezování výměry zpevněných ploch v povodí, přednostní volba technologií propustného zpevnění povrchu u polních a lesních cest. (*Soukup a Hrádek, 1999*)

3.1. Definice odtoku a jeho druhy

Pro lepší pochopení následující kapitoly, je nutné vysvětlit několik důležitých pojmů týkajících se srážko-odtokového procesu. Norma *ČSN 73 6530 Názvoslovní hydrologie (1985)* definuje odtok a jeho druhy takto:

Odtok

1. odtékání vody po povrchu i pod povrchem terénu v procesu oběhu vody v přírodě
2. objem vody odteklé z povodí nebo vodního útvaru za daný časový interval

Jednotlivé druhy odtoku jsou zde pak definovány jako:

Plošný odtok nesoustředěné stékání vody po povrchu terénu

Soustředěný odtok soustředěné stékání vody sítí vodních toků

Celkový odtok souhrn všech složek odtoku procházející závěrovým profilem za daný časový interval

Základní odtok složka celkového odtoku tvořená výronem podzemních vod do sítě vodních toků

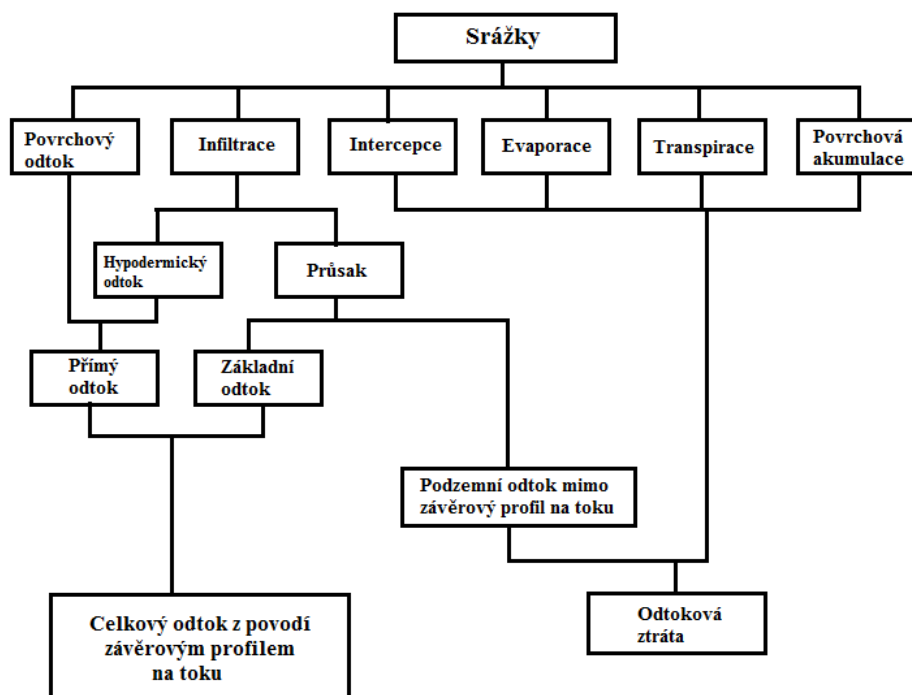
Povrchový odtok složka celkového odtoku, který odtéká z povodí do sítě vodních toků po povrchu terénu

Hypodermický odtok složka celkového odtoku, který stéká do koryta toku v bezprostřední vrstvě pod povrchem povodí, aniž by dosáhla hladiny podzemní vody

Přímý odtok složka celkového odtoku tvořená povrchovým a hypodermickým odtokem

3.2. Charakteristiky srážko-odtokového procesu a jeho určení metodou CN křivek

Srážky dopadající na povrch země jsou jednak zadržovány na povrchu vegetace (intercepce) a půdy, jednak infiltrují či vsakují do půdy, popř. se vypařují zpět do ovzduší. Po nasycení půdy deštěm a při intenzitě deště vyšší než je intenzita vsaku, popřípadě při tání sněhu, stéká srážková voda nejprve v souvislé vrstvě jako plošný odtok (ron), až posléze se rozčleňuje erozivními rýhami do stružek a jimi odtéká do bystřin, potoků a řek, které vytvářejí říční hydrografickou síť. Tuto fázi odtoku vodní sítě nazýváme soustředěný povrchový odtok (Matoušek, 2010). Odtok je tedy určen především množstvím srážek, infiltrací vody do půdy, vlhkostí půdy, porostem, nepropustnými plochami a retencí povrchu (Janeček, 2012). Celý srážko-odtokový proces je schematicky znázorněn na obrázku č. 1.



Obr. č. 1 Schéma srážko-odtokového procesu (ČSN 73 6530)

Hydrologické podklady určující základní parametry pro návrh protierozních opatření v komplexních pozemkových úpravách by měly vycházet z dlouhodobě sledovaných průtoků v uzávěrových profilech toků. Takové údaje jsou však, zejména v malých povodích, zřídka k dispozici. Nezbyvá tedy než stanovit potřebné návrhové parametry pomocí nepřímých metod, založených na charakteristikách povodí. Po-

měrně jednoduchou a dostatečně přesnou metodou je tzv. "Metoda čísel odtokových křivek - CN" (Janeček, 1982).

Metoda CN je modelem infiltrační ztráty a byla původně vytvořena jako celkový model (tedy prostorový i časový) pro převod výšky přívalové srážky na objem přímého odtoku (Janeček a Kovář, 2010). Přímý odtok zahrnuje odtok povrchový a část odtoku hypodermického. K hypodermickému odtoku, podílejícímu se na přímém odtoku, dochází tehdy, když do půdy infiltrovaná voda stéká po mělce uložené, málo propustné vrstvě a vyvěrá opět na povrch (Ministerstvo životního prostředí, 2008). S využitím hodnoty CN lze tedy zjistit, zda-li v území probíhá přímý odtok a jaká je jeho velikost. Čím vyšší je hodnota čísla CN, tím je pravděpodobnější, že v území probíhá odtok povrchový (Hejlová a kol., 2013).

Srážko-odtokový proces lze také zapsat základní bilanční rovnicí oběhu vody:

$$P = AES + TQ \pm \Delta W \text{ (mm)}$$

kde P výška srážek

AES výška územního výparu,

TQ výška celkového odtoku

ΔW výška odtokové ztráty, tj. zvýšení nebo snížení zásob povrchové a podpovrchové vody. (Kulhavý a Kovář, 2000)

3.3. Vytváření povrchového odtoku a jeho složky

V procesu povrchového odtoku dochází ke 3 základním fázím. První z nich je fáze bezodtoková, kdy je intenzita deště menší než intenzita infiltrace, tedy průměrná výška deště na povodí je menší než retenční schopnost povodí (Soukup a Hrádek, 1999).

Dále voda z povodí stéká z horních částí jako plošný (svahový) povrchový odtok, přechází v soustředěný odtok o malé hloubce a končí soustředěným odtokem v otevřeném korytě (Janeček, 2012).

Fáze plošného povrchového odtoku nastává po fázi bezodtokové. Intenzita deště je větší než intenzita infiltrace, průměrná výška deště na povodí je tedy větší

než retenční schopnost povodí nebo je retenční kapacita již naplněna. (*Soukup a Hrádek, 1999*). Povrchový odtok vzniká v tenkých plošných vrstvách obvykle jen na malých, málo propustných ploškách s určitým topografickým reliéfem. Tyto plochy mohou patřit jak k infiltračním plochám povodí, tak i k jeho aluviálním částem, tj. plochám nasyceným vodou (*Kulhavý a Kovář, 2000*). V procesu odtoku se uplatňuje především povrchový a hypodermický odtok. (*Soukup a Hrádek, 1999*) Po cca 100 m se plošný odtok zpravidla mění na soustředěný odtok o malé hloubce, který dále přechází v odtok vody v otevřených korytech. Ta začínají tam, kde lze zaměřit příčný profil nebo kde jsou zakreslena na mapách (*Janeček, 2012*).

4. Metoda odtokových CN křivek a její využití

Metoda čísel odtokových křivek (CN - Curve Number, která byla zmíněna již v kapitole 2.2. a která bude více přiblížena v následující kapitole, byla odvozena v USA pro potřeby Služby na ochranu půdy (SCS - Soil Conservation Service) a publikována v roce 1972 National Engineering Handbook, Hydrolog. Section 4, SCS, USDA Washington D. S. (Janeček, 2012).

Je vhodná pro prognózování povrchového, správněji přímého odtoku způsobeného přívalovým deštěm z povodí o ploše od 5 do 10 km² (Ministerstvo životního prostředí, 2008). Metoda umožňuje výpočet objemu přímého odtoku pro zadanou výšku deště, doby dobíhání a doby koncentrace a v neposlední řadě také kulminačního průtoku. Je využitelná pro samostatný svah i povodí s údolnicí (Soukup a Hrádek, 1999). V projekční praxi může být metoda CN - křivek použita v navrhování a posuzování technických protierozních opatření, jako jsou dráhy soustředěného povrchového odtoku - zatravněné údolnice, průlehy, záchytné příkopy, zasakovací pásy a malé vodní nádrže, ale pouze v souladu ČSN 75 1300 "Hydrologické údaje povrchových vod". Metodu však nelze použít pro výpočet odtoku z tání sněhu (Ministerstvo životního prostředí, 2008). Dalším nedostatkem této metody je, že nepopisuje prostorové a časové variability a její použitelnost je omezena na modelování ztrát při přívalových deštích (Janeček a Kovář, 2010).

4.1. Teoretická koncepce CN křivek

Základním vstupem metody CN - křivek je srážkový úhrn o určitém časovém rozdělení, za předpokladu jeho stejnoměrného rozdělení po ploše povodí (Podhrázká, 2003). Obecně je konstatováno, že odtokový vztah metody CN byl vypracován na základě předpokladu, že podíl odtoku k přebytku srážek se rovná podílu vody zadržené při přívalovém dešti k potenciálnímu objemu, který může být zadržen během extrémně dlouhého přívalového deště viz. rovnice [1.1.] (Janeček a Kovář, 2010). Objem (výška) srážek je transformován na objem (výšku) odtoku pomocí čísel odtokových křivek - CN. Jejich hodnoty jsou závislé na hydrologických vlastnostech půd, vegetačním pokryvu, velikosti nepropustných ploch, intercepce a povrchové retence (Janeček, 2012).

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P} \text{ [mm]} \quad [1.1.]$$

kde $F = P - Q =$ aktuální retence

$S =$ potenciální maximální retence

$Q =$ celková výška přímého odtoku z přívalového deště P

$P =$ potenciální maximální odtok = celková výška přívalového deště (*Janeček a Kovář, 2010*).

Odtok zpravidla začíná až po určité akumulaci srážek, tedy po určité počáteční ztrátě, která je součtem intercepce, infiltrace a povrchové akumulace, jež byla odhadnuta na základě experimentálních měření na 20% potenciální retence ($I_a = 0,2S$) viz. rovnice [1.2.] až [1.4.] (*Ministerstvo životního prostředí, 2008*).

$$\frac{P - I_a - Q}{S} = \frac{Q}{P - I_a} \quad [1.2.]$$

$$\frac{(P - I_a)^2}{S + (P - I_a)} = Q \text{ [mm]} \quad [1.3.]$$

$$\frac{(P - 0,2S)^2}{S + (P - 0,2S)} = Q \text{ [mm]} \quad [1.4.]$$

$$\frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} = Q \text{ [mm]} \quad [1.5.]$$

(*USACE, 1994*)

Retenční schopnost půdního profilu představuje takové množství vody, které je půda schopna udržet delší dobu po infiltraci. Nejde však jen o kapacitu, ale také o schopnost okamžité infiltrace intenzivní srážky do půdního profilu (*Koutný a kol., 2012*). Potenciální maximální retence S závisí na druhu půdy, pokryvu, způsobu obdělávání a předchozích podmínkách vlhkosti půdy (*Janeček a Kovář, 2010*), a uvádí

se jako bezrozměrný parametr CN v rozsahu $100 \geq S \geq 0$ tak, jak ukazují rovnice [1.6.] a [1.7.]:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad [1.6.]$$

a z toho

$$CN = \frac{1000}{S+10} \quad [1.7.]$$

(USACE, 1994)

Pokud se $CN = 100$, představuje podmínku nulového potenciálu retence, tj. $S = 0$, tedy nepropustné povodí. Naopak, pokud $CN = 0$, představuje teoretickou horní hranici potenciální retence, tj. $S = \infty$, tedy nekonečně propustného povodí (Janeček a Kovář, 2010).

Retenční kapacitu a okamžitou schopnost infiltrace do půdního profilu lze podle Koutného a kol. (2012) obecně ovlivnit následujícími zásahy:

- Zlepšením půdní struktury, a to zvýšením obsahu humusu, prokořeněním vegetací s optimálním kořenovým systémem a udržení optimálního zrnitostního složení.
- Optimálním druhovým složením půdního krytu s dostatečným procentickým krytím povrchu. Dosáhneme tím nejen zvýšení drsnosti povrchu, a tím zpomalení nesoustředěného povrchového odtoku, ale rovněž zabráníme destrukci povrchové struktury půdy dynamickým účinkem padajících dešťových srážek.
- Úpravou sklonu terénu vytvářením valů, teras apod. Tato opatření jsou však technicky a ekonomicky náročnější a nelze je uplatňovat v libovolném rozsahu a podmínkách.

4.2. Stanovení čísel odtokových křivek CN v povodí

Ke stanovení čísel odtokových křivek CN v povodí se na zemědělské části povodí využijí digitální vrstvy BPEJ, LPIS, IASC a na lesní části povodí OPRL (Oblastní plán rozvoje lesů) a SLT (Soubor lesních typů), na základě kterých se stanoví

plošné zastoupení jednotlivých druhů pozemků v řešeném povodí, vč. plošného zastoupení hydrologických skupin lesních půd.

Čísla odtokových křivek - CN jsou tabelována podle:

- a) hydrologických vlastností půd rozdělených do 4 skupin: A, B, C, D, na základě minimálních rychlostí infiltrace vody do půdy bez pokryvu po dlouhodobém syčení (*Ministerstvo životního prostředí, 2008*), tak jak je uvedeno v tabulce č. 1

Tabulka č. 1 *Charakteristiky hydrologických skupin půd z hlediska infiltrace (Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2013)*

Hydrologická skupina půdy	Hydrologické vlastnosti	Infiltrační rychlost [mm*min ⁻¹]
A	Půdy hluboké, dobře až nadměrně odvodněné písky nebo štěrky	vysoká rychlost (>0,20)
B	Půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité	Střední rychlost (0,1 - 0,20)
C	Půdy s málo propustnou vrstvou v původním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité	Nízká rychlost (0,05 - 0,1)
D	Jíly s vysokou bobtnatostí, půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody, půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod ním a mělké půdy na téměř nepropustném podloží	Velmi nízká rychlost (<0,05)

Zařazení jednotlivých hlavních půdních jednotek do systému hydrologických skupin půd je uvedeno v příloze č. 1.

- b) vlhkosti půdy určované na základě 5denního úhrnu předcházejících srážek, resp. indexu předchozích srážek (IPS) ve 3 stupních, tak jak ukazuje tabulka č. 2, kdy IPS I odpovídá takovému obsahu vody v půdě, který ještě umožňuje uspokojivou orbu a obdělávání, při IPS III je půda přesycena předcházejícími dešti. Pro návrhové účely se uvažuje IPS II (*Ministerstvo životního prostředí, 2008*). Počáteční stav nasycenosti půdy vyjadřuje schopnost povodí absorbovat další srážky a tím ovlivňuje odvození čísla CN (*Unucka a kol., 2010*).

Čísla odtokových křivek - CN podle předchozích vláhových podmínek jsou znázorněny v přílohách č. 2 - 4.

Tab. č. 2 Stav předchozích vláhových podmínek (IPS) (Podhrázská, 2003).

Skupina IPS	Úhrn srážek za 5 dnů [mm]	
	Mimovegetační období	Vegetační období
I	<13	<36
II	13 - 28	36 - 53
III	>28	>53

c) využití půdy, vegetačního pokryvu, způsobu obdělávání a uplatnění protierozních opatření (Ministerstvo životního prostředí, 2008).

Čím vyšší je číslo CN, tím nižší je hodnota potenciální retence a tím je vyšší pravděpodobnost, že v oblasti probíhá povrchový odtok. Vysoká čísla CN křivek jsou proto situována do nepropustných oblastí. Číslo odtokové křivky je zvyšováno špatnými hydrologickými vlastnostmi půd (Hejlová a kol., 2013).

Průměrná čísla křivek odtoku - CN odpovídají průměrným hospodářským podmínkám během vegetačního období. Sezónní změny CN lze vyjadřovat tak, že pro období orání a setí (sázení) CN odpovídá úhoru. Mezi výsevem (výsadbou) a před vrcholovým růstem odpovídají CN průměrům. V období vrcholového růstu, zpravidla před sklizní platí, že

$$CN = 2 * CN - CN \text{ úhor.}$$

Po sklizni závisí CN na zakrytí povrchu půdy rostlinnými zbytky. Pokud je 2/3 povrchu půdy bez pokryvu, pak CN odpovídá úhoru, pokud je 1/3 bez pokryvu, odpovídá průměrnému CN (Janeček, 2012).

Průměrná čísla odtokových křivek - CN jsou uvedeny v příloze č. 5.

5. Odtokové modely

K posouzení vlivu navrhovaných nebo již realizovaných opatření při pozemkových úpravách na hydrologické procesy v povodí, jsou ve světě i u nás používány matematické modely, přizpůsobené svými principy, strukturou a posláním pro různé účely použití. Metody matematického modelování umožňují simulovat nejen skutečný hydrologický proces, ale s jejich pomocí lze aproximativně předpovídat chování povodí v různých extrémních situacích. (*Kulhavý a Kovář, 2000*)

Matematická reprezentace srážko-odtokového procesu má dlouhou historii, ale teprve zhruba od 80. let minulého století se díky dynamickému rozvoji počítačových technologií stává významným nástrojem hydrologů a vodohospodářů ať už pro operativní předpověď, nebo pro návrhové účely. Hydrologické a hydraulické modely se staly standardním prostředkem k ověřování funkčnosti stávajících nebo budoucích protipovodňových opatření (*Jeníček, 2007*). Srážko-odtokové modely jsou spolu s geografickými informačními systémy (GIS) velmi silným a účinným analytickým nástrojem v problematice poznání srážko-odtokových procesů v krajině (*Unucka a kol., 2010*). Problematika hydrologického modelování matematickými modely, spojenými přímo, či nepřímo s existujícími databázemi příbuzných oborů, je v současnosti živým, zcela otevřeným tématem. Souhrnně lze stručně formulovat oblasti využití bilančních hydrologických modelů formou EIA (nebo obdobně) v následujících oblastech:

- u všech stupňů krajinného plánování např. při zpracování územních studií (vliv urbanizace na hydrologický režim), vodohospodářských studií (odkanalizování obcí) atd. v souladu se Směrnicemi EU
- zpracování plánů protipovodňové ochrany (stav počátečního nasycení povodí)
- zpracování studií revitalizací říčních systémů (změny půdního fondu a změny v hospodaření)
- zpracování komplexních pozemkových úprav (včetně protierozní ochrany půdy), aj.

(*Kulhavý a Kovář, 2000*)

K modelování přímého případně povrchového odtoku je možné využít mnoha modelů a metod. Z těchto modelů a metod je důležité vybrat nejvhodnější variantu s ohledem na dostupnost a kvalitu vstupních dat, na vybrané území, na účel použití, dostupnost a náročnost vybraného modelu nebo metody (Hejlová a kol., 2013). Bilanční modely jsou trojího typu:

- modely empirické, využívající principu tzv. černé schránky
- modely koncepční, založené na fyzikální podstatě pohybu vody
- modely kombinované, kdy jednotlivé části řešení používají jeden z předchozích přístupů. (Soukup a Hrádek, 1999)

Hlavní uplatnění bilančních hydrologických modelů, aplikovaných v podmínkách malých zemědělsko-lesních povodích, lze předpokládat:

- v projekci při zpracování územních studií a posouzení hydrologické účinnosti navrhovaných vodohospodářských a krajinných opatření v rámci jednotlivých staveb (změny využívání stávajících, nebo projekce nových), hodnocení vlivu krajinného plánování i dalších antropogenních činností na hydrologický režim
- v realizační sféře (budování zpevněných ploch, odkanalizování obcí, řešení přilehlého extravilánu obcí, biocenter), zpracování projektů pozemkových úprav, atd.
- v přípravě organizačních opatření pro ochranu před záplavami, protierozní ochranu půd, ochranu extravilánu obcí, zpracování individuálních plánů protipovodňové ochrany exponovaných povodí (stav počátečního nasycení povodí)
- ve státní správě při posuzování studií revitalizací říčních systémů, vlivu změny organizace půdního fondu a intenzity jeho využití, vlivu využití vodohospodářských staveb apod. (Kulhavý a Kovář, 2000)

Ve srovnání s klasickými empirickými postupy jsou metody matematického modelování rychlejší a efektivnější. Lze jimi posuzovat účinnost různých variant navrhovaných úprav a případně lze korigovat rozsah jejich návrhu. Spolehlivost matematických modelů je však podmíněna přesností matematického popisu hydrologických procesů, rozsahem a spolehlivostí naměřených datových souborů (Soukup a

Hrádek, 1999). Jedním z velmi důležitých kroků ve srážko-odtokovém modelování je nastavení počátečních podmínek. Jejich chybným zadáním může dojít k výraznému ovlivnění výsledného hydrogramu (*Unucka a kol., 2010*).

Například změna krajinného krytu má evidentně vliv na srážko-odtokové procesy. Pro modelování přímého odtoku z orné půdy je nutné zjistit její reálné využití a způsob obdělávání v minulosti i do budoucnosti (*Mičulková a kol., 2010*). Jeden z významných zdrojů aktuálních dat land use a land cover (LULC) představuje databáze CORINE Land Cover, která je hojně využívána při schematizaci povodí pro účely srážko-odtokového modelování. Přestože je využívána jako zdroj LULC pro srážko-odtokové modelování, jeví se mnohdy nedostatečná především pro modely menších povodí (tedy pro měřítka větší než 1:25 000). Jde zejména o výjimečnost členitosti české krajiny (CORINE nomenklatura některé jevy nepostihuje, např. mozaikovitý ráz krajiny), dále o nedostatečné rozlišení zemědělských ploch, které je třeba pro srážko-odtokový proces odlišit vzhledem k různým infiltračním schopnostem půd podmiňovaným fenologickou fází plodin apod. (*Unucka, 2008*).

Kromě vstupních dat je pro modelování přímého odtoku důležité zvolit odpovídající metodu pro modelování (*Hejlová a kol., 2013*). Spolehlivost užitých metod je úměrná věrnosti matematického popisu fyzikálního procesu a rozsahu i spolehlivosti použitého datového souboru (*Kulhavý a Kovář, 2000*). Transparentní metodou srážko-odtokového modelování ve vztahu odtokové charakteristiky a LULC je bezesporu již výše popsána metoda CN křivek, vyvinutá službou pro ochranu půd Soil Conservation Service (SCS) (*Unucka, 2008*).

Metoda čísel odtokových CN křivek se jeví jako vhodná pro základní stanovení výšky přímého odtoku v mikropovodí k vybranému dni, kterému předcházela srážková úhrn v posledních pěti dnech před stanovením výšky přímého odtoku. Díky této metodě může být vypočítána výška přímého odtoku a objem odtoku z pixelů v mikropovodí, které jsou ohodnoceny CN číslem. Nevýhoda této metody však může spočívat ve špatném určení parametrů na jejichž základě se určuje číslo CN, v nezohledňování krátkodobých intenzivních srážek, ve využití pro dlouhodobější simulace odtokové situace a nezohledňování sklonových poměrů území (*Hejlová a kol., 2013*).

5.1. Modely a programy využívající metodu CN křivek

Následující kapitola shrnuje několik zástupců modelů a programů založených či jinak využívajících metody odtokových křivek - CN.

5.1.1. Model WBCM (Water Balance Conceptual Model)

Prvním z nich je model WBCM. Tento model je deterministický, patří do kategorie modelů nelineárních s pravděpodobnostně rozdělenými proměnnými i parametry po ploše modelovaného povodí tak, aby mohla být zachována jejich plošná variabilita. Každý kapacitní element modelu reprezentuje přirozenou zásobu vody v jednotlivých vertikálních subsystémech hydrologického profilu (Kovář, 2004). Verze modelu WBCM-5 byla koncipována pro simulaci denních bilančních hodnot ve vegetačním období. Model uvažuje všechny podstatné interakce mezi jednotlivými zónami (tj. vegetační zónu, nenasycenou a nasycenou zónu). Struktura modelu respektuje fyzikální principy, podle nichž dochází k interaktivním hydrologickým procesům. Cílem modelu je zejména simulace dynamiky půdní vlhkosti v aktivní a nenasycené zóně, územního výparu a denních odtoků.

Řešené procesy:

- potenciální evapotranspirace,
- intercepce
- tvorba povrchového odtoku a jeho transformace,
- dynamika aktivní zóny,
- dynamika nenasycené zóny a skutečná evapotranspirace,
- dynamika nasycené zóny, základní odtok, celkový odtok. (Kulhavý a Kovář, 2000)

Modelová jednotka, řešící intercepční proces je založena na předpokladu simulování intercepční schopnosti vegetačního krytu povodí parametrem, jenž vyjadřuje průměrnou intercepci povodí. Vstupem do této jednotky je dešť, výstupem propad deště, výška intercepce a část výparu vody zachycené vegetací. (Kovář, 2004).

Proces tvorby povrchového odtoku je řešen upravenou U. S. Soil Conservation Service metodou. Potřebné parametry, zahrnující vliv fyziografických charakteris-

tik a odtokové vlastnosti reliéfu aktivní zóny jsou hodnoceny číslem odtokové křivky CN. (Kulhavý a Kovář, 2000)

Nasyčená zóna je WBCM-5 řešena pouze rámcově tak, aby poskytovala mechanismus vytváření základního odtoku bez bilancování zásob podzemní vody a řešení dynamiky nenasycené zóny (tj. její sycení a čerpání) záleží především na výšce propadu deště, deficitu půdní vlhkosti této zóny, potenciální evapotranspiraci a parametrech, vyjadřujících její nehomogenitu. Celkový odtok je získán superpozicí přímého a základního odtoku (Kovář, 2004).

Pro úspěšnou implementaci vyžaduje model údaje o datu začátku bilancování a předchozí denní srážky za období alespoň 30 dnů před bilančním obdobím. Dále formální údaje povodí, ke kterým patří například plocha povodí, sklon toku, zastoupení kultur a plodin a klasifikace půd dle BPEJ pro stanovení hydrologických skupin půd pro finální stanovení křivek CN, logické proměnné, denní meteorologická data a kontrolní proměnné (Kovář, 2004 a Kulhavý a Kovář, 2000)

Objemovou shodu složek bilance zabezpečuje sledování kontinuity dle bilanční rovnice:

$$SRAIN = AE + STF + (\Delta WP + \Delta WZ)$$

$$SRAIN = AE + STF + \Delta WW$$

kde	SRAIN	výška srážek (mm)
	STF	výška celkového odtoku (mm)
	AE	skutečný (aktuální) územní výpar (mm)
	ΔWP	změna vlhkosti nenasycené zóny (mm)
	ΔWZ	změna objemu nasycené zóny (mm)
	ΔWW	($\Delta WW = \Delta WP + \Delta WZ$, tj. dotace podpovrchových vod)

(Kovář a Novotná, 2007 a Kovář, 2004)

Model WBCM je:

- dobře použitelný pro rekonstrukci denních průběhů hydrologické bilance s přesností do 10% pro extrémní jevy a do 5% pro běžné hydrologické jevy,
- využitelný pro zjišťování počátečních podmínek nasycení pro studium hydrologických extrémů (povodně či sucha),
- využitelný pro simulaci scénářů,
- provedení scénářových simulací hydrologické bilance pro odvození zákonitostí vlivu využívání pozemků (land use), případně vlivu klimatických změn (Kovář, 2005).

Právě poslední jmenované může být dobře využitelné při projektování KPÚ.

Náklady na pořízení modelu WBCM se bohužel nepodařilo zjistit.

5.1.2. Model KINFIL

Model KINFIL je založený na kombinaci teorie infiltrace a transformace přímého odtoku "kinematickou vlnou". Tento model používá fyzikálně-geometrické, hydraulické a klimatické parametry povodí, které se dají určit z mapových a jiných podkladů při absenci přímých pozorování a při zohlednění důsledků antropogenní činnosti v povodí (Kovář a Kadlec, 2008). Model KINFIL je určen pro stanovení návrhových průtoků ovlivněných antropogenních činností, jako např. změna kultur, odlesnění nebo urbanizace, a simulaci významných odtokových procesů. Skládá se ze dvou základních částí - INFIL a KIN, který dále obsahuje části CPLANE, CONVERT, CSTREAM (Kovář a Vaššová, 2011).

První část modelu, tedy část INFIL, řeší infiltrační proces dle rovnic Morel-Seytoux. (Soukup a Hrádek, 1999). Základním úkolem je určení parametrů nasycené hydraulické vodivosti K_s a retenčního součinitele sacího tlaku S_f (při stavu polní vodní kapacity - PVK). Přímým řešením je malých experimentálních plochách měření těchto parametrů. Na větších povodích je to pak využití dříve odvozených vztahů mezi těmito parametry a hodnotami čísel odtokových křivek CN. Indexové hodnoty

CN korespondují s konceptuálními hodnotami půdních parametrů K_s a S_f (PVK):
 $CN = f(K_s, S_f)$ (Kovář a Kadlec, 2008).

Dílní podprogramy části INFIL jsou:

- PONTI: výpočet doby výtopy,
- CONST: infiltrace z deště o konstantní intenzitě,
- PPFIND: infiltrace z deště o proměnlivé intenzitě,
- TABLE: přiřazení parametrů dle CN

(Kovář a Vaššová, 2011).

Ve druhé části je řešena transformace efektivního deště do povrchového odtoku modelem kinematické vlny. Děje se tak ve třech (případně čtyřech) submodelech (podprogramech) (Soukup a Hrádek, 1999). Procedura CPLANE je určena k simulaci odtoku po geometrizované kaskádě desek, procedura CONVER po segmentech, CSTREAM říční úseky (Kovář a Vaššová, 2011). Posledním podprogramem je MUSK, který řeší neustálený pohyb odtoku soustředěného v korytě s použitím metody Muskingum-Cunge (Soukup a Hrádek, 1999).

Popsaný model KINFIL je typickým příkladem modelu simulačního typu, popisující významný srážko-odtokový případ a nikoliv empirický model erozního procesu typu univerzální rovnice ztráty půdy.

Náklady na pořízení modelu KINFIL se bohužel nepodařilo zjistit.

5.1.3. DesQ-MaxQ

Model DesQ je programový systém zaměřený na odvození charakteristik maximálního odtoku z povodí, vyvolaného přívalovými dešti. Řešení hydraulicko-hydrologických závislostí procesu maximálního odtoku z povodí je založeno na principu kinematické povodňové vlny. Model je využitelný pro samostatný svah i pro povodí s údolnicí.

Umožňuje výpočet:

- návrhové (kritické) doby trvání deště příslušné intenzity,

- charakteristik hydrogramu maximálního odtoku (viz výstupní veličiny modelu) vyvolaného deštěm odvozené kritické doby trvání a příslušné intenzity nebo deštěm zadané doby trvání a intenzity,
- střední profilové rychlosti, výšky odtokové vrstvy v libovolném profilu svahu.

Vstupní geometrické charakteristiky modelu:

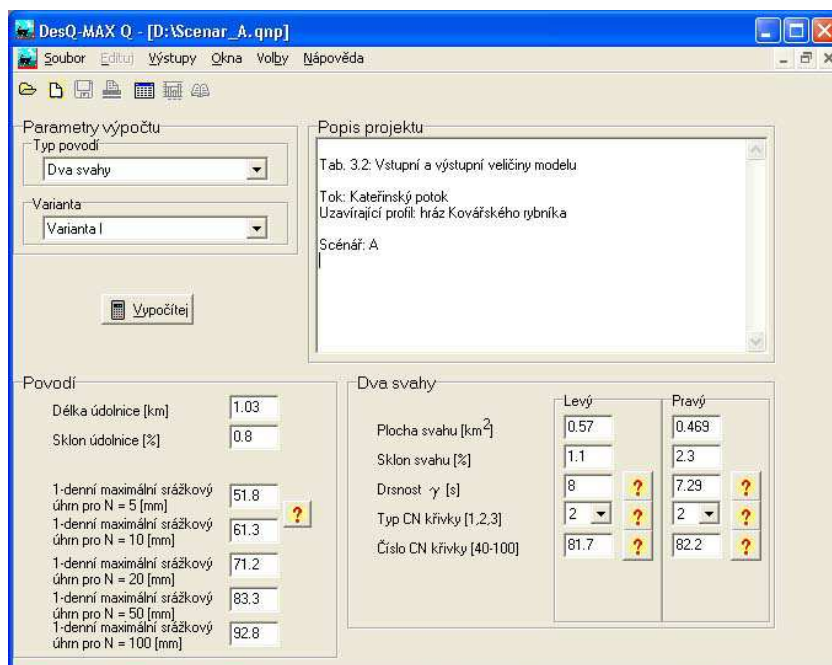
- plochy svahů povodí - F
- délka údolnice L_U .
- Z nich se vypočte střední délka svahu - L_S a dráha svahového odtoku - L_{SO} .
- Sklonové poměry povodí jsou charakterizovány průměrným sklonem jednotlivých svahů I_S (Herbstův sklon) a průměrným sklonem údolnice - I_U . (*Soukup a Hrádek, 1999*)
- Půdní charakteristiky a způsob využívání pozemků v povodí jsou odvozovány pro stávající, případně "návrhový" stav metodou CN-křivek (*Janeček, M. a kol., 1992*). Podkladem je výběr příslušné "hydrologické skupiny půd", přičemž se využívá podkladů VÚMOP Praha - kategorie BPEJ.

Stav předchozí nasycenosti povodí je charakterizován 3 skupinami "předchozích vláhových poměrů" (IPS). Pro "návrhový stav" se doporučuje skupina IPS II. (*Soukup a Hrádek, 1999*)

Využívání půdy, způsob obdělávání a hydrologické podmínky (infiltrační schopnost vrchní vrstvy půdního profilu) se zohledňují rovněž příslušným číslem CN-křivky (*Janeček, M. a kol., 1992*).

Při charakterizování využití půdy se rozlišují: úhor, širokořádkové plodiny, úzkořádkové plodiny, víceleté pícniny, pastviny, louky, křoviny, sady, zemědělský areál, komunikace, nepropustné a zastavěné plochy a vodní plochy. Využívání půdy ovlivňuje rovněž drsnostní charakteristiku povrchu povodí, která je zohledněna volbou součinitele drsnosti, který je rovněž vstupním parametrem modelu (*Soukup a Hrádek, 1999*).

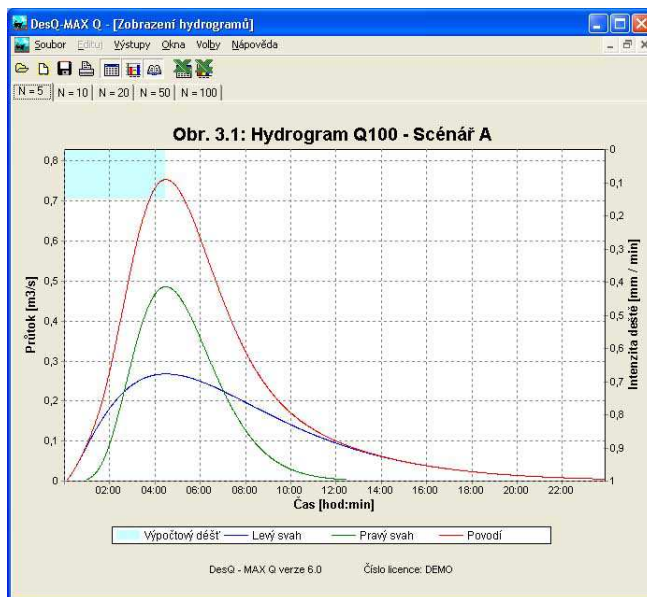
Demo verze programu je ke stažení na internetových stránkách <http://www.desq-maxq.cz/>. V současné době je k dispozici verze programu 6.0. Cena programu včetně USB hardwarového klíče je 18 000,- Kč. Výpočet modelového zadání zobrazují obrázky č. 2 – 5.



Obr. č. 2 Modelové zadání (Program DesQ-MaxQ, 2014)

VÝSTUPNÍ VELICINY N = 5 let					
	Povodí	Levý svah	Pravý svah	Jednotky	
CN _{pr}	prepočtené číslo CN - typ	81,7	82,2	[...]	
R _p	potenciální retence povodí	56,9	55,0	[mm]	
L _p	průměrná délka svahu	0,55	0,46	[km]	
L _{so}	průměrná délka dráhy svahového odtoku	0,64	0,48	[km]	
Kritický déšť					
t _{ak}	doba trvání deště	500	269	[min]	
i _{ak}	intenzita deště	0,088	0,149	[mm.min ⁻¹]	
H _{ak}	výška deště	44,0	39,9	[mm]	
t _{1ak}	doba bezodtokové fáze	4	2	[min]	
t _{epk}	doba trvání přítoku	496	267	[min]	
i _{epk}	intenzita přítoku	0,038	0,062	[mm.min ⁻¹]	
H _{epk}	výška přítoku	18,9	16,6	[mm]	
Výpočtový déšť					
t _a	doba trvání deště	269		[min]	
i _a	intenzita deště	0,149		[mm.min ⁻¹]	
H _a	výška deště	39,9		[mm]	
t ₁	doba trvání bezodtokové fáze	2	2	[min]	
t _{ep}	doba trvání přítoku	267	267	[min]	
i _{ep}	intenzita přítoku	0,061	0,062	[mm.min ⁻¹]	
H _{ep}	výška přítoku	16,3	16,6	[mm]	
t _{ak}	doba koncentrace	392	266	[min]	
i _{ak}	intenzita odtoku v době t _{ak}		0,061	0,062	[mm.min ⁻¹]
H _{eo}	výška odtoku		16,3	16,6	[mm]
max i _{eo}	max. intenzita odtoku ze svahu		0,028	0,062	[mm.min ⁻¹]
Q_{max}	maximální průtok	0,754	0,268	0,486	[m³.s⁻¹]
Charakteristiky teoretické povodňové vlny vyvolané výpočtovým deštěm					
W _{PVT}	objem povodňové vlny	17,1	9,27	7,78	[10 ³ .m ³]
t _{zh}	doba vzestupu hydrogramu	267	267	266	[min]
t _{ph}	doba poklesu hydrogramu	1165	1165	455	[min]
t _{ka}	doba trvání kulminace hydrogramu	0	0	1	[min]
t _{ca}	celková doba trvání odtoku	1432	1432	722	[min]
Charakteristiky teoretické povodňové vlny vyvolané H_{ias}					
W _{PVT}	objem povodňové vlny	25,6	13,9	11,7	[10 ³ .m ³]
t _{zh}	doba vzestupu hydrogramu	267	267	266	[min]
t _{ph}	doba poklesu hydrogramu	2035	2035	780	[min]
t _{ka}	doba trvání kulminace hydrogramu	0	0	1	[min]
t _{ca}	celková doba trvání odtoku	2302	2302	1047	[min]

Obr. č. 3 Výsledná tabulka (Program DesQ-MaxQ, 2014)



Obr. č. 4 Výsledný graf (Program DesQ-MaxQ, 2014)

Časové řady	Srážka [mm min ⁻¹]	Povodí [m ³ s ⁻¹]	Levý svah [m ³ s ⁻¹]	Pravý svah [m ³ s ⁻¹]
00:01	0,15	0,000	0,000	0,000
00:02	0,15	0,000	0,000	0,000
00:03	0,15	0,000	0,000	0,000
00:04	0,15	0,000	0,000	0,000
00:05	0,15	0,001	0,001	0,000
00:06	0,15	0,001	0,001	0,000
00:07	0,15	0,002	0,002	0,000
00:08	0,15	0,003	0,003	0,000
00:09	0,15	0,004	0,004	0,000
00:10	0,15	0,005	0,005	0,000
00:11	0,15	0,006	0,006	0,000
00:12	0,15	0,007	0,007	0,000
00:13	0,15	0,009	0,009	0,000
00:14	0,15	0,010	0,010	0,000
00:15	0,15	0,011	0,011	0,000

Obr. č. 5 Výsledné časové řady (Program DesQ-MaxQ, 2014)

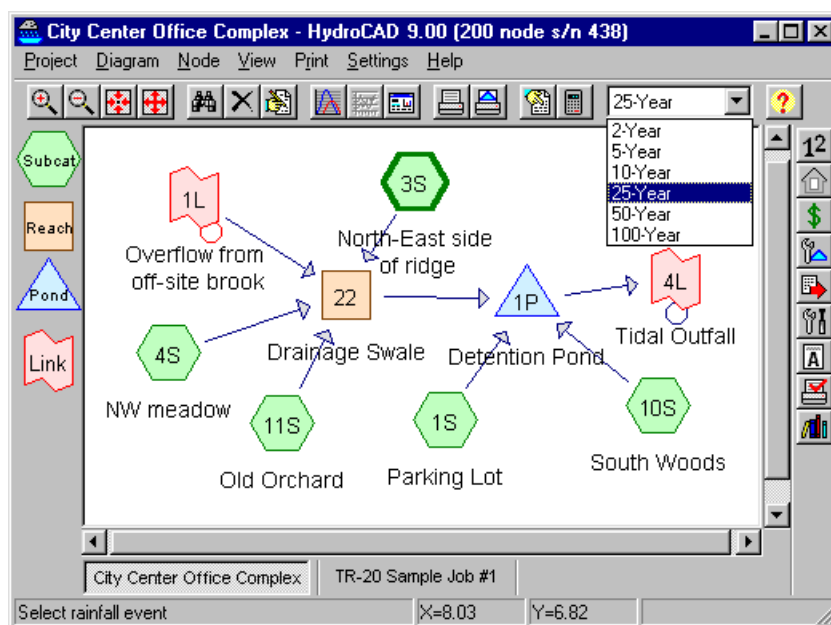
5.1.4. HydroCAD

HydroCAD je poměrně rozšířený hydrologicko-hydraulický model, resp. program americké firmy "Applied Microcomputer Systems - HydroCAD vyvinutý "Službou ochrany půdy" (US SCS), nyní "Službou ochrany přírodních zdrojů" (US NRCS), založený právě na metodě čísel odtokových křivek CN (Janeček a Kovář, 2010). Lze ho využít pro simulaci významných srážko-odtokových epizod na malém povodí. Uživatel může verifikovat:

- zda odtokový systém povodí (říční síť) je kapacitně dostatečný,
- předpovídat výskyt povodňových, příp. erozních událostí,
- vyhodnotit různé alternativy návrhu řešení hydraulických objektů (jezů, propustků, potrubí) a vybrat nejvhodnější z hlediska bezpečnosti, ochrany životního prostředí a finanční náročnosti.

Výsledky vypočtené modelem je možné pro všechny uzly odtokového schématu zobrazit ve formě hydrografů a tabulek ve formátu Txt nebo Jpg (Janeček, 2012) viz. obr. č. 6, 7 a 8.

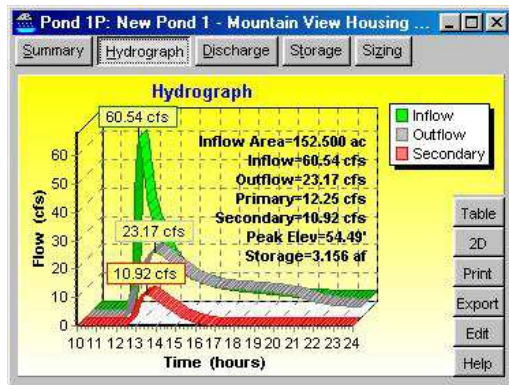
Cena programu HydroCAD je odvozena podle počtu uzlů, které může každý projekt obsahovat, a pohybuje se v rozmezí od \$245 do \$1995. V současné době je na trhu verze programu HydroCAD-10 (*HydroCAD Stormwater Modeling, 2013*).



Obr. č. 6 Jednotlivé uzly odtokového schématu (*HydroCAD Stormwater Modeling, 2013*).

Area (acres)	Land Use	Imp. (%)	Rv	Runoff (inches)	TSS (pounds)	TP (pounds)	TN (pounds)
3.600	Cropland	0.00	0.050	1.89	1,079.31	3.08	13.88
8.400	Meadow	0.00	0.050	1.89	719.54	3.60	17.99
20.000	Open Space	0.00	0.050	1.89	316.94	2.66	8.57
25.000	Residential	26.20	0.286	10.80	3,366.22	24.48	134.65
143.500	Woods	0.00	0.050	1.89	307.30	0.00	0.00
200.500	TOTAL				5,789.32	33.82	175.08

Obr. č. 7 Ukázka tabulky v programu HydroCAD (*HydroCAD Stormwater Modeling, 2013*).



Obr. č. 8 Příklad hydrografu v programu HydroCAD (HydroCAD Stormwater Modeling, 2013).

5.1.5. HEC-HMS

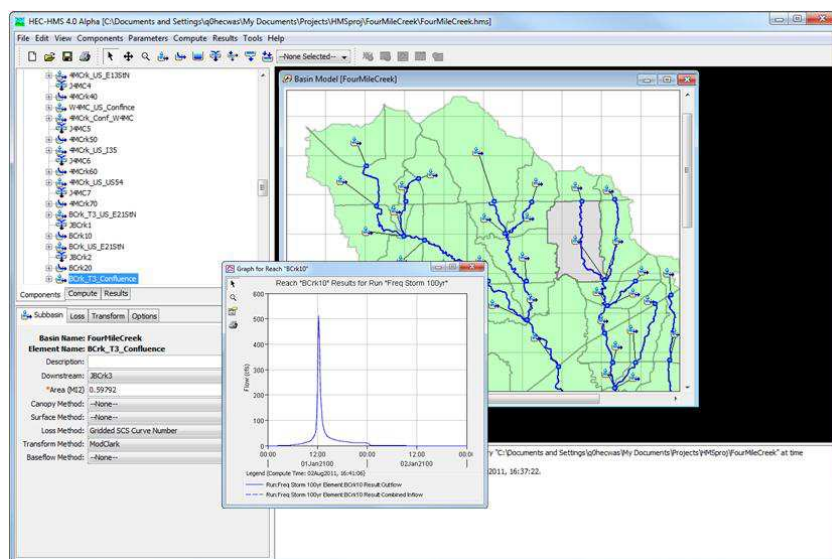
Model HEC-HMS je široce používaný srážko-odtokový model, který je možné využít k řešení celé řady hydrologických úkolů. Podstatnou výhodou HMS je, že je jako freeware dostupný na internetu (Jeníček, 2007). Software byl zpracován v US Army Corps of Engineers. Umožňuje stanovit jak velikost přímého odtoku a základního odtoku, tak řešení transformační odezvy povodí na průběh příčných srážek. Je tak vhodný pro určení charakteristik povodně, ale i pro simulaci odtoku (Feltl, 2011). Náhled programu zobrazuje obrázek č. 9.

Hlavní komponenty modelu

- komponenta počítající objem odtoku (runoff-volume models) - zahrnuje několik modelů, které má uživatel k dispozici. Jedná se mimo jiné o metodu SCS CN křivek, která je využívána pro výpočet objemu odtoku v závislosti na hydrologických vlastnostech půdy, počátečním stavu nasycení nebo jejího využití - landuse
- komponenta přímého odtoku (direct-runoff models) - pro výpočet přímého odtoku je v modelu použita metoda jednotkového hydrogramu, případně její nejrůznější modifikace
- komponenta podzemního odtoku (baseflow models)
- komponenta korytového odtoku (routing models) (Jeníček, 2007).

Vstupní veličina srážky (pozorované či návrhové) je zadávána ve formě (pozorovaného či návrhového) hyetogramu, tj. časového průběhu srážky ve zvoleném intervalu. Jako transformační funkce povodí jsou využívány jednotkový hydrogram nebo kinematická vlna (Fetl, 2011).

SCS CN dostupná jako modelovací technika v systému HMS je výhodná především díky svojí jednoduchosti a dostupnosti dat. Používá ale četná zjednodušení (předpokládá stejnoměrné rozložení srážky v čase i prostoru, nezohledňuje klasické teorie proudění vody v nenasycené zóně půdního profilu a případné překročení infiltrační kapacity není zohledňováno), které její využití limitují (Jeníček, 2007).



Obr. č. 9 Náhled programu HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center, 2014)

6. Skutečné využití modelů a programů využívajících metodu CN křivek v praxi

Pro zjištění skutečného stavu využívání výše uvedených programů při projektování komplexních pozemkových úprav v praxi byl proveden malý průzkum mezi firmami zabývajícími se touto problematikou.

Firmám z různých krajů České republiky byly e-mailem zaslány tyto 2 otázky:

1. Používáte při projektování komplexních pozemkových úprav nějaký srážko-odtokový model či program (např. KINFIL, HydroCAD, DesQ-MaxQ, HEC-HMS aj.) pro zjištění možného přímého povrchového odtoku vody z povodí a pokud ano, tak jaký?
2. V případě, že žádný takový program nepoužíváte, jakým způsobem řešíte výpočet odtoku vody z povodí či odnos půdy vodní erozí?

Z celkového počtu 25 oslovených firem zaslalo zpět svou odpověď 9 projekčních kanceláří. Z těchto 9 společností pouze 2 využívají program založený na využití odtokových křivek CN, konkrétně tedy HydroCAD a HEC-HMS. Jedna společnost pracuje s programem Atlas DMT a jeho nástavbami, jedna řeší tuto problematiku subdodavatelsky a zbylé využívají k výpočtu eroze univerzální rovnici ztráty půdy (USLE).

Z těchto výsledků lze tedy vyvodit, že, i přes velké množství modelů a programů vhodných pro výpočet přímého povrchového odtoku vody z povodí a vodní eroze, nejsou tyto programy v projekční praxi příliš využívány.

7. Závěr

Závěrem lze konstatovat, že metoda odtokových křivek - CN je, i přes některé své nedostatky, metodou velmi rozšířenou. V její prospěch hraje především její jednoduchost a snadná aplikace na malá povodí, stejně jako poměrně vysoká přesnost výsledků. Právě z těchto důvodů může být metoda CN křivek použita v projekční praxi a to zejména k navrhování a posuzování technických protierozních opatření.

Pravděpodobně právě díky tomu se tato metoda stala součástí nejrůznějších modelů a programů na předpověď a simulaci odtoku vody v povodí. Škála těchto modelů je velice široká, proto v této práci byly shrnuty jen některé z nich. Pravděpodobně nejvíce rozšířeným programem z výše uvedených je HEC-HMS a to nejen díky své volné dostupnosti na internetu, ale také díky jeho relativní jednoduchosti a dobrému grafickému vyjádření výsledků.

Avšak nejen program HEC-HMS, ale všechny uvedené modely a programy jsou svou podstatou velmi dobře využitelné při projektování komplexních pozemkových úprav, zejména pak při návrhu skladby pozemků, jejich využití a při návrhu protierozních opatření.

Jak ale ukázal provedený průzkum mezi společnostmi zabývajícími se projekty KPÚ, tyto programy jsou v praxi využívány jen zcela ojediněle. Důvodů pro tuto skutečnost může být hned několik. Tím nejpravděpodobnějším se však jeví finanční dostupnost jednotlivých programů a také ekonomické náklady na odborná školení pracovníků firem, kteří s těmito programy pracují.

8. Seznam použité literatury

- 1) BURIAN, Z. *Pozemkové úpravy*. Editor J. Váchal, J. Němec, J. Hladík. Praha: Consult, 2011, 207 s. ISBN 978-80-903482-8-8.
- 2) ČSN 73 6530. *Vodní hospodářství. Názvosloví hydrologie*. Praha: Nakladatelství úřadu pro normalizaci a měření, 1983.
- 3) DOSTÁL, T., V. DAVID, K. VRÁNA a H. NOVÁKOVÁ. Studie odtokových poměrů v povodí Weisseritz: Mapa zdrojových ploch povrchového odtoku [online]. Praha, 2006 [cit. 2013-11-14]. Dostupné z: http://storm.fsv.cvut.cz/granty/emtal/cesky/EMTAL_CVUT_Praha_cast_I.pdf. Projekt. ČVUT Praha.
- 4) FELTL, J. Výběr kritické srážky v malém povodí se zaměřením na generování povrchového odtoku. In: *JUNIORSTAV 2011: 13. odborná konference doktorského studia Fakulty stavební VUT v Brně*. Brno: Vysoké učení technické, 2011, s. 8. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2011/pdf/3/Feltl_Jakub_CL.pdf
- 5) HEJLOVÁ, V., V. PECHANEC a J. MÍŘJOVSKÝ. Monitoring a modelování povrchového odtoku s využitím GIS. In: *GIS Ostrava 2013: Geoinformatika pro společnost*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013, s. 11.
- 6) *HydroCAD Stormwater Modeling* [online]. 2013 [cit. 2014-02-25]. Dostupné z: <http://www.hydrocad.net>
- 7) *Hydrologic Engiering Center* [online]. 2014 [cit. 2014-02-25]. Dostupné z: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>
- 8) JANEČEK, M. a kol.: *Ochrana zemědělské půdy před erozí. Metodika 5/1992*. ÚVTIZ Praha 1992. 110 str.

- 9) JANEČEK, M. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika*. 1. vyd. Praha: Powerprint, 2012, 113 s. ISBN 978-80-87415-42-9.
- 10) JANEČEK, M. a P. KOVÁŘ. Aktuálnost „Metody čísel odtokových křivek – CN“ k určování přímého odtoku z malého povodí. *Vodní hospodářství*. 2010, č. 7, s. 187-189.
- 11) JENÍČEK, M. Modelování vlivu krajinného pokryvu na srážko-odtokové procesy metodou CN křivek. In: *Změny v krajině a povodňové riziko: sborník příspěvků ze semináře Povodně a změny v krajině*: PřF UK, Praha, 5.6.2007. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, 2007, s. 41-50. ISBN 978-80-86561-87-5.
- 12) KOUTNÝ, L., J. SKOUPIL a D. VESELÝ. Využití retenčního potenciálu půdy v horních částech povodí. *Vodní hospodářství*. 2012, roč. 62, č. 11, s. 358-359.
- 13) KOVÁŘ, P. *Využití hydrologických modelů pro určování maximálních průtoků na malých povodích*. Doktorská disertační práce, LF ČZU Praha, 1994
- 14) KOVÁŘ, P. *Závěrečná zpráva o řešení výzkumného záměru: Možnosti zvyšování ekologické stability, retence a akumulace vody v krajině*. Praha, 2005. Dostupné z: <http://dl.webcore.czu.cz/file/WHNLSmJPcmxpS0U9>
- 15) KOVÁŘ, P. a J. NOVOTNÁ. Využití hydrologických modelů pro stanovení parametrů rekultivace zbytkových jam zatopením. In: *Re-Regions: Collection of Abstracts, Území ovlivněné těžbou uhlí - cesty k udržitelnému rozvoji*. Ústí nad Labem: Krajský úřad ústeckého kraje, 2007, s. 32-41. ISBN 978-80-239-8937-3.
- 16) KOVÁŘ, P. a V. KADLEC. Využití zrážkovo-odtokového modelu KINFIL na povodí Hučavy. *Zprávy lesnického výzkumu*. 2008. Dostupné z: <http://www.vulhm.cz/sites/File/ZLV/fulltext/196.pdf>

- 17) KOVÁŘ, P. a D. VAŠŠOVÁ. *Model KINFIL manuál*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2011. Dostupné z: http://fzp.czu.cz/vyzkum/programs/kinfil/manual_kinfil.pdf
- 18) KULHAVÝ, Z. a P. KOVÁŘ. *Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, 2000. 123 s. ISSN 1211-3972.
- 19) MARŠÍKOVÁ, M. a Z. MARŠÍK. *Dějiny zeměměřičství a pozemkových úprav v Čechách a na Moravě v kontextu světového vývoje*. Praha: Libri, 2006. ISBN 978-80-7277-318-6.
- 20) MATOUŠEK, V. *Poznávání odtokových vlastností malých povodí za regionálních deštů*. Vyd. 1. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, 2010, 103 s. ISBN 978-808-7402-085.
- 21) MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY. *Pozemkové úpravy: nástroj pro udržitelný rozvoj venkovského prostoru [online]*. 2., aktualiz. vyd. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2011, 28 s. [cit. 2013-11-14]. ISBN 978-80-7084-944-6. Dostupné z: <http://www.rackova.cz/file.php?nid=4422&oid=2838657>
- 22) MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Metodika ministerstva životního prostředí k navrhování protipovodňových opatření v ploše povodí, které současně řeší obnovu vodního režimu a snižování vodní eroze*. 2008, 131 s. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/pracovni_postupy_podklady/\\$FILE/OOV-Pracovni_postup_k_Metodice_OOV-20101122.zip](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/pracovni_postupy_podklady/$FILE/OOV-Pracovni_postup_k_Metodice_OOV-20101122.zip)
- 23) MIČULKOVÁ, J., E. AUXTOVÁ a M. TRIZNA. *Vliv změny krajinného krytu na srážkoodtokové poměry v povodí Jičínky*. In: *XXII. Sjezd české geografické společnosti, Ostrava. Geografie pro život ve 21. století sborník příspěvků*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2010, s. 230-234. ISBN 9788073689032.

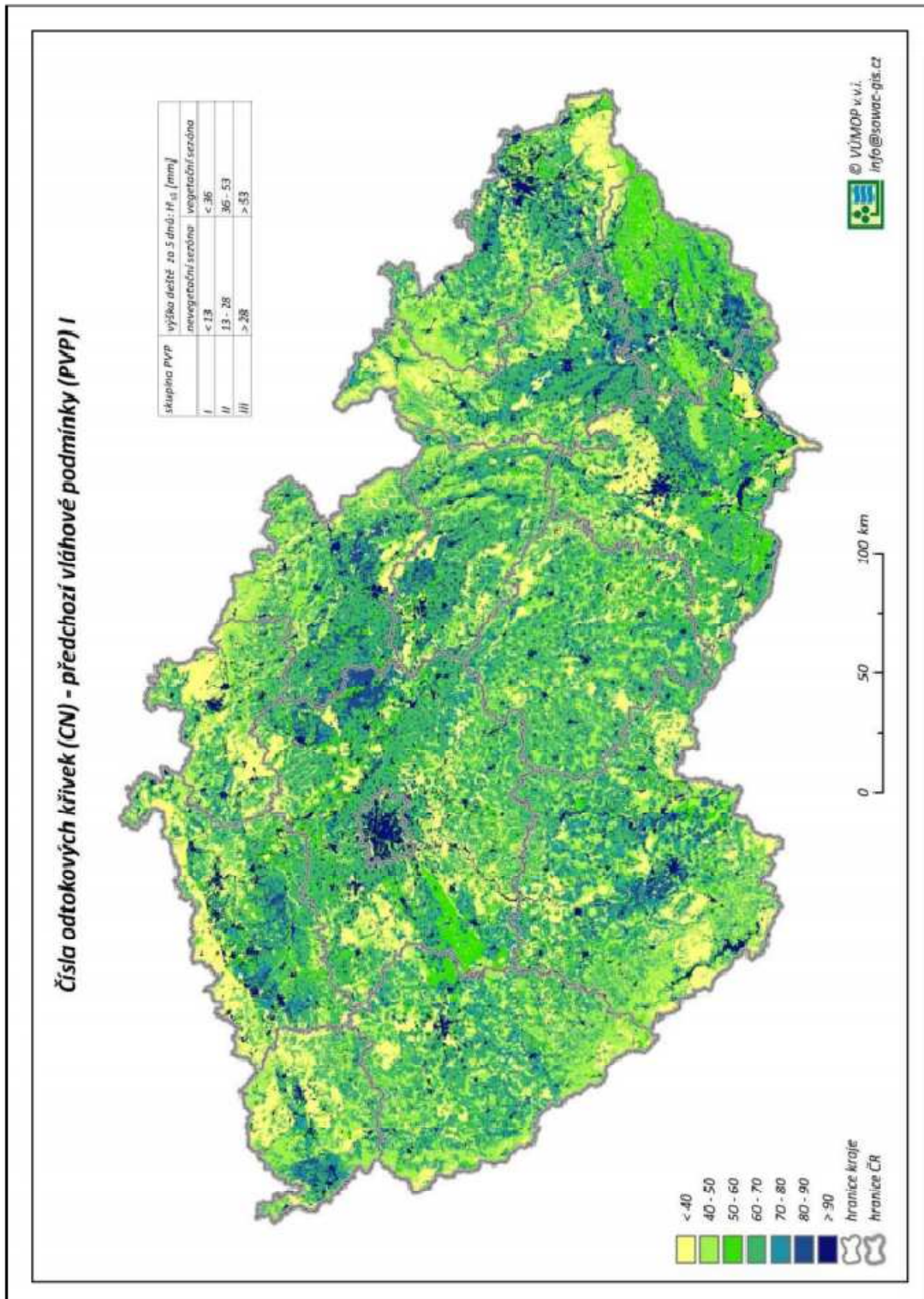
- 24) PODHRÁZSKÁ, J. Vliv hospodaření v povodí na jeho retenci. In: *Mezinárodní vědecká konference Bioklimatologické pracovní dny 2003: Funkcia energetickej a vodnej vilancie v bioklimatických systémoch*. Nitra: FZKI SPU Nitra, 2003, s. 6. ISBN 80-8069-244-0.
- 25) *Program DesQ-MaxQ: Výpočet maximálních průtoků na malém povodí* [online]. 2014 [cit. 2014-02-25]. Dostupné z: <http://www.desq-maxq.cz/>
- 26) SCS National Engineering Handbook (1972): Section 4: *Hydrology*. Soil Conservation Service, USDA, Washington, D. C.
- 27) SOUKUP, M. a F. HRÁDEK. *Optimální regulace povrchového odtoku z povodí*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, 1999. 98 str. ISSN 1211-3972.
- 28) STÁTNI POZEMKOVÝ ÚŘAD. *Státní pozemkový úřad* [online]. 2013 [cit. 2014-02-07]. Dostupné z: <http://www.pfcr.cz/spucr/page.aspx?KategorieID=101>
- 29) UNUCKA, Jan. Modelování vlivu lesa na srážkoodtokové vztahy a vodní erozi s pomocí GIS. *Vodní hospodářství*. 2008, roč. 58, č. 7, s. 225-231.
- 30) UNUCKA, Jan, Michaela HORÁNKOVÁ, Veronika ŘÍHOVÁ a Martin ADAMEC. Porovnání metod SCS-CN a Green-Ampt pomocí metod citlivostní analýzy na základě změny indexu předchozí srážky. In: *XXII. Sjezd české geografické společnosti, Ostrava. Geografie pro život ve 21. století sborník příspěvků*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2010, s. 215-221. ISBN 9788073689032.
- 31) U. S. Army Corps of Engineers Washington, DC (1994): *Flood-Runoff Analysis. Engineer Manual 1110-2-1417* [online]. 1994 [cit. 2014-02-24]. Dostupné z : http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/EM_1110-2-1417_sec/toc.htm

- 32) VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY, v.v.i. *Nabídka mapových a datových produktů - Hydrologické charakteristiky*. 2013. Dostupné z: http://www.vumop.cz/sites/File/Katalog_Map/20130529_katalogMap_Hydrologicke_charakteristiky.pdf
- 33) ZÁKON č. 139/2002 Sb., o pozemkových úpravách a pozemkových úřadech a o změně zákona č. 229/1991 Sb., o úpravě vlastnických vztahů k půdě a jinému zemědělskému majetku, ve znění pozdějších předpisů

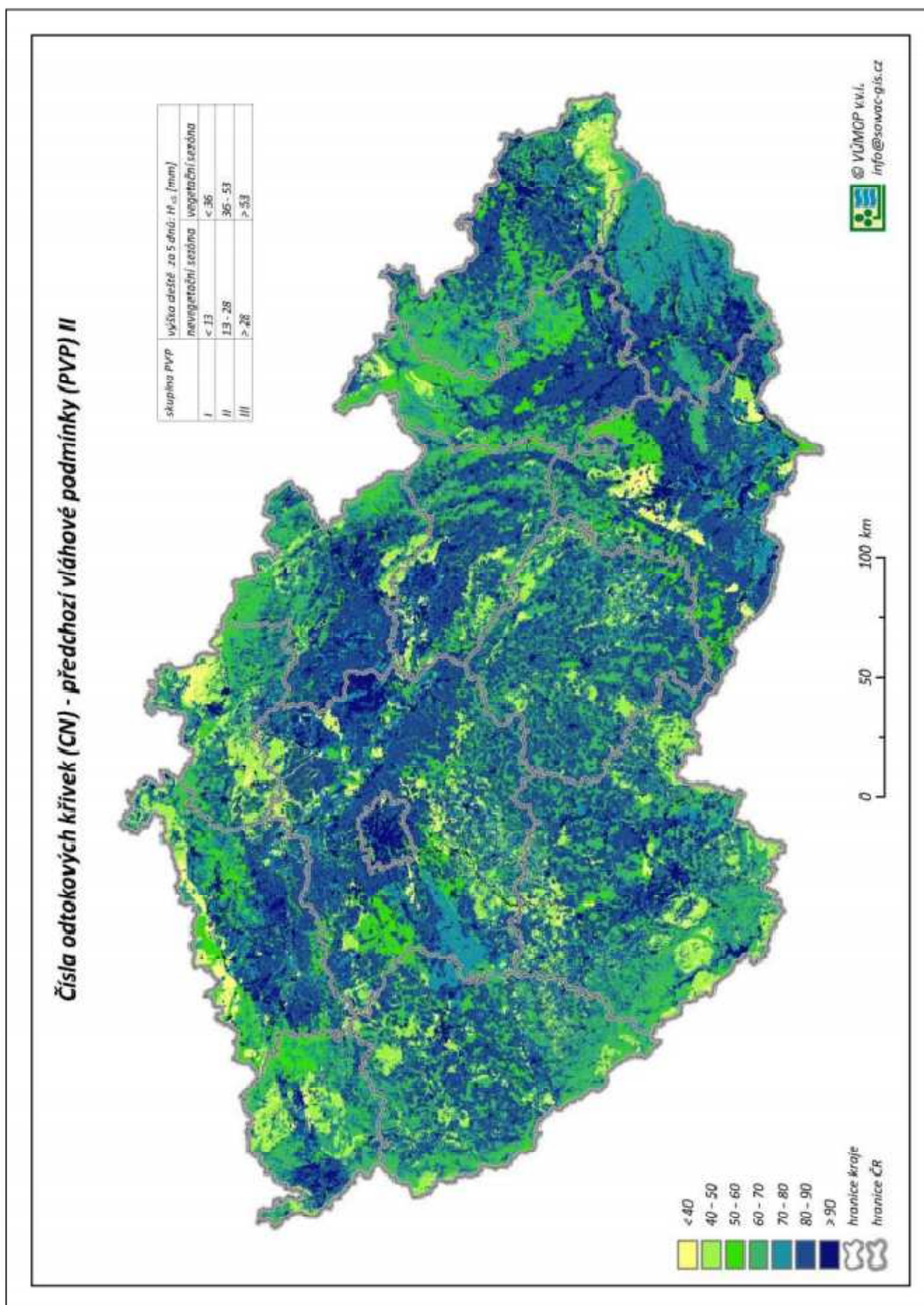
9. Přílohy

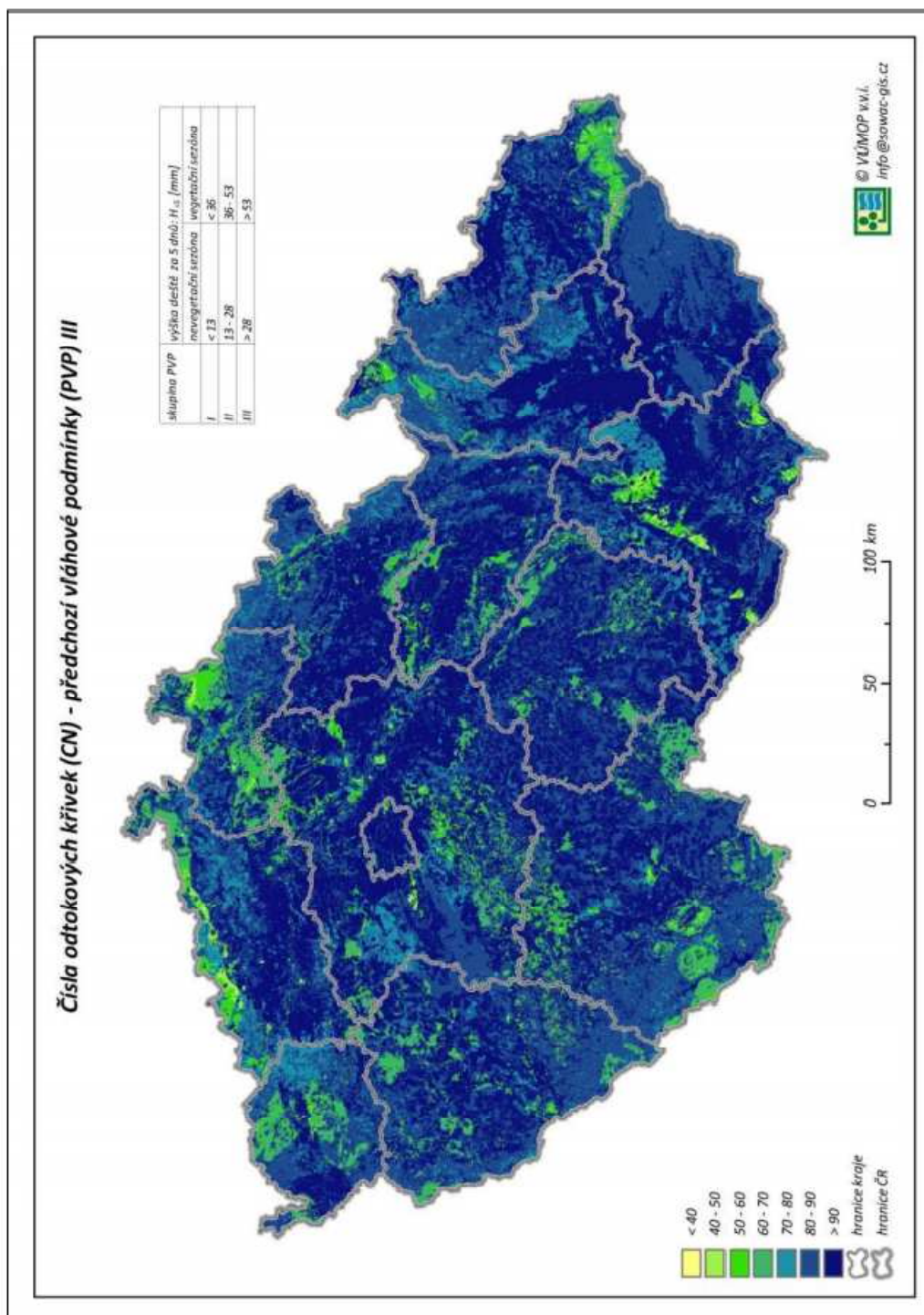
Příloha č. 1 Zařazení ekologicko-půdních jednotek ČR do kategorií hydrologických skupin půd (Metodika MŽP, 2008).

HPJ (2. a 3. číslo kódu BPEJ)	Hydrologická půdní skupina	HPJ (2. a 3. číslo kódu BPEJ)	Hydrologická půdní skupina
1	B	40	B
2	B	41	B
3	C	42	B
4	A	43	B
5	A	44	C
6	C	45	C
7	D	46	C
8	B	47	C
9	B	48	C
10	B	49	D
11	B	50	C
12	B	51	C
13	B	52	C
14	B	53	D
15	B	54	D
16	B	55	A
17	A	56	B
18	B	57	C
19	B	58	C
20	D	59	D
21	A	60	B
22	B	61	D
23	C	62	C
24	B	63	D
25	B	64	C
26	B	65	C
27	B	66	D
28	B	67	D
29	B	68	D
30	B	69	D
31	A	70	D
32	A	71	D
33	B	72	D
34	B	73	D
35	B	74	D
36	B	75	C
37	B	76	D
38	B	77	C
39	C	78	C



IPS II





Příloha č. 5 Průměrná čísla odtokových křivek - CN (Metodika MŽP, 2008).

Využití půdy	Způsob obdělávání	Hydrologické podmínky	Čísla odtokových křivek - CN podle hydrologických skupin půd			
			A	B	C	D
Úhor	čerstvě zkyplený		77	86	91	94
	Pz	Šp	76	85	90	93
	Pz	Dp	74	83	88	90
Širokořádkové plodiny (okopaniny)	Př	Šp	72	81	88	91
	Př	Db	67	78	85	89
	Př + Pz	Šp	71	80	87	90
	Př + Pz	Db	64	75	82	85
	Vř	Šp	70	79	84	88
	Vř	Db	65	75	82	86
	Vř + Pz	Šp	69	78	83	87
	Vř + Pz	Db	64	74	81	85
	Vř + Pr	Šp	66	74	80	82
	Vř + Pr	Db	62	71	78	81
	Vř + Pr + Pz	Šp	65	73	79	81
	Vř + Pr + Pz	Db	61	70	77	80
Úzkořádkové plodiny (obilniny)	Př	Šp	65	76	84	88
	Př	Db	63	75	83	87
	Př + Pz	Šp	64	75	83	86
	Př + Pz	Db	60	72	80	84
	Vř	Šp	63	74	82	85
	Vř	Db	61	73	81	84
	Vř + Pz	Šp	62	73	81	84
	Vř + Pz	Db	60	72	80	83
	Vř + Pr	Šp	61	72	79	82
	Vř + Pr	Db	59	70	78	81
	Vř + Pr + Pz	Šp	60	71	78	81
	Vř + Pr + Pz	Db	58	69	77	80
Víceleté pícniny, luštěniny	Př	Šp	66	77	85	89
	Př	Db	58	72	81	85
	Vř	Šp	64	75	83	85
	Vř	Db	55	69	78	83
	Vř + Pz	Šp	63	73	80	83
	Vř + Pz	Db	51	67	76	80
Pastviny s pokryvem	< 50 %	-	68	79	86	89
	50 - 75 %	-	49	69	79	84
	> 75 %	-	39	61	74	80
Louky	sklizené	-	30	58	71	78
Křoviny s pokryvem	< 50 %	-	48	67	77	83
	50 - 75 %	-	35	56	70	77
	> 75 %	-	30	48	65	73

Sady se zatravněným meziřadím	Šp	57	73	82	86
	Stř	43	65	76	82
	Db	32	58	72	79
Lesy	Šp	45	66	77	83
	Stř	36	60	73	79
	Db	30	55	70	77
Zemědělské dvory	-	59	74	82	86
Komunikace s příkopy	dlážděné, živičné	83	89	92	93
	makadamové, šterkové	76	85	89	93
	nezpevněné, hliněné	72	82	87	89
Nepropustné plochy		98	98	98	98

Poznámka:

Pz - posklizňové zbytky nejméně na 5 % povrchu po celý rok

Př - přímé řádky vedené bez ohledu na sklon pozemku, tedy po spádnicí

Vř - vrstevnicové řádky vedené přesně ve směru vrstevnic - konturově. Při sklonu pozemku menším než 2% je obdělávání napříč svahu v přímých řádcích rovnocenně vrstevnicovému.

Pr - pásově pěstované plodiny a příčně situované průlehy na pozemku

Db - dobré hydrologické podmínky zvyšující infiltraci a snižující odtok, kdy je více než 20% povrchu pokryto zbytky rostlin, tj. více než 850 kg * ha⁻¹ u širokořádkových plodin nebo 350 kg * ha⁻¹ u úzkořádkových plodin.

Stř - střední hydrologické podmínky

Šp - špatné hydrologické podmínky omezující infiltraci vody do půdy a zvyšující odtok, s menším množstvím posklizňových zbytků než při Db.